



- ۵۲۱ اثر تقسیط نیتروژن و آبیاری تکمیلی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن آفتابگردان
عبدالله صفری، علی نخزری مقدم، علی راحمی کاریزکی، محمد صلاحی فراهی
- ۵۳۳ تأثیر بیوجار و بیوسولفور بر عملکرد دانه و برخی صفات اکوفیز بولوژیک کلزا (*Brassica napus L.*) در شرایط تنش خشکی در کشت زمستانه
محسن کریمی موحدی، غلامعباس اکبری، غلامعلی اکبری، فاطمه بناکاشانی، محمدرضا اردکانی
- ۵۴۳ مطالعه اثر پیش تیمار بذرهاى ارقام مختلف جو (*Hordeum vulgare*) بر شاخص‌های مختلف سبز شدن
مسلم حیدری، مهرداد چایی چی
- ۵۵۷ ارزیابی اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های ریشه و اندام هوایی ژنوتیپ‌های گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*)
حمید جتاری، مجید غلامحسینی، محمدباقر ولی پور، محمدرضا نظری، امیرحسن امید، حبیب تشکری میمند
- ۵۷۵ بررسی ژنتیکی طول سنبله گندم نان در جمعیت متنوع حاصل از لاین × Roshan-D-01 رقم روشن
مریم درانی نژاد، علی کاظمی پور، محمد قادر قادری، علی‌اکبر مقصودی مود، روح‌اله عبدالشاهی
- ۵۸۷ برآورد مقدار نیتروژن پوشش گیاهی ذرت علوفه‌ای با استفاده از فناوری سنسجش از دور چندطیفی هوایی با پهپاد
نیکروز باقری، مریم رحیمی جهانگیرلو، مهریار جابری‌اقدم
- ۶۰۳ تأثیر تلقیح با دو گونه مایکوریزا بر جزءبندی و میزان جذب کادمیم در شبدر ایرانی
مرضیه مولوی‌سرنند، جلال صادقی، امیر لکزیان
- ۶۱۹ بازدهی کاربرد اسیدجیرلیک بر عملکرد دانه ارقام وارداتی باقلا به‌روش GGE-بای پلات
محمدرضا دهقانی، مژگان هاشمی، مریم دهجی پور حیدرآبادی، شهرام محمدی
- ۶۳۳ بررسی ارزش زراعی دو رقم لوبیای جدید متقاضی تجاری شدن
بابک درویشی، عنایت رضوانی، حسین صادقی، مصطفی شاکری، حامد نصیری وطن، محمد کاوند، شمس‌الینکجه فراهانی، مهران شرفی‌زاد
- ۶۵۱ تأثیر محلول‌پاشی سولفات منیزیم و سولفات منگنز بر عملکرد و برخی صفات کمی سیب‌زمینی رقم آگریا
مرتضی برمکی، دامون رجب‌زاده، خدیجه آقائی‌فرد
- ۶۶۹ تأثیر پوتریمسین بر عملکرد گل خشک و ترکیبات مؤثره اسانس بابونه آلمانی در رژیم‌های مختلف رطوبتی
حسین نظری، علی نادری عارفی
- ۶۸۵ بررسی تأثیر تراکم گیاهی، علف‌کش تریفلورالین و کنترل مکانیکی بر کنترل علف‌های هرز و عملکرد رازیانه در خوزستان
محمدرضا باغبانی، عبدالرضا سیاهپوش، علیرضا شافعی‌نیا، الهام الهی‌فرد
- ۷۰۳ بررسی تأثیر پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و سالیسیلیک‌اسید روی گیاه دارویی آویشن باغی تحت تنش خشکی
فائزه سمندری بحرآسمان، آناهیتارشتیان، آفاق تابنده ساروی، مجتبی سلیمانی ساردو
- ۷۱۹ اثر قارچ تریکودرما بر برخی خواص بیوشیمیایی گیاه دارویی ریحان در شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری
مینا امانی، سعیده علیزاده سالطه، محسن سبزی نوجه‌ده، مهدی یونسی حمزه‌خانلو
- ۷۳۷ اثر تنش‌های خشکی و فلزات سنگین بر ویژگی‌های رشد، مرفولوژی و وزن دانه گیاه کینوا
فاطمه میرزایی، محمد رفیعی‌الحسینی، نفیسه رنگ‌زن، مهدی امیریوسفی
- ۷۵۵ ارزیابی صفات فیتوشیمیایی در اکوتیپ‌های مختلف گل ختمی (*Althaea sp.*)
امین ارجمند، محسن ابراهیمی، محمدرضا بی‌همتا، نرگس مرادی
- ۷۶۹ تأثیر تنش شوری و محلول‌پاشی با نانوکودها بر ویژگی‌های کمی و کیفی علوفه گیاه کینوا
فائزه حیدری، جلال جلیلیان، اسماعیل قلی‌نژاد
- ۷۸۷ اثر انواع بسترهای کشت بر روی برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و ارزش غذایی قارچ دارویی بلازئی (*Agaricus subrufescens*)
راضیه خودسیانی، مهرداد جعفرپور
- ۸۰۷ ارزیابی روش‌های کاربردی گرده‌افشانی تکمیلی بر کیفیت میوه کیوی رقم هایوارد
محمدعلی شیری، مالک قاسمی
- ۸۲۵ بررسی فنولوژی و برآورد نیاز سرمایی و گرمایی جوانه‌های گل برخی از ارقام تجاری بادام با استفاده از مدل‌های مختلف
جعفر بیابانی، عبدالرحمان محمدخانی، مسعود فتاحی

بسم الله الرحمن الرحيم

مجله به‌زراعی کشاورزی

نشریه علمی دانشکدگان ابوریحان - دانشگاه تهران

(طبق مجوز شماره ۵۶۶۵/۳ مورخه ۲/۷/۸۷ از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری)

پاییز ۱۴۰۲

شماره ۳

دوره ۲۵

صاحب امتیاز: دانشگاه تهران، دانشکدگان ابوریحان

مدیر مسئول: علی ایزدی‌دربندی

سردبیر: ایرج اله‌دادی

هیات تحریریه:

استاد، گروه گیاه‌شناسی و علوم گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه کالیفرنیا، آمریکا	اهدایی، بهمن
دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران	ایزدی‌دربندی، علی
استاد، گروه علوم گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آریزونا، آمریکا	پسرکلی، محمد
محقق اصلاح نباتات، موسسه کشاورزی و غذا، اوتاوا، کانادا	خانی‌زاده، شاهرخ
دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران	رامشینی، حسین
استاد، گروه علوم باغبانی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان	روستا، حمیدرضا
استاد، گروه علوم گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه آیداهو، آمریکا	فلاحی، اسماعیل
استاد، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران	علیزاده، حسن
استاد، موسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور	سفیدکن، فاطمه
دانشیار، گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان	مرادی تلاوت، محمدرضا
دانشیار، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران	مرتضویان، سید محمد مهدی

مدیر اجرایی: رضوانه مومنی

ویراستار محتوایی: فاطمه بناءکاشانی

ویراستار ادبی و صفحه‌آرا: سیده صفرا حسینی

آدرس پستی: پاکدشت، دانشکدگان ابوریحان، دانشگاه تهران، دفتر نشریات تخصصی، کدپستی: ۳۳۹۱۶۵۳۷۵۵

تلفن دفتر مجله: ۳۶۰۴۰۹۰۴ - ۳۶۰۴۱۰۰۶ - ۳۶۰۴۰۷۴۶ - ۰۲۱ (داخلی: ۱۰۵)

پست الکترونیکی: abujournal@ut.ac.ir سایت نشریه: <https://jci.ut.ac.ir>

پایگاه نشریات الکترونیکی دانشگاه تهران: <https://journals.ut.ac.ir>

مقالات این نشریه به صورت کامل در پایگاه نظام استنادی علوم کشورهای اسلامی سامانه نشریات علمی علوم جهان اسلام (ISC)

(<https://jcr.isc.ac>) و مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (<https://www.sid.ir>) و بانک اطلاعات نشریات کشور

(<https://www.magiran.com>) نمایه می‌شوند.

فهرست مطالب

- اثر تقسیط نیتروژن و آبیاری تکمیلی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن آفتابگردان
عبدالله صفری، علی نخزری مقدم، علی راحمی کاریزکی، محمد صلاحی فراهی ۵۲۱
- تأثیر بیوجار و بیوسولفور بر عملکرد دانه و برخی صفات اکوفیزیولوژیک کلزا (*Brassica napus L.*) در شرایط تنش خشکی در کشت زمستانه
محسن کریمی موحدی، غلامعباس اکبری، غلامعلی اکبری، فاطمه بناکاشانی، محمدرضا اردکانی ۵۳۳
- مطالعه اثر پیش تیمار بذرهای ارقام مختلف جو (*Hordeum vulgare*) بر شاخص‌های مختلف سبزشدن مسلم حیدری، مهرداد چایی‌چی ۵۴۳
- ارزیابی اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های ریشه و اندام هوایی ژنوتیپ‌های گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*)
حمید جباری، مجید غلامحسینی، محمدباقر ولی‌پور، محمدرضا نظری، امیرحسن امید، حبیب تشکری میمند ۵۵۷
- بررسی ژنتیکی طول سنبله گندم نان در جمعیت متنوع حاصل از لاین Roshan-D-01 × رقم روشن
مریم درانی‌نژاد، علی کاظمی‌پور، محمد قادر قادری، علی‌اکبر مقصودی مود، روح‌اله عبدالشاهی ۵۷۵
- برآورد مقدار نیتروژن پوشش گیاهی ذرت علوفه‌ای با استفاده از فناوری سنجش از دور چندطیفی هوایی با پهپاد نیکروز باقری، مریم رحیمی جهانگیرلو، مهریار جابری‌اقدم ۵۸۷
- تأثیر تلقیح با دو گونه مایکوریزا بر جزءبندی و میزان جذب کادمیم در شبدر ایرانی
مرضیه مولوی‌سرنند، جلال صادقی، امیر لکزیان ۶۰۳
- بازدهی کاربرد اسیدجیبرلیک بر عملکرد دانه ارقام وارداتی باقلا به‌روش GGE-بای پلات
محمدرضا دهقانی، مژگان هاشمی، مریم دهجی‌پور حیدرآبادی، شهرام محمدی ۶۱۹
- بررسی ارزش زراعی دو رقم لوبیای جدید متقاضی تجاری شدن
بابک درویشی، عنایت رضوانی، حسین صادقی، مصطفی شاکری، حامد نصیری وطن، محمد کاوند، شمس‌ا... ینکجه فراهانی، مهران شرفی‌زاد ۶۳۳
- تأثیر محلول‌پاشی سولفات منیزیم و سولفات منگنز بر عملکرد و برخی صفات کمی سیب‌زمینی رقم آگریا
مرتضی برمکی، دامون رجب‌زاده، خدیجه آقائی‌فرد ۶۵۱
- تأثیر پوتریسین بر عملکرد گل خشک و ترکیبات مؤثره اسانس بابونه آلمانی در رژیم‌های مختلف رطوبتی
حسین نظری، علی نادری عارفی ۶۶۹
- بررسی تأثیر تراکم گیاهی، علف‌کش تریفلورالین و کنترل مکانیکی بر کنترل علف‌های هرز و عملکرد رازیانه در خوزستان
محمدرضا باغبانی، عبدالرضا سیاهپوش، علیرضا شافعی‌نیا، الهام الهی‌فرد ۶۸۵
- بررسی تأثیر پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و سالیسیلیک‌اسید روی گیاه دارویی آویشن باغی تحت تنش خشکی
فائزه سمندری بحرآسمان، آناهیتارشتیان، آفاق تابنده ساروی، مجتبی سلیمانی ساردو ۷۰۳
- اثر قارچ تریکودرما بر برخی خواص بیوشیمیایی گیاه دارویی ریحان در شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری
مینا امانی، سعیده علیزاده سالطه، محسن سبزی نوجه‌ده، مهدی یونسی حمزه‌خانلو ۷۱۹
- اثر تنش‌های خشکی و فلزات سنگین بر ویژگی‌های رشد، مورفولوژی و وزن دانه گیاه کینوا
فاطمه میرزایی، محمد رفیعی‌الحسینی، نفیسه رنگ‌زن، مهدی امیریوسفی ۷۳۷
- ارزیابی صفات فیتوشیمیایی در اکوتیپ‌های مختلف گل ختمی (*Althaea sp.*)
امین ارجمند، محسن ابراهیمی، محمدرضا بی‌همتا، نرگس مرادی ۷۵۵
- تأثیر تنش شوری و محلول‌پاشی با نانوکودها بر ویژگی‌های کمی و کیفی علوفه گیاه کینوا
فائزه حیدری، جلال جلیلیان، اسماعیل قلی‌نژاد ۷۶۹
- اثر انواع بسترهای کشت بر روی برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و ارزش غذایی قارچ دارویی بلاژئی (*Agaricus subrufescens*)
راضیه خودسیانی، مهرداد جعفرپور ۷۸۷
- ارزیابی روش‌های کاربردی گرده‌افشانی تکمیلی بر کیفیت میوه کیوی رقم هایوارد
محمدعلی شیری، مالک قاسمی ۸۰۷
- بررسی فنولوژی و برآورد نیاز سرمایی و گرمایی جوانه‌های گل برخی از ارقام تجاری بادام با استفاده از مدل‌های مختلف
جعفر بیابانی، عبدالرحمان محمدخانی، مسعود فتاحی ۸۲۵



Effect of nitrogen splitting and supplemental irrigation on yield, yield components, and oil percentage of sunflower

Abdollah Safari¹ | Ali Nakhzari Moghaddam^{2✉} | Ali Rahemi Karizaki³ |
Mohammad Salahi Farahi⁴

1. Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad Kavous, Iran. E-mail: absafar898@gonbad.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad Kavous, Iran. E-mail: nakhzari@gonbad.ac.ir
3. Department of Plant Production, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gonbad Kavous, Gonbad Kavous, Iran. E-mail: rahemi@gonbad.ac.ir
4. Agricultural Research Station of Gonbad Kavous, Gonbad Kavous, Iran. E-mail: mohammadsalahi@areeo.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 13 April 2021
Received in revised form
7 November 2021
Accepted 23 November 2021
Published online
20 September 2023

Keywords:

Capitul
Grain filling
Harvest index
Oil yield
One thousand-seed weight

ABSTRACT

Objective: In order to study the effect of nitrogen splitting and supplemental irrigation on yield, yield components and oil percentage of sunflower a factorial experiment was conducted based on randomized complete block design on farm research of Gonbad University with three replications during crop year of 2019.

Methods: Treatments in this experiment included nitrogen splitting (none consumption of nitrogen (as control), 25% of nitrogen at planting time and 75% before flowering, 50% of nitrogen at planting time and 50% before flowering and 75% of nitrogen at planting time and 25% before flowering and supplemental irrigation (none irrigation ((as control)), supplementary irrigation at flowering stage, supplemental irrigation at grain filling stage, supplemental irrigation at flowering stage and grain filling stages) in four levels.

Results: The results showed that consumption of 25% nitrogen at planting time and 75% before flowering led to the highest increase in number of grains per row, number of grains per head, one thousand-grain weight, grain yield (4318 kg.ha⁻¹) and harvest index. Consumption of 75% nitrogen at planting time and 25% before flowering increased the number of rows per capita. None consumption of nitrogen increased oil percent though oil yield decreased. Irrigation at flowering and grain filling stages increased the number of grain per capita, grain weight, and grain yield (4427 kg.ha⁻¹).

Conclusion: According to the results, irrigation at flowering and grain filling stages as well as application of 25% nitrogen at planting time and 75% before flowering is suitable to achieve optimum sunflower yield.

Cite this article: Safari, A., Nakhzari Moghaddam, A., Rahemi Karizaki, A., & Salahi Farahi, M. (2023). Effect of nitrogen splitting and supplemental irrigation on yield, yield components, and oil percentage of sunflower. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 521-532. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.322002.2536>



اثر تقسیط نیتروژن و آبیاری تکمیلی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن آفتابگردان

عبدالله صفری^۱ | علی نخزری مقدم^۲ | علی راحمی کاریزکی^۳ | محمد صلاحی فراهی^۴

۱. گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران. رایانامه: absafar898@gonbad.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران. رایانامه: nakhzari@gonbad.ac.ir
۳. گروه تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران. رایانامه: rahemi@gonbad.ac.ir
۴. ایستگاه تحقیقات کشاورزی گنبد کاووس، گنبد کاووس، ایران. رایانامه: mohammadsalahi@areco.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: به منظور بررسی تأثیر تقسیط نیتروژن و آبیاری تکمیلی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن آفتابگردان، آزمایشی در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶ به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه گنبد کاووس اجرا شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۴	روش پژوهش: تیمارهای آزمایش شامل تقسیط نیتروژن (عدم مصرف نیتروژن، مصرف ۲۵ درصد به‌هنگام کاشت و ۷۵ درصد قبل از گل‌دهی، مصرف ۵۰ درصد به‌هنگام کاشت و ۵۰ درصد قبل از گل‌دهی و مصرف ۷۵ درصد به‌هنگام کاشت و ۲۵ درصد قبل از گل‌دهی) و آبیاری تکمیلی (عدم آبیاری، آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی، آبیاری تکمیلی در مرحله پرشدن دانه و آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی و پر شدن دانه) هر کدام در چهار سطح بود.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۸/۱۶	یافته‌ها: نتایج نشان داد که بیش‌ترین تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه، عملکرد دانه (۴۳۱۸ کیلوگرم در هکتار) و شاخص برداشت در تیمار مصرف ۲۵ درصد نیتروژن در زمان کاشت و ۷۵ درصد قبل از گل‌دهی مشاهده شد. مصرف ۷۵ درصد مقدار نیتروژن در زمان کاشت و ۲۵ درصد قبل از گل‌دهی تعداد ردیف در طبق را افزایش داد. عدم کاربرد نیتروژن درصد روغن را افزایش اما عملکرد روغن را کاهش داد. آبیاری در مراحل گل‌دهی و پرشدن دانه، تعداد دانه در طبق، وزن دانه و عملکرد (۴۴۲۷ کیلوگرم در هکتار) را افزایش داد.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۰۲	نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج به‌دست‌آمده، آبیاری در مراحل گل‌دهی و پرشدن دانه و همچنین مصرف ۲۵ درصد نیتروژن در زمان کاشت و ۷۵ درصد قبل از گل‌دهی برای به‌دست‌آوردن عملکرد مطلوب آفتابگردان مناسب بود.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹	
کلیدواژه‌ها: پر شدن دانه شاخص برداشت طبق عملکرد روغن وزن هزاردانه	

استناد: صفری، عبدالله؛ نخزری مقدم، علی؛ راحمی کاریزکی، علی؛ و صلاحی فراهی، محمد (۱۴۰۲). اثر تقسیط نیتروژن و آبیاری تکمیلی بر عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن آفتابگردان. *به‌زرعی کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۵۲۱-۵۳۲. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.322002.2536>



۱. مقدمه

آفتابگردان یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی است که هشت درصد از تولید دانه‌های روغنی را شامل می‌شود. اگرچه آفتابگردان یک گیاه نسبتاً متحمل به خشکی است، اما خشکی شدید باعث کاهش عملکرد دانه و روغن آن می‌شود (Hussain *et al.*, 2018). خسارت ناشی از بحران کم‌آبی در بخش کشاورزی از طریق استفاده از روش‌های مناسب آبیاری قابل مدیریت است و صرفه‌جویی قابل‌ملاحظه‌ای را در بخش کشاورزی خواهد داشت (ابراهیمی و حسن‌پور درویشی، ۱۳۹۴). تنش خشکی در مرحله زایشی مخرب‌تر از مرحله رویشی است. دوره گل‌دهی حساس‌ترین دوره نسبت به کمبود آب است. عدم آبیاری در این مرحله باعث می‌شود گل‌های کم‌تری بارور شوند. این عمل کاهش محصول را در پی دارد (Ali & Shui, 2009). همچنین، تنش خشکی در مراحل گل‌دهی و دانه‌بندی از طریق کاهش شدید عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک، منجر به کاهش شاخص برداشت آفتابگردان شد (امیدی اردلی و بحرانی، ۱۳۹۰). افزایش شدت تنش خشکی باعث کاهش عملکرد پروتئین، درصد روغن و عملکرد روغن آفتابگردان شد اما نیتروژن دانه افزایش یافت (قلی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۱). با توجه به کاهش بارندگی در دهه‌های اخیر، کمبود منابع آب قابل دسترس در بخش کشاورزی، کمبود مواد آلی و غذایی به‌ویژه نیتروژن در خاک‌های کشور که کمبود آن در گیاهان یکی از مهم‌ترین مشکلات تغذیه‌ای است که گیاهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (با توجه به نقش و مقدار موجود در بافت‌ها که حدود ۳-۴ درصد است) و اهمیت مدیریت آب و مواد غذایی در چنین شرایطی، این پژوهش با هدف بررسی عملکرد، اجزای عملکرد و درصد روغن آفتابگردان تحت تأثیر تقسیط کود نیتروژن و آبیاری تکمیلی طراحی و اجرا شد.

۲. پیشینه پژوهش

۲.۱. پیشینه نظری

گیاهان زراعی به مقدار مصرف کود نیتروژن حساس هستند. مصرف بیش از اندازه کود نیتروژن منجر به کاهش عملکرد آفتابگردان می‌شود درحالی‌که مصرف مناسب آن باعث تولید مطلوب دانه می‌شود (Chantal *et al.*, 2018). بناری و همکاران (۱۳۹۲) با بررسی تأثیر مقادیر کود آلی گوگرد و تقسیط نیتروژن بر عملکرد و اجزای آن در آفتابگردان گزارش کردند که همه صفات موردبررسی به‌جز درصد روغن تحت تأثیر نیتروژن قرار گرفت. مصرف ۳۰ درصد نیتروژن در زمان کاشت، ۳۰ درصد در زمان چهار تا شش برگی، ۲۰ درصد در زمان ظهور غنچه و ۲۰ درصد در زمان گل‌دهی باعث شد بیش‌ترین تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه، شاخص برداشت و عملکرد دانه حاصل شود (بناری و همکاران، ۱۳۹۲). تقسیط سه مرحله‌ای ۲۰۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار (یک‌سوم کود پیش از کاشت، یک‌سوم در مرحله چهار برگی و یک‌سوم در مرحله رویت طبق) باعث تولید حداکثر عملکرد دانه آفتابگردان به‌مقدار ۳۰۸۹ کیلوگرم در هکتار شد. تقسیط مناسب و مطلوب در زمان تقاضای گیاه توانست بر اجزای عملکرد آفتابگردان به‌ویژه تعداد دانه و وزن هزاردانه تأثیر گذاشته و افزایش عملکرد دانه را به‌همراه داشته باشد (صدقت و همکاران، ۱۳۹۱). کاربرد نیتروژن کاهش درصد روغن دانه و افزایش عملکرد روغن آفتابگردان را باعث شد (Munir *et al.*, 2007). مدیریت کود نیتروژن از طریق اعمال تقسیط سه مرتبه‌ای به‌گونه‌ای که فراهمی نیتروژن خاک انطباق بیش‌تری با زمان‌های نیاز گل‌رنگ داشت باعث شد از نیتروژن در راستای رشد و عملکرد بیش‌تر گیاه گل‌رنگ به‌خوبی بهره‌برداری شود، به‌طوری‌که کاربرد ۲۵ درصد کود نیتروژن پیش از کاشت، ۲۵ درصد در مرحله طویل‌شدن ساقه و ۵۰ درصد در زمان گل‌دهی باعث افزایش عملکرد دانه و عملکرد روغن شد (فولادوند و یدوی، ۱۳۹۴).

۲.۲. پیشینه تجربی

تقسیم مناسب نیتروژن در زمانی که گیاه با تنش مواجه نبود کارایی استفاده از نیتروژن را افزایش داد، اما قطع آبیاری در مرحله گل‌دهی باعث شد وزن صددانه کاهش یابد. به‌نظر می‌رسد که گیاه آفتابگردان در هر دو مرحله رویشی و زایشی نسبت به قطع آبیاری حساس بوده و تقسیم مناسب کود در آبیاری مطلوب و تنش در مرحله هشت‌برگی نسبت به تنش در مرحله گل‌دهی جهت حصول عملکرد از اهمیت بیش‌تری برخوردار است (حقیقی و مدنی، ۱۳۹۴). افزایش مصرف نیتروژن در سطوح مختلف آبیاری، درصد نیتروژن دانه و عملکرد روغن را افزایش داد. به‌نظر می‌رسد که مقدار مناسب نیتروژن باید با توجه به مقدار آب، نترات موجود در آب آبیاری، نیتروژن موجود در خاک و رقم گیاه تعیین شود (Kiani *et al.*, 2016). با افزایش مصرف نیتروژن به‌دلیل افزایش پیش‌زمینه‌های پروتئینی نیتروژن‌دار، سهم بیش‌تری از مواد فتوسنتزی جهت تشکیل ترکیبات پروتئینی مصرف شده و بنابراین مواد در دسترس برای سنتز اسیدهای چرب کاهش می‌یابد که در نتیجه آن درصد روغن کاهش می‌یابد (Danesh Shahraki *et al.*, 2009).

۳. روش‌شناسی پژوهش

آزمایش حاضر در مزرعه آموزشی و تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه گنبد کاووس با طول جغرافیایی ۵۵ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۱۶ دقیقه شمالی و ارتفاع ۴۵ متر از سطح دریا به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. رقم مورد استفاده هایسان ۲۵ (رقم قدیمی با مصرف روغنی - آجیلی) بود. تیمارهای آزمایش شامل آبیاری و تقسیم کود نیتروژن بود. عامل آبیاری در چهار سطح شامل عدم آبیاری، آبیاری در مرحله گل‌دهی، آبیاری در مرحله پرشدن دانه، آبیاری در مرحله پرشدن دانه و عامل تقسیم نیتروژن در چهار سطح شامل عدم مصرف، مصرف ۲۵ درصد زمان کاشت و ۷۵ درصد قبل از گل‌دهی، مصرف ۵۰ درصد زمان کاشت و ۵۰ درصد قبل از گل‌دهی و مصرف ۷۵ درصد زمان کاشت و ۲۵ درصد قبل از گل‌دهی بود. مقدار آب برای همه کرت‌ها در هر بار آبیاری یکسان و برابر با ۳۰۰ مترمکعب در هکتار بود. برای این منظور از یک لوله یک اینچی استفاده شد. مقدار آب خروجی در ثانیه محاسبه و براساس آن زمان لازم برای آبیاری تعیین شد. قبل از کاشت از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متر خاک نمونه تهیه و به آزمایشگاه ارسال و خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک اندازه‌گیری شد (جدول ۱). نیتروژن خالص مصرفی براساس آزمون خاک و توصیه آزمایشگاه آب و خاک به‌مقدار ۸۰ کیلوگرم اوره و ۱۰۰ کیلوگرم سوپرفسفات تریپل تعیین شد.

جدول ۱. نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته گل اشباع	درصد مواد خشتی شونده (درصد)	درصد کربن آلی (درصد)	درصد نیتروژن کل (درصد)	گوگرد قابل جذب (پی‌پی‌ام)	فسفر قابل جذب (پی‌پی‌ام)	پتاسیم قابل جذب (پی‌پی‌ام)	بافت خاک
۱/۰۶	۷/۹۳	۸/۳	۰/۸۷	۰/۰۸	۱۲/۸	۱۳/۴	۴۱۷	لومی‌رسی

عملیات کاشت به‌صورت خطی در تاریخ ۱۷ دی‌ماه ۱۳۹۶ انجام شد. هر کرت شامل چهار خط کشت به‌فاصله ردیف ۵۰ سانتی‌متر، طول چهار متر، فاصله بوته در روی ردیف ۲۵ سانتی‌متر و تراکم هشت بوته در مترمربع بود. فاصله بین کرت‌ها یک متر و فاصله بین تکرارها یک و نیم متر بود. قبل از کاشت، کود سوپرفسفات تریپل به‌مقدار ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار استفاده شد. کود اوره براساس تیمارها اعمال شد. برای اطمینان از دست‌یابی به تراکم بوته موردنظر، در هر کپه

سه بذر کشت و بعد از استقرار بوته‌ها، عمل تنک کردن انجام و در هر کپه یک بوته باقی گذاشته شد. در طول اجرای آزمایش آفات پروانه دانه‌خوار و سوسک‌های گرده‌خوار با استفاده از سم مالاتیون به میزان یک لیتر سم در هکتار کنترل گردید. برای کنترل علف‌های هرز از فوکا استفاده شد. در تاریخ ۲۵ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۷ مرحله دوم کوددهی اوره در زمان تشکیل طبق و کمی قبل از بارندگی انجام شد. در تاریخ ۱۳ خردادماه ۹۷ آبیاری مرحله گل‌دهی انجام شد. در تاریخ ۲۱ خردادماه ۹۷ تعداد ۱۰ طبق از ردیف‌های وسط هر کرت برای جلوگیری از خورده شدن دانه‌های طبق توسط پرندگان با توری پوشانده شد. در تاریخ ۲۳ خردادماه ۹۷ آبیاری مرحله پرشدن دانه انجام شد.

در زمان رسیدگی فیزیولوژیک، دو ردیف وسط و نیم متر از دو طرف ردیف‌های وسط حذف و از هر کرت تعداد پنج بوته به صورت تصادفی جهت تعیین تعداد ردیف در طبق، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه و وزن دانه در طبق انتخاب شد. برای تعیین عملکرد دانه، دانه‌های بقیه بوته‌ها برداشت، خشک و توزین گردید و سپس به هکتار تعمیم داده شد. درصد روغن با دستگاه سوکسله (مدل اتوماتیک چهار خانه شرکت صنایع آزمایشگاهی بخشی، ساخت کشور ایران) تعیین و عملکرد روغن دانه از حاصل ضرب درصد روغن در عملکرد دانه به دست آمد. تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. جهت مقایسه میانگین داده‌ها از آزمون حداقل تفاوت معنی‌دار (LSD)^۱ در سطح پنج درصد استفاده شد.

۴. یافته‌های پژوهش

۴.۱. تعداد ردیف در طبق

تعداد ردیف در طبق تحت تأثیر نیتروژن در سطح پنج درصد قرار گرفت، اما اثر آبیاری و اثر متقابل آبیاری × نیتروژن بر تعداد ردیف در طبق معنی‌دار نشد (جدول ۲). احتمالاً دلیل عدم تأثیر آبیاری، انجام آن در زمانی بود که ردیف‌ها تشکیل شده بودند.

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) اجزای عملکرد، عملکرد دانه و روغن آفتابگردان تحت تأثیر آبیاری و کاربرد نیتروژن

منابع تغییر	درجه آزادی	تعداد ردیف در طبق	تعداد دانه در ردیف	تعداد دانه در طبق	وزن هزاردانه	وزن خشک بوته	شاخص برداشت	درصد روغن	عملکرد دانه	عملکرد روغن
تکرار	۲	۱۵/۹ ^{NS}	۳/۰ ^{NS}	۲۰۳۶ ^{NS}	۳۷/۲*	۲۲۵/۷ ^{NS}	۴۶/۱ ^{NS}	۴/۷ ^{NS}	۱۱۰۸۷۲۳ ^{NS}	۱۳۰۷۸۸ ^{NS}
آبیاری	۳	۲۲/۷ ^{NS}	۷/۰*	۹۵۸۴۹**	۱۶۱/۱**	۳۶۴/۹*	۳۰۵/۴**	۱۹/۶**	۴۴۲۲۴۷۹**	۹۶۲۵۵۴**
نیتروژن	۳	۸۶/۴*	۳۲/۰**	۱۴۹۶۰**	۳۳/۲*	۴۲۰/۸*	۲۴۴**	۴۱/۸**	۳۱۶۸۳۴۰**	۲۰۴۵۳۶**
آبیاری × نیتروژن	۹	۰/۶ ^{NS}	۱/۱ ^{NS}	۵۳۴۹ ^{NS}	۲/۱ ^{NS}	۷۲/۱ ^{NS}	۱۷/۰ ^{NS}	۲/۰ ^{NS}	۹۶۵۵۱ ^{NS}	۱۵۰۸۶ ^{NS}
خطا	۳۰	۲۶/۰	۲/۰	۱۸۰۵۳	۸/۵	۱۰۷	۱۸/۸	۴/۱	۳۷۰۲۶۳	۶۹۴۸۵
ضریب تغییرات (درصد)	-	۷/۹	۹/۴	۱۳/۷	۶/۲	۹/۰۲	۱۰/۸	۵/۱	۱۶/۴	۱۸/۱

NS، * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج، یک درصد و بدون اختلاف معنی‌دار.

مقایسه میانگین اثر نیتروژن بر این صفت نشان داد که مصرف ۷۵ درصد نیتروژن در زمان کاشت و ۲۵ درصد قبل از گل‌دهی با ۶۷/۵ ردیف، بیش‌ترین تعداد ردیف در طبق را تولید کرد. این تیمار با تیمارهای دیگر تقسیط نیتروژن تفاوت معنی‌داری نشان نداد. در تیمار عدم مصرف نیتروژن ۶۱ ردیف تولید شد که کم‌ترین تعداد ردیف در طبق بود. این تیمار با تیمارهای مصرف ۲۵ درصد در زمان کاشت و ۷۵ درصد قبل از گل‌دهی و ۵۰ درصد در زمان کاشت و ۵۰ درصد قبل از گل‌دهی تفاوت معنی‌داری نشان نداد (جدول ۳).

۱. Least Significant Difference

جدول ۳. مقایسه میانگین اجزای عملکرد، عملکرد دانه و روغن آفتابگردان تحت تأثیر کاربرد نیتروژن

نیتروژن	تعداد ردیف در طبق	تعداد دانه در ردیف	تعداد دانه در طبق	وزن هزاردانه (گرم)	وزن خشک بوته (کیلوگرم)	شاخص برداشت (درصد)	درصد روغن (درصد)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)
N0	۶۱/۰b	۱۴/۰c	۸۷۸/۷c	۴۴/۳b	۱۰۵/۸b	۳۶/۸c	۴۱/۳a	۳۱۳۶c	۱۲۹۷b
N1	۶۵/۱ab	۱۷/۲a	۱۱۲۳a	۴۷/۸a	۱۱۷/۱a	۴۶/۰a	۳۷/۱b	۴۳۱۸a	۱۶۰۳a
N2	۶۴/۶ab	۱۵/۸b	۱۰۱۷ab	۴۷/۵a	۱۱۷/۵a	۴۱/۱b	۳۸/۶b	۲۸۹۴ab	۱۵۰۹ab
N3	۶۷/۵a	۱۳/۷c	۹۰۷bc	۴۷/۴a	۱۱۸/۳a	۳۶/۴c	۴۰/۵ab	۳۴۶۸bc	۱۴۱۶ab
LSD5%	۴/۳	۱/۱	۱۱۲	۲/۴	۸/۶	۳/۶	۱/۷	۵۰۷/۳	۲۱۹/۸

حروف غیرمشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

N0، N1، N2 و N3: به ترتیب عدم مصرف و مصرف ۲۵ درصد در زمان کاشت و ۷۵ درصد قبل از گل‌دهی، ۵۰ درصد در زمان کاشت و ۵۰ درصد قبل از گل‌دهی و ۷۵ درصد در زمان کاشت و ۲۵ درصد قبل از گل‌دهی.

۲.۴. تعداد دانه در ردیف

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر آبیاری در سطح پنج درصد و اثر نیتروژن در سطح یک درصد بر تعداد دانه در ردیف معنی‌دار بود، اما اثر متقابل آبیاری × نیتروژن معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین اثر نیتروژن بر تعداد دانه در ردیف نشان داد که مصرف ۲۵ درصد نیتروژن در زمان کاشت و ۷۵ درصد قبل از گل‌دهی باعث تولید بیش‌ترین تعداد دانه در ردیف (۱۷/۲) شد. در تیمار عدم مصرف نیتروژن و هم‌چنین تیمار مصرف ۷۵ درصد در زمان کاشت و ۲۵ درصد در زمان گل‌دهی کم‌ترین تعداد دانه در ردیف (به ترتیب ۱۴/۰ و ۱۳/۷) تولید شد (جدول ۳). بیش‌ترین تعداد دانه در ردیف مربوط به تیمار آبیاری در مراحل گل‌دهی و پرشدن دانه با میانگین ۱۶/۲ و کم‌ترین آن مربوط به تیمار عدم آبیاری با ۱۴/۴ بود (جدول ۴) که حاکی از افزایش ۱۲/۸ درصدی تعداد دانه در ردیف می‌باشد.

جدول ۴. مقایسه میانگین اجزای عملکرد، عملکرد دانه و روغن آفتابگردان تحت تأثیر آبیاری تکمیلی

آبیاری	تعداد دانه در ردیف	تعداد دانه در طبق	وزن هزاردانه (گرم)	وزن خشک بوته (کیلوگرم)	شاخص برداشت (درصد)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	درصد روغن (درصد)	عملکرد روغن (کیلوگرم در هکتار)
عدم آبیاری (I0)	۱۴/۴b	۸۷۵/۵c	۴۱/۸c	۱۰۶/۹b	۳۴/۲c	۲۹۳۸c	۳۷/۷b	۱۱۰۱c
گل‌دهی (I1)	۱۵/۲ab	۹۹۲/۸ab	۴۶/۶b	۱۱۸/۵a	۳۹/۰b	۳۷۲۷b	۴۰/۰a	۱۴۷۹b
پرشدن دانه (I2)	۱۴/۹b	۹۶۴/۸bc	۴۸/۲Ab	۱۱۴/۶ab	۴۰/۷b	۳۷۲۴b	۳۹/۱ab	۱۴۵۰b
I2 + I1	۱۶/۲a	۱۰۹۲a	۵۰/۴a	۱۱۸/۸a	۴۶/۴a	۴۴۲۷a	۴۰/۶a	۱۷۹۵a
LSD5%	۱/۲	۱۱۲	۲/۴	۸/۶	۳/۶	۵۰۷/۳	۱/۷	۲۱۹/۸

حروف غیر مشابه در هر ستون نشان‌دهنده اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.

۳.۴. تعداد دانه در طبق

تعداد دانه در طبق تحت تأثیر دو صفت تعداد دانه در ردیف و تعداد ردیف قرار گرفت. اثر آبیاری و نیتروژن بر تعداد دانه در طبق در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). نتایج مقایسه میانگین نشان داد که تیمار مصرف ۲۵ درصد نیتروژن به‌هنگام کاشت و ۷۵ درصد قبل از گل‌دهی بیش‌ترین (۱۱۲۳) و تیمار عدم مصرف نیتروژن کم‌ترین (۸۷۸/۷) تعداد دانه در طبق را تولید کردند (جدول ۳) که بیانگر افزایش ۲۷/۸ درصدی تعداد دانه در طبق در تیمار مصرف ۲۵ درصد نیتروژن به‌هنگام کاشت و ۷۵ درصد قبل از گل‌دهی نسبت به عدم مصرف نیتروژن می‌باشد. آبیاری در مراحل گل‌دهی و پرشدن دانه باعث شد بیش‌ترین تعداد دانه در طبق (۱۰۹۲ عدد) حاصل شود. در تیمار عدم آبیاری کم‌ترین تعداد دانه در طبق (۸۷۵/۵ عدد) تولید شد (جدول ۴).

۴.۴. وزن هزاردانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که آبیاری در سطح یک درصد و نیتروژن در سطح پنج درصد بر وزن هزاردانه معنی‌دار شد اما اثر متقابل آبیاری × نیتروژن معنی‌دار نبود (جدول ۲). تقسیط نیتروژن تأثیر زیادی بر وزن هزاردانه داشت، به طوری که در تیمار عدم مصرف نیتروژن کم‌ترین وزن هزاردانه با ۴۴/۳ گرم تولید شد. سه تیمار دیگر تفاوت معنی‌داری با هم نداشتند با این وجود در تیمار مصرف ۲۵ درصد نیتروژن در زمان کاشت و ۷۵ درصد قبل از گل‌دهی وزن هزاردانه هشت درصد افزایش یافت و به ۴۷/۸ گرم رسید (جدول ۳). مقایسه میانگین نشان داد که در تیمار عدم آبیاری کم‌ترین وزن هزاردانه (۴۱/۸ گرم) تولید شد، در حالی که در تیمار آبیاری قبل از گل‌دهی و پرشدن دانه بیش‌ترین وزن هزاردانه (۵۰/۴ گرم) تولید شد (جدول ۴) که حاکی از افزایش ۲۰/۷ درصد می‌باشد.

۴.۵. وزن خشک بوته

افزایش مصرف نیتروژن سبب افزایش وزن خشک آفتابگردان شد. در تیمار عدم مصرف نیتروژن وزن بوته ۱۰۵/۸ گرم بود در حالی که مصرف نیتروژن به میزان ۷۵ درصد در زمان کاشت و ۲۵ درصد قبل از گل‌دهی وزن بوته را به ۱۱۸/۳ گرم رساند (جدول ۳). وزن خشک بوته آفتابگردان در سطح پنج درصد تحت تأثیر آبیاری تکمیلی و تقسیط نیتروژن قرار گرفت (جدول ۲). وزن خشک بوته در تیمار آبیاری در مراحل قبل از گل‌دهی و پرشدن دانه و قبل از گل‌دهی به ترتیب ۱۱۸/۸ و ۱۱۸/۵ گرم بود در حالی که در تیمار عدم آبیاری ۱۰۶/۹ گرم بود (جدول ۴).

۴.۶. شاخص برداشت

اثر آبیاری و تقسیط نیتروژن بر شاخص برداشت در سطح یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۲). با توجه به نتایج مقایسه میانگین، تیمارهایی که عملکرد بوته آن‌ها زیاد بود شاخص برداشت بالایی هم داشتند. مصرف نیتروژن، شاخص برداشت را افزایش داد. مصرف ۲۵ درصد نیتروژن در زمان کاشت و ۷۵ درصد قبل از گل‌دهی بیش‌ترین درصد شاخص برداشت به میزان ۴۶/۰ درصد را داشت، در حالی که شاخص برداشت در دو تیمار مصرف ۷۵ درصد در زمان کاشت و ۲۵ درصد قبل از گل‌دهی و عدم مصرف نیتروژن به ترتیب ۳۶/۴ و ۳۶/۸ درصد بود (جدول ۳). در تیمار آبیاری قبل از گل‌دهی و پرشدن دانه بیش‌ترین شاخص برداشت به دست آمد. در این تیمار شاخص برداشت ۴۶/۴ درصد بود که افزایش ۳۵/۷ درصدی را نسبت به تیمار عدم آبیاری (با حداقل شاخص برداشت) نشان داد (جدول ۴).

۴.۷. عملکرد دانه

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که عملکرد دانه آفتابگردان تحت تأثیر آبیاری و تقسیط نیتروژن در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). بررسی تقسیط نیتروژن نشان داد که در تیمار عدم مصرف نیتروژن عملکرد دانه ۳۱۳۶ کیلوگرم بود، در حالی که مصرف ۲۵ درصد نیتروژن در زمان کاشت و ۷۵ درصد قبل از گل‌دهی عملکرد دانه را به ۴۳۱۸ کیلوگرم رساند (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح آبیاری نشان داد که آبیاری در مرحله قبل از گل‌دهی و پرشدن دانه سبب تولید بیش‌ترین عملکرد دانه شد (جدول ۴).

۴.۸. درصد روغن

درصد روغن دانه تحت تأثیر آبیاری و تقسیط نیتروژن در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۲). مصرف نیتروژن درصد

روغن را کاهش داد. درصد روغن در تیمار عدم مصرف نیتروژن $41/3$ درصد بود، درحالی‌که در تیمار مصرف 25 درصد نیتروژن در زمان کاشت و 75 درصد قبل از گل‌دهی درصد روغن $37/1$ بود که کم‌تر از سایر تیمارهای مصرف نیتروژن بود (جدول ۳). آبیاری قبل از مرحله گل‌دهی و پرشدن دانه باعث شد درصد روغن به $40/6$ درصد برسد. در تیمار عدم آبیاری درصد روغن $37/7$ درصد (کم‌ترین مقدار) بود (جدول ۴).

۹.۴. عملکرد روغن

عملکرد روغن تحت تأثیر آبیاری در سطح یک درصد و نیتروژن در سطح پنج درصد قرار گرفت، اما اثر متقابل آبیاری \times نیتروژن بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۲). عملکرد روغن از حاصل ضرب درصد روغن در عملکرد دانه به‌دست می‌آید. عملکرد روغن در تیمار عدم مصرف نیتروژن 1297 کیلوگرم در هکتار بود. مصرف نیتروژن عملکرد روغن را افزایش داد. در تیمار مصرف 25 درصد نیتروژن در زمان کاشت و 75 درصد قبل از گل‌دهی عملکرد روغن 1603 کیلوگرم در هکتار بود که بیش از تیمارهای دیگر بود (جدول ۳). مقایسه میانگین سطوح آبیاری نشان داد که بیش‌ترین عملکرد روغن با 1795 کیلوگرم در هکتار مربوط به تیمار آبیاری در مرحله قبل از گل‌دهی و پرشدن دانه و کم‌ترین عملکرد روغن با 1102 کیلوگرم مربوط به تیمار عدم آبیاری بود (جدول ۴).

۵. بحث

به‌نظر می‌رسد بخشی از نیتروژن مصرف‌شده در زمان کاشت صرف رشد قسمت‌هایی غیر از طبق با توجه به ایجاد طبق در مرحله انتهایی رشد رویشی شد زیرا درصد افزایش تعداد ردیف در طبق در نتیجه مصرف نیتروژن به میزان 75 درصد در زمان کاشت و 25 درصد قبل از گل‌دهی نسبت به عدم مصرف نیتروژن $10/7$ بود.

مصرف 25 درصد نیتروژن در زمان کاشت و 75 درصد قبل از گل‌دهی نسبت به عدم مصرف نیتروژن باعث افزایش تعداد دانه در ردیف به میزان $23/0$ درصد شد. تأمین نیتروژن در زمان گل‌دهی و پرشدن دانه تأثیر زیادی بر باروری گل‌ها و پرشدن دانه دارد و به‌این‌ترتیب در افزایش تعداد دانه در ردیف مؤثر است. آبیاری در زمان تشکیل گل و همچنین پرشدن دانه باعث شد گل‌های بیش‌تری در هر ردیف بارور و دانه‌های تشکیل شده به‌خوبی پر شوند و به‌این‌ترتیب تعداد دانه در ردیف افزایش یابد.

بالابودن تعداد ردیف در طبق در این تیمار باعث شد تعداد دانه در طبق بیش از تیمارهای دیگر باشد هرچند که تعداد ردیف در طبق از تیمار مصرف 75 درصد نیتروژن به‌هنگام کاشت و 25 درصد قبل از گل‌دهی کمی کم‌تر بود. نتایج یک بررسی نشان داد که تقسیم مناسب و مطلوب در زمان نیاز گیاه می‌تواند با تأثیرگذاری بر اجزای عملکرد آفتابگردان از قبیل تعداد دانه در طبق، افزایش عملکرد دانه را به‌همراه داشته باشد (صداقت و همکاران، ۱۳۹۱). تنش آبی باعث کاهش باروری گل‌های آفتابگردان، کاهش توانایی گیاه در تشکیل دانه و کاهش تولید و انتقال مواد پرورده از برگ به دانه شد، لذا تولید دانه در طبق کاهش یافت. این موضوع در مورد تیمار عدم آبیاری صدق می‌کند درحالی‌که در تیمارهای دیگر افزایش تعداد دانه در ردیف باعث افزایش تعداد دانه در طبق شد. با نتایج به‌دست‌آمده مشخص گردید که زراعت بهاره آفتابگردان در منطقه در مرحله زایشی به آبیاری تکمیلی به‌موقع و کود نیتروژن نیاز دارد و این دو باعث افزایش تعداد دانه در طبق می‌شوند. به‌نظر می‌رسد بروز تنش از طریق کاهش سطح برگ و ریزش آن‌ها منجر به کاهش منبع فتوسنتزی گیاه و افت فعالیت آنزیم‌های مؤثر بر این فرایند می‌شود. همچنین، طی مرحله گل‌دهی و گرده‌افشانی کمبود آب باعث خشک‌شدن دانه گرده و کلاله مادگی شده و این مسأله سبب اختلال در گرده‌افشانی می‌گردد. این عوامل

در نهایت منجر به کاهش تعداد گلچه‌های بارور در طبق می‌شود (حیدری و کرمی، ۱۳۹۲). که نتیجه آن کاهش تعداد دانه در طبق می‌باشد.

مصرف نیتروژن شرایط را برای تولید بیش‌تر مواد فتوسنتزی و انتقال آن‌ها به دانه فراهم می‌کند. افزایش وزن هزاردانه در اثر مصرف نیتروژن توسط Nasim *et al.* (2012) نیز گزارش شده است. به نظر می‌رسد در مناطق کمبود آب نقش مهم‌تری نسبت به نیتروژن در پرشدن دانه دارد. تنش آب در مرحله رشد رویشی باعث کم‌شدن کربوهیدرات‌های ذخیره‌ای قبل از گرده‌افشانی در اندام‌های رویشی (قابل انتقال به دانه) و هم‌چنین دوام سطح برگ می‌شود. همراه با کاهش جذب آب و املاح و در نتیجه کاهش فتوسنتز، دوره پرشدن دانه و انتقال مواد غذایی به دانه در مرحله زایشی کاهش و وزن دانه کم می‌شود. نقش مثبت آبیاری منظم بر وزن هزاردانه آفتابگردان در بررسی بنی‌عباس‌شهری و همکاران (۱۳۹۱) نیز به اثبات رسیده است. در بررسی آنان در تیمار آبیاری منظم وزن هزاردانه ۱۳۷۷ گرم و در تیمار یک بار قطع آبیاری در مرحله رویشی و یک بار در مرحله زایشی ۱۰۶۴ گرم بود که حاکی از افزایش ۲۹/۴ درصدی کاهش وزن هزاردانه فقط با دو مرتبه آبیاری است.

آبیاری در انتهای مرحله رشد رویشی گیاه باعث افزایش کم وزن کل بوته آفتابگردان شد. در واقع آبیاری نقشی در افزایش صفات رویشی از جمله ارتفاع گیاه و تعداد برگ نداشت و فقط موجب افزایش تعداد و وزن دانه شد. به عبارت دیگر، آبیاری در مرحله زایشی نقش بیش‌تری در افزایش اجزای زایشی نسبت به اندام‌های رویشی داشت. تنش خشکی در مراحل گل‌دهی و دانه‌بندی، عملکرد دانه و عملکرد زیست‌توده آفتابگردان را کاهش داده است (امیدی اردلی و بحرانی، ۱۳۹۰). با مصرف بیش‌تر نیتروژن در زمان کاشت، سطح برگ افزایش می‌یابد که این امر سبب افزایش دریافت نور و کارایی بیش‌تر نور در برگ می‌شود، فتوسنتز گیاه را افزایش می‌دهد و به تبع آن، وزن خشک بوته نیز افزایش می‌یابد. افزایش وزن خشک آفتابگردان در اثر مصرف نیتروژن توسط Ozer *et al.* (2004) نیز گزارش شده است.

به نظر می‌رسد مصرف بیش‌تر نیتروژن قبل از گل‌دهی که بر تعداد دانه در بوته و وزن دانه و در نتیجه عملکرد دانه بیش‌تر تأثیرگذار است، شاخص برداشت را هم افزایش می‌دهد. افزایش شاخص برداشت آفتابگردان در اثر مصرف نیتروژن توسط Nasim Jatoi *et al.* (2012) نیز گزارش شده است. در بررسی آنان مصرف ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار حداکثر شاخص برداشت را با ۲۵/۵ درصد تولید کرد. با توجه به محدودالرشد بودن آفتابگردان، به نظر می‌رسد مواد غذایی بیش‌تری در این تیمار به بذر منتقل شده است درحالی‌که در تیمار عدم آبیاری، اختلال در تلقیح و هم‌چنین پرشدن دانه باعث شد شاخص برداشت حداقل باشد. تنش خشکی در مراحل گل‌دهی و دانه‌بندی از طریق کاهش شدیدتر عملکرد دانه نسبت به عملکرد بیولوژیک منجر به کاهش شاخص برداشت آفتابگردان شده است (امیدی اردلی و بحرانی، ۱۳۹۰).

مصرف بیش‌تر نیتروژن در زمان پر شدن دانه باعث افزایش بیش‌تر اجزای عملکرد دانه مانند تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه شد که این امر باعث تفاوت تیمارها از نظر عملکرد دانه شد. در بررسی صداقت و همکاران (۱۳۹۱) بیش‌ترین میزان عملکرد دانه آفتابگردان (۳۰۸۹ کیلوگرم در هکتار) از بیش‌ترین مقدار کاربرد نیتروژن (۲۰۰ کیلوگرم در هکتار) به صورت تقسیط سه مرحله‌ای (یک‌سوم کود پیش از کاشت، یک‌سوم در مرحله چهارم برگی و یک‌سوم در مرحله رویت طبق) به دست آمد. آن‌ها بیان کردند که سطح تقسیط مناسب و مطلوب در زمان تقاضای گیاه می‌تواند با تأثیرگذاری بر اجزای عملکرد آفتابگردان از قبیل تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه و قطر طبق، افزایش عملکرد دانه را به همراه داشته باشد. افزایش عملکرد دانه در اثر مصرف نیتروژن توسط Ozer *et al.* (2004) نیز گزارش شده است. در بررسی Nasim Jatoi *et al.* (2012) مصرف ۱۸۰ کیلوگرم نیتروژن در هکتار عملکرد دانه بیش‌تری نسبت به تیمارهای عدم مصرف و مصرف ۶۰، ۱۲۰ و ۲۴۰ کیلوگرم در هکتار تولید کرد. آبیاری در این مراحل باعث افزایش

قطر طبق، تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه شد که تأثیر مثبتی بر عملکرد دانه داشت. تنش آب باعث می‌شود که گل‌های کم‌تری به مرحله رشد کامل برسند، لذا تعداد دانه در طبق و سپس وزن دانه کاهش می‌یابد و این امر منجر کاهش عملکرد دانه می‌گردد. تفاوت کم سطوح نیتروژن نسبت به آبیاری نشان داد که آبیاری تأثیر بیشتری بر عملکرد دانه گذاشت. این امر ممکن است به دلیل تأمین کم‌تر آب در مراحل زایشی گیاه باشد که باعث شد تفاوت وزن هزاردانه در تیمارهای آبیاری بیش از تیمارهای نیتروژن باشد. در بررسی قلی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۱)، با کاهش فواصل آبیاری، عملکرد دانه در گیاه آفتابگردان افزایش معنی‌دار پیدا کرد.

مصرف نیتروژن باعث افزایش وزن و اندازه دانه و افزایش درصد پروتئین دانه می‌شود اما درصد روغن دانه کاهش می‌یابد. علت این امر رابطه معکوس درصد پروتئین با درصد روغن است. نوریانی (۱۳۹۹) معتقد است که افزایش فراهمی کود نیتروژن سنتز مواد پروتئینی را تحریک می‌کند و باعث کاهش درصد روغن می‌شود. Munir *et al.* (2007) نیز کاهش درصد روغن دانه در اثر کاربرد نیتروژن را در گیاه آفتابگردان گزارش کردند. به‌نظر می‌رسد تأثیر تنش خشکی بر این صفت کم‌تر بود. قلی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۱) گزارش کردند که با افزایش شدت تنش خشکی به دلیل کوتاه‌بودن طول دوره پرشدن دانه و افزایش ضخامت پوست دانه، درصد روغن دانه کاهش یافت.

در تیمار مصرف ۲۵ درصد نیتروژن در زمان کاشت و ۷۵ درصد قبل از گل‌دهی عملکرد روغن ۱۶۰۳ کیلوگرم در هکتار بود که بیش از تیمارهای دیگر بود. علت این امر بالاتر بودن عملکرد دانه در این تیمار بود هرچند درصد روغن کم‌تر از سایر تیمارها بود. مصرف نیتروژن تا ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار به دلیل افزایش عملکرد دانه، عملکرد روغن آفتابگردان را هم افزایش داد (Hamzei *et al.*, 2017). از آنجایی که عملکرد روغن از حاصل ضرب درصد روغن در عملکرد دانه به دست می‌آید لذا، به دلیل بالا بودن عملکرد دانه و درصد روغن در تیمار آبیاری قبل از گل‌دهی و پرشدن دانه، عملکرد روغن هم بیش از تیمارهای دیگر بود. تولید بیش‌تر روغن در تیمار آبیاری کامل به دلیل بالا بودن عملکرد دانه توسط Hamzei *et al.* (2017) نیز گزارش شده است. به گزارش قلی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۱) با کاهش فواصل آبیاری عملکرد روغن در گیاه آفتابگردان افزایش معنی‌دار پیدا کرد. این امر به دلیل افزایش درصد روغن دانه و عملکرد دانه در اثر عدم وجود تنش خشکی بود.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که کمبود آب تأثیر منفی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه آفتابگردان داشت. آبیاری تکمیلی در مرحله گل‌دهی و پرشدن دانه، تعداد دانه در طبق و وزن هزاردانه را افزایش داد. با توجه به تأثیرپذیری عملکرد دانه از این دو صفت، عملکرد دانه هم در این تیمار بیش از تیمارهای دیگر بود. در این تیمار وزن خشک بوته، شاخص برداشت، درصد روغن و عملکرد روغن نیز بیش از تیمارهای دیگر بود. مصرف مقدار بیش‌تری از نیتروژن در زمان کاشت شرایط را برای افزایش تعداد ردیف در طبق و وزن خشک بوته فراهم کرد، اما مصرف بیش‌تر نیتروژن قبل از گل‌دهی تعداد دانه در ردیف، تعداد دانه در طبق، وزن هزاردانه، شاخص برداشت و عملکرد دانه را افزایش داد. در مجموع، برای به‌دست‌آوردن عملکرد بیش‌تر آفتابگردان لازم است آبیاری در دو مرحله یعنی قبل از گل‌دهی و پرشدن دانه انجام شود تا با افزایش عوامل مؤثر بر عملکرد یعنی تعداد دانه در طبق و وزن دانه، محصول بیش‌تری حاصل شود. لازم است نیتروژن کم‌تری در زمان کاشت و میزان بیش‌تری از این عنصر پرمصرف در مرحله قبل از گل‌دهی مصرف شود تا حداکثر عملکرد به‌دست آید.

۷. تشکر و قدردانی

هزینه اجرای این آزمایش از محل اعتبار پژوهشی دانشگاه گنبدکاووس تأمین شده است که بدین‌وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- ابراهیمی، حسین و حسن‌پور درویشی، حسین (۱۳۹۴). رابطه بین عملکرد ذرت با مصرف آب (نیاز آبی محاسباتی و کمبود رطوبت خاک). *مجله آبیاری و زهکشی ایران*. ۹ (۴)، ۶۱۳-۶۰۵.
- امیدی اردلی، غلامعلی و بحرانی، محمدجعفر (۱۳۹۰). تأثیر تنش خشکی، مقادیر و زمان‌های کاربرد نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان در مراحل مختلف رشد. *مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*. ۱۵ (۵۵)، ۱۹۹-۲۰۷.
- بناری، عباس؛ موسوی نیک، محسن؛ بهدانی، محمدعلی و بشارتی، حسین (۱۳۹۲). تأثیر مقادیر کود آلی گوگرد و تقسیط نیتروژن بر عملکرد و اجزاء آن در آفتابگردان. *نشریه تولید گیاهان زراعی*. ۶ (۳)، ۱-۱۵.
- بنی‌عباس‌شهری، زهره؛ زمانی، غلامرضا و سیاری زهان، محمد حسن (۱۳۹۱). اثر تنش خشکی و محلول‌پاشی سولفات روی بر عملکرد و اجزای عملکرد آفتابگردان (*Helianthus annuus L.*). *نشریه تنش‌های محیطی در علوم زراعی*. ۴ (۲)، ۱۷۲-۱۶۵.
- حقیقی، زهره و مدنی، احد (۱۳۹۴). بررسی تأثیر سطوح آبیاری و نحوه تقسیط نیتروژن بر عملکرد و اجزای عملکرد رقم ایروفلور آفتابگردان. *فصلنامه پژوهش‌های زراعی در حاشیه کویر*. ۱۲ (۳)، ۱۷۵-۱۸۲.
- حیدری، مصطفی و کرمی، وحید (۱۳۹۲). بررسی تنش آبی و گونه‌های مختلف میکوریزا بر عملکرد دانه، اجزای عملکرد، محتوای کلروفیل و اجزای بیوشیمیایی آفتابگردان. *تنش‌های محیطی در علوم زراعی*. ۶ (۱)، ۱۷-۲۶.
- صداقت، مژده؛ رزمجو، جمشید و امام، یحیی (۱۳۹۱). اثر میزان و زمان تقسیط کود نیتروژن در مراحل مختلف رشد بر عملکرد جزای و عملکرد آفتابگردان. *مجله تولید و فرآوری محصولات زراعی و باغی*. ۲ (۳)، ۲۱-۳۰.
- فولادوند، موسی و یدوی، علیرضا (۱۳۹۴). اثر تراکم کاشت، مقدار و تقسیط کود نیتروژن بر خصوصیات کیفی و کارایی استفاده از نیتروژن گلرنگ (*Carthamus tinctorius L.*) در رقابت با علف‌های هرز. *نشریه پژوهش‌های زراعی ایران*. ۱۳ (۲)، ۳۶۸-۳۵۸.
- نوریانی، حسن (۱۳۹۹). واکنش عملکرد کمی و کیفی و ترکیب اسیدهای چرب سه رقم آفتابگردان به مقادیر مختلف کود نیتروژن. *مجله به‌زراعی کشاورزی*. ۲۲ (۲)، ۲۶۸-۲۵۷.
- قلی‌نژاد، اسماعیل؛ آیین‌بند، امیر؛ حسن‌زاده قورت‌تپه، عبدالله؛ نورمحمدی، قربان و برنوسی، ایرج (۱۳۹۱). بررسی تأثیر تنش خشکی بر عملکرد، سرعت و دوره مؤثر پرشدن دانه در آفتابگردان رقم ایروفلور در مقادیر متفاوت نیتروژن و تراکم بوته در ارومیه، *نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار*. ۲۲ (۲)، ۱۲۹.

References

- Ali, M. D. H., & Shui, L. T. (2009). Potential evapotranspiration model for muda irrigation project, Malaysia. *Water Resources Management*, 23(1), 57-69.
- Baniabbass Shahri, Z., Zamani, G. R., & Sayyari Zahan, M. H. (2012). Effect of drought stress and zinc sulfate foliar application on yield and yield components of sunflower (*Helianthus annuus L.*). *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, 4(2), 165-172. (In Persian).
- Bonari, A., Mousavi Nic, M., Behdani, M. A., & Besharati, H. (2013). Effect of sulphur fertilizer and nitrogen split application on yield and its components of sunflower (*Helianthus annuus L.*). *Journal of Crop Production*, 6(3), 1-15. (In Persian).
- Chantal, K, Ongor, B. T., Bandushubwenge, D., Ndiokubwayo Soter, N., & Shabani Felix, S.

- (2018). Effects of different nitrogen fertilizer levels on sunflower growth and yield attributes. *Pakistan Journal of Nutrition*, 17(11), 557 - 562.
- Danesh Shahraki, A., Kashani, A., Mesgarbashi, M., Nabipour, M., & Koohi-Dehkordi, M. (2009). The effect of plant densities and time of nitrogen application on some agronomic characteristic of rapeseed. *Pajouhesh & Sazandegi*, 21(2), 10-17. (In Persian).
- Ebrahimi, H., & Hasanpour darvishi, H. (2015). The relationship between corn yield and water consumption (computational water demand and lack of soil moisture). *Iranian Journal of Irrigation and drainage*, 4(9), 605-613. (In Persian).
- Fuladvand, M., & Yadavi, A. (2015). Effect of plant density, rate and split application of nitrogen fertilizer on quality characteristics and nitrogen use efficiency of safflower under weed competition. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 13(2), 358-368. (In Persian).
- Gholinezhad, E., Aynaband, A., Hassanzade Ghorthapeh, A., Noormohamadi, G., & Bernousi, I. (2012). Effects of drought stress, nitrogen amounts and plant densities on grain yield, rapidity and period of grain filing in sunflower. *Journal of Agricultural science and Sustainable Production*, 22(1), 129-143. (In Persian).
- Haghighi, Z., & Madani, A. (2015). The effect of irrigation regimes and pattern of nitrogen topdressing on yield and yield components of sunflower. *Agronomic Research in Semi Desert Regions*, 12(3), 175-182. (In Persian).
- Hamzei, J., Nejafi, H., & Babaei, M. (2017). Effect of irrigation and nitrogen on agronomic parameters, yield, grain quality and agronomic nitrogen use efficiency of sunflower (*Helianthus annuus* L.). *Iranian Journal of Field Crops Research*, 14(4), 686-698. (In Persian).
- Heidari, M., & Karami, V. (2013). Effects of water stress and different mycorrhiza species on grain yield, yield components, chlorophyll content and biochemical components of sunflower. *Journal of Environmental Stresses in Crop Sciences*, 6(1), 17-26. (In Persian).
- Hussain, M., Farooq, S., Hasan, W., Ul-Allah, S., Tanveer, M., Farooq, M., & Nawaz, A. (2018). Drought stress in sunflower: Physiological effects and its management through breeding and agronomic alternatives. *Agricultural Water Management*, 201, 152-166.
- Kiani, M., Gheysari, M., Mostafazadeh-Fard, B., Majidi, M., Karchani, K., & Hoogenboom, G. (2016). Effect of the interaction of water and nitrogen on sunflower under drip irrigation in an arid region. *Agricultural Water management*, 171, 162-172.
- Munir, M.A., Malik, M.A., & Yaseen, M. (2007). Performance of sunflower in response to nitrogen management at different stages. *Pakistan Journal of Agricultural Science*, 44(1), 123-129.
- Nasim Jatoi, W., Ahmad, A., Hammad, M. H., Chaudhary, H. J., & Hussain Munis, M. F. (2012). Effect of nirtogen on growth and yield of sunflower under semi-arid conditions of Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 44(2), 639-648.
- Nouriyani, H. (2020). The reaction of quantitative and qualitative yield and fatty acids composition of three sunflower cultivars to different nitrogen fertilizer levels. *Journal of Crop Improvement*, 22(1), 1-12. (In Persian).
- Omid Ardali, Gh., & Bahrani, M. J. (2011). Effects of water stress, nitrogen levels and application times on yield and yield components of sunflower at different growth stages. *Journal of Water and Soil Science*, 15(55), 199-207. (In Persian).
- Ozer, H., Polat, T., & Ozturk, E. (2004). Response of irrigated sunflower (*Helianthus annuus* L.) hybrids to nitrogen fertilization: growth, yield and yield components. *Plant, Soil & Environment*, 50(5), 205-211.
- Sedaghat, M., Razmjo, J., & Emam, Y. (2013). Effect of N-fertilizer rates and timing on grain yield and components of sunflower. *Journal of Crop production and processing*, 2(6), 21-31. (In Persian).



Effect of Biochar and Biosulfur on grain yield and some ecophysiological traits of rapeseed (*Brassica napus* L.) under drought stress conditions in winter planting

Mohsen Karimi Movahedi¹ | Gholam Abbas Akbari^{2✉} | Gholam Ali Akbari² |
Fatemeh Benakashani³ | Mohammad Reza Ardakani⁴

1. Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran. E-mail: karimi7086@ut.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran. E-mail: ghakbari@ut.ac.ir
3. Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran. E-mail: gakbari@ut.ac.ir
4. Department of Agronomy and Plant Breeding Sciences, Aburaihan Campus, University of Tehran, Pakdasht, Iran. E-mail: benakashani@ut.ac.ir
5. Department of Agronomy, Islamic Azad University, Karaj Branch, Karaj, Iran. E-mail: mreza.ardakani@kiau.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 18 February 2022
Received in revised form
23 November 2022
Accepted 12 December 2022
Published online
20 September 2023

Keywords:

Biofertilizers
Rapeseed
Soil amendment
Sulfur
Thiobacillus

ABSTRACT

Objective: Environmental stress, especially drought stress, is one of the most important factors that reduce the growth and development of oil plants such as rapeseed in arid and semi-arid regions. The purpose of this research is to investigate the effect of biochar and biosulfur on seed yield and some ecophysiological traits of rapeseed under drought stress conditions in winter cultivation.

Methods: This research was carried out in form of a factorial split-plot with randomized complete block design having three replications in 2019 in Karaj. In this experiment, irrigation treatment witnessed three levels of 30%, 60%, and 100% of crop capacity as main plots, while biochar treatment saw three levels of no application and application of three and six tons per hectare and biosulfur treatment, two levels of application and non-application as plots. Subsidiaries were considered.

Results: It was found that drought stress had a significant effect on the seed and oil yield of rapeseed. Thus, the amount of these traits in drought stress showed a decrease of 50% and 52%, respectively, compared to the control. Also, the use of six tons per hectare of biochar had increased by 49% and 36% in terms of its number of pods per plant and the number of seeds per pod. Also, the interaction effect of biosulfur application and the use of six tons of biochar had the greatest effect on the traits of the number of pods per plant and harvest index.

Conclusion: The results showed that the use of biofertilizers can be used as a suitable method to increase the yield of rapeseed. Increasing oil percentage and grain yield will ultimately increase the field and economic yield (oil) of the rapeseed plant.

Cite this article: Karimi Movahedi, M., Akbari, Gh. A., Akbari, Gh. A., Benakashani, F., & Ardakani, M. R. (2023). Effect of Biochar and Biosulfur on grain yield and some ecophysiological traits of rapeseed (*Brassica napus* L.) under drought stress conditions in winter planting. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 533-542.
DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.339343.2684>



تأثیر بیوچار و بیوسولفور بر عملکرد دانه و برخی صفات اکوفیزیولوژیک کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط تنش خشکی در کشت زمستانه

محسن کریمی موحدی^۱ | غلامعباس اکبری^۲ | غلامعلی اکبری^۳ | فاطمه بناکاشانی^۳ | محمدرضا اردکانی^۴

۱. گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران. رایانامه: karimi7086@ut.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران. رایانامه: ghakbari@ut.ac.ir

۳. گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران. رایانامه: gakbari@ut.ac.ir

۴. گروه زراعت و اصلاح نباتات، پردیس ابوریحان دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران. رایانامه: benakashani@ut.ac.ir

۵. گروه زراعت و اصلاح نباتات، واحد کرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران. رایانامه: mreza.ardakani@kia.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

هدف: تنش‌های محیطی به‌ویژه تنش خشکی از مهمترین عوامل کاهش‌دهنده رشد و نمو گیاهان روغنی مانند کلزا در مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشد. هدف از این پژوهش بررسی تأثیر بیوچار و بیوسولفور بر عملکرد دانه و برخی صفات اکوفیزیولوژیک کلزا در شرایط تنش خشکی در کشت زمستانه می‌باشد.

روش پژوهش: این پژوهش به‌صورت کرت خردشده- فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال ۱۳۹۸ در کرج اجرا گردید. در این آزمایش تیمار آبیاری در سه سطح ۳۰، ۶۰ و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی به‌عنوان کرت‌های اصلی و تیمار بیوچار در سه سطح عدم کاربرد و کاربرد سه و شش تن در هکتار و تیمار بیوسولفور در دو سطح کاربرد و عدم کاربرد به‌عنوان کرت‌های فرعی در نظر گرفته شدند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۹

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۹/۲۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

یافته‌ها: مشخص شد که تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد دانه و روغن گیاه کلزا دارد، به‌طوری‌که میزان این صفات در تنش شدید نسبت به شاهد به‌ترتیب ۵۰ و ۵۲ درصد کاهش را نشان می‌دهد. همچنین استفاده از شش تن در هکتار بیوچار موجب افزایش ۴۹ و ۳۶ درصدی در تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین شده است. همچنین اثر متقابل کاربرد بیوسولفور و استفاده از شش تن بیوچار بیش‌ترین تأثیر را بر صفات تعداد خورجین در بوته و شاخص برداشت داشت.

نتیجه‌گیری: نتایج در مجموع نشان داد که کاربرد کودهای زیستی می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب برای افزایش عملکرد گیاه کلزا به‌کار برده شود، به‌طوری‌که افزایش درصد روغن و عملکرد دانه در نهایت موجب افزایش عملکرد مزرعه‌ای و اقتصادی (روغن) گیاه کلزا می‌گردد.

کلیدواژه‌ها:

اصلاح‌کننده‌های خاک

تیوباسیلوس

عملکرد کلزا

کودهای زیستی

گوگرد

استناد: کریمی موحدی، محسن؛ اکبری، غلامعباس؛ اکبری، غلامعلی؛ بناکاشانی، فاطمه؛ و اردکانی، محمدرضا (۱۴۰۲). تأثیر بیوچار و بیوسولفور بر عملکرد دانه و برخی صفات اکوفیزیولوژیک کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط تنش خشکی در کشت زمستانه. *بزرگای کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۵۳۳-۵۴۲.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.339343.2684>



۱. مقدمه

یکی از مهم‌ترین دانه‌های روغنی و سومین گیاه روغنی در جهان کلزا می‌باشد (Tan *et al.*, 2017). هم‌چنین کلزا یک منبع مهم پروتئین گیاهی در جهان محسوب می‌شود (Xia *et al.*, 2016). تنش خشکی یکی از مهم‌ترین عوامل محدودکننده تولید محصول کشاورزی در جهان می‌باشد که بر جنبه‌های مختلف رشد گیاه تأثیر گذاشته و موجب کاهش و به تأخیر انداختن جوانه‌زنی، کاهش رشد اندام‌های هوایی و کاهش تولید ماده خشک می‌گردد (Munns, 2002).

بیوجار، محصول جامد حاصل پیرولیز زیست‌توده می‌باشد (پیرولیز^۱ فرایندی ترموشیمیایی است که طی آن مواد آلی در اثر تجزیه می‌شوند) که به‌تازگی به‌خاطر خواص فیزیکی و شیمیایی منحصر به فردش برای حفاظت از محیط زیست و کاربردهای کشاورزی مورد توجه قرار گرفته است (Chan & Xu, 2009). در واقع بیوجار نوعی زغال تهیه‌شده از زیست‌توده‌های گیاهی و ضایعات کشاورزی است که سوختن آن‌ها در حضور مقادیر کم اکسیژن و یا عدم حضور آن انجام می‌شود (Abd El-Mageed, 2021). بیوجار ضمن بهبود خصوصیات شیمیایی و فیزیکی خاک‌ها دارای دامنه‌ای از شکل‌های عناصر غذایی بوده که با سرعت‌های متفاوتی آزاد شده و تأثیرات متفاوتی را بر حاصلخیزی خاک تخلخل و توزیع اندازه منافذ خاک، فضایی را برای حفظ مواد مغذی ایجاد می‌کند (Mukherjee, 2013).

تنش خشکی در ایران از مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد فیزیولوژیک و تغذیه‌ای گیاهان بوده و منجر به کاهش زیست‌توده و عملکرد می‌گردد (Ihuoma & Madramootoo, 2017). از طرفی اضافه کردن بیوجار به خاک با توجه به نقشی که کربن در فرایندهای شیمیایی، زیستی و فیزیکی خاک ایفا می‌کند می‌تواند مهم باشد (Berek *et al.*, 2011). در واقع بیوجار با توجه به ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی ویژه مانند تخلخل و سطح ویژه زیاد، مقاومت زیاد در برابر تجزیه زیستی، غنی بودن از عناصر و مواد قابل جذب، ظرفیت تبادل کاتیونی زیاد و داشتن ظرفیت نگهداری آب زیاد نقش مهمی در ویژگی‌های فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک دارد (Lehmann & Joseph, 2009).

از جمله عناصر مورد نیاز گیاهان گوگرد می‌باشد که به دلیل افزایش کاربرد کودهای بدون گوگرد و نیاز بالای گیاهان، کمبود این عنصر در خاک‌های زراعی جهان رو به افزایش است (Hawkesford & Dekok, 2007). یکی از این عناصر غذایی گوگرد می‌باشد که عنصری حیاتی برای تغذیه گیاهان روغنی به‌شمار می‌رود. نقش گوگرد در گیاهان در ساخت پروتئین، روغن و بهبود کیفیت محصولات می‌باشد (Scherer, 2001). هم‌چنین باکتری‌های جنس تیوباسیلوس با اکسید کردن گوگرد ضمن تأمین سولفات مورد نیاز گیاه با کاهش pH خاک به‌طور غیرمستقیم در اطراف ریشه‌ها، باعث افزایش جذب عناصری چون فسفر، روی، آهن و دیگر عناصر غذایی کم مصرف شده و موجب افزایش کمی و کیفی محصول می‌شوند (Ouyang *et al.*, 2014). هم‌چنین کاربرد گوگرد به‌همراه تیوباسیلوس به‌وسیله بسیاری از پژوهش‌گران بررسی شده و بیش‌تر آن‌ها به این نتیجه رسیده‌اند که باکتری‌های جنس تیوباسیلوس با اکسید کردن گوگرد و کاهش pH خاک، افزایش حلالیت عناصر غذایی و رشد گیاه را به‌همراه داشتند (Abdou *et al.*, 2010; Fallah *et al.*, 2011).

لذا با توجه به قرار گرفتن ایران در یک منطقه خشک و نیمه‌خشک و هم‌چنین کاهش شدید انواع بارندگی‌ها و نیز افت سطح آب‌های زیرزمینی، هرگونه کاهش میزان مصرف آب در بخش کشاورزی می‌تواند بسیار مهم و دارای اهمیت باشد. بنابراین هدف از اجرای این پژوهش بررسی تأثیر بیوجار، گوگرد و تیوباسیلوس بر عملکرد دانه، میزان روغن و برخی صفات اکوفیزیولوژیک کلزا در شرایط تنش خشکی می‌باشد.

۱. Pyrolysis

۲. پیشینه پژوهش

مطالعات زیادی در زمینه تنش خشکی در کلزا صورت گرفته که شماری از ویژگی‌های فیزیولوژیک و مورفولوژیک مؤثر در تحمل به تنش خشکی گزارش شده است (Qifuma et al., 2006). از جمله اثرات منفی تنش خشکی، اختلال در تغذیه معدنی گیاهان است که به طریق زیر ممکن است باعث این عارضه شود؛ تغییر در جذب یون‌ها توسط ریشه، کاهش انتقال یون‌ها از خاک به ریشه، کاهش توانایی انتقال مواد معدنی در داخل گیاه، کمبود یا تجمع یون‌هایی که ممکن است در متابولیسم اختلال ایجاد کرده یا پاسخ‌های سازش را القا نمایند (Chaudhry et al., 1999). در پژوهش دیگری، نیز همبستگی مثبت و معنی‌داری بین صفات وزن هزاردانه، تعداد خورجین در بوته، تعداد شاخه فرعی، ارتفاع گیاه و میزان روغن دانه با عملکرد دانه گزارش شده است (Zhang et al., 2011).

تاکنون فواید مصرف بیوچار بر روی گیاهان زراعی زیادی انجام شده است. پژوهش‌گران با کاربرد بیوچار حاصل از کودهای دامی، کاهش چشم‌گیری در آبشویی عناصر غذایی مانند نیتروژن، فسفر، منیزیم و سیلیس را در خاک‌های زراعی مورد آزمایش مشاهده کردند (Laird et al., 2010). سایر پژوهش‌گران نیز در آزمایش‌های خود به تأثیر بیش‌تر تیمارهای حاوی ترکیب کود شیمیایی و بیوچار نسبت به تیمارهای حاوی کود شیمیایی بدون کاربرد بیوچار اشاره کرده و دلیل این امر را جلوگیری از آبشویی عناصر غذایی در تیمارهای حاوی بیوچار عنوان کردند (Chaudhry et al., 2016). در بیش‌تر محصولات کشاورزی نسبت نیتروژن به گوگرد در محدوده ۱۵-۱۰ و در دانه‌های روغنی این نسبت برای دستیابی به افزایش عملکرد و بهبود کیفیت، باید کم‌تر از ۱۰ باشد (McGrath & Zhao, 1996). در پژوهشی دیگر، مشاهده شده است که مصرف گوگرد به‌همراه تیوباسیلوس سبب افزایش عملکرد کلزا و نیز حلالیت فسفر، آهن و روی در خاک‌های آهکی شده است (Sakari et al., 2012).

۳. روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش در مزرعه تحقیقاتی پردیس کشاورزی دانشگاه تهران در منطقه کرج، با موقعیت طول جغرافیایی ۷۵ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۵۹ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۰۲۵ متر از سطح دریا در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ اجرا گردید. براساس اطلاعات هواشناسی، منطقه کرج دارای اقلیم معتدل سرد و نیمه‌خشک با متوسط بارندگی سالیانه ۲۴۴ میلی‌متر می‌باشد. بافت خاک مزرعه آزمایشی، لومی رسی بوده و مشخصات خاک محل آزمایش در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد آزمایش

بافت خاک (کلاس)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	رس (درصد)	ماده آلی نیتروژن کل (درصد)	فسفر قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم قابل جذب (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته
لومی - رسی	۴۰	۲۸	۳۲	۰/۶۴	۰/۰۸	۹/۳۷	۱۴۵	۲/۴۹
								۸/۴

این آزمایش به‌صورت کرت خردشده- فاکتوریل با ۱۸ تیمار و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش تیمار آبیاری در سه سطح (۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه شاهد)، ۶۰ درصد ظرفیت زراعی تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه و ۳۰ درصد ظرفیت زراعی تخلیه رطوبت از عمق توسعه ریشه، تیمار کود بیوچار در سه سطح شاهد (عدم کاربرد) و کاربرد سه و شش تن در هکتار و در نهایت تیمار گوگرد+ باکتری تیوباسیلوس در دو سطح کاربرد و عدم کاربرد اعمال گردیدند. تیمارهای آبیاری به کرت‌های اصلی و

تیمارهای تغذیه‌ای به کرت‌های فرعی کوچک اختصاص یافتند. در مجموع ۵۴ کرت آزمایشی وجود داشت و هر کرت آزمایشی شامل شش خط به طول پنج متر، فاصله خطوط ۳۰ سانتی‌متر و دو خط کناری نیز به‌عنوان حاشیه در نظر گرفته شدند.

قبل از انجام عملیات آماده‌سازی زمین و کاشت، نمونه‌برداری از خاک مزرعه در عمق ۵۰ سانتی‌متری صورت گرفت و درصد ماده آلی، نیتروژن کل، فسفر، پتاسیم و همچنین EC و pH و نوع بافت خاک تعیین شدند (جدول ۱). عملیات کوددهی براساس نتایج آزمایش خاک و توصیه کودی کلزا انجام شد. بر همین اساس میزان ۱۱ کیلوگرم در هکتار نیتروژن خالص و ۷۱ کیلوگرم P_2O_5 و مقدار ۶۱ کیلوگرم K_2O در هکتار از دو منبع کودی اوره و فسفات آمونیوم قبل از کاشت به کار برده شد.

بعد از آماده‌سازی زمین، بذر کلزای رقم هایولا ۳۰۸ از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر تهیه و در اواخر بهمن‌ماه ۱۳۹۸ با دست کاشته شدند. زمان اعمال تیمارهای تنش از شروع ساقه‌دهی و برنامه زمان‌بندی آبیاری نیز براساس درصد تخلیه آب خاک در منطقه ریشه بود. آبیاری به‌صورت سبک هر سه روز تا زمان استقرار کامل بوته‌ها تا تاریخ ۱۵ اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۸ و بعد از آن براساس دوره‌های آبیاری و جدول زمانی تعریف‌شده صورت گرفت. بیوجار موردنیاز نیز از شرکت صنعت کربن فعال بشل واقع در شمال کشور تأمین شد که مشخصات بیوجار استفاده‌شده در جدول (۲) آورده شده است. همچنین گوگرد مورد آزمایش به میزان ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار و میزان باکتری موردنیاز شش کیلوگرم در هکتار استفاده گردید. طریقه اعمال تیمار بیوجار و گوگرد و تیوباسیلوس در عمق ۱۰ الی ۱۵ سانتی‌متری، به‌صورت نواری در کنار نوار تیپ بود.

جدول ۲. مشخصات بیوجار مورد استفاده در آزمایش

عدد پدی (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	مساحت سطح (مترمربع بر گرم)	عدد متین بلو (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	میزان رطوبت (درصد)	اسیدیته	خاکستر (درصد)	دانه بندی (میلی‌متر)
۱۱۰۰ الی ۹۵۰	۱۱۰۰ الی ۹۵۰	۱۰۰ الی ۴۰۰	۶	۵/۸	۴ الی ۵	۱ الی ۳

تنک‌کردن گیاهچه‌های اضافی در مرحله چهار تا هشت برگی و همچنین مبارزه با علف‌های هرز به‌صورت وجین دستی در سه مرحله دو تا سه برگی، چهار تا شش برگی و شروع رشد ساقه صورت گرفت. مبارزه با آفات نیز با ترکیب سموم دیازینون و کنفیدور در دو مرحله شروع ساقه‌دهی و طولیل‌شدن ساقه صورت پذیرفت. زمان برداشت، قهوه‌ای‌شدن ۸۵ الی ۹۰ درصد دانه‌ها در خورجین‌های اصلی بود (رطوبت دانه‌ها در حدود ۱۲ درصد). با نزدیک‌شدن بوته‌های کلزا به مرحله رسیدگی فیزیولوژیک (زردشدن ۷۰ الی ۸۰ درصد خورجین‌ها)، ۶۱ بوته از هر کرت به‌طور تصادفی انتخاب و صفاتی مانند عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه، شاخص برداشت و درصد پروتئین دانه، درصد روغن، عملکرد روغن، شاخص سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ و قند کل محلول مورد ارزیابی قرار گرفت.

۴. یافته‌های پژوهشی

براساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها اثر تنش خشکی، بیوجار و گوگرد و تیوباسیلوس بر صفات عملکرد دانه، ارتفاع بوته، تعداد خورجین در بوته، تعداد دانه در خورجین، وزن هزاردانه، شاخص برداشت و درصد پروتئین دانه تأثیر معنی داشتند (جدول ۳). براساس جدول مقایسه میانگین داده‌ها با افزایش سطوح تنش خشکی، عملکرد دانه از ۳۱۷۳/۲ کیلوگرم در تیمار شاهد به ۱۶۵۴ کیلوگرم در هکتار در تنش شدید رسیده است. همچنین بالاترین عملکرد دانه مربوط به استفاده

شش تن در هکتار بیوچار می‌باشد که شاهد افزایش درصدی نسبت به تیمار سه تن و شاهد می‌باشیم و در خصوص کاربرد ترکیب گوگرد و تیوباسیلوس نیز افزایش عملکرد درصدی مشاهده می‌گردد. کاربرد بیوسولفور و شش تن بیوچار در هکتار اثر تنش بر ارتفاع بوته را تعدیل نموده به طوری که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای تنش دیده نشد. کم‌ترین تعداد خورجین در بوته و تعداد دانه در خورجین به ترتیب با مقدار ۹۱/۸۸ و ۱۲ عدد در تیمار تنش شدید مشاهده شد. بیش‌ترین وزن هزاردانه و درصد پروتئین دانه در تیمار مصرف شش تن بیوچار در هکتار و کاربرد بیوسولفور دیده شد از طرفی بالاترین میزان شاخص برداشت با ۳۴/۰۶ درصد نیز در تیمار مصرف شش تن بیوچار در هکتار مشاهده گردید (جدول ۴). همچنین اثر متقابل کاربرد بیوسولفور و بیوچار تأثیر معنی‌دار بر صفت تعداد خورجین در بوته کلزا داشت، به طوری که بالاترین مقدار این صفت در کاربرد بیوسولفور و استفاده از شش تن بیوچار در هکتار دیده شد (شکل ۱).

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیک و کیفی کلزا

منبع تغییرات	درجه آزادی	شاخص برداشت	ارتفاع بوته	عملکرد دانه	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزاردانه	درصد پروتئین دانه
تکرار	۲	۶۵/۳۱*	۶۲/۴۶ _{ns}	۷۱۳۰۳۰/۳*	۹۵۳/۶**	۰/۰۷ _{ns}	۱/۱۹**	۶/۳۰ _{ns}
تنش خشکی	۲	۷۹/۰۵**	۳۱۸/۵۷*	۱۰۴۵۸۱۶۰/۶**	۲۱۸۴۷/۸**	۱۶/۹۶*	۰/۴۹ _{ns}	۸/۲۵ _{ns}
خطای اصلی	۴	۹۷/۲۵	۱۳۷/۱۰	۷۱۴۸۹۹/۹	۳۵۸/۷	۵/۰۷	۰/۳۱	۳/۵۳
بیوچار	۲	۱۱۹۳/۶۹**	۱۰۱۲/۰۱**	۱۲۹۹۰۱۰۲/۲**	۱۱۵۴۱/۲**	۸۲/۳۵**	۴/۶۳**	۱۹/۵۶*
گوگرد و تیوباسیلوس	۱	۲۵۰/۰۴**	۲۰/۱۶ _{ns}	۱۴۰۶۵۰۴/۷**	۶۰۶/۸ _{ns}	۴۶/۲۹**	۱/۵۴**	۲/۰۴ _{ns}
تنش خشکی × بیوچار	۴	۳۰/۰۴۶ _{ns}	۱۳/۵۷ _{ns}	۲۲۳۱۵۸/۴ _{ns}	۲۹۲/۴ _{ns}	۲/۹۳ _{ns}	۰/۲۶ _{ns}	۲/۲۱ _{ns}
تنش خشکی × گوگرد و تیوباسیلوس	۲	۱۴/۸۸ _{ns}	۷۹/۰۵ _{ns}	۳۵۴۸۳/۷ _{ns}	۱۳۴/۸ _{ns}	۳/۶۲ _{ns}	۰/۰۹ _{ns}	۰/۲۱ _{ns}
بیوچار × گوگرد و تیوباسیلوس	۲	۶/۴۰*	۱۱۵/۳۸ _{ns}	۶۱۲۳۵/۴ _{ns}	۸۶۷/۹**	۰/۱۲ _{ns}	۰/۳۴ _{ns}	۳/۶۲ _{ns}
تنش خشکی × بیوچار × گوگرد و تیوباسیلوس	۴	۳۵/۸۲ _{ns}	۱۹/۲۷ _{ns}	۲۰۵۵۲/۹ _{ns}	۳۵۸/۲ _{ns}	۱/۲۱ _{ns}	۰/۱۹ _{ns}	۳/۵۴ _{ns}
خطای فرعی	۳۰	۱۵/۷۸	۱۰/۱۸۴	۱۶۲۶۳۳	۱۶۳/۳	۳/۶۷	۰/۱۸	۳/۷۳
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۵/۸۸	۱۰/۶۶	۱۶/۴۵	۹/۸۶	۱۴/۶۶	۱۷/۴۴	۹/۸۸

* و ** به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و NS به معنای غیرمعنی‌دار می‌باشد.

جدول ۴. اثرات ساده تنش خشکی و کاربرد بیوچار و بیوسولفور بر برخی صفات کلزا

تیمارها	سطوح	شاخص برداشت (درصد)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	عملکرد دانه (کیلوگرم در هکتار)	تعداد خورجین در بوته	تعداد دانه در خورجین	وزن هزاردانه (گرم)	پروتئین دانه (درصد)
شاهد	۳۱/۲۳ _a	۹۹/۲۲۲ _a	۳۱۷۳/۲ _a	۱۶۰/۶۶ _a	۱۳/۸۸ _a	۲/۶۷ _a	۲۰/۱۰ _a	
تنش خشکی	۲۵/۳۷ _{ab}	۹۳/۷۷ _a	۲۵۲۳/۹ _a	۱۳۵/۹۴ _b	۱۳/۳۲ _a	۲/۴۵ _a	۱۹/۷۲ _a	
شدید	۱۸/۴۳ _b	۹۰/۹۴۴ _a	۱۶۵۴ _b	۹۱/۸۸ _c	۱۲ _b	۲/۳۵ _a	۱۸/۷۸ _a	
شاهد	۱۸/۲۸ _c	۸۸/۸۳ _b	۱۷۰۳/۷ _c	۱۰۴/۷۲ _c	۱۰/۹۴ _c	۲/۱۵ _b	۱۸/۸۱ _b	
بیوچار	۲۲/۶۹ _b	۹۲ _b	۲۲۷۲/۴ _b	۱۲۸/۴۴ _b	۱۳/۰۵ _b	۲/۲۵ _b	۱۹/۰۷ _b	
تن ۳	۳۴/۰۶ _a	۱۰۳/۱۱ _a	۳۳۷۴/۸ _a	۱۵۵/۳۳ _a	۱۵/۲۲ _a	۳/۰۸ _a	۲۰/۷۳ _a	
بیوسولفور	۲۲/۸۶ _b	۹۴/۰۳ _a	۲۲۸۹ _b	۱۳۲/۸۵ _a	۱۲/۱۴ _b	۲/۲۳ _b	۱۹/۳۴ _a	
کاربرد	۲۷/۱۶ _a	۹۵/۲۵ _a	۲۶۱۱/۸ _a	۱۲۶/۱۴ _a	۱۴ _a	۲/۶۶ _a	۱۹/۷۳ _a	

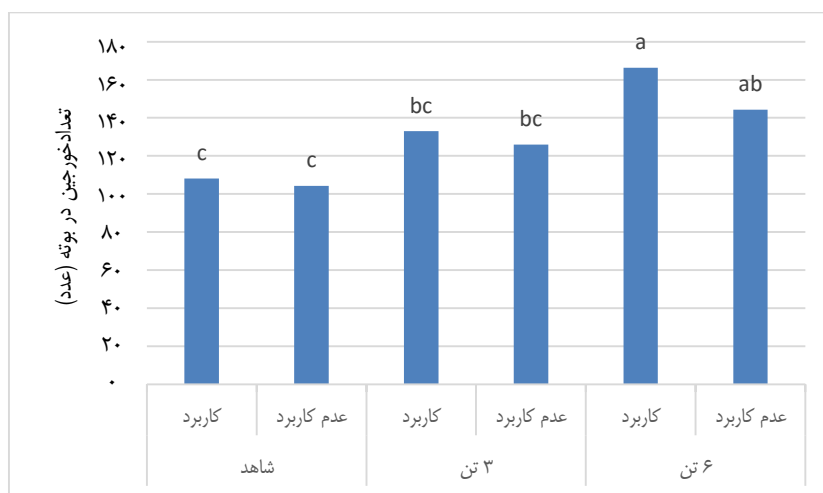
در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

براساس جدول تجزیه واریانس داده‌ها اثر تنش خشکی، بیوچار و گوگرد و تیوباسیلوس بر صفات درصد روغن، عملکرد روغن، شاخص سطح برگ، محتوای نسبی آب برگ و قند کل محلول اثر معنی‌داری داشتند. از طرفی تیمار استفاده از کود بیوچار بر تمامی صفات در سطح یک درصد معنی‌دار بوده که این موضوع می‌تواند اهمیت استفاده از کودهای زیستی در تعدیل شرایط تنش را بیان کند (جدول ۵).

جدول ۵. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) برخی صفات کیفی و فیزیولوژیک کلزا

منبع تغییرات	درجه آزادی	درصد روغن دانه	عملکرد روغن در هکتار	شاخص سطح برگ	محتوای نسبی آب برگ	قند کل محلول
تکرار	۲	*۱۱/۵	ns ۶۹۷۶۵/۷	**۰/۲۲	**۳۹۷/۷	ns ۰/۰۲
تنش خشکی	۲	ns ۵/۳۰	**۱۷۴۷۹۲۳/۱	**۰/۳۱	*۲۶۸/۵	ns ۰/۰۱
خطای اصلی	۴	۱۰/۹۹	۵۷۴۰۶/۹	۰/۱۸	۷۲/۳	۰/۱۲
بیوچار	۲	**۴۴/۰۹	**۲۵۸۵۵۰۳/۶	**۹/۱۸	**۱۳۳۰/۸	**۰/۹۲
گوگرد و تیوباسیلوس	۱	**۴۱/۵۳	**۴۱۶۸۷۴/۱	**۳/۳۸	ns ۶۹/۸	**۰/۲۲
تنش خشکی × بیوچار	۴	**۱۳/۱۷	ns ۳۴۵۳۸/۱	*۰/۰۸	ns ۲۷/۹	ns ۰/۰۲
تنش خشکی × گوگرد و تیوباسیلوس	۲	ns ۳/۷۷	ns ۲۲۹۲۱/۹	ns ۰/۰۷	ns ۴/۸۸	ns ۰/۰۷
بیوچار × گوگرد و تیوباسیلوس	۲	ns ۱/۴۳	ns ۲۹۱۰۸/۸	ns ۰/۰۵	ns ۵۱/۳۰	ns ۰/۰۷
تنش خشکی × بیوچار × گوگرد و تیوباسیلوس	۴	ns ۰/۲۳	ns ۲۷۰۴۶/۷	ns ۰/۱۰	ns ۳۲/۱	ns ۰/۰۸
خطای فرعی	۳۰	۲/۶۷	۲۷۴۹۴/۳	۰/۰۲	۵۲/۴	۰/۰۳
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۲۰	۱۷/۲۳	۷/۲۸	۱۸/۲۳	۲/۱۸

* و ** به ترتیب نشان دهنده معنی داری در سطح احتمال ۵ درصد و ۱ درصد و ns به معنای غیر معنی دار می باشد.



شکل ۱. اثر متقابل کاربرد بیوچار و بیوسولفور بر تعداد خورجین در بوته

بر اساس جدول مقایسه میانگین داده‌ها با افزایش سطوح تنش خشکی، عملکرد روغن، شاخص سطح برگ و محتوای نسبی آب برگ تحت تأثیر قرار گرفتند، به طوری که عملکرد روغن در هکتار از ۱۲۶۰/۶۱ به ۶۳۸/۸۳ کیلوگرم در هکتار رسید و این موضوع به این مفهوم است که عملکرد روغن به عنوان شاخص اقتصادی گیاه کلزا تحت تأثیر تنش شدید تقریباً به نصف کاهش یافته است (جدول ۶). بالاترین درصد روغن در تیمارهای کاربرد بیوسولفور و استفاده از شش تن بیوچار به ترتیب با ۳۹/۷۴ و ۴۰/۶۵ درصد مشاهده شد. از طرفی صفت قند محلول کل تفاوت معنی داری در بین تیمارهای تنش نشان نداد که این موضوع نشان از نقش مهم قندها در تنظیم اسمزی سلول‌ها در شرایط تنش خشکی می‌باشد (جدول ۶). اثر متقابل تنش و بیوچار بر صفت درصد روغن کلزا نشان داد که بالاترین مقدار این صفت در تیمارهای استفاده هم‌زمان از شش تن بیوچار در تنش خفیف و شاهد به دست آمده و این‌طور می‌توان بیان کرد که اثر کود زیستی بیوچار توانسته است اثر تنش خفیف را تعدیل نموده و از کاهش عملکرد درصد روغن در شرایط تنش جلوگیری نماید.

جدول ۶. اثرات ساده تنش خشکی و کاربرد بیوچار و بیوسلفور بر برخی صفات کلزا

تیماها	سطوح	روغن دانه (درصد)	عملکرد روغن (گرم در هکتار)	شاخص سطح برگ	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	قند کل محلول (مترمربع بر گرم)
تنش خشکی	شاهد	۳۹/۸۴ _a	۱۲۶۰/۶۱ _a	۲/۴۵ _a	۴۳/۳۸ _a	۰/۸۶ _a
	خفیف	۳۸/۴۴ _a	۹۸۶/۵۹ _b	۲/۴۱ _a	۳۹/۸۹ _{ab}	۰/۸۶ _a
	شدید	۳۸/۶۹ _a	۶۳۸/۸۳ _c	۲/۲۱ _b	۳۵/۶۷ _b	۰/۸۱ _a
بیوچار	شاهد	۳۷/۷۴ _b	۶۴۰/۴۶ _c	۱/۶۲ _c	۳۱/۵۰ _c	۰/۶۶ _b
	۳ تن	۳۸/۲۱ _b	۸۶۵/۷۰ _b	۲/۴۱ _b	۳۸/۸۲ _b	۰/۷۶ _b
	۶ تن	۴۰/۶۵ _a	۱۳۷۹/۸۷ _a	۳/۰۴ _a	۴۸/۶۳ _a	۱/۱۰ _a
بیوسلفور	عدم کاربرد	۳۷/۹۹ _b	۸۷۴/۱۵ _b	۲/۱۱ _b	۳۸/۵۱ _a	۰/۷۸ _b
	کاربرد	۳۹/۷۴ _a	۱۰۴۹/۸۷ _a	۲/۶۱ _a	۴۰/۷۸ _a	۰/۹۱ _a

در هر ستون و برای هر عامل، میانگین‌هایی که دارای حروف مشابه هستند، براساس آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌داری ندارند.

۵. بحث

نتایج یک آزمایش روی کلزا نشان داد که خشکی در مرحله گلدهی باعث کاهش عملکرد دانه و اجزای آن شد (Hasan *et al.*, 2005). اثر تنش رطوبتی در مراحل زایشی گیاه با نقصان در باروری گل‌ها و انتقال مواد سنتز شده به مقصد (دانه‌ها) همراه است که در گیاه کلزا به صورت ریزش خورجین، کاهش تعداد دانه در خورجین، کاهش وزن هزاردانه و در نهایت کاهش عملکرد دانه در واحد سطح همراه خواهد بود (Dadivar & Khodshenas, 2007). در پژوهشی، اثر هفت سطح بیوچار بر روی محصول گندم مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج نشان داد که کاربرد بیوچار ۲۰-۵ تن در هکتار سبب افزایش محصول دانه گندم به میزان ۲/۹ تا ۱۹/۴ درصد در مقایسه با سطح شاهد گردید (Sun *et al.*, 2019). پژوهش‌گران دیگر نیز به افزایش عملکرد گندم در تیمارهای حاوی بیوچار اشاره کرده و دلیل این امر را نگهداری بهتر آب و عناصر غذایی توسط بیوچار و تغذیه بهتر گیاه عنوان کردند (Gebremedhin *et al.*, 2015). Biederman & Harpole (2013) نیز تأثیر مثبت بیوچار بر عملکرد دانه را گزارش کردند. در آزمایش حاضر نیز استفاده از شش تن بیوچار اثر تنش را تا حد زیادی تعدیل نموده به طوری که در برخی از صفات از جمله قند کل محلول تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای تنش مشاهده نگردید.

گوگرد از جمله از عناصر غذایی مورد نیاز گیاهان است که در ساختمان اسیدهای آمینه، پروتئین، روغن و در نتیجه در بهبود کمیت و کیفیت محصولات کشاورزی دارای اهمیت ویژه‌ای است (Vidyalakshmi *et al.*, 2009). Momen *et al.* (2011) نیز گزارش کردند که افزایش میزان گوگرد سبب افزایش معنی‌دار عملکرد دانه و وزن هزاردانه گندم شد. Borujerdnia *et al.* (2017) گزارش کردند تنش خشکی به طور معنی‌داری باعث کاهش محتوای رطوبت نسبی برگ شد. پژوهش‌ها نشان داده که مقدار رطوبت نسبی برگ در پاسخ به تنش قطع آبیاری کاهش یافت (Ghanbari *et al.*, 2013; Burling *et al.*, 2013). نتایج مطالعه Dehkoda *et al.* (2013) نشان داد که کاهش یا عدم آبیاری باعث کاهش عملکرد دانه و مقدار روغن و در نهایت عملکرد روغن می‌شود. در مقابل، بهبود عملکرد روغن در نتیجه کاربرد تیمارهای کودی، به ویژه تیمار استفاده از کودهای زیستی می‌تواند ناشی از افزایش درصد روغن (نمودار ۳) و عملکرد دانه (جدول ۴) باشد.

تجمع قندهای محلول داخل سلول‌ها در تنظیم اسمزی نقش مهم ایفا نموده و کمک می‌کند تا پتانسیل آب سلول کاهش و آب بیش‌تری برای حفظ تورگر تحت تنش کم‌آبی داخل سلول باقی بماند (Sato, 2004). همان‌طور که ملاحظه شد صفت قند محلول کل تفاوت معنی‌داری در بین تیمارهای تنش نشان نداد که این موضوع نشان از نقش مهم قندها در تنظیم اسمزی سلول‌ها در شرایط تنش خشکی می‌باشد (جدول ۶).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بر اثر تنش خشکی رشد گیاه و توسعه آن کاهش می‌یابد که منجر به اختلال در گلدهی، پرشدن دانه‌ها و در نتیجه عملکرد کم‌تر گیاه می‌شود. نتایج حاصل از این پژوهش نیز حاکی از این بود که وقوع تنش به‌ویژه اعمال تنش شدید به‌دلیل تداوم تنش آبی از اواسط مرحله گلدهی تا پایان فصل رشد با اثر منفی بر عملکرد و اجزای عملکرد کلزا در نهایت سبب کاهش عملکرد دانه شد. تنش خشکی هم‌چنین تأثیر منفی روی اجزای عملکرد و هم‌چنین برخی از صفات فیزیولوژیک گیاه نظیر، محتوای نسبی آب برگ، شاخص سطح برگ، درصد روغن و به‌دنبال آن عملکرد روغن، قند کل محلول کلزا داشت. کاربرد تیمارهای کودی به‌ویژه تیمار استفاده از شش تن بیوچار و کاربرد بیوسولفور با تعدیل شرایط تنش منجر به بهبود صفات مذکور گردید. بنابراین با توجه به نقش مهم کودهای زیستی در بهبود خصوصیات فیزیکی، شیمیایی، زیستی و حاصلخیزی خاک با تأمین سطوح مناسب این مواد در خاک می‌توان در راستای کاهش مصرف نهاده‌های شیمیایی، کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی گام برداشت و این نتیجه می‌تواند تأمین‌کننده بخشی از اهداف کشاورزی پایدار به‌منظور دستیابی به یک عملکرد قابل قبول باشد.

۷. تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از رساله دکتری می‌باشد؛ بدین‌وسیله از اساتید محترم و کارکنان آزمایشگاه گروه زراعت پردیس ابوریحان دانشگاه تهران تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- Abd El-Mageed, T. A., Belal, E. E., Rady, M. O. A., Abd El-Mageed, S. A., Mansour, E., Awad, M. F., & Semida, W. M. (2021). Acidified biochar as a soil amendment to drought stressed (*Vicia faba* L.) plants: influences on growth and productivity, nutrient status, and water use efficiency. *Agronomy*, 11, 2-18.
- Abdou, A., Soaud, A. A., Al-Darwish, F. H., Saleh, M. E., El-Tarabily, K. A., Sofian-Azirun, M., & Motior, R. M. (2011). Effects of elemental sulfur, Phosphorus, micronutrients and *Paracoccus versutus* on nutrient availability of calcareous soils. *Australian Journal of Crop Science*, 5, 554-561.
- Berek, A. K., Hue, N., & Ahmad, A. (2011). Beneficial use of biochar to correct soil acidity. *Food Provider Hanai*, 9, 1-3.
- Biederman, L. A., & Harpole, W. S. (2013). Biochar and its effects on plant productivity and nutrient cycling: a meta-analysis. *GCB bioenergy*, 5, 202-214.
- Boroujerdnia, M., Bihanta, M., AlamiSaid, K., & Abdossi, V. (2016). Effect of drought tension on proline content, soluble carbohydrates, electrolytes leakage and relative water content of bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Crop Physiology Journal*, 29, 41-23.
- Burling, K., Cerovic, Z. G., Cornic, G., Ducruet, M. J., Noga, G., & Hunsche, M. (2013). Fluorescence-based sensing of drought-induced stress in the vegetative phase of four contrasting wheat genotypes. *Environmental and Experimental Botany*, 89, 51-59.
- Gebeyehu, S. (2006). Physiological response to drought stress of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes differing in drought resistance. *Ph.D. thesis*. Giessen: Justus-Liebig university of Giessen, Institute of Plant Nutrition.

- Gebremedhin, G., Bereket, H., Daniel, B., & Tesfaye, B. (2015). Effect of biochar on yield and yield components of wheat and post-harvest soil properties in Tigray, Ethiopia. *Journal of Fertilizers & Pesticides*, 6, 2-5.
- Hawkesford, M. J., & De Kok, L. J. (2007). *Sulfur in plants*. London, England: Springer.
- Ihuoma, S. O., & Madramootoo, C. A. (2017). Recent advances in crop water stress detection. *Computers and Electronics in Agriculture*, 141, 267-275.
- Lehmann, J., & Joseph, S. (2009). *Biochar for environmental management: an introduction. Biochar for environmental management: Science and technology*, London: Earthscan.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell & environment*, 25(2), 239-250. <http://dx.doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x>.
- Mukherjee, A., & Zimmermann, A. R. (2013). Organic carbon and nutrient release from a range of laboratory produced biochars and biochar–soil mixtures. *Geoderma*, 194, 122-130.
- Ouyang, L., Tang, Q., Yu, L., & Zhang, R. (2014). Effects of amendment of different biochars on soil enzyme activities related to carbon mineralisation. *Soil Research*, 52(7), 706-716.
- Sato, F., Yoshioka, H., Fujiwara, T., Higashio, H., Urugami, A., & Tokuda, S. (2004). Physiological responses of cabbage plug seedlings to water stress during low-temperature storage in darkness. *Science Horticulturae*. 101, 349-357.
- Scherer, H. W. (2001). Sulphur in crop production. *European Journal of agronomy*, 14(2), 81-111.
- Sun, H., Shi, W., Zhou, M., Ma, X., & Zhang, H. (2019). Effect of biochar on nitrogen use efficiency, grain yield and amino acid content of wheat cultivated on saline soil. *Plant, Soil and Environment*, 65(2), 83-89.
- Tan, M., Liao, F., Hou, L., Wang, J., Wei, L., Jian, H., & Liu, L. (2017). Genome-wide association analysis of seed germination percentage and germination index in *Brassica napus* L. under salt and drought stresses. *Euphytica*, 213, 1-15.
- Vidyalakshmi, R., Paranthaman, R., & Bhagyaraj, R. (2009). Sulphur oxidizing bacteria and pulse nutrition - a review. *World Journal of Agricultural Sciences*, 5, 270-278.
- Xia, L., Yang, L., Sun, N., Li, J., Fang, Y., & Wang, Y. (2016). Physiological and antioxidant enzyme gene expression analysis reveals the improved tolerance to drought stress of the somatic hybrid offspring of *Brassica napus* and *Sinapis alba* at vegetative stage. *Acta physiologiae plantarum*, 38, 88-102.
- Chan, K. Y., & Xu, Z. H. (2009). Biochar: Nutrient Properties and Their Enhancement. edited by J. Lehmann, & S. Joseph. In *Biochar for Environmental Management: science and technology*. London: Earthscan.



Study of the seed priming effect of different barley (*Hordeum vulgare*) cultivars on various emergence characteristics

Moslem Heydari^{1,2} | Mehrdad Chaichi²

1. Department of Plant Production & Genetics, University of Zanjan, Zanjan, Iran. E-mail: m.heydari4066@znu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Seed and Plant Improvement Research, Hamadan Agriculture and Natural Resources, Research and Education Center, Agriculture Research, Education and Extension Organization, Hamadan, Iran. E-mail: m.chaichi@areeo.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 29 October 2022
Received in revised form 11 June 2023
Accepted 14 June 2023
Published online
20 September 2023

Keywords:

Catalase enzyme
Germination percentage
Germination speed
Peroxidase enzyme
Seedling establishment

ABSTRACT

Objective: Seed priming is the simplest and the best method to increase seed germination speed.

Methods: To address this, in a study aimed at the effect of priming of different barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars on various germination characteristics, in the form of a factorial experiment was conducted using a completely randomized design with four replications in the research greenhouse of the Agricultural and Natural Resources Research Center of Hamadan province in 2022. Treatments including priming of seeds with fertilizers 1. Biozar, 2. Seafull amino zinc, 3. Sabzine, 4. Royesh, 5. Ecobooster, and 6. control (no fertilizer application), and different barley cultivars including Jolgeh, Bahman, Azaran, Abidar, Ghaflan, and Sahand.

Results: The results indicated a significant effect of seed priming on the evaluated characteristics compared to the control treatment. The highest enzyme activities of catalase (0.117 Unit/ml) and peroxidase (85.08 Unit/ml) were obtained in seedlings obtained from seeds priming with Seafull amino zinc, which were 72 and 33% more than control treatments, respectively. The highest seedling vigor index was related to the seeds priming with seafull amino zinc fertilizer (26.55), which was significantly higher than the control treatment (22.84) and other treatments. Also, the germination percentage of seeds priming with seafull amino zinc fertilizer was significantly higher (3.5%) than the control.

Conclusion: Considering that seed priming is a cost-effective and easy method and at the same time it is simple and does not require complex technical knowledge, it can be easily implemented by farmers. Therefore, this method is recommended to improve germination, seedling growth, and the quality and strength of barley seeds.

Cite this article: Heydari, M., & Chaichi, M. (2023). Study of the seed priming effect of different barley (*Hordeum vulgare*) cultivars on various emergence characteristics. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 543-555.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.350550.2754>



مطالعه اثر پیش تیمار بذرهای ارقام مختلف جو (*Hordeum vulgare*) بر شاخص‌های مختلف سبز شدن

مسلم حیدری^۱ | مهرداد چایی‌چی^۲ ✉

۱. گروه تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران. رایانامه: m.heydari4066@znu.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، همدان، ایران. رایانامه: m.chaichi@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: پیش تیمار بذر ساده‌ترین و در عین حال بهترین روش برای افزایش سرعت جوانه‌زنی بذرهاست. روش پژوهش: بر این اساس مطالعه‌ای با هدف تأثیر پیش تیمار بذرهای ارقام مختلف جو (<i>Hordeum vulgare</i> L.) بر شاخص‌های مختلف سبز شدن به صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در چهار تکرار در گلخانه تحقیقاتی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان در سال ۱۴۰۱ اجرا گردید. تیمارها شامل پیش تیمار بذر با کودهای ۱- کود مایع ویژه بذر مال بیوزر، ۲- سیفول آمینو زینک، ۳- سبزینه، ۴- کود بذرمال رویش، ۵- اکوبوستر و ۶- شاهد (عدم کاربرد کود) به عنوان فاکتور اول و ارقام مختلف جو آبی (جلگه، بهمن و آذران) و دیم (آبیدر، قافلان و سهند) به عنوان فاکتور دوم بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۷ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۴ تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹	یافته‌ها: نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار پیش تیمار بذرها بر شاخص‌های مورد ارزیابی در مقایسه با تیمار شاهد بود. بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز (۰/۱۱۷ Unit/ml) و پراکسیداز (۸۵/۰۸ Unit/ml) در گیاهچه‌های حاصل از بذرها پیش تیمار شده با سیفول آمینوزینک به دست آمد که به ترتیب ۷۲ و ۳۳ درصد بیش‌تر از گیاهچه‌های حاصل از بذرها شاهد بود. بیش‌ترین شاخص بنیه گیاهچه‌ها مربوط به پیش تیمار بذرها با کود سیفول آمینوزینک (۲۶/۵۵) بود که به طور معنی‌داری بیش‌تر از بذرها شاهد (۲۲/۸۴) و سایر پیش تیمارها به دست آمد. هم‌چنین درصد سبز شدن بذرها پیش تیمار شده با کود سیفول آمینوزینک به طور معنی‌داری (۳/۵ درصد) بیش‌تر از تیمار شاهد بود.
کلیدواژه‌ها: استقرار گیاهچه آنزیم پراکسیداز آنزیم کاتالاز درصد سبز شدن سرعت سبز شدن	نتیجه‌گیری: در بین تیمارها کود بذرمال سیفول آمینوزینک و در بین ارقام نیز رقم آبی آذران بیش‌ترین تأثیرگذاری را در شاخص‌های مختلف نشان دادند. با توجه به این‌که پیش تیمار بذر روشی آسان و مقرون به صرفه بوده و در عین سادگی و عدم نیاز به دانش فنی پیچیده، به آسانی می‌تواند توسط کشاورزان اجرا گردد. بنابراین این روش جهت بهبود سبز شدن و استقرار گیاهچه، رشد گیاهچه، افزایش کیفیت و قدرت بذرها جو توصیه می‌شود.

استناد: حیدری، مسلم؛ و چایی‌چی، مهرداد (۱۴۰۲). مطالعه اثر پیش تیمار بذرهای ارقام مختلف جو (*Hordeum vulgare*) بر شاخص‌های مختلف سبز شدن. *برزرعی کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۵۴۳-۵۵۵. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.350550.2754>



۱. مقدمه

با وجود پیشرفت‌های حاصل شده در تکنولوژی و مدیریت زراعی کماکان بذر، جوانه‌زنی و استقرار مطلوب گیاهچه‌های حاصل از آن دارای اهمیت کلیدی است. به طوری که موفقیت و یا عدم موفقیت کشت، به جوانه‌زدن کامل و سریع بذر و در نهایت تولید گیاهچه‌های قوی وابسته است. موفقیت در استقرار گیاهچه زمانی حاصل می‌شود که بذر بتواند بر شرایط نامطلوب محیطی چیره شده و عکس‌العمل مناسبی از خود نشان دهد. که مسلماً این عکس‌العمل برحسب ژنوتیپ و محیط متغیر می‌باشد (Hakizimana *et al.*, 2000; Forcella *et al.*, 2000; Moles & Westoby, 2004; Weitbrech & Müller, 2011; Chaichi *et al.*, 2022). جوانه‌زنی یکی از مهم‌ترین، حساس‌ترین و اصلی‌ترین مراحل فنولوژیکی در چرخه زندگی گیاه (Ma *et al.*, 2022; Forcella *et al.*, 2000; Gong *et al.*, 2021; Chaichi *et al.*, 2022) و یک فرایند کلیدی در سبز شدن گیاهچه است (Weitbrech & Müller, 2011; Rajjou *et al.*, 2012). جوانه‌زنی بذر، مرحله پیچیده و پویایی از رشد گیاه می‌باشد و از طریق اثراتی که روی استقرار گیاهچه دارد می‌تواند عملکرد را بهبود بخشد (Ashraf & Foolad, 2005; Han & Yang, 2015; Han *et al.*, 2018; Ma *et al.*, 2018).

براساس مطالعات، همبستگی مثبتی بین قدرت رویش اولیه گیاهچه و ژنوتیپ‌های مختلف گندم گزارش شده است (Turner & Nicolas, 1987; Moles & Westoby, 2004; Weitbrech & Müller, 2011). پژوهش‌گران دیگر نیز اثر مثبت قدرت رویش اولیه بذر، بر عملکرد را به تفاوت در ژنوتیپ‌های مختلف و شرایط محیطی مربوط دانسته‌اند (Cisse *et al.*, 2000; Ejeta, 2003; Hakizimana *et al.*, 2000). و این موضوع تقریباً پذیرفته شده که خصوصیات ژنتیکی و اندازه بذر ممکن است بر چگونگی سبز شدن گیاهچه‌ها نیز تأثیر بگذارد (Peterson *et al.*, 1989; Mian & Nafziger, 1994; Chaichi *et al.*, 2022).

۲. پیشینه پژوهش

روش‌های مختلفی برای بهبود جوانه‌زنی و استقرار گیاهچه وجود دارد (Han & Yang, 2015; Han & Yang, 2022). پیش تیمار بذر ساده‌ترین و در عین حال بهترین روش برای افزایش سرعت جوانه‌زنی بذرهاست. پرایمینگ بذر یک روش فیزیولوژیکی است که کارایی بذر را برای جوانه‌زنی سریع و هماهنگ بهبود می‌بخشد (Mohammadi & Amiri, 2010). پیش تیمار به عنوان یک روش شناخته شده برای افزایش خصوصیات جوانه‌زنی می‌باشد که در این روش به بذر اجازه داده می‌شود که تا قبل از شروع مراحل اولیه جوانه‌زنی (فعال شدن آنزیم) آب جذب کند و سپس بذرها خشک و آماده کشت می‌شوند. به عبارت دیگر، پیش تیمار بذر از طریق کاهش مدت زمان لازم برای جذب آب، موجب کاهش زمان جوانه‌زنی و خروج سریع‌تر ریشه‌چه شده که در نهایت بهبود فرایند جوانه‌زنی و ظهور بهتر گیاهچه‌ها را سبب می‌شود (Armin *et al.*, 2010). پیش تیمار بذر به ویژه با ترکیبات مختلف و محلول‌های غذایی سبب بهبود استقرار گیاهچه در شرایط تنش می‌گردد (Giri & Schillinger, 2003; Liu *et al.*, 2019; Hosseinfard *et al.*, 2022; Amiryousefi *et al.*, 2022). در جریان پیش تیمار، بذرها معمولاً اجازه می‌یابند تا حد کمی آب جذب کنند (تا قبل از خروج ریشه‌چه) و سپس از محیط آب خارج می‌شوند. مقدار آب جذب شده در حدی است که مانع از جوانه‌زنی می‌شود، اما امکان وقوع یکسری فرایندهای فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی پیش از جوانه‌زنی را فراهم می‌آورد. به عبارت دیگر، طی این تیمار مقدار کنترل شده‌ای از آب جذب بذر می‌شود تا فعالیت‌های متابولیکی قبل از فرایند جوانه‌زنی، بدون خارج شدن ریشه‌چه از بذر آغاز گردد (Al-Mudaris & Jutzi, 1999; Chen *et al.*, 2012; Ma *et al.*, 2018). در پرایم شدن، سطح جذب آب در بذر کنترل می‌شود، به طوری که منجر به بهبود جوانه‌زنی، استقرار گیاهچه و عملکرد می‌گردد (Bradford, 2002).

Kaur et al., 2002;)، اسموپرایمینگ^۱، آسموپرایمینگ^۲، (1986; Ma et al., 2018) پیش‌تیمار بذر به شکل‌های مختلفی مثل پیش‌تیمار آبی^۱، (Bradford, 1986) و پیش‌تیمار مزرعه‌ای (Harris et al., 2002) انجام می‌گیرد، که در این میان پیش‌تیمار مزرعه‌ای یا پیش‌تیمار بذر با ترکیبات هورمونی، شیمیایی و محلول‌های غذایی در مزرعه به دلیل ساده و کم‌هزینه بودن به طور وسیعی استفاده می‌شود (Harris, 2006; Chen et al., 2012).

پیش‌تیمار تغذیه‌ای دانه^۲ در محلول مواد مغذی برای افزایش کیفیت بذر با افزایش محتوای عناصر غذایی دانه‌هاست. ریزمغذی‌ها برای رشد گیاه مهم هستند، زیرا آن‌ها دو فرایند حیاتی را در گیاهان انجام می‌دهند، یعنی فتوسنتز و تنفس، که محدودیت آن‌ها می‌تواند رشد کلی و عملکرد دانه را کاهش دهد (Farooq et al., 2012; Singh et al., 2020). استفاده از مواد غذایی موردنیاز گیاه از طرق مختلفی از جمله خاک کاربرد، محلول پاشی و یا استفاده مستقیم روی بذر (پیش‌تیمار) است. در بین آن‌ها، پیش‌تیمار بذر گزینه بهتری برای بهبود رشد و استقرار گیاهچه و عملکرد دانه ثابت شده است. در این مطالعه از کودهای بذر مال مختلفی که توسط شرکت‌های گوناگون تهیه، تولید و به بازار عرضه شده‌اند با هدف ارزیابی، گزینش و در نهایت توصیه به شرکت‌های تولیدکننده بذر و همچنین کشاورزان استفاده شده است. همچنین از ارقام مختلف جو نیز برای بررسی پاسخ آن‌ها به پیش‌تیمار بذر نیز استفاده شده است. بنابراین با توجه به مطالب ذکرشده هدف از اجرای این طرح بررسی تأثیر بذرهای پرایم‌شده با محلول‌های غذایی مختلف بر شاخص‌های سبزشدن ارقام مختلف آبی و دیم جو (*Hordeum vulgare* L.) می‌باشد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در سال ۱۴۰۱ با کشت ارقام مختلف جو در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی همدان اجرا گردید. آزمایش در فاز گلخانه‌ای به صورت فاکتوریل (۶×۶) در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار اجرا گردید. در این مطالعه از ارقام اصلاح‌شده جو آبی (جلگه، بهمن و آذران) و دیم (آیدر، قافلان و سهند) تهیه‌شده از مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان استفاده گردید. تمامی بذرهای با استفاده از محلول هیپوکلریت سدیم (۳ درصد v/v) به مدت ۳۰ ثانیه سترون شدند و سپس سه بار با آب مقطر شسته شدند. تیمارها شامل پنج محلول غذایی مختلف بودند که طبق دستورالعمل شرکت تولیدکننده و به میزان اعلام‌شده مورداستفاده قرار گرفتند. همچنین تیمار شاهد (عدم کاربرد محلول غذایی) برای مقایسه بهتر تیمارها نیز لحاظ گردید (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات تیمارهای آزمایش

ردیف	نام محلول	شرکت	میزان مصرف	محتویات
۱	شاهد (c)	-	-	-
۲	کود بذر مال بیوزر (BZ)	بیوزر	۱ لیتر در ۱۵۰ کیلو بذر	نیتروژن ۵ درصد، عناصر روی، مس، آهن، مولیبدن، منگنز و منیزوم مجموعاً ۱ درصد، روی ۳ تا ۵ درصد، جلبک دریایی ۵ درصد، بتائین ۰/۲ درصد
۳	سیفول آمینو زینک (SAZ)	داتیس	۱ لیتر در ۱۰۰ کیلو بذر	نیتروژن ۶ درصد (w/v) روی ۳ درصد (w/v)، بر ۱/۵ درصد (w/v)، آمینو اسید ۴ درصد (w/v)، جلبک دریایی ۳ درصد (w/v)
۴	سزینته (SBH)	ماهور	۱ لیتر در ۳۰۰ کیلو بذر	روی ۲ درصد، جلبک دریایی ۴ درصد، هیومیک اسید ۴ درصد، آمینو اسید ۴ درصد
۵	کود بذر مال رویش (RSH)	زیست فناور سبز	۱ لیتر در ۲۰۰ کیلو بذر	فسفر ۱ درصد، پتاس ۲ درصد، روی ۴ درصد، جلبک دریایی ۴ درصد، هیومیک اسید ۴ درصد
۶	اکوپوستر* (EB)	نگین سبز برنا	۱ لیتر در ۴۰۰ کیلو بذر	اختراع (محتویات توسط مخترعین به صورت محرمانه می‌باشند)

1. Hydro-priming

۲. Nutripriming

بذرهای در محلول‌های غذایی به مدت ۱۰ دقیقه کاملاً هم زده شدند تا محلول‌ها به صورت یکنواخت تمام سطح بذر را پوشش دهند، سپس در دمای اتاق (حدود ۲۵ درجه سانتی‌گراد) در زیر سایه به مدت ۲۴ ساعت قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. هر گلدان حاوی چهار کیلوگرم خاک بود. خاک محل آزمایش دارای بافت لومی شنی، pH حدود ۷/۵ و هدایت الکتریکی حدود ۰/۸۱ دسی‌زیمنس بر متر بود (جدول ۲). برای جلوگیری از تنش آبی گلدان‌ها یک روز در میان آبیاری شدند. گلدان‌ها در شرایط مشابه در گلخانه در دمای 24 ± 4 و 10 ± 4 درجه سانتی‌گراد (روز/شب) با میانگین رطوبت نسبی ۶۰ درصد و طول روز حدود ۱۴ ساعت نگهداری شدند.

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک آزمایشی

عمق (سانتی‌متر)	بافت	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	pH	درصد اشباع	آهک	رس سیلت	شن	کربن آلی	فسفر	پتاسیم
(۰-۳۰)	لومی-شنی	(۰/۸۱)	۷/۵	۴۵	۱۶	۵/۵	۳۴	۰/۶۶	۳۷/۶	۴۰۰
				(درصد)		(درصد)			(پی‌پی‌ام)	

برای اندازه‌گیری وزن تر ریشه‌چه و ساقه‌چه گیاه، ۱۰ بوته از هر گلدان حدوداً ۱۵ روز پس از کاشت انتخاب شدند و پس از آن اندام هوایی و ریشه جدا شده و به صورت مجزا با استفاده از ترازوی دیجیتال (مدل EK-610i ساخت کشور آلمان) توزین گردیدند. سپس در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت در آن خشک شدند و وزن خشک نیز توزین گردید. طول گیاهچه، طول ریشه، سرعت و درصد سبز شدن، شاخص بنیه گیاهچه و فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز بذر اندازه‌گیری و ثبت شدند. برای تعیین سرعت سبز شدن، درصد سبز شدن و شاخص بنیه گیاهچه به ترتیب از روابط (۱)، (۲) و (۳) استفاده گردید (Ellis & Roberts, 1980; ISTA, 1985).

$$SG = \sum \frac{ni}{di} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$GP = 100 \times \frac{G}{N} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$VI = (Ls \times Gp) / 100 \quad \text{رابطه ۳}$$

در این معادلات SG سرعت سبز شدن بذر، ni تعداد بذرهای سبز شده، di تعداد کل روز، GP درصد سبز شدن، G تعداد بذرهای سبز شده در طول آزمایش و N کل دانه‌ها، R میانگین سرعت سبز شدن، D تعداد روزهای سپری شده از شروع آزمایش و n تعداد بذرهای سبز شده در روز مورد نظر می‌باشند. ارزیابی شاخص بنیه (بنیه گیاهچه) از حاصل ضرب درصد سبز شدن نهایی (درصد سبز شدن در روز آخر) در طول گیاهچه به دست می‌آید. بر این اساس VI شاخص بنیه، Ls میانگین طول گیاهچه (کل گیاهچه و ریشه) و Gp درصد سبز شدن است. در پایان آزمون سبز شدن تغییرات بیوشیمیایی گیاهچه‌ها از اندام‌های هوایی اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری فعالیت آنزیم کاتالاز از روش Aebi (1984) استفاده شد که بر پایه تجزیه پراکسید هیدروژن توسط این آنزیم استوار است. برای سنجش میزان فعالیت این آنزیم در اثر اعمال تیمارهای محرک، از رابطه (۴) استفاده شد:

$$\text{Unit/ml enzyme extract} = \frac{(\Delta A_{240nm})(3)(df)}{(40)(0.05)} \quad \text{رابطه ۴}$$

در این فرمول، df بیان‌کننده فاکتور رقیق‌سازی، عدد ۳ نشان‌دهنده حجم محلول مورد سنجش بر حسب میلی‌لیتر، ۰/۰۵ نشان‌دهنده حجم عصاره آنزیمی، عدد ۴۰ بیان‌کننده ضریب خاموشی پراکسید هیدروژن و ΔA_{240} بیان‌کننده عدد قرائت شده توسط اسپکتروفتومتر در طول موج ۲۴۰ نانومتر می‌باشد. عدد به دست آمده بیان‌کننده میزان فعالیت آنزیم بر حسب هر واحد از آنزیم می‌باشد. فعالیت آنزیم پراکسیداز نیز به روش Chance & Maehly (1995) اندازه‌گیری شد (رابطه ۵).

$$\text{Unit/ml enzyme extract} = \frac{(\Delta A_{470nm})(3)(df)}{(26.6)(0.05)} \quad \text{رابطه ۵}$$

که در آن، $\Delta A470$ میزان جذب قرائت‌شده از هر نمونه توسط اسپکتروفتومتر، سه مقدار حجم واکنش، df ضریب رقت که از طریق تقسیم حجم نهایی واکنش مورد استفاده یعنی سه میلی‌لیتر (۳۰۰۰ میکرولیتر) بر حجم اولیه عصاره آنزیمی مورد استفاده یعنی ۵۰ میکرولیتر محاسبه می‌شود، ۶/۲۶ ضریب خاموشی تتراگایاکول و ۰/۰۵ هم حجم عصاره آنزیمی مورد استفاده برحسب میلی‌لیتر است. در پایان کلیه تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌های حاصل از این آزمایش، پس از اطمینان از نرمال بودن آن‌ها، با استفاده از نرم‌افزار (نسخه ۹/۱) SAS صورت گرفت و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن^۱ در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

۴. یافته‌های پژوهش

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که طول کلئوپتیل، طول ساقه، طول ریشه، وزن خشک ساقه، وزن خشک ریشه، وزن تر ساقه، وزن تر ریشه، درصد سبزشدن، سرعت سبزشدن، شاخص بنیه گیاهچه و فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و کاتالاز در ارقام مختلف جو به‌طور معنی‌داری ($P < 0.01$) تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر قرار گرفت (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف بر شاخص‌های سبزشدن جو

منابع درجه تغییر آزادی	میانگین مربعات											
	CTZ	POZ	VI	SG	PG	FWR	FWS	DWR	DWS	RL	SL	CL
کود (F) ۵	۰/۰۲۵۵۳**	۲۸۱۸/۰۶**	۳۴/۹۰۴۲**	۹/۸۳۰۵*	۳۸/۶۵۰۰**	۸/۳۷۷۹**	۹/۵۶۴۸**	۰/۱۱۵۳۵۱**	۰/۳۱۰۵۲**	۲۰/۷۹۸۶**	۱۴/۶۷۵۷**	۲۵/۰۲۹**
رقم (C) ۵	۰/۰۰۵۰۲**	۲۸۷۲/۶**	۹۹/۷۶۸۶**	۴۶/۹۲۸۱**	۷۵۸/۳۰۳۷**	۶/۰۸۹۶**	۶/۴۰۴۵**	۰/۰۸۵۷۷**	۰/۱۴۷۳۷**	۶۲/۳۱۰۰**	۷۹/۴۸۹۱**	۹/۶۷۷۳**
F × C ۲۵	۰/۰۰۰۰۴ _{ns}	۷۳/۸۲۶۶**	۰/۲۸۶۱**	۰/۱۴۵۶ _{ns}	۰/۴۴۴۲۴ _{ns}	۰/۰۴۱۲۹ _{ns}	۰/۲۳۴۱۶**	۰/۰۰۱۲۸*	۰/۰۰۰۴۱ _{ns}	۰/۳۳۳۵۵ _{ns}	۰/۰۱۴۸ _{ns}	۰/۰۷۹۱ _{ns}
خطا ۱۰۸	۰/۰۰۰۳۰	۶/۲۵۰۰	۰/۰۶۵۸۷	۲/۵۰۰۰	۲/۳۴۴۲	۰/۰۳۵۳۳	۰/۰۳۳۳۶	۰/۰۰۰۴	۰/۰۰۰۴۶	۰/۰۴۶۶۶	۰/۰۴۶۶۶	۰/۲۳۵۸
CV	۲/۸۵	۳/۶۹	۲/۱۷	۳/۱۸	۱/۶۹	۳/۳۳	۲/۷۸	۴/۰۹	۳/۰۴	۱/۶۸	۱/۸۷	۶/۸

طول کلئوپتیل (CL)، طول ساقه (SL)، طول ریشه (RL)، وزن خشک ساقه (DWS)، وزن خشک ریشه (DWR)، وزن تر ساقه (FWS)، وزن تر ریشه (FWR)، درصد سبزشدن (PG)، سرعت سبزشدن (SG)، شاخص بنیه گیاهچه (VI)، فعالیت آنزیم پراکسیداز (POZ)، فعالیت آنزیم کاتالاز (CTZ) و ضریب تغییرات (CV).

ns: به‌ترتیب معنی‌داری در سطح یک و پنج درصد و عدم معنی‌داری می‌باشند.

۴.۱. طول کلئوپتیل، طول ساقه و طول ریشه

در بین ارقام مختلف ارقام آذران و بهمن بیش‌ترین طول کلئوپتیل به‌ترتیب ۷/۷ و ۷/۸۵ سانتی‌متر به‌دست آمد (جدول ۴). هم‌چنین رقم آذران بیش‌ترین طول ساقه (۱۳/۷۸ سانتی‌متر) و طول ریشه (۱۵/۱۴ سانتی‌متر) را به خود اختصاص داد (جدول ۴). در بین ارقام دیم هم بلندترین طول کلئوپتیل (۶/۶۸ سانتی‌متر)، طول ساقه (۱۰/۵۵ سانتی‌متر) و طول ریشه (۱۱/۷۹ سانتی‌متر) در رقم آیدر مشاهده گردید. هم‌چنین کوتاه‌ترین کلئوپتیل (۶/۳۳ سانتی‌متر)، ساقه (۹/۴۵ سانتی‌متر) و ریشه (۱۱/۰۹ سانتی‌متر) در رقم سه‌پند اندازه‌گیری شد (جدول ۴). مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میانگین طول کلئوپتیل در بذرهای پیش‌تیمار شده به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از بذرهای شاهد بود (جدول ۴). بیش‌ترین طول کلئوپتیل در تیمار سیفول آمینو زینک، سبزینه و رویش مشاهده گردید (جدول ۴). به بیان دیگر این سه تیمار در یک گروه آماری قرار گرفتند. در مقابل کوتاه‌ترین طول کلئوپتیل (۵/۵۲ سانتی‌متر) در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۴). کود سیفول آمینوزینک طول کلئوپتیل را در مقایسه با تیمار شاهد ۳۱ درصد افزایش داد (جدول ۴). سایر کودها نیز در مقایسه با تیمار شاهد طول کلئوپتیل را افزایش دادند (جدول ۴).

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات ساده بر صفات مختلف جو تحت تأثیر تیمارهای مختلف

تیمار	CL	SL	RL	DWS	DWR	FWR	PG	SG	CTZ
	(سانتی‌متر)	(سانتی‌متر)	(گرم)	(گرم)	(گرم)	(درصد)	(واحد بر میلی‌لیتر)		
شاهد	۵/۵۲ _d	۱۰/۴۰ _e	۱۱/۵۵ _f	۰/۵۴۶ _f	۰/۴۲۶ _f	۴/۸۳ _e	۸۹/۰ _d	۱۱/۰۶ _c	۰/۰۳۲ _f
کود بذر مال بیوزر	۶/۷ _b	۱۱/۵ _c	۱۲/۷۵ _d	۰/۷۴۶ _d	۰/۵۲۶ _d	۵/۳۳ _d	۹۰/۵۰ _c	۱۲/۰۸ _{ab}	۰/۰۷۴ _d
سیفول آمینوزینک	۸/۰ _a	۱۲/۳۳ _a	۱۳/۹۷ _a	۰/۸۱۵ _a	۰/۶۰۵ _a	۶/۳۳ _a	۹۲/۲۴ _a	۱۲/۶۷ _a	۰/۱۱۷ _a
سبزینه	۷/۸۲ _a	۱۲/۱ _b	۱۳/۱۵ _c	۰/۷۶۶ _c	۰/۵۵۶ _c	۵/۵۴ _c	۹۰/۹۱ _{bc}	۱۲/۲۸ _{ab}	۰/۰۹۴ _c
کود بذر مال رویش	۷/۹۱ _a	۱۲/۱۷ _{ab}	۱۳/۵۶ _b	۰/۷۹۵ _b	۰/۵۸۵ _b	۵/۹۴ _b	۹۱/۵۹ _{ab}	۱۲/۴۸ _a	۰/۱۰۵ _b
اکوپوستر	۶/۳ _c	۱۰/۸ _d	۱۱/۹۵ _e	۰/۵۸۶ _e	۰/۴۶۶ _e	۴/۸۸ _c	۸۹/۳ _d	۱۱/۳۶ _{bc}	۰/۰۵۴ _e
کود									
جلگه	۷/۲۰ _b	۱۲/۴۸ _c	۱۳/۳۹ _c	۰/۷۱ _c	۰/۵۵ _c	۵/۶۷ _c	۹۵/۲۶ _a	۱۳/۰۹ _a	۰/۰۹۲ _a
بهمن	۷/۷۰ _a	۱۳/۱۰ _b	۱۴/۰۱ _b	۰/۷۶ _b	۰/۵۷ _b	۵/۷۸ _b	۹۲/۹۸ _b	۱۳/۱۲ _a	۰/۰۸۹ _b
آذران	۷/۸۵ _a	۱۳/۷۸ _a	۱۵/۱۴ _a	۰/۸۲ _a	۰/۶۰ _a	۶/۱۶ _a	۹۴/۶۴ _a	۱۳/۴۶ _a	۰/۰۹۷ _a
آبدر	۶/۶۸ _c	۱۰/۵۵ _d	۱۱/۷۹ _d	۰/۶۸ _d	۰/۵۱ _d	۵/۴۱ _d	۹۲/۵۵ _b	۱۱/۰۵ _b	۰/۰۶۷ _c
قافلان	۶/۵۳ _{cd}	۹/۸۵ _e	۱۱/۴۹ _e	۰/۶۸ _d	۰/۴۷ _e	۵/۰۱ _e	۸۰/۵۵ _d	۱۱/۰۵ _b	۰/۰۶۷ _c
سهند	۶/۳۳ _d	۹/۴۵ _f	۱۱/۰۹ _f	۰/۶۱ _e	۰/۴۵ _f	۴/۸۱ _f	۸۷/۵۵ _c	۱۰/۱۵ _c	۰/۰۶۷ _c

طول کلوتیل (CL)، طول ساقه (SL)، طول ریشه (RL)، وزن خشک ساقه (DWS)، وزن خشک ریشه (DWR)، وزن تر ساقه (FWS)، وزن تر ریشه (FWR)، درصد سبزشدن (PG)، سرعت سبزشدن (SG)، شاخص بنه گیاهچه (VI)، فعالیت آنزیم پراکسیلاز (POZ)، فعالیت آنزیم کاتالاز (CTZ)، در هر ستون و برای هر جزء، حروف مشابه نمایانگر عدم اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد می‌باشد.

هم‌چنین نتایج حاکی از آن است که طول ساقه و ریشه تحت تأثیر پیش‌تیمار با کودهای مختلف قرار گرفت، به‌نحوی که بیش‌ترین طول ساقه (۱۲/۱ سانتی‌متر) و طول ریشه (۱۳/۱۵ سانتی‌متر) در تیمار کودی سیفول آمینوزینک به‌دست آمد (جدول ۴). کوتاه‌ترین ساقه و ریشه به‌ترتیب ۱۰/۴ و ۱۱/۵۵ سانتی‌متر در تیمار شاهد مشاهده گردید (جدول ۴). کود محلول بذر مال سیفول آمینوزینک طول ساقه و ریشه را به‌ترتیب ۱۴ و ۱۱/۸ درصد در مقایسه با تیمار شاهد بهبود بخشید (جدول ۴).

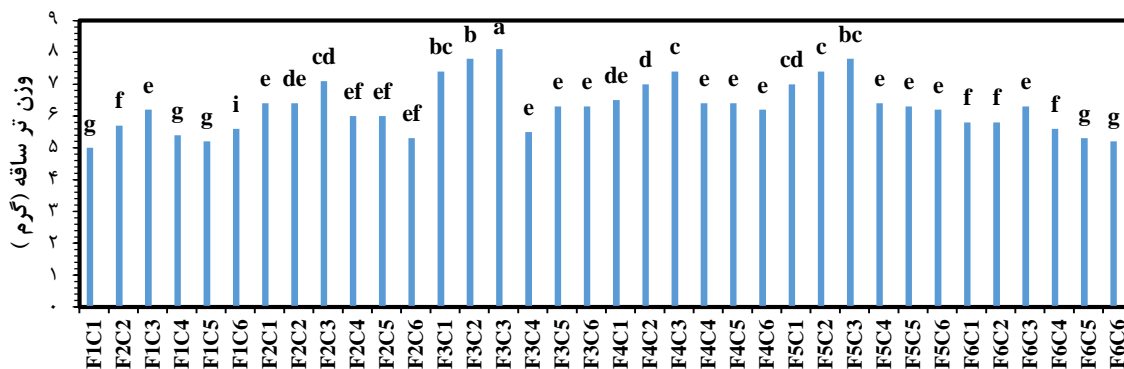
۲.۴. وزن تر و خشک ریشه و ساقه

مطابق جدول (۴)، وزن گیاهچه‌ها در ارقام مختلف بسیار متفاوت بود. بیش‌ترین و کم‌ترین وزن ساقه و ریشه به‌ترتیب در ارقام آذران و سهند مشاهده گردید. اعمال تیمارهای مختلف بر بذرهای جو نیز نتایج متفاوتی را از خود نشان داد. بر این اساس بیش‌ترین وزن گیاهچه‌ها مربوط به بذرهای پیش‌تیمار شده با سیفول آمینوزینک بود که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از بذرهای شاهد و سایر پیش‌تیمارها به‌دست آمد (جدول ۴). پیش‌تیمار بذر توسط محلول غذایی سیفول آمینوزینک به‌ترتیب موجب افزایش ۳۵ و ۳۲ درصدی وزن خشک ساقه و ریشه نسبت به بذرهای شاهد گردید. اثر متقابل نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار رقم و کود بر وزن تر ساقه بود (جدول ۴). بیش‌ترین وزن تر ساقه در تیمار کودی سولفو آمینوزینک و رقم آذران مترتب گردید و کم‌ترین مقدار آن در تیمار شاهد و رقم سهند حاصل شد (شکل ۱).

۳.۴. درصد و سرعت سبزشدن

مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد که میانگین درصد سبزشدن بذرهای پیش‌تیمار شده به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از بذرهای شاهد بود (جدول ۴). در بین پیش‌تیمارهای مختلف، بیش‌ترین درصد سبزشدن در بذرهای پیش‌تیمار شده با کود سیفول آمینوزینک به‌دست آمد (جدول ۴). کم‌ترین درصد سبزشدن در بذرهای شاهد مشاهده شد (جدول ۴). درصد سبزشدن بذرهای پیش‌تیمار شده با کود سیفول آمینوزینک به‌طور معنی‌داری (۳/۵ درصد) بیش‌تر از تیمار شاهد بود (جدول ۴). سرعت سبزشدن نیز تحت تأثیر پیش‌تیمار بذر قرار گرفت (جدول ۳). بیش‌ترین میانگین سرعت سبزشدن،

مربوط به پیش‌تیمار کود سیفول آمینوزینک (۱۲/۱۷ دانه در روز) بود که این تیمارها به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از بذرهای شاهد و سایر پیش‌تیمارها بودند (جدول ۴). در همه پیش‌تیمارها سرعت سبز شدن افزایش یافت (جدول ۴).

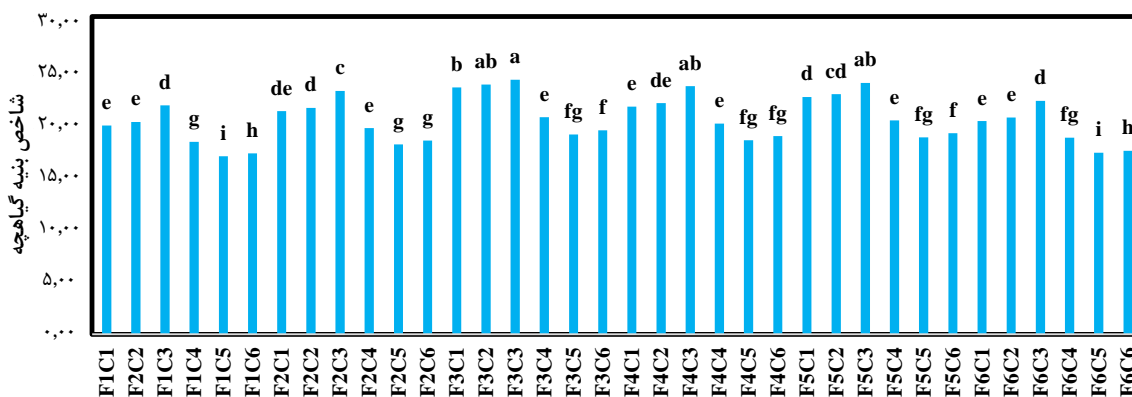


شکل ۱. تأثیر پیش‌تیمار بذر جو در ارقام مختلف بر وزن تر ساقه.

F" تیمارهای کودی به‌ترتیب ۱- شاهد، ۲- بیوزر، ۳- سیفول آمینوزینک، ۴- سبزینه، ۵- رویش و ۶- اکوبوستر و "C" ارقام مختلف جو به‌ترتیب ۱- جلگه، ۲- بهمن، ۳- آذران، ۴- آیدر، ۵- قافلان و ۶- سهند.

۴.۴. شاخص بنیه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده و هم‌چنین اثرات متقابل سبب تأثیرگذاری در سطح احتمال یک درصد بر شاخص بنیه گیاهچه بود (جدول ۳). میانگین شاخص بنیه گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پیش‌تیمار شده بیش‌تر از بذرهای شاهد به‌دست آمد (شکل ۲). بیش‌ترین شاخص بنیه گیاهچه‌ها مربوط به پیش‌تیمار بذرهای با کود سیفول آمینوزینک (۲۶/۵۵) بود که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از بذرهای شاهد (۲۲/۸۴) و سایر پیش‌تیمارها به‌دست آمد. اعمال پیش‌تیمار بر بذرهای جو با محلول‌های مختلف، موجب افزایش ۱۳/۹ درصدی شاخص بنیه این گیاهچه نسبت به بذرهای شاهد شد. از طرفی حداکثر شاخص بنیه گیاهچه در تیمار کودی سیفول آمینوزینک و رقم آذران مشاهده گردید و حداقل بنیه در تیمار شاهد و رقم سهند حاصل شد (شکل ۲).

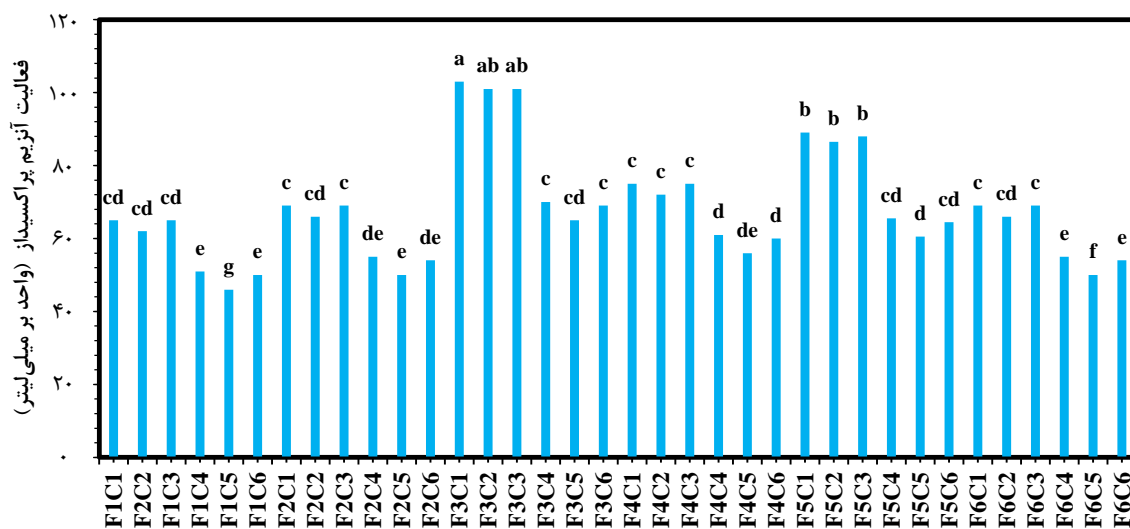


شکل ۲. تأثیر پیش‌تیمار بذر جو در ارقام مختلف جو بر شاخص بنیه

F" تیمارهای کودی به‌ترتیب ۱- شاهد، ۲- بیوزر، ۳- سیفول آمینوزینک، ۴- سبزینه، ۵- رویش و ۶- اکوبوستر و "C" ارقام مختلف جو به‌ترتیب ۱- جلگه، ۲- بهمن، ۳- آذران، ۴- آیدر، ۵- قافلان و ۶- سهند.

۵.۴. فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز

فعالیت آنزیم کاتالاز گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پیش تیمار شده به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از بذرهای شاهد بود (جدول ۴). بیش‌ترین فعالیت این آنزیم در گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پیش تیمار شده با سیفول آمینوزینک به‌دست آمد که به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از گیاهچه‌های حاصل از بذرهای شاهد و سایر پیش تیمارها بود (جدول ۴). اثر متقابل کودهای بذرمال و ارقام مختلف آنزیم پراکسیداز را تحت تأثیر قرار دادند (جدول ۳). اگرچه فعالیت آنزیم پراکسیداز در بذرهای پیش تیمار شده به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از بذرهای شاهد به‌دست آمد، با این‌حال در بین تیمارهای مختلف نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۴). کم‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در بذرهای شاهد مشاهده شد که اختلاف معنی‌داری از نظر آماری با بذرهای پیش تیمار شده داشت (شکل ۳). به‌نحوی که بیش‌ترین فعالیت این آنزیم در کود سیفول آمینوزینک در رقم آذران مشاهده شد و حداقل فعالیت آنزیم پراکسیداز در نمونه شاهد و رقم سهند مشاهده شد (شکل ۳).



شکل ۳. تأثیر پیش تیمار بذر جو در ارقام مختلف جو بر فعالیت آنزیم پراکسیداز

"F" تیمارهای کودی به‌ترتیب ۱- شاهد، ۲- بیوزر، ۳- سیفول آمینوزینک، ۴- سزیننه، ۵- رویش و ۶- اکوبوستر و "C" ارقام مختلف جو به‌ترتیب ۱- جلگه، ۲- بهمن، ۳- آذران، ۴- آبدرد، ۵- قافلان و ۶- سهند.

۵. بحث

مطالعات مختلف حاکی از تأثیر گذاری مثبت پرایمینگ بذر با استفاده از محلول‌های غذایی بر سبزشدن و رشد گیاهچه در گیاهان مختلف است. با توجه به این‌که بذرهای پیش تیمار شده درصد و سرعت سبزشدن بالاتری نسبت به بذرهای شاهد داشتند، این امر موجب شد تا در یک زمان معین، ماده خشک بیش‌تری نسبت به بذرهای شاهد تولید کنند. برتری بذرهای پیش تیمار شده در مقایسه با شاهد از نظر تولید گیاهچه‌های بزرگ‌تر را می‌توان به سرعت سبزشدن بالاتر نیز نسبت داد. این نتایج با یافته‌های سایر پژوهش‌گران کاملاً مرتبط و همسو بود (Rashi *et al.*, 2006; Sheikhzadeh *et al.*, 2014; Sivritepe *et al.*, 2003). اگرچه رشد اولیه گیاهچه بیش‌تر تابعی از ذخایر و اندوخته غذایی بذر است، با این‌حال نتایج پژوهش‌ها نشان داده است که رشد اولیه گیاهچه و افزایش وزن خشک گیاهچه‌های حاصل از بذرهای پرایم شده، ناشی از افزایش سنتز آنزیم‌های هیدرولیتیک و به‌دنبال آن افزایش میزان پویایی ذخایر بذر هستند (Sivritepe *et al.*, 2003).

(*et al.*, 2003; Omid *et al.*, 2005). به‌نظر می‌رسد افزایش درصد و سرعت سبز شدن در نتیجه اعمال پیش‌ تیمار، ممکن است ناشی از این واقعیت باشد که پیش‌ تیمار بذر موجب القا تغییرات بیوشیمیایی همانند هیدرولیز، فعال کردن آنزیم‌ها، همانندسازی DNA، افزایش سنتز RNA و سنتز پروتئین‌ها می‌گردد، که این امر سبب افزایش رشد جنین و کاهش نشت متابولیت‌ها و در نهایت بهبود قدرت بذر و جوانه‌زنی بذر می‌گردد (McDonald, 2000)، هم‌چنین می‌تواند ناشی از آزادسازی آنزیم‌های تجزیه‌کننده کربوهیدرات و پروتئین در داخل بذر باشد (Jamil & Rha, 2007). پیش‌ تیمار بذر از طریق کاهش مدت زمان لازم برای جذب آب، موجب بهبود جوانه‌زنی، سبز شدن و استقرار سریع و مطلوب گیاهچه‌ها در دامنه وسیعی از شرایط محیطی می‌شود (Rowse *et al.*, 2001; Mazaheri & Manocheri, 2006; Mohammadi *et al.*, 2009). اثر پیش‌ تیمار بذر با آب و محلول غذایی روی جوانه‌زنی و رشد گیاهچه‌های حاصل از بذرهای چاودار کوهی (*Secale montanum*) نشان داد که تیمار بذر با محلول غذایی سبب افزایش درصد جوانه‌زنی می‌شود (Ansari & Sharif, 2012). اعمال پیش‌ تیمار با محلول غذایی در بذرهای نخود، موجب افزایش فعالیت آنزیم آمیلاز، اینورتاز، ساکارز سنتاز و ساکارز فسفات سنتاز در گیاهچه‌های پیش‌ تیمار شده نسبت به گیاهچه‌های حاصل از بذرهای شاهد گردید (Kaur *et al.*, 2002). در بررسی اثر پیش‌ تیمار آبی بر جوانه‌زنی بذر زیره سبز (*Cuminum cyminum*) گزارش شد که پیش‌ تیمار با محلول غذایی سبب افزایش درصد جوانه‌زنی این بذرهای شده است (Neamatollahi *et al.*, 2009) که با نتایج این آزمایش مطابقت دارد. در ذرت شیرین، پیش‌ تیمار بذر، فعالیت آنزیم‌های α و β آمیلاز که از آنزیم‌های مؤثر در جوانه‌زنی بذر هستند را افزایش می‌دهند، که این امر سبب افزایش قدرت بذر می‌گردد (Jamil & Rha, 2007). تسریع جوانه‌زنی در بذرهای پیش‌ تیمار شده می‌تواند ناشی از آن باشد که این بذرهای در مرحله جذب آب، از طریق بهبود ترمیم غشای سیتوپلاسمی و DNA، کاهش نشت متابولیت‌ها و افزایش فعالیت‌های متابولیکی از جمله افزایش فعالیت آنزیم‌های تجزیه‌کننده هم‌چون آلفا آمیلاز، افزایش ATP، افزایش سنتز RNA و DNA، افزایش تعداد و در عین حال ارتقای عملکرد میتوکندری‌ها (Afzal *et al.*, 2002) موجب کوتاه‌شدن زمان جوانه‌زنی نسبت به بذرهای شاهد می‌گردد که این امر سبب می‌شود تا بذرهای پیش‌ تیمار شده از لحاظ مراحل جوانه‌زنی نسبت به بذرهای شاهد پیشرفته‌تر باشند (Rowse *et al.*, 2001; Afzal *et al.*, 2002). بنابراین، افزایش سرعت جوانه‌زنی در اثر اعمال پیش‌ تیمار بذر، نمایانگر افزایش قدرت این بذر است که این امر می‌تواند موجب بهبود سرعت رشد گیاهان، کاهش ناهمگونی فیزیولوژیکی ذاتی در بذر و افزایش کیفیت و کمیت عملکرد شود (Demir *et al.*, 2006; Sheikhzadeh *et al.*, 2014; Maestrini *et al.*, 2004). افزایش سرعت جوانه‌زنی بر اثر پیش‌ تیمار در بذرهای گیاهان مختلف نیز گزارش شده است که با نتایج این پژوهش مطابقت دارد (Khodary, 2004; Moosavi *et al.*, 2009; Casenave & Toselli, 2007). بذرهایی که دارای شاخص قدرت بالاتری هستند، علاوه بر داشتن درصد و سرعت جوانه‌زنی بالا، گیاهچه‌های قوی و بزرگ‌تری نیز تولید می‌کنند (El-Khallal *et al.*, 2009; Rabiee & Bayat, 2009).

اگرچه پیش‌ تیمار بذر با محلول‌های غذایی در مقایسه با تیمار شاهد عملکرد مناسبی داشتند، با این حال در میان محلول‌های مختلف نیز محلول غذایی سیفول آمینوزینک عملکرد چشم‌گیری را نسبت به سایر تیمارها از خود نشان داد که می‌تواند به‌دلیل محتویات، مواد و عناصر مختلف موجود در این محلول غذایی باشد. با توجه به این که کود سیفول آمینوزینک از نیتروژن (۶ درصد)، روی (۳ درصد)، بر (۱/۵ درصد)، آمینو اسید (۴ درصد) و ۳ درصد جلبک دریایی ساخته شده است، می‌توان علت برتری را درصد بالاتر نیتروژن و روی در مقایسه با سایر تیمارها دانست، هم‌چنین جلبک دریایی و آمینو اسید نیز نقش به‌سزایی در سرعت و درصد سبز شدن گیاهچه دارند.

۶. نتیجه گیری و پیشنهادها

نتایج حاصل از این پژوهش به خوبی نشان داد که با توجه به سبزشدن غیریکنواخت محتمل در بذرهای ارقام مختلف جو، پیش تیمار بذرهای با محلول‌های غذایی موجب بهبود سبزشدن بذر، رشد گیاهچه‌ها و افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان گیاهچه‌ها گردید. در بین پیش تیمارهای مورد استفاده روی بذرهای این گیاه، پیش تیمار بذر با کود سیفول آمینوزینک بیشترین اثر مثبت را بر سبزشدن، قدرت بذر، وزن تر و خشک، ارتفاع گیاهچه و همچنین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز را نشان داد. در بین ارقام نیز ارقام آبی جو در مقایسه با بذرهای دیم، واکنش بهتری به پرایمینگ بذر نشان دادند. با توجه به این که پیش تیمار بذر روشی ساده و مقرون به صرفه بوده و درعین سادگی و عدم نیاز به دانش فنی پیچیده، به آسانی می‌تواند توسط کشاورزان اجرا گردد، بنابراین این روش جهت بهبود سبزشدن، رشد گیاهچه و افزایش کیفیت و قدرت بذر و استقرار مناسب گیاهچه جو توصیه می‌شود.

۷. تشکر و قدردانی

از مرکز تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی و منابع طبیعی همدان و همچنین اتحادیه تعاونی روستایی استان همدان به سبب پشتیبانی بی‌دریغ و خدمات شایسته در جهت اجرای هرچه بهتر این مطالعه تشکر و قدردانی می‌نماییم. لازم به ذکر است پشتیبانی مالی این مطالعه تماماً توسط اتحادیه تعاونی روستایی استان همدان انجام گردیده است.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. In *Methods in enzymology* (Vol. 105, pp. 121-126). Academic press.
- Afzal, I., S. M. A., Basras, Ahmad, N., & Farooq, M. (2005). Optimization of hormonal priming techniques for evaluation of salinity stress in wheat (*Triticum aestivum*). *Caderno de Pesquisa Serie Biologia*, 17(1), 95-109.
- Al-Mudaris, M. A., & Jutzi, S. C. (1999). The influence of fertilizer-based seed priming treatments on emergence and seedling growth of (*Sorghum bicolor*) and (*Pennisetum glaucum*) in pot trials under greenhouse conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 182(7), 135-141.
- Amiryousefi, M., Tadayon, M. R., & Hoseinifard, M. S. (2022). Effect of Nitrogen and Phosphorus Bio Fertilizers on Some Seed Germination Traits of Two Cultivars of Quinoa under Salinity Stress. *Desert Ecosystem Engineering*, 8(24), 79-94. <https://doi.org/10.22052/deej.2018.7.24.49>.
- Ashraf, M. R., & Foolad, M. (2005). Pre-sowing seed treatment a shotgun approach to improving germination, plant growth, and crop yield of barley (*Hordeum vulgare*) under saline and non-saline conditions. *Advances in Agronomy*, 88(4), 217-223.
- Bradford, K. J. (1986). Manipulation of seed water relations via osmotic priming to improve germination under stress conditions. *Horticultural Science*, 21(7), 1105-1111.
- Chaichi, M., Nemati, A., Dadrasi, A., Heydari, M., Hassanisaadi, M., Yousefi, A. R., & Mastinu, A. (2022). Germination of *Triticum aestivum* L.: Effects of Soil-Seed Interaction on the Growth of Seedlings. *Soil Systems*, 6(2), 37.

- Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalases and peroxidases. *Methods of biochemical analysis*, 1, 357-424. <https://doi.org/10.1002/9780470110171.ch14>.
- Chen, K., Fessehaie, A., & Arora, R. (2012). Dehydrin metabolism is altered during seed osmopriming and subsequent germination under chilling and desiccation in *Spinacia oleracea* L. cv. Bloomsdale: Possible role in stress tolerance. *Plant Science*, 183(12), 27-36. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.11.002>.
- Cisse, N. D., & Ejeta, G. (2003). Genetic variation and relationships among seedling vigor traits in sorghum. *Crop Science*, 43(3), 824-828.
- De Villiers, A. J., Van Rooyrn, M. W., Theron, G. K., & Van De Venter, H. A. (1994). Germination of three *namaqaland* pioneer species, as influenced by salinity, temperature and light. *Seed Science and Technology*, 22(11), 424-423.
- Demir, M., & Arif, I. (2003). Effects of different soil salinity levels on germination and seedling growth of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *Turkish Journal of Agriculture*, 27(12), 221-227.
- Duman, I. (2006). Effect of seed priming with PEG and K₃PO₄ on germination and seedling growth in Lettuce. *Pakistan Journal of Biology Science*, 9(5), 923-928.
- Farooq, M., Wahid, A., & Siddique, K. H. M. (2012). Micronutrient application through seed treatments- a review", *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 12(1), 125-142.
- Forcella, F., Benecch Arnold, R. L., Sanchez, R., & Ghera, C. M. (2000). Modeling seedling emergence. *Field Crops Research*, 67(5), 123-139.
- Giri, G. S., & Schillinger, W. F., (2003). Seed priming winter wheat for germination, emergence, and yield. *Crop science*, 43(6), 2135-2141.
- Gong, D., He, F., Liu, J., Zhang, C., Wang, Y., Tian, S., Sun, C. & Zhang, X., (2022). Understanding of Hormonal Regulation in Rice Seed Germination. *Life*, 12(7), p.1021.
- Hakizimana, F., Haley, S. D., & Turnipseed, E. B. (2000). Repeatability and genotype × environment interaction of coleoptiles length measurement in winter wheat. *Crop Science*, 40(2), 1233-1237.
- Hakizimana, F., Haley, S. D., & Turnipseed, E. B. (2000). Repeatability and genotype × environment interaction of coleoptiles length measurement in winter wheat. *Crop Science*, 40(2), 1233-1237.
- Han, C., & Yang, P. (2015). Studies on the molecular mechanisms of seed germination. *Proteomics*, 15(2), 1671-1679. <https://doi.org/10.1002/pmic.201400375>.
- Han, C., Wang, K., & Yang, P. (2014). Gel-based comparative phosphoproteomic analysis on rice embryo during germination. *Plant Cell Physiology*, 55(5), 1376-1394. <https://doi.org/10.1093/pcp/pcu060>.
- Harris, D. (2006). Development and testing of on-farm seed priming. *Advanced Agronomy*, 90, 129-138.
- Harris, D., Raghuwanshi, B. S., Gangwar, J. S., Singh, S. C., & Hollington, P. A. (1999). Participatory evaluation by farmers of on-farm seed priming in wheat in India, Nepal and Pakistan. *Experience Agronomy*, 37(3), 403-415.
- Harris, D., Rashid, A., Hollington, P. A., Jasi, L., & Riches, C. (2002). Prospects of improving maize yields with 'on farm seed priming. In *Sustainable Maize Production Systems for Nepal*. edited by Rajbhandari, N. P., Ransom, J. K., Adikhari, K., Palme, R. A. F. E. Nepal: NARC and CIMMYT.
- Hosseinifard, M., Stefaniak, S., Ghorbani Javid, M., Soltani, E., Wojtyla, L., & Garnczarska, M. (2022). Contribution of exogenous proline to abiotic stresses tolerance in plants: a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9), 5186.
- Kaur, S., Gulpata, A. K., & Kaur, N. (2002). Effect of osmo and hydro priming of chickpea seeds on seedling growth and carbohydrate metabolism under water deficit stress. *Plant Growth Regulation*, 37(5), 17-22, 2002. 17.

- Liu, J., Hasanuzzaman, M., Wen, H., Zhang, J., Peng, T., Sun, H., & Zhao, Q. (2019). High temperature and drought stress cause abscisic acid and reactive oxygen species accumulation and suppress seed germination growth in rice. *Protoplasma*, 256(2), 1217-1227.
- Ma, H. Y., Zhao, D. D., Ning, Q. R., Wei, J. P., Li, Y., Wang, M. M., & Liang, Z. W. (2018). A multi-year beneficial effect of seed priming with gibberellic acid-3 (GA₃) on plant growth and production in a perennial grass, *Leymus chinensis*. *Scientific reports*, 8(1), 1-9.
- Mian, M. A. R., & Nafziger, E. D. (1994). Seed size and water potential effects on germination and seedling growth of winter wheat. *Crop Science*, 34(2), 169-171.
- Mohammadi, G. R., & Amiri, F. (2010). The effect of priming on seed performance of canola (*Brassica napus* L.) under drought stress. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environment Science*, 9(2), 202-207.
- Moles, A. T., & Westoby, M. (2004). Seedling survival and seed size: A synthesis of literature. *Journal of Ecology*, 92(11), 372-383.
- Peterson, C. M., Klepper, B., & Rickman, R. W. (1989). Seeds reserves and seedling development in winter wheat. *Agronomy Journal*, 81(2), 245-251.
- Rajjou, L., Duval, M., Gallardo, K., Catusse, J., Bally, J., Job, C., & Job, D. (2012). Seed germination and vigor. *Annual Review of Plant Biology*, 63(2), 507-533.
- Sharafzadeh, F., Zolleh, H. H., Mohamadi, H., & Janmohamadi, M. (2006). Study of osmotic priming effects on wheat (*Triticum aestivum* L.) germination in different temperatures and local seed masses. *Journal of Agronomy*, 5(4), 647-650.
- Singh, P., Singh, J., Ray, Sh., Singh, R., Rajput, Vaishnav, A., & Singh, R. K. (2020). Seed biopriming with antagonistic microbes and ascorbic acid induces resistance in tomato against *Fusarium wilt*. *Microbiological Research*, 237(11), 12-25. <https://doi.org/10.1016/j.micres>.
- Turner, N. C., & Nicolas, M. E. (1987). Drought resistance of wheat for light-textured soils in a Mediterranean climate. In *drought tolerance in winter cereals*. edited by Srivastava, J. P., Porceddu, E., Acevedo, E., & Varma, S. Chichester: John Wiley & Sons.
- Weitbrecht, K., Müller, K., & Leubner-Metzger, G. (2011). First off the mark: early seed germination. *Journal of experimental botany*, 62(10), 3289-3309. <https://doi.org/10.1093/jxb/err030>.



Investigate the effect of drought stress on root and shoot characteristics of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.)

Hamid Jabbari¹✉ | Majid Gholam Hosseini² | Mohammad Bagher Valipour³ |
Mohammad Reza Nazari⁴ | Amir Hasan Omid⁵ | Habib Tashakori Meymand⁶

1. Corresponding Author, Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: h.jabbari@areeo.ac.ir
2. Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: m.gholamhosseini@areeo.ac.ir
3. Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: m.valipour@areeo.ac.ir
4. Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: mrnazari@spii.ir
5. Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: ah.omidi@areeo.ac.ir
6. Seed and Plant Improvement Institute (SPII), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: h.tashakori@areeo.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 12 November 2022

Received in revised form

14 June 2023

Accepted 19 June 2023

Published online

20 September 2023

Keywords:

Cultivars

Flowering time

Physiological characteristics

Relative water content (RWC)

Root diameter

SPAD value

ABSTRACT

Objective: This research was carried out in order to investigate the effect of irrigation regimes on morphological traits of root and shoot of safflower genotypes.

Methods: A field experiment has been conducted via polyvinyl chloride (PVC) pipes at research field of Seed and Plant Improvement Institute in Karaj, during 2019-2020. A factorial experiment has been laid out in a randomized complete block design with three replications. This study deals with six genotypes of safflower (Varamin landrace, Hamand landrace, Kazakhstan genotype and Amir, Goldasht and Permian cultivars) in two irrigation regimes, including full irrigation (control) and drought stress (Irrigation after depletion of 40% and 80% of soil available moisture respectively) treatments.

Results: The results showed that under drought stress conditions, root length and root diameter have increased by 28.6% and 13.6%, respectively and root dry weight, leaf relative water content (RWC), number of bolls, number of seeds per plant and seed yield per plot and was decreased by 23.6%, 15.2%, 25.4%, 63.3%, and 74.9%, respectively. Under full irrigation conditions, Amir with suitable root system (root dry weight 7.7 g and root length 71 cm) and maximum number of seeds had the highest seed yield (5.03 g per plot). In addition, under drought stress conditions, Amir cultivar had early flowering, maximum root dry weight and length, highest activity of catalase and peroxidase enzymes, and the highest seed yield per plot (1.67 g).

Conclusion: Generally, Amir cultivar had more seed yield due to having a suitable root system and superior agronomic characteristics and was selected as the superior genotype.

Cite this article: Jabbari, H., Gholam Hosseini, M., Valipour, M. B., Nazari, M. R., Omid, A. H., & Tashakori Meymand, H. (2023). Investigate the effect of drought stress on root and shoot characteristics of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 557-573.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.351005.2760>



© The Authors.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.351005.2760>

Publisher: University of Tehran Press.

ارزیابی اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های ریشه و اندام هوایی ژنوتیپ‌های گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.)

حمید جباری^۱ | مجید غلامحسینی^۲ | محمدباقر ولی‌پور^۳ | محمدرضا نظری^۴ | امیرحسین امید^۵ | حبیب تشکری میمند^۶

۱. نویسنده مسئول، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: h.jabbari@areeo.ac.ir
۲. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: m.gholamhoseini@areeo.ac.ir
۳. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: m.valipour@areeo.ac.ir
۴. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: mrnazari@spii.ir
۵. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: ah.omidi@areeo.ac.ir
۶. مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: h.tashakori@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

هدف: این پژوهش به منظور تأثیر رژیم‌های آبیاری بر صفات مورفولوژیک ریشه و اندام هوایی ژنوتیپ‌های گلرنگ انجام شد.

روش پژوهش: این آزمایش با استفاده از لوله‌های پلیکا (پی‌وی‌سی) در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر کرج در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ انجام شد. آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تیمارهای مورد بررسی شامل رژیم آبیاری در دو سطح آبیاری کامل (شاهد) و تنش خشکی (به ترتیب آبیاری پس از تخلیه ۴۰ و ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده در خاک) و ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ شامل توده‌های محلی ورامین، همد (آبسرد)، ژنوتیپ قزاقستانی و ارقام امیر، گلدشت و پرنیان بودند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۲۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

یافته‌ها: نتایج نشان داد در شرایط تنش خشکی، طول و قطر ریشه به ترتیب به میزان ۲۸/۶ و ۱۳/۶ درصد افزایش و صفات وزن خشک ریشه، محتوای نسبی آب برگ، تعداد غوزه، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه در واحد آزمایشی به ترتیب ۲۳/۶، ۱۵/۲، ۲۵/۴، ۶۳/۳ و ۷۴/۹ درصد کاهش یافت. در شرایط آبیاری کامل، رقم امیر با برخورداری از سیستم ریشه‌ای مناسب (وزن خشک ریشه ۷/۷ گرم و طول ریشه ۷۱ سانتی‌متر) و حداکثر تعداد دانه از بیش‌ترین عملکرد دانه در واحد آزمایشی (۵/۰۳ گرم در بوته) برخوردار بود. رقم امیر در شرایط تنش خشکی با گل‌دهی زود هنگام، وزن خشک و طول ریشه زیاد، برخورداری از بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، بیش‌ترین عملکرد دانه در واحد آزمایشی (۱/۶۷ گرم در بوته) را دارا بود.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی، رقم امیر به دلیل برخورداری از سیستم ریشه‌ای مناسب و ویژگی‌های برتر زراعی، عملکرد دانه بیش‌تری داشت و ژنوتیپ برتر بود.

کلیدواژه‌ها:

ارقام
خصوصیات فیزیولوژیک
شاخص سبزیگی
قطر ریشه
گل‌دهی
محتوای نسبی آب برگ

استناد: جباری، حمید؛ غلامحسینی، مجید؛ ولی‌پور، محمدباقر؛ نظری، محمدرضا؛ امید، امیرحسین؛ و تشکری میمند، حبیب (۱۴۰۲). ارزیابی اثر تنش خشکی بر ویژگی‌های ریشه و اندام هوایی ژنوتیپ‌های گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.). *بزرگای کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۵۵۷-۵۷۳.
DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.351005.2760>



۱. مقدمه

تغییرات آب‌وهوایی ناشی از گرمایش کره زمین با کاهش میزان ریزش‌های جوی و افزایش تبخیر و تعرق در مناطق خشک و نیمه‌خشک سبب کاهش چشم‌گیر میزان آب در دسترس شده و تولیدات کشاورزی را با محدودیت جدی روبه‌رو می‌کند (Corwin, 2021). بر این اساس، خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی است که با تغییر فرایندهای فیزیولوژیک و بیوشیمیایی بر عملکرد بسیاری از محصولات تأثیر می‌گذارد (Manvelian *et al.*, 2021). گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی و از خانواده Asteraceae، گیاهی است خودگشن که بومی مناطقی از آسیا تا آفریقا است (Singh & Nimbkar, 2007). بخش اعظم اراضی ایران در نواحی خشک و نیمه‌خشک واقع شده است و گیاه گلرنگ تحمل نسبی خوبی را در برابر تنش خشکی از خود نشان می‌دهد که همین موضوع موجب اقبال کشاورزان به این گیاه شده است (Omidi, 2012). با این حال، تنش خشکی مهم‌ترین تنش غیرزیستی است که تولید گلرنگ را محدود می‌سازد (Chavoushi *et al.*, 2019). از آنجاکه گلرنگ دارای ریشه‌های عمیق و قوی‌تری نسبت به سایر گیاهان است، می‌تواند به‌طور مؤثر از ذخایر رطوبت باقی‌مانده در خاک تا عمق ۳ متر استفاده کند (Hussain *et al.*, 2016). اگرچه گلرنگ به‌دلیل داشتن ریشه‌های عمیق و توانایی بالا در جذب رطوبت از لایه‌های عمیق خاک، به‌عنوان گیاهی متحمل به خشکی شناخته می‌شود، اما پس از مرحله روزت نسبت به خشکی حساس‌تر می‌شود و بیش‌ترین حساسیت به کمبود آب را از مرحله تشکیل گل‌آذین تا اوایل مرحله پرشدن دانه نشان می‌دهد (Rahmani *et al.*, 2019). برای فهم بیشتر سازوکارهای تحمل به خشکی و دستیابی به ژرم‌پلاسم در برنامه‌های اصلاحی، شناسایی صفات مورفوفیزیولوژیک مرتبط به‌ویژه صفات ریشه ضروری است (Gholamhoseini *et al.*, 2021).

۲. پیشینه پژوهش

پژوهش‌هایی روی ویژگی‌های سیستم ریشه‌ای گونه‌های گیاهان زراعی انجام گرفته است، اما به‌دلیل مشکلات مرتبط با اندازه‌گیری سیستم‌های ریشه در مقادیر و مراحل مختلف (به‌غیر از مرحله گیاهچه‌ای)، دانش مربوط به این بررسی‌ها هنوز در مرحله ابتدایی توسعه می‌باشد (Bengough *et al.*, 2011). باید توجه داشت که به‌ویژه در شرایط تنش خشکی، ریشه‌ها نقش مستقیم و آشکاری در مدیریت تأمین آب از طریق عمق ریشه‌زایی و تعداد ریشه‌ها در یک لایه خاص دارند و مطالعه مستقیم آن‌ها از ارزش بسیاری برخوردار است (Wasaya *et al.*, 2018). با توجه به واکنش متفاوت ارقام گیاهی در برابر تنش‌های محیطی، بررسی صفات مرتبط با ریشه به‌منظور شناسایی ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی اهمیت بالایی دارد (Rousseau *et al.*, 2015).

بیش‌تر اوقات با افزایش شدت خشکی، نسبت ریشه به اندام‌های هوایی در گیاه گلرنگ افزایش می‌یابد و ارقام متحمل به خشکی، دارای تنوع بسیار زیاد از نظر سیستم ریشه‌ای هستند و نقش خصوصیات ریشه از قبیل قطر ریشه، عمق و پراکندگی ریشه در انتخاب رقم‌های متحمل به خشکی به اثبات رسیده است (Jabbari, 2021). در بررسی بهبود تحمل به خشکی در گیاه گلرنگ در مرحله رشد رویشی گزارش شده است که تنش خشکی سبب افزایش وزن ماده خشک و طول ریشه گیاه گلرنگ می‌شود (Chavoushi *et al.*, 2019). در یک مطالعه گزارش شد که اعمال تنش خشکی تأثیر معنی‌داری بر کلیه ویژگی‌های مورفولوژی ریشه دو رقم کلزا دارد (Wu *et al.*, 2017). در آزمایش دیگری تنش خشکی اثر معنی‌داری بر طول ریشه دو رقم گلرنگ در تیمارهای آبیاری براساس ۵۰ و ۲۵ درصد رطوبت قابل‌جذب داشت و سبب افزایش طول ریشه نسبت به تیمار شاهد شد. این افزایش در رقمی که ریشه‌های عمیق و ضخیم داشت،

بیش‌تر بود. در واقع، ویژگی‌های ریشه، به‌ویژه طول ریشه برای گیاه مهم است زیرا با بهره‌برداری مناسب از آب موجود در اعماق خاک سبب توسعه و استقرار بهتر اندام هوایی می‌شود (Hojati *et al.*, 2011).

در بررسی رابطه سیستم ریشه‌ای با روابط آبی گیاه کلزا در شرایط تنش خشکی در یک آزمایش گلدانی نتیجه گرفته شد که نقش خصوصیات مورفولوژی ریشه در افزایش تحمل به خشکی در گیاه بسیار پررنگ است و یک سیستم ریشه‌ای کارآمد به‌همراه هدایت روزنه‌ای بالا، دوام سطح برگ زیاد و تولید اجزای عملکرد زیاد بیش‌ترین نقش را در پایداری عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی دارد (Jabbari *et al.*, 2016). هم‌چنین در بررسی توان تحمل به تنش خشکی در ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ مشخص شده است که محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ‌های متحمل بصورت معنی‌داری بالاتر بود (Achhale, 2016). هم‌چنین در ژنوتیپ‌های متحمل تغییرات محتوای نسبی آب برگ طی تنش خشکی نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها کم‌تر بوده و این ژنوتیپ‌ها پایداری عملکرد بالاتری دارند (Pasban Eslam, 2011). از سوی دیگر، روغن دانه گلرنگ به‌عنوان محصول نهایی کشت این گیاه علاوه بر کمیت از نظر کیفیت نیز تحت تأثیر تنش خشکی قرار دارد. نتایج یک آزمایش در این زمینه نشان داد که که ژنوتیپ‌های مختلف گلرنگ از نظر اجزای عملکرد، زیست‌توده و درصد روغن در شرایط کمبود آب با هم تفاوت دارند و کاهش عملکرد گلرنگ در شرایط کمبود آب به‌دلیل تولید کم زیست‌توده و کاهش محسوس وزن هزاردانه و تعداد دانه در بوته مرتبط است (Joshan *et al.*, 2019).

قرارگرفتن ریشه در زیر خاک، موجب کم‌رنگ‌شدن نقش حیاتی این بخش از گیاه در پژوهش‌های علمی شده است، اما نقش‌ها و کارکردهای فراوان ریشه موجب شده تا این اندام موضوع مطالعات گردد. لذا تعیین تحمل نسبی به خشکی در گیاه گلرنگ به‌ویژه از طریق مطالعه صفات ریشه در ارقام مختلف آن، از اهمیت زیادی برخوردار است. از این‌رو، در این پژوهش میزان تحمل به خشکی در شش ژنوتیپ گلرنگ (توده‌های محلی و ارقام تجاری ایرانی و خارجی) با مطالعه خصوصیات مرتبط با ریشه و صفات مورفوفیزیولوژیک اندام هوایی مورد مطالعه قرار گرفته است.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش به‌منظور تأثیر رژیم‌های آبیاری بر صفات ریشه و اندام هوایی ژنوتیپ‌های گلرنگ انجام شد. این بررسی به‌صورت آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه پژوهشی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در جاده محمدشهر کرج (استان البرز) با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۶ دقیقه شرقی، عرض ۳۵ درجه و ۴۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا در فصل زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. این منطقه براساس آمار آب‌وهوایی و منحنی آمبروترمیک به‌دلیل داشتن ۱۵۰ تا ۱۸۰ روز خشک، جزو مناطق آب‌وهوایی مدیترانه‌ای گرم و خشک و با داشتن زمستان سرد و مرطوب و تابستان گرم و خشک جزو رژیم رطوبتی خشک محسوب می‌شود. براساس اطلاعات ۳۰ ساله هواشناسی استان البرز، متوسط بارندگی منطقه ۲۴۳ میلی‌متر در سال است. بارندگی‌ها عمدتاً در اواخر پاییز و اوایل بهار رخ می‌دهد. میانگین حداکثر درجه حرارت سالانه در تیرماه، ۲۸ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل درجه حرارت، یک درجه سانتی‌گراد در دی‌ماه اتفاق می‌افتد. متوسط درجه حرارت منطقه در یک دوره ۳۰ ساله برابر ۱۳/۵ درجه سانتی‌گراد و درجه حرارت خاک، ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد است.

در این پژوهش رقم تازه معرفی شده امیر که حاصل تلاقی ارقام پدیده × گلدشت است به‌همراه توده محلی ورامین، توده محلی همد آیسرد (دماوند) و اکسشن قزاقستانی با دو ژنوتیپ ایرانی پرنیان و گلدشت (به‌عنوان شاهد) در دو رژیم آبیاری شامل آبیاری کامل و کم‌آبیاری (تنش خشکی) از نظر تحمل به تنش خشکی و سیستم ریشه‌ای مورد مقایسه قرار گرفتند. تیپ‌های

خودرو و وحشی مورد بررسی شامل توده‌های محلی ورامین و همدند بودند که به ترتیب از اطراف ورامین و ۵۰ کیلومتری شرق تهران (منطقه همدند آبرسد) جمع‌آوری شده بودند (USDA Agricultural Research Service, 2019).

جدول ۱. نام، مشخصات و مبدأ ژنوتیپ‌های گلرنگ مورد مطالعه

ردیف	ژنوتیپ	مبدأ	تیپ رشدی	رنگ گل	وضعیت خار	توضیحات
۱	امیر	ایران	بهاره (زودرس)	قرمز	بدون خار	غوزه درشت با وزن هزاردانه ۴۵ گرم
۲	توده محلی ورامین	ایران	بهاره (میان‌رس)	نارنجی	کم خار	وزن هزاردانه ۳۸ تا ۴۳ گرم با روغن دانه ۲۷ درصد
۳	توده محلی همدند آبرسد (دماوند)	ایران	بهاره (میان‌رس)	نارنجی	بدون خار	وزن هزاردانه ۲۷ تا ۳۴ گرم با روغن دانه ۳۰ درصد
۴	قزاقستانی	قزاقستان	بهاره (زودرس)	نارنجی	خاردار	توده محلی متحمل به سرما
۵	گلدشت	ایران	بهاره (زودرس)	قرمز	بدون خار	وزن هزاردانه ۴۰ گرم
۶	پرنیان	ایران	بهاره (زودرس)	سفید	بدون خار	متحمل به سرما با وزن هزاردانه ۴۲ گرم

در این آزمایش ابتدا شاخه‌های شش متری لوله‌های پلیکای (پی‌وی‌سی) تهیه شد و در ابعاد طولی ۱/۵ متر برش خورد. سپس به صورت طولی به دو نیم تقسیم شدند و برای تسهیل ارزیابی نهایی، با استفاده از بست‌های پلاستیکی و نوار چسب به یکدیگر متصل شدند. پس از آماده‌سازی اولیه لوله‌ها، جوی‌هایی به عمق ۴۰ سانتی‌متر با استفاده از نهرکن در مزرعه ایجاد شد و داخل آن لوله‌های پلیکای با قطر ۲۵ سانتی‌متر به صورت عمودی جاگذاری و با خاک پر شد. ترکیب خاک استفاده‌شده به صورت دو واحد ماسه بادی، یک واحد خاک زراعی و یک واحد خاک برگ بود. زمان کشت در لوله‌های پلیکا ۱۵ اسفندماه بود و آبیاری اول بلافاصله بعد از کاشت انجام شد. شکل (۱) نمایی کلی از نحوه اجرای آزمایش را نشان می‌دهد. هر واحد آزمایشی شامل دو لوله و در هر لوله سه بذر کاشته شد که پس از سبز شدن و استقرار گیاهچه، تنها یک بوته در هر لوله حفظ شد.



شکل ۱. نمایی از نحوه اجرای آزمایش با استفاده از لوله‌های پلیکا (پی‌وی‌سی)

برای کنترل رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه از دستگاه T.D.R.^۱ (مدل ۶۰۵۰x۱، کشور آمریکا) در لوله‌ها استفاده شد و زمان‌بندی آبیاری واحدهای آزمایشی براساس روش تغییرات درصد حجمی رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه به‌صورت آبیاری قطره‌ای انجام شد (شکل ۱). در این روش هنگامی که درصد رطوبت خاک در عمق توسعه ریشه از حد مشخصی کمتر شود، آبیاری انجام شد. در این آزمایش آبیاری زمانی صورت گرفت که ۴۰ و ۸۰ درصد رطوبت قابل استفاده در عمق ۳۰ سانتی‌متری خاک (با استفاده از سنسور میله ۳۰ سانتی‌متری دستگاه T.D.R.) به‌ترتیب در رژیم آبیاری کامل و تنش خشکی، به‌وسیله گیاه و یا تبخیر از سطح خاک تخلیه شد. تعیین مقدار رطوبت قابل استفاده نیز از تفاوت درصد حجمی رطوبت (در عمق توسعه ریشه) در نقطه ظرفیت زراعی (FC)^۲ از درصد حجمی رطوبت در نقطه پژمردگی دائمی (PWP)^۳ به‌دست آمد. زمان اعمال تنش خشکی از مرحله شش برگگی به بعد بود.

در مرحله چهاربرگی کود محلول حاوی مقادیر زیاد فسفر (۱۰-۵۲-۱۰) و کود محلول حاوی مقادیر زیاد پتاس (۱۲-۱۲-۳۶) به میزان ۱ لیتر در هکتار محلول‌پاشی انجام شد. هم‌چنین از مرحله رشد سریع ساقه تا تکمه‌دهی نیز سه مرتبه محلول‌پاشی کود سرک اوره با غلظت پنج در هزار صورت گرفت.

در طی دوره رشد، مرحله نموی آغاز گل‌دهی در هر ژنوتیپ و در هر تیمار یادداشت برداری شد. زمان برداشت گیاهان در ۱ مردادماه بود (زمان رسیدگی برای ژنوتیپ‌های مورد مطالعه متفاوت و از ۲۵ تا ۱ مردادماه متغیر بود) و نمونه‌برداری ریشه و اندام هوایی در این تاریخ انجام شد. در هنگام برداشت، لوله‌ها از زمین بیرون آورده شد و بوته‌ها همراه با ریشه کامل از خاک جدا و صفات ریشه‌ای شامل قطر ریشه اصلی در محدوده ۵ سانتی‌متری پایین طوقه (با استفاده از کولیس)، طول ریشه (با استفاده از خط‌کش)، وزن خشک ریشه (از طریق توزین) و خصوصیات اندام هوایی (تعداد شاخه فرعی، ارتفاع بوته، عملکرد و اجزای عملکرد) در آزمایشگاه اندازه‌گیری شد. هم‌چنین به‌منظور ارزیابی شاخص سبزی‌نگی (SPAD) در مرحله پرشدن دانه از دستگاه کلروفیل‌متر دستی (مدل MINOLTA-502، کشور ژاپن) برای متوسط پنج نقطه از سه برگ جوان و توسعه یافته استفاده شد.

محتوای نسبی آب برگ در مرحله پرشدن دانه اندازه‌گیری شد. برای این منظور در ساعت هفت صبح سه برگ جوان و توسعه یافته از بالای پوشش گیاهی از هر کرت برداشت گردید و محتوای نسبی آب برگ با استفاده از معادله (۱) محاسبه گردید (Jabbari, 2021).

$$\text{RWC (\%)} = \frac{\text{FW} - \text{DW}}{\text{TW} - \text{DW}} \times 100 \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه، RWC: محتوای نسبی آب برگ، FW: وزن تر برگ، TW: وزن آماس برگ و DW: وزن خشک برگ است.

در مرحله پرشدن دانه، اندازه‌گیری فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان کاتالاز و پراکسیداز با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل Cary ۱۰۰، کشور هلند) به‌ترتیب در طول موج‌های ۲۴۰ و ۴۷۰ نانومتر اندازه‌گیری شد (Aebi, 1983; Chance & Maehly, 1955). ارزیابی فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، محتوای نسبی آب برگ و شاخص سبزی‌نگی (SPAD) در تیمار شاهد ۱۲ ساعت پس از آبیاری و در تیمار تنش خشکی قبل از انجام آبیاری بود تا دو تیمار آبیاری از نظر وضعیت رطوبتی خاک متفاوت باشند و شرایط تنش خشکی به‌خوبی اعمال شده باشد.

قبل از انجام تجزیه واریانس، آزمون نرمال‌بودن داده‌های آزمایشی انجام شد. تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار

1. Time-Domain Reflectometry, Trase System Soilmoisture Equipment Corp

2. Field Capacity

3. Permanent Wilting Point

آمار SAS (نسخه ۹/۱) انجام شد. برای مقایسه میانگین‌های اثرات اصلی از آزمون LSD^۱ در سطح پنج درصد و برای مقایسه میانگین اثرات متقابل از روش برش‌دهی استفاده شد. نمودار ماتریکس همبستگی ساده^۲ بین صفات در دو شرایط بدون تنش (شاهد) و تنش خشکی به صورت جداگانه با استفاده از نرم‌افزار R (نسخه ۳.۵.۱) رسم شد.

۴. یافته‌های پژوهش

نتایج به دست آمده نشان داد که تأثیر تیمار آبیاری بر تمامی صفات مورد مطالعه نظیر تعداد روز تا گل‌دهی، وزن خشک، طول و قطر ریشه، ارتفاع بوته، تعداد غوزه، تعداد شاخه فرعی، فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز، محتوای نسبی آب برگ، شاخص سبزیگی (SPAD)، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه در واحد آزمایشی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲). ژنوتیپ‌های مورد بررسی تفاوت معنی‌داری از نظر کلیه صفات مورد بررسی نظیر تعداد روز تا گل‌دهی، وزن خشک، طول و قطر ریشه، ارتفاع بوته، تعداد غوزه، تعداد شاخه، فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز، محتوای نسبی آب برگ، شاخص سبزیگی (SPAD)، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه در واحد آزمایشی داشتند (جدول ۲). اثر متقابل تیمارهای آبیاری × ژنوتیپ بر تعداد روز تا گل‌دهی، وزن خشک ریشه، طول ریشه، ارتفاع بوته، فعالیت آنزیم کاتالاز و پراکسیداز، محتوای نسبی آب برگ، شاخص سبزیگی (SPAD)، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه در واحد آزمایشی در سطح یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۲).

جدول ۲. نتایج تجزیه واریانس برخی از صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک در شش رقم گلرنگ در دو سطح آبیاری

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		تعداد روز تا گل‌دهی	وزن خشک ریشه	طول ریشه	قطر ریشه	ارتفاع بوته	تعداد غوزه در بوته
تکرار	۲	**۱۲/۱۷	**۰/۱۶	*۱۸/۳	ns۰/۳	ns۲۲/۹	**۶/۳۶
آبیاری	۱	**۶۵/۱۳	**۱۵/۲۳	**۳۷۸۰/۸	**۷/۱	**۱۷۸۲/۲	**۱۷/۳۶
ژنوتیپ	۵	**۱۳/۲۲	**۱۶/۲۲	**۹۷۷/۴	**۶/۷	**۱۱۳۳/۲	**۸/۸۲
آبیاری × ژنوتیپ	۵	**۱۱/۴۰	**۰/۵۴	**۳۲۱/۴	ns۱/۳	**۱۴۴/۵	ns۰/۰۲
خطا	۲۲	۱/۲۵	۰/۰۲	۴/۶	۰/۷	۱۸/۳	۰/۱۴
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱/۲۸	۲/۸	۳/۱	۱۲/۰	۷/۰	۸/۰

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات					
		فعالیت آنزیم کاتالاز	فعالیت آنزیم پراکسیداز	محتوای نسبی آب برگ (RWC)	شاخص سبزیگی (SPAD)	تعداد دانه در بوته	عملکرد دانه در واحد آزمایشی
تکرار	۲	**۳/۱۷	ns۱/۰۹	**۸/۹	**۸/۰	*۵/۴	**۲/۰۳
آبیاری	۱	**۶۶/۵۸	**۱۶/۴۰	**۱۲۷۵/۶	**۸۱/۱	**۵۱۳/۷	**۴۵/۲۴
ژنوتیپ	۵	**۱۳/۸۴	**۱۱/۲۴	**۶۷/۱	**۱۳/۶	**۱۶/۹	**۵/۰
آبیاری × ژنوتیپ	۵	**۱۳/۶۷	**۷/۴۸	**۱۰/۱	**۲۲/۸	**۴/۷	**۱/۱۷
خطا	۲۲	۰/۰۵	۰/۸۶	۱/۲۲	۱/۰	۱/۰	۰/۱۱
ضریب تغییرات (درصد)	-	۶/۶	۱۶/۹	۱/۵	۱/۶	۱۲/۴	۱۸/۱

ns: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و نبود اختلاف معنی‌دار. *, ** و ***: معنی‌داری در سطح احتمال ۱، ۵ و ۱۰ درصد.

اعمال تنش خشکی سبب کاهش ۲۵/۴ و ۳۱/۲ درصدی به ترتیب تعداد غوزه و تعداد شاخه فرعی و افزایش ۱۳/۶ درصدی قطر ریشه در مقایسه با تیمار شاهد (عدم تنش خشکی) شد (جدول ۳). در بین شش ژنوتیپ گلرنگ مورد بررسی،

1. Least Significant Difference
2. Correlation matrix plot

رقم امیر از بیش‌ترین قطر ریشه برخوردار بود (جدول ۳). از نظر تعداد غوزه نیز رقم امیر به‌طور معنی‌داری برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود و پس از آن، ژنوتیپ‌های قزاقستانی، گلدشت و پرنیان در یک گروه آماری قرار داشتند (جدول ۳). هم‌چنین رقم امیر از بیش‌ترین تعداد شاخه فرعی برخوردار بود (جدول ۳). با این وجود، رقم امیر از نظر تعداد شاخه فرعی تفاوت معنی‌داری با ژنوتیپ‌های قزاقستانی، گلدشت و پرنیان نداشت (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین‌های صفات قطر ریشه، تعداد شاخه فرعی و تعداد غوزه در بوته در تیمارهای مختلف در گلرنگ

تیمارها	قطر ریشه (میلی‌متر)	تعداد شاخه فرعی	تعداد غوزه در بوته
تیمار آبیاری			
شاهد	۶/۶ b	۴/۸ a	۵/۵ a
تنش خشکی	۷/۵ a	۳/۳ b	۴/۱ b
ژنوتیپ			
توده محلی همند (آب‌سرد)	۵/۸ c	۳/۱۶ b	۳/۳ c
امیر	۸/۲ a	۵/۱۶ a	۶/۳ a
توده محلی ورامین	۵/۹ c	۳/۱۶ b	۳/۳ c
پرنیان	۷/۰ b	۴/۳۳ a	۵/۱ b
گلدشت	۷/۰ b	۴/۳۳ a	۵/۳ b
قزاقستانی	۸/۲ a	۴/۵۰ a	۵/۳ b

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد از نظر آزمون آماری حداقل اختلاف معنی‌دار هستند.

نتایج بررسی مقایسه میانگین اثرات متقابل آبیاری × ژنوتیپ در جدول (۴) نشان می‌دهد که در شرایط شاهد، دو توده محلی همند و ورامین و در شرایط تنش خشکی، توده‌های محلی همند و ورامین و رقم پرنیان بیش‌ترین تعداد روز تا آغاز گل‌دهی را دارا بودند. در مقابل، کم‌ترین تعداد روز تا آغاز گل‌دهی در شرایط شاهد در رقم امیر و در شرایط تنش خشکی در ژنوتیپ قزاقستانی مشاهده شد (جدول ۴). در شرایط تنش خشکی واکنش ژنوتیپ‌های گلرنگ از نظر طول ریشه کاملاً متفاوت بود و با اعمال تنش خشکی طول ریشه در برخی ژنوتیپ‌ها کاهش و در برخی افزایش یافت (جدول ۴). به‌عنوان مثال، میانگین طول ریشه در توده محلی همند با اعمال تنش خشکی ۶ درصد کاهش یافت، درحالی‌که میانگین طول ریشه در ژنوتیپ‌های امیر، ورامین، پرنیان، گلدشت و قزاقستانی در شرایط تنش خشکی به‌ترتیب ۴۰، ۳، ۳۸، ۴۱ و ۴۸ درصد افزایش یافت (جدول ۴). در مقابل، وزن خشک ریشه در تمامی ژنوتیپ‌های مورد مطالعه با اعمال تنش خشکی کاهش یافت ولی میزان کاهش در هر ژنوتیپ کاملاً متفاوت بود، به‌طوری‌که میزان کاهش وزن خشک ریشه در ژنوتیپ‌های امیر و قزاقستانی به‌ترتیب ۱۷ و ۱۶ درصد و در ژنوتیپ پرنیان ۳۶ درصد بود (جدول ۴).

در آزمایش حاضر و در تیمار آبیاری کامل، رقم امیر از نظر وزن خشک ریشه و طول ریشه برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بود. هرچند این برتری در تیمار تنش خشکی نیز مشاهده شد و رقم امیر از نظر خصوصیات ریشه به‌همراه ژنوتیپ قزاقستانی برتر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند (جدول ۴). در مقابل میانگین وزن خشک و طول ریشه در هر دو تیمار آبیاری در توده محلی ورامین و همند به‌طور معنی‌داری کم‌تر از سایر ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۴). به‌عنوان مثال، وزن خشک ریشه در رقم امیر بیش از دو برابر میانگین وزن خشک در توده محلی همند و ورامین بود. هم‌چنین میانگین طول ریشه در رقم امیر در مقایسه میانگین طول ریشه در توده محلی همند و ورامین به‌ترتیب ۱۴/۸ و ۱۶/۸ سانتی‌متر بیش‌تر بود (جدول ۴). تفاوت رشد ریشه در دو شرایط تنش خشکی و بدون تنش در دو ژنوتیپ قزاقستانی و گلدشت در شکل (۲) نشان داده شده است.

جدول ۴. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ در گلرنگ

تیمارها	تعداد روز تا گل‌دهی (روز)	وزن خشک ریشه (گرم)	طول ریشه (سانتی‌متر)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	فعالیت آنزیم کاتالاز (میکرومول H ₂ O ₂ / دقیقه / میلی گرم پروتئین)	فعالیت آنزیم پراکسیداز (میکرومول H ₂ O ₂ / دقیقه / میلی گرم پروتئین)
ژنوتیپ						
توده محلی همد (آب سرد)	۹۱/۶ a	۳/۳۳ e	۵۶/۴ e	۵۷/۲ e	۱/۸۷ e	۴/۲۱ d
امیر	۸۵/۳ c	۷/۶۶ a	۷۱/۲ a	۶۴/۰ d	۲/۰۸ c	۵/۰۸ c
توده محلی ورامین	۹۱/۶ a	۳/۲۲ f	۵۴/۴ f	۵۶/۳ f	۱/۹۱ d	۴/۱۰ e
پرنیان	۸۸/۶ b	۶/۳۳ b	۶۱/۶ c	۷۶/۸ a	۲/۵۳ a	۵/۱۰ b
گلدشت	۸۷/۳ b	۶/۲۶ d	۶۰/۹ d	۷۵/۲ c	۲/۵۳ a	۵/۱۰ b
قزاقستانی	۸۸/۳ b	۶/۳۳ c	۶۴/۸ b	۷۵/۵ b	۲/۴۳ b	۵/۲۲ a
توده محلی همد (آب سرد)	۸۷/۰ a	۲/۶۲ e	۵۳/۰ c	۳۰/۸ b	۲/۶ d	۴/۹۰ c
امیر	۸۵/۳ b	۶/۳۸ a	۹۹/۶ a	۵۹/۵ a	۱۰/۴ a	۱۰/۵۰ a
توده محلی ورامین	۸۷/۰ a	۲/۴۱ e	۵۶/۰ c	۳۹/۷ b	۲/۸ d	۴/۷۰ cd
پرنیان	۸۷/۰ a	۴/۰۶ d	۸۴/۷ b	۶۸/۲ a	۳/۴ c	۴/۲۰ d
گلدشت	۸۵/۳ b	۴/۵۱ c	۸۵/۹ b	۶۴/۸ a	۳/۷ c	۴/۹۰ c
قزاقستانی	۸۳/۶ c	۵/۲۱ b	۹۵/۶ a	۶۷/۷ a	۶/۴ b	۷/۶۰ b

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد از نظر آزمون آماری حداقل اختلاف معنی‌دار هستند.



شکل ۲. تفاوت رشد ریشه در دو ژنوتیپ گلرنگ (قزاقستانی و گلدشت) در شرایط تنش خشکی و بدون تنش (شاهد)

در شرایط تنش خشکی فعالیت آنزیم کاتالاز در تمامی ژنوتیپ‌های گلرنگ افزایش یافت اما میزان افزایش در رقم امیر بسیار زیاد و در رقم پرریان و توده محلی همد و ورامین کم‌تر بود (جدول ۴). در مقابل، واکنش ژنوتیپ‌ها به تنش خشکی از نظر فعالیت آنزیم پراکسیداز متفاوت بود، برای مثال در ارقام پرریان و گلدشت فعالیت آنزیم پراکسیداز با اعمال تنش خشکی کاهش یافت، درحالی‌که در سایر ژنوتیپ‌ها میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز بیش‌تر شد (جدول ۴). براین اساس، در تیمار شاهد، ارقام گلدشت و پرریان و در تیمار تنش خشکی رقم امیر بیش‌ترین فعالیت آنزیم کاتالاز را داشتند (جدول ۴). هم‌چنین در تیمار شاهد، بیش‌ترین فعالیت آنزیم پراکسیداز در رقم قزاقستانی و در تیمار تنش خشکی در رقم امیر مشاهده شد (جدول ۴).

در این مطالعه، محتوای نسبی آب برگ در شش ژنوتیپ گلرنگ با اعمال تنش خشکی کاهش معنی‌داری یافت (جدول ۵). با این وجود، عکس‌العمل ژنوتیپ‌ها از نظر محتوای نسبی آب برگ در دو سطح تیمار رطوبتی خاک متفاوت بود. در تیمار شاهد رقم امیر با ۸۰/۸ درصد و در تیمار تنش خشکی ژنوتیپ قزاقستانی و رقم امیر به‌ترتیب با ۷۰/۹ و ۷۰/۷ درصد بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ را در بین ژنوتیپ‌ها داشتند (جدول ۵).

در تیمار شاهد، ژنوتیپ‌های موردبررسی تفاوت محسوسی از نظر شاخص سبزیگی (SPAD) نداشتند و تفاوت بین بیش‌ترین و کم‌ترین مقادیر شاخص سبزیگی در بین ژنوتیپ‌ها ۱/۷ واحد بود، درحالی‌که در شرایط تنش خشکی تفاوت در بین ژنوتیپ‌ها از نظر مقادیر شاخص سبزیگی بسیار چشم‌گیر و در حدود ۹/۵ واحد بود. با این‌حال، بالاترین شاخص سبزیگی در تیمار شاهد، در ژنوتیپ قزاقستانی و در تیمار تنش خشکی در توده محلی همد قرائت شد (جدول ۵). این در حالی است که کم‌ترین شاخص سبزیگی در شرایط تنش خشکی در رقم امیر به میزان ۶۰/۷ مشاهده شد (جدول ۵).

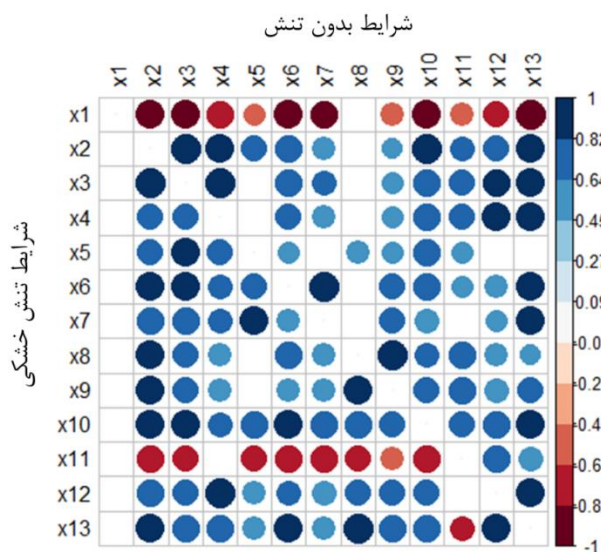
در این آزمایش تعداد غوزه و به‌ویژه تعداد دانه در غوزه در ژنوتیپ‌های گلرنگ بسیار محدود بود و در هر غوزه تنها یک یا دو دانه تشکیل شده بود (جدول‌های ۳ و ۵). با این وجود، رقم امیر در تیمار شاهد و ژنوتیپ‌های قزاقستانی و امیر در تیمار تنش خشکی از بیش‌ترین تعداد دانه در بوته برخوردار بودند (جدول ۵). واکنش ژنوتیپ‌های گلرنگ مورد مطالعه، از نظر عملکرد دانه در واحد آزمایشی (تک‌بوته) در دو سطح تیمار رطوبتی خاک متفاوت بود. در هر دو تیمار رطوبتی، ژنوتیپ‌های توده محلی ورامین و همد کم‌ترین عملکرد دانه را داشتند (جدول‌های ۴ و ۵).

نتایج ضرایب همبستگی به‌صورت پلات همبستگی پیوسته برای شرایط بدون تنش (شاهد) و تنش خشکی ارائه شد (شکل ۳). داخل پلات فقط ضرایب معنی‌دار نمایش داده شده است و از آبی پررنگ تا قرمز پررنگ به‌ترتیب ضرایب مثبت یک تا منفی یک نشان داده شده است (شکل ۳). بر این اساس در شرایط شاهد (بدون تنش) تعداد روز تا گل‌دهی همبستگی منفی و معنی‌داری با اکثر صفات مورد مطالعه به‌ویژه عملکرد دانه داشت. هم‌چنین عملکرد دانه همبستگی مثبت و زیادی با صفات ریشه (وزن خشک، طول و قطر ریشه) داشت (شکل ۳). در مقابل در شرایط تنش خشکی هیچ همبستگی معنی‌داری بین تعداد روز تا گل‌دهی با سایر صفات مشاهده نشد، اما هم‌چنان صفات ریشه (وزن خشک، طول و قطر ریشه) همبستگی مثبت و معنی‌داری با اکثر صفات به‌ویژه محتوای نسبی آب برگ داشت (شکل ۳). هم‌چنین همبستگی مثبت و قابل ملاحظه‌ای بین فعالیت آنزیم کاتالاز و عملکرد دانه در شرایط تنش خشکی وجود داشت (شکل ۳). در شرایط تنش خشکی شاخص سبزیگی با اکثر صفات موردبررسی همبستگی منفی و معنی‌داری داشت درحالی‌که در شرایط بدون تنش همبستگی موجود مثبت بود (شکل ۳).

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های اثر متقابل آبیاری و ژنوتیپ در گلرنگ

تیمارها	محتوای نسبی آب برگ (درصد)	شاخص سبزی‌بندی	تعداد دانه در بوته	عملکرد دانه در واحد آزمایشی (تک‌بوته) (گرم)	تیمار آبیاری	
					ژنوتیپ	ژنوتیپ
شاهد	۷۴/۶ e	۵۵/۷ e	۱۰/۶ d	۱/۶۰ d	توده محلی همد (آب‌سرد)	توده محلی همد (آب‌سرد)
	۸۰/۸ a	۵۶/۹ b	۱۴/۶ a	۵/۰۳ a	امیر	امیر
	۷۴/۰ f	۵۵/۵ f	۱۰/۶ d	۱/۶۰ d	توده محلی ورامین	توده محلی ورامین
	۷۹/۹ c	۵۶/۳ d	۱۱/۶ c	۳/۳۳ b	پرنیان	پرنیان
	۸۰/۶ b	۵۶/۴ c	۱۲/۶ b	۳/۶۰ b	گلدشت	گلدشت
	۷۸/۵ d	۵۷/۲ a	۱۱/۶ c	۲/۷۸ c	قزاقستانی	قزاقستانی
تنش خشکی	۶۱/۶ c	۷۰/۲ a	۳/۰ b	۰/۲۳ c	توده محلی همد (آب‌سرد)	توده محلی همد (آب‌سرد)
	۷۰/۷ a	۶۰/۷ d	۶/۶ a	۱/۶۷ a	امیر	امیر
	۶۱/۷ c	۶۹/۳ ab	۲/۰ b	۰/۱۵ c	توده محلی ورامین	توده محلی ورامین
	۶۵/۸ b	۶۵/۰ c	۳/۳ b	۰/۵۶ bc	پرنیان	پرنیان
	۶۶/۳ b	۶۵/۲ c	۴/۰ b	۰/۶۴ b	گلدشت	گلدشت
	۷۰/۹ a	۶۶/۸ bc	۷/۶ a	۱/۲۴ a	قزاقستانی	قزاقستانی

میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک در هر ستون فاقد اختلاف معنی‌دار آماری در سطح احتمال پنج درصد از نظر آزمون آماری حداقل اختلاف معنی‌دار هستند.



شکل ۳. ضرایب همبستگی ساده بین صفات اندازه‌گیری‌شده در ژنوتیپ‌های گلرنگ در رژیم‌های آبیاری کامل (مثلت بالایی) و تنش خشکی (مثلت پایینی).
 X1: تعداد روز تا گل‌دهی، X2: وزن خشک ریشه، X3: طول ریشه، X4: قطر ریشه، X5: ارتفاع بوته، X6: تعداد غوزه در بوته، X7: تعداد شاخه فرعی، X8: فعالیت آنزیم کاتالاز، X9: فعالیت آنزیم پراکسیداز، X10: محتوای نسبی آب برگ، X11: شاخص سبزی‌بندی، X12: تعداد دانه در بوته و X13: عملکرد دانه در واحد آزمایشی.
 (فقط ضرایب همبستگی معنی‌دار با دو رنگ آبی و قرمز نشان داده شده‌اند و آبی پررنگ تا قرمز پررنگ به ترتیب نشان‌دهنده ضرایب مثبت یک تا منفی یک می‌باشند).

۵. بحث

براساس نتایج به‌دست‌آمده، رقم امیر و ژنوتیپ قزاقستانی و رقم گلدشت زودگل‌تر از سایر ژنوتیپ‌ها بودند. اعمال تنش خشکی سبب کاهش تعداد روز تا گل‌دهی در ژنوتیپ‌های گلرنگ به میزان ۲/۶ روز در مقایسه با تیمار شاهد شد (جدول ۳) و گل‌دهی زودهنگام در شرایط تنش خشکی به دلیل فرار از خشکی رخ داده بود.

نتایج صفات مرتبط با رشد ریشه در این آزمایش نشان داد که اثر متقابل ژنوتیپ و فراهمی آب تعیین‌کننده پاسخ ریشه می‌باشد (جدول ۴). تمامی ژنوتیپ‌هایی که در شرایط شاهد دارای رشد ریشه بالایی بودند، لزوماً در شرایط تنش خشکی قادر به حفظ مقادیر بالای رشد ریشه خود نبودند. برای مثال، رقم پرنیان در شرایط شاهد، دارای رشد ریشه بالایی بود، اما در شرایط تنش، دارای بالاترین میزان کاهش رشد ریشه در مقایسه با شاهد بودند (جدول ۴). با توجه به افزایش طول و قطر ریشه در شرایط تنش خشکی علت کاهش وزن خشک ریشه کاهش تولید ماده خشک و تخصیص آن به هر دو اندام هوایی و زمینی (ریشه) بوده است (جدول‌های ۳ و ۴). احتمالاً کاهش وزن خشک ریشه در ژنوتیپ‌های گلرنگ در شرایط تنش خشکی به اختصاص کربن تولیدشده به سایر مسیرهای متابولیک مؤثر در تخفیف اثر تنش مثل فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی مرتبط بوده است که در این بررسی نیز با بروز تنش خشکی فعالیت دو آنزیم کاتالاز و پراکسیداز افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان داد (جدول ۴). در مطالعه دیگری بیان شده است که در زمان شروع تنش خشکی، توسعه سطح برگ متوقف می‌شود، درحالی‌که جذب کربن هم‌چنان در حدود نزدیک به مقادیر عادی (بدون تنش) باقی می‌ماند. کربن اضافی تولیدشده ممکن است ذخیره شود و برای تنظیم اسمزی به کار رود (Palta et al., 2011).

در مطالعه مشابهی در ژنوتیپ‌های کنگد گزارش شده است تراکم طولی ریشه در تیمار آبیاری کامل و در لایه بالایی خاک (عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری) در مقایسه با تیمار تنش بیش‌تر بود و با اعمال تنش خشکی، عمق ریشه در تمامی ژنوتیپ‌ها به‌طور متوسط ۳۰ درصد افزایش یافت. در مقابل، وزن خشک ریشه در ارقام حساس و نیمه حساس به خشکی بین ۱۵ تا ۲۲ درصد کاهش و در ژنوتیپ‌های متحمل بین یک تا ۱۰ درصد افزایش یافت. هم‌چنین نتایج آن‌ها نشان داد ژنوتیپ‌هایی که از لحاظ ویژگی‌های ریشه از جمله عمق ریشه و طول ریشه در مقایسه با سایر ارقام برتر بود، دارای حداقل کاهش عملکرد در شرایط تنش می‌باشند (Gholamhoseini et al., 2021).

با توجه به واکنش رشدی متفاوت ریشه ژنوتیپ‌های گلرنگ، به‌نظر می‌رسد که تفاوت در طول ریشه در شرایط شاهد و تنش، ناشی از تنوع ژنتیکی در پاسخ رشدی ژنوتیپ‌های گلرنگ بوده است. هم‌چنین تفاوت بین ارقام از نظر طول دوره رشد بر وضعیت رشد ریشه نیز تأثیرگذار می‌باشد. تفاوت ژنتیکی در رشد ریشه گندم نان (Hosseinalipour et al., 2020)، کلزا (Jabbari et al., 2016) و گلرنگ (Salem et al., 2014) در واکنش به تنش خشکی قبلاً نیز گزارش شده است. به همین علت، استفاده از ویژگی‌های ریخت‌شناسی ریشه در راستای حفظ طول ریشه و در نتیجه حفظ جذب آب می‌تواند یکی از مهم‌ترین اهداف برنامه‌های به‌نژادی در شرایط تنش خشکی باشد.

تنش خشکی ارتفاع بوته ژنوتیپ‌های گلرنگ را کاهش داد که موید گزارش‌های برخی مطالعات دیگر است که کاهش پنج درصدی ارتفاع بوته پنج ژنوتیپ گلرنگ را در شرایط تنش خشکی گزارش کردند (Joshani et al., 2019). کاهش ارتفاع بوته در ژنوتیپ‌های گلرنگ به‌واسطه اعمال تنش خشکی متفاوت بود، برای مثال در توده‌های محلی همد و ورامین میانگین ارتفاع بوته در مقایسه با شاهد به‌ترتیب ۲۶/۴ و ۲۶/۶ سانتی‌متر کاهش یافت، درحالی‌که در ژنوتیپ‌های امیر و قزاقستانی میزان کاهش ارتفاع بوته به‌ترتیب ۴/۵ و ۷/۸ سانتی‌متر بود (جدول ۴). در تیمار شاهد رقم پرنیان و در تیمار تنش خشکی ژنوتیپ‌های پرنیان، قزاقستانی، گلدشت و رقم امیر ارتفاع بوته بیش‌تری داشتند (جدول ۴). مقایسه میانگین طول ریشه و ارتفاع بوته در شش ژنوتیپ گلرنگ نشان می‌دهد که نسبت ریشه به ساقه در رقم امیر به‌دلیل طول ریشه زیادتر و ارتفاع بوته متوسط بیش‌تر از سایر ژنوتیپ‌ها بود (جدول ۴).

براساس نتایج به‌دست‌آمده، در شرایط تنش خشکی، بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی در رقم امیر و در مرتبه دوم در ژنوتیپ قزاقستانی مشاهده شد (جدول ۴). افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی کاتالاز و پراکسیداز در سه رقم گلرنگ (گلدشت، فرامان و سینا) در تیمارهای آبیاری براساس ۶۵ و ۴۵ درصد ظرفیت زراعی (تنش خشکی)

گزارش شده است (Zafari et al., 2020). در شرایط تنش خشکی میزان فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز در گلرنگ افزایش می‌یابد، اما این افزایش در ارقام متحمل به خشکی بیش‌تر از ارقام حساس است (Manvelian et al., 2021). محتوای نسبی آب برگ شاخص مناسبی برای بیان وضعیت آبی گیاه است (Silva et al., 2013). حفظ محتوای آب نسبی برگ به معنای توانایی برگ در حفظ مقادیر بیش‌تری آب در شرایط تنش است که از طریق قابلیت تنظیم اسمزی و یا توانایی ریشه در جذب آب حاصل می‌شود (Zadehbagheri et al., 2012). بنابراین تفاوت محتوای آب نسبی در ارقام مختلف می‌تواند به توانایی آن‌ها در جذب آب از خاک یا توانایی بستن روزه‌ها و تعرق کم‌تر در شرایط تنش مربوط باشد (Pasban Eslam, 2015). کاهش محتوای نسبی آب برگ در پنج ژنوتیپ گلرنگ (گلدشت، پرنیان، لیناس، محلی اصفهان و پدیده) به واسطه تنش خشکی آخر فصل گزارش شده است که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد (Manvelian et al., 2021). جیانگ و هوانگ (۲۰۰۱) نیز گزارش نمودند که بالابودن محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ‌های متحمل به کم‌آبی می‌تواند به دلیل وجود برخی عوامل کم‌کننده تلفات آب، از طریق بستن روزه‌ها و یا به واسطه جذب بیش‌تر آب از طریق گسترش و توسعه ریشه باشد (Jiang & Huang, 2001). محتوای نسبی آب برگ در ژنوتیپ‌های متحمل به خشکی گلرنگ بالاتر از ارقام حساس گزارش شده است که مؤید نتایج این مطالعه نیز می‌باشد (Manvelian et al., 2021). نتایج این مطالعه نشان داد ژنوتیپ قزاقستانی و رقم امیر با بهره‌مندی از طول ریشه و قطر ریشه اصلی زیاد احتمالاً به واسطه جذب بیش‌تر آب از بیش‌ترین محتوای نسبی آب برگ در شرایط تنش خشکی برخوردار بودند (جدول‌های ۳، ۴ و ۵). همچنین در شرایط تنش خشکی، مقادیر شاخص سبزی‌نگی در ژنوتیپ‌های حساس به خشکی بیش‌تر و در ژنوتیپ‌های متحمل کم‌تر افزایش یافت (جدول ۵).

محدودبودن محیط برای رشد و توسعه ریشه در لوله پلیکا از یک طرف و ایجاد تنش گرمایی و در نتیجه محدودیت رشد اندام هوایی (ساقه) و زیرزمینی (ریشه) گیاه در لوله‌های پلیکایی که قسمت اعظم آن بیرون از خاک قرار گرفته بود و در شرایطی که هوا گرم و شدت تابش خورشیدی زیاد بوده است (اواسط روزه‌های گرم فصل رشد) در معرض گرمای مستقیم قرار گرفته از طرف دیگر سبب کم بودن تعداد غوزه و تعداد دانه تشکیل شده بخصوص در شرایط تنش خشکی شده بود (جدول‌های ۳ و ۵).

عملکرد دانه در واحد آزمایشی (تک بوته) در ژنوتیپ‌های گلرنگ مورد مطالعه در دو سطح تیمار رطوبتی خاک متفاوت بود. در هر دو تیمار رطوبتی، ژنوتیپ‌های توده محلی ورامین و همدن کم‌ترین عملکرد دانه را داشتند که در ارتباط با سیستم ریشه‌ای ضعیف (ریشه کم عمق و وزن خشک ریشه اندک) و کم بودن تعداد دانه می‌باشد (جدول‌های ۴ و ۵). از طرف دیگر با توجه به تفاوت طول دوره رشد ژنوتیپ‌های گلرنگ، میزان مصرف آب متفاوت و در رقم امیر چهار مرتبه، در ژنوتیپ قزاقستانی و رقم گلدشت سه مرتبه و در رقم پرنیان دو مرتبه کم‌تر از دو توده محلی همدن و ورامین بود. مطالعات نشان می‌دهد ویژگی‌های مورفولوژیک ریشه و رشد آن‌ها می‌تواند در تحمل به تنش خشکی تأثیر زیادی داشته باشد. زیرا افزایش رشد، طول و عمق ریشه منجر به افزایش جذب آب از اعماق خاک و حفظ فعالیت ریشه و تداوم رشد اندام هوایی می‌شود (Palta et al., 2014). به بیان دیگر، همبستگی مثبت و معنی‌داری بین رشد ریشه و تحمل بیش‌تر به تنش خشکی وجود دارد (Gholamhoseini et al., 2021).

در این آزمایش نیز رقم امیر با برخورداری از سیستم ریشه‌ای مناسب (عمق، وزن و قطر ریشه مناسب)، محتوای نسبی آب برگ و تعداد دانه زیاد از بیش‌ترین عملکرد دانه در تیمار شاهد، برخوردار بود (جدول‌های ۴ و ۵). همچنین رقم امیر به همراه ژنوتیپ قزاقستانی با برخورداری از سیستم ریشه‌ای عمیق و قطر ریشه زیاد آب بیش‌تری از اعماق خاک جذب کردند و محتوای نسبی آب برگ بیش‌تری داشتند. علاوه بر این، دو ژنوتیپ مذکور با برخورداری از بیش‌ترین

فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز تعداد دانه بیش‌تری در شرایط تنش خشکی تولید کردند و از بیش‌ترین عملکرد دانه برخوردار بودند (جدول‌های ۴ و ۵).

براساس نتایج به‌دست‌آمده، در شرایط بدون تنش، ارقام زودگل، وزن خشک ریشه، طول ریشه، اجزای عملکرد و عملکرد دانه بیش‌تری داشتند که با نتایج مندرج در جدول‌های ۳ و ۴ همخوانی داشت. وجود همبستگی مستقیم و معنی‌دار بین صفات مرتبط با ریشه و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در شرایط تنش خشکی نشان می‌دهد که با افزایش وزن خشک و طول ریشه فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان بیش‌تر خواهد شد و افزایش وزن خشک ریشه سبب افزایش محتوای نسبی آب برگ، صفات مرتبط با عملکرد (تعداد غوزه در بوته) و عملکرد دانه می‌شود (شکل ۳). هم‌چنین نتایج بیانگر این موضوع بود که محتوای نسبی آب برگ با افزایش وزن خشک و طول ریشه بهبود می‌یابد و کم‌تر تحت تأثیر قطر ریشه قرار دارد. هم‌چنین نقش وزن خشک ریشه، تعداد شاخه فرعی و فعالیت آنزیم کاتالاز در افزایش عملکرد دانه ارقام گلرنگ در شرایط تنش خشکی بسیار پررنگ‌تر از نقش سایر صفات بوده است (شکل ۳).

نتایج ضرایب همبستگی بیانگر این موضوع است که در بهبود ژنتیکی عملکرد دانه ارقام گلرنگ در شرایط تنش خشکی بهتر است از شاخص‌های وزن خشک ریشه، فعالیت آنزیم کاتالاز و محتوای نسبی آب برگ استفاده نمود و گزینش برای مقادیر بیش‌تر این صفات در فعالیت‌های به‌نژادی صورت گیرد. چنین صفاتی دارای وراثت پذیری به مراتب بیش‌تر از عملکرد دانه به‌ویژه در نسل‌های مقدماتی و در حال تفکیک در به‌نژادی گلرنگ می‌باشد (Mozaffari & Asadi, 2006).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج کلی این آزمایش نشان داد که در شرایط تنش خشکی، طول ریشه، قطر ریشه، فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز و شاخص سبزیگی (SPAD) به‌ترتیب به میزان ۲۸/۶، ۱۳/۶، ۱۲۲/۷، ۲۷/۰ و ۱۷/۵ درصد افزایش و وزن خشک ریشه، ارتفاع بوته، محتوای نسبی آب برگ، تعداد غوزه، تعداد دانه در بوته و عملکرد دانه در واحد آزمایشی در شرایط تنش خشکی به‌ترتیب ۲۳/۶، ۲۰/۸، ۱۵/۲، ۲۵/۴، ۶۳/۳ و ۷۴/۹ درصد کاهش یافت. هم‌چنین نتایج قابل ملاحظه‌ای بین ژنوتیپ‌های گلرنگ از نظر رشد و وزن خشک ریشه در واکنش به تنش خشکی وجود داشت. هم‌چنین شش ژنوتیپ گلرنگ عکس‌العمل‌های متفاوتی از نظر زمان گل‌دهی، ارتفاع بوته، فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، محتوای نسبی آب برگ، شاخص سبزیگی، اجزای عملکرد و عملکرد دانه در دو شرایط بدون تنش و تنش خشکی نشان دادند. در شرایط آبیاری کامل، رقم امیر با برخورداری از سیستم ریشه‌ای مناسب، محتوای نسبی آب برگ زیاد و حداکثر تعداد دانه از بیش‌ترین عملکرد دانه (۵/۰۳ گرم در بوته) برخوردار بود. علاوه بر این، این رقم در شرایط تنش خشکی با گل‌دهی زود هنگام، وزن خشک و طول ریشه بیش‌تر، برخورداری از بیش‌ترین فعالیت آنزیم‌های کاتالاز و پراکسیداز، بیش‌ترین عملکرد دانه (۱/۶۷ گرم در بوته) را دارا بود. بررسی همبستگی بین صفات نیز، نشان‌دهنده این مطلب بود که صفات وزن خشک ریشه، فعالیت آنزیم کاتالاز، تعداد دانه در گیاه، تعداد غوزه و محتوای نسبی آب برگ بهترین شاخص‌های انتخاب برای بهبود ژنتیکی عملکرد دانه در گیاه گلرنگ در شرایط تنش خشکی می‌باشند. بر این اساس، رقم امیر به‌دلیل برخورداری از سیستم ریشه‌ای مناسب و ویژگی‌های برتر زراعی و فیزیولوژیک، عملکرد دانه بیش‌تری داشت و به‌عنوان ژنوتیپ برتر در این آزمایش گزینش شد.

۷. تشکر و قدردانی

از مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر به‌خاطر حمایت مالی این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- غلامحسینی، مجید؛ حبیبزاده، فرهاد و همتی، پریسا (۱۴۰۰). ارزیابی خصوصیات ریشه و اندام هوایی ژنوتیپ‌های کنبند تحت شرایط مختلف رطوبت خاک. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۳(۲)، ۳۹۳-۴۰۷.
<https://doi.org/10.22059/jci.2021.309428.2445>
- جباری، حمید (۱۴۰۰). ارزیابی لاین امیدبخش SAF-95-14 گلرنگ از نظر تحمل به تنش خشکی در شرایط کنترل‌شده. گزارش نهایی طرح پژوهشی. تهران: مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر.
- حسینعلی‌پور، بهاره؛ راهنما، افراسیاب و فرخیان فیروزی، احمد (۱۳۹۹). اثر تنش خشکی بر رشد و معماری ریشه گندم در مرحله رشد رویشی. *علوم گیاهان زراعی ایران*. ۵۱ (۱)، ۶۳-۷۵.
<https://doi.org/10.22059/ijfcs.2019.266586.654531>
- جباری، حمید؛ خوش‌خلق سیماء، نیر اعظم؛ اکبری، غلام‌عباس؛ اله‌دادی، ایرج؛ شیرانی‌راد، امیرحسین و حامد، علی. (۱۳۹۵). بررسی رابطه سیستم ریشه‌ای با روابط آبی کلزا در شرایط تنش خشکی، به‌زراعی کشاورزی. ۱۸ (۱)، ۱-۱۹.
<https://doi.org/10.22059/jci.2016.56544>
- امیدی، امیرحسین (۱۳۹۰). اثر قطع آبیاری در مراحل مختلف رشد بر عملکرد دانه و شاخص‌های تحمل به تنش در سه رقم گلرنگ. *نشریه علوم زراعی ایران*. ۱۳ (۱)، ۱۱۶-۱۳۰.

References

- Aebi, H. (1984). Catalase in vitro. *Methods in Enzymology*, 105, 121-126.
- Achhale, D. (2016). *Screening of safflower (Carthamus tinctorius L.) Genotypes for drought tolerance*. Master of science dissertation. Madhya: Rajmata Vijayaraje Scindia Krishi Vishwa Vidyalaya gwalior college of agriculture.
- Bengough, A. G., McKenzie, B. M., Hallett, P. D., & Valentine, T. A. (2011). Root elongation, water stress, and mechanical impedance: A review of limiting stresses and beneficial root tip traits. *Journal of Experimental Botany*, 62, 59-68.
- Chance, B., & Maehly, A. C. (1955). Assay of catalase and peroxidase. *Methods in Enzymology*, 2, 764-817.
- Chavoushi, M., Najafi, F., Salimi, A., & Angaji, S. A. (2019). Improvement in drought stress tolerance of safflower during vegetative growth by exogenous application of salicylic acid and sodium nitroprusside. *Industrial Crops and Products*, 134, 168-176.
- Corwin, D. L. (2021). Climate change impacts on soil salinity in agricultural areas. *European Journal of Soil Science*, 72(2), 842-862.
- Gholamhoseini, M., habibzadeh, F., & hemmati, P. (2021). Evaluation of Root and Shoot Characteristics of Sesame Genotypes under Different Soil Moisture Conditions. *Journal of Crops Improvement*, 23(2), 393-407. <https://doi.org/10.22059/jci.2021.309428.2445>. (In Persian).
- Hojati, M., Modarres-Sanavy, S. Karimi, M. & Ghanati, F. (2011). Responses of growth and antioxidant systems in *Carthamus tinctorius* L. under water deficit stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 33(1), 105-112.
- Hosseinalipour, B., Rahnama, A., & Farrokhan Firouzi, A. (2020). Effect of drought stress on wheat root growth and architecture at vegetative growth stage. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(1), 63-75. <https://doi.org/10.22059/ijfcs.2019.266586.654531>. (In Persian).
- Hussain, M. I., Lyra, D. A., Farooq, M., Nikoloudakis, N., & Khalid, N. (2016). Salt and

- drought stresses in safflower: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(4), 1-31. <https://doi.org/10.1007/s13593-015-0344-8>
- Jabbari, H. (2021). Evaluation of promising safflower line SAF-95-14 for drought tolerance in controlled conditions. *Final report, Ministry of Agriculture Jihad*. Tehran: Agricultural Research, Education and Extension Organization, Seed and Plant Improvement Institute. (In Persian).
- Jabbari, H., Khosh kholgh Sima, N. A., Akbari, G. A., Allahdadi, I., Shirani rad, A. H., & Hamed, A. (2016). Study of root system relationship with water relations in Rapeseed under drought stress conditions. *Journal of Crops Improvement*, 18(1), 1-19. <https://doi.org/10.22059/jci.2016.56544>. (In Persian).
- Jiang, Y., & Huang, B. (2001). Osmotic adjustment and root growth associated with drought preconditioning- enhanced heat tolerance in Kentucky bluegrass. *Crop Science*, 41, 1168-1173.
- Joshan, Y., Sani, B., Jabbari, H., Mozafari, H., & Moaveni, P. (2019). Effect of drought stress on oil content and fatty acids composition of some safflower genotypes. *Plant & Soil Environment*, 65, 563-567.
- Manvelian, J., Weisany, W., Abdul-razzak Tahir, N., Jabbari, H., & Diyanat, M. (2021). Physiological and biochemical response of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) cultivars to zinc application under drought stress. *Industrial Crops and Products*, 172, 114069.
- Misra, A., & Sricastatva, N. K. (2000). Influence of water stress on Japanese mint. *Journal of Herbs, Spoces and Medician Plants*, 7, 51-58.
- Mozaffari, K., & Asadi, A. A. (2006). Relationships among traits using correlation, principal components and path analysis in safflower mutants sown in irrigated and drought stress condition. *Asian Journal of Plant Sciences*, 5(6), 977-983.
- Omidi, A. H. (2012). Effect of irrigation withhold at different growth stages on grain yield and stress tolerance indices in three safflower cultivars. *Iranian Journal of Crop Sciences*, 13(1), 116-130. (In Persian).
- Palta, J. A., Chen, X., Milroy, S. P., Rebetzke, G. J., Dreccer, M. F., & Watt, M. (2011). Large root systems: Are they useful in adapting wheat to dry environments? *Functional Plant Biology*, 38, 347-354.
- Pasban Eslam, B. (2011). Evaluation of physiological indices for improving water deficit tolerance in spring safflower. *Journal of Agriculture Science and Technology*, 13, 327-338.
- Pasban Eslam, B. (2015). Stability of grain and oil yields and its components in oilseed Rape (*Brassica napus* L.) under early and late season drought. *Journal of Agricultural Science and Sustainable Production*, 25(4), 176-187.
- Rahmani, F., Sayfzadeh, S., Jabbari, H., Valadabadi, S. A., & Hadidi Masouleh, E. (2019). Alleviation of drought stress effects on safflower yield by foliar application of zinc. *International Journal of Plant Production*, 13(4), 297-308.
- Rousseau, D., Widiez, T., Di Tommaso, S., Rositi, H., Adrien, J., Maire, E., Langer, M., Oliver, C., Peyrin, F., & Rogowsky, P. (2015). Fast virtual histology using X-ray in-line phase tomography: application to the 3D anatomy of maize developing seeds. *Plant methods*, 11(55), 1-10.
- Salem, N., Msaada, K., Dhifi, W. W., Sriti, J., Mejri, H., Limam, F., & Marzouk, B. (2014). Effect of drought on safflower natural dyes and their biological activities. *Experimental and Clinical Sciences*, 13, 1-18.
- Silva, M. D. A., Jifon, J. L., Santos, C. M. D., Jadoski, C. J., & Silva, J. A. G. D. (2013). Photosynthetic capacity and water use efficiency in sugarcane genotypes subject to water deficit during early growth phase. *Brazilian archives of biology and technology*, 56(5), 735-748.
- Singh, V., & Nimbkar, N. (2007). Safflower (*Carthamus tinctorius* L.). In *Genetic Resources Chromosome Engineering, and Crop Improvement: Oil Crops*. edited by Singh, R. J. New York: CRC Press.
- USDA Agricultural Research Service. (2019). *Germplasm Resources Information Network*

- (GRIN). The United States of America: USDA Agricultural Research Service. <https://doi.org/10.15482/USDA.ADC/1212393>.
- Wasaya, A., Zhang, X., Fang, Q. & Yan, Z. (2018). Root Phenotyping for Drought Tolerance: A Review. *Agronomy*, 8(11), 241-261.
- Wu, W., Duncan, R.W., & Ma, B. L. (2017). Quantification of canola root morphological traits under heat and drought stresses with electrical measurements. *Plant & Soil*, 415, 229-244.
- Zadehbagheri, M., Mojtaba, M., Javanmardi, S., & Sharafzadeh, S. (2012). Effect of drought stress on yield and yield components, relative leaf water content, proline and potassium ion accumulation in different white bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotype. *African Journal of Agricultural Research*, 7(42), 5661-5670.
- Zafari, M., Ebadi, A., Jahanbakhsh, S., & Sedghi, M. (2020). Safflower (*Carthamus tinctorius*) biochemical properties, yield, and oil content affected by 24-epibrassinosteroid and genotype under drought stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 368(22), 6040-6047.



Genetic evaluation of bread wheat spike length in diverse population derived from Roshan-D-01 line × Roshan cultivar

Maryam Dorrani-Nejad¹ | Ali Kazemi Pour² | Mohammad Ghader Ghaderi³ |
Ali Akbar Maghsoudi Moud⁴ | Roohollah Abdoshahi⁵

1. Department of Plant Genetics and Production Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid-Bahonar University, Kerman, Iran. E-mail: m.dorraninejad@agr.uk.ac.ir
2. Department of Plant Genetics and Production Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid-Bahonar University, Kerman, Iran. E-mail: ali.kazemi@uk.ac.ir
3. Department of Plant Genetics and Production Engineering, Faculty of Agriculture, Birjand University, Birjand, Iran. E-mail: mghaderi@birjand.ac.ir
4. Department of Plant Genetics and Production Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid-Bahonar University, Kerman, Iran. E-mail: maghsoudi.aa@uk.ac.ir
5. Corresponding Author, Department of Plant Genetics and Production Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid-Bahonar University, Kerman, Iran. E-mail: abdoshahi@uk.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 22 December 2022
Received in revised form
14 August 2023
Accepted 27 August 2023
Published online
20 September 2023

Keywords:

Diversity
Grains number per spike
Large spike
Spikelet number

ABSTRACT

Objective: World food security depends on two major cereal crops, wheat and rice. Where wheat is more important for its market value and production amount. Grain yield is determined by the achievement and distribution of assimilates in sink organs. Sink size in wheat depends on the number of spikelets per spike, grains number per spikelet as well as the grain weight. Hence, increasing spikelet number and sink size is one of the most important breeding targets of wheat. The object of the present study was investigation of the genetic of spikes and spikelets in a diverse bread wheat population for number of spikelets per spike.

Methods: In a bread wheat breeding program for transferring the awn character from Mahdavi to Roshan cultivar, in the second generation of the third backcross (BC₃F₂), a single plant with large spikes was observed. The mentioned genotype was purified after several selfing. The pure line was named as Roshan-D-01. After the fourth backcross of Roshan-D-01 with the recurrent parent (Roshan) and a selfing generation, a near isogenic population (BC₄F₂) was developed to study spike length. Spike length along with its related traits was studied in the current population at the research field of Shahid-Bahonar University of Kerman, during growing seasons of 2020-2021.

Results: The spike length with the heritability of 0.61 and the response to selection of 14.03% showed a negative significant correlation with days to heading ($r=-0.44^{**}$) and a positive significant correlation with other traits. Days to heading had a negative significant correlation with all studied traits at this research. This result showed the positive effect of early heading on spike related traits. Among studied traits, flag leaf area with general heritability of 0.53, positive significant correlation with spike length ($r=0.60^{**}$), the highest Phenotypic and genotypic diversity (PCV=28.5 and GCV=20.69), showed the most response to selection (%R=25.45). The positive correlation between flag leaf area and spike related traits indicate the importance of flag leaf area in improving wheat grain yield. Distribution frequency graph of progenies for spike length, spikelet number per spike and grains number per spike showed that these traits have quantitative inheritance and follow the normal distribution. Transgressive segregation observed for studied traits and the presence of elite lines, in comparison with parents, in the current population allows the introduction of large spikes genotypes with high grains number per spike to develop high-yielding cultivars.

Conclusion: Due to high diversity and transgressive segregation observed in the present study, the current population can represent a rich source of spike morphology for use in wheat breeding programs aimed for increasing grain yield potential via increasing grain number. Negative correlation of days to heading with spike related traits indicates the positive effect of early heading on grain yield of bread wheat, especially under end season drought and heat stress conditions. Due to the high, positive and significant correlation between the spike length and flag leaf area, selection for larger flag leaf area could improve grain yield.

Cite this article: Dorrani-Nejad, M., Kazemi Pour, A., Ghaderi, M. Gh., Maghsoudi Moud, A. A., & Abdoshahi, R. (2023). Genetic evaluation of bread wheat spike length in diverse population derived from Roshan-D-01 line × Roshan cultivar. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 575-585. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.352803.2773>



بررسی ژنتیکی طول سنبله گندم نان در جمعیت متنوع حاصل از لاین Roshan-D-01 × رقم روشن

مریم درانی نژاد^۱ | علی کاظمی پور^۲ | محمد قادر قادری^۳ | علی اکبر مقصودی مود^۴ | روح اله عبدالشاهی^۵ ✉

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران. رایانامه: m.dorranejad@agr.uk.ac.ir
۲. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران. رایانامه: ali.kazemi@uk.ac.ir
۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند، ایران. رایانامه: mghaderi@birjand.ac.ir
۴. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران. رایانامه: maghsoudi.aa@uk.ac.ir
۵. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران. رایانامه: abdoshahi@uk.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: هدف این پژوهش بررسی ژنتیک اندازه سنبله در یک جمعیت ایزوژن نزدیک برای صفات اندازه سنبله و تعداد سنبله در سنبله بود.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۰۱	روش پژوهش: در برنامه به نژادی گندم نان با هدف انتقال صفت ریشکداری از رقم مهدوی به روشن، در نسل دوم تلاقی برگشتی سوم (BC ₃ F ₂) یک بوته با سنبله بزرگ مشاهده شد. این بوته پس از چندین نسل خودکشتی و گزینش برای طول سنبله خالص سازی شد و لاین Roshan-D-01 نام گرفت. پس از تلاقی برگشتی چهارم لاین Roshan-D-01 با والد تکراری (رقم روشن) و یک نسل خودکشتی، یک جمعیت ایزوژن نزدیک (BC ₄ F ₂) برای طول سنبله ایجاد شد. طول سنبله و صفات مرتبط با آن در این جمعیت در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ مطالعه شد.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۲۳	یافته‌ها: طول سنبله با وراثت پذیری ۰/۶۱ و پاسخ به گزینش ۱۴/۰۳ درصد، همبستگی منفی و معنی داری با تعداد روز تا سنبله دهی (r=-۰/۴۴**) داشت. در صورتی که با بقیه صفات همبستگی مثبت و معنی دار نشان داد. بین صفات بررسی شده در این مطالعه سطح برگ پرچم با وراثت پذیری عمومی ۰/۵۳ و همبستگی مثبت و معنی دار با طول سنبله (r=۰/۶۰**) بیشترین تنوع فنوتیپی و ژنوتیپی و پاسخ به گزینش را نشان داد.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۵	نتیجه گیری: همبستگی مثبت سطح برگ پرچم با صفات مرتبط با سنبله بیانگر اهمیت این صفت در بهبود عملکرد دانه گندم بود. جمعیت حاضر به دلیل تنوع ژنتیکی بالا و تفکیک متجاوز مشاهده شده، می تواند به عنوان منبع ژنتیکی قابل اطمینانی در برنامه های به نژادی گندم با هدف افزایش تعداد دانه در سنبله و بهبود پتانسیل عملکرد دانه مطرح باشد.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹	کلیدواژه‌ها: تعداد دانه در سنبله تعداد سنبله تنوع سنبله بزرگ

استناد: درانی نژاد، مریم؛ کاظمی پور، علی؛ قادری، محمد قادر؛ مقصودی مود، علی اکبر؛ و عبدالشاهی، روح اله (۱۴۰۲). بررسی ژنتیکی طول سنبله گندم نان در جمعیت متنوع حاصل از لاین Roshan-D-01 × رقم روشن. *بزرگای کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۵۷۵-۵۸۵.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.352803.2773>



۱. مقدمه

گندم یکی از محصولات اصلی برای امنیت غذایی در جهان است که تقریباً ۲۰ درصد کالری و پروتئین رژیم غذایی انسان را تأمین می‌کند (Shiferaw *et al.*, 2013). هرچند که نرخ رشد جمعیت جهان به‌طور کلی در حال کاهش است، همچنان در سال ۲۰۳۰ به ۸/۶ میلیارد نفر و تا سال ۲۰۵۰ به ۹/۸ میلیارد نفر خواهد رسید (Van Bavel & Reher, 2013). بنابراین، پاسخگویی به تقاضای جهانی برای گندم مستلزم افزایش قابل‌توجهی در تولید دانه در واحد سطح است. مورفولوژی سنبله در غلات دانه‌ریز در تعیین عملکرد دانه بسیار مهم می‌باشد (Guo *et al.*, 2018). سنبله گندم دارای طول ۵ تا ۱۷ سانتی‌متر و گاهی بلندتر است که از یک محور سنبله و تعدادی سنبلچه تشکیل شده است، هر سنبلچه شامل دو تا پنج گلچه است و تنها یک تا سه گلچه از آن‌ها به دانه تبدیل می‌شود (Genaev *et al.*, 2019). سنبلچه‌ها از اجزای اصلی سنبله هستند. تعداد سنبلچه در سنبله، تراکم سنبلچه، طول و وزن سنبله، تعداد و وزن دانه در سنبله در عملکرد نهایی دانه در سنبله تأثیر به‌سزایی دارند (Borner *et al.*, 2005; Guo *et al.*, 2018).

۲. پیشینه پژوهش

بررسی تاریخچه به‌نژادی نشان می‌دهد که بهبود عملکرد دانه در گندم در قرن گذشته ارتباط زیادی با افزایش تعداد دانه در واحد سطح داشته و به‌میزان زیادی تحت تأثیر تعداد دانه در سنبله می‌باشد (Hawkesford *et al.*, 2013). دستاوردهای ژنتیکی در گندم عموماً با بهبود تعداد دانه در واحد سطح با تغییر کمی در وزن دانه به‌دست آمده است (Gaju *et al.*, 2009). در گندم برخلاف سایر غلاتی نظیر برنج و جو هر سنبلچه بیش از یک دانه دارد این امر باعث می‌شود سنبلچه گندم یکی از اصلی‌ترین اجزای عملکرد دانه باشد (Wolde *et al.*, 2019).

اصلاح مورفولوژی سنبله در گندم می‌تواند باعث افزایش تعداد و اندازه دانه و در نتیجه بهبود عملکرد دانه شود (Guo *et al.*, 2018). اصلاح مورفولوژی سنبله ایده جدیدی نیست، Atsmon & Jacobs (1977) در تلاقی‌هایی با استفاده از سنبله بزرگ، نتایجی که حداکثر ۳۰ سنبلچه، وزن تک دانه ۶۳ میلی‌گرم و نه دانه در هر سنبلچه داشتند به‌دست آوردند. در بررسی چهار لاین ایزوژن نزدیک مشخص شد ژن مغلوب مهارکننده پنجه‌زایی (ژن *tin*) باعث افزایش تعداد دانه در سنبله و شاخص برداشت به‌ترتیب به میزان ۹ درصد و ۲ درصد و کاهش تعداد سنبله در مترمربع و وزن دانه به‌ترتیب به میزان ۱۱ درصد و ۲ درصد شد، این ژن هم‌چنین زیست‌توده را ۷ درصد کاهش داد (Duggan *et al.*, 2005).

آگاهی از میزان تنوع ژنتیکی و شناسایی صفات مؤثر بر ایجاد تنوع در طول سنبله در پیش‌بینی و بهبود ساختار گیاه و در نتیجه افزایش عملکرد کمک بزرگی می‌نماید. این پژوهش با هدف بررسی ژنتیکی طول سنبله گندم و صفات مرتبط با آن انجام شد، امید است یافته‌های حاصل از این بررسی برای به‌نژادگران گندم به‌منظور افزایش عملکرد دانه مفید باشد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

در برنامه به‌نژادی گندم نان با هدف انتقال صفت ریشکداری از رقم مهدوی به رقم روشن، در نسل دوم تلاقی برگشتی سوم (BC₃F₂) یک بوته با سنبله بزرگ مشاهده شد. این بوته پس از پنج نسل خودگشتی خالص و لاین حاصل Roshan-D-01 نامیده شد. تلاقی برگشتی چهارم لاین Roshan-D-01 با والد تکراری (رقم روشن) انجام شد. پس از یک نسل خودگشتی و ایجاد جمعیت ایزوژن نزدیک، در نسل دوم تلاقی برگشتی چهارم (BC₄F₂) طول سنبله و صفات مرتبط با آن در این جمعیت (۳۶۴ لاین) و والدین تلاقی (لاین Roshan-D-01 و رقم روشن) مطالعه شد. این پژوهش در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ انجام گردید. مزرعه تحقیقاتی موردنظر در

طول جغرافیایی ۵۷ درجه، عرض جغرافیایی ۳۰ درجه و ارتفاع از سطح دریا ۱۷۵۶ متر با اقلیم معتدل و خشک قرار دارد. بافت خاک آن از نوع لومی شنی با اسیدیته ۷/۹ و هدایت الکتریکی ۲/۱۱ دسی‌زیمنس بر متر است. پس از انجام عملیات آماده‌سازی زمین (شخم، دیسک و عملیات تسطیح)، کاشت به‌صورت دستی انجام شد. کشت بذور در اواخر آذرماه و برداشت در اواسط تیرماه صورت گرفت. در این پژوهش صفات طول سنبله (سانتی‌متر)، تعداد سنبلچه در سنبله، تعداد دانه در سنبله، تعداد دانه در سنبلچه، وزن دانه در سنبله (گرم)، وزن هزاردانه (گرم)، تعداد روز تا سنبله‌دهی، ارتفاع بوته (سانتی‌متر)، طول و عرض برگ پرچم (سانتی‌متر) و مساحت برگ پرچم (سانتی‌مترمربع) مورد ارزیابی قرار گرفت. وراثت‌پذیری عمومی با استفاده از اجزای واریانس به روش زیر (رابطه ۱) برآورد گردید (Fehr, 1987):

$$h^2_{bs} = \sigma^2_g / (\sigma^2_g + \sigma^2_e) \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه σ^2_g ، h^2_{bs} و σ^2_e به‌ترتیب وراثت‌پذیری عمومی، واریانس ژنتیکی و واریانس محیطی می‌باشند. از آنجایی که واریانس ژنتیکی در والدین برابر با صفر می‌باشد، بنابراین واریانس مشاهده‌شده در والدین همان واریانس محیطی است. لذا میانگین واریانس محیطی دو والد به‌عنوان واریانس محیطی در نظر گرفته شد. ضرایب تغییرات فنوتیپی و ژنوتیپی با استفاده از رابطه‌های (۲) و (۳) محاسبه شد (Singh & Chaudhary, 1985):

$$h^2_{bs} = \sigma^2_g / (\sigma^2_g + \sigma^2_e) \quad \text{رابطه ۲}$$

$$PCV = (\sigma_p / \mu) \times 100 \quad \text{رابطه ۳}$$

$$GCV = (\sigma_g / \mu) \times 100$$

در این روابط، μ ، GCV، PCV، σ_p و σ_g به‌ترتیب عبارتند از ضریب تغییرات فنوتیپی، ضریب تغییرات ژنوتیپی، میانگین، انحراف معیار فنوتیپی و انحراف معیار ژنوتیپی. میزان پاسخ به‌گزینش با استفاده از رابطه (۴) برآورد گردید (Falconer & Mackay, 1996):

$$R = ih^2_{bs} \sigma_p \quad \text{رابطه ۴}$$

در رابطه (۴)، R ، h^2_{bs} و i به‌ترتیب پاسخ به‌گزینش، شدت گزینش، وراثت‌پذیری عمومی و انحراف معیار فنوتیپی می‌باشد. i با در نظر گرفتن گزینش ۱۰ درصد افراد برتر برای هر صفت برابر با ۱/۶۹۴ است.

لاین‌های مورد مطالعه براساس تعداد سنبلچه در سنبله گروه‌بندی شدند (۱۳ گروه). در هر گروه میانگین دو صفت طول سنبله (سانتی‌متر) و سطح برگ پرچم (سانتی‌مترمربع) محاسبه و سپس یک معادله رگرسیونی براساس میانگین داده‌های مربوط به این دو صفت برازش داده شد. محاسبه ضرایب همبستگی بین صفات مورد بررسی، با استفاده از نرم‌افزار SAS (SAS Institute Inc, 2004) و رسم نمودار توزیع فراوانی نتاج و نمودار رگرسیونی در نرم‌افزار Excel 2016 انجام شد.

۴. یافته‌های پژوهش

لاین سنبله بزرگ حاصل‌شده در این برنامه به‌نژادی مشابه رقم معروف سوپرهد بود. رقم سوپرهد پاکوتاه، پرمحصول و بسیار حساس به شوری است که به‌دلیل داشتن سنبله بزرگ به سوپرهد معروف شده است (Jahani et al., 2019). شکل (۱) لاین Roshan-D-01 را در مقایسه با رقم سوپرهد نشان می‌دهد.

نتایج همبستگی بین صفات مورد مطالعه نشان داد بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار در این بررسی بین صفات تعداد دانه در سنبله و تعداد دانه در سنبلچه ($r=0/94^{**}$) مشاهده گردید. تعداد دانه در سنبله با صفات وزن دانه در سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و سطح برگ پرچم ارتباط مثبت و معنی‌دار (به‌ترتیب $r=0/84^{**}$ ، $r=0/73^{**}$ و $r=0/59^{**}$) نشان داد. طول سنبله بیش‌ترین همبستگی مثبت و معنی‌دار را به‌ترتیب با صفات تعداد دانه در سنبله ($r=0/74^{**}$)، وزن دانه در

سنبله ($r=0/73^{**}$)، تعداد سنبلچه در سنبله ($r=0/72^{**}$)، تعداد دانه در سنبلچه ($r=0/62^{**}$) و سطح برگ پرچم ($r=0/60^{**}$) داشت و با تعداد روز تا سنبله‌دهی همبستگی منفی و معنی‌دار ($r=-0/44^{**}$) نشان داد. همبستگی مثبت و معنی‌داری بین تعداد سنبلچه در سنبله و صفات تعداد دانه در سنبله ($r=0/73^{**}$)، طول سنبله ($r=0/72^{**}$)، وزن دانه در سنبله ($r=0/63^{**}$) و سطح برگ پرچم ($r=0/54^{**}$) مشاهده شد (جدول ۱).



شکل ۱. لاین Roshan-D-01 (سمت چپ) و رقم سوپرهد (سمت راست)

جدول ۱. ضرایب همبستگی ساده بین صفات مورد مطالعه در جمعیت حاصل از تلاقی لاین Roshan-D-01 و رقم روشن

صفات	طول سنبله	تعداد سنبلچه در سنبله	تعداد دانه در سنبله	تعداد دانه در سنبلچه	وزن دانه در سنبله	وزن هزار دانه	تعداد روز تا سنبله‌دهی	ارتفاع بوته	طول برگ پرچم	عرض برگ پرچم	سطح برگ پرچم
طول سنبله	۱										
تعداد سنبلچه در سنبله	۰/۷۲ ^{**}	۱									
تعداد دانه در سنبله	۰/۷۴ ^{**}	۰/۷۳ ^{**}	۱								
تعداد دانه در سنبلچه	۰/۶۲ ^{**}	۰/۴۷ ^{**}	۰/۹۴ ^{**}	۱							
وزن دانه در سنبله	۰/۰۷	۰/۶۳ ^{**}	۰/۸۳ ^{**}	۰/۷۹ ^{**}	۱						
وزن هزار دانه	۰/۰۷	-۰/۰۹	-۰/۱۶ ^{**}	-۰/۱۵ ^{**}	۰/۳۸ ^{**}	۱					
تعداد روز تا سنبله‌دهی	-۰/۴۴ ^{**}	-۰/۳۳ ^{**}	-۰/۳۰ ^{**}	-۰/۲۳ ^{**}	-۰/۳۹ ^{**}	-۰/۱۹ ^{**}	۱				
ارتفاع بوته	۰/۲۶ ^{**}	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۵۰ ^{**}	-۰/۱۹ ^{**}	۰/۱۹ ^{**}	۱			
طول برگ پرچم	۰/۵۴ ^{**}	۰/۴۴ ^{**}	۰/۵۳ ^{**}	۰/۴۷ ^{**}	۰/۵۱ ^{**}	۰/۰۴	-۰/۱۹ ^{**}	۰/۰۹	۱		
عرض برگ پرچم	۰/۵۶ ^{**}	۰/۵۶ ^{**}	۰/۵۵ ^{**}	۰/۴۴ ^{**}	۰/۴۸ ^{**}	-۰/۰۵	-۰/۳۰ ^{**}	۰/۰۰	۰/۶۴ ^{**}	۱	
سطح برگ پرچم	۰/۶۰ ^{**}	۰/۵۴ ^{**}	۰/۵۹ ^{**}	۰/۵۰ ^{**}	۰/۵۴ ^{**}	۰/۰۰	-۰/۲۵ ^{**}	۰/۰۶	۰/۹۳ ^{**}	۰/۸۷ ^{**}	۱

**، * بسیار معنی‌دار $P < 0/01$ و معنی‌دار $P < 0/05$.

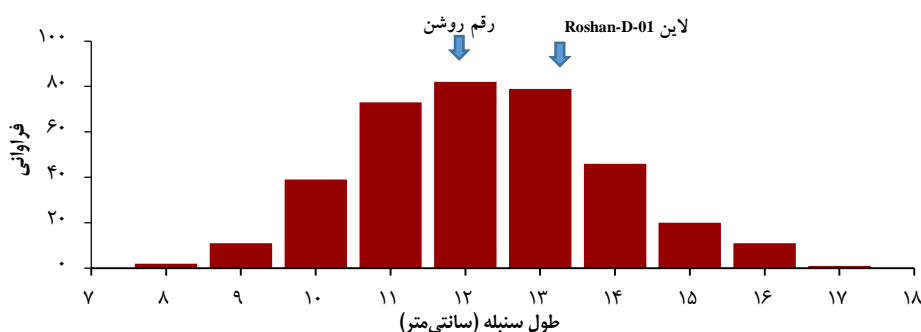
میانگین، بیشینه، کمینه و پارامترهای ژنتیکی صفات موردبررسی در جدول (۲) ارایه شده است. ضرایب تنوع ژنتیکی و فنوتیپی نشان داد لاین‌های مورد مطالعه از لحاظ صفت سطح برگ پرچم دارای تنوع بیش‌تری هستند. سطح برگ پرچم بیش‌ترین تنوع ژنتیکی ($GCV=20/69$) و فنوتیپی ($PCV=28/50$) را در این بررسی نشان داد. از بین صفات بررسی‌شده در این پژوهش سطح برگ پرچم با وراثت‌پذیری عمومی ($0/53$) بیش‌ترین درصد پاسخ به گزینش (۲۵/۴۵ درصد) را نشان داد.

جدول ۲. میانگین، بیشینه، کمینه و پارامترهای ژنتیکی صفات موردبررسی در جمعیت حاصل از تلاقی لاین Roshan-D-01 و رقم روشن

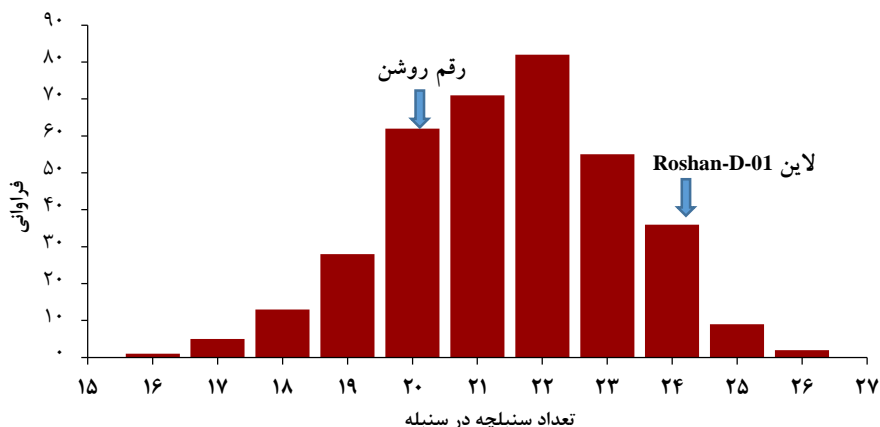
صفات	میانگین	بیشینه	کمینه	GCV%	PCV%	σ_g^2	σ_e^2	h^2_{bs}	R%
طول سنبله (سانتی‌متر)	۱۲/۱۳	۱۷	۸	۱۰/۵۹	۱۳/۵۴	۱/۶۵	۱/۰۵	-۰/۶۱	۱۴/۰۳
تعداد سنبلچه در سنبله	۲۱/۴۰	۲۶	۱۴	۶/۰۵	۸/۶۱	۱/۶۸	۱/۷۲	-۰/۴۹	۷/۲۰
تعداد دانه در سنبله	۶۳/۰۹	۱۱۵	۲۹	۱۳/۸۴	۲۲/۴۰	۷۶/۱۹	۱۲۳/۵۶	-۰/۳۸	۱۴/۴۷
تعداد دانه در سنبلچه	۲/۹۳	۵	۱/۷۲	۸/۷۶	۱۷/۳۴	-۰/۰۷	-۰/۱۹	-۰/۲۵	۷/۴۹
وزن دانه در سنبله (گرم)	۲/۸۸	۵/۸	-۰/۸۵	۱۶/۱۲	۲۳/۸۷	-۰/۲۲	-۰/۲۶	-۰/۴۶	۱۸/۴۴
وزن هزاردانه (گرم)	۴۵/۸۴	۶۰	۲۳/۴	۷/۳۳	۱۲/۶۶	۱۱/۳۰	۲۲/۳۷	-۰/۳۴	۷/۲۰
تعداد روز تا سنبله‌دهی	۱۳۶/۷۴	۱۴۷	۱۲۴	۳/۱۸	۳/۳۱	۱۸/۸۷	۱/۶۷	-۰/۹۲	۵/۱۶
ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	۹۱/۲	۱۱۵	۶۱	۹/۲۷	۱۰/۷۶	۷۱/۵۴	۲۴/۷۵	-۰/۷۴	۱۳/۵۴
طول برگ پرچم (سانتی‌متر)	۲۰/۷۹	۳۳	۱۱/۵	۱۰/۹۵	۱۸/۴۸	۵/۱۹	۹/۵۷	-۰/۳۵	۱۱
عرض برگ پرچم (سانتی‌متر)	۱/۷۶	۲/۴	۱/۱	۱۱/۶۹	۱۳/۵۷	-۰/۰۴	-۰/۰۱	-۰/۷۴	۱۷/۰۵
سطح برگ پرچم (سانتی‌مترمربع)	۲۷/۸۸	۵۰/۳۳	۱۱/۲۱	۲۰/۶۹	۲۸/۵۰	۳۳/۲۸	۲۹/۸۵	-۰/۵۳	۲۵/۴۵

GCV% و PCV%: ضریب تنوع ژنوتیپی و فنوتیپی، σ_g^2 و σ_e^2 : واریانس ژنتیکی و خطای آزمایشی، h^2_{bs} : وراثت‌پذیری عمومی، R%: پاسخ مورد انتظار به گزینش (درصدی از میانگین).

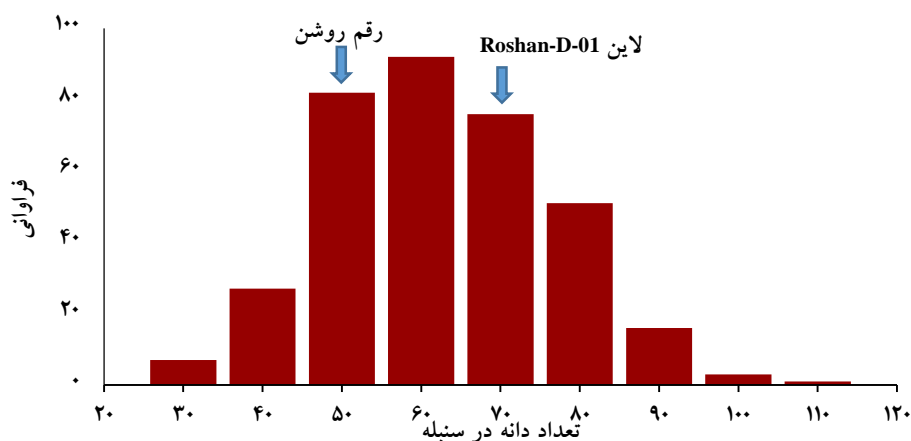
نمودار توزیع فراوانی نتاج برای صفات طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله، در نسل BC₄F₂ در شکل‌های (۲) تا (۴) نشان داده شده است. طول سنبله در جمعیت موردبررسی بین ۸ تا ۱۷ سانتی‌متر متغیر بود، درحالی‌که میانگین طول سنبله در رقم روشن و لاین Roshan-D-01 به ترتیب ۱۱/۸ و ۱۳/۴۵ سانتی‌متر بود. این نتیجه مبین وجود تنوع و تفکیک متجاوز در جمعیت مورد مطالعه نسبت به والد برتر (لاین Roshan-D-01) برای این صفت می‌باشد. نمودار توزیع فراوانی طول سنبله (شکل ۲) نشان می‌دهد این صفت دارای توزیع نرمال بوده و دارای توارث کمی است. دامنه تغییرات تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله در جمعیت مورد مطالعه به ترتیب ۱۶ تا ۲۶ و ۲۹ تا ۱۱۵ بود. میانگین تعداد سنبلچه در سنبله در رقم روشن و لاین Roshan-D-01 به ترتیب ۱۹/۹ و ۲۴/۷ بود و میانگین تعداد دانه در سنبله در رقم روشن و لاین Roshan-D-01 به ترتیب ۵۴/۷ و ۷۵ بود. توزیع فراوانی این دو صفت نشان می‌دهد تغییرات این صفات دارای توزیع پیوسته بوده که بیانگر پلی‌ژنیک بودن این صفات می‌باشد. هم‌چنین تفکیک متجاوز در این دو صفت نیز مشاهده گردید (شکل‌های ۳ و ۴).



شکل ۲. نمودار توزیع فراوانی نتاج در نسل BC₄F₂ برای صفت طول سنبله

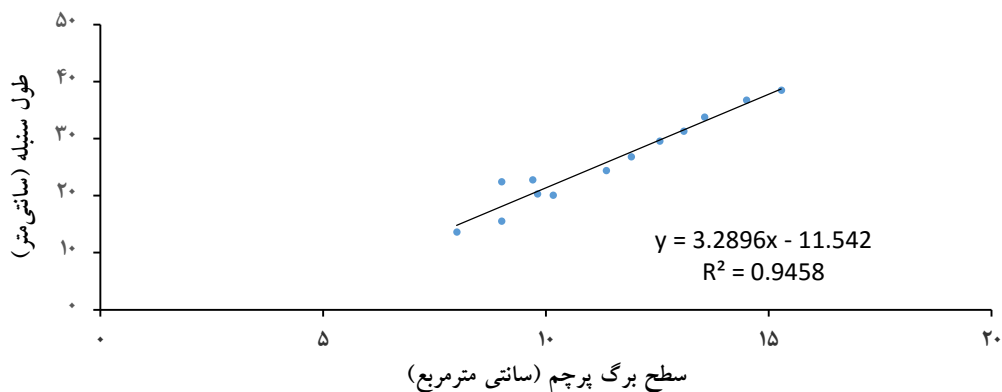


شکل ۳. نمودار توزیع فراوانی نتاج در نسل BC₄F₂ برای صفت تعداد سنبلچه در سنبله



شکل ۴. نمودار توزیع فراوانی نتاج در نسل BC₄F₂ برای صفت تعداد دانه در سنبله

ارتباط طول سنبله و سطح برگ پرچم در شکل (۵) نشان داده شده است. شیب خط رگرسیونی نشان داد به ازای افزایش یک سانتی متر مربع در سطح برگ پرچم، طول سنبله حدود ۳/۳ سانتی متر افزایش می یابد. نمودار رگرسیونی نشان می دهد بین طول سنبله و سطح برگ پرچم همبستگی مثبت وجود دارد.



شکل ۵. ارتباط طول سنبله و سطح برگ پرچم در جمعیت حاصل از تلاقی لاین Roshan-D-01 و رقم روشن در نسل BC₄F₂

۵. بحث

تعداد دانه در سنبله توسط دو جزء تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبلچه تعیین می‌شود (Zhou *et al.*, 2021). در پژوهشی که به‌منظور بررسی روابط بین سنبله بزرگ، تعداد دانه و پتانسیل عملکرد در گندم بهاره اجرا شد، در شرایط تک‌بوته که در محیط کنترل‌شده (اتاق رشد) انجام شد طول محور سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله به‌ترتیب ۱۴-۳۹ درصد، ۱۲-۳۱ درصد و ۱۸-۱۹ درصد در لاین‌های سنبله بزرگ در مقایسه با رقم شاهد افزایش داشت و در آزمایش‌های مزرعه‌ای (تراکم معمولی گیاه) افزایش تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله در لاین‌های سنبله بزرگ در مقایسه با رقم شاهد به‌ترتیب ۴-۶ درصد و ۴-۵ درصد بود (Gaju *et al.*, 2009). صفات جدید فنوتیپ سنبله بزرگ به‌عنوان مثال، محور سنبله بلند، تعداد سنبلچه بالا در هر سنبله می‌تواند زمینه را برای افزایش تعداد دانه در واحد سطح و در نتیجه شاخص برداشت در سال‌های آینده فراهم کند (Gaju *et al.*, 2009). فتوسنتز به‌وسیله سنبله‌ها ممکن است سهم بیش‌تری در عملکرد نهایی دانه نسبت به برگ پرچم در زمانی که خشکسالی در طی پرشدن دانه ایجاد می‌شود، داشته باشد (Johnson & Moss, 1976; Guo & Schnurbusch, 2016; Rebetzke *et al.*, 2016). تعداد روز تا سنبله‌دهی با همه صفات مطالعه‌شده در این پژوهش همبستگی منفی و معنی‌دار نشان داد، این نتیجه بیانگر آن است لاین‌های با سنبله بزرگ‌تر و مقدار بیش‌تر صفات مرتبط با سنبله، زودرس‌تر بوده‌اند. تأثیر مثبت زودرسی بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه گندم در مطالعات زیادی گزارش شده است (Nagarajan *et al.*, 2008; Joudi *et al.*, 2014; Shavrukov *et al.*, 2017). بین طول دوره رشد رویشی در گندم با تعداد سنبلچه در سنبله همبستگی مثبت وجود دارد، اما تعداد واقعی سنبلچه در سنبله در مرحله زایشی گیاه مشخص می‌گردد (Rahman *et al.*, 1977). بنابراین چنانچه فاز زایشی با تنش گرمایی و یا خشکی مواجه شود تعداد سنبلچه در سنبله کاهش می‌یابد. در شرایط کرمان به‌دلیل هم‌زمانی مرحله سنبله‌دهی با تنش گرمایی، زودسنبله‌دهی در این آزمایش تعداد سنبلچه در دانه و هم‌چنین تعداد دانه در سنبله را افزایش داد. در یک پژوهش اثر تاریخ کاشت و تنش گرمای انتهای فصل بر صفات فنولوژیک و اجزای عملکرد در گندم نان بررسی شد نتایج نشان داد کشت دیر هنگام و مواجه‌شدن مرحله زایشی گیاه با تنش گرمایی تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله را کاهش می‌دهد (موسوی و همکاران، ۱۴۰۰). نتایج یک بررسی که با هدف ارزیابی حساسیت برخی از مراحل فنولوژیکی گندم به تنش خشکی انجام شد نشان داد کم‌ترین تعداد دانه در سنبله به تیمار عدم آبیاری در مرحله ظهور سنبله تعلق داشت، لذا علت این کاهش شدید را به اثر تنش بر تشکیل گلچه‌ها نسبت دادند (نادری و اصلاحی، ۱۳۹۸).

در بررسی نقش فتوسنتزی برگ در عملکرد گندم سنبله بزرگ مشاهده شد در شرایط دیم لاین‌های سنبله بزرگ در مقایسه با رقم شاهد، متوسط عملکرد دانه بیش‌تری داشتند. بر این اساس مشخص شد لاین‌های سنبله بزرگ ظرفیت نگهداری آب بیش‌تری در طول دوران شکل‌گیری عملکرد دانه دارند (Wang *et al.*, 2018). رشد برگ برای تعیین عملکرد دانه حیاتی است، زیرا برگ‌ها بخش اصلی فتوسنتزی هستند (Heckmann *et al.*, 2017; Huang *et al.*, 2017).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

جمعیت حاضر از نظر صفات مرتبط با مورفولوژی سنبله دارای تنوع نسبتاً بالایی بوده هم‌چنین برای تمام صفات موردبررسی تفرق خارج از محدوده مشاهده گردید. وجود تنوع و لاین‌های برتر از والد برتر (لاین Roshan-D-01) در صفات طول سنبله، تعداد سنبلچه در سنبله و تعداد دانه در سنبله، نویددهنده امکان تولید ژنوتیپ‌هایی با سنبله بزرگ و تعداد دانه در سنبله بالا به‌منظور تولید ارقام پرمحصول را فراهم می‌نماید. در شرایطی که در انتهای دوره رشد زایشی با گرمای شدید مواجه شویم، ارتباط منفی تعداد روز تا سنبله‌دهی با صفات مرتبط با مورفولوژی سنبله در این بررسی بیانگر

تأثیر مثبت زودرسی در برنامه‌های به‌نژادی پتانسیل عملکرد دانه در گندم می‌باشد. با توجه به همبستگی بالا، مثبت و معنی‌دار طول سنبله با سطح برگ پرچم، انتخاب لاین‌های با برگ پرچم بزرگ اقدام مثبت و مؤثری در جهت گزینش صحیح لاین‌های برتر خواهد بود. نتایج این پژوهش نشان داد افزایش طول سنبله باعث افزایش تعداد دانه در سنبله ($r=0/74^{***}$) و عملکرد دانه ($r=0/73^{***}$) می‌شود. درحالی‌که تأثیر منفی بر وزن هزار دانه ($r=0/07^{ns}$) ندارد. تمام پارامترهای مربوط به اندازه برگ پرچم همبستگی مثبت و معنی‌داری با عملکرد و اجزای عملکرد داشتند. در مرحله بعدی پژوهش لاین‌های سنبله بزرگ حاصل شده از این برنامه به‌نژادی با ارقام تجاری موجود در مناطق معتدل کشور مقایسه می‌شود و در صورت برتری نسبت به این ارقام، به‌عنوان رقم جدید معرفی خواهد شد. در صورتی‌که سایر پژوهش‌گران برای اهداف مطالعاتی و یا به‌نژادی به این لاین نیاز داشته باشند، لاین مذکور در اختیار آن‌ها قرار خواهد گرفت. پیشنهادهای پژوهش حاضر به شرح زیر می‌باشد:

- نقش اندازه سنبله بر عملکرد و اجزای عملکرد در نسل‌های آینده نیز بررسی گردد.
- پس از تهیه جمعیت خالص، نقشه‌یابی ژنتیکی برای یافتن ژن‌های کنترل‌کننده اندازه سنبله انجام شود.
- نقش اندازه سنبله بر عملکرد و اجزای عملکرد در شرایط کشت متراکم بررسی گردد.

۷. تشکر و قدردانی

از دانشگاه شهید باهنر کرمان به‌دلیل تهیه امکانات لازم برای اجرای این پژوهش در قالب رساله دکتری نگارنده اول مقاله، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

موسوی، سیده فاطمه؛ سیاهپوش، محمدرضا و سرخه، کریم (۱۴۰۰). اثر تاریخ کشت و تنش گرمای انتهایی فصل بر صفات فنولوژیک و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های گندم نان. *تولیدات گیاهی*، ۴۴ (۲)، ۱۷۰-۱۵۷.

نادری، احمد و اصلاحی، محمدرضا (۱۳۹۸). ارزیابی حساسیت برخی مراحل فنولوژیکی ژنوتیپ‌های گندم در پاسخ به تنش خشکی. *تولیدات گیاهی*، ۴۲ (۱)، ۱۴۸-۱۳۳.

Reference

- Atsmon, D., & Jacobs, E. (1977). A Newly Bred 'Gigas' Form of Bread Wheat (*Triticum aestivum* L.): Morphological Features and Thermo-Photoperiodic Responses 1. *Crop Science*, 17(1), 31-35.
- Borner, A., Schafer, M., Schmidt, A., Grau, M., & Vorwald, J. (2005). Associations between geographical origin and morphological characters in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant Genetic Resources*, 3(3), 360-372.
- Duggan, B. L., Richards, R. A., Van Herwaarden, A. F., & Fittell, N. A. (2005). Agronomic evaluation of a tiller inhibition gene (*tin*) in wheat. I. Effect on yield, yield components, and grain protein. *Australian Journal of Agricultural Research*, 56(2), 169-178.
- Falconer, D.S., & Mackay, T.F.C. (1996). *Introduction to Quantitative Genetics*. London: Longman.
- Fehr, W. R. (1987). *Principles of Cultivar Development: Theory and Technique*, volume 1. New

- York: Macmillan.
- Gaju, O., Reynolds, M. P., Sparkes, D. L., & Foulkes, M. J. (2009). Relationships between large-spike phenotype, grain number, and yield potential in spring wheat. *Crop Science*, 49(3), 961-973.
- Genaev, M. A., Komyshev, E. G., Smirnov, N. V., Kruchinina, Y. V., Goncharov, N. P., & Afonnikov, D. A. (2019). Morphometry of the wheat spike by analyzing 2D images. *Agronomy*, 9(7), 390.
- Guo, Z., & Schnurbusch, T. (2016). Costs and benefits of awns. *Journal of Experimental Botany*, 67(9), 2533-2535.
- Guo, Z., Zhao, Y., Röder, M. S., Reif, J. C., Ganal, M. W., Chen, D., & Schnurbusch, T. (2018). Manipulation and prediction of spike morphology traits for the improvement of grain yield in wheat. *Scientific reports*, 8(1), 1-10.
- Hawkesford, M. J., Araus, J. L., Park, R., Calderini, D., Miralles, D., Shen, T., Zhang, J., & Parry, M. A. (2013). Prospects of doubling global wheat yields. *Food and Energy Security*, 2(1), 34-48.
- Heckmann, D., Schlüter, U., & Weber, A. P. (2017). Machine learning techniques for predicting crop photosynthetic capacity from leaf reflectance spectra. *Molecular plant*, 10(6), 878-890.
- Huang, C. F., Yu, C. P., Wu, Y. H., Lu, M. Y. J., Tu, S. L., Wu, S. H., Shiu, S.H., Ku, M.S., & Li, W. H. (2017). Elevated auxin biosynthesis and transport underlie high vein density in C4 leaves. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(33), E6884-E6891.
- Jahani, M., Mohammadi-Nejad, G., Nakhoda, B., & Rieseberg L. H. (2019). Genetic dissection of epistatic and QTL by environment interaction effects in three bread wheat genetic backgrounds for yield-related traits under saline conditions. *Euphytica*, 215(6), 1-25.
- Johnson, R. R., & Moss, D. N. (1976). Effect of Water Stress on $^{14}\text{CO}_2$ Fixation and Translocation in Wheat during Grain Filling I. *Crop Science*, 16(5), 697-701.
- Joudi, M., Ahmadi, A., Mohammadi, V., Abbasi, A., & Mohammadi, H. (2014). Genetic changes in agronomic and phenologic traits of Iranian wheat cultivars grown in different environmental conditions. *Euphytica*, 196(2), 237-249.
- Mousavi, F., Siahpoosh, M. R., & Sorkheh, K. (2021). Influence of sowing date and terminal heat stress on phenological features and yield components of bread wheat genotypes. *Journal of Plant Productions*, 44(2), 157-170. (In Persian).
- Naderi, A., & Eslahi, M. R. (2019). Evaluation of Susceptibility of Some Phenological Stages of Wheat Genotypes in Response to Drought Stress. *Journal of Plant Productions (Agronomy, Breeding and Horticulture)*, 42(1), 133-148. (In Persian).
- Nagarajan, S., Anand, A., & Chaudhary, H. B. (2008). Response of spring wheat (*Triticum aestivum*) genotypes under changing environment during grain filling period. *Indian Journal of Agricultural Sciences*. 78(2), 117-119.
- Rahman, M. S., Wilson, J. H., & Aitken, V. (1977). Determination of spikelet number in wheat. II. Effect of varying light level on ear development. *Australian Journal of Agricultural Research*, 28(4), 575-581.
- Rebetzke, G. J., Bonnett, D. G., & Reynolds, M. P. (2016). Awns reduce grain number to increase grain size and harvestable yield in irrigated and rainfed spring wheat. *Journal of Experimental Botany*, 67(9), 2573-2586.
- SAS Institute. (2004). SAS System for Windows, Release 9.1. Cary, NC: Statistical Analysis System Institute.
- Shavrukov, Y., Kurishbayev, A., Jatayev, S., Shvidchenko, V., Zotova, L., Koekemoer, F., De Groot, S., Soole, K., & Langridge, P. (2017). Early flowering as a drought escape mechanism in plants: How can it aid wheat production? *Frontiers in plant science*, 17(8), 1950.
- Shiferaw, B., Smale, M., Braun, H. J., Duveiller, E., Reynolds, M., & Muricho, G. (2013).

- Crops that feed the world 10. Past successes and future challenges to the role played by wheat in global food security. *Food Security*, 5(3), 291-317.
- Singh, R. K., & Chaudhary, B. D. (1985). *Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis*. New Delhi: Kayani Publisher.
- Van Bavel, J., & Reher, D. S. (2013). The baby boom and its causes: What we know and what we need to know. *Population and development review*, 39(2), 257-288.
- Wang, L., Sun, J., Wang, C., & Shangguan, Z. (2018). Leaf photosynthetic function duration during yield formation of large-spike wheat in rainfed cropping systems. *PeerJ*, 6, e5532.
- Wolde, G. M., Mascher, M., & Schnurbusch, T. (2019). Genetic modification of spikelet arrangement in wheat increases grain number without significantly affecting grain weight. *Molecular Genetics and Genomics*, 294(2), 457-468.
- Zhou, H., Riche, A. B., Hawkesford, M. J., Whalley, W. R., Atkinson, B. S., Sturrock, C. J., & Mooney, S. J. (2021). Determination of wheat spike and spikelet architecture and grain traits using X-ray Computed Tomography imaging. *Plant methods*, 17(1), 1-9.



Estimating maize canopy nitrogen content using aerial multispectral remote sensing by unmanned aerial vehicle

Nikrooz Bagheri¹ | Maryam Rahimi Jahangirlou² | Mehryar Jaber Aghdam³

1. Corresponding Author, Agricultural Engineering Research Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Karaj, Iran. E-mail: n.bagheri@areeo.ac.ir
2. Faculty of Agricultural Technology (Aburaihan), University of Tehran, Pakdasht, Iran. E-mail: m.rahimi@ut.ac.ir
3. Department of Agronomy and Agroecology, Islamic Azad University, Varamin-Pishva Branch, Pishva, Iran. E-mail: mahyarjaber@iau.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 19 April 2022

Received in revised form

19 October 2022

Accepted 7 November 2022

Published online

20 September 2023

Keywords:

Multispectral imaging

Nitrogen fertilizer

Precision agriculture

Remote sensing

Unmanned aerial vehicle

ABSTRACT

Objective: In order to present a new, non-destructive, accurate, and fast method for estimating the nitrogen content of corn, Unmanned Aerial Vehicle (UAV) multispectral sensing technology was used.

Methods: The experiments were performed based on a randomized complete block design in four levels of nitrogen fertilizer (zero, 50, 100, and 150%) in Varamin in 2018. Sampling was carried out in two stages of fertilization (8-leaf Stage and Tasseling Stage). Multispectral aerial imaging and ground sampling was performed one week after each fertilizer application. After processing aerial imagery, vegetation indices were calculated and their correlation with the results of ground sampling was determined.

Results: Based on the results obtained from the correlation coefficients (r) and best subsets regression, among the spectral vegetation indices, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Nitrogen Reflectance Index (NRI), and Modified Triangular Vegetation Index2 (MTVI2) indices in both eight leaf collar (V8) and tasseling (VT) of maize growth stage was identified as the best indicator to estimate the nitrogen content of forage maize. At VT, a positive and significant relationship was obtained between NDVI ($R^2= 0.86$, $P\leq 0.001$), NRI ($R^2= 0.70$, $P\leq 0.001$) and MTVI2 ($R^2= 0.46$, $P\leq 0.01$) indices with maize nitrogen content.

Conclusion: It can be concluded that UAV multispectral imaging provides acceptable accuracy in determining the nitrogen content of maize. This technology can help farmers to determine the appropriate time of fertilization.

Cite this article: Bagheri, N., Rahimi Jahangirlou, M., & Jaber Aghdam, M. (2023). Estimating maize canopy nitrogen content using aerial multispectral remote sensing by unmanned aerial vehicle. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 587-602. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.341850.2700>



برآورد مقدار نیتروژن پوشش گیاهی ذرت علوفه‌ای با استفاده از فناوری سنجش از دور چندطیفی هوایی با پهپاد

نیکروز باقری^۱ | مریم رحیمی جهانگیرلو^۲ | مهریار جابری اقدم^۳

۱. نویسنده مسئول، مؤسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: n.bagheri@areeo.ac.ir
۲. دانشکده فناوری کشاورزی (ابوریحان)، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران. رایانامه: m.rahimi@ut.ac.ir
۳. گروه زراعت و اکولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ورامین - پیشوا، پیشوا، ایران. رایانامه: mrehyarjaberi@iau.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: به منظور ارائه یک روش نوین، غیرمخرب، دقیق و سریع برای برآورد مقدار نیتروژن گیاه ذرت از فناوری سنجش از دور چندطیفی هوایی با پهپاد استفاده شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۳۰	روش پژوهش: آزمایش‌ها به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار سطح کود نیتروژن (صفر، ۵۰، ۱۰۰ و ۱۵۰ درصد مقدار کود بهینه) در شهرستان ورامین در سال زراعی ۱۳۹۷ اجرا شد. نمونه‌برداری در دو مرحله کوددهی (هشت‌برگی و ظهور گل‌تاجی) انجام شد. تصویربرداری چندطیفی با پهپاد و نمونه‌برداری زمینی، یک هفته پس از هر بار کوددهی انجام شد. پس از پردازش تصاویر، شاخص‌های پوشش گیاهی شامل PSRI، TCARI، MTVI2، MCARI2، NRI، GI، SR، NDVI و REIP محاسبه شدند و همبستگی آن‌ها با نتایج نمونه‌برداری زمینی به دست آمد.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۲۷	یافته‌ها: براساس نتایج به دست آمده از بررسی ضرایب همبستگی (r) و رگرسیون (مدل بهترین زیرمجموعه)، بهترین شاخص‌ها برای برآورد مقدار نیتروژن ذرت علوفه‌ای، شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده (NDVI)، شاخص بازتاب نیتروژن (NIR) و شاخص پوشش گیاهی مثلثی اصلاح شده (MTVI2) در هر دو مرحله رشد هشت‌برگی (V8) و ظهور گل‌تاجی (VT) بودند. در مرحله ظهور گل‌تاجی، رابطه مثبت و معنی‌داری بین شاخص‌های NDVI ($R^2=0/86$ ، $P\leq 0/001$)، NIR ($P\leq 0/001$)، MTVI2 ($R^2=0/70$) و ($P\leq 0/001$) با مقدار نیتروژن ذرت به دست آمد.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۶	نتیجه‌گیری: براساس یافته‌های به دست آمده، تصویربرداری چندطیفی هوایی با پهپاد دقت قابل قبولی برای برآورد مقدار نیتروژن گیاه ذرت ارائه می‌دهد. این فناوری می‌تواند به کشاورزان برای تعیین زمان مناسب کوددهی کمک کند.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹	
کلیدواژه‌ها: پرنده هدایت‌پذیر از دور تصویربرداری چندطیفی سنجش از دور کشاورزی دقیق کود نیتروژن	

استناد: باقری، نیکروز؛ رحیمی جهانگیرلو، مریم؛ و جابری اقدم، مهریار (۱۴۰۲). برآورد مقدار نیتروژن پوشش گیاهی ذرت علوفه‌ای با استفاده از فناوری سنجش از دور چندطیفی هوایی با پهپاد. *به‌زرعی کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۵۸۷-۶۰۲. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.341850.2700>



۱. مقدمه

امروزه ضرورت امنیت غذایی، بهبود بهره‌وری منابع تولید و حفظ محیط‌زیست، توسعه کشاورزی دقیق را به یک ضرورت تبدیل کرده است. با به‌کارگیری این فناوری می‌توان ضمن مصرف بهینه نهاده‌ها، عملکرد محصولات کشاورزی را افزایش داده و توسعه پایدار کشاورزی را رونق بخشید (Bagheri & Bordbar, 2014). یکی از مهم‌ترین نهاده‌های کشاورزی کودهای نیتروژنه هستند. نیتروژن یک ماده مغذی ضروری برای ساخت کلروفیل در فرایند فتوسنتز گیاه و بهبود عملکرد کمی و کیفی است (Wen *et al.*, 2020). کاربرد بهینه نیتروژن کلید اصلی رشد محصول بوده و کمبود آن افزون بر محدود کردن رشد محصول، باعث کاهش عملکرد می‌شود (Guo *et al.*, 2021).

نظارت مداوم بر وضعیت نیتروژن برای ارزیابی سلامت گیاه ضروری است و امکان مدیریت بهینه توزیع نهاده‌ها را در طول فصل رشد فراهم می‌کند (Wen *et al.*, 2020). در فرایند رشد گیاه به علت کمبود نیتروژن خاک، معمولاً از کودهای شیمیایی برای دستیابی به نیتروژن لازم استفاده می‌شود. با وجود تفاوت مقدار نیتروژن مورد نیاز گیاهان در موقعیت‌های مکانی مختلف (Laruffa *et al.*, 2001)، روش مرسوم کوددهی شامل پاشش یکسان کود در سطح مزرعه است که این روش معمولاً منجر به کم‌پاشی یا بیش‌پاشی کود می‌شود. براساس مطالعات انجام شده در کشورهای پیشرفته، ۳۰ درصد از هزینه‌های تولید ذرت مربوط به کود نیتروژن است (Maresma *et al.*, 2016). کم‌پاشی کود نیتروژن موجب کاهش کیفیت و عملکرد محصول شده، و بیش‌پاشی آن، آلودگی آب‌های زیرزمینی و محیط‌زیست، افزایش آسیب‌پذیری محصول، افزایش خطر سلامتی انسان (Bagheri *et al.*, 2013)، هدر رفتن کود و افزایش هزینه تولید (Maresma *et al.*, 2016) را به همراه دارد.

امروزه دقیق‌ترین روش تعیین مقدار نیتروژن گیاه، روش نمونه‌برداری دستی از گیاه و تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی نمونه‌ها است که این روش مخرب، زمان‌بر، هزینه‌بر و پرزحمت است (Zillmann *et al.*, 2006) و استفاده از آن اجرای کشاورزی هوشمند متکی بر پایش برخط را غیرممکن می‌کند (Liang *et al.*, 2018). استفاده از دستگاه کلروفیل سنج نیز یک روش رایج برای تعیین نیاز کود نیتروژن است (Lin *et al.*, 2010). با این حال، اندازه‌گیری‌ها در این روش نقطه‌ای است و عدد به دست آمده نمی‌تواند نشان‌دهنده مقدار کلروفیل سایر برگ‌ها یا بوته‌ها باشد. همچنین، براساس پژوهش‌های پیشین از جمله پژوهش Hawkins *et al.* (2007)، همبستگی بین مقدار داده‌های کلروفیل متر با مقدار نیتروژن گیاه ذرت برابر با ۰/۷۶ است. از جمله فناوری‌های غیرمخرب توانمند برای پایش برخط و برآورد مقدار نیتروژن در هر نقطه از مزرعه، فناوری سنجش از دور است (Liu *et al.*, 2018; Yang *et al.*, 2019; Wen *et al.*, 2020; Habibullah *et al.*, 2020). توسعه پهپادها در سال‌های اخیر موقعیت جدیدی را برای پایش محصول‌های کشاورزی فراهم کرده است. پهپادها نسبت به سکوها دیگر سنجش از دور مانند ماهواره‌ها و هواپیماها، از انعطاف‌پذیری بیشتری برای اجرای عملیات برخوردارند (Padua *et al.*, 2017). همچنین، تصاویر برداشت شده با پهپاد قدرت تفکیک مکانی و زمانی بیشتری و هزینه کمتری دارد (Gilliot *et al.*, 2020).

۲. پیشینه پژوهش

در چندسال اخیر، پژوهش‌های گوناگونی در زمینه پایش وضعیت نیتروژن گیاه با استفاده از فناوری سنجش از دور هوایی با پهپاد اجرا شده است. Lebourgeois *et al.* (2012) از تصویربرداری هوایی برای پایش وضعیت نیتروژن محصول نیشکر استفاده کردند. از دو دوربین دیجیتالی مرئی و مادون قرمز نزدیک برای برداشت تصویر استفاده شد. شاخص SRPI با $R^2=0/7$ بیش‌ترین همبستگی را با مقدار نیتروژن نشان داد. Li *et al.* (2015) شاخص تعادل نیتروژن (NBI) برنج را با

استفاده از تصاویر مرئی برداشت‌شده با پهپاد اندازه‌گیری کردند. مدل‌های ساخته‌شده براساس دو شاخص DGCI و NBI با ضریب به‌ترتیب ۰/۶۷ و ۰/۷۱ بیش‌ترین همبستگی را با مقدار نیتروژن گیاه داشتند. Maresma *et al.* (2016) از تصاویر هوایی برداشت‌شده با پهپاد برای پایش وضعیت نیتروژن و پیش‌بینی عملکرد آن استفاده کردند. آن‌ها شاخص WDRVI را به‌عنوان شاخص مناسب برای برآورد عملکرد با دقت ۰/۹۴ معرفی کردند. Krinke *et al.* (2017) از تصاویر برداری هوایی پهپاد برای برآورد تغییرات نیتروژن پوشش گیاهی ذرت، استفاده کردند. آن‌ها همبستگی بین مقادیر واقعی و برآوردشده نیتروژن گیاه را با استفاده از این مدل ۰/۸۵ گزارش کردند. Ballester *et al.* (2017) وضعیت نیتروژن محصول پنبه و پیش‌بینی عملکرد آن را با تصاویر چندطیفی برداشت‌شده با پهپاد ارزیابی کردند. آن‌ها چندین شاخص پوشش گیاهی را در مراحل مختلف رشد محصول ارزیابی کردند. نتایج نشان داد شاخص SCCI با ضریب همبستگی ۰/۸ مناسب‌ترین شاخص برای پایش نیتروژن است. Liu *et al.* (2018) وضعیت نیتروژن کلزا را با استفاده از تصاویر فراطیفی و چندطیفی هوایی با پهپاد ارزیابی کردند. نتایج نشان داد که تصاویر چندطیفی هوایی پتانسیل خوبی برای برآورد مقدار نیتروژن کلزا دارد. شاخص PRI با دقت ۰/۷۳ شاخص مناسب برای پیش‌بینی نیتروژن به‌دست آمد. Yang *et al.* (2019) مقدار نیتروژن پوشش گیاهی گندم را با استفاده از تصاویر مرئی برداشت‌شده با پهپاد برآورد کردند. دقت مدل‌های به‌دست‌آمده ۹۰ درصد به‌دست آمد. Wen *et al.* (2020) مقدار نیتروژن ذرت را با استفاده از تصاویر فراطیفی برآورد کردند. آن‌ها شاخص جدید OREA را با ضریب همبستگی ۰/۸۱ برای پیش‌بینی غلظت نیتروژن پیشنهاد کردند. GUO *et al.* (2021) به پایش غیرمخرب غلظت نیتروژن گندم زمستانه با استفاده از تصاویر برداری فراطیفی پرداختند و رابطه بین غلظت نیتروژن و پارامترهای طیفی را تحلیل کردند. آن‌ها از مدل‌های رگرسیون غیرخطی برای مدل‌سازی نیتروژن استفاده کردند. نتایج نشان داد روش ماشین‌بردار پشتیبان با ضریب همبستگی ۰/۸۹، دقت خوبی برای پایش و برآورد غلظت نیتروژن دارد.

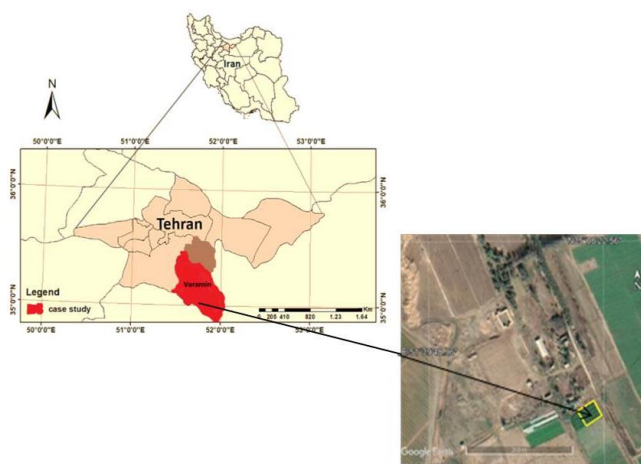
حسینی و همکاران (۱۳۹۸) مقدار نیتروژن و کلروفیل گیاه نیشکر را با استفاده از تصاویر برداری هوایی با پهپاد برآورد کردند. آن‌ها تصاویر برداری را با استفاده از دوربین مرئی در دو ارتفاع پرواز پنج و ۱۰ متری انجام دادند. دقت مدل‌های ارائه‌شده برای برآورد نیتروژن در ارتفاع‌های پرواز پنج و ۱۰ متری به‌ترتیب برابر با ۷۴/۳ و ۷۷/۰ درصد و دقت مدل‌های ارائه‌شده برای برآورد کلروفیل در ارتفاع‌های پرواز پنج و ۱۰ متری به‌ترتیب برابر با ۶۲/۰ و ۶۹/۰ درصد به‌دست آمد. جابری‌ا قدم و همکاران (۱۳۹۹) به تشخیص تنش گیاه ذرت با استفاده از تصاویر برداری چندطیفی هوایی با پهپاد پرداختند. آن‌ها چندین شاخص پوشش گیاهی را ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که شاخص CI در مرحله رشد هشت‌برگی با $R^2=0/88$ و NRI در مرحله رشد ظهور گل‌تاجی با $R^2=0/90$ مناسب‌ترین شاخص‌ها برای تشخیص تنش بودند. مرور پژوهش‌ها نشان می‌دهد برآورد خصوصیات شیمیایی محصولات کشاورزی با استفاده از تصاویر برداری هوایی با پهپاد در حال گسترش است. با این‌حال، نیاز به پیشبرد این فناوری و توسعه‌های مدل‌های پایش و برآورد مقدار نیتروژن گیاه برای شرایط کشاورزی بومی کشور وجود دارد. با توجه به اهمیت پایش نیتروژن گیاه و برآورد مقدار آن (برای تعیین نیاز کودی گیاه و مدیریت توزیع کود) و همچنین، قابلیت سنجش از دور به‌عنوان روشی سریع، دقیق و غیرمخرب برای برآورد ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی گیاه، هدف از این پژوهش عبارت‌است از تحلیل رابطه بین مقدار نیتروژن گیاه ذرت علوفه‌ای با شاخص‌های پوشش گیاهی طیفی مستخرج از تصاویر چندطیفی هوایی برداشت‌شده با پهپاد، ارزیابی چندشاخص پوشش گیاهی مرتبط با مقدار نیتروژن گیاه برای برآورد مقدار نیتروژن، ارائه مدل‌های ریاضی برای برآورد مقدار نیتروژن براساس شاخص‌ها و پیشنهاد یک مدل دقیق برآورد نیتروژن.

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳.۱. منطقه مورد مطالعه و روش اجرای طرح

منطقه مورد مطالعه، یک مزرعه ذرت علوفه‌ای پژوهشی در شهرستان ورامین استان تهران با طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۸ دقیقه بود (شکل ۱). پیش از کاشت، نمونه‌برداری از خاک انجام شد. پنج نمونه خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری برداشت و برای تجزیه و تحلیل به آزمایشگاه منتقل شد. براساس نتایج نمونه‌برداری خاک، خاک مزرعه از نوع لومی- شنی با درجه قلیایی ۷/۷ و دارای ۱/۱ درصد نیتروژن، ۱۰/۴ پی‌پی‌ام فسفر، ۴۱۰ پی‌پی‌ام پتاس بود.

آزمایش به صورت طرح بلوک‌های کامل تصادفی در چهار تیمار کود نیتروژن و چهار تکرار اجرا شد که در آن فاکتور آزمایشی، کود نیتروژن با چهار سطح صفر درصد (شاهد بدون دریافت کود)، ۵۰ درصد، ۱۰۰ درصد (مقدار کود بهینه برای دستیابی به عملکرد مطلوب گیاه معادل ۱۵۵ کیلوگرم کود اوره در هکتار) و ۱۵۰ درصد تعریف شد. توصیه کودی با توجه به نتایج آزمون خاک و توصیه‌های کارشناسان منطقه صورت گرفت. مختصات گوشه‌های مزرعه و بلوک‌ها با استفاده از دستگاه GPS^۱ برداشت شد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه

برای پیاده‌سازی طرح، ابتدا شیب و جهت زمین تعیین و پس از آن چهار بلوک به مساحت یکسان عمود بر جهت شیب ایجاد شد. برای جلوگیری از تداخل رواناب بلوک‌ها با یکدیگر، فاصله هر بلوک از بلوک بعدی ۲/۲۵ متر در نظر گرفته شد. ابعاد زمین ۳۳ متر در ۲۵/۷۵ متر و ابعاد کرت‌ها شش متر در ۳/۷۵ متر بود. عملیات تهیه زمین، شامل تسطیح زمین با لولر^۲، شخم با گاوآهن برگردان‌دار یک‌طرفه و دیسک انجام شد. در نیمه شهریورماه ذرت رقم Gazda MTC 450 با استفاده از بذرکار در عمق ۵-۸ سانتی‌متری با فاصله ۷۵ سانتی‌متر بین ردیف و ۱۵ سانتی‌متر روی ردیف کشت شد. این رقم از نوع دندان اسبی، با ۱۶ تا ۱۷ ردیف دانه روی بلال از گروه زودرس، با قدرت جوانه‌زنی اولیه زیاد، عملکرد زیاد، ارتفاع بلند و تراکم ۶۰-۷۰ هزار بوته در هکتار است. مقدار بذر کاشته شده ۲۸/۸ کیلوگرم در هکتار در نظر گرفته شد. مزرعه به روش نواری آبیاری شد. آبیاری مزرعه مطابق مراحل رشد فنولوژیک ذرت انجام شد و در هر مرحله

1. Global Position System
2. Leveler

مقادیر آب با استفاده از پارشال فلوم اندازه‌گیری شد. علف‌های هرز با وجین‌دستی حذف شدند. کود اوره حاوی ۴۶ درصد نیتروژن در دو مرحله شامل یک دوم در مرحله ۸ برگی (V8)^۱ و یک‌دوم در مرحله ظهور گل‌تاجی (VT)^۲ پاشیده شد. تقسیط کود براساس نتیجه‌آزمون‌های خاک تعیین شد.

۲.۳. نمونه‌برداری زمینی

برای نمونه‌برداری زمینی از مناطق خارج از خطوط حاشیة هر تیمار، پنج بوته به‌صورت تصادفی از هر تکرار انتخاب شدند. اندازه‌گیری‌ها در دو مرحله رشد V8 (در تاریخ ۱۰ مهرماه) و VT (در تاریخ ۲۷ آبان‌ماه) صورت گرفت. تمام بوته از بالای سطح زمین بریده شد. مقدار نیتروژن تمام برگ‌های هر بوته از روش هضم تر با استفاده از کج‌لدال^۳ تعیین شد. برای آماده‌سازی نمونه‌ها برای آزمایش، ابتدا برگ‌ها از ساقه‌ها جدا و در آون با دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۴۸ ساعت خشک شدند. سپس نمونه‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۱ گرم وزن و از الک با مش‌های یک میلی‌متر عبور داده شدند. سپس، نمونه‌های پودر شده در پلاستیک قرار گرفت و برای تعیین مقدار نیتروژن به آزمایشگاه ارسال شدند (Bagheri et al., 2013).

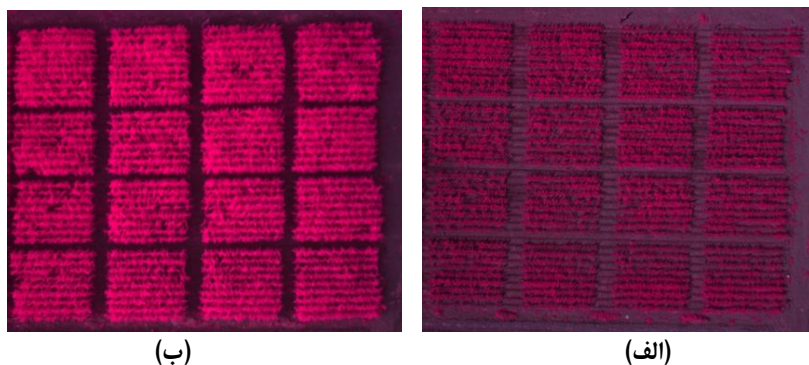
۳.۳. تصویربرداری چندطیفی هوایی

تصویربرداری چندطیفی هوایی از مزرعه با پهپاد در مراحل رشد V8 و VT در روز نمونه‌برداری (و پیش از نمونه‌برداری) بین ساعت ۱۱:۰۰ تا ۱۲:۰۰ در روز آفتابی و بدون ابر از ارتفاع ۱۰۰ متر از سطح زمین انجام شد. پهپاد مورد استفاده دارای تجهیزاتی از جمله بدنه، موتورهای DC، کنترل‌گرهای سرعت و بازوها، باتری لیتیوم-پلیمری ۳۳۰۰ میلی‌آمپر و ۱۱/۱ ولت، مانت دوربین، رادیوکنترل و سامانه خلبان خودکار NAZA (مدل MV2، ساخت کشور چین) توسعه‌یافته توسط Bagheri (2016) بود. از یک دوربین چندطیفی Tetracam (مدل ADC micro، ساخت شرکت آمریکا) در محدوده طیفی ۵۲۰-۶۰۰، ۶۳۰-۶۹۰ و ۷۶۰-۹۰۰ نانومتر، برای تصویربرداری چندطیفی استفاده شد. برای تصحیح رادیومتری تصاویر، از صفحه کالیبراسیون تفلون سفید مخصوص دوربین تصویربرداری شد. قدرت تفکیک مکانی تصاویر با توجه به مشخصات دوربین و ارتفاع پرواز، ۳۸ میلی‌متر/پیکسل به‌دست آمد.

۴.۳. تجزیه و تحلیل تصاویر چندطیفی هوایی و داده‌های زمینی

تصاویر چندطیفی هوایی بعد از برداشت، با استفاده از نرم‌افزارهای ENVI (نسخه ۵/۴) و PixelWrench (نسخه ۲) پردازش شدند. پس از تصویربرداری و استخراج تصاویر از کارت حافظه دوربین، فرمت تصاویر از DCM به TIFF تغییر داده شد. سپس تصاویر رنگی کاذب مادون‌قرمز-قرمز-سبز از تصاویر خام سیاه-سفید، تهیه شد. بعد از بزرگنمایی تصاویر و بسط هیستوگرام، داده‌های طیفی استخراج شد. سپس شاخص‌های پوشش گیاهی (جدول ۲) محاسبه شدند. تصاویر چندطیفی هوایی در دو مرحله رشد V8 و VT در شکل (۲) نشان داده شده است. برخی از شاخص‌های پوشش گیاهی متشکل از باندهای مادون‌قرمز نزدیک، قرمز و سبز مرتبط با مقدار نیتروژن گیاه ذرت محاسبه شدند (جدول ۱).

1. 8-leaf Stage
2. Tasseling Stage
3. The standard Kjeldahl method



شکل ۲. تصویر هوایی رنگی کاذب از مزرعه ذرت مورد مطالعه در مراحل رشد V8 (الف) و VT (ب)

۳.۵. تجزیه و تحلیل‌های آماری

برای بررسی اثر سطوح مختلف کود نیتروژن بر مقدار نیتروژن در بافت ذرت و نیز شاخص‌های پوشش گیاهی، تجزیه واریانس صورت گرفت و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. سپس، برای تعیین رابطه بین شاخص‌های پوشش گیاهی و مقدار نیتروژن گیاه و همچنین تعیین بهترین مجموعه از شاخص‌ها برای پیش‌بینی مقدار نیتروژن گیاه، به ترتیب از ضریب همبستگی پیرسون^۱ (r) و رگرسیون (مدل بهترین زیرمجموعه)^۲ استفاده شد. از رگرسیون مدل بهترین زیرمجموعه، برای مقایسه مدل‌های رگرسیونی متفاوت (که شامل زیرمجموعه‌های پیش‌بینی‌کننده هستند) استفاده شد. بهترین مدل‌های برازش داده شده دارای مقادیر کم خطای استاندارد رگرسیون (S) و آماره Mallows' Cp و مقادیر زیاد ضریب تعیین (R^2) هستند. از این روش زمانی استفاده می‌شود که یک متغیر پاسخ پیوسته و بیش از یک متغیر پیش‌بینی‌کننده پیوسته وجود داشته باشد. در این روش لازم است پیش از انتخاب زیرمجموعه نهایی، مفروضات رگرسیون با استفاده از نمودارهای باقی‌مانده و سایر اقدامات تشخیصی بررسی شود (Rahimi Jahangirlou et al., 2021). در گام آخر، برای هر یک از شاخص‌های دارای بیش‌ترین همبستگی با مقدار نیتروژن و معرفی شده در بهترین زیرمجموعه، مدل‌های رگرسیونی برای برآورد مقدار نیتروژن گیاه محاسبه شد. برای اعتبارسنجی مدل‌های به‌دست‌آمده، از عدد R^2 و عدد معنی‌داری P استفاده شد (Rahimi Jahangirlou et al., 2022) و بر این اساس بهترین مدل یا مدل‌ها برای برآورد مقدار نیتروژن در هر یک از مراحل رشد V8 و VT با استفاده از نرم‌افزار Excel برازش داده شده و معرفی شدند. تحلیل‌های آماری با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۲) و Minitab (نسخه ۱۷) انجام شد.

۴. یافته‌های پژوهش

۴.۱. اثر سطوح مختلف کود نیتروژن بر متغیرهای بررسی شده

نتایج مقایسه میانگین مقدار نیتروژن در بافت برگ ذرت و نیز مقدار شاخص‌های پوشش گیاهی در پاسخ به توزیع سطوح کود نیتروژن در جدول (۲) ارائه شده است. مطابق جدول، بین سطوح مختلف کود نیتروژن از نظر متغیر مقدار نیتروژن بافت گیاهی تفاوت معنی‌دار وجود داشت، به طوری که مصرف زیاد نیتروژن (N150%) مقدار نیتروژن بافت گیاهی را در هر دو مرحله V8 (۱/۱۲ درصد ماده خشک) و VT (۱/۱۸ درصد ماده خشک) به بیش‌ترین مقدار افزایش داد ($P < 0.001$).

1. Pearson correlation coefficient
2. Best subset regression
3. Standard error of the regression

اثر معنی‌دار کود نیتروژن بر مقدار نیتروژن بافت گیاهی در پژوهش‌های مختلف گزارش شده‌است (Cao et al., 2019; Rahimi Jahangirlou et al., 2021).

جدول ۱. شاخص‌های پوشش گیاهی طیفی مورد مطالعه

منبع	رابطه ریاضی	نام شاخص
(Bagheri et al., 2013)	$\frac{NIR - R}{NIR + R}$	NDVI ^۱
(Chen et al., 2007)	$\frac{R}{G}$	SR ^۲
(Zarco-tejada et al., 2005)	$\frac{R}{G - R}$	GI ^۳
(Devadas et al., 2009)	$\frac{G + R}{G - R}$	NRI ^۴
(Bagheri et al., 2013)	$\frac{1.5 \times [2.5(NIR - R) - 1.3(NIR - G)]}{\sqrt{-0.5 + (2NIR + 1)^2 - (6NIR - 5\sqrt{R})}}$	MCAR12 ^۵
(Ballester et al., 2017)	$\frac{1.5 \times [1.2(NIR - G) - 2.5(R - G)]}{\sqrt{-0.5 + (2NIR + 1)^2 - (6NIR - 5\sqrt{R})}}$	MTV12
(Elvanidi et al., 2018)	$3 \left[(NIR - R) - 0.2(NIR - G) \times \left(\frac{NIR}{R} \right) \right]$	TCARI ^۶
(Devadas et al., 2009)	$\frac{R - G}{\frac{NIR}{R + NIR} - (R)}$	PSRI ^۷
(Mistele & Schmidhalter, 2008)	$700 + 40 \left(\frac{\frac{R + NIR}{2} - (R)}{(NIR - R)} \right)$	REIP ^۸

NIR: باند مادون قرمز نزدیک؛ R: باند قرمز و G: باند سبز است.

جدول ۲. مقایسه میانگین مقدار نیتروژن در بافت گیاهی (درصد) و مقدار شاخص‌های پوشش گیاهی طیفی در پاسخ به توزیع سطوح مختلف کود نیتروژن بر اساس آزمون خاک در دو مرحله رشد V8 (a) و VT (b) ذرت علوفه‌ای

SRb	SRa	MTV2b	MTV2a	NRIb	NRIa	NDVb	NDVa	Nb	Na	سطوح مختلف N (درصد)
۱۳۴/۸۱a	۶۵/۴۹a	۱/۳۲۴۹b	۱/۳۱۹۴c	۰/۹۶۶۷c	۰/۹۶۶۶b	۰/۹۹۸۸c	۰/۹۸۳۳b	۰/۳۹d	۰/۴۲b	N0%
۱۳۲/۴۲a	۷۰/۱۰a	۱/۳۲۹۲ab	۱/۳۲۸۰b	۰/۹۹۸۱b	۰/۹۶۷۲b	۰/۹۹۹۱b	۰/۹۸۴۲b	۰/۶۳c	۰/۵۴b	N50%
۱۳۱/۳۴a	۷۱/۷۲a	۱/۳۲۸۳ab	۱/۳۳۴۰a	۰/۹۹۸۲b	۰/۹۷۹۲a	۰/۹۹۹۷a	۰/۹۸۹۶a	۰/۸۸b	۰/۶۴b	N100%
۱۴۵/۷۲a	۶۶/۳۳a	۱/۳۳۱۹a	۱/۳۳۶۶a	۰/۹۹۸۷a	۰/۹۸۴۶a	۰/۹۹۹۴ab	۰/۹۹۲۱a	۱/۱۲a	۱/۱۸a	N150%
۰/۵۳۰	۰/۴۲۸	۰/۰۰۰۷	۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۲۲	۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۱۰	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	p-value
۳/۶۶	۱/۴۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	۰/۰۷	۰/۰۸	SEM
۱۰/۴۷	۸/۳۷	۰/۲۴	۰/۵۵	۰/۰۸	۰/۹۰	۰/۰۸	۰/۴۱	۱۹/۰۰	۱۶/۵۳	CV(%)
REIPb	REIPa	PSRIb	PSRIa	TCARIb	TCARIa	MCAR12b	MCAR12a	GIb	GIa	سطوح مختلف N (درصد)
۷۲۰/۰۲a	۷۲۰/۳۵a	۰/۴۳۴۶a	۰/۴۴۴۷a	۰/۴۴۴۷a	۰/۴۳۳۳a	۱/۳۳۶۳a	۳۱۶/۷۳a	۶۲/۷۹a	۳۰/۴۳a	N0%
۷۲۰/۰۱a	۷۲۰/۳۲a	۰/۴۳۸۹a	۰/۴۳۵۴a	۰/۴۳۹۱a	۰/۴۳۹۶a	۱/۳۳۹۲a	۳۳۳/۳۳a	۶۲/۵۹a	۳۲/۱۴a	N50%
۷۲۰/۰۲a	۷۲۰/۲۱a	۰/۴۳۵۵a	۰/۴۴۶۶a	۰/۴۳۲۹a	۰/۴۳۵۳a	۱/۳۳۵۵a	۳۱۹/۸۷a	۶۰/۱۴a	۳۳/۶۳a	N100%
۷۲۰/۰۱a	۷۲۰/۳۷a	۰/۴۴۱۶a	۰/۴۴۴۸a	۰/۴۳۱۸a	۰/۴۳۵۴a	۱/۳۳۱۹a	۳۲۲/۹۸a	۶۸/۶۵a	۳۰/۹۲a	N150%
۰/۳۰۷	۰/۳۵۹	۰/۸۶۲	۰/۳۰۱	۰/۵۹۷	۰/۴۰۵	۰/۷۳۹	۰/۵۹۷	۰/۲۸۷	۰/۴۶۸	p-value
۰/۰۰۴	۰/۰۳۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۴۴۴	۷۱/۴	۰/۰۰۳	۱/۸۴	۳/۶۶	۰/۷۴	SEM
<۰/۰۰۱	۰/۰۲	۲/۴۶	۲/۰۲	۲۱/۶۷	۱۰/۲۰	۰/۹۸	۲/۳۰	۱۰/۴۷	۹/۳۵	CV(%)

میانگین‌ها با حروف یکسان، بر اساس آزمون توکی، فاقد تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد هستند. اختصارات: N: نیتروژن، NDVI: شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده، NRI: شاخص بازتاب نیتروژن، MTV12: شاخص نسبت جذب کلروفیل اصلاح شده، SR: شاخص نسبت ساده، GI: شاخص سبزیگی، MCAR12: شاخص نسبت جذب کلروفیل تعدیل شده، TCARI: شاخص جذب و بازتاب کلروفیل تعدیل شده، PSRI: شاخص بازتاب پیری گیاه، REIP: شاخص نقطه عطف لبه قرمز.

1. Normalized Difference Vegetation Index
2. Simple Ration Index
3. Greenness Index
4. Nitrogen Reflectance Index
5. Modified Chlorophyll Absorption Ratio Index2
6. Transformed Chlorophyll Absorption and Reflectance Index
7. Plant Senescence Reflectance Index
8. Red-Edge Inflection Point

همچنین، مطابق جدول (۲) بین سطوح مختلف کود نیتروژن و مقدار شاخص‌های NDVI، NRI و MTVI2 در هر دو مرحله رشد V8 و VT تفاوت معنی‌دار وجود داشت، درحالی‌که تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف کود نیتروژن و شاخص‌های GI، SR، MCARI1، TCARIA، PSRI و REIP وجود نداشت. به عبارت دیگر، مقادیر عددی به دست آمده با این شاخص‌ها قادر به نشان دادن تفاوت معنی‌دار بین سطوح مختلف کود نیتروژن در آزمایش حاضر نبود. نتایج نشان داد در مقایسه با واحدهای آزمایشی تحت تنش نیتروژن (N0% و N50%)، NDVI در هر دو مرحله رشد V8 (۰/۹۹۲۱ و ۰/۹۸۹۶) و VT (۰/۹۹۹۴ و ۰/۹۹۹۷) به ترتیب در N150% و N100% به صورت معنی‌داری بیش‌تر بود. در مرحله رشد V8، هر دو شاخص MTVI2 (۱/۳۳۶۶ و ۱/۳۳۴۰) و NIR (۰/۹۸۴۶ و ۰/۹۷۹۲) به ترتیب در N150% و N100% بیش‌تر بودند. در مرحله VT، شاخص MTVI2 به طور معنی‌داری در واحدهای آزمایشی دارای نیتروژن (N50%، N100%)، بدون تفاوت معنی‌دار، بیش‌تر بود. همچنین، در مرحله رشد VT بیش‌ترین مقدار NRI (۰/۹۹۸) در بیش‌ترین مقدار مصرف کود (N150%) مشاهده شد. نتایج به دست آمده از این بخش، یافته‌های پژوهش‌های پیشین را مبنی بر حساس بودن برخی از شاخص‌های پوشش گیاهی به مقادیر متفاوت کود نیتروژن، و توانایی این شاخص‌ها را در برآورد مقدار نیتروژن تأیید می‌کند (Caturegli *et al.*, 2016). همچنین، نتایج مشابهی توسط سایر پژوهش‌گران با به کارگیری تصاویر چندطیفی هوایی برداشت شده با پهپاد برای پیش‌بینی مقدار نیتروژن برگ در گندم (Yang *et al.*, 2019)، نیشکر (Shendryk *et al.*, 2020) و ذرت (Xu *et al.*, 2021) گزارش شده است.

۲.۴. رابطه بین مقدار نیتروژن گیاه و شاخص‌های پوشش گیاهی

جدول (۳) ضرایب همبستگی و عدد معنی‌داری مقدار نیتروژن ذرت علوفه‌ای و شاخص‌های پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. مطابق جدول، نتایج نشان داد از بین تمام شاخص‌های پوشش گیاهی بررسی شده، همبستگی بین شاخص‌های NDVI ($r=0.77, P\leq 0.01$)، NRI ($r=0.70, P\leq 0.01$) و MTVI2 ($r=0.67, P\leq 0.01$) با نیتروژن گیاه در مرحله رشد V8 معنی‌دار بود.

به طور مشابه، هر سه شاخص NDVI ($r=0.77, P\leq 0.01$)، NRI ($r=0.70, P\leq 0.01$) و MTVI2 ($r=0.66, P\leq 0.01$) در مرحله ظهور گل تاجی همبستگی بیش‌تری را با مقدار نیتروژن گیاه نشان دادند. پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد که محدوده طیفی مرئی و مادون قرمز نزدیک به مقدار نیتروژن برگ گیاه حساس هستند (Yao *et al.*, 2007). بنابراین، شاخص‌های پوشش گیاهی طیفی در محدوده نور مرئی و مادون قرمز نزدیک باندها را می‌توان برای برآورد نیتروژن استفاده کرد (Zhu *et al.*, 2007). از همین رو، سه شاخص مذکور همبستگی خوبی با مقدار نیتروژن نشان دادند. در جدول (۴) مجموعه‌های مختلفی از یک تا نه متغیر شامل شاخص‌های پوشش گیاهی پیش‌بینی کننده مقدار نیتروژن گیاه ذرت علوفه‌ای در مرحله V8 به وسیله آماره‌های رگرسیونی، و مدل بهترین زیرمجموعه ارائه و مقایسه شدند.

با در نظر گرفتن مجموعه‌ای از حداقل شاخص‌های پوشش گیاهی با ضریب تعیین زیاد و خطای استاندارد کم‌تر، مجموعه رگرسیونی شامل شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI، NIR و MTVI2 انتخاب شدند. در جدول (۵) مجموعه‌های مختلفی از یک تا نه متغیر شامل شاخص‌های پوشش گیاهی طیفی پیش‌بینی کننده مقدار نیتروژن گیاه ذرت علوفه‌ای در مرحله رشد ظهور گل تاجی به وسیله آماره‌های رگرسیونی، مدل بهترین زیرمجموعه ارائه و مقایسه شدند. به طور مشابه شاخص‌های پوشش گیاهی NDVI، NIR و MTVI2 نیز در مرحله رشد ظهور گل تاجی انتخاب شدند. این نتایج با نتایج به دست آمده از محاسبه ضرایب همبستگی مطابقت داشت. از این رو، می‌توان اذعان کرد براساس آماره‌های به دست آمده از بررسی ضرایب همبستگی و رگرسیون (مدل بهترین زیرمجموعه)، شاخص‌های NDVI، NIR و MTVI2 در هر دو مرحله رشد، بهترین شاخص‌ها برای

برآورد مقدار نیتروژن در گیاه ذرت علوفه‌ای بودند. از این‌رو، ارتباط بین هر یک از این شاخص‌ها با مقدار نیتروژن گیاه در هر مرحله از طریق معادلات رگرسیونی بررسی شد که نتایج آن در شکل (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳. ضرایب همبستگی پیرسون (r)، فاصله اطمینان (CI) ۹۵ درصد و عدد معنی‌داری (P-Value) بین مقدار نیتروژن گیاه ذرت علوفه‌ای و شاخص‌های پوشش گیاهی طیفی در دو مرحله رشد V8 و VT

P-Value	CI 95%	r	متغیرهای گروه دو	متغیرهای گروه یک
۰/۰۰۰	(۰/۴۶۱، ۰/۹۱۹)	۰/۷۷۹	Na	NDVIa
۰/۶۴۵	(-۰/۵۸۴، ۰/۳۹۵)	-۰/۱۲۵	Na	SRa
۰/۵۸۶	(-۰/۵۹۹، ۰/۳۷۶)	-۰/۱۴۸	Na	GIa
۰/۰۰۲	(۰/۳۲۹، ۰/۸۹۲)	۰/۷۰۹	Na	NR1a
۰/۱۸۱	(-۰/۱۷۴، ۰/۷۳۲)	۰/۳۵۲	Na	MCARI1a
۰/۰۰۴	(۰/۳۷۳، ۰/۸۷۸)	۰/۶۷۷	Na	MTVI2a
۰/۸۸۴	(-۰/۵۲۵، ۰/۴۶۵)	-۰/۰۴۰	Na	TCARIa
۰/۷۴۸	(-۰/۴۲۷، ۰/۵۵۹)	۰/۰۸۷	Na	PSRIa
۰/۲۲۱	(-۰/۲۰۵، ۰/۷۰۶)	۰/۳۲۴	Na	REIPa
۰/۰۰۰	(۰/۴۴۶، ۰/۹۱۷)	۰/۷۷۱	Nb	NDVIb
۰/۴۵۹	(-۰/۳۲۹، ۰/۶۳۲)	۰/۱۹۹	Nb	SRb
۰/۳۰۴	(-۰/۲۵۶، ۰/۶۷۸)	۰/۲۷۴	Nb	GIb
۰/۰۰۰	(۰/۶۸۰، ۰/۹۵۸)	۰/۸۷۹	Nb	NR1b
۰/۸۹۵	(-۰/۵۲۲، ۰/۴۶۸)	-۰/۰۳۶	Nb	MCARI2b
۰/۰۰۵	(۰/۲۵۶، ۰/۸۷۴)	۰/۶۶۷	Nb	MTVI2b
۰/۵۲۰	(-۰/۶۱۶، ۰/۳۵۲)	-۰/۱۷۴	Nb	TCARIb
۰/۲۰۱	(-۰/۷۱۴، ۰/۱۹۰)	-۰/۳۳۸	Nb	PSRIb
۰/۷۲۸	(-۰/۵۶۴، ۰/۴۲۱)	-۰/۰۹۵	Nb	REIPb

اختصارات: N: مقدار نیتروژن گیاه، a: مرحله رشد V8 و b: VT، NDVI: شاخص تقاضا پوشش گیاهی نرمال شده، NRI: شاخص بازتاب نیتروژن، MTVI2: شاخص نسبت جذب کلروفیل اصلاح شده ۲، SR: شاخص نسبت ساده، GI: شاخص سبزیگی، MCARI1: شاخص نسبت جذب کلروفیل تعدیل شده ۲، TCARI: شاخص جذب و بازتاب کلروفیل تعدیل شده، PSRI: شاخص بازتاب پیری گیاه، REIP: شاخص نقطه عطف لبه قرمز.

جدول ۴. رگرسیون، مدل بهترین زیرمجموعه و ضرایب تعیین (R^2)، آماره Mallows Cp و خطای استاندارد رگرسیون (S) توصیف‌کننده بهترین مجموعه از شاخص‌های پوشش گیاهی طیفی پیش‌بینی‌کننده مقدار نیتروژن گیاه ذرت علوفه‌ای در مرحله V8

REIP	PSRI	TCARI	MTVI2	MCARI1	NRI	GI	SR	NDVI	S	Mallows Cp	R^2	تعداد متغیرها
								X	-۰/۲۱	۱۷/۴	۶۰/۶	۱
					X				-۰/۲۳	۲۵/۱	۵۰/۳	۱
X								X	-۰/۱۶	۶/۰	۷۸/۵	۲
X					X				-۰/۱۶	۶/۰	۷۸/۵	۲
			X		X			X	-۰/۱۱	-۰/۳	۸۹/۶	۳
		X			X	X			-۰/۱۳	۱/۸	۸۶/۸	۳
		X			X		X	X	-۰/۱۱	۱/۵	۹۰/۰	۴
		X			X	X	X	X	-۰/۱۱	۱/۵	۸۹/۹	۴
		X		X	X	X	X	X	-۰/۱۱	۲/۶	۹۱/۱	۵
	X	X	X		X	X	X		-۰/۱۲	۳/۳	۹۰/۲	۵
	X	X	X	X	X	X	X		-۰/۱۲	۴/۲	۹۱/۷	۶
	X	X	X	X	X	X	X	X	-۰/۱۲	۴/۳	۹۱/۵	۶
	X	X	X	X	X	X	X	X	-۰/۱۲	۶/۱	۹۱/۸	۷
X		X	X	X	X	X	X		-۰/۱۲	۶/۱	۹۱/۸	۷
X	X	X	X	X	X	X	X	X	-۰/۱۳	۸/۰	۹۱/۹	۸
	X	X	X	X	X	X	X	X	-۰/۱۳	۸/۱	۹۱/۹	۸
X	X	X	X	X	X	X	X	X	-۰/۱۴	۱۰/۰	۹۲/۰	۹

NDVI: شاخص تقاضا پوشش گیاهی نرمال شده، NRI: شاخص بازتاب نیتروژن، MTVI2: شاخص نسبت جذب کلروفیل اصلاح شده ۲، SR: شاخص نسبت ساده، GI: شاخص سبزیگی، MCARI1: شاخص نسبت جذب کلروفیل تعدیل شده ۲، TCARI: شاخص جذب و بازتاب کلروفیل تعدیل شده، PSRI: شاخص بازتاب پیری گیاه، REIP: شاخص نقطه عطف لبه قرمز.

جدول ۵. رگرسیون، مدل بهترین زیرمجموعه و ضرایب تعیین (R²)، آماره Mallows Cp و خطای استاندارد رگرسیون (S) توصیف‌کننده بهترین مجموعه از شاخص‌های پوشش گیاهی طیفی پیش‌بینی‌کننده مقدار نیتروژن گیاه ذرت علوفه‌ای در مرحله رشد VT

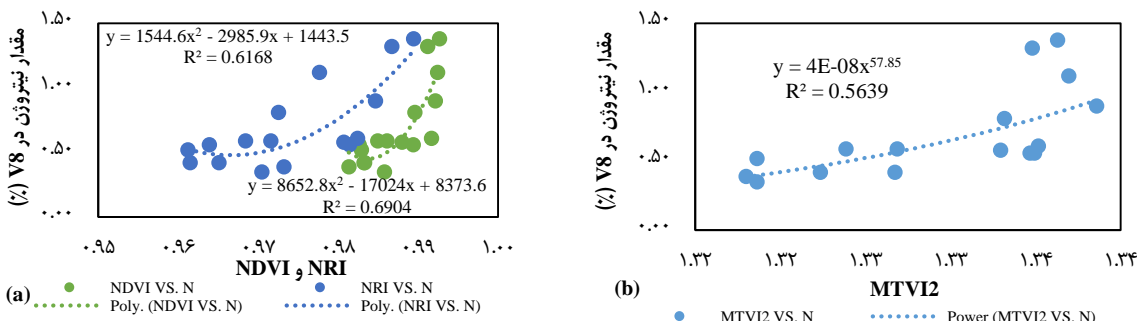
REIP	PSRI	TCARI	MTVI2	MCARI1	NIR	GI	SR	NDVI	S	Mallows Cp	R ²	تعداد متغیرها
					X				-۰/۱۴	-۲/۷	۷۷/۳	۱
								X	-۰/۱۹	۴/۷	۵۹/۵	۱
				X	X				-۰/۱۳	-۲/۲	۸۱/۱	۲
	X				X				-۰/۱۴	-۱/۳	۷۸/۸	۲
		X		X	X				-۰/۱۳	-۱/۱	۸۳/۳	۳
			X		X			X	-۰/۱۳	-۰/۸	۸۲/۶	۳
X		X		X	X				-۰/۱۳	-۰/۳	۸۴/۸	۴
X				X	X	X			-۰/۱۳	-۰/۴	۸۴/۵	۴
X		X	X	X	X				-۰/۱۴	۲/۲	۸۵/۰	۵
X		X		X	X	X			-۰/۱۴	۲/۲	۸۴/۹	۵
X		X	X	X	X			X	-۰/۱۴	۴/۱	۸۵/۱	۶
X	X	X	X	X	X				-۰/۱۴	۴/۲	۸۵/۰	۶
X		X	X	X	X		X	X	-۰/۱۵	۶/۱	۸۵/۲	۷
X	X	X	X	X	X			X	-۰/۱۵	۶/۱	۸۵/۲	۷
X		X	X	X	X	X	X	X	-۰/۱۶	۸/۱	۸۵/۳	۸
X	X	X	X	X	X		X	X	-۰/۱۶	۸/۱	۸۵/۲	۸
X	X	X	X	X	X	X	X	X	-۰/۱۷	۱۰/۰	۸۵/۴	۹

NDVI: شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال‌شده، NRI: شاخص بازتاب نیتروژن، MTVI2: شاخص نسبت جذب کلروفیل اصلاح‌شده^۲، SR: شاخص نسبت ساده، GI: شاخص سبزیگی، MCARI1: شاخص نسبت جذب کلروفیل تعدیل‌شده^۲، TCARI: شاخص جذب و بازتاب کلروفیل تبدیل‌شده، PSRI: شاخص بازتاب پیری گیاه، REIP: شاخص نقطه عطف لبه قرمز.

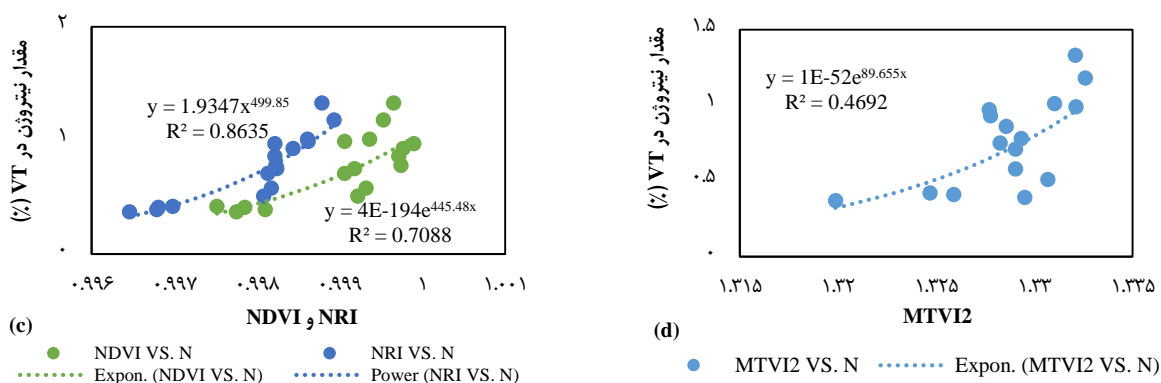
مطابق شکل (۳-a)، در مرحله رشد V8 رگرسیون چندجمله‌ای، به‌عنوان بهترین مدل برازش‌شده، رابطه مثبت و معنی‌دار بین شاخص‌های NDVI ($R^2=0/61$, $P\leq 0/01$) و NIR ($R^2=0/69$, $P\leq 0/01$) با مقدار نیتروژن گیاه ذرت نشان داد ($P\leq 0/01$).

هم‌چنین، رگرسیون توانی (شکل ۳-b)، به‌عنوان بهترین مدل برازش‌شده، رابطه مثبت و معنی‌داری بین شاخص MTVI2 ($R^2=0/61$, $P\leq 0/01$) و مقدار نیتروژن گیاه ذرت در مرحله V8 نشان داد ($R^2=0/56$, $P\leq 0/01$). در مرحله رشد ظهور گل تاجی نیز به‌ترتیب رگرسیون نمایی و توانی (شکل ۳-c)، به‌عنوان بهترین مدل‌های برازش‌شده، رابطه مثبت و معنی‌دار بین شاخص‌های NDVI ($R^2=0/86$, $P\leq 0/01$) و NIR ($R^2=0/70$, $P\leq 0/01$) با مقدار نیتروژن گیاه ذرت ارائه کردند ($P\leq 0/01$).

هم‌چنین رگرسیون نمایی (شکل ۳-d)، به‌عنوان بهترین مدل برازش‌شده، توصیف کرد که یک رابطه مثبت و معنی‌دار بین شاخص MTVI2 ($R^2=0/46$, $P\leq 0/01$) و مقدار نیتروژن گیاه ذرت در مرحله رشد ظهور گل تاجی وجود داشت ($R^2=0/56$, $P\leq 0/01$). در مجموع در هر دو مرحله، شاخص‌های NDVI و NRI از نظر شدت رابطه و درجه معنی‌داری بر شاخص MTVI2 برتری داشتند.



شکل ۳. رابطه رگرسیونی بین مقدار نیتروژن گیاه و شاخص‌های NDVI و NRI (a) و MTVI2 (b) در مرحله V8. اختصارات: N: مقدار نیتروژن گیاه، Poly، رابطه رگرسیونی چندجمله‌ای، Power، رابطه رگرسیونی توانی، Expon، رابطه رگرسیونی نمایی.



ادامه شکل ۳. رابطه رگرسیونی بین مقدار نیتروژن گیاه و شاخص‌های NDVI و NRI (c) و MTVI2 (d) در مرحله VT. اختصارات: N: مقدار نیتروژن گیاه، Poly، رابطه رگرسیونی چندجمله‌ای، Power، رابطه رگرسیونی توانی، Expon، رابطه رگرسیونی نمایی.

۵. بحث

عنصر نیتروژن به‌عنوان عنصر کلیدی کلروپلاست در برگ و عامل فتوسنتز گیاه برای رشد ضروری است و معمولاً در دوره رشد رویشی گیاه آن را به حداکثر مقدار جذب می‌کند. گیاه با افزایش مقدار عنصر نیتروژن در بافت خود، امکان انتقال دوباره آن را در دوره رشد زایشی برای بقا و تولید عملکرد بیش‌تر فراهم می‌آورد (Nasielski *et al.*, 2019). در نتیجه، مطابق نتایج پژوهش حاضر و نیز پژوهش‌های پیشین (Nasielski *et al.*, 2019)، جذب این عنصر توسط گیاه محدودیتی ندارد، اما عرضه مقادیر زیاد نیتروژن بیش‌تر از حد نیاز خاک بر اساس آزمون خاک و نیز گیاه برای دستیابی به عملکرد قابل قبول، از نظر اهداف زیست‌محیطی توصیه نمی‌شود.

نتایج به‌دست‌آمده از بررسی روابط همبستگی و رگرسیون در پژوهش حاضر، ابتدا می‌تواند اهمیت سه شاخص NDVI، NRI و MTVI2 را در ارزیابی وضعیت نیتروژن گیاه در دو مرحله رشد رویشی و زایشی در گیاه ذرت نشان دهد. همچنین، این یافته‌ها نشان‌دهنده پتانسیل بیش‌تر برخی از شاخص‌های پوشش گیاهی برای ارزیابی وضعیت نیتروژن در گیاه هستند (Osco *et al.*, 2020). حساسیت بیش‌تر برخی از شاخص‌های پوشش گیاهی نسبت به شاخص‌های دیگر می‌تواند به‌دلیل پتانسیل بیش‌تر آن‌ها در حذف اثر خاک و اشباع‌شدن این شاخص‌ها در تراکم زیاد پوشش گیاهی باشد (Xu *et al.*, 2021). در پژوهش‌های اخیر، NDVI به‌طور گسترده برای پایش و برآورد دقیق وضعیت نیتروژن در ذرت (Rhezali & Lahlali, 2017) و گندم (Kizilgeci *et al.*, 2021) توصیه شده است. در آزمایشی مشابه روی گندم دوروم، بیش‌ترین مقادیر NDVI در بیش‌ترین مقدار مصرف کود نیتروژن (۱۵۰ کیلوگرم در هکتار) مشاهده شد، در حالی که در هر دو فصل کم‌ترین مقدار NDVI در تیمار شاهد (بدون مصرف کود نیتروژن) مشاهده شد (Kizilgeci *et al.*, 2021) که این نتیجه با نتایج این پژوهش همخوانی دارد. در پژوهش دیگر، شاخص NDVI برای پایش وضعیت نیتروژن در مراحل مختلف رشد برنج در شرق چین استفاده شد و مقدار R² برای پیش‌بینی مقدار نیتروژن بافت گیاهی با این شاخص از ۰/۵۶ تا ۰/۸۹ متغیر بود. نتایج نشان داد در تمام مراحل رشد این رابطه معنی‌دار بوده است (Zhang *et al.*, 2017). همچنین، نتایج سایر پژوهش‌ها نشان داده که شاخص‌های پوشش گیاهی مانند NRI می‌توانند برای برآورد تغییرات درون مزرعه‌ای و برآورد عملکرد و پارامترهای گیاهی در ذرت علوفه‌ای استفاده شود (Diker & Bausch, 2003) و مقدار R² برای این شاخص در پیش‌بینی عملکرد دانه ذرت از ۰/۴۸ در مرحله شش‌برگی تا ۰/۹۳ در مرحله ظهور گل‌تاجی متغیر بود. با این حال، روابط احتمالی این شاخص با صفات کیفی همچون نیتروژن اندام‌ها در این پژوهش بررسی نشده است. همچنین، در گزارشی دیگر، از بین شاخص‌های محاسبه‌شده برای برآورد نیتروژن ذرت شاخص MTVI2، بیش‌ترین همبستگی (R² ۰/۸۷) و کم‌ترین RMSE (۰/۰۸۸) را با مقدار نیتروژن در بافت گیاهی ذرت نشان داد

(Bagheri *et al.*, 2013). همبستگی زیاد MTVI2 با مقدار نیتروژن به این دلیل است که این شاخص یک مدل بهبودیافته از شاخص TVI^۱ است که وابسته به رنگ محصول و مقدار کلروفیل است. هم‌چنین در پژوهش دیگر، شاخص MTVI2 با ضریب تعیین ۰/۸۰ بهترین شاخص طیفی برای برآورد نیتروژن ذرت تشخیص داده شد (Cilia *et al.*, 2014).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش توانایی تصاویر چندطیفی هوایی برداشت‌شده با پهپاد برای برآورد مقدار نیتروژن گیاه ذرت در دو مرحله رشد ارزیابی شد. نتایج تجزیه واریانس نشان داد مقدار نیتروژن بافت گیاه و شاخص‌های NDVI، NRI و MTVI2 تحت تأثیر مقادیر مختلف کود نیتروژن در مزرعه قرار گرفتند، به طوری که سطح بیش‌تر کود نیتروژن (N100% و N150%) نسبت به سطوح کم کود نیتروژن (N50% و N100%)، موجب افزایش متغیرهای ذکرشده بود. در تأیید نتایج تجزیه واریانس، نتایج محاسبه ضرایب همبستگی (r) و رگرسیون (مدل بهترین زیرمجموعه) نشان دادند، از بین شاخص‌های پوشش گیاهی طیفی بررسی‌شده، شاخص‌های NDVI، NIR و MTVI2 به ترتیب در هر دو مرحله رشد V8 و VT بهترین شاخص‌ها برای برآورد مقدار نیتروژن ذرت علوفه‌ای بودند. در هر دو مرحله V8 و VT مدل‌های رگرسیونی برازش‌شده براساس آماره‌های R² و P-value نشان-دهنده رابطه‌های قوی و مثبتی بین هر سه شاخص NDVI، NIR و MTVI2 با مقدار نیتروژن در بافت گیاه ذرت بودند. مطابق یافته‌ها پیشنهاد می‌شود روش تصویربرداری چندطیفی هوایی با استفاده از پهپاد برای برآورد مقدار نیتروژن گیاه ذرت علوفه‌ای مورد استفاده قرار گیرد. سرعت و راحتی دسترسی به اندازه‌گیری‌های مزرعه‌ای به وسیله تصویربرداری هوایی با پهپاد می‌تواند ابزار ارزشمندی برای مدیریت پایدارتر کودهای نیتروژنی در طول فصل رشد باشد.

۷. تشکر و قدردانی

از آقایان مهندس محمد حاجیان مالک مزرعه و مهندس حمیدرضا ابراهیمی (خلبان پهپاد) به خاطر همکاری در اجرای پروژه، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- جابری‌اقدم، مهریار؛ ممیزی، محمد رضا؛ باقری، نیکروز؛ عزیزی، پیمان و نصری، محمد (۱۳۹۹). تشخیص تنش نیتروژن گیاه ذرت و مخاطرات آن با استفاده از تصویربرداری چندطیفی هوایی به وسیله پهپاد. مدیریت مخاطرات محیطی. ۷ (۲)، ۱۶۳-۱۷۰.
- حسینی، سید عارفه؛ مسعودی، حسن؛ سجادیه، سید مجید و آبدانان مهدی‌زاده، سامان (۱۳۹۸). تعیین مقدار نیتروژن و کلروفیل گیاه نیشکر از روی شاخص‌های رنگی تصاویر دیجیتال هوایی با مدلسازی رگرسیونی. مجله علمی کشاورزی مهندس زراعی. ۴۲ (۲)، ۸۳-۹۸.

References

- Bagheri, N. (2016). Development of a high-resolution aerial remote sensing system for precision agriculture. *International Journal of Remote Sensing*, 38(8), 2053-2065.

۱. Triangle vegetation index

- <https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1225182>.
- Bagheri, N., Bordbar, M. (2014). *Solutions for fast development of precision agriculture in Iran*. *Agric Eng Int: CIGR Journal*, 16(3), 119-123.
- Bagheri, N., Ahmadi, H., Alavipanah, S. K., & Omid, M. (2013). Multispectral remote sensing for site-specific nitrogen fertilizer management. *Brazilian Journal of Agricultural Research*, 48(10), 1394-1401. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2013001000011>.
- Ballester, C., Hornbuckle, J., Brinkhoff, J., Smith, J., & Quayle, W. (2017). Assessment of In-Season Cotton Nitrogen Status and Lint Yield Prediction from Unmanned Aerial System Imagery. *Remote Sensing*, 9, 1149. <https://doi.org/doi:10.3390/rs9111149>.
- Caturegli, L., Corniglia, M., Gaetani, M., Grossi, N., Magni, S., Migliazzi, M., & Volterrani, M. (2016). Unmanned aerial vehicle to estimate nitrogen status of turfgrasses. *PloS one*, 11(6), e0158268. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158268>.
- Cilia, C., Panigada, C., Rossini, M., Meroni, M., Busetto, L., Amaducci, S., Boschetti, M., Picchi, V., & Colombo, R. (2014). Nitrogen status assessment for variable rate fertilization in maize through hyperspectral imagery. *Remote Sensing*, 6(7), 6549-6565. <https://doi.org/10.3390/rs6076549>.
- Chen, J., Yang, C., Wu, Sh., Chung, Y., Linton, A., Charles, A. L., & Chen, Ch. (2007). Leaf chlorophyll content and surface spectral reflectance of tree species along a terrain gradient in Taiwan's Kenting National Park. *Botanical Studies*, 48, 71-77.
- Evadas, R., Lamb, D. W., Simpfendorfer, S., & Backhouse, D. (2009). Evaluating ten spectral vegetation indices for identifying rust infection in individual wheat leaves. *Precision Agriculture*, 10, 459-470. [https://DOI: 10.1007/s11119-008-9100-2](https://DOI:10.1007/s11119-008-9100-2).
- Diker, K., & Bausch, W. C. (2003). Potential use of nitrogen reflectance index to estimate plant parameters and yield of maize. *Biosystems Engineering*, 85(4), 437-447. [https://doi.org/10.1016/S1537-5110\(03\)00097-7](https://doi.org/10.1016/S1537-5110(03)00097-7).
- Elvanidi, A., Katsoulas, N., Augoustaki, D., Loulou I., & Kittas, C. (2018). Crop reflectance measurements for nitrogen deficiency detection in a soilless tomato crop. *Biosystems engineering*, 176, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.09.019>.
- Gilliot, J. M., Michelin, J., Hadjard, D., & Houot, S. (2020). An accurate method for predicting spatial variability of maize yield from UAV- based plant height estimation: a tool for monitoring agronomic field experiments. *Precision Agriculture*, 22(6), 1-25. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09764-w>.
- Guo, J., Zhang, J., Xiong, Sh., Zhang, Zh., Wei, Q., Zhang, W., Feng, W., & Ma, X. (2021). Hyperspectral assessment of leaf nitrogen accumulation for winter wheat using different regression modeling. *Precision Agriculture*, 22, 1634-1658. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09804-z>.
- Habibullah, M., Mohebian, M. R., Soolanayakanahally, R., Bahar, A. N., Vail, S., Wahid, K. A., & Dinh, A. (2020). Low-cost multispectral sensor array for determining leaf nitrogen status. *Nitrogen*, 1(1), 67-80. <https://doi.org/10.3390/nitrogen1010007>.
- Hawkins, J. A., Sawyer, J. E., Barker, D. W., & Lundvall, J. P. (2007). Using relative chlorophyll meter values to determine nitrogen application rates for corn. *Agronomy Journal*, 99, 1034-1040. <https://doi.org/10.2134/agronj2006.0309>.
- Kizilgeci, F., Yildirim, M., Islam, M. S., Ratnasekera, D., Iqbal, M. A., & Sabagh, A. E. (2021). Normalized Difference Vegetation Index and Chlorophyll Content for Precision Nitrogen Management in Durum Wheat Cultivars under Semi-Arid Conditions. *Sustainability*, 13(7), 3725. <https://doi.org/10.3390/su13073725>.
- Krienke, B., Ferguson, R. B., Schlemmer, M., Holland, K., Marx, D., & Eskridge, K. (2017). Using an unmanned aerial vehicle to evaluate nitrogen variability and height effect with an active crop canopy sensor. *Precision Agriculture*, 18(6), 900-915. <https://doi.org/10.1007/s11119-017-9534-5>.
- Laruffa, J. M., Raun, W. R., Phillips, S. B., Solie, J. B., Stone, M. L., & Johnson, G. V. (2001).

- Optimum field element size for maximum yields in winter wheat, using variable nitrogen rates. *Journal of Plant Nutrition*, 24, 313-325. <https://doi.org/10.1081/PLN-100001390>.
- Lebourgeois, V., Begue, A., Labbe, S., Houles, M., & Martine, J. F. (2012). A light-weight multi-spectral aerial imaging system for nitrogen crop monitoring. *Precision Agriculture*, 13, 525-541. <https://doi.org/10.1007/s11119-012-9262-9>.
- Li, J., Zhang, F., Qian, X., Zhu, Y., & Shen, G. (2015). Quantification of rice canopy nitrogen balance index with digital imagery from unmanned aerial vehicle. *Remote Sensing Letters*, 6(3), 183-189. <http://dx.doi.org/10.1080/2150704X.2015.1021934>.
- Liang, L., Di, L., Huang, T., Wang, J., Lin, L., Wang, L., & Yang, M. (2018). Estimation of leaf nitrogen content in wheat using new hyperspectral indices and a random forest regression algorithm. *Remote Sensing*, 10(12), 1940. <https://doi.org/10.3390/rs10121940>.
- Lin, F. F., Qiu, L. F., Deng, J. S., Shi, Y. Y., Chen, L. S., & Wang, K. (2010). Investigation of SPAD Meter-Based Indices for Estimating Rice Nitrogen Status. *Computers and Electronics in Agriculture*, 71, 60-65. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2009.09.006>.
- Liu, S., Li, L., Gao, W., Zhang, Y., Liu, Y., Wang, S., & Lu, J. (2018). Diagnosis of nitrogen status in winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) using in-situ hyperspectral data and unmanned aerial vehicle (UAV) multispectral images. *Computers and Electronics in Agriculture*, 151, 185-195. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.05.026>.
- Maresma, A., Ariza, M., Martínez, E., Loveras, J., Martínez-Casasnovas, J. A. (2016). Analysis of Vegetation Indices to Determine Nitrogen Application and Yield Prediction in Maize (*Zea mays* L.) from a Standard UAV Service. *Remote Sensing*, 8, 973. <https://doi.org/10.3390/rs8120973>.
- Mistele, B., & Schmidhalter, U. (2008). Spectral measurements of the total aerial N and biomass dry weight in maize using a quadrilateral-view optic. *Field Crops Research*, 106(1), 94-103. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2007.11.002>.
- Nasielski, J., Earl, H., & Deen, B. (2019). Luxury vegetative nitrogen uptake in maize buffers grain yield under post-silking water and nitrogen stress: a mechanistic understanding. *Frontiers in plant science*, 10, 318. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00318>.
- Oscó, L. P., Junior, J. M., Ramos, A. P. M., Furuya, D. E. G., Santana, D. C., Teodoro, L. P. Gonçalves, W. N.; Baio, F. H. R., Pistori, H., Junior, C. A. d. S., & Teodoro, P. E. (2020). Leaf nitrogen concentration and plant height prediction for maize using UAV-based multispectral imagery and machine learning techniques. *Remote Sensing*, 12, 3237. <https://doi.org/10.3390/rs12193237>.
- Padua, L., Vanko, J., Hruska, J., Adao, T., Sousa, J. J., Peres, E., & Morais, R. (2017). UAS, sensors, and data processing in agroforestry: a review towards practical applications. *International Journal of Remote Sensing*. <http://dx.doi.org/10.1080/01431161.2017.1297548>.
- Rahimi Jahangirlou, M., Akbari, G. A., Alahdadi, I., Soufizadeh, S., Ludemann, C., & Parsons, D. (2022). Phenotypic predictors of dent maize grain quality based on different genetics and management practices. *Journal of Cereal Science*, 103388. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103388>.
- Rahimi Jahangirlou, M., Akbari, G. A., Alahdadi, I., Soufizadeh, S., & Parsons, D. (2021). Grain Quality of Maize Cultivars as a Function of Planting Dates, Irrigation and Nitrogen Stress: A Case Study from Semiarid Conditions of Iran. *Agriculture*, 11(1), 11. <https://doi.org/10.3390/agriculture11010011>.
- Rhezali, A., & Lahlali, R. (2017). Nitrogen (N) mineral nutrition and imaging sensors for determining N status and requirements of maize. *Journal of Imaging*, 3(4), 51. <https://doi.org/10.3390/jimaging3040051>.
- Shendryk, Y., Sofonia, J., Garrard, R., Rist, Y., Skocaj, D., & Thorburn, P. (2020). Fine-scale prediction of biomass and leaf nitrogen content in sugarcane using UAV LiDAR and multispectral imaging. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 92, 102177. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2020.102177>.
- Wen, P., Shi, Z., Li, A., Ning, F., Zhang, Y., Wang, R., & Li, J. (2020). Estimation of the vertically

- integrated leaf nitrogen content in maize using canopy hyperspectral red edge parameters. *Precision Agriculture*, 22, 984-1005. <https://doi.org/10.1007/s11119-020-09769-5>.
- Xu, X., Fan, L., Li, Z., Meng, Y., Feng, H., Yang, H., & Xu, B. (2021). Estimating Leaf Nitrogen Content in Corn Based on Information Fusion of Multiple-Sensor Imagery from UAV. *Remote Sensing*, 13(3), 340. <https://doi.org/10.3390/rs13030340>.
- Yang, M., Hassan, M. A., Xu, K., Zheng, C., Rasheed, A., Zhang, Y., Jin, X., Xia, X., Xiao, Y., & He, Z. (2020). Assessment of water and nitrogen use efficiencies through UAV-based multispectral phenotyping in winter wheat. *Frontiers in plant science*, 11, 927. <https://doi:10.3389/fpls.2020.00927>.
- Yang, B., Wang, M., Sha, Z., Wang, B., Chen, J., Yao, X., Cheng, T., Cao, W., & Zhu, Y. (2019). Evaluation of Aboveground Nitrogen Content of Winter Wheat Using Digital Imagery of Unmanned Aerial Vehicles. *Sensors*, 19, 4416. <https://doi:10.3390/s19204416>.
- Zarco-Tejada, P. J., Ustin, S. L., & Whiting, M. L. (2005). Temporal and spatial relationships between within-field yield variability in cotton and high-spatial hyperspectral remote sensing imagery. *Agronomy Journal*, 97, 641-653. <https://doi:10.2134/agronj2003.0257>.
- Zhang, K., Ge, X., Liu, X., Zhang, Z., Liang, Y., Tian, Y., Cao, Q., Zhu, Y., & Liu, X. (2017). Evaluation of the chlorophyll meter and GreenSeeker for the assessment of rice nitrogen status. *Advances in Animal Biosciences*, 8(2), 359-363. <https://doi.org/10.1017/S2040470017000917>.
- Zhu, Y., Zhou, D., Yao, X., Tian, Y., & Cao, W. (2007). Quantitative relationships of leaf nitrogen status to canopy spectral reflectance in rice. *Australian Journal of Agricultural Research*, 58(11), 1077-1085. <https://doi.org/10.1071/AR06413>.
- Zillmann, E., Graeff, S., Link, J., Batchelor, W. D., & Claupein, W. (2006). Assessment of Cereal Nitrogen Requirements Derived by Optical On-the-Go Sensors on Heterogeneous Soils. *Agronomy Journal*, 98(3), 682-690. <https://doi.org/10.2134/agronj2005.0253>.



The effect of inoculation with two mycorrhizal species on fractionation and uptake of cadmium in persian clover

Marzieh Mowlavi Sorond¹ | Jalal Sadeghi² | Amir Lakzian³

1. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: marziemowlavi@um.ac.ir
2. Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: jalalsadeghi2@mail.um.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Soil Sciences, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. E-mail: alakzian@um.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 19 September 2022

Received in revised form

27 August 2023

Accepted 28 August 2023

Published online

20 September 2023

Keywords:

Colonization

Contamination

Contribution share

Funnelliformis mosseae

Rhizophagus intraradices

ABSTRACT

Objective: In addition to improving root growth and increasing the absorption of nutrients by plants, mycorrhizae affect the availability and different forms of heavy metals in the soil. This study investigated the effect of two mycorrhizal species on the partitioning of cadmium element and also the absorption of this element by persian clover.

Methods: This experiment was carried out in a completely randomized design by factorial method with three replications with three levels of mycorrhiza (without mycorrhizae, *funneliformis mosseae* and *rhizophagus intraradices*) and two levels of cadmium (0 and 10 mg.kg⁻¹) in the research greenhouse of the Faculty of Agriculture of Ferdowsi University of Mashhad in 2018. After harvesting the plant, the dry weight of the shoot and root as well as the concentration of cadmium in these two parts of the plant were measured. Two parameters of mycorrhizal colonization and contribution of mycorrhizal participation in cadmium uptake by shoots and roots were measured. Finally, the effect of experimental treatments on the chemical forms of cadmium in the soil was measured.

Results: The results showed that cadmium caused an increase of 8.7% and a decrease of 31.5% in amount of colonization of *funneliformis mosseae* and *rhizophagus intraradices*. Cadmium decreased the shoot dry weight by 28.7%. The behavior of two mycorrhizal species on the concentration of cadmium in the shoots and roots of persian clover was different. The presence of *funneliformis mosseae* caused a significant ($P<0.05$) and 55.1% decrease in cadmium concentration of clover shoot and a 1.23-fold increase in concentration of this metal in plant roots. The measured decrease in the concentration of cadmium in the roots and shoots of clover in rhizo treatment was 14.5% and 14.3%, respectively, compared to the control. The carbonate form of cadmium had the highest amount of this metal in control soil (1.08 mg/kg) and contaminated soil (4.19 mg/kg). Mycorrhiza colonization of plant in control soil had no significant effect ($P<0.05$) on the concentration of different forms of cadmium.

Conclusion: Considering the increase of 70 (*funneliformis mosseae*) and 63 (*rhizophagus intraradices*) percent of plant dry weight in contaminated soil in presence of mycorrhiza, as well as the low price of these fungi inoculum (80,000 Rials per kilogram at the time of purchase), the use of this microorganism can be a suitable solution in soils contaminated with heavy metals in greenhouse conditions.

Cite this article: Mowlavi Sorond, M., Sadeghi, J., & Lakzian, A. (2023). The effect of inoculation with two mycorrhizal species on fractionation and uptake of cadmium in persian clover. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 603-617. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.348885.2746>



تأثیر تلقیح با دو گونه مایکوریزا بر جزءبندی و میزان جذب کادمیم در شبدر ایرانی

مرضیه مولوی‌سرنند^۱ | جلال صادقی^۲ | امیر لکزیان^۳ ✉

۱. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: marziemowlavi@um.ac.ir
۲. گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: jalalsadeghi2@mail.um.ac.ir
۳. نویسنده مسئول، گروه علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران. رایانامه: alakzian@um.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: مایکوریزا علاوه بر بهبود رشد ریشه و افزایش جذب عناصر غذایی توسط گیاهان بر میزان فراهمی و اشکال مختلف فلزات سنگین در خاک تأثیرگذار می‌باشند. در این مطالعه به بررسی تأثیر دو گونه مایکوریزا بر جزءبندی عنصر کادمیم و همچنین جذب این عنصر توسط گیاه شبدر ایرانی پرداخته شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸	روش پژوهش: این آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌روش فاکتوریل با سه تکرار با سه سطح مایکوریزا و دو سطح کادمیم در گلخانه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در سال ۱۳۹۸ اجرا شد.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۵	یافته‌ها: نتایج نشان داد که کادمیم باعث افزایش ۸/۷٪ و کاهش ۳۱/۵٪ مقدار کلونیزاسیون دو گونه <i>فانلی فورمیس‌موسه‌آ</i> و <i>رایزوفگوس اینتراریسز</i> شد. کادمیم باعث کاهش ۲۸/۷٪ وزن خشک اندام هوایی شد. حضور <i>فانلی فورمیس‌موسه‌آ</i> باعث کاهش معنی‌دار ($P \leq 0.05$) و ۵۵/۱٪ غلظت کادمیم در اندام هوایی گیاه شبدر و افزایش ۱/۲۳٪ برابری غلظت این فلز در ریشه گیاه شد. شکل کربناتی کادمیم دارای بیش‌ترین مقدار این فلز در خاک شاهد (۱/۰۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و آلوده (۴/۱۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. مایکوریزایی شدن گیاه در خاک شاهد تأثیر معنی‌دار ($P \leq 0.05$) بر غلظت اشکال مختلف کادمیم نداشت.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۶	نتیجه‌گیری: با توجه به افزایش ۷۰٪ (<i>فانلی فورمیس‌موسه‌آ</i>) و ۶۳٪ (<i>رایزوفگوس اینتراریسز</i>) درصدی وزن خشک گیاه در خاک آلوده و در حضور مایکوریزا، و همچنین قیمت پایین مایه تلقیح این قارچ‌ها (کیلویی ۸۰۰۰ ریال در زمان خرید)، استفاده از این میکروارگانیسم می‌تواند یک راه‌کار مناسب جهت کاربرد در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین در شرایط گلخانه‌ای باشد.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹	کلیدواژه‌ها: <i>آلودگی</i> <i>رایزوفگوس اینتراریسز</i> <i>سهم مشارکت</i> <i>فانلی فورمیس‌موسه‌آ</i> <i>کلونیزاسیون</i>

استناد: مولوی‌سرنند، مرضیه؛ صادقی، جلال؛ و لکزیان، امیر (۱۴۰۲). تأثیر تلقیح با دو گونه مایکوریزا بر جزءبندی و میزان جذب کادمیم در شبدر ایرانی. *به‌زراعی کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۶۰۳-۶۱۷. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.348885.2746>



۱. مقدمه

خاک به‌عنوان منبع مهم برای بقای گیاهان، حیوانات و میکروارگانیسم‌ها شناخته شده است و کیفیت آن بر فعالیت و تنوع میکروبی و رشد گیاهان تأثیر می‌گذارد (Yang *et al.*, 2017). فلزات سنگین معمولاً به‌طور طبیعی در پوسته زمین موجود هستند (Gao *et al.*, 1998) ولی افزایش غلظت آن‌ها در خاک می‌تواند توسط دو منشأ زمین‌شناسی و انسانی صورت پذیرد (آموزگار و همکاران، ۱۳۹۴؛ Huo *et al.*, 2018). مایکوریزای آربسکولار به‌طور عمده به‌واسطه افزایش جذب عناصر غذایی، از جمله گونه‌های مفید خاکزی جهت افزایش رشد گیاهان مختلف به‌شمار می‌روند. در این پژوهش در درجه اول هدف بررسی تأثیر آلودگی کادمیم بر میزان کلونیزاسیون ریشه گیاه شبدر ایرانی در حضور دو گونه مایکوریزا بوده و در ادامه تأثیر حضور این دو گونه بر خصوصیات رشدی، غلظت کادمیم در گیاه و هم‌چنین اشکال مختلف شیمیایی این عنصر سنگین در خاک بررسی شد.

۲. پیشینه پژوهش

در بسیاری از مطالعات غلظت کل فلزات سنگین در خاک به‌عنوان شاخصی برای بررسی سمیت فلزات در نظر گرفته می‌شود (Li & Thornton, 2001). اما با توجه به تأثیر عوامل مختلف زنده و غیرزنده نظیر میزان ماده آلی، نوع و میزان رس، اسیدیته خاک، پتانسیل اکسید و احیا (Eh)، عوامل کمپلکس‌کننده و دیگر عوامل مؤثر بر تحرک و سمیت فلزات در خاک (Rodriguez *et al.*, 2009; Dehghanian *et al.*, 2018)، این شاخص اطلاعات ارزشمندی راجع به فراهمی زیستی این فلزات فراهم نمی‌کند (Kartal *et al.*, 2006). بنابراین مطالعه تغییر و تبدیلات و رهاسازی این فلزات در خاک و تأثیر آن‌ها بر موجودات زنده و به‌عبارتی بررسی شکل‌های شیمیایی فلزات سنگین در خاک امری ضروری است (Liu *et al.*, 2014a; Aghababaei *et al.*, 2018). بررسی شکل‌های شیمیایی عناصر، درک بهتر از رفتار زیست‌محیطی آن‌ها را در اختیار پژوهش‌گران قرار می‌دهد (Nyamangara, 1998) و شاید به همین دلایل، تاکنون دستورالعمل‌های مختلفی درباره عصاره‌گیری فلزات از خاک پیشنهاد شده است (Kartal *et al.*, 2006). اساس به‌کارگیری این روش‌ها، استفاده از محلول‌های خاص است که هرکدام از این محلول‌ها توانایی هضم نوع خاصی از پیوندهای شیمیایی را داشته و بنابراین شکل خاصی از عنصر را آزاد می‌کنند (Kartal *et al.*, 2006).

در میان ریزجانداران خاک، مایکوریزای آربسکولار توجه بسیاری را به خود جلب کرده است. این قارچ‌ها برای رشد و تکمیل چرخه زندگی خود وابسته به گیاه می‌باشند (Muthukrishnan *et al.*, 2018) و قادر هستند با تغییر ساختار ریشه گیاه (Zhan *et al.*, 2018) و گسترش هیف‌های خارجی، حجم بیش‌تری از خاک را تحت پوشش ریشه گیاه قرار دهند (Muthukrishnan *et al.*, 2018) که افزایش جذب آب و مواد مغذی را سبب می‌شود (Cahturvedi *et al.*, 2018). توسعه هیف‌های خارجی در خاک قادر هستند از طریق جذب یون‌های فلزی و یا آزاد سازی ترکیباتی نظیر اسیدهای آلی و گلو مالین فراهمی زیستی و اشکال فلزات در خاک را تحت تأثیر قرار دهند.

هم‌چنین هم‌زیستی مایکوریزایی با کاهش سمیت فلزات در گیاهان و نیز تأثیر بر جذب و انتقال فلزات در گیاه (Liu *et al.*, 2018)، بهبود بقا و سازگاری گیاهان را در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین سبب می‌شود (Chen *et al.*, 2015). مایکوریزا آربسکولار با ایجاد پیوند بین خاک و گیاه و تأثیر بر فراهمی فلزات در خاک، جذب آن‌ها توسط گیاه را نیز تغییر می‌دهد (Zhan *et al.*, 2018). گسترش ساختارهای مایکوریزایی در داخل ریشه گیاه با ایجاد سطح زیاد برای ذخیره فلزات سنگین (امانی‌فر و همکاران، ۱۳۸۹)، جذب سطحی فلزات بر روی دیواره هیف‌های داخلی (Zhang *et al.*, 2010) و رسوب فلزات توسط ترکیبات فسفات و سایر ترکیبات (Zhan *et al.*, 2018) بر تغییر انتقال

فلزات داخل گیاه تأثیر می‌گذارند. بنابراین به‌نظر می‌رسد هم‌زیستی مایکوریزا با گیاه از طریق تأثیر بر انتقال فلزات از خاک به گیاه و توزیع آن‌ها در داخل گیاه، غلظت فلزات در گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. با این حال جذب فلز در گیاهان مایکوریزیایی به فاکتورهایی بسیاری نظیر نوع گیاه میزبان، گونه مایکوریزا آربسکولار، غلظت و نوع فلزات و شرایط خاک بستگی دارد (Muthukrishnan *et al.*, 2018). تاکنون تعدادی از مطالعات به بررسی تأثیر مایکوریزا بر جذب فلزات در خاک پرداخته‌اند (Subramanian *et al.*, 2009; Aghababaei *et al.*, 2014b). به‌عنوان مثال Dehghanian *et al.* (2018) تأثیر هم‌زیستی مایکوریزا با گیاه ذرت بر افزایش فرم قابل تبادل فلزات روی و منگنز در یک خاک آهکی را بررسی کردند. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در زمینه بررسی شکل‌های شیمیایی فلزات در خاک انجام شده است، اما در رابطه با تأثیر قارچ‌های مایکوریزا بر میزان هر یک از اشکال فلزات مختلف در حضور یک گونه قارچ اطلاعات کم‌تری در دسترس است. بنابراین مطالعه حاضر با هدف بررسی میزان تأثیرگذاری دو گونه مایکوریزا بر رشد گیاه شبدر ایرانی (*Trifolium resupinatum*) و هم‌چنین جزءبندی عنصر کادمیم در خاک انجام شد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر در قالب طرح کاملاً تصادفی با آرایش فاکتوریل با دو نوع مایکوریزا (*Funneliformis mosseae*) (Fm)، (*Rhizophagus intraradices*) (Ri) و بدون مایکوریزا (NI)) و غلظت کادمیم در خاک (شاهد C) و کادمیم ۱۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم (Cd)) با سه تکرار انجام شد. خاک مورد استفاده در این مطالعه با رده‌بندی *Typic Haplocalcids* از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متری جمع‌آوری شد و پس از هوا خشک کردن خاک از الک ۲ میلی‌متر عبور داده شد و جهت سبک کردن بافت، با نسبت ۱:۱ با ماسه مخلوط گردید و در دو نوبت با فاصله زمانی ۴۸ ساعت، به مدت ۲ ساعت در دمای ۱۲۱ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. سپس برخی خصوصیات خاک شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (Gee & Bauder, 1986)، اسیدیته خاک توسط دستگاه pH متر (مدل 3510 ساخت Jenway انگلستان) و در گل اشباع، هدایت الکتریکی خاک توسط دستگاه EC متر (مدل 4520 ساخت Jenway انگلستان) و در عصاره گل اشباع، فسفر قابل دسترس به روش Olsen & Sommers (1982) و توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل HALO XB 10 ساخت Dynamica انگلستان) و کربن آلی خاک به روش Walkley & Black (1934) در خاک مورد مطالعه اندازه‌گیری شدند.

جهت آلوده‌سازی خاک به کادمیم، محلول نمک $Cd(NO_3)_2$ تهیه گردید و به خاک اسپری شد و خاک به مدت سه ماه در دمای اتاق و حفظ رطوبت نگه داشته شد تا فلز با خاک به حالت تعادل برسد. برای آماده‌سازی گلدان‌ها مقدار ۲/۹ کیلوگرم خاک در هر گلدان قرار داده شد و مایه تلقیح مایکوریزا نیز به مقدار ۱۰۰ گرم در زیر منطقه رشد ریشه اضافه شد. جهت از بین بردن اختلاف میان تیمارها، در تیمارهای فاقد مایکوریزا مایه تلقیح سترون شده اضافه گردید. در هر گلدان ۳۰ عدد بذر جوانه زده شبدر ایرانی قرار داده شد که پس از ثابت شدن شرایط گیاه تعداد بوته‌ها در هر گلدان به ۱۵ گیاه کاهش یافت. به منظور برگرداندن جمعیت میکروبی به خاک ۳۰ میلی‌لیتر سوسپانسیون خاک بدون اسپور و هیف به هر گلدان اضافه شد. برای تهیه سوسپانسیون مقدار ۴۰۰ گرم خاک تازه با ۱۲۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط و جهت حذف اسپورهای مایکوریزا از الک ۴۰۰ مش و کاغذ صافی عبور داده شد (Aghababaei *et al.*, 2014a). در طول دوره رشد گیاه رطوبت گلدان‌ها توسط آب مقطر و در حد ۹۰ درصد رطوبت مزرعه تا کامل شدن دوره رشد گیاه حفظ شد. در طی مدت رشد گیاه دمای روز ۲۵ و دمای شب ۱۸ درجه سانتی‌گراد نگهداری شد.

۱.۳. آنالیز خاک و گیاه

اندام هوایی و ریشه گیاه پس از دو ماه برداشت در پاکت کاغذی داخل آون با دمای ۶۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۷۲ ساعت جهت تعیین وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه قرار داده شدند. اندازه‌گیری غلظت کادمیم در نمونه خشک گیاه مطابق روش هضم خشک صورت گرفت (Jones, 2001) و مقدار فلز سنگین در نمونه‌های اندام هوایی و ریشه نیز توسط دستگاه جذب اتمی (مدل PG990 ساخت PG Instrument استرالیا) اندازه‌گیری شد. جهت بررسی تأثیر مایکوریزا در جذب کادمیم در تیمارهای مایکوریزایی، سهم مشارکت مایکوریزا در جذب کادمیم (MC) در اندام هوایی و ریشه گیاه شبدر مطابق رابطه (۱) محاسبه گردید (Wang et al., 2007).

$$\text{Mycorrhizal Contribution} = [(U_M - U_{NM}) / U_{NM}] * 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن، U_M و U_{NM} به ترتیب بیانگر میزان جذب کادمیم در گیاهان مایکوریزایی و غیر مایکوریزایی می‌باشند. جهت تعیین کلونیزاسیون ریشه ابتدا رنگ‌آمیزی ریشه‌ها به روش Philips & Hayman (1970) انجام گرفته و میزان کلونیزاسیون نیز به روش خطوط متقاطع (Giovannetti et al., 1994) و در زیر بینوکولار (ساخت Labomed آمریکا) انجام گرفت. عصاره‌گیری شکل‌های شیمیایی فلزات سنگین نیز براساس روش Tessier et al. (1979) انجام گرفت. در این روش توزیع شیمیایی فلزات سنگین دارای پنج بخش بوده که به ترتیب عبارتند از بخش قابل تبادل (کلرید منیزیم ۱ مولار)، متصل به کربنات‌ها (استات سدیم ۱ مولار)، متصل به اکسیدهای آهن و منگنز (هیدروکسیل آمین هیدروکلراید ۰/۰۴ مولار)، متصل به مواد آلی (اسید نیتریک ۰/۰۲ مولار و آب اکسیژنه) و بخش باقی‌مانده یا بی‌اثر (اسید کلریدریک و اسید نیتریک غلیظ). در نهایت تجزیه واریانس داده‌ها و مقایسه میانگین آن‌ها با آزمون توکی^۱ و در سطح احتمال ۵ درصد توسط نرم‌افزار JMP (نسخه ۸) انجام شد.

برخی از خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک قبل از کشت گیاه در جدول (۱) نشان داده شده است. با توجه به نتایج خاک مورد مطالعه pH قلیایی داشته و از نظر مقدار کربن آلی و فسفر قابل دسترس محدودیت داشت.

جدول ۱. برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مورد استفاده

پارامتر	نوع	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
بافت	Sandy loam	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	۱/۴۸	اسیدیته	۸/۱۴	کربن آلی (درصد)	۰/۴۷
		فسفر قابل دسترس (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	۳/۳۹				

۴. یافته‌های پژوهش

نتایج تجزیه واریانس داده‌های اندازه‌گیری شده نشان داد که اثر ساده گونه مایکوریزا و آلودگی بر تمام خصوصیات اندازه‌گیری شده معنی‌دار بود. اثر متقابل این دو فاکتور بر غلظت کادمیم ریشه و اندام هوایی و فرکشن‌های باقی‌مانده و تبدالی معنی‌دار بود و این در حالی بود که در فرکشن‌های متصل به کربنات‌ها، ماده آلی و اکسیدهای آهن و منگنز، اثر متقابل فاکتورهای آزمایشی معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج تجزیه واریانس سهم مشارکت مایکوریزا بر میزان جذب کادمیم توسط ریشه و اندام هوایی نشان داد که تنها اثر ساده گونه مایکوریزا بر سهم مشارکت جذب کادمیم توسط اندام هوایی معنی‌دار نبود و سایر اثرات بررسی شده معنی‌دار شدند (جدول ۳).

۱. Tukey Test

جدول ۲. میانگین مجذورات و سطح معنی‌دار بودن تأثیر تیمارهای آزمایشی بر خصوصیات اندازه‌گیری شده

میانگین مربعات										درجه آزادی	منابع تغییرات
وزن خشک ریشه	وزن خشک اندام هوایی	غلظت کادمیم ریشه	غلظت کادمیم اندام هوایی	قابل تبادل	پیوند با کربنات‌ها	پیوند با اکسیدهای آهن و منگنز	پیوند با ماده آلی	باقیمانده	باقیمانده		
۴/۸۵**	۶/۲۵**	۷۶۷/۲**	۰/۸۷**	۰/۷*	۵/۷۸**	۰/۴**	۰/۵**	۰/۱۴**	۰/۱۴**	۲	گونه مایکوزیزا
۰/۱۳ ^{ns}	۰/۳۵*	۶۲۱۶/۷**	۴۲/۳**	۲۷/۱۶**	۵۰۵۳/۲**	۱۲/۷۹**	۰/۲۲**	۱/۷۷**	۱/۷۷**	۱	آلودگی
۲/۱۸**	۱/۷۹**	۶۸۳/۳*	۳/۹۴**	۰/۱۱*	۲/۵۹ ^{ns}	۰/۱۳ ^{ns}	۰/۳ ^{ns}	۰/۳*	۰/۳*	۲	مایکوزیزا x آلودگی
۰/۰۸	۰/۰۵	۵	۰/۸	۰/۲	۰/۹	۰/۱۴	۰/۲	۰/۸	۰/۸	۱۲	خطا
۹/۶	۸/۷	۶/۷	۶/۶	۷/۲	۳/۸	۵/۵	۱۰	۶/۳	۶/۳	-	ضریب تغییرات (درصد)

ns ** و *** به ترتیب بدون اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای آزمایشی بر سهم مشارکت مایکوزیزا در جذب کادمیم توسط ریشه و اندام هوایی

میانگین مربعات		درجه آزادی	منابع تغییرات
سهم مشارکت مایکوزیزا در جذب کادمیم ریشه	سهم مشارکت مایکوزیزا در جذب کادمیم اندام هوایی		
۷۸۹۱**	۶۱۰ ^{ns}	۱	گونه مایکوزیزا
۳۳۳۱۵**	۳۲۳۹۸**	۱	آلودگی
۱۹۴۸**	۴۲۰۱**	۱	مایکوزیزا x آلودگی
۱۱۶/۹	۲۱۵	۸	خطا
۷/۲	۹/۵	-	ضریب تغییرات (درصد)

ns ** و *** به ترتیب بدون اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ و ۱ درصد می‌باشند.

۱.۴ کلونیزاسیون

نتایج اثرات متقابل کادمیم و مایکوزیزا بر کلونیزاسیون ریشه گیاه شبدر نشان داد بیش‌ترین میزان کلونیزاسیون ریشه معادل ۵۸/۴ درصد در کلاس آماری ($P \leq 0/05$) در تیمار *RiCd* مشاهده شد و با تیمارهای *NiCd* و *FmCd* داشت. در گیاهان غیرمایکوزیزیایی هیچ‌گونه شواهدی از کلونیزاسیون ریشه گیاه شبدر مشاهده نشد که این نتیجه مربوط به سترون کردن خاک پیش از شروع آزمایش و از بین بردن اسپورهای مایکوزیزا بود. حضور کادمیم اثر متفاوتی بر مقدار کلونیزاسیون ریشه توسط دو گونه مایکوزیزای مورد استفاده داشت، به طوری که در گونه *Ri*، کادمیم باعث کاهش معنی‌دار مقدار کلونیزاسیون (۳۱/۶ درصد کاهش) شد و این در حالی است که در گونه *Fm*، حضور کادمیم باعث افزایش مقدار کلونیزاسیون ریشه (۸ درصد افزایش) گیاه شبدر در مقایسه با شاهد شد. دلیل این مشاهده حساسیت گونه *Ri* به کادمیم دانست (جدول ۴).

جدول ۴. نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش آلودگی کادمیم و گونه مایکوزیزا بر میزان کلونیزاسیون ریشه شبدر ایرانی

کلونیزاسیون (درصد)	مایکوزیزا	آلودگی
۰ ^d	<i>Ni</i>	شاهد
۵۲/۵۷ ^b	<i>Fm</i>	
۵۸/۴ ^a	<i>Ri</i>	
۰ ^d	<i>Ni</i>	آلوده
۵۷/۱۷ ^a	<i>Fm</i>	
۴۰/۰ ^c	<i>Ri</i>	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، براساس آزمون توکی اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0/05$) ندارند.

نتایج مربوط به برهم کنش کادمیم و مایکوریزا بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه شبدر نشان داد حضور کادمیم به ترتیب موجب کاهش ۲۸/۷ و ۳/۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه شبدر شد، اگرچه این کاهش در مورد ریشه معنی دار ($P \leq 0.05$) نبود. همزیستی دو گونه مایکوریزا مورد مطالعه موجب افزایش وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه شد. در خاک آلوده به کادمیم این افزایش در گیاهان همزیست با *Fm* و *Ri* به ترتیب ۶۹/۵ و ۶۳ درصد در اندام هوایی و ۶۳/۷ و ۳۰/۵ درصد در ریشه نسبت به گیاهان غیر مایکوریزایی بود (جدول ۵).

جدول ۵. نتایج مقایسه میانگین برهم کنش سطوح آلودگی و گونه مایکوریزا بر وزن خشک اندام هوایی و ریشه گیاه شبدر ایرانی

آلودگی	مایکوریزا	وزن خشک اندام هوایی (گرم در گلدان)	وزن خشک ریشه (گرم در گلدان)
شاهد	NI	۴/۰۳d	۲/۲۸c
	<i>Fm</i>	۴/۵۳c	۲/۹۶bc
	<i>Ri</i>	۴/۶۸ab	۳/۹۳a
آلوده	NI	۲/۸۷e	۲/۲۰c
	<i>Fm</i>	۴/۸۸a	۳/۵۹ab
	<i>Ri</i>	۴/۶۸ab	۲/۸۶bc

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، براساس آزمون توکی اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0.05$) ندارند.

۲.۴. غلظت کادمیم در ریشه و اندام هوایی

نتایج برهم کنش کادمیم و مایکوریزا بر غلظت کادمیم در اندام هوایی و ریشه گیاه شبدر نشان داد که حضور کادمیم موجب افزایش معنی‌دار ($P < 0.05$) غلظت این عنصر در اندام هوایی و ریشه گیاه شبدر شد. هم‌چنین هم‌زیستی مایکوریزا به صورت معنی‌دار غلظت کادمیم در گیاه را تحت تأثیر قرار داد. غلظت کادمیم اندام هوایی و ریشه گیاه در تیمار خاک آلوده به ترتیب معادل ۰/۴ و ۴۳ برابر در مقایسه با تیمار غیر آلوده بود. هم‌زیستی مایکوریزا با گیاه شبدر موجب افزایش غلظت کادمیم اندام هوایی در خاک غیر آلوده به کادمیم شد، به گونه‌ای که این افزایش در گیاهان هم‌زیست با دو گونه *Fm* و *Ri* به ترتیب برابر با ۳۵ و ۲۵ درصد نسبت به گیاه غیر مایکوریزایی بود. در خاک شاهد (عدم حضور مایکوریزا) هم‌زیستی دو گونه اثر معنی‌داری ($P < 0.05$) بر غلظت کادمیم در ریشه گیاه نشان نداد اما در حضور کادمیم، حضور دو گونه مورد مطالعه موجب کاهش معنی‌دار ($P < 0.05$) غلظت کادمیم شد. در خاک آلوده غلظت کادمیم در ریشه گیاهان هم‌زیست با *Fm* و *Ri* به ترتیب ۵۵ و ۶۱ درصد کاهش نسبت به گیاه غیر مایکوریزایی نشان دادند. نتایج نشان داد که گونه *Ri* به طور مؤثرتری نسبت به *Fm* موجب کاهش غلظت کادمیم در ریشه و اندام هوایی گیاه شبدر شد (جدول ۶).

جدول ۶. نتایج مقایسه میانگین برهم کنش کادمیم و گونه مایکوریزا بر غلظت کادمیم اندام هوایی و ریشه گیاه شبدر ایرانی

آلودگی	مایکوریزا	غلظت کادمیم اندام هوایی (میلی گرم بر کیلوگرم)	غلظت کادمیم ریشه (میلی گرم بر کیلوگرم)
شاهد	NI	۳/۱۴c	۳/۱۴d
	<i>Fm</i>	۵/۳۶b	۵/۱۲d
	<i>Ri</i>	۲/۵۴d	۲/۱۷d
آلوده	NI	۷/۱۴a	۶۳/۱۴b
	<i>Fm</i>	۳/۲c	۱۴/۲a
	<i>Ri</i>	۶/۱a	۵۴/۱c

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، براساس آزمون توکی اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0.05$) ندارند.

نتایج مقایسه میانگین سهم مشارکت میکوریزا در جذب کادمیم در اندام هوایی گیاه شبدر حاکی از اختلاف معنی‌دار ($P < 0/05$) دو گونه در خاک شاهد بود، به‌گونه‌ای که هم‌زیستی با Fm مانع از جذب کادمیم در اندام هوایی گیاه شد درحالی‌که Ri جذب کادمیم را افزایش داد. اما نتایج مربوط به مشارکت دو گونه میکوریزا در جذب کادمیم در ریشه گیاهان کشت شده در این خاک حاکی از تأثیر مثبت دو گونه بود. با این حال افزایش غلظت کادمیم در ریشه گیاه در اثر هم‌زیستی با Fm به Ri افزایش بیش‌تری داشت و دلیل این اثر را احتمالاً می‌توان غلظت بیش‌تر کادمیم در ریشه گیاهان هم‌زیست با این گونه نسبت داد. حضور کادمیم در خاک باعث افزایش معنی‌دار ($P < 0/05$) سهم مشارکت میکوریزا در جذب کادمیم در اندام هوایی گیاه شبدر شد. هم‌زیستی دو گونه میکوریزا با گیاه شبدر در این خاک اثر مشابهی بر جذب کادمیم نشان دادند، اما اختلافی از نظر آماری با یکدیگر نداشتند. اما در ریشه گیاهان کشت شده در این خاک نتایج حاکی از ممانعت دو گونه میکوریزا از جذب کادمیم بود. کاهش جذب کادمیم در خاک آلوده به کادمیم احتمالاً مربوط به رفتار کادمیم در خاک و تمایل آن به انتقال به بخش‌های هوایی گیاه باشد (جدول ۷).

جدول ۷. نتایج مقایسه میانگین برهم‌کنش کادمیم و گونه میکوریزا بر سهم مشارکت میکوریزا در جذب کادمیم در اندام هوایی و ریشه گیاه شبدر ایرانی

اندام گیاه	آلودگی	میکوریزا	مشارکت میکوریزایی
اندام هوایی	شاهد	Fm	-۱۰/۱۴c
		Ri	۴۱/۵۴b
	آلوده	Fm	۱۳۱/۲a
		Ri	۱۰۸/۱a
ریشه	شاهد	Fm	۱۰۱/۲a
		Ri	۲۴/۴۷b
	آلوده	Fm	-۲۹/۶۳c
		Ri	-۵۵/۴۳c

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، براساس آزمون توکی اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0/05$) ندارند.

۳.۴. شکل‌های شیمیایی کادمیم در خاک

نتایج مربوط به برهم‌کنش کادمیم و میکوریزا بر اشکال شیمیایی کادمیم در خاک نشان داد که بیش‌ترین غلظت کادمیم در خاک شاهد مربوط به شکل‌های کربناتی ($1/08$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) و باقی‌مانده ($1/16$ میلی‌گرم بر کیلوگرم) بود. وجود کادمیم در خاک موجب افزایش معنی‌دار غلظت کادمیم در شکل‌های تبادل‌ی و اکسیدی نسبت به خاک شاهد شد و بیش‌ترین سهم کادمیم در این خاک به‌ترتیب مربوط به اشکال کربناتی ($34/54$ درصد)، تبادل‌ی ($23/4$ درصد)، اکسیدی ($20/6$ درصد)، باقیمانده ($15/9$ درصد) و مرتبط با مواد آلی ($5/3$ درصد) بود. حضور میکوریزا در خاک شاهد تأثیر معنی‌دار ($P < 0/05$) بر غلظت کادمیم در اشکال مختلف نشان نداد اما باعث کاهش سهم کادمیم در شکل‌های تبادل‌ی، مرتبط با مواد آلی و باقی‌مانده شد.

میکوریزایی شدن گیاه شبدر در خاک آلوده موجب کاهش غلظت کادمیم در اشکال اکسیدی، مرتبط با مواد آلی و باقی‌مانده شد. شکل کربناتی کادمیم در خاک آلوده تحت تأثیر گونه Fm افزایش معنی‌دار نشان داد (6 درصد)، درحالی‌که شکل تبادل‌ی تغییری نداشت. اما هم‌زیستی با Fm به‌طور معنی‌داری سبب افزایش شکل تبادل‌ی کادمیم در خاک آلوده شد (13 درصد) (جدول‌های ۸ و ۹).

جدول ۸. مقایسه میانگین برهم کنش کادمیم و مایکوریزا بر شکل‌های شیمیایی کادمیم در خاک مورد مطالعه

باقیمانده	پیوند با ماده آلی	پیوند با اکسید آهن و منگنز (میلی گرم بر کیلوگرم)	پیوند با کربنات‌ها	تبادلی	مایکوریزا	آلودگی
۱/۱۶c	۰/۴۰cd	۰/۷۱c	۱/۰۸c	۰/۶۱c	NI	شاهد
۱/۰۲d	۰/۲۶e	۰/۶۳c	۱/۱۵c	۰/۴۲c	Fm	
۱/۰۳cd	۰/۳۴de	۰/۷۰c	۱/۱۱c	۰/۵۱cd	Ri	
۱/۹۳a	۰/۶۷a	۲/۵۰a	۴/۱۹b	۲/۸۴b	NI	آلوده
۱/۵۸b	۰/۴۶c	۲/۲۶b	۴/۴۶a	۲/۸۲b	Fm	
۱/۶۸b	۰/۵۵b	۲/۳۴b	۴/۱۹b	۳/۲۲a	Ri	

میانگین‌های دارای حروف مشترک در هر ستون، براساس آزمون توکی اختلاف معنی‌داری ($P \leq 0.05$) ندارند.

جدول ۹. سهم شکل‌های شیمیایی کادمیم در تیمارها پس از کشت گیاه شبدر ایرانی

باقیمانده	پیوند با ماده آلی	پیوند با اکسید آهن و منگنز (درصد)	پیوند با کربنات‌ها	تبادلی	مایکوریزا	آلودگی
۲۹/۳۷	۱۰/۰۷	۱۷/۸۶	۲۷/۲۶	۱۵/۴۴	NI	شاهد
۲۹/۱۹	۷/۵۸	۱۸/۲۲	۳۳/۰۷	۱۱/۹۴	Fm	
۳۷/۹۱	۹/۲۹	۱۸/۹۱	۳۰/۱۱	۱۳/۷۸	Ri	
۱۵/۹۳	۵/۵۴	۲۰/۶۱	۳۴/۵۴	۲۳/۳۸	NI	آلوده
۱۳/۶۸	۳/۹۴	۱۹/۵۲	۳۸/۵۳	۲۴/۳۳	Fm	
۱۴/۰۴	۴/۶۰	۱۹/۵۴	۳۴/۹۷	۲۶/۸۳	Ri	

۵. بحث

نتایج حاصل از مقایسه دو گونه مایکوریزا در کلونیزاسیون ریشه گیاه شبدر حاکی از وجود اختلاف میان آن دو بود. در مورد دلیل وجود اختلاف در رفتار متفاوت دو گونه مایکوریزای مورد مطالعه عواملی نظیر نوع گیاه، گونه مایکوریزا و شرایط محیطی نظیر نوع فلز و غلظت آن بیان شده‌اند (Liu et al., 2018). کاهش کلونیزاسیون ریشه در اثر آلودگی خاک به فلزات سنگین با تأثیرگذاری بر اسپورهای قارچ و کاهش میزان جوانه‌زنی آن‌ها اتفاق می‌افتد (بهرامی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۳؛ Chen et al., 2015؛ Pawlowska & Charvat, 2004). علاوه بر کاهش میزان جوانه‌زنی اسپور، حضور فلزات سنگین رشد میسلیم‌های خارجی و در نتیجه کلونیزاسیون ریشه توسط مایکوریزا را کاهش دهند که با نتایج به‌دست‌آمده از این پژوهش همخوانی داشت (Chen et al., 2015؛ Liu et al., 2018). Shahabivand et al. (2012) در مطالعه کلونیزاسیون ریشه گیاه گندم توسط دو گونه پریفورمسپرا/بندیکا و فانلی فورمیس موسه در خاک آلوده به کادمیم گزارش کردند که فانلی فورمیس موسه حساسیت بیشتری نسبت به غلظت بالای کادمیم نشان داد. Jiang et al. (2016) حساسیت بیش‌تر یک گونه نسبت به فلز سنگین را دلیلی برای کاهش کلونیزاسیون مشاهده شده نسبت به گونه دیگر عنوان کردند.

نتایج این آزمایش تأثیر هرچند کم اما منفی کادمیم بر اندام هوایی و ریشه گیاه شبدر را نشان داد و این در حالی است که حضور دو گونه مایکوریزای مورد مطالعه باعث افزایش وزن خشک ریشه و اندام هوایی این گیاه شدند. علت تأثیر منفی کادمیم بر وزن خشک ریشه و اندام هوایی شامل: جایگزینی اجزا ضروری در مولکول‌های زیستی مهم توسط کادمیم، مسدود کردن گروه‌های عملکردی اساسی در مولکول‌ها و تغییر آنزیم‌ها و پروتئین‌ها، ساختار غشای سلولی و یا عملکرد انتقال‌دهنده‌های غشایی می‌باشند که در نتایج پژوهش برخی از پژوهش‌گران نیز اشاره شده است. (Cahturvedi et al., 2016; Luo et al., 2017; et al., 2018). عمده دلایل مؤثر بر تأثیر مثبت مایکوریزا بر رشد گیاه در این

مطالعه احتمالاً به دلیل افزایش انتقال عناصر غذایی به گیاه (Kaschuk *et al.*, 2009)، اثر رقت که باعث کاهش تجمع فلزات در بافت گیاه و بهبود رشد می‌شود (Diaz Franco *et al.*, 2013) و تجمع عناصر سنگین در ریشه و یا هیف‌های میکوریزا (Orlowska *et al.*, 2011) باشد.

تأثیر دو گونه میکوریزا در این پژوهش بر غلظت کادمیم اندام هوایی و ریشه گیاه متفاوت بود. با وجود کاهش در مقدار غلظت کادمیم ریشه، غلظت این عنصر در اندام هوایی گیاه شبدر در حضور میکوریزا در مقایسه با شاهد افزایش یافت. دلیل افزایش غلظت کادمیم اندام هوایی در گیاه شبدر ایرانی در این مطالعه می‌تواند به افزایش انتقال کادمیم به اندام هوایی توسط میکوریزا (UI-Kalam *et al.*, 2019) و همچنین تحرک زیاد کادمیم در گیاه (Sekara *et al.*, 2005) اشاره کرد. کاهش مشاهده شده در مقدار غلظت کادمیم ریشه گیاه شبدر در این پژوهش‌ها با نتایج ارائه شده توسط UI-Kalam *et al.* (2019) و Wang *et al.* (2009) همخوانی داشت. در مورد علت این امر Zhan *et al.* (2018) گزارش کردند که گسترش هیف‌های خارجی در خاک با آزاد کردن ترکیبات خاصی نظیر گلومالین و اسیدهای آلی می‌تواند بر شکل‌های شیمیایی فلزات در خاک و فراهمی زیستی آن‌ها تأثیر بگذارد. از طرفی تغییر اسیدیته خاک در حضور میکوریزا و همچنین غیرمتحرک کردن فلزات توسط تراوشات ریشه‌ای دو عامل تأثیرگذار بر کاهش جذب فلزات سنگین در حضور میکوریزا می‌باشد (Wang *et al.*, 2007).

فراهمی و سمیت فلزات بیش‌تر از غلظت کل آن‌ها وابسته به اشکال آن‌ها در خاک می‌باشد (Gil *et al.*, 2010). همان‌طور که نتایج نشان داد افزایش غلظت کادمیم در خاک موجب افزایش غلظت کادمیم در تمامی اشکال شیمیایی آن شد. با این حال، این افزایش در اشکال تبادل‌ی، کربناتی و اکسیدی نسبت به دو شکل آلی و باقی‌مانده بیش‌تر بود. وجود روابط متقابل میان گیاه، موجودات زنده و خاک باعث شده که بخش زیادی از کادمیم وارد شده به خاک در این مطالعه به اشکال تبادل‌ی و آلی تبدیل شود (آقابابایی و همکاران، ۱۳۹۳).

نتایج این مطالعه نشان‌دهنده اثر معنی‌دار هم‌زیستی میکوریزا بر برخی اشکال کادمیم در خاک نیز بود (شکل ۳). میکوریزا به‌واسطه افزایش اسیدیته خاک (آقابابایی و همکاران، ۱۳۹۴)، جداسازی فلزات داخل هیف‌های خارجی (Zhan *et al.*, 2018) و آزاد کردن گلومالین (Zhang *et al.*, 2010) که توانایی ایجاد پیوند با فلزات را دارا می‌باشد قادر به تأثیر بر فراهمی فلزات در خاک می‌باشد. هم‌زیستی میکوریزا سبب افزایش غلظت کادمیم در دو شکل تبادل‌ی و کربناتی شد، اما دو گونه میکوریزا اثر یکسانی را نشان ندادند. شاید بتوان جذب بیش‌تر کادمیم در گیاهان هم‌زیست با Fm نسبت به Ri را دلیلی بر کاهش کادمیم تبادل‌ی در این خاک دانست.

نتایج ارائه شده توسط سایر مطالعات نیز متفاوت می‌باشد. Huang *et al.* (2008) در مطالعه تأثیر گلوموس موسه بر مس، روی و سرب، در مطالعه Huang *et al.* (2008) تأثیر اکتومایکوریزا بر مس و Aghababaei *et al.* (2014b) در مطالعه تأثیر دو گونه گلوموس موسه و گلوموس اینترادیز بر کادمیم تأثیر معنی‌دار میکوریزا بر شکل تبادل‌ی فلزات را گزارش نکردند. اگرچه Huang *et al.* (2005) در بررسی اثر اکتومایکوریزا بر کادمیم کاهش شکل فراهم کادمیم را در غلظت‌های پایین کادمیم در خاک گزارش کردند، اما با افزایش غلظت کادمیم در خاک هم‌بستگی مثبت بین شکل تبادل‌ی و غلظت کل کادمیم را گزارش کردند.

اثر دو گونه میکوریزا بر بخش کربناتی کادمیم نیز متفاوت با یکدیگر بود و هم‌زیستی Fm با گیاه سبب افزایش کادمیم کربناتی در خاک شد. Dehghanian *et al.* (2018) نیز در مطالعه خود بیان کردند که حضور میکوریزا سبب افزایش معنی‌دار منگنز و آهن کربناتی در خاک گردید. در واقع افزایش تصاعد CO_2 که به واسطه افزایش فعالیت ریزجانداران ممکن می‌شود می‌تواند سبب افزایش شکل کربناتی فلزات در خاک گردد (لطفی و همکاران، ۱۳۹۶) که در

مطالعه Dehghanian *et al.* (2018) نیز افزایش فعالیت ریزجانداران در اثر همزیستی مایکوریزا گزارش شده است. هم‌چنین افزایش اسیدیته خاک به واسطه تسهیل تشکیل پیوند بین یون‌های فلزی و کربنات‌ها می‌تواند سبب افزایش جز کربناتی فلزات در خاک شود (لطفی و همکاران، ۱۳۹۶) و Li & Christie (2001) نیز در مطالعه خود افزایش اسیدیته خاک را در تیمارهای مایکوریزایی گزارش کردند. با این حال، کاهش شکل کربناتی کادمیم (Aghababaei *et al.*, 2014a) و عدم مشاهده اثر معنی‌دار بر شکل کربناتی مس و کادمیم (Huang *et al.*, 2008) و مس، روی و آهن (Huang *et al.*, 2005) در اثر همزیستی مایکوریزا نیز از دیگر گزارش‌های موجود می‌باشد. از طرفی با تشکیل همزیستی مایکوریزایی از طرفی با تأثیر بر تراوشات ریشه‌ای و از طرفی گسترش هیف‌های خارجی در خاک و آزاد کردن اسیدهای آلی نظیر سیتریک و اگزالیک‌اسید موجب حل شدن اشکال کربناتی فلزات در خاک می‌شوند (Aghababaei *et al.*, 2014a; Zhan *et al.*, 2018). از طرفی توانایی جذب سطحی بالای هیف‌های مایکوریزا و گسترش هیف‌های مایکوریزا در خاک نیز موجب افزایش سطح تماس هیف‌ها با کادمیم کربناتی در خاک شده و جذب این جزء را توسط گیاه افزایش می‌دهد (Jankong & Visoottiviset, 2008). هم‌چنین نتایج این مطالعه حاکی از کاهش شکل‌های اکسیدی، آلی و باقیمانده کادمیم در خاک آلوده بود. لطفی و همکاران (۱۳۹۶) بیان کردند که افزایش که شکل اکسیدی فلزات در خاک همبستگی مثبت با اسیدیته خاک دارد. بنابراین با توجه به احتمال کاهش اسیدیته خاک در حضور مایکوریزا (Aghababaei *et al.*, 2014b) احتمالاً این عامل را بتوان مؤثر در کاهش شکل اکسیدی کادمیم در خاک دانست. Huang *et al.* (2008) در مطالعه جزءبندی کادمیم و Dehghanian *et al.* (2018) در مطالعه جزءبندی آهن، منگنز و روی نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند. هم‌چنین، Wang *et al.* (2009) افزایش فعالیت ریزجانداران خاک را عاملی مؤثر بر شکل آلی فلزات در خاک دانستند. احتمالاً می‌توان این گونه بیان کرد که با توجه به تأثیر مایکوریزا بر افزایش فعالیت ریزجانداران خاک، اکسید مواد آلی افزایش یافته و در نتیجه شکل آلی فلزات در خاک کاهش پیدا می‌کند. هم‌چنین با توجه به مقدار کم ماده آلی در خاک می‌توان سهم کم شکل آلی کادمیم را به این عامل نسبت داد و آن را تابعی از میزان مواد آلی در خاک دانست (Huang *et al.*, 2005). هم‌چنین نتایج این مطالعه نشان‌دهنده همبستگی مثبت میان جزء آلی و باقیمانده کادمیم در خاک بود. Wang *et al.* (2009) اثر معکوس ماده آلی بر شکل باقیمانده را گزارش کردند.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان‌دهنده تأثیر منفی آلودگی کادمیم بر وزن خشک ریشه و اندام هوایی گیاه شبدر بود. دو گونه مایکوریزای مورد مطالعه باعث کاهش معنی‌دار اثر منفی آلودگی کادمیم شد، اگر چه تأثیر آن بر غلظت کادمیم ریشه و اندام هوایی گیاه شبدر متفاوت بود. هر دو گونه مایکوریزا غلظت کادمیم را در اندام هوایی افزایش اما غلظت این فلز را در ریشه کاهش دادند. گونه‌های مایکوریزای مورد مطالعه هم‌چنین بر غلظت اشکال مختلف کادمیم خاک زیر کشت گیاه شبدر تأثیرگذار بودند؛ اگرچه تأثیر هر کدام متفاوت بود. این تفاوت در میزان کلونیزاسیون ریشه این دو قارچ در حضور آلودگی کادمیم نیز قابل مشاهده بود. به نظر می‌رسد که با توجه به رفتارهای متفاوت گونه‌های مایکوریزایی در شرایط مختلف خاک، استفاده از این نوع قارچ‌ها باید با توجه به هدف تعیین شده صورت گیرد.

۷. تشکر و قدردانی

از معاونت پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- آقابابایی، فاطمه؛ ربیسی، فایز و حسین‌پور، علیرضا (۱۳۹۴). اثر کرم خاکی و قارچ میکوریزا بر شکل‌های شیمیایی کادمیم در خاک‌های تحت کشت آفتابگردان. *پژوهش‌های کاربردی زراعی (پژوهش و سازندگی)*. ۱۰۸، ۱۵۳-۱۵۹.
- آموزگار، مهدیه؛ عباسپور، علی؛ شاهسونی، شاهین؛ اصغری، حمیدرضا و پارسائیان، مهدیه (۱۳۹۴). تأثیر کاربرد کودهای فسفره و هم‌زیستی قارچ میکوریزا با گیاه آفتابگردان بر قابلیت دسترسی سرب در یک خاک آلوده. *نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)*. ۱۹ (۷۴)، ۳۹-۵۰.
- امانی‌فر، ستاره؛ علی اصغرزاده، ناصر؛ نجفی، نصرت‌اله؛ اوستان، شاهین و بلندنظر، صاحبعلی (۱۳۹۱). اثر قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار بر گیاه پالایی سرب توسط سورگوم (*Sorghum bicolor L.*). *دانش آب و خاک (دانش کشاورزی)*. ۲۲ (۱)، ۱۷۰-۱۵۵.
- بهرامی‌نیا، محبوبه؛ زارعی، مهدی؛ رونقی، عبدالمجید و قاسمی، رضا (۱۳۹۴). کارایی قارچ‌های میکوریزا آربوسکولار در گیاه‌پالایی یک خاک آهکی آلوده به روی به‌وسیله گیاه وتیور. *مجله آب و خاک*. ۲۸ (۶)، ۱۲۳۷-۱۲۲۸.
- لطفی، فائزه؛ فتوت، امیر؛ خراسانی، رضا و بحرینی طوحان، مهدی (۱۳۹۶). اثر ماده آلی بر توزیع شکل‌های شیمیایی کادمیم در خاک در محیط ریشه ذرت. *مجله آب و خاک*. ۳۱ (۶)، ۱۶۱۱-۱۶۲۲.

References

- Aghababaei F., Raiesi F., & Hosseinpour, A. R. (2014a). The combined effects of earthworms and arbuscular mycorrhizal fungi on microbial biomass and enzyme activities in a calcareous soil spiked with cadmium. *Applied Soil Ecology*, 75, 33-42. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2013.10.006>.
- Aghababaei F., Raiesi F., & Hosseinpour, A. R. (2014b). The influence of earthworm and mycorrhizal co-inoculation on Cd speciation in a contaminated soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 78, 21-29. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.06.010>.
- Aghababai F., Raiesi, F., & Hosseinpour, A. R. (2014). Effect of soil worm and mycorrhiza on chemical forms of cadmium in sunflower soils. *Journal of Agriculture (Research and Construction)*, 108, 159-153. (In Persian).
- Amanifar, S., Ali Asgharzad, N., Najafi, N. A., Ostan, S. H., & Bolandnazar, P. (2010). The effect of arbuscular mycorrhizal fungi on lead purification by Sorghum (*Sorghum bicolor L.*). *Journal of Soil and Water Knowledge*, 22(1), 155-170. (In Persian).
- Amoozgar, M., Abbaspour, A., Shahsoni, SH., Asghari, H. R., & Parsaiyan, M. (2015). The effect of phosphorus fertilizer application and coexistence of mycorrhizal fungus with sunflower on lead availability in a contaminated soil. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology and Natural Resources)*, 19(74), 39-50. (In Persian).
- Bahraminia, M., Zarei, M., Ronaghi, A., & Ghasemi, R. (2014). Efficacy of arbuscular mycorrhizal fungi in phytoremediation of a zinc-contaminated calcareous soil by vetiver. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*, 28(6), 1228-1237. (In Persian).
- Chen L., Hu X., Yang W., Xu Z., Zhang D., & Gao, S. (2015). The effects of arbuscular mycorrhizal fungi on sex-specific responses to Pb pollution in *Populus cathayana*. *Ecotoxicology and environmental safety*, 113, 460-468. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.12.033>.
- Dehghanian, H., Halajnia, A., Lakzian, A., & Astaraei, A. R. (2018). The effect of earthworm and

- arbuscular mycorrhizal fungi on availability and chemical distribution of Zn, Fe and Mn in a calcareous soil. *Applied Soil Ecology*, 130, 98-103. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2018.06.002>.
- Diaz Franco, A., Alvarado Carrillo, M., Ortiz Chairez, F., & Grageda Cabrera, O. (2013). Plant nutrition and fruit quality of pepper associated with arbuscular mycorrhizal in greenhouse. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4, 315-321. <https://doi.org/10.1017/S0021859615000714>.
- Gao, S., Luo, T. C., Zhang, B. R., Zhang, H. F., Han, Y., Zhao, Z. D., & Hu, Y. K. (1998). Chemical composition of the continental crust as revealed by studies in East China. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 62, 1959-1975. [https://doi.org/10.1016/S0016-7037\(98\)00121-5](https://doi.org/10.1016/S0016-7037(98)00121-5).
- Gil, C., Ramos-Miras, J., Roca-Perez, L., & Boluda, R. (2010). Determination and assessment of mercury content in calcareous soils. *Chemosphere*, 78, 409-415. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2009.11.001>
- Giovannetti, M., Sbrana, C., & Logi, C. (1994). Early processes involved in host recognition by Arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 127, 703-709. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1994.tb02973.x>.
- Huang, Y., Tao, S., & Chen, Y. (2005). The role of arbuscular mycorrhiza on change of heavy metal speciation in rhizosphere of maize in wastewater irrigated agriculture soil. *Journal of Environmental Science*, 17, 276-280.
- Huang, Y., Ting, L. I., Huang, Z. J., & Ying-Heng, F. E. I. (2008). Ectomycorrhizal fungus-induced changes of Cu and Cd speciation in the rhizosphere of Chinese pine seedlings. *Pedosphere*, 18, 758-765. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(08\)60071-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(08)60071-5).
- Huo, J., Dong, A., Niu, X., Dong, A., Lee, S. Ma, C., & Wang, L. (2018). Effects of cadmium on oxidative stress activities in plasma of freshwater turtle *Chinemys reevesii*. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 8027-8034. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-1139-z>.
- Jankong, P., & Visoottiviseth, P. (2008). Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation on plants growing on arsenic contaminated soil. *Chemosphere*, 72, 1092-1097. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.03.040>.
- Jiang, Q. Y., Zhuo, F., Long, S. H., Zhao, H. D., Yang, D. J., Ye, Z. H., Li, S. S., & Jing, Y. X. (2016). Can arbuscular mycorrhizal fungi reduce Cd uptake and alleviate Cd toxicity of *Lonicera japonica* grown in Cd-added soils? *Scientific reports*, 6, 1-9.
- Jones, J. B. (2001). *Laboratory Guide for Conduction Soil Tests and Plant Analysis*. Boca Raton: CRC press. <https://doi.org/10.1201/9781420025293>.
- Kartal, S., Aydın, Z., & Tokalioglu, S. (2006). Fractionation of metals in street sediment samples by using the BCR sequential extraction procedure and multivariate statistical elucidation of the data. *Journal of Hazardous Materials*, 132, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2005.11.091>.
- Kaschuk, G., Kuyper, T. W., Leffelaar, P. A., Hungria, M., & Giller, K. E. (2009). Are the rates of photosynthesis stimulated by the carbon sink strength of rhizobial and arbuscular mycorrhizal symbioses? *Soil Biology and Biochemistry*, 41, 1233-1244. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2009.03.005>.
- Li, X., & Christie, P. (2001). Changes in soil solution Zn and pH and uptake of Zn by arbuscular mycorrhizal red clover in Zn-contaminated soil. *Chemosphere*, 42(2), 201-207. [https://doi.org/10.1016/s0045-6535\(00\)00126-0](https://doi.org/10.1016/s0045-6535(00)00126-0).
- Li, X., & Thornton, I. (2001). Chemical partitioning of trace and major elements in soils contaminated by mining and smelting activities. *Applied Geochemistry*, 16, 1693-1706. [https://doi.org/10.1016/S0883-2927\(01\)00065-8](https://doi.org/10.1016/S0883-2927(01)00065-8).
- Liu, L., Li, J., Yue, F., Yan, X., Wang, F., Bloszies, S., & Wang, Y. (2018). Effects of

- arbuscular mycorrhizal inoculation and biochar amendment on maize growth, cadmium uptake and soil cadmium speciation in Cd-contaminated soil. *Chemosphere*, 194, 495-503. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.12.025>.
- Lotfi, F., Fotovat, A., Khorasani R., & Bahraini Tuhan, M. (2017). Effect of organic matter on the distribution of chemical forms of cadmium in soil in maize root environment. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries)*, 31(6), 1622-1611. (In Persian).
- Luo N., Li, X., Chen, A. Y., Zhang, L. J., Zhao, H. M., Xiang, L., Cai, Q. Y., Mo, C. H., Wong, M. H., & Li, H. (2017). Does arbuscular mycorrhizal fungus affect cadmium uptake and chemical forms in rice at different growth stages? *Science of the Total Environment*, 599-600, 1564-1572. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.124>.
- Muthukrishnan, G., Gopalasubramaniam, S. K., & Perumal, P. (2018). Prospects of arbuscular mycorrhizal fungi for heavy metal-polluted soil management. *Microorganisms for Green Revolution*, 2, 91-113. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7146-1_5.
- Nyamangara, J. (1998). Use of sequential extraction to evaluate zinc and copper in a soil amended with sewage sludge and inorganic metal salts. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 69, 135-141. [https://doi.org/10.1016/S0167-8809\(98\)00101-7](https://doi.org/10.1016/S0167-8809(98)00101-7).
- Olsen S. R., & Sommers L. E. (1982). Phosphorus, In *Methods of Soil Analysis, part 2, Chemical and Microbiological Properties*. edited by Page A. L. Madison: American Society of Agronomy, Soil Science Society of America.
- Orlowska, E., Przybylowicz, W., Orlowski, D., Turnau, K., & Mesjasz-Przybylowicz, J. (2011). The effect of mycorrhiza on the growth and elemental composition of Ni-hyperaccumulating plant *Berkheya coddii* Roessler. *Environmental Pollution*, 159, 3730-3738. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.07.008>.
- Pawlowska, T. E., & Charvat, I. (2004). Heavy-metal stress and developmental patterns of arbuscular mycorrhizal fungi. *Applied and Environmental Microbiology*, 70, 6643-6649. <https://doi.org/10.1128/AEM.70.11.6643-6649>.
- Philips, J. M., & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for cleaning roots and staining parasitic and vesicular arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55, 158-161. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3).
- Rodríguez, L., Ruiz, E., Alonso-Azcarate J., & Rincon, J. (2009). Heavy metal distribution and chemical speciation in tailings and soils around a Pb-Zn mine in Spain. *Journal of Environmental Management*, 90, 1106-1116. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2008.04.007>.
- Sekara, A., Poniedzialek, M., Ciura, J., & Jedrszczyk, E. (2005). Cadmium and lead accumulation and distribution in the organs of nine crops: implications for phytoremediation. *Polish Journal of Environmental Studies*, 14, 509-516.
- Shahabivand, S., Maivan, H. Z., Goltapeh, E. M., Sharifi, M., & Aliloo, A. A. (2012). The effects of root endophyte and arbuscular mycorrhizal fungi on growth and cadmium accumulation in wheat under cadmium toxicity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 60, 53-58. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2012.07.018>.
- Sheetal, K. R., Singh, S. D., Anand, A., & Prasad, S. (2016). Heavy metal accumulation and effects on growth, biomass and physiological processes in mustard. *Indian Journal of Plant Physiology*, 21, 219-223. <https://doi.org/10.1007/s40502-016-0221-8>.
- Subramanian, K. S., Tenshia, V., Jayalakshmi, K., & Ramachandran, V. (2009). Biochemical changes and zinc fractions in arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus intraradices*) inoculated and uninoculated soils under differential zinc fertilization. *Applied Soil Ecology*, 43, 32-39. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2009.05.009>.

- Tessier, A., Campbell, P. G., & Bisson, M. (1979). Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, 51, 844-851. <https://doi.org/10.1021/ac50043a017>.
- Ul-Kalam, S., Naushin, F., Bagyaraj, D. J., & Khan, F. A. (2019). Role of AM fungi in the uptake and accumulation of Cd and Ni by *Luffa aegyptiaca*. *Water, Air, and Soil Pollution*, 13, 230-266. <https://doi.org/10.1007/s11270-019-4295-6>.
- Walkley A., & Black, I. A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter, and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science*, 37(1), 29-38.
- Wang, F. Y., Lin, X. G., & Yin, R. (2007). Role of microbial inoculation and chitosan in phytoextraction of Cu, Zn, Pb and Cd by *Elsholtzia splendens* a field case. *Environmental Pollution*, 147, 248-255. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.08.005>.
- Wang, J., Zhang, C., & Jin, Z. (2009). The distribution and phytoavailability of heavy metal fractions in rhizosphere soils of *Paulownia fortunei* (seem) Hems near a Pb/Zn smelter in Guangdong, PR China. *Geoderma*, 148(3), 229-306. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2008.10.015>.
- Yang, Y., He, C., Huang, L., Ban, Y., & Tang, M. (2017). The effects of arbuscular mycorrhizal fungi on glomalin-related soil protein distribution, aggregate stability and their relationships with soil properties at different soil depths in lead-zinc contaminated area. *PloS one*, 12(8), 1-19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182264>.
- Zhan, F., Li, B., Jiang, M., Yue, X., He, Y., Xia, Y., & Wang, Y. (2018). Arbuscular mycorrhizal fungi enhance antioxidant defense in the leaves and the retention of heavy metals in the roots of maize. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 24338-24347. <https://doi.org/10.1007/s11356-018-2487-z>.
- Zhang, H. H., Tang, M., Chen, H., Zheng, C., & Niu, Z. (2010). Effect of inoculation with AM fungi on lead uptake, translocation and stress alleviation of *Zea mays* L. seedlings planting in soil with increasing lead concentrations. *European Journal of Soil Biology*, 46, 306-311. <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2010.05.006>.



Efficiency of using gibberellic acid hormone on grain yield performance of imported cultivars faba bean by GGE-biplot method

Mohammadreza Dehghani¹ | Mozhgan Hashemi^{2✉} |
Maryam Dahajipour Heidarabadi³ | Shahram Mohammadi⁴

1. Department of Genetics and Plant Production, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. E-mail: M.r.dehghani@vru.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Plant Genetics and Breeding, Faculty of Agriculture, University of Tarbiat Modares, Tehran, Iran. E-mail: Mozhgan.Hashemi@modares.ac.ir
3. Department of Genetics and Plant Production, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran. E-mail: m.dahaji@vru.ac.ir
4. Department of Genetics and Plant Production, University of Shahrekord, Iran. E-mail: Shmohammadi@sku.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 6 November 2021
Received in revised form
28 June 2022
Accepted 3 April 2023
Published online
20 September 2023

Keywords:

Bilinear model
General compatibility
Genotype by environment interaction
Multivariate method
Stability analysis

ABSTRACT

Objective: It is quite effective to identify high-yielding and stable genotypes and evaluate different genotypes in various environmental conditions.

Methods: This study was conducted to evaluate the response of 12 imported faba bean genotypes with the application of gibberellic acid hormone (environmental factor) by the GGE-biplot method. For this purpose, genotypes were evaluated in a complete randomized design with three replications during autumn of 2018 in the research greenhouse of Shahrekord University. Gibberellic acid was sprayed at concentrations of 0, 10, and 30 ppm from the 2-leaf to flowering stages on a weekly basis.

Results: The analysis of variance showed that the effects of genotypes, gibberellic acid, and their interaction effects were significant in grain yield. The genotypes by the gibberellic acid sum of squares explained 22.33% of total grain yield variations. Using the GGE-biplot model, the first two components accounted for 86.5% of total grain yield variations due to the effect of genotype and the interaction effects between genotypes and gibberellic acid hormone.

Conclusion: Based on the analysis of GGE- biplots, the grain yield of genotypes C2, C4, C10, and C6 was higher than other genotypes. Furthermore, they had appropriate relative responses to the application of gibberellic acid hormone than other genotypes. Regarding the need for genotypes with high yield potential to increase in seed yield, they can be used for breeding this product. The eight remaining genotypes had lower grain yields with the most inappropriate responses to the application of gibberellic acid hormone, identified as undesirable genotypes.

Cite this article: Dehghani, M. R., Hashemi, M., Dahajipour Heidarabadi, M., & Mohammadi, Sh. (2023). Efficiency of using gibberellic acid hormone on grain yield performance of imported cultivars faba bean by GGE-biplot method. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 619-631. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.333507.2635>



بازدهی کاربرد اسیدجیبرلیک بر عملکرد دانه ارقام وارداتی باقلا به روش GGE – بای پلات

محمد رضا دهقانی^۱ | مژگان هاشمی^۲ | مریم دهجی پور حیدرآبادی^۳ | شهرام محمدی^۴

۱. گروه ژنتیک و تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. رایانامه: M.r.dehghani@vru.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه مهندسی ژنتیک و به‌نژادی گیاهی، پردیس دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. رایانامه: Mozhgan.Hashemi@modares.ac.ir
۳. گروه ژنتیک و تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران. رایانامه: m.dahaji@vru.ac.ir
۴. گروه ژنتیک و تولیدات گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، چهارمحال بختیاری، ایران. رایانامه: Shmohammadi@sku.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: ارزیابی ژنوتیپ‌های مختلف، تحت شرایط متفاوت محیطی، جهت شناسایی ژنوتیپ‌های مطلوب، بسیار مؤثر است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۵	روش پژوهش: به‌همین منظور برای ارزیابی پاسخ ۱۲ ژنوتیپ وارداتی باقلا تحت تأثیر کاربرد هورمون اسیدجیبرلیک (به‌عنوان یک عامل محیطی) به روش GGE – بای پلات، آزمایشی به‌صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در پاییز سال ۱۳۹۷ در گلخانه پژوهشی دانشگاه شهرکرد انجام شد. محلول‌پاشی اسیدجیبرلیک با غلظت‌های صفر، ۱۰ و ۳۰ پی‌پی‌ام از مرحله دو برگی تا مرحله گل‌دهی بوته‌ها به‌صورت هفتگی انجام شد.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۴/۰۷	یافته‌ها: نتایج تحلیل واریانس از تأثیر معنی‌دار دو عامل ژنوتیپ، هورمون و تعامل مشترک آن‌ها روی عملکرد دانه ارقام موردبررسی حکایت داشت. اثر متقابل معنی‌دار دو عامل ژنوتیپ و هورمون اسیدجیبرلیک به تنهایی ۲۲/۳۳ درصد تغییرات کل عملکرد دانه ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی را به خود اختصاص داد. دو مؤلفه اول حاصل از تحلیل مدل GGE – بای پلات در مجموع ۸۶/۵ درصد تغییرات مربوط به عملکرد دانه ناشی از ژنوتیپ و تعامل آن با هورمون اسیدجیبرلیک را بیان کردند.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۴	نتیجه‌گیری: براساس تحلیل بای پلات‌های ترسیم‌شده مبتنی بر این دو مؤلفه ژنوتیپ‌های C2، C4، C10 و C6 با عملکرد بالاتر از میانگین کل (۱۷/۶۴) و واکنش نسبی مناسب به هورمون اسیدجیبرلیک، مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط اجرای این آزمایش معین شدند. با توجه به نیاز به ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکردی بالا جهت افزایش عملکرد دانه، از این ژنوتیپ‌ها برای به‌نژادی این محصول می‌توان بهره برد. هشت ژنوتیپ باقی‌مانده با عملکرد کمتر از میانگین کل، به کاربرد هورمون واکنش خاصی نشان نداده و براساس این مطالعه ژنوتیپ‌های نامطلوب تعیین شدند.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹	کلیدواژه‌ها: اثر متقابل ژنوتیپ و محیط تجزیه یابرداری روش‌های چند متغیره سازگاری عمومی مدل ضرب‌پذیر

استناد: دهقانی، هاشمی، مژگان؛ دهجی پور حیدرآبادی، مریم؛ محمدی، شهرام (۱۴۰۲). بازدهی کاربرد اسیدجیبرلیک بر عملکرد دانه ارقام وارداتی باقلا به روش GGE – بای پلات. *بزرگای کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۶۱۹-۶۳۱. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.333507.2635>



۱. مقدمه

در میان حبوبات، باقلا (*Vicia faba* L.) به طور گسترده در سراسر جهان کشت می‌شود. غلاف‌های تازه و دانه‌های خشک باقلا به دلیل ارزش غذایی که در بین سبزی‌ها دارد، برای تغذیه انسان در سراسر جهان مصرف می‌شود (Semida et al., 2014). باقلا سرشار از پروتئین (تا ۳۵ درصد ماده خشک)، کربوهیدرات (۶۸-۵۱ درصد ماده خشک) و مواد مغذی معدنی مانند پتاسیم، آهن، کلسیم، منیزیم و روی است (Rady et al., 2021).

در مطالعه‌ای به روش چندمتغیره اثرات اصلی جمع‌پذیر و تعامل ضرب‌پذیر، ۱۶ ژنوتیپ باقلا در هشت محیط ارزیابی و ژنوتیپ‌های پرمحصول و پایدار شناسایی شدند. در این مطالعه هم‌چنین ژنوتیپ‌های سازگار با محیط‌های خاص تعیین و ارزیابی شدند (Temesgen et al., 2015). نتایج ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ و محیط بر عملکرد دانه لاین‌های نخود نشان داد که براساس تحلیل نمودارهای GGE-بای پلات، ژنوتیپ‌های G6، G4 و G11 از عملکرد دانه و پایداری بیش‌تری نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها برخوردار بودند. ژنوتیپ G6 بهترین لاین در گزینش هم‌زمان برای عملکرد و پایداری بود. هم‌چنین ژنوتیپ‌های G5، G7 و G8 به عنوان لاین‌های دارای سازگاری عمومی شناسایی شدند (کانونی و فرایدی، ۱۳۹۵). در بررسی دیگری اثر متقابل ژنوتیپ و سال روی عملکرد دانه برخی لاین‌های باقلا به روش‌های ناپارامتری مطالعه شد و ژنوتیپ‌های G5 و G8 به ترتیب با میانگین رتبه ۱/۳۳ و ۲، دارای کم‌ترین رتبه و کم‌ترین انحراف معیار رتبه و بیش‌ترین پایداری تعیین شدند. با توجه به نتایج حاصل از تجزیه واریانس و روش‌های مختلف تجزیه پایداری و تجزیه کلاستر، ژنوتیپ‌های G5 و G8 در سال‌های مختلف، پایداری بسیار خوبی داشته و از نظر عملکرد دانه نیز نسبت به شاهد برتری داشتند (سرپرست و شیخ، ۱۳۹۵). در بررسی حاضر، از روش مؤثر و گرافیکی GGE-بای پلات برای تحلیل اثر متقابل ژنوتیپ با غلظت هورمون اسیدجیبرلیک (به عنوان یک عامل محیطی) استفاده شد. هدف از این پژوهش ارزیابی ۱۲ ژنوتیپ وارداتی باقلا از نظر عملکرد دانه و چگونگی پاسخ به مصرف هورمون اسیدجیبرلیک به روش چند متغیره GGE-بای پلات بود، تا در صورت امکان بتوان، از آن‌ها جهت پیشبرد برنامه‌های به‌نژادی این محصول بهره برد.

۲. پیشینه پژوهش

گیاه برای تکمیل رشد به تنظیم‌کننده‌های رشد نیاز دارد، زیرا این مواد در فعالیت‌های بیولوژیکی گیاه نقش مهمی دارند. تیمار گیاهان با یک تنظیم‌کننده رشد معین، منجر به بهبود ساختار گیاه، کیفیت محصول و تولید دانه می‌شود (Fadhil & Almassoody, 2019). افزایش کمیت و کیفیت محصولات با کاربرد تنظیم‌کننده‌های رشد، ممکن است به علت فعال‌سازی مکانیسم‌های متعدد مرتبط با رشد گیاه و متابولیسم آن باشد (Bora & Sarma, 2006). نتایج پژوهش‌ها روی گیاهان زراعی مختلف نشان داده است که کاربرد خارجی اسیدجیبرلیک می‌تواند بهره‌وری را در فرایندهای فیزیولوژیکی مهم افزایش دهد (Miceli et al., 2019; Lin et al., 2020; Rahman et al., 2020; Javid et al., 2022).

اسیدجیبرلیک در بسیاری از مسیرهای متابولیکی تأثیرگذار مانند تولید و تجزیه کلروفیل، جابه‌جایی مواد فتوسنتزی، متابولیسم نیتروژن و توزیع مجدد نیتروژن نقش اساسی دارد (Miceli et al., 2019). هم‌چنین اسیدجیبرلیک با افزایش بیان برخی ژن‌های مرتبط با آنزیم‌های دیواره سلولی مانند زایلوگلوکان اندوترانس‌گلیکوزیلاز^۱، زایلوگلوکان اندوترانس‌گلیکوزیلاز/هیدرولاز^۲، اکسپانسیون‌ها و پکتین متیل‌استراز^۳، شل شدن دیواره سلولی و در نتیجه انبساط آن را موجب

۱. Xyloglucan endotransglucosylase (XET)

۲. Xyloglucan endo-transglycosylase/hydrolase (XTH)

۳. Pectin methylesterase (PME)

می‌شود (Thomas *et al.*, 2005). علاوه بر این، کاربرد اسیدجیبرلیک به‌منظور افزایش ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و عملکرد در بسیاری از گیاهان مورد استفاده قرار گرفته است (Lee, 2003; Hoseinifard *et al.*, 2018). از آنجایی که این هورمون در برگ‌های گیاه تولید و سپس در سراسر گیاه پخش می‌شود استفاده از محلول پاشی این هورمون روی برگ‌ها کاربرد زیادی دارد (Dayan *et al.*, 2012). نتایج پژوهش‌های متعدد در استفاده از اسیدجیبرلیک به‌صورت محلول پاشی بر گیاهان مختلف نشان داده است که نیاز هورمونی، غلظت‌های نسبی و پاسخ در گیاهان مختلف و مراحل رشدی مختلف با توجه به گونه و غلظت اسیدجیبرلیک متفاوت است. به‌عبارتی غلظت اسیدجیبرلیک و حساسیت بافت‌های گیاهی به آن، تعیین‌کننده پاسخ گیاهان به رشدونمو است (Shah & Ahmad, 2006). در بسیاری از پژوهش‌ها محلول پاشی اسیدجیبرلیک با غلظت کم، به‌منظور تقویت رشد گیاه، بهبود عملکرد و افزایش تحمل به تنش‌های غیرزیستی موردتوجه قرار گرفته است (Emongor, 2002; Khan, 2006; Maggio, 2010). بررسی‌ها نشان می‌دهد محلول پاشی اسیدجیبرلیک روی سه ژنوتیپ باقلا، میزان عملکرد دانه را افزایش داده است (Fadhil & Almassoody, 2019). همچنین استفاده از اسیدجیبرلیک در گیاه باقلا و ماشک، افزایش میزان زیست‌توده و عملکرد دانه را موجب شده است (Ibrahim *et al.*, 2007; Abdel & Al-rawi, 2011). در مطالعه‌ای میدانی اثر اسیدجیبرلیک روی لوبیای فرانسوی به‌طور معنی‌داری ارتفاع گیاه را نسبت به شاهد افزایش داد. همچنین همبستگی مثبت معنی‌داری در میان پارامترهای رشد و عملکرد و اجزای آن یافت شد (Noor *et al.*, 2017).

عملکرد دانه ویژگی کمی پیچیده‌ای است که به‌وسیله ژن‌های زیادی کنترل می‌شود. تأثیر محیط و اجزای مرتبط، روی این ویژگی بسیار زیاد است (امینی و قنادها، ۱۳۸۱). درک رابطه بین عملکرد گیاهان و محیط، موضوع مهمی برای به‌زادگران و متخصصان ژنتیک گیاهی بوده است. نمود گیاه یا فنوتیپ مشاهده‌شده، تابعی از ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ و محیط است. اثر متقابل ژنوتیپ و محیط زمانی رخ می‌دهد که ارقام یا ژنوتیپ‌های مختلف، به‌شکل متفاوت به محیط‌های گوناگون واکنش نشان دهند. عملکرد یک ژنوتیپ در یک محیط، متشکل از اثر اصلی محیط^۱، اثر اصلی ژنوتیپ^۲ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط^۳ است. باوجود این که اثر محیط، میزان زیادی از درصد تغییرات کل عملکرد را توجیه می‌کند و اثرات ژنوتیپ و محیط در ژنوتیپ کوچک‌تر هستند، اما این دو اثر در آزمایش‌های ارزیابی ژنوتیپ‌ها نقش دارند و در زمان گزینش ژنوتیپ‌های برتر، اثر ژنوتیپ و اثر متقابل ژنوتیپ در محیط، باید به‌صورت هم‌زمان در نظر گرفته شوند (Moradi & dadras, 2021).

تحلیل درست و اصولی اثر متقابل به رفع این مشکل و گزینش موفق ژنوتیپ‌های برتر کمک قابل‌توجهی می‌کند. برای بررسی پدیده پیچیده اثر متقابل روش‌های زیادی طرح شده است که هر کدام از این روش‌ها قابلیت‌های خاصی دارند. روش‌های یک‌متغیره، تنها از یک جنبه و روش‌های چندمتغیره از جهت‌های بیش‌تری این پدیده را موردارزیابی قرار می‌دهند. علاوه بر روش‌های ناپارامتری و روش‌های یک‌متغیره پارامتری می‌توان در گروه مدل‌های خطی و جمع‌پذیر، روش تحلیل واریانس و انواع مدل‌های رگرسیونی (Erol *et al.*, 2018) و در گروه مدل‌های ضرب‌پذیر، روش‌های مبتنی بر تجزیه مقادیر تکین مانند روش چندمتغیره اثرات اصلی جمع‌پذیر و تعامل ضرب‌پذیر^۴ (AMMI) (Gauch, 2006) و روش چندمتغیره GGE-بای‌پلات (Yan & Tinker, 2006) را نام برد. هر کدام از روش‌های یادشده پدیده پیچیده و چندبعدی اثر متقابل را از جهت یا جهت‌های معینی مورد تحلیل و بررسی قرار می‌دهند به‌همین دلیل از این روش‌ها در بررسی‌ها زیادی استفاده شده است.

۱. Environment (E)

۲. Genotype (G)

۳. Genotype × Environment (GE)

۴. Additive Main effects and Multiplicative Interaction effect (AMMI)

۲. روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش برای بررسی واکنش عملکرد دانه ۱۲ ژنوتیپ وارداتی باقلا با استفاده از هورمون اسیدجیبرلیک، آزمایشی به صورت طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار انجام شد. با توجه به پژوهش‌های انجام شده و بررسی منابع سه غلظت صفر، ۱۰ و ۳۰ پی‌پی‌ام برای اسیدجیبرلیک در نظر گرفته شد. نام و منشأ ژنوتیپ‌ها در جدول (۱) نشان داده شده است. این ۱۲ ژنوتیپ شامل ارقام زراعی و ژنوتیپ‌های موردبررسی در برنامه‌های به‌نژادی بودند.

جدول ۱. شماره، نام و مبدأ ژنوتیپ‌های باقلای موردبررسی

شماره	نام ژنوتیپ	منشأ
C1	Tatto	چین
C2	114870	نپال
C3	Espensso	روسیه
C4	Cqlumbo	روسیه
C5	Melodie	چین
C6	Aurova	روسیه
C7	Disco	چین
C8	Gracia	چین
C9	Fuego	چین
C10	13284	چین
C11	Alexia	چین
C12	112266	چین

پژوهش حاضر در پاییز سال ۱۳۹۷ در گلخانه‌ی پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، اجرا شد. ترکیب خاک گلدان‌ها (قطر دهانه هر گلدان ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر) برحسب گنجایش گلدان‌ها به صورت ۵۰ درصد حجم هر گلدان خاک زراعی و ۵۰ درصد دیگر به نسبت برابر ماسه، شن و کود حیوانی بود. محلول‌پاشی اسیدجیبرلیک با غلظت‌های موردنظر به صورت هفتگی، از مرحله دو تا چهار برگی شروع و تا آغاز مرحله گل‌دهی ادامه پیدا کرد. متوسط دمای حداقل در هنگام محلول‌پاشی ۱۵ و دمای حداکثر ۲۳ درجه سانتی‌گراد بود. برای جلوگیری از اثرات تشعشع، محلول‌پاشی بین ساعات هشت تا ۱۰ صبح صورت گرفت. برای این‌که بوته‌ها با هیچ‌گونه تنش‌ی مواجه نشوند. سایر مراقبت‌های لازم به صورت مطلوب و یکسان تا زمان برداشت و ثبت داده‌های مربوط به عملکرد دانه ارقام آزمایشی انجام شد. در هنگام برداشت، محصول دانه هر رقم در هر تکرار به دقت برداشت و پس از هوادهی به مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند. توزین عملکرد هر رقم به طور دقیق انجام و داده‌ها ثبت شدند.

تحلیل واریانس داده‌های مربوط به عملکرد دانه و مقایسه میانگین‌ها به روش دانکن با استفاده از برنامه SPSS (نسخه ۱۷) انجام شد. برای انجام تحلیل GGE- بای پلات، ابتدا با استفاده از نرم‌افزار MATLAB (2015)، ماتریس داده‌های عملکرد دانه باقلا مربوط به اثر ژنوتیپ و تعامل آن با هورمون اسیدجیبرلیک، به اجزای آن شامل مؤلفه‌های مربوط به هر ژنوتیپ، مؤلفه‌های مربوط به هر غلظت هورمون و مقادیر تکین تفکیک شد. سپس با استفاده از دو مؤلفه اول و مبتنی بر قواعد مربوط، بای پلات‌های موردنیاز در محیط نرم‌افزار Excel (نسخه ۲۰۱۶) ترسیم شدند.

۴. یافته‌های پژوهش

نتایج تحلیل واریانس عملکرد ۱۲ ژنوتیپ باقلای مورد ارزیابی تحت تأثیر سه غلظت متفاوت از هورمون اسیدجیبرلیک (صفر، ۱۰ و ۳۰ پی‌پی‌ام) در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲. تجزیه واریانس عملکرد دانه ژنوتیپ‌های وارداتی باقلا با کاربرد اسیدجیبرلیک

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	سهم از تغییرات کل (درصد)
غلظت هورمون	۲	۱۰۸/۳۲**	۷/۶۴
ژنوتیپ	۱۱	۷۵/۸۵**	۲۹/۴۲
ژنوتیپ × هورمون	۲۲	۲۸/۷۸*	۲۲/۳۳
خطای آزمایشی	۴۶۹	۱۶/۴۲	

* و **: به ترتیب بیانگر معنی‌داری در سطح احتمال پنج و یک درصد
 † تعداد داده‌های گم‌شده = ۳
 R Squared = 0.68

این نتایج از تأثیر معنی‌دار دو عامل ژنوتیپ، هورمون اسیدجیبرلیک و تعامل مشترک آن‌ها روی عملکرد حکایت داشت. چنانچه در جدول (۳) نشان داده شده است به‌علت تأثیر معنی‌دار تعامل ژنوتیپ و غلظت هورمون روی عملکرد دانه، ژنوتیپ‌های مختلف باقلا واکنش‌های متفاوتی نسبت به محلول‌پاشی اسیدجیبرلیک نشان دادند.

جدول ۳. مقایسه میانگین عملکرد دانه هر ژنوتیپ در هر سطح از غلظت هورمون

ژنوتیپ	میانگین عملکرد دانه در غلظت‌های مختلف هورمون (پی‌پی‌ام)	۰	۱۰	۳۰
C1	۰/۴۲۵e	۱/۰۷c	۰/۶۶bc	
C2	۱۱/۵۲ab	۱۴/۷۷a	۶/۴۱۵a	
C3	۹/۱۱abc	۲/۰۸bc	۰/۱۲c	
C4	۱۵/۵۳a	۳/۹۹bc	۱/۶۸bc	
C5	۳/۹۳cd	۲/۱۹bc	۰/۲۷bc	
C6	۴/۰۲cd	۷/۹۶abc	۰/۲۸bc	
C7	۱۰/۰۷ab	۲/۹۲bc	۲/۲۰bc	
C8	۳/۶۶cd	۶/۰۰bc	۳/۵۵b	
C9	۴/۵۵c	۱/۴۲bc	۱/۶۵bc	
C10	۹/۸۶ab	۴/۸۳bc	۱/۰۳bc	
C11	۱/۲۴d	۱۰/۲۹ab	۲/۰۸bc	
C12	۱/۳۸d	۱/۵۶bc	۰/۹۰bc	

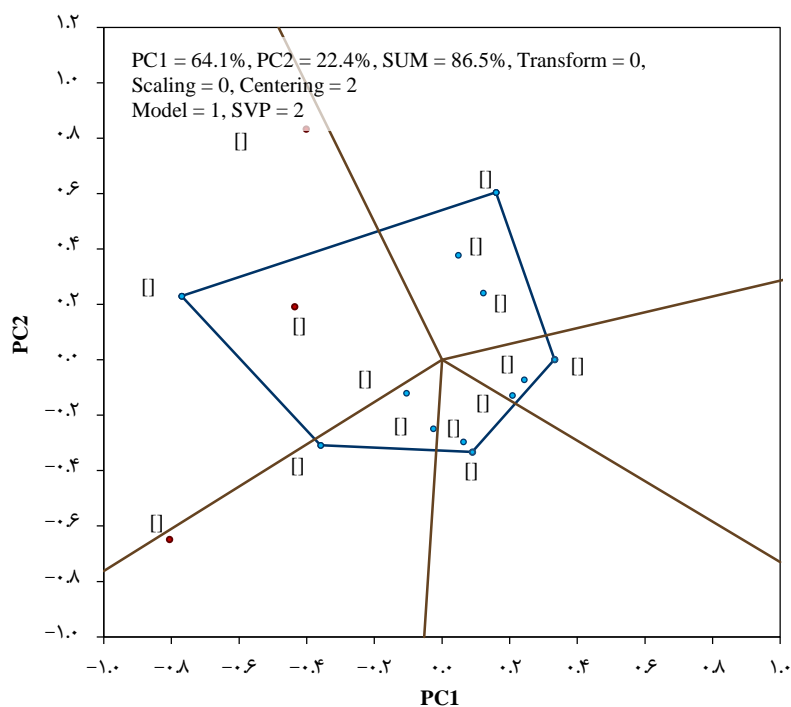
در هر غلظت میانگین‌های فاقد حرف مشترک در سطح ۵ درصد معنی‌دار بودند.

در مطالعه حاضر، دو مؤلفه‌ی اول حاصل از تحلیل مدل GGE، در مجموع ۸۶/۵ درصد تغییرات ناشی از ژنوتیپ و تعامل آن با غلظت هورمون اسیدجیبرلیک ($۱۴۶۷/۶۴ = ۶۳۳/۲۷ + ۸۳۴/۳۷ = ۱۴۶۷/۶۴$) را بیان کردند. به‌عبارت دیگر، دو بعد مستقل اثر متقابل، ۱۲۶۹/۵ واحد از این تغییرات را باعث می‌شوند. برای تحلیل تغییرات ناشی از این دو بعد، به‌روش بای‌پلات مدل GGE، پلات‌های موردنیاز رسم شدند.

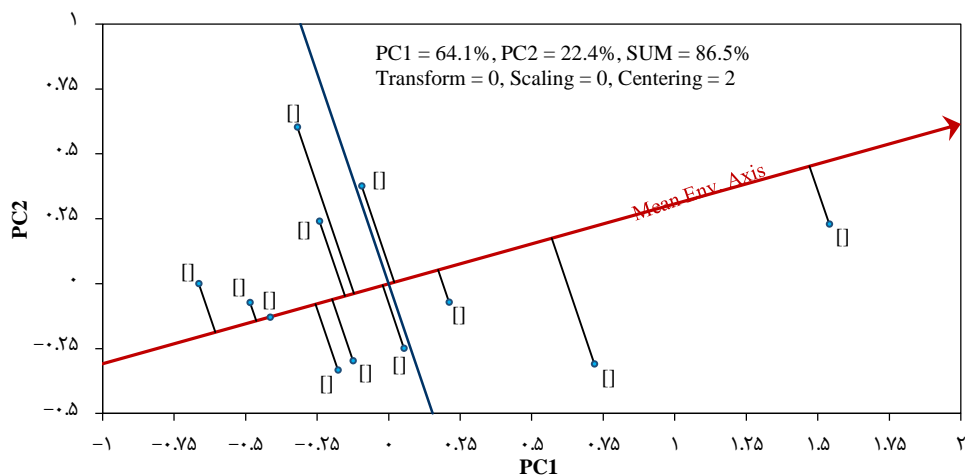
برای رسم و تحلیل چندضلعی حاصل از بای‌پلات این دو مؤلفه (شکل ۱) ابتدا مکان ژنوتیپ‌هایی که در دورترین فاصله نسبت به مبدأ مختصات قرار داشتند شامل ژنوتیپ‌های C1، C2، C4، C11 و C12 به‌وسیله خط‌های مستقیم به هم وصل شد تا پنج ضلعی بای‌پلات تشکیل شود.

این ژنوتیپ‌ها از بیش‌ترین تا کم‌ترین متوسط عملکرد دانه در شرایط اجرای این آزمایش برخوردار هستند. سپس با استفاده از خط‌هایی که از مبدأ بای‌پلات به هر ضلع پنج ضلعی عمود می‌شوند، صفحه بای‌پلات به پنج قطعه تقسیم شد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مکان مربوط به دو غلظت ۱۰ و ۳۰ پی‌پی‌ام در قطعه‌ای قرار گرفته است که ژنوتیپ C2 در آن قطعه در رأس یک زاویه پنج ضلعی قرار دارد. این وضعیت نشان می‌دهد که ژنوتیپ C2 به این دو غلظت واکنش

مناسبتی داشته است. تیمار شاهد در قطعه‌ای از بای پلات قرار دارد که مکان ژنوتیپ C4 در رأس یک زاویه پنج ضلعی قرار دارد (شکل ۱). این وضعیت نشان می‌دهد که ژنوتیپ C4 نه تنها واکنشی به غلظت‌های مورد استفاده هورمون نداشته بلکه در وضعیت عدم استفاده از هورمون عملکرد بهتری داشته است. براساس این بای پلات هشت ژنوتیپ دیگر، چون مکان مربوط به هیچ کدام از سه غلظت در قطعات آن‌ها قرار نداشت، به غلظت‌های هورمون یا پاسخ ندادند و یا پاسخ منفی داشتند، به طوری که نتیجه مناسبتی در عملکرد آن‌ها ایجاد نشده است. تحلیل توأم عملکرد و میزان پایداری عملکرد هر ژنوتیپ (نقش کم‌تر در ایجاد تغییرات ناشی از اثر متقابل) با رسم بای پلات شکل (۲) انجام شد.



شکل ۱. بای پلات مربوط به تحلیل چند ضلعی مدل GGE



شکل ۲. بای پلات تحلیل هم‌زمان عملکرد دانه و پایداری هر ژنوتیپ

برای رسم این نمودار، ابتدا محور محیط متوسط یا خطی که از مبدأ مختصات و مکان مربوط به متوسط مختصات سه غلظت هورمون می‌گذرد و از دو طرف ادامه می‌یابد، ترسیم شد. جهت این محور را مکان متوسط مختصات سه غلظت هورمون تعیین می‌کند. سپس یک محور با دو جهت در مبدأ بر این محور عمود می‌کنیم (شکل ۲). در این بررسی هم‌بستگی خطی بین نمره‌های هر ژنوتیپ، مربوط به مؤلفه اول آن‌ها با متوسط عملکرد هر ژنوتیپ تحت تأثیر سه مقدار هورمون مورد استفاده بالا و معنی‌دار ($t=0/985^{**}$) بود (جدول ۴).

جدول ۴. میانگین عملکرد هر ژنوتیپ در کل آزمایش و نمره‌های ژنوتیپی مؤلفه اول

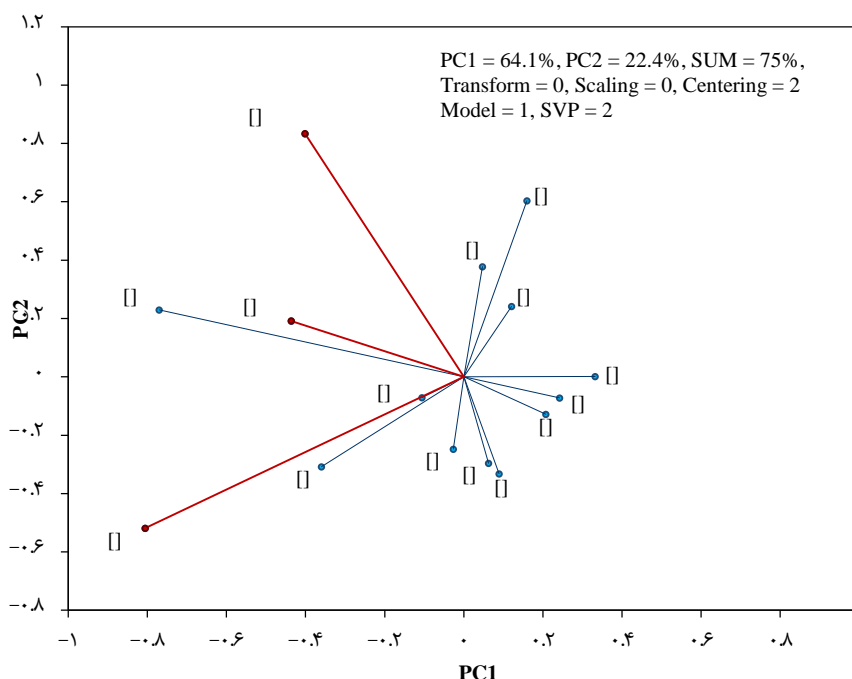
ژنوتیپ	نمره‌های ژنوتیپی مربوط به مؤلفه اول	عملکرد دانه
C1	-0/1780	10/31
C2	1/5399	45/78
C3	-0/1254	11/31
C4	0/7189	27/90
C5	-0/4849	6/39
C6	-0/0950	16/88
C7	0/0530	15/18
C8	-0/2421	13/21
C9	-0/4142	7/63
C10	0/2110	19/61
C11	-0/3192	13/60
C12	-0/6641	3/84

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد $t=0/985$.

به این ترتیب، در این نمودار محور محیط متوسط میزان عملکرد و محور قائم بر آن میزان پایداری عملکرد هر ژنوتیپ را در شرایط اجرای آزمایش تقریب می‌کند. علاوه بر این عملکرد ژنوتیپ‌های واقع در سمت راست محور قائم بیش‌تر از میانگین کل عملکرد ۱۲ ژنوتیپ آزمایشی است. چنانچه دیده می‌شود براساس این بای‌پلات، ژنوتیپ‌های C2، C4، C10 و C6 با نشان دادن عملکردی بیش‌تر از میانگین عملکرد ۱۲ ژنوتیپ مورد بررسی، ژنوتیپ‌های برتر در شرایط این آزمایش ارزیابی شدند. در میان این چهار ژنوتیپ، ژنوتیپ C10 کم‌ترین میزان پاسخ به مصرف هورمون را نشان داد. در این دسته ژنوتیپ‌های C4 و C6 از جمله ژنوتیپ‌هایی بودند که به مصرف هورمون پاسخ دادند. هشت ژنوتیپ باقی‌مانده با عملکرد کم‌تر از میانگین، ژنوتیپ‌های نامطلوب از نظر این بای‌پلات تعیین شدند. در میان این دسته، ژنوتیپ‌های C9 و C5 به ترتیب کم‌ترین واکنش به استفاده از هورمون اسیدجیرلیک در غلظت‌های مورد استفاده در این آزمایش را نشان دادند (جدول ۴). به‌طور مشخص رابطه هر ژنوتیپ با هر کدام از سه غلظت هورمون مورد استفاده، با بای‌پلات شکل (۳) ارزیابی و بررسی شد.

در این بای‌پلات هر ژنوتیپ و هر کدام از غلظت‌های هورمون اسیدجیرلیک با یک بردار (خطی که از مبدأ مختصات به مکان ژنوتیپ یا غلظت هورمون وصل می‌شود و جهت آن را مکان قرار گرفتن ژنوتیپ یا غلظت هورمون تعیین می‌کند) نمایش داده شده است. مقدار زاویه بین بردار مربوط به هر ژنوتیپ با بردار مربوط به هر غلظت بیان‌کننده کیفیت این ارتباط است. به‌طوری‌که زاویه کم‌تر از ۹۰ درجه دلالت بر عملکرد بیش از میانگین کل، زاویه بیش‌تر از ۹۰ درجه، عملکرد کم‌تر از میانگین کل و زاویه ۹۰ درجه، عملکرد برابر با میانگین را تقریب می‌کند (Yan, 2002). همان‌طور که ملاحظه می‌شود بردارهای مربوط به ژنوتیپ‌های C12، C9 و C5 با بردارهای مربوط به هر سه غلظت هورمون، زاویه‌ای بیش‌تر از ۹۰ درجه دارند، در نتیجه این سه ژنوتیپ به هورمون استفاده‌شده در غلظت‌های مورد استفاده در این آزمایش

پاسخ منفی نشان داده‌اند. یا به بیان دیگر سه غلظت مورد استفاده در این آزمایش برای این سه ژنوتیپ مناسب نبوده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود این سه ژنوتیپ از کم‌ترین میزان عملکرد دانه در شرایط این آزمایش برخوردار بودند (جدول ۳). بردارهای سایر نه ژنوتیپ مورد ارزیابی با بردارهای اغلب غلظت‌ها، زاویه کمتر از ۹۰ درجه داشتند و نشان می‌دهد به غلظت‌های مورد استفاده، واکنش مثبت نشان داده‌اند. به‌ویژه ژنوتیپ‌های C4 و C10 به عدم استفاده از هورمون و ژنوتیپ C2 به غلظت ۱۰ و ۳۰ پی‌پی‌ام پاسخ مناسب داشتند.



شکل ۳. بای پلات تحلیل عملکرد دانه هر ژنوتیپ تحت تأثیر هر مقدار هورمون مصرفی

۵. بحث

نیازهای مختلف حرارتی ژنوتیپ‌ها در مرحله گل‌دهی منجر به تفاوت واضح عملکرد بین آن‌ها می‌شود (Sau, 2000). عملکرد دانه در ژنوتیپ‌های C2، C6 و C11 با استفاده از غلظت ۱۰ پی‌پی‌ام اسیدجیبرلیک افزایش قابل ملاحظه‌ای نشان داد. اسیدجیبرلیک برون‌زا می‌تواند به‌طور قابل توجهی صفات مورفولوژیکی و عملکرد گیاهان را تغییر دهد و تخصیص زیست‌توده به گل‌ها و دانه‌ها را افزایش دهد. به‌عبارتی، اسیدجیبرلیک با تحریک تقسیم سلولی، گل‌دهی و در نهایت عملکرد دانه را در این ژنوتیپ‌ها تحریک کرده است. با توجه به کاهش عملکرد دانه ژنوتیپ‌های آزمایشی در غلظت ۳۰ پی‌پی‌ام اسیدجیبرلیک، این نتیجه حاصل می‌شود که این غلظت از اسیدجیبرلیک به‌دلیل فراتر بودن از حد بهینه، اثر منفی بر رشد و عملکرد گیاهان داشته است. نتایج بررسی‌ها نشان داده است که افزایش غلظت اسیدجیبرلیک فراتر از غلظت بهینه با کاهش تعداد گل و تعداد دانه در غلاف منجر به کاهش عملکرد دانه می‌شود (El-shraiy et al., 2009; Giovanaz, 2016). در پژوهشی نشان داده شد که استفاده از غلظت‌های بالاتر از ۳/۰ میلی‌گرم بر لیتر اسیدجیبرلیک اثر منفی بر مورفولوژی و عملکرد گیاه دارد (Miceli et al., 2019). به‌عبارتی، غلظت زیر حد آستانه‌ی اسیدجیبرلیک، به‌عنوان محرک رشد و افزایش‌دهنده‌ی عملکرد گیاه عمل می‌کند (El-shraiy et al., 2009; Giovanaz, 2016).

براساس نتایج این پژوهش ژنوتیپ‌های C2، C3، C4، C7 و C10 عملکرد دانه بالایی را نسبت به سایر ژنوتیپ‌ها در سطح صفر پی‌پی‌ام اسیدجیبرلیک نشان دادند (جدول ۳). در بسیاری از گونه‌های گیاهی ژنوتیپ‌هایی با سطوح بالای اسیدجیبرلیک درونی، توسط نسبت‌های بالاتر برگ به ریشه، بخش هوایی به ریشه و عملکرد بالا در مقایسه با ژنوتیپ‌هایی با سطوح پایین اسیدجیبرلیک درونی متمایز می‌شوند. نتایج یک بررسی نشان می‌دهد که گیاهان با سطوح بالای اسیدجیبرلیک درونی، مورفولوژی مشابه به گیاهان محلول‌پاشی‌شده با اسیدجیبرلیک را نشان داده‌اند (Sugiura *et al.*, 2015). در این پژوهش کاربرد خارجی اسیدجیبرلیک در ژنوتیپ‌های یادشده، با افزایش میزان اسیدجیبرلیک گیاه، تأثیر منفی بر میزان عملکرد دانه داشته است. این نتیجه در راستای نتایج پژوهشی دیگر (Rastogi *et al.*, 2013) بوده است که نشان داد اسیدجیبرلیک در غلظت‌های کم، پارامترهای رشد مانند عملکرد دانه، رشد رویشی، وزن خشک و ارتفاع گیاه را بیش‌تر از غلظت‌های زیاد، تحت تأثیر قرار داده است. با توجه به عملکرد بهتر این ژنوتیپ‌ها در سطح صفر پی‌پی‌ام اسیدجیبرلیک و کاهش عملکرد در سطح ۱۰ پی‌پی‌ام، پیشنهاد می‌شود تأثیر غلظت‌های کم‌تر از ۱۰ پی‌پی‌ام اسیدجیبرلیک بر این ژنوتیپ‌ها مورد بررسی قرار گیرد.

اثر متقابل دو عامل ژنوتیپ و غلظت هورمون اسیدجیبرلیک به تنهایی ۲۲/۳۳ درصد تغییرات کل عملکرد ژنوتیپ‌های مورد ارزیابی را به خود اختصاص داد به این ترتیب ارزیابی درست عملکرد ژنوتیپ‌های آزمایش و فرایند انتخاب با مشکل مواجه است (جدول ۲). به عبارت دیگر، به علت معنی‌داری اثر متقابل دو عامل، وضعیت عملکرد دانه ژنوتیپ‌ها تحت تأثیر هر کدام از سه غلظت هورمون متفاوت بوده و گزینش ژنوتیپ‌های برتر امکان‌پذیر نیست (جدول ۳). برای حل این مسئله و ارزیابی معتبر ژنوتیپ‌ها از روش تحلیل GGE-بای‌پلات استفاده شد. این روش به‌طور مؤثری پدیده اثر متقابل را تحلیل کرده و بزرگی و الگوی تأثیر آن را در میان ۱۲ ژنوتیپ آزمایش تشریح می‌کند (Yan, 2002; Yan & Tinker, 2006).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

به‌طور کلی، براساس نتایج این بررسی، ژنوتیپ‌های C2، C4، C10 و C6 با عملکرد بالاتر از میانگین کل، مناسب‌ترین ژنوتیپ‌ها در شرایط اجرای این آزمایش معین شدند. در میان این گروه، ژنوتیپ‌های C2 و C6 به استفاده از هورمون اسیدجیبرلیک واکنش خوبی نشان دادند و دو ژنوتیپ دیگر (C4 و C10) بدون واکنش خاصی نسبت به مصرف هورمون عملکرد بالا و قابل‌قبولی داشتند. پیشنهاد می‌شود این ژنوتیپ‌ها در سایر برنامه‌های به‌نژادی، به‌ویژه در صورت امکان پس از تعیین میزان اسیدجیبرلیک درونی، از نظر حساسیت به غلظت‌های مناسب اسیدجیبرلیک به روش محلول‌پاشی، به‌صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گیرند. همچنین با توجه به نیاز به ژنوتیپ‌هایی با پتانسیل عملکردی بالا جهت افزایش عملکرد دانه، از این ژنوتیپ‌ها برای به‌نژادی این محصول بهره برد.

۷. تشکر و قدردانی

از مساعدت صمیمانه همکاران ارجمند در اجرای این طرح در بخش‌های مختلف گلخانه‌ای و آزمایشگاهی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- امینی، اشکبوس؛ قنادها، محمدرضا و عبدمیشانی، سیروس (۱۳۸۱). تنوع ژنتیکی و همبستگی بین صفات مختلف در لوبیای معمولی (*Phaseolus vulgaris* L.). علوم کشاورزی ایران. ۳۳ (۴)، ۶۰۵-۶۱۵. SID. <https://sid.ir/paper/441096/fa>
- کانونی، همایون؛ فرایدی، یداله؛ صباغ پور، سیدحسین و سعید، علی (۱۳۹۵). ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ x محیط بر عملکرد دانه لاین‌های نخود (*Cicer arietinum* L.) در کشت زمستانه. مجله علوم زراعی ایران. ۱۸ (۱)، ۶۳-۷۵. SID. <https://sid.ir/paper/57280/fa>
- سرپرست، رمضان؛ شیخ، فاطمه و سوقی، حبیب‌الله (۱۳۹۰). ارزیابی اثر متقابل ژنوتیپ و سال و تجزیه کلاستر عملکرد دانه در برخی لاین‌های باقلا (*Vicia faba* L.). پژوهش‌های حبوبات ایران. ۲ (۱)، ۹۹-۱۰۶. doi: 10.22067/ijpr.v2i1.12023

References

- Abdel, C. G., & Al-Rawi, I. M. T. (2011). Common vetch *Vicia sativa* L. response to gibberellic acid application (GA₃), supplementary irrigation and its water stress critical stages. *International Journal of Biosciences*, 1(3), 29-38.
- Amini, A., Ghanadha, M. R., & Abdmishani, S. (2002). Genetic variation and correlation between different traits in common bean. *Agricultural Sciences*, 33(4), 605-15. (In Persian).
- Bora, R., & Sarma, C. (2006). Effect of gibberellic acid and cycocel on growth, yield and protein content of pea. *Plant Sciences*, 5(2), 324-330.
- Dayan, J., Voronin, N., Gong, F., Sun, T-p., Hedden, P., Fromm, H., & Aloni, R. (2012). Leaf-induced gibberellin signaling is essential for internode elongation, cambial activity, and fiber differentiation in tobacco stems. *The Plant Cell*, 24(1), 66-79.
- El-Shraiy, A. M., & Hegazi, A. M. (2009). Effect of acetylsalicylic acid, indole-3-butyric acid and gibberellic acid on plant growth and yield of Pea (*Pisum sativum* L.). *Basic Applied Sciences*, 3(4), 3514-3523.
- Emongor, V. (2002). Effect of benzyladenine and gibberellins on growth, yield and yield components of common bean (*Phaseolus vulgaris*). *Agricultural Science and Technology*, 6(1), 65-72.
- Erol, O., Enver, K., & Yusuf, D. (2018). Selection the best barley genotypes to multi and special environments by AMMI and GGE biplot models. *Fresenius Environmental Bulletin*, 27(7), 5179-5187.
- Fadhil, A. H., & Almasoody, M. M. M. (2019). Effect of spraying with gibberellic acid on growth and yield of three cultivars of broad bean (*Vicia faba* L.). *Ecology*, 46, 85-89.
- Gauch, Jr. H. G. (2006). Statistical analysis of yield trials by AMMI and GGE. *Crop Science*, 46, 1488-1500.
- Giovanaz, M. A., Fachinello, J. C., Spagnol, D., Weber, D., & Carra, B. (2016). Gibberellic acid reduces flowering and time of manual thinning in 'Maciel' peach trees. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 38, 1-9.
- Hoseinifard, M. S., Javid, M. G., Allahdadi, I., & Soltani, E. (2018). The effect of hormone priming and corm weight on the yield of flowers and characteristics of daughter corms of saffron in the first year. *Saffron agronomy and technology*, 6(1). 3-15.
- Ibrahim, M., Bekheta, M., El-Moursi, A., & Gaafar, N. (2007). Improvement of growth and seed yield quality of *Vicia faba* L. plants as affected by application of some bioregulators. *Basic and Applied Sciences*, 1(4), 657-666.
- Javid, M. G., Hoseinifard, M. S., Allahdadi, I., & Soltani, E. (2022). Hormonal priming with BAP and GA₃ induces improving yield and quality of saffron flower through promotion of carbohydrate accumulation in corm. *Journal of Plant Growth Regulation*, 1-11. <https://doi.org/10.1007/s00344-020-10286-y>
- Kanouni, H., Farayedi, Y., Sabaghpour, S. H., & Saeid, A. (2016). Assessment of

- genotype×environment interaction effect on seed yield of chickpea (*Cicer arietinum* L.) lines under rainfed winter planting conditions. *Crop Sciences*, 18(1), 63-75. (In Persian).
- Khan, M., Masroor, A., Gautam, C., Mohammad, F., Siddiqui, M., Naeem, H. M., & Nasir Khan, M. (2006). Effect of gibberellic acid spray on performance of tomato. *Turkish Journal of Biology*, 30(1), 11-16.
- Lee, I. J. (2003). Practical application of plant growth regulator on horticultural crops. *Horticulture Science*, 10, 211-217.
- Lin, S. Y., & Agehara, S. (2020). Exogenous gibberellic acid and cytokinin effects on budbreak, flowering, and yield of blackberry grown under subtropical climatic conditions. *HortScience*, 55(12), 1938-1945.
- Maggio, A., Barbieri, G., Raimondi, G., & Pascale, S. De. (2010). Contrasting effects of GA₃ treatments on tomato plants exposed to increasing salinity. *Plant Growth and Regulation*, 29(1), 63-72.
- Miceli, A., Moncada, A., Sabatino, L., & Vetrano, F. (2019). Effect of gibberellic acid on growth, yield, and quality of leaf lettuce and rocket grown in a floating system. *Agronomy*, 9(7), 382-404.
- Moradi, P., & Dadras, A. R. (2021). Investigation of different populations of tall festuca (*Festuca arundinacea*) under rainfed and irrigation conditions using graphical analysis of GGE biplot. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 51(4), 151-162.
- Noor, F., Hossain, F., & Ara, U. (2017). Effects of gibberellic acid (GA₃) on growth and yield parameters of French bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of the Asiatic Society of Bangladesh Science*, 43(1), 49-60.
- Rady, M. M., Boriek, S. H. K., Abd El-Mageed, T. A., Seif El-Yazal, M. A., Ali, E. F., Hassan, F. A. S., & Abdelkhalik, A. (2021). Exogenous gibberellic acid or dilute bee honey boosts drought stress tolerance in *Vicia faba* by rebalancing osmoprotectants, antioxidants, nutrients, and phytohormones. *Plants*, 10(4), 1-23.
- Rahman, A., Hussain, I., & Nabi, G. (2020). Exogenous gibberellic acid application influences on vegetative and reproductive aspects in gladiolus. *Ornamental Horticulture*, 26, 244-250.
- Rastogi, A., Siddiqui, A., Mishra, B. K., Srivastava, M., Pandey, R., Misra, P., Singh, M., & Shukla, S. (2013). Effect of auxin and gibberellic acid on growth and yield components of linseed (*Linum usitatissimum* L.). *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 13, 136-143.
- Sarparast, R., Sheikh, F., & Sowghi, H. A. (2011). Investigation of genotype and environment interaction and cluster analysis for seed yield in different lines of faba bean (*Vicia faba* L.). *Pulses Research*, 2(1), 99-106. (In Persian).
- Sau, F., & Mínguez, M. I. (2000). Adaptation of indeterminate faba beans to weather and management under a Mediterranean climate. *Field Crops Research*, 66(1), 81-99.
- Semida, W. M., Taha, R. S., Abdelhamid, M. T., & Rady, M. M. (2014). Foliar-applied α -tocopherol enhances salt-tolerance in *Vicia faba* L. plants grown under saline conditions. *South African Journal of Botany*, 95, 24-31.
- Shah, S., & Ahmad, I. (2006). Effect of gibberellic acid spray on growth, nutrient uptake and yield attributes during various growth stages of black cumin (*Nigella sativa* L.). *Plant Sciences*, 5, 881-884.
- Sugiura, D., Sawakami, K., Kojima, M., Sakakibara, H., Terashima, I., & Tateno, M. (2015). Roles of gibberellins and cytokinins in regulation of morphological and physiological traits in *Polygonum cuspidatum* responding to light and nitrogen availabilities. *Functional Plant Biology*, 42(4), 397-409.
- Temesgen, T., Keneni, G., Sefera, T., & Jarso, M., (2015). Yield stability and relationships among stability parameters in faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *The Crop Journal*, 3(3), 258-68.
- Thomas, S. G., Rieu, I., & Steber, C. M. (2005). Gibberellin metabolism and signaling.

Vitamins & hormones, 72, 289-338.

Yan, W. (2002). Singular- value partitioning in biplot analysis of multienvironment trial data. *Agronomy*, 94(5), 990-996.

Yan, W., & Tinker, N. A. (2006). Biplot analysis of multi-environment trial data: Principles and applications. *Plant Science*, 86(3), 623-645.



Investigating the agronomic value of two new bean cultivars applying for commercialization

Babak Darvishi^{1✉} | Enayat Rezvani² | Hosein Sadeghi³ | Mostafa Shakeri⁴ |
Hamed Nasiri Vatan⁵ | Mohammad Kavand⁶ | Shamsollah Yenkeje Farahani⁷ |
Mehran Sharafizad⁸

1. Corresponding Author, Department of seed certification, Seed and Plant Certification and Registration Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. E-mail: b.darvishi@spcri.ir
2. Department of seed certification, Seed and Plant Certification and Registration Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. E-mail: e.rezvani@areeo.ac.ir
3. Department of seed certification, Seed and Plant Certification and Registration Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. E-mail: h.sadeghi@areeo.ac.ir
4. Department of seed certification, Seed and Plant Certification and Registration Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. E-mail: mshakeri@ut.ac.ir
5. Department of seed certification, Agricultural and Natural Resources Research Center of Zanjan, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Zanjan, Iran. E-mail: h.nasirivatan@spcri.ir
6. Department of seed certification, Agricultural and Natural Resources Research Center of Markazi, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Arak, Iran. E-mail: m.kavand@areeo.ac.ir
7. Department of seed certification, Agricultural and Natural Resources Research Center of Markazi, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Arak, Iran. E-mail: sh.nikje@areeo.ac.ir
8. Department of seed certification, Seed and Plant Certification and Registration Institute, Agricultural Research, Education and Extension Organization, Karaj, Iran. E-mail: m.sharafizad@spcri.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 5 September 2022
Received in revised form
19 December 2022
Accepted 30 December 2022
Published online
20 September 2023

Keywords:

Bean
commercialization
compatibility
cultivar
cultivation value

ABSTRACT

Objective: This experiment was conducted to investigate the agricultural value of two new varieties of beans: Sepehr and Sembol, which were introduced by the private sector with the aim of registering the named varieties in the national list of plant varieties.

Methods: These cultivars (Sepehr and Sembol) along with 4 domestic control cultivars were studied in 3 locations (Karaj, Zanjan, and Khomein) based on complete randomized block design in 3 replications during two crop seasons (2019-2020 and 2020-2021).

Results: Results showed that flowering occurred significantly earlier in candidate cultivars (Sepehr and Sembol) than control cultivars (8 and 4 days respectively). As the same way, physiological seed ripening in candidate cultivars occurred earlier than control cultivars (8 and 10 days earlier than mean of other cultivars respectively). The number of seeds in the pods of Sepehr and Sembol candidate cultivars did not significantly differ from the control cultivars. Sepehr and Sembol cultivars produced larger seeds and hundred seeds weight of these cultivars was greatly higher than other cultivars (9.7 and 24.1 percent higher than mean of other cultivars respectively), but the seed yield in these two cultivars was significantly lower than control cultivars (19.89 and 18.27 percent lower than mean of other cultivars respectively).

Conclusion: Finally, the candidate cultivars Sepehr and Sembol can play an effective role as new germplasm in the country's bean production due to their erect type and ease of harvesting, early maturity and consumption of one to two times less water, marketability and production of larger seeds.

Cite this article: Darvishi, B., Rezvani, E., Sadeghi, H., Shakeri, M., Nasiri Vatan, H., Kavand, M., Yenkeje Farahani, Sh., & Sharafizad, M. (2023). Investigating the agronomic value of two new bean cultivars applying for commercialization. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 633-649. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.348230.2742>



بررسی ارزش زراعی دو رقم لوییای جدید متقاضی تجاری شدن

بابک درویشی^۱ | عنایت رضوانی^۲ | حسین صادقی^۳ | مصطفی شاکری^۴ | حامد نصیری وطن^۵ | محمد کاوند^۶ | شمس‌ا... ینکجه فراهانی^۷ | مهران شرفی‌زاد^۸

۱. نویسنده مسئول، بخش کنترل و گواهی بذر، مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: b.darvishi@spcrri.ir
۲. بخش کنترل و گواهی بذر، مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: e.rezvani@areeo.ac.ir
۳. بخش کنترل و گواهی بذر، مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: h.sadeghi@areeo.ac.ir
۴. بخش کنترل و گواهی بذر، مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: mshakeri@ut.ac.ir
۵. بخش کنترل و گواهی بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران. رایانامه: h.nasirivatan@spcrri.ir
۶. بخش کنترل و گواهی بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران. رایانامه: m.kavand@areeo.ac.ir
۷. بخش کنترل و گواهی بذر، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران. رایانامه: sh.nikje@areeo.ac.ir
۸. بخش کنترل و گواهی بذر، مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران. رایانامه: m.sharafizad@spcrri.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

هدف: این آزمایش به منظور بررسی ارزش زراعی دو رقم جدید لوییا به نام‌های سپهر و سمبل صورت گرفت که توسط بخش خصوصی و با هدف ثبت نام ارقام مذکور در فهرست ملی ارقام گیاهی معرفی شده‌اند.

روش پژوهش: این ارقام به همراه چهار رقم شاهد در سه منطقه مختلف (کرج، زنجان و خمین) و در هر منطقه در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار به مدت دو سال زراعی (۱۴۰۰-۱۳۹۹ و ۱۳۹۹-۱۳۹۸) مورد بررسی قرار گرفتند.

یافته‌ها: نتایج بررسی صفات نشان داد که گلدهی در ارقام کاندید سپهر و سمبل به طور معنی‌داری زودتر از ارقام شاهد (به ترتیب هشت و چهار روز زودتر از میانگین ارقام شاهد) اتفاق افتاد. به همین ترتیب رسیدگی فیزیولوژیک بذر در ارقام سپهر و سمبل به ترتیب هشت و ۱۰ روز زودتر از میانگین ارقام شاهد صورت گرفت. تعداد بذر در غلاف ارقام کاندید سپهر و سمبل تفاوت معنی‌داری با ارقام شاهد نداشت. ارقام سپهر و سمبل دانه‌های درشت‌تری تولید کردند و وزن صدانه این ارقام به طور معنی‌داری بالاتر بود (به ترتیب ۹/۷ و ۲۴/۱ درصد بالاتر از میانگین سایر ارقام)، ولی عملکرد دانه در این دو رقم نسبت به ارقام شاهد به طور معنی‌داری کم‌تر بود (به ترتیب ۱۹/۸۹ و ۱۸/۲۷ درصد کم‌تر از میانگین سایر ارقام).

نتیجه‌گیری: در نهایت ارقام کاندید سپهر و سمبل به دلیل تیپ ایستاده و سهولت برداشت، زودرس بودن و مصرف یک تا دو نوبت آب کم‌تر و بازاری‌پسندی و تولید دانه‌های درشت‌تر می‌توانند به عنوان ژرم‌پلاسم‌های جدید در تولید حیوانات کشور نقش مؤثری ایفا نمایند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۰۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

کلیدواژه‌ها:

ارزش زراعی

تجاری‌سازی

رقم

سازگاری

لوییا

استناد: درویشی، بابک؛ رضوانی، عنایت؛ صادقی، حسین؛ شاکری، مصطفی؛ نصیری وطن، حامد؛ کاوند، محمد؛ ینکجه فراهانی، شمس‌ا...؛ و شرفی‌زاد، مهران (۱۴۰۲). بررسی ارزش زراعی دو رقم لوییای جدید متقاضی تجاری شدن. *برزرای کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۶۳۳-۶۴۹.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.348230.2742>



۱. مقدمه

تنوع اقلیمی کشور و تغییرات گسترده شرایط اقلیمی در اراضی زراعی سبب شده است که نیاز به تنوع ارقام قابل کشت ضرورت یافته و از الزام جدی برخوردار باشد. سیاست‌گذاری جدید مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال مبنی بر فراهم‌نمودن امکان معرفی ارقام جدید حبوبات توسط بخش خصوصی منجر به توسعه معرفی ارقام جدید این گروه محصولی در سال‌های اخیر شده است. از این رو، ضروری است که ارقام معرفی شده طی آزمون ارزش زراعی مورد ارزیابی قرار گرفته و پتانسیل تولید و ارزش زراعی آن‌ها در اقلیم‌های متنوع زراعی ایران بررسی گردد تا پس از حصول اطمینان از برتری آن‌ها در یک یا چند صفت مهم و موردنیاز کشور، شرایط تولید و تکثیر بذر آن‌ها در داخل کشور فراهم گردد. تولید ارقام اصلاح‌شده لوبیا با خصوصیات مطلوب از جمله عملکرد بالاتر، دانه درشتی و شکل مناسب دانه با بازارپسندی بالا، متحمل به تنش‌های محیطی و تیپ رشد ایستاده و مناسب برای برداشت مکانیزه از جمله مهم‌ترین اهداف اصلاحی در معرفی ارقام جدید لوبیا بوده و در آزمون ارزش زراعی این محصول موردتوجه هستند.

هدف از این پژوهش ارزیابی دو رقم جدید لوبیا چیتی در مهم‌ترین اقلیم‌های کشت لوبیا در ایران و مقایسه عملکرد و سایر ویژگی‌های مهم زراعی این ارقام با ارقام موجود در فهرست ملی ارقام گیاهی براساس صفات ذکرشده در دستورالعمل آزمون ارزش زراعی لوبیا بوده است تا ارزش زراعی ارقام مورد مطالعه در هر یک از اقلیم‌های کشت لوبیا در کشور مشخص شود و در صورتی که هر یک از ارقام جدید معرفی شده توسط بخش خصوصی بتواند در یک (یا چند) منطقه از مناطق مورد مطالعه، در یک (یا چند) صفت مهم موردنظر برتری خود را نشان دهد، بتوان از طریق واردنمودن نام رقم موردنظر در فهرست ملی ارقام گیاهی امکان تکثیر و تولید آن رقم در کشور را فراهم نمود.

۲. پیشینه پژوهش

لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.) از قدیمی‌ترین گیاهان زراعی است که به‌طور عمده سه نوع رنگی آن (سفید، قرمز و چیتی) در ایران کشت می‌شود (قنبری، ۱۳۹۱). سطح زیرکشت لوبیا در ایران در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ حدود ۱۰۸ هزار هکتار و میزان تولید این محصول بیش از ۲۴۹ هزار تن با متوسط عملکرد ۲۳۸۹ کیلوگرم در هکتار برآورد شده است (احمدی و همکاران، ۱۳۹۹). سطح زیرکشت جهانی لوبیا در سال ۲۰۱۴ حدود ۲۶/۵ میلیون هکتار با متوسط عملکرد ۶۹۷ کیلوگرم در هکتار گزارش شده است (FAO, 2014). تنوع بالای ژنتیکی در لوبیا سبب ایجاد تنوع فنوتیپی از نظر عادت رشد (محدود یا نامحدود)، ویژگی‌های رویشی، رنگ گل، اندازه، شکل و رنگ غلاف‌ها و بذر در گونه‌های این گیاه زراعی شده است (Goncalves Ceolin et al., 2007). این تنوع گسترده ژنتیکی و فنوتیپی دست اصلاحگران را در معرفی ارقام پرمولکودتر لوبیا باز گذاشته است. گزارش شده است که در شرایط محیطی متفاوت، ژنوتیپ‌های مختلف یک گیاه واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند و ژنوتیپی که در یک منطقه عملکرد بالاتری دارد ممکن است در مناطق دیگر چنین مزیتی نداشته باشد (فرشادفر، ۱۳۷۷). با استفاده از این تنوع می‌توان پس از ارزیابی ژنوتیپ‌ها در مکان‌های مختلف آزمایشی، رقم مناسب برای هر منطقه را معرفی کرد (Awan et al., 2014). بنابراین با توجه به تنوع ژنتیکی گسترده لوبیا، ارزیابی عملکرد و اجزای عملکرد ژنوتیپ‌های این محصول زراعی در مناطق مختلف امری ضروری به‌نظر می‌رسد. گزارش شده است که ژنوتیپ‌های مختلف لوبیا در مناطق مختلف از نظر عملکرد تفاوت چشم‌گیری با یکدیگر دارند (Gomez et al., 2004). با توجه به این که عملکرد تحت تأثیر عوامل متعدد ژنتیکی و محیطی قرار دارد، برای ارتقای عملکرد لازم است پس از شناسایی و تعیین سهم نسبی هر یک از عوامل بهبوددهنده عملکرد، برنامه‌های اصلاحی مربوط به ارتقای عملکرد سازماندهی شوند (Goncalves Ceolin et al., 2007). در پژوهش دیگری روی ۸۹

ژنوتیپ لوبیا، گزارش شد که صفات تعداد گل، تعداد غلاف در بوته، تعداد دانه در غلاف و وزن صدانه بیش‌ترین عوامل مؤثر در عملکرد بودند به‌طوری‌که بیش از ۷۸ درصد از کل تغییرات را توجیه نمودند (کشاورزها و همکاران، ۱۳۹۲). رقم صدری اولین رقم لوبیا چیتی دانه درشت در ایران با تیپ بوته رونده است که در سال ۱۳۸۹ معرفی شده است (بیضایی و همکاران، ۱۳۹۱). براساس نتایج آزمون الایزا گزارش شده است که این رقم نسبت به ویروس موزائیک معمولی نکروتیک لوبیا (BCMV) حساس بوده اما در برابر سوش ویروس‌های BCMV و CMV مقاوم است (شهرآیین و همکاران، ۱۳۹۷). این رقم نسبت به بیماری سوختگی باکتریایی و آفت کنه دو نقطه‌ای حساس تشخیص داده شد (بیضایی و همکاران، ۱۳۹۱). رقم کوشا یک رقم لوبیا چیتی دانه درشت با تیپ بوته ایستاده رشد نامحدود است که در سال ۱۳۹۳ معرفی شده است. این رقم نسبت به آفت کنه دو نقطه‌ای متحمل و نسبت به ویروس‌های BCMV و CMV نیمه‌مقاوم است (کمانکش و شفییعی، ۱۳۹۷).

رقم غفار یک رقم لوبیا چیتی دانه درشت با تیپ بوته ایستاده رشد نامحدود (نیمه‌رونده) است که در سال ۱۳۹۴ معرفی شده و نسبت به ارقام موجود به‌طور متوسط ۲۰ درصد افزایش عملکرد را نشان داد (قنبری و همکاران، ۱۳۹۵). غفار جزو ژنوتیپ‌های مقاوم به خسارت و جمعیت کنه تارتن دولکه‌ای بوده و در عین حال به بیماری سوختگی باکتریایی معمولی لوبیا نیمه‌حساس است (دری و همکاران، ۱۳۹۵). رقم صالح یک رقم لوبیا چیتی دانه درشت و زودرس با تیپ بوته رونده و رشد نامحدود است که در سال ۱۳۹۵ معرفی شده است. این رقم نسبت به آفت کنه دو نقطه‌ای و نسبت به ویروس‌های BCMV و CMV حساس است (کمانکش و شفییعی، ۱۳۹۷).

۳. روش‌شناسی پژوهش

قبل از اجرای آزمایش، به‌منظور تعیین نیازهای کودی لوبیا در مناطق مورد مطالعه، نمونه‌ای مرکب از خاک مزرعه انتخاب شد و به‌منظور تعیین خصوصیات فیزیکی- شیمیایی آن، به آزمایشگاه خاک‌شناسی مؤسسه تحقیقات خاک و آب ارسال گردید که نتایج آن در جدول (۱) نشان داده شده است.

جدول ۱. خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه خاک، مختصات جغرافیایی و ارتفاع از سطح دریا در مناطق مورد مطالعه

تاریخ کشت	خصوصیات فیزیکوشیمیایی نمونه خاک							مناطق مطالعه		
	ارتفاع از سطح دریا (متر)	مختصات جغرافیایی	نیترژن کل (درصد)	کربن آلی (درصد)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	اسیدیته خاک			
سال ۱	سال ۲									
۱۴۰۰/۲/۲۰	۹۹/۳/۱۰	۱۳۵۰	۳۵° ۳۵' ۸۰" N ۵۰° ۹۷' ۲۰" E	۲۸۳/۲	۱۱	-/۱۱	۱/۰۵	۱/۴۵	۷/۸۸	لومی کرج
۱۴۰۰/۳/۱۰	۹۹/۳/۱۵	۱۹۳۰	۳۳° ۱۵' ۲۰" N ۴۹° ۵۷' ۱۸" E	۳۳۳/۰	۱۴/۴	-/۰۵	-/۴۸	۰/۹	۸/۱۰	لومی خمین
۱۴۰۰/۳/۲۳	۹۹/۳/۲۲	۱۷۸۳	۳۶° ۵۶' ۳۱" N ۴۸° ۴۵' ۳۴" E	۳۷۲/۰	۱۳/۲	-/۰۵	-/۵۴	۰/۵۶	۷/۴۰	رسی زنجان

پس از انجام عملیات زراعی شامل شخم پاییزه و بهاره، دیسک، لولر و کوددهی براساس نیاز غذایی خاک، زمین آزمایشی به‌طور مشابه در سه منطقه کرج، زنجان و خمین آماده شد و نقشه کاشت آزمایش براساس طرح بلوک‌های کامل تصادفی شامل شش رقم با سه تکرار اجرا شد. هر کرت شامل پنج خط پنج متری با فواصل بین ردیف ۵۰

سانتی متر و بین بوته ۳۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. بذور دو رقم جدید لوبیا چیتی (سپهر و سمبل) به همراه چهار رقم شاهد (غفار، صالح، صدری و کوشا) در سه منطقه یادشده در کرت‌های مربوطه کشت شدند. کشت در اواسط اردیبهشت‌ماه سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ در مناطق سه‌گانه مورد مطالعه انجام شد. عملیات داشت شامل وجین علف‌های هرز، مقابله با آفات (در صورت لزوم) و آبیاری در طول دوره رشد گیاه صورت گرفت. یادداشت‌برداری از خصوصیات مهم زراعی نظیر طول دوره گلدهی (در زمان گلدهی ۵۰ درصد بوته‌های هر کرت)، ارتفاع بوته (در زمان برداشت و از سطح خاک تا بالاترین نقطه گیاه در ساقه اصلی)، تعداد غلاف در بوته (پیش از برداشت)، تعداد دانه در غلاف (پیش از برداشت) و طول دوره رسیدگی فیزیولوژیک (در زمان خشک شدن اولین غلاف بوته) در طول دوره رشد گیاه براساس دستورالعمل آزمون ارزش زراعی لوبیا انجام شد. این اندازه‌گیری‌ها بر مبنای ارزیابی ۲۰ گیاه تصادفی از هر کرت صورت گرفت. برای برآورد عملکرد ۰/۵ متر از ابتدا و انتهای هر کرت به اضافه دو ردیف حاشیه‌ای حذف شده و مابقی مساحت هر کرت به‌عنوان عملکرد کرت ثبت شد. پس از اندازه‌گیری و ثبت صفات مزرعه‌ای، صفاتی هم‌چون وزن صدانه اندازه‌گیری و یادداشت‌برداری گردید. قبل از تجزیه واریانس، آزمون نرمال بودن داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و آزمون یکنواختی واریانس اشتباهات آزمایشی براساس آزمون بارتلت^۱ انجام گردید. سپس تجزیه واریانس مرکب برای دو سال و چهار منطقه انجام شد. برای طراحی شکل‌ها از نرم‌افزار Excel، برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و برای مقایسه میانگین صفات مورد مطالعه از آزمون مقایسه میانگین چند دامنه‌ای دانکن^۲ در سطح احتمال پنج درصد استفاده شد.

داده‌های سری زمانی دما و بارش روزانه مربوط به سه ایستگاه هواشناسی همدیدی در سه منطقه مورد مطالعه در دوره زمانی دو ساله (از مهرماه ۱۳۹۸ تا مهرماه ۱۴۰۰) از سازمان هواشناسی کشور اخذ و با استفاده از میانگین داده‌های روزانه هر یک از ایستگاه‌ها، میانگین مجموع بارندگی سالیانه و میانگین درجه حرارت سالیانه برای هر یک از مناطق مورد مطالعه تعیین و منطقه‌بندی اقلیمی مناطق مورد مطالعه نیز با استفاده از این داده‌ها و به‌روش کوپن-گایگر^۳ انجام شد (رضیئی، ۱۳۹۶). بر این اساس منطقه کرج با میانگین مجموع بارندگی سالیانه ۳۷۳ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالیانه ۱۵/۶ درجه سانتی‌گراد دارای اقلیم معتدل سرد، منطقه زنجان با میانگین مجموع بارندگی سالیانه ۲۶۰ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالیانه ۱۰/۱ درجه سانتی‌گراد دارای اقلیم سرد، منطقه خمین با میانگین مجموع بارندگی سالیانه ۲۵۸ میلی‌متر و میانگین درجه حرارت سالیانه ۱۴/۵ درجه سانتی‌گراد دارای اقلیم معتدل سرد می‌باشند. آمار هواشناسی مناطق مورد مطالعه در ماه‌های دوره رشد از سال‌های زراعی ۱۳۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در جدول (۲) نشان داده شده است.

جدول ۲. آمار هواشناسی مناطق مورد مطالعه در ماه‌های دوره رشد از سال‌های زراعی ۱۳۹۷-۹۸ و ۱۳۹۸-۹۹

سال	۱۳۹۹		۱۳۹۹		۱۳۹۹		۱۴۰۰		۱۴۰۰	
	مهر	شهریور	مهر	شهریور	مهر	شهریور	مهر	شهریور	مهر	شهریور
کرج	مجموع بارندگی (میلی‌متر)	۰	۱/۲	۲	۰	۳۲/۵	۹/۵	۳/۴	۰/۹	۰
	میانگین دما (سانتی‌گراد)	۲۳/۲	۲۵/۳	۲۶/۹	۲۳/۰	۲۱/۸	۲۵/۴	۲۶/۶	۲۷/۸	۲۴/۶
خمین	مجموع بارندگی (میلی‌متر)	۰	۰/۹	۰	۰	۲۰/۱	۱/۵	۰/۳	۰/۳	۰
	میانگین دما (سانتی‌گراد)	۲۲/۳	۲۴/۹	۲۶/۷	۲۱/۹	۱۵/۶	۲۴/۱	۲۶/۹	۲۶/۴	۲۳/۹
زنجان	مجموع بارندگی (میلی‌متر)	۶/۹	۵/۲	۶/۴	۰	۱۲/۳	۱۲/۴	۶/۲	۳۶/۹	۰/۲
	میانگین دما (سانتی‌گراد)	۱۸/۷	۲۰/۷	۲۲/۲	۱۸/۲	۱۱/۴	۳۰/۸	۳۳/۷	۲۲/۴	۱۹/۶

۱. Bartlett's Test

۲. Duncan's multiple range test

۳. Köppen-geiger

۴. یافته‌های پژوهشی

بر اساس نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تأثیر سال، مکان، رقم و اثر متقابل این فاکتورها بر طول دوره گلدهی بوته‌های لوبیا معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسه میانگین صفت طول دوره گلدهی در سطوح اثر متقابل فاکتورهای مورد مطالعه (سال، مکان و رقم) نشان داد که ارقام لوبیا در سال دوم به‌طور معنی‌داری زودتر از سال اول به گل رفتند (جدول ۴). گلدهی ارقام لوبیا به‌ترتیب در زنجان، خمین و کرج صورت گرفت و مکان‌های مورد مطالعه از این نظر تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند. در بین ارقام مورد مطالعه نیز گلدهی در ارقام کاندید سپهر و سمبل به‌طور معنی‌داری زودتر از سایر ارقام اتفاق افتاد (به‌ترتیب هشت و چهار روز زودتر از میانگین سایر ارقام)، در حالی که رقم غفار دیرگل‌ترین رقم با متوسط ۵۹/۷ روز طول دوره گلدهی بود (جدول ۴). رفتار متفاوت سایر ارقام از نظر طول دوره گلدهی در سال‌ها و مکان‌های مورد مطالعه (که ناشی از تنوع ژنتیکی گسترده در ارقام لوبیاست) سبب معنی‌دار شدن اثر متقابل مربوطه شده است. رقم صالح در سال نخست در منطقه کرج هم‌زمان با ارقام صدری و کوشا وارد مرحله گلدهی شد، در حالی که در دو منطقه دیگر (خمین و زنجان) زودتر از ارقام یادشده به گل رفت. در سال دوم گلدهی ارقام صالح، صدری و کوشا در مناطق کرج و خمین هم‌زمان بود، در حالی که در منطقه زنجان گلدهی ارقام صالح و صدری زودتر از رقم کوشا صورت گرفت.

جدول ۳. خلاصه تجزیه واریانس میانگین مربعات صفات مورد مطالعه در ارقام لوبیا

منابع تغییرات	درجه آزادی	طول دوره گلدهی	فیزیولوژیک	طول دوره رسیدگی	ارتفاع بوته	ارتفاع اولین غلاف	تعداد شاخه فرعی	تعداد غلاف در بوته	تعداد بذر در غلاف	تعداد بذر در گیاه	وزن صدانه	عملکرد دانه	ریزش دانه
سال	۱	۱۷۸/۱۶**	۱۸۱/۰۸**	۱۲۸/۷۴ns	۱۳/۱۴**	۲/۳۳**	۱۷۸/۱۱**	۱/۳۵ns	۵۱۸/۰۲*	۳/۱۹ns	۳۹۴۳۱/۴۵**	۰/۰۳۳ns	
مکان	۲	۸۱/۷۸**	۶۷۴/۹۶**	۱۲۱/۵۰ns	۱۰/۷۷**	۳/۴۳**	۱۴/۸۹*	۲/۶۹*	۸۴۱/۴۳**	۱۳۳/۴۰**	۱۸۳۳۶/۱۶*	۰/۰۷۵ns	
سال × مکان	۲	۳۶/۸۸**	۲۳۳/۱۳**	۹۲۱/۳۹**	۲۹/۳۳**	۴/۰۹**	۱۵۸/۸۹**	۲/۷۲*	۹۶۸/۴۸**	۲/۵۸ns	۱۷۳۳۳/۴۵*	۰/۳۲۰ns	
بلوک (سال × مکان)	۶	۶/۹۷	۱/۲۰	۱۱۹/۲۹	۹/۴۲	۰/۲۴	۴/۶۲	۰/۳۵	۳۳/۶۴	۱۹/۸۸	۶۲۲۹/۹۱	۰/۱۵۲	
رقم	۵	۳۸۸/۸۹**	۵۳۹/۶۵**	۱۸۹۱۵/۶۴**	۶۹/۱۶**	۶/۸۰**	۶/۴۴ns	۲/۳۵**	۵۶۹/۱۱**	۳۲۵/۷۴**	۵۳۶۱۵/۳۹**	۳۳/۱۱۰**	
سال × رقم	۵	۹/۸۳**	۲۶/۸۵**	۴۷۸/۸۰**	۴۵/۲۸**	۱/۰۱**	۴۰/۴۳**	۲/۵۴**	۲۲۷/۶۳ns	۳۶/۹۷**	۱۸۹۰۸/۲۳**	۰/۰۵۹ns	
مکان × رقم	۱۰	۵۵/۸۶**	۹۹/۰۲**	۵۲۷/۴۷**	۹/۶۰**	۲/۱۳**	۶۹/۱۵**	۱/۰۶ns	۶۴۷/۰۴**	۵۵/۷۵**	۳۳۷۵۷/۳۶**	۰/۱۷۲ns	
سال × مکان × رقم	۱۰	۵/۹۵**	۲۸/۵۱**	۲۴۹/۱۸**	۱۲/۱۱**	۳/۱۴**	۸۰/۱۱**	۱/۳۸*	۴۰۳/۹۳**	۴۰/۱۴**	۲۱۹۵۳/۴۳**	۰/۰۶۴ns	
خطا	۶۶	۲/۰۶	۳/۸۴	۹۲/۷۱	۳/۳۷	۰/۲۷	۳/۱۰	۰/۵۵	۱۰۹/۸۶	۹/۴۹	۳۹۵۸/۳۶	۰/۲۶۸	
ضریب تغییرات (درصد)	-	۲/۷۶	۲/۰۲	۱۲/۲۱	۱۲/۲۱	۱۲/۲۶	۱۵/۸۲	۱۷/۴۲	۳۲/۵۲	۷/۱۲	۲۱/۴۹	۱۸/۳۰	

ns: * و ** به‌ترتیب نبود اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

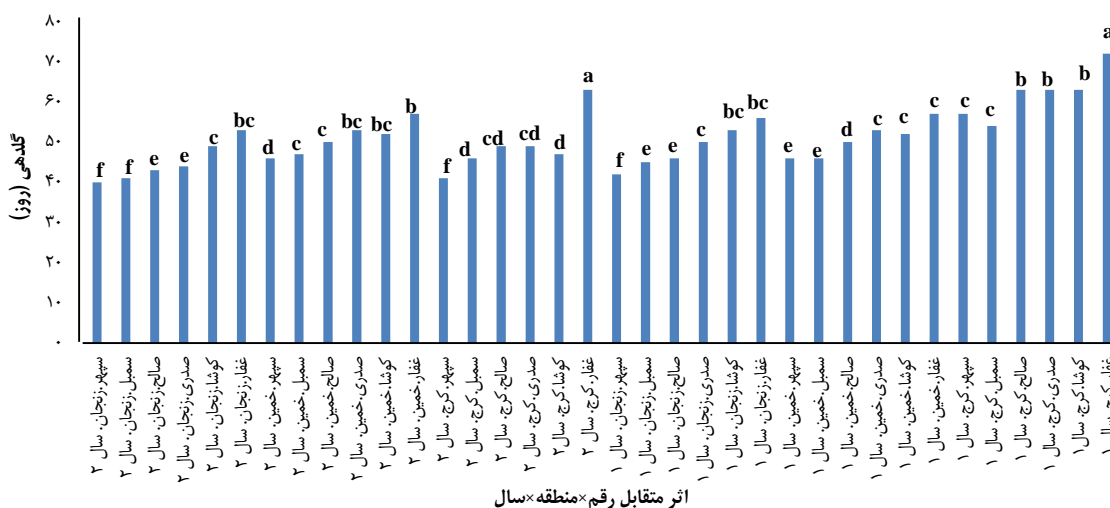
مقایسه میانگین صفت طول دوره گلدهی در سطوح اثر متقابل رقم × منطقه × سال نشان داد که در هر دو سال و در هر سه منطقه مورد مطالعه ارقام کاندید سمبل و سپهر به‌طور معنی‌داری زودتر از سایر ارقام وارد مرحله گلدهی شده‌اند (شکل ۱). مقایسه میانگین صفت طول دوره رسیدگی فیزیولوژیک در سطوح فاکتورهای مورد مطالعه (سال، مکان و رقم) نشان داد که بذر ارقام لوبیا در سال دوم به‌طور معنی‌داری زودتر از سال اول رسیده است (جدول ۴). بنابراین گلدهی زودتر در سال دوم نسبت به سال اول به رسیدگی فیزیولوژیک زودتر در سال دوم منجر شده است. رسیدگی فیزیولوژیک بذر ارقام لوبیا به‌ترتیب در زنجان، خمین و کرج صورت گرفت و مکان‌های مورد مطالعه از این نظر تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند (شکل ۲). مقایسه میانگین صفت طول دوره رسیدگی فیزیولوژیک در سطوح اثر متقابل رقم × منطقه × سال نشان داد که در هر دو سال و در هر سه منطقه مورد مطالعه بذر ارقام کاندید سمبل و سپهر به‌طور معنی‌داری زودتر از سایر

ارقام وارد مرحله رسیدگی فیزیولوژیک شده‌اند. طول دوره رسیدگی فیزیولوژیک بذر سایر ارقام در سال‌ها و مکان‌های مورد مطالعه متفاوت بوده و این موضوع سبب معنی‌دار شدن اثر متقابل مربوطه شده است. در زنجان و در هر دو سال، رسیدگی فیزیولوژیک رقم صالح زودتر از ارقام صدری و کوشا بوده است. در کرج و در سال نخست آزمون، رسیدگی فیزیولوژیک هر سه رقم هم‌زمان صورت گرفت در حالی که در سال دوم ارقام صالح و کوشا زودتر از رقم صدری وارد مرحله رسیدگی بذر شدند. در منطقه خمین و در سال اول آزمون بذر رقم صالح دیرتر از ارقام صدری و کوشا رسید در حالی که در سال دوم در این منطقه هر سه رقم هم‌زمان وارد مرحله رسیدگی فیزیولوژیک شدند (شکل ۲).

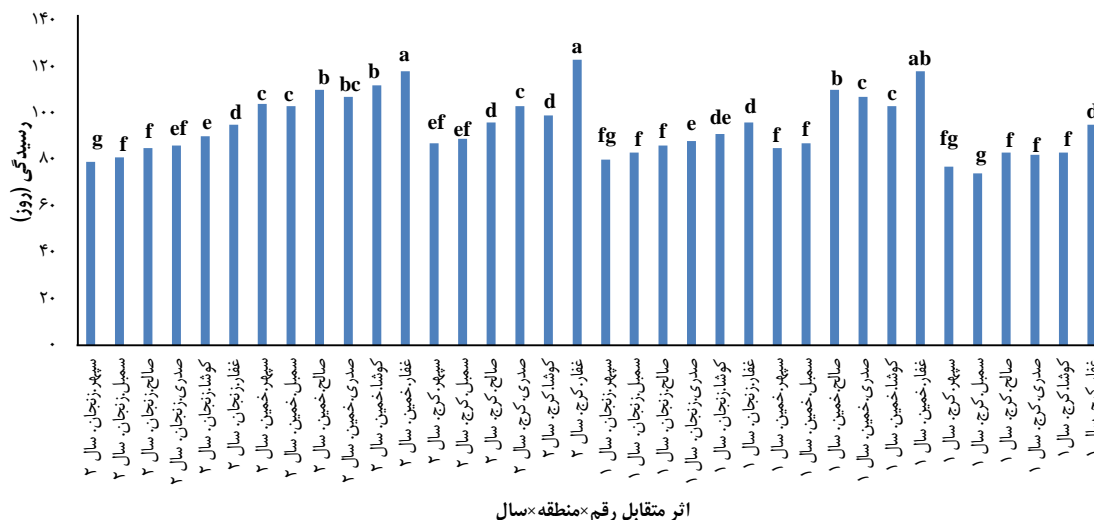
جدول ۴. مقایسه میانگین صفات در سطوح فاکتورهای مورد مطالعه

فاکتورهای مورد مطالعه	سطح	میانگین صفات مورد مطالعه										
		ریشش دانه (درصد)	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار)	وزن صدانه (گرم)	تعداد بذر در گیاه	تعداد بذر در غلاف	تعداد غلاف در بوته	تعداد شاخه فرعی	ارتفاع اولین غلاف (سانتی‌متر)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	طول دوره رسیدگی فیزیولوژیک (روز)	طول دوره گلدهی (روز)
سال	اول	۲/۸۱ a	۳۵۹۰/۱۱ a	۴۳/۹۶ a	۵۳/۸۹ a	۳/۹۵ b	۱۵/۱۶ a	۴/۷۷ a	۱۳/۱۵ b	۷۹/۲۲ a	۱۰۰/۲۲ a	۵۴/۵۱ a
	دوم	۲/۸۵ a	۲۲۶۰/۲۷ b	۴۲/۵۱ b	۳۹/۱۵ b	۴/۵۸ a	۷/۱۲ b	۳/۷۶ b	۱۵/۶۱ a	۷۸/۴۳ a	۹۳/۳۱ b	۴۹/۲۸ b
مکان	کرج	۲/۸۳ a	۳۷۹۰/۶۳ a	۴۰/۶۵ b	۶۱/۳۶ a	۵/۱۹ a	۱۱/۴۸ b	۵/۰۴ a	۱۲/۹۷ b	۸۱/۰۰ a	۱۱۰/۰۰ a	۵۵/۶۱ a
	خمین	۲/۸۶ a	۲۷۷۰/۹۲ b	۴۱/۲۰ b	۳۵/۳۴ c	۳/۹۸ b	۸/۷۶ c	۳/۸۵ b	۱۷/۰۸ a	۸۳/۵۷ a	۹۳/۳۸ b	۵۲/۶۶ b
مکان	زنجان	۲/۸۱ a	۲۲۰۰/۵۱ c	۴۷/۸۴ a	۴۲/۸۷ b	۳/۶۳ b	۱۳/۱۸ a	۳/۹۰ b	۱۳/۰۸ b	۷۱/۸۸ b	۸۶/۹۱ c	۴۷/۴۱ c
	کوشا	۲/۶۶ c	۳۷۹۰/۴۸ a	۴۳/۱۳ b	۵۱/۹۸ a	۴/۳۱ a	۱۲/۳۶ a	۳/۹۵ bc	۱۵/۱۰ b	۸۴/۵۸ c	۹۵/۱۱ b	۵۲/۸۳ b
مکان	غفار	۱/۶۶ e	۲۴۲۰/۵۶ d	۴۱/۹۹ b	۴۱/۶۴ b	۳/۶۲ b	۱۰/۸۳ b	۴/۲۹ b	۱۷/۴۱ a	۱۲۱/۲۲ a	۱۰۷/۶۱ a	۵۹/۷۷ a
	صدری	۲/۱۱ d	۲۹۴۰/۹۴ bc	۳۸/۷۸ c	۵۲/۴۸ a	۴/۷۰ a	۱۰/۹۵ b	۳/۹۸ bc	۱۵/۳۸ b	۹۳/۱۱ b	۹۵/۷۷ b	۵۲/۱۱ b
رقم	صالح	۱/۵۵ e	۳۳۳۰/۴۰ b	۴۱/۷۲ b	۴۸/۹۹ a	۴/۴۴ a	۱۰/۷۸ b	۳/۷۵ c	۱۳/۰۲ c	۹۳/۷۶ b	۹۵/۱۱ b	۵۰/۴۴ c
	سپهر	۴/۷۳ a	۲۵۰۰/۲۳ d	۴۶/۴۱ a	۳۸/۶۸ b	۴/۱۶ a	۱۱/۰۵ b	۴/۱۵ b	۱۳/۳۱ c	۳۹/۵۷ d	۹۰/۰۰ c	۴۵/۴۴ d
رقم	سمبل	۴/۲۷ b	۲۵۵۰/۵۱ c	۵۱/۳۷ a	۴۵/۳۷ ab	۴/۳۷ a	۱۰/۸۶ b	۵/۴۶ a	۱۲/۰۴ c	۴۰/۶۷ d	۸۸/۰۰ c	۵۰/۷۷ c

حروف مشترک در سطوح هر فاکتور مورد مطالعه نشان‌دهنده عدم وجود تفاوت معنی‌دار می‌باشد.



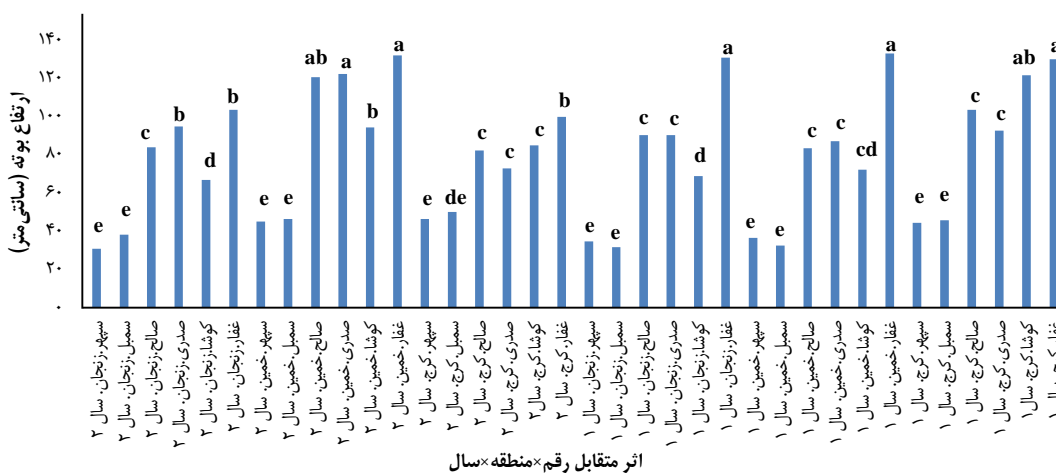
شکل ۱. مقایسه میانگین طول دوره گلدهی در سطوح اثر متقابل رقم × منطقه × سال (منبع: یافته‌های پژوهش) حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



اثر متقابل رقم × منطقه × سال

شکل ۲. مقایسه میانگین طول دوره رسیدگی فیزیولوژیک در سطوح اثر متقابل رقم × منطقه × سال (منبع: یافته‌های پژوهش) حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

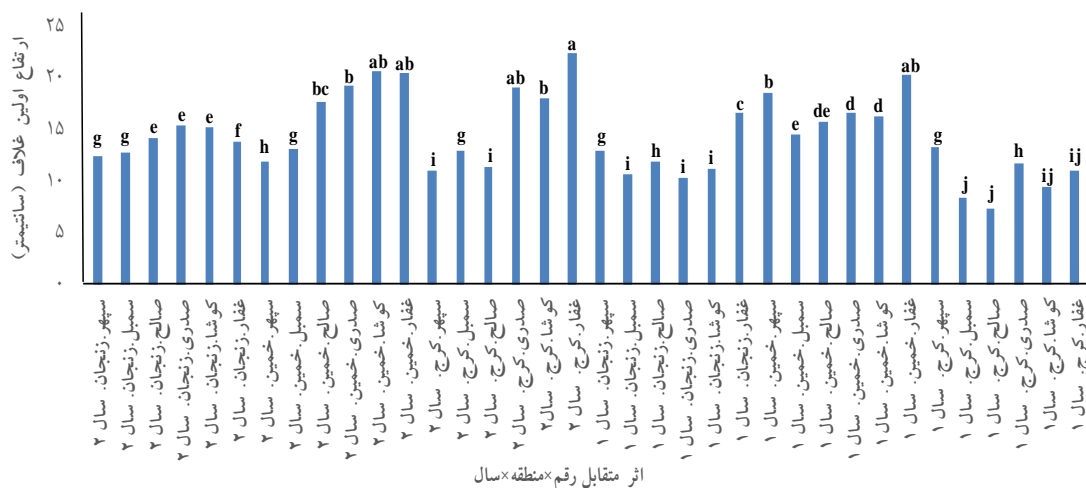
مقایسه میانگین صفت ارتفاع بوته در سطوح فاکتورهای مورد مطالعه (سال، مکان و رقم) نشان داد که میانگین ارتفاع ارقام لوبیا در سال‌های اول و دوم مطالعه تفاوت معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (جدول ۴). میانگین ارتفاع ارقام لوبیا در کرج و خمین به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از میانگین ارتفاع بوته‌های لوبیا در زنجان بود (جدول ۴). در بین ارقام مورد مطالعه نیز ارقام کاندید سپهر و سمبل به‌طور معنی‌داری کوتاه‌تر (به‌ترتیب ۵۹/۷ و ۵۸/۳ درصد کوتاه‌تر از میانگین سایر ارقام) از سایر ارقام بودند (جدول ۴). مقایسه میانگین صفت ارتفاع بوته در سطوح اثر متقابل رقم × منطقه × سال نشان داد که در هر دو سال و در هر سه منطقه مورد مطالعه ارتفاع ارقام کاندید سمبل و سپهر به‌طور معنی‌داری کوتاه‌تر از سایر ارقام بود. رقم غفار در هر دو سال و در هر سه مکان مورد مطالعه بالاترین ارتفاع بوته را داشت ولی ارتفاع ارقام کوشا، صدری و صالح در سال‌ها و مکان‌های مطالعه رفتار متفاوتی داشتند و این موضوع سبب معنی‌دار شدن اثر متقابل مربوطه شده است (شکل ۳).



اثر متقابل رقم × منطقه × سال

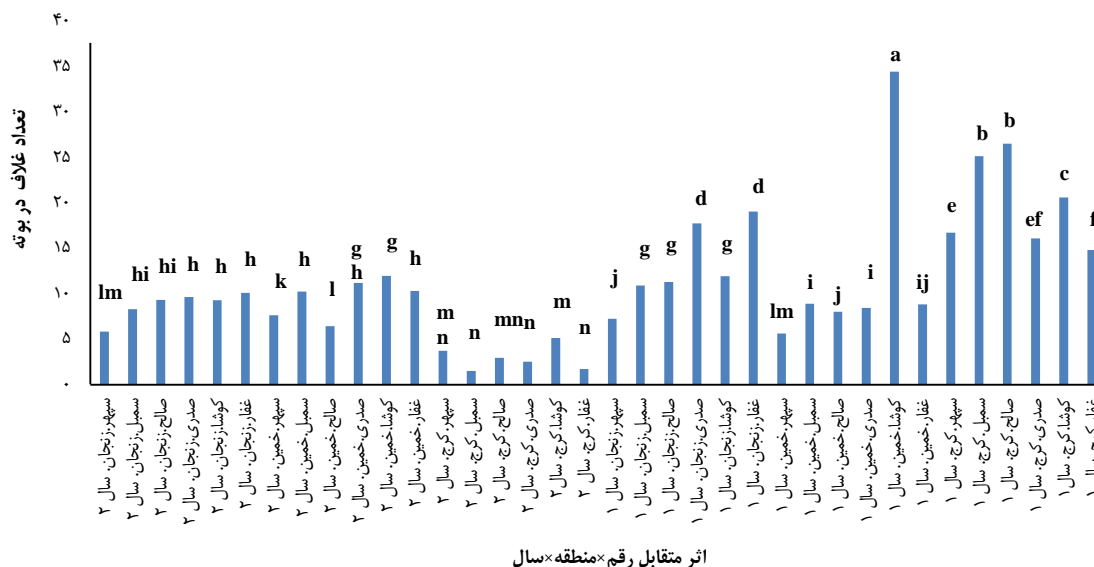
شکل ۳. مقایسه میانگین ارتفاع بوته در سطوح اثر متقابل رقم × منطقه × سال (منبع: یافته‌های پژوهش) حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

مقایسه میانگین صفت ارتفاع اولین غلاف در سطوح فاکتورهای مورد مطالعه (سال، مکان و رقم) نشان داد که میانگین ارتفاع اولین غلاف ارقام لوبیا در سال دوم به طور معنی داری بیش تر از سال اول مطالعه بوده است (جدول ۴). میانگین ارتفاع اولین غلاف ارقام لوبیا در خمین به طور معنی داری بیش تر از میانگین ارتفاع اولین غلاف بوته های لوبیا در زنجان و کرج بود (جدول ۴). در بین ارقام مورد مطالعه نیز رقم غفار بالاترین ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین را داشت، در حالی که ارقام کاندید سپهر و سمبل به همراه رقم صالح پایین ترین ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین را داشتند (جدول ۴). ارتفاع اولین غلاف در ارقام کاندید سپهر و سمبل به ترتیب ۱۲/۵ و ۲۰/۹ درصد کوتاه تر از میانگین سایر ارقام مورد مطالعه بود. مقایسه میانگین صفت ارتفاع اولین غلاف بوته در سطوح اثر متقابل رقم × منطقه × سال نشان داد که در سال نخست در کرج و خمین رقم سپهر بیش ترین و رقم سمبل کم ترین ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین را داشتند، در منطقه زنجان نیز رقم سپهر پس از رقم غفار بیش ترین و رقم سمبل کم ترین ارتفاع اولین غلاف را به خود اختصاص دادند. این در حالی است که در سال دوم موضوع کاملاً برعکس شده و ارقام کاندید سپهر و سمبل در این سال کم ترین ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین را داشتند (شکل ۴).



شکل ۴. مقایسه میانگین ارتفاع اولین غلاف در سطوح اثر متقابل رقم × منطقه × سال (منبع: یافته‌های پژوهش) حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم وجود تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

مقایسه میانگین صفت تعداد غلاف در سطوح فاکتورهای مورد مطالعه (سال، مکان و رقم) نشان داد که میانگین تعداد غلاف ارقام لوبیا در سال اول به طور معنی داری بیش تر از سال دوم مطالعه و تقریباً دو برابر آن بوده است (جدول ۴). بنابراین نتایج نشان می‌دهد که بوته‌های لوبیا که در سال اول تعداد شاخه فرعی بیش تری داشتند در همین سال غلاف بیش تری نیز تولید نمودند. میانگین تعداد غلاف ارقام لوبیا در زنجان به طور معنی داری بیش تر از میانگین تعداد غلاف بوته‌های لوبیا در کرج و خمین بود (جدول ۴). در بین ارقام مورد مطالعه نیز تعداد غلاف در رقم کوشا به طور معنی داری بیش تر از سایر ارقام بود در حالی که تعداد غلاف در سایر ارقام تفاوت معنی داری با یکدیگر نداشت (جدول ۴). مقایسه میانگین صفت تعداد غلاف در سطوح اثر متقابل رقم × منطقه × سال نشان داد تعداد غلاف در رقم کوشا که در سال اول در منطقه خمین کاشته شده بود به طور معنی داری بیش تر از تعداد غلاف در سایر تیمارهای مورد مطالعه بود (شکل ۵).

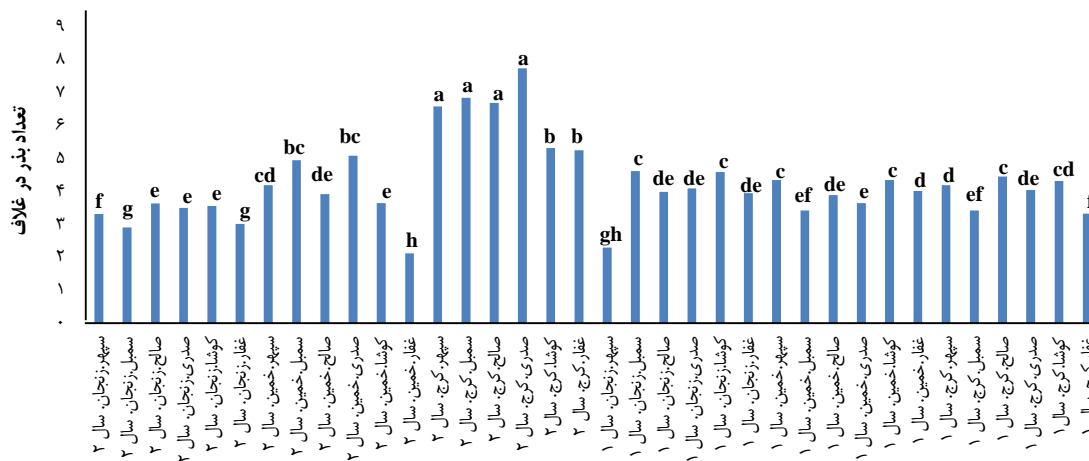


شکل ۵. مقایسه میانگین تعداد غلاف در بوته در سطوح اثر متقابل رقم × منطقه × سال (منبع: یافته‌های پژوهش) حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

مقایسه میانگین صفت تعداد بذر در غلاف در سطوح فاکتورهای مورد مطالعه (سال، مکان و رقم) نشان داد که میانگین تعداد بذر در غلاف ارقام لوبیا در سال دوم به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سال اول مطالعه بوده است (جدول ۴). بنابراین نتایج نشان می‌دهد که بوته‌های لوبیا که در سال اول تعداد شاخه فرعی و تعداد غلاف بیش‌تری داشتند در این سال تعداد بذر کم‌تری در غلاف تولید نمودند. میانگین تعداد بذر در غلاف ارقام لوبیا در کرج به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از میانگین تعداد بذر در غلاف بوته‌های لوبیا در زنجان و خمین بود (جدول ۴). در بین ارقام مورد مطالعه نیز تعداد بذر در غلاف در رقم غفار به‌طور معنی‌داری کم‌تر از سایر ارقام بود در حالی که تعداد بذر در غلاف در رقم غفار به‌طور معنی‌داری کم‌تر از سایر ارقام بود در حالی که در دیگر سال‌ها و مکان‌های آزمایش روند تغییرات صفت تعداد بذر در غلاف به شکل دیگری بوده و این موضوع سبب معنی‌دار شدن اثر متقابل مربوطه شده است (شکل ۶).

مقایسه میانگین صفت تعداد بذر در گیاه در سطوح فاکتورهای مورد مطالعه (سال، مکان و رقم) نشان داد که میانگین تعداد بذر در گیاه ارقام لوبیا در سال اول به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سال دوم مطالعه بوده است (جدول ۴). میانگین تعداد بذر در گیاه ارقام لوبیا در کرج به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از میانگین تعداد بذر در گیاه بوته‌های لوبیا در زنجان و خمین بود (جدول ۴). در بین ارقام مورد مطالعه نیز تعداد بذر در گیاه در ارقام کوشا، صدری و صالح به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از ارقام سمبل، سپهر و غفار بود (جدول ۴). تعداد بذر در گیاه در ارقام سپهر و سمبل به ترتیب ۲۰/۷ و ۷ درصد کم‌تر از میانگین تعداد بذر در سایر ارقام مورد مطالعه بود. بنابراین به‌وضوح دیده می‌شود که تعداد بذر در گیاه در ارقام کاندید که دارای تیپ ایستاده هستند به‌طور معنی‌داری کم‌تر از ارقام شاهد (ارقام رونده) بوده است. مقایسه میانگین صفت تعداد بذر در گیاه در سطوح اثر متقابل رقم × منطقه × سال نشان داد که تعداد بذر در گیاه در رقم صالح که در سال اول در منطقه کرج کاشته شده بود به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از تعداد بذر در گیاه در سایر تیمارهای مورد مطالعه بود، این در حالی است که در

منطقه خمین بین ارقام مورد مطالعه تفاوت معنی داری از این نظر وجود نداشت، اما در منطقه زنجان بیشترین تعداد بذر در گیاه به ارقام غفار و صدری تعلق داشت. به همین ترتیب در سال دوم رفتار این صفت در ارقام مورد مطالعه در سالها و مکانهای آزمایش متفاوت بوده و این موضوع سبب معنی دار شدن اثر متقابل رقم \times منطقه \times سال در مورد صفت تعداد بذر در گیاه شده است (شکل ۷).



اثر متقابل رقم \times منطقه \times سال

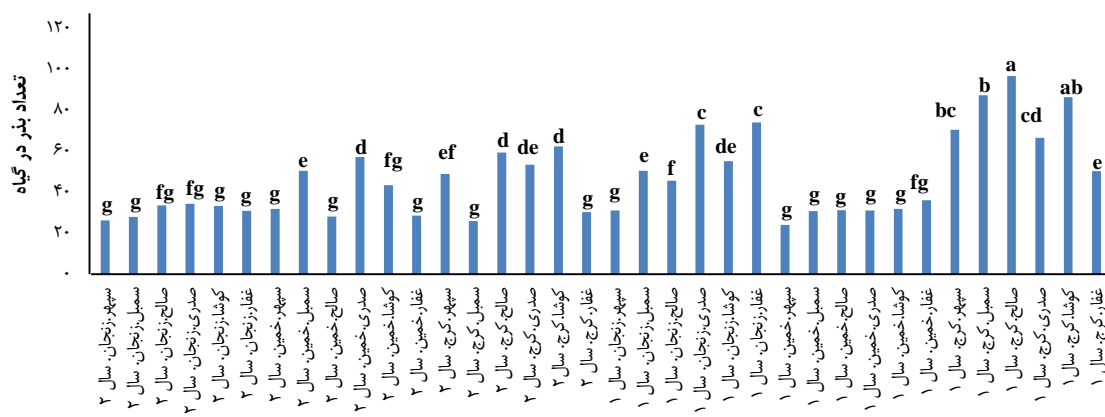
شکل ۶. مقایسه میانگین تعداد بذر در غلاف در سطوح اثر متقابل رقم \times منطقه \times سال (منبع: یافته‌های پژوهش). حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم وجود تفاوت معنی دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

مقایسه میانگین صفت وزن صددانه در سطوح فاکتورهای مورد مطالعه (سال، مکان و رقم) نشان داد که میانگین وزن صددانه ارقام لوبیا در سال اول به طور معنی داری بیش تر از سال دوم مطالعه بوده است (جدول ۴). میانگین وزن صددانه ارقام لوبیا در زنجان به طور معنی داری بیش تر از میانگین وزن صددانه بوته‌های لوبیا در کرج و خمین بود (جدول ۴). در بین ارقام مورد مطالعه نیز وزن صددانه در رقم سمبل و سپهر به طور معنی داری بیش تر از میانگین وزن صددانه سایر ارقام مورد مطالعه (به ترتیب ۲۴/۱ و ۹/۷ درصد) و در رقم صدری به طور معنی داری کم تر از سایر ارقام بود (جدول ۴). بنابراین اگرچه تعداد در بذر در گیاه در ارقام کاندید کم تر از ارقام دیگر بود، اما این ارقام وزن صددانه بالاتری داشتند. مقایسه میانگین صفت وزن صددانه در سطوح اثر متقابل رقم \times منطقه \times سال نشان داد که وزن صددانه در رقم سمبل در سالها و مکانهای مختلف مورد مطالعه به طور معنی داری بیش تر از سایر تیمارها بود (شکل ۸). رقم سپهر در سال دوم و در مناطق کرج و خمین پس از رقم سمبل بالاترین وزن صددانه را داشت، اما در سال اول نتوانست در مناطق یاد شده این برتری را حفظ نماید و این رفتار متفاوت سبب معنی دار شدن اثر متقابل مربوطه شد.

مقایسه میانگین صفت عملکرد دانه در سطوح فاکتورهای مورد مطالعه (سال، مکان و رقم) نشان داد که میانگین عملکرد دانه ارقام لوبیا در سال اول به طور معنی داری بیش تر از سال دوم مطالعه بوده است (جدول ۴). پیش از این نشان داده شد که تعداد غلاف، تعداد بذر در گیاه و وزن صددانه در سال اول به طور معنی داری بیش تر از سال دوم مطالعه بود و ظاهراً این اجزای مهم عملکرد سبب افزایش معنی دار عملکرد ارقام لوبیا در سال نخست آزمایش شده‌اند. میانگین عملکرد دانه ارقام لوبیا در کرج به طور معنی داری بیش تر از میانگین عملکرد دانه بوته‌های لوبیا در خمین و زنجان بود (جدول ۴). در بین ارقام مورد مطالعه نیز میانگین عملکرد دانه در رقم کوشا به طور معنی داری بیش تر از سایر ارقام مورد مطالعه بود، ارقام سپهر و سمبل نیز به ترتیب کمترین میانگین عملکرد دانه را داشتند که به ترتیب ۱۹/۸۹ و ۱۸/۲۷

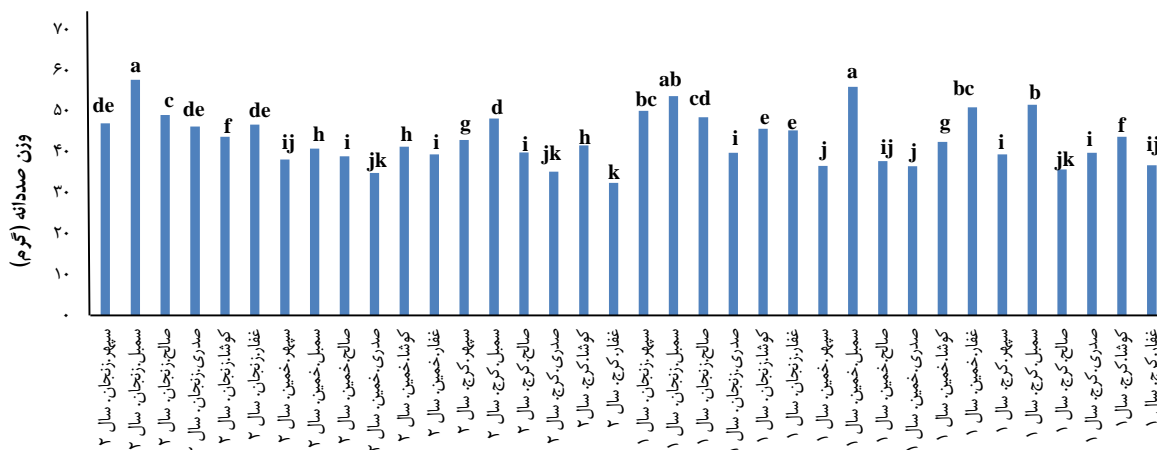
درصد کم‌تر از میانگین عملکرد دانه سایر ارقام مورد مطالعه بود (جدول ۴). مقایسه میانگین صفت عملکرد دانه در سطوح اثر متقابل رقم × منطقه × سال نشان داد که میانگین عملکرد دانه رقم کاندید سمبل فقط در سال اول و در منطقه کرج در گروه بالاترین عملکردها قرار گرفت و در سایر موارد دو رقم کاندید سمبل و سپهر در مقایسه با ارقام شاهد عملکرد کم‌تری داشتند (شکل ۹).

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به صفت ریزش دانه نشان داد که این صفت فقط تحت تأثیر معنی‌دار فاکتور رقم قرار گرفت و دو فاکتور دیگر مورد مطالعه (سال و مکان) تأثیر معنی‌داری بر این صفت نداشتند (جدول ۳). مقایسه میانگین صفت ریزش دانه در سطوح فاکتور رقم نیز نشان داد که مقدار ریزش بذر در ارقام کاندید سپهر و سمبل به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از ارقام شاهد بود (به‌ترتیب ۴/۷۲ و ۴/۲۷ درصد بیش‌تر از میانگین سایر ارقام مورد مطالعه ریزش داشتند) که به‌دلیل زودرسی این ارقام بوده و نشان می‌دهد که غلاف‌ها در این ارقام باید زودتر از ارقام رونده برداشت شوند.



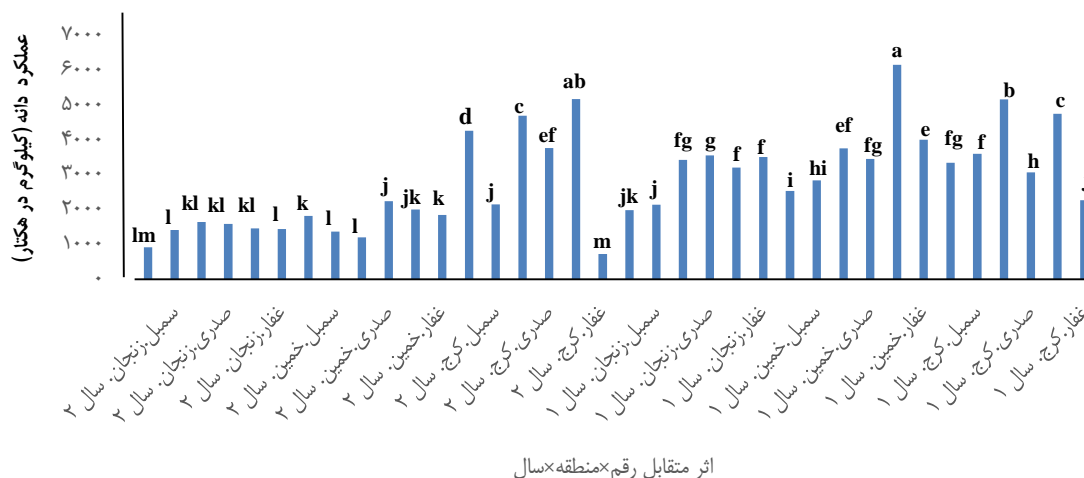
اثر متقابل رقم × منطقه × سال

شکل ۷. مقایسه میانگین تعداد بذر در گیاه در سطوح اثر متقابل رقم × منطقه × سال (منبع: یافته‌های تحقیق). حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



اثر متقابل رقم × منطقه × سال

شکل ۸. مقایسه میانگین وزن صدانه در سطوح اثر متقابل رقم × منطقه × سال (منبع: یافته‌های پژوهش). حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.



شکل ۹. مقایسه میانگین عملکرد دانه در سطوح اثر متقابل رقم × منطقه × سال (منبع: یافته‌های پژوهش). حروف مشترک در ستون‌ها بیانگر عدم وجود تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است.

۵. بحث

گلدھی زودھنگام به عنوان یک مزیت مهم در شکل گیری عملکرد ارقام لوبیا به شمار می‌رود. این ویژگی باعث می‌شود که در ارقام زودگل، فرایند گلدھی زودتر از آغاز تنش‌های محیطی مانند خشکی و دمای بالا شروع شود. همچنین در این ارقام طول دوره پرشدن دانه طولانی‌تر خواهد بود (Schoonhoven & Voysset, 1991). این ویژگی در ارقام کاندید سپهر و سمبل سبب شده است که این ارقام علیرغم عملکرد و تعداد بذر کم‌تر، از وزن صدانه بالاتری برخوردار باشند. در مطالعه روابط میان عملکرد و اجزای عملکرد در ۳۰ رقم لوبیا نشان داده شد که بین ارقام در کلیه ۱۸ صفت مورد بررسی از جمله صفت طول دوره گلدھی اختلاف معنی‌داری وجود داشت که دلالت بر وجود تنوع ژنتیکی بین ارقام لوبیاست (سبکدست و خیالپرست، ۱۳۸۶).

پژوهش‌های پیشین نشان داده است که طول دوره رسیدگی فیزیولوژیک ارقام لوبیا به شدت تحت تأثیر شرایط اقلیمی و ویژگی‌های منطقه کشت قرار دارد (White & Singh, 1991). در بین ارقام مورد مطالعه رسیدگی فیزیولوژیک بذر در ارقام کاندید سپهر و سمبل که زودتر به گل رفته بودند، به طور معنی‌داری زودتر (به ترتیب هشت و ۱۰ روز زودتر از میانگین سایر ارقام) از سایر ارقام اتفاق افتاد (جدول ۴). در پژوهشی که به منظور بررسی تأثیر روش‌های مختلف کشت بر خصوصیات زراعی ارقام لوبیا انجام شد، گزارش گردید که ارقام لوبیا از نظر صفت طول دوره رسیدگی فیزیولوژیک تفاوت معنی‌داری با یکدیگر داشتند (حسین‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴). زودرسی نه تنها به عنوان یک مکانیسم فرار از تنش‌های آخر فصل مانند تنش خشکی مطرح است، بلکه از این جهت که امکان تولید زودھنگام محصول و رساندن آن به قیمت مناسب بازار را فراهم می‌آورد دارای اهمیت می‌باشد و از این جهت است که بسیاری از برنامه‌های اصلاحی لوبیا در جهان بر تولید ارقام زودرس متمرکز است (Cerna & Beaver, 1990). در پژوهش دیگری گزارش شده است که ارقامی که تیپ رشد بوته‌ای دارند (مانند ارقام کاندید در این پژوهش) در مقایسه با ارقام با تیپ رشد رونده طول دوره رسیدگی فیزیولوژیک کوتاه‌تری دارند به طوری که می‌توان این ارقام را در یک سال زراعی دو بار کشت نمود (Schoonhoven & Voysset, 1991).

ارقام کاندید سمبل و سپهر جزو ارقام رشد محدود و دارای تیپ بوته‌ای هستند و به همین دلیل ارتفاع بوته در این

ارقام به‌طور معنی‌داری کمتر از ارقام شاهد بوده است. گزارش شده است که تفاوت‌های ژنتیکی بین لاین‌های موردبررسی لوبیا باعث تفاوت در ارتفاع بوته می‌شود (صالحی، ۱۳۹۳). همچنین گزارش شده است که ارقام رشد محدود و بوته‌ای لوبیا به‌طور متوسط بین ۲۰ تا ۶۰ سانتی‌متر ارتفاع دارند در حالی که ارتفاع ارقام رونده لوبیا ۲ تا ۳ متر نیز گزارش شده است (Schoonhoven & Voysest, 1991).

ارتفاع اولین غلاف از سطح زمین به‌عنوان یک ویژگی مؤثر در برداشت مکانیزه لوبیا مطرح است که در این آزمایش به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مکان کشت و رقم قرار گرفت. در مطالعه توده‌های محلی لوبیا نشان داده شده است که این جمعیت‌ها از نظر صفات مختلف از جمله ارتفاع اولین غلاف دارای تنوع گسترده بوده‌اند (Roman *et al.*, 2004).

گزارش شده است که از میان صفات مؤثر در عملکرد لوبیا، صفت تعداد غلاف بیش‌ترین همبستگی را با عملکرد دارد (Bennt *et al.*, 1977). این صفت می‌تواند تا ۶۷ درصد از تغییرات عملکرد را توجیه نماید (Fageria & Santos, 2008). در این پژوهش نیز مشخص شد عملکرد رقمی که بیش‌ترین تعداد غلاف در بوته را داشته (رقم کوشا) به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از سایر ارقام مورد مطالعه بوده است (جدول ۴). همبستگی بین تعداد غلاف و عملکرد ارقام لوبیا توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Serene *et al.*, 2000). گزارش شده است که در ارقام رونده لوبیا که نسبت به ارقام بوته‌ای ارتفاع بیش‌تری دارند، تعداد نقاط گلدهی بیش‌تر بوده و از این‌رو، در این ارقام تعداد غلاف و تعداد بذر در غلاف به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از ارقام بوته‌ای است و این موضوع در نهایت منجر به عملکرد بیش‌تر ارقام رونده می‌شود (Schoonhoven & Voysest, 1991).

در گیاه لوبیا صفت تعداد بذر در غلاف به‌همراه صفات تعداد غلاف در گیاه و وزن دانه سه جزء مهم تشکیل‌دهنده اجزای عملکرد محسوب می‌شوند (Liebman *et al.*, 1995). هم‌چنان که پیش از این نیز عنوان شد رقم غفار دیرگل‌ترین رقم در این پژوهش بوده است (جدول ۴) که فرایند پرشدن دانه در این رقم به‌دلیل هم‌زمانی با شرایط نامساعد اقلیمی دچار اختلال شده و از این‌رو، تعداد بذر در غلاف در این رقم به‌طور معنی‌داری کاهش یافته و کمتر از سایر ارقام مورد مطالعه بوده است. گزارش شده است که در گیاه لوبیا صفات وزن صدانه و تعداد دانه در غلاف تحت تأثیر ژنوتیپ قرار می‌گیرند و ارقام مورد مطالعه می‌توانند از نظر این صفات به شکل متفاوت رفتار کنند (فرجی و همکاران، ۱۳۸۹).

در پژوهش‌های پیشین نیز گزارش شده است که عملکرد ارقام بوته‌ای لوبیا (حداکثر ۲/۵ تن در هکتار) به‌طور معنی‌داری کمتر از ارقام رونده این محصول (حداکثر ۴/۵ تن در هکتار) است (Schoonhoven & Voysest, 1991). عامل تعیین‌کننده برتری عملکرد یک رقم در یک محیط اثر متقابل ژنوتیپ و محیط است. بدین معنی که بهترین ژنوتیپ در یک محیط لزوماً بهترین ژنوتیپ در محیط دیگر نیست (فرشادفر، ۱۳۷۷) و از این جهت است که در این پژوهش، ارقام مختلف در مناطق مورد مطالعه به‌گونه متفاوت عمل کرده‌اند. گزارش شده است که تغییرات عملکرد در لاین‌های رشد محدود لوبیا در مقایسه با ارقام رشد نامحدود کمتر بوده و لوبیاهای بذر درشت معمولاً عملکرد کم‌تری از لوبیاهای بذر ریز دارند (مدنی و همکاران، ۱۳۸۷).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

رقم کاندید سپهر با متوسط ۴۵/۴۴ روز و رقم کاندید سمبل با متوسط ۵۰/۷۷ روز زودتر از ارقام شاهد وارد مرحله گلدهی شدند. به همین ترتیب رسیدگی فیزیولوژیک بذر در این ارقام نسبت به ارقام شاهد به‌طور معنی‌داری زودتر اتفاق افتاد. ارتفاع بوته و ارتفاع اولین غلاف در ارقام کاندید به‌طور معنی‌داری کمتر از ارقام شاهد بود. تعداد بذر در غلاف ارقام سپهر و سمبل تفاوت معنی‌داری با ارقام شاهد نداشت. تعداد بذر در گیاه در رقم سمبل با تعداد بذر در گیاه سایر ارقام در یک

گروه آماری قرار گرفت، اما رقم سپهر از این نظر نسبت به ارقام شاهد تعداد بذر در گیاه کمتری داشت. ارقام سمبل و سپهر دانه‌های درشت‌تری تولید کردند و وزن صدانه این ارقام بالاتر بود، اما این دو رقم نسبت به ارقام شاهد عملکرد دانه کمتری تولید کردند. در نهایت ارقام کاندید سپهر و سمبل به دلیل تیپ ایستاده و سهولت برداشت، زودرس بودن و مصرف یک تا دو نوبت آب کم‌تر و بازاری‌پسندی و تولید دانه‌های درشت‌تر می‌توانند به‌عنوان ژرم‌پلاسم‌های جدید در تولید لوبیای کشور نقش مؤثری ایفا نمایند.

بنا به دلایلی که در متن مقاله مورد اشاره قرار گرفت، ارقام سپهر و سمبل می‌توانند به‌عنوان دو ژرم‌پلاسم مناسب و جدید با ویژگی‌های متمایز، برای کشت در اراضی زراعی ایران معرفی شوند. تولید و تکثیر بذر این ارقام کمک شایانی به توسعه کشت لوبیا در کشور خواهد نمود.

۷. تشکر و قدردانی

این مقاله مستخرج از پروژه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات ثبت و گواهی بذر و نهال می‌باشد که بدین‌وسیله از مؤسسه مذکور تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- احمدی، کریم؛ عبادزاده، حمیدرضا؛ حاتمی، فرشاد؛ عبدشاه، هلدا و کاظمیان، آرزو (۱۳۹۹). *آمارنامه کشاورزی*. چاپ اول. تهران: انتشارات وزارت جهاد کشاورزی.
- بیضایی، اسماعیل؛ دری، حمیدرضا؛ قنبری، علی‌اکبر؛ غفاری خلیق، حسین؛ رحمانی قبادی، عطیه؛ طاهری مازندرانی، منوچهر؛ شهرآیین، نوح؛ هدایتی‌پور، ابوالفضل؛ صدری، بهروز؛ ارده، محمدجواد؛ یوسفی، مظاهر؛ دادیور، مسعود؛ لک، محمدرضا؛ حسنی مهربان، افشین؛ سمیعی، داریوش؛ آزرمی، منصور؛ پوردوایی، حشمت‌اله؛ مستعد، بیژن؛ باشتینی، ابراهیم؛ هاشمی، شهلا؛ مجد نصیری، بهرام؛ کامل، مسعود و تکاسی، محمد (۱۳۹۱). صدری، رقم جدید لوبیا چیتی دانه درشت برای کاشت در مناطق معتدل سرد ایران. *مجله به‌نژادی نهال و بذر*، ۲۸ (۱)، ۳۳۷-۳۳۵.
- حسین‌نژاد، عادل؛ مهرپویان، مهدی و فرامرزی، علی (۱۳۹۴). کاربرد دو دستگاه مکانیزه لوبیاکار در مقایسه با کشت دست نشان و بررسی کارایی آن‌ها در برخی ویژگی‌های زراعی در ارقام لوبیا قرمز. همایش بین‌المللی پژوهش‌های کاربردی در کشاورزی. تهران، ایران.
- رضیعی، طیب (۱۳۹۶). منطقه‌بندی اقلیمی ایران به‌روش کوپن- گایگر و بررسی جابه‌جایی مناطق اقلیمی کشور در سده بیستم. *نشریه فیزیک زمین و فضا*، ۴۳ (۲)، ۴۱۹-۴۳۹.
- سبکدست، منیژه و خیال‌پرست، فرنگیس (۱۳۸۶). مطالعه روابط میان عملکرد و اجزای عملکرد در ۳۰ رقم لوبیا (*Phaseolus vulgaris* L.). *نشریه علوم آب و خاک*، ۴۳، ۴۳۹-۴۱۹.
- شهرآیین، نوح؛ حسنی مهربان، افشین؛ پوردوایی، حشمت‌اله؛ بیضایی، اسماعیل؛ مستعد، محمد و بنانج، کاوه (۱۳۹۷). *تعیین منابع ژنتیکی مقاومت لوبیا به سه ویروس مهم لوبیا BCMV، BYMV و CMV*. تهران: انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.
- صالحی، فرود (۱۳۹۳). اثر تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه لاین‌های جدید لوبیا قرمز. *نشریه پژوهش‌های کاربردی*

زراعی، ۲۷ (۱۰۳)، ۲۳-۲۸.

فرجی، هوشنگ؛ قلی‌زاده، ثنا؛ اولیایی، حمیدرضا و عظیمی گندمانی، محمد (۱۳۸۹). تاثیر تراکم بوته بر عملکرد سه رقم لوبیاچیتی (*Phaseolus vulgaris*) در شرایط آب‌وهوایی یاسوج. نشریه پژوهش‌های حبوبات ایران، ۱ (۱)، ۴۳-۵۰.

فرشادفر، عزت‌الله (۱۳۷۷). کاربرد ژنتیک کمی در اصلاح نباتات. چاپ اول. کرمانشاه: انتشارات دانشگاه رازی.

قنبری، علی‌اکبر (۱۳۹۱). پاسخ فیزیولوژیک ژنوتیپ‌های لوبیا تحت رژیم‌های مختلف رطوبتی. رساله دکتری. به راهنمایی محمدرضا شکبیا. تبریز: دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی.

قنبری، علی‌اکبر؛ یوسفی، مظاهر؛ لک، حمیدرضا؛ غدیری، عادل؛ اسدی، بهروز؛ دری، حمیدرضا؛ آسترکی، حسین؛ کوشکی، محمدحسن؛ کامل، مسعود؛ بیضایی، اسماعیل؛ پورمتین، راشین و حاتم‌آبادی فراهانی، مریم (۱۳۹۵). غفار، رقم جدید لوبیا چیتی. نشریه یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی، ۵ (۲)، ۱۴۳-۱۵۵.

کشاورزنیاز، رضا؛ محمدی نرگسی، بهروز و عباسی، علیرضا (۱۳۹۲). بررسی تنوع ژنتیکی لوبیا براساس صفات مورفولوژیکی تحت دو شرایط نرمال و تنش خشکی. مجله علوم گیاهان زراعی ایران، ۴۴ (۲)، ۳۰۵-۳۱۵.

کمانکش، ابراهیم و شفیع، الهه (۱۳۹۷). راهنمای کاربردی پرورش لوبیا. چاپ اول. تهران: انتشارات آموزش و ترویج کشاورزی.

مدنی، حمید؛ شیرزادی، محمدحسن و درینی، فاطمه (۱۳۸۷). تاثیر تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد لوبیا چشم بلبلی و لوبیا تپاری محلی جیرفت. نشریه یافته‌های نوین کشاورزی، ۳ (۱)، ۹۳-۱۰۴.

References

- Ahmadi, K., Ebadzade, H., Hatami, F., Abdeslah, H., & Kazemian, A. (2020). *Agricultural Statistics*. Ministry of Agricultural Jihad, Program Deputy Economical Information and Communication Technology Center. Pp.118. (In Persian).
- Awan, F. K., Khurshid, M. Y., Afzal, O., Ahmed, M., & Chaudhry, A. N. (2014). Agromorphological evaluation of some exotic common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes under rainfed conditions of Islamabad, Pakistan. *Pakistan Journal of Botany*, 46, 259-264.
- Beizae, A., Dorri, H. R., Ghanbari, A. A., Ghafari Khaligh, H., Rahmani Ghobadi, A., Taheri Mazandarani, M., Shahraen, N., Hedaiatipour, A., Sadri, B., Ardeh, M. J., Usefi, M., Dadivar, M., Lak, M. R., Hasani Mehraban, A., Samiei, D., Azarmi, M., Pourdavaee, H., Mostaed, H., Bashtini, E., Hashemi, Sh., Majd Nasiri, B., Kamel, M., & Takasi, M. (2012). Sadri, A New Large Seed Chiti Bean Cultivar Suitable for Cultivation in Temperate- Cold Areas of Iran. *Seed and Plant Breeding Magazine (Seedlings and seeds)*, 28, 335-337. (In Persian).
- Bennt, J. P., Adams, M. W., & Burga, C. (1977). Pod yield component variation and inter correlation in *Phaseolus vulgaris* as affected by planting density. *Crop Science*, 17, 35-75.
- Cerna, J., & Beaver, J. S. (1990). Inheritance of early maturity of indeterminate dry bean. *Crop Science*, 30, 1215-1218.
- Dorri, H. R., Asadi, B., Ghadiri, A., Lak, M. R., Usefi, M., Ghanbari, A. A., Beizae, E., Kamel, M., Koushki, M. H., Asteraki, H., Pourmatin, R., & Hatamabadi Farahani, M. (2016). Ghaffar, new cultivar of chiti beans. *Scientific-Extension Journal of Research Findings in Crops and Horticultural Plants*, 5, 143-155. (In Persian).
- Fageria, N. K., & Santos, A. B. (2008). Yield physiology of dry bean. *Journal of Plant Nutrition*, 31, 983-1004.
- FAO, Food and Agriculture Organization. (2014). Crops production report from <http://faostat.fao.org>
- Faraji, H., Gholizadeh, S., Owliaiee, H. R., & Azimi Gandomani, M. (2010). Effect of plant density on grain yield of three spotted bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars in Yasouj condition. *Iranian Journal of Pulses Research*, 1, 43-50. (In Persian).
- Farshadfar, A. (1998). *Application of quantitative genetics in plant breeding*. Kermanshah: Razi university. (In Persian).

- Ghanbari, A. A. (2012). *Physiological responses of common bean genotypes under contrasting moisture regimes*. Doctoral dissertation. under the supervision of Mohammadreza Shakiba. Tabriz: Tabriz University, Faculty of Agriculture. (In Persian).
- Gomez, O. J., Blair, M. W., Frankow-lindberg, B. E., & Gullberg, U. (2004). Molecular and phenotypic diversity of common bean landraces from Nicaragua. *Crop Science*, 44, 1412-1418.
- Goncalves Ceolin, A. C., Goncalves-Vidigal, M. C., SoaresVidigalFilho, P., Vinicius Kvitschalm, M., Gonela, A., & Alberto Scapim, C. (2007). Genetic divergence of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) group Carioca using morpho-agronomic traits by multivariate analysis. *Hereditas*, 144, 1-9.
- Hoseinejad, A., Mehrpouyan, M., & Faramarzi, A. (2015, May). *The use of two mechanized bean cultivation machines in comparison with manual cultivation and their effectiveness in some agricultural characteristics of red bean cultivars*. International Conference on Applied Research in Agriculture. Tehran, Iran. (In Persian).
- Kamankesh, E., & Shafiee, E. (2018). *Practical guide for beans growing. First edition*. Tehran: Amoozesh va Tarvij Keshavarzi press. (In Persian).
- Keshavarznia, R., Mohammadi Nargesi, B., & Abbasi, A. (2013). The study of genetic variation of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) based on morphological traits under normal and stress conditions. *Iranian Journal of Field Crops Science*, 44, 305-315. (In Persian).
- Liebman, M., Corson, S., Rowe, R. J., & Halteman, W. A. (1995). Dry bean response to nitrogen fertilizer in two tillage and residue management systems. *Agronomy Journal*, 87, 538-546.
- Madani, H., Shirzadi, M. H., & Darini, F. (2008). Effect of plant density on yield and yield components of vigna and tepary local beans germplasms in Jiroft, Iran. *New findings in Agriculture*, 3, 93-104. (In Persian).
- Raziei, T. (2017). Köppen-Geiger climate classification of Iran and investigation of its changes during 20th century. *Journal of the Earth and Space Physics*, 43, 419-439. (In Persian).
- Roman, H., Bralewski, T. W., Fiebig, M., & Bocian, S. (2004). Variability of selected characters of 18 local populations of bean (*Phaseolus* spp.). *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities, Horticulture*, 7(1). <http://www.ejpau.media.pl/volume7/issue1/horticulture/abs-08.html>.
- Sabokdast, M., & Khyalparast, F. (2008). A study of relationship between grain yield and yield components in common bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural of Resource*, 11, 123-134. (In Persian).
- Salehi, F. (2014). The effect of plant density on yield and yield components of red beans new lines. *Journal of Agriculture (Research and Development)*, 103, 22-28. (In Persian).
- Schoonhoven, A., & Vosyest, O. (1991). *Common beans: Research for crop improvement for the 21st century*. Dordrecht: Kluwer Academic Publication.
- Serene, M. I., Jebaraj, S., & Ganesh, S. K. (2000). Path analysis in cowpea. *Research on Crops*, 1, 314-316.
- Shahraen, N., Hasanimehraban, A., Pourdavaei, H., Beyzaei, E., Mostaed, M., & Benanej, K. (2000). Screening of French bean germplasm to three important viruses: BCMV, BYMV and CMV. Final Report, Plant Pests and Diseases Research Institute, Tehran, Iran. (In Persian).
- White, J. W., & Singh, S. P. (1991). Source and inheritance of earliness in tropically adapted indeterminate common bean. *Euphytica*, 55, 15-19.



Effect of foliar application of Magnesium sulfate and Manganese sulfate on yield and some quantitative traits of Agria cultivar Potato

Morteza Barmaki¹ | Damoon Rajabzadeh² | Khadijeh Aghaeifard³

1. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: m_barmaki@uma.ac.ir
2. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: d.rajabzadeh@student.uma.ac.ir
3. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture and Natural Resources University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. E-mail: kh.aghaei@uma.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 25 May 2021

Received in revised form

26 August 2023

Accepted 27 August 2023

Published online

20 September 2023

Keywords:

Economical yield

Fertilizer level

Nutritional elements

Plant height

Stem diameter

ABSTRACT

Objective: The present research was conducted in order to investigate the effect of different levels of Magnesium sulfate and Manganese sulfate on yield and some quantitative traits of Potato in Agria cultivar.

Methods: The experiment was conducted as a factorial in the form of a randomized complete block design with three replications during 2018- 2019 growing season in Nir city. The first factor included foliar application of Manganese sulfate at two levels: control and 5 per thousand, and the second factor involved foliar application of Magnesium sulfate at five levels: (control, 1.5, 3, 4.5, and 6 per thousand), used in the stages of early tuberculosis and 50% tuberculosis.

Results: The results of analysis of variance showed that with the exception of the number of stems and the number of uneconomical tubers, the effect of Manganese sulfate on the number of usable tubers at the level of five percent and in the other studied traits was significant at 1% level. The effect of Magnesium sulfate had a significant effect on plant height at 5% level and on other studied traits at 1% level. However, the interaction of experimental treatments was not significant. The highest tuber yield of 44.9 t.ha⁻¹ belonged to foliar application with a concentration of 5 per thousand manganese sulfate. The highest effect of Magnesium sulfate foliar application on the number of usable tubers was 34.4%, compared to the control. On average, foliar application of Magnesium sulfate increased tuber yield by 12.3%, compared to the control treatment.

Conclusion: Considering that in most of the studied traits, foliar application of 5 per thousand Manganese sulfate and 4.5 per thousand Magnesium sulfate showed better results than other treatments, these fertilizer levels can be recommended for this cultivar in this area.

Cite this article: Barmaki, M., Rajabzadeh, D., & Aghaeifard, Kh. (2023). Effect of foliar application of Magnesium sulfate and Manganese sulfate on yield and some quantitative traits of Agria cultivar Potato. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 651-667. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.324438.2558>



تأثیر محلول پاشی سولفات منیزیم و سولفات منگنز بر عملکرد و برخی صفات کمی سیب زمینی رقم آگریا

مرتضی برمکی^۱ | دامون رجبزاده^۲ | خدیجه آقائی فرد^۳

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: m_barmaki@uma.ac.ir
۲. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: d.rajabzadeh@student.uma.ac.ir
۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: kh.aghaei@uma.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: پژوهش حاضر به منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف سولفات منیزیم و سولفات منگنز بر عملکرد و برخی صفات کمی سیب زمینی رقم آگریا انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۰۴	روش پژوهش: آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ در شهرستان نیر اجرا شد. فاکتور اول شامل محلول پاشی سولفات منگنز در دو سطح شاهد و پنج در هزار و فاکتور دوم شامل محلول پاشی سولفات منیزیم در پنج سطح (شاهد، یک و نیم، سه، چهار و نیم و شش در هزار) در مراحل شروع غده دهی و ۵۰ درصد غده دهی بودند.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۶/۰۴	یافته‌ها: نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر سولفات منگنز بر صفت تعداد غده قابل استفاده در سطح پنج درصد و در بقیه صفات مورد مطالعه به جز صفات تعداد ساقه و تعداد غده غیر اقتصادی در سطح یک درصد معنی دار بود. اثر سولفات منیزیم بر ارتفاع بوته در سطح پنج درصد و در بقیه صفات مورد بررسی در سطح یک درصد تأثیر معنی دار داشت. اما، اثر متقابل تیمارهای آزمایش غیر معنی دار بود. بیشترین عملکرد غده به میزان ۴۴/۹ تن در هکتار با محلول پاشی با غلظت پنج در هزار سولفات منگنز به دست آمد.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۰۵	بیشترین تأثیر محلول پاشی سولفات منیزیم بر تعداد غده قابل استفاده به میزان ۳۴/۴ درصد نسبت به تیمار شاهد بود. به طور میانگین، محلول پاشی سولفات منیزیم باعث افزایش ۱۲/۳ درصد عملکرد غده نسبت به تیمار شاهد گردید.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹	نتیجه گیری: با توجه به این که در اکثر صفات مورد بررسی در این پژوهش، محلول پاشی پنج در هزار سولفات منگنز و چهار و نیم در هزار سولفات منیزیم نسبت به سایر تیمارها نتایج بهتری را نشان داد، می‌توان این سطوح کودی را در این منطقه برای این رقم توصیه نمود.
کلیدواژه‌ها: ارتفاع بوته سطح کودی عملکرد اقتصادی عناصر غذایی قطر ساقه	

استناد: برمکی، مرتضی؛ رجبزاده، دامون؛ و آقائی فرد، خدیجه (۱۴۰۲). تأثیر محلول پاشی سولفات منیزیم و سولفات منگنز بر عملکرد و برخی صفات کمی سیب زمینی رقم آگریا. *بزرگای کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۶۵۱-۶۶۷. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.324438.2558>



۱. مقدمه

سیب زمینی (*Solanum tuberosum* L.) گیاهی یک ساله و از گیاهان غده‌ای است که نقش مهمی در تغذیه مردم جهان داشته و از عملکرد قابل توجهی در واحد سطح برخوردار می‌باشد (خواجه‌پور، ۱۳۹۱). غده سیب زمینی منبع خوبی از انرژی، عناصر معدنی، پروتئین، چربی و ویتامین‌هاست که حاوی ۷۰-۸۰ درصد آب، ۲۰/۶ درصد کربوهیدرات، ۲/۱ درصد پروتئین، ۰/۳ درصد چربی، ۱/۱ درصد فیبر خام و ۰/۹ درصد خاکستر می‌باشد (Banjare et al., 2014) و به‌طور چشم‌گیری از آن در تهیه محصولات صنعتی استفاده می‌شود (Jagatee et al., 2015).

از جمله عوامل مؤثر در بهره‌وری محصولات کشاورزی، استفاده از کودهای شیمیایی است (Seleiman et al., 2021). به‌طوری‌که، کاربرد عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف به‌عنوان ابزاری مهم برای حصول حداکثر عملکرد در واحد سطح مورد توجه قرار گرفته است. عناصر غذایی علاوه بر بهبود ویژگی‌های کمی و کیفی محصولات کشاورزی، در سلامتی انسان و دام تأثیر به‌سزایی دارند. این عناصر ضمن شرکت در ساختار بعضی از اندامک‌ها، در بسیاری از واکنش‌های بیوشیمیایی گیاه دخالت دارند (Shukla et al., 2018).

پژوهش‌ها نشان داده است که محلول پاشی برگ‌های عناصر غذایی، یکی از روش‌های سریع جهت پاسخ گیاهان به افزودن کود است که منجر به صرفه‌جویی در مصرف کود نیز می‌گردد (جوکار و رونقی، ۱۳۹۴). علاوه بر آن‌ها، با به حداقل رساندن آلودگی‌های زیست‌محیطی و آب‌های زیرزمینی، در راستای نیل به کشاورزی پایدار، نقش به‌سزایی دارد (Janmohammadi et al., 2018).

با توجه به آهکی بودن بیش‌تر خاک‌های ایران و پایین بودن قابلیت جذب عناصر کم‌مصرف و پرمصرف در این خاک‌ها، کمبود عناصر غذایی از جمله منیزیم و منگنز، می‌تواند یکی از عوامل محدودکننده رشد و نمو و تولید عملکرد سیب زمینی باشد، به‌همین دلیل، هدف از این پژوهش بررسی تأثیر محلول پاشی سطوح مختلف منیزیم و منگنز بر برخی صفات کمی و عملکرد سیب زمینی رقم آگریا بود.

۲. پیشینه پژوهش

عنصر منیزیم یک فعال‌کننده آلوستریک^۱ در بیش از ۳۰۰ آنزیم می‌باشد (Herman et al., 2017; Senbayram et al., 2015) و هرچند به مقدار کم در گیاه مصرف می‌شود، اما کمبود آن ممکن است به‌طور بارز دوره رشد گیاه را مختل نماید (بصیرت و مطلبی‌فرد، ۱۳۹۵). در پژوهشی روی سیب زمینی نشان داده شد که اثر متقابل محلول پاشی کلسیم و منیزیم بر عملکرد غده، کیفیت و جذب عناصر غذایی آن در شاخه‌ها و غده‌ها تأثیر معنی‌دار داشت (El-Hadidi et al., 2017). محلول پاشی منیزیم باعث افزایش عملکرد غده در بوته، عملکرد کل غده در هکتار و وزن خشک اندام‌های هوایی تا سطح محلول-پاشی ۰/۲ درصد منیزیم شد، اما اثر معنی‌دار روی تعداد غده‌ها در بوته و میانگین وزن غده‌ها نداشت. در اثر محلول پاشی ۰/۲ درصد منیزیم، وزن خشک اندام‌های هوایی ۷/۵ درصد و عملکرد غده‌ها ۱۰/۹ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت. پژوهش‌گران بیان کردند که این نتایج با افزایش صفات رشد رویشی مرتبط است که ممکن است به نقش مهم منیزیم در گیاه نسبت داده شود. به‌طوری‌که، محلول پاشی منیزیم باعث افزایش کلروفیل برگ، سطح برگ و تعداد برگ در گیاه شده و در نتیجه بر روی رشد کل گیاه و عملکرد آن به‌عنوان عملکرد غده تأثیر گذاشته است (El-Hadidi et al., 2017). افزایش عملکرد غده سیب زمینی با کاربرد کود منیزیم نسبت به گیاهان شاهد گزارش شده است (Wang

(*et al.*, 2020). پژوهش‌گران روی سیب‌زمینی به این نتیجه رسیدند که در اثر کمبود منیزیم، عملکرد غده در تیمارهای مختلف نسبت به گیاهان شاهد کاهش یافت (*Koch et al.*, 2019). در بررسی تأثیر روش‌های محلول‌پاشی منیزیم و کلسیم بر بهره‌وری و کیفیت محصول سیب‌زمینی در کشت زمستانه بیان شد که در اثر محلول‌پاشی سولفات منیزیم، وزن خشک اندام‌های هوایی و عملکرد سیب‌زمینی در اولین و دومین سال آزمایش نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت که دلیل آن را به نقش مهم منیزیم در افزایش فعالیت متابولیسم گیاه نسبت دادند که بر عملکرد غده و افزایش کیفیت غده تأثیر گذاشته است (*El-Metwaly & Mansour*, 2019). در آزمایشی دیگر، در بررسی تأثیر محلول‌پاشی عناصر غذایی بر رشد، عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی نشان دادند که محلول‌پاشی سولفات منیزیم با غلظت‌های ۰/۳ و ۰/۵ درصد سبب افزایش عملکرد غده نسبت به تیمار شاهد شد (*Shanwaz et al.*, 2020). همچنین، پژوهش‌گران گزارش کردند که محلول-پاشی بوته‌های گوجه‌فرنگی با منیزیم، سبب افزایش ارتفاع بوته، تعداد شاخه در گیاه، تعداد گل، تعداد میوه در بوته، وزن میوه و عملکرد میوه‌ها در مقایسه با تیمار شاهد شد (*Ilyas et al.*, 2014).

عنصر منگنز نیز، نقش‌های مهمی در گیاهان ایفا می‌کند. منگنز در بخشی از فرایندهای مرتبط با فتوسنتز، بیوسنتز ویتامین‌ها و نقل و انتقالات ترکیبات نیتروژن‌دار دخالت داشته و در جذب فسفر و آهن از خاک نیز اثرگذار است (*Baranowska et al.*, 2017). از این‌رو، می‌توان اظهار داشت که دلیل اصلی توجه بیش‌تر به اهمیت عناصر کم‌مصرف در گیاهان، تخلیه بیش از حد این عناصر و عدم افزودن آن‌ها به خاک و به‌دنبال آن پیدایش کمبود و بروز مشکلات تغذیه‌ای است (*Shukla et al.*, 2018). نتایج بررسی تأثیر سطوح مختلف منگنز بر عملکرد غده نشان داد که بالاترین عملکرد غده در سطح ۱۰ میلی‌گرم منگنز در کیلوگرم خاک به‌دست آمد که باعث افزایش عملکرد غده نسبت به تیمار شاهد شد (عروجی و گلچین، ۱۳۹۱). مطالعه محلول‌پاشی روی و منگنز و تأثیر آن‌ها بر عملکرد و ویژگی‌های کیفی سیب‌زمینی نشان داد که محلول‌پاشی منگنز تأثیر معنی‌دار بر صفات ارتفاع بوته، وزن غده و عملکرد سیب‌زمینی داشت (*Kaur et al.*, 2018). همچنین، نتایج به‌دست‌آمده از پژوهشی نشان داد که مقدار منگنز در غده‌های ارقام سیب‌زمینی در طیفی از ۱۱/۴ الی ۳۱/۴ میلی‌گرم بر کیلوگرم ماده خشک، بسته به غلظت به‌کاررفته از کود و سال آزمایش، به‌طور معنی‌دار تغییر نیافت، هرچند با کاربرد غلظت‌های بالاتر از کود، از میزان این عنصر در غده‌ها کاسته شد (*Baranowska et al.*, 2017).

به‌طورکلی اراضی زراعی با مقدار کم‌تر از ۲۰ قسمت در میلیون با کمبود منگنز و خاک‌های با مقدار کم‌تر از ۵۰ قسمت در میلیون به منزله پایین‌بودن این عنصر می‌باشد. در خصوص میزان منیزیم، حد مطلوب آن بین ۰/۲۴ تا ۰/۵۰ درصد می‌باشد و مقادیر کم‌تر از آن به منزله پایین‌بودن و کمبود این عنصر در خاک می‌باشد (مطلبی‌فرد، ۱۳۹۷).

۳. روش‌شناسی پژوهش

به‌منظور بررسی تأثیر سطوح مختلف سولفات منیزیم و سولفات منگنز بر عملکرد و برخی صفات کمی رقم آگریا، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل و در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار، در مزرعه‌ای واقع در ۱۷ کیلومتری (عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۶ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۸ دقیقه و ارتفاع ۱۴۴۰ متر از سطح دریا) اردبیل در روستای رضاقلی قشلاقی از توابع شهرستان نیر، در سال زراعی ۹۸-۱۳۹۷ اجرا شد. منطقه یادشده دارای اقلیم کشاورزی نیمه‌خشک ملایم با میانگین بارندگی سالانه ۳۶۸ میلی‌متر، میانگین حداقل دمای سالانه ۴ درجه سانتی‌گراد، میانگین دمای حداکثر ۱۶/۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین دمای متوسط ۱۰/۲ درجه سانتی‌گراد است. وضعیت آب‌وهوایی منطقه در جدول (۱) آمده است. جدول (۲) نتایج آزمون خاک را نشان می‌دهد.

تیمارهای مورد مطالعه در این آزمایش شامل دو فاکتور کود سولفات منگنز در دو سطح شاهد و پنج در هزار و کود

سولفات منیزیم در پنج سطح شاهد، یک‌ونیم، سه، چهار و نیم و شش در هزار بودند که به صورت محلول پاشی مورد استفاده قرار گرفتند. رقم سیب زمینی مورد استفاده در این آزمایش، آگریا بود که از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اردبیل تهیه شد. برای اجرای آزمایش ابتدا عملیات تهیه بستر بذر در زمین مورد نظر بعد از برداشت گندم در سال قبل، با انجام شخم با گاوآهن شروع و با انجام پنجه‌گذاری در فروردین ماه و تسطیح با دیسک در همان زمان برای کشت بهاره ادامه یافت. به منظور ایجاد جوی و پشته از دستگاه شیارساز (فارور) استفاده شد. فاصله بین ردیف ۷۵ سانتی‌متر و بین بوته ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تعداد ردیف در هر کرت ۵ ردیف و طول هر ردیف ۵ متر بود. کاشت در ۱۸ فروردین ماه ۱۳۹۸ به صورت دستی انجام شد. آبیاری مزرعه بلافاصله بعد از کاشت انجام شد. تیمارهای مورد نظر براساس طرح آزمایش و به صورت تصادفی در کرت‌های مورد نظر اعمال شدند. محلول پاشی با عناصر مورد نظر طبق مقیاس BBCH (Hack et al., 2001) در دو نوبت به ترتیب در BBCH کد ۴۰ (مرحله شروع غده‌دهی) و BBCH کد ۴۵ (مرحله ۵۰ درصد غده‌دهی) در تاریخ‌های ۱۷ و ۲۹ خردادماه ۱۳۹۸ انجام شد. مقیاس BBCH مقیاسی است که اغلب برای شناسایی مراحل رشد فنولوژیکی سیب زمینی از کاشت تا برداشت استفاده می‌شود و دوره‌های رشد اصلی مانند پوشش گیاهی و رشد زایشی را از سایر دوره‌ها متمایز می‌کند (Ahmadi et al., 2014). میزان محلول پاشی به نحوی بود که بوته‌های سیب زمینی به طور کامل آغشته به محلول شدند. آبیاری مزرعه مطابق عرف منطقه صورت گرفت و به منظور مبارزه با آفات و علف‌های هرز احتمالی، از روش‌های تلفیقی (وجین به همراه آفت کش یا علف کش پاراکوات بعد از کاشت و قبل از سبز شدن بوته‌ها) استفاده شد. در طول فصل رشد مراقبت‌های لازم برای گیاه مانند وجین علف‌های هرز به صورت دستی انجام شد.

جدول ۱. اطلاعات هواشناسی شهرستان نیر از فروردین ماه تا پایان شهریورماه سال ۱۳۹۸

ماه						
عوامل	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
حداقل مطلق دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)	-۵/۶	-۷/۸	۴/۴	۴/۲	۷/۶	۳/۵
حداکثر مطلق دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)	۲۰/۱	۲۶/۲	۳۱/۴	۳۶/۷	۳۶/۲	۳۳/۹
متوسط حداقل دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)	۱/۳	۴/۱	۸/۷	۱۰/۸	۱۱/۵	۹/۸
متوسط حداکثر دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)	۱۱/۲	۱۸/۰	۲۵/۲	۲۶/۹	۲۷/۳	۲۲/۱
متوسط کل دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)	۶/۲	۱۱/۰	۱۷/۰	۱۸/۸	۱۹/۴	۱۶/۰
بارندگی (میلی‌متر)	۷۵/۹	۳۸/۰	۲۱/۸	۱/۲	-/۳	۳۰/۷
متوسط رطوبت نسبی (درصد)	۶۷/۹	۵۸/۳	۵۴/۱	۵۶/۰	۵۴/۲	۶۵/۹
متوسط تبخیر (میلی‌متر در روز)	۴/۲	۵/۲	۶/۸	۷/۷	۷/۳	۴/۹
متوسط ساعت آفتابی (ساعت/ روز)	۵/۳	۸/۵	۱۰/۱	۱۱/۱	۱۰/۲	۶/۸

جدول ۲. ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل اجرای آزمایش

بافت خاک	رس (درصد)	سیلت (درصد)	شن (درصد)	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	اسیدیته	درصد اشباع (درصد)	نیتروژن کل (درصد)
لومی	۲۲	۴۰	۳۸	۱/۳	۷/۶	۴۵	۰/۱
کربن آلی (درصد)	فسفر (پی‌پی‌ام)	پتاسیم (پی‌پی‌ام)	روی (پی‌پی‌ام)	آهن (پی‌پی‌ام)	مس (پی‌پی‌ام)	منگنز (پی‌پی‌ام)	منیزیم (پی‌پی‌ام)
۱/۲	۳۵/۸	۴۸۳	۶/۷	۶/۱	۳/۱	۱۳/۳	۵/۲

در نهایت در زمان گل‌دهی ۵۰ درصد از بوته‌های هر کرت، ارتفاع تعداد ۱۰ بوته از محل سطح بستر کاشت تا انتهای بلندترین ساقه اصلی هر بوته، به وسیله خط‌کش مدرج برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری و یادداشت گردید و میانگین آن‌ها

به‌عنوان ارتفاع بوته برای هر تیمار، در نظر گرفته شد. در پایان فصل زراعی، برداشت نهایی مزرعه در تاریخ ۲۶ شهریورماه ۱۳۹۸ صورت گرفت. برای اندازه‌گیری صفات تعداد ساقه اصلی در بوته، قطر ساقه اصلی، تعداد غده در بوته، تعداد غده قابل‌استفاده (با قطر بیش‌تر از ۳۰ میلی‌متر)، تعداد غده غیر اقتصادی (با قطر کم‌تر از ۳۰ میلی‌متر) و وزن متوسط غده، تعداد ۱۰ بوته به‌طور تصادفی انتخاب و میانگین آن‌ها برای این صفات یادداشت شد. برای اندازه‌گیری قطر ساقه و غده از کولیس استفاده شد. برای تعیین میزان عملکرد بوته‌ها نیز، از سه ردیف میانی با حذف یک ردیف کناری از هر طرف و همین‌طور حذف نیم‌متر حاشیه از ابتدا و انتهای هر ردیف کاشت، عملکرد بوته‌ها در مساحت برداشت‌شده ثبت و پس از برآورد نسبت محصول برداشت‌شده به سطح زیر کشت، عملکرد هر تیمار برحسب کیلوگرم در هکتار برآورد گردید. نرمال‌سازی داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از آزمون‌های Smirno-Kalmogoro و Shapiro Wilk انجام شد. برای تجزیه داده‌ها از نرم‌افزارهای آماری SPSS (نسخه ۲۵) و SAS (نسخه ۹/۱) استفاده شد. میانگین‌ها نیز با استفاده از روش آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD)^۱ در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند.

۴. یافته‌های پژوهشی

۴.۱. ارتفاع بوته

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی محلول‌پاشی سولفات‌منگنز و سولفات‌منیزیم بر صفت ارتفاع بوته به‌ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار بود، اما اثرات متقابل فاکتورهای آزمایش بر این صفت معنی‌دار نشد (جدول ۳). محلول‌پاشی سولفات‌منگنز باعث افزایش ارتفاع بوته به مقدار ۴/۳ درصد نسبت به تیمار شاهد شد. به‌طوری‌که، بالاترین ارتفاع بوته (۸۷/۸ سانتی‌متر) در محلول‌پاشی پنج در هزار سولفات‌منگنز مشاهده شد. کم‌ترین میزان ارتفاع نیز با ۸۴/۲ سانتی‌متر متعلق به تیمار شاهد بود (جدول ۴).

در اثر محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم بیش‌ترین ارتفاع بوته به‌میزان ۸۹/۴ سانتی‌متر از سطح کودی چهار و نیم در هزار محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم به‌دست آمد، اگرچه به لحاظ آماری اختلاف معنی‌دار با سطوح کودی سه و شش در هزار محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم نداشت. کم‌ترین مقدار این صفت به‌میزان ۸۱/۹ سانتی‌متر از تیمار شاهد (بدون محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم) به‌دست آمد. نتایج نشان داد بیش‌ترین اختلاف از نظر ارتفاع بوته، بین محلول‌پاشی چهار و نیم در هزار سولفات‌منیزیم و تیمار شاهد به‌میزان ۹/۱ درصد بود (جدول ۴).

۴.۲. قطر ساقه اصلی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر محلول‌پاشی سولفات‌منگنز و سولفات‌منیزیم بر صفت قطر ساقه اصلی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بودند، اما اثر متقابل فاکتورهای آزمایش بر این صفت معنی‌دار نبود (جدول ۳). در اثر محلول‌پاشی سولفات‌منگنز کم‌ترین قطر ساقه اصلی به‌میزان ۱۲/۴ میلی‌متر در تیمار شاهد به‌دست آمد، در حالی‌که بالاترین قطر ساقه اصلی به‌میزان ۱۳/۵ میلی‌متر مربوط به محلول‌پاشی پنج در هزار این کود بود. به‌طوری‌که، کاربرد پنج در هزار سولفات‌منگنز در مقایسه با شاهد موجب افزایش ۸/۷ درصد قطر ساقه اصلی در بوته‌های سیب‌زمینی شد (جدول ۴).

محلول‌پاشی با غلظت‌های چهار و نیم و شش در هزار سولفات‌منیزیم، اختلاف معنی‌دار با محلول‌پاشی با غلظت سه در هزار این کود نداشت و بالاترین قطر ساقه اصلی به‌ترتیب به‌میزان ۱۳/۷، ۱۳/۷ و ۱۳/۳ میلی‌متر بود. هم‌چنین، محلول‌پاشی یک و نیم در هزار سولفات‌منیزیم تفاوت معنی‌دار با شاهد نداشت و کم‌ترین قطر ساقه اصلی (به‌ترتیب ۱۲/۲

و ۱۱/۷ میلی متر) در این شرایط به دست آمد. نتایج نشان داد که محلول پاشی چهار و نیم و شش در هزار سولفات منیزیم سبب افزایش قطر ساقه اصلی به میزان ۱۷/۵ درصد نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۴).

۳.۴. تعداد ساقه اصلی در بوته

طبق نتایج به دست آمده در جدول (۳) محلول پاشی سولفات منیزیم بر تعداد ساقه اصلی در بوته اثر معنی داری در سطح احتمال یک درصد داشت، اما اثر سولفات منگنز و اثرات متقابل سولفات منگنز و سولفات منیزیم بر روی این صفت معنی دار نبود.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس اثر سطوح مختلف محلول پاشی سولفات منگنز و سولفات منیزیم بر صفات کمی مورد مطالعه سیب زمینی رقم آگریا

منابع تغییر	درجه آزادی	ارتفاع بوته	قطر ساقه اصلی	تعداد ساقه		تعداد غده		وزن متوسط غده	عملکرد غده
				اصلی در بوته	در بوته	تعداد غده قابل استفاده	تعداد غده غیر اقتصادی		
تکرار	۲	۶۹/۴۷*	۴/۸۵*	۰/۲۸*	۱/۲۸**	۴/۶۸**	۱/۰۰**	۲۴۱/۸۰*	۱۰/۷۱ ns
سولفات منگنز	۱	۹۷/۹۲**	۸/۸۶**	۰/۰۱ns	۲/۰۳**	۱/۰۱*	۰/۲۱ ns	۷۷۸/۲۶**	۳۱۰/۴۱**
سولفات منیزیم	۴	۴۷/۶۷*	۵/۲۱**	۰/۴۰**	۱/۵۶**	۳/۱۳**	۰/۵۶**	۳۷۶/۸۱**	۳۹/۲۶**
سولفات منگنز × سولفات منیزیم	۴	۴/۸۷ns	۰/۸۶ns	۰/۰۲ns	۰/۱۲ ns	۰/۱۸ ns	۰/۱۲ ns	۴/۸۹ ns	۰/۱۸ ns
اشتباه آزمایش	۱۸	۱۰/۸۲	۰/۷۳	۰/۰۵	۰/۱۴	۰/۱۷	۰/۱۰	۵۶/۲۲	۳/۳۲
ضریب تغییرات (درصد)		۳/۸۲	۶/۶۳	۸/۱۴	۴/۰۱	۵/۹۹	۱۲/۸۱	۶/۶۱	۴/۳۷

ns * و ** به ترتیب غیر معنی دار، معنی دار در سطح ۵ و ۱ درصد می باشد.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثر سطوح مختلف محلول پاشی سولفات منگنز و سولفات منیزیم بر صفات کمی مورد مطالعه سیب زمینی رقم آگریا

تیمارها	سطوح	ارتفاع بوته (سانتی متر)	قطر ساقه اصلی (میلی متر)	تعداد غده در بوته	تعداد غده قابل استفاده	وزن متوسط غده (گرم)	عملکرد غده (تن در هکتار)
سولفات منگنز	شاهد	۸۴/۲۱ b	۱۲/۴۴ b	۹/۱۲ b	۶/۷۱ b	۱۰۸/۳۰ b	۳۸/۴۳ b
	۵ در هزار	۸۷/۸۸ a	۱۳/۵۲ a	۹/۶۵ a	۷/۰۷ a	۱۱۸/۴۸ a	۴۴/۸۷ a
سولفات منیزیم	شاهد	۸۱/۹۴ c	۱۱/۶۹ b	۸/۷۲ d	۵/۷۵ c	۱۰۳/۶۲ c	۳۷/۹۳ b
	۱/۵ در هزار	۸۴/۷۶ bc	۱۲/۲۴ b	۹/۰۳ cd	۶/۸۳ b	۱۰۷/۴۶ bc	۴۰/۰۴ b
	۳ در هزار	۸۷/۳۶ ab	۱۳/۳۲ a	۹/۳۵ bc	۷/۰۸ b	۱۲۲/۸۸ a	۴۳/۲۰ a
	۴/۵ در هزار	۸۹/۳۸ a	۱۳/۷۱ a	۱۰/۰۳ a	۷/۷۳ a	۱۱۴/۳۷ ab	۴۳/۵۳ a
	۶ در هزار	۸۶/۷۹ ab	۱۳/۷۴ a	۹/۶۷ ab	۷/۰۷ b	۱۱۸/۶۸ a	۴۳/۵۶ a

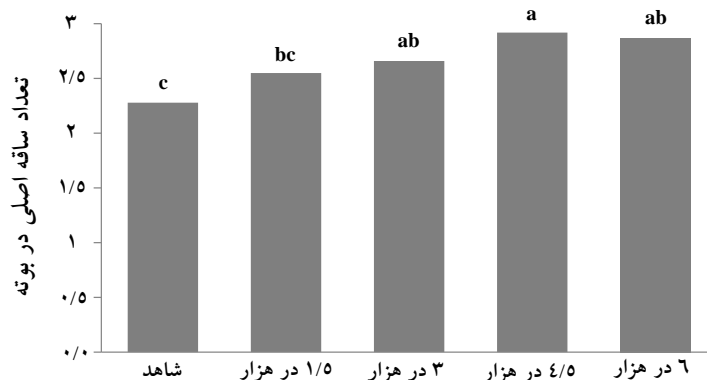
حروف غیر مشابه بیانگر تفاوت معنی دار در سطح احتمال پنج درصد بر اساس آزمون LSD است.

بیشترین تعداد ساقه اصلی در بوته از محلول پاشی چهار و نیم و شش در هزار سولفات منیزیم به میزان ۲/۹ ساقه به دست آمد، اگرچه از نظر آماری اختلاف آن‌ها با تیمار کودی سه در هزار این کود معنی دار نبود. کمترین میزان این صفت (۲/۳ ساقه اصلی در بوته) در تیمار شاهد مشاهده شد که از نظر آماری با سایر تیمارهای کودی اختلاف معنی دار داشت. محلول پاشی چهار و نیم و شش در هزار سولفات منیزیم سبب افزایش این صفت به ترتیب به میزان ۲۸/۱ و ۲۵/۹ درصد نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۱).

۴.۴. تعداد غده در هر بوته

نتایج جدول تجزیه واریانس آماری نشان داد که اثرات ساده سولفات منیزیم و سولفات منگنز بر روی صفت تعداد غده در هر بوته در سطح احتمال یک درصد معنی دار اما اثرات متقابل آن‌ها بر روی صفت مربوط غیر معنی دار بود (جدول ۳).

بیش‌ترین مقدار تعداد غده در بوته (۹/۷ غده در بوته) در اثر محلول‌پاشی پنج در هزار سولفات‌منگنز به‌دست آمد و کم‌ترین مقدار آن (۹/۱ غده در بوته) مربوط به تیمار شاهد بود. کاربرد پنج در هزار سولفات‌منگنز به‌صورت محلول‌پاشی، ۵/۸ درصد بر تعداد غده در هر بوته افزود (جدول ۴).



شکل ۱. اثر سطوح محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم بر تعداد ساقه اصلی در سیب‌زمینی رقم آگریا

در اثر محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم، بیش‌ترین تعداد غده در بوته (۱۰ غده در بوته) در تیمار کودی چهار و نیم در هزار سولفات‌منیزیم به‌دست آمد، اگرچه از نظر آماری اختلاف معنی‌دار با سطح کودی شش در هزار سولفات‌منیزیم نداشت. کم‌ترین تعداد غده در هر بوته (۸/۷ غده در بوته) نیز در تیمار شاهد مشاهده شد. کاربرد تیمار کودی چهار و نیم در هزار سولفات‌منیزیم سبب افزایش ۱۵ درصد این صفت نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۴).

۵.۴. تعداد غده قابل‌استفاده

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر اصلی فاکتورهای آزمایش بر صفت تعداد غده قابل‌استفاده در هر بوته معنی‌دار بودند. به‌نحوی که، محلول‌پاشی سولفات‌منگنز و سولفات‌منیزیم به‌ترتیب در سطح احتمال پنج و یک درصد روی این صفت اختلاف معنی‌دار نشان دادند. هرچند از نظر آماری، اثرات متقابل این دو فاکتور در صفت تعداد غده قابل‌استفاده در هر بوته معنی‌دار نشد (جدول ۳). بیش‌ترین صفت تعداد غده قابل‌استفاده به‌میزان ۷/۱ غده، در سطح کودی پنج در هزار سولفات‌منگنز به‌دست آمد. کم‌ترین میزان این صفت نیز، به‌میزان ۶/۷ غده، در شرایط بدون محلول‌پاشی سولفات‌منگنز حاصل شد. بررسی‌ها نشان داد که محلول‌پاشی پنج در هزار سولفات‌منگنز سبب افزایش ۵/۴ درصدی تعداد غده‌های قابل‌استفاده سیب‌زمینی رقم آگریا نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۴).

محلول‌پاشی سطوح مختلف سولفات‌منیزیم اثر معنی‌دار روی صفت تعداد غده قابل‌استفاده در هر بوته داشت. بیش‌ترین مقدار این صفت در سطح کودی چهار و نیم در هزار سولفات‌منیزیم به‌میزان ۷/۷ غده در بوته به‌دست آمد که با سایر تیمارهای کودی اختلاف معنی‌دار داشت. هم‌چنین، سایر سطوح کودی سولفات‌منیزیم (یک و نیم، سه و شش در هزار) بدون تفاوت آماری معنی‌دار و البته با اختلاف معنی‌دار نسبت به تیمار شاهد، بعد از تیمار کودی برتر، در یک گروه قرار گرفتند. کم‌ترین تعداد غده قابل‌استفاده به‌میزان ۵/۸ غده نیز، در شرایط بدون محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم به‌دست آمد. محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم در سطح کودی چهار و نیم در هزار سبب افزایش ۳۴/۴ درصد تعداد غده قابل‌استفاده در هر بوته نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۴).

۶.۴. تعداد غده غیر اقتصادی

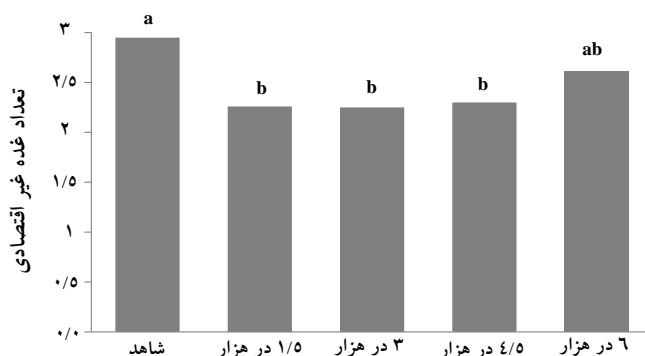
اثر اصلی محلول پاشی سولفات منگنز تأثیر معنی دار بر تعداد غده غیر اقتصادی (با قطر کم تر از ۳۰ میلی متر) در هر بوته نداشت، اما کاربرد سولفات منیزیم در سطح احتمال یک درصد روی این صفت اثر معنی دار داشت. همچنین، اثر متقابل این دو فاکتور آزمایش روی تعداد غده غیر اقتصادی معنی دار نبود (جدول ۳).

در این مطالعه، تیمار شاهد بیشترین تعداد غده غیر اقتصادی به میزان سه غده، در اثر محلول پاشی سولفات منیزیم را داشت که با سطح کودی شش در هزار سولفات منیزیم در یک گروه مشترک قرار داشتند. سایر سطوح کودی سولفات منیزیم (یک و نیم، سه و چهار و نیم در هزار) نیز بدون اختلاف معنی دار با هم کمترین تعداد این صفت را در هر بوته دارا بودند. محلول پاشی سولفات منیزیم در سطح کودی سه در هزار، که تعداد غده غیر اقتصادی در هر بوته را داشت، سبب کاهش ۳۱/۱ درصد این صفت نسبت به تیمار شاهد شد (شکل ۲).

۷.۴. وزن متوسط غده

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از اثر معنی دار فاکتورهای آزمایش بر وزن متوسط غده‌های سیب زمینی رقم آگریا بود. اثر اصلی محلول پاشی سولفات منگنز و سولفات منیزیم، هر دو در سطح احتمال یک درصد معنی دار بودند اما، اثر متقابل فاکتورهای آزمایش بر وزن متوسط غده‌ها غیر معنی دار بود (جدول ۳). در اثر محلول پاشی پنج در هزار سولفات منگنز، بیشترین میزان وزن متوسط غده‌ها (۱۱۸/۵ گرم) به دست آمد. کمترین میزان وزن متوسط غده‌ها (۱۰۸/۳ گرم) نیز مربوط به تیمار شاهد بود. میانگین وزن غده سیب زمینی رقم آگریا با کاربرد پنج در هزار سولفات منگنز به میزان ۹/۴ درصد نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت که می‌تواند ناشی از افزایش تعداد غده‌های قابل استفاده باشد (جدول ۴).

بیشترین وزن متوسط غده‌ها در سیب زمینی رقم آگریا در شرایط محلول پاشی سه و شش در هزار سولفات منیزیم به ترتیب به میزان ۱۲۲/۹ و ۱۱۸/۷ گرم به دست آمد که به لحاظ آماری اختلاف معنی دار با سطح محلول پاشی چهار و نیم در هزار سولفات منیزیم نداشتند و در یک گروه مشترک بودند. تیمار شاهد نیز با وزن متوسط غده ۱۰۳/۶ گرم کمترین مقدار این صفت را دارا بود و با سطح کودی یک و نیم در هزار سولفات منیزیم در یک گروه مشترک قرار داشت. بررسی داده‌ها نشان داد که با افزایش سطوح مصرفی سولفات منیزیم وزن متوسط غده‌ها افزایش یافت، هر چند در سطوح بالاتر (چهار و نیم و شش در هزار) محلول پاشی سولفات منیزیم، از میزان این صفت تا حدودی کاسته شد. به طوری که، بیشترین اختلاف مشاهده شده متعلق به تیمار شاهد و محلول پاشی سه در هزار سولفات منیزیم بود که سبب افزایش ۱۸/۶ درصد وزن متوسط غده‌ها نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۴).



شکل ۲. اثر سطوح محلول پاشی سولفات منیزیم بر تعداد غده غیر اقتصادی در سیب زمینی رقم آگریا

۴.۸. عملکرد غده

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد، اگرچه اثر متقابل فاکتورهای آزمایش تأثیر معنی‌دار روی صفت عملکرد غده نداشت، اما اثر اصلی فاکتورهای آزمایش روی این صفت معنی‌دار بود. به‌طوری‌که، محلول‌پاشی سولفات‌منگنز و سولفات‌منیزیم، هر دو در سطح احتمال یک درصد تأثیر معنی‌دار روی عملکرد غده داشتند (جدول ۳). در اثر محلول‌پاشی سولفات‌منگنز کم‌ترین عملکرد غده متعلق به تیمار شاهد به میزان ۳۸/۴ تن در هکتار بود، در حالی‌که با محلول‌پاشی پنج در هزار این کود، میزان این صفت به‌طور معنی‌دار افزایش یافت و بیش‌ترین مقدار آن یعنی ۴۴/۹ تن در هکتار حاصل شد، به‌گونه‌ای که محلول‌پاشی پنج در هزار سولفات‌منگنز سبب افزایش ۱۶/۸ درصد میزان عملکرد غده نسبت به تیمار شاهد گردید (جدول ۴).

در این پژوهش نیز، در اثر محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم بیش‌ترین عملکرد غده در سطوح کودی سه، چهار و نیم و شش در هزار سولفات‌منیزیم به‌ترتیب به‌میزان ۴۳/۲، ۴۳/۵ و ۴۳/۶ تن در هکتار به‌دست آمد که در یک گروه برتر قرار داشتند و به لحاظ افزایش عملکرد غده تفاوت معنی‌دار نسبت به یکدیگر نشان ندادند. کم‌ترین میزان این صفت مربوط به تیمار شاهد و سطح کودی یک و نیم در هزار سولفات‌منیزیم به‌ترتیب به‌میزان ۳۷/۹ و ۴۰ تن در هکتار بود که در یک گروه مشترک بودند. هرچند سطح کودی یک و نیم در هزار سولفات‌منیزیم با تیمار شاهد تفاوت معنی‌دار نداشت، کاربرد سولفات‌منیزیم اثرات مثبت و افزایشی در میزان عملکرد غده سبب‌زمینی نسبت به عدم محلول‌پاشی آن داشت. در حالت کلی افزایش عملکرد غده با کاربرد یک و نیم، سه، چهار و نیم و شش در هزار سولفات‌منیزیم نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب برابر ۵/۶، ۱۳/۹، ۱۴/۸ و ۱۴/۸ درصد بود (جدول ۴).

۵. بحث

افزایش ارتفاع گیاه ممکن است به‌دلیل نقش عناصر غذایی پرمصرف و کم‌مصرف در روند فیزیولوژیک، تقسیم سلولی و بزرگ‌شدن آن باشد که به‌طور غیرمستقیم بر تشکیل بافت و در نتیجه رشد رویشی گیاه تأثیر می‌گذارد (Jasim, 2013). در این راستا، پژوهش‌گران در بررسی خود روی سبب‌زمینی نشان دادند که محلول‌پاشی هم‌زمان روی و منگنز سبب افزایش ارتفاع بوته شد (Al-Fadlly *et al.*, 2020). همچنین، در آزمایشی روی سبب‌زمینی گزارش کردند که محلول‌پاشی منگنز ارتفاع بوته را افزایش داد (Kaur *et al.*, 2018; Singh *et al.*, 2018). اما Miyu *et al.* (2019) در آزمایش خود روی سبب‌زمینی بیان کردند که محلول‌پاشی روی، بر، منگنز و ترکیب آن‌ها بر ارتفاع بوته اثر معنی‌دار نداشتند. پژوهش‌گران گزارش کردند که کمبود منیزیم به‌واسطه نقش‌های متعدد آن در فتوسنتز و تنظیم آنزیم‌های دخیل در رشد و تقسیم سلولی می‌تواند منجر به نقصان رشد طبیعی در گیاه شود (Senbayram *et al.*, 2015). پژوهش‌گران در بررسی خود روی سبب‌زمینی گزارش کردند که در اثر محلول‌پاشی منیزیم ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (Saasea & Al-Aamry, 2018; Ramesh *et al.*, 2019; Shanwaz *et al.*, 2020). در پژوهشی دیگر، اثر محلول-پاشی نانو ذرات آهن و منیزیم بر صفت ارتفاع بوته سبب‌زمینی معنی‌دار بود (خدادادی کروکی و همکاران، ۱۳۹۹). افزایش ارتفاع بوته گوجه‌فرنگی در اثر محلول‌پاشی هم‌زمان کلسیم و منیزیم نسبت به تیمار شاهد گزارش شده است (Ilyas *et al.*, 2014). همچنین، در یک بررسی، کاربرد نانوکود منیزیم در کنجد باعث افزایش میانگین ارتفاع بوته شد (خدادادی ورامین و همکاران، ۱۴۰۰). در بررسی اثر محلول‌پاشی برخی از عناصر پرمصرف و کم‌مصرف در مراحل مختلف رشدی بر عملکرد و اجزای عملکرد ذرت هیبرید ۴۰۷ نشان داده شد که محلول‌پاشی پنج در هزار منیزیم سبب افزایش ارتفاع بوته در مقایسه با تیمار شاهد گردید (Omid Haghi *et al.*, 2015). در این پژوهش نیز

محلول پاشی سولفات منیزیم سبب افزایش ارتفاع سیب زمینی شد. در آزمایشی دیگر، محلول پاشی سطوح منیزیم روی سیب زمینی اثر معنی دار بر وزن تر بوته، تعداد برگ در گیاه و کلروفیل a، b و محتوای کل داشت، اما بر ارتفاع بوته، سطح برگ و وزن خشک گیاه پس از ۹۰ روز پس از کاشت اثر معنی دار نداشت (El-Hadidi *et al.*, 2017). در پژوهشی دیگر، پژوهشگران گزارش کردند که بوته‌های سیب زمینی کاهش معنی داری در مقدار میان‌گره‌ها و همچنین در ارتفاع گیاه نشان ندادند (Koch *et al.*, 2019).

پژوهشگران در آزمایش خود روی سیب زمینی گزارش کردند که اثر اصلی محلول پاشی نانوذرات آهن و منیزیم بر صفت قطر ساقه سیب زمینی معنی دار بود و بیشترین قطر ساقه در تیمار محلول پاشی یک درصد نانو ذرات آهن + یک درصد نانوذرات منیزیم به دست آمد که سبب افزایش این صفت در مقایسه با تیمار شاهد شد (خدادادی کروکی و همکاران، ۱۳۹۹). تیمار شاهد نیز، کمترین قطر ساقه را داشت و با تیمار محلول پاشی یک درصد نانوذرات منیزیم در یک گروه آماری مشترک بودند. نتایج به دست آمده از یک بررسی روی کنبج نشان داد که بیشترین قطر ساقه در اثر کاربرد نانو کود منیزیم تحت شرایط آبیاری نرمال در رقم دشتستان ۲ به دست آمد که سبب افزایش این صفت در مقایسه با تیمار شاهد شد (خدادادی ورامین و همکاران، ۱۴۰۰).

پژوهشگران در بررسی خود روی سیب زمینی نشان دادند که میانگین تعداد ساقه گیاه در نتیجه محلول پاشی هم‌زمان روی و منگنز (۶۰ میلی‌گرم در لیتر روی + ۳۰ میلی‌گرم در لیتر منگنز) نسبت به تیمار شاهد افزایش معنی دار داشت. به طوری که، در مقایسه با سایر تیمارهای کودی (شاهد، محلول پاشی ۶۰ میلی‌گرم در لیتر روی، محلول پاشی ۳۰ میلی‌گرم در لیتر منگنز) بیشترین تعداد ساقه در گیاه را به خود اختصاص داد (Al-Fadlly *et al.*, 2020). در حالی که، Jasim (2013) در بررسی اثر محلول پاشی کودها بر رشد و عملکرد هفت رقم سیب زمینی نشان داد که محلول پاشی کودها اثر معنی دار بر تعداد ساقه در گیاه نداشت. در پژوهشی دیگر اعلام کردند که اثر محلول پاشی منگنز بر ارتفاع بوته، تعداد روز تا سبز شدن ۵۰ درصد غده‌ها، تعداد شاخه‌ها در هر بوته و طول برگ‌های سیب زمینی معنی دار نبود (Miyu *et al.*, 2019) که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد.

افزایش تعداد ساقه‌های اصلی در سیب زمینی به منزله افزایش تعداد استولن و تعداد غده‌های تشکیل یافته در بوته‌ها می‌باشد که از اجزای اصلی عملکرد غده بوده و نقش مهمی در افزایش عملکرد غده دارد. پژوهش‌ها نشان دادند که در اثر محلول پاشی منیزیم تعداد ساقه در گیاه سیب زمینی نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (خدادادی کروکی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Ramesh *et al.*, 2019; Shanwaz *et al.*, 2020). از طرفی، محلول پاشی هم‌زمان کلسیم و منیزیم در گیاه گوجه-فرنگی سبب افزایش تعداد ساقه نسبت به تیمار شاهد شد (Ilyas *et al.*, 2014).

پژوهشگران در بررسی خود روی سیب زمینی به این نتیجه رسیدند که محلول پاشی منگنز، به طور قابل توجهی تعداد غده‌ها در گیاه را افزایش داد (Singh *et al.*, 2018). در پژوهشی دیگر، در اثر محلول پاشی عناصر کم مصرف (روی، منگنز، آهن و مس) تعداد غده به دست آمده در هر بوته در شرایط استفاده از غلظت کامل عناصر کم مصرف در مقایسه با زمانی که نصف غلظت عناصر کم مصرف استفاده شد، افزایش یافت اما تفاوتی با تیمار شاهد نداشت. همچنین، در این پژوهش حداکثر تعداد غده در بوته در شرایط محلول پاشی با غلظت کامل در طول گل‌دهی بوته‌ها، به میزان ۱۰/۷ عدد بود که در مقایسه با محلول پاشی با نصف غلظت عناصر کم مصرف در ۲۰ روز پس از گل‌دهی، به میزان ۷/۳ عدد به دست آمد (AL-Jobori & AL-Hadithy, 2014).

پژوهشگران در آزمایش خود روی سیب زمینی نشان دادند که در اثر محلول پاشی با منیزیم تعداد غده در هر بوته نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (Ramesh *et al.*, 2019; Shanwaz *et al.*, 2020) که با نتایج این پژوهش مطابقت

دارد. اما، نتایج پژوهشی نشان داد که محلول‌پاشی منیزیم اثر غیر معنی‌دار بر تعداد غده در بوته و میانگین وزن غده‌های سیب‌زمینی داشت (El-Hadidi *et al.*, 2017). هم‌چنین، در یک آزمایش، اثر محلول‌پاشی نانوذرات آهن و منیزیم بر صفت تعداد غده در سیب‌زمینی غیر معنی‌دار بود (خدادادی کروکی و همکاران، ۱۳۹۹).

نتایج این پژوهش با یافته‌های جم و همکاران (۱۳۹۴) مبنی بر وجود اختلاف معنی‌دار در اندازه بوته‌ها در اثر کاربرد عناصر کم‌مصرف مطابقت دارد. ایشان بیان کردند که در اثر محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف (آهن و روی)، تعداد غده‌های ریز (با قطر کمتر از ۳۵ میلی‌متر)، غده‌های متوسط (با قطر بین ۳۵ تا ۵۵ میلی‌متر) و غده‌های بزرگ (با قطر بیش‌تر از ۵۵ میلی‌متر) نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (جم و همکاران، ۱۳۹۴). از نتایج مشخص می‌شود که عناصر کم‌مصرف توانستند تعداد غده‌های بزرگ را افزایش دهند که در نهایت منجر به افزایش عملکرد شدند (Miyu *et al.*, 2019).

در این راستا، پژوهش‌گران در آزمایش خود روی سیب‌زمینی نشان دادند که در اثر محلول‌پاشی با منیزیم تعداد غده‌های متوسط (با قطر بین ۳۵-۵۵ میلی‌متر) و غده‌های بزرگ (با قطر بیش‌تر از ۵۵ میلی‌متر) در گیاه نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (Ramesh *et al.*, 2019). در آزمایشی دیگر، پژوهش‌گران بیان کردند که محلول‌پاشی بوته‌های سیب‌زمینی با سولفات منیزیم ۰/۳ و ۰/۵ درصد سبب افزایش حجم غده‌های سیب‌زمینی نسبت به تیمار شاهد شد (Shanwaz *et al.*, 2020).

در پژوهشی روی سیب‌زمینی اعلام کردند که تیمارهای مختلف کودی، اثر معنی‌دار بر تمام اندازه غده‌ها داشتند (Miyu *et al.*, 2019). در اثر محلول‌پاشی با منیزیم تعداد و وزن غده‌های کوچک (با قطر کمتر از ۳۵ میلی‌متر) در گیاه سیب‌زمینی نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (Ramesh *et al.*, 2019). هم‌چنین، در بررسی تأثیر محلول‌پاشی عناصر غذایی بر رشد، عملکرد و کیفیت سیب‌زمینی، محلول‌پاشی بوته‌های سیب‌زمینی با سولفات منیزیم سبب افزایش محیط غده‌های سیب‌زمینی نسبت به تیمار شاهد شد (Shanwaz *et al.*, 2020).

در تأیید این یافته‌ها، پژوهش‌گران در پژوهش خود روی سیب‌زمینی گزارش کردند که اثر زمان محلول‌پاشی عناصر کم‌مصرف (آهن، منگنز، مس و روی) بر وزن متوسط غده‌ها معنی‌دار بود و عناصر کم‌مصرف در طول گل‌دهی میانگین وزن غده‌ها را افزایش دادند (AL-Jobori & AL-Hadithy, 2014). در پژوهش‌های دیگر نیز، در اثر محلول‌پاشی منگنز وزن متوسط غده‌های سیب‌زمینی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (Kaur *et al.*, 2018; Singh, *et al.*, 2018; Miyu *et al.*, 2019). هم‌چنین، کاربرد هم‌زمان روی و منگنز باعث افزایش تمامی پارامترهای گیاهی مورد مطالعه در رابطه با اجزای عملکرد شد. به‌طوری‌که، کاربرد هم‌زمان روی و منگنز میانگین وزن غده سیب‌زمینی، عملکرد غده در بوته و عملکرد کل غده را نسبت به شاهد افزایش داد (Al-Fadhly, 2016).

نظر به این‌که وزن غده از اجزای اصلی عملکرد غده سیب‌زمینی محسوب می‌شود، لذا بهبود این صفت می‌تواند در افزایش عملکرد غده بسیار مؤثر باشد (عروجی و گلچین، ۱۳۹۱). در تأیید این یافته‌ها، پژوهش‌گران بیان کردند که محلول‌پاشی بوته‌های سیب‌زمینی با منیزیم سبب افزایش وزن متوسط غده‌های سیب‌زمینی نسبت به تیمار شاهد شد (Saaseea & Al-Aamry, 2018; Ramesh *et al.*, 2019; Shanwaz *et al.*, 2020). اما در پژوهشی دیگر، پژوهش‌گران به این نتیجه رسیدند که اثر محلول‌پاشی نانوذرات آهن و منیزیم بر صفت وزن متوسط غده سیب‌زمینی غیر معنی‌دار بود (خدادادی کروکی و همکاران، ۱۳۹۹).

در پژوهشی روی سیب‌زمینی، پژوهش‌گران افزایش خطی صفات عملکرد و اجزای عملکرد را با افزایش غلظت عناصر روی و منگنز گزارش کردند (Singh *et al.*, 2018). در آزمایشی دیگر، با افزایش سطوح منگنز، قابلیت جذب خاک تا حد معینی و عملکرد سیب‌زمینی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت (عروجی و گلچین، ۱۳۹۱). نظر به این‌که وزن غده از

اجزای اصلی عملکرد غده محسوب می‌شود، لذا بهبود این صفت می‌تواند در افزایش عملکرد غده بسیار مؤثر باشد. با توجه به اثرگذاری عنصر منگنز در بخشی از فرایندهای مرتبط با فتوسنتز، بیوسنتز ویتامین ث و نقل و انتقال ترکیبات نیتروژن و جذب فسفر و آهن از خاک (Baranowska *et al.*, 2017) و از طرفی نقش اصلی در سنتز پروتئین، فعالیت آنزیم، واکنش‌های اکسیداسیون و احیا و متابولیسم کربوهیدرات‌ها (Leszczynski, 2012)، بهبود عملکرد و اجزای عملکرد غده سیب زمینی با کاربرد این عنصر به صورت محلول پاشی دور از انتظار نخواهد بود. همچنین، در بررسی محلول پاشی روی و منگنز و تأثیر آن‌ها بر عملکرد و ویژگی‌های کیفی سیب زمینی، در اثر محلول پاشی منگنز عملکرد غده نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (Kaur *et al.*, 2018).

نتایج به دست آمده از ارزیابی محلول پاشی نانو کلات آهن، روی و منگنز نشان داد که این عناصر با تعدیل تنش خشکی، عملکرد دانه را افزایش می‌دهند، که این افزایش در شرایط تنش خشکی محسوس‌تر بود و در زمانی که به صورت ترکیبی مصرف شدند عملکرد دانه بیش‌تر از حالت منفرد افزایش یافت. همچنین، بیش‌ترین عملکرد دانه از ترکیب تیماری آبیاری در تمام مراحل رشد و محلول پاشی روی + منگنز به دست آمد که تفاوت معنی داری با سایر تیمارها داشت (وقار و همکاران، ۱۴۰۰). در پژوهشی دیگر، عملکرد غده سیب زمینی با محلول پاشی روی + منگنز به طور معنی دار افزایش یافت (Al-Fadhly, 2016). همچنین، پژوهش‌گران نشان دادند که در اثر محلول پاشی عناصر کم مصرف (آهن، منگنز، مس و روی) عملکرد غده سیب زمینی در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت. آن‌ها بیان کردند که محلول پاشی عناصر کم مصرف در زمان گل دهی باعث افزایش عملکرد غده شد (AL-Jobori & AL-Hadithy, 2014).

نتایج پژوهش‌های Jasim (2013) نشان داد که کوددهی برگی نقش بالقوه‌ای در تولید سیب زمینی دارد. منیزیم باعث بهبود عملکرد محصول در مزرعه می‌شود (Senbayram *et al.*, 2015; Wang *et al.*, 2020). اما میزان این عنصر در خاک به وسیله برداشت محصول زراعی و همچنین از طریق آبشویی از خاک کاهش می‌یابد (Gransee & Fuhrs, 2013) در نتیجه، گیاه به افزایش کود منیزیم پاسخ مثبت نشان می‌دهد (El-Hadidi, *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2020). یافته‌های پژوهش‌گران نشان داد که محلول پاشی با منیزیم عملکرد غده سیب زمینی را نسبت به تیمار شاهد افزایش داد (Ramesh *et al.*, 2019). همچنین، در اثر محلول پاشی هم‌زمان کلسیم و منیزیم عملکرد غده در اولین و دومین سال آزمایش نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت (El-Metwaly & Mansour, 2019). در پژوهشی دیگر، اثر محلول پاشی نانوذرات آهن و منیزیم بر صفت عملکرد غده سیب زمینی معنی دار بود و بیش‌ترین عملکرد غده و همچنین عملکرد غده قابل فروش در تیمار محلول پاشی دو درصد نانو ذرات آهن + دو درصد نانو ذرات منیزیم به دست آمد (خدادادی کروکی و همکاران، ۱۳۹۹).

نتایج بررسی پژوهش‌گران، افزایش ۹/۴ درصدی در عملکرد غده گیاه سیب زمینی را با کاربرد کود منیزیم نسبت به گیاهان شاهد نشان داد (Wang *et al.*, 2020). همچنین، پژوهش‌گران در بررسی خود روی کنگد به این نتیجه رسیدند که براساس مقایسه میانگین اثر متقابل سه گانه، بیش‌ترین عملکرد دانه در اثر کاربرد نانو کود منیزیم تحت شرایط آبیاری نرمال در رقم دشتستان ۲ با میانگین ۱۱۸۸/۲ کیلوگرم در هکتار به دست آمد (خردادی ورامین و همکاران، ۱۴۰۰). در آزمایشی دیگر، در اثر محلول پاشی منیزیم در ذرت هیبرید ۴۰۷ عملکرد گیاهان در مقایسه با تیمار شاهد افزایش یافت (Omid Haghi *et al.*, 2015). در کل، می‌توان نتیجه گرفت که افزایش بهره‌وری گیاهان سیب زمینی در نتیجه محلول پاشی کودها، ممکن است به دلیل افزایش وزن و تعداد غده در گیاه باشد که به نوبه خود باعث افزایش عملکرد کل غده‌ها می‌شود (Jasim, 2013) که با یافته‌های این پژوهش مطابقت دارد.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در شرایط محلول‌پاشی پنج در هزار سولفات‌منگنز، بیش‌ترین مقدار صفات ارتفاع بوته، تعداد ساقه در بوته، قطر ساقه اصلی، تعداد غده در بوته، تعداد غده قابل‌استفاده، تعداد غده غیر اقتصادی، وزن متوسط غده و عملکرد غده به‌دست آمد، به‌طوری‌که این سطح کودی، سبب افزایش ۱۶/۸ درصد عملکرد غده شد. با افزایش مقدار مصرفی سولفات‌منیزیم تا سطح کودی چهار و نیم در هزار، اگرچه وزن متوسط غده‌ها نسبت به سطح کودی سه در هزار، مقدار کمی کاهش نشان داد، اما بر میزان همه صفات مورد‌آزمایش به‌جز تعداد غده غیر اقتصادی افزوده شد. بیش‌ترین تأثیر محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم بر تعداد غده قابل استفاده بود که در سطح کودی چهار و نیم در هزار، سبب افزایش ۳۴/۴ درصد تعداد این غده شد. با افزایش مقدار مصرفی سولفات‌منیزیم به سطح کودی شش در هزار، از مقدار صفات مورد‌مطالعه کاسته شد. هرچند در صفات قطر ساقه اصلی، وزن متوسط غده‌ها و عملکرد غده سبب افزایش جزئی مقدار این صفات شد، اما با سطح کودی چهار و نیم در هزار سولفات‌منیزیم تفاوت معنی‌دار نداشت. در مجموع، به‌طور میانگین محلول‌پاشی سولفات‌منیزیم باعث افزایش ۱۲/۳ درصد عملکرد غده نسبت به تیمار شاهد شد. می‌توان نتیجه گرفت که افزایش بهره‌وری گیاهان سبب‌زمینی در نتیجه محلول‌پاشی کودها، ممکن است به‌دلیل افزایش وزن و تعداد غده در گیاه باشد که به‌نوبه خود باعث افزایش عملکرد کل غده‌ها شده است. در مجموع، با توجه به این‌که در اکثر صفات مورد‌بررسی در این پژوهش، محلول‌پاشی پنج در هزار سولفات‌منگنز و چهار و نیم در هزار سولفات‌منیزیم نسبت به سایر تیمارها نتایج بهتری را نشان داد، می‌توان این سطوح کودی را در این منطقه برای این رقم توصیه نمود.

۷. تشکر و قدردانی

از دانشگاه محقق اردبیلی به‌خاطر حمایت مالی این پژوهش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- بصیرت، مجید و مطلبی‌فرد، رحیم (۱۳۹۵). راهنمای تغذیه گیاهی در سیب زمینی به‌منظور کاهش باقیمانده نیترات در محصول. تهران: انتشارات مؤسسه تحقیقات خاک و آب.
- جم، الهام؛ عبادی، علی و پرمون، قاسم (۱۳۹۴). نقش عناصر ریزمغذی آهن و روی در عملکرد و اجزای عملکرد سیب‌زمینی. نشریه علمی- پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی. ۹ (۲)، ۱۷۷-۱۹۰.
- جوکار، لاله و رونقی، عبدالمجید (۱۳۹۴). اثر محلول‌پاشی سطوح و منابع مختلف آهن بر رشد و غلظت برخی عناصر غذایی در گیاه سورگوم. نشریه علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای. ۶ (۲۲)، ۱۶۳-۱۷۴.
- خدادادی کروکی، امیر؛ یاورزاده، محمدرضا؛ اکبریان، محمد مهدی و عسکری، علی‌اکبر (۱۳۹۹). بررسی اثر نانوذرات آهن و منیزیم و تاریخ کاشت بر عملکرد و میان نیترات غده سیب‌زمینی. دو فصلنامه علوم به‌زراعی گیاهی. ۱۰ (۲)، ۴۱-۵۴.
- خردادی ورامین، جابر؛ فنودی، فرزاد؛ مسعود سینکی، جعفر؛ رضوان، شهرام و دماوندی، علی (۱۴۰۰). بررسی واکنش صفات عملکردی و محتوی روغن ارقام کنجد (*Sesamum indicum* L.) به کاربرد نانوکود منیزیم و پلیمر زیستی کیتوزان در شرایط تنش کم‌آبی. مجله تنش‌های محیطی در علوم زراعی. ۱۴ (۲)، ۳۵۹-۳۷۳.

خواجه پور، محمدرضا (۱۳۹۱). گیاهان صنعتی. اصفهان: انتشارات جهاد دانشگاهی (دانشگاه صنعتی اصفهان).
 عروجی، هاجر و گلچین، احمد (۱۳۹۱). تأثیر روی، منگنز، مس بر عملکرد غده و غلظت فسفر و آهن در برگ و غده سیب زمینی. *مجله علوم آب و خاک*. ۱۶ (۶۱)، ۲۲۱-۲۳۰.
 مطلبی فرد، رحیم (۱۳۹۷). مدیریت تغذیه سیب زمینی. کرج: انتشارات سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، معاونت ترویج، نشر آموزش کشاورزی.
 وقار، محمد سعید؛ سیف زاده، سعید؛ ذاکرین، حمیدرضا؛ کبرایی، سهیل و ولدآبادی، سید علیرضا (۱۴۰۰). اثر محلول پاشی نانوکلات آهن، روی و منگنز بر برخی خصوصیات کمی و کیفی سویا (*Glycine max L.*) تحت تنش کم آبی. *مجله تنش های محیطی در علوم زراعی*. ۱۴ (۳)، ۷۰۳-۷۱۸.

References

- Ahmadi, S. H., Agharezaee, M., Kamgar-Haghighi, A. A., & Sepaskhah, A. R. (2014). Effects of dynamic and static deficit and partial root zone drying irrigation strategies on yield, tuber sizes distribution, and water productivity of two field grown potato cultivars. *Agricultural Water Management*, 134, 126-136.
- AL- Fadhly, J. T. M. (2016). Response of potato (*Solanum tuberosum*) to foliar application of zinc and manganese which fertilized by organic fertilizer. *Journal of Agriculture and Veterinary*, 9(4), 87- 91.
- AL- Fadlly, J. T. M., Khudhair, M. F., Wheib, K. A., & Abd, W. M. (2020). Response of some vegetative growth characteristics of organically fertilized potatoes to zinc and manganese foliar application. *Plant Archives*, 20(1), 1263- 1266.
- AL- Jobori, K. M. M., & AL-Hadithy, S. A. (2014). Response of potato (*Solanum tuberosum*) to foliar application of iron, manganese, copper and zinc. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(7), 358- 363.
- Banjare, S., Sharma, G., & Verma, S. K. (2014). Potato crop growth and yield response to different levels of nitrogen under Chhattisgarh plains agro-climatic zone. *Indian Journal of Science and Technology*, 7(10), 1504- 1508.
- Baranowska, A., Zarzecka, K., Gugala, M., & Mystkowska, I. (2017). Contents of zinc, copper and manganese in potato tubers depending on the ways of application of the soil fertilizer Ugmax. *Journal of Ecological Engineering*, 18(1), 99-106.
- Basirat, M., & Motalebifard, R. (2016). *Guide to plant nutrition in potatoes in order to reduce nitrate residues in the crop*. Tehran: Soil and Water Research Institute.
- El- Metwaly, H. M. B., & Mansour, F. Y. O. (2019). Effect of addition methods of magnesium and calcium foliar application on productivity and quality of potato crop in winter plantation. *Fayoum Journal of Agricultural Research and Development*, 3(1), 148- 158.
- El-Hadidi, E. M., El-Dissoky, R. A. & AbdElhafez, A. A. H. (2017). Foliar calcium and magnesium application effect on potato crop grown in clay loam soils. *Journal of soil sciences and Agricultural Engineering*, 8(1), 1-8.
- Granssee, A., & Fuhrs, H. (2013). Magnesium mobility in soils as a challenge for soil and plant analysis, magnesium fertilization and root uptake under adverse growth conditions. *Plant and Soil*, 368, 5-21.
- Grzebise, W. (2011). Magnesium-food and human health. *Journal of elementology*, 16, 299-323.
- Grzebise, W. (2013). Crop response to magnesium fertilization as affected by nitrogen supply. *Plant and Soil*, 368, 23-39.
- Hack, H., Gall, H., Klemke, T. H., Klose, R., Meier, U., Stauss, R., & Witzemberger, A. (2001). *The BBCH scale for phenological growth stages of potato (Solanum tuberosum L.)*. In *Growth Stages of mono and dicotyledonous plants, BBCH Monograph*. edited by Meier, U. Roma: Federal Biological Research Centre for Agriculture and Forestry.

- Herman, D. J., Knowles, L. O., & Knowles, N. R. (2017). Heat stress affects carbohydrate metabolism during cold-induced sweetening of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Planta*, 245, 563-582.
- Ilyas, M., Ayub, G., Hussain, Z., Ahmad, M., Bibi, B., Rashid, A., & Luqman, A. (2014). Response of tomato to different levels of calcium and magnesium concentration. *World Applied Sciences Journal*, 31(9), 1560-1564.
- Jagatee, S., Behera, S., Dash, P. K., Sahoo, S., & Mohanty, R. C. (2015). Bioprospecting starchy feedstocks for bioethanol production: A future perspective. *Journal of Microbiology Research and Reviews*, 3(3), 24-42.
- Jam, E., Ebadie, A., & Parmoon, G. (2015). The role of iron and zinc on tuber yield and yield components of potato. *Journal of crop ecophysiology*, 9(2), 177-190. (In Persian).
- Janmohammadi, M., Abdoli, H., Sabaghnia, N., Esmailpour, M., & Aghaei, A. (2018). The effect of iron, zinc and organic fertilizer on yield of chickpea (*Cicer artietinum* L.) in mediterranean climate. *Acta Universitatis Agricultural Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 66(1), 49-60.
- Jasim, A. H. (2013). Effect of foliar fertilizer on growth and yield of seven potato cultivars (*Solanum Tuberosom* L.). *Scientific papers. Series B, Horticulture*, 57, 77-80.
- Jokar, L., & Ronaghi, A. (2015). Effect of foliar application of different Fe levels and sources on growth and concentration of some nutrients in sorghum. *Journal of Greenhouse Culture Science and Technology*, 6(22), 163-174. (In Persian).
- Kaur, M., Singh, S., Dishri, M., Singh, G., & Singh, S. K. (2018). Foliar application of zinc and manganese and their effect on yield and quality characters of potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. Kufri pukhraj. *Plant Archives*, 18(2), 1628-1630.
- Khajehpour, M. R. (2012). *Industrial plants*. Isfahan University Jihad Publishing Center. (In Persian).
- Khodadadi Karkoki, A., Yavarzadeh, M. R., Akbariyan, M. M., & Askari, A. A. (2020). Effect of iron and magnesium nanoparticles and planting date on yield and nitrate content in potato tubers. *Bi-Quarterly Journal of Plant Production science*, 10(2), 41-54. (In Persian).
- Khordadi Varamin, J., Fanoodi, F., Masuod Sinaki, J., Rezvan, Sh. & Damavandi. A. (2021). Investigating response of yield traits and oil content of sesame variety (*Sesamum indicum* L.) to nano-magnesium fertilizer and biopolymer chitosan under limited water stress. *Environmental stresses in crop sciences*, 14(2), 359-373. (In Persian).
- Koch, M., Busse, M., Naumann, M., Jakli, B., Smit, I., Cakmak, I., Hermans, C., & Pawelzik, E. (2019). Differential effects of varied potassium and magnesium nutrition on production and partitioning of photoassimilates in potato plants. *Physiologia Plantarum*, 166, 921-935.
- Matlabi Fard, R. (2019). *Potato nutrition management*. Agricultural Research, Education and Extension organization. Karaj: Deputy for extension, Publication of agricultural education. (In Persian).
- Miyu, M., Sarma, P., Warade, S. D., Hazarika, B. N., Debnath, P., Ramjan, M. D., & Ansari, M. T. (2019). Effect of foliar application of micronutrients on potato (*Solanum tuberosum* L.) cv. "Kufri Joyti" for growth, yield & quality attributes. *International Journal of Chemical Studies*, 7(3), 4813- 4817.
- Omid Haghi, A., Khalilvand Behrouzfar, E., & Eivazi, A. R. (2015, December). The effect of foliar application of some macronutrient and micronutrient elements in different growth stages on yield and yield components of 407 hybrid corn. *International conference on modern research in agricultural science and environment*, Kuala Lumpur, Malaysia.
- Oroji, H., & Golchin, A. (2012). The Effects of zinc, manganese and copper on potato yield and leaf and tuber concentrations of phosphorus and iron. *Journal of water and soil science*, 16(61), 221-230. (In Persian).

- Ramesh, E., Jana, J. C., Chatterjee, R., & Banik, G. C. (2019). Effect of foliar application of secondary and micronutrients on growth and yield of potato. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(2), 656-660.
- Saaseea, K. G., & Al-Aamry, N. J. K. (2018). Effect of foliar application with calcium, magnesium and fertilizing with humic acid on growth, yield and storage ability of potato tubers. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*, 49(5), 897-905.
- Seleiman, M. F., Almutairi, K. F., Alotaibi, M., Shami, A., Alhammad, B. A., & Battaglia, M. L. (2021). Nano-fertilization as an emerging fertilization technique: Why can modern agriculture benefit from its use? *Plants*, 10(2), 1-27.
- Senbayram, M., Bol, R., Dixon, L., Fisher, A., Stevens, C., Quinton, J., & Fanguero, D. (2015). Potential use of rare earth oxides as tracers of organic matter in grassland. *Journal of plant nutrition and soil science*, 178, 288-296.
- Shanwaz, A., Devaraju, Srinivasa, V., Ganapathi, M., & Shubha, A. S. (2020). Influence of foliar application of nutrients on growth, yield and quality of potato (*Solanum tuberosum* L.) under hill zone of Karnataka. *International Journal of Chemical Studies*, 8(2), 2040-2042.
- Shukla, A. K., Behera, S. K., Pakhre, A., & Chaudhari, S. K. (2018). Micronutrients in soils, plants, animals and humans. *Indian Journal of Fertilisers*, 14(3), 30-54.
- Singh, M., Kumar, A., Tripathi, S. K., Kumar, S., & Singh, A. K. (2018). Effect of foliar application of zinc and manganese on growth parameters and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 7(7), 1390-1394.
- Vaghar, M. S., Sayfzadeh, S., Zakerin, H. R., Kobraee, S., & Valadabadi, S. A. R. (2021). Effect of foliar application of iron, zinc and manganese nano-chelate on some quantitative and qualitative characteristics of soybean (*Glycine max* L.) under water deficit stress. *Environmental Stresses in Crop Sciences*, 14(3), 703-718. (In Persian).
- Wang, Z., Hassan, M., Nadeem, F., Wu, L., Zhang, F., & Li, X. (2020). Magnesium fertilization improves crop yield in most production systems: A Meta-Analysis. *Frontiers in Plant Science*, 1(10), 1727-1736.



Effect of putrescine on dried flower yield and essential oil components changes of Chamomile Plants (*Matricaria chamomilla* L.) under different moisture regimes

Hossein Nazari¹ | Ali Naderi Arefi²

1. Corresponding Author, Crop and Horticultural Science Research Department, Zanjan Agricultural and Natural Resources Research Center, AREEO, Zanjan, Iran. E-mail: h_nazari@ut.ac.ir
2. Cotton and Fiber Crop Research Department, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Varamin, Iran. E-mail: a.arefi@areeo.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 1 December 2021
Received in revised form
8 October 2022
Accepted 19 October 2022
Published online
20 September 2023

Keywords:
Biomass
Chamomile
Polyamine
Secondary metabolite
Yield

ABSTRACT

Objective: In order to improve the tolerance of German chamomile cultivars to moisture regimes, this factorial experiment was conducted in a randomized complete block design in three replicates, in the agricultural college of Tehran university in 2013-14 cropping season.

Methods: Experimental treatments included moisture regimes (control and severe stress, i.e., 13% and 57% of allowable soil moisture depletion, respectively), two cultivars of chamomile (German Badgold and Hungarian modified cultivar) and foliar application with putrescine (with a concentration of 0.1 mM and 45 days after transfer to the pots).

Results: The results showed that the simple effect of putrescine polyamine on plant height and biomass was significant at 1% level and on harvest index at 5% level. Plant height did not have a significant response to putrescine in control conditions, but in severe stress (57% of soil water depletion), the effect of foliar application showed a significant boost (13.5%). The simple effect of putrescine on percentage and essential oil yield (at 1% level) was significant. Also, the interaction effect of moisture regimes and foliar application with putrescine on essential oil content (at 5% level) and essential oil yield (at 1% level) was considerable. Under optimal moisture conditions (13% of soil water depletion), putrescine resulted in a significant increase in essential oil content by 38%. But its foliar application in drought stress increased the essential oil content by only 4%. Foliar application of putrescine reduced the amount of farnesene and bisabolol B oxide in both conditions. Another important compound was bisabolone oxide A, wherein putrescine treatment had a positive effect on its accumulation so that under favorable conditions of moisture its concentration increased by 87%, but under conditions of stress its effect decreased, showing only 35%.

Conclusion: The use of putresin in chamomile is economically justified due to increased tolerance to dehydration stress and increased target secondary metabolites.

Cite this article: Nazari, H., & Naderi Arefi, A. (2023). Effect of putrescine on dried flower yield and essential oil components changes of Chamomile Plants (*Matricaria chamomilla* L.) under different moisture regimes. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 669-684. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.334898.2647>



تأثیر پوتریسین بر عملکرد گل خشک و ترکیبات مؤثره اسانس بابونه آلمانی در رژیم‌های مختلف رطوبتی

حسین نظری^۱ | علی نادری عارفی^۲

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات زراعی و باغی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان زنجان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، زنجان، ایران. رایانامه: h_nazari@ut.ac.ir

۲. بخش تحقیقات پنبه و گیاهان لیفی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان تهران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ورامین، ایران. رایانامه: a.arefi@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

هدف: به منظور بهبود مقاومت دو رقم بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) به رژیم‌های رطوبتی این آزمایش در سال ۹۳-۱۳۹۲ به صورت فاکتوریل سه‌عاملی در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی دانشگاه تهران اجرا شد.

روش پژوهش: تیمارهای آزمایشی شامل رژیم‌های رطوبتی (شاهد و تنش شدید به ترتیب ۱۳ و ۵۷ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک)، دو رقم بابونه (رقم بادگلد آلمانی و اصلاح شده مجاری) و محلول پاشی با پوتریسین (در دو سطح صفر یا آب مقطر و غلظت ۰/۱ میلی‌مولار و ۴۵ روز بعد از انتقال به گلدان) بودند.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که اثر پلی‌آمین پوتریسین بر ارتفاع بوته و زیست‌توده در سطح احتمال خطای یک درصد و بر صفت شاخص برداشت در سطح احتمال خطای پنج درصد معنی‌دار شد. ارتفاع بوته در شرایط شاهد پاسخ معنی‌داری به پوتریسین نداشت، اما بعد از اعمال تنش شدید (۵۷ درصد تخلیه رطوبتی)، اثر محلول پاشی افزایش معنی‌دار نشان داد (۱۳/۵ درصد). اثر پوتریسین بر صفات درصد و عملکرد اسانس (در سطح احتمال خطای یک درصد) معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل رژیم‌های رطوبتی و محلول پاشی با پوتریسین بر روی صفات درصد اسانس (در سطح احتمال خطای یک درصد) و عملکرد اسانس (در سطح احتمال خطای یک درصد) معنی‌دار گردید. در شرایط مطلوب رطوبتی (۱۳ درصد تخلیه رطوبتی)، پوتریسین منجر به افزایش قابل‌توجه درصد اسانس به میزان ۳۸ درصد شد. اما محلول پاشی آن در شرایط تنش، میزان اسانس را چهار درصد افزایش داد. محلول پاشی پوتریسین میزان ترکیبات فارنزن و بیسابولول اکسید B را در هر دو شرایط رطوبتی کاهش داد. ترکیب مهم دیگر بیسابولون اکسید A بود که تیمار پوتریسین تأثیر مثبتی بر تجمع آن گذاشت، به طوری که در شرایط رطوبتی مطلوب غلظت بیسابولون اکسید A را ۸۷ درصد افزایش داد، اما در شرایط تنش تأثیر آن کم‌تر شد و تا ۳۵ درصد میزان آن را افزایش داد.

نتیجه‌گیری: کاربرد پوتریسین در گیاه بابونه به دلیل افزایش تحمل به تنش کم‌آبی و افزایش متابولیت‌های ثانویه هدف، توجیه اقتصادی دارد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۱۰
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۷
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

کلیدواژه‌ها:
بابونه
پلی‌آمین
زیست‌توده
عملکرد
متابولیت ثانویه

استناد: نظری، حسین؛ و نادری عارفی، علی (۱۴۰۲). تأثیر پوتریسین بر عملکرد گل خشک و ترکیبات مؤثره اسانس بابونه آلمانی در رژیم‌های مختلف رطوبتی. *به‌زرعی کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۶۶۹-۶۸۴. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.334898.2647>



۱. مقدمه

بابونه، گیاهی از خانواده آستراسه^۱ و دارای دو جنس بابونه آلمانی^۲ و بابونه رومی^۳ است، جنس بابونه آلمانی دارای یک گونه دیگر به نام *Matriaria aurea* است (Sharif Moghadasi, 2011). بابونه گیاهی یک‌ساله، بدون کرک با کرک‌های کم، ساقه‌ها منفرد، ایستاده یا قائم، منشعب و پرشاخه، به ارتفاع ۵ تا ۳۵ سانتی‌متر، برگ‌ها به طول ۱۵ تا ۴۰ و به عرض ۵ تا ۱۸ میلی‌متر با دم‌برگ کوتاه یا بدون دم‌برگ، پهنک برگ‌ها مستطیلی، گل‌های کناری زبانه‌ای و سفید با زبانه‌های مستطیلی، گل‌های لوله‌ای زرد و نر و ماده با لوله‌ای در میانه به هم آمده و در بالا پهن که تبدیل به میوه فندقه مستطیلی ۵ رگه می‌شوند. پراکنش جهانی آن در اروپا، ترکیه، ایران، قفقاز، آسیای مرکزی، سیبری، افغانستان و عراق گزارش شده است (مظفریان، ۱۳۹۲). حدود ۱۲۰ ترکیب در گل بابونه تاکنون شناسایی شده است (Mann & Staba, 1986) که از آن‌ها در تهیه انواع صابون، عطر، لوسیون، پماد، تهیه شیرینی و دمنوش استفاده می‌شود. از سطح زیر کشت بابونه آمار دقیقی وجود ندارد، اما با توجه به افزایش محصولات دارویی حاصل از آن، در سال‌های اخیر، سطح زیر کشت آن در حال افزایش است (اکبرزاده و همکاران، ۱۳۹۳). کیفیت و کمیت ترکیبات تریپی در اسانس گل بین ارقام مختلف بابونه متفاوت است و به مرحله نموی و شرایط کشت گیاه بستگی دارد (Kumar et al., 2001; Schilcher et al., 2005). به هر حال، اسانس‌هایی که حاوی مقادیر بالایی از کامازولن و بیسابولول باشند، اسانس‌های با کیفیت خوب نامیده می‌شوند. معمولاً ۱۲ تا ۲۰ درصد اسانس بابونه را کامازولن تشکیل می‌دهد که یک سزکویی‌ترین است.

پلی‌آمین‌ها ترکیباتی کوچک با اثراتی بزرگ در مقاومت گیاهان به تنش‌های غیرزنده هستند (Alcazar et al., 2020). پلی‌آمین‌ها (پوترسیسین، اسپرمیدین و اسپرمین) شامل گروهی از ترکیبات شبه‌فیتوهورمونی آمینی‌آلیفاتیک هستند که دارای ساختار نیتروژنی آلیفاتیک هستند و ساخت آن‌ها با سنتز دی‌آمین پوترسیسین آغاز می‌گردد و با افزایش پی در پی گروه‌های آمینی به این پیش‌ماده، پلی‌آمین‌های دیگر ساخته می‌شوند (Marco et al., 2011). هم‌اکنون پلی‌آمین‌ها به‌عنوان گروه جدیدی از مواد تنظیم‌کننده رشد در نظر گرفته می‌شوند که شامل اسپرمیدین (Spd، یک تیمین) و اسپرمین (Spm، یک ترامین) و پیش‌ماده اجباری آن‌ها یعنی پوترسیسین (Put، یک دی‌آمین) هستند. پلی‌آمین‌ها در بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی مانند رشدونمو سلولی و تحمل به تنش‌های محیطی نقش دارند (Aydin et al., 2015). به‌ویژه پیش‌ماده آن‌ها، پوترسیسین نقش مهمی در دامنه وسیعی از پروسه‌های رشدونمو مانند تقسیم سلولی، شکستن خواب، جوانه‌زنی بذر، تحریک، حمایت و توسعه جوانه‌های گل، جنین‌زایی، رسیدن میوه، مورفونسیس و پاسخ به تنش‌های زنده و غیرزنده دارد (Groppa & Benavides, 2008; González-Hernández et al., 2022).

۲. پیشینه پژوهش

گزارش شده که پوترسیسین و اسپرمیدین در تنظیم پاسخ روزنه‌ها از طریق القا بسته‌شدن و کاهش درجه بازشدگی آن‌ها نقش ایفا می‌کنند (An et al., 2008). هورمون ABA سطوح پلی‌آمین‌ها را از طریق تأثیر بر روی بیوسنتز، تجزیه، انتقال و اتصال آن‌ها با مولکول‌های دیگر تحت شرایط تنش کنترل می‌کند (Liu et al., 2005; Nieves et al., 2001; Yamasaki & Cohen, 2006). بنابراین ABA در بسته‌شدن روزنه از طریق پلی‌آمین‌ها مشارکت فعال دارند. Sharafzadeh et al. (2012) با بررسی تأثیر اسپرمیدین در گیاه بابونه گزارش کردند که پلی‌آمین مذکور به ترتیب ۲۶/۵ و ۷۷ درصد غلظت

1. Asteraceae
2. *Matricaria chamomilla* L.
3. *Anthemis nobilis* L.

بیسابولول اکسید A و بیسابولول اکسید B را در مقایسه با شاهد افزایش داد، در حالی که منجر به کاهش میزان کامازولن شد. Abd El-Wahed *et al.* (2004) نشان دادند که اسپرمیدین منجر به افزایش ترکیبات اصلی ترپنی گیاه بابونه (کامازولن، بیسابولول اکسید A و بیسابولول اکسید B) شد.

با بررسی غلظت‌های مختلف چندپلی‌آمین روی ویژگی‌های فیتوشیمیایی و مورفوفیزیولوژیکی ریحان، مشخص گردید که با محلول‌پاشی ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر پوتریسین، بیش‌ترین میزان کلروفیل به‌دست آمد، در حالی که بیش‌ترین میزان اسانس با برگ‌پاشی همین مقدار اسپرمیدین تولید شد (دانایی و عبدوسی، ۱۳۹۷). هم‌چنین Verma & Mishra (2005) گزارش کردند که پوتریسین باعث تخفیف اثرات شوری در خردل سیاه شد و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و کارتنوئیدها را در برگ‌های تحت تنش افزایش داد.

کاربرد پوتریسین برون‌زا موجب کاهش فعالیت پلی‌فنل‌اکسیداز و افزایش فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز، نیترات ردوکتاز و ترکیبات فنلی در دانه‌رست‌های گیاه بنگ‌دانه (*Hyoscyomus niger*) تحت تنش خشکی شد. گفته می‌شود که این ترکیب پلی‌آمینی با تغییر فعالیت سیستم آنتی‌کسیدانی و نیز نیترات‌رداکتازی روند پاسخ‌های بیوشیمیایی دانه‌رست‌ها را در جهت مقابله با تنش خشکی تعدیل می‌کند (زمانی و همکاران، ۱۳۹۲). پوتریسین با افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و حتی آنتی‌اکسیدان‌های غیر آنزیمی تولید رادیکال‌های آزاد را کنترل می‌کند و از اینرو مانع پراکسیداسیون غشا و دناتوره‌شدن بیومولکول‌ها شده و منجر به بهبود رشد گیاهچه‌ها تحت شرایط تنش‌های غیرزنده می‌شود (Liu *et al.*, 2007; He *et al.*, 2008). دیگر نقش پوتریسین در تنش خشکی، القای تغییرات مورفولوژیکی در ریشه، ساقه و برگ است که مجموع این تغییرات باعث جلوگیری آب‌کشیدگی بافت‌ها می‌شود (Abd Elbar *et al.*, 2019). در این پژوهش که روی گیاه آویشن انجام شد، مشخص گردید که تنش آبی ضمن افزایش آنزیم‌هایی مانند فنیل‌آلانین آمونیلایز، پلی‌فنل‌اکسیداز و میزان اسانس گیاه، باعث کاهش میزان کلروفیل a و کلروفیل b می‌گردد. با تیمار پوتریسین، کلروفیل بیش‌تری حفظ شد، تغییرات آناتومیکی کاهش یافت، میزان کل ترکیبات فنلی و فعالیت برخی آنزیم‌ها افزایش یافت (Abd Elbar *et al.*, 2019).

در تولید گیاهان دارویی ارزش واقعی به کیفیت محصول و پایداری تولید داده می‌شود و کمیت محصول در درجه دوم اهمیت قرار می‌گیرد. لذا توسط الیسیتورها (پوتریسین) در گیاه بابونه ابزار مفیدی برای به‌دست‌آوردن بینش جدید در مکانیسم‌های مولکولی تحت شرایط تنش خشکی فراهم می‌کند. بنابراین این اطلاعات می‌تواند برای بهبود تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاه بابونه مفید باشد. تأثیر الیسیتورها (پلی‌آمین‌ها) بر روی اثرات مضر تنش خشکی و تولید متابولیت‌های ثانویه در گیاهان دارویی به‌ویژه بابونه آلمانی کم‌تر مطالعه شده است. حفظ عملکرد کمی و کیفی تحت شرایط تنش‌های محیطی شدید، احتمالاً مهم‌ترین چالش برای تولید گیاهان دارویی به‌حساب می‌آید و به‌نظر می‌رسد در این راستا الیسیتورها نقش بسیار مهمی خواهند داشت. هدف این پژوهش در راستای هدف نهایی افزایش تولید مواد مؤثره و افزایش کیفیت اسانس گیاه بابونه آلمانی بود و در این راستا اهداف فرعی حفظ پتانسیل تولید گیاه در شرایط تنش خشکی از طریق بهبود مکانیزم‌های مقاومت به خشکی و افزایش غلظت ترکیبات هدف در اسانس دو رقم بابونه آلمانی به واسطه الیسیتورها در شرایط متغیر رطوبتی مدنظر بود.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این طرح در سال زراعی ۹۳-۱۳۹۲ به‌صورت آزمایش گلخانه‌ای به‌صورت فاکتوریل سه‌عاملی در قالب طرح بلوک کامل تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران در کرج به شرح زیر اجرا شد.

تیمارهای آزمایشی شامل رژیم‌های رطوبتی (شاهد و تنش شدید به ترتیب ۱۳ و ۵۷ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک)، دو رقم بابونه شامل رقم بادگلد آلمانی و اصلاح‌شده مجاری (تهیه‌شده از شرکت پاکان بذر- اصفهان) و محلول‌پاشی با پوتریسین بود. محلول‌پاشی با پوتریسین با غلظت صفر و ۰/۱ میلی‌مولار انجام شد (Ali et al., 2007; Alcazar et al., 2010; Abd Elbar et al., 2019). در غلظت صفر (شاهد) گیاهان با آب مقطر محلول‌پاشی شدند. محلول‌پاشی با حجم لازم جهت خیس کردن کامل شاخساره بوته‌ها انجام گرفت. اولین محلول‌پاشی ۴۵ روز بعد از انتقال به گلدان‌های اصلی و محلول‌پاشی‌های بعدی ۱۵ روز یک‌بار تا پایان دوره رشد گیاهان بابونه تکرار شد؛ در مجموع چهار بار محلول‌پاشی انجام شد. در تمامی آزمایش‌ها بذرهای بابونه ابتدا هیدروپرایم شده سپس در ظرف‌هایی حاوی مخلوطی از خاک لومی و ماسه (با نسبت ۳:۱) کشت شدند. گیاهچه‌ها به تعداد شش عدد بعد از ۱۵ روز به گلدان‌های اصلی (که حاوی خاک رسی لومی بودند) منتقل شدند و پس از استقرار کامل به سه عدد در هر گلدان کاهش داده شد. برای هر کرت آزمایشی دو گلدان (در هر گلدان سه بوته) در نظر گرفته شد.

۳.۱. زمان و چگونگی اعمال تنش رطوبتی

تیمارها با توجه به زمان آبیاری و شدت تنش آبی که هر دو بر عملکرد کمی و کیفی گیاه مؤثر هستند، انتخاب شدند. درصدهای مختلف رطوبت وزنی خاک برای نقاط ظرفیت زراعی مزرعه و حد پژمردگی دائم، ابتدا توسط صفحات فشاری^۱ و غشاهای تحت فشار^۲ تعیین گردید. سپس نقاط در نظر گرفته‌شده برای تخلیه مجاز رطوبتی توسط ترازوی دیجیتال تعیین و معیار زمان شروع آبیاری در شرایط تنش و نرمال قرار گرفت. تیمارهای شاهد و تنش شدید به ترتیب شامل ۱۳ و ۵۷ درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک بودند. به محض رسیدن رطوبت وزنی خاک به درصدهای تخلیه مجاز در هر تیمار، آبیاری انجام شد. برای ارتباط زمانی وقوع تنش رطوبتی و پژمردگی قابل برگشت گیاه، تیمارهای رطوبتی براساس ترکیبی از علائم ظاهری گیاه و درصد تخلیه مجاز رطوبتی اعمال شدند. آبیاری تیمار شاهد، قبل از ظهور هرگونه علائم پژمردگی و با تخلیه مجاز رطوبتی ۱۳ درصد (رطوبت وزنی خاک ۲۰ درصد و محتوای نسبی آب ۷۷ درصد) انجام شد و آبیاری تیمار تحت تنش شدید با ظهور علائم پژمردگی قابل برگشت گیاه و با تخلیه مجاز رطوبتی ۵۷ درصد (رطوبت وزنی خاک ۱۰ درصد و محتوای نسبی آب ۶۵ درصد) انجام شد (فاضل و همکاران، ۱۳۹۴) (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات تیمارهای مختلف مربوط به رژیم‌های رطوبتی در گیاه بابونه

وضعیت ظاهری گیاه	محتوای نسبی آب (RWC)	درصد رطوبت خاک (θ) در زمان آبیاری	درصد تخلیه مجاز رطوبتی خاک	رژیم‌های رطوبتی
حالت شادابی بوته‌ها	۷۷/۱۱	۲۰/۱	۱۳	شاهد
پژمردگی شدید	۶۵/۵۵	۱۰	۵۷	شدید

۳.۲. اندازه‌گیری صفات مورفولوژیک

صفات مهم مرتبط با مقاومت به تنش و عملکرد از قبیل ارتفاع گیاه، وزن گل خشک در بوته، زیست‌توده (بیوماس) بوته و شاخص برداشت اندازه‌گیری شد. برای تعیین وزن گل خشک در بوته، برداشت کاپیتول‌ها (گلبرگ + کاسبرگ + نهنج + یک سانتی‌متر از دمگل) در سه یا چهار مرحله و به‌فاصله ۱۰ تا ۱۵ روز انجام شد. برداشت کاپیتول‌ها زمانی انجام گرفت که

۱. Pressure plate

۲. Pressure membrane

گل‌های زبانه‌ای به‌طور کامل باز شده و به‌صورت افقی قرار گرفته بودند. بلافاصله پس از برداشت، کاپیتول‌ها به‌مدت ۷۲ ساعت در شرایط سایه و در دمای اتاق (دمای تقریبی ۲۵ درجه) پهن شدند و پس از خشک‌شدن کاپیتول‌ها در هر مرحله، کاپیتول‌های جمع‌آوری‌شده در مراحل مختلف به‌صورت یکجا توزین شدند. سپس نمونه‌های توزین‌شده در پاکت‌های کاغذی و در دمای تقریبی ۲۵ درجه تا زمان اسانس‌گیری نگهداری شدند. برای محاسبه شاخص برداشت وزن خشک کاپیتول بر وزن خشک گیاه تقسیم شد و به‌صورت درصد بیان گردید.

۳.۳. استخراج اسانس

استخراج اسانس به روش تقطیر با آب^۱ با استفاده از کلونجر^۲ (مدل فارماکوپه، ساخت کشور ایران) انجام شد. بدین ترتیب که ۵ گرم از کاپیتول‌های خشک بابونه همراه با آب‌مقطر در بالن کلونجر به‌مدت سه ساعت جوشانده شد و بعد جریان برق قطع شد. درنهایت پس از گذشت ۲۰ دقیقه از زمان خاموش کردن دستگاه، شیر خروجی به آرامی باز شد و اسانس جمع‌آوری و توزین شد (British pharmacopoeia, 2013). درصد اسانس وزنی به وزنی براساس وزن اسانس (میلی‌گرم) به‌دست‌آمده نسبت به وزن خشک ماده اولیه (گرم) به‌دست آمد.

۳.۴. عملکرد اسانس و تجزیه اسانس

عملکرد اسانس با استفاده از رابطه (۱) محاسبه شد:

رابطه (۱) عملکرد کاپیتول × درصد اسانس = عملکرد اسانس (میلی‌گرم اسانس در بوته)

پس از آماده‌سازی اسانس و تزریق آن به دستگاه کروماتوگرافی گازی^۳ (مدل TRACE 1310، ساخت کشور ایتالیا- موجود در پژوهشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی) شرایط مناسب برای بهترین جداسازی به‌دست آمد. سپس با استفاده از روش کوپل‌شده کروماتوگرافی گازی با طیف‌سنج جرمی^۴ ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس مورد ارزیابی کمی و کیفی قرار گرفت. شناسایی ترکیبات با استفاده از پارامترهای مختلف از قبیل زمان و شاخص بازداری^۵، مطالعه طیف‌های جرمی و مقایسه این طیف‌ها با ترکیب‌های استاندارد و اطلاعات موجود در کتابخانه رایانه دستگاه GC-MS صورت گرفت (Adams, 2007). درصد نسبی هرکدام از ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس با توجه به سطح زیر منحنی آن در کروماتوگرام گازی به روش نرمال کردن سطح^۶ و نادیده گرفتن ضرایب پاسخ^۷ به‌دست آمد.

برای آنالیز کروماتوگرافی گازی اسانس از دستگاه کروماتوگراف گازی استفاده شد. دمای آون به‌مدت ۱ دقیقه در ۵۰ درجه سانتی‌گراد نگه‌داشته شد و سپس تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۶ درجه سانتی‌گراد بر دقیقه افزایش یافت و به‌مدت ۳۹/۳ دقیقه در این دما نگه‌داشته شد. دمای قسمت تزریق و آشکارساز به‌ترتیب ۲۵۰ و ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد بود و از گاز نیتروژن با سرعت جریان ۱/۱ میلی‌متر بر دقیقه به‌عنوان گاز حامل استفاده شد. برای آنالیز اسانس از دستگاه گاز کروماتوگراف کوپل‌شده با طیف‌سنج جرمی مجهز به ستون DB-5 به طول ۶۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه نازک ۰/۲۵ میکرومتر استفاده شد. دمای آون از ۶۰ درجه سانتی‌گراد تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد با سرعت ۴

1. Water distillation
2. Clevenger
3. Gas Chromatography (GC)
4. Gas Chromatography-Mass Spectrometry (GC-MS)
5. Retention index
6. Area normalization method
7. Response factors

درجه سانتی‌گراد بر دقیقه افزایش یافت و به مدت ۱۰ دقیقه در ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد نگه‌داشته شد. از گاز هلیوم با سرعت جریان ۱/۱ میلی‌متر بر دقیقه به‌عنوان حامل استفاده شد و از انرژی یونیزاسیون ۷۰ الکترون ولت استفاده گردید.

۳.۵. تجزیه آماری

تجزیه داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۴) و میانگین‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن^۱ در سطح احتمال پنج درصد مقایسه شدند. رسم نمودارها با نرم‌افزار اکسل انجام شد.

۴. یافته‌های پژوهش

۴.۱. صفات مورفولوژیک و عملکرد گل خشک

اثر ساده پلی‌آمین پوتریسین در صفات ارتفاع بوته و زیست‌توده در سطح ۱ درصد و در صفت شاخص برداشت در سطح ۵ درصد معنی‌دار بود. اثر متقابل رژیم آبیاری و پوتریسین فقط در صفت ارتفاع بوته معنی‌دار بود ($P < 0.01$) (جدول ۲).

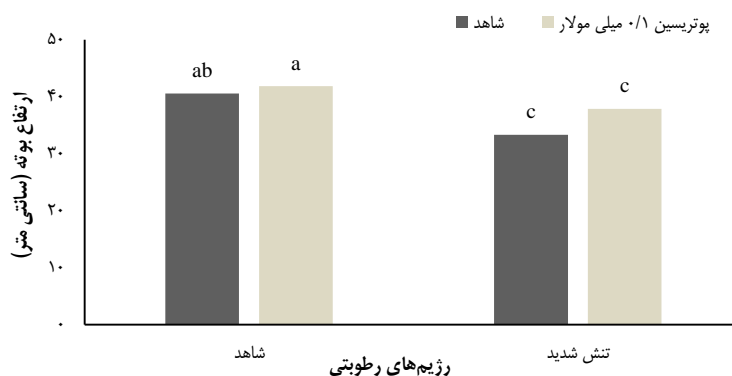
جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) صفات مورفولوژیک و شاخص برداشت ارقام بابونه تحت رژیم‌های رطوبتی و محلول‌پاشی با پوتریسین

منبع تغییرات	درجه آزادی	وزن گل خشک	زیست‌توده	ارتفاع گیاه	شاخص برداشت
تکرار (R)	۲	۰/۲۹**	۰/۲۹ ns	۴۶/۳۸**	۱۲۵/۵۷**
رژیم‌های رطوبتی (I)	۱	۰/۴۷**	۱۶/۴**	۱۵۶/۵۷**	۹/۸ ns
پوتریسین (Put)	۱	۰/۰۰۳ ns	۲/۳۷**	۷۰/۳۸**	۴۸/۰۵*
رقم (C)	۱	۰/۱۳**	۱/۱**	۱۷۹/۸۵**	۱۶/۸ ns
I × Put	۱	۰ ns	۰/۰۰۳ ns	۲۷/۹*	۳/۵۴ ns
I × C	۱	۰ ns	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۸۴ ns
Put × C	۱	۰/۰۰۲ ns	۰/۰۵ ns	۰/۰۰۴ ns	۰/۰۰۳ ns
I × C × Put	۱	۰/۰۰۱ ns	۰/۰۱ ns	۱/۳۵ ns	۰/۰۳۲ ns
خطا	۱۴	۰/۰۰۸	۰/۱۲	۵/۴۶	۸/۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۰/۸۲	۸/۶۶	۶/۰۴	۱۳/۷۳

ns، *، ** به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

مقایسه میانگین ارتفاع بوته نشان داد که تأثیر پلی‌آمین پوتریسین بر روی صفت مذکور در شرایط متغیر رطوبتی متفاوت است. همان‌طور که (شکل ۱) نشان می‌دهد صفت ارتفاع بوته در شرایط شاهد آبیاری پاسخ معنی‌داری به محلول‌پاشی با پوتریسین نمی‌دهد اما بعد از اعمال تنش شدید، مقدار صفت مذکور به‌طور معنی‌داری در اثر محلول‌پاشی افزایش نشان می‌دهد (۱۳/۵ درصد).

در شکل (۲-الف) مشاهده می‌شود که پلی‌آمین پوتریسین اثر معنی‌داری بر زیست‌توده گیاه بابونه گذاشته است و محلول‌پاشی آن منجر به ۱۷/۱۱ درصد افزایش در مقدار این صفت شده است. اما محلول‌پاشی پوتریسین تأثیر خاصی بر وزن گل گیاه بابونه نشان نداشت. چون میزان شاخص برداشت بابونه با تقسیم وزن گل تولیدشده به مقدار زیست‌توده به‌دست می‌آید، به همین جهت ۲/۸۳ درصد کاهش در میزان شاخص برداشت با محلول‌پاشی پوتریسین مشاهده شد (شکل ۲-ب).



شکل ۱. میانگین ارتفاع بوته گیاه بابونه آلمانی تحت تأثیر رژیم‌های رطوبتی و محلول‌پاشی با پلی‌آمین پوتریسین. (حروف متفاوت نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.)



(الف)



(ب)

شکل ۲. زیست‌توده (الف) و شاخص برداشت (ب) گیاه بابونه آلمانی تحت تأثیر رژیم‌های رطوبتی و محلول‌پاشی با پلی‌آمین پوتریسین. (حروف متفاوت نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.)

۲.۴ درصد و عملکرد اسانس

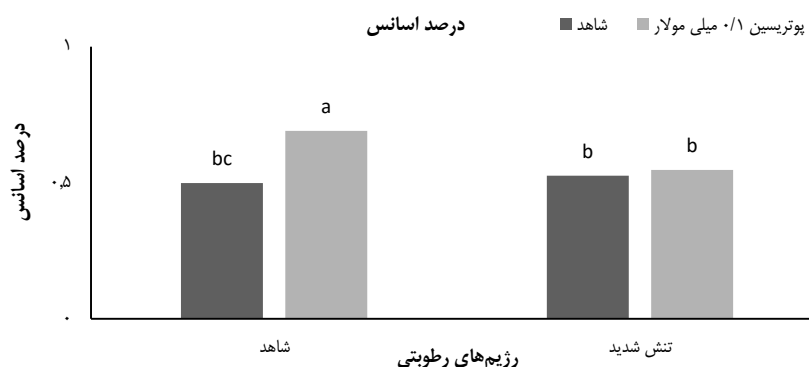
نتایج جدول تجزیه واریانس نشان می‌دهد اثر ساده پوتریسین بر صفات درصد اسانس و عملکرد اسانس (در سطح ۱ درصد) معنی‌دار بود. همچنین اثر متقابل رژیم‌های رطوبتی و محلول‌پاشی با پوتریسین بر روی صفات درصد اسانس (در سطح ۵ درصد) و عملکرد اسانس (در سطح ۱ درصد) معنی‌دار بود (جدول ۳).

جدول ۳. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) درصد اسانس و عملکرد اسانس ارقام بابونه تحت تأثیر رژیم‌های رطوبتی

منبع تغییرات	درجه آزادی	درصد اسانس	عملکرد اسانس
تکرار (R)	۲	۰/۰۱۷**	۱۷/۷۷**
رژیم‌های رطوبتی (I)	۱	۰/۰۲**	۲۶/۱۹**
پوتریسین (Put)	۱	۰/۰۶۸**	۷/۹**
رقم (C)	۱	۰/۰۱۳*	۹/۴۱**
I × Put	۱	۰/۰۴۳*	۴/۳۳**
I × C	۱	۰ns	۰/۱۷ ns
Put × C	۱	۰ns	۰/۶ ns
I × C × Put	۱	۱/۶۶ ns	۰/۲۶ ns
خطا	۱۴	۰/۰۰۲	۰/۲۱
ضریب تغییرات (درصد)		۷/۹۱	۱۰/۸۲

ns: نداشت، *، **، ***: به ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است در شرایط مطلوب رطوبتی، پوتریسین منجر به افزایش قابل توجه درصد اسانس به میزان ۳۸ درصد شد. اما محلول‌پاشی با پوتریسین در حالت تنش خشکی تا ۴ درصد میزان اسانس را تحت تأثیر قرار داد.



شکل ۳. مقایسه میانگین تأثیر رژیم‌های رطوبتی و پوتریسین بر درصد اسانس. (حروف متفاوت نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.)

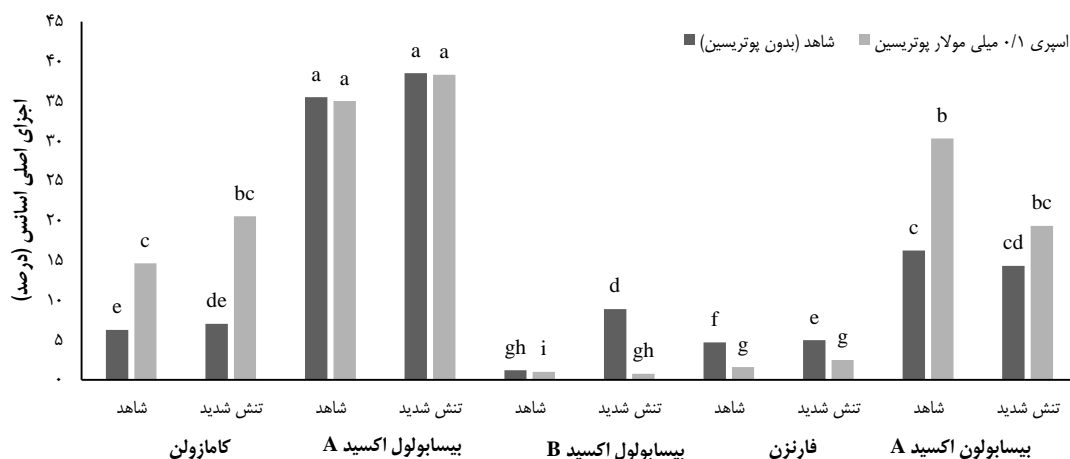


شکل ۴. مقایسه میانگین تأثیر رژیم‌های رطوبتی و پوتریسین بر عملکرد اسانس. (حروف متفاوت نمایانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد می‌باشد.)

واکنش عملکرد اسانس به پوتریسین در شرایط مختلف رژیم رطوبتی روند مشابهی با واکنش درصد اسانس نشان داد. به این شکل که در شرایط شاهد رژیم رطوبتی میزان عملکرد اسانس تحت تأثیر پوتریسین تا ۴۱ درصد افزایش نشان داد ولی پوتریسین در شرایط تنش شدید فقط ۱۰/۸۵ درصد میزان عملکرد اسانس را افزایش داد (شکل ۴).

۳.۴. کیفیت اسانس

بررسی اثر متقابل رژیم‌های رطوبتی و پوتریسین بر روی اجزای اسانس نشان داد که محلول‌پاشی با پوتریسین اثرات متفاوتی بر روی غلظت اجزای مهم اسانس بایونه دارد (شکل ۵). محلول‌پاشی با پوتریسین تأثیر قابل‌توجهی بر روی تجمع کامازولن در هر دو شرایط رژیم رطوبتی داشت. اما تأثیر آن بر روی تجمع کامازولن در شرایط تنش بیش‌تر از شرایط مطلوب رطوبتی بود. سزکوئی‌ترین مهم دیگر بیسابولول اکسید A بود که به‌نظر می‌رسد که تیمار پوتریسین تأثیر خاصی بر روی تجمع آن، چه در حالت شاهد آبیاری و چه در حالت تنش خشکی نداشت و مقدار این ترکیب طی تیمار با پوتریسین ثابت ماند.



شکل ۵. تغییرات اجزای اصلی اسانس ارقام بایونه آلمانی تحت تأثیر رژیم‌های رطوبتی و محلول‌پاشی با پلی‌آمین پوتریسین.

تیمار پوتریسین میزان ترکیبات فارنزن و بیسابولول اکسید B را در هر دو شرایط رژیم رطوبتی کاهش داد. ترکیب مهم دیگر، بیسابولول اکسید A بود که تیمار پوتریسین تأثیر مثبتی بر روی تجمع آن داشت. اگرچه تأثیر آن در رژیم رطوبتی مطلوب بالاتر بود، به‌این ترتیب که در شرایط رژیم رطوبتی مطلوب ۸۷ درصد غلظت این ترکیب را افزایش داد، اما در شرایط تنش تأثیر آن کم‌تر بوده و تا ۳۵ درصد غلظت آن را افزایش داد (شکل ۵).

۵. بحث

نقش پلی‌آمین‌ها در بهبود مقاومت به خشکی در گیاهان مختلف گزارش شده است (Yiu *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2009; Verma & Mishra, 2005). چنین نقشی به اثر آن‌ها به‌عنوان تنظیم‌کننده‌های اسمزی، آنتی‌اکسیدان‌های غیرآنزیمی و مولکول‌های مؤثر در مسیر علامت‌رسانی تنش‌ها مرتبط دانسته شده است (Alcazar *et al.*, 2010). نقش مثبت پلی‌آمین‌ها در گیاه بایونه نیز گزارش شده است. Abd El-Wahed *et al.* (2004) گزارش کردند که تیمار

گیاهان بابونه با اسپرمیدین (Spd) و استیگماسترول اثرات قابل توجهی بر صفات رشدی مانند ارتفاع گیاه، تعداد شاخه گل-دهنده، وزن تر و خشک گیاه بابونه در طول دوره رشد رویشی و زایشی داشت. تأثیرات مثبت ذکرشده در این بخش از نتایج پژوهش گران مذکور با نتایج ما همخوانی دارد. همچنین آن‌ها تأثیرات اسپرمیدین و استیگماسترول را در تعداد گل و وزن گل مثبت خواندند. به این ترتیب که اسپرمیدین و استیگماسترول در غلظت ۱۰۰ میلی گرم در لیتر منجر به افزایش وزن گل به میزان ۴۶ و ۵۸ درصد نسبت به تیمار شاهد شدند. اما در نتایج ما تأثیر پوتریسین بر روی وزن گل خشک معنی دار نبود، فقط مقدار زیست توده بخش‌های رویشی گیاه را افزایش داد، و در نهایت تأثیر منفی بر روی صفت شاخص برداشت (HI) گذاشت. کاربرد خارجی پلی آمین‌ها به طور معنی داری منجر به افزایش زیست توده ریشه و شاخساره در بابونه آلمانی شد (Ali et al., 2007). پوتریسین برای رشد و انباشت مطلوب زیست توده گیاهی گیاه نعناع فلفلی (*Mentha piperita*) ضروری شناخته شد (Youssef et al., 2002). همچنین اسپرمیدین در گیاه ذرت باعث تحریک صفات رویشی (ارتفاع گیاه، سطح برگ و وزن تر و وزن خشک گیاه) و نسبت فتوسنتز خالص شد (Abd El-Wahed et al., 2004). شواهدی وجود دارد که نقش پلی آمین‌ها را در شرایط تنش خشکی تأیید می‌کند. به عنوان مثال، گزارش شده که پلی آمین‌ها در پاسخ گیاهان به شرایط تنش خشکی دخیل هستند که این امر یا به علت ارتباط آن‌ها با متابولیسم ABA است (به عنوان مولکول‌های سیگنالی) (Alkazar et al., 2006) یا به جهت این که به عنوان عوامل محافظتی در مقابل تنش خشکی مطرح هستند (Capell et al., 1998). در حمایت از این مشاهدات Alkazar et al. (2010) گزارش کردند که گیاهان ترانس ژنیک آرابیدوپسیس که از لحاظ پوتریسین در سطح بالایی قرار داشتند، در مقایسه با گیاهان شاهد درجه بازشدگی روزنه‌شان کم‌تر و به تنش خشکی مقاوم‌تر بودند. شواهد بیش‌تر در کشت سلولی گیاهان یونجه مقاوم به خشکی مشاهده شد به این صورت که محتوای اسپرمیدین (Spd) و اسپرمین (Spm) طی تنش افزایش معنی دار یافت و هم‌زمان سطح پوتریسین آن‌ها کاهش معنی داری نشان داد (Yamaguchi et al., 2007). Ortega-Amaro et al. (2012) نشان دادند که پلی آمین‌ها بیان CYCB1-GUS (سایکلین ویژه میتوز) را در آرابیدوپسیس تنظیم می‌کنند. در آزمایش آن‌ها اسپرمیدین (Spd) و اسپرمین (Spm) باعث افزایش معنی دار بیان CYCB1-GUS در مریستم‌های راسی ساقه و ریشه شد. کاربرد بازدارنده‌های پلی آمین به طور چشم‌گیر منجر به کاهش بیان CYCB1-GUS شدند، و رشد ریشه و وزن-تر گیاه کاهش معنی داری پیدا کرد. جالب این که، تیمار تنش شوری نیز منجر به کاهش بیان CYCB1-GUS شد. اما این تأثیرات منفی با کاربرد پلی آمین‌ها مرتفع شد.

گزارش شده است که برگ‌پاشی پوتریسین روی بوته‌های کاهو دانسیته روزنه را کاهش داد، از ساختار کلروپلاست‌ها محافظت کرد و از پلاسمولیز سلول جلوگیری نمود که مجموع این کارکردها منجر به افزایش کارایی مصرف آب و عملکرد شد (Alcazar et al., 2020). در صورت وجود این کارکردها در گیاهان دارویی مانند بابونه، به علت افزایش عملکرد زیست توده، انتظار افزایش عملکرد اسانس نیز وجود دارد. با این حال، افزایش مذکور در عملکرد اسانس تحت تأثیر پوتریسین فقط به علت تأثیر آن در افزایش درصد اسانس است نه به خاطر تحریک تولید گل یا افزایش وزن گل‌های موجود بود. نکته قابل توجه این که تأثیر مثبت تیمار پوتریسین بر عملکرد اسانس در شرایط شاهد رطوبتی بالاتر بود. در این رابطه گزارش شده است که پوتریسین با افزایش بیان ژن‌های دخیل در سنتز سینئول سنتاز، ساینین سنتاز و برونیل دی فسفات سنتاز، تأثیر مثبت بر غلظت اسانس گیاه دارویی مریم‌گلی داشته است (Mohammadi-cheraghadi et al., 2021). همچنین در یک پژوهش مقایسه‌ای بین پوتریسین و تیمار مشخص شد که محلول پاشی پوتریسین بیش‌ترین تأثیر را بر صفات فیزیولوژیک و عملکرد اسانس گیاه بابونه^۱ دارد (Mahboub et al., 2011). همین‌طور در مطالعه‌ای دیگر

محلول پاشی گیاه ریحان ۱ با پوتریسین درصد اسانس را به‌طور معنی‌داری افزایش داد. هم‌چنین سبب افزایش معنی‌دار میزان تیمول در مقایسه با نمونه‌های شاهد شد. اما سبب کاهش معنی‌دار میزان دو ترکیب پارا-سیمن و گاما-ترپینن در مقایسه با نمونه‌های شاهد شد (فرجی و همکاران، ۱۳۹۴). همین‌طور به‌نظر می‌رسد پلی‌آمین پوتریسین با نقشی که در رابطه با افزایش جذب عناصر غذایی از جمله نیتروژن و نقش مهمی که در سنتز قندها و کربوهیدرات‌ها دارد سبب افزایش چشم‌گیر عملکرد اسانس در مقایسه با تیمار شاهد می‌شود.

تأثیرات مثبت پلی‌آمین‌ها در کیفیت اسانس گیاهان دارویی توسط پژوهش‌گران دیگر نیز گزارش شده است. رشد، وزن تر/ خشک و کمیت و کیفیت اسانس در گیاه نعناع فلفلی با کاربرد خارجی پلی‌آمین‌ها بهبود نشان داده است (Youssef *et al.*, 2002). در پژوهشی دیگر اثر متقابل پلی‌آمین‌ها (spd، put و spm) و تنش شوری در گیاه بابونه مورد بررسی قرار گرفت. اسپری پلی‌آمین‌ها محتوای اسانس ریشه‌ها، شاخساره و گل‌های بابونه را افزایش داد. پوتریسین منجر به افزایش سطوح فلاونوئیدها در ارگان‌های مختلف گیاه بابونه شد، اما کاربرد اسپرین کاهش سطوح فلاونوئیدها را در ارگان‌های مختلف گیاه بابونه در پی داشت (Ali *et al.*, 2007). Abd El-Wahed *et al.* (2004) گزارش کردند که تیمار گیاهان بابونه با اسپرمیدین (Spd) و استیگماسترول منجر به افزایش ۶۸ درصدی در ترکیبات اصلی ترپنی (کامازولن، بیسابولول اکسید A و بیسابولول اکسید B) در مقایسه با تیمار شاهد بدون محلول پاشی شد. در پژوهش مذکور، تیمار اسپرمیدین به‌ترتیب منجر به افزایش ۱۸/۵، ۳۸/۱ و ۷۹/۳ درصدی کامازولن، بیسابولول اکسید A و بیسابولول اکسید B شد. تیمار استیگماسترول باعث افزایش تولید فارنزن، بیسابولول اکسید B، کامازولن و بیسابولول اکسید A به‌ترتیب به میزان ۵/۷، ۲۲/۷، ۱۰/۵ و ۴۶/۳ درصد شد.

همان‌گونه که نتایج این پژوهش، فرجی و همکاران (۱۳۹۴) گزارش کردند که محلول پاشی سالیسیلیک اسید عملکرد، بازده و درصد اسانس گیاه مرزه را در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش داد. هم‌چنین سالیسیلیک اسید اثر معنی‌داری بر میزان ترکیب‌های شاخص اسانس داشت و میزان تیمول و گاما-ترپینن و پارا-سیمن را به‌ترتیب در مقایسه با تیمار شاهد به‌طور معنی‌داری افزایش و کاهش داده است و غلظت ۱ میلی‌مولار این تیمار در مقایسه با سایر سطوح بیش‌ترین اثر را بر میزان بازده و درصد اسانس و عملکرد اسانس سرشاخه داشت. هم‌چنین تیمار پوتریسین در مقایسه با سالیسیلیک اسید اثر افزایشی بیش‌تری بر میزان درصد و عملکرد اسانس دارد و میزان عملکرد اسانس سرشاخه را در حدود ۲/۵۶ برابر افزایش داده داد.

احتمالاً افزایش درصد اسانس بابونه و کیفیت آن به‌علت تأثیر تیمار پوتریسین بر روی فعالیت آنزیم‌های ترپن سنتزای ویژه‌ای باشد که مسئول تولید ساختارهای ترپنی اولیه مانند مونو، سزکوئی و دی‌ترپنی هستند. این مسیرهای آنزیمی مسئول واکنش‌های فیزیولوژیکی و ایزومراسیون چرخه‌ای مونوترپن‌ها، سزکوئی‌ترپن‌ها و فنیل‌پروپانویدهای اسانس بابونه هستند (Sangwan *et al.*, 2001). Cseke & Kaufan (1999) نیز عنوان کردند که کنترل مسیرهای بیوسنتزی که منجر به تولید متابولیت‌های خاص مانند اسانس‌ها می‌شود از طریق آنزیم‌های ترپن سنتزای کنترل می‌شود که به‌طور عمده توسط تنظیم‌کننده‌های رشد تأثیر می‌پذیرد.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پلی‌آمین پوتریسین منجر به افزایش میزان زیست‌توده گیاه بابونه شد، اما محلول پاشی آن وزن گل گیاه بابونه را افزایش نداد. در بین ارقام و شرایط متفاوت رطوبتی، ترکیبات کامازولن، بیسابولول اکسید A، بیسابولول اکسید B، فارنزن، بیسابولون اکسید A و

اسپیرواثر بخش اصلی اسانس گیاه بابونه را تشکیل دادند. محلول پاشی با پوتریسین تأثیر قابل توجهی بر تجمع کامازولن در هر دو شرایط رژیم رطوبتی داشت. اما تأثیر آن بر روی تجمع کامازولن در شرایط تنش بیش تر از شرایط مطلوب رطوبتی بود. تیمار پوتریسین میزان ترکیبات فارنزن و بیسابولول اکسید B را در هر دو شرایط رژیم رطوبتی کاهش داد. در کل، تیمار پوتریسین به ترتیب در حالت شاهد و تنش شدید میزان درصد اسانس را ۳۸ و ۴ درصد و عملکرد اسانس را ۴۱ و ۱۰/۸۵ درصد افزایش داد. افزایش مذکور به طور عمده ناشی از افزایش ترکیبات کامازولن و بیسابولون اکسید A بود. با توجه به بحران شدید کم آبی در کشور و تغییرات اقلیمی، به کارگیری هورمون پوتریسین می تواند از نظر اقتصادی و زیست محیطی برای افزایش تحمل به تنش کم آبی (بدون نیاز به افزایش زیست توده و تخلیه منابع آب و خاک) و همزمان افزایش متابولیت های ثانویه هدف (مانند کامازولن و بیسابولون اکسید) در گیاه بابونه توجیه داشته باشد. هم چنین توصیه می شود با تکرار این آزمایش در شرایط مزرعه توسط پژوهشگران دیگر، میزان سطوح داخلی پوتریسین بلافاصله بعد از محلول پاشی آن اندازه گیری شود تا زمینه قضاوت بهتر در مورد چگونگی تأثیر آن فراهم شود.

۷. تشکر و قدردانی

از حمایت ها و پشتیبانی های دانشکده گیاهان و مواد اولیه دارویی دانشگاه شهید بهشتی، تشکر و قدردانی می گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- اکبرزاده، مهرداد؛ هادیان، جواد؛ نجفی، فرزاد؛ محمودی، محمد و طاهری، صبا (۱۳۹۳)، بهمن). بررسی رشد و عملکرد برخی از ارقام بابونه آلمانی (*Matricaria chamomilla* L.) در شمال تهران. *نهمین کنگره علوم باغبانی ایران*. خوزستان، اهواز، ایران.
- دانائی الهام و عبدوسی، وحید (۱۳۹۷). پاسخ های فیتوشیمیایی و مورفوفیزیولوژیکی گیاه ریحان (*Ocimum basilicum* L.) به محلول پاشی برگری پلی آمین ها. *فصلنامه گیاهان دارویی*. ۱۸ (۶۹)، ۱۲۵-۱۳۳
- زمانی، زهرا؛ نیاکان، مریم و قربانلی، مه لقا (۱۳۹۲). تأثیر پوتریسین برون زا بر میزان ترکیبات فنلی، فعالیت آنزیم های آنتی اکسیدان و نیترات ردوکتاز دانه رست گیاه بنگ دانه (*Hyoscyomus niger*) تحت تنش خشکی. *نشریه پژوهش های اکوفیزیولوژی گیاهی ایران*. ۳۱ (۳)، ۷۸-۹۰.
- فاضل، فروغ؛ قیصری، مهدی؛ محمدیان، مرضیه و اعتمادی، نعمت اله (۱۳۹۴). تأثیر ضریب تخلیه مجاز رطوبتی بر نیاز آبیاری و شاخص های گیاهی چمن در آبیاری قطره ای زیر سطحی. *مجله علوم و مهندسی آبیاری*. ۴۰ (۱)، ۱۵۵-۱۶۵.
- فرجی، عزیزه؛ عباسزاده، بهلول؛ سفیدکن، فاطمه؛ اسماعیلیپور، بهروز و خاوازی، کاظم (۱۳۹۴). اثر سالیسیلیک اسید و پوتریسین بر رشد و ترکیب های اسانس مرزه (*Satureja hortensis* L.). *مجله تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران*. ۳۱ (۴)، ۷۰۹-۷۲۲.
- مظفریان، ولی اله (۱۳۹۲). *شناسایی گیاهان دارویی و معطر ایران*. تهران: انتشارات فرهنگ معاصر.

References

- Abd El-Wahed, M. S. A., Krifa, M., & Gamal, E. D. (2004). Stimulation of growth, flowering, biochemical constituents & essential oil of chamomile plant (*Chamomilla recutita* L.) with spermidine & stigmaterol application. *BULG. Plant Physiol*, 30(1), 89-102.
- Abd El-Wahed, M. S. A. (2000). Effect of stigmaterol, spermidine & sucrose on vegetative growth, carbohydrate distribution & yield of Maize Plants. *Egypt. Physiology Science*, 24(2), 225-239.
- Adams, R. P. (2007). Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry. Illinois: Carol Stream, Allured publishing corporation.

- Akbarzadeh, M., Hadian, J., Najafi, F., Mahmudi, M., & Taheri, S. (2014, December). The study of growth and yield of some German chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) cultivars in north Tehran. 9th Iranian Horticultural Science congress. Khuzestan, Ahwaz, Iran. (In Persian).
- Alcazar, R., Cuevas, J., Patron, C., Altabella, M., & Tiburcio, A. F. (2006). Abscisic acid modulates polyamine metabolism under water stress in *Arabidopsis thaliana*. *Plant Physiology*, 128(2), 448-455.
- Alcazar, R., Altabella, T. F., Marco, C., Bortolotti, M., Reymond, C., Koncz, P., Carrasco, A., & Tiburcio, A. F. (2010). Polyamines: molecules with regulatory functions in plant abiotic stress tolerance. *Planta*, 231(1), 1237-1249.
- Alcázar, R., Bueno, M., & Tiburcio, A. F. (2020). Polyamines: Small amines with large effects on plant abiotic stress tolerance. *Cells*, 9(11), 23-73.
- Ali, R. M., Abbas, H. M., & Kamal, R. K. (2007). The effects of treatment with polyamines on dry matter, oil and flavonoid contents in salinity stressed chamomile and sweet marjoram. *Plant Soil and Environment*, 53(3), 529-543.
- An, Z. F., Jing, W., Liu, Y. L., & Zhang, W. H. (2008). Hydrogen peroxide generated by copper amine oxidase is involved in abscisic acid-induced stomatal closure in *Vicia faba*. *Environment Experiment Botany*, 59(2), 815-825.
- Aydin, M., Pour, A. H., Haliloglu, K., & Tosun, M. (2015). Effect of putrescine application and drought stress on germination of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Atatürk Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dergisi*, 46(1), 43-55.
- British Pharmacopoeia. (2013). *The British Pharmacopoeia Commission*. London: Renouf Publishing Company Limited.
- Capell, T., Escobar, C., Lui, H., Burtin, D., Lepri, O., & Christou, P. (1998). Over-expression of the oat arginine decarboxylase cDNA in transgenic rice (*Oryza sativa* L.) affects normal development patterns in vitro and results in putrescine accumulation in transgenic plants. *Theoretical Applied Genetic*, 97, 246-254.
- Cseke, L. J., & Kaufan, P. B. (1999). Regulation of metabolite synthesis in plants. In *Natural Products from Planta*. edited by Kaufan, P. B. Cseke, L. J., Warber, S., Duke, J. A., & Briemann, H. L. Florida: CRC Press.
- Danaee, E., & Abdossi, V. (2019). phytochemical and morphophysiological responses in Basil (*Ocimum basilicum* L.) plant to application of polyamines. *Journal of Medicinal Plants*, 18(69), 125-133. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.2717204.2019.18.69.15.6>. (In Persian).
- Faraji, A., Esmailpoor, B., Sefidkon, F., Abaszadeh, B., & Khavazy, K. (2015). Effect of salicylic acid and putrescine on growth and essential oil compounds of summer savory (*Satureja hortensis* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 31(3), 709-722. (In Persian).
- Fazel, F., Gheysari, M., Mohammadian, M., & Etemadi, N. (2016). Effect of Maximum Allowable Depletion on Irrigation Use and Plant Parameters of Grass under Subsurface Drip Irrigation Management. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering (JISE)*, 40, 155-165. (In Persian).
- González-Hernández, A. I., Scalschi, L., Vicedo, B., Marcos-Barbero, E. L., Morcuende, R., & Camañes, G. (2022). Putrescine: A Key Metabolite Involved in Plant Development, Tolerance and Resistance Responses to Stress. *International journal of molecular sciences*, 23(6), 2971.
- Groppa, M. D., & Benavides, M. P. (2008). Polyamines and abiotic stress: recent advances. *Amino Acids*, 34, 35-45.
- He, L., Ban, Y., moue, H., Matsuda, N., Liu, J., & Moriguchi, T. (2008). Enhancement of spermidine content and antioxidant capacity in transgenic pear shoots overexpressing apple spermidine synthase in response to salinity and hyperosmosis. *Photochemistry*, 69, 2133-2141.
- Kumar, S., Das, M., Singh, A., Ram, G., Mallavarapu, G. R., & Ramesh, S. (2001). Composition of the essential oils of the flowers, shoots and roots of two cultivars of *Chamomilla recutita*. *Medical Aromatic Plant Science*, 23(4), 617-623.

- Liu, J. H., Kitashiba, H., Wang, J., Ban, Y., & Moriguchi, T. (2007). Polyamines and their ability to provide environmental stress tolerance to plants. *Plant Biotechnology*, 24, 117-126.
- Liu, H.P., Jiang, M.Y., Zhou, Y. F., & Liu, Y. L. (2005). Production of polyamines is enhanced by endogenous abscisic acid in maize seedlings subjected to salt stress. *Plant Biology*, 47, 1326-1334.
- Mahboub, M. H., Abd El Aziz, N. G., & Mazhar, A. M. A. (2011). Response of *Matricaria recutita* plant to foliar spray with putrescine and thiamine on growth, flowering and photosynthetic pigments. *American-Eurasian Journal of Agriculture and Environmental Science*, 10(5), 769-775.
- Mann, C., & Staba, E. J. (1986). The chemistry, pharmacology, and commercial formulations of Chamomile. In *Herbs, Spices, and Medicinal Plants: Recent Advances in Botany, Horticulture, and Pharmacology*. edited by Craker, L. E., Simon, J. E. Phoenix: Oryx Press.
- Marco, F., Alcázar, R., Tiburcio, A. F., & Carrasco, P. (2011). Interactions between polyamines and abiotic stress pathway responses unraveled by transcriptome analysis of polyamine overproducers. *Omic: a journal of integrative biology*, 15(11), 775-781.
- Mohammadi-Cheraghabadi, M., Modarres-Sanavy, S. A. M., Sefidkon, F., Rashidi-Monfared, S., & Mokhtassi-Bidgoli, A. (2021). Improving water deficit tolerance of *Salvia officinalis* L. using putrescine. *Scientific Reports*, 11(1), 1-15.
- Mozaffarian, V. (2013) Identification of Medicinal and Aromatic Plants of Iran. Tehran: Farhang-e-Moaser publication. (In Persian).
- Nieves, N., Martinez, M. E., Castillo, R., Blanco, M. A., & Gonzalez-Olmedo, J. L. (2001). Effect of abscisic acid and jasmonic acid on partial desiccation of encapsulated somatic embryos of sugarcane. *Plant Cell Tissue Organ Cult*, 65, 15-21.
- Abd Elbar, O. H., Farag, R. E., & Shehata, S. A. (2019). Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of *Thymus vulgaris* L. under drought stress. *Annals of Agricultural Sciences*, 64, 129-137.
- Ortega-Amaro, M. A., Rodriguez-Kessler, M., Becerra-Flora, A., & Jimenez-Bremont, J. F. (2012). Modulation of Arabidopsis CYCB1 expression patterns by polyamines and salt stress. *Acta Physiology*, 34, 461-469.
- Sangwan, N. S., Farooqi, A. H. A., Sabih, F., & Sangwan, R. S. (2001). Regulation of essential oil production in plants. *Plant Growth Regulators*, 34, 3-21.
- Schilcher, H., Imming, P., & Goeters, S. (2005). Active Chemical Constituents of *Matricaria chamomilla* L. syn. *Chamomilla recutita* (L.) Rauschert. In *Chamomile: Industrial Profiles*. edited by Franke, R., Schilcher, H. Florida: CRC Press.
- Sharafzadeh, Sh., Bazrafshan, F., & Bayatpoor, N. (2012). Effect of naphthaleneacetic acid and spermidine on essential oil constituents of German chamomile. *Inter. Agriculture Crop Science*, 4(23), 1803-1806.
- Sharif moghaddasi, M. (2011). Study on chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) usage and farming. *Environment Biology*, 5, 1446-1453.
- Verma, S., & Mishra, S. N. (2005). Putrescine alleviation of growth in salt stressed *Brassica juncea* by inducing antioxidative defense System. *Plant Physiology*, 162, 669-677.
- Yamaguchi, K., Takahashi, Y., Berberich, T., Imai, A., Takahashi, T., Michael, A. J., & Kusano, T. (2007). A protective role for the polyamine spermine against drought stress in Arabidopsis. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 352, 486-490.
- Yamasaki, H., & Cohen, M. F. (2006). NO signal at the crossroads: polyamine-induced nitric oxide synthesis in plants? *Trends Plant Science*, 11, 522-524.
- Yiu, J., Juang, L., Fang, D., Liu, Ch., & Wu, Sh. (2009). Exogenous putrescine reduces flooding- induced oxidative damage by increasing the antioxidant properties of Welsh onion. *Science Horticulture*, 120(3), 306-314.

- Youssef, A. A., Aly, M. S., Abou Zied, E. N., Iliey, L., & Titiana, S. (2002). Effect of some growth substances on mass production and volatile oil yield of *Mentha piperita* E."Bulgaro". *Egyptian Journal of Applied Science*, 17(11), 610-623.
- Zamani, Z., Niakan, M., & Ghorbani, M. (2013). Effect of endogenous putrescine on phenolic compounds content, antioxidant enzymes and nitrate reductase activity of *Hyoscyomus niger* seedlings under drought stress. *Journal of Iranian Plant Ecophysiological Research*, 8(31), 78-90. (In Persian).
- Zhang, W., Jiang, B., Li, W., Song, H., Yu, Y., & Chen, J. (2009). Polyamines enhance chilling tolerance of cucumber (*Cucumis sativus* L.) through modulating antioxidative system. *Science Horticulture*, 122, 200-208.



Effect of plant density, trifluralin and mechanical control on weed control and fennel yield in Khuzestan province

Mohammad Reza Baghbani¹ | Abdolreza Siapoosh² | Ali Reza Shafeinia³ | Elham Elahifard⁴

1. Corresponding Author, Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: msc.mohammadreza.baghbani@asnrukh.ac.ir
2. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: siahpoush@asnrukh.ac.ir
3. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: shafeinia@asnrukh.ac.ir
4. Department of Plant Production and Genetics, Faculty of Agriculture, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Mollasani, Iran. E-mail: e.elahifard@asnrukh.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 5 February 2022
Received in revised form
30 September 2022
Accepted 11 October 2022
Published online
20 September 2023

Keywords:

Competitor
Dry weight
Economic yield
Essential oil
Herb
Potency

ABSTRACT

Objective: Fennel, scientifically named *Foeniculum vulgare L.*, is one of the most important and widely used medicinal plants of the *Apiaceae* family. This condition ultimately affects its performance, reducing it.

Methods: Therefore, in order to evaluate weed control and boost performance via plant density, trifluralin herbicide, and mechanical control, an experiment was conducted in the form of randomized complete blocks with three factors and three replications in the Faculty of Agriculture, Khuzestan University of Agricultural Sciences and Natural Resources in 2019-2020. Tested factors included mechanical control at two levels (without cultivator and double cultivator), plant density at three levels (6, 12, and 24 plants per square meter) and application of trifluralin herbicide at three levels (zero as a weed control), 1.5, and 3 liters per hectare).

Results: The results of this study showed that treatment with (density of 24 plants per square meter of fennel and 1.5 liters per hectare of trifluralin and with 2 cultivators) did not show any significant difference from the abovementioned treatment.

Conclusion: Therefore, to reduce the use of herbicides, a dose of 1.5 liters of trifluralin can be used instead of a dose of 3 liters, along with 2 cultivators. The highest economic yield of fennel (1313 kg/ ha) belonged to the two plots above. This study showed that the highest essential oil was observed in double cultivator plots by 9.5% and the lowest in uncultivated plots by 4.76%, indicating the effectiveness of the cultivator compared to other factors in the production of essential oil.

Cite this article: Baghbani, M. R., Siapoosh, A., Shafeinia, A. R., & Elahifard, E. (2023). Effect of plant density, trifluralin and mechanical control on weed control and fennel yield in Khuzestan province. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 685-702. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.338577.2678>



بررسی تأثیر تراکم گیاهی، علف‌کش تریفلورالین و کنترل مکانیکی بر کنترل علف‌های هرز و عملکرد رازیانه در خوزستان

محمد رضا باغبانی^۱ | عبدالرضا سیاهپوش^۲ | علیرضا شافعی نیا^۳ | الهام الهی فرد^۴

۱. نویسنده مسئول، گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملائانی، ایران. رایانامه: msc.mohammadreza.baghbani@asnruck.ac.ir
۲. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملائانی، ایران. رایانامه: siahpoush@asnruck.ac.ir
۳. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملائانی، ایران. رایانامه: shafeinia@asnruck.ac.ir
۴. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، ملائانی، ایران. رایانامه: e.elahifard@asnruck.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

هدف: رازیانه با نام علمی *Foeniculum vulgare* L. یکی از مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین گیاه دارویی از خانواده چتریان (Apiaceae)، می‌باشد. این گیاه چندساله، در رقابت با علف‌های هرز، رقیب ضعیفی می‌باشد. این وضعیت موجب کاهش توان و عملکرد می‌گردد.

روش پژوهش: به‌منظور بررسی کنترل علف‌های هرز و افزایش عملکرد، با استفاده از تراکم گیاهی، علف‌کش تریفلورالین و کنترل مکانیکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه فاکتور و سه تکرار در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در سال ۹۹-۱۳۹۸ اجرا شد. فاکتورهای آزمایش شامل کنترل مکانیکی در دوسطح (بدون کولتیواتور و دوبار کولتیواتور)، تراکم گیاهی در سه سطح (شش، ۱۲ و ۲۴ بوته در مترمربع) و علف‌کش تریفلورالین در سه سطح (صفر به‌عنوان شاهد با علف هرز، ۱/۵ و ۳ لیتر در هکتار) بودند.

یافته‌ها: نتایج این بررسی، نشان داد که تیمار دارای (تراکم ۲۴ بوته در مترمربع رازیانه و ۱/۵ لیتر در هکتار تریفلورالین و به‌همراه دو بار کولتیواتور) اختلاف معنی‌داری با تیمار ۳ لیتر علف‌کش در تراکم و وزن خشک علف‌های هرز نشان نداد.

نتیجه‌گیری: بنابراین جهت کاهش مصرف علف‌کش می‌توان دوز ۱/۵ لیتر تریفلورالین را به‌جای دوز ۳ لیتر آن، به‌همراه انجام دو بار کولتیواتور به‌کار برد. بیش‌ترین عملکرد اقتصادی رازیانه به میزان ۱۳۱۳ کیلوگرم در هکتار در دو تیمار ذکرشده مشاهده گردید. این بررسی نشان داد بیش‌ترین اسانس در کرت‌های دو بار کولتیواتور به میزان ۹/۵ درصد و کم‌ترین در کرت‌های بدون کولتیواتور به میزان ۴/۷۶ درصد مشاهده شد که تأثیرپذیری کولتیواتور را نسبت به بقیه فاکتورها در تولید اسانس بیان می‌کند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۶

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۷/۰۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۱۹

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

کلیدواژه‌ها:

اسانس روغنی

توان

رقیب

عملکرد اقتصادی

گیاه دارویی

وزن خشک

استناد: باغبانی، محمد رضا؛ سیاهپوش، عبدالرضا؛ شافعی نیا، علیرضا؛ و الهی فرد، الهام (۱۴۰۲). بررسی تأثیر تراکم گیاهی، علف‌کش تریفلورالین و کنترل مکانیکی بر کنترل علف‌های هرز و عملکرد رازیانه در خوزستان. *به‌زرعی کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۶۸۵-۷۰۲.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.338577.2678>



۱. مقدمه

رازیانه از خانواده چتریان^۱ گیاهی افراشته، دائمی که دارای گونه‌های یکساله، دوساله و چند ساله، معطر، به ارتفاع ۷۵ سانتی‌متر، که وزن هزاردانه آن به‌طور متوسط ۱۰ گرم است. تمام اندام گیاه حاوی اسانس است، اما بیش‌ترین مقدار اسانس آن (حدود شش درصد) در میوه تولید می‌شود. امروزه از مواد مؤثره آن در داروسازی و تولید شیر در مادران شیرده استفاده می‌شود (امید بیگی، ۱۳۸۶). استقرار ضعیف، عدم ایجاد پوشش گیاهی مطلوب و دوره رشدی طولانی موجب شده که این گیاه رقیب بسیار ضعیفی در برابر علف‌های هرز به‌ویژه در سال اول کاشت باشد. همچنین، وجود علف‌هرز در مزرعه باعث افزایش هزینه‌های تولید ناشی از کنترل شیمیایی، کاهش کیفیت محصول و افزایش هزینه‌های بوجاری می‌شوند. در صورت عدم کنترل به موقع، عملکرد گیاهان بسته به توان رقابتی علف‌های هرز و گیاه زراعی بین (۱۰ تا ۱۰۰ درصد) کاهش می‌یابد (Auskarniene *et al.*, 2010). پژوهش‌ها نشان داده‌اند که استفاده هر یک از روش‌های مکانیکی و شیمیایی به‌صورت انفرادی نمی‌تواند علف‌های هرز را به‌طور مناسبی کنترل نماید (مدحج و بهداروندی، ۱۳۸۵). از طرف دیگر کاربرد علف‌کش‌ها هرچند ساده و راحت‌تر از دیگر روش‌های کنترل علف‌های هرز است، اما منجر به آلودگی زیست‌محیطی باقیمانده سم در خاک و ایجاد مقاومت در علف‌های هرز و حساسیت در گیاهان زراعی می‌شوند (Hussain *et al.*, 2013).

۲. پیشینه پژوهش

در کشاورزی مدرن روش عمده مبارزه با علف‌هرز کاربرد علف‌کش است، هرچند قیمت‌های بالای مواد شیمیایی و نگرانی‌های زیست‌محیطی جامعه کشاورزی را وادار کرده تا این مواد را با دقت نظر بیش‌تری مصرف نمایند (Lucinewton *et al.*, 2005). لذا توسعه کشت رازیانه در مزارع نیازمند ارائه برنامه‌های مدیریت تلفیقی علف‌های هرز^۲ می‌باشد (Legere & Samson, 1999). در مدیریت تلفیقی علف‌های هرز بر استفاده صحیح از تمام روش‌های فیزیکی، زراعی، بیولوژیکی و شیمیایی برای کاهش خسارت علف‌های هرز تأکید می‌شود (کوچکی و خواجه‌حسینی، ۱۳۹۱). توسعه این برنامه به آگاهی از مکانیسم‌هایی که بر چگونگی تغییرات ترکیب علف‌های هرز تأثیر می‌گذارد بستگی دارد، ضمن آنکه تغییر جوامع علف‌های هرز را نمی‌توان تنها با یک عامل موردبررسی قرار داد، زیرا جوامع علف‌های هرز تحت تأثیر عوامل زنده و غیرزنده زیادی قرار دارند (Legere & Samson, 1999). افزایش توان رقابت گیاهان زراعی یکی از ابزارهای کلیدی مدیریت علف‌های هرز است که در کشاورزی پایدار می‌توان از آن بهره جست و از طریق اصلاح نباتات، مدیریت مناسب مواد غذایی و یا بهره‌گیری از تراکم و آرایش کاشت مطلوب گیاهی، قابل دسترس است (حبیب‌زاده و همکاران، ۱۳۷۹). بررسی پژوهش‌های به‌آیین و همکاران (۱۳۹۶)، نتایج نشان داد که کاربرد تیمارهای مختلف کولتیواتور روی شاخص کنترل علف‌های هرز و عملکرد محصول در سطح ۱ درصد معنی‌دار بود. در مطالعه‌ای دیگر، Johnson *et al.* (1998) بیان کردند که استفاده هم‌زمان علف‌کش و کولتیواتور باعث کاهش مصرف علف‌کش در مبارزه با علف‌های هرز گردید. براین اساس تلفیق کولتیواتور بین ردیف‌ها و مصرف علف‌کش ضمن دستیابی به عملکرد مطلوب در گیاهان وجینی نیاز به مصرف علف‌کش را کاهش داد و تلفیق روش‌های شیمیایی و مکانیکی تا حدودی موجب جلوگیری از ایجاد گونه‌های هرز مقاوم به علف‌کش‌ها می‌شود، به‌طور کلی سیاست روش تلفیقی علف‌های هرز موجب افزایش و پایداری تولید، کاهش مشکلات و هزینه‌های کنترل علف‌های هرز می‌شود (Swanton & Weise, 1991).

1. Apiaceae

2. Integrated Weed Management (IWM)

مدحج و بهداروندی (۱۳۸۵)، در آزمایشی در خصوص کنترل تلفیقی (شیمیایی و مکانیکی) علف‌های هرز در کلزا گزارش دادند تیمار دوبار کولتیواتور به‌همراه علف‌کش تریفلورالین علف‌های هرز را به میزان ۴۳/۸۴ درصد کنترل نمود. معمولاً از آنجایی که زراعت رازیانه به‌صورت ردیفی انجام می‌شود، امکان عملیات سله‌شکنی و مبارزه با علف‌های هرز پس از سبز شدن گیاه، با به‌کارگیری ادواتی از قبیل کولتیواتور امکان‌پذیر است که می‌تواند در افزایش عملکرد تأثیر زیادی داشته باشد (امین‌پور و جعفری، ۱۳۷۷). لذا انجام این کار نیاز به بررسی داشته و پیشنهاد می‌شود که دست‌اندرکاران کشت و تولید، کاشت ماشینی را در مزارع آبی و دیم مورد بررسی قرار داده و اشکالات آن را برطرف سازند. بنابراین با توجه به اهمیت کاهش مصرف علف‌کش‌ها و استفاده از دیگر روش‌های کنترل علف‌های هرز در کشاورزی پایدار، پژوهش حاضر با اهداف زیر انجام گردید:

۱- بررسی امکان کنترل علف‌های هرز با استفاده از علف‌کش تریفلورالین در دوزهای توصیه‌شده و دوزهای کاهش‌یافته به تهیابی و در تلفیق با کولتیواتور، ۲- ارزیابی تحمل رازیانه به دوزهای مختلف علف‌کش تریفلورالین، ۳- ارزیابی تراکم‌های مختلف رازیانه در کنترل علف‌های هرز.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ در مزرعه پژوهشی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان در شهر ملاثانی، واقع در ۳۶ کیلومتری شمال شرقی شهر اهواز در حاشیه رودخانه کارون با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۶ دقیقه و طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه و ارتفاع ۵ متر از سطح دریا، انجام شد. این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه فاکتور و در سه تکرار انجام شد. هر بلوک دارای ۲۱ کرت با ابعاد هر کرت (۳×۲/۵ متر) که دارای چهار پشته بوده و فاصله هر پشته از یکدیگر ۷۵ سانتی‌متر و بر روی هر پشته دو خط کاشت بوده است. فاکتورهای مورد آزمایش شامل روش کنترل مکانیکی در دوسطح (بدون کولتیواتور و دوبار کولتیواتور)، تراکم در سه سطح (شش، ۱۲ و ۲۴ بوته در مترمربع) و روش کنترل شیمیایی در سه سطح (صفر به‌عنوان شاهد با علف هرز، ۱/۵ و ۳ لیتر در هکتار علف‌کش تریفلورالین) بوده‌اند. دلیل انتخاب علف‌کش تریفلورالین برای این آزمایش این بوده که در آزمایش تست جوانه‌زنی رازیانه که قبل از آزمایش اصلی انجام گرفت، در بین چهار علف‌کش (پندی‌متالین، استوکلر، ارادیکان و تریفلورالین) رازیانه بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی را در تریفلورالین داشت.

پس از تهیه نقشه طرح، قبل از کاشت، ابتدا قطعه زمین موردنظر را ماخار و پس از گاورو شدن آن با گاوآهن برگردان‌دار شخم زده، سپس با استفاده از دیسک به‌صورت دوبار عمود برهم کلوخه‌های ناشی از شخم را خرد کرده، سپس کرت‌بندی صورت پذیرفت. فاصله کرت‌ها از هم یک متر و فاصله بلوک‌ها ۲ متر بودند. پس از کرت‌بندی ابتدا کودهای پایه موردنیاز گیاه براساس میزان توصیه‌شده برای گیاه و نتایج حاصل از آزمایشگاه خاک‌شناسی برای هر کرت محاسبه و به‌صورت جداگانه توزین و در سطح هر کرت پاشیده (فسفر، ۱۹/۷۴۷ و نیتروژن، ۲۶/۳۳۴ کیلوگرم در هکتار) و توسط شن‌کش با خاک مخلوط گردید. جهت اعمال تیمارهای علف‌کش از سم‌پاش پستی تلمبه‌ای از نوع کتابی با نازل بادبزی و فشار ثابت ۲ بار استفاده گردید، برای جلوگیری از تجزیه نوری و مخلوط شدن سم با خاک بلافاصله بعد از سم‌پاشی در تاریخ ۱۳۹۸/۸/۲۰ اقدام به ایجاد جوی و پشته به فاصله ۷۵ سانتی‌متر (هر کرت دارای چهار فارو) شد. آنگاه، هر کدام از کرت‌ها براساس تراکم مشخص‌شده (شش، ۱۲ و ۲۴ بوته رازیانه در مترمربع) طبق نقشه طرح در تمام کرت‌ها و به‌صورت دو خط کاشت بر روی پشته‌ها کاشته و بلافاصله بعد از اتمام کشت، اولین آبیاری مزرعه در تاریخ ۱۳۹۸/۸/۲۱ و به‌صورت سطحی (سنتی)- کرتی انجام گرفت. تعداد کل آبیاری‌ها با توجه به میزان بارندگی‌های فصلی،

چهار دفعه بوده است. اولین کولتیواتور در مرحله چهار تا پنج برگی رازیانه در تاریخ ۱۳۹۸/۹/۲۱ و دومین کولتیواتور به فاصله یک ماه از اولین کولتیواتور در تاریخ ۱۳۹۸/۱۰/۲۲ انجام شد. نمونه برداری از علف‌های هرز سبزشده در فاصله زمانی ۴۵ روز پس از عملیات سم‌پاشی در تمامی تیمارها با استفاده از یک کوادرات ۵۰×۵۰ سانتی متر به صورت تصادفی چهار بار در هر کرت صورت گرفت و سپس تعداد علف‌های هرز پهن‌برگ و باریک‌برگ برحسب تعداد در یک مترمربع شمارش و ثبت گردید. به منظور اندازه‌گیری وزن خشک علف‌های هرز، گونه‌ها به تفکیک در پاکت قرار داده و آنگاه نمونه‌ها به مدت ۷۲ ساعت در آون در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده و پس از توزین نمونه‌ها، وزن خشک آن‌ها را به تفکیک، یادداشت برداری شد. سپس درصد کاهش تراکم علف‌های هرز و درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز نسبت به شاهد در مراحل مختلف نمونه برداری محاسبه گردید. همچنین در زمان‌های نمونه برداری علف‌های هرز، جهت بررسی اثر علف‌کش‌ها بر گیاه زراعی، ارتفاع ساقه، وزن خشک تک‌بوته و وزن خشک و حجم ریشه‌های رازیانه در مراحل مختلف رشدی و نیز در زمان برداشت که در تاریخ ۱۳۹۹/۳/۲۰ در سه چین انجام گرفت، تعداد چتر در هر بوته، تعداد دانه در هر چتر و وزن هزاردانه برای تعیین عملکرد رازیانه، نمونه برداری و محاسبه گردید. در نهایت پس از جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل آن‌ها به کمک نرم‌افزارهای آماری SAS (نسخه ۹/۱) و مقایسه‌های میانگین به روش LSD انجام شد و نمودارها و شکل‌ها نیز توسط نرم‌افزار اکسل رسم گردید.

جدول ۱. برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش ۳-۳ طرح و تیمارهای آزمایشی

سال آزمایش	عمق نمونه برداری (سانتی‌متر)	فسفر قابل جذب (کیلوگرم/میلی‌گرم)	پتاسیم قابل جذب (کیلوگرم/میلی‌گرم)	نیترژن کل (درصد)	قابلیت هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس/متر)	وزن مخصوص ظاهری (سانتی‌مترمربع.گرم)	بافت خاک
۹۹-۹۸	۳۰-۰	۷/۴	۲۷۵	۰/۰۶	۲/۶	۱/۳	سیلتی-رسی
۹۹-۹۸	۶۰-۳۰	۵/۹	۲۰۸	۰/۰۴	۲/۱	۱/۴۶	رسی-سیلتی

۴. یافته‌های پژوهش

۴.۱. فراوانی گونه‌های علف‌هرز مشاهده شده در مزرعه آزمایشی

علف‌های هرز غالب در کرت‌های آزمایشی به ترتیب فراوانی (جدول ۲)، شامل چچم، گلرنگ وحشی، چغندر وحشی و پنیرک مشاهده گردید که بیش‌ترین فراوانی ۳۹/۳ درصد متعلق به چچم و کم‌ترین فراوانی ۶/۱ درصد متعلق به پنیرک بود. سایر علف‌های هرز مشاهده شده در مزرعه آزمایشی شامل کاسنی، شاه افسر، خارمریم، تریگونولا (شنبليله وحشی)، وایه و پیچک صحرایی بوده است که از نظر تعداد و تراکم، کم بوده و فقط در نمونه برداری اول مشاهده گردیدند و در ادامه به دلیل قرارگرفتن آن‌ها در سایه، از بین رفته و در نمونه برداری دوم کم‌تر مشاهده گردیدند.

جدول ۲. فراوانی گونه‌های مشاهده شده در مزرعه آزمایشی

نام	نام علمی	خانواده	چرخه زندگی	فراوانی علف‌هرز (درصد)
چچم	<i>Lolium rigidum</i>	Poaceae	یکساله	۳۹/۳
گلرنگ وحشی	<i>Carthamus tinctorius</i>	Compositae	یکساله	۲۵/۷۲
چغندر وحشی	<i>Beta vulgaris</i>	Amaranthaceae	دوساله	۱۵/۹۸
پنیرک	<i>Malva parviflora</i>	Malvaceae	یکساله و چندساله	۶/۱۰
سایر*				۱۲/۹

۱. Least Significant Difference

* کاسنی (Cichorium intybus)، شاه افسر (Melilotus officinalis)، افغانی (Farsetia heliophila)، خار مریم (Silybum marianum)، شنبلیله (Trigonalla foenum-graecum)،
وایه (Ammi visnaga)، پیچک صحرایی (Convolvulus arvensis)

۲.۴ درصد کاهش تراکم علف‌های هرز باریک‌برگ

نتایج به‌دست‌آمده از جدول (۳) نشان می‌دهد که در کرت‌های آزمایشی در ۴۵ روز پس از سم‌پاشی، درصد کاهش تراکم علف‌های هرز باریک‌برگ تحت تأثیر برهم‌کنش سه‌گانه تراکم گیاهی - علف‌کش - کولتیواتور کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد داشتند ($P \leq 0.05$) که دلیل آن را می‌توان به سطحی‌بودن نوع ریشه (افشان‌بودن) علف‌های هرز باریک‌برگ که با انجام کولتیواتور براحتی کنترل می‌شوند نسبت داد.

جدول ۳. نتایج تجزیه واریانس درصد کاهش تراکم علف‌های هرز نسبت به شاهد آلوده در ۴۵ روز پس از سم‌پاشی

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		تراکم باریک‌برگ	تراکم کل علف‌های هرز
تکرار	۲	۱۹۹/۳۷ *	۱۰۲/۳۳**
تراکم	۲	۳۸۳۶/۰۴**	۳۵۴۱/۳**
علف‌کش	۱	۲۰۸۷/۸۸ **	۳۱۳۲/۸۲**
کولتیواتور	۱	۱۱۱۵۴/۱۷ **	۱۲۳۰۹/۱۶**
تراکم × علف‌کش	۲	۱۷۶/۳۱ *	۵۴/۴ns
تراکم × کولتیواتور	۲	۳۷۹/۳۴ **	۳۹۹/۳۴**
علف‌کش × کولتیواتور	۱	۱۵۶/۰۸ *	۶۶/۶۶ns
تراکم × علف‌کش × کولتیواتور	۲	۱۶۴/۳۵ *	۳۳۳/۰۵**
خطای کل	۲۲	۳۵/۴۵	۱۶/۴۴
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۳/۰۸	۱۰/۰۳

ns، * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

نتایج جدول (۴) نشان داد که کم‌ترین درصد کاهش تراکم علف‌های هرز باریک به اندازه ۱۰/۳۵ درصد در تیمار D1H2C1 (تراکم شش بوته رازیانه، تریفلورالین ۱/۵ لیتر در هکتار، بدون کولتیواتور) اتفاق افتاد. بیش‌ترین درصد کاهش تراکم باریک‌برگ‌ها در تیمار D3H3C2 (تراکم ۲۴ بوته رازیانه، تریفلورالین ۳ لیتر در هکتار، دوبار کولتیواتور) به اندازه ۹۰/۴۱ درصد به‌دست آمد که تفاوت معنی‌داری با تیمار D3H2C2 (تراکم ۲۴ بوته رازیانه، تریفلورالین ۱/۵ لیتر در هکتار، دوبار کولتیواتور) نشان نداد.

جدول ۴. مقایسه میانگین درصد کاهش تراکم علف‌های هرز نسبت به شاهد آلوده ۴۵ روز پس از سم‌پاشی

تیمار	باریک‌برگ	پهن‌برگ	کل علف‌های هرز
شش بوته در مترمربع	تریفلورالین ۱/۵	بدون کولتیواتور	۴/۸۹i
	تریفلورالین ۳	بدون کولتیواتور	۱۹/۵۵hg
		دو بار کولتیواتور	۱۴/۶۶hg
		بدون کولتیواتور	۵۶/۸۵d
۱۲ بوته در مترمربع	تریفلورالین ۱/۵	بدون کولتیواتور	۱۴/۳h
	تریفلورالین ۳	بدون کولتیواتور	۴۶/۸۹e
		دو بار کولتیواتور	۲۹/۴۱f
		بدون کولتیواتور	۶۵/۲۴c
۲۴ بوته در مترمربع	تریفلورالین ۱/۵	بدون کولتیواتور	۲۱/۴۶g
	تریفلورالین ۳	بدون کولتیواتور	۷۹/۳۵b
		دو بار کولتیواتور	۴۴/۳۸e
		بدون کولتیواتور	۸۷/۸۲a

حرف‌های کوچک در کنار مقادیر نشان‌دهنده تفاوت معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد است.

حروف مشابه در هر ستون بیانگر عدم وجود اختلاف معنی‌دار در میان تیمارها در سطح ۵ درصد براساس آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) می‌باشد.

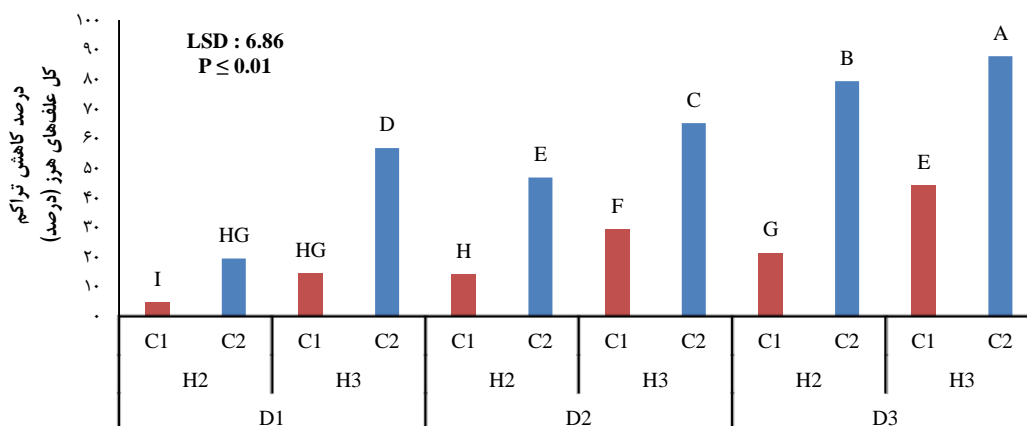
۳.۴. درصد کاهش تراکم علف‌های هرز پهن برگ

براساس جدول (۳)، تجزیه واریانس تراکم علف‌های هرز پهن‌برگ تحت تأثیر برهم‌کنش سه‌گانه تراکم-علف‌کش-کولتیواتور کاهش معنی‌داری داشتند ($P \leq 0.01$). با توجه به جدول (۴)، مقایسه میانگین، کم‌ترین درصد کاهش تراکم علف‌های هرز پهن‌برگ نیز در تیمار D1H2C1 (تراکم شش بوته رازیانه، تریفلورالین ۱/۵ لیتر در هکتار، بدون کولتیواتور) به اندازه ۱/۳۹ درصد و بیش‌ترین درصد کاهش تراکم در تیمار D3H2C2 (تراکم ۲۴ بوته رازیانه، تریفلورالین ۳ لیتر در هکتار، دو بار کولتیواتور) و D3H3C2 (تراکم ۲۴ بوته رازیانه، تریفلورالین ۳ لیتر در هکتار، دو بار کولتیواتور) به ترتیب به اندازه ۷۳/۳۷ و ۸۱/۲۵ درصد بوده است. این اثر می‌تواند ناشی از تراکم بالا به دلیل سایه‌اندازی گیاه رازیانه بر علف‌های هرز پهن برگ در مراحل اولیه رشد، و جذب بیش‌تر علف‌کش (به دلیل آب‌شویی کم‌تر آن در مراحل اولیه رشد) و هم‌چنین به هم‌زدن سیستم ریشه‌ای علف‌های هرز توسط کولتیواتور بیان نمود. این تأثیرپذیری بالا بر کنترل علف‌های هرز در وهله اول می‌تواند ناشی از تأثیر کولتیواتور بیان نمود زیرا در این تراکم (۲۴ بوته در مترمربع) در غلظت‌های ۱/۵ و ۳ لیتر در هکتار در تیمار بدون کولتیواتور تفاوت معنی‌داری وجود نداشته اما هنگامی که کولتیواتور زده شد اختلاف معنی‌داری در کاهش پهن‌برگ‌ها بوجود آورد که با نتایج پژوهش‌های Johnson *et al.* (1998) همخوانی دارد.

۴.۴. درصد کاهش تراکم کل علف‌های هرز

بر طبق جدول (۳)، تجزیه واریانس تراکم کل علف‌های هرز تحت تأثیر برهم‌کنش سه‌گانه تراکم-علف‌کش-کولتیواتور کاهش معنی‌داری داشتند ($P \leq 0.01$). با توجه به جدول (۴) مقایسه میانگین، کم‌ترین درصد کاهش تراکم کل علف‌های هرز نیز در تیمار D1H2C1 (تراکم شش بوته رازیانه، تریفلورالین ۱/۵ لیتر، بدون کولتیواتور) به اندازه ۴/۸۹ درصد و بیش‌ترین درصد کاهش تراکم در تیمار D3H3C2 (تراکم ۲۴ بوته رازیانه، تریفلورالین ۳ لیتر، دو بار کولتیواتور) به اندازه ۸۷/۸۳ درصد بوده است.

طبق شکل (۱)، هر تیمار که دو بار کولتیواتور در آن اجرا شده بود، درصد کاهش تراکم کل علف‌های هرز بیش‌تر کاهش یافت. ضمن این‌که با افزایش تراکم رازیانه و ایجاد رقابت بین‌گونه‌ای درصد کاهش تراکم کل علف‌های هرز بیش‌تر شده است (به‌آیین و همکاران، ۱۳۹۶).



شکل ۱. اثر تراکم-علف‌کش-کولتیواتور بر درصد کاهش تراکم کل علف هرز نسبت به شاهد آلوده، ۴۵ روز پس از سم‌پاشی. (C1: بدون کولتیواتور، C2: دوبار کولتیواتور، H2: تریفلورالین ۱/۵ لیتر، H3: تریفلورالین ۳ لیتر، D1: تراکم شش بوته در مترمربع، D2: تراکم ۱۲ بوته در مترمربع، D3: تراکم ۲۴ بوته در مترمربع).

۵.۴. درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز باریک برگ

بررسی جدول (۵) نشان می‌دهد که هرکدام از عوامل آزمایش به‌طور مستقل وزن خشک علف‌های باریک‌برگ را در سطح احتمال خطای یک درصد و اثرات متقابل آن‌ها وزن خشک علف‌های باریک‌برگ را در سطح احتمال خطای پنج درصد توانسته کاهش دهد.

جدول ۵. نتایج تجزیه واریانس درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز نسبت به شاهد آلوده

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		وزن خشک باریک برگ	وزن خشک کل علف‌های هرز
تکرار	۲	۵۴/۸۳ ns	۷/۱۸ ns
تراکم	۲	۴۷۷۲/۹۶**	۳۱۵۳/۷۷**
علف‌کش	۱	۷۲۷/۹۲ **	۷۸۶/۰۵**
کولتیواتور	۱	۱۵۹۳۳/۱۷**	۴۴۰۴/۵۳**
تراکم × علف‌کش	۲	۲۰۵/۲۷ *	۷۰/۵۵**
تراکم × کولتیواتور	۲	۲۰۵/۴۲*	۵۰/۵۲*
علف‌کش × کولتیواتور	۱	۷/۶۱ns	۲/۹۵ns
تراکم × علف‌کش × کولتیواتور	۲	۱۹۹ *	۴۶/۶۷*
خطای کل	۲۲	۵۱/۲۱	۸/۹۵
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۴/۴۵	۵/۹۲
			۸/۲

ns ** و ***: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

طبق بررسی جدول (۶) مقایسه میانگین‌ها کم‌ترین میزان درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز باریک برگ، ۹/۰۲ درصد، در تیمار D1H2C1 (تراکم شش بوته رازیانه، تریفلورالین ۱/۵ لیتر در هکتار، بدون کولتیواتور) و بیش‌ترین درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز به مقدار ۸۵/۶۱ و ۹۶/۲۰ به ترتیب در تیمارهای D3H2C2 (تراکم ۲۴ بوته رازیانه، تریفلورالین ۱/۵ لیتر در هکتار، دو بار کولتیواتور) و D3H3C2 (تراکم ۲۴ بوته رازیانه، تریفلورالین ۳ لیتر در هکتار، دو بار کولتیواتور) بوده است و تفاوت معنی‌داری ندارند. بررسی نتایج جدول مقایسه میانگین‌ها می‌تواند گویای تأثیرگذاری زیاد عامل کولتیواتور در وهله اول (به دلیل از بین بردن سریع علف هرز از مزرعه) و تراکم بوته و علف‌کش در مراحل بعدی باشد (به‌آیین و همکاران، ۱۳۹۶).

جدول ۶. مقایسه میانگین درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز نسبت به شاهد آلوده ۴۵ روز پس از سم‌پاشی

تیمار	باریک برگ	پهن برگ	کل علف‌های هرز
شش بوته در مترمربع	تریفلورالین ۱/۵	بدون کولتیواتور	۹/۰۲i
	تریفلورالین ۳	دو بار کولتیواتور	۳۲/۴۳gf
۱۲ بوته در مترمربع	تریفلورالین ۱/۵	بدون کولتیواتور	۲۳/۲۷f
	تریفلورالین ۳	دو بار کولتیواتور	۵۸/۲۶d
۲۴ بوته در مترمربع	تریفلورالین ۱/۵	بدون کولتیواتور	۳۵/۹۸f
	تریفلورالین ۳	دو بار کولتیواتور	۶۳/۲c
تریفلورالین ۱/۵	بدون کولتیواتور	۳۳/۰۲gh	۳۱/۵gf
	دو بار کولتیواتور	۷۸/۶۹bc	۷۲/۹۴b
تریفلورالین ۳	بدون کولتیواتور	۲۹/۷۸gf	۳۸/۷۶ed
	دو بار کولتیواتور	۷۲/۰۱c	۷۲/۰۶b
تریفلورالین ۱/۵	بدون کولتیواتور	۴۱/۲۲ef	۴۵/۴۴d
	دو بار کولتیواتور	۸۵/۶۱ba	۸۱/۰۶a
تریفلورالین ۳	بدون کولتیواتور	۵۱/۸۲ed	۵۵/۰۹c

۴.۶. درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز پهن برگ

بررسی جدول (۵) نشان می‌دهد که هرکدام از عوامل آزمایش به‌طور مستقل وزن خشک علف‌های هرز پهن‌برگ را در سطح احتمال خطای یک درصد و اثرات متقابل آن‌ها در سطح احتمال خطای پنج درصد توانسته کاهش دهد. طبق بررسی جدول (۶) مقایسه میانگین‌ها کم‌ترین میزان درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز پهن‌برگ، ۲۳/۴۵ درصد، در تیمار D1H2C1 (تراکم شش بوته رازیانه، تریفلورالین ۱/۵ لیتر در هکتار، بدون کولتیواتور) و بیش‌ترین درصد کاهش وزن خشک علف‌های هرز به مقدار ۷۵/۲۹ درصد در تیمار D3H3C2 (تراکم ۲۴ بوته رازیانه، تریفلورالین ۳ لیتر در هکتار، دو بار کولتیواتور) بوده که با تیمار D3H2C2 (تراکم ۲۴ بوته رازیانه، تریفلورالین ۱/۵ لیتر در هکتار، دو بار کولتیواتور) تفاوت معنی‌داری ندارند. که این تأثیرپذیری بالای کاهش درصد وزن علف‌های هرز پهن‌برگ را توسط عامل دو بار کولتیواتور و تأثیر توسط تراکم و علف‌کش در مراتب بعد بیان می‌کند (به‌آیین و همکاران، ۱۳۹۶).

۴.۷. درصد کاهش وزن خشک کل علف‌های هرز

نتایج تجزیه واریانس (۵)، درصد کاهش وزن خشک کل علف‌های هرز تحت تأثیر برهم‌کنش سه‌گانه تراکم-علف‌کش-کولتیواتور با احتمال یک درصد اختلاف، کاهش معنی‌داری داشته است ($P \leq 0/01$). به‌طوری‌که، کم‌ترین درصد کاهش وزن خشک کل علف‌های هرز در تیمار D1H2C1 (تراکم شش بوته رازیانه، تریفلورالین ۱/۵ لیتر در هکتار، بدون کولتیواتور) به مقدار ۱۸/۲۴ درصد و بیش‌ترین درصد کاهش آن در تیمار D3H3C2 (تراکم ۲۴ بوته رازیانه، تریفلورالین ۳ لیتر در هکتار، دو بار کولتیواتور) به مقدار ۸۷/۷۵ درصد مشاهده گردید (جدول ۶)، که با تیمار D3H2C2 (تراکم ۲۴ بوته رازیانه، تریفلورالین ۱/۵ لیتر در هکتار، دو بار کولتیواتور) تفاوت معنی‌داری نشان نداد. بررسی‌های انجام‌شده توسط Johnson *et al.* (1998) نشان داد تأثیر کولتیواتور بر تیمارهای آزمایشی توانست وزن خشک همه علف‌های هرز را به‌طور معنی‌داری کاهش دهد.

۵. بحث

۵.۱. اجرای عملکرد رازیانه

بررسی داده‌های آنالیز واریانس (جدول ۷) نشان می‌دهد ارتفاع بوته رازیانه تحت تأثیر ساده سه عامل مورد پژوهش در سطح احتمال خطای یک درصد قرار داشته و هیچ‌یک از اثرات متقابل بر این صفت تأثیر معنی‌داری نداشته است. وزن خشک اندام هوایی و تعداد دانه در هر چتر رازیانه تحت تأثیر اثر دوگانه تراکم-کولتیواتور و هم‌چنین علف‌کش-کولتیواتور در سطح احتمال خطای یک درصد و تعداد چتر در هر بوته رازیانه تحت تأثیر اثر متقابل دوگانه تراکم و کولتیواتور در سطح احتمال خطای یک درصد معنی‌دار شدند. وزن هزاردانه‌ی رازیانه تحت تأثیر اثرات متقابل دوگانه تراکم و علف‌کش و هم‌چنین دوگانه تراکم و کولتیواتور در سطح احتمال خطای یک درصد و اثرات متقابل دوگانه علف‌کش و کولتیواتور در سطح احتمال خطای پنج درصد تأثیر معنی‌داری داشته است.

براساس شکل (۲)، کم‌ترین ارتفاع رازیانه در تیمارهای بدون کولتیواتور به‌میزان ۱۰۹ سانتی‌متر بوده و بیش‌ترین آن در تیمارهای دو بار کولتیواتور زده به‌میزان ۱۶۰/۱۶ سانتی‌متر به‌دست آمده است. از آنجایی‌که در کرت اخیر تراکم علف هرز به‌دلیل زدن دو بار کولتیواتور و همین‌طور تأثیر دوز ۳ لیتر در هکتار تریفلورالین به حداقل رسیده و رقابت بین گونه‌ای کاهش پیدا نموده است، بوته رازیانه حداکثر فضا برای رشد رویشی خود را پیدا نموده است (شفارودی و همکاران،

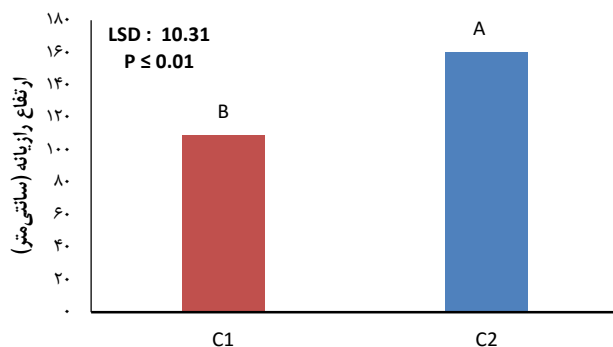
(۱۳۹۱). از طرفی رقابت شدید درون‌گونه‌ای برای دریافت نور و همین‌طور کمبود نور در پایین سایه‌انداز، حرکت و رشد سریع گیاه به سمت بالا را تحریک نمود (خواجه‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۳) و ارتفاع افزایش پیدا کرد. همین عامل کاهش تراکم علف‌های هرز در تیمارهایی که دو بار کولتیواتور زده شده باعث افزایش وزن خشک تک‌بوته (شکل‌های ۳ و ۴)، به مقدار ۱۶/۳۹ و ۱۶/۶۴ گرم شده بود. این بررسی گویای تأثیرپذیری کنترل علف‌هرز به‌وسیله تیمار دو بار کولتیواتور و خارج‌نمودن سریع رقیب (علف هرز) از خاک اطراف ریشه گیاه رازیانه و مهم‌تر از آن تهویه خاک و هوادهی به خاک اطراف ریشه رازیانه، که باعث افزایش جذب فعال مواد غذایی توسط ریشه گیاه زراعی که در نهایت می‌تواند باعث افزایش رشد رویشی و زایشی رازیانه در مراحل مختلف شود. نتایج حاصل از پژوهش‌های انجام‌شده توسط حبیب‌زاده و همکاران (۱۳۷۹) و Pannacci *et al.* (2007) می‌تواند تأییدی بر مطالب فوق باشد.

جدول ۷. نتایج تجزیه واریانس اجزای عملکرد رازیانه

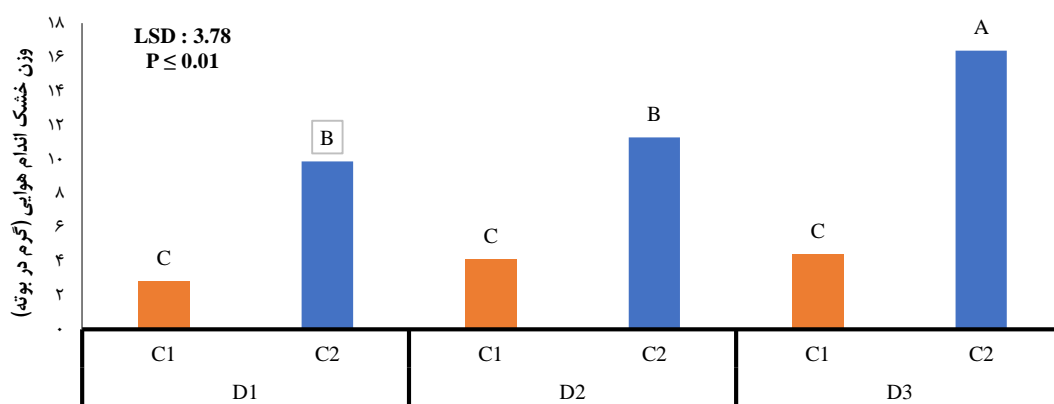
منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع	میانگین مربعات		
			وزن خشک تک بوته	تعداد چتر در بوته	تعداد دانه در چتر
تکرار	۲	۱۱۷/۳۶ ns	۱/۰۵ ns	۱۰۴/۶۸**	۰/۴۴ ns
تراکم	۲	۱۳۵۸/۰۸**	۵۱/۰۷**	۷۵/۶۲**	۲۶/۹۵**
علف کش	۲	۴۷۳۲/۵۸**	۱۰۴/۷۵**	۱۱۰/۶۸**	۴۵/۷۳**
کولتیواتور	۱	۳۳۵۶۲/۲۵**	۶۹۱/۷۷**	۶۰۰**	۲۶۴/۰۵**
تراکم × علف‌کش	۴	۴۵/۲۹ ns	۲/۷۵ ns	۱۲/۹۶ ns	۴/۵۵**
تراکم × کولتیواتور	۲	۸۰/۰۸ ns	۳۳/۵۴**	۳۷/۵۵*	۵/۲۲**
علف‌کش × کولتیواتور	۲	۲۳۳/۵۸ ns	۲۵/۳۳**	۱۸/۱۶ ns	۳/۰۴*
تراکم × علف‌کش × کولتیواتور	۴	۴۵/۲۹ ns	۱/۹۴ ns	۷/۵۵ ns	۱/۱۵ ns
خطای کل	۳۴	۲۱۴/۹۴	۱/۰۸	۱۰/۱۹	۰/۶۱
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۰/۸۹	۱۲/۷۹	۲۶/۲	۸/۵
					۱۹/۱۸

ns * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

کاهش تراکم علف‌های هرز تنها رشد رویشی گیاه زراعی را افزایش نمی‌دهد بلکه با افزایش کمی و کیفی رشد زایشی و متعاقب آن اجزای عملکرد نظیر تعداد چتر در بوته (شکل ۵)، به تعداد ۱۹/۴۴ چتر، تعداد دانه در هر چتر (شکل ۶)، به تعداد ۲۹۷/۲۲ دانه و وزن هزاردانه (شکل ۷)، به میزان ۸/۲۳ گرم نسبت به کرت‌هایی که فاقد کولتیواتور بودند، شده بود. همه این تغییرات در اجزای عملکرد در وهله اول به‌دلیل انجام کولتیواتور و تأثیر آن در تهویه خاک و از بین‌بردن سریع علف‌های هرز و در مرحله بعد تراکم را بیان می‌کند که باعث افزایش توان رقابت گیاه زراعی در دریافت منابع و افزایش زیست‌توده آن گردید. این نتایج با بررسی‌های به‌آیین و همکاران (۱۳۹۶)، مدحج و علیخانی (۱۳۹۶)، قبادی و همکاران (۱۳۷۹)، یوسفی و همکاران (۱۳۹۳) و Campiglia *et al.* (2000) همخوانی دارد.

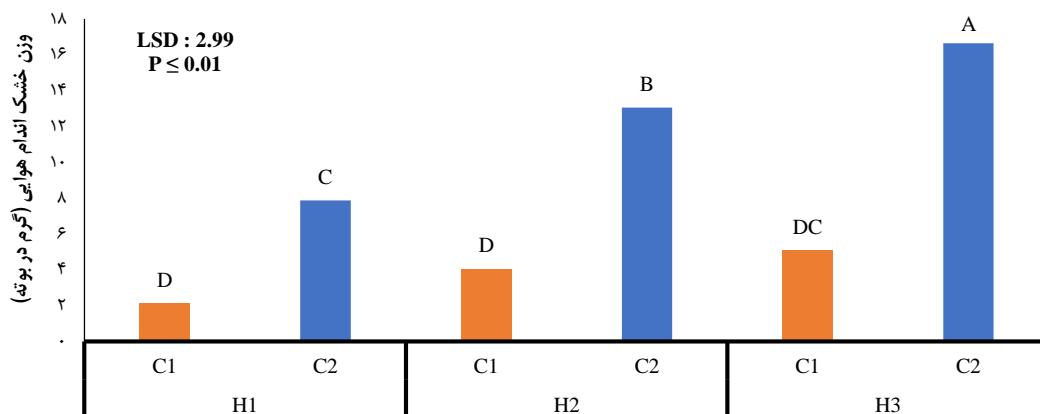


شکل ۲. اثر کولتیواتور بر ارتفاع رازیانه. (C1: بدون کولتیواتور، C2: دو بار کولتیواتور).



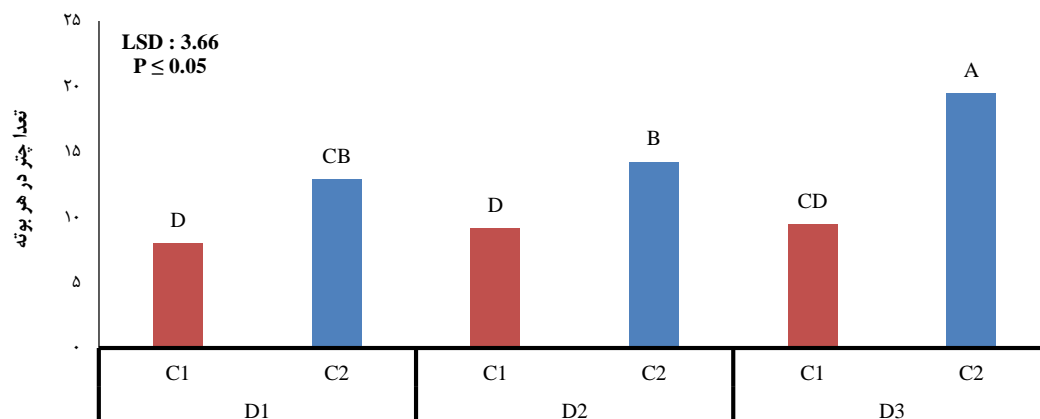
شکل ۳. نمودار اثر تراکم و کولتیواتور بر وزن خشک تک بوته رازیانه در زمان برداشت.

(C1: بدون کولتیواتور، C2: دو بار کولتیواتور، D1: تراکم شش بوته در مترمربع، D2: تراکم ۱۲ بوته در مترمربع، D3: تراکم ۲۴ بوته در مترمربع).



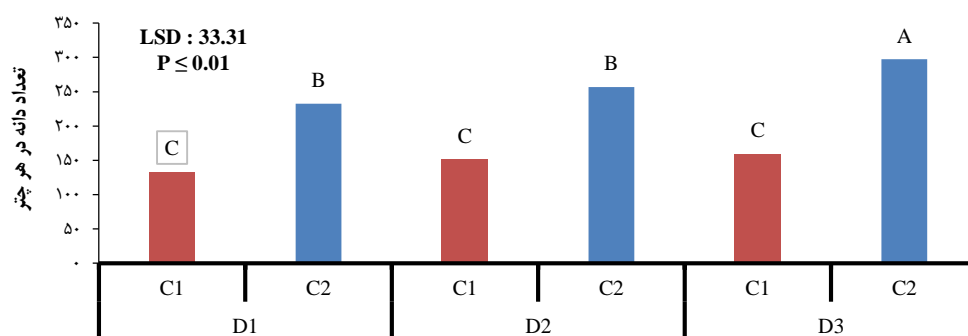
شکل ۴. اثر علف کش و کولتیواتور بر وزن خشک تک بوته رازیانه در زمان برداشت.

(C1: بدون کولتیواتور، C2: دو بار کولتیواتور، H1: بدون علف کش H2: تریفلورالین ۱/۵ لیتر، H3: تریفلورالین ۳ لیتر).



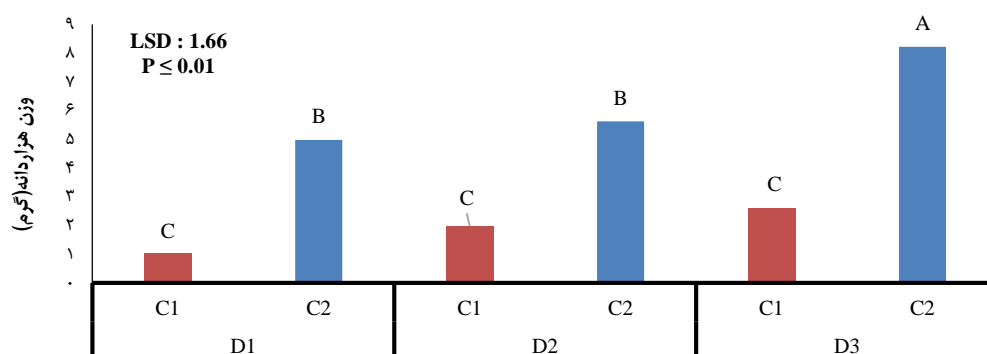
شکل ۵. اثر تراکم و کولتیواتور بر تعداد چتر در هر بوته رازیانه.

C1: بدون کولتیواتور، C2: دوبار کولتیواتور، D1: تراکم شش بوته در مترمربع، D2: تراکم ۱۲ بوته در مترمربع، D3: تراکم ۲۴ بوته در مترمربع.



شکل ۶. اثر تراکم و کولتیواتور بر تعداد دانه در چتر رازیانه.

C1: بدون کولتیواتور، C2: دو بار کولتیواتور، D1: تراکم شش بوته در مترمربع، D2: تراکم ۱۲ بوته در مترمربع، D3: تراکم ۲۴ بوته در مترمربع.



شکل ۷. اثر تراکم و کولتیواتور بر وزن هزار دانه رازیانه.

D1: تراکم شش بوته در مترمربع، D2: تراکم ۱۲ بوته در مترمربع، D3: تراکم ۲۴ بوته در مترمربع، C1: بدون کولتیواتور، C2: دوبار کولتیواتور.

۵.۲. عملکرد رازیانه

۵.۲.۱. عملکرد بیولوژیک رازیانه

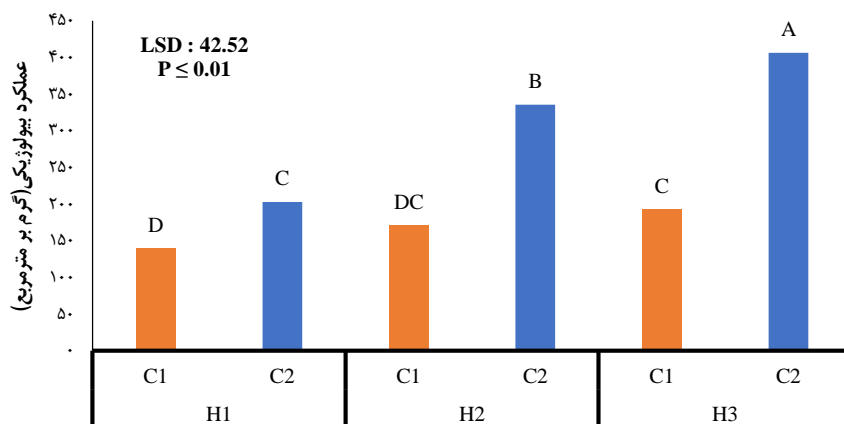
بررسی داده‌ها نشان داد (جدول ۸) برهم‌کنش دوگانه علف‌کش-کولتیواتور در سطح احتمال خطای یک درصد بر عملکرد بیولوژیکی رازیانه اثر معنی‌داری داشته است.

جدول ۸. تجزیه واریانس عملکرد و اسانس رازیانه

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		عملکرد بیولوژیکی	عملکرد اقتصادی
تکرار	۲	۵۹/۹۲ ns	۵۸/۵۱ ns
تراکم	۲	۹۹۵۵/۳۶ **	۱۴۴۱/۳۴ **
علف کش	۲	۷۵۸۹۶/۸۲ **	۶۴۰۵/۰۴ **
کولتیواتور	۱	۲۹۳۶۱۴/۹۸ **	۴۰۲۷۵/۶۹ **
تراکم × علف کش	۴	۲۸۶۶/۳۱ ns	۴۸۹/۱۱ **
تراکم × کولتیواتور	۲	۴۸۳/۹۳ ns	۵۲۳/۰۳ *
علف کش × کولتیواتور	۲	۲۶۲۴۷/۷۹ **	۲۹۶۳/۷۸ **
تراکم × علف کش × کولتیواتور	۴	۲۰۹۲/۸۱ ns	۳۰۴/۷۸ *
خطای کل	۳۴	۱۵۱۹/۷۱	۱۰۵/۵۴
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۶/۱۵	۱۹/۴۸

ns، * و ** به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد می‌باشد.

بر اساس شکل (۸) کم‌ترین عملکرد بیولوژیک در تیمار H1C1 (تریفلورالین صفر و بدون کولتیواتور) به اندازه ۱۳۹/۰۹ گرم در مترمربع دیده شد که با تیمار H2C1 (تریفلورالین ۱/۵ لیتر و بدون کولتیواتور) تفاوت معنی‌داری نداشت. بیش‌ترین عملکرد بیولوژیکی در تیمار H3C2 (تریفلورالین ۳ لیتر و دوبار کولتیواتور) به اندازه ۴۰۶/۲۴ گرم در مترمربع به دست آمد. این تفاوت زیاد بین حداقل و حداکثر میزان تولید گویای تأثیرپذیری بالای کولتیواتور به دلیل از بین بردن سریع علف‌های هرز و تهویه خاک اطراف ریشه رازیانه که می‌تواند در کنترل علف‌های این محصول در چهار تا شش هفته اول مؤثر و در نهایت می‌تواند باعث افزایش جذب فعال و ذخیره بیش‌تر مواد غذایی شده و با انتقال دوباره سبب افزایش تولید در واحد سطح شود که بررسی‌های Yagmur & Kaydan (2004) و سفارودی و همکاران (۱۳۹۱)، می‌تواند تأییدی بر مطالب فوق می‌باشد.



شکل ۸. اثر علف کش و کولتیواتور بر عملکرد بیولوژیک رازیانه.

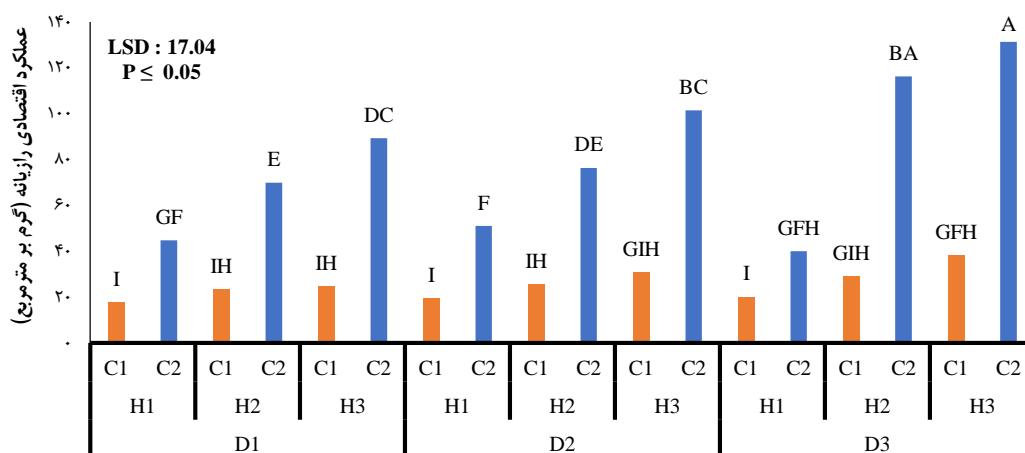
C1: بدون کولتیواتور، C2: دو بار کولتیواتور، H1: بدون علف کش H2: تریفلورالین ۱/۵ لیتر، H3: تریفلورالین ۳ لیتر، D1: تراکم شش بوته در مترمربع.

۵.۲.۲. عملکرد اقتصادی

بررسی داده‌ها (جدول ۸) نشان داد اثر متقابل سه گانه تراکم-علف کش-کولتیواتور در سطح احتمال خطای پنج درصد بر عملکرد بیولوژیکی رازیانه اثر معنی‌داری داشته است. بر این اساس شکل (۹) کم‌ترین عملکرد اقتصادی در تیمار

D1H1C1 (تراکم شش بوته رازیانه، تریفلورالین صفر، بدون کولتیواتور) به‌اندازه ۱۷/۷ گرم در مترمربع به‌دست آمد که با تیمارهای D1H2C1 (تراکم شش بوته رازیانه، تریفلورالین ۱/۵ لیتر، بدون کولتیواتور)، D1H3C1 (تراکم شش بوته رازیانه، تریفلورالین ۳ لیتر، بدون کولتیواتور)، D2H1C1 (تراکم ۱۲ بوته رازیانه، تریفلورالین صفر، بدون کولتیواتور)، D2H2C2 (تراکم ۱۲ بوته رازیانه، تریفلورالین ۱/۵ لیتر، دو بار کولتیواتور)، D2H3C1 (تراکم ۱۲ بوته رازیانه، تریفلورالین ۳ لیتر، بدون کولتیواتور)، D3H1C1 (تراکم ۲۴ بوته رازیانه، تریفلورالین صفر، بدون کولتیواتور) و D3H2C2 (تراکم ۲۴ بوته رازیانه، تریفلورالین ۱/۵، بدون کولتیواتور) تفاوت معنی‌داری ندارد. عدم استفاده از کولتیواتور در تیمارهای ذکرشده اخیر، با وجود استفاده از دوزهای مختلف علف‌کش، باعث عدم کنترل مناسب علف‌های هرز شده و تشدید رقابت بین‌گونه‌ای درنهایت کاهش عملکرد اقتصادی را به‌دنبال داشته است. بیش‌ترین میزان عملکرد اقتصادی در تیمار D3H3C2 (تراکم ۲۴ بوته، تریفلورالین ۳ لیتر، دو بار کولتیواتور) به‌اندازه ۱۳۱/۳۱ گرم در مترمربع به‌دست آمد که با تیمار D3H2C2 (تراکم ۲۴ بوته رازیانه، تریفلورالین ۱/۵ لیتر، دو بار کولتیواتور) تفاوت معنی‌داری ندارد. از آنجایی که بین تأثیر غلظت‌های مصرفی ۱/۵ و ۳ لیتر علف‌کش بر عملکرد اقتصادی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، لذا با توجه به دارویی بودن این محصول، میزان غلظت ۱/۵ جهت باقیمانده کم‌تر سم در محیط زیست و دانه توصیه می‌گردد. پژوهش‌های یوسفی و همکاران (۱۳۸۵) این نتیجه را تأیید می‌کند.

تفاوت زیاد بین حداقل و حداکثر میزان تولید گویای تأثیرپذیری بالای کولتیواتور به‌دلیل از بین بردن سریع علف‌های هرز و تهویه خاک اطراف ریشه رازیانه که می‌تواند در کنترل علف‌های هرز این محصول در چهار تا شش هفته اول مؤثر باشد (جدول‌های ۳ و ۴) و درنهایت می‌تواند باعث افزایش جذب فعال و ذخیره بیش‌تر مواد غذایی شده و با انتقال دوباره سبب افزایش تولید در واحد سطح شود و نتیجه آن افزایش عملکرد اقتصادی نسبت به تیمارهایی که وجین دستی نداشته‌اند، بوده است. این نتایج با بررسی‌های فریدون‌پور و همکاران (۱۳۸۵) مطابقت دارد.



شکل ۹. اثرات تراکم، علف‌کش و کولتیواتور بر عملکرد اقتصادی رازیانه.

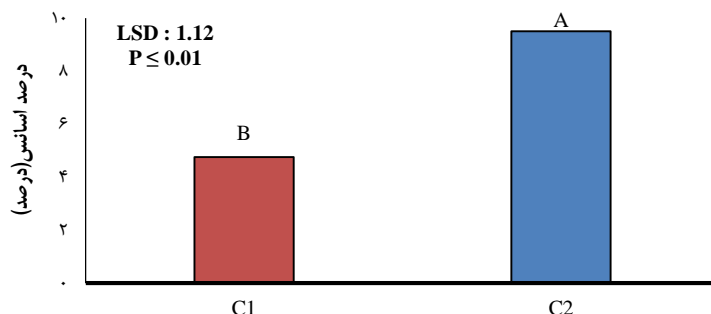
(C1: بدون کولتیواتور، C2: دو بار کولتیواتور، H1: بدون علف‌کش، H2: تریفلورالین ۱/۵ لیتر، H3: تریفلورالین ۳ لیتر، D1: تراکم شش بوته در مترمربع، D2: تراکم ۱۲ بوته در مترمربع، D3: تراکم ۲۴ بوته در مترمربع).

تراکم هم یکی از عوامل مؤثر بوده که توانسته در مراحل اولیه رشد باعث سریع بستن کانونی و جلوگیری از رشد روی علف‌های هرز شده که درنهایت منجر به افزایش تولید در واحد سطح گردید. مطالعات Lesnik (2003)، این مورد

اخیر را تأیید می‌کند. استفاده از علف کش خاک کاربردی تریفلورالین سبب شد که جوانه‌زنی علف‌های هرز در داخل خاک کنترل شود این عمل توانست از مصرف آب و مواد غذایی خاک توسط علف‌های هرز جلوگیری و شرایط را برای رشد سریع گیاه رازیانه در مراحل اولیه رشد مهیا سازد که با پژوهش‌های آل ابراهیم و صمدی کالخوران (۱۳۹۶) منطبق است.

۵.۳. اسانس رازیانه

بررسی نتایج تجزیه واریانس نشان می‌دهد (جدول ۸) که درصد اسانس رازیانه تحت تأثیر اثر ساده تراکم، علف کش و کولتیواتور در سطح احتمال خطای یک درصد تأثیر معنی‌داری داشته است. طبق شکل (۱۰) بیش‌ترین درصد اسانس در تیمارهایی که دو بار کولتیواتور (C2) به اندازه ۹/۵ درصد و کم‌ترین درصد اسانس به اندازه ۴/۷۶ درصد در تیمارهایی که کولتیواتور انجام نشده بود (C1) به دست آمد. کولتیواتور از طریق کاهش تراکم علف‌های هرز و افزایش طول دوره رشدی رازیانه توانست درصد اسانس را افزایش بدهد. این نتیجه در بررسی‌های میرشکاری (۱۳۹۳) تأیید شده است.



شکل ۱۰. اثر مستقل کولتیواتور بر درصد اسانس رازیانه. (C1: بدون کولتیواتور، C2: دو بار کولتیواتور).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

آزمایش حاضر با هدف کنترل علف‌های هرز با استفاده از تلفیق تراکم، استفاده از دوز کاهش یافته علف کش و وجین مکانیکی علف‌های هرز و در نهایت افزایش عملکرد رازیانه انجام گرفت. نتایج آزمایش‌ها و نمونه‌برداری‌ها نشان داد که با افزایش تراکم رازیانه به دلیل رقابت بین گونه‌ای، جمعیت علف‌های هرز باریک‌برگ و پهن‌برگ کاهش یافته است. از طرف دیگر دوز ۱/۵ لیتر تریفلورالین در کاهش تراکم علف‌های هرز همان نتیجه‌ای را داد که دوز ۳ لیتر تریفلورالین داده است. تأثیر دوز کاهش یافته تریفلورالین در صورتی به دست می‌آید که دو بار وجین علف‌های هرز توسط کولتیواتور انجام گیرد. این آزمایش نشان می‌دهد که وقتی ترافلان را به صورت خاک کاربردی و پیش‌کاشت استفاده شد، تأثیر سم در مراحل اولیه کاشت بیش‌تر از سایر مراحل می‌باشد. به گونه‌ای که با پیشرفت رشد رویشی، درصد کاهش علف‌های هرز نیز روند کاهشی پیدا کرد و درصد کاهش علف‌های هرز در ۶۰ روز پس از سم‌پاشی کم‌تر از درصد کاهش علف‌های هرز در ۴۵ روزگی بوده است. از جمله دلایلی که می‌توان برای این موضوع قائل بود، یکی آب آبیاری است که وقتی در مراحل مختلف کشت آبیاری انجام می‌شود بذور علف‌های هرز توسط آب آبیاری منتقل شده و جوانه‌زنی جدید داشته است. عامل دیگری که در کاهش تأثیر کاربرد پیش‌کاشتی ترافلان مؤثر بوده تبخیر سم از سطح خاک بوده که به مرور و گذشت زمان بیش‌تر بوده است. افزایش عملکرد اقتصادی در کرت‌هایی که دارای تراکم رازیانه ۲۴ بوته در واحد سطح بوده‌اند، به دلیل وجود فضای خالی کم‌تر، علف‌های هرز امکان استفاده از منابع را پیدا نکردند و رقابت بین گونه‌ای به سود گیاه زراعی که تراکم بیش‌تری داشت، بوده است. هم‌چنین تأثیر کولتیواتور در کاهش میزان علف‌های هرز در کرت‌هایی که عملیات کولتیواسیون در آن‌ها دو بار و با فاصله معین نسبت به کرت‌هایی که فاقد عملیات کولتیواسیون انجام گرفته بود، مشهود بود. این کار در کنار افزایش تراکم گیاه زراعی، باعث کاهش جمعیت علف‌های هرز و

متعاقب آن افزایش عملکرد اقتصادی رازیانه گردید.

با توجه به این نکته که افزایش مصرف علف‌کش در بین کشاورزان امری رایج و آسانی می‌باشد و از طرفی برخی از علف‌کش‌ها سال‌هاست که در ایران مصرف می‌شوند و آلودگی‌های بسیاری در آب‌های زیرزمینی و نیز محصولات کشاورزی به‌وجود آورده‌اند، بنابراین در راستای کنترل مطلوب علف‌های هرز و کاهش مصرف علف‌کش‌ها موارد زیر در زمینه کنترل علف‌های هرز و افزایش راندمان محصول و کاهش هزینه‌ها پیشنهاد می‌شود:

- بررسی دوز کاهش‌یافته سایر علف‌کش‌های پیش‌کاشت در زراعت رازیانه؛
- بررسی به‌کارگیری انواع مختلف کولتیواتور برای کنترل علف‌های هرز و تأثیر آن بر افزایش عملکرد اقتصادی رازیانه؛
- بررسی به‌کارگیری ارقام مختلف رازیانه و سنجش میزان تحمل آن‌ها به علف‌کش تریفلورالین در منطقه ملاثانی؛
- بررسی استفاده از سموم پیش‌رویشی و پس‌رویشی و مقایسه آن‌ها با یکدیگر در زراعت رازیانه؛
- بررسی مقدار باقیمانده سم تریفلورالین در رازیانه بعد از انجام آزمایش.

۷. تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از زحمات و همکاری جناب دکتر عبدالرضا سیاهپوش به‌عنوان استاد راهنما و جناب دکتر علیرضا شافعی‌نیا و سرکار خانم دکتر الهام الهی‌فرد که با مشاوره‌های بی‌دریغ، مرا در نگارش این مقاله یاری نمودند، سپاس و قدردانی می‌نمایم و از خداوند طول عمر با عزت را برای این عزیزان آرزو مندم.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- آل ابراهیم، محمدتقی و صمدی کلخوران، الهام (۱۳۹۶). تأثیر غلظت‌های کاهش‌یافته علف‌کش تریفلورالین در کنترل علف‌های هرز سلمه‌تره و تاج‌خروسی ریش قرمز. *نشریه اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۱۱ (۱)، ۱۷۹-۱۹۶.
- امیدبیگی، رضا (۱۳۸۶). *تولید و فرآوری گیاهان دارویی*. جلد سوم. مشهد: انتشارات آستان قدس رضوی.
- امین‌پور، رضا و جعفری، احمد (۱۳۷۸). زراعت زیره سبز، روش کاشت، کشت دیم. در زیره سبز. از دوازده امامی، سعید و حاج هاشمی، اصغر. اصفهان: سازمان کشاورزی استان اصفهان.
- به آیین، محمدعلی؛ فریدون پور، محمد و حکمت، محمدحسن (۱۳۹۶). بررسی کارایی استفاده از سه نوع کولتیواتور به‌صورت انفرادی و ترکیبی و زمان کاربرد آن‌ها در مزارع پنبه. *پژوهش‌های پنبه ایران*. ۵ (۳)، ۹۱-۱۰۸.
- حبیب‌زاده، یعقوب؛ مامقانی، رضا و کاشانی، علی (۱۳۷۹). اثر تراکم‌های متفاوت کاشت بر عملکرد دانه، اجزاء عملکرد و پروتئین در سه رقم ماش (*Vigna radiata* L.) در منطقه اهواز. *مجله علمی کشاورزی*، ۳۰ (۳)، ۱-۱۳.
- خواجوی‌نژاد، غلامرضا؛ کاظمی، حمداله؛ آلیاری، هوشنگ؛ جوانشیر، عزیز و آروین، محمد جواد (۱۳۸۳). اثر رژیم‌های مختلف آبیاری و تراکم کاشت بر ویژگی‌های رشد، عملکرد و اجزای عملکرد سه رقم سویا در کشت دوم. *نشریه دانش کشاورزی*. ۱۴ (۲)، ۷۰-۵۷.
- شفاوردی، آتوسا؛ زواره، محسن؛ پیوست، محمدعلی و دری، حمیدرضا (۱۳۹۱). تأثیر تاریخ کاشت و تراکم بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد دانه جمعیت لوبیا. *نشریه دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۲۲ (۳)، ۴۷-۶۰.
- فریدون پور، محمد؛ به‌آیین، محمدعلی؛ شیروانیان، عبدالرسول و حکمت، محمد حسن (۱۳۸۵). *شهریور*. بررسی تأثیر استفاده از سه نوع کولتیواتور به‌صورت انفرادی و ترکیبی در کنترل علف‌های هرز مزارع پنبه. هفدهمین کنگره گیاه‌پزشکی ایران. کرج، ایران.

قبادی، مختار؛ کاشانی، علی و مامقانی، رضا (۱۳۷۹). بررسی تأثیر تراکم‌های مختلف بوته بر عملکرد و اجزای عملکرد چهار رقم گندم در منطقه اهواز. *علوم زراعی ایران*، ۲ (۱)، ۴۸-۵۷.

کوچکی، علیرضا و خواجه‌حسینی، محمد (۱۳۹۱). *زراعت نوین*. مشهد: انتشارات جهاد دانشگاهی مشهد.

مدحج، عادل و بهداروندی، بهرنگ (۱۳۸۵). کنترل تلفیقی (شیمیایی و مکانیکی) علف‌های هرز گیاه کلزا (*Brassica napus* L.) در شرایط محیطی خوزستان. *علوم کشاورزی*، ۱۳ (۱)، ۱۶۳-۱۷۱.

مدحج، عادل و علیخانی، زهرا (۱۳۹۶). مدیریت تلفیقی علف‌های هرز نخود (*Cicer arietinum* L.) در شرایط محیطی شوشتر. *نشریه پژوهش‌های حیوانات ایران*، ۸ (۱)، ۳۲-۲۲.

میرشکاری، بهرام (۱۳۹۳). تأثیر رقابتی سلمه‌تره بر پارامترهای رشد، عملکرد دانه و اسانس رازیانه. *نشریه علمی- پژوهشی اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۸ (۳)، ۳۳۰-۳۱۷.

یوسفی، علیرضا و امینی، روح‌اله (۱۳۹۳). کاربرد دزهای کاهش یافته تریفلورالین و وجین دستی در مدیریت پایدار علف‌های هرز رازیانه. *دانش کشاورزی و تولید پایدار*، ۲۴ (۲)، ۹۵-۱۰۵.

یوسفی، علیرضا؛ محمدعلی‌زاده، حسن؛ رحیمیان مشهدی، حمید و جهان‌سوز، محمدرضا (۱۳۸۵). بررسی کنترل شیمیایی و وجین دستی علف‌های هرز پهن‌برگ در کشت انتظاری نخود. *علوم کشاورزی ایران*، ۳۷ (۳)، ۳۴۶-۳۳۷.

References

- Alebrahim, M., & Samadi kalkhoran, E. (2017). The Effect of Reduced Doses of Trifluralin on Control of Common Lamsquarters (*Chenopodium album* L.) and Redroot Pigweed (*Amaranthus retroflexus* L.) in Potato (*Solanum tuberosum* L.) Fields. *Journal of Crop Ecophysiology*, 11(1), 179-196. (In Persian).
- Aminpour, R., & Jafari, A. (1999). Cumin cultivation, planting method, rainfed cultivation. *Cumin*. Edited by Dozadeh Emami, Saeed. And Haj Hashemi, Asghar. Isfahan: Isfahan Agricultural Organization. (In Persian).
- Auskarniene, O., Psibisauskiene, G., Auskalis, A., & kadzys, A. (2010). Cultivar and plant density influence on weediness in spring barely crops. *Zemdirbyste-Agriculture*, 97(2), 53-60.
- Behaen, M. A., Fereydounpour, M., & Hekmat, M. H. (2017). Investigation of the efficiency of using three types of cultivators individually and in combination and the time of their use in cotton fields. *Iranian Cotton Research*, 5(2), 108-91. (In Persian).
- Campiglia, E., Temperini, O., Mancinelli, R., & Saccardo, F. (2000). Effects of soil solarization on the weed control of vegetable crops and on the cauliflower and fennel production in the open field. In Proceedings of the Eighth International Symposium on Timing Field Production of Vegetable Crops. Acta Horticulturae. *International Society for Horticultural Science*, 53(2), 249-255.
- Fereydounpour, M., Behaen, M. A., Shirvanian, A. R., & Hekmat, M. H. (2006, September). Investigation of the effect of using three types of cultivators individually and in combination in weed control of cotton fields. *The 17th Iranian Plant Protection Congress*. Karaj, Iran. (In Persian).
- Ghobadi, M., Kashani, A., & Mamghani, R. (2000). Investigation of the effect of different plant densities on yield and yield components of four wheat cultivars in Ahvaz region. *Iranian Agricultural Sciences*, 2(1), 57-48. (In Persian).
- Habibzadeh, Y., Mamqani, R., & Kashani, A. (2000). The effect of different planting densities on seed yield, yield components and protein in three varieties of mung bean in Ahvaz region. *Scientific journal of agriculture*, 30(3), 1-13. (In Persian).
- Hussain, Z., Fazel, M., Khan Bahador, M., Kawsar, A., Riaz, A., & Shahida, B. (2013). Studies on efficacy of different herbicide against weeds in potato in Peshavar Pakistan. *Journal*

- Botanical*, 45, 487-491.
- Johnson, G.A., Hoverstad, T. R., & Greenwald, R. E. (1998) Integrated weed management using narrow corn row spacing herbicides, and cultivation. *Agron. Agronomy Journal American Society of Agronomy*, 90(4), 40-46.
- Khajavinejad, G., Kazemi, H., Aliari, H., Javanshir, A., & Arvin, M. J. (2004). The effect of different irrigation regimes and planting density on growth characteristics, yield and yield components of three soybean cultivars in the second crop. *Journal of Agricultural Knowledge*, 14(2), 70-57. (In Persian).
- Kouchaki, A., & Khajehosseini M. (2008). *New Agriculture*. Mashhad: Mashhad University Jihad Publications. (In Persian).
- Legere, A., & Samson, D. N. (1999). Relative influence of crop rotation, tillage, and weed management on weed associations in spring barley cropping systems. *Weed Science*, 47(1), 112-122.
- Lesnik, M. (2003). The impact of maize stand density on herbicide efficiency. *Plant Soil Environment*, 49(1), 29-35.
- Lucinewton, SM., Raul, N., Carvalho, J., Mirian, B., Stefanini, L., Ming, C., Angela, M., & Meireles, A. (2005). Supercritical fluid extraction from fennel (*Foeniculum vulgare*): global yield, composition and kinetic data. *Journal of Supercritical Fluids*, 35, 212-219.
- Omid Beigi, R. (2007). Production and processing of medicinal plants. Third volume. Mashhad: Astan Quds Razavi Publications. (In Persian).
- Mirshekari, B. (2014). Competitive Effects of Lambsquarters (*Chenopodium album*) on Growth Parameters, Seed Yield and Essential Oil of Fennel (*Foeniculum vulgare*). *Journal of Crop Ecophysiology*, 8(3), 317-330. (In Persian).
- Modhej, A., & Alikhani galeh, Z. (2017). Integrated weed control (chemical & mechanical) in chickpea (*Cicer arietinum* L.) under Shoushtar conditions. *Iranian Journal Pulses Research*, 8(1), 22-32. <https://doi.org/10.22067/ijpr.v8i1.26200>. (In Persian).
- Modhej, A., & Behdarvandi, B. (2006). Integrated control (chemical and mechanical) of rapeseed weeds (*Brassica napus* L.) In the environmental conditions of Khuzestan. *Agricultural Sciences*, 13(1), 163-171. (In Persian).
- Pannacci, E., Graziani, F., Guiducci, M., & Tei, F. (2007, March). Mechanical weed control in organic onion seed production. In: Proceedings 7th workshop of the EWRS working group. Chios, Greece.
- Shafaroodi, A., Zavareh, M., Peyvast, M. A., & Dori, H. R. (2012). The effect of planting date and plant density on grain yield and grain yield components of bean population. *Journal of Agricultural Knowledge and Sustainable Production*, 22(3), 60-47. (In Persian).
- Swanton, C. J., & Weise, S. F. (1991). Integrated Weed Management. The rational and approach. *Weed Technology*, 5(3), 657-663. *Weed Technology*, 5(3), 657-663.
- Yagmur, M., & Kaydan, D. (2004). Effects of sowing densities and phosphorus doses on some phonologic, morphologic characters and seed yield of dry bean under irrigation condition in Van, Turkey. *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 7(10), 1782-1787.
- Yousefi, A., & Amini, R. (2013). Application of reduced doses of trifluralin and manual weeding in sustainable management of fennel weeds. *Agricultural knowledge and sustainable production. Faculty of Agriculture*, 24(2), 105-95. (In Persian).
- Yousefi, A., Mohammadalizade, H., Rahimian Mashhadi, H., & Jahansuz, M. R. (2006). Chemical control and manual weeding of broadleaf weeds in the expected cultivation of chickpeas. *Iranian Agricultural Sciences*, 37(3), 346-337. (In Persian).



Investigating the effect of seed priming and foliar application of seaweed extract and salicylic acid on thymus under drought stress

Faezeh Samandari Bahr Aseman¹ | Anahita Rashtian^{2✉} | Afagh Tabandeh Saravi³ |
Mojtaba Soleimani Sardo⁴

1. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Desert studies, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: f.samandari75@gmail.com
2. Corresponding Author, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources and Desert studies, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: arashtian@yazd.ac.ir
3. Department of Environment, Faculty Natural Resources and Desert studies, Yazd University, Yazd, Iran. E-mail: tabandeh@yazd.ac.ir
4. Department of Environment, Faculty Natural Resources, Jiroft University, Jiroft, Iran. E-mail: mojtaba.solaimani@ujiroft.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 5 April 2022
Received in revised form
7 February 2023
Accepted 31 May 2023
Published online
20 September 2023

Keywords:

Aerial organs
Crop capacity
Germination
Morphological characteristics
Morphology

ABSTRACT

Objective: Considering the importance (*Thymus vulgaris* L.) and the effects of seaweed extract and salicylic acid priming in increasing drought resistance at different stages of plant growth, an experiment was done as a factorial layout based on a completely randomized factorial design with three replications in the research greenhouse of Jiroft University (2020).

Methods: Three levels of 100% (control), 50%, and 35% field capacity were considered as test factors for drought treatment, seed preparation and seedling spraying including zero (control), 0.3%, 3.5%, and 1% algal extract and 1mM salicylic acid, 2 mM salicylic acid and composition of algae, and salicylic acid extract were considered as second factors.

Results: The results of this study showed a significant difference in examined factors such as germination rate, root, and shoot length and root and shoot weight treatment at a 1% probability level and in drought stress treatment of 35%, salicylic acid priming treatment had the best performance with an improvement of 6 traits compared to the control. The results of the foliar application of seedlings also showed that the highest shoot weights of seedlings were under the combined treatment of algal extract plus salicylic acid treatment.

Conclusion: General results showed that priming and foliar spraying with salicylic acid had been more effective than algae extract on plant drought resistance, and of course, the combined treatment of salicylic acid and salicylic acid extract plus algae extract with a higher concentration is able to improve plant resistance to drought in the vegetative stage.

Cite this article: Samandari Bahr Aseman, F., Rashtian, A., Tabandeh Saravi, A., & Soleimani Sardo, M. (2023). Investigating the effect of seed priming and foliar application of seaweed extract and salicylic acid on thymus under drought stress. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 703-718. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.341068.2694>



بررسی تأثیر پرایمینگ بذر و محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و سالیسیلیک اسید روی گیاه دارویی آویشن باغی تحت تنش خشکی

فائزه سمندری بحرآسمان^۱ | آناهیتا رشتیان^۲ | آفاق تابنده ساردو^۳ | مجتبی سلیمانی ساردو^۴

۱. گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران. رایانامه: f.samandari75@gmail.com
۲. نویسنده مسئول، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران. رایانامه: arashtian@yazd.ac.ir
۳. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، ایران. رایانامه: tabandeh@yazd.ac.ir
۴. گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران. رایانامه: mojtaba.solaimani@ujiroft.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: با توجه به اهمیت گیاه دارویی آویشن باغی (<i>Thymus vulgaris</i> L.) و اثر عصاره جلبک دریایی و سالیسیلیک اسید در افزایش مقاومت به خشکی در مراحل مختلف رشد، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه جیرفت در سال ۱۳۹۹ انجام شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۵	روش پژوهش: تیمار خشکی در سه سطح ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد)، ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی و فاکتوردوم پرایمینگ بذر و نشاها شامل صفر (شاهد)، ۱ درصد حجمی عصاره جلبک، ۳/۵ درصد حجمی عصاره جلبک، ۱ میلی مولار سالیسیلیک اسید، ۲ میلی مولار سالیسیلیک اسید و ترکیب عصاره جلبک و سالیسیلیک اسید، در نظر گرفته شد.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۱/۱۸	یافته‌ها: نتایج پرایمینگ بذر نشان داد فاکتورهایی چون سرعت جوانه زنی، طول ریشه چه و ساقه چه و وزن ریشه چه و ساقه چه در اثر تیمارها در سطح احتمال ۱ درصد اختلاف معنی داری داشت و در تیمار تنش خشکی ۳۵ درصد ظرفیت زراعی پرایمینگ سالیسیلیک اسید با بهبود شش صفت نسبت به شاهد بهترین عملکرد را داشت. همچنین نتایج محلول پاشی گیاهچه‌ها نشان داد بیشترین وزن تر اندام‌های هوایی گیاهچه‌ها در تیمار ترکیبی عصاره جلبک به اضافه سالیسیلیک اسید حاصل شد.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۰	نتیجه‌گیری: نتایج کلی نشان می‌دهد که پرایمینگ و محلول پاشی با سالیسیلیک اسید بهتر از عصاره جلبک بر مقاومت به خشکی گیاه مؤثر بوده و البته تیمار هم‌زمان سالیسیلیک اسید و عصاره جلبک و تیمارهای ترکیبی عصاره جلبک با غلظت بالاتر توانسته‌اند در مرحله رویشی مقاومت گیاه به خشکی را افزایش دهند.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹	
کلیدواژه‌ها: اندام هوایی جوانه زنی صفات مرفولوژیکی ظرفیت زراعی مرفولوژی	

استناد: سمندری بحرآسمان، فائزه؛ رشتیان، آناهیتا؛ تابنده ساردو، آفاق؛ و سلیمانی ساردو، مجتبی (۱۴۰۲). بررسی تأثیر پرایمینگ بذر و محلول پاشی عصاره جلبک دریایی و سالیسیلیک اسید روی گیاه دارویی آویشن باغی تحت تنش خشکی. *بزرگای کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۷۱۸-۷۰۳.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.341068.2694>



۱. مقدمه

آویشن باغی (*Thymus vulgaris* L.) گیاهی است چندساله و معطر از خانواده Lamiaceae است که بومی منطقه مدیترانه، شمال آفریقا، جنوب اروپا و آسیا می‌باشد (Alavi-Samani *et al.*, 2015). از اسانس آویشن در نوشیدنی‌ها و صنایع دارویی - بهداشتی و از برگ آن در فرآورده‌های غذایی استفاده می‌شود. اسانس روغنی آویشن دارای خواصی نظیر ضداسپاسم، بادشکن، ضدکرم، ضدرماتیسم، خلط‌آور، آنتی‌اکسیدان و نگهدارنده طبیعی غذا می‌باشد (Abd Elbar *et al.*, 2019). اسانس این گیاه از جمله ده اسانس معروف می‌باشد که جایگاه خاصی در تجارت جهانی دارد (Abd Elbar *et al.*, 2019; Kuete, 2017). گیاه آویشن سرشار از ویتامین‌های مفیدی چون A، C و عناصری مهمی چون پتاسیم، آهن، کلسیم، منگنز، منیزیم و سلنیوم است. علاوه بر این آویشن دارای آنتی‌اکسیدان‌های قدرتمندی، چون لوتئین، زاکستین و تیمونین است هم‌چنین در بین ترکیبات این گیاه دارویی دو ماده ارزشمند به نام تیمول^۱ و کارواکرول^۲، به چشم می‌خورد که خاصیت ضدباکتریایی و ضد قارچی بالایی دارند (Benamer *et al.*, 2019; Patilet *et al.*, 2021).

تنش خشکی مهم‌ترین عامل محدودکننده محیطی برای رشد و عملکرد بسیاری از گونه‌های گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود. تنش خشکی می‌تواند سطوح مورفولوژیکی، فیزیولوژیکی، بیوشیمیایی و آناتومیکی گیاه را تحت تأثیر قرار دهد (Fathi & Tari, 2016). به‌طور کلی پژوهش‌های مختلف نشان می‌دهد که درصد زیادی از گونه‌های گیاهان دارویی که بومی مناطق خشک و نیمه‌خشک هستند معمولاً با شرایط خشک سازگار هستند. علاوه بر این، ارزش بالای اقتصادی این گیاهان باعث شده است تا از آن‌ها به‌عنوان محصولات مناسب در زمین‌های خشک نام برد (Abd Elbar *et al.*, 2019).

۲. پیشینه پژوهش

پژوهش‌های مختلفی نشان می‌دهد که تنش خشکی باعث کاهش معنی‌دار رشد و عملکرد ماده خشک در گیاه آویشن باغی می‌شود (Mohammadi *et al.*, 2020; Arpanahi Abdollahiet *et al.*, 2019). از این‌رو، افزایش توان گیاهان برای تحمل تنش‌های محیطی ناشی از کمبود آب در افزایش عملکرد مهم به‌نظر می‌رسد. نتایج مطالعات متنوعی نشان می‌دهد که استفاده از تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی^۳ برخی از ریزمغذی‌ها و مواد شیمیایی که در جهت تنظیم اسمزی به‌کار می‌روند، می‌توانند نقش مهم و به‌سزایی در افزایش بهبود مقاومت به خشکی در مراحل مختلف رشد گیاهان داشته باشند (Li *et al.*, 2021; Shemiet *et al.*, 2020; Kayaet *et al.*, 2019).

سالیسیلیک‌اسید (SA) یک ترکیب فنلی طبیعی است که می‌تواند اثرات مضر ناشی از تنش‌های غیرزنده محیطی را به‌طور مؤثر کاهش دهد. علاوه بر این، می‌تواند نقش مهمی در تعدیل رشد و ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی در گیاهان داشته باشد (Hayat *et al.*, 2020; Fardus *et al.*, 2018; Noreen *et al.*, 2017; Li *et al.*, 2019; Kaya *et al.*, 2020; Shemi *et al.*, 2021). سالیسیلیک‌اسید در تنظیم بسیاری از فرایندهای فیزیولوژیکی مانند رشد و نمو و مقابله با تنش‌های خشکی و شوری نقش چشم‌گیری دارد (Li *et al.*, 2019; Kaya *et al.*, 2020; Shemi *et al.*, 2021).

وجود برخی از ترکیبات محرک رشد در برخی از جلبک‌ها باعث شده است تا از عصاره آن‌ها برای تولید کودهای که

1. Thymol
2. Carvacrol
3. Growth regulators

باعث افزایش میزان رشد و تولید گیاهان زراعی می‌شوند، استفاده گردد (EL Boukhari et al., 2020). عصاره جلبک دریایی در حفظ، اصلاح خاک و میکروفلور (وضعیت میکروبی خاک)، تأثیر مثبت دارند و می‌توانند منبع مواد مغذی قوی برای گیاهان باشند و ممکن است اثرات هورمونی را نیز در گیاهان نشان دهند (EL Boukhari et al., ; Du Jardin, 2015). کاربرد عصاره جلبک باعث افزایش رشد گیاه، تعداد برگ، تحریک رشد ریشه و بهبود مقاومت به تنش‌های محیطی (شوری و خشکی) و افزایش کمیت و کیفیت عملکرد گندم^۱، آویشن و گندم دوروم^۲ می‌شود (Patel et al., 2018; Sharma et al., 2019).

با توجه به این‌که تنش خشکی در ایران همواره از مهم‌ترین مسائل و مشکلات کشاورزی بوده، به‌نظر می‌رسد که استفاده از عصاره جلبک دریایی و کاربرد سالیسیلیک‌اسید بتواند تا حدودی اثرات منفی ناشی از تنش خشکی را کاهش دهد و سبب بهبود عملکرد شود. لذا این پژوهش با هدف بررسی اثر پرایمینگ بذر و محلول‌پاشی عصاره جلبک دریایی و سالیسیلیک‌اسید بر آویشن باغی و برخی صفات مرفولوژیکی مرتبط با تحمل خشکی به‌صورت گلخانه‌ای اعمال شد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش در گلخانه تحقیقاتی دانشگاه جیرفت در سال زراعی ۱۴۰۰ در فاصله ۲۲۵ کیلومتری جنوب استان کرمان با مختصات جغرافیایی ۲۸ درجه و ۳۶ دقیقه و ۶ ثانیه عرض شمالی و ۵۷ درجه و ۴۵ دقیقه و ۴۹ ثانیه طول شرقی، در قالب طرح کاملاً تصادفی به‌صورت فاکتوریل در سه تکرار انجام شد. آزمایش شامل تیمار خشکی در سه سطح ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (شاهد)، ۵۰ درصد ظرفیت زراعی و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی و پرایمینگ شامل صفر (شاهد)، ۱ درصد حجمی عصاره جلبک، ۳/۵ درصد حجمی عصاره جلبک، ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید، ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و ترکیب کردن عصاره جلبک و سالیسیلیک‌اسید، در نظر گرفته شد. این آزمایش در دو بخش انجام شد، بخش اول اعمال تیمارها به بذر و بررسی صفات جوانه‌زنی و بخش دوم محلول‌پاشی نشاها بود. قبل از انجام کشت و آماده‌سازی گلدان‌ها، بذرهای مورد استفاده به‌مدت ۲۴ ساعت در عصاره جلبک و سالیسیلیک‌اسید قرار گرفتند. خاک مورد استفاده برای گلدان‌ها، خاک معمولی (مزرعه)، پیت ماس و پرلیت به نسبت ۱:۱:۱ بود. که درون گلدان‌های پلاستیکی ریخته شد. مشخصات شیمیایی خاک گلدان در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱. مشخصات شیمیایی خاک مورد استفاده

فاکتورها	ماده آلی (درصد)	کربن آلی (درصد)	پتاسیم (پی‌پی‌ام)	فسفر (پی‌پی‌ام)	نیتروژن (درصد)	اسیدیته	شوری (دسی‌زیمنس بر متر)
	۲/۲	۱/۶	۱۶۲	۱۰/۲	۰/۸	۷۷/۲	۱/۵-۱

گلدان‌های برای کشت بذر ۲۵۰ گرم خاک داشت و ۲۰ عدد بذر در هر گلدان و در عمق نیم‌سانتی‌متری کشت شدند. گلدان‌ها در شرایط گلخانه‌ای (دمای ۲۵ تا ۲۷ درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی ۷۰ درصد و دوره نوری ۱۴ ساعت روشنایی و ۸ ساعت تاریکی)، نگهداری شدند. به‌منظور اعمال تنش خشکی به گلدان‌هایی با ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی ۱۰۰ سی‌سی آب داده شد و بقیه تیمارها متناسب با آن آبیاری گردید. نشاهای که بذر آن‌ها بدون تیمار پرایمینگ بود شش هفته در گلدان‌هایی که ۱ کیلوگرم خاک را در خود جای می‌داد، قرار گرفتند و در گلخانه نگهداری شده و قبل از اعمال تنش خشکی، تیمار محلول‌پاشی عصاره جلبک و سالیسیلیک‌اسید بر نشای گیاهان انجام شد، یک هفته پس از محلول‌پاشی،

1. *Triticum aestivum*
2. *Triticum durum*

تنش خشکی با اعمال میزان ۳۰۰ سی سی آب در تیمار ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد آبیاری گردید و بقیه تیمارها ظرفیت زراعی متناسب با آن آبیاری شد؛ روش تعیین میزان آب مورد نیاز روش توزین گلدان بود. دو هفته بعد از قرار گرفتن گیاه در تنش مورد نظر برای بار دوم محلول پاشی نشاها انجام شد و بعد از دو ماه نگهداری از گیاهان در شرایط تنش خشکی نمونه برداری انجام گرفت.

صفات مورد نظر در این پژوهش در بخش بذر شامل سرعت جوانه زنی، طول ریشه چه، طول اندام هوایی، وزن تر ریشه چه، وزن خشک ریشه چه، وزن تر اندام هوایی نشا، وزن خشک اندام هوایی نشا، شاخص بنیه بذر و تعداد برگ بود. صفات مورد نظر در این پژوهش در بخش محلول پاشی نشاها شامل طول ریشه، طول اندام هوایی، وزن تر ریشه، وزن تر اندام هوایی، و وزن خشک اندام هوایی و تعداد برگ بود. طول ریشه و ساقه و ارتفاع نشاها با کولیس تا دقت میلی متر و وزن تر و خشک آن‌ها نیز تا دقت هزارم گرم با ترازوی دیجیتال اندازه گیری شدند.

برای به دست آوردن وزن خشک، نمونه‌ها به طور جداگانه در داخل آون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد قرار گرفتند. شاخص‌های درصد جوانه زنی و سرعت جوانه زنی بر اساس روابط زیر محاسبه شدند. درصد جوانه زنی تعداد بذرهایی است که از یک جمعیت بذر تولید گیاهچه می‌کنند و بر حسب درصد از طریق رابطه (۱) محاسبه می‌شود (Abdul-Baki & Anderson, 1973):

$$GP = n / s \times 100 \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن، P درصد بذرسبز شده، n تعداد کل بذور سبز شده در دوره آزمون و S تعداد کل بذرهایی کاشته شده می‌باشند. سرعت جوانه زنی مفهوم مهمی است و می‌تواند ارزیابی خوبی را از استقرار محصول داشته باشد برای دستیابی به سرعت جوانه زنی از رابطه (۲) استفاده شد (Brown & Mayer, 1988).

رابطه (۲) = سرعت جوانه زنی

تعداد گیاهچه‌های طبیعی در روز اول شمارش / ۱ + تعداد گیاهچه‌های طبیعی در روز آخر شمارش / روز آخر به منظور تجزیه و تحلیل‌های آماری داده‌ها ابتدا نرمال بودن داده‌ها بررسی شد و در صورت غیر نرمال بودن مانند داده‌های سرعت و درصد جوانه زنی نرمال سازی آن‌ها انجام شد سپس با نرم افزار SAS (نسخه ۹/۱)، و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون LSD^۱ در سطح احتمال ۵ درصد انجام گرفت و نمودارها با استفاده از نرم افزار Excel ترسیم گردیدند.

۴. یافته‌های پژوهش

نتایج به دست آمده از تجزیه واریانس پرایمینگ بذر آویشن باغی نشان داد که اثر سطوح خشکی و سطوح مختلف پرایمینگ بر کلیه صفات مورد مطالعه در سطح ۱ درصد معنی دار بود. همچنین اثرات متقابل آن‌ها در صفات سرعت جوانه زنی، طول ریشه چه، طول اندام هوایی، وزن تر ریشه چه، وزن تر اندام هوایی، وزن خشک ریشه چه، وزن خشک اندام هوایی و تعداد برگ در سطح احتمال ۱ درصد معنی دار بود، اما شاخص بنیه بذر در سطح احتمال ۵ درصد معنی دار بود (جدول ۱).

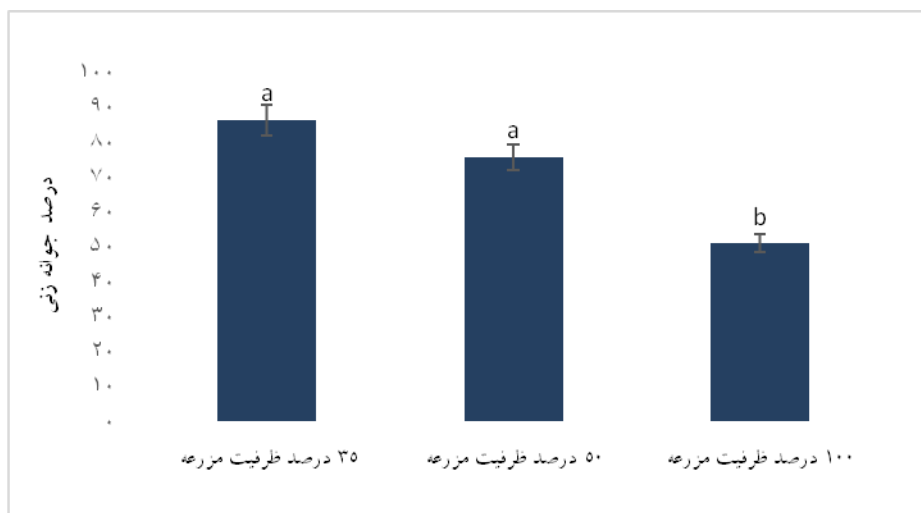
جدول ۱. آنالیز واریانس اثرات تنش خشکی و انواع پرایمینگ بذر بر صفات مورفولوژیکی آویشن باغی

منابع تغییرات	درجه آزادی	درصد جوانه زنی	سرعت جوانه زنی	طول ریشه اندام هوایی	طول ریشه اندام هوایی	وزن تر ریشه اندام هوایی	وزن تر ریشه اندام هوایی	وزن خشک ریشه اندام هوایی	وزن خشک ریشه اندام هوایی	شاخص بنیه بذر	تعداد برگ
تنش خشکی	۲	۶۹۳۷/۴ **	۱۸۷۴/۱ **	۱۰۲۵/۸ **	۹۲/۷ **	۰/۰۱ **	۰/۰۳ **	۰/۰۳ **	۰/۰۳ **	۰/۰۱۵ **	۳۱۳۶/۳ **

۱۰۳/۲													
**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
۲۱۵/۸	۴۱۲/۶	۰/۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۲	۷/۴	۱۷۱/۶	۱۲۴۸/۶	۱۵۰۹/۳	۶	پرایمینگ		
۱۵/۴	۱۲۵/۶	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲	۰/۰۰۲	۱۱/۵	۹۶/۸	۱۱۹/۴	۵۲۸/۵	۱۲	خشکی × پرایمینگ		
۱/۲	۵۵/۶۶	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۳	۰/۰۰۰۲	۰/۰۰۰۱	۰/۹	۵/۲	۳۱/۶	۳۹۵/۸	۴۰	خطا		
۸/۵	۲۸/۹۴	۱۰/۸	۲۵/۶	۸/۶	۱۴/۷	۸/۴	۸/۷	۱۹/۹	۲۷/۹	-	ضریب تغییرات (درصد)		

ns و **: بدون اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

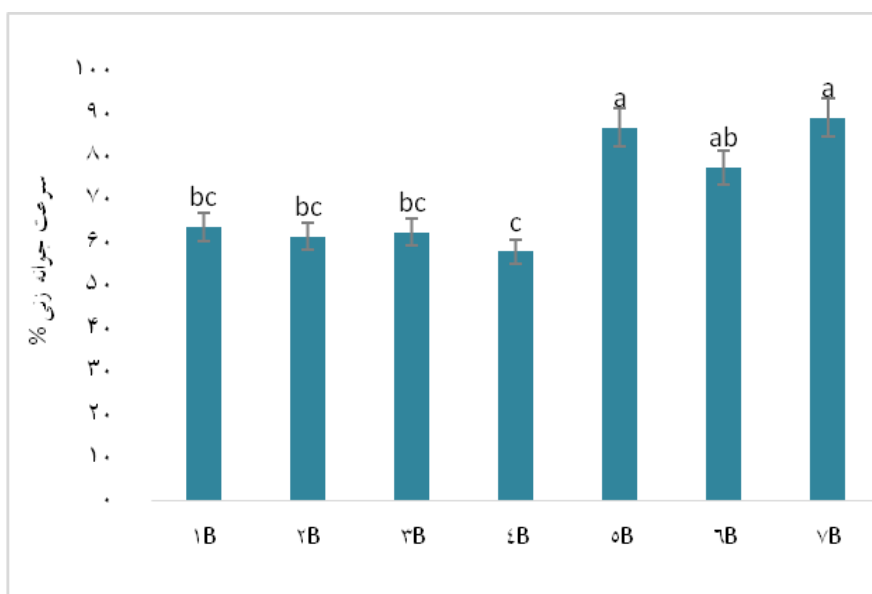
میانگین درصد جوانه‌زنی باغی نشان می‌دهد که با کاهش رطوبت از حد ظرفیت زراعی درصد جوانه‌زنی نیز به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد، به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان درصد جوانه‌زنی به مقدار ۸۶/۴۸ درصد در سطح رطوبت ظرفیت زراعی ۱۰۰ درصد محاسبه گردید و کم‌ترین مقدار آن در سطح ۳۵ درصد (تنش خشکی شدید) رطوبت ظرفیت زراعی به میزان ۵۱/۰۵ درصد مشاهده شد (شکل ۱).



شکل ۱. اثر اصلی سطوح مختلف رطوبتی بر درصد جوانه‌زنی آویشن باغی

سطوح مختلف پرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی بذر نشان‌دهنده آن بود که اعمال تیمارهای پرایمینگ باعث تحریک درصد جوانه‌زنی در مقایسه با تیمار شاهد شده است، به‌طوری‌که بیش‌ترین درصد جوانه‌زنی به مقادیر ۸۶/۶۷ و ۸۸/۸۹ درصد به‌ترتیب در تیمارهای ۳/۵ درصد حجمی جلبک و ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید مشاهده شد (شکل ۲). بررسی مقایسه میانگین‌های سرعت جوانه‌زنی حاصل از اثرات متقابل سطوح خشکی و سطوح پرایمینگ آویشن باغی نشان داد در رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه (A2) بیش‌ترین سرعت جوانه‌زنی در تیمار سالیسیلیک‌اسید ۲ میلی‌مولار (B7) به‌دست آمد این در حالی است که در رطوبت ۳۵ درصد ظرفیت مزرعه (A3)، بیش‌ترین مقدار سرعت جوانه‌زنی در تیمارهای عصاره جلبک دریایی ۳/۵ درصد حجمی (B5) و سالیسیلیک‌اسید ۲ میلی‌مولار (B7) مشاهده شد (جدول ۲). بررسی مقایسه میانگین‌های طول ریشه‌چه حاصل از اثرات متقابل سطوح خشکی و سطوح پرایمینگ آویشن باغی نشان داد در رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه (A2) بیش‌ترین طول ریشه‌چه با مقدار ۴۱/۷۱ در تیمار سالیسیلیک‌اسید ۲ میلی‌مولار (B7) به‌دست آمد. این در حالی است که در رطوبت ۳۵ درصد ظرفیت مزرعه (A3)، بیش‌ترین مقدار طول

ریشه‌چه در تیمار سالیسیلیک‌اسید ۲ میلی‌مولار (B7) مشاهده شد که این نشان از اثرات مثبت کاربرد سالیسیلیک‌اسید در پرایمینگ آویشن باغی دارد (جدول ۲). به‌نظر می‌رسد افزایش غلظت املاح و تحریک فعالیت آنزیم‌های درگیر در فرایند جوانه‌زنی با اعمال سطوح مختلف عصاره جلبک دریایی و سالیسیلیک‌اسید منجر به بهبود پتانسیل اسمزی شده که این امر در سطوح ۵۰ و ۳۵ درصد رطوبت مزرعه بیش‌تر نمایان است که این امر بهبود شرایط جوانه‌زنی و به‌دنبال آن بهبود رشد طولی ریشه‌چه را تحت تأثیر قرار داده است. به‌طور کلی نتایج نشان می‌دهد که حضور تیمارهای عصاره جلبک دریایی و سالیسیلیک‌اسید موجب بهبود طول ریشه‌چه می‌شوند.



شکل ۲. اثر اصلی سطوح مختلف پرایمینگ بر درصد جوانه‌زنی آویشن باغی. B1 (شاهد)، B2 (آب مقطر)، B3 (عصاره جلبک ۰/۳ درصد)، B4 (عصاره جلبک ۱ درصد)، B5 (عصاره جلبک ۳/۵ درصد)، B6 (سالیسیلیک‌اسید ۱ میلی‌مولار)، B7 (سالیسیلیک‌اسید ۲ میلی‌مولار)

جدول ۲. مقایسه میانگین اثرات سطوح تنش خشکی و انواع پرایمینگ بذر بر صفات مورفولوژیکی آویشن باغی

A1							صفات
B7	B6	B5	B4	B3	B2	B1	
۴۸/۸۸ab	۴۸/۷۷ab	۴۸/۳۱ab	۳۸/۲۷bc	۴۰/۴۶abc	۱۸/۸۱efgh	۱۱/۰۱gh	سرعت جوانه‌زنی (n/d)
۳۹/۸۶a	۳۹/۳۶a	۲۶/۱۶de	۳۴/۸۱b	۲۶/۰۸d	۲۵/۷۱de	۲۲/۸۶ef	طول ریشه (میلی‌متر)
۱۵/۲۷b	۱۴/۷۱bc	۱۳/۱bcd	۱۳/۷۷bc	۱۰/۳۴ghi	۱۱/۷۷efg	۱۱/۲۱fgh	طول اندام هوایی هر بوته (میلی‌متر)
۰/۱۱a	۰/۰۵jk	۰/۰۶hijk	۰/۰۸defg	۰/۰۹bcd	۰/۰۶ijk	۰/۰۸cdef	وزن تر ریشه هر بوته (گرم)
۰/۲۲ab	۰/۱۱g	۰/۱۱g	۰/۱۸cd	۰/۱۹cd	۰/۱۲g	۰/۱۳g	وزن تر اندام هوایی هر بوته (گرم)
۰/۰۵a	۰/۰۲gh	۰/۰۲gh	۰/۰۳cd	۰/۰۳cd	۰/۰۱jz	۰/۰۴bc	وزن خشک ریشه هر بوته (گرم)
۰/۱a	۰/۰۴f	۰/۰۴f	۰/۰۷c	۰/۰۵e	۰/۰۲hi	۰/۰۸b	وزن خشک اندام هوایی هر بوته (گرم)
۵۰/۲۷a	۴۹/۲۵a	۲۹/۲۷bcd	۳۶/۹۶b	۲۸/۲۶bcd	۲۹/۴bcd	۲۹/۳۹bcd	شاخص بنیه بذر
۲۵/۳۳a	۱۵/۳۳d	۱۸/۳۳c	۱۳ef	۱۴de	۸/۶۷ijk	۹/۶۷ hij	تعداد برگ هر بوته

حروف مشابه در هر سطر، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد. سطوح رطوبتی A1 شاهد (رطوبت ظرفیت مزرعه)، A2 (۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه)، A3 (۳۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه)، سطوح پرایمینگ (B1 شاهد (بدون پرایمینگ)، B2 آب مقطر، B3 ۰/۳ درصد حجمی عصاره جلبک دریایی، B4 ۱ درصد حجمی عصاره جلبک دریایی، B5 ۳/۵ درصد حجمی عصاره جلبک دریایی، B6 ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید، B7 ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید).

جدول ۲. مقایسه میانگین اثرات سطوح تنش خشکی و انواع پرایمینگ بذر بر صفات مورفولوژیکی آویشن باغی

A2

صفات	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
سرعت‌جوانه‌زنی (n/d)	۱۷/۲fgh	۱۴/۲۲eh	۲۷/۰۳ef	۲۱/۱۴efg	۴۲/۵۳abc	۳۸/۹۱bc	۵۰/۵a
طول ریشه (میلی‌متر)	۲۴/۳۵de	۲۲/۹۶ef	۳۷/۷۱bc	۳۰/۹۲c	۲۳/۰۸def	۲۶/۱۴de	۴۱/۷۱a
طول اندام هوایی هر بوته (میلی‌متر)	۱۲/۱۹def	۱۹/۲۲fgh	۱۷/۰۷a	۱۴/۳۵bc	۱۳/۲۴cde	۱۱/۶۳efgh	۱۲/۲۱def
وزن تر ریشه هر بوته (گرم)	۰/۰۹ bc	۰/۰۹bcd	۰/۰۶ki	۰/۰۵ki	۰/۱ab	۰/۰۹bcde	۰/۰۷fghi
وزن تر اندام هوایی هر بوته (گرم)	۰/۲bc	۰/۱۴c	۰/۱۱g	۰/۲۳a	۰/۲۲ab	۰/۱۴ef	۰/۱۵e
وزن خشک ریشه هر بوته (گرم)	۰/۰۳ cd	۰/۰۲cd	۰/۰۲gh	۰/۰۲gh	۰/۰۲cd	۰/۰۴bc	۰/۰۲cd
وزن خشک اندام هوایی هر بوته (گرم)	۰/۰۶d	۰/۱a	۰/۰۵e	۰/۰۷c	۰/۰۵e	۰/۰۹a	۰/۰۷c
شاخص بنیه بذر	۲۵/۱۲bcde	۱۹/۰۶cdefg	۲۸/۵۹bcd	۲۲/۱۸cdef	۳۰/۸۴bcd	۲۷/۲bcde	۳۹/۴۶c
تعداد برگ هر بوته	۸jk	۹/۳۳hij	۱۲fg	۱۰/۳۳gh	۱۵/۳۳d	۱۵/۳۳d	۲۰c

حروف مشابه در هر سطر، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد. سطوح رطوبتی A1 شاهد (رطوبت ظرفیت مزرعه)، A2 (۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه)، A3 (۳۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه)، سطوح پرایمینگ (B1 شاهد (بدون پرایمینگ)، B2 آب مقطر، B3 ۰/۳ درصد حجمی عصاره جلبک دریایی، B4 ۱ درصد حجمی عصاره جلبک دریایی، B5 ۲/۵ درصد حجمی عصاره جلبک دریایی، B6 ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید، B7 ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید).

ادامه جدول ۲. مقایسه میانگین اثرات سطوح تنش خشکی و انواع پرایمینگ بذر بر صفات مورفولوژیکی آویشن باغی

صفات	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
سرعت‌جوانه‌زنی (n/d)	۱۳/۳gh	۸/۷۶h	۱۱/۴۵gh	۱۳/۵۷gh	۲۸/۳۶de	۲۰/۸۴efg	۲۸/۴۲de
طول ریشه (میلی‌متر)	۲۴/۰۷de	۱۷/۸۱fg	۱۰/۰۹h	۲۲/۰۷ef	۱۶/۶۱g	۱۴/۳۷g	۲۰/۲۴fg
طول اندام هوایی هر بوته (میلی‌متر)	۱۰/۱ ghij	۸/۶۳j	۶/۷k	۱۱/۸efg	۹/۰۷ij	۱۰/۰۳hij	۹/۱۱ij
وزن تر ریشه هر بوته (گرم)	۰/۰۴ im	۰/۰۷efgh	۰/۰۳m	۰/۰۱n	۰/۰۱n	۰/۱ab	۰/۰۶ghij
وزن تر اندام هوایی هر بوته (گرم)	۰/۰۶ h	۰/۱۴ef	۰/۰۶h	۰/۰۱i	۰/۰۵h	۰/۲۲ab	۰/۱۳fg
وزن خشک ریشه هر بوته (گرم)	۰/۰۱ij	۰/۰۱ij	۰/۰۱ij	۰/۰۰۱j	۰/۰۰۱j	۰/۰۱ij	۰/۰۲gh
وزن خشک اندام هوایی هر بوته (گرم)	۰/۰۱ i	۰/۰۲hi	۰/۰۲hi	۰/۰۰۱j	۰/۰۱i	۰/۰۳g	۰/۰۴f
شاخص بنیه بذر	۱۵/۳۵ fghi	۷/۷۴hi	۴/۴۹hi	۱۱/۷۱ghi	۱۹/۱۷cdef	۱۰/۱۳fgh	۱۷/۴۳efg
تعداد برگ هر بوته	۵i	۱۰hi	۱۰/۶۷gh	۸ij	۷/۳۳hij	۹/۶۷hij	۲۲/۶۷b

حروف مشابه در هر سطر، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشد. سطوح رطوبتی A1 شاهد (رطوبت ظرفیت مزرعه)، A2 (۵۰ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه)، A3 (۳۵ درصد رطوبت ظرفیت مزرعه)، سطوح پرایمینگ (B1 شاهد (بدون پرایمینگ)، B2 آب مقطر، B3 ۰/۳ درصد حجمی عصاره جلبک دریایی، B4 ۱ درصد حجمی عصاره جلبک دریایی، B5 ۲/۵ درصد حجمی عصاره جلبک دریایی، B6 ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید، B7 ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید).

بررسی مقایسه میانگین‌های وزن تر ریشه‌چه حاصل از اثرات متقابل سطوح خشکی و سطوح پرایمینگ آویشن باغی نشان داد در رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه بیش‌ترین مقدار وزن تر ریشه‌چه در تیمار ۳/۵ درصد حجمی عصاره جلبک دریایی (B5)، مشاهده شد. هم‌چنین در رطوبت ۳۵ درصد ظرفیت مزرعه (A3)، بیش‌ترین مقدار وزن تر ریشه‌چه در تیمار سالیسیلیک‌اسید ۱ میلی‌مولار (B6) به‌دست آمد (جدول ۲). بررسی مقایسه میانگین‌های وزن تر اندام هوایی حاصل از اثرات متقابل سطوح خشکی و سطوح پرایمینگ آویشن باغی نشان داد که در رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه بیش‌ترین مقدار وزن تر اندام هوایی به میزان ۰/۲۳ گرم در تیمار ۱ درصد حجمی عصاره جلبک دریایی (B4) مشاهده گردید. هم‌چنین در رطوبت ۳۵ درصد ظرفیت مزرعه (A3)، تیمارهای پرایمینگ با آب مقطر و سالیسیلیک‌اسید ۲ میلی‌مولار توانسته است باعث افزایش معنی‌دار وزن تر اندام هوایی گردد (شکل ۲).

مقایسه میانگین‌های وزن خشک ریشه‌چه حاصل از اثرات متقابل سطوح خشکی و سطوح پرایمینگ آویشن باغی نشان داد در رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه بیش‌ترین مقدار وزن خشک ریشه‌چه در تیمار سالیسیلیک‌اسید ۱ میلی‌مولار (B6) مشاهده گردید، هم‌چنین در رطوبت ۳۵ درصد ظرفیت مزرعه (A3)، بیش‌ترین مقدار وزن خشک ریشه‌چه در تیمار سالیسیلیک‌اسید ۲ میلی‌مولار (B7) به‌دست آمد (جدول ۲).

بررسی مقایسه میانگین‌های وزن خشک اندام هوایی حاصل از اثرات متقابل سطوح خشکی و سطوح پرایمینگ آویشن

باغی نشان داد در رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی در تیمارهای آب مقطر و سالیسیلیک اسید ۱ میلی مولار (B6) مشاهده گردید، هم‌چنین در رطوبت ۳۵ درصد ظرفیت مزرعه (A3)، بیشترین مقدار وزن خشک اندام هوایی در تیمار سالیسیلیک اسید ۱ میلی مولار (B7) به دست آمد (جدول ۲).

مقایسه میانگین‌های شاخص بنیه بذر حاصل از اثرات متقابل سطوح خشکی و سطوح پرایمینگ آویشن باغی نشان داد که در رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه بیشترین شاخص بنیه بذر با مقدار ۵۰/۲۷ در تیمارهای سالیسیلیک اسید ۲ میلی مولار (B7) مشاهده گردید، هم‌چنین در رطوبت ۳۵ درصد ظرفیت مزرعه (A3)، بیشترین شاخص بنیه بذر در تیمار سالیسیلیک اسید ۲ میلی مولار (B7) به دست آمد (جدول ۲). نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد سالیسیلیک اسید نقش کلیدی در کاهش تنش خشکی بر شاخص‌های جوانه‌زنی به‌ویژه شاخص بنیه بذر ایفا می‌کند. هم‌چنین مقایسه میانگین‌های تعداد برگ در آویشن باغی نشان داد که در رطوبت ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه (A1) بیشترین تعداد برگ در تیمار سالیسیلیک اسید ۲ میلی مولار (B7) با مقدار ۲۵/۳۳ به دست آمد و در رطوبت ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه بیشترین تعداد برگ با تعداد ۲۰ عدد در تیمار سالیسیلیک اسید ۲ میلی مولار (B7)، مشاهده شد، هم‌چنین در رطوبت ۳۵ درصد ظرفیت مزرعه (A3)، بیشترین تعداد برگ در تیمار سالیسیلیک اسید ۲ میلی مولار (B7) با مقدار ۲۲/۶۷ عدد گزارش شد (جدول ۲).

در جدول (۳)، تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و انواع محلول پاشی گیاه بر برخی صفات مورفولوژیکی آویشن باغی ارائه شده است. نتایج نشان داد که صفات ارتفاع گیاه، طول ریشه، تعداد برگ، وزن تر بخش‌های هوایی و وزن تر ریشه در سطح احتمال ۱ درصد تحت تأثیر تیمارهای تنش خشکی و پرایمینگ قرار گرفتند، درحالی‌که برهم‌کنش تنش خشکی × پرایمینگ عصاره جلبک و سالیسیلیک اسید تغییرات معنی‌داری بر صفات فوق ایجاد نکرد.

جدول ۳. تجزیه واریانس اثرات تنش خشکی و انواع محلول پاشی گیاه بر برخی صفات مورفولوژیکی آویشن باغی

منابع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع گیاه	طول ریشه	تعداد برگ	وزن اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی	وزن تر ریشه‌چه	وزن خشک ریشه
تنش خشکی	۲	۹۶۸/۸۹**	۶۷۹۷/۱**	۱۵۵۳۲/۴**	۱۰/۴**	۱/۰۱*	۱۲/۱۶**	۲/۹۳**
پرایمینگ	۵	۳۵۹۰/۸**	۳۰۲۹/۹**	۴۸۳۸۹/۴۱**	۲۰/۶**	۶/۲۸**	۴/۱۸**	۳**
خشکی × پرایمینگ	۱۰	۵۵/۴۹ns	۱۴۷/۰۳ ns	۱۲۹۶/۳۷ns	۱/۱۶ns	-/۰۵ ns	-/۳۷ ns	-/۱۱*
خطا	۳۶	۹۰/۳۱	۴۲۷/۰۱	۱۰۸۰/۸۸	۱/۳۹	-/۲۳	-/۵۹	-/۰۵
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۷/۷۱	۲۱/۲۳	۱۶/۴۲	۱۵/۷۱	۱۴/۶۵	۱۶/۲	۹/۹۳

ns، * و ** بدون اختلاف معنی‌دار و اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

مقایسه میانگین داده‌های مرتبط با تنش خشکی بر صفات مورفولوژیکی گیاه آویشن باغی (جدول ۴) نشان می‌دهد که بیشترین ارتفاع بوته (۶۰/۰۵ میلی‌متر) تحت تیمار آبیاری در ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی (بدون تنش رطوبتی) حاصل شد، اما با ارتفاع بوته در گیاهان تحت تیمار ۵۰ درصد ظرفیت زراعی (۵۵/۳۳ میلی‌متر) اختلاف معنی‌داری نداشت. علاوه بر این، نتایج جدول (۴) نشان دادند که گیاهان تحت تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی دارای حداکثر مقادیر در سایر صفات مورفولوژیک نسبت به تیمارهای تنش خشکی بودند. به‌طوری‌که تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به تیمارهای ۵۰ و ۳۵ درصد ظرفیت زراعی به‌ترتیب سبب افزایش معنی‌دار ۱۲ و ۲۵ درصدی طول ریشه و افزایش ۱۱ و ۳۵ درصدی تعداد برگ در بوته شد (جدول ۴). نتایج صفات وزن تر و خشک بخش‌های هوایی و وزن تر ریشه نشان داد که گیاهان تحت تیمار ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی نسبت به گیاهان تحت تنش خشکی دارای حداکثر مقادیر بودند.

جدول ۴. مقایسه میانگین اثرات سطوح مختلف تنش خشکی و انواع محلول پاشی بر گیاهچه بر صفات مورفولوژیکی آویشن باغی

منابع تغییرات	ارتفاع گیاه	طول ریشه	تعداد	وزن تر بخش	وزن خشک بخش	وزن تر ریشه
---------------	-------------	----------	-------	------------	-------------	-------------

(میلی‌متر)	(میلی‌متر)	برگ	هوایی هر بوته (گرم)	هوایی هر بوته (گرم)	هر بوته (گرم)	
تنش خشکی						
۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی	۶۰/۰۵ a	۱۱۸/۲۹ a	۲۳۰/۰۶a	۸/۲۴ a	۳/۵۳a	۵/۵۳ a
۵۰ درصد ظرفیت زراعی	۵۵/۳۳ a	۹۳/۷۷ b	۱۹۹/۱۱ b	۷/۵۴ a	۳/۲۵ ab	۴/۷۹ b
۳۵ درصد ظرفیت زراعی	۴۵/۶۵ b	۷۹/۹۱ b	۱۷۱/۳۳ c	۶/۷۲ b	۲/۰۶ b	۳/۸۹ c
LSD (در سطح ۵ درصد)	۶/۴۲	۱۳/۹۷	۲۲/۲۳	۰/۸	۰/۳۲	۰/۵۲
پرایمینگ بذر						
شاهد	۲۵/۵۶d	۶۴/۷c	۹۴/۳۳d	۴/۶۳c	۱/۶۷d	۳/۶۶c
عصاره جلبک (۱ درصد حجمی)	۳۵/۹۸c	۹۸/۷۱b	۱۵۷/۸۹c	۸/۰۲ab	۴/۰۵a	۵/۱۲a
عصاره جلبک (۳/۵ درصد حجمی)	۵۷/۸۱b	۱۱۸/۶۷a	۲۲۱/۵۶b	۸ab	۳/۲۶c	۴/۷۹ab
سالیسیلیک‌اسید (۱ میلی‌مولار)	۵۴/۳۷b	۹۱/۴۶b	۲۱۴/۱۱b	۷/۲۸b	۳/۴۷bc	۴/۱۹bc
سالیسیلیک‌اسید (۲ میلی‌مولار)	۷۰/۰۹a	۱۰۶/۳۳ab	۳۱۵/۲۲a	۸ab	۳/۴۳bc	۵/۳۸a
ترکیب عصاره جلبک و سالیسیلیک‌اسید	۷۸/۲۵a	۱۰۴/۰۸ab	۱۹۷/۸۹b	۹/۰۴a	۳/۷۸ab	۵/۲۹a
LSD (در سطح ۵ درصد)	۹/۰۹	۱۹/۷۶	۳۱/۴۳	۱/۱۳	۰/۴۶	۰/۷۳

حروف مشابه در هر ستون و هر تیمار، نشان‌دهنده عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارها می‌باشند.

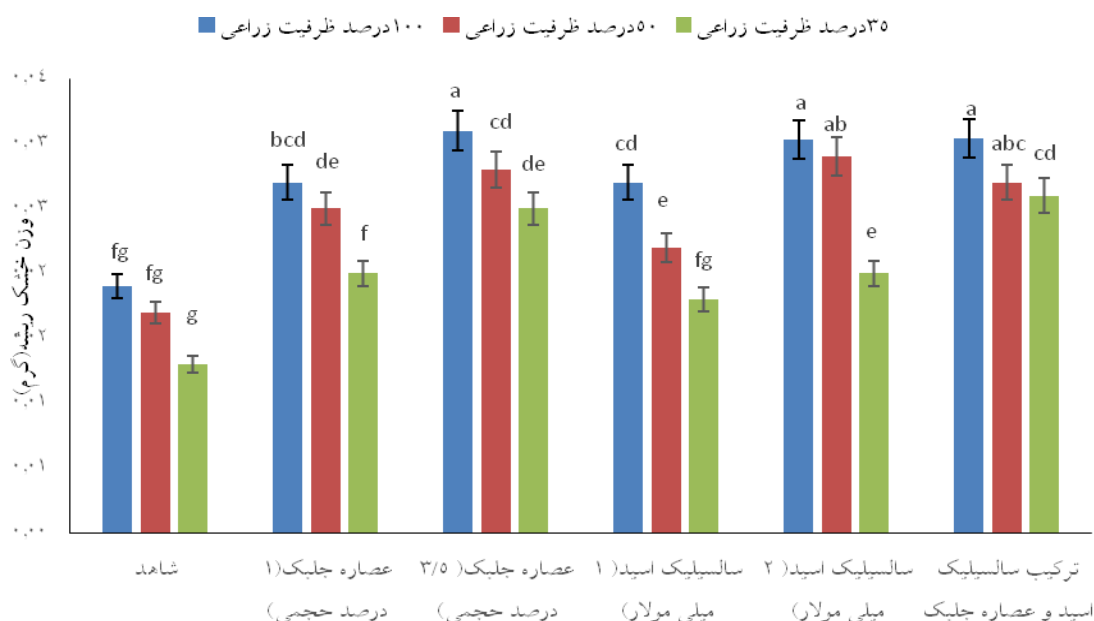
بررسی اثرات انواع پرایمینگ عصاره جلبک و سالیسیلیک‌اسید بر صفات مورفولوژیکی گیاهچه‌ها نشان داد که بیش‌ترین ارتفاع بوته (۷۸/۲۵ میلی‌متر) تحت کاربرد تیمار ترکیبی عصاره جلبک و سالیسیلیک‌اسید حاصل شد، اما با ارتفاع بوته در گیاهان تحت تیمار با ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید (با متوسط ارتفاع ۷۰/۰۹ میلی‌متر) اختلاف معنی‌داری نداشت. محلول‌پاشی - سالیسیلیک‌اسید اثر منفی کمبود آب بر *T. vulgaris* را کاهش داده و عملکرد را افزایش می‌دهد. بیش‌ترین طول ریشه گیاهچه‌ها (برابر با ۱۱۸/۶۷ میلی‌متر) تحت تیمار ۳/۵ درصد حجمی عصاره جلبک حاصل شد، اما اختلاف معنی‌داری با طول ریشه حاصل از کاربرد سالیسیلیک‌اسید ۲ میلی‌مولار و تیمار ترکیبی عصاره جلبک و سالیسیلیک‌اسید (با مقادیر ۱۰۶/۳۳ و ۱۰۴/۰۸ میلی‌متر) نداشت. بیش‌ترین تعداد برگ (۳۱۵/۲۲ برگ) تحت کاربرد محلول‌پاشی غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید بود و در مقایسه با سایر محلول‌پاشی‌ها اختلاف معنی‌داری داشت (جدول ۴).

آنالیز آماری نتایج حاصل از کاربرد محلول‌پاشی‌های مختلف بر تعداد برگ به‌ترتیب نشان از افزایش معنی‌دار ۲۳۴/۱۷، ۹۹/۶۵، ۴۲/۲۷، ۴۷/۲۲ و ۵۹/۲۹ درصدی تعداد برگ تحت غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید نسبت به تیمارهای شاهد، عصاره جلبک (۱ درصد حجمی)، عصاره جلبک (۳ درصد حجمی)، غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و ترکیب عصاره جلبک و سالیسیلیک‌اسید داشت (جدول ۴).

بیش‌ترین و کم‌ترین وزن تر اندام‌های هوایی (۹/۰۴ و ۴/۶۳ گرم) در گیاه‌ها به‌ترتیب تحت کاربرد محلول‌پاشی ترکیبی عصاره جلبک + سالیسیلیک‌اسید و تیمار شاهد حاصل شدند. براساس نتایج، استنتاج می‌شود که محلول‌پاشی ترکیبی عصاره جلبک و سالیسیلیک‌اسید در مقایسه با تیمار شاهد و پرایمینگ‌های عصاره ۱ درصد جلبک، عصاره ۳/۵ درصد جلبک، غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید به‌ترتیب منجر به افزایش ۹۵/۲۵، ۱۲/۷۲، ۱۳، ۲۴/۱۸ و ۱۳ درصدی وزن تر اندام‌های هوایی شد. از طرفی، بیش‌ترین وزن خشک اندام‌های هوایی (۴/۰۵ گرم) تحت کاربرد تیمار عصاره جلبک (۱ درصد حجمی) ارزیابی شد و در مقایسه با تیمارهای شاهد، عصاره جلبک (۳/۵ درصد حجمی)، غلظت ۱ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید، غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید و ترکیب عصاره جلبک و سالیسیلیک‌اسید به‌ترتیب افزایش معنی‌داری معادل ۱۴۲/۵۲، ۲۴/۲۳، ۱۶/۷۲، ۱۷/۰۸ و ۷/۱۴ درصد داشت (جدول ۴).

بررسی پرایمینگ‌ها بر صفات مورفولوژیکی، بیش‌ترین وزن تر ریشه (برابر با ۵/۳۸ گرم) تحت کاربرد غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید حاصل شد و کم‌ترین وزن تر ریشه (برابر با ۳/۶۶ گرم) نیز تحت کاربرد تیمار شاهد به‌دست آمد (جدول ۴). علاوه بر موارد فوق، از آنجاکه صفت وزن خشک ریشه به‌طور معنی‌دار تحت تأثیر برهمکنش تنش خشکی × انواع

پرایمینگ قرار گرفت (جدول ۳)، اطلاعات شکل (۳) حاکی از این است که بیشترین وزن تر ریشه (۳/۱ گرم) تحت برهمکنش رژیم آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی × غلظت ۳/۵ درصد عصاره جلبک به دست آمد، در حالی که اختلاف معنی داری با میزان تغییرات وزن تر ریشه متأثر از برهمکنش‌های ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی × غلظت ۲ میلی مولار سالیسیلیک اسید (با میانگین عددی ۳/۰۳ گرم) و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی × ترکیب عصاره جلبک + سالیسیلیک اسید (با میانگین ۳/۰۴) نداشت. در طرف مقابل، کمترین وزن خشک ریشه (۱/۱ گرم) تحت برهمکنش رژیم آبیاری ۳۵ درصد ظرفیت زراعی × تیمار شاهد حاصل شد (شکل ۳).



شکل ۳. اثرات تنش خشکی × محلول پاشی بر میزان تغییرات وزن خشک ریشه

حروف مشابه در هر ستون و هر تیمار، نشان دهنده عدم اختلاف معنی دار بین تیمارها می باشند. B1 (شاهد)، B2 (آب مقطر)، B3 (عصاره جلبک ۳/۵ درصد)، B4 (عصاره جلبک ۱ درصد)، B5 (عصاره جلبک ۳/۵ درصد)، B6 (سالیسیلیک اسید ۱ میلی مولار)، B6 (سالیسیلیک اسید ۲ میلی مولار)

۵. بحث

تنش خشکی سبب کاهش طول ساقه، وزن خشک ریشه، وزن خشک هوایی و محتوی نسبی آب برگ در گیاه آویشن شد (پازکی و همکاران، ۱۳۹۱). تنش خشکی در آویشن اثر معنی داری بر پارامترهای رشدی و عملکرد اندام رویشی دارد و با افزایش تنش خشکی ارتفاع بوته، تعداد ساقه جانبی، وزن تر و خشک اندام هوایی، حجم ریشه، وزن تر و خشک ریشه و طول ریشه کاهش می یابد (بابایی و همکاران، ۱۳۸۹) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت داشت. هم چنین قادری و همکاران (۱۳۹۶) گزارش کردند که با اعمال تنش کم آبی، وزن خشک ریشه و اندام هوایی آویشن باغی نسبت به شاهد کاهش یافتند، در حالی که طول ریشه افزایش نشان داد.

بررسی اثرات انواع پرایمینگ عصاره جلبک و سالیسیلیک اسید بر صفات مورفولوژیکی گیاهچه‌ها نشان داد که بیشترین ارتفاع بوته تحت کاربرد تیمار ترکیبی عصاره جلبک و سالیسیلیک اسید، ۲ میلی مولار سالیسیلیک اسید بود. محلول پاشی سالیسیلیک اسید اثر منفی کمبود آب بر *T. vulgaris* را کاهش داده و عملکرد را افزایش می دهد. شاید بتوان گفت که

افزایش ماده خشک احتمالاً به دلیل افزایش تثبیت CO₂ با کاربرد سالیسیلیک‌اسید است، که در فرایندهای مختلف فیزیولوژیکی مانند افزایش کارایی رنگدانه‌های فتوسنتزی، بهبود فعالیت آنزیم روبیسکو و بهبود فرایند تنفس نقش مهمی ایفا می‌کند (Mohammadi *et al.*, 2020). بیش‌ترین طول ریشه گیاهچه‌ها در تیمار ۳/۵ درصد حجمی عصاره جلبک سالیسیلیک‌اسید ۲ میلی‌مولار و تیمار ترکیبی عصاره جلبک و سالیسیلیک‌اسید بود و آنالیز آماری نتایج حاصل از کاربرد محلول‌پاشی‌های مختلف بر تعداد برگ به‌ترتیب نشان از افزایش معنی‌دار تعداد برگ تحت غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید نسبت به تیمارهای شاهد داشت (جدول ۴). پژوهش‌ها نشان داده است که استفاده از عصاره جلبک، باعث افزایش غلظت کلروفیل در برگ‌های گیاه شده و سطح آنزیم آمیلاز را در اندام‌های گیاهی بالا می‌برد و از این طریق، باعث شکسته‌شدن قندهای غیرقابل‌استفاده در گیاه می‌گردد که این امر موجب بهبود رشد گیاه می‌گردد (Elboukhari *et al.*, 2020). استفاده از عصاره مایع جلبک دریایی (۲۰ درصد) روی گندم منجر به افزایش درصد جوانه‌زنی، رشد و عملکرد (تعداد دانه و وزن خشک بذر) در گندم گردید (Kumar & Sahoo, 2011).

در مطالعه‌ای روی خیار^۱ اثر چند عصاره جلبک دریایی (دو نوع جلبک قرمز و یک جلبک سبز) بررسی شد، نتایج نشان داد که استفاده از عصاره جلبک دریایی سبز و قرمز و عصاره‌های تجاری جلبک دریایی با کمپوست، رشد رویشی و عملکرد خیار را بهبود بخشید (Sharma *et al.*, 2019). (Ahmed & Shalaby, 2012)، گزارش کردند استفاده از عصاره جلبک در گیاه گندم^۲ تحت تنش خشکی موجب شد تا زیست‌توده و عملکرد گندم به‌ترتیب ۵۷ و ۷۰ درصد افزایش یابد. استفاده از عصاره جلبک دریایی باعث افزایش جوانه‌زنی بذرها و افزایش عملکرد برنج^۳ گردید، همچنین باعث افزایش مقاومت به سرما، بیماری و آفات در برنج نیز شد (Sheela *et al.*, 2017). طی آزمایشی کاربرد عصاره جلبک دریایی، باعث افزایش ۱۳ درصدی در عملکرد گوجه‌فرنگی^۴ شد. همچنین در شرایط تنش شوری کاربرد جلبک دریایی، هر چند در عملکرد گوجه‌فرنگی، تغییر معنی‌داری ایجاد نکرد اما باعث تجمع عناصر معدنی، آنتی‌اکسیدانت‌ها و اسیدهای آمینه ضروری در میوه گوجه‌فرنگی گردید (Di Stasio *et al.*, 2018). نتایج یک پژوهش در مورد کاهش تأثیر تنش کم‌آبی در گیاه مریچ‌گلی^۵ توسط عصاره جلبک دریایی نشان داد که در شرایط تنش کم‌آبی، کاربرد عصاره جلبک دریایی، باعث افزایش رشد رویشی این گیاه به‌واسطه افزایش طول ساقه، شاخص سطح برگ و تعداد برگ گردید (Mansori *et al.*, 2016).

بیش‌ترین وزن تر اندام‌های هوایی در گیاه‌ها به‌ترتیب تحت کاربرد محلول‌پاشی ترکیبی عصاره جلبک + سالیسیلیک‌اسید حاصل شدند. از طرفی، بیش‌ترین وزن خشک اندام‌های هوایی تحت کاربرد تیمار عصاره جلبک (۱ درصد حجمی) ارزیابی شد (جدول ۴). طی آزمایشی تأثیر عصاره جلبک دریایی بر شاخص‌های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ریحان^۶ در شرایط تنش کم‌آبی مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد که با افزایش شدت تنش خشکی، صفات مورفولوژیک شامل تعداد انشعابات جانبی، وزن تازه و خشک تک‌بوته، تعداد برگ، سطح برگ، وزن خشک ریشه شد. محلول‌پاشی با غلظت ۲ گرم در لیتر عصاره جلبک دریایی به‌طور معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد باعث کاهش آثار تنش خشکی بر ریحان شد. به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که کاربرد عصاره جلبک دریایی، با افزایش میزان پرولین، ایجاد تنظیم اسمزی، کاهش تجزیه کلروفیل و کاهش نشت غشا سبب بهبود رشد ریحان در شرایط تنش خشکی شد (اسماعیلی‌پور و همکاران، ۱۳۹۹).

بررسی پرایمینگ‌ها بر صفات مورفولوژیک، بیش‌ترین وزن تر ریشه تحت کاربرد غلظت ۲ میلی‌مولار سالیسیلیک‌اسید

1. *Cucumis sativus*
2. *Triticum aestivum*
3. *Oryza sativa*
4. *Solanum lycopersicum*
5. *Salvia officinalis*
6. *Ocimum basilicum*

حاصل شد (جدول ۴). علاوه بر موارد فوق، از آنجا که صفت وزن خشک ریشه به طور معنی دار تحت تأثیر برهمکنش تنش خشکی × انواع پرایمینگ قرار گرفت (جدول ۳)، اطلاعات شکل (۳) حاکی از این است که بیشترین وزن تر ریشه (۳/۱ گرم) تحت برهمکنش رژیم آبیاری ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی × غلظت ۳/۵ درصد عصاره جلبک وزن تر و بر همکنش های ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی × غلظت ۲ میلی مولار سالیسیلیک اسید و ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی × ترکیب عصاره جلبک + سالیسیلیک اسید وجود داشت (شکل ۳).

طی پژوهشی نتایج نشان داد که محلول پاشی سالیسیلیک اسید منجر به کاهش محتوای شاخص های آسیب سلولی مانند پراکسید هیدروژن (H_2O_2)، مالون دی آلدئید (MDA) و بهبود ویژگی های رشد به ویژه جوانه زنی، تولید متابولیت ها و افزایش عملکرد آویشن باغی در شرایط تنش آبی می شود (Mohammadi et al., 2019). نتایج بررسی روش های مختلف کاربرد عصاره جلبک دریایی بر فیزیولوژی و کیفیت غذایی اسفناج^۱ در شرایط تنش خشکی نشان داد که کاربرد عصاره جلبک دریایی در تیمار آبیاری کامل تأثیری بر رشد اسفناج نداشت، اما این ماده با بهبود روابط آبی و کاهش محدودیت بازشدن روزنه ای گیاه سبب بهبود رشد اسفناج در شرایط تنش خشکی ملایم شد (Zhou et al., 2007). بررسی تأثیر عصاره جلبک سبزی روی شاخص های رشد گیاه کنجد^۲ نشان داد که صفات مورفولوژیکی از قبیل طول ساقه چه، طول ریشه چه، طول ساقه، قطر ساقه و سطح برگ تحت تأثیر غلظت های مختلف عصاره جلبکی به طور قابل توجهی نسبت به شاهد افزایش یافت (Moradi et al., 2019).

۶. نتیجه گیری و پیشنهادها

به طور کلی، با توجه با نتایج به دست آمده به نظر می رسد استفاده از پرایمینگ سالیسیلیک اسید و عصاره جلبک می تواند با بهبود جوانه زنی و افزایش و حفظ شاخص های رشدی و مورفوفیزیولوژیکی گیاهچه های آویشن باغی سبب بهبود مقاومت این گیاه در برابر تنش خشکی شود. به نظر می رسد عملکرد و واکنش مثبت و مطلوب سطوح مختلف سالیسیلیک اسید نسبت به سطوح کاربردی عصاره جلبک دریایی در تغییرات صفات مورد بررسی از عملکرد مناسب تر و مطلوب تری برخوردار بود البته تیمار هم زمان سالیسیلیک اسید و عصاره جلبک و عصاره جلبک با غلظت بالاتر توانسته اند مقاومت گیاه به خشکی را تا حدودی به ویژه در مرحله رشد رویشی افزایش دهند.

۷. تشکر و قدردانی

از دانشگاه یزد و دانشگاه جیرفت جهت همکاری در اجرای این پژوهش، تشکر و قدردانی می گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع میان نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

اسماعیلی پور، بهروز؛ فاطمی، حمیده و مرادی، معصومه (۱۳۹۹). تأثیر عصاره جلبک دریایی بر شاخص های فیزیولوژیک و بیوشیمیایی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در شرایط تنش کم آبی، مجله روابط آب و گیاه، ۱۱ (۱)، ۵۹-۶۹.

1. *Spinaciaoleracea*
2. *Sesamum indicum*

بابایی، کیوان؛ امینی، مجید؛ مدرس‌ثانوی، سید علی‌محمد و جباری، رضا (۱۳۸۹). اثر تنش خشکی بر صفات مورفولوژیک، میزان پرولین و درصد تیمول در (*Thymus vulgaris*) آویشن، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات گیاهان دارویی و معطر ایران، ۲۶ (۲)، ۲۳۹-۲۵۱.

پازکی، علیرضا؛ رضایی، حلیمه؛ حبیبی، داوود و پاک‌نژاد، فرزاد (۱۳۹۱). اثر تنش خشکی محلول‌پاشی آسکوربات و جیبرلین بر روی برخی صفات مورفولوژیک متحوی نسبی آب برگ و پایداری غشای سیتوپلاسمی گیاه آویشن (*Thymus vulgaris* L.)، فصلنامه زراعت و اصلاح نباتات، ۸ (۱)، ۱.

قادری، علی‌اصغر؛ فاخری، براتعلی و مهدی‌نژاد، نفیسه (۱۳۹۶). ارزیابی صفات مورفولوژیک و فیزیولوژیک آویشن باغی (*Thymus vulgaris*) تحت تنش کم آبی و محلول‌پاشی اسیدآسکوربیک، مجله به‌زراعی کشاورزی، ۱۹ (۴)، ۸۱۷-۸۳۵.

References

- Abd Elbar, O. H., Farag, R. E., & Shehata, S. A. (2019). Effect of putrescine application on some growth, biochemical and anatomical characteristics of *Thymus vulgaris* L. under drought stress. *Annals of Agricultural Sciences*, 64(2), 129-137.
- Abdul-Baki, A. A., & Anderson, J. D. (1973). Vigor Determination in Soybean Seed by Multiple Criteria. *Crop Science*, 13, 630-633.
- Ahmed, Y. M., & Shalaby, E. A. (2012). Effect of different seaweed extracts and compost on vegetative growth, yield and fruit quality of cucumber. *Journal of Horticultural Science and Ornamental Plants*, 4(3), 235-240.
- Alavi-Samani, S. M., Kachouei, M. A., & Pirbalouti, A. G. (2015). Growth, yield, chemical composition, and antioxidant activity of essential oils from two thyme species under foliar application of jasmonic acid and water deficit conditions. *Horticulture, Environment, and Biotechnology*, 56(4), 411-420.
- Arpanahi Abdollahi, A., & Feizian, M. (2019). Arbuscular Mycorrhizae Alleviate Mild to Moderate Water Stress and Improve Essential Oil yield in Thyme. *Rhizosphere*, 10(3), 160-162.
- Babaei, K., Amini Dehaghi, M., Modares Sanavi, S. A. M., & Jabbari, R. (2010). Water deficit effect on morphology, prolin content and thymol percentage of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 26(2), 239-251. (In Persian).
- Benameur, Q., Gervasi, T., Pellizzeri, V., Pfluchtová, M., Tali-Maama, H., Assaous, F., Guettou, B., Rahal, K., Grul'ová, D., Dugo, G., Marino, A., & Ben-Mahdi, M. H. (2019). Antibacterial activity of *Thymus vulgaris* essential oil alone and in combination with cefotaxime against blaESBL producing multidrug resistant Enterobacteriaceae isolates. *Natural product research*, 33(18), 2647-2654. <https://doi.org/10.1080/14786419.2018.1466124>.
- Brown, R. F., & Mayer, D. G. (1988). Representing cumulative germination.1.A critical analysis of single-value germination indices. *Annals of Botany*, 61, 117-125.
- Di Stasio, E., Van Oosten, M. J., Silletti, S., Raimondi, G., Dell'aversana, E., Carrillo, P., & Maggio, A. (2018). Ascophyllum nodosum-based algal extracts act as enhancers of growth, fruit quality, and adaptation to stress in salinized tomato plants. *Journal of Applied physiology*, 30(4), 2675- 2686.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia Horticulturae*, 196, 3-14.
- El Boukhari, M. E. M., Barakate, M., Bouhia, Y., & Lyamlouli, K. (2020). Trends in seaweed extract based biostimulants: Manufacturing process and beneficial effect on soil-plant systems. *Plants*, 9(3), 359.
- Esmailpour, B., Fatemi, H., & Moradi, M. (2020). Effects of Seaweed Extract on Physiological and Biochemical Characteristics of Basil (*Ocimum basilicum* L.) under Water-Deficit Stress Conditions. *Journal of Soil and Plant Interactions*, 11(1), 59-69. (In Persian).

- Fardus, J., Matin, M. A., Hasanuzzaman, M., Hossain, M. A., & Hasanuzzaman, M. (2018). Salicylic acid-induced improvement in germination and growth parameters of wheat under salinity stress. *Jouranl Animal Plant Science*, 28, 197-207.
- Fathi, A., & Tari, D. B. (2016). Effect of Drought Stress and its Mechanism in Plants. *International Journal of Life Sciences*, 10, 1-6.
- Ghaderi, A. A., Fakheri, B. A., & Mahdi Nezhad, N. (2018). Evaluation of the morphological and physiological traits of thyme under water deficit stress and foliar application of ascorbic acid. *Journal of Crops Improvement*, 19(4), 817-835. <https://doi.org/10.22059/jci.2017.60460>. (In Persian).
- Hayat, Q., Hayat, S., Irfan, M., & Ahmad, A. (2010). Effect of exogenous salicylic acid under changing environment: a review. *Environmenta and. Exprimental Botany* 68, 14-25.
- Kaya, C., Ashraf, M., Alyemeni, M. N., Corpas, F. J., & Ahmad, P. (2020). Salicylic acid-induced nitric oxide enhances arsenic toxicity tolerance in maize plants by upregulating the ascorbate-glutathione cycle and glyoxalase system. *Journal Hazardous. Materials*, 399, 123020.
- Kuete, V. (2017). *Thymus vulgaris Medicinal Spices and Vegetables from Africa: Therapeutic Potential against Metabolic, Inflammatory, Infectious and Systemic Diseases*. Cameroon: Elsevier.
- Kumar, G., & Sahoo, D. (2011). Effect of seaweed liquid extract on growth and yield of Triticum aestivum var. pusa gold. *Journal of Applied Phycology*, 23(2), 251-255.
- Mansori, M., Chernane, H., Latique, S., Benaliat, A., Hsissou, D., & El Kaoua, M. (2016). Effect of seaweed extract (*Ulva rigida*) on the water deficit tolerance of *Salvia officinalis* L. *Journal Applied Phycology*, 28, 1363-1370.
- Mohammadi, H., Amirikia, F., Ghorbanpour, M., Fatehi, F., & Hashempour, H. (2019). Salicylic acid induced changes in physiological traits and essential oil constituents in different ecotypes of *Thymus kotschyanus* and *Thymus vulgaris* under well-watered and water stress conditions. *Industrial Crops and Products*, 129(6), 561-574.
- Mohammadi, H., Nikjoyan, J. M., Hazrati, S., & Hashempour, H. (2020). Improvement of yield and phytochemical compounds of *Thymus vulgaris* through foliar application of salicylic acid under water stress. *Agriculture and Forestry*, 66(1), 129-142.
- Noreen, S., Fatima, K., Athar, H. U. R., Ahmad, S., & Hussain, K. (2017). Enhancement of physio-biochemical parameters of wheat through exogenous application of salicylic acid under drought stress. *Journal Animal. Plant Science*, 27, 153-163.
- Patel, K., Agarwal, P., & Agarwal, P. K. (2018). Kappaphycus alvarezii sap mitigates abiotic-induced stress in Triticum durum by modulating metabolic coordination and improves growth and yield. *Journal Applied. Phycology*, 30, 2659-2673.
- Patil, S. M., Ramu, R., Shirahatti, P. S., Shivamallu, C., & Amachawadi, R. G. (2021). A systematic review on ethnopharmacology, phytochemistry and pharmacological aspects of *Thymus vulgaris* Linn. *Heliyon*, 7(5), e07054.
- Pazoki, A., Rezaee, A., Habibi, D., & Paknejad, F. (2012). Effects of drought stress, ascorbate and gibberellin spraying on some morphological traits, leaf relative water content and cell membrane stability of Thyme (*Thymus vulgaris* L.). *Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8(1), 1-13. (In Persian).
- Sharma, S., Chen, C., Khatri, K., Rathore, M. S., & Pandey, S. P. (2019). Gracilaria dura extract confers drought tolerance in wheat by modulating abscisic acid homeostasis. *Plant Physiology and Biochemistrey*, 136, 143-154.
- Sheela, S., Josephine, S. M., & Reginald Appavoo, M. (2017). Studies on the effect of seaweed liquid fertilizer (SLF) on different growth parameters, biochemical constituents and pigment production in a C4 plant, *Oryza sativa* L. *International Education and Research Journal*, 3(7), 40-42.
- Shemi, R., Wang, R., Gheith, E. S. M. S., Hussain, H. A., Hussain, S., Irfan, M., & Wang, L.

- (2021). Effects of salicylic acid, zinc and glycine betaine on morpho-physiological growth and yield of maize under drought stress. *Scientific Reports*, *11*(1), 3195.
- Zhou, Y., Lam, H. M., & Zhang, J. (2007). Inhibition of photosynthesis and energy dissipation induced by water and high light stresses in rice. *Journal of experimental botany*, *58*(5), 1207-1217. <https://doi.org/10.1093/jxb/erl291>.
- Zou, P., Lu, X., Zhao, H., Yuan, Y., Meng, L., Zhang, C., & Li, Y. (2019). Polysaccharides Derived from the Brown Algae *Lessonia nigrescens* Enhance Salt Stress Tolerance to Wheat Seedlings by Enhancing the Antioxidant System and Modulating Intracellular Ion Concentration. *Frontiers in plant science*, *10*, 48. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00048>.



The effect of *Trichoderma harzianum* on the antioxidative traits of *Ocimum basilicum* L. under different irrigation regimes

Mina Amani¹ | Saeideh Alizadeh-Salteh^{2✉} | Mohsen Sabzi-Nojadedh³ | Mehdi Younessi-Hamzekhanlu⁴

1. Department of Horticultural Science and Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: mina.amani98@ms.tabrizu.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Horticultural Science and Engineering, Orientation of Medicinal Plants, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: s.alizadeh@tabriu.ac.ir
3. Department of Horticultural Science and Engineering, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: m.sabzi@tabrizu.ac.ir
4. Department of Horticultural Science and Engineering, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: myounessi@tabrizu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 18 July 2022
Received in revised form
10 April 2023
Accepted 8 July 2023
Published online
20 September 2023

Keywords:

Antioxidant activity
Medicinal plants
Total Phenol
Total Flavonoid
Water deficit stress

ABSTRACT

Objective: Taking advantage of the symbiotic relationship between plants and *Trichoderma* fungi is one of the ways to reduce water stress in plants. The present study was conducted in order to investigate the effect of *Trichoderma* fungus on the antioxidant properties of the basil medicinal plant (*Ocimum basilicum* L.) under water stress conditions.

Methods: This experiment was carried out in the greenhouse of the Department of Horticulture Sciences of Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources and laboratory studies in the basic and general laboratories of Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources (University of Tabriz) in 2019 in a factorial manner based on a randomized complete block design with three repetitions. The treatments included different levels of water deficit stress, including severe stress (25% of field capacity), moderate stress (50% of field capacity), mild stress (75% of field capacity), and no stress (100% of field capacity). Each pot contained a commercial mushroom species *Trichoderma harzianum* Na-lac with concentrations of 10^9 and 10^6 spores per milliliter as the inoculum.

Results: The results showed that the amount of malondialdehyde, catalase and peroxidase, antioxidant activity and total flavonoid increased with the application of dehydration stress. The concentration of 10^6 spores per milliliter had a better impact on improving the mentioned indicators. Based on this, *Trichoderma* fungus proves effective when improving the antioxidant status of plants under drought stress and can prevent the effects of oxidative stress in plants by reducing the oxygen free radicals produced.

Conclusion: The results indicated that the use of *Trichoderma* mushroom in comparison with the control (without inoculation with the mushroom) can be a suitable tool to improve the physiological traits and antioxidant activities in the conditions drought stress.

Cite this article: Amani, M., Alizadeh-Salteh, S., Sabzi-Nojadedh, M., & Younessi-Hamzekhanlu, M. (2023). The effect of *Trichoderma harzianum* on the antioxidative traits of *Ocimum basilicum* L. under different irrigation regimes. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 719-735. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.345935.2730>



اثر قارچ تریکودرما بر برخی خواص بیوشیمیایی گیاه دارویی ریحان در شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری

مینا امانی^۱ | سعیده علیزاده سالطه^۲ | محسن سبزی نوجه‌ده^۳ | مهدی یونسی حمزه‌خانلو^۴

۱. گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: mina.amani98@ms.tabrizu.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم و مهندسی باغبانی، گرایش گیاهان دارویی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: s.alizadeh@tabriuu.ac.ir
۳. گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: m.sabzi@tabrizu.ac.ir
۴. گروه علوم و مهندسی باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: myounessi@tabrizu.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۲۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۱۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

کلیدواژه‌ها:

تنش کمبود آب

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

فلاونوئید کل

فنل کل

گیاهان دارویی

هدف: بهره‌گیری از رابطه همزیستی گیاه با قارچ‌های تریکودرما یکی از راه‌کارهای کاهش تنش کم‌آبی در گیاهان به‌شمار می‌رود. پژوهش حاضر به‌منظور بررسی تأثیر قارچ تریکودرما بر ویژگی‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه دارویی ریحان (*Ocimum basilicum* L.) در شرایط تنش کم‌آبی انجام شد.

روش پژوهش: این آزمایش در گلخانه گروه علوم باغبانی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر و مطالعات آزمایشگاهی نیز در آزمایشگاه‌های پایه و عمومی دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر (دانشگاه تبریز) در سال ۱۳۹۹ به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار انجام گرفت. تیمارها شامل سطوح مختلف تنش کمبود آب شامل تنش شدید (۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای)، تنش متوسط (۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای)، تنش ملایم (۷۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) و بدون تنش (شاهد) هر یک از گلدان‌ها و یک گونه تجاری قارچ *Trichoderma harzianum* Na-lac با غلظت‌های ۱۰^۶ و ۱۰^۸ اسپور در هر میلی‌لیتر مایه تلقیح بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که با اعمال تنش کم‌آبی میزان مالون‌دی‌آلدئید، آنزیم کاتالاز و پراکسیداز، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و فلاونوئید کل افزایش یافت. غلظت ۱۰^۸ اسپور در هر میلی‌لیتر تأثیر بهتری بر بهبود شاخص‌های مذکور داشت.

نتیجه‌گیری: استفاده از قارچ تریکودرما در مقایسه با شاهد (بدون تلقیح با قارچ) می‌تواند ابزار مناسبی برای بهبود صفات فیزیولوژیکی و فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی در شرایط تنش کم‌آبی باشد.

استناد: امانی، مینا؛ علیزاده سالطه، سعیده؛ سبزی نوجه‌ده، محسن؛ و یونسی حمزه‌خانلو، مهدی (۱۴۰۲). اثر قارچ تریکودرما بر برخی خواص بیوشیمیایی گیاه دارویی

ریحان در شرایط رژیم‌های مختلف آبیاری. *به‌زرعی کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۷۱۹-۷۳۵. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.345935.2730>



۱. مقدمه

کمبود آب یکی از عوامل محدودکننده رشد و عملکرد گیاهان می‌باشد که به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان از جمله ایران به طرق مختلف باعث محدودیت کاشت گیاهان زراعی و کاهش عملکرد محصول می‌شود. محدودیت منابع آب، توزیع نامناسب بارش سالیانه در طول فصل رشد و عدم مدیریت صحیح منابع آب موجود، باعث افت شدید عملکرد محصولات زراعی می‌شود. کمبود آب با تأثیر بر آماس سلولی در نتیجه باز و بسته‌شدن روزنه‌ها، تنفس و تعرق را تحت تأثیر قرار داده و از طرف دیگر با تأثیر بر فرایندهای آنزیمی که به‌طور مستقیم با پتانسیل آب کنترل می‌شوند، بر رشد گیاه اثر منفی می‌گذارد (Amini *et al.*, 2020). گزارش‌های متعددی مبنی بر اثر کمبود آب از ملایم تا شدید در رابطه با مختل شدن فرایندهای فیزیولوژیکی گیاهان و تغییر در متابولیسم کربوهیدرات‌ها، تغییر در ساختمان پروتئین‌ها و فعالیت آنزیم‌ها ارائه شده است (Ahmad *et al.*, 2014). با توجه به موارد گفته‌شده، پژوهش‌گران به‌دنبال راه‌کارهایی جهت مقابله با تنش‌های محیطی از جمله تنش کم‌آبی می‌باشند (Daszkowska-Golec & Szarejko, 2013). در این راستا، گزارش‌ها حاکی از آن است که برخی از میکروارگانیسم‌های خاک می‌توانند با گیاهان روابط همزیستی برقرار کرده و در شرایط تنش از اثرات مخرب آن‌ها بکاهند (Rahmatzadeh & Kazemitabar, 2013).

از عوامل مهم بیولوژیک مورداستفاده توسط پژوهش‌گران در زمینه کشاورزی پایدار می‌توان به قارچ‌های اندوفایتیک از جمله جنس تریکودرما اشاره کرد (خوش‌منظر، ۱۳۹۴). گونه‌های مختلف قارچ تریکودرما از میکروارگانیسم‌های فراوان در دامنه پهناوری از اکوسیستم‌ها و مناطق مختلف آب‌وهوایی جهان هستند (Nzanza *et al.*, 2012). این گونه‌های قارچی از مکانیسم‌های مختلفی برای مقابله با تنش‌های محیطی و بیماری‌گرهای گیاهی برخوردارند که از آن جمله می‌توان افزایش مقاومت گیاه و فعال کردن واکنش‌های دفاعی، تحریک رشد گیاه، تنظیم و القای فاکتورهای رشد گیاه را نام برد (Li *et al.*, 2018).

۲. پیشینه پژوهش

قارچ‌های تریکودرما باعث آزادشدن عناصر مهمی از جمله آهن، منیزیم، فسفر، مس و ... در خاک می‌گردد و در مواردی دیده شده است که باعث کلاته‌شدن آهن در خاک می‌گردد (Azarmi *et al.*, 2011). برخی از گزارش‌ها حاکی از آن است که قارچ‌های تریکودرما توانایی قابل‌توجهی در افزایش ریشه‌زایی در ریشه‌های فرعی گیاهان و در نهایت افزایش سهولت جذب آب و مواد غذایی و تحمل گیاه در برابر تنش‌های محیطی را دارند (Asaduzzaman *et al.*, 2010). در آزمایشی نشان داده شد که کلونیزاسیون نهال‌های کاکائو توسط تریکودرما منجر به تأخیر در بسیاری از جنبه‌های پاسخ به کم‌آبی شد. در این روش افزایش رشد ریشه و بهبود وضعیت آب گیاه سبب می‌شود تا گیاهچه‌های کاکائو تنش کمبود آب را بهتر تحمل کنند (Haq *et al.*, 2014). همچنین مشاهده شد که قارچ تریکودرما سطح تنش را به‌طور قابل‌توجهی به‌وسیله مسیرهای فیزیولوژیکی مختلف کاهش می‌دهند. نتایج مشابهی نیز برای تحمل به کم‌آبی توسط تریکودرما در درخت کاکائو^۱ گزارش شده است (Shukla *et al.*, 2012). (Subramanian *et al.*, 2006) مشاهده نمودند که تلقیح با قارچ، صفات فیزیولوژیکی گیاهان را از طریق افزایش میزان مواد فتوسنتزی، تغییر در جریان مواد فتوسنتزی در ساقه‌ها و ریشه‌ها و نیز تأثیر بر جذب عناصر معدنی از خاک تحت تأثیر قرار می‌دهد.

با مشاهده تأثیر مثبت این قارچ‌ها در افزایش جذب عناصر غذایی از خاک، بهبودبخشیدن به روابط آبی گیاه، افزایش

راندمان مصرف آب در گیاه و در نهایت بالابردن مقاومت گیاه به تنش‌های کمبود آب از یک طرف و از طرف دیگر وجود بحران آب در کشورهای مختلف، پژوهش‌گران را بر آن داشته تا این جنبه از رابطه همزیستی به‌وجودآمده بین گیاه میزبان و قارچ تریکودرما را بیش از پیش موردبررسی قرار دهند. لذا با توجه به محدودیت منابع آبی در کشور، به‌نظر می‌رسد به‌کارگیری قارچ‌های تریکودرما کارایی تولید گیاهان دارویی مثل ریحان را در مقابله با تنش کمبود آب بهبود دهد. بنابراین هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی برخی از خواص بیوشیمیایی گیاه دارویی ریحان در شرایط گلخانه‌ای تحت تأثیر تنش کم‌آبی به‌همراه گونه تجاری قارچ تریکودرما می‌باشد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

در این پژوهش به‌منظور بررسی تأثیر تنش کمبود آب به‌همراه یک گونه تجاری قارچ تریکودرما روی صفات فیزیولوژیکی در گیاه دارویی ریحان بنفش رقم محلی استان آذربایجان شرقی، شهرستان اهر، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. فاکتورهای موردبررسی شامل تنش رطوبتی و قارچ تریکودرما بودند که تنش کمبود آب شامل چهار سطح ۲۵، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای و گونه تجاری قارچ تریکودرما (*Trichoderma harzianum* Na-lac) با غلظت ۱۰^۶ و ۱۰^۹ اسپور در هر لیتر مایه تلقیح و تیمار شاهد (بدون تلقیح قارچ تریکودرما) بود.

۳.۱. تکثیر تریکودرما

برای تکثیر قارچ تریکودرما اینوکولوم اولیه قارچ *T. harzianum* از گروه گیاهپزشکی دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز تهیه شد. نمونه‌های تهیه شده قارچ تریکودرما جهت استفاده در محیط آزمایشگاهی به محیط کشت استریل جامد سیب‌زمینی دکستروز آگار^۱ (PDA) انتقال داده شد. پس از یک هفته انکوباسیون در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، از آن‌ها جهت تهیه سوسپانسیون قارچی استفاده شد. حجم مشخصی از این سوسپانسیون بر روی لام هماتوسیومتر قرار گرفت و شمارش اسپور و تراکم جمعیت قارچی در این سوسپانسیون ۱۰^۶ و ۱۰^۹ اسپور در هر میلی‌لیتر تنظیم شد. جهت اضافه کردن این جمعیت قارچی به گلدان‌ها از سبوس گندم استفاده شد. از زادمایه‌های آماده‌شده برای هر جدایه قارچی به میزان ۳۰ گرم در هر گلدان استفاده شد (محسن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

۳.۲. آماده‌سازی بذور جهت کشت

به‌منظور ضدعفونی بذور و جلوگیری از آلودگی‌های احتمالی قارچی، بذرها به‌مدت دو تا سه دقیقه در محلول هیپوکلریت سدیم یک درصد قرار داده شد و سپس با آب مقطر شست‌وشو داده شدند. هم‌چنین برای کشت بذور ریحان، جهت اطمینان از قدرت جوانه‌زنی بذرها تست جوانه‌زنی روی آن‌ها انجام گرفت.

۳.۳. نحوه کشت و تلقیح با قارچ

برای کشت از گلدان‌های استریل هفت کیلویی با قطر دهانه ۳۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۱/۵ سانتی‌متر استفاده شد. به‌منظور کاشت بذرها، ابتدا دوسوم حجم گلدان با خاک پر شد، سپس ۳۰ گرم از مایه تلقیح روی سطح خاک پخش گردید.

در نهایت به اندازه چهار سانتی‌متر خاک روی آن اضافه شده و کشت بذرها به تعداد ۱۵ عدد انجام شد. در پایان یک سانتی‌متر خاک روی بذرها ریخته شد. اولین آبیاری بلافاصله بعد از کشت انجام پذیرفت. جوانه‌زنی بذرها در محیط گلخانه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد بعد از گذشت ۱۰ روز آغاز گردید. در مرحله شروع گلدهی، تنش کمبود آب در سه سطح ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای و تیمار شاهد تا سه هفته بعد از آن اعمال شد. براساس بررسی منابع قبلی (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۸) که انجام شده بود که تحمل تنش ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای برای گیاه ریحان بسیار مشکل و تنش‌زا بود و با بروز نشانه‌های بسیار مختصری از پلاستیدگی برگ‌ها، به‌نظر می‌رسید که با ادامه تنش، گیاه دچار مرگ شود. به‌همین دلیل در طول این سه هفته در هر زمانی که مشاهده می‌شد که گیاه توان تحمل تنش شدید را ندارد، همه تیمارهای تنش کم‌آبی به‌مدت یک یا دو روز متوقف می‌شد و آبیاری در حد ظرفیت زراعی انجام می‌شد تا گیاهان خود را بازیابی کنند و دوباره اعمال تیمارها ادامه پیدا می‌کرد. اعمال تنش کم‌آبی به این‌صورت بود که گلدان‌ها به‌صورت روزانه توزین می‌شدند و نقصان رطوبتی در هر تیمار با آبیاری گلدان‌ها تا رسیدن به سطح تیمار موردنظر برطرف می‌شد. پس از اعمال تنش، نمونه‌برداری و اندازه‌گیری صفات در مرحله تمام گل صورت پذیرفت (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۸).

۴.۳. صفات مورد اندازه‌گیری

پس از رسیدن گیاهان به دوره کامل گلدهی، صفات مختلف شامل فنل و فلاونوئیدکل، مالون‌دی‌آلدهید، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، آنزیم کاتالاز و پراکسیداز در تمامی بوته‌های گلدان‌ها اندازه‌گیری شد.

اندازه‌گیری فنل کل، طبق روش Du et al. (2009) و با استفاده از معرف فولین سیوکالتیو در طیف جذبی ۷۶۵ نانومتر در دستگاه اسپکتروفوتومتر (SU6100, Philler Scientific, USA) انجام شد. برای انجام این کار، ابتدا مقدار ۲۰۰ میکرولیتر عصاره استخراج شده با متانول با ۲۰۰ میکرولیتر فولین ۱۰ درصد مخلوط شد. پس از قراردادن به‌مدت ۱۰-۵ دقیقه در دمای اتاق، ۶۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم (۷/۵ گرم در میلی‌لیتر) به محلول حاصل اضافه شد. پس از دو ساعت نگهداری در تاریکی و دمای اتاق، میزان جذب عصاره نمونه‌ها در طول موج ۷۶۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد. قبل از قرائت میزان جذب استاندارد گالیک‌اسید و نمونه‌ها، محلول صفر که شامل ۱۰۰ میکرولیتر حلال استخراج (متانول)، یک میلی‌لیتر آب مقطر، ۱۰۰ میکرولیتر فولین ۱۰ درصد و ۳۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم بود، تهیه و دستگاه با آن کالیبره شد. در نهایت میزان فنل کل از روی میزان جذب نمونه و نمونه‌های استاندارد برحسب میلی‌گرم گالیک‌اسید در ۱۰۰ گرم وزن تر محاسبه گردید.

محتوای فلاونوئید کل عصاره‌ها با استفاده از روش Nugraha et al. (2022) به روش رنگ‌سنجی کلرید آلومینیوم اندازه‌گیری شد. برای این منظور، روی ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره استخراج شده با متانول، ۴۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد، ۴۰ میکرولیتر استات پتاسیم یک مولار و ۱/۱۲۰ میلی‌لیتر آب مقطر اضافه شد. پس از ۴۰ دقیقه نگهداری در دمای اتاق، میزان جذب عصاره نمونه‌ها در طول موج ۴۱۵ نانومتر توسط دستگاه اسپکتروفوتومتر قرائت شد. محلول بلانک نیز حاوی تمام ترکیبات ذکر شده در بالا بود، اما به‌جای عصاره، ۲۰۰ میکرولیتر متانول ۸۰ درصد به آن اضافه شد. برای به‌دست‌آوردن منحنی کالیبراسیون از کوئرستین به‌عنوان استاندارد استفاده شد. مقدار فلاونوئید نمونه‌ها به‌صورت میلی‌گرم کوئرستین در ۱۰۰ گرم وزن تر گیاه گزارش گردید. اصول روش رنگ‌سنجی آلومینیوم کلرید، تشکیل کمپلکس‌های اسیدی آلومینیوم کلرید با گروه کتو و یا گروه هیدروکسیل فلاونوئیدها است که کوئرستین بیش‌ترین جذب را در طول موج ۴۱۵ نانومتر دارد.

برای اندازه‌گیری فعالیت آنتی‌اکسیدانی از خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد DPPH^۱ استفاده شد (Dehghan & Khoshkam, 2012). بدین منظور ابتدا محلول DPPH، ۵۰۰ میکرومولار (۰/۰۱۹۷ گرم از پودر DPPH را وزن کرده و با متانول ۸۰ درصد به حجم ۱۰۰ میلی‌لیتر رسانده شد) تهیه و سپس برای هر نمونه، میزان ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره استخراج‌شده با متانول برداشته و در لوله فالکون ریخته شد. پس از آن به میزان ۹۰۰ میکرولیتر از محلول DPPH یادشده به آن اضافه شد. سپس نمونه‌ها به مدت نیم ساعت در محیط تاریک، روی شیکر با ۱۲۰ دور در دقیقه قرار گرفته و در نهایت جذب آن‌ها در طول موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت شد. از متانول ۸۰ درصد برای صفر کردن دستگاه و از محلول DPPH به‌عنوان محلول کنترل استفاده شد. برای مقایسه جذب نمونه‌ها از محلول DPPH حاوی عصاره گیاهی به مرور زمان کم شده و مقدار جذب آن در مقایسه با محلول DPPH کاهش می‌یابد. هرچقدر قدرت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها بیشتر باشد کاهش رنگ نیز بیشتر خواهد بود. در نهایت فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به صورت درصد بازدارندگی DPPH با استفاده از رابطه (۱) محاسبه گردید.

$$\text{رابطه ۱)} \quad 100 \times (\text{Abs control}) / \% \text{IC50} = (\text{Abs control} - \text{Abs sample})$$

در این رابطه، IC50 درصد بازدارندگی DPPH (غلظتی که در آن ۵۰ درصد رادیکال DPPH مهار می‌شود)، Abs control میزان جذب DPPH و Abs sample میزان جذب (نمونه + DPPH) می‌باشد.

اندازه‌گیری میزان پراکسیداسیون لیپیدهای غشایی با استفاده از روش *Zheng et al.* (2005)، به‌وسیله تست تیوباربتوریک‌اسید با سنجش میزان مالون‌دی‌آلدئید انجام شد. طبق این روش ۰/۲ گرم از بافت گیاه در هاون چینی حاوی ۱/۵ میلی‌لیتر تری‌کلرواستیک‌اسید ۰/۱ درصد هموژن شد. مخلوط حاصل به مدت سه دقیقه در ۱۳۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. به یک میلی‌لیتر از محلول رویی حاصل از سانتریفیوژ، ۱/۵ میلی‌لیتر محلول تری‌کلرواستیک‌اسید ۲۰ درصد که حاوی ۰/۵ درصد تیوباربتوریک‌اسید بود، اضافه شد. مخلوط حاصل به مدت ۳۰ دقیقه در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد در بن‌ماری قرار داده شد. سپس مخلوط حاصل بلافاصله در یخ، سرد شد و بعد از آن به مدت سه دقیقه در ۱۳۰۰ دور در دقیقه سانتریفیوژ شد. شدت جذب مایع شفاف رویی با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول موج ۵۳۲ نانومتر خوانده شد. ماده موردنظر برای جذب در این طول موج، کمپلکس قرمز MDA-TBA است. جذب بقیه رنگیزه‌های غیراختصاصی در ۶۰۰ نانومتر تعیین و از این مقدار کسر گردید. میزان مالون‌دی‌آلدئید با اعمال ضریب خاموشی معادل $155 \text{ mM}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ طبق رابطه (۲) محاسبه شد. در نهایت غلظت مالون‌دی‌آلدئید نمونه‌ها برحسب نانومتر بر گرم وزن تر محاسبه شد.

$$\text{رابطه ۲)} \quad \text{MDA} = (A_{532} - A_{600}) / (155 \times 1000)$$

که در آن، A میزان جذب در طول موج‌های ۵۳۲ و ۶۰۰ نانومتر می‌باشد.

سنجش فعالیت آنزیم پراکسیداز با استفاده از گایاکول و اندازه‌گیری میزان جذب تتراگایاکول تشکیل‌شده از آن در نتیجه فعالیت پراکسیداز در ۴۷۰ نانومتر و با استفاده از روش *Zhang et al.* (2013) انجام گرفت. بدین منظور ۵۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی به مخلوط واکنش، حاوی ۱۵۰۰ میکرولیتر بافر پتاسیم فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷)، ۳۰۰ میکرولیتر EDTA ۰/۱ میلی‌مولار، ۶۰۰ میکرولیتر گایاکول پنج میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر پراکسید هیدروژن ۱۵ میلی‌مولار اضافه شده و جذب نور در طول موج ۴۷۰ نانومتر با دستگاه اسپکتروفتومتر در دو نوبت با فاصله زمانی دو دقیقه قرائت شد. در محلول بلانک به‌جای عصاره آنزیمی، ۱۰ میکرولیتر از بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=۷) استفاده شد. فعالیت آنزیمی با استفاده از رابطه (۳) و برحسب میکرومول بر گرم وزن تر گیاه در دقیقه ($\mu\text{Mol/g FW.min}$) محاسبه شد.

رابطه ۳) Peroxidase enzyme =

$$(Vt \times \Delta A \times \text{total volume of the extract}) / (\epsilon \times \Delta t \times L \times V_s \times \text{weight of the tissue})$$

که در آن، Vt: حجم محلول واکنش، ΔA : اختلاف دو جذب قرائت شده، E: ضریب خاموشی ($26/6 \text{ cm}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$)، L: مسیر نوری برابر با ۱ سانتی‌متر، Vs: حجم عصاره در محلول واکنش، Δt : فاصله زمانی دو قرائت، Total volume of the extract: حجم عصاره‌گیری، Weight of the tissue: وزن بافت می‌باشد.

سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز با اندازه‌گیری سرعت حذف پراکسید هیدروژن براساس روش Zhang *et al.* (2013) صورت پذیرفت. یک واحد فعالیت کاتالاز بر مبنای تغییرات جذب نوری محلول در طول موج ۲۴۰ نانومتر در طی یک دقیقه بر مبنای میزان مصرف H_2O_2 برآورد شد. براساس این روش، مخلوط واکنش شامل ۶۰۰ میکرولیتر بافر فسفات ۵۰ میلی‌مولار (pH=7)، ۳۰۰ میکرولیتر هیدروژن پراکسید ۵۰ میلی‌مولار و ۱۰۰ میکرولیتر عصاره آنزیمی بود. با اضافه کردن آب اکسیژنه به مخلوط واکنش، واکنش شروع شده و کاهش در جذب آب اکسیژنه در مدت یک دقیقه در طول موج ۲۴۰ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتری اندازه‌گیری شد. برای کالیبره نمودن دستگاه اسپکتروفتومتر محلول شاهد شامل مخلوط واکنش به‌جز عصاره آنزیمی بود. غلظت آب اکسیژنه مصرف شده پس از یک دقیقه اندازه‌گیری و فعالیت آنزیم با استفاده از ضریب خاموشی معادل $6/43 \text{ mM}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ مطابق رابطه (۴) و برحسب میکرومول بر گرم وزن تر گیاه در دقیقه ($\mu\text{Mol/g FW} \cdot \text{min}$) محاسبه شد.

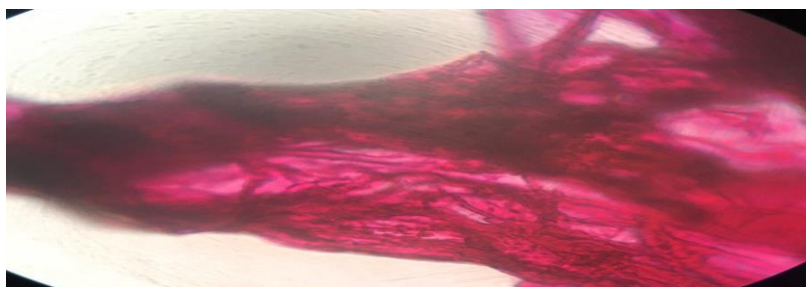
رابطه ۴) Catalase enzyme =

$$(\text{doD}/(\text{min slope})) \times \text{Vol. of assay (0.0003)} / (\text{Extinction coefficient (43.6)})$$

که در آن، $\text{doD}/(\text{min slope})$: اختلاف بین دو قرائت در یک دقیقه، Vol. of assay (0.0003): حجم محلول داخل سل، Extinction coefficient (43.6): ضریب خاموشی می‌باشد.

۳.۵. تعیین کلونیزاسیون تریکودرما

جهت بررسی حالت اندوفیتی قارچ تریکودرما در بافت‌های مختلف گیاه، در زیر هود لامینار، قطعاتی از ساقه و ریشه به طول دو تا سه سانتی‌متر برش داده شد. ابتدا ضدعفونی سطحی با الکل ۷۰ درصد به مدت یک دقیقه انجام گرفت. سپس دو مرتبه با آب مقطر استریل شست‌وشو گردید. پس از خشک شدن روی کاغذ صافی استریل، روی محیط کشت PDA کشت داده شد (محسن‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵).



شکل ۱. بررسی کلونیزاسیون ریشه‌ها در زیر میکروسکوپ

۳.۶. تجزیه و تحلیل داده‌ها

در ابتدا آزمون نرمال بودن باقی‌مانده‌ها و یکنواختی واریانس‌های درون تیماری انجام شده و مورد تأیید قرار گرفت. تجزیه

واریانس داده‌ها به صورت فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار انجام شد. مقایسه میانگین تیمارها توسط آزمون دانکن^۱ در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۳) و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار اکسل استفاده شد.

۴. یافته‌های پژوهش

۴.۱. تجزیه واریانس صفات مربوط به قارچ تریکودرما، رطوبت خاک و برهم‌کنش آن‌ها

براساس نتایج تجزیه واریانس (جدول ۱) اثرات اصلی غلظت‌های مختلف تریکودرما بر صفات فنل و فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و مالون‌دی‌آلدهید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. همچنین اثرات اصلی سطوح مختلف رطوبت خاک بر فنل و فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، آنزیم کاتالاز، پراکسیداز و مالون‌دی‌آلدهید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. اثرات متقابل غلظت‌های مختلف تریکودرما در سطوح مختلف رطوبت خاک بر فنل و فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، آنزیم پراکسیداز و مالون‌دی‌آلدهید در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد.

جدول ۱. نتایج تجزیه واریانس اثر غلظت‌های مختلف قارچ تریکودرما، رطوبت خاک و اثر متقابل بین دو فاکتور بر صفات اندازه‌گیری شده در ریحان

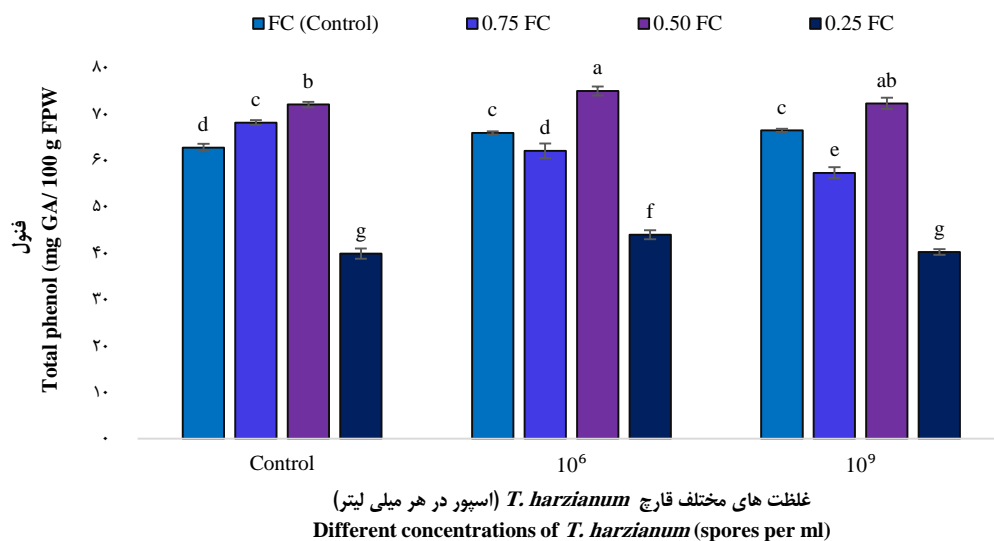
میانگین مربعات						درجه آزادی	منبع تغییرات
مالون‌دی‌آلدهید	آنزیم پراکسیداز	آنزیم کاتالاز	فعالیت آنتی‌اکسیدانی	فلاونوئید کل	فنل کل		
۳۲/۶۴*	۱/۹۴ns	۰/۲۶ns	۰/۰۱ns	۱۰/۵۳ns	۲/۰۶ns	۲	بلوک
۱۳۴۴/۸۶**	۲۸۷/۳۳**	۳/۲۳**	۲/۸۷**	۱۵۹/۸۳**	۲۱/۱۶**	۲	تریکودرما
۱۶۲۰۵/۵۹**	۴۱۱/۶۷**	۲/۸۱**	۴/۱۱**	۲۹۶/۴۷**	۱۶۴۸/۰۱**	۳	رطوبت خاک
۱۵۰/۸۴**	۱۴۶/۸۱**	۰/۶ns	۱/۴۶**	۸۷/۰۷**	۳۴/۱۴**	۶	تریکودرما × رطوبت خاک
۱۱/۴۶	۳۱/۶۱	۰/۴۹	۰/۳۱	۱۴/۰۱	۲/۶۸	۲۲	خطا
۰/۴۴	۸/۷۹	۱۲/۵	۷/۹۶	۶/۵	۲/۷		ضریب تغییرات (درصد)

ns ** و * به ترتیب عدم معنی‌داری، معنی‌داری در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد.

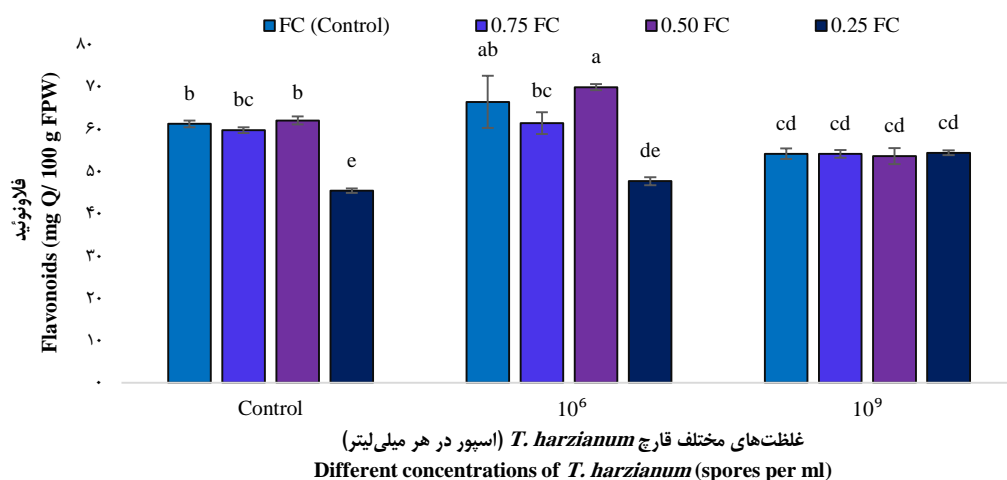
۴.۲. مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش کمبود آب و قارچ تریکودرما و برهم‌کنش آن‌ها

مقایسه میانگین اثر متقابل رطوبت خاک در قارچ تریکودرما نشان داد که در تنش متوسط کم‌آبی (۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) میزان فنل گیاهان ریحان تلقیح‌شده و تلقیح‌نشده با قارچ تریکودرما در مقایسه با ۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای افزایش یافت. همان‌طور که در شکل (۲) ملاحظه می‌شود بیش‌ترین و کم‌ترین میزان فنل کل به ترتیب به تیمار ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ تریکودرما در غلظت ۱۰^۶ (اسپور در هر میلی‌لیتر) (۷۴/۹۹ میلی‌گرم اسیدگالیک بر صد گرم وزن تر بوته) و تیمار ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای تیمار شاهد (۳۹۹/۹۶ میلی‌گرم گالیک‌اسید بر صد گرم وزن تر بوته) تعلق داشت.

مقایسه میانگین حاصل از برهم‌کنش رطوبت خاک در قارچ تریکودرما نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان فلاونوئید کل به ترتیب به تیمار ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ تریکودرما در غلظت ۱۰^۶ (اسپور در هر میلی‌لیتر) (۶۹/۸۹ میلی‌گرم کوئرستین بر ۱۰۰ گرم وزن تر بوته) و تیمار ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای در تیمار شاهد (۴۵/۴۱ میلی‌گرم کوئرستین بر ۱۰۰ گرم وزن تر بوته) تعلق داشت (شکل ۳).

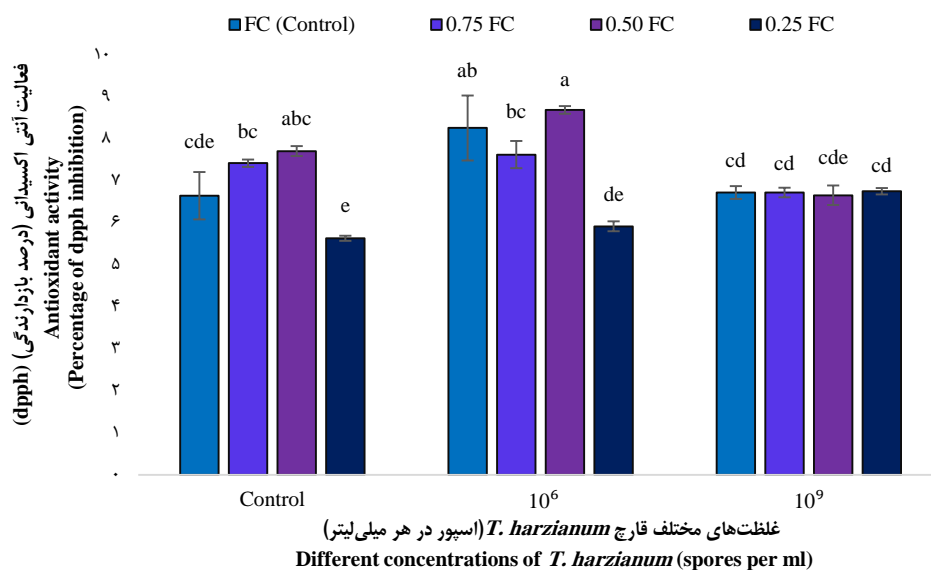


شکل ۲. تأثیر برهم‌کنش غلظت‌های مختلف *T. harzianum* در سطوح مختلف رطوبت خاک بر فنل کل ریحان شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (\pm SE) می‌باشد. تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.



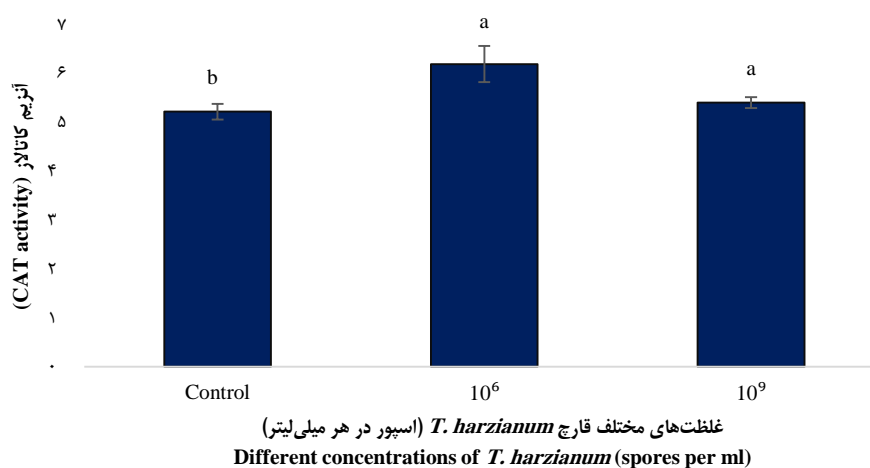
شکل ۳. تأثیر برهم‌کنش غلظت‌های مختلف *T. harzianum* در سطوح مختلف رطوبت خاک بر فلاونوئید کل ریحان. شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (\pm SE) می‌باشد. تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

مقایسه میانگین اثر متقابل رطوبت خاک در قارچ تریکودرما نشان داد که در تنش متوسط کم‌آبی (۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی گیاهان تلقیح‌شده با غلظت ۱۰^۶ تریکودرما و تلقیح‌نشده با قارچ تریکودرما هر دو افزایش یافت. همان‌طور که در شکل (۴) ملاحظه می‌شود بیش‌ترین و کم‌ترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی به ترتیب به تیمار ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ تریکودرما در غلظت ۱۰^۶ (اسپور در هر میلی‌لیتر) (۸/۶۹ درصد) و تیمار ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای در تیمار شاهد (۵/۶۳ درصد) تعلق داشت.



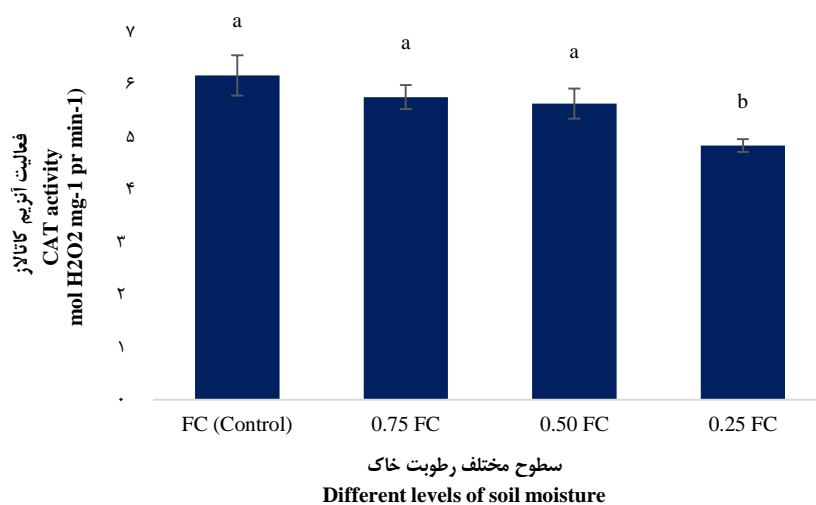
شکل ۴. تأثیر برهم‌کنش غلظت‌های مختلف *T. harzianum* در سطوح مختلف رطوبت خاک بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی ریحان. شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (\pm SE) می‌باشد. تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج‌درصد ندارند.

مقایسه میانگین حاصل از اثر قارچ تریکودرما بر آنزیم کاتالاز نشان داد که میزان آنزیم کاتالاز گیاهان ریحان تلقیح‌شده بیش‌تر از گیاهان تلقیح نشده بود. همان‌طور که در شکل (۵) ملاحظه می‌شود بیش‌ترین و کم‌ترین میزان آنزیم کاتالاز به‌ترتیب به تیمار گیاهان تلقیح‌شده با قارچ تریکودرما در غلظت 10^6 (اسپور در هر میلی‌لیتر) $6/2$ میکرومول پراکسید هیدروژن در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین و تیمار شاهد $5/22$ میکرومول پراکسید هیدروژن در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) تعلق داشت.



شکل ۵. تأثیر غلظت‌های مختلف قارچ *T. harzianum* بر آنزیم کاتالاز در ریحان. شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (\pm SE) می‌باشد. تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج‌درصد ندارند.

مقایسه میانگین حاصل از اثر سطوح مختلف رطوبت خاک بر آنزیم کاتالاز نشان داد که با افزایش تنش کمبود آب میزان آنزیم کاتالاز کاهش یافت، اما میزان کاهش این آنزیم در تنش ملایم و متوسط کم‌آبی در مقایسه با شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) اختلاف معنی‌داری نداشت. همان‌طور که در شکل (۶) ملاحظه می‌شود بیش‌ترین و کم‌ترین میزان آنزیم کاتالاز به ترتیب به تیمار شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای) (۶/۱۸ میکرومول پراکسید هیدروژن در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) و تیمار ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای (۴/۸۴ میکرومول پراکسید هیدروژن در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) تعلق داشت.

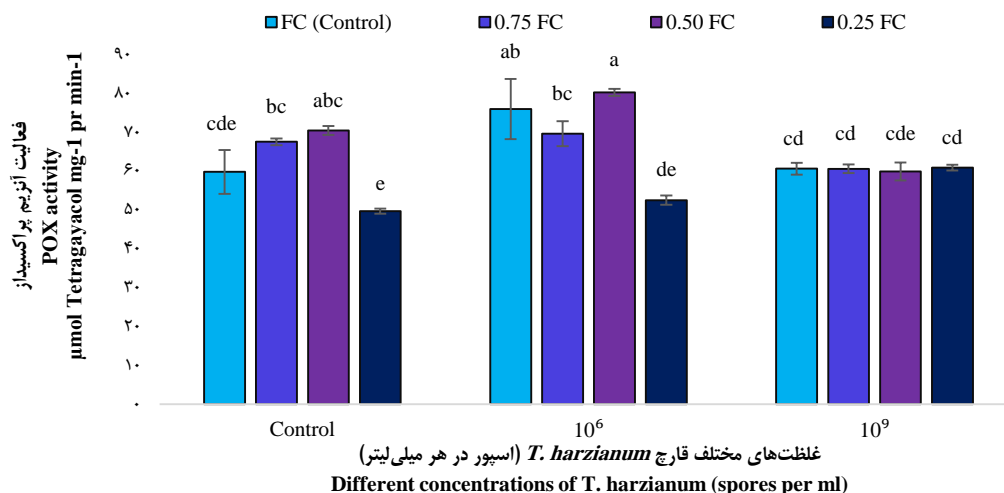


شکل ۶. تأثیر سطوح مختلف رطوبت خاک بر آنزیم کاتالاز در ریحان.

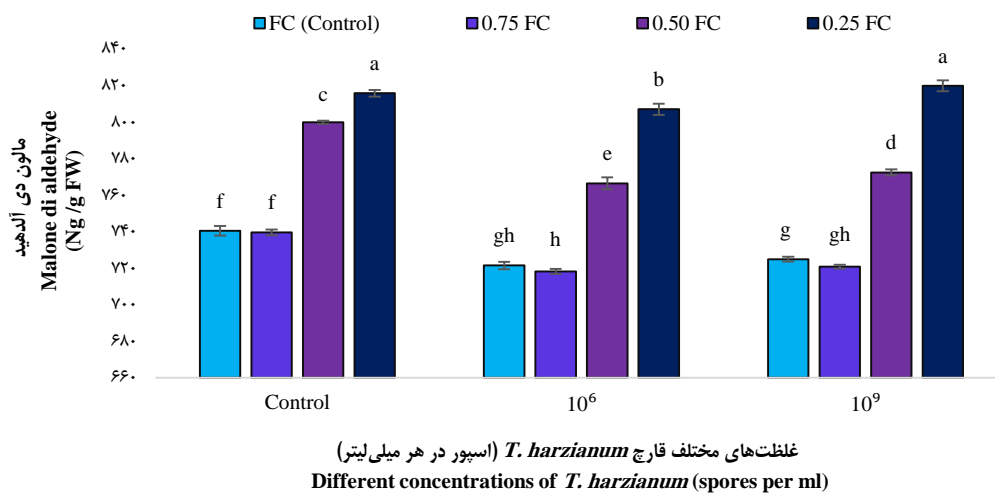
شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (\pm SE) می‌باشد. تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج‌درصد ندارند.

مقایسه میانگین اثر متقابل رطوبت خاک در قارچ تریکودرما نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین میزان آنزیم پراکسیداز به ترتیب به تیمار ۵۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ تریکودرما در غلظت ۱۰^۶ اسپور در هر میلی‌لیتر (۸۰/۲۲ میکرومول تتراگایاکول در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) و تیمار شاهد (بدون تلقیح) با سطح رطوبت خاک ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای (۷۱۸/۲۴ میکرومول تتراگایاکول در دقیقه در میلی‌گرم پروتئین) اختصاص داشت (شکل ۷). در پژوهش حاضر نیز در غلظت ۱۰^۶ تریکودرما و تنش متوسط کم‌آبی مقدار پراکسیداز افزایش داشته است.

مقایسه میانگین اثر متقابل رطوبت خاک در قارچ تریکودرما نشان داد که با اعمال تنش کمبود آب میزان مالون‌دی‌آلدهید گیاهان ریحان تلقیح‌شده و تلقیح‌نشده با قارچ تریکودرما افزایش یافت. در مجموع در سطوح مختلف رطوبت خاک میزان مالون‌دی‌آلدهید در گیاهان تلقیح‌شده کم‌تر از گیاهان تلقیح‌نشده بود. همان‌طور که در شکل (۸) ملاحظه می‌شود بیش‌ترین و کم‌ترین میزان مالون‌دی‌آلدهید به ترتیب به تیمار ۲۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای در گیاهان تلقیح‌شده با قارچ تریکودرما در غلظت ۱۰^۹ اسپور در هر میلی‌لیتر (۸۱۹/۷۴ نانوگرم بر گرم وزن تر بوته) و تیمار ۷۵ درصد ظرفیت مزرعه‌ای در گیاهان تلقیح‌شده با غلظت ۱۰^۶ اسپور در هر میلی‌لیتر (۷۱۸/۲۴ نانوگرم بر گرم وزن تر بوته) تعلق داشت.



شکل ۷. تأثیر برهم‌کنش غلظت‌های مختلف *T. harzianum* در سطوح مختلف رطوبت خاک بر آنزیم پراکسیداز در ریحان. شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (\pm SE) می‌باشد. تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج‌درصد ندارند.



شکل ۸. تأثیر برهم‌کنش غلظت‌های مختلف *T. harzianum* در سطوح مختلف رطوبت خاک بر مالون‌دی‌آلدئید در ریحان. شاخص بالای هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (\pm SE) می‌باشد. تیمارهای دارای حداقل یک حرف مشترک اختلاف معنی‌داری با یکدیگر در آزمون دانکن در سطح احتمال پنج‌درصد ندارند.

۵. بحث

باتوجه به نتایج پژوهش‌های انجام‌شده می‌توان دریافت که تنش آبی به‌دلیل کاهش جذب آب و عناصر غذایی گیاه و ایجاد اختلال در عمل روزنه‌ها و سیستم فتوسنتزی، موجب کاهش فنل گیاهان مختلف شده است و قارچ تریکودرما احتمالاً به‌دلیل افزایش جذب آب و مواد غذایی و انتقال بهتر این مواد در اندام گیاهی و همچنین افزایش فتوسنتز گیاه منجر به ساخته‌شدن مواد فتوسنتزی بیش‌تر گیاهان شده و موجب افزایش فنل در شرایط تنش متوسط کم‌آبی در گیاه ریحان شده است (Siddiqui *et al.*, 2010). نتایج نشان داد که در شرایط کمبود رطوبت خاک میزان فنل گیاه دارویی

آهار^۱ کاهش یافت، در حالی که همزیستی با قارچ میزان فنل کل را در شرایط کمبود آب افزایش داد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد (Heidari *et al.*, 2016).

فلاونوئیدها یکی از بزرگ‌ترین ترکیبات فنلی هستند که نقش مهمی در ایجاد مقاومت گیاهان در برابر تنش‌های اکسیداتیو ایفا می‌کنند. گیاهان با تولید فلاونوئیدها و تجمع آن‌ها در واکوئل سلول‌های لایه اپیدرمی برگ و ساقه می‌توانند باعث کاهش اثرهای تنش اکسیداتیو شوند. یکی از دلایل افزایش فلاونوئیدها، ایجاد محدودیت در انتقال الکترون فتوسنتزی طی تنش است که سبب ایجاد تغییرات متابولیک در گیاه از جمله منجر به القای تولید فلاونوئیدها برای تعدیل این وضعیت می‌شود. مسیر فنیل پروپانویید که مسئول ساخت ترکیبات فنلی مانند فلاونوئیدها و تانن‌هاست، در شرایط تنش القا می‌شود. این عمل از طریق آنزیم فنیل آلانین آمونیلایز صورت می‌گیرد (Singh *et al.*, 2015). کاربرد بازدارنده‌های سنتز فنیل آلانین آمونیلایز و مهار مسیر بیوسنتز فلاونوئید، باعث افزایش حساسیت گیاه نسبت به تنش می‌شود، در حالی که در شرایط تنش همزیستی با موجودات همزیست باعث افزایش فلاونوئیدها می‌شود (Siddiqui *et al.*, 2010). نتایج امیری دوماری (۱۳۹۵) نشان داد که تلقیح با قارچ تریکودرما میزان فلاونوئید را در شرایط تنش کم‌آبی در مقایسه با گیاهان تلقیح‌نشده (شاهد) به‌طور معنی‌داری افزایش داد. هنگامی که گیاهان در معرض تنش کم‌آبی قرار می‌گیرند سطوح انواع اکسیژن در آن‌ها افزایش می‌یابد و به دنبال آن بیان ژن‌های آنتی‌اکسیدانی و فعالیت آنتی‌اکسیدان‌ها برای حذف انواع اکسیژن فعال زیاد شده و سیستم دفاعی آنتی‌اکسیدانی بهبود یافته و باعث افزایش تحمل به تنش کم‌آبی در گیاه می‌گردد (امانی و همکاران، ۱۴۰۱). مشابه پژوهش حاضر، همزیستی با قارچ بر دانه‌های نارنج سه‌برگ^۲ است که بر رشد گیاه تأثیر مثبت داشته است و میزان اکسیژن‌های فعال را در ریشه و برگ گیاهان تلقیح‌شده نسبت به شاهد کاهش داده است. میزان آنتی‌اکسیدان‌های آنزیمی و غیر آنزیمی در گیاهان تلقیح‌شده افزایش معنی‌داری نشان داده است که همین موضوع آسیب‌های اکسیداتیو در این گیاهان را کاهش داده است (Wu & Xia, 2006). در پژوهش زارع مهرجردی و همکاران (۱۳۹۱)، با افزایش شدت تنش کم‌آبی، مقدار فعالیت آنتی‌اکسیدانی در گیاه نخود^۳ افزایش یافت. در حالی که در آزمایش دیگر با آغشته‌کردن بذور گیاه ذرت^۴ با قارچ تریکودرما، افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی را گزارش نمودند (مرزبان و همکاران، ۱۳۹۳) که نتایج این پژوهش‌ها، هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر می‌باشد. تغییر الگوی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مانند کاتالاز در ریشه‌های تلقیح‌شده با قارچ تریکودرما گزارش شده است و نشان می‌دهد که این ترکیبات در طی فرایند همزیستی با تریکودرما تولید می‌شوند (امانی و همکاران، ۱۴۰۱). آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان مهم‌ترین ترکیبات در جلوگیری از تنش اکسیداتیو در گیاهان می‌باشند. موضوع فوق براساس این واقعیت استوار است که عموماً فعالیت یک یا چند مورد از این آنزیم‌ها در گیاهان تحت تنش افزایش می‌یابد. افزایش فعالیت آنزیم کاتالاز در شرایط تنش به‌عنوان سیستم دفاعی شناخته شده است (امانی و همکاران، ۱۴۰۱). هم‌چنین در پژوهشی مشخص شد که آغشته‌کردن بذور با تریکودرما باعث افزایش آنتی‌اکسیدان‌ها گردیده و میزان گونه‌های فعال اکسیژن را کاهش می‌دهد و این همان خصوصیت القای مقاومتی است که توسط این آنتاگونیست اتفاق می‌افتد (Mastouri *et al.*, 2012).

همزیستی با تریکودرما باعث ایجاد مقاومت نسبی در برابر اثرات مخرب تنش کم‌آبی شد، به‌طوری‌که در شرایط تنش میزان مالون‌دی‌آلدهید توسط تلقیح قارچ‌ها کاهش یافته است که دلیل آن افزایش فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان و افزایش کارایی سیستم آنتی‌اکسیدانی گیاه ریحان در اثر همزیستی با قارچ تریکودرما می‌باشد. هرچند تاکنون مکانیسمی که طی آن قارچ‌های تریکودرما متابولیسم تولید گونه‌های اکسیژن فعال و آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان را تحت تأثیر قرار

1. *Zinnia elegans*
 2. *Poncirus trifoliolate*
 3. *Cicer arietinum*
 4. *Zea mays*

می‌دهند به‌وضوح شناخته نشده است، اما ممکن است این مسئله با بیان ژن‌های کدکننده تولید و فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان در ارتباط باشد که باعث جمع‌آوری بهتر انواع اکسیژن فعال و افزایش مقاومت گیاه به تنش کم‌آبی می‌شود (حبیبی و همکاران، ۱۳۹۱). نتایج یعقوبیان و همکاران (۱۳۹۲) نشان داد که اثر متقابل رطوبت و قارچ نیز در میزان مالون‌دی‌آلدهید معنی‌دار بود و افزایش تنش رطوبتی افزایش در میزان مالون‌دی‌آلدهید را دربرداشته است. *Zhu et al.* (2010) نیز کاهش میزان مالون‌دی‌آلدهید را در گیاهان تحت تنش توسط قارچ گزارش کرده‌اند و اظهار داشتند که میکوریزا می‌تواند پراکسیداسیون لیپیدهای غشا را کاهش دهد.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج حاصل از بررسی صفات فیزیولوژیکی نشان داد که قارچ تریکودرما باعث افزایش مقدار فنل و فلاونوئید کل، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، آنزیم کاتالاز و پراکسیداز و کاهش مالون‌دی‌آلدهید در گیاه ریحان شد. همچنین قارچ تریکودرما با غلظت 10^6 (اسپور در هر میلی‌لیتر) در اکثر صفات موردبررسی روی گیاه ریحان بهتر عمل کرده است. بنابراین می‌توان گفت قارچ تریکودرما توانایی بهتری جهت برقراری رابطه همزیستی با ریشه ریحان دارد. نتایج حاصل از بررسی فعالیت آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانی نشان داد که تنش کم‌آبی، قارچ تریکودرما و اثر متقابل قارچ و تنش کم‌آبی تأثیر معنی‌داری بر میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز ریحان داشتند. آنچه که از این بررسی برداشت می‌شود این است که همزیستی قارچ تریکودرما با گیاهان تحت شرایط تنش باعث بهبودی ویژگی‌های فیزیولوژیکی آن‌ها می‌شود. با توجه به این که این نتایج در شرایط گلخانه‌ای به‌دست آمده‌اند، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های بعدی این اثرات در مزرعه بررسی شوند تا در صورت تأیید نتایج، از قارچ تریکودرما برای افزایش کیفیت محصولات و به‌عنوان جایگزینی برای کودهای شیمیایی و همچنین بهبود شرایط تنش کم‌آبی استفاده شود.

۷. تشکر و قدردانی

از جناب آقای محمد پوراسمعیل و دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر به خاطر همکاری‌های صمیمانه‌شان، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

امانی، مینا؛ سبزی نوجه‌ده، محسن؛ علیزاده سالطه، سعیده؛ یونسی حمزه‌خانلو، مهدی؛ فرمانی، بیوک‌آقا؛ هانف هریس، ح؛ محمدیان، ش و پیرطریقت، س (۱۴۰۱). بهبود فعالیت‌های آنتی‌اکسیدانی گیاه دارویی ریحان تحت تأثیر گونه‌های مختلف قارچ میکوریزا در شرایط تنش کم‌آبی. نشریه علوم باغبانی، انتشار آنلاین. <https://doi.org/10.22067/jhs.2022.76064.1157>
امیری دوماری، زینب (۱۳۹۵). اثر قارچ تریکودرما (*Trichoderma harzianum*) بر بیان ژن RAS تحت تأثیر تنش خشکی در گیاهان بادرنجوبیه (*Melissa officinalis* L.) و بادرشوبیه (*Dracocephalum moldavica* L.). پایان‌نامه کارشناسی ارشد. به راهنمایی براتعلی فاخری. زابل: دانشگاه زابل، دانشکده کشاورزی، گروه باغبانی و فضای سبز.

حبیبی، داود؛ عروج‌نیا، س؛ فتح‌الله طالقانی، د؛ پاژکی، ع و داودی‌فرد، مهدی (۱۳۹۱). بررسی تغییرات آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانت و عملکرد در ژنوتیپ‌های مختلف چغندرقد تحت شرایط تنش خشکی. *مجله زراعت و اصلاح نباتات*، ۸ (۴)، ۶۳-۸۲. خوش‌منظر، الهه (۱۳۹۴). تأثیر جدایه‌های تریکودرما بر رشد و تحمل کم‌آبی گوجه‌فرنگی در یک خاک شن لومی. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد*، به راهنمایی ناصر علی‌اصغرزاد. تبریز: دانشگاه تبریز، دانشکده کشاورزی.

رحیمی، یوسف؛ طالی، علیرضا و رنجبر، مجتبی (۱۳۹۸). تغییرات بیوشیمیایی نعنای فلفلی (*Mentha piperita L.*) در شرایط خشکی. *علوم گیاهان زراعی ایران*، ۵۰ (۲)، ۵۹-۷۵.

زارع مهرجردی، محمد؛ باقری، عبدالرضا؛ بهرامی، احمدرضا؛ نباتی، جعفر و معصومی، علی (۱۳۹۱). تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات فتوسنتزی، ترکیبات فنلی و ظرفیت مهار رادیکال‌های فعال ژنوتیپ‌های مختلف نخود (*Cicer arietinum L.*) در محیط آبکشت. *علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای*، ۳ (۱۲)، <http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089082.1391.3.4.9.3>.

محسن‌زاده، فریبا؛ ظفری، دوست‌مراد و نوری صفا، بهاره (۱۳۹۵). سازش‌پذیری برخی از گونه‌های قارچ تریکودرما (*Trichoderma*) به آلودگی نفتی. *پژوهش‌های سلولی و مولکولی (مجله زیست‌شناسی ایران)*، ۲۹ (۳)، ۳۲۱-۳۳۰.

مرزبان، زهرا؛ عامریان، محمدرضا و ممرآبادی، مجتبی (۱۳۹۳). خصوصیات زراعی ذرت و لوبیا چشم‌بلبلی در پاسخ به مصرف قارچ میکوریزا و باکتری مزوریزوبیوم به صورت کشت مخلوط و خالص. *اکوفیزیولوژی گیاهان زراعی*، ۸ (۳۰)، ۱۶۵-۱۸۰.

یعقوبیان، یاسر؛ عالمی، سعید خلیل؛ پیردشتی، همت‌اله؛ محمدی گل‌تپه، ابراهیم؛ فیضی اصل، ولی و اسفندیاری، عزت‌اله (۱۳۹۲). اثر قارچ‌های *Glomus mosseae* و *Piriformospora indica* و سطوح مختلف مواد آلی بر روابط بین صفات مرتبط با عملکرد گندم. *تحقیقات غلات*، ۳ (۳)، ۲۱۱-۲۲۶.

References

- Ahmad, M., Zaffer, G., Razvi, S. M., Dar, Z. A., Mir, S. D., Bukhari, S. A., & Habib, M. (2014). Resilience of cereal crops to abiotic stress: A review. *African Journal of Biotechnology*, 13(29), 121-130.
- Amani, M., Sabzi Nojاده, M., Alizadeh-salteh, S., Younessi Hamzekhanlu, M., Farmani, B., Hatef Heris, H., Mohammadian, S., & Piretarighat, S. (2022). Improving the Antioxidant Activities of Basil (*Ocimum basilicum L.*) under the Influence of Different Species of Mycorrhiza under Water Stress. *Scientific Journal of Horticultural Sciences, Online publication*. <https://doi.org/10.22067/jhs.2022.76064.1157>. (In Persian).
- Amini, R., Ebrahimi, A., & Nasab, A. D. M. (2020). Moldavian balm (*Dracocephalum moldavica L.*) essential oil content and composition as affected by sustainable weed management treatments. *Industrial Crops and Products*, 150, 112416.
- Amir Domari, Z. (2016). Effect of *Trichoderma harzianum* on RAS gene expression under drought stress in *Melissa officinalis L.* and *Dracocephalum moldavica L.* *Master Thesis*. Under the supervision of Bratali Fakheri. Zabol: Zabol University, Department of Horticulture and Green Space Faculty of Agriculture. (In Persian).
- Asadzaman, M., Alam, M. J., & Islam, M. M. (2010). Effect of *Trichoderma* on seed germination and seedling parameters of chili. *Journal of Science Foundation*, 8(1-2), 141-150.
- Azarmi, R., Hajieghrari, B., & Giglou, A. (2011). Effect of *Trichoderma* isolates on tomato seedling growth response and nutrient uptake. *African Journal of Biotechnology*, 10(31), 5850-5855.
- Daszkowska-Golec, A., & Szarejko, I. (2013). Open or close the gate—stomata action under the control of phytohormones in drought stress conditions. *Frontiers in Plant Science*, 4, 138-145.
- Dehghan, G., & Khoshkam, Z. (2012). Tin (II)-quercetin complex: Synthesis, spectral characterization and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 131(2), 422-427.
- Du, G., Li, M., Ma, F., & Liang, D. (2009). Antioxidant capacity and the relationship with

- polyphenol and vitamin C in Actinidia fruits. *Food Chemistry*, 113(2), 557-562.
- Habibi, D., Ooroojnia, S., Fatollah Taleghani, D., Pazoki, A., & Davoodifard, M. (2013). Antioxidants and yield evaluation of sugar beet genotypes under drought stress. *Iranian Journal of Agronomy and Plant Breeding*, 8(4), 63-82. (In Persian).
- Haq, T. U., Ali, A., Nadeem, S., Maqbool, M. M., & Ibrahim, M. (2014). Performance of canola cultivars under drought stress induced by withholding irrigation at different growth stages. *Soil Environment*, 33(1), 43-50.
- Heidari, Z., Nazarideljou, M. J., Rezaie Danesh, Y., & Khezzinejad, N. (2016). Morphophysiological and biochemical responses of *Zinnia elegans* to different irrigation regimes in symbiosis with *Glomus mosseae*. *International Journal of Horticultural Science and Technology*, 3(1), 19-32.
- Khoshmanzar, E. (2015). Effects of Trichoderma isolates on tomato growth and tolerance to water deficit stress in a loamy sand soil. *Master Thesis*. Under the supervision of Nasser Ali Asghar Zad. Tabriz: Tabriz University, Faculty of Agriculture. (In Persian).
- Li, Y. T., Hwang, S. G., Huang, Y. M., & Huang, C. H. (2018). Effects of *Trichoderma asperellum* on nutrient uptake and Fusarium wilt of tomato. *Crop Protection*, 110, 275-282.
- Marzban, Z., Ameriyan, M., & Mamarabadi, M. (2014). Responses of Agronomic Characteristics of Maize and Cowpea to Mycorrhiza and Mesorhizobial Bacteria in Intercropping. *Journal of Crop Ecophysiology*, 8(30(2)), 165-180. (In Persian).
- Mastouri, F., Björkman, T., & Harman, G. E. (2012). *Trichoderma harzianum* enhances antioxidant defense of tomato seedlings and resistance to water deficit. *Molecular Plant-microbe Interactions*, 25(9), 1264-1271.
- Mohsenzadeh, F., Zafari, D., & Nouri Safa, B. (2016). Adaptation of some fungal species of Trichoderma to petroleum pollution. *Journal of Cellular and Molecular Research (Iranian Journal of Biology)*, 29(3), 321-330. (In Persian).
- Nugraha, A. T., Muawanah, A., Amilia, N., & Wulandari, M. (2022). The Total Phenolic, Total Flavonoid, and Brown Pigment in Honey before and After Heating. Elkawnie: *Journal of Islamic Science and Technology*, 8(1), 190-208.
- Nzanza, B., Marais, D., & Soundy, P. (2012). Yield and nutrient content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) as influenced by *Trichoderma harzianum* and *Glomus mosseae* inoculation. *Science Horticulture*. 144, 55-59.
- Rahimi, Y., Talei A., & Ranjbar, M. (2019). The effect of drought stress on biochemical changes of peppermint, *Iranian Journal of Crop Science*, 50(2), 59-75. (In Persian).
- Rahmatzadeh, S., & Kazemitabar, S. K. (2013). Biochemical and antioxidant changes in regenerated periwinkle plantlets due to mycorrhizal colonization during acclimatization. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 5(14), 1535-1540.
- Shukla, N., Awasthi, R. P., Rawat, L., & Kumar, J. (2012). Biochemical and physiological responses of rice (*Oryza sativa* L.) as influenced by *Trichoderma harzianum* under drought stress. *Plant Physiology and Biochemistry*, 54, 78-88.
- Siddiqui, M. H., Mohammad, F., Khan, M. N., Al-Whaibi, M. H., & Bahkali, A. H. (2010). Nitrogen in relation to photosynthetic capacity and accumulation of osmoprotectant and nutrients in Brassica genotypes grown under salt stress. *Agricultural Sciences in China*, 9(5), 671-680.
- Singh, R., Shushni, M. A., & Belkheir, A. (2015). Antibacterial and antioxidant activities of *Mentha piperita* L. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(3), 322-328.
- Subramanian, K. S., Santhanakrishnan, P., & Balasubramanian, P. (2006). Responses of field grown tomato plants to arbuscular mycorrhizal fungal colonization under varying intensities of drought stress. *Scientia Horticulturae*, 107(3), 245-253.
- Wu, Q. S., & Xia, R. X. (2006). Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth, osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions.

- Journal of Plant Physiology*, 163(4), 417-425.
- Yaghoubian, Y., Alamisaeid, K., Pirdashti, H., Mohammadi Goltapeh, E., Feiziasl, V., & Esfandiari, E. (2013). Effect of *Glomus Mosseae* and *Piriformospora Indica* and Different Levels of Organic Matter on the Relationships between Related Characters with Wheat Yield. *Cereal Research*, 3(3), 311-326. (In Persian).
- Zare Mehrjerdi, M., Bagheri, A., Bahrami, A., Nabati, J., & Massomi, A. (2013). Effect of drought stress on photosynthetic characteristics, phenolic compounds and radical scavenging activities in different chickpea (*Cicer arietinum* L.) genotypes in hydroponic conditions. *Science and Technology of Greenhouse Culture*, 3(12), 59-77. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089082.1391.3.4.9.3>. (In Persian).
- Zhang, Z., Huber, D. J., & Rao, J. (2013). Antioxidant systems of ripening avocado (*Persea americana* Mill.) fruit following treatment at the preclimacteric stage with aqueous 1-methylcyclopropene. *Postharvest Biology and Technology*, 76, 58-64.
- Zheng, X. L., Tian, S. P., Xu, Y., & Li, B. Q. (2005). Effects of exogenous oxalic acid on ripening and decay incidence in mango fruit during storage at controlled atmosphere. *Journal of Fruit Science*, 22(4), 351-355.
- Zhu, X., Song, F., & Xu, H. (2010). Influence of arbuscular mycorrhiza on lipid peroxidation and antioxidant enzyme activity of maize plants under temperature stress. *Mycorrhiza*, 20(5), 325-332.



The effect of drought and heavy metal stresses on growth characteristics, morphology and seed weight of quinoa plant

Fatemeh Mirzaei¹ | Mohammad Rafieiohossaini^{2✉} | Nafiseh Rangzan³ | Mehdi Amiryousofi⁴

1. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Chaharmahal and Bakhtiari, Iran. E-mail: mirzaei@stu.sku.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Chaharmahal and Bakhtiari, Iran. E-mail: rafiei@sku.ac.ir
3. Department of Soil Science and Engineering, Agricultural Sciences and Natural Resources University of Khuzestan, Khuzestan, Iran. E-mail: rangzan@asnruk.ac.ir
4. Department of Agronomy, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Chaharmahal and Bakhtiari, Iran. E-mail: amiryousefi@stu.sku.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 12 December 2022
Received in revised form
26 February 2023
Accepted 6 April 2023
Published online
20 September 2023

Keywords:

Cadmium
Osmotic stress
Plant height
Quinoa
Seed weight

ABSTRACT

Objective: Quinoa, with its high nutritional value, is highly resistant to a wide range of non-biological stresses. Despite the limited resources and the increasing demand for food products in lands with low or limited fertility, it can be cultivated well and produces a good product.

Methods: This experiment was conducted with the aim of investigating the simultaneous effect of drought stress and heavy metals on the quinoa plant, in a factorial format in a completely randomized design with 3 replications. The first component involved two levels of soil (contaminated and uncontaminated), and the second factor, three levels of drought stress (100% of field capacity 60% of field capacity, and 30% of field capacity).

Results: Interaction effect of soil type and drought stress was significant on all traits except the fresh weight of shoot and plant height. The lowest amount of fresh and dry weight of roots, dry weight of shoot and weight of thousand seeds was observed in contaminated soil with severe drought stress. Nevertheless, the weight of 1000 quinoa seeds under the influence of moderate drought stress was not significantly different from the condition without drought stress. Examining the simple effects showed that soil contamination with heavy metals caused a decrease of 13.7% in fresh weight of shoot and 30.5% decrease in dry weight of shoot compared to plants grown in uncontaminated soil.

Conclusion: In general, it can be stated that the increase in drought stress has significantly reduced root fresh weight and 1000 seed weight in quinoa, but the percentage and ratio of this reduction in soil contaminated with heavy metals was much higher than that of non-contaminated soil. According to the results of this research, the cultivation of quinoa can be investigated as a promising plant in soils with similar limitations.

Cite this article: Mirzaei, F., Rafieiohossaini, M., Rangzan, N., & Amiryousofi, M. (2023). The effect of drought and heavy metal stresses on growth characteristics, morphology and seed weight of quinoa plant. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 737-754. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.352391.2771>



اثر تنش‌های خشکی و فلزات سنگین بر ویژگی‌های رشد، مرفولوژی و وزن دانه گیاه کینوا

فاطمه میرزایی^۱ | محمد رفیعی‌الحسینی^۲ | نفیسه رنگ‌زن^۳ | مهدی امیریوسفی^۴

۱. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، چهارمحال و بختیاری، ایران. رایانامه: mirzaei@stu.sku.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، چهارمحال و بختیاری، ایران. رایانامه: rafiei@sku.ac.ir
۳. گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، خوزستان، ایران. رایانامه: rangzan@asnruk.ac.ir
۴. گروه زراعت، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، چهارمحال و بختیاری، ایران. رایانامه: amiryousefi@stu.sku.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: کینوا با ارزش غذایی بالا، در برابر طیف وسیعی از تنش‌های غیرزیستی نیز بسیار مقاوم است. با وجود محدودیت منابع و افزایش تقاضا برای محصولات غذایی، می‌توان کینوا را در اراضی با باروری کم یا محدود، به‌خوبی کشت کرد و محصول خوبی تولید کرد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۱	روش پژوهش: این آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار در یک گلخانه تحقیقاتی واقع در منطقه صنعتی شهر ماهشهر از توابع استان خوزستان انجام شد. فاکتور اول شامل نوع خاک در دو سطح (آلوده و غیرآلوده) و فاکتور دوم شامل تنش خشکی (رژیم‌های آبیاری) در سه سطح (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه (بدون تنش)، ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش متوسط) و ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه (تنش شدید)) بودند.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۱۲/۰۷	یافته‌ها: نتایج نشان داد اثر متقابل نوع خاک و تنش خشکی بر کلیه صفات به‌جز وزن تر اندام هوایی و ارتفاع بوته معنی‌دار بود که کم‌ترین مقدار وزن تر و خشک ریشه، وزن خشک اندام هوایی و وزن هزاردانه در خاک آلوده همراه با تنش خشکی شدید مشاهده شد. با این وجود وزن هزاردانه کینوا تحت تأثیر تنش خشکی متوسط، اختلاف معنی‌داری با شرایط بدون تنش خشکی نداشت. بررسی اثرات ساده نشان داد آلودگی خاک با فلزات سنگین موجب کاهش ۱۳/۷ درصد وزن تر اندام هوایی و کاهش ۳۰/۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی کینوا در مقایسه با گیاهانی که در خاک غیرآلوده رشد کرده‌اند، شده است.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۱۷	نتیجه‌گیری: به‌طور کلی می‌توان گفت افزایش تنش خشکی، وزن تر ریشه و وزن هزاردانه در کینوا را به‌طور قابل‌توجهی کاهش داده است، اما درصد و نسبت این کاهش در خاک آلوده به فلزات سنگین به مراتب بیش‌تر از خاک غیرآلوده بود. با توجه به نتایج این پژوهش، کشت گیاه کینوا به‌عنوان گیاهی امیدبخش در خاک‌های دارای محدودیت‌های مشابه قابل بررسی است.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹	
کلیدواژه‌ها: ارتفاع بوته تنش اسمزی کادمیم کینوا وزن دانه	

استناد: میرزایی، فاطمه؛ رفیعی‌الحسینی، محمد؛ رنگ‌زن، نفیسه؛ و امیریوسفی، مهدی (۱۴۰۲). اثر تنش‌های خشکی و فلزات سنگین بر ویژگی‌های رشد، مرفولوژی و وزن دانه گیاه کینوا. *بزرگای کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۷۵۴-۷۳۷. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.352391.2771>



۱. مقدمه

از جمله ارکان اصلی توسعه پایدار هر کشور، تأمین خوراک کافی با قیمت و کیفیت مناسب برای افراد آن جامعه است. در عصر حاضر محدودیت منابع تولید، افزایش روزافزون جمعیت و در نتیجه افزایش تقاضا برای محصولات غذایی ایجاب می‌کند، از منابع محدود و تجدیدناپذیر به‌نحو بهینه استفاده شود (Van Zanten *et al.*, 2019). این در حالی است که امروزه کشاورزی عمده‌ترین مصرف‌کننده منابع آب جهان و در نتیجه آسیب‌پذیرترین بخش از بحران کم‌آبی است. از این‌رو مهم‌ترین مشکلی که امنیت غذایی کشور و جهان را تهدید می‌کند، کمبود منابع آب مناسب است (سواری و همکاران، ۱۴۰۰). به‌نحوی که نیاز به غذای بیش‌تر و محدودیت منابع آب بشر را به سمت اعمال مدیریت کم‌آبایی سوق داده است. خشکسالی منابع آب و خاک روابط آبی خاک را تغییر می‌دهد، تعادل یونی را مختل و گونه‌های فعال اکسیژن (ROS) را تولید می‌کند، در نتیجه موجب آسیب رسیدن به بافت‌های گیاهی شده و تولید گیاهان را محدود می‌کند (Aslam *et al.*, 2020; Hosseinifard *et al.*, 2022).

علاوه بر این در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان که به کم‌آبی مبتلا هستند، مشکل آلودگی فلزات سنگین نیز وجود دارد. به همین دلیل در این مناطق گیاهان اغلب به‌طور هم‌زمان تحت تأثیر هر دو تنش فلزات سنگین و کم‌آبی قرار دارند (حسینی و همکاران، ۱۳۹۷). به عناصری که عدد اتمی آن‌ها بیش‌تر از ۲۰ و وزن مخصوص آن‌ها بیش‌تر از ۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب باشد، فلزات سنگین گفته می‌شود. از دلایل سمیت فلزات سنگین برای موجودات زنده به ایجاد تنش اکسیداتیو در نتیجه تحریک رادیکال‌های آزاد، اتصال به مولکول‌های آلی و تخریب آن‌ها، جایگزینی دیگر فلزات ضروری در رنگدانه‌ها یا آنزیم‌ها و تخریب کارکرد آن‌ها، اتصال به گروه‌های سولفیدریل در پروتئین‌ها و در نتیجه برهم زدن ساختار و کارکرد پروتئین‌ها اشاره شده است (Gavrilescu, 2022). به‌طوری که در چند دهه اخیر، آلودگی خاک با فلزات سنگین به‌دلیل پایداری بلندمدت و تأثیرات زیان‌بار بوم‌شناختی این عناصر، به یک بحران زیست‌محیطی تبدیل شده است. از این‌رو، معرفی گیاهان جدید و با پتانسیل عملکرد بالا که هم از نظر زراعی در شرایط تنش‌های محیطی عملکرد مناسبی داشته باشند و هم محصول تولیدی از کیفیت بالایی برخوردار باشد در دستور کار وزارت جهاد کشاورزی قرار گرفته است (حسینی و همکاران، ۱۳۹۷).

۲. پیشینه پژوهش

۲.۱. پیشینه نظری

کینوا با نام علمی *Chenopodium quinoa* Willd گیاهی یکساله و متعلق به خانواده اسفناجیان (*Chenopodiaceae*) است که از آمریکای لاتین منشأ گرفته و با وجود ارزش غذایی بالایی که دارد در شرایطی که زمین‌ها دارای حاصل‌خیزی کم و یا دارای محدودیت هستند به‌خوبی قابل کشت بوده و محصول مناسب تولید می‌کند. این گیاه مقاومت زیادی در برابر طیف گسترده‌ای از تنش‌های غیرزیستی مانند سرما، شوری و خشکی از خود نشان داده است (امیریوسفی و همکاران، ۱۴۰۱؛ Adolf *et al.*, 2013). کینوا به‌عنوان گیاهی مستعد و قابل توسعه و توصیه از نظر بوم‌شناختی (اکولوژیکی) مورد توجه ناسا قرار گرفته است، زیرا این گیاه CO₂ مزاد در اتمسفر و سفینه‌ها را جذب کرده و غذا اکسیژن و آب موردنیاز برای فضانوردان را در سفرهای درازمدت فضایی فراهم می‌کند (Aslam *et al.*, 2020). گیاه کینوا از طرف سازمان خواروبار جهانی (FAO)^۲ به‌عنوان یک راهبرد برای امنیت غذایی دنیا معرفی شده است که ضمن دارا بودن

۱. Reactive Oxygen Species

۲. Food and Agriculture Organization of the United Nations

پروتئین بالا نسبت به شرایط نامساعد محیطی متحمل بوده و امکان تولید اقتصادی در زمین‌های حاشیه‌ای را خواهد داشت. کینوا در بیش‌تر خاک‌ها از شنی تارسی با اسیدیته ۴/۵ تا ۹ و شوری متوسط می‌تواند رشد کند (Sezgin & Sanlier, 2019).

هرچند پژوهش‌ها در مورد میزان مقاومت کینوا به تنش فلزات سنگین بسیار محدود است، اما بنا به گزارش‌های این گیاه قابلیت تحمل به درجات بالای خشکی دارد (Cai & Gao, 2020). بنابراین می‌تواند در اکثر زمین‌های کم‌بازده که کم‌تر گیاه زراعی قابلیت تولید در این شرایط را دارد، به‌عنوان یک گیاه استراتژیک کشت شود. از طرفی با توجه به این‌که بخش عمده مساحت ایران از نظر اقلیمی جزو مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود، امکان استفاده از آب‌های لب‌شور بیش از پیش موردتوجه قرار گرفته است. بنابراین از آنجایی‌که بنا به گزارش‌ها، گیاهان نمک‌دوست (هالوفیت‌ها) توانایی استخراج فلزات سنگین را دارند و گزینه مناسب‌تری نسبت به گلیکوفیت‌ها برای گیاه پالایی هستند (Cao *et al.*, 2020)، تصفیه خاک‌های آلوده با استفاده از گیاهان هالوفیت (مانند کینوا) فرصتی را برای پاکسازی خاک‌ها و استفاده از آن‌ها برای تولید محصولات فراهم می‌کند.

۲.۲. پیشینه تجربی

در پژوهشی با بررسی اثر آسکوربیک‌اسید (ویتامین C) بر ویژگی‌های مورفولوژیک و متابولیت‌های اولیه و ثانویه در کینوا تحت سطوح مختلف تنش خشکی (رژیم‌های مختلف آبیاری شامل کنترل ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد ظرفیت زراعی) گزارش شد که در اثر تنش اسمزی جریان آب در اطراف سلول‌های در حال رشد کینوا کاهش می‌یابد و در نتیجه طول‌شدن این سلول‌ها متوقف می‌شود، در این شرایط ترشح هورمون سیتوکینین از ریشه کاهش یافته و از طریق کاهش تقسیم سلول‌ها، ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد، به‌نحوی‌که تنش اسمزی گسترش برگ، تولید خوشه، ارتفاع بوته و عملکرد کینوا را کاهش می‌دهد (Aziz *et al.*, 2020). هم‌چنین در معدود آزمایش‌هایی که اثر فلزات سنگین بر کینوا بررسی شده است. Bhargava *et al.* (2008) گونه‌های مختلف *Chenopodium* را تحت شرایط خاک فلزات سنگین مورد مطالعه قرار داده و گزارش کردند که کینوا در مقایسه با به‌گونه‌های دیگر خانواده *Chenopodiaceae*، مقادیر بیش‌تری از اکثر فلزات سنگین مانند روی، کروم، نیکل و کادمیم را در برگ‌های خود تجمع می‌دهند. مطالعه پاسخ فیزیولوژیکی کینوا به غلظت‌های مختلف کروم نیز نشان داد که برگ‌های مختلف "Regalona" تا ۱ میلی‌مولار کلرید کروم (III) را تحمل می‌کند، تجمع توکوفرول را فعال می‌سازد و محتوای آمینوترانسفراز تیروزین را افزایش می‌دهد. با این‌حال، بالاترین دوزهای ۵ میلی‌مولار کروم (III) باعث ایجاد تنش اکسیداتیو، تولید پراکسید هیدروژن زیاد و افزایش محتوای پرولین می‌شود. ارزیابی تأثیرپذیری ارتفاع بوته و شاخص سبزیگی برگ علف هرز سلمه‌تره (گیاه هم‌خانواده با کینوا) نیز از آلودگی خاک با عناصر کروم و کادمیم نشان داد که آلودگی کادمیم با غلظت ۲۵ و ۵۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک و آلودگی کروم با غلظت ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، علاوه بر کاهش شاخص سبزیگی برگ، باعث کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته گیاه سلمه‌تره گردید (محمودی و همکاران، ۱۳۹۴).

بنابراین در مجموع می‌توان گفت که پژوهش‌ها بر گیاهان زراعی به‌منظور تولید پایدار غذا در خاک‌های مناطق گرم و خشک، آن‌هم در شرایطی که آلودگی خاک به‌آرامی در حال گسترش است، کم‌تر موردتوجه بوده است. لذا برای پایداری تولید غذا در خاک‌های زراعی این مناطق، انجام پژوهش‌هایی پیرامون تأثیر فلزات سنگین بر گیاهان امیدبخش و متحمل به تنش اسمزی، ضروری به‌نظر می‌رسد. از طرفی با در نظر گرفتن این مطلب و با توجه به

مدل‌های کاهش رطوبت خاک‌ها در دهه‌های آینده، تشدید تنش کم‌آبی در اراضی کشاورزی امری محتمل است (Tagliotti *et al.*, 2021) و تنش کم‌آبی نیز به نوبه خود ضمن افزایش اسمولیت‌ها (Xu *et al.*, 2020)، منجر به افزایش غلظت بعضی کاتیون‌ها در گیاه برای تنظیم اسمزی می‌شود و از آنجایی که بنا به گزارش‌ها، کینوا به طیف گسترده‌ای از تنش‌های محیطی مقاوم است و پتانسیل بالایی در تأمین بخشی از زنجیره غذایی انسانی و دامی دارد (Sezgin & Sanlier, 2019)، در این پژوهش تأثیر فلزات سنگین کادمیم، سرب، مس و روی بر رشد و دانه این گیاه در شرایط تنش خشکی مورد مطالعه قرار گرفت.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در سال ۱۴۰۰ به صورت گلدانی در یک گلخانه تحقیقاتی واقع در منطقه صنعتی شهر ماهشهر از توابع استان خوزستان انجام شد. شهر ماهشهر با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۳ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی، براساس مقیاس طبقه‌بندی آب‌وهوایی کوبن دارای دارای آب و هوای نیمه‌خشک، گرم و خشک می‌باشد. پژوهش حاضر در قالب آزمایش فاکتوریل و بر پایه طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار اجرا شد که فاکتور اول شامل نوع خاک در دو سطح (آلوده و غیرآلوده) و فاکتور دوم شامل تنش خشکی (رژیم‌های آبیاری) در سه سطح (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه، ۶۰ درصد ظرفیت مزرعه و ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه) بودند (Aslam *et al.*, 2020). فلزات سنگین مورد ارزیابی در پژوهش حاضر شامل روی، مس، سرب و کادمیم بودند و میانگین درجه آلودگی برای تیمارهای حاوی خاک آلوده در آزمایش، حدود ۱۱ (درجه آلودگی خیلی زیاد) (Karimi *et al.*, 2022) مدنظر قرار گرفته شد. بر این اساس، برای تهیه نمونه خاکی با میزان آلودگی ذکر شده، از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری مزرعه دانشکده کشاورزی دانشگاه منابع طبیعی خوزستان نمونه‌برداری و پس از تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن (جدول ۱)، درون گلدان‌های ۳ کیلوگرمی قرار داده شد و با توجه به مقادیر اولیه فلزات موجود در خاک که در جدول (۲) نشان داده شده است، مقادیر عناصر روی، مس، سرب و کادمیم موجود در گلدان‌های حاوی تیمارهای خاک آلوده، با استفاده از نمک‌های نیتراته، به ترتیب به حدود ۸۰۰، ۵۰۰، ۲۰۰ و ۱۰ میلی‌گرم در کیلوگرم (Karimi *et al.*, 2022) رسانده شد. سپس خاک‌های آلوده تقریباً با رطوبت اشباع آبیاری و تا دو هفته رها شدند تا در حد امکان برهم‌کنش آلاینده‌های خاک تکوین پیدا کند. پس از آن در تاریخ ۲۰ دی‌ماه، تعداد ۱۰ عدد بذر کینوا رقم تیتیکاکا در هر گلدان در عمق دو سانتی‌متری خاک کاشته شد و پس از جوانه‌زدن بذرها، سه بوته سالم و قوی‌تر در هر گلدان برای ماندن انتخاب و بقیه بوته‌ها تنک گردیدند. رقم تیتیکاکا شش روز پس از کاشت و آبیاری بذور جوانه زد و ۱۶ روز پس از کاشت به مرحله سه‌برگی رسید. میزان ۵۰ درصد گلدهی آن حدود ۳۰ روز پس از کاشت و زمانی که ارتفاع گیاه ۲۵ سانتی‌متر بود رخ داد. گل‌آذین این رقم از نوع خوشه‌ای است. رسیدگی کامل خوشه‌های آن ۱۲۲ روز پس از کاشت بود. خوشه‌ها همگی قبل از رسیدن سبزرنگ و در زمان رسیدگی کامل، زردرنگ هستند.

لازم به ذکر و تأکید است که با توجه به این که یکی از اهداف اصلی در کشاورزی پایدار با محوریت اکولوژیکی، حفظ سلامت و پایداری محیط زیست است، نمونه‌های خاکی که به‌روش مصنوعی با فلزات سنگین آلوده شده بودند، پس از اتمام پژوهش، به طبیعت بازگردانده نشدند و جهت انجام پژوهش‌های آتی در زمینه آلودگی خاک، نشانه‌گذاری و در آزمایشگاه شیمی و آلودگی خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان نگهداری می‌گردند.

جدول ۱. مشخصات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

عمق نمونه (سانتی‌متر)	اسیدیته	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	نیتروژن کل (درصد)	مواد آلی شن (درصد)	سیلت (درصد)	رس (درصد)	بافت خاک	
۰-۳۰	۷/۳۷	۱/۴۷	۱۵۸/۹	۶/۴	۰/۲	۰/۵	۲۱/۵	۵۳/۲	۲۵/۳	لومی‌رسی

جدول ۲. مقادیر اولیه و مقادیر قابل استخراج فلزات سنگین موجود در خاک مورد آزمایش

نام فلز سنگین	مقادیر اولیه موجود در خاک آزمایش (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	مقادیر قابل استخراج DTPA (قابلیت بالای دسترسی زیستی) (میلی‌گرم بر کیلوگرم)
روی	۷۵/۹	۲۰/۴
مس	۲۰/۱	۱۵/۹
سرب	۷/۷۲	۳/۵۳
کادمیم	۰/۴۳	۰/۲

فاکتور تنش خشکی در سه سطح شاهد (۱۰۰ درصد ظرفیت مزرعه)، تنش متوسط خشکی (۶۰ درصد ظرفیت مزرعه) و تنش شدید خشکی (۳۰ درصد ظرفیت مزرعه)، از طریق محاسبه ظرفیت مزرعه^۱ به‌روش وزنی، اعمال شد. برای تعیین میزان رطوبت خاک در حد ظرفیت زراعی از معادله (۱) (احمدی‌آذر و همکاران، ۱۳۹۴)، استفاده شد و رطوبت ظرفیت مزرعه در خاک موردنظر برابر ۳۱ درصد وزنی برآورد شد.

میزان آب موردنیاز هر گلدان از روش توزین گلدان‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین و میانگین آن به‌عنوان آب مصرفی تیمارها استفاده شد. در طول دوره رشد، هر روز کلیه گلدان‌ها با توجه به تغییرات دمای گلخانه توزین و هر گلدان در وزن تیمار مربوطه ثابت نگه داشته شد (احمدی‌آذر و همکاران، ۱۳۹۴). به‌عبارت دیگر، اعمال تنش خشکی با استفاده از وزن کردن گلدان‌ها به‌طوری صورت گرفت که در ابتدای آزمایش تمام گلدان‌ها از وزن مساوی برخوردار بودند و در هر بار آبیاری بسته به نوع تیمار تنش، میزان آب موردنیاز براساس رابطه (۱) محاسبه و به هر گلدان اختصاص داده شد.

$$\text{رابطه (۱)} \quad \times 100 = \frac{(\text{وزن تر خاک} - \text{وزن خشک خاک})}{\text{وزن خشک خاک}} \times 100 = \text{درصد رطوبت در ظرفیت زراعی}$$

وزن تر اندام هوایی بوته‌های انتخاب‌شده، بلافاصله پس از برداشت توسط ترازوی دیجیتال و ارتفاع بوته به‌وسیله خط‌کش اندازه‌گیری شد. سپس اندام هوایی گیاه به‌مدت ۴۸ ساعت در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار گرفت و وزن خشک آن‌ها نیز اندازه‌گیری شد. همچنین ریشه‌ها تمیز و شسته شده و وزن تر آن‌ها توسط ترازو تعیین شد و سپس جهت تعیین وزن خشک، ریشه‌ها توسط چاقو ریز شده و در آون در دمای ۷۲ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۷۲ ساعت قرار گرفت (Khorshid et al., 2020). تعیین وزن دانه (بخش خوراکی) نیز با استفاده از ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۱ گرم، در مرحله قهوه‌ای شدن کامل خوشه و هنگامی که دانه سفت شده و به سختی توسط ناخن نصف می‌شد، صورت گرفت (Soleiman et al., 2020). داده‌های حاصل از این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه ۹/۴) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و مقایسه میانگین داده‌ها به‌روش LSD^۲ در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد. نگارش و رسم جدول‌های آماری با استفاده از برنامه‌های Word صورت پذیرفت. نمودارها نیز با استفاده از برنامه Excel رسم شدند.

۱. رطوبت ظرفیت زراعی مقدار رطوبتی است که یک خاک اشباع‌شده پس از خارج شدن آب ثقی در خود نگه می‌دارد.

۲. Least Significant Difference

۴. یافته‌های پژوهش

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که وزن تر ریشه در گیاه کینوا تحت تأثیر تیمارهای آلودگی خاک و سطوح مختلف تنش خشکی قرار گرفت، به طوری که اثر ساده این تیمارها در سطح احتمال یک درصد و اثر برهم‌کنش دوگانه این تیمارها در سطح احتمال پنج درصد بر این صفت معنی‌دار شد (جدول ۳). مقایسه میانگین اثر برهم‌کنش تیمارهای آلودگی خاک در تنش خشکی (شکل ۱) نشان داد که در هر دو تیمار خاک (خاک غیر آلوده و خاک آلوده)، با افزایش تنش خشکی، وزن تر ریشه در کینوا کاهش یافت، اما نکته قابل توجه این بود که در خاک‌های غیر آلوده، میزان کاهش وزن تر ریشه کینوا تحت تأثیر سطوح مختلف آبیاری از نظر آماری چشم‌گیر (معنی‌دار) نبوده است. در حالی که در خاک‌های آلوده، افزایش سطح خشکی موجب کاهش معنی‌دار وزن تر ریشه کینوا نسبت به سطح قبلی تنش شده است (شکل ۱). بیش‌ترین وزن تر ریشه کینوا در شرایط خاک غیر آلوده و عدم تنش خشکی (آبیاری معادل صد در صد ظرفیت زراعی) به دست آمد. به عبارت دیگر، آلودگی خاک به فلزات سنگین، میزان حساسیت ریشه کینوا را به سطوح مختلف تنش خشکی را افزایش داد و موجب کاهش بسیار زیاد در وزن تر آن شد.

جدول ۳. تجزیه واریانس وزن تر خشک ریشه و اندام هوایی، ارتفاع بوته و وزن هزاردانه کینوا در شرایط آلودگی خاک و تنش خشکی

منابع تغییرات	درجه آزادی	میانگین مربعات			
		وزن تر ریشه	وزن خشک ریشه	وزن تر اندام هوایی	وزن خشک اندام هوایی
آلودگی خاک (a)	۱	۴۷/۵۶۳**	۲/۸۵۶**	۳۳۳/۲۰۷**	۱۷۶/۶۵۱**
تنش خشکی (b)	۲	۱۲/۰۴۴**	۰/۶۶۸**	۴۱۲/۶۹۴**	۴۷/۹۶۶**
a×b	۲	۲/۹۲۵*	۰/۲۸۵**	۱۸/۴۷۲n.s	۵/۱۹۳**
خطای آزمایش	۱۲	۰/۴۱۲	۰/۰۳۷	۱۴/۴۱۰	۱/۵۷۰
ضریب تغییرات (درصد)	-	۷/۱۳	۸/۲۰	۶/۴۶	۶/۷۹
		۶/۴۲	۷/۱۲		

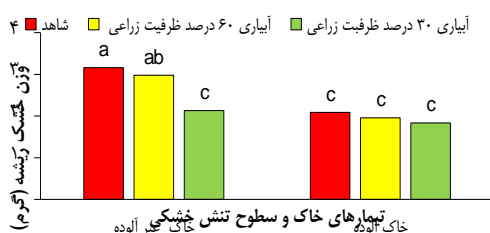
n.s. * و **: به ترتیب عدم اختلاف معنی‌دار و وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.



شکل ۱. اثر برهم‌کنش آلودگی خاک و تنش خشکی بر وزن تر ریشه کینوا

وزن خشک ریشه کینوا تحت تأثیر تیمارهای آزمایشی قرار گرفت و هر یک از اثرات ساده آلودگی خاک و تنش خشکی، هم‌چنین اثر برهم‌کنش دوگانه این تیمارها بر این صفت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۳). نکته قابل توجه این است که روند تأثیر خشکی بر وزن تر ریشه کینوا در خاک غیر آلوده و خاک آلوده کاملاً متفاوت بوده

است، به‌طوری‌که در خاک غیرآلوده وزن خشک ریشه تا سطح تنش متوسط خشکی (آبیاری معادل ۶۰ درصد ظرفیت زراعی)، از نظر آماری کاهش محسوسی نداشته است و پس از آن با افزایش تنش خشکی از سطح متوسط به سطح شدید (آبیاری معادل ۳۰ درصد ظرفیت زراعی)، حدود ۳۰ درصد کاهش یافته است (شکل ۲) که این یافته بیانگر مقاومت نسبی ریشه کینوا به شرایط تنش خشکی در محیط عاری از فلزات سنگین می‌باشد. مطابق با نتایج پژوهش حاضر، گزارش شده است که کینوا با افزایش بیش‌تر طول اندام زیرزمینی، آب و مواد غذایی را بهتر جذب می‌کند و به این طریق اثر تنش خشکی بر کاهش رشد و وزن خشک ریشه‌ها تا حدی تعدیل می‌کند (Tang et al., 2021)، اما آلودگی خاک با فلزات سنگین، وزن خشک ریشه کینوا را حتی در شرایط عدم وجود تنش خشکی (آبیاری معادل ۱۰۰ درصد ظرفیت زراعی)، به‌طور معنی‌داری در مقایسه با شرایط عدم وجود آلودگی فلزات سنگین در خاک غیرآلوده کاهش داده است (شکل ۲).

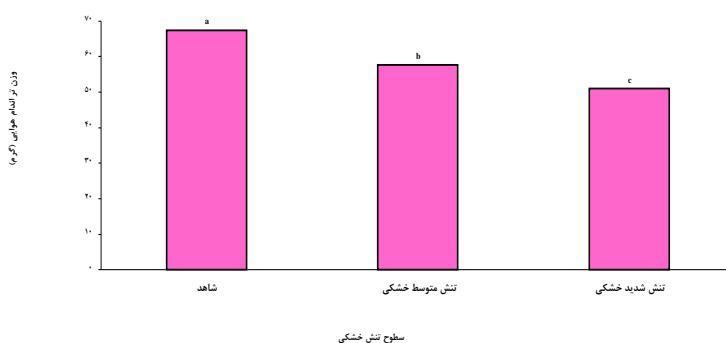
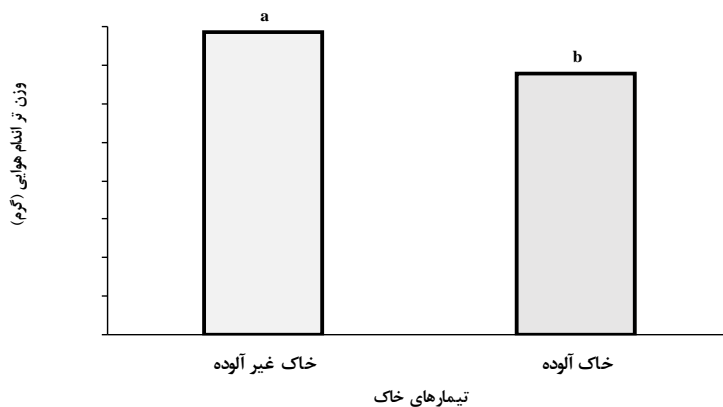


شکل ۲. اثر برهم‌کنش آلودگی خاک و تنش خشکی بر وزن خشک ریشه کینوا

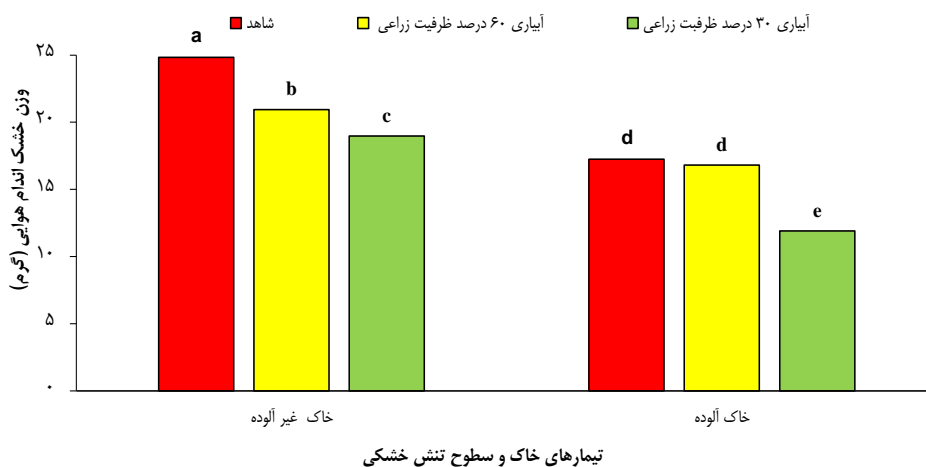
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آلودگی خاک و سطوح تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد بر وزن تر اندام هوایی کینوا معنی‌دار بود (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین اثر تیمارهای خاک نشان داد که آلودگی خاک با فلزات سنگین موجب کاهش ۱۳/۷ درصد از وزن تر اندام هوایی کینوا در مقایسه با گیاهانی که در خاک غیر آلوده رشد کرده‌اند، شده است (شکل ۳-الف). نتایج پژوهش حاضر هم‌چنین در مورد تأثیر تنش خشکی بر وزن تر اندام هوایی نشان داد که با افزایش سطوح تنش خشکی، وزن تر اندام‌هوائی به‌طور معنی‌داری در مقایسه با سطوح کم‌تر خشکی کاهش یافت (شکل ۳-ب).

اثرات ساده و برهم‌کنش تیمارهای آلودگی خاک و سطوح تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد بر وزن خشک اندام هوایی در کینوا معنی‌دار بود (جدول ۳). به‌طوری‌که در خاک غیر آلوده، افزایش تنش خشکی از سطح بدون تنش به سطح تنش متوسط، موجب کاهش حدود ۱۵/۷ درصدی و افزایش سطح خشکی از متوسط به خشکی شدید نیز موجب کاهش ۹/۴ درصدی در وزن خشک اندام هوایی کینوا شد (شکل ۴). درحالی‌که آلودگی خاک کاهش حدود ۳۰/۵ درصدی وزن خشک اندام هوایی کینوا را در شرایط بدون تنش خشکی در مقایسه با خاک غیر آلوده با تیمار آبیاری مشابه (عدم وجود تنش خشکی) در پی داشت. لازم به ذکر است که در سطح تنش متوسط خشکی وزن خشک اندام هوایی در کینوا از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با شرایط بدون تنش خشکی در خاک آلوده نداشت، اما با افزایش تنش به سطح تنش شدید، وزن خشک اندام هوایی این گیاه در خاک آلوده دوباره کاهش معنی‌داری را نشان داد (شکل ۴). بنابراین در

مجموع می‌توان گفت که افزایش تنش خشکی، وزن خشک اندام هوایی در کینوا را به‌طور قابل‌توجهی کاهش داده است، اما درصد و نسبت این کاهش در خاک آلوده به فلزات سنگین و در تنش خشکی شدید به‌طور معنی‌داری بیش‌تر از خاک غیرآلوده بود.

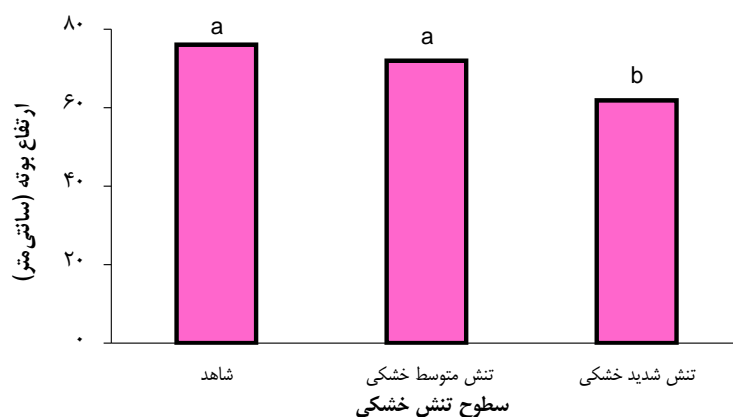


شکل ۳. (الف) و (ب) به‌ترتیب اثر آلودگی خاک و سطوح خشکی بر وزن تر اندام‌های هوایی کینوا



شکل ۴. اثر برهم‌کنش آلودگی خاک و تنش خشکی بر وزن خشک اندام‌های هوایی کینوا

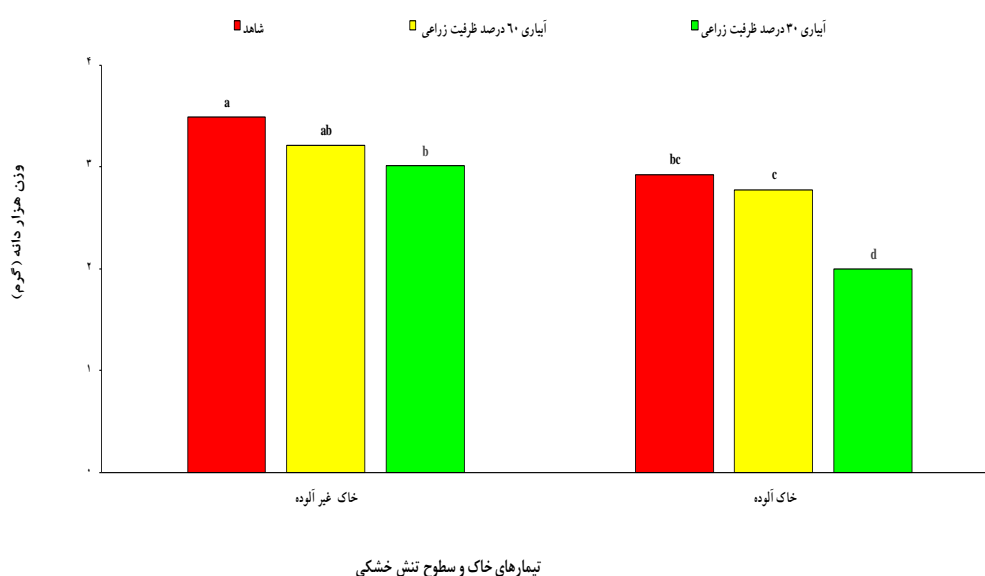
نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر آلودگی خاک و تنش خشکی در سطح احتمال یک درصد بر ارتفاع بوته کینوا معنی‌دار بود، اما اثر متقابل این تیمارها بر این صفت معنی‌دار نگردید (جدول ۳). نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تیمار آلودگی خاک با فلزات سنگین موجب کاهش ۱۰/۲ درصد از ارتفاع بوته کینوا در مقایسه با رشد این گیاه در شرایط خاک غیرآلوده شده است (شکل ۵-الف). نتایج پژوهش حاضر هم‌چنین نشان داد که تنش متوسط خشکی موجب تغییر معنی‌داری در ارتفاع بوته کینوا در مقایسه با شرایط بدون تنش اسمزی نشده است اما با افزایش خشکی به‌سطح تنش شدید، میزان ارتفاع بوته در کینوا ۱۸/۶ درصد در مقایسه با تیمار شاهد خشکی کاهش یافت که این مقدار از نظر آماری نیز معنی‌دار بود (شکل ۵-ب). به‌عبارت دیگر، نتایج نشان داده است که کینوا تا سطح تنش متوسط خشکی به کاهش ارتفاع بوته مقاوم بوده اما در سطح تنش شدید خشکی ارتفاع بوته این گیاه کاهش معنی‌داری را تجربه کرده است.



شکل ۵. اثر آلودگی خاک. (الف) و سطوح خشکی، (ب) بر ارتفاع بوته کینوا

براساس نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۳)، مشخص شد که وزن هزاردانه در کینوا به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر تیمارهای آلودگی خاک و سطوح خشکی قرار گرفته است. به‌طوری‌که اثرات ساده این تیمارها در سطح احتمال یک درصد و اثر برهم‌کنش آن‌ها در سطح احتمال پنج درصد بر وزن دانه کینوا معنی‌دار بوده است. نکته قابل‌توجه این بود که هم در خاک غیرآلوده و هم در خاک آلوده، وزن دانه کینوا تحت تأثیر تنش خشکی متوسط،

اختلاف معنی‌داری با شرایط بدون تنش خشکی نداشت و پس از آن با افزایش خشکی به سطح تنش شدید، وزن هزاردانه کینوا در مقایسه با شرایط عدم وجود تنش خشکی در هر دو تیمار خاک غیرآلوده و آلوده، به‌طور معنی‌داری کاهش یافت که البته درصد کاهش وزن دانه کینوا تحت تأثیر تیمار تنش شدید خشکی، در خاک آلوده به مراتب بیش‌تر از خاک غیرآلوده بوده است. به‌طوری‌که در مجموع بیش‌ترین وزن هزاردانه کینوا (۳/۴۸ گرم) در شرایط خاک غیرآلوده و تیمار عدم وجود تنش خشکی (شاهد خشکی) و کم‌ترین مقدار وزن هزاردانه این گیاه (۲ گرم) نیز در شرایط خاک آلوده با تیمار تنش شدید خشکی مشاهده شد (شکل ۶). بنابراین نتایج پژوهش حاضر نشانگر حساسیت وزن هزاردانه کینوا به آلودگی خاک با فلزات سنگین و در عین حال مقاومت نسبی این گیاه به کاهش وزن هزاردانه خود در شرایط تنش متوسط خشکی بوده است.



شکل ۶. اثر برهم‌کنش آلودگی خاک و تنش خشکی بر وزن هزاردانه کینوا

۵. بحث

نتایج مطالعات انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد که فشار ریشه‌ای گیاهان زراعی بین ۰/۲۴ تا ۱/۴۵ مگاپاسکال است و چنانچه فشار ریشه‌ای گیاه کم‌تر از مقاومت مکانیکی خاک باشد، جذب آب و مواد غذایی توسط ریشه کاهش یافته و این موضوع کاهش وزن تر ریشه را به‌همراه دارد (Hinojosa *et al.*, 2018). بر این اساس کاهش وزن تر ریشه تحت تأثیر تنش خشکی، به افزایش مقاومت مکانیکی خاک و کاهش هدایت هیدرولیکی گیاه در شرایط تنش نسبت داده شده است (Podar & Frans, 2021). بنابراین بخشی از کاهش شدید وزن تر ریشه کینوا تحت تأثیر تنش هم‌زمان خشکی و فلزات سنگین در این مطالعه می‌تواند به دلیل افزایش مقاومت مکانیکی خاک به‌ویژه در خاک‌های آلوده به فلزات سنگین باشد.

ریشه‌ها به‌عنوان سطوح اصلی جذب‌کننده آب و مواد غذایی تأثیر بسیار زیادی در جذب آب و املاح گوناگون دارند. بنابراین عوامل مختلف محیطی از طریق تأثیر بر ریشه، رشد گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Du *et al.*, 2020). تنش

فلزات سنگین از جمله مهم‌ترین عوامل محیطی محدودکننده رشد ریشه گزارش شده است که از طریق کاهش سطح و قدرت جذب آب، وزن ریشه و رشد گیاه را کاهش می‌دهند (Aghili *et al.*, 2009). از طرفی عدم توسعه و گسترش مناسب سیستم ریشه‌ای باعث تغییر در ساختار غشای سلولی و کاهش محتوای آب می‌شود که این امر فرایندهای فیزیولوژیکی مانند تعرق، تنفس و فتوسنتز اثر گذاشته و در نهایت موجب کاهش وزن تر ریشه می‌شود (Hassan *et al.*, 2021). بنابراین در مجموع به نظر می‌رسد که برهم‌کنش تنش خشکی و فلزات سنگین موجب افزایش مقاومت مکانیکی خاک و تضعیف سیستم ریشه‌ای کینوا شده و این عوامل از طریق کاهش قدرت جذب آب، منجر به کاهش وزن تر ریشه در این گیاه شده‌اند.

Aslam *et al.* (2020) با بررسی اثر سطوح خشکی بر مرحله رشد گیاهچه‌ای کینوا گزارش کردند که در شرایط تنش اسمزی، دسترسی بذر به رطوبت کاهش می‌یابد و در نتیجه عمل هیدرولیز مواد ذخیره‌ای، جهت تولید بافت‌های گیاهچه‌ای با مشکل مواجه شده و وزن خشک ریشه این گیاه کاهش می‌یابد. Du *et al.* (2020) نیز نشان دادند که کینوا در شرایط تنش خشکی تولید ریشه‌چه‌های ظریف و نازک و البته طویل می‌کند. این پژوهش‌گران گزارش کردند که افزایش طول ریشه‌چه در گیاه کینوا تحت شرایط تنش اسمزی، موجب تأمین آب توسط بخش وسیع‌تری از اندام زیرزمینی برای اندام هوایی و در نتیجه تحمل بیش‌تر خشکی و کاهش اثرات تنش بر وزن خشک این گیاه می‌شود. در مورد اثر فلزات سنگین بر ریشه گیاهان زراعی گزارش شده است که از دیدگاه فیزیولوژی، فلزات سنگین از تقسیم سلول‌های منطقه مرستمی و هم‌چنین رشد طولی سلول‌های ریشه جلوگیری می‌کنند که این امر موجب کاهش وزن خشک ریشه می‌شود (Bhat *et al.*, 2019). از طرف دیگر، گزارش شده است که غلظت بالای فلزات سنگین در محیط ریشه، باعث تمایز زودرس و چوبی شدن دیواره‌های سلولی واقع در منطقه رشد طولی ریشه می‌شوند و از این طریق حجم و طول ریشه را به شدت کاهش می‌دهند (AbdElgawad *et al.*, 2020). در پژوهش حاضر نیز به نظر می‌رسد وجود هم‌زمان آلودگی خاک و خشکی به‌عنوان دو عامل تنش‌زا در محیط رشد ریشه، باعث زودرسی در این گیاه شده است و این عوامل وزن خشک ریشه را به شدت کاهش داده‌اند.

اساساً وزن تر، به‌عنوان نماد عملکرد رشد گیاهی در نظر گرفته می‌شود و هر عاملی که به نوعی اثر مهاری بر رشد داشته باشد، باعث کاهش وزن گیاه می‌شود (Tagliotti *et al.*, 2021). فلزات سنگین با اثر منفی بر رشد و فتوسنتز به‌طور غیرمستقیم بیوماس گیاهی را تحت تأثیر قرار می‌دهند (AbdElgawad *et al.*, 2020). علت اصلی کاهش در وزن اندام هوایی گیاهان تحت تأثیر آلودگی خاک با فلزات سنگین، کاهش رشد ریشه در نتیجه عدم توسعه مناسب سلول‌های ریشه و در نتیجه کاهش انتقال آب و مواد غذایی به بخش‌های هوایی گیاه گزارش شده است (Bhat *et al.*, 2019). علاوه بر این، انتقال فلزات سنگین به بخش‌های هوایی گیاه با اثر منفی بر متابولیسم سلولی اندام‌های هوایی، منجر به کاهش وزن تر گیاه خواهد شد. کاهش وزن تر اندام هوایی گیاه می‌تواند به مهار جذب آب توسط ریشه و انتقال آن به بخش‌های هوایی در اثر سمیت فلزات سنگین نیز مرتبط باشد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۷). از طرفی فلزات سنگین با مداخله در فرایندهای متابولیکی گیاهان می‌تواند باعث مهار مسیرهای آنابولیسم و تولید زیست‌توده گیاه شود (AbdElgawad *et al.*, 2020).

براساس نتایج مطالعات انجام‌شده درباره تأثیر تنش خشکی بر خصوصیات ریخت‌شناسی و فیزیولوژیکی محصولات مختلف کشاورزی دو عامل کاهش سطح برگ و افزایش نسبت ریشه به ساقه را می‌توان از واکنش‌های مهم گیاه به تنش خشکی دانست، به‌طوری‌که در شرایط کمبود آب، ریشه گیاه به‌منظور یافتن آب بیش‌تر دچار کشیدگی سلولی شده و در عمق خاک نفوذ پیدا خواهد کرد (Lukic *et al.*, 2020). اما در نهایت جذب آب ناکافی و عدم انتقال آب و مواد غذایی

به بخش‌های هوایی گیاه به میزان لازم، موجب کاهش سطح برگ و رشد محدود بخش‌های هوایی گیاه خواهد شد و سرانجام این شرایط کاهش وزن اندام هوایی را در بر خواهد داشت (Hinojosa et al., 2018). در پژوهش حاضر نیز به نظر می‌رسد آلودگی خاک با فلزات سنگین و تنش خشکی موجب کاهش جذب آب و مواد غذایی از ریشه و در نتیجه محدودیت انتقال آب به اندام هوایی کینوا شده‌اند و وزن تر اندام هوایی این گیاه را به‌طور معنی‌داری کاهش داده‌اند.

هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر، تأیید حساس‌بودن برگ و اندام هوایی به کاهش رطوبت خاک در کینوا صورت گرفته است، به‌طوری‌که بنا به گزارش Alandia et al. (2016) در شرایط تنش خشکی، ضعیف شدن سیستم ریشه‌ای در کینوا در نهایت منجر به کاهش سطح، تعداد برگ و همچنین کاهش وزن اندام هوایی در این گیاه شده است. به‌طور کلی محدود شدن سطح برگ و کاهش قطر ساقه در گیاهان زراعی تحت تأثیر تنش خشکی به کاهش تقسیم و توسعه سلولی نسبت داده شده است (Du et al., 2018). در نتیجه رکود پتانسیل آبی خاک، به‌عنوان علت اصلی روند نزولی تولید در برگ و کاهش وزن خشک اندام هوایی معرفی شده است. همچنین گزارش شده است که با افزایش خشکی در گیاهی مانند کینوا که به تنش اسمزی مقاوم است، از رشد اندام‌های هوایی و زیرزمینی کاسته می‌شود، اما رشد اندام‌های زیرزمینی کمتر از رشد اندام‌های هوایی کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر، در این گیاهان تحت شرایط تنش خشکی، اختصاص کربوهیدرات‌ها به ریشه نسبت به ساقه اولویت دارد و به همین دلیل وزن ماده خشک به نسبت بیش‌تری کاهش می‌یابد (Hinojosa et al., 2018).

از طرفی بنا به گزارش‌های پژوهش‌گران، آلودگی خاک با فلزات سنگین، پتانسیل جذب آب توسط ریشه گیاه را به‌ویژه در شرایط تنش خشکی، با شدت بیش‌تری کاهش می‌دهد (Bilal et al., 2018). در مورد تأثیر تجمع فلزات سنگین در محیط رشد گیاه گزارش شده است که فلزات سنگین باعث بازدارندگی رشد ساقه و ریشه شده و با از بین بردن ساختار بهینه گرانا موجب کاهش سنتز کلروفیل و اختلال در جذب عناصر غذایی، تنفس و فتوسنتز، روابط آبی گیاه و در نهایت باعث کاهش تجمع ماده خشک در گیاه می‌شود (AbdElgawad et al., 2020). در پژوهش حاضر نیز احتمالاً تنش هم‌زمان فلزات سنگین و خشکی، از طریق کاهش پتانسیل آب در خاک موجب محدود شدن توسعه سلول‌های ریشه کینوا شده و کاهش انتقال آب به اندام هوایی، رشد ساقه، میزان فتوسنتز و در نتیجه تولید ماده خشک را در این گیاه کاهش داده است.

کوتاه‌فقدی از نشانه‌های اصلی مسمومیت گیاه به‌وسیله فلزات سنگین گزارش شده است. به‌طوری‌که در خاک‌های کشاورزی حاوی غلظت‌های بسیار زیاد عناصر سنگین، رشد گیاهان زراعی به‌شدت کاهش می‌یابد و گیاهان کوتاه‌قدتر و همچنین دارای ریشه‌های کوتاه و قهوه‌ای رنگ می‌شوند که در نهایت ممکن است به مرگ گیاه منجر شود (Tang et al., 2019). بررسی‌ها نشان می‌دهد که فلزات سنگین با اثرگذاری منفی بر تقسیم و رشد سلول‌ها، تقسیم سلولی منطقه مرستمی و تنظیم رشدونمو گیاهان، باعث کاهش تعداد گره‌ها و فاصله بین آن‌ها می‌شوند و به‌دنبال آن ارتفاع گیاه کاهش می‌یابد (AbdElgawad et al., 2020). بر این اساس نشان داده شده است که تجمع فلزات سنگین در گیاه موجب کاهش فعالیت هورمون سیتوکنین می‌شود که تأثیر به‌سزایی در تکثیر سلول و رشد طولی گیاه دارد. همچنین گزارش شده است که وقتی فلزات سنگین به قسمت هوایی گیاه منتقل می‌شوند، باعث اختلال در متابولیسم سلول و کاهش ارتفاع بوته می‌گردند (Sharma, 2021). کاهش رشد ارتفاع بوته تحت تأثیر وجود فلزات سنگین در گیاه، به از بین رفتن آماس سلول و کاهش در فعالیت‌های میتوزی و یا مهار طولی شدن سلول نیز نسبت داده شده است و گزارش شده که وجود فلزات سنگین در سلول‌های گیاهی می‌تواند دیواره سلولی و به‌ویژه لایه میانی دیواره سلولی را که در تقسیم‌شدن سلول نقش دارد، تحت تأثیر قرار دهد (Tang et al., 2019).

Stoleru *et al.* (2019) با بررسی اثر تنش اسمزی ناشی از نمک طعام بر جوانه‌زنی و رشد ارقام کینوا اظهار کردند که در شرایط تنش شدید اسمزی، ارتفاع گیاه در ارقام متحمل کینوا با کاهش کمتری مواجه می‌شود. Cai *et al.* (2020) نیز گزارش کردند که در شرایط تنش، میزان تجمع ماده خشک در بافت گیاهچه اکثر ارقام کینوا افزایش می‌یابد که این امر را دلیل بر مقاومت نسبی این گیاه به تنش خشکی معرفی کردند. این پژوهش‌گران هم‌چنین اظهار کردند، ارقامی که بتوانند در شرایط تنش رطوبتی طول ساقه خود را افزایش دهند یا افت طول ساقه در آن‌ها با افزایش تنش کم باشد، احتمالاً ارقام متحمل‌تری در برابر تنش اسمزی به‌شمار می‌آیند. با توجه به مطالب ذکرشده در مجموع به‌نظر می‌رسد سطح متوسط خشکی برای گیاه کینوا از نظر حفظ ارتفاع بوته قابل‌تحمل بوده است و تنش آلودگی با فلزات سنگین با تأثیر منفی بر آماس سلولی و هم‌چنین جلوگیری از طول‌شدن سلول‌های ساقه، تأثیر شدیدی بر کاهش ارتفاع بوته در کینوا داشته است.

همراستا با نتایج پژوهش حاضر، Cocozza *et al.* (2013) نیز مقاومت نسبی کینوا به کاهش وزن هزاردانه، تحت تأثیر سطوح ملایم تنش خشکی را گزارش کرده‌اند. این پژوهش‌گران هم‌چنین کاهش عملکرد کینوا در اثر سطوح بالای تنش خشکی را به کاهش تعداد و وزن دانه کینوا در شرایط تنش شدید اسمزی نسبت داده و این موضوع را با مرگ‌ومیر دانه‌های گرده، در اثر افزایش آبیسیک‌اسید در ارتباط دانسته‌اند. در پژوهشی دیگر، علت کاهش تعداد و وزن دانه در کینوا تحت شرایط تنش خشکی، کاهش منابع غذایی قابل دسترس برای کینوا و درنهایت کاهش تولیدات فتوسنتزی این گیاه در سطوح بالای خشکی بیان شده است (Gamez *et al.*, 2020). به‌طورکلی کاهش وزن دانه و تعداد دانه در واحد سطح تحت تأثیر تنش کم‌آبی در گیاه کینوا، نوعی مکانیسم سازگاری معرفی شده است که در جهت تنظیم تعداد مقصدهای فیزیولوژیکی با میزان تولید مواد پرورده رخ می‌دهد (Cocozza *et al.*, 2013).

در مورد تأثیر تنش فلزات سنگین بر وزن دانه گیاهان زراعی نیز گزارش شده است که وجود این عناصر در بافت‌های گیاهی، از طریق جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های مؤثر در بیوسنتز کلروفیل، موجب کاهش سنتز کلروفیل می‌گردند و با ایجاد اختلال در فعالیت آنزیم‌های مؤثر در چرخه تثبیت دی‌اکسیدکربن، اثر مخرب بر واکنش‌های وابسته به نور و مستقل از نور و ممانعت از فعالیت آنزیم رویسکو، تثبیت دی‌اکسیدکربن و فتوسنتز را در گیاه کاهش می‌دهند (Taie *et al.*, 2019). این عوامل در مجموع باعث کاهش تولید ماده پرورده، اختلال در روند پرشدن دانه و درنتیجه عدم توسعه مناسب دانه‌ها و کاهش وزن آن‌ها می‌شود (Soliman *et al.*, 2020). بنابراین در مجموع به‌نظر می‌رسد که در پژوهش حاضر نیز وجود هم‌زمان تنش شدید خشکی و آلودگی خاک با فلزات سنگین از طریق ایجاد اختلال در تولید مواد پرورده و اختصاص مناسب آن به دانه، موجب کاهش وزن هزاردانه در گیاه کینوا شده است.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج این پژوهش نشان داد که اکثر ویژگی‌های رشدی و هم‌چنین وزن هزاردانه کینوا که نمودی از عملکرد گیاه است، در خاک غیرآلوده، تحت تنش متوسط خشکی (آبیاری معادل ۶۰ درصد ظرفیت زراعی مزرعه)، تفاوت معنی‌داری با شرایط بدون تنش خشکی نداشت. بنابراین، در راستای دستیابی به اهداف کشاورزی پایدار، می‌توان در شرایط کمبود آب، از طریق زراعت کینوا به‌روش کم‌آبیاری اقدام به تولید غذای مناسب و با کیفیت نمود. نتایج هم‌چنین نشان داد که گیاه کینوا در یک خاک دارای آلودگی شدید از نظر فلزات سنگین توانسته، حتی تحت تنش خشکی شدید (تیمار آبیاری ۳۰ درصد ظرفیت مزرعه) نیز دوره رشد خود را کامل کرده و تولید بذر کند. مجموع این عوامل نشان می‌دهد که گیاه کینوا تاب‌آوری بالایی به شرایط تنش‌های شدید و هم‌زمان محیطی دارد. در مجموع، نتایج این بررسی نشان داد که با وجود آن‌که تنش هم‌زمان فلزات سنگین و خشکی

تأثیر منفی بر ویژگی‌های مرفولوژی، رشدی و وزن دانه کینوا داشت، اما با توجه به این که وزن دانه به‌عنوان شاخص عملکرد گیاه، در سطح تنش متوسط خشکی کاهش معنی‌داری نداشته است به‌نظر می‌رسد گیاه کینوا توانسته تا حد زیادی از طریق حفظ عملکرد سیستم ریشه در انتقال آب به بخش‌های فتوسنتزکننده، مقاومت نسبی خود در برابر تنش اسمزی ایجادشده ناشی از وجود خشکی و فلزات سنگین در محیط ریشه را حفظ کند. بنابراین با توجه به نتایج این پژوهش، کشت گیاه کینوا به‌عنوان گیاهی امیدبخش که هم از نظر زراعی عملکرد قابل‌قبولی داشته باشد و هم محصول تولیدی از کیفیت بالایی برخوردار باشد، در خاک‌های دارای محدودیت آبی مشابه قابل‌توصیه است.

۷. تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از حمایت‌های اساتید بزرگوار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان و گروه زراعت دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد که برای اجرای طرح مذکور یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- احمدی‌آذر، فرزاد؛ حسنلو، طاهره؛ ایمانی، علی و فیضی اصل، ولی (۱۳۹۴). تنش خشکی و کاربرد ژئولیت معدنی بر رشد و برخی پارامترهای فیزیولوژیکی گیاه پنیرک (*Malva sylvestris*). *پژوهش‌های گیاهی (مجله زیست‌شناسی ایران)*. ۲۸ (۳)، ۴۵۹-۴۷۴.
- امیریوسفی، مهدی، تدین، محمودرضا و حسینی فرد، مرجان سادات (۱۴۰۱). تأثیر کودهای زیستی نیتروژنه و فسفره بر برخی صفات جوانه‌زنی بذر دو رقم کینوا تحت تنش شوری. *مهندسی اکوسیستم بیابان*. ۸ (۲۴)، ۷۹-۹۴. doi: 10.22052/deej.2018.7.24.49
- حسینی، یاسر؛ رضائی مقدم، جواد؛ نیک‌پور، محمدرضا و عبدلی، عطیه (۱۳۹۷). ارزیابی توابع جذب آب در شرایط تنش هم‌زمان خشکی و شوری در گیاه گوجه‌فرنگی مینیاتوری. *پژوهش آب در کشاورزی*. ۳۲ (۲)، ۲۴۷-۲۶۵. doi: 10.22092/jwra.2018.116969
- سواری، مسلم؛ برفی‌زاده، لیلا و اسدی، زینب (۱۴۰۰). آثار سرمایه اجتماعی بر دستیابی به امنیت غذایی در شرایط خشکسالی نمونه پژوهش: سکونت گاه های روستایی شهرستان دورود. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. ۳۲ (۴)، ۱-۲۸. doi: 10.22108/gep.2021.127786.1405
- محمودی، سهراب؛ سیاری، محمدحسن؛ گلستانی فر، فرزانه؛ محرابی، پگاه و ابوالحسنی، حکیمه (۱۳۹۴). تأثیرپذیری ارتفاع و شاخص سبزیگی برگ علف هرز سلمه‌تره (*Chenopodium album* L.) در شرایط آلودگی خاک با عناصر کروم و کادمیم. *ششمین همایش علوم علف‌های هرز ایران*، بیرجند، ایران.

References

- AbdElgawad, Z., Gaurav, A., Hamed, B., Gerrit, H., Wael, W., Mohammed, A. M.; Asard, H., & Abuelsoud, W. (2020). Maize roots and shoots show distinct profiles of oxidative stress and antioxidant defense under heavy metal toxicity. *Environmental Pollution*, 258(7), 113705. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.113705>.
- Adolf, V. I., Jacobsen, S. E., & Shabala, S. (2013). Salt tolerance mechanisms in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Environmental and Experimental Botany*, 92, 43-54

- <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2012.07.004>.
- Aghili, F., Khoshgoftarmanesh, A. H., Afyuni, M., & Schulin, R. (2009). Health risks of heavy metals through consumption of greenhouse vegetables grown in central Iran. *Human and Ecological Risk Assessment*, 15: 999-1015. <https://doi.org/10.1080/10807030903153337>.
- Ahmadi Azar, F., Hassanlou, T., Imani, A. & Faizi Asl, V. (2014). Drought stress and application of mineral zeolite on the growth and some physiological parameters of *Malva sylvestris*. *Plant research*, 28(3), 459-474. (In Persian).
- Alandia, G., Jacobsen, S.-E., Kyvsgaard, N. C., Condori, B., & Liu, F. (2016). Nitrogen sustains seed yield of quinoa under intermediate drought. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 202(4), 281-291. <https://doi.org/10.1111/jac.12155>.
- Amiryousefi, M., Tadayon, M. R., & Hoseinifard, M. S. (2022). Effect of Nitrogen and Phosphorus Bio Fertilizers on Some Seed Germination Traits of Two Cultivars of Quinoa under Salinity Stress. *Desert Ecosystem Engineering*, 8(24), 79-94. <https://doi.org/10.22052/deej.2018.7.24.49>. (In Persian).
- Aslam, M. U., Raza, M. A., Saleem, S., Waqas, M. F., Iqbal, M., Ahmad, R. & Haider, I. (2020). Improving strategic growth stage-based drought tolerance in quinoa by Rhizobacterial Inoculation. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 1–16. <https://doi.org/10.1080/00103624.2020.1744634>.
- Aziz, A., Akram, N. A., & Ashraf M. (2018). Influence of natural and synthetic vitamin C (ascorbic acid) on primary and secondary metabolites and associated metabolism in quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) plants under water deficit regimes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 123, 192-203. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2017.12.004>.
- Bhargava, A., Shukla, S., Srivastava, J., Singh, N., & Ohri, D. (2008). *Chenopodium*: a prospective plant for phytoextraction. *Acta Physiologiae Plantarum*, 30(1), 111-120. <https://doi.org/10.1007/s11738-007-0097-3>.
- Bhat, J., Akhter, S. M., Singh, P., Navadagi, B., Tripathi, D., Dash, K., Solanke, U., Sonah, H., & Deshmukh, R. (2019). Role of silicon in mitigation of heavy metal stresses in crop plants. *Plants*. 8(3), 71-82. <https://doi.org/10.3390/plants8030071>.
- Bilal, S., Shahzad, R., Imran, M., Jan, R., Kim, K., & Lee, I. (2020). Synergistic association of endophytic fungi enhances Glycine max L. resilience to combined abiotic stresses: Heavy metals, high temperature and drought stress. *Industrial Crops and Products*, 143(7), 111931. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111931>.
- Cai, Z. Q., & Gao, Q. (2020). Comparative physiological and biochemical mechanisms of salt tolerance in five contrasting highland quinoa cultivars. *Plant Biology*, 20(1), 9-24. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-2279-8>.
- Cao, Y., Zou, L., Li, W., Song, Y., Zhao, G., & Hu, Y. (2020). Dietary quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) polysaccharides ameliorate high-fat diet-induced hyperlipidemia and modulate gut microbiota. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163, 55-65. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.06.241>.
- Cocozza, C., Pulvento, C., Lavini, A., Riccardi, M., d'Andria, R., & Tognetti, R. (2012). Effects of increasing salinity stress and decreasing water availability on ecophysiological traits of quinoa (*Chenopodium quinoa Willd.*) grown in a Mediterranean-type agroecosystem. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 199(4), 229-240. <https://doi.org/10.1111/jac.12012>.
- Du, Y., Zhao, Q., Chen, L., Yao, X., Zhang, W., Zhang, B., & Xie, F. (2020). Effect of drought stress on sugar metabolism in leaves and roots of soybean seedlings. *Plant Physiology and Biochemistry*, 146, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2019.11.003>.

- Gavrilescu, M. (2022). Enhancing phytoremediation of soils polluted with heavy metals. *Current Opinion in Biotechnology*, 74, 21-31. <https://doi.org/0.1016/j.copbio.2021.10.024>.
- Hassan, A., Khan, A., Kiyani, A., Mirza, C., Butt, T. A., Barros, R., Ali, B., Iqbal, M., & Yousef, S. (2021). Ornamental plants for the phytoremediation of heavy metals: Present knowledge and future perspectives. *Environmental Research*, 195(22), 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110780>.
- Hinojosa, L., Gonzalez, J., Barrios-Masias, F., Fuentes, F., & Murphy, K. (2018). Quinoa abiotic stress responses: A review. *Plants*, 7(4), 106-138. <https://doi.org/10.3390/plants7040106>.
- Hosseini, Y., Ramezani Moghadam, J., Nikpour, M. R., & Abdoli, A. (2017). Evaluation of water absorption functions under simultaneous drought and salinity stress conditions in tomato plants. *Journal of Water Research in Agriculture*, 32(2), 247-265. (In Persian).
- Hosseini-fard, M., Stefaniak, S., Ghorbani Javid, M., Soltani, E., Wojtyla, Ł., & Garnczarska, M. (2022). Contribution of exogenous proline to abiotic stresses tolerance in plants: a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9), 5186.
- Karimi, H., Mahdavi, S., & Asgari Lajayer, B. (2022). Insights on the bioremediation technologies for pesticide-contaminated soils. *Environ Geochem Health*, 44, 1329-1354. <https://doi.org/10.1007/s10653-021-01081-z>.
- Khurshid, A. M., Asadi, A., & Hatami, A. (2020). Effect of drought stress on sugar beet breeding genotypes under greenhouse conditions. *Journal of Crop Breeding*, 12(34), 83-92. <https://doi.org/10.29252/jcb.12.34.83>.
- Lukic, N., Kukavica, B., Davidović-Plavšić, B., Hasanagić, D., & Walter J. (2020). Plant stress memory is linked to high levels of anti-oxidative enzymes over several weeks. *Environmental and Experimental Botany*, 104166. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2020.104166>.
- Mahmoudi, M., Sayari, M. M., Golestanifar, F., Mehrabi, P., & Abolhasani, H. (2014, September). *Effect of height and leaf greenness index of salma tere weed (Chenopodium album L.) in conditions of soil pollution with chromium and cadmium elements*. 6th Iran Weed Science Conference, Birjand, Iran. (In Persian).
- Podar, D., & Frans, J. M. (2021). The role of roots and rhizosphere in providing tolerance to toxic metals and metalloids. *Plant, Cell & Environment*, 45(3), 719-736. <https://doi.org/10.1111/pce.14188>.
- Savari, M., Barfizdeh, L., & Asadi, Z. (2021). The effects of social capital on achieving food security in drought conditions. Research sample: rural settlements of Durood city. *Quarterly Journal of Geography and Environmental Planning*, 32, 1-28. (In Persian).
- Sezgin, S. A., & Sanlier N. (2019). New generation plant for the conventional cuisine: quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Trends in Food Science and Technology*, 86, 51-58. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.039>.
- Sharma, P. (2021). Efficiency of bacteria and bacterial assisted phytoremediation of heavy metals: An update. *Bioresource Technology*, 328, 18-26. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124835>.
- Soliman, M. M., El- Deriny, D. S. S., Ibrahim, H., Zakaria, Y., & Ahmed, M. (2021). Suppression of root- knot nematode *Meloidogyne incognita* on tomato plants using the nematode trapping fungus *Arthrobotrys oligospora* Fresenius. *Journal of Applied Microbiology*, 131(5), 2402-2415. <https://doi.org/10.1111/jam.15101>.
- Stoleru, V., Slabu, C., Vitanescu, M., Peres, C., Cojocar, A., Covasa M., & Mihalache G. (2019). Tolerance of three quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) to salinity and alkalinity stress during germination stage. *Agronomy*, 9(6), 287-301. <https://doi.org/10.3390/agronomy9060287>.
- Tagliotti, M. E., Deperi, S. I., Bedogni, M. C., & Huarte, M. (2021). Genome- wide association

- analysis of agronomical and physiological traits linked to drought tolerance in a diverse potatoes *Solanum tuberosum* panel. *Plant Breeding*, 140(4), 654-664. <https://doi.org/10.1111/pbr.12938>.
- Taie, H. A. A., Seif El-Yazal, M. A., & Ahmed, S. M. A. (2019). Polyamines modulate growth, antioxidant activity, and genomic DNA in heavy metal-stressed wheat plant. *Environmental Science and Pollution Research*, 26, 22338-22350. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-05555-7>.
- Tang, D., Wei, F., Qin, S., Khan, A., Kashif, M. H., & Zhou, R. (2019). Polyethylene glycol induced drought stress strongly influences seed germination root morphology and cytoplasm of different kenaf genotypes. *Industrial Crops and Products*, 137, 180-186. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.01.019>.
- Van Zanten, H. H. E., Van Ittersum, M. K., & De Boer, I. J. M. (2019). The role of farm animals in a circular food system. *Global Food Security*, 21, 18-22. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2019.06>.



Evaluation of phytochemical traits in different ecotypes of marshmallow (*Althaea* spp.)

Amin Arjmand¹ | Mohsen Ebrahimi^{2✉} | Mohamad Reza Bihamta³ | Narges Moradi⁴

1. Department of Agricultural Sciences and Plant Breeding, Aburihan Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: amin.arjmand@ut.ac.ir
2. Corresponding author, Department of Agricultural Sciences and Plant Breeding, Aburihan Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: mebrahimi@ut.ac.ir
3. Department of Agriculture and Plant Breeding, Karaj College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: mrghanad@ut.ac.ir
4. Department of Agricultural Sciences and Plant Breeding, Aburihan Faculty of Agricultural Technology, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: na_moradi@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received: 19 March 2023
Received in revised form
31 May 2023
Accepted 7 June 2023
Published online
20 September 2023

Keywords:

Anthocyanin
Cholinesterase enzyme
Ecotype
Marshmallow

ABSTRACT

Objective: Marshmallow (*Althaea* spp.) is a plant belonging to the Malvaceae family and is native to Asia, South Africa, and America. It is found in Iranian natural pastures throughout the country. The purpose of this research is to identify the best ecotypes of Golkhtami in terms of phytochemical traits studied in this experiment and to introduce the best ecotypes for further research and to be used as crossbreeding parents in crossbreeding projects.

Methods: In this study which was investigated in nine ecotypes and three different species, phytochemical traits including total flavonoid content, total anthocyanin content, tyrosinase enzyme inhibitory activity, and cholinesterase inhibitory activity were evaluated in different ecotypes of marshmallow.

Results: The results showed that the Kermanshah ecotype of *Althaea officinalis* had the highest amount of flavonoids (18.47 mg of quercetin per gram of extract) and cholinesterase inhibitory activity (28.37 mg/ml based on IC50), while the Bushehr ecotype of *A. ficifolia* had the highest amount of anthocyanins (6.45 mg) and the Yazd ecotype of *A. officinalis* had the highest tyrosinase enzyme inhibitory activity (84.25 mg/ml based on IC50). Pearson's correlation coefficients revealed a positive and significant correlation between the investigated traits. In orthogonal comparisons, the Kermanshah, Mazandaran, and Isfahan ecotypes of *A. officinalis* had the highest levels of flavonoids and cholinesterase inhibitory activity. Cluster analysis by the WARD method showed that the ecotypes related to one species were placed in one group.

Conclusion: These findings suggest that the studied species and ecotypes have high diversity, which can be useful for improvement and selection of phytochemical traits in marshmallow. The investigated ecotypes can be used as the base population and initial parents of the cross in further experiments.

Cite this article: Arjmand, A., Ebrahimi, M., Bihamta, M. R., & Moradi, N. (2023). Evaluation of phytochemical traits in different ecotypes of marshmallow (*Althaea* spp.). *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 755-767.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.356938.2801>



ارزیابی صفات فیتوشیمیایی در اکوتیپ‌های مختلف گل ختمی (*Althaea sp.*)

امین ارجمند^۱ | محسن ابراهیمی^۲ | محمدرضا بی‌همتا^۳ | نرگس مرادی^۴

۱. گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: amin.arjmand@ut.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: mebrahimi@ut.ac.ir
۳. گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده‌گان کشاورزی و منابع طبیعی کرج، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: mrghanad@ut.ac.ir
۴. گروه علوم زراعی و اصلاح نباتات، دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: na_moradi@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۸

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

هدف: گل ختمی متعلق به جنس *Althaea* و خانواده *Malvaceae* می‌باشد. این گیاه بومی آسیا، جنوب آفریقا و آمریکا است. این گیاه در سراسر ایران در مراتع طبیعی یافت می‌شود. هدف از انجام این پژوهش شناسایی بهترین اکوتیپ‌های گل ختمی از نظر صفات فیتوشیمیایی مورد مطالعه در این آزمایش و معرفی بهترین اکوتیپ‌ها به منظور پژوهش‌های پیش‌تر و استفاده به‌عنوان والدین تلاقی در پروژه‌های به‌نژادی می‌باشد.

روش پژوهش: در این پژوهش صفات فیتوشیمیایی در نه اکوتیپ و سه گونه مختلف بررسی شد. این صفات شامل میزان فلاونوئید کل، محتوی آنتوسیانین کل، میزان فعالیت بازدارندگی آنزیم تیروزیناز و میزان فعالیت بازدارندگی آنزیم کولین استراز بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که از نظر میزان فلاونوئید و میزان فعالیت بازدارندگی آنزیم استیل کولین استراز اکوتیپ کرمانشاه از گونه *A. officinalis* به ترتیب ۱۸/۴۷ میلی‌گرم کوئرستین در گرم عصاره و ۲۸/۳۷ (mg/ml مبتنی بر IC₅₀)، از نظر میزان آنتوسیانین اکوتیپ بوشهر متعلق به گونه *A. ficifolia*، ۶/۴۵ میلی‌گرم بر گرم عصاره خشک و از نظر میزان فعالیت بازدارندگی آنزیم تیروزیناز اکوتیپ یزد با ۸۴/۲۵ (mg/ml مبتنی بر IC₅₀)، بالاترین مقادیر را داشتند. پس از محاسبه ضرایب همبستگی پیرسون مشخص شد که بین صفات مورد بررسی همبستگی مثبت و معنادار وجود دارد. در مقایسات اورتوگونال نیز اکوتیپ‌های کرمانشاه، مازندران و اصفهان متعلق به گونه *A. officinalis* از نظر میزان فلاونوئید و میزان فعالیت بازدارندگی آنزیم کولین استراز دارای بالاترین مقدار بودند. در تجزیه خوشه‌ای به‌روش WARD اکوتیپ‌های مربوط به هر گونه در گروه مجزا قرار گرفتند.

نتیجه‌گیری: بنابراین با توجه به تنوع بالا بین گونه‌ها و اکوتیپ‌های مورد مطالعه، به‌منظور اصلاح و گزینش صفات فیتوشیمیایی در گل ختمی از اکوتیپ‌های بررسی شده در این آزمایش می‌توان به‌عنوان جمعیت پایه و والدین اولیه تلاقی استفاده کرد.

کلیدواژه‌ها:

آنتوسیانین

آنزیم کولین استراز

اکوتیپ

گل ختمی

استناد: ارجمند، امین؛ ابراهیمی، محسن؛ بی‌همتا، محمدرضا؛ و مرادی، نرگس (۱۴۰۲). ارزیابی صفات فیتوشیمیایی در اکوتیپ‌های مختلف گل ختمی

(*Althaea sp.*). به‌زراعی کشاورزی، ۲۵ (۳)، ۷۶۷-۷۵۵. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.356938.2801>



۱. مقدمه

در سال‌های اخیر آگاهی نسبت به گیاهان دارویی افزایش یافته است و اهمیت گیاهان دارویی نیز نسبت به گذشته بیش‌تر شناخته شده است. داروهای گیاهی به‌راحتی در دسترس، ایمن و کارآمد هستند و به‌ندرت عوارض جانبی دارند (Siddiqui, 2021). تخمین زده می‌شود ۷۰ تا ۸۰ درصد مردم در سراسر جهان برای رفع نیازهای اولیه مراقبت‌های بهداشتی خود به نوعی متکی به داروهایی سنتی و به‌طور عمده گیاهی هستند. گیاهان دارویی از طریق تهیه مواد تشکیل‌دهنده داروها یا ایفای نقش اصلی در کشف دارو کمک بزرگی به علم پزشکی کرده‌اند. اما با وجود پیشرفت در حوزه گیاهان دارویی، هم‌چنان خواص ترکیبات فعال بسیاری از گیاهان دارویی ناشناخته مانده است (AC, 2004). گل ختمی متعلق به جنس *Althaea* و خانواده *Malvaceae* می‌باشد. این گیاه بومی آسیا، جنوب آفریقا و آمریکا است. ایران یکی از مراکز تنوع اصلی این گیاه محسوب می‌شود و در سراسر ایران در مراتع طبیعی یافت می‌شود (Kianitalaei et al., 2019). استفاده از گیاهان خانواده *Malvaceae* از گذشته تا به امروز رایج است، از جمله این گیاهان می‌توان *Althaea officinalis* و *Althaea rosea* و *Althaea ficifolia* را نام برد. گل ختمی در طب سنتی به‌طور گسترده‌ای در درمان بیماری‌های گوارشی، تنفسی، دیابت و بیماری‌های دهان استفاده می‌شود (Al-Snafi, 2013). پلی‌ساکارید موجود در گیاه، مونوسیت‌های انسانی رو وادار به تولید سیتوکینین می‌کند که فعالیت ضدالتهابی دارند و سیستم ایمنی بدن را تحریک می‌کنند. فعالیت‌های دارویی گل ختمی در طب مدرن نیز تأیید شده است (Golshani et al., 2015). این گیاه برای درمان بیماری‌های دندان و زخم معده نیز مؤثر است (Sutovska et al., 2011). خواص دارویی اثبات‌شده در گل ختمی در درجه اول به موسیلاژی نسبت داد می‌شود که در ریشه‌ها و برگ‌ها وجود دارد. ریشه‌ها با اسید اضافی معده مقابله می‌کنند و برای درمان زخم معده، ورم معده و مشکلات روده مانند سندروم روده تحریک‌پذیر تجویز می‌شوند (Valiei, 2011). از دیگر خواص گل ختمی می‌توان اثرات ضدویروسی، ضدتوموری، کاهش سرفه و تحریک گلو و کاهش واکنش‌های آلرژیک در حساسیت‌های فصلی را نام برد (Ali Shah et al., 2011). ریشه گل ختمی حاوی موسیلاژ، ترکیبات فنلی و فلاونوئیدها، آنتوسیانین، بتائین، گالاکتوز، گلوکز و سایر اسیدهای فنلیک می‌باشد. برگ و گل این گیاه نیز دارای مقادیر مختلفی از ترکیبات فلاونوئیدی، اسید اولئیک، ریوفلاوین، آنتوسیانین، سیتوسترول، ریوفلاوین و سایر ترکیبات فیتوشیمیایی می‌باشد (Fahamiya et al., 2016). در پژوهش‌های مختلف ثابت شده است که ترکیبات فنلی دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی هستند (Akbari et al., 2023). ریشه گل ختمی دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی و آرام‌کننده است و در رفع سرفه‌های شدید استفاده می‌شود (Šutovská et al., 2009). عصاره این گیاه در برابر باکتری‌های بی‌هوازی دندان فعالیت ضدباکتریایی دارد و پیشنهاد شده است از عصاره این گیاه به‌منظور پیشگیری و درمان بیماری‌های دندان به‌عنوان داروی موضعی استفاده شود (Iauk et al., 2003). با توجه به این‌که ایران یکی از مراکز تنوع این گیاه محسوب می‌شود و از طرفی اهمیت دارویی گیاه گل ختمی، به‌منظور شناسایی تنوع فیتوشیمیایی و ژنتیکی این گیاه که اساس و پایه شروع برنامه به‌نژادی و به‌زراعی می‌باشد، انجام این پژوهش ضروری به‌نظر می‌رسد. هدف از انجام این پژوهش، شناسایی بهترین اکوتیپ‌های گل ختمی از نظر صفات فیتوشیمیایی مورد مطالعه در این آزمایش و معرفی بهترین اکوتیپ‌ها به‌منظور پژوهش‌های بیشتر و استفاده به‌عنوان والدین تلاقی در پروژه‌های به‌نژادی می‌باشد.

۲. پیشینه پژوهش

تیروزیناز آنزیمی کلیدی در مسیر بیوسنتز رنگدانه‌های بیولوژیک و ملانین است، این آنزیم کاتالیزور مرحله اول سنتز ملانین در پستانداران و مسئول واکنش‌هایی است که در میوه‌ها باعث تخریب و قهوه‌ای شدن آن‌ها پس از برداشت

محصول می‌شود. به‌علاوه، در پستانداران و انسان این آنزیم در ارتباط با بسیاری از بیماری‌های مرتبط با تیرگی پوست از جمله هایپرپیگمنتاسیون و لکه‌های پوستی می‌باشد (Hseu *et al.*, 2015). به‌دلیل اهمیت آنزیم تیروزیناز در صنایع آرایشی، غذایی به‌ویژه در ارتباط با فرآورده‌های دارویی مرتبط با بسیاری از بیماری‌های پوستی، مهارکنندگان این آنزیم بسیار موردتوجه هستند. دسته‌های مختلفی از مهارکنندگان صناعی و طبیعی این آنزیم توسط پژوهش‌گران مختلف معرفی شده و موردبررسی قرار گرفته‌اند. از میان دسته‌های مهارکننده‌های مختلف آنزیم تیروزیناز مشتقات فنی مختلف از جمله فلاونوئیدها را می‌توان نام برد که در منابع گیاهی مختلف یافت می‌شوند (Ullah *et al.*, 2016). فلاونوئیدها گروهی از ترکیبات پلی‌فنلیک می‌باشند که در سال‌های اخیر اثرات فارماکولوژی این ترکیبات روی بیماری آلزایمر موردتوجه بیش‌تری قرار گرفته است، فلاونوئیدها هم‌چنین اثرات ضدالتهابی، ضدباکتری و اثرات ضدتوموری دارند و به‌عنوان فیلتر حفاظتی در بدن عمل می‌کنند (Młodzińska, 2009). آنزیم استیل‌کولین استراز نیز نقش مهمی را در فعال‌سازی سیستم عصبی مرکزی ایفا می‌کند، این آنزیم استیل‌کولین را به کولین و استیک‌اسید تبدیل می‌کند. استیل‌کولین هم به‌عنوان ناقل عصبی در سیستم عصب مرکزی نقش ایفا می‌کند و بیش‌فعالی این آنزیم منجر به بروز بیماری آلزایمر می‌شود، مهار آنزیم استیل‌کولین‌استراز یکی مهم‌ترین اهداف درمانی این بیماری می‌باشد (Gupta *et al.*, 2008). بازدارنده‌های این آنزیم همانند تاکرین، فیزواستگمین و دونپیزول برای درمان این بیماری استفاده می‌شوند و به‌دلیل پیچیدگی‌های شیمیایی گیاهان و گستره وسیع ترکیب‌های فعال بیولوژیکی، تصور بر این است که گیاهان می‌توانند تیمار جایگزینی برای بیماری آلزایمر باشند (Legay, 2000). آنتوسیانین‌ها رنگدانه‌های طبیعی متعلق به خانواده فلاونوئیدها هستند و در اندام‌های مختلف گیاه مانند میوه‌ها، گل، ساقه، ریشه و برگ وجود دارند. یکی از تأثیرات مهم آنتوسیانین‌ها در بدن جلوگیری از بیماری‌های قلب و عروقی است (De Pascual-Teresa & Sanchez-Ballesta, 2008) پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که آنتوسیانین‌ها در کاهش و درمان التهاب‌های عصبی نقش مؤثری دارند و هم‌چنین مشخص است که آنتوسیانین‌ها در درمان و پیشگیری بیماری آلزایمر نیز مؤثر هستند. از دیگر کاربردهای دارویی آنتوسیانین‌ها می‌توان پیشگیری و درمان بیماری پارکینسون را نام برد (Henriques *et al.*, 2020).

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳.۱. محل اجرای آزمایش

این پژوهش در دو سال ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱ در گلخانه پژوهشی دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان دانشگاه تهران واقع در شهرستان پاکدشت با طول جغرافیایی ۵۱ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه شمالی و ارتفاع ۱۰۱۳ متری از سطح دریا و در فاصله ۳۶ کیلومتری جنوب‌شرقی تهران انجام گرفت.

۳.۲. صفات موردارزیابی، طرح آزمایشی و تیمارها

صفات فیتوشیمیایی موردارزیابی در این پژوهش شامل میزان فلاونوئیدکل، محتوای آنتوسیانین‌کل، میزان فعالیت مهاری آنزیم تیروزیناز، میزان فعالیت بازدارندگی آنزیم کولین‌استراز بودند. تیمارها شامل اکوتیپ‌های مختلف از گونه‌های متفاوت گل‌ختمی (جدول ۱) در قالب طرح کاملاً تصادفی با چهار تکرار موردارزیابی قرار گرفت، تیمارها نیز با مقایسه میانگین دانکن در سطح ۵ درصد و ۱ درصد موردارزیابی قرار گرفتند. تیمارها شامل اکوتیپ‌های کرمانشاه، مازندران و اصفهان از گونه *A. officinalis*، اکوتیپ‌های یزد، کرمان و خوزستان از گونه *A. rosea* و اکوتیپ‌های شیراز، بوشهر و قزوین از گونه *A. ficifolia* بودند. اکوتیپ‌های مورداستفاده در این پژوهش از سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور دریافت شد.

جدول ۱. مشخصات و محل جمع‌آوری گونه‌ها و اکوتیپ‌های مورد استفاده در پژوهش

شماره نمونه	محل جمع‌آوری (اکوتیپ)	ارتفاع از سطح دریا	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	گونه
۱	کرمانشاه	۱۴۰۰	۳۴,۳۲۷۷°	۴۷,۰۷۷۸°	<i>A. officinalis</i>
۲	مازندران	۴۰	۳۶,۵۶۵۹°	۵۳,۰۵۸۶°	<i>A. officinalis</i>
۳	اصفهان	۱۵۷۵	۳۲,۶۵۳۹°	۵۱,۶۶۶۰°	<i>A. officinalis</i>
۴	یزد	۱۲۳۷	۳۱,۸۹۷۴°	۵۴,۳۵۶۹°	<i>A. rosea</i>
۵	خوزستان	۱۲	۳۱,۴۳۶۰°	۴۹,۰۴۱۳°	<i>A. rosea</i>
۶	کرمان	۱۷۵۶	۳۰,۲۸۳۹°	۵۷,۰۸۳۴°	<i>A. rosea</i>
۷	شیراز	۱۵۰۰	۲۹,۵۹۲۶°	۵۲,۵۸۳۶°	<i>A. ficifolia</i>
۸	قزوین	۱۳۴۷	۳۶,۳۷۹۵°	۵۰,۰۰۴۶°	<i>A. ficifolia</i>
۹	بوشهر	۱۸	۲۸,۹۱۴۵°	۵۰,۸۲۷۹°	<i>A. ficifolia</i>

۳.۳. عصاره‌گیری از نمونه‌ها

عصاره‌گیری از ریشه و به‌روش سوکسله (عصاره متانولی) که یکی از مرسوم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین روش‌های استخراج عصاره در آزمایشگاه است انجام شد (Krishnaiah et al., 2012).

۳.۴. سنجش میزان فلاونوئید کل

میزان فلاونوئید به‌روش Chang et al. (2002) اندازه‌گیری شد. در این روش ابتدا یک میلی‌گرم از عصاره برگ را در یک میلی‌لیتر متانول حل کرده، ۰/۵ میلی‌لیتر از محلول عصاره گیاهی با ۱/۵ میلی‌لیتر اتانول ۹۵ درصد، ۰/۱ میلی‌لیتر آلومینیوم کلرید ۱۰ درصد، ۰/۱ میلی‌لیتر استات پتاسیم یک مولار و ۲/۸ میلی‌لیتر آب مقطر مخلوط گردید. بعد از نگهداری نمونه‌ها در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه جذب مخلوط در ۴۱۵ نانومتر خوانده شد. از کوئرتستین در غلظت‌های مختلف (۱۰، ۲۰، ۳۰، و ۱۰۰) میکروگرم بر میلی‌لیتر برای رسم منحنی استاندارد استفاده و نتایج برحسب میلی‌گرم کوئرتستین در هر گرم عصاره بیان شد.

۳.۵. سنجش آنتوسیانین کل

به‌منظور ارزیابی آنتوسیانین کل ابتدا ۰/۰۴ سی‌سی عصاره متانولی برگ را در دو لوله جداگانه ریخته، به یکی ۳/۶ میلی‌لیتر بافر پتاسیم کلراید (۰/۰۲۵ مولار) در pH ۱ و به دومین لوله آزمایش ۳/۶ میلی‌لیتر بافر سدیم استات (۰/۴ مولار) در pH ۴/۵ افزوده و جذب هر یک از لوله‌ها در طول موج‌های ۵۱۰ و ۷۰۰ نانومتر توسط اسپکتروفتومتر قرائت شد (Lako et al., 2007). مقدار آنتوسیانین کل برحسب میلی‌گرم آنتوسیانین معادل Cyanidin-3-glucosid در گرم محاسبه شد.

۳.۶. سنجش میزان فعالیت بازدارندگی آنزیم تیروزیناز

به‌منظور اندازه‌گیری فعالیت بازدارندگی تیروزیناز از روش Zheng et al. (2013) استفاده شد. عصاره‌ها به‌صورت تازه در محلول DMSO^۱ و در غلظت ۱۲۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر تهیه و بعد با محلول DMSO به غلظت‌های کم‌تر (۱۵ تا ۶۰ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) رقیق‌سازی شدند. ۵۰ میکرولیتر محلول نمونه آزمایشی با ۴۵۰ میکرولیتر بافر فسفات سدیم ۰/۰۵

میلی‌مولار با pH ۶/۸ حل شده و سپس ۵۰۰ میکرولیتر محلول ال- تیروزین ۰/۰۱ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر به آن اضافه شد. در نهایت ۵۰۰ میکرولیتر محلول آنزیمی تیروزیناز (۲۰۰ واحد بر میلی‌لیتر) اضافه شد. از محلول DMSO و کوچیک‌اسید به‌ترتیب به‌عنوان نمونه شاهد و کنترل مثبت استفاده شد. مخلوط واکنشی (۱/۵ میلی‌لیتر) با ورتکس به‌خوبی مخلوط گردید و جذب نمونه در طول موج ۴۹۰ نانومتر خوانده شد. در نهایت نتایج برحسب (mg/ml) مبتنی بر IC₅₀ بیان شد.

۷.۳. سنجش میزان فعالیت بازدارندگی آنزیم کولین استراز

به‌منظور ارزیابی میزان مهار آنزیم کولین‌استراز از روش Amessis et al. (2014) استفاده شد. در این روش بازدارندگی آنزیم کولین‌استراز توسط استیل‌کولین یدید که به تیوکولین تبدیل می‌گردد، تعیین می‌شود. واکنش تیوکولین با DTNB^۱ منجر به تشکیل آنیون زردرنگ به نام نیتروبنزوئیک‌اسید می‌شود. در این روش ۳۲۵ میکرولیتر محلول ۵۰ میلی‌مولار بافر تریس pH ۸ (۱۰۰ میکرولیتر عصاره گیاهی در غلظت‌های مختلف ۰/۵ تا ۴ میلی‌گرم بر میلی‌لیتر) و ۲۵ میکرولیتر محلول آنزیمی (۰/۲۶ واحد بر میلی‌لیتر) به‌مدت ۱۵ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد تیمار شد. سپس ۷۵ میکرولیتر محلول استیل‌کولین‌یداد ۱۵ میلی‌مولار و ۴۷۵ میکرولیتر محلول ۳ میلی‌مولار DTNB اضافه شده و در نهایت جذب نمونه در طول موج ۴۱۲ نانومتر قرائت شد. از گالاتامین به‌عنوان کنترل مثبت استفاده شد. در نهایت نتایج برحسب (mg/ml) مبتنی بر IC₅₀ بیان شد.

۸.۳. آنالیزهای آماری

داده‌های به‌دست‌آمده از این پژوهش پس از آزمون نرمال‌بودن بر پایه طرح کاملاً تصادفی با در نظر گرفتن چهار تکرار تجزیه و تحلیل شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها توسط نرم‌افزار SAS نسخه ۱/۹ و نرم‌افزار SPSS نسخه ۹/۱ انجام گرفت. مقایسه میانگین داده‌ها نیز به استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

۴. یافته‌های پژوهش

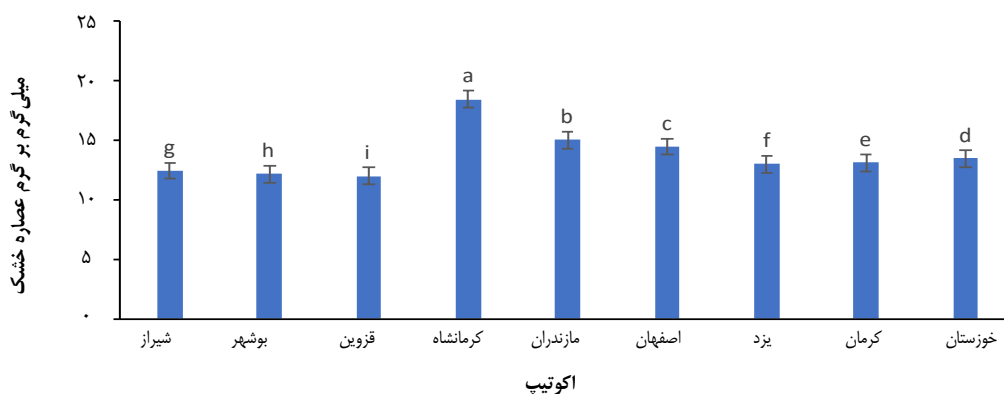
۴.۱. فلاونوئید کل

از نظر میزان فلاونوئید کل اکوتیپ کرمانشاه از گونه *A. officinalis* با ۱۸/۴۷ میلی‌گرم کوئرستین در گرم عصاره بالاترین مقدار و اکوتیپ قزوین از گونه *A. ficifolia* با ۱۲/۰۲ میلی‌گرم کوئرستین در گرم عصاره کم‌ترین مقدار فلاونوئید را داشتند. هم‌چنین دامنه مقادیر فلاونوئید کل نشان‌دهنده تنوع بالا در اکوتیپ‌ها و گونه‌های مورد مطالعه بود. به‌طوری‌که حتی درون گونه‌ها و بین اکوتیپ‌های متعلق به یک گونه نیز از نظر میزان فلاونوئید کل تفاوت معنی‌دار وجود داشت (شکل ۱).

۴.۲. آنتوسیانین کل

از نظر میزان آنتوسیانین اکوتیپ بوشهر متعلق به گونه *A. ficifolia* با ۶/۴۵ میلی‌گرم آنتوسیانین بالاترین مقدار و اکوتیپ‌های یزد و خوزستان از گونه *A. rosea* به‌ترتیب با ۲/۰۵ و ۲/۰۲ میلی‌گرم آنتوسیانین کم‌ترین مقدار را داشتند. از نظر میزان آنتوسیانین بین و درون گونه‌های مورد مطالعه تنوع بالایی وجود داشت (شکل ۲).

۱. نیتروبنزوئیک‌اسید



شکل ۱. مقایسه میانگین فلاونوئید کل در اکوتیپ‌های گل‌ختمی مورد مطالعه



شکل ۲. مقایسه میانگین آنتوسیانین در اکوتیپ‌های گل‌ختمی مورد مطالعه

۳.۴. میزان فعالیت بازدارندگی آنزیم کولین استراز

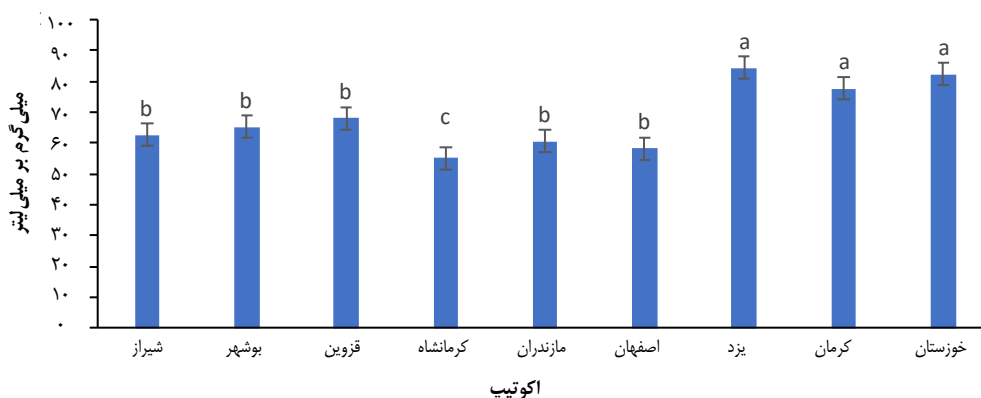
اکوتیپ کرمانشاه و اصفهان متعلق به گونه *A. officinalis* به ترتیب با ۲۸/۳۷ و ۲۷ (mg/ml مبتنی بر ۵۰IC) دارای بالاترین میزان و اکوتیپ‌های یزد و خوزستان از گونه *A. rosea* به ترتیب با ۱۲/۲۵ و ۱۱/۹ (mg/ml مبتنی بر ۵۰IC) دارای کم‌ترین مقدار مهار آنزیم استیل کولین استراز بودند (شکل ۳).



شکل ۳. مقایسه میانگین میزان فعالیت بازدارندگی آنزیم استیل کولین استراز در اکوتیپ‌های مختلف گل‌ختمی مورد مطالعه

۴.۴. میزان فعالیت بازدارندگی آنزیم تیروزیناز

از نظر میزان فعالیت بازدارندگی آنزیم تیروزیناز اکوتیپ‌های یزد، خوزستان و کرمان که همگی متعلق به گونه *A. rosea* بودند به ترتیب با ۸۴/۲۵، ۸۲/۳۷ و ۷۷/۶۲ (mg/ml مبتنی بر IC₅₀) بالاترین مقدار و اکوتیپ کرمانشاه از گونه *A. officinalis* با ۴۷/۸۷ (mg/ml مبتنی بر IC₅₀) کم‌ترین میزان فعالیت مهارتی آنزیم تیروزیناز را دارا بودند. نتایج حاکی از این بود که از نظر میزان فعالیت بازدارندگی آنزیم تیروزیناز همه اکوتیپ‌های گونه *A. rosea* در یک گروه و بالاتر از اکوتیپ‌های گونه‌های دیگر قرار گرفتند (شکل ۴).



شکل ۴. مقایسه میانگین میزان فعالیت بازدارندگی آنزیم تیروزیناز در اکوتیپ‌های مختلف گل ختمی مورد مطالعه

۵.۴. محاسبه همبستگی پیرسون بین صفات فیتوشیمیایی

پس از محاسبه ضرایب همبستگی پیرسون بین صفات شیمیایی مشخص شد بین میزان فلاونوئید و میزان فعالیت مهارتی آنزیم تیروزیناز ۰/۹۰ همبستگی وجود دارد. همبستگی بین میزان فلاونوئید و فعالیت مهارتی آنزیم کولین استراز نیز ۷۷ درصد بود. میزان همبستگی بین آنتوسیانین با تیروزیناز و فلاونوئید نیز به ترتیب ۸۱ و ۶۲ درصد به دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲. همبستگی بین صفات فیتوشیمیایی اندازه‌گیری شده در اکوتیپ‌های مختلف گل ختمی

صفات	فلاونوئید	آنتوسیانین	تیروزیناز
فلاونوئید	۱	۰/۶۲۷*	-
آنتوسیانین	-	۱	-
تیروزیناز	۰/۹۰۴**	۰/۸۱۸*	۱
کولین استراز	۰/۷۷۰*	۰/۷۰۸*	۰/۷۵۴*

* و **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

۶.۴. مقایسات اورتوگونال بین اکوتیپ‌های مورد آزمایش

به منظور شناسایی بهترین گونه‌ها از نظر صفات مورد ارزیابی، مقایسات گروهی بین اکوتیپ‌ها انجام گرفت. در نهایت مشخص شد از نظر میزان آنتوسیانین گونه *A. ficifolia* که شامل اکوتیپ‌های شیراز، بوشهر و قزوین بود با میانگین ۵/۵۵ میلی‌گرم بالاترین مقدار را نسبت به سایر گونه‌ها داشت. از نظر میزان فلاونوئید نیز، گونه *A. officinalis* که شامل اکوتیپ‌های کرمانشاه، مازندران و اصفهان بود با میانگین ۱۵/۹۸ میلی‌گرم بالاترین مقدار را نسبت به سایر گونه‌ها داشت. پس از انجام مقایسات اورتوگونال بین اکوتیپ‌ها از نظر میزان فعالیت مهارتی آنزیم تیروزیناز مشخص شد که گونه *A.*

rosea که شامل اکوتیپ‌های یزد، کرمان و خوزستان بود با میانگین ۸۱/۴۱ (mg/ml مبتنی بر IC₅₀) دارای بالاترین مقدار است. از نظر میزان فعالیت مهارتی آنزیم کولین استراز نیز، گونه *A. officinalis* با میانگین ۲۶/۳۳ (mg/ml مبتنی بر IC₅₀) دارای بالاترین مقدار بود (جدول ۳).

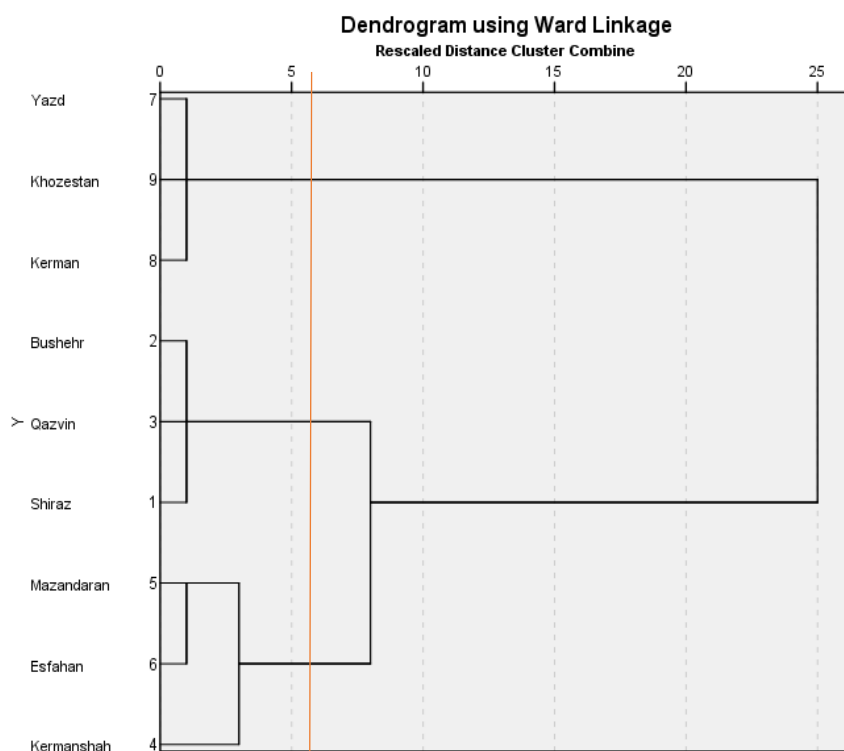
جدول ۳. مقایسات اورتوگونال صفات اندازه‌گیری شده در اکوتیپ‌های مختلف گل ختمی

مقایسات	انتوسیانین	فلاونوئید	کولین استراز	تیروزیناز
F1+F2+F3 VS OTHER	۲۰۴/۵**	۱۲۰۹۶**	۹۰۲/۶۴**	۱۸۰/۵۰**
R1+R2+R3 VS OTHER	۱۴۸۷۲**	۱۶۹۱/۱۶**	۷۷۷/۳۶**	۱۴۷/۵۶**
O1+O2+O3 VS OTHER	۴۳۶/۵۵**	۲۲۸۳۲/۹**	۱۳۹۷۹/۱**	۱۰۵/۶۰**

اکوتیپ کرمانشاه: O1؛ اکوتیپ مازندران: O2؛ اکوتیپ اصفهان: O3؛ اکوتیپ یزد: R1؛ اکوتیپ کرمان: R2؛ اکوتیپ خوزستان: R3؛ اکوتیپ شیراز: F1؛ اکوتیپ بوشهر: F2؛ اکوتیپ قزوین: F3.
* و **: اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ و ۱ درصد.

۷.۴. تجزیه خوشه‌ای داده‌های فیتوشیمیایی

در تجزیه خوشه‌ای به روش WARD اکوتیپ‌ها در چهار گروه قرار گرفتند، به طوری که اکوتیپ‌هایی که مربوط به یک گونه بودند در یک گروه قرار گرفته و تشابه ژنتیکی بیشتری با هم داشتند. اکوتیپ‌های یزد، کرمان و خوزستان که هر سه مربوط به گونه *A. rosea* بودند در یک گروه قرار گرفتند. از طرفی در یک گروه قرار گرفتن اکوتیپ یزد و کرمان با توجه به محیط جغرافیایی تقریباً مشابه یزد و کرمان از قبل نیز قابل انتظار بود. اکوتیپ‌های شیراز، بوشهر و قزوین نیز که همگی از گونه *A. ficifolia* بودند در یک گروه قرار گرفتند. در مورد گونه *A. officinalis* نیز اکوتیپ‌های مازندران و اصفهان و کرمانشاه در یک گروه قرار گرفتند.



شکل ۵. تجزیه خوشه‌ای براساس روش WARD در اکوتیپ‌های مختلف گل ختمی

۵. بحث

میزان فلاونوئید کل در اکوتیپ‌های مورد بررسی نشان‌دهنده وجود این ترکیبات در ریشه گل‌ختمی بود و این نتیجه با پژوهش Sendker *et al.* (2017) مطابقت داشت. لازم به ذکر است که وجود فلاونوئید کل در همه گونه‌ها و اکوتیپ‌های مورد مطالعه تأیید شد و این مشاهده نیز با پژوهش Xue *et al.* (2021) مطابقت داشت. با توجه به این که اکوتیپ‌های کرمانشاه، مازندران و اصفهان به ترتیب بالاترین مقادیر فلاونوئید کل را داشتند و از طرفی هر سه متعلق به گونه *A. officinalis* می‌باشند، بنابراین این گونه به منظور اصلاح برای افزایش میزان فلاونوئید در پژوهش‌ها و پروژه‌های اصلاحی آینده می‌توان استفاده کرد. طی مطالعه‌ای که توسط Miguel (2011) انجام شد، مشخص گردید آنتوسیانین با مهار آنزیم آلفا گلوکوسیداز روده‌ای در فرایند تبدیل دی‌ساکارید به مونوساکارید تأخیر انداخته و از این طریق سبب کاهش قند خون می‌شود. در این پژوهش وجود آنتوسیانین در تمامی گونه و اکوتیپ‌های مورد مطالعه تأیید شد و این نتایج با نتایج مطالعه اشراقی و همکاران (۱۳۸۸) مطابقت داشت. وجود مقادیر متفاوت آنتوسیانین در تمامی اکوتیپ‌های مورد مطالعه، خاصیت آنتی‌اکسیدانی این گیاه را تأیید کرده و مطابق با پژوهش مطهری‌نیا و همکاران (۱۳۹۰) بود. به طور کلی از نظر میزان آنتوسیانین کل گونه *A. ficifolia* نسبت به سایر گونه‌ها مقدار بالاترین داشته و بنابراین از تلاقی‌های درون‌گونه‌ای به منظور بهره‌مندی از هتروزیس برای افزایش آنتوسیانین کل می‌توان استفاده کرد. پژوهش در مورد بازدارنده آنزیم استیل‌کولین‌استراز در میان منابع طبیعی و به‌ویژه گیاهان در عرصه تحقیقاتی رو به گسترش می‌باشد (Murray *et al.*, 2013). در این پژوهش برای اولین بار میزان فعالیت مهارتی این آنزیم در گونه‌ها و اکوتیپ‌های مختلف گل‌ختمی مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاکی از تنوع بالای گونه‌ها و اکوتیپ‌های مختلف گل‌ختمی نسبت به میزان فعالیت مهارتی این آنزیم بود. با توجه به این که اکوتیپ کرمانشاه از نظر دو صفت میزان فلاونوئید کل و میزان فعالیت بازدارندگی آنزیم کولین‌استراز دارای بالاترین مقدار می‌باشد. بنابراین در روند اصلاح این گیاه در پژوهش‌های آینده به منظور افزایش میزان صفات بررسی شده در این پژوهش، اکوتیپ کرمانشاه گزینه مناسبی برای استفاده به‌عنوان یکی از والدین تلاقی می‌باشد. مطالعات مختلفی بر روی منابع گیاهی گوناگون مهارکننده آنزیم تیروزیناز صورت گرفته است (Jo *et al.*, 2012). در این پژوهش برای اولین بار میزان فعالیت مهارتی آنزیم تیروزیناز در گل‌ختمی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از این بود که گونه‌ها و اکوتیپ‌های گل‌ختمی از نظر میزان فعالیت مهارتی آنزیم تیروزیناز دارای تنوع قابل‌ملاحظه‌ای می‌باشند. گونه *A. rosea* بیش‌تر به‌عنوان یک گونه زینتی شناخته می‌شود و تا به حال مطالعات بسیار کمی در مورد کاربرد دارویی این گیاه صورت گرفته است. با توجه به این که این گونه از نظر آماری مقدار بالاتر و تفاوت معنی‌داری از نظر میزان فعالیت بازدارندگی آنزیم تیروزیناز نسبت به سایر گونه‌ها دارد، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت این گونه دارای پتانسیل دارویی نیز می‌باشد و البته برای اثبات این مورد نیاز به مطالعات بیش‌تر توسط پژوهش‌گران در آینده می‌باشد. با توجه به همبستگی مثبت بین صفات فیتوشیمیایی در روند اصلاح این گیاه انتخاب برای هر کدام از صفات می‌تواند به نوعی افزایش میزان سایر صفات را نیز به دنبال داشته باشد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از مقایسات گروهی در روند اصلاح گیاهان گل‌ختمی اگر هدف اصلاح‌گر افزایش میزان فلاونوئید و میزان فعالیت مهارتی آنزیم کولین‌استراز باشد، گونه *A. officinalis* بهترین انتخاب است و در صورتی که هدف اصلاح‌گر میزان بالای آنتوسیانین و فعالیت مهارتی آنزیم تیروزیناز باشد به ترتیب گونه‌های *A. ficifolia* و *A. rosea* بهترین انتخاب خواهند بود. تجزیه خوشه‌ای داده‌های فیتوشیمیایی به روش WARD نیز نشان‌دهنده وجود تنوع در بین اکوتیپ‌های مورد بررسی بود.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش صفات فیتوشیمیایی مورد مطالعه در بین گونه‌ها داری تنوع قابل ملاحظه‌ای بودند. به طوری که گونه *A. officinalis* از نظر فعالیت مهاری آنزیم استیل کولین استراز و میزان فلاونوئید، گونه *A. ficifolia* از نظر آنتوسیانین و هم‌چنین گونه *A. rosea* از نظر میزان مهار آنزیم تیروزیناز بالاترین مقدار را داشتند، بنابراین با توجه به تنوع بالا و تلاقی‌پذیر بودن این گونه‌ها با یکدیگر، به منظور بهره‌مندی از هتروزیس به‌عنوان والدین تلاقی و جمعیت اولیه در پروژه‌های به‌زراعی و اصلاحی می‌توان از آن‌ها استفاده کرد.

۷. تشکر و قدردانی

از معاونت آموزشی و پژوهشی دانشکده فناوری کشاورزی ابوریحان به دلیل در اختیار گذاشتن امکانات آزمایشگاه و گلخانه، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

اشراقی، سید سعید؛ امین، غلامرضا و فخری، سوسن (۱۳۸۸). مطالعه اثرات ضدباکتریایی و فیتوشیمیایی عصاره تام دوازده گونه از گیاهان بومی ایران بر سوش‌های بیماری‌زای نوکاردیا. *تحقیقات دامپزشکی و فرآورده‌های بیولوژیک (پژوهش و سازندگی)*، ۲۲ (۱)، ۶۲-۷۳.

مطهری‌نیا، یوسف؛ رضایی، محمدعلی؛ زندی، فرید؛ حسینی، وریا؛ رشیدی، احمد؛ احمدی‌نیا، مبین؛ امینی‌پور، ادريس و رحمانی، محمدرضا (۱۳۹۰). مقایسه اثر ضد قارچی عصاره ریشه شیرین‌بیان، گیاه ختمی و کتوکونازول بر مالاسزیا فورفور. *ارمغان دانش*، ۱۶ (۵)، ۴۲۵-۴۳۲.

References

- AC, H. (2004). No Title Medicinal plants, conservation and livelihoods. *Biodiversity and Conservation*, 13, 1477-1517.
- Akbari, A., Izadi-Darbandi, A., Bahmani, K., Farhadpour, M., Ebrahimi, M., Ramshini, H., & Esmaeili, Z. (2023). Assessment of phenolic profile, and antioxidant activity in developed breeding populations of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill). *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 48(8), 102639. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2023.102639>
- Al-Snafi, A. E. (2013). The Pharmaceutical importance of *Althaea officinalis* and *Althaea rosea*: A review. *International Journal of PharmTech Research*, 5(3), 1378-1385.
- Ali Shah, S. M., Akhtar, N., Akram, M., Shah, P. A., Saeed, T., Ahmed, K., & Asif, H. M. (2011). Pharmacological activity of *Althaea officinalis* L. *Journal of Medicinal Plant Research*, 5(24), 5662-5666.
- Amessis-ouchemoukh, N., Madani, K., Falé, P. L. V, Serralheiro, M. L., Eduarda, M., & Araújo, M. (2014). Antioxidant capacity and phenolic contents of some Mediterranean medicinal plants and their potential role in the inhibition of cyclooxygenase-1 and acetylcholinesterase activities. *Industrial Crops & Products*, 53, 6-15. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2013.12.008>
- Chang, C., Yang, M., Wen, H., & Chern, J. (2002). *Estimation of Total Flavonoid Content in*

- Propolis by Two Complementary Colorimetric Methods*, 10(3), 178-182.
- De Pascual-Teresa, S., & Sanchez-Ballesta, M. T. (2008). Anthocyanins: From plant to health. *Phytochemistry Reviews*, 7(2), 281-299. <https://doi.org/10.1007/s11101-007-9074-0>
- Eshraghi, Seyed Saeed, Amin, G., & Fakhri, S. (1388). Studying the antibacterial and phytochemical effects of total extracts of 12 species of native Iranian plants on *Nocardia* pathogenic strains. *Veterinary research and biological products*, 22(1), 62-73. SID. <https://sid.ir/paper/200805/fa>. (In Persian).
- Fahamiya, N., Shiffa, M., Aslam, M., & Muzn, F. (2016). Unani perspective of Khatmi (*Althaea officinalis*). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 5(6), 357-360.
- Golshani, Y., Zarei, M., & Mohammadi, S. (2015). Acute/Chronic Pain Relief: Is *Althaea officinalis* Essential Oil Effective? *Avicenna Journal of Neuro Psych Physiology*, 2(4). <https://doi.org/10.17795/ajnpp-36586>
- Gupta, V. K., Fatima, A., Faridi, U., Negi, A. S., Shanker, K., Kumar, J. K., Rahuja, N., Luqman, S., Sisodia, B. S., Saikia, D., Darokar, M. P., & Khanuja, S. P. S. (2008). Antimicrobial potential of *Glycyrrhiza glabra* roots. *Journal of ethnopharmacology*, 116(2), 377-380. <https://doi.org/10.1016/j.jep.2007.11.037>.
- Henriques, J. F., Serra, D., Dinis, T. C. P., & Almeida, L. M. (2020). The Anti-Neuroinflammatory Role of Anthocyanins and Their Metabolites for the Prevention and Treatment of Brain Disorders. *International journal of molecular sciences*, 21(22), 8653. <https://doi.org/10.3390/ijms21228653>.
- Hseu, Y. C., Cheng, K. C., Lin, Y. C., Chen, C. Y., Chou, H. Y., Ma, D. L., Leung, C. H., Wen, Z. H., & Wang, H. M. (2015). Synergistic Effects of Linderanolide B Combined with Arbutin, PTU or Kojic Acid on Tyrosinase Inhibition. *Current Pharmaceutical Biotechnology*, 16(12), 1120-1126. <https://doi.org/10.2174/1389201016666150907112819>.
- Iauk, L., Bue, A. M. Lo, Milazzo, I., Rapisarda, A., Blandino, G., & Melissa, L. (2003). *Antibacterial Activity of Medicinal Plant*, 604(5), 599-604.
- Jo, Y., Seo, G., Yuk, H., & Lee, S. (2012). Antioxidant and tyrosinase inhibitory activities of methanol extracts from *Magnolia denudata* and *Magnolia denudata* var. *purpurascens* flowers. *Food Research International*, 47(2), 197-200. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.05.032>.
- Kianitalaei, A., Feyzabadi, Z., Hamedi, S., & Qaraaty, M. (2019). *Althaea Officinalis* in Traditional Medicine and modern phytotherapy. *Journal of Advanced Pharmacy Education & Research*, 9(2), 154-161.
- Krishnaiah, D., Sarbatly, R., & Nithyanandam, R. (2012). Microencapsulation of *Morinda citrifolia* L. extract by spray-drying. *Chemical Engineering Research and Design*, 90(5), 622-632.
- Lako, J., Trenerry, V. C., Wahlqvist, M., Wattanapenpaiboon, N., Sotheeswaran, S., & Premier, R. (2007). Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian fruit, vegetables and other readily available foods. *Food Chemistry*, 101(4), 1727-1741. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.031>.
- Legay C. (2000). Why so many forms of acetylcholinesterase?. *Microscopy research and technique*, 49(1), 56-72. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0029\(20000401\)49:1<56::AID-JEMT7>3.0.CO;2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0029(20000401)49:1<56::AID-JEMT7>3.0.CO;2).
- Młodzińska, E. (2009). Survey of plant pigments: molecular and environmental determinants of plant colors. *Acta Biologica Cracoviensia Series Botanica*, 51(1), 7-16.
- Motaharinia, Y., Rezaei, M.A., Zandi, F., Hosseini, V., Rashidi, Ahmad, Ahmadniaz, Mobin, Aminipour, Idris, & Rahmani, Mohammadreza. (2011). Comparing the antifungal effect of licorice root extract, marshmallow plant and ketoconazole on *Malassezia furfur*. *Armaghane Danesh*, 16(5), 425-432. SID. <https://sid.ir/paper/77465/fa>. (In Persian).
- Miguel, M. G. (2011). *Anthocyanins: Antioxidant and / or anti-inflammatory activities*, 01(06),

- 7-15.
- Valiei, M. (2011). Chemical composition and antimicrobial activity of the flower and root hexane extracts of *Althaea officinalis* in Northwest Iran. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(32), 6972-6976. <https://doi.org/10.5897/jmpr11.963>
- Murray, A. P., Faraoni, M. B., Castro, M. J., Alza, N. P., & Cavallaro, V. (2013). Natural AChE inhibitors from plants and their contribution to Alzheimer's disease therapy. *Current neuropharmacology*, 11(4), 388-413.
- Šutovská, M., Nosál'ová, G., Šutovský, J., Fraňová, S., Prisenžňáková, L., & Capek, P. (2009). Possible mechanisms of dose-dependent cough suppressive effect of *Althaea officinalis* rhamnogalacturonan in guinea pigs test system. *International Journal of Biological Macromolecules*, 45(1), 27-32.
- Xue, T. T., Xu, H. B., Tang, Z. S., Duana, J. A., Liu, H. B., Shi, X. B., & Song, Z. X. (2021). Progress in chemical compositions and pharmacological activities of *Althaea officinalis*. *Medicine Research*, 5(2), 210002.
- Sendker, J., Bo, I., Lengers, I., Brandt, S., Jose, J., Stark, T., Hofmann, T., Fink, C., Abdel-aziz, H., & Hensel, A. (2017). Phytochemical characterization of low molecular weight constituents from marshmallow roots (*Althaea officinalis*) and inhibiting effects of the aqueous extract on human hyaluronidase-1. *Journal of Natural Products*, 80(2), 290-297. <https://doi.org/10.1021/acs.jnatprod.6b00670>.
- Siddiqui, M. (2021). Phytochemical Analysis of Some Medicinal Plants. *Liaquat Medical Research Journal*, 3(1), 1-5. <https://doi.org/10.38106/lmrj.2021.36>.
- Sutovska, M., Capek, P., Franova, S., Joskova, M., Sutovsky, J., Marcinek, J., & Kalman, M. (2011). Antitussive activity of *Althaea officinalis* L. polysaccharide rhamnogalacturonan and its changes in guinea pigs with ovalbumine-induced airways inflammation. *Bratislavské lekárske listy*, 112(12), 670-675.
- Ullah, S., Son, S., Yun, H. Y., Kim, D. H., Chun, P., & Moon, H. R. (2016). Tyrosinase inhibitors: a patent review (2011-2015). *Expert Opinion on Therapeutic Patents*, 26(3), 347-362.
- Zheng, Z., Tan, H., Chen, J., & Wang, M. (2013). Fitoterapia Characterization of tyrosinase inhibitors in the twigs of *Cudrania tricuspidata* and their structure-activity relationship study. *Fitoterapia*, 84, 242-247. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2012.12.006>



The effect of salinity stress and foliar application of nano-fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of quinoa forage

Faezeh Heidari¹ | Jalal Jalilian² | Esmail Gholinezhad³

1. Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: heidaryfh9@urmia.ac.ir
2. Department of Plant Production and Genetic Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran. E-mail: j.jalilian@urmia.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Agricultural Sciences, Payame Noor University, Tehran, Iran. E-mail: e_gholinejad@pnu.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 31 January 2022

Received in revised form

31 August 2022

Accepted 14 September 2022

Published online

20 September 2023

Keywords:

Crude fiber

Crude protein

Morphological traits

Tolerance to salinity

Total ash

ABSTRACT

Objective: Regarding the importance of nutritional management in saline conditions and the need to investigate the nutritional aspects of the new quinoa crop, this research was conducted with the aim of investigating the effect of different levels of salinity stress and different nano fertilizers on the morphological characteristics and quantitative and qualitative characteristics of quinoa forage.

Methods: This experiment was conducted on factorial experimental based on a completely randomized design with three replications in the research field of Urmia University during 2017-2018. The first factor was salinity stress with water of Lake Urmia at three levels (0, 16, 32 dS m⁻¹) and the second factor was nano-fertilizer at five levels (potassium, zinc calcium, silica, and no foliar application (control)).

Results: The results showed that the highest and lowest values of plant height, leaf dry weight and inflorescence dry weight were obtained from the treatment without salinity stress and salinity stress at 32 dS m⁻¹, respectively. Salinity stress at 32 and 16 ds/m, compared to the control, increased crude protein (5% and 3%), soluble carbohydrates (15% and 14%), acid detergent fiber (23% and 7%), neutral detergent fiber (20% and 5%) and crude fiber (10% and 5%), respectively, while it reduced the total ash (27% and 17%) and dry matter digestibility (22% and 8%). Also, foliar application of nano-fertilizers improved forage quality traits such as crude protein, total ash, dry matter digestibility and soluble carbohydrate content and unfavorable qualitative traits such as neutral detergent fiber, acid detergent fiber and crude fiber decreased.

Conclusion: Therefore, in order to improve the growth, increase the quality of quinoa forage, and reduce the effects of salinity stress, foliar application with various nano-fertilizers, especially calcium nano-fertilizer, is highly recommended.

Cite this article: Heidari, F., Jalilian, J., & Gholinezhad, E. (2023). The effect of salinity stress and foliar application of nano-fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of quinoa forage. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 769-785. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.338348.2672>



تأثیر تنش شوری و محلول پاشی با نانوکودها بر ویژگی‌های کمی و کیفی علوفه گیاه کینوا

فائزه حیدری^۱ | جلال جلیلیان^۲ | اسماعیل قلی‌نژاد^۳ ✉

۱. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: heidaryfh9@urmia.ac.ir

۲. گروه مهندسی تولید و ژنتیک گیاهی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. رایانامه: j.alilian@urmia.ac.ir

۳. نویسنده مسئول، گروه علمی علوم کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران. رایانامه: e_gholinejad@pnu.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۰۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۳

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

هدف: با توجه به اهمیت مدیریت تغذیه در شرایط شور و لزوم بررسی جنبه‌های تغذیه‌ای گیاه زراعی جدید کینوا، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش شوری و نانوکودهای مختلف بر ویژگی‌های مورفولوژیک و ویژگی‌های کمی و کیفی علوفه کینوا انجام گرفت.

روش پژوهش: این پژوهش به صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار در سال زراعی ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه به صورت گلدانی اجرا شد. فاکتور اول تنش شوری با آب دریاچه ارومیه در سه سطح (صفر، ۱۶ و ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر) و فاکتور دوم نانوکود در پنج سطح (پتاسیم، روی، کلسیم، سیلیسیم و عدم برگ‌پاشی) بود.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار ارتفاع بوته، وزن خشک برگ و گل‌آذین به ترتیب از تیمار بدون تنش شوری و شوری ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر حاصل شد. تنش شوری ۳۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد به ترتیب پروتئین خام (۵ و ۳ درصد)، درصد کربوهیدرات قابل حل در آب (۱۵ و ۱۴ درصد)، درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (۲۳ و ۷ درصد)، درصد فیبر خام (۱۰ و ۵ درصد) و درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی (۲۰ و ۵ درصد) را افزایش داد، درحالی‌که به ترتیب موجب کاهش خاکستر کل (۲۷ و ۱۷ درصد) و ماده خشک قابل هضم (۲۲ و ۸ درصد) شد. محلول پاشی با نانوکودها در مقایسه با شاهد (عدم محلول پاشی) ویژگی‌های مورفولوژیک مورد مطالعه را افزایش داد. همچنین ویژگی‌های کیفی مطلوب علوفه مانند پروتئین خام، خاکستر کل، ماده خشک قابل هضم و درصد کربوهیدرات قابل حل در آب علوفه کینوا را بهبود بخشید و ویژگی‌های کیفی نامطلوب مانند درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی و درصد فیبر خام را کاهش داد.

نتیجه‌گیری: بنابراین برای بهبود رشدونمو و افزایش کیفیت علوفه کینوا و تعدیل اثرات تنش شوری، محلول پاشی با نانوکودهای مختلف به‌ویژه نانوکود کلسیم توصیه می‌گردد.

کلیدواژه‌ها:

پروتئین خام

تحمل به شوری

خاکستر کل

فیبر خام

صفات مورفولوژیک

استناد: حیدری، فائزه؛ جلیلیان، جلال؛ و قلی‌نژاد، اسماعیل (۱۴۰۲). تأثیر تنش شوری و محلول پاشی با نانوکودها بر ویژگی‌های کمی و کیفی علوفه گیاه کینوا. *به‌زرعی کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۷۶۹-۷۸۵. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2022.338348.2672>



۱. مقدمه

شوری یکی از تنش‌های غیرزنده مهم است که بر تولید محصولات کشاورزی تأثیر می‌گذارد. شوری دست‌کم به ۲۰ درصد از محصولات زراعی در سراسر جهان آسیب می‌رساند (Hussain *et al.*, 2018). مقدار جذب آب توسط گیاهان در سطوح بالای شوری به شدت کاهش می‌یابد. تنش شوری سطح آب درون سلولی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از رشد سلول جلوگیری می‌کند (Ferchichi *et al.*, 2018). تجمع نمک‌ها موجب کاهش غلظت رنگدانه‌های فتوسنتزی مانند کلروفیل می‌شود و به دنبال آن دستگاه فتوسنتز را تخریب می‌کند (Fing *et al.*, 2018). با توجه به اثرات تنش شوری بر گسترش سلول و رشدونمو عادی اندام‌ها، این تنش می‌تواند تأثیر منفی بر ویژگی‌های رویشی از جمله ارتفاع بوته داشته باشد.

کینوا گیاهی یک‌ساله از خانواده اسفنجیان (Chenopodiaceae) می‌باشد که شباهت ظاهری با علف هرز سلمه‌تره دارد و بسیار خوش‌هضم بوده و از دانه‌های برنج نیز سبک‌تر و خوش‌هضم‌تر است. منبع غنی از آهن، پروتئین، منیزیم، فیبر، فسفر و ویتامین B2 می‌باشد. کینوا دارای پروتئین زیادی می‌باشد که نه اسید آمینه ضروری را نیز در بر گرفته است. این گیاه به منظور تولید دانه کشت می‌شود، اما از برگ‌های جوان آن به صورت سبزی تازه یا پخته استفاده می‌شود (Ruiz *et al.*, 2016). برگ‌های آن شبیه اسفناج است و گل‌های آن از سفید تا قرمز متغیر می‌باشد. بذرها کوچک و به رنگ‌های متنوع از سفید تا تیره دارند. بذرها در گل آذین خوشه‌ای قرار دارند. برخی از واریته‌های کینوا بین ۱۰۰۰۰ تا ۷۰۰۰۰ بذر تولید می‌کنند. این گیاه مانند گندم خودگرده افشان بوده و گاهی اوقات ۱۰ تا ۱۵ درصد دگرگرده‌افشانی از خود نشان می‌دهد. این گیاه دارای سیستم ریشه‌ای قوی بوده و نسبت به استرس خشکی مقاوم می‌باشد. طول دوره رشد این گیاه بین ۹۰ تا ۱۲۵ روز متغیر می‌باشد (طاوسی و همکاران، ۱۳۹۶).

استفاده گسترده از کودهای شیمیایی معمولی به خاک و سلامت انسان ضرر می‌رساند و موجب تغییراتی در اکوسیستم می‌شود. استفاده از کودهای نانو می‌تواند جایگزین مناسبی برای کودهای مرسوم قبلی شوند و عناصر یا مواد غذایی که به شکل نانوکود به گیاهان داده می‌شود به صورت کنترل‌شده در خاک آزاد می‌گردند؛ به‌طور کلی فناوری نانو امکان استفاده از عناصر غذایی و کاهش هزینه‌های حفاظت از محیط زیست را فراهم کرده است (Chinnamuthu *et al.*, 2009). این کودها به آسانی جذب می‌شوند و افزون بر این که پیامدهای زیست‌محیطی چندانی ندارند، می‌توانند کیفیت خاک را افزایش دهند (Mazaherinia *et al.*, 2010).

۲. پیشینه پژوهش

گزارش شده است که ارتفاع گیاه کینوا در سطوح شوری ۱۵ و ۳۰ دسی‌زیمنس بر مت تنها کاهش ۸/۵ درصدی را داشت، درحالی‌که این کاهش برای ارتفاع گل آذین ۲۶/۷ درصد بود (خلیلی و همکاران، ۱۳۹۶). با بررسی اثر آبیاری با آب شور حاصل از اختلاط آب دریا و آب شهری بر جوانه‌زنی و عملکرد گیاه کینوا گزارش شده است که افزایش شوری موجب کاهش طول ریشه، طول ساقه، مورفولوژی ریشه و وزن تر و خشک اندام هوایی کینوا گردید (Panuccio *et al.*, 2014). با توجه به محدودیت منابع آب و افزایش شوری، استفاده از آب‌های شور می‌تواند از راهبردهای مدیریتی در جهت استفاده کارآمد در شرایط خشکسالی و بحران آب محسوب شود (Mansouri Far *et al.*, 2010).

پروتئین کینوا از هر دو نظر کمی و کیفی بهتر از دانه غلات می‌باشد و پروتئین آن دو برابر گندم است (Lilian, 2009). ویژگی‌های کیفی علوفه کینوا مانند فیبر نامحلول در شوینده خنثی و اسیدی به‌طور معنی‌داری کمتر از یونجه و یولاف بوده و محتوای پروتئین خام بیش‌تر از دو گونه بالا می‌باشد و بیش‌تر از ۲۰ درصد می‌رسد (Shah *et al.*, 2020).

کودهای نانو از عواملی که باعث ایجاد تنش‌های مختلف زنده و غیر زنده در گیاهان می‌شوند، جلوگیری می‌کنند. به‌عبارتی، کودهای نانو با توجه به اندازه مناسب ذرات‌شان به‌راحتی جذب گیاه می‌شوند و بنابراین گیاهانی که مقدار مناسبی از عناصر غذایی را جذب نمایند، بنیه قوی خواهند داشت و در مقابل تنش‌های زنده و غیر زنده مقاوم می‌شوند (Singh et al., 2017). امروزه انواع عناصر میکرو با فناوری نانو به دو شکل نانوذره و نانوکلات غنی شده‌اند تا ضمن ایجاد محیطی مناسب برای فعالیت میکروارگانیسم‌ها، توان گیاه را در رشد و تولید محصول تقویت کنند و از عواملی که باعث ایجاد تنش‌های مختلف زنده و غیرزنده در گیاهان می‌شوند جلوگیری می‌کنند (ملکی لجایر و همکاران، ۱۳۹۹). روابط بین شوری و تغذیه گیاهان پیچیده می‌باشد. تحت تنش شوری استفاده از عناصر غذایی همراه با آبیاری موجب کاهش کارایی عناصر غذایی می‌شود، چون خاک بیش از اندازه قلیایی شده و این عناصر در خاک تثبیت و غیرقابل مصرف می‌شوند. اما کاربرد عناصر موردنیاز به‌صورت محلول‌پاشی به جهت افزایش جذب آن‌ها روش مناسبی می‌باشد (Zayed et al., 2011). در بین عناصر ضروری، روی نقش ساختاری و عملکردی دارد و می‌تواند اثر زیان‌بار تنش شوری را کاهش دهد. همچنین روی در ساخت پروتئین‌ها و کربوهیدرات‌ها، نقش حیاتی دارد (Cabot et al., 2019). نتایج مطالعات نشان داده است که محلول‌پاشی با نانوکودهای کلسیم، آهن و روی می‌تواند عملکرد گیاه ذرت را افزایش دهد (Xia et al., 2019). همچنین نتایج پژوهش Chand et al. (2017) نشان داد که محلول‌پاشی با سولفات روی حداکثر محتوای پروتئین خام گیاه ذرت را تولید کرد. در مطالعه‌ای گزارش شد که محلول‌پاشی با نانوکودهای کلسیم، آهن و روی، محتوای خاکستر را در گیاه سورگوم به‌طور معنی‌داری افزایش داد (Asif et al., 2020).

با توجه به اهمیت مدیریت تغذیه در شرایط شور و لزوم بررسی جنبه‌های تغذیه‌ای گیاه زراعی جدید کینوا، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر سطوح مختلف تنش شوری و نانوکودهای مختلف بر ویژگی‌های مورفولوژیک و ویژگی‌های کمی و کیفی علوفه کینوا انجام گرفت.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این پژوهش در سال ۱۳۹۷ در مزرعه تحقیقاتی دانشگاه ارومیه به‌صورت فاکتوریل بر پایه طرح کاملاً تصادفی به‌صورت کشت گلدانی با ۱۵ تیمار و سه تکرار اجرا شد. تیمار تنش شوری با آب دریاچه ارومیه در سه سطح (صفر، ۱۶، ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر) بود. تیمار محلول‌پاشی در پنج سطح ۱- نانوکود پتاسیم^۱ (۲ در هزار)، ۲- نانوکود روی^۲ (۱/۵ در هزار)، ۳- نانوکود کلسیم^۳ (۲ در هزار)، ۴- نانوکود سیلیسیم^۴ (۱/۵ در هزار) و شاهد (عدم برگ‌پاشی) بود. زمان محلول‌پاشی بعد از استقرار سه گیاهچه در گلدان و رسیدن به مرحله چهاربرگی هر ۱۲ روز یک‌بار (در مجموع در پنج مرحله) انجام گرفت. نانوکودهای کلاته مورد استفاده در این پژوهش (با نام تجاری خضراء) توسط شرکت دانش‌بنیان صدور احراز شرق با روش خودچینی و براساس فناوری^۵ پتنت‌شده در اداره ثبت اختراعات امریکا، تولید شده است. نانوکود کلات پتاسیم، کلسیم، سیلیسیم و روی استفاده‌شده در این پژوهش به‌ترتیب حاوی ۲۷، ۷، ۲ و ۱۲ درصد عناصر پتاسیم، کلسیم، سیلیسیم و روی در فرم کلات‌شده هستند.

در ابتدا برای آماده‌سازی خاک گلدان‌ها به‌ترتیب با نسبت‌های ۳، ۱، ۱ خاک و کود دامی و ماسه بادی مخلوط شده و به گلدان‌هایی که برای زهکشی مناسب از قبل ته آن‌ها سوراخ شده بود، اضافه شدند و در فضای آزاد مزرعه تحقیقاتی دانشگاه

۱. Nano chelated potassium

۲. Nano chelated zinc

۳. Nano chelated calcium

۴. Nano chelated silicon

۵. Chelate Compounds

ارومیه قرار گرفتند. به دلیل یکسان بودن شرایط آزمایش برای پر کردن خاک در گلدان‌ها هر کدام وزن شده و به مقدار مساوی با خاک پر شدند. وزن هر گلدان برابر با هفت کیلوگرم و دارای قطر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متری بودند. سپس ظرفیت مزرعه‌ای هر گلدان محاسبه شد و به هر گلدان به مقدار ۱۴۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم خاک، کود اوره و کود سوپرفسفات تریپل (براساس نتایج آزمون خاک) اضافه گردید. بذر کینوا رقم Titicaca در تاریخ ۹ تیرماه سال ۱۳۹۷ کاشته شد و هر یک از بذرها در عمق ۲ سانتی‌متری از خاک گلدان‌ها قرار گرفتند. تشخیص زمان آبیاری با استفاده از دستگاه رطوبت‌سنج خاک (Soil moisture meter PMS-714, Taiwan) انجام شد. ابتدا واسنجی دستگاه با رطوبت در حد ظرفیت مزرعه‌ای خاک مورد استفاده در آزمایش انجام گرفت (میزان رطوبت در ظرفیت مزرعه‌ای، ۲۵ درصد و معادل یک لیتر و ۲۰۰ میلی‌لیتر برای هر گلدان بود) و سپس براساس مقدار رطوبت وزنی (برحسب درصد) گلدان‌ها، آبیاری براساس رسیدن رطوبت گلدان‌ها به ۷۰ درصد ظرفیت مزرعه‌ای انجام شد. تیمار شوری به صورت پلکانی اعمال شد، برای این منظور در ابتدا و برای سازگارشدن، گیاهان با شوری کم‌تر آبیاری شدند و سپس شوری‌های ذکر شده براساس تیمارها اعمال شدند. البته در پایان آزمایش شوری تجمعی در خاک گلدان‌ها اندازه‌گیری شد. عملیات برداشت نیز در تاریخ ۱۸ مهرماه بعد از رسیدگی کامل فیزیولوژیکی کف‌بر شده و برای انجام آزمایش‌ها به آزمایشگاه دانشگاه ارومیه منتقل شدند. نتایج ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک مورد مطالعه بعد از مخلوط کردن ماده آلی و ماسه تعیین شد و در جدول (۱) آمده است.

جدول ۱. برخی از خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک مورد آزمایش

pH	EC (دسی‌زیمنس بر متر)	شن (درصد)	سیلت (درصد)	ریس (درصد)	کربن آلی (درصد)	نیترژن (درصد)	کلسیم (میلی اکی والان بر ۱۰۰ گرم)	فسفر (پی‌پی‌ام)	پتاسیم (پی‌پی‌ام)	آهک (درصد)	مس (پی‌پی‌ام)	روی (پی‌پی‌ام)	آهن (پی‌پی‌ام)	منگنز (پی‌پی‌ام)
۸/۱۲	۲/۹۸	۶۰/۵	۱/۵	۳۸	۱/۴۰	۰/۲۵	۷۶/۸	۱۱/۲	۵۱۴	۱۷/۵	۱/۶۶	۰/۷۸	۱/۵۶	۰/۷

بعد از برداشت کینوا که سه بوته در هر گلدان بود تمامی برگ‌ها، تعداد شاخه فرعی و گل‌آذین‌های موجود در گیاه در آزمایشگاه شمارش و یادداشت برداری شد. گل‌آذین کینوا در هوای آزاد و بدون دستگاه خشک‌کن به‌طور طبیعی خشک و سپس توسط ترازوی دقیق توزین گردید (سید شریفی و قلی‌نژاد، ۱۴۰۰).

کیفیت علوفه: برای اندازه‌گیری کیفیت علوفه، نمونه‌ها خشک و پودر شدند و از تکنولوژی طیف‌سنجی مادون قرمز (Near Infrared Reflectance) استفاده شد. تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۱) و MATAT-C و مقایسه میانگین‌ها نیز توسط آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد انجام شد. برای داده‌هایی که از طریق شمارش به دست آمده بودند با استفاده از نرم‌افزار SPSS (نسخه ۱۶) تبدیل جذری به عمل آمد و سپس تجزیه واریانس و میانگین‌ها انجام شد.

۴. یافته‌های پژوهش

۴.۱. ویژگی‌های مورفولوژیک

نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات اصلی تنش شوری بر ویژگی‌های ارتفاع بوته، ارتفاع گل‌آذین، تعداد گل‌آذین، تعداد شاخه، تعداد برگ، وزن خشک برگ و وزن خشک گل‌آذین و محلول پاشی نانوکود بر ویژگی‌های

ارتفاع بوته، تعداد گل‌آذین، وزن خشک برگ، ارتفاع گل‌آذین، تعداد برگ و وزن خشک گل‌آذین معنی‌دار ($P < 0.05$) بود اما اثرات متقابل آن‌ها معنی‌دار نبود (جدول ۲).

جدول ۲. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ویژگی‌های مورفولوژیک علوفه کینوا تحت تأثیر نانوکود و سطوح مختلف تنش شوری

منبع تغییرات	درجه آزادی	ارتفاع بوته	ارتفاع گل‌آذین	تعداد گل‌آذین	تعداد شاخه	تعداد برگ	وزن خشک برگ	وزن خشک گل‌آذین
تنش شوری	۲	۲۲۹/۶۱**	۵۱/۹۰**	۲۱۲/۰۸**	۷۸/۲۸*	۳۴۰۵۰/۴۳**	۲۶/۲۳**	۱۰/۰۰۴**
نانوکود	۴	۷۲/۳۵**	۳/۷۷*	۸/۴۱**	۲/۶۱ns	۵۵۱۸/۳۰*	۳/۲۸**	۱/۵۴*
تنش شوری × نانوکود	۸	۱۰/۹۱ns	۰/۵۵ns	۱/۸۹ns	۱/۶۷ns	۱۹۱۶/۰۳ns	۱/۴۹ns	۰/۳۴ns
خطای آزمایشی	۳۰	۱۳/۷۳	۱/۰۰۳	۱/۹۷	۱/۵۳	۱۵۰۰/۲۸	۰/۵۶	۰/۵۰۰
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۱/۳۸	۱۱/۹۵	۱۶/۸۳	۱۵/۶۹	۱۸/۹۴	۱۹/۳۸	۲۶/۲۵

ns و * و **: به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد، پنج درصد و غیر معنی‌دار.

تنش شوری سبب کاهش تمام ویژگی‌های مورفولوژیک گیاه شد. در سطوح شوری ۳۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد به ترتیب ویژگی‌های ارتفاع بوته (۲۱ و ۱۴ درصد)، ارتفاع گل‌آذین (۳۶ و ۲۰ درصد)، تعداد گل‌آذین (۵۷ و ۴۴ درصد)، تعداد برگ (۳۵ و ۲۹ درصد)، وزن خشک برگ (۴۵ و ۴۰ درصد) و وزن خشک گل‌آذین (۴۶ و ۲۷ درصد) کاهش یافت (جدول ۳). میان ویژگی‌های مورفولوژیک علوفه در تیمارهای مختلف محلول‌پاشی با نانوکودها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳). محلول‌پاشی با نانوکود کلسیم موجب تعدیل تنش شوری شد و در مقایسه با تیمار شاهد ویژگی‌های ارتفاع بوته، ارتفاع گل‌آذین، تعداد گل‌آذین، تعداد برگ، وزن خشک برگ و وزن خشک گل‌آذین را به ترتیب ۱۷، ۱۶، ۲۷، ۲۸، ۲۵ درصد افزایش داد (جدول ۳).

جدول ۳. مقایسه میانگین اثرات اصلی تنش شوری و نانوکود بر ویژگی‌های مورفولوژیک علوفه کینوا

تیمار تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	ارتفاع بوته (سانتی‌متر)	ارتفاع گل‌آذین (سانتی‌متر)	تعداد گل‌آذین در هر گلدان	تعداد برگ در هر گلدان	وزن خشک برگ (گرم بر بوته)	وزن خشک گل‌آذین (گرم بر بوته)
۰	۳۶/۷۸ a	۱۰/۳۱ a	۱۲/۶۰ a	۲۵۸/۸۰ a	۵/۳۹ a	۳/۵۵ a
۱۶	۳۱/۸۱ b	۸/۲۳ b	۷/۰۶ b	۱۸۴/۴۷ b	۳/۲۲ b	۲/۵۹ b
۳۲	۲۹/۰۶ b	۶/۵۹ c	۵/۴۰ c	۱۷۰/۰۰ b	۲/۹۹ b	۱/۹۳ c
نانوکود						
کلسیم	۳۳/۹۰ a	۸/۵۸ a	۹/۷۷ a	۲۳۰/۰۰ a	۴/۴۶ a	۳/۰۳ a
سیلیسیم	۳۳/۵۲ ab	۸/۶۹ a	۸/۳۳ ab	۲۱۶/۶۷ a	۴/۴۵ a	۲/۴۱ a
پتاسیم	۳۳/۳۹ ab	۸/۷۹ a	۸/۵۵ b	۱۹۷/۶۷ a	۳/۹۱ a	۲/۸۷ a
روی	۳۱/۶۹ bc	۸/۵۹ a	۸/۰۰ b	۲۱۲/۵۶ a	۳/۱۵ ab	۳/۰۴ ab
شاهد	۲۸/۲۵ c	۷/۲۳ b	۷/۱۱ b	۱۶۵/۲۲ ab	۳/۳۷ b	۲/۱۱ b

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون (تیمار تنش شوری و نانوکود جداگانه) براساس آزمون توکی تفاوت معنی‌داری ($P < 0.01$) ندارند.

۲.۴. کیفیت علوفه

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که تأثیر اثرات اصلی تنش شوری و محلول‌پاشی با نانوکود بر ویژگی‌های مربوط به کیفیت علوفه معنی‌دار بود (جدول ۴). هم‌چنین برهم‌کنش تنش شوری و نانوکود بر تمامی ویژگی‌های مربوط به کیفیت علوفه به‌جز پروتئین خام و خاکستر کل معنی‌دار بود (جدول ۴).

جدول ۴. تجزیه واریانس (میانگین مربعات) ویژگی‌های کیفیت علوفه کینوا تحت تأثیر نانوکود و سطوح مختلف تنش شوری

منبع تغییرات	درجه آزادی	پروتئین خام	ماده خشک قابل هضم	کربوهیدرات قابل هضم	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی	خاکستر کل	فیبر خام	فیبر نامحلول در شوینده خنثی
تنش شوری	۲	۸/۶۳**	۶۱۶/۶۰**	۶۶/۳۹**	۵۰۴/۹۷*	۲۲/۱۷**	۲۷/۸۱**	۵۱۰/۶۵**
نانوکود	۴	۴/۳۴*	۵۴/۷۹**	۲۴/۵۴**	۷/۰۰۹*	۲/۴۵**	۳/۴۹**	۹/۶۴**
تنش شوری × نانوکود	۸	۱/۳۶ns	۱۹/۱۳*	۴/۹۰**	۴/۳۰*	۰/۲۶ns	۱/۶۴*	۳/۲۶**
خطای آزمایشی	۳۰	۱/۳۲	۶/۳۳	۰/۷۶	۱/۸۱	۰/۴۵	۰/۶۶	۱/۲۶
ضریب تغییرات (درصد)	-	۳/۶۱	۴/۱۰	۳/۶۵	۳/۱۴	۸/۷۴	۳/۰۳	۲/۳۰

***، ** و * ns: به ترتیب تفاوت معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد و غیر معنی‌دار.

۳.۴. پروتئین خام

نتایج مقایسه میانگین ویژگی‌های کیفیت علوفه نشان داد تنش شوری ۳۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد پروتئین خام را به ترتیب به میزان ۵ و ۳ درصد افزایش داد (جدول ۵). محلول پاشی با نانوکود در مقایسه با شاهد سبب افزایش پروتئین خام علوفه کینوا شد. محلول پاشی با نانوکود سیلیسیم در مقایسه با شاهد درصد پروتئین خام را به میزان ۵ درصد افزایش داد (جدول ۵).

جدول ۵. مقایسه میانگین‌های پروتئین خام و خاکستر کل علوفه کینوا برای اثرات اصلی تنش شوری و نانوکود

تیمار تنش شوری (دسی‌زیمنس بر متر)	پروتئین خام (درصد)	خاکستر کل (درصد)
۰	۳۱/۰۵ b	۹/۰۱ a
۱۶	۳۲/۰۰۸ a	۷/۵۰ b
۳۲	۳۲/۵۵ a	۶/۶۱ c
نانوکود		
کلسیم	۳۲/۲۵ a	۷/۹۶ a
سیلیسیم	۳۲/۲۹ a	۸/۰۸ a
پتاسیم	۳۲/۰۷ a	۷/۷۶ a
روی	۳۲/۰۹ a	۷/۹۳ a
شاهد	۳۰/۶۴ b	۶/۷۹ b

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون (تیمار تنش شوری و نانوکود جداگانه) براساس آزمون توکی تفاوت معنی‌داری (P < ۰/۰۱) ندارند.

۴.۴. خاکستر کل

در سطوح شوری ۳۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد خاکستر کل به ترتیب ۲۷ و ۱۷ درصد کاهش یافت (جدول ۵). محلول پاشی با نانوکود در مقایسه با شاهد سبب افزایش خاکستر کل علوفه کینوا گردید بین تیمارهای مختلف نانوکود از نظر تأثیر روی خاکستر کل تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. محلول پاشی با نانوکود سیلیسیم در مقایسه با شاهد درصد خاکستر کل را به میزان ۱۶ درصد افزایش داد (جدول ۵).

۵.۴. ماده خشک قابل هضم

در سطوح شوری ۳۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد ماده خشک قابل هضم به ترتیب ۲۲ و ۸ درصد کاهش یافت (جدول ۶). محلول پاشی با نانوکود در مقایسه با شاهد سبب افزایش ماده خشک قابل هضم علوفه کینوا شد. در شرایط مطلوب (عدم تنش شوری) محلول پاشی با نانوکود سیلیسیم و پتاسیم در مقایسه با شاهد درصد ماده خشک قابل هضم را به ترتیب به میزان ۱۳ و ۱۲ درصد افزایش داد. در شرایط تنش شوری تأثیر محلول پاشی با نانوکود کلسیم روی

درصد ماده خشک قابل هضم بهتر از سایر نانوکودها بود. به‌طوری‌که در شرایط شوری ۱۶ و ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر محلول‌پاشی با نانوکود کلسیم در مقایسه با شاهد، درصد ماده خشک قابل هضم را به‌ترتیب به میزان ۱۳ و ۱۲ درصد افزایش داد (جدول ۶).

جدول ۶. مقایسه میانگین اثرات برهم‌کنش تنش شوری و نانوکود بر کیفیت علوفه کینوا

تیمار (تنش شوری و نانوکود)	ماده خشک قابل هضم (درصد)	کربوهیدرات قابل هضم (درصد)	الیاف نامحلول در شوینده اسیدی (درصد)	فیبر خام (درصد)	فیبر نامحلول در شوینده خنثی (درصد)
کلسیم	۶۹/۰۸ ab	۲۱/۵۷ fg	۳۶/۷۸ e	۲۵/۰۷ de	۴۲/۸۱ f
سیلیسیم	۷۱/۸۳ a	۲۱/۵۰ fg	۳۷/۸۹ de	۲۴/۷۷ e	۴۳/۹۵ ef
پتاسیم	۷۱/۴۶ a	۲۲/۰۷ fg	۳۶/۹۱ e	۲۵/۳۲ cde	۴۲/۹۵ f
صفر	۶۵/۱۹ bcd	۲۲/۰۱ fg	۳۹/۵۹ cd	۲۵/۶۲ cde	۴۴/۸۰ def
شاهد	۶۲/۶۸ cde	۲۰/۶۰ g	۴۰/۱۳ cd	۲۶/۸۰ bc	۴۶/۵۶ cd
کلسیم	۶۶/۴۵ bc	۲۱/۷۶ fg	۳۹/۸۵ cd	۲۶/۳۰ bed	۴۵/۶۲ de
سیلیسیم	۶۳/۶۳ cde	۲۵/۵۹ cd	۴۱/۳۸ bc	۲۶/۸۲ bc	۴۶/۳۸ d
پتاسیم	۶۰/۵۹ def	۲۷/۳۰ b	۴۱/۷۳ bc	۲۶/۹۴ b	۴۶/۸۹ cd
۱۶	۶۱/۵۶ de	۲۶/۵ bc	۳۹/۵۸ cd	۲۶/۷۸ bc	۴۵/۶۷ de
رو	۵۹/۵۰ efg	۲۴/۲۴ de	۴۲/۹۱ b	۲۷/۱۰ b	۴۸/۴۱ c
شاهد	۵۵/۸۲ ghi	۲۳/۱۱ ef	۵۰/۰۵ a	۲۹/۱۶ a	۵۶/۳۵ a
کلسیم	۵۳/۲۲ hij	۲۵/۷۳ bcd	۴۷/۸۰ a	۲۷/۰۳ b	۵۳/۲۳ b
سیلیسیم	۵۱/۷۵ ij	۲۸/۷۸ a	۴۹/۲۶ a	۲۶/۹۴ b	۵۵/۰۸ ab
پتاسیم	۵۳/۳۷ hij	۲۶/۲۳ bc	۴۹/۷۹ a	۲۸/۵۴ a	۵۵/۲۹ a
۳۲	۴۹/۸۸ j	۲۲/۵۹ f	۵۰/۲۱ a	۲۹/۵۳ a	۵۶/۵۱ a
شاهد					

اعداد دارای حروف مشابه در هر ستون براساس آزمون توکی تفاوت معنی‌داری ($P < 0.01$) ندارند.

۶.۴. کربوهیدرات قابل حل در آب

با افزایش سطح تنش شوری، درصد کربوهیدرات قابل حل در آب افزایش معنی‌داری یافت، به‌طوری‌که تنش شوری ۳۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد، درصد کربوهیدرات قابل حل در آب را به‌ترتیب به میزان ۱۵ و ۱۴ درصد افزایش داد (جدول ۶). محلول‌پاشی با نانوکودها در مقایسه با شاهد سبب افزایش درصد کربوهیدرات قابل حل در آب شد. محلول‌پاشی با نانوکود پتاسیم در مقایسه با عدم محلول‌پاشی درصد کربوهیدرات قابل حل در آب را در شرایط عدم تنش شوری، سطوح شوری ۱۶ و ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر به‌ترتیب ۷، ۱۱ و ۲۲ درصد افزایش داد (جدول ۶).

۷.۴. الیاف نامحلول در شوینده اسیدی

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که در سطوح شوری ۳۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی به‌ترتیب ۲۳ و ۷ درصد افزایش یافت (جدول ۶). محلول‌پاشی با نانوکودها در مقایسه با شاهد سبب کاهش درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی علوفه کینوا گردید. در شرایط عدم تنش شوری، محلول‌پاشی با نانوکود کلسیم در مقایسه با شاهد درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی را به میزان ۸ درصد کاهش داد. در شرایط شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر محلول‌پاشی با نانوکود روی در مقایسه با شاهد درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی را به میزان ۸ درصد کاهش داد (جدول ۶). در شرایط شوری ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر محلول‌پاشی با نانوکود سیلیسیم در مقایسه با شاهد درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی را به میزان ۵ درصد کاهش داد و با سایر نانوکودها تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۶).

۸.۴. درصد فیبر خام

نتایج مقایسه میانگین داده‌ها نشان داد تنش شوری ۳۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد درصد فیبر خام را به ترتیب به میزان ۱۰ و ۵ درصد افزایش داد (جدول ۶). محلول پاشی با نانوکود در مقایسه با شاهد سبب کاهش درصد فیبر خام علوفه کینوا شد. در شرایط مطلوب (عدم تنش شوری) محلول پاشی با نانوکود سیلیسیم در مقایسه با شاهد درصد فیبر خام را به میزان ۸ درصد کاهش داد. در شرایط شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر محلول پاشی با نانوکود کلسیم در مقایسه با شاهد درصد فیبر خام را به میزان ۳ درصد کاهش داد (جدول ۶). در شرایط شوری ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر محلول پاشی با نانوکود پتاسیم در مقایسه با شاهد درصد فیبر خام را به میزان ۹ درصد کاهش داد (جدول ۶).

۹.۴. درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی

تنش شوری ۳۲ و ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر در مقایسه با شاهد درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی را به ترتیب به میزان ۲۰ و ۵ درصد افزایش داد (جدول ۶). محلول پاشی با نانوکود در مقایسه با شاهد سبب کاهش درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی شد. در شرایط مطلوب (عدم تنش شوری) محلول پاشی با نانوکود پتاسیم در مقایسه با شاهد درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی را به میزان ۸ درصد کاهش داد. در شرایط شوری ۱۶ دسی‌زیمنس بر متر محلول پاشی با نانوکود کلسیم در مقایسه با شاهد درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی را به میزان ۶ درصد کاهش داد (جدول ۶). در شرایط شوری ۳۲ دسی‌زیمنس بر متر محلول پاشی با نانوکود پتاسیم در مقایسه با شاهد درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی را به میزان ۶ درصد کاهش داد (جدول ۶).

۵. بحث

در این مطالعه تنش شوری باعث کاهش ارتفاع بوته کینوا شد. کاهش ارتفاع بر اثر شوری می‌تواند یک راه‌کار مناسب برای مقابله با شوری باشد. در اثر کاهش ارتفاع، میزان مصرف آب به دلیل رشد کم‌تر و هم‌چنین تعرق کم‌تر کاهش می‌یابد. به نظر می‌رسد کاهش طول ساقه در اثر شوری به دلیل کاهش فتوسنتز باشد. نتایج سایر پژوهش‌ها نیز نشان داده تنش شوری سبب کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته و سطح برگ کینوا می‌شود (جمالی و شریفان، ۱۳۹۷). تنش شوری ۱۵ دسی‌زیمنس بر متر میزان ارتفاع بوته، سطح و عرض برگ، طول گل، قطر گل، تعداد گلچه در گل‌آذین اصلی و وزن خشک اندام هوایی را به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار شاهد کاهش داد (دهقان و رحیم ملک، ۱۳۹۷). احتمالاً یکی از دلایل کاهش تعداد گلچه، کاهش فتوسنتز و تامین آسیمیلات ناکافی برای رشد زایشی می‌باشد. کاهش وزن خشک برگ و وزن خشک گل‌آذین ناشی از کاهش ارتفاع گیاه بوده است (دهقان و رحیم ملک، ۱۳۹۷). سمیت احتمالی ناشی از تجمع بیش از حد یون سدیم در اندام‌های گیاهی، می‌تواند دلیل کاهش تولید ماده خشک گیاه باشد. معمولاً در شرایط تنش شوری روزه‌های هوایی بسته می‌شود و به دلیل کاهش تبادلات گازی، میزان فتوسنتز کاهش می‌یابد. در نهایت، شوری می‌تواند رشد ریشه را نیز متوقف نموده و بدین طریق ظرفیت جذب آب و عناصر غذایی از خاک و انتقال آن‌ها از ریشه به اندام هوایی کاهش می‌یابد (Najafian et al., 2009). تعداد شاخه در گیاهان معمولاً تابعی از ارتفاع بوته و تعداد گره در ساقه می‌باشد، بنابراین با توجه به کاهش ارتفاع بوته در اثر افزایش تنش شوری کاهش تعداد شاخه دور از انتظار نبوده است.

براساس یافته‌های این پژوهش، نانوکودها سبب افزایش صفات مورفولوژیک شد. نانوکودها کلسیم می‌تواند با افزایش هدایت روزه‌ای و افزایش فعالیت آنزیم رویسکو، میزان فتوسنتز را در گیاهان تیمار شده افزایش دهد (Tan et al., 2011).

بهبود رشد رویشی گیاه در اثر محلول‌پاشی نانوکود کلسیم را می‌توان به نقش کلسیم در فرایندهای فتوسنتز و کربوکسیلاسیون نسبت داد (کوکبی و طباطبایی، ۱۳۹۰). در شوری ۳۲ دسی‌زیمنس، گیاه کینوا هر چند تحت تأثیر تنش قرار گرفت، اما کاهش رشد رویشی آن بسیار چشم‌گیر نبود. برای مثال ارتفاع کینوا در این سطوح شوری نسبت به شاهد تنها ۲۰ درصد کاهش یافت. در مطالعه‌ای گزارش شد کاربرد کودهای روی و آهن به‌ویژه به‌صورت نانو موجب بهبود بیوماس گیاه شد و بهترین بیوماس نفع فلفلی در تیمار نانوکود آهن مشاهده شد (رستمی و همکاران، ۱۳۹۹). گزارش شده است که بیش‌ترین وزن تر و خشک و سطح برگ‌ها، وزن تر و خشک سوخک‌ها (پیازچه‌ها) و ریشه و نیز تعداد برگ، طول، قطر، تعداد گلچه و عمر پس از برداشت ساقه گل با محلول‌پاشی نانوکلات کلسیم ۴ میلی‌لیتر در لیتر به‌دست آمد (نظری، ۱۳۹۸). در مورد افزایش ارتفاع گل‌آذین و تعداد گل با کاربرد کلسیم در این پژوهش، با توجه به نقش این عنصر در افزایش کارایی فتوسنتز و تولید فرآورده‌های فتوسنتزی در برگ‌ها (Tan et al., 2011) سبب بهبود این ویژگی‌ها شده است.

پروتئین موجود در علوفه به‌صورت پروتئین خام بیان می‌شود که یکی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی کیفیت علوفه است و هرچه مقدار آن بیش‌تر باشد، علوفه از کیفیت مناسبی برای تغذیه دام برخوردار است (Ross et al., 2005). همسو با نتایج ما در این پژوهش، در مطالعات سایر پژوهش‌گران نیز گزارش شده است که درصد پروتئین خام در تیمار تنش شوری بیش‌تر از شاهد بوده است و با افزایش شوری درصد پروتئین خام افزایش یافته است که شاید نشان‌دهنده افزایش نسبت برگ به ساقه با افزایش تنش شوری باشد (ولی زاده و همکاران، ۱۳۹۵؛ نباتی و همکاران، ۱۳۹۳). تنش شوری موجب کاهش ارتفاع بوته در گیاهان می‌شود و نسبت برگ به ساقه در گیاه افزایش می‌یابد با توجه به این‌که ساقه مقدار پروتئین کم‌تری نسبت به برگ دارد، بنابراین افزایش تنش شوری موجب افزایش میزان پروتئین در گیاه می‌شود. گزارش شده است که با افزایش سطح تنش شوری و با اعمال تنش در مرحله‌های کاشت و گیاهچه‌ای درصد پروتئین خام کوشیا افزایش یافت (نباتی و همکاران، ۱۳۹۳) که با نتایج ما مطابقت دارد. همچنین، کاربرد اغلب تیمارهای کودی (کود آلی-زیستی)، محلول‌پاشی کودهای کامل (شیمیایی و نانو)، کاربرد هم‌زمان ۵۰ درصدی کودها (آلی-زیستی + نانو، آلی-زیستی + شیمیایی، شیمیایی+نانو) سبب افزایش پروتئین خام، هضم‌پذیری ماده خشک و کربوهیدرات‌های محلول در آب در ذرت علوفه‌ای در مقایسه با تیمار شاهد شد (قدرتی آورسی و همکاران، ۱۳۹۸).

غلظت خاکستر نشان‌دهنده مقدار مواد معدنی موجود در بافت‌های گیاهی است که هرچه بیش‌تر باشد، دلالت برای آن دارد که گیاه مواد معدنی بیش‌تری را در اختیار دام قرار می‌دهد و بنابراین ارزش غذایی علوفه برای دام بیش‌تر است (Lewis & Farlane, 1986). در ارتباط با کاهش خاکستر کل با افزایش تنش شوری، گزارش شده است که در گیاه کوشیا با افزایش سطوح شوری ارتفاع، قطر ساقه، عملکرد علوفه، درصد ماده خشک قابل هضم، مقدار خاکستر کاهش اما میزان الیاف غیرمحلول در شوینده اسیدی افزایش یافت (Sobhani & Majidian, 2014) که با نتایج ما هماهنگی دارد. به‌نظر می‌رسد علت کاهش درصد خاکستر، همراه با افزایش سطوح تنش شوری این است که شوری موجب کاهش رشد قسمت‌های رویشی و ریشه گیاه می‌شود، به‌طوری‌که هرچه ریشه، گسترش کم‌تری داشته باشد، جذب مواد معدنی نیز کم‌تر خواهد شد و گیاه علاوه بر کاهش تولید مواد آلی مقدار کم‌تری نیز مواد معدنی را در خود نگه خواهد داشت (کلیدری و همکاران، ۱۳۸۶). همسو با این نتایج گزارش شده است که کاربرد نانوکودهای آهن، منگنز و روی سبب افزایش درصد خاکستر در سورگوم علوفه‌ای شد (Soleymani & Shahrajabian, 2012).

علت کاهش درصد ماده خشک قابل هضم گیاه در سطوح شوری را می‌توان ناشی از تغییرات سطح برگ در شرایط شور دانست که با افزایش سطوح شوری، سطح برگ گیاه کاهش می‌یابد، در نتیجه فعالیت فتوسنتزی کاهش می‌یابد و از آنجایی‌که

ماده خشک گیاه به دو جزء مواد غیر آلی و آلی تقسیم می‌شود، موجب کاهش ساخته‌شدن کربوهیدرات، چربی، پروتئین و اسیدهای آلی می‌شود و در نتیجه ماده خشک قابل هضم گیاه کاهش می‌یابد (ساعدی و همکاران، ۱۳۷۱). افزایش لیگنین با تشدید تنش شوری با افزایش درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی و درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی همراه بود که نتیجه آن کاهش درصد ماده خشک قابل هضم علوفه کینوا بوده است. درصد قابلیت هضم می‌تواند از عوامل تعیین‌کننده کیفیت علوفه باشد. میزان پروتئین خام نیز با هضم‌پذیری به‌صورت معنی‌دار مرتبط می‌باشد. کودهایی که مقادیر زیادی نیتروژن و فسفر و پتاسیم را دارا باشند موجب حداکثر عملکرد خواهند شد (ملکوتی و همکاران، ۱۳۸۳). با افزایش سن گیاه برای استحکام بیش‌تر و انتقال راحت‌تر مواد غذایی، سلولز و سایر مواد قندی در دیواره آوندها تجمع می‌یابند و دیواره لیگنینی می‌گردد. این دیواره برای دام نشخوارکننده هضم‌نشدنی است. در نتیجه قابلیت هضم علوفه نیز کاهش می‌یابد (Larbi *et al.*, 2011). در مطالعه‌ای گزارش شده است که محلول پاشی با نانوکود کامل در مقایسه با شاهد و سایر منابع کود زیستی و شیمیایی درصد ماده خشک قابل هضم ذرت علوفه‌ای را به‌طور معنی‌داری افزایش داد (قدرتی آوری و همکاران، ۱۳۹۸).

نشان داده شده است که با افزایش تنش شوری درصد کربوهیدرات قابل حل در آب افزایش یافت (Soliman *et al.*, 2015) که با نتایج این مطالعه همخوانی دارد. گزارش شده است که با محلول پاشی نانوکودها درصد کربوهیدرات قابل حل در آب افزایش معنی‌داری یافت (Soliman *et al.*, 2015) که با نتایج این مطالعه مطابقت دارد. کلسیم نقش مهمی در کاهش تنش شوری در گیاهان مختلف دارد و این نقش را از طریق تنظیم سیستم آنتی‌اکسیدان و اسمولیت‌ها، تجمع متابولیت‌های ثانویه، قندهای محلول و تغذیه معدنی گیاه انجام می‌دهد (Elkelish *et al.*, 2019). در پژوهشی گزارش گردید محلول پاشی با نانوکود آهن در مقایسه با شاهد سبب افزایش کربوهیدرات قابل حل در آب در ذرت علوفه‌ای شد (Sharifi *et al.*, 2016).

محتوای الیاف نامحلول در شوینده اسیدی نشان‌دهنده سهم دیواره سلولی در علوفه است که شامل سلولز و لیگنین است و با افزایش مقدار آن از قابلیت هضم علوفه کاسته می‌شود (Albayrak *et al.*, 2011). این نتایج با یافته‌های ولی‌زاده و همکاران (۱۳۹۵) مطابقت دارد که گزارش کردند با افزایش تنش شوری در گیاه کوشیا، درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. کاربرد نانوکود لیتوویت در مقایسه با شاهد درصد الیاف نامحلول در شوینده اسیدی را در گیاه یونجه به میزان ۷ درصد کاهش داد (Nikolova *et al.*, 2018). هم‌چنین، کاربرد کودهای تلفیقی و زیستی سبب کاهش فیبرهای نامحلول و افزایش قابلیت هضم علوفه گیاه شنبليله شد (Dadresan *et al.*, 2017).

سایر پژوهش‌گران نیز نشان دادند با افزایش تنش شوری درصد فیبر خام ارزن علوفه‌ای افزایش یافت (نوروزی و همکاران، ۱۳۹۳) که با یافته‌های ما در این پژوهش مطابقت داشت. هرچه میزان فیبر خام علوفه بیش‌تر باشد انرژی علوفه کم‌تر خواهد بود چون فیبر خام شامل کلیه مواد غیر قابل هضم علوفه مانند سلولز، همی سلولز و لیگنین است (Ehteshami *et al.*, 2012)، چون احتمالاً مواد تولیدکننده انرژی مانند گلوکز، نشاسته و ساکارز با فیبر خام جایگزین شده است که شامل مواد غیرقابل هضمی مانند سلولز، همی سلولز و لیگنین است.

لیگنین، فیبر و سلولز از عوامل کاهش‌دهنده کیفیت علوفه و پروتئین خام از عوامل افزایش‌دهنده کیفیت علوفه می‌باشند (Unyal *et al.*, 2005). افزایش درصد ماده خشک و درصد پروتئین موجب خوش‌خوراکی گیاه برای دام و بهبود در جذب می‌شوند. درحالی‌که افزایش درصد فیبر موجب حجیم‌شدن علوفه و کاهش در خوش‌خوراکی و کاهش مواد مغذی می‌گردد. افزایش الیاف خام موجب کاهش پروتئین و ارزش غذایی گیاه می‌شود (Arzani *et al.*, 2013). در پژوهشی گزارش شد محلول پاشی با نانوکود آهن و روی در مقایسه با شاهد و مصرف کودهای شیمیایی سبب کاهش درصد فیبر خام در ذرت علوفه‌ای گردید (Sharifi *et al.*, 2016).

سایر پژوهش‌گران نیز گزارش کردند که تنش شوری ۷ و ۱۴ دسی‌زیمنس بر متر، درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی را در گیاه سورگوم به‌ترتیب به میزان ۲۳/۷ و ۴۶/۹ درصد افزایش داد (Hedayati-Firoozabadi *et al.*, 2020) که با یافته‌های ما در این پژوهش مطابقت داشت. شرایط نامساعد جوی مانند تنش‌های شوری، خشکی، درجه حرارت زیاد و بارش کم در طول فصل رشد موجب افزایش پلی‌ساکاریدها در دیواره‌های سلولی شده و در نتیجه منجر به افزایش الیاف نامحلول می‌شود و بنابراین درصد فیبر نامحلول در شوینده اسیدی و خنثی افزایش می‌یابد (Al-Dakheel *et al.*, 2015). یافته‌های این پژوهش با نتایج سایر پژوهش‌ها (ولی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵) مطابقت داشت که گزارش کردند با افزایش تنش شوری در گیاه کوشیا، درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. گزارشی نیز مبنی بر کاهش درصد فیبر نامحلول در شوینده خنثی در گیاه یونجه با کاربرد نانوکود لیثوویت در مقایسه با شاهد وجود دارد (Nikolova *et al.*, 2018).

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تمامی ویژگی‌های اندازه‌گیری‌شده تحت تأثیر تنش شوری به‌طور محسوسی کاهش یافتند. محلول‌پاشی با نانوکودهای مختلف سبب افزایش ویژگی‌های مورفولوژیک و بهبود ویژگی‌های کیفی علوفه (پروتئین خام، خاکستر کل، ماده خشک قابل هضم و کربوهیدرات‌های قابل حل در آب) کینوا در شرایط نرمال (عدم تنش شوری) و سطوح مختلف تنش شوری شد. هم‌چنین کاربرد نانوکودها، ویژگی‌های نامطلوب تغذیه‌ای (الیاف نامحلول در شوینده اسیدی، الیاف نامحلول در شوینده خنثی و درصد فیبر خام) علوفه کینوا را کاهش داد. بنابراین برای کشت گسترده کینوا به‌ویژه در مناطق شور، برای بهبود رشدونمو و افزایش کیفیت علوفه کینوا و تعدیل اثرات تنش شوری، محلول‌پاشی با نانوکودهای مختلف به‌ویژه نانوکود کلسیم توصیه می‌گردد.

۷. تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مساعدت شرکت صدور احراز شرق در تامین نانوکودهای مورد استفاده در این پژوهش، صمیمانه تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- احتشامی، سید محمدرضا؛ ابراهیمی، پگاه و زند، بهنام (۱۳۹۲). بررسی ویژگی‌های کمی و کیفی ژنوتیپ‌های ذرت سیلوئی در منطقه ورامین. *مجله تولید گیاهان زراعی*، ۵ (۴)، ۱۹-۳۸. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1391.5.4.2.7>
- جمالی، صابر و شریفان، حسین (۱۳۹۷). بررسی تأثیر سطوح مختلف شوری بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاه کینوا (Cv. Titicaca). *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۵ (۲)، ۲۵۱-۲۶۶.
- خلیلی، سمانه؛ باستانی، عبدالامیر و و امید، حشمت (۱۳۹۶). تأثیر تنش شوری، اسپری فسفر و روی بر خصوصیات مورفولوژیکی گیاه کینوا. *اولین همایش ملی شوری*. مرکز ملی تحقیقات شوری، یزد، ایران.
- دهقان، ابوذر و رحیم ملک، مهدی (۱۳۹۷). اثر تنش شوری بر صفات مورفولوژیک و میزان اسانس ژنوتیپ‌های بومادران هزاربرگ (*Achillea millefolium*) ایرانی و خارجی. *روابط خاک و گیاه (علوم و فنون کشت‌های گلخانه‌ای)*، ۹ (۲)، ۲۳-۳۷.

- رستمی، قادر؛ مقدم، محمد؛ قاسمی پیربلوطی، عبدالله و تهرانی فر، علی (۱۳۹۹). اثر سولفات و نانوذرات آهن و روی بر زیست توده، مقدار و ترکیبات روغن‌های اسانسی نعنای فلفلی (*Mentha piperita L.*) تحت تنش شوری. پژوهش‌های گیاهی. ۳۳ (۳)، ۶۰۷-۶۲۱
- ساعدی، هوشنگ؛ شماع، محمود؛ نیکپور تهرانی، کریم و مروارید، عبدالحسین (۱۳۷۱). غذاهای دام و طیور و روش‌های نگهداری آن‌ها (اصول تغذیه دام و طیور). تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- سوری، محمد کاظم، و مهدوی، محمد (۱۳۹۴). اثر غلظت‌های مختلف کلسیم بر ویژگی‌های کیفی گل در دو رقم رز تحت شرایط هیدروپونیک. تولید فرآوری محصولات زراعی و باغی. ۵ (۱۶)، ۱۸۹-۱۹۶.
- سید شریفی، رتوف و قلی‌نژاد، اسماعیل (۱۴۰۰). ارزیابی صفات زراعی و مورفوفیزیولوژیکی گیاهان زراعی. اردبیل: انتشارات دانشگاه اردبیل.
- طاوسی، مهرزاد؛ عباس، غلام و صحرایی، لطفعلی (۱۳۹۶). کشت کینوا و نتایج تحقیقات مربوط به آن. تهران: نشر آموزش (مؤسسه آموزش و ترویج کشاورزی).
- قدرتی آورسی، فرزاد؛ جلیلیان، جلال و سیاوش مقدم، سینا (۱۳۹۸). تأثیر منابع مختلف کودی بر ویژگی‌های کیفی ذرت علوفه‌ای تحت تنش کم‌آبی. تحقیقات غلات. ۹ (۱)، ۴۳-۵۴.
- کلیدری، علیرضا؛ موسوی‌نیک، سیدمحسن؛ بهشتی، علیرضا و صفایی، مهران (۱۳۸۶). ارزیابی سرعت رشد محصول، صفات مورفولوژیک، فیزیولوژیک و عملکرد علوفه در ارقام مختلف سورگوم علوفه‌ای در منطقه مشهد. پژوهشنامه علوم کشاورزی. ۱ (۸)، ۳۷-۵۳.
- کوکبی، سمیه و طباطبایی، سید جلال (۱۳۹۰). تأثیر نسبت‌های مختلف پتاسیم به کلسیم بر عملکرد و کیفیت خربزه گالیا در آبکشت. نشریه علوم باغبانی. ۲۵ (۲)، ۱۷۸-۱۸۴.
- ملکوتی، محمدجعفر؛ بای‌بوردی، احمد و طباطبائی، سید جلال (۱۳۸۳). مصرف بهینه کود. تهران: نشر علوم کشاورزی کاربردی. ۳۳۸ صفحه.
- ملکی لجایر، حسن؛ سلطان‌زاده پرمهر، سمیه؛ ترابی گیگلو، موسی؛ پوربیرامی هیر، یونس و چمنی، اسماعیل (۱۳۹۹). اثرات پیش تیمار با سالیسیلیک‌اسید و نانوسیلیسیم بر شاخص‌های جوانه‌زنی، رشد و فیزیولوژیکی گیاه مرزه تحت شرایط تنش عنصر سنگین سرب. دو فصلنامه علوم سبزی‌ها. ۴ (۲)، ۱۴۷-۱۶۰.
- نباتی، جعفر؛ کافی، محمد؛ نظامی، احمد؛ رضوانی‌مقدم، پرویز؛ معصومی، علی و زارع مهرجردی، محمد (۱۳۹۳). اثر زمان اعمال سطوح مختلف تنش شوری بر برخی ویژگی‌های کمی و کیفی علوفه کوشیا (*Kochia scoparia*). پژوهش‌های زراعی ایران. ۱۲ (۳)، ۶۱۲-۶۲۰.
- نظری، فرزاد (۱۳۹۸). اثر محلول پاشی برگ‌ی کلرید کلسیم و نانوکلات کلسیم بر ویژگی‌های رویشی، زایشی و عمر پس از برداشت گل مریم (*Polianthes tuberosa L.*). پژوهش‌های گیاهی. ۳۲ (۲)، ۱-۱۴.
- نوروزی، حسین؛ روشن‌فکر، حبیب‌اله؛ حبیبی، پیمان و مسگرباشی، موسی (۱۳۹۳). تأثیر شوری آب آبیاری بر عملکرد و کیفیت دو رقم ارزن علوفه‌ای. پژوهش آب در کشاورزی. ۲۸ (۳)، ۵۵۱-۵۶۰.
- ولی‌زاده، رضا؛ محمودی ایبانه، مهدی و گنجوی، رضا (۱۳۹۵). تأثیر تنش شوری بر ترکیب شیمیایی، قابلیت هضم آزمایشگاهی و خصوصیات تولید گاز گیاه کوشیا (*Kochia scoparia*). پژوهش‌های علوم دامی ایران. ۸ (۲)، ۲۳۸-۲۴۷.

References

- Albayrak, S., Turk, M., Yuksel, O., & Yilmaz, M. (2011). Forage yield & the quality of perennial legume grass mixtures under rainfed conditions. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 39(1), 114-118.
- Al-Dakheel, A. J., Hussain, M. I., & Rahman, A. (2015). Impact of irrigation water salinity on agronomical & quality attributes of *Cenchrus ciliaris L.* accessions. *Agricultural Water Management*, 159, 148-154.
- Arzani, H., Mqtamedi, J., Gafari, M., Farahpoor, M., & Zare Chahoki, M. A. (2013).

- Classification of forage quality index in highland rangelands of Taleghan. *Iranian journal of Range & Desert Research*, 20(2), 250-371.
- Asif, M., Abbas, B., Aziz, A., Adnan, M., Safdar, M. E., Ali, A., Raza, A., & Shakeel Hanif, M. (2020). Bio-fortification of calcium, zinc & iron improves yield & quality of forage sorghum (*Sorghum bicolor* L.). *Journal of Pure & Applied Agriculture*, 5(3), 74-81.
- Cabot, C., Martos, S., Llugany, M., Gallego, B., Tolrà, R., & Poschenrieder, C. (2019). A role for zinc in plant defense against pathogens & herbivores. *Frontiers in Plant Science*, 10, 1-15.
- Chand, S. W., Susheela, R., Sreelatha, D., Shanti, M., & Soujanya, T. (2017). Quality studies & yield as influenced by zinc fertilization in baby corn (*Zea mays* L.). *International Journal of Current Microbiology & Applied Sciences*, 6, 2454-2460.
- Chinnamuthu, C. R., & Boopathi, P. M. (2009). Nanotechnology & Agroecosystem. *Madras Agricultural Journal*, 96(1/6), 17-31.
- Dadresan, M., Chaichi, M. R., Hosseini, M. B., Pourbabaei, A. A., & Yazdani, D. (2017). Effects of different fertilizing systems (chemical, biological & integrated) & irrigation regimes on the qualitative characteristics of forage & trigonelline content in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Journal of Agroecology*, 7(1), 33-49.
- Dehghan, A., & Rahimmalek, M. (2018). The effect of salt stress on morphological traits & essential oil content of Iranian & foreign yarrow (*Achillea millefolium* L.) genotypes. *Journal of Science & Technology of Greenhouse Culture Soilless Culture Research Center*, 9(2), 23-37. (In Persian).
- Ehteshami, S. M. R., Ebrahimi, P., & Zand, B. (2012). *Investigation of quantitative and qualitative characteristics of silage corn genotypes in Varamin region. Journal of Crop Production*, 5(4), 19-38. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.2008739.1391.5.4.2.7>. (In Persian).
- Elkelish, A. A., Alnusaire, T. S., Soliman, M. H., Gowayed, S., Senousy, H. H., & Fahad, S. (2019). Calcium availability regulates antioxidant system, physio-biochemical activities & alleviates salinity stress mediated oxidative damage in soybean seedlings. *Journal of Applied Botany & Food*, 92, 258-266.
- Ferchichi, S., Hessini, K., Dell'Aversana, E., D'Amelia, L., Woodrow, P., Ciarmiello, L. F., Fuggi, A., & Carillo, P. (2018). *Hordeum vulgare* & *Hordeum maritimum* respond to extended salinity stress displaying different temporal accumulation pattern of metabolites. *Functional Plant Biology*, 45, 1096-1109.
- Fing, D. H., Wang, G. Z., Si, W. T., Zhou, Y., Liu, Z., & Jia, J. (2018). Effects of salt stress on photosynthetic pigments & activity of ribulose-1, 5-bisphosphate carboxylase/oxygenase in *Kalidium foliatum*. *Russian Journal of Plant Physiology*, 65, 98-103.
- Ghodrati Aversi, F., Jalilian, J., & Siavash Moghaddam, S. (2019). The effect of different fertilizer sources on qualitative characteristics of forage maize under water deficit stress conditions. *Cereal Research*, 9(1), 43-54. (In Persian).
- Hedayati-Firoozabadi, A., Kazemeini, S. A., Pirasteh-Anosheh, H., Ghadiri, H., & Pessarakli, M. (2020). Forage yield & quality as affected by salt stress in different ratios of Sorghum bicolor-Bassia indica intercropping. *Journal of Plant Nutrition*, 1-11.
- Hussain, M., Ahmad, S., Hussain, S., Lal, R., Ul-Allah, S., & Nawaz, A. (2018). Rice in saline soils: Physiology, biochemistry, genetics, & management. In *Advances in Agronomy*. edited by Sparks, D. L. Cambridge: Academic Press.
- Jamali, S., & Sharifan, H. (2018). Investigation the effect of different Salinity levels on yield and Yield components of Quinoa (Cv. Titicaca). *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(2), 251-266. (In Persian).
- Khalili, K. H., Bastani, A. A., & Omid, H. (2017, November). Effect of salinity stress, phosphorus & zinc spray on morphological characteristics of Quinoa plants. *The first national conference on salinity*. National salinity research center. Yazd, Iran. (In Persian).
- Klydri, A. R., Mousavi Nick, S. M., Beheshti, A. R., & Safayie, M. (2007). Assessment of crop

- growth rate, morphological characteristics, & performance physiological & forage sorghum cultivars in Mashhad region. *Journal of Agricultural Sciences*, 1(8), 37-52. (In Persian).
- Kokabi, S., & Tabatabaei, S. J. (2011). Effect of different ratios of potassium to calcium on the yield & quality of galia melons in hydroponic. *Journal of Horticultural Science*, 25, 178-184. (In Persian).
- Labri, A., Khatib-Salkin, A., Jammal, B., & Hassan, S. (2011). Seed & forage yield, & forage quality determinants of nine lactam shrubs in a nontropical dryland environment. *Journal of Animal Feed Science & Technology*, 163(2-4), 214-221.
- Lewis, D. C., & Farlane, J. D. M. (1986). Effect of foliar applied manganese on the growth of safflower & the diagnosis of manganese deficiency by plant issue & seed analysis. *Australian Journal of Agricultural Research*, 72(1), 57-59.
- Lilian, E. A. J. (2009). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): Composition, Chemistry, Nutritional, & Functional Properties. *Advances in Food & Nutrition Research* 58, 1-31. [https://doi.org/10.1016/s1043-4526\(09\)58001-1](https://doi.org/10.1016/s1043-4526(09)58001-1).
- Malakuti, M. J., Baybordi, S., & Tabatabayi, T. (2004). *Optimize use of fertilizer*. Olum Keshavarzi press. Tehran, Iran. 338Pp. (In Persian).
- Maleki Lajayer, H., Soltanzadeh-pormehr, S., Torabi-giglou, M., Poorbeyrami Hir, Y., & Chamani, E. (2021). Effects of pre-treatment with salicylic acid and silicon nanoparticles on germination, growth and physiological indices of savory (*Satureja hortensis*) seeds under lead heavy metal stress. *Journal of Vegetables Sciences*, 4(2), 147-160. (In Persian).
- Mansouri Far, C., Modarres Sanavy, M., & Saberali, F. (2010). Maize yield response to deficit irrigation during low-sensitive growth stages and nitrogen rate under semi-arid climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 97, 12-22.
- Mazaherinia, S., Astaraei, A. R., Fotovat, A., & Monshi, A. (2010). Nano iron oxide particles efficiency on Fe, Mn, Zn & Cu concentrations in wheat plant. *World Application Science Journal*, 7(1), 36-40.
- Nabati, J., Kafi, M., Nezami, A., Rezvani Moghaddam, P., Masoumi, A., & Zare Mehrjerdi, M. (2015). Evaluation of quantitative & qualitative characteristic of forage kochia (*Kochia scoparia*) in different salinity levels & time. *Iranian Journal of Field Crops Research*, 12(4), 613-620. (In Persian).
- Nabati, J., Kafi, M., Nezami, A., Rezvani Moghaddam, P., Masoumi, A., & Zare Mehrjerdi, M. (2013). Evaluation of quantitative and qualitative characteristic of forage kochia in different growth under salinity stress. *Journal of Crop Production*, 5(2), 111-128.
- Najafian, S., Khoshkhui, M., Tavallali, V., & Saharkhiz, M. J. (2009). Effect of salicylic acid & salinity in thyme (*Thymus Vulgaris* L.): Investigation on changes in gas exchange, water relations, & membrane stabilization & biomass accumulation. *Australian Journal of Basic & Applied Sciences*, 3, 2620-2626.
- Nazari, F. (2019). The effect of foliar application of calcium chloride & nanocalcium chelated on vegetative, reproductive & post-harvest life of tuberose (*Polianthes tuberosa* L.). *Journal of Plant Research*, 33(2), 272-283. (In Persian).
- Nikolova, I. M., Georgieva, N. A., & Naydenova, Y. A. (2018). Nutritive value responses to biological products in alfalfa forage (*Medicago sativa* L.). *Journal Pesticides & Phytomedicine*, 33(2), 119-125.
- Norouzi, H., Roshanfekr, H., Hasibi, P., & Mesgarbashi, M. (2015). Effect of irrigation water salinity on yield & quality of two forage millet cultivars. *Journal of Water Research in Agriculture*, 28(3), 551-560. (In Persian).
- Panuccio, M. R., Jacobsen, S. E., Akhtar, S. S., & Muscolo, A. (2014). Effect of saline water on seed germination & early seedling growth of the halophyte quinoa. *Journal of the Annals of Botany*, 6, plu047. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plu047>.

- Ross, S. M., King, J. R., Doovan, J. T., & Spaner, D. (2005). The productivity of oats & berseem clover intercrops. I. Primary growth characteristics & forage quality at four densities of oats. *Grass & Forage Science*, 60, 74-86.
- Rostami, G., Ghasemi Pirbalouti, A., & Tehranifar, A. (2019). The effect of sulfate & nano particles of iron & zinc on biomass, content & compositions of peppermint (*Mentha piperita* L.) essential oil under salt stress. *Journal of Plant Research*, 33(3), 1-15. (In Persian).
- Ruiz, K. B., Biondi, S., Martínez, E. A., Orsini, F., Antognoni, F., & Jacobsen, S. E. (2016). Quinoa-A model crop for understanding salt-tolerance mechanisms in halophytes. *Plant Biosystems*, 150, 357-371.
- Saedi, H., Shamaa, M., Nikpour Tehrani, K., & Marwarid, A. H. (1397). *Animal & poultry feeds & the conservation methods*. Tehran: Tehran University Publications. (In Persian).
- Saha, U. K., Sonon, L. S., Hancock, D. W., Hill, N. S., Stewart, L., Heusner, G. L., & Kissel, D. E. (2010). *Common terms used in animal feeding & nutrition*. Athens: University of Georgia, College of Agricultural and Environmental Sciences. Available at <https://esploro.libs.uga.edu/esploro/outputs/report/Common-terms-used-in-animal-feeding/9949316317402959>.
- Seyed Sharifi, R., & Gholinezhad, E. (2021). *Evaluation agronomic and morphological traits of crop plants*. Ardabil: Publication of University of Mohaghegh Ardabili. (In Persian).
- Shah, S. S., Shi, L., Li, Z., Ren, G., Zhou, B., & Qin, P. (2020). Yield, agronomic & forage quality traits of different quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.) genotypes in northeast china. *Agronomy*, 10(12), 1908.
- Sharifi, R., Mohammadi, K. & Rokhzadi, A. (2016). Effect of seed priming & foliar application with micronutrients on quality of forage corn (*Zea mays*). *Environmental & Experimental Biology*, 14, 151-156.
- Singh, M. D., Chirag, G., Om Prakash, P., Hari Mohan, M., Prakasha, G., & Vishwajith, A. (2017). Nano-fertilizers is a new way to increase nutrients use efficiency in crop production. *International Journal of Agriculture Sciences*, 9(7), 3831-3833.
- Sobhani, M. R., & Majidian, M. (2014). Evaluation of different salinity stress & plant densities effects on quantitative & qualitative forage & grain yields of Kochia in Arak region. *Journal of Plant Production Research*, 21(1), 91-110.
- Soleymani, A., & Shahrajabian, M. H. (2012). The effects of fe, mn & zn foliar application on yield, ash & protein percentage of forage sorghum in climatic condition of Esfahan. *International Journal of Biology*, 4(3), 92-96.
- Soliman, A. S., El-Feky, S. A., & Darwish, E. (2015). Alleviation of salt stress on Moringa peregrinausing foliar application of nanofertilizers. *Journal of Horticulture & Forestry*, 7(2), 36-47.
- Tan, W., Meng, Q. W., Brestic, M., Olsovska, K., & Yang, X. (2011). Photosynthesis is improved by exogenous calcium in heat-stressed tobacco plants. *Journal of Plant Physiology*, 168, 2063- 2071.
- Tausi, M., Abbas, Gh., & Sahraei, L. (2017). *Quinoa cultivation and related research results*. Agricultural Education Publishing, Tehran, Iran. (In Persian).
- Uniyal, S. K., Awasthi, A., & Rawat, G. S. (2005). Biomass availability and forage quality of Eurotia ceratoides Mey in the rangelands of Changthang, eastern Ladakh. *Current Sciencs*. 89(1), 201-205.
- Valizdeh, R., Mahmoudi-Abyane, M., & Ganjavi, R. (2016). Chemical composition, in vitro digestibility & fermentative gas production of kochia scoparia irrigated by water containing different level of salinity. *Iranian Journal of Animal Science Research*, 8(2), 238-247. (In Persian).
- Xia, H., Kong, W., Wang, L., Xue, Y., Liu, W., Zhang, C., & Li, C. (2019). Foliar Zn spraying simultaneously improved concentrations & bioavailability of Zn & Fe in maize grains

- irrespective of foliar sucrose supply. *Agronomy*, 9, 386-394.
- Zayed, B. A., Salem, A. K. M., & El-Sharkawy, H. M. (2011). Effect of different micronutrient treatments on rice (*Oryza sativa* L.) growth & yield under saline soil conditions. *World Journal of Agricultural Sciences*, 7(2), 179-184.



The effect of culture media on some morphophysiological characteristics and nutritional value of (*Agaricus subrufescens*)

Razieh Khodsiani¹ | Mehrdad Jafarpour^{2✉}

1. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University Isfahan (Khorasgan) Branch, Isfahan, Iran. E-mail: r.khodsiani@khuisf.ac.ir
2. Corresponding Author, Department of Horticulture, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University Isfahan (Khorasgan) Branch, Isfahan, Iran. E-mail: jafarpour@khuisf.ac.ir

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received 27 August 2022

Received in revised form

4 June 2023

Accepted 7 June 2023

Published online

20 September 2023

Keywords:

Agricultural waste

Biological efficiency

Medicinal mushroom

Mycelium

Polysaccharide

ABSTRACT

Objective: Beta-glucan is one of the components of the mushroom cell wall and the most therapeutically important polysaccharide in mushrooms. The aim of this research is to produce a specific vermicompost to improve the nutritional value and evaluate the beta-glucan content in *blazai* mushroom (*A. subrufescens*).

Methods: An experiment was conducted in form of a completely randomized design and in three replications at the mushroom research center of Islamic Azad University of Isfahan (Khorasgan) in 1399-1400. It investigated 18 combined substrates as treatments, including casing soil as control, compost and vermicompost, Echinacea vermicompost alone and in combination with casing soil with certain values of the hormone indol acetic acid. Based on the results, richer substrates including compost and vermicompost alone and in combination with casing soil led to the optimal growth of blazai mushrooms.

Results: The results of the analysis of variance showed that the highest amount of beta-glucan with the value of 72.86 mg/kg and the highest ash percentage was observed, namely the substrates with the origin of the Echinacea medicinal plant.

Conclusion: In general, for biomass production, it is better to use richer substrates, yet if the purpose of production of the essential material in the mushrooms, it is better to use substrates that are combined with Echinacea. The present research is the combination of casing soil 50 percent + compost or vermicompost 50 percent in the absorption of nutrients and the improvement of quantitative traits played a slightly better role.

Cite this article: Khodsiyani, R., & Jafarpour, M. (2023). The effect of culture media on some morphophysiological characteristics and nutritional value of (*Agaricus subrufescens*). *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 787-806.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.347719.2741>



اثر انواع بسترهای کشت بر روی برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و ارزش غذایی قارچ دارویی بلازئی (*Agaricus subrufescens*)

راضیه خودسیانی^۱ | مهرداد جعفرپور^۲ ✉

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران. رایانامه: r.khodsiani@khuisf.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان)، اصفهان، ایران. رایانامه: jafarpour@khuisf.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

هدف: بتاگلوکان یکی از اجزای دیواره سلولی قارچی و از نظر درمانی مهم‌ترین پلی‌ساکارید در قارچ‌هاست. هدف از این پژوهش تولید ورمی کمپوست اختصاصی به‌منظور بهبود ارزش غذایی و بررسی محتوای بتاگلوکان در قارچ بلازئی (*A. subrufescens*) می‌باشد.

روش پژوهش: آزمایشی در قالب طرح کاملاً تصادفی و در سه تکرار در مرکز تحقیقات قارچ دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان) در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ انجام شد. تعداد ۱۸ بستر ترکیبی به‌عنوان تیمارهای موردبررسی در آزمایش، شامل خاک پوششی ۱۰۰ درصد به‌عنوان شاهد، کمپوست و ورمی کمپوست برگشتی ۱۰۰ درصد، سرخارگل و ورمی کمپوست سرخارگل به‌تنهایی و در ترکیب با خاک پوششی به‌همراه هورمون اکسین (ایندول استیک اسید) به نسبت‌های معین در نظر گرفته شد.

یافته‌ها: براساس نتایج بسترهای غنی از عناصر معدنی از جمله کمپوست و ورمی کمپوست برگشتی قارچ به‌تنهایی و در ترکیب با خاک پوششی منجر به رشد بهینه قارچ بلازئی شدند. نتایج تجزیه واریانس نشان داد که بیش‌ترین میزان بتاگلوکان با مقدار ۷۲/۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم و بیش‌ترین سرعت محصول دهی در بسترهایی با منشأ گیاه دارویی سرخارگل مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: در مجموع اگر مینا تولید بیوماس باشد بهتر است از بسترهای کشت غنی‌شده و اگر مینا تولید ماده مؤثره در قارچ باشد، بهتر است از بسترهایی که با سرخارگل ترکیب شده‌اند، استفاده شود. در پژوهش حاضر ترکیب خاک پوششی ۵۰ درصد+ کمپوست و ورمی کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد در جذب عناصر غذایی و بهبود صفات کمی بهتر نقش ایفا کردند.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۱۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۷

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

کلیدواژه‌ها:

پلی‌ساکارید
ضایعات کشاورزی
قارچ‌های دارویی
کارایی بیولوژیکی
میسلیوم

استناد: خودسیانی، راضیه؛ و جعفرپور، مهرداد (۱۴۰۲). اثر انواع بسترهای کشت بر روی برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و ارزش غذایی قارچ دارویی بلازئی (*Agaricus subrufescens*). *بزرگای کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۷۸۷-۸۰۶. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.347719.2741>



۱. مقدمه

قارچ بلازئی حاوی مقادیر قابل توجهی ترکیبات فنولیکی است و زمانی که به‌طور مداوم مصرف شود باعث تقویت سیستم ایمنی بدن می‌شود (Rozsa et al., 2017). امروزه تولید قارچ و به‌ویژه قارچ‌های دارویی و استفاده از مواد ارزان‌قیمت برای تولید اسپان بسیار پراهمیت می‌باشد (Colauto et al., 2012). سالیانه مقادیر زیادی از ضایعات کشاورزی تولید و بدون استفاده باقی می‌ماند که با این شرایط و در دسترس بودن نیروی تحصیل‌کرده جویای کار در بخش کشاورزی، امکان تولید وسیع این نوع قارچ‌ها را می‌توان فراهم کرد (جعفرپور و همکاران، ۱۳۸۷). قارچ بلازئی (*Agaricus blazei*)، یکی از مهم‌ترین و گران‌ترین قارچ‌های خوراکی - دارویی جهان (Taofiq et al., 2019) که نام‌های دیگر آن *A. brasiliensis* و *A. subrufescens* است و در ژاپن به *Himematsutake* و در برزیل به *Sun mushroom* معروف می‌باشد (Wang et al., 2018; Friedmann Angeli et al., 2009).

۲. پیشینه پژوهش

استفاده از ترکیب‌های مختلف خاک پوششی و به‌کارگیری مخلوطی از ضایعات محصولات کشاورزی، می‌تواند اثرات مفیدتری بر رشد و تولید قارچ‌ها داشته باشد (Carneiro et al., 2013). نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که کمپوست برگشتی قارچ از لحاظ میزان فسفر غنی می‌باشد. تعداد گل بیش‌تر در بستر کشت حاوی کمپوست برگشتی قارچ می‌تواند به‌دلیل تولید تعداد برگ بیش‌تر در این بستر کشت باشد که به‌دنبال آن فتوسنتز و در نهایت میزان گلدهی افزایش می‌یابد (Bostan et al., 2014). یکی از مهم‌ترین مراحل تولید قارچ مرحله خاک‌دهی با استفاده از خاک پوششی است، که در تغییر فاز رویشی رشد به فاز زایشی نقش دارد (Beyer, 2003).

بسترهای کشت مختلف (بسترهای غیرترکیبی) اثرهای متفاوتی روی رشد رویشی (گسترش هیف‌ها - Hyphae) و زایشی (تشکیل اندام‌های گره‌ای و میوه‌ای) گونه‌های مختلف قارچ‌های خوراکی - دارویی دارند (Marlina et al., 2015). کیفیت و نوع خاک مورد استفاده در این مرحله تأثیر بسیار مهمی در عملکرد و سایر صفات مورفولوژیک قارچ خواهد داشت (Morin et al., 2012). خاک پوششی که در صنایع پرورش قارچ دکمه‌ای به‌صورت استاندارد استفاده می‌شود، حدود یک‌سوم هزینه‌های تولید را به خود اختصاص می‌دهد. پسماندهای جامد در شهرها، به‌دلیل کمبود محل دفن و قوانین محیطی مشکل‌ساز است، بنابراین پژوهش‌گران به‌دنبال مدیریت دیگری هستند که از لحاظ اکولوژیکی و اقتصادی مناسب‌تر باشد (Zhang et al., 2020). یکی از روش‌های بسیار مؤثر در مبارزه با آلودگی است که از لحاظ اکولوژیکی و اقتصادی مناسب‌تر باشد نامطلوب آن‌ها، تبدیل زباله به کود کمپوست و بهره‌گیری بهینه از آن‌ها به‌عنوان کود آلی در کشاورزی است (Yadav & Garg, 2019). از این رو، تولید ورمی‌کمپوست می‌تواند چاره مناسبی برای دفع مؤثر و بهداشتی قسمت‌های آلی پسماندهای جامد باشد (Hussain & Abbasi, 2018). ورمی‌کمپوست سرشار از عناصر غذایی، آنزیم‌ها و مواد محرک رشد مختلف نظیر اکسین (IAA) و سیتوکینین است که عصاره آن نیز بسیاری از این خواص را دارد. تمام این ویژگی‌ها سبب شده که ورمی‌کمپوست و عصاره آن بتواند به‌عنوان یک ماده غذایی با ارزش در بهبود کمی و کیفی قارچ دکمه‌ای مورد استفاده قرار گیرد (Rajkhowa et al., 2017). سرخارگل با نام علمی *Echinacea purpurea* در سراسر دنیا کشت و پرورش می‌یابد، مواد مؤثره ریشه و قسمت‌های هوایی گیاه سرخارگل دارای مشتقات اسیدکافئیک، آکامید، فلاونوئید، اسانس و پلی‌استیلن می‌باشند که ضمن بروز اثرات ضدالتهابی و ضد میکروبی، فعالیت آنتی‌اکسیدانی سلولی را بهبود می‌بخشند (مانایی و همکاران، ۱۳۹۳). ارزش غذایی قارچ خوراکی بیش‌تر به مقدار و کیفیت پروتئین موجود در آن بستگی دارد. میزان پروتئین قارچ‌های خوراکی از حداقل ۹/۸-۵/۱ درصد وزن تر قارچ گزارش شده است (Kawakami et al., 2016).

قارچ‌ها منابع غنی D-گلوکان هستند و می‌توانند α -D-glucans، β -D-glucans و α/β -D-glucans را در اندام بارده خود ذخیره کنند. اغلب هوموپلی‌ساکاریدها توسط آنزیم‌های گوارش انسان هضم نمی‌شوند و به‌عنوان فیبر مورد استفاده قرار می‌گیرند و سبب تحرک روده، کاهش جذب مواد سمی و سرطان‌زا و در نهایت کاهش میزان ابتلا به سرطان می‌شوند (Val et al., 2015). استفاده از هورمون‌های محرک رشد می‌تواند یکی از راه‌کارهای مفید در بهبود عملکرد قارچ‌ها باشد. این ترکیبات در غلظت‌های بسیار پایین فرایندهای شیمیایی، فیزیولوژیکی و مورفولوژیکی را در گیاهان تحت تأثیر قرار می‌دهند. ایندول‌استیک‌اسید متداول‌ترین هورمون اکسین در گیاهان است که مسئول تقسیم، توسعه و تفکیک بافت‌ها و سلول‌های گیاهی می‌باشد (Khan et al., 2014). این هورمون می‌تواند سبب تحریک رشد میسلیم و افزایش رشد قارچ و بهبود عملکرد آن گردد (Patil et al., 2011).

هدف کلی در این پژوهش بررسی اثر بسترهای مختلف کشت بر محتوای پلی‌ساکارید در اندام باردهی قارچ بلازئی و خصوصیات رشدی قارچ ذکر شده در شرایط استفاده از ایندول‌استیک‌اسید است. مهم‌ترین شاخص بستر مورد استفاده کاربرد گیاه سرخارگل به‌عنوان اجزایی از بستر کشت و مطالعه اثر ورمی کمپوست سرخارگل بر خصوصیات غذایی و رشدی قارچ بلازئی بود.

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳.۱. مشخصات و موقعیت محل اجرای طرح

مطالعه حاضر در سال ۱۳۹۹-۱۴۰۰ در مرکز تحقیقات قارچ دانشگاه آزاد اسلامی اصفهان (خوراسگان) اجرا شد. به‌منظور مطالعه اثر ۱۸ بستر مختلف کشت (به‌عنوان تیمار؛ جدول ۱) بر خصوصیات رشدی قارچ بلازئی آزمایش در قالب طرح کاملاً تصادفی در سه تکرار اجرا شد. یکسری از بسترها به‌منظور بهبود عملکرد و افزایش رشد قارچ توسط هورمون اکسین (ایندول‌استیک‌اسید) تیمار شدند بدین منظور ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر ایندول‌استیک‌اسید در ۲۰ لیتر آب مقطر حل شد و روی بسترها محلول‌پاشی شد. برخی خصوصیات بیوشیمیایی بسترهای مورد استفاده در جدول‌های (۲) و (۳) قید شده است. در پایان مرحله رشد قارچ، صفات رطوبت اندام باردهی، درصد ماده خشک، درصد کارایی زیستی، تعداد اندام باردهی، قطر کلاهک، وزن تر و خشک اندام باردهی قارچ، سرعت محصول‌دهی، خاکستر، محتوای پروتئین، میزان پلی‌ساکارید و عناصر معدنی (فسفر، سدیم، پتاسیم، نیتروژن، آهن و روی)، مورد ارزیابی قرار گرفت.

جدول ۱. تیمارهای مورد بررسی

خاک پوششی ۱۰۰ درصد (شاهد)	خاک پوششی ۱۰۰ درصد + IAA ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر
کمپوست برگشتی قارچ ۱۰۰ درصد	کمپوست برگشتی قارچ ۱۰۰ درصد + IAA ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر
ورمی‌کمپوست برگشتی قارچ ۱۰۰ درصد	ورمی‌کمپوست برگشتی قارچ ۱۰۰ درصد + IAA ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر
سرخارگل ۱۰۰ درصد	سرخارگل ۱۰۰ درصد + IAA ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر
ورمی‌کمپوست سرخارگل ۱۰۰ درصد	ورمی‌کمپوست سرخارگل ۱۰۰ درصد + IAA ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر
خاک پوششی ۷۰ درصد + سرخارگل ۳۰ درصد	خاک پوششی ۷۰ درصد + سرخارگل ۳۰ درصد + IAA ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر
ورمی‌کمپوست برگشتی قارچ ۷۰ درصد + سرخارگل ۳۰ درصد	ورمی‌کمپوست برگشتی قارچ ۷۰ درصد + سرخارگل ۳۰ درصد + IAA ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر
خاک پوششی ۵۰ درصد + کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد	خاک پوششی ۵۰ درصد + ورمی‌کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد
خاک پوششی ۷۰ درصد + ورمی‌کمپوست سرخارگل ۲۰ درصد	خاک پوششی ۷۰ درصد + کمپوست برگشتی قارچ ۳۰ درصد + IAA ۰/۵ میلی‌گرم بر لیتر

جدول ۲. آنالیز خصوصیات بیوشیمیایی کمپوست مورد استفاده

pH	نیتروژن (درصد)	کربن (درصد)	NH ₃	ASH (درصد)	نسبت کربن به نیتروژن	رطوبت نسبی (درصد)	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)
۷/۹۸	۲/۰۷	۳۵/۱۱	۰/۰۲	۲۹/۷۸	۱۶/۹۶	۶۷/۹۵	۱۰/۰

جدول ۳. نتایج آنالیز خصوصیات بیوشیمیایی تیمارهای مختلف

ترکیبات	pH	هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	فسفر (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	کربن (درصد)	نیترژن (درصد)	نسبت کربن به نیترژن	پتاسیم (میلی‌گرم بر کیلوگرم)	کلسیم (درصد)
سرخارگل	۵/۸۳۶	۶/۱۳۶	۶۶۳/۳۴	۰/۵۳۳	۵/۳۳۳	۰/۰۹	۱۱۰/۱/۳	۳/۷۶
ورمی‌کمپوست سرخارگل	۸/۷۵۶	۱/۶۴	۸۲۷/۵۹	۰/۴۵۶	۷/۶۶۶	۰/۰۵	۱۵۰/۵/۳	۲/۹۳
کمپوست برگشتی قارچ	۶/۴۸۳	۲/۲۴۶	۱۰۸۵/۸	۰/۲۶۶	۹/۱۶۶	۰/۰۳	۰/۱۷۹۹	۱۰/۶۶
ورمی‌کمپوست برگشتی قارچ	۵/۶۲	۲/۵۳۳	۱۲۳۰/۵	۰/۲۴۰	۸/۴۶۶	۰/۰۳	۰/۲۲۶۶	۱۳/۶۶

مقدار ۵ کیلوگرم اسپان قارچ بلاژی (*A. subrufescen*) با کد (TMU175) از دانشگاه تربیت مدرس تهران تحت شرایط هرباریوم (Herbarium) خریداری شد و بر روی بسترهای تهیه‌شده، عملیات اسپان‌زنی اجرا گردید. برای تهیه کمپوست سرخارگل و ورمی‌کمپوست تخصصی سرخارگل، ۲۳ کیلوگرم سرخارگل خشک با کلیه اندام هوایی که بازارپسندی نداشت از عطاری علی‌بابا واقع در شهر اصفهان خریداری گردید. کلیه اندام هوایی با دستگاه پرس خورد گردید و طی سه هفته رطوبت دهی، فرایند تولید کمپوست سرخارگل به طول انجامید. سپس کمپوست سرخارگل حاوی ۷۵ تا ۸۰ درصد رطوبت به بسترهای حاوی کرم ایزنیا فتیدا (*Eisenia fetida*) اضافه گردید و بعد از مدت شش ماه فرایند تولید ورمی‌کمپوست سرخارگل به طول انجامید.

۲.۳. صفات موردبررسی

۱.۲.۳. درصد رطوبت اندام باردهی

درصد رطوبت نمونه‌های قارچ از طریق رابطه (۱) محاسبه شد.

رابطه (۱) $(\text{وزن تر} - \text{وزن خشک}) / \text{وزن تر} \times 100$

۲.۲.۳. درصد ماده خشک

برای محاسبه درصد ماده خشک از رابطه (۲) استفاده شد (Kalberer, 1991).

رابطه (۲) $\text{درصد ماده خشک} = \text{وزن خشک نمونه} / \text{وزن تر نمونه} \times 100$

۳.۲.۳. درصد کارایی زیستی

برای محاسبه درصد کارایی زیستی از رابطه (۳) استفاده شد (Kirbag & Akyuz, 2009).

رابطه (۳) $\text{کارایی زیستی (درصد)} = \text{وزن تر کل محصول} / \text{وزن خشک بستر} \times 100$

۴.۲.۳. تعداد اندام باردهی

تعداد اندام باردهی در طول دوره برداشت برای تمامی قارچ‌ها شمارش و در پایان برای هر تیمار میانگین آن‌ها محاسبه شد.

۵.۲.۳. قطر کلاهک

قطر کلاهک در پایان آزمایش با استفاده از کولیس اندازه‌گیری و نتایج آن یادداشت گردید.

۶.۲.۳. وزن تر و خشک اندام باردهی قارچ

قارچ‌ها در بهترین مرحله تجاری‌شان (قبل از بلوغ کامل) برداشت و پس از تمیزنمودن، وزن تر آن‌ها با استفاده از ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۰۱ گرم تعیین گردید. سپس جهت اندازه‌گیری وزن خشک، قارچ‌ها به لایه‌های نازک بریده شد و در دمای ۷۰ درجه سانتی‌گراد درون آون قرار گرفت. پس از ۴۸ ساعت دوباره وزن شد.

۷.۲.۳. سرعت محصول دهی

سرعت محصول دهی براساس تعداد روز بین خاک پوششی و اولین فلش محصول دهی به‌دست آمد (ولی‌زاده کاجی و همکاران، ۱۳۹۸).

۸.۲.۳. خاکستر

به‌منظور اندازه‌گیری درصد خاکستر مقدار ۵ گرم از ماده خشک قارچ دکمه‌ای به‌دقت توزین و درون بوتله‌های چینی در داخل کوره الکتریکی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. پس از گذشت هشت ساعت از کوره خارج و وزن شد. برای محاسبه درصد خاکستر از رابطه (۴) استفاده شد (Vieyra et al., 2009).

رابطه (۴) درصد خاکستر = وزن خاکستر / وزن ماده خشک × ۱۰۰

۹.۲.۳. محتوای پروتئین

برای ارزیابی درصد پروتئین خام قارچ، ابتدا مقدار نیتروژن کل با روش کجلدال اندازه‌گیری شد و از طریق رابطه (۵)، درصد پروتئین محاسبه شد (Masamba & Kazombo-Mwale, 2010).

رابطه (۵) درصد پروتئین خام = درصد نیتروژن کل × ۶/۲۵

۱۰.۲.۳. ارزیابی پلی‌ساکارید

مقدار ۲۰۰ گرم قارچ خشک‌شده در یک مخلوط‌کن خرد و به پودر نرمی تبدیل گردید. سپس جهت غیرفعال کردن آنزیم‌های قارچ و همچنین حذف مواد رنگی، چربی و الیگوساکاریدها، پودر قارچ سه مرتبه با اتانول ۶۰ درصد با دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت دو ساعت مخلوط و شست‌وشو داده شد. پس از شست‌وشو، ترکیبات قارچ به‌کمک سانتریفیوژ با دور ۳۰۰۰ دور در دقیقه به‌مدت ۱۰ دقیقه از مخلوط الکلی جداسازی و در نهایت در آون تحت خلأ خشک شد. فرایند استخراج با کمک دستگاه HPLC (مدل ۱۱۰۰، شرکت اجیلنت کشور آمریکا) با مشخصات ستون C18 (۲۵۰ میلی‌متر × ۴/۶ میکرومتر)، دمای آون ۲۵ درجه سانتی‌گراد، آشکارساز RID، جریان ۱ میلی‌لیتر در دقیقه، فاز متحرک ۱۰۰ درصد آب تهیه‌شده از مواد پایه انجام پذیرفت. در این پژوهش فرایند استخراج پلی‌ساکارید از ۲۰ گرم نمونه خشک‌شده قارچ با آب داغ (به نسبت ثابت ۱ به ۱۵)، دماهای مختلف (۵۰ تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد) و زمان‌های مختلف استخراج (۱۰ تا ۳۰ دقیقه) با توجه به آزمون‌های مقدماتی صورت گرفت. از اتانول ۸۰ درصد جهت تکمیل فرایند استخراج و رسوب‌دهی پلی‌ساکارید حاصل استفاده شد. پلی‌ساکارید رسوب کرده در آون تحت خلأ به‌کمک هوای گرم با دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک و توزین گردید و بازده استحصال پلی‌ساکارید به‌کمک رابطه (۶) محاسبه گردید (مزارعی و همکاران، ۱۳۹۵).

رابطه (۶) راندمان استخراج (درصد) = وزن پلی‌ساکارید حاصل / وزن قارچ خشک اولیه × ۱۰۰

۱۱.۲.۳. فسفر

جهت اندازه‌گیری میزان فسفر از روش هپتامولیدات آمونیوم استفاده شد. میزان $0/8$ آسکوربیک‌اسید داخل $151/5$ سی‌سی معرف A حل گردید، 500 میکرولیتر عصاره $0/5$ سی‌سی و 4 سی‌سی از ترکیب اسید آسکوربیک و معرف A با 10 سی‌سی آب مقطر ترکیب شد و محلول B به‌دست آمد. سپس با سمپلر 500 میکرولیتر از عصاره برداشته شد، برای اطمینان از میزان صحیح اندازه‌گیری‌شده در مزور ریخته شد، سپس در بالن 50 سی‌سی، 4 سی‌سی محلول B ریخته شد، بعد از 15 الی 20 دقیقه، رنگ محلول آبی گردید. بعد از آن با آب مقطر به حجم 50 سی‌سی رسانده شد. سپس از طریق دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Unico، کشور آمریکا) میزان جذب قرائت شد (عبادی و همکاران، 1394).

۱۲.۲.۳. سدیم و پتاسیم

با استفاده از فلیم‌فتومتر ارزیابی شد (عبادی و همکاران، 1394 ؛ خدابخشی و همکاران، 1395).

۱۳.۲.۳. نیتروژن

به‌منظور اندازه‌گیری میزان نیتروژن قارچ در ابتدا $0/2$ گرم از نمونه خشک‌شده برداشته شد و سپس کاتالیزور به نسبت 1 به 10 تهیه گردید که شامل سولفات پتاسیم + سولفات مس + سلنیوم بود. سپس روی نمونه خشک‌شده در کاغذ صافی ریخته شد و بعد از آن داخل لوله‌های دستگاه هضم قرار داده شد. روی آن 10 سی‌سی سولفوریک‌اسید غلیظ ریخته شد و به‌مدت چهار ساعت در دستگاه هضم کج‌دال قرار داده شد تا رنگ نمونه‌ها سبز شود و بعد در دستگاه تقطیر کج‌دال نیتروژن محبوس‌شده به‌دست آمد. سپس محتویات ارلن که از دستگاه تقطیر کج‌دال به‌دست آمد با $0/1$ HCl نرمال تیترو شد و رنگ آن از سبز به‌صورتی تغییر کرد (خدابخشی و همکاران، 1395).

۱۴.۲.۳. آهن و روی

غلظت عناصر آهن و روی در عصاره اندام باردهی قارچ بلازئی توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Unico، کشور آمریکا) قرائت شد (عبادی و همکاران، 1394).

۳.۳. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

داده‌های حاصل از پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS (نسخه $9/3$) مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفته و به‌دلیل متفاوت بودن تیمارها مقایسه میانگین‌ها توسط آزمون چنددامنه‌ای دانکن^۱ در سطح احتمال 5 درصد انجام و برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel استفاده گردید.

۴. یافته‌های پژوهش

۴.۱. درصد وزن تر و خشک

براساس نتایج تجزیه واریانس، میزان متوسط وزن تر و خشک قارچ در تیمارهای مختلف بستر کشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۴).

۱. Duncan

جدول ۴. جدول تجزیه واریانس داده‌های حاصل از ارزیابی صفات مختلف در بعد از کشت

منابع تغییرات	درجه آزادی	وزن تر	وزن خشک	رطوبت	ماده خشک	کارایی زیستی	خاکستر	سرعت محصول‌دهی
تیمار	۱۴	۳/۴۸*	۳۶۸۹۴۵**	-/۲۶۸ns	۰/۴۳۲ns	۰/۰۰۰۰۲۰ns	۳/۶۲۲**	۲۰۴/۲۳**
خطا	۳۰	۱۸۵۲۰۳/۰	۴۸۳۲/۰	۴/۸۳۳	۱/۳۰۵	۰/۰۱۴۳۴	۱/۰۳۱	۱۳/۱۴
ضریب تغییرات (درصد)	-	۲/۴۷	۴/۲۳	۲/۵۷	۶/۲۸	۳/۶	۳/۷۲	۶/۴۹

** و ns: معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد و بدون اختلاف معنی‌داری

با توجه به مقایسه میانگین‌ها، تیمار خاک پوششی ۵۰ درصد+ کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد با مقدار عددی ۷۲۶۲/۴ گرم بیش‌ترین درصد وزن تر قارچ‌های پرورش یافته را به خود اختصاص داد. قارچ‌های پرورش یافته در تیمار ورمی کمپوست برگشتی قارچ+ ایندول استیک‌اسید کم‌ترین وزن تر را دارا بودند (جدول ۵). درصد وزن خشک نیز در تیمار خاک پوششی+ کمپوست برگشتی قارچ به میزان ۱۱۰۶/۲ درصد افزایش و در تیمار ورمی کمپوست برگشتی قارچ+ ایندول استیک‌اسید به میزان ۸۵/۵ درصد کاهش یافت (جدول ۵).

جدول ۵. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف خاک پوششی بر برخی خصوصیات قارچ تکم‌ای بلازنی

نوع بستر کشت	وزن تر	وزن خشک	خاکستر	سرعت محصول‌دهی
	گرم	گرم	درصد	تعداد روز
خاک پوششی	۵۱۸۷/۳ c	۷۴۸/۹ c	۷/۱۰ b-f	۳۲/۰ Cd
خاک پوششی+ سرخارگل	۲۰۲۳/۰ e	۲۹۲/۰۵ e	۶/۹۰ c-f	۳۹/۰ cd
خاک پوششی ۷۰ درصد+ سرخارگل ۳۰ درصد+ IAA	۳۷۹۶/۹ d	۵۴۸/۱ d	۷/۸۳ a-d	۲۹/۰ d
خاک پوششی ۷۰ درصد+ ورمی کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد	۶۵۶۷/۹ b	۹۴۸/۲ b	۷/۵۰ a-e	۴۰/۳ bcd
ورمی کمپوست ۷۰ درصد+ ورمی کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد	۹۰۰/۱ f	۱۲۹/۹ f	۸/۵۸ ab	۴۵/۰ a
ورمی کمپوست ۷۰ درصد+ ورمی کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد+ IAA	۱۰۷۹/۳ f	۱۵۵/۸۲ f	۸/۶۶ a	۴۵/۶ a
ورمی کمپوست سرخارگل	۹۲۴/۲ f	۱۳۳/۴ f	۸/۰۳ abc	۴۵/۰ a
سرخارگل	۶۰۴/۰۶ f	۸۷/۲ f	۷/۴۳ ad	۴۴/۶ ab
خاک پوششی+ IAA	۴۱۵۲/۴ d	۵۹۹/۵ d	۵/۸۳ def	۳۲/۰ cd
کمپوست برگشتی قارچ	۱۰۱۵/۶ f	۱۴۶/۶ f	۸/۵۶ abc	۳۲/۰ cd
کمپوست برگشتی قارچ+ IAA	۵۷۶۱/۳ bc	۸۳۱/۷ bc	۵/۹۳ def	۳۲/۰ cd
ورمی کمپوست برگشتی قارچ+ IAA	۵۹۴/۴ f	۸۵/۵ f	۶/۸۶ b-f	۳۲/۰ cd
خاک پوششی ۵۰ درصد+ کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد	۷۶۶۲/۴ a	۱۱۰۶/۲ a	۵/۵۰ f	۳۲/۰ cd
خاک پوششی ۵۰ درصد+ ورمی کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد	۶۲۴۷/۹ b	۹۰۱/۹ b	۵/۷۳ ef	۴۵/۰ a
خاک پوششی ۷۰ درصد+ کمپوست برگشتی قارچ ۳۰ درصد+ IAA	۸۶۷/۹ f	۱۲۵/۲ f	۷/۴۰ b-f	۳۴/۰ cd

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

۲.۴. درصد رطوبت، ماده خشک و کارایی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر تیمارهای مختلف بستر کاشت بر درصد رطوبت، درصد ماده خشک و نیز درصد کارایی قارچ معنی‌دار نشد (جدول ۴).

۳.۴. درصد خاکستر

نتایج تجزیه واریانس بیانگر این بود که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای مختلف از نظر درصد خاکستر قارچ در سطح یک درصد معنی‌دار وجود دارد (جدول ۴). براساس مقایسه میانگین‌ها بیش‌ترین درصد خاکستر در تیمار ورمی کمپوست ۷۰ درصد+ ورمی کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد+ ایندول استیک‌اسید با مقدار عددی ۸/۶۶ درصد و کم‌ترین درصد خاکستر در تیمار خاک پوششی ۵۰ درصد+ کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد محاسبه گردید (جدول ۵).

۴.۴. سرعت محصول دهی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد تأثیر تیمارهای خاک پوششی (بستر کشت) بر سرعت محصول دهی قارچ در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۴). در تیمار ورمی کمپوست سرخارگل بیشترین سرعت محصول دهی و کمترین سرعت محصول دهی در تیمار خاک پوششی ۷۰ درصد + سرخارگل ۳۰ درصد + ایندول استیک اسید مشاهده شد (جدول ۵).

۴.۵. درصد پروتئین خام و نیتروژن

بر اساس نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای خاک پوششی بر درصد پروتئین خام و نیتروژن در سطح احتمال یک درصد معنی دار بود (جدول ۶).

جدول ۶. جدول تجزیه واریانس اثر تیمارهای مختلف خاک پوششی بر میزان جذب عناصر در قارچ تکمه‌ای بلاژی

منابع تغییرات	درجه آزادی	پروتئین خام	نیتروژن	فسفر	پتاسیم	سدیم
تیمار	۱۴	۸۴۱/۴۰**	۲۱/۴۸۰**	۲۰۹۸۱۹**	۳/۳۹**	۶۲۳۷/۶۳**
خطا	۳۰	۲۴/۵۱	۰/۶۲	۹۷۵/۰	۷۲۱۶۳۹۸/۰	۰/۰۳۱
ضریب تغییرات (درصد)	-	۶/۴۸	۶/۴۴	۲/۴۸	۷/۰۹	۳/۱۶

** معنی داری در سطح احتمال ۱ درصد.

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد تیمار خاک پوششی ۵۰ درصد + ورمی کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد، دارای بیشترین درصد پروتئین خام (۹۸/۴ درصد) و تیمار ورمی کمپوست برگشتی قارچ + ایندول استیک اسید دارای کمترین درصد پروتئین خام بود. کاربرد خاک پوششی ۵۰ درصد + ورمی کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد باعث افزایش میزان نیتروژن قارچ با مقدار عددی ۱۵/۷۷ درصد شده است. کمترین درصد نیتروژن در تیمار ورمی کمپوست برگشتی قارچ + ایندول استیک اسید محاسبه گردید (جدول ۷).

جدول ۷. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف خاک پوششی بر میزان جذب عناصر در قارچ تکمه‌ای بلاژی

نوع بستر کشت	پروتئین خام	نیتروژن	فسفر (P)	پتاسیم (K)	سدیم (Na)
	درصد	میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک			
خاک پوششی	۹۴/۱ab	۱۵/۰۶۶ab	۱۳۹۶/۹۴	۳۰۰۰۰/۰ a	۲۰۹/۹bcd
خاک پوششی + سرخارگل	۸۴/۱ cd	۱۳/۴۶۳cd	۱۴۳۳/۰۴ef	۲۳۵۰۰/۰ d	۲۶۵/۶ a-d
خاک پوششی ۷۰ درصد + سرخارگل ۳۰ درصد + IAA	۹۱/۱abc	۱۴/۵۸ abc	۱۱۸۰/۱ g	۲۵۳۳۳/۳c	۳۲۴/۴۱a-d
خاک پوششی ۷۰ درصد + ورمی کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد	۸۶/۶ c	۱۳/۸۶cd	۱۰۲۱/۱i	۱۸۰۰۰/۰f	۲۶۵/۶ a-d
ورمی کمپوست ۷۰ درصد + ورمی کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد	۸۲/۵de	۱۳/۲۰de	۱۰۳۵/۹i	۲۸۰۰۰/۰b	۳۷۳/۹ abc
ورمی کمپوست ۷۰ درصد + ورمی کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد + IAA	۹۰/۱bc	۱۴/۴۲bc	۱۰۳۵/۶ i	۱۶۵۰۰/۰g	۲۶۰/۹a-d
ورمی کمپوست سرخارگل	۸۴/۴cd	۱۳/۵۱ c	۰۲۱۳۱۵abc	۲۶۱۶۶/۶ab	۲۷۸/۱ d
سرخارگل	۵۱/۷g	۸/۲۷g	۱۴۵۴/۷de	۲۲۰۰۰/۰de	۲۹۳/۴abc
خاک پوششی + IAA	۶۴/۱ f	۱۰/۲۶f	۱۴۸۶/۰۳cd	۲۷۵۰۰/۰b	۲۷۴/۹abc
کمپوست برگشتی قارچ	۷۶/۴ef	۱۲/۲۲ ef	۱۴۸۶/۰۳cd	۲۲۵۰۰/۰ de	۲۹۱/۹ ab
کمپوست برگشتی قارچ + IAA	۶۸/۴f	۱۱/۰۶f	۱۲۶۹/۲g	۲۱۸۳۳/۳e	۲۹۵/۰۲ab
ورمی کمپوست برگشتی قارچ + اکسین	۴۶/۶ g	۷/۴۶ g	۱۵۲۸/۹c	۲۵۱۶۶/۶c	۱۹۱/۳ cd
خاک پوششی ۵۰ درصد + کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد	۷۲/۳ ef	۱۱/۵۷ef	۱۰۵۰/۰۹ h	۱۸۵۰۰/۰ f	۲۲۲/۳bcd
خاک پوششی ۵۰ درصد + ورمی کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد	۹۸/۴ a	۱۵/۷۷a	۱۶۲۸/۱b	۲۳۰۰۰/۰ab	۱۸۳/۶ cd
خاک پوششی ۷۰ درصد + کمپوست برگشتی قارچ ۳۰ درصد + IAA	۵۴/۶g	۸/۷۵ g	۱۸۹۵/۴ a	۲۶۸۳۳/۳bc	۳۵۰/۷ a

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون چند دامنه‌ای دانکن تفاوت معنی داری ندارند.

۶.۴. میزان فسفر و پتاسیم

با توجه به نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، تأثیر کاربرد تیمارهای مختلف خاک پوششی (بستر کاشت) بر میزان فسفر و پتاسیم در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۶). براساس مقایسه میانگین‌ها بیش‌ترین فسفر (۱۸۹۵/۴) میلی‌گرم بر کیلوگرم) در تیمار خاک پوششی ۷۰ درصد+ کمپوست برگشتی قارچ ۳۰ درصد+ ایندول استیک‌اسید محاسبه شد و کم‌ترین میزان فسفر در تیمار خاک پوششی ۷۰ درصد+ ورمی‌کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد حاصل گردید. کاربرد ورمی‌کمپوست ۷۰ درصد+ ورمی‌کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد بالاترین میزان پتاسیم (۲۸۰۰۰) میلی‌گرم بر کیلوگرم) را در قارچ‌ها تجمع داد. در بستر ورمی‌کمپوست ۷۰ درصد+ ورمی‌کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد+ ایندول استیک‌اسید کم‌ترین میزان پتاسیم اندازه‌گیری شد (جدول ۷).

۷.۴. میزان سدیم

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر تیمارهای بستر کشت در سطح احتمال یک درصد بر غلظت سدیم قارچ معنی‌دار بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیش‌ترین میزان سدیم در بستر ورمی‌کمپوست ۷۰ درصد+ ورمی‌کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد با مقدار ۳۷۳/۹ میلی‌گرم بر کیلوگرم و کم‌ترین میزان سدیم در بستر خاک پوششی ۵۰ درصد+ ورمی‌کمپوست برگشتی ۵۰ درصد محاسبه شد (جدول ۷).

۸.۴. میزان روی و آهن

براساس نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف خاک پوششی بر میزان روی (Zn) و آهن قارچ بلازئی، در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد (جدول ۸).

جدول ۸. جدول تجزیه واریانس داده‌های حاصل از ارزیابی صفات مختلف در بعد از کشت

منابع تغییرات	درجه آزادی	روی	آهن	بتاگلوکان	تعداد قارچ	قطر کلاهک
تیمار	۱۴	۱۶۳۵۸/۸**	۰/۴۶۸**	۷۷۳/۷۵**	۳۷۴۹/۰۸**	۶۰/۵۵۹**
خطا	۳۰	۲۹۳/۵	۰/۰۳۱	۲۱/۷۴	۵۲/۶۴	۴/۵۲۶
ضریب تغییرات (درصد)	-	۶/۱۵	۶/۴۹	۹/۵۰	۷/۳۲	۳/۸۰

** معنی‌داری در سطح احتمال ۱ درصد.

تیمار خاک پوششی ۵۰ درصد+ ورمی‌کمپوست برگشتی ۵۰ درصد با مقدار ۳۹۰/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای بیش‌ترین میزان روی بود. تیمار کمپوست برگشتی قارچ با مقدار ۱۴۰۱/۳ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای بیش‌ترین میزان آهن بوده و تیمار ورمی‌کمپوست برگشتی ۷۰ درصد+ ورمی‌کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد+ ایندول استیک‌اسید دارای کم‌ترین میزان آهن بود (جدول ۹).

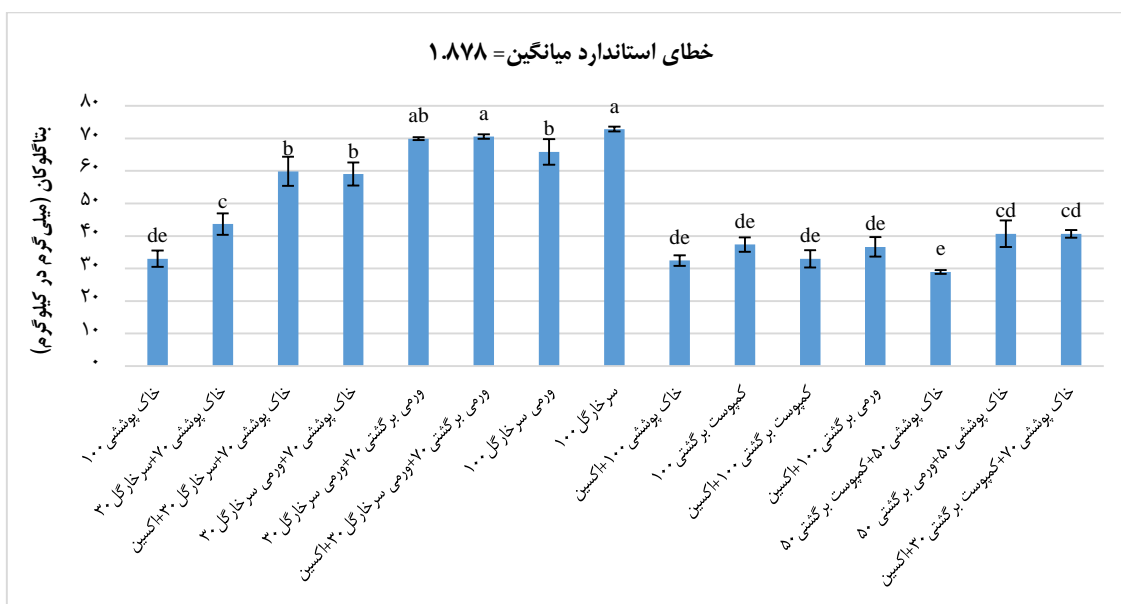
۹.۴. میزان بتا گلوکان

با توجه به نتایج تجزیه واریانس تیمار بسترهای مختلف کشت بر میزان پلی‌ساکارید بتاگلوکان در سطح احتمال یک درصد تفاوت معنی‌دار داشت (جدول ۸). براساس مقایسه میانگین‌ها تیمار سرخارگل با مقدار ۷۲/۸۶ میلی‌گرم بر کیلوگرم دارای بیش‌ترین میزان بتا گلوکان بوده و کم‌ترین میزان بتا گلوکان مربوط به تیمار خاک پوششی ۵۰ درصد+ کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد بود (شکل ۱).

جدول ۹. مقایسه میانگین اثر تیمارهای مختلف خاک پوششی بر برخی خصوصیات قارچ تکمهای بلاژی

نوع بستر کشت	روی (Zn) میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک	آهن (Fe) میلی گرم در کیلوگرم وزن خشک	تعداد قارچ - میلی متر	قطر کلاهک میلی متر
خاک پوششی	۲۳۰/۲۳۲f	۷۴۹/۶ab	۸۱/۶ bc	۶۶/۳۶۳ a
خاک پوششی + سرخارگل	۲۴۵/۰ ef	۱۹۸/۳ c	۲۷/۳ e	۵۶/۴۵۳ de
خاک پوششی ۷۰ درصد + سرخارگل ۳۰ درصد + IAA	۳۱۸/۰ b	۱۳۹/۰ d	۵۱/۳d	۵۷/۰۶cde
خاک پوششی ۷۰ درصد + ورمی کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد	۳۷۶/۰ a	۷۹۲/۶ab	۸۲/۶ b	۵۴/۰۸ fgh
ورمی کمپوست ۷۰ درصد + ورمی کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد	۲۰۵/۰ g	۶۹۹/۰ ab	۱۲/۳f	۵۵/۴۰ def
ورمی کمپوست ۷۰ درصد + ورمی کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد + IAA	۲۷۵/۳de	۱۱۴/۰ d	۱۴/۳f	۵۶/۳۲cde
ورمی کمپوست سرخارگل	۲۸۸/۰ c	۱۱۸/۰ d	۱۱/۰ f	۵۶/۵۰ cde
سرخارگل	۲۵۹/۳ef	۱۷۰/۶cd	۶/۶ f	۵۹/۳ bc
خاک پوششی + IAA	۱۹۶/۳g	۲۱۳/۶ b	۶۴/۳ c	۵۶/۸۹ efg
کمپوست برگشتی قارچ	۳۴۳/۳b	۱۴۰/۱۳a	۱۶/۳f	۳۹/۰۴h
کمپوست برگشتی قارچ + IAA	۳۸۹/۰ a	۱۳۵/۳d	۸۵/۰ ab	۶۱/۵۰ b
ورمی کمپوست برگشتی قارچ + IAA	۱۹۱/۰ g	۸۳/۰ ab	۱۰/۰ f	۵۸/۰۲bcd
خاک پوششی ۵۰ درصد + کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد	۱۸۰/۶g	۱۲۲۸/۰ a	۱۱۸/۳a	۵۱/۳۱gh
خاک پوششی ۵۰ درصد + ورمی کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد	۳۹۰/۳a	۸۸۵/۶ab	۸۶/۰ ab	۵۱/۸۷gh
خاک پوششی ۷۰ درصد + کمپوست برگشتی قارچ ۳۰ درصد + IAA	۲۸۷/۶cd	۶۷۳/۶ab	۱۴/۰ f	۵۲/۰۳fgh

میانگین‌های دارای حروف مشترک در سطح ۵ درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.



شکل ۱. مقایسه میانگین‌های تغییرات میزان بنابالوکان در بین تیمارهای مورد بررسی. میانگین‌هایی که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند، در سطح احتمال یک درصد آزمون دانکن تفاوت معنی‌داری ندارند.

۱۰.۴. تعداد قارچ بلاژی

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد تأثیر تیمارهای مختلف خاک پوششی بر تعداد ته‌سنجاقی قارچ بلاژی در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۸). با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها در تیمار خاک پوششی ۵۰ درصد + کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد بیش‌ترین تعداد قارچ (با مقدار ۱۱۸/۳ عدد) تولید شد (جدول ۹). بهبود ساختمان بستر کشت موجب رشد بهتر و بیش‌تر قارچ گردید.

۱۱.۴. قطر کلاهک قارچ بلازنی

با توجه به نتایج تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای مختلف خاک پوششی بر قطر کلاهک قارچ در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۸). بیش‌ترین قطر کلاهک در تیمار کمپوست برگشتی قارچ+ ایندول استیک‌اسید با میانگین ۶۱/۵۰ میلی‌متر به‌دست آمد. تیمار کمپوست برگشتی قارچ کم‌ترین قطر کلاهک را به خود اختصاص داد (جدول ۹).

۵. بحث

در این آزمایش از تیمارهای سرخارگل ۱۰۰ درصد+ ایندول استیک‌اسید، ورمی‌کمپوست سرخارگل ۱۰۰ درصد+ ایندول استیک‌اسید و ورمی‌کمپوست برگشتی قارچ ۱۰۰ درصد، هیچ‌گونه محصولی برداشت نشد، بنابراین این تیمارها حذف و تجزیه داده‌ها با سایر تیمارهای باقی‌مانده انجام شد. به‌نظر می‌رسد در تیمارهای سرخارگل ۱۰۰ درصد+ ایندول استیک‌اسید، ورمی‌کمپوست سرخارگل ۱۰۰ درصد+ ایندول استیک‌اسید و ورمی‌کمپوست برگشتی قارچ ۱۰۰ درصد، ظرفیت بالای نگهداری آب، مانع ورود اکسیژن و خروج دی‌اکسیدکربن از کمپوست و در نهایت مانع از رشد میسلیوم‌های قارچ در خاک پوششی شد. به‌عبارت دیگر، به علت جذب بالای آب توسط گیاه سرخارگل و ورمی‌کمپوست، میسلیوم‌های قارچ دچار خفگی شدند (ذکایی و همکاران، ۱۳۸۹). عدم تولید قارچ در برخی از بسترها می‌تواند ناشی از ساختار فیزیکی نامناسب این بسترها و عدم توانایی قارچ دکمه‌ای در استفاده از این بسترها باشد. همچنین از آنجایی که قارچ دکمه‌ای موجودی هتروتروف می‌باشد و برای تغذیه نیاز به مواد آلی دارد، پایین یا بالابودن میزان کربن آلی در تیمارهای اشاره‌شده نسبت به سایر تیمارها، نیز می‌تواند دلیلی دیگر بر عدم تولید قارچ در این بستر باشد.

در بستر کشت خاک پوششی ۵۰ درصد+ کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد وزن تر قارچ افزایش یافت، استفاده از کمپوست برگشتی قارچ در بستر کشت به نوعی غنی‌سازی بستر مورد استفاده را فراهم نمود. در این تیمار که از ظرفیت نگهداری آب بیش‌تر از حد متعارف را دارا بود، تعداد قارچ بیش‌تر بوده و به‌طور طبیعی رطوبت و تعریق در محیط بیش‌تر شد. بین میزان تولید هورمون IAA و وزن تر قارچ همبستگی معنی‌دار و مثبتی وجود دارد. ایندول استیک‌اسید ممکن است عامل تأثیرگذاری بر روی عملکرد قارچ باشد اگرچه نمی‌توان نقش جنس بستر کشت و منشأ آن را از نظر دور داشت (لطفی و همکاران، ۱۳۹۷). بالابودن وزن خشک در تیمار خاک پوششی ۵۰ درصد+ کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد ممکن است به‌دلیل مواد محرک رشد موجود در کمپوست باشد که باعث می‌شود ماده خشک قارچ افزایش یابد. پایین بودن وزن خشک در تیمار ورمی‌کمپوست برگشتی قارچ+ ایندول استیک‌اسید احتمالاً به‌دلیل پایین بودن میزان نیتروژن خاک باشد که با کاهش آن، ماده‌سازی کاهش و وزن خشک کم می‌شود (الفتی و رسولی، ۱۳۹۵). در تیمار خاک پوششی+ کمپوست برگشتی قارچ درصد وزن تر بالا بود، درصد وزن تر با درصد خاکستر رابطه معکوسی داشت. احتمالاً علت کاهش میزان خاکستر قارچ در بستر خاک پوششی ۵۰ درصد+ کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد افزایش جذب آب و در نتیجه کاهش وزن ماده خشک در واحد سطح و حجم باشد. بسترهای غنی‌شده با مکمل‌های غذایی نسبت به بسترهای فاقد مکمل (شاهد) ماده خشک بیش‌تری داشتند. در پژوهشی، قارچ‌های تولیدی در بستر ورمی‌کمپوست بیش‌ترین میزان پروتئین و محتوای خاکستر را داشتند (Picornell-Buendia et al., 2016). در این مطالعه، مقدار خاکستر با افزایش غلظت مکمل‌های غذایی در یک راستا نبود و این نشان داد که سطوح مکمل تأثیر منفی و یا مثبت بر روی خاکستر قارچ نگذاشته است که با یافته‌های ماکنالی و همکاران (۱۳۹۳) همسو بوده است.

تیمار ورمی‌کمپوست سرخارگل بیش‌ترین سرعت محصول‌دهی و کم‌ترین سرعت محصول‌دهی در تیمار خاک پوششی ۷۰ درصد+ سرخارگل ۳۰ درصد+ ایندول استیک‌اسید مشاهده شد. تفاوت در طول دوره رشد قارچ خوراکی صدفی

و سرعت محصول‌دهی در بین تیمارهای مختلف، به ترکیبات شیمیایی سوبسترا و مکمل غذایی افزوده شده، قابل‌استفاده‌بودن ترکیبات شیمیایی و سطح آزادسازی مواد غذایی سوبسترا و مکمل غذایی (Salmones *et al.*, 2005; Royse *et al.*, 2004) و خصوصیات فیزیکی سوبسترای مورد استفاده مربوط می‌شود (Zhang *et al.*, 2002). ورمی‌کمپوست سرخارگل به‌دلیل شباهت ساختاری و دارا بودن متابولیت‌های ثانویه و نیز ظرفیت نگهداری رطوبت بالا موجب افزایش سرعت محصول‌دهی گردید.

تیمار خاک پوششی ۵۰ درصد+ ورمی‌کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد بیش‌ترین درصد پروتئین خام قارچ را به خود اختصاص داد که با همه تیمارهای مورد مطالعه اختلاف معنی‌داری داشت. افزودن خاک پوششی در بسترهای حاوی ورمی‌کمپوست برگشتی قارچ احتمالاً نوعی غنی‌سازی محسوب شده و علاوه بر بهبود بستر کشت، موجب سرعت جذب عناصر غذایی توسط قارچ بلازئی و در نتیجه بهبود رشد آن می‌گردد. اثر نوع بستر، بر درصد پروتئین خام معنی‌دار بود (ملایی و همکاران، ۱۳۹۰) که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. قارچ‌ها دارای مقادیر بالایی از پروتئین هستند که میزان آن نیز تحت تأثیر نوع بستر کشت قرار می‌گیرد (Kalmis & Sargin, 2004). کاربرد خاک پوششی ۵۰ درصد+ ورمی‌کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد باعث افزایش میزان نیتروژن قارچ گردید. در این مطالعه استفاده از ورمی‌کمپوست برگشتی در ترکیب خاک پوششی به‌دلیل داشتن نیتروژن بالا و ترکیب پروتئین حاصل از اجساد و بقایای کرم خاکی سبب افزایش مقدار پروتئین خام قارچ گردید (حسینی و همکاران، ۱۳۹۶). در نتیجه افزایش نیتروژن و پروتئین خام قارچ در اثر محلول‌دهی عصاره ورمی‌کمپوست را می‌توان به بالابودن نیتروژن قابل استفاده عصاره ورمی‌کمپوست نسبت داد که در بهبود کمیت و کیفیت قارچ خوراکی نقش به‌سزایی دارد. نیتروژن در گیاهان عالی عامل رشد رویشی محسوب می‌شود، گیاهان با جذب نیتروژن خاک و یا تثبیت نیتروژن بیوسفر رشد خود را بهینه می‌سازند. نیتروژن در ماده‌سازی گیاهی نقش اساسی دارد (Wange *et al.*, 2010). بالابودن مقادیر نیتروژن در بستر خاک پوششی و کمپوست قارچ و تجزیه‌پذیری بهتر آن در مقایسه با سایر بسترها، سبب می‌گردد تا هیف‌های قارچ، مواد غذایی (عناصر معدنی) بیش‌تری را از محیط کشت به اندام بارده انتقال دهند (کیماسی و همکاران، ۱۳۹۸).

بیش‌ترین میزان فسفر در تیمار خاک پوششی ۷۰ درصد+ کمپوست برگشتی قارچ ۳۰ درصد+ ایندول‌استیک‌اسید محاسبه شد و کم‌ترین میزان فسفر در تیمار خاک پوششی ۷۰ درصد+ ورمی‌کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد حاصل گردید. هم‌چنین کاربرد ورمی‌کمپوست ۷۰ درصد+ ورمی‌کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد بالاترین میزان پتاسیم را در قارچ‌ها تجمع داد.

اکسین نقش تعیین‌کننده بر قطر کلاهک و میزان فسفر خاک داشت، به‌نحوی که بستر کشت کمپوست برگشتی قارچ کم‌ترین قطر کلاهک را داشت، اما وقتی با اکسین ترکیب شد قطر کلاهک افزایش یافت در نتیجه ایندول‌استیک‌اسید تأثیر مثبت بر قطر کلاهک داشت. نوع خاک پوششی نقش تعیین‌کننده در میزان فسفر بستر تولید شده داشت (حسینی و همکاران، ۱۳۹۶). در طول فرایند کمپوست‌سازی، کمپوست برگشتی قارچ عنصرهای غذایی را جذب و در بخش‌های آلی خود ذخیره می‌کند، بنابراین مواد غذایی به‌آسانی کمپوست‌های تازه و پسماندهای آلی آبشویی نمی‌شوند. کمپوست برگشتی قارچ نزدیک به ۶۰ درصد وزن خود آب جذب می‌کند و در حدود ۶۵ درصد ماده خشک آن را مواد آلی تشکیل می‌دهد (Phan & Sabaratnam, 2012). کاربرد مقادیر مناسب ورمی‌کمپوست بدون در نظر گرفتن ایندول‌استیک‌اسید، باعث افزایش پتاسیم قارچ می‌شود. این یافته نشان داد که افزودن ایندول‌استیک‌اسید به تیمار ورمی‌کمپوست برگشتی+ ورمی‌کمپوست سرخارگل، میزان پتاسیم را کاهش داد و ایندول‌استیک‌اسید نقش بازدارنده را ایفا کرد. در این آزمایش مشاهده شد که قارچ‌های رشدیافته در تیمارهای مختلف خاک پوششی از لحاظ مقدار پتاسیم اختلاف معنی‌داری داشتند و

می‌توان نتیجه گرفت نوع خاک پوششی استفاده‌شده در این آزمایش تأثیر قابل‌توجهی بر جذب میزان عناصر غذایی در قارچ بلازئی دارد. در این پژوهش افزایش فسفر و پتاسیم با هم در یک راستا بودند. قارچ‌های رشدیافته در تیمارهای مختلف خاک پوششی از لحاظ مقدار سدیم اختلاف معنی‌داری داشتند که می‌توان نتیجه گرفت نوع خاک پوششی استفاده‌شده تأثیر قابل‌توجهی بر جذب میزان عناصر غذایی در قارچ بلازئی دارد. در بررسی انجام‌شده بر روی بسترهای مختلف (کاه سویا، کاه برنج، کاه گندم، ترکیب کاه سویا و کاه برنج، ترکیب کاه سویا و کاه برنج و کاه گندم)، بالاترین میزان سدیم در قارچ‌هایی به‌دست آمد که از بستر کاه گندم بودند و پایین‌ترین غلظت در قارچ‌هایی حاصل شد که از بستر کاه گندم به‌همراه سویا بودند (Patill *et al.*, 2008). به‌نظر می‌رسد کاهش سدیم به‌دلیل افزایش روی اتفاق می‌افتد.

تیمار خاک پوششی ۵۰ درصد + ورمی‌کمپوست برگشتی ۵۰ درصد دارای بیش‌ترین میزان روی بود. تیمار کمپوست برگشتی قارچ دارای بیش‌ترین میزان آهن بوده و تیمار ورمی‌کمپوست برگشتی ۷۰ درصد + ورمی‌کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد + ایندول‌استیک‌اسید دارای کم‌ترین میزان آهن بود. افزایش فعالیت برخی از آنزیم‌های مترشحه از هیف‌های گونه‌های مختلفی از قارچ صدفی در اثر غنی‌سازی بستر کشت با برخی از عناصر همانند آهن، روی و منگنز گزارش شده است (Stajic *et al.*, 2006) که این افزایش فعالیت به نقش این عناصر به‌عنوان کوفاکتور در ساختمان این آنزیم‌ها نسبت داده می‌شود. با توجه به غنی‌بودن ورمی‌کمپوست برگشتی قارچ از عنصر روی، کاربرد ورمی‌کمپوست برگشتی قارچ باعث افزایش روی قارچ می‌شود. افزودن ورمی‌کمپوست برگشتی قارچ به خاک پوششی نه‌تنها فراهمی عنصرهای غذایی موردنیاز گیاه را افزایش می‌دهد بلکه با بهبود شرایط فیزیکی و فرایندهای حیاتی خاک، ضمن ایجاد یک محیط مناسب رشد، افزایش میزان پروتئین خام (پروتئین محلول کل) را فراهم کرد. میانگین غلظت روی در محصول قارچ بلازئی، خاک و کمپوست به‌ترتیب ۲۴/۰۷۲، ۲۴/۲۲۹ و ۱۱۹/۰۳۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود (چراغی و همکاران، ۱۳۹۱). بسترهای با منشأ قارچ میزان عناصر غذایی بیش‌تری را در خود تجمع داده بودند. بسترهای با منشأ سرخارگل با توجه به مصرف عناصر غذایی در طی دوره رشد، عناصر غذایی جذب‌شده توسط ریشه را مصرف نموده و مقادیر کم‌تری را در بافت خود ذخیره کردند و در این مرحله (پرورش قارچ) نتوانستند به‌طور مؤثر عناصر غذایی را در اختیار قارچ بلازئی قرار دهند. میزان عنصر آهن تحت تأثیر نوع بستر کشت بوده و حداکثر مقدار آن در قارچ به‌دست‌آمده از بستر خاک کمپوست برگشتی قارچ بود (عبادی و همکاران، ۱۳۹۴) که با نتایج حاصل از این پژوهش همسو است.

براساس مقایسه میانگین‌ها تیمار سرخارگل دارای بیش‌ترین میزان بتا گلوکان بوده و کم‌ترین میزان بتا گلوکان مربوط به تیمار خاک پوششی ۵۰ درصد + کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد بود. بتاگلوکان از ترکیبات بسیار ارزشمند در ساختار دیواره سلولی قارچ بلازئی است که میزان آن تحت تأثیر بسترهای کشت تغییر می‌کند. در گیاه سرخارگل میزان بتاگلوکان بیش از سایر تیمارهای کشت بود که احتمالاً به‌علت ساختار ترکیبات ماده مؤثره درون بافت‌های گیاه سرخارگل (گلیکوزیدها) بوده باشد. میزان بتاگلوکان در قارچ در تیمار خاک پوششی ۵۰ درصد + کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد کم‌ترین مقدار را نشان داد که این یافته با کاهش روی و خاکستر در این تیمار همراه بود. محتوای بتاگلوکان در قارچ به گونه، محیط رشد و بلوغ قارچ (Mirończuk-Chodakowska & Witkowska, 2020) و شرایط رشد، نوع بستر و سویه میسلیم مورد استفاده بستگی دارد (Park *et al.*, 2015; Ryu *et al.*, 2009).

با توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها در تیمار خاک پوششی ۵۰ درصد + کمپوست برگشتی قارچ ۵۰ درصد بیش‌ترین تعداد قارچ تولید شد. بهبود ساختمان بستر کشت موجب رشد بهتر و بیش‌تر قارچ گردید. در این پژوهش، احتمالاً پس از افزودن ورمی‌کمپوست سرخارگل به ورمی‌کمپوست ساختار فیزیکی‌شیمیایی بستر ارتقا یافته و اسپان بیش‌تری توانایی رشد

در بستر مورد اشاره را یافتند. وجود عناصر معدنی بیش تر در ورمی کمپوست، سبب کاهش تعداد آگاریکوس بلازئی در تیمار شد. در این مطالعه در تیمارهای ورمی کمپوست ۷۰ درصد+ ورمی کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد، ورمی کمپوست ۷۰ درصد+ ورمی کمپوست سرخارگل ۳۰ درصد+ ایندول استیک اسید، ورمی کمپوست سرخارگل، سرخارگل، کمپوست برگشتی قارچ، ورمی کمپوست برگشتی قارچ+ ایندول استیک اسید، خاک پوششی ۷۰ درصد+ کمپوست برگشتی قارچ ۳۰ درصد+ ایندول استیک اسید، رشد میسلیم بسیار ضعیف بود و بسیاری از آغازه‌های قارچ در لابه‌لای خاک پوششی مردند (ذکایی و همکاران، ۱۳۸۹). نتایج مشابهی نیز در مطالعات پژوهش‌گران دیگر (الفتی و رسولی، ۱۳۹۵؛ ذکایی و همکاران، ۱۳۸۹) درباره تأثیر استفاده از نسبت‌های بالای ورمی کمپوست در خاک پوششی گزارش شد.

بیش‌ترین قطر کلاهک قارچ در تیمار کمپوست برگشتی قارچ+ ایندول استیک اسید به دست آمد. تیمار کمپوست برگشتی قارچ کم‌ترین قطر کلاهک را به خود اختصاص داد. براساس نتایج به دست آمده، قطر کلاهک تحت تأثیر نوع بستر کشت قرار گرفت (عبادی و همکاران، ۱۳۹۴) که می‌توان دلیل آن را تهویه مطلوب نسبت به تیمار شاهد دانست. کامل شدن مرحله رشد رویشی در تیمارهای مختلف، به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی محیط کشت (اجزای تشکیل دهنده بستر کشت)، مکمل غذایی افزوده شده، توانایی میسلیم قارچ (گونه‌های مختلف جنس پلوروتوس) در استفاده از ترکیبات شیمیایی و نحوه آزادسازی مواد غذایی مرتبط است (Mandeel et al., 2005). افزایش بتاگلوکان در قارچ، منجر به افزایش قطر پایه کلاهک شد (کاوه و همکاران، ۱۳۹۶). هرچه تعداد قارچ در بستر کشت کم‌تر باشد، به‌طور آشکار میزان دریافت مواد غذایی و آب جذب شده بیش‌تر و رقابت کم‌تر می‌شود، لذا قطر کلاهک بزرگ‌تر می‌شود (Ratnoo & Doshi, 2012). هم‌چنین تأثیر هورمون‌های محرک رشد به‌ویژه ایندول استیک اسید بر تحریک رشد میسلیم (Guo et al., 2009)، قطر کلاهک (Alam et al., 2007) و پروتئین قارچ (Rupak et al., 2005) گزارش شد، این هورمون از طریق تحریک طولیل شدگی و تمایز سلولی باعث افزایش رشد قارچ می‌گردد.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش به منظور بررسی تأثیر خاک‌های پوششی مختلف روی خصوصیات کمی، کیفی و بررسی محتوای پلی‌ساکارید در اندام باردهی قارچ بلازئی صورت گرفت. خاک پوششی+ ورمی کمپوست برگشتی قارچ در صفات کیفی قارچ مانند درصد نیتروژن، پتاسیم و میزان آهن بهتر از صفات کمی نسبت به سایر خاک‌های پوششی عمل نموده است. علت این امر شاید pH پایین در میان خاک‌های پوششی بود که موجب بهبود کیفیت قارچ شده است. بنابراین اگر پرورش قارچ از نظر کیفی مدنظر باشد می‌توان توجه خاصی نسبت به این نوع خاک پوششی در مقایسه با سایر بسترها داشت. در فاکتورهای میزان وزن تر و خشک قارچ و تعداد قارچ استفاده از خاک پوششی به‌همراه کمپوست برگشتی قارچ، موجب حصول بهترین نتیجه نسبت به سایر خاک‌های پوششی شد. بیش‌ترین میزان قطر کلاهک در مقایسه با تیمار شاهد در تیمار کمپوست برگشتی قارچ به‌همراه ایندول استیک اسید به دست آمد. نظر به این‌که بتاگلوکان از ترکیبات بسیار ارزشمند قارچی است، در این مطالعه بیش‌ترین میزان بتاگلوکان، در تیمار سرخارگل مشاهده شد؛ در این راستا، استفاده از خاک پوششی سرخارگل توصیه می‌شود. بنابراین با توجه به نتایج حاصله و افزایش روزافزون تقاضا برای غذا و انواع قارچ‌ها، می‌توان نتیجه گرفت استفاده از پسماندهای آلی از جمله ورمی کمپوست برگشتی قارچ و یا ضایعات انواع گیاهان (از جمله گیاهان دارویی) با غلظت‌های مناسب به‌عنوان بستر کشت قارچ می‌تواند در کاهش هزینه تولید این محصول مؤثر بوده و راه‌کار مناسبی برای تأمین غذای سالم برای مردم جهان باشد.

۷. تشکر و قدردانی

از همسر بزرگواریم جناب آقای مهندس مجتبی معروفی برای مساعدت‌های همه جانبه ایشان در این پروژه، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- الفتی، جمالعلی و رسولی، فاتح (۱۳۹۵). کاربرد خاک پوششی با ورمی‌کمپوست شسته‌شده بر راندمان بیولوژیکی قارچ صدفی. *تحقیقات کشاورزی ایران*، ۳۵ (۱)، ۹۵-۹۹.
- جعفرپور، مهرداد؛ پورسعید، ناصر؛ جلالی‌زند، علیرضا؛ گل‌پرور، احمد رضا و بهداد، مریم (۱۳۸۷). بررسی اثر برخی از ضایعات صنایع تبدیلی کشاورزی و مکمل‌های غذایی بر پاره‌ای خصوصیات رشد قارچ خوراکی صدفی *Pleurotus florida*. *مجله پژوهش در علوم کشاورزی*، ۴ (۲)، ۱۸۸-۲۰۳.
- چراغی، مهرداد؛ مردوخ روحانی، ندا و لرستانی، بهاره (۱۳۹۱). بررسی میزان غلظت عناصر سنگین در کمپوست، خاک پوششی و قارچ‌های خوراکی دکمه‌ای گلخانه‌های استان کردستان. *بهداشت مواد غذایی*، ۲ (۴۸)، ۸۱-۹۶.
- حسینی، سید حسن؛ رفیعی‌الحسینی، محمد و برزگر، رحیم (۱۳۹۶). آثار جایگزینی ورمی‌کمپوست و پرلیت با پیت به‌عنوان خاک پوششی بر رشد و عملکرد قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*). *به‌زراعی کشاورزی*، ۱۹ (۴)، ۸۳۷-۸۵۲.
- خدابخشی، عباس؛ سدهی، مرتضی و شاکری، کبری (۱۳۹۵). تعیین برخی فلزات سنگین در قارچ‌های خوراکی در شهر شهرکرد. *مجله دانشگاه علوم پزشکی شهرکرد*، ۱۸ (۱)، ۵۴-۶۲.
- ذکایی، محمود؛ بازاریار، سحر و خانه‌باد، محمد (۱۳۸۹). تکنولوژی پیشرفته تولید خاک پوششی با استفاده از ورمی‌کمپوست برای پرورش قارچ خوراکی (*Agaricus bisporus* L.). *نشریه فیزیولوژی و تکوین جانوری (علوم زیستی)*، ۴ (۱۱۲)، ۱۹-۲۶.
- عبادی، علی؛ علیخانی، حسینعلی؛ یخچالی، باقر و آریانپور، حسام (۱۳۹۴). ارزیابی پسماندهای آلی مختلف برای کشت قارچ دکمه‌ای و تأثیر آن‌ها بر عملکرد و جذب عناصر غذایی. *نشریه مدیریت خاک و تولید پایدار*، ۵ (۱)، ۲۴۳-۲۵۲.
- کاوه، منا؛ پهلوانلو، ابوالفضل و سرابی‌جماب، محبوبه (۱۳۹۶). قارچ‌ها منابع باارزش بتاگلوکان‌های زیست‌فعال. *مجله ایمنی زیستی*، ۱۰ (۳)، ۴۵-۶۵.
- کیماسی، عباسعلی؛ رمضان، داریوش؛ آران، مهدی و باقری، رضا (۱۳۹۸). بررسی بهینه‌سازی ترکیب‌های مختلف محیط کشت بر برخی از ویژگی‌های کمی و کیفی قارچ صدفی طلایی (*Pleurotus citrinopileatus*). *نشریه پژوهش‌های تولید گیاهی*، ۲۶ (۲)، ۱۷۳-۱۹۳.
- لطفی، مجتبی؛ فارسی، محمد؛ میرشمسی‌کاخی، امین و جانپور، جواد (۱۳۹۷). بررسی تأثیر جدایه‌های باکتری *Pseudomonas putida* بر عملکرد قارچ خوراکی دکمه‌ای سفید (*Agaricus bisporus*). *نشریه علوم باغبانی (علوم و صنایع کشاورزی)*، ۳۲ (۲)، ۲۸۶-۲۷۳.
- ماکنالی، فرشته؛ کاشی، عبدالکریم و حکمتی، جمشید (۱۳۹۳). بررسی اثر بستر کشت و مکمل‌های غذایی روی ارزش غذایی قارچ صدفی فلوریدا. *مجله نوآوری در علوم و فناوری غذایی*، ۶ (۱)، ۹۱-۹۸.
- مانایی، آزاده؛ وزیران، مهدی و سعید نیا، سودابه (۱۳۹۳). فارماکولوژی، فیتوشیمی و روش‌های تجزیه و تحلیل سرخارگل (*Echinacea purpurea*). *بررسی‌های فارماکونوزی*، ۹ (۱۷)، ۶۳-۷۲.
- مزارعی، فرزاد؛ جوینده، حسین؛ حجتی، محمد و نوشاد، محمد (۱۳۹۵). بهینه‌سازی استخراج پلی‌ساکاریدهای برگ کبر

(*Capparis spinose* L.) و پتانسیل آنتی‌اکسیدانی، آنتی‌میکروبیالی فعال. نشریه جامع ماکرومولکول‌های بیولوژیکی، ۹۵، ۲۳۱-۲۲۴.

ملایی، فوزیه و بشارتی، حسین (۱۳۹۰). بررسی تأثیر باکتری‌های محرک رشد گیاه (PGPR) بر خواص کیفی و کمی قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*) در بسترهای مختلف حاصل از ضایعاتی صنعتی و کشاورزی. فصلنامه پژوهش‌های خاک (علوم خاک و آب)، ۲۵ (۴)، ۳۷۳-۳۸۴.

ولی‌زاده‌کاجی، بابک؛ عباسی‌فر، احمد رضا؛ احسنی‌ایروانی، مریم و حسین‌آباد، محمد (۱۳۹۸). بررسی تأثیر محلول‌پاشی عصاره ورمی‌کمپوست بر شاخص‌های رشد قارچ دکمه‌ای (*Agaricus bisporus*). فن‌آوری تولیدات گیاهی (پژوهش کشاورزی)، ۱۹ (۱)، ۲۹-۳۶.

References

- Alam, N., Amin, S. M., & Sarker, N. C. (2007). Efficacy of five different growth regulators on the yield and yield contributing attributes of *Pleurotus ostreatus* (Jacquin ex Fr.) Kummer. *Bangladesh Journal of Mushroom*, 1, 51-55.
- Beyer, D. M. (2003). *Basic procedures for Agaricus mushroom growing*. Chester: Pennsylvania State University, College of Agricultural Sciences, Cooperative Extension Publisher.
- Bostan, N., Sajid, M., Rabi, F., & Munir, M. (2014). Effects of Growing Media and Irrigation Interval on Flower Production of *Amaryllis* (*Amaryllis Belladonna*). *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 4(6), 38-44.
- Carneiro, A. A. J., Ferreira, I. C. F. R., Dueñas, M., Barros, L., Da Silva, R., & Gomes, E. (2013). Chemical composition and antioxidant activity of dried powder formulations of *Agaricus blazei* and *Lentinus edodes*. *Food Chemistry*, 138, 2168-2173. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.12.036>.
- Cheraghi, M., Lorestani, B., & Mardokh rohani, N. (2012). Evaluation of heavy metal concentration in compost, soil cover and button mushroom in Kurdistan greenhouses. *Food Hygiene*, 2(4 (8)), 81-96. (In Persian).
- Colauto, N. B., Da Eira, A. F., & Linde, G. A. (2012). Cryopreservation of *Agaricus blazei* in liquid nitrogen using DMSO as cryoprotectant. *Bioscience Journal*, 28, 1034-1037.
- Ebadi, A., Alikhani, H. A., Yakhchali, M. B., & Aryanfar, H. (2013). Evaluation of different organic wastes for cultivation for bottom mushroom and their effect on yield and nutrient intake. *Journal of Soil Management & Sustainable Production*, 5(1), 243-252. (In Persian).
- Friedmann Angeli, J. P. V., Ribeiro, L. R., Bellini, M. F., & Mantovani, M. S. (2009). β -Glucan extracted from the medicinal mushroom *Agaricus blazei* prevents the genotoxic effects of benzo[a]pyrene in the human hepatoma cell line HepG2. *Archives of Toxicology*, 83, 81-86. <https://doi.org/10.1007/s00204-008-0319-5>.
- Guo, X., Zou, X., & Sun, M. (2009). Effects of phytohormones on mycelial growth and exopolysaccharide biosynthesis of medicinal mushroom *Pellinus linteus*. *Bioprocess and Biosystems Engineering*, 32, 701-707. <https://doi.org/10.1007/s00449-009-0326-9>
- Hosseini S. H., Rafieiohossaini, M., & Barzegar, R. (2017). Effects of the replacing vermicompost and perlite instead of peat as casing soil on growth and yield of mushroom (*Agaricus bisporus*). *Journal of crops improvement (Journal of agriculture)*, 19(4), 837-852. <https://doi.org/10.22059/jci.2018.220952.1583>. (In Persian).
- Hussain, N., & Abbasi, S. A. (2018). Efficacy of the vermicomposts of different organic wastes as "clean" fertilizers: State-of-the-art. *Sustainability*, 10(4), 1205. <https://doi.org/10.3390/su10041205>.
- Jafarpour, M., Poursaeid, N., Jalali Zand, A., Golparvar, A. R., & Behdad, M. (2009). Effect of some of the wastes of agricultural conversion industries and food supplements on some of

- the specifications of the edible mushroom (*Pleurotus florida*). *Journal of Research in Agricultural Science*, 4(2), 188-203. (In Persian).
- Kalberer, P. P. (1990). Water relations of the mushroom culture (*Agaricus bisporus*): Influence on the crop yield and on dry matter content of the fruit bodies. *Mushroom Sciences*, 13, 269-274. [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(90\)90108-Q](https://doi.org/10.1016/0304-4238(90)90108-Q).
- Kalmis, E., & Sargin, S. (2004). Cultivation of two *Pleurotus* species on wheat straw substrate containing olive mill waste water. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 53, 43-47. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2003.08.002>.
- Kaveh, M., Pahlavanlu, A., & Sarabi Jamab, M. (2018). Fungies, valuable sources of bioactive β -glucans. *Journal of Biosafety*, 10(3), 45-65. (In Persian).
- Khan, A. L., Waqas, M., Kang, S. M., Al-Harrasi, A., Hussain, J., Al-Rawahi, A., Al-Khiziri, S., Ullah, I., Ali, L., Young Jung, H., & Lee, I. J. (2014). Bacterial endophyte *Sphingomonas* sp. LK11 produces gibberellins and IAA and promotes tomato plant growth. *Journal of Microbiology*, 52, 689-695. <https://doi.org/10.1007/s12275-014-4002-7>.
- Khodabakhshi, A., Sedehi, M., & Shakeri, K. (2016). Determination of heavy metals in edible mushrooms consumed in Shahrekord. *Journal of Shahrekord University of Medical Sciences*, 18(1), 54-62. (In Persian).
- Kimasi, A., Dariush, R., Aran, M., Bagheri, R., & Nasiri-Dehsorkhi, A. (2019). Investigating the effects of substrate and nutritional supplements on some vegetative and reproductive characteristics of salmon oyster mushroom (*Pleurotus djamor*). *Iranian Journal of Horticultural Science*, 50(3), 571-585. <https://doi.org/10.22059/ijhs.2018.254934.1430>. (In Persian).
- Kirbag, S., & Akyuz, M. (2009). Evaluation of agricultural wastes for the cultivation of *Pleurotus eryngii* (DC. ex Fr.) Quel. var. *ferulae* Lanzi. *African Journal of Biotechnology*, 7, 3660-3664. <https://doi.org/10.5897/AJB08.583>
- Lotfi M., Farsi M., Mirshamsi Kakhki A., & Janpoor J. (2018). Influence of pseudomonas putida isolates on the yield of edible white button mushroom *agaricusbisporus*. *Journal of horticulture science (Agricultural sciences and technology)*, 32(2), 272-286. <https://doi.org/10.22067/jhorts4.v32i2.62530>. (In Persian).
- Makenali, F., Kashi, A. K., & Hekmati, J. (2013). Investigating the effect of culture medium and nutritional supplements on nutritional value of Florida oyster mushroom. *Innovation magazine in food science and technology*, 6(1), 91-98. (In Persian).
- Manayi, A., Vazirian, M., & Saeidnia, S. (2015). *Echinacea purpurea*: Pharmacology, phytochemistry and analysis methods. *Pharmacognosy Reviews*, 9(17), 63-72. <https://doi.org/10.4103/0973-7847.156353>. (In Persian).
- Mandeel, Q., Al-Laith, A., & Mohamed, S. A. (2005). Cultivation of oyster mushrooms (*Pleurotus* spp.) on various lignocellulosic wastes. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 21, 601-607. <https://doi.org/10.1007/s11274-004-3494-4>.
- Marlina, L., Sukotjo, S., & Marsudi, S. (2015). Potential of oil palm empty fruit bunch (EFB) as media for oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus* cultivation. *Procedia Chemistry*, 16, 427-431. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2015.12.074>.
- Masamba, K. G., & Kazombo-Mwale, R. (2010). Determination and comparison of nutrient and mineral contents between cultivated and indigenous edible mushrooms in Central Malawi. *African Journal of Food Science and Technology*, 4, 176-179.
- Mazarei, F., Jooyandeh, H., Hojjati, M., & Noshad, M. (2017). Polysaccharide of caper (*Capparis spinose* L.) Leaf: Extraction, optimization, antioxidant potential and antimicrobial activity. *International Journal of Biological Macromolecules*, 95, 231-224. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2016.11.049>. (In Persian).
- Mironczuk-Chodakowska, I., & Witkowska, A. (2020). Evaluation of Polish wild mushrooms as beta-Glucan Sources. *International Journal of Environmental Research and Public*

- Olfati, J. A. & Rasouli, F. (2016). Casing with leached vermicompost improve oyster mushroom biological efficiency. *Iran Agricultural Research*, 35(1), 95-99. (In Persian).
- Park, J. M., Radhakrishnan, R., Kang, S. M., & Lee, I. J. (2015). IAA producing *Enterobacter* sp. I-3 as a potent bio-herbicide candidate for weed control: a special reference with lettuce growth inhibition. *Indian Journal of Microbiology*, 55, 207-212. <https://doi.org/10.1007/s12088-015-0515-y>.
- Patil, N. B., Gajbhiye, M., Ahiwale, S. S., Gunjal, A. B., & Kapadnis, B. P. (2011). Optimization of Indole-3-acetic acid (IAA) production by *Acetobacter diazotrophicus* L1 isolated from Sugarcane. *International Journal of Environmental Science*, 2, 295-302.
- Patil, S. S., Kadam, R. M., Shinde, S. L., & Deshmukh, S. A. (2008). Effect of different substrate on productivity and proximate composition of *P. florida*. *International Journal of Plant Sciences*, 3, 151-153. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162016005000008>.
- Rajkhowa, D. J., Sarma, A. K., Mahanta, K., Saikia, U. S., & Krishnappa, R. (2017). Effect of vermicompost on greengram productivity and soil health under hilly ecosystem of North East India. *Journal of Environmental Biology*, 38, 15-19. <https://doi.org/10.22438/jeb/38/1/MS-114>.
- Ratnoo, R., & Doshi, A. (2012). Evaluation of different casing materials and casing in *Agaricus bisporus* cultivation. *International Journal of Plant Protection*, 5, 136-140.
- Royse, D. J., Rhodes, T. W., Ohga, S., & Sanchez, J. E. (2004). Yield, mushroom size and time to production of *Pleurotus cornucopiae* (Oyster mushroom) grown on switch grass substrate spawned and supplemented at various rates. *Bioresource Technology*, 91(1), 85-91. [https://doi.org/10.1016/s0960-8524\(03\)00151-2](https://doi.org/10.1016/s0960-8524(03)00151-2).
- Rupak, M., Chatterjee, S., Chatterjee, P., & Guha, A. K. (2005). Enhancement of biomass production of edible mushroom *Pleurotus sajor-caju* grown in whey by plant growth hormones. *Process Biochemistry*, 40, 1241-1244. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2004.05.006>.
- Ryu, J., Kim, M. K., Im, C. H., & Shin, P. (2009). Development of cultivation media for extending the shelf life and improving yield of king oyster mushrooms (*Pleurotus eryngii*). *Scientia Horticulturae*, 193, 121-126. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.07.005>.
- Salmones, D., Mata, G., & Waliszewski, K. N. (2005). Comparative culturing of *Pleurotus* spp. on coffee pulp and wheat straw: biomass production and substrate biodegradation. *Bioresource Technology*, 96, 537-544. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.06.019>.
- Stajic, M., Persky, L., Hadar, Y., Friesem, D., Duletić-Laušević, S., Wasser, P., & Nevo, E. (2006). Effect of copper and manganese ions on activities of laccase and peroxidases in three *Pleurotus* species grown on agricultural wastes. *Biotechnology and Applied Biochemistry*, 128, 87-96. <https://doi.org/10.1385/abab.128.1.087>.
- Taofiq, O., Rodrigues, F., Barros, L., Peralta, R. M., Barreiro, M. F., Isabel, C. F., Ferreira, R., Beatriz, M., & Oliveira, P. P. (2019). *Agaricus blazei* Murrill from Brazil: an ingredient for nutraceutical and cosmeceutical applications. *Food & Function*, 10, 565-572. <https://doi.org/10.1039/C8FO02461H>.
- Val, CH., Brant, F., & Miranda, A. S. (2015). Effect of mushroom *Agaricus blazei* on immune response and development of experimental cerebral malaria. *Malaria Journal*, 14, 311. <https://doi.org/10.1186/s12936-015-0832-y>.
- Valizade Kaji, B., Abbasifar, A., Ahsani-Irvani, M., & Hossein Abad, M. (2018). Investigating the effect of foliar spraying of vermicompost extract on growth indicators of button mushroom (*Agaricus bisporus*). *Plant Production Technology*, 19(1), 36-29. <https://sid.ir/paper/405727>. (In Persian).
- Vieyra, F. E., Palazzi, V. I., Pinto, M. S., & Borsarelli, C. D. (2009). Combined UV-Vis absorbance and fluorescence properties of extracted humic substances-like for characterization of composting evolution of domestic solid wastes. *Geoderma*, 151, 61-67. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2009.03.006>.

- Wang, H. T., Yang, L. C., Yu, H. C., Chen, M. L., Wang, H. J., & Lu, T. J. (2018). Characteristics of fucose-containing polysaccharides from submerged fermentation of *Agaricus blazei* murill. *Journal of Food and Drug Analysis*, 26, 678-687. <https://doi.org/10.1016/j.jfda.2017.07.006>.
- Wange, Q., Li, B. B., Li, H., & Han, J. R. (2010). Yield, dry matter and polysaccharides content of the mushroom *Agaricus blazei* produced on asparagus straw substrate. *Scientia Horticulturae*, 125, 16-18. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.02.022>.
- Yadav, A., & Garg, V. K. (2019). Biotransformation of bakery industry sludge into valuable product using vermicomposting. *Bioresource Technology*, 274, 512-517. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.023>.
- Zakaei, M., Bazyar, S., & Khanehbad, M. (2011). Post technology casing soil with use of the vermicompost in mushroom (*Agaricus bisporus* (L.) Sing) cultivation. *Journal of Biology Science*, 4(1(12)), 19-26. (In Persian).
- Zhang, H., Li, J., Zhang, Y., & Huang, K. (2020). Quality of vermicompost and microbial community diversity affected by the contrasting temperature during vermicomposting of dewatered sludge. *International Journal of Environmental Research, Public Health*, 17, 1748. <https://doi.org/10.3390/ijerph17051748>.
- Zhang, R., Li, X., & Fadel, J. G. (2002). Oyster mushroom cultivation with rice and wheat straw. *Bioresource Technology*, 82(3), 277-284. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(01\)00188-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(01)00188-2).



Evaluation of the practical methods of complementary pollination on quality of kiwifruit cv. Hayward

Mohammad Ali Shiri¹ | Malek Ghasemi²

1. Corresponding Author, Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Horticulture Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ramsar, Iran. E-mail: ma.shiri@areeo.ac.ir
2. Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Horticulture Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Ramsar, Iran. E-mail: malek_ghasemi@areeo.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received December 12, 2022
Received in revised form
20 May 2023
Accepted 31 May 2023
Published online
20 September 2023

Keywords:

Phytochemical compounds
Chlorophyll
Impure pollen
Total phenol
Vitamin C

ABSTRACT

Objective: The objective of this study is to evaluate the effect of different methods of complementary pollination on the qualitative characteristics of kiwifruit cv. Hayward in order to introduce the most effective and practical complementary pollination method.

Methods: The present study evaluated the effect of different methods of complementary pollination [open pollination, hand pollination from male flowers of the tumor cultivar, spray pollination with pure pollen and spray pollination with impure pollen (collected from the entrance of bees' nests at the time of opening kiwifruit male flowers) on the qualitative characteristics of kiwifruit cv. Hayward in the Citrus and Subtropical Fruits Research Institute (Ramsar city) in 2021 based on the randomized complete block design in three replications.

Results: The results showed that the amount of titratable acids, maturity index, chlorophyll b, carotenoid, total flavonoid and antioxidant activity were not affected by different methods of complementary pollination. Fruits obtained from spray pollination with impure pollen had the highest single tree yield (98.32 kg per tree), hectare yield (40.39 tons per hectare), number of seeds (1038), amount of soluble solids (7.07 °Brix), chlorophyll a (1.71 mg100 g⁻¹ FW), total chlorophyll (3.11 mg100 g⁻¹ FW), vitamin C (60.27 mg100 g⁻¹ FW), and total fruit phenol (79.62 mg100 g⁻¹ FW). Moreover, these fruits were in more favorable conditions regarding sensory and taste evaluations.

Conclusion: Overall, it is possible to recommend complementary pollination according to spray pollination with impure pollen as the most effective and practical method to increase fruit quality for kiwifruit growers.

Cite this article: Shiri, M. A., & Ghasemi, M. (2023). Evaluation of the practical methods of complementary pollination on quality of kiwifruit cv. Hayward. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 807-823.

DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.352398.2770>



ارزیابی روش‌های کاربردی گرده‌افشانی تکمیلی بر کیفیت میوه کیوی رقم هایوارد

محمدعلی شیرینی^۱ | مالک قاسمی^۲

۱. نویسنده مسئول، پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر، ایران. رایانامه: ma.shiri@areeo.ac.ir
۲. پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رامسر، ایران. رایانامه: malek_ghasemi@areeo.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۹/۲۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۲/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۰

تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹

هدف: هدف از بررسی حاضر ارزیابی تأثیر روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی بر ویژگی‌های کیفی میوه کیوی رقم هایوارد به‌منظور معرفی مؤثرترین و کاربردی‌ترین روش گرده‌افشانی تکمیلی می‌باشد. **روش پژوهش:** در بررسی حاضر تأثیر روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی [گرده‌افشانی آزاد، گرده‌افشانی دستی از گل‌های نر رقم توموری، گرده‌افشانی به‌صورت محلول‌پاشی با گرده خالص و گرده‌افشانی به‌صورت محلول‌پاشی با گرده ناخالص (جمع‌آوری شده از ورودی لانه زنبورهای عسل در زمان باز شدن گل‌های پایه نر کیوی)] بر ویژگی‌های کیفی میوه کیوی رقم هایوارد در سال ۱۴۰۰ در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری کشور (شهر رامسر) در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار مورد ارزیابی قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که میزان اسیدهای قابل تیتراسیون، شاخص بلوغ، کلروفیل b، کاروتنوئید، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی تحت تأثیر روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی قرار نگرفتند. میوه‌های حاصل از گرده‌افشانی به روش محلول‌پاشی با گرده ناخالص بالاترین عملکرد تک‌درخت (۹۸/۳۲ کیلوگرم در هر درخت)، عملکرد هکتاری (۴۰/۳۹ تن در هکتار)، تعداد بذر (۱۰۳۸)، میزان املاح جامد محلول (۷/۰۷ درجه بریکس)، کلروفیل a (۱/۷۱ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر)، کلروفیل کل (۳/۱۱ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر)، ویتامین ث (۶۰/۲۷ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) و فنل کل میوه (۷۹/۶۲ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) را تولید کردند. هم‌چنین، این میوه‌ها از لحاظ ارزیابی‌های حسی و چشایی در شرایط مطلوب‌تری قرار داشتند.

نتیجه‌گیری: در نهایت، می‌توان گرده‌افشانی تکمیلی به‌صورت محلول‌پاشی با گرده ناخالص را به‌عنوان مؤثرترین و کاربردی‌ترین روش به‌منظور افزایش کیفیت میوه به باغداران کیوی توصیه نمود.

کلیدواژه‌ها:

ترکیبات فیتوشیمیایی

فنل کل

کلروفیل

گرده ناخالص

ویتامین ث

استناد: شیرینی، محمدعلی؛ و قاسمی مالک (۱۴۰۲). ارزیابی روش‌های کاربردی گرده‌افشانی تکمیلی بر کیفیت میوه کیوی رقم هایوارد. به‌زرعی کشاورزی، ۲۵ (۳)، ۸۰۷-۸۲۳. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.352398.2770>



۱. مقدمه

کیوی به‌عنوان یک محصول تازه تجاری‌شده، در مقایسه با سایر محصولات کشاورزی که در شرایط آب‌وهوایی مشابه آن در کشور کشت می‌شوند، بازده اقتصادی بالایی دارد. هم‌چنین، این میوه در ایران نسبت به سایر کشورهای تولیدکننده آن از کیفیت بهتری برخوردار است. پیشینه سودآوری و ارزآوری مناسب به‌همراه ارزش غذایی بالای این میوه سبب شده تا سطح زیرکشت آن در کشور رشد چشم‌گیری داشته باشد. هم‌چنین، میوه کیوی از جمله محصولات با ارزش غذایی بالاست که دارای مقادیر زیادی ویتامین ث، رنگ‌دانه‌ها، اسیدهای آلی، ترکیبات فیتوشیمیایی مانند ترکیبات فنلی و فلاونوئیدی بوده و بنابراین دارای فعالیت آنتی‌اکسیدانی زیادی می‌باشد. همین امر باعث افزایش چشم‌گیر مصرف آن در سال‌های اخیر شده است (عدولی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Shiri *et al.*, 2016b). براساس آخرین آمار منتشرشده توسط سازمان خواروبار جهانی (FAO) در سال ۲۰۲۰، سطح زیر کشت کیوی در جهان ۲۷۰۴۵۷ هکتار با تولید سالانه ۲۸۹۶۰۸ تن و عملکرد ۱۶۲۹۶ تن در هکتار می‌باشد. هم‌چنین، براساس این آمار، کشور ایران با تولید سالانه ۲۸۹۶۰۸ تن در مقام پنجم دنیا قرار دارد (FAO, 2022).

کیوی گیاهی دو پایه است که گل‌های نر و ماده آن روی دو گیاه مختلف تولید می‌شود. علاوه بر این، گل‌های نر و ماده کیوی شهدی تولید نمی‌کند و برای زنبورعسل خیلی جذاب نیست. بنابراین، وجود پایه‌های نر و ماده تاک که گلدهی هم‌زمانی داشته باشند به‌منظور به‌دست‌آوردن حداکثر محصول مرغوب و بازارپسند در یک تاکستان، ضروری می‌باشد. گرده‌های گل‌های نر تنها حدود دو تا سه روز پس از شکوفایی گل‌ها زنده بوده و قابلیت بارور کردن تخمک‌ها را دارند و گل‌های ماده هم به‌مدت هفت تا نه روز بعد از شکوفایی گل پذیرای گرده‌ها هستند. از عوامل مهم دیگری در گرده‌افشانی موثر کیوی نقش دارند می‌توان به نسبت پایه‌های نر به ماده و نیز موقعیت آن‌ها در بین تاک‌های ماده باغات اشاره نمود (عدولی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Huang, 2016).

برای گرده‌افشانی مناسب یک هکتار باغ کیوی هشت تا ۱۲ عدد کندو زنبورعسل لازم است. اگر تعداد کندوها کم‌تر از این باشد، مشکل در گرده‌افشانی به‌وجود می‌آید. متأسفانه مشخص شده است که زنبورهای عسل به مقدار زیادی در تمامی نقاط جهان در حال ازبین‌رفتن هستند. این پدیده به نام سندرم یا ازبین‌رفتن کلنی‌های زنبورعسل معروف شده است. این مسئله به گرده‌افشانی ضعیف در درختان میوه، به‌ویژه در کیوی می‌انجامد. مشخص شده است که هر گل کیوی برای گرده‌افشانی کامل نیاز به بازدید ۴۰ زنبورعسل دارد و تقریباً ۱۳۰۰۰ دانه گرده برای هر گل به‌منظور تولید میوه بازارپسند کیوی نیاز است. بنابراین، اگر زنبورعسل به هر دلیلی به اندازه کافی وجود نداشته باشد (برای مثال، ازبین‌رفتن کلنی زنبورعسل)، نبود تعداد کافی کلنی عسل در باغ کیوی یا وجود بارندگی در زمان بازشدن گل‌ها می‌تواند از گرده‌افشانی تکمیلی استفاده کرد. بنابراین، گرده‌افشانی تکمیلی روش مناسبی در پاسخ به این مشکلات و بالا بردن کیفیت میوه است (Tacconi *et al.*, 2016; Gianni & Vania, 2018; Broussard *et al.*, 2021).

دانه گرده خشک و سوسپانسیون دانه گرده (دانه گرده تر)، دو روش مهم در بحث گرده‌افشانی تکمیلی می‌باشند. گرده‌افشانی به‌صورت خشک به عملکرد زنبورهای عسل کمک بسیاری می‌کند، به‌گونه‌ای که برای گرده‌افشانی گل‌های ماده نیاز به بازدید از گل‌های نر نیست، چرا که وجود دانه گرده روی گل‌های ماده باعث تحریک زنبورها و افزایش فعالیت آن‌ها می‌شود. علاوه بر این، گرده به‌طور مستقیم روی سطح کلاله قرار می‌گیرد. از طرف دیگر، زمانی که زنبورعسل فعال و یا گل نر کافی در باغ وجود نداشته باشد یا زمانی که سرما و رطوبت زیاد از جمله بارندگی فعالیت زنبورعسل را در دوره گرده‌افشانی محدود می‌کند، استفاده از روش گرده‌افشانی تر یا سوسپانسیون دانه گرده، امکان انتقال مستقیم گرده به کلاله را فراهم کرده و بسیار مفید است. در عین حال، می‌توان در این روش از مایع رقیق‌کننده و انواع

مختلف مواد مغذی کمکی دانه گرده، زنده‌مانی دانه گرده را افزایش داد و کارایی آن را افزایش داد. گرده‌افشانی تکمیلی باعث اطمینان باغدار از گرده‌افشانی کامل گل‌ها و افزایش عملکرد می‌شود. از مزایای دیگر گرده‌افشانی تکمیلی این است که می‌توان از بهترین نوع گرده استفاده کرد و کمیت و کیفیت میوه کیوی را بهبود بخشید (جهان‌پناه و همکاران، ۱۳۹۶؛ Gianni & Vania, 2018; Abbate *et al.*, 2021).

با توجه به وقوع بارندگی و رطوبت زیاد در زمان گرده‌افشانی، تعداد کم کلنی‌های زنبورعسل و حشرات گرده‌افشان دیگر، هم‌چنین رقابت بین گل‌های درختان مرکبات با کیوی به دلیل هم‌زمانی گلدهی در جلب زنبورعسل، در سال‌های اخیر در شمال ایران گرده‌افشانی گل‌های کیوی به‌خوبی صورت نمی‌گیرد. در نتیجه، نیاز به گرده‌افشانی مصنوعی تکمیلی وجود دارد (جهان‌پناه و همکاران، ۱۳۹۶؛ عابدی قشلاقی و همکاران، ۱۳۹۷). در این پژوهش تأثیر روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی بر برخی ویژگی‌های کیفی میوه کیوی رقم هایوارد مورد ارزیابی قرار گرفته تا یک روش کاربردی برای افزایش عملکرد میوه جهت استفاده باغداران توصیه گردد.

۲. پیشنهاد پژوهش

جهان‌پور و همکاران (۱۳۹۶) تأثیر گرده‌افشانی تکمیلی با سوسپانسیون گرده و دانه گرده خشک بر برخی ویژگی‌های میوه کیوی رقم هایوارد نشان دادند که گرده‌افشانی تکمیلی، به‌ویژه با دانه گرده خشک در مرحله ۶۰ درصد باز شدن کامل گل‌های کیوی رقم هایوارد توانست باعث بهبود گرده‌افشانی و لقاح تخمک‌ها شود. چنین میوه‌هایی تعداد بذر بیش‌تری داشتند، در نتیجه، از سینک قوی‌تری برای تجمع مواد حاصل از فتوسنتز و مواد معدنی به‌ویژه عنصر کلسیم برخوردار شدند.

در مطالعه دیگری، راجی امیرحسینی (۱۳۹۵) اثر گرده‌افشانی مصنوعی به دو صورت تکمیلی در ۶۵ و ۹۵ درصد باز شدن کامل گل‌ها و کنترل‌شده بر ویژگی‌های کمی و کیفی میوه کیوی فروت رقم هایوارد را مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها بیان نمودند که در مجموع، گرده‌افشانی مصنوعی گل‌های کیوی فروت با نوع و نسبت مناسب از ماده نگهدارنده دانه گرده توانست میوه‌های بازارپسند تولید کند و پتانسیل جایگزین شدن با گرده‌افشانی طبیعی را دارد.

در پژوهش صورت گرفته توسط Abbate *et al.* (2021) مشخص شد که در دو رقم کیوی فروت طلایی AU Golden و Sunshine و AU Gulf Coast Gold استفاده از گرده‌افشانی مصنوعی بیش‌ترین درصد میوه‌ها و میوه‌های قابل فروش را به همراه داشت. هم‌چنین، گرده‌افشانی مصنوعی منجر به میوه‌هایی شد که از نظر وزن، اندازه و دانه‌های بیش‌تری نسبت به میوه‌های گرده‌افشانی‌شده با حشرات و باد داشتند. در نهایت، این پژوهش‌گران نتیجه گرفتند که برای به حداکثر رساندن محصول و بهینه‌سازی کیفیت میوه، تولیدکنندگان کیوی فروت باید در مقایسه با گرده‌افشانی با باد و حشرات تلاش بیش‌تری برای گرده‌افشانی مصنوعی انجام دهند.

۳. روش‌شناسی پژوهش

۳.۱. مکان آزمایش

پژوهش حاضر روی درختان ۱۵ ساله کیوی رقم 'هایوارد' (*Actinidia deliciosa* cultivar 'Hayward') در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار (هر تکرار شامل سه درخت) در سال ۱۴۰۰ در پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری اجرا شد. این پژوهشکده در دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز در شهر رامسر در عرض جغرافیایی ۵۰/۶۵ درجه شرقی و طول جغرافیایی ۳۶/۹۰ درجه شمالی واقع شده است. شهرستان رامسر دارای آب‌وهوای نیمه‌گرمسیری

بوده، رطوبت نسبی آن بین ۵۵ تا ۱۰۰ درصد در نوسان می‌باشد. میزان بارندگی آن ۱۲۰۰ میلی‌متر در سال است. نسبت درختان ماده به نر (هایوارد به توموری) کیوی هشت به یک و فاصله درختان چهار× شش متر به صورت داریستی از نوع تی بار^۱ تربیت شده‌اند. مدیریت تغذیه با توجه به نیاز کودی درختان و براساس توصیه‌های کودی صورت گرفته است (Sale *et al.*, 1990). کنترل علف‌های هرز باغ به صورت مکانیکی طی چندین مرحله به صورت فیزیکی توسط دستگاه علف‌زن موتوری انجام شد. آبیاری به صورت قطره‌ای تحت فشار، از اواسط اردیبهشت‌ماه تا اواسط مهرماه براساس نیاز آبی گیاهان انجام گرفت.

۲.۳. اجرای آزمایش

گل‌های نر از رقم توموری در اواخر اردیبهشت‌ماه، قبل از باز شدن بساک، یعنی یک روز قبل از باز شدن گل‌ها جمع‌آوری و در پاکت‌های کاغذی ریخته و بلافاصله به آزمایشگاه منتقل شد. پس از آن، گل‌ها به آرامی روی غربال کشیده شده تا پرچم‌ها جدا شوند. آنگاه به مدت ۲۴ ساعت در دسی‌کاتور با دمای ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفته شد تا خشک و دانه‌های گرده از آن جدا شود (Borghazan *et al.*, 2011). لازم به ذکر است که آزمون زنده‌بودن دانه‌های گرده با استفاده از محیط کشت برویگر (Holman & Brubaker, 1926) و با سه تکرار انجام شد و مشخص گردید میزان زیوایی دانه‌های گرده در این مرحله ۷۳/۸۵ درصد بود که منطبق با سایر منابع علمی می‌باشد (عابدی قشلاقی و همکاران، ۱۳۹۸).

درختان شاهد به صورت طبیعی و توسط زنبورعسل و باد گرده‌افشانی شدند (گرده‌افشانی آزاد). در روش گرده‌افشانی دستی، گرده‌های جمع‌آوری شده با استفاده از قلموی مخصوص به صورت دستی روی کلاله گل‌های ماده منتقل شد. برای گرده‌افشانی به روش محلول‌پاشی با گرده خالص، از گرده‌های تهیه شده، محلول سوسپانسیونی تهیه کرده و با سم‌پاش دستی روی گل‌های ماده محلول‌پاشی انجام شد. اما به منظور اجرای روش گرده‌افشانی به صورت محلول‌پاشی با گرده محلول ناخالص، گرده‌ها در زمان باز شدن گل‌های نر کیوی، شانه‌ای در جلوی در ورودی کندی زنبورعسل قرار داده (شکل ۱) پس از تهیه سوسپانسیون، با استفاده از سم‌پاش دستی روی گل‌های ماده محلول‌پاشی صورت گرفت. زمانی که میزان مواد جامد محلول میوه به ۶/۲ درصد رسید (Shiri *et al.*, 2016a)، میوه‌ها برداشت شده و ارزیابی‌های اولیه روی میوه صورت گرفت. برای اندازه‌گیری صفات میوه، از هر واحد آزمایشی ۲۰ عدد میوه، در مجموع ۶۰ عدد میوه از هر تیمار برداشت و مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل ۱. جمع‌آوری گرده گل‌های نر کیوی از جلوی کندی زنبورعسل با استفاده از شانه مخصوص

۳.۳. صفات اندازه‌گیری شده

عملکرد تک‌درخت و عملکرد هکتاری: در زمان برداشت محصول، عملکرد تک‌درخت و عملکرد هکتاری مورد اندازه‌گیری و ارزیابی قرار گرفت.

تعداد بذر: در هر یک از واحدهای آزمایشی بذرها به دقت جدا شده و مورد شمارش قرار گرفتند.

املاح جامد محلول: میزان املاح جامد محلول میوه‌ها به‌وسیله دستگاه رفرکتومتر دیجیتالی (مدل Atago-ATC-20 E، ژاپن) در دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد (Shiri et al., 2011).

اسیدهای قابل تیتراسیون: برای اندازه‌گیری اسیدهای قابل تیتراسیون، پنج میلی‌لیتر از عصاره میوه با ۲۵ میلی‌لیتر آب مقطر و ۲ قطره فنل‌فتالین به‌عنوان شناساگر مخلوط کرده، سپس با استفاده از هیدروکسید سدیم ۰/۱ نرمال تا ظهور رنگ صورتی توسط بورت دیجیتالی (مدل BRAND، آلمان) تیتر شد. سود مصرفی برای محاسبه اسیدیته قابل تیتر برحسب اسید غالب (سیتریک‌اسید) بیان شد (Shiri et al., 2016a).

شاخص بلوغ: بعد از اندازه‌گیری املاح جامد محلول و اسیدهای قابل تیتراسیون، شاخص بلوغ از طریق تقسیم میزان املاح جامد محلول بر اسیدهای قابل تیتراسیون محاسبه شد.

کلروفیل و کاروتنوئید کل: برای تعیین میزان کلروفیل‌ها و کاروتنوئید کل میوه‌ها از روش Wellburn (1994) استفاده گردید. بدین منظور ۰/۴ گرم از بافت میوه با کمک نیتروژن مایع در داخل هاون چینی آسیاب گردید و به آن ۱۰ میلی‌لیتر استون ۸۰ درصد اضافه شد. محلول حاصل با کاغذ صافی واتمن شماره ۴، صاف گردید و حجم نهایی محلول صاف‌شده به ۲۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. جذب محلول در طول موج‌های ۶۴۶/۲، ۶۶۳/۲ و ۴۷۰ نانومتر با اسپکتروفوتومتر (مدل UV-1800 Shimadzu، ژاپن) اندازه‌گیری گردید. مقدار کلروفیل a، b و کل و هم‌چنین کاروتنوئید کل برحسب میلی‌گرم در ۱۰۰ گرم بافت تر بیان شد.

ویتامین ث: برای اندازه‌گیری میزان ویتامین ث میوه‌ها از روش تیتراسیون با ۲ و ۶- دی کلروفنول ایندوفنول (DCIP) استفاده شد (Shiri et al., 2016b). برای این منظور ۱۵ میلی‌لیتر متاسفریک‌اسید سه درصد به دو گرم از بافت میوه اضافه شده و سپس عصاره صاف‌شده به‌وسیله کاغذ صافی با متاسفریک‌اسید سه درصد به حجم ۱۵ میلی‌لیتر رسانده شده و به‌وسیله ۲ و ۶- دی کلروفنول ایندوفنول دارای بیکربنات سدیم تا ظهور رنگ صورتی کم‌رنگ (۱۵ ثانیه ثابت بماند) تیتر گردید. حجم DCIP مصرفی در تیتراسیون برای محاسبه میزان ویتامین ث استفاده شد.

۴.۳. اندازه‌گیری صفات فیتوشیمیایی

۴.۳.۱. استخراج ترکیبات

به پنج گرم از بافت گوشت میوه آسیاب‌شده با کمک هاون چینی در حضور نیتروژن مایع ۲۰ میلی‌لیتر محلول اتانول:استون (۷:۳ v/v) اضافه شد. پس از هم‌وزنیزه کردن به مدت یک ساعت در دمای اتاق قرار داده شد و سپس با کمک کاغذ صافی واتمن شماره ۴ صاف شد. میزان فنل کل، فلاونوئید کل و ظرفیت آنتی‌اکسیدانی کل از محلول استخراج‌شده حاصل تعیین شد (Du et al., 2009).

۴.۳.۲. فنل کل

میزان فنل کل مطابق روش فولین سیکالچو^۱ با استفاده از دستگاه اسپکتروفوتومتر (مدل Shimadzu, UV-1800، ژاپن)

۱. Folin-Ciocalteu

اندازه‌گیری شد (Singleton *et al.*, 1999). برای این منظور ۲۰۰ میکرولیتر محلول استخراج‌شده میوه را با آب مقطر به حجم ابتدا پنج میلی‌لیتر رسانیده شد و به آن ۵۰۰ میکرولیتر فولین (۱:۱ با آب) اضافه شد، پس از یک دقیقه ۱۵۰۰ میکرولیتر کربنات سدیم (۲۰ گرم در ۱۰۰ میلی‌لیتر) افزوده شد. پس از دو ساعت نگهداری در دمای اتاق و شرایط تاریکی میزان جذب عصاره در طول موج ۷۶۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر مدل قرائت شد. در نهایت میزان فنل کل از روی میزان جذب نمونه و نمونه‌های استاندارد برحسب میلی‌گرم گالیک اسید در ۱۰۰ گرم بافت تر محاسبه گردید.

۳.۴.۳. فلاونوئید کل

اندازه‌گیری فلاونوئید کل براساس روش Du *et al.* (2009) انجام شد. ابتدا ۱۵۰ میکرولیتر عصاره استخراج شده را به ترتیب به ۱۷۰۰ میکرولیتر اتانول ۳۰ درصد، ۷۵ میکرولیتر نیتريت سدیم (NaNO₂) ۰/۵ مولار و ۷۵ میکرولیتر کلرید آلومینیوم (AlCl₃) ۰/۳ مولار مخلوط گردید. پس از ۵ دقیقه، ۵۰۰ میکرولیتر محلول هیدروکسید سدیم (NaOH) یک مولار در لیتر اضافه شد و ورتکس گردید، پس از ۱۵-۱۰ دقیقه میزان جذب توسط دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل Shimadzu, UV-1800، ژاپن) در طول موج ۵۰۶ نانومتر قرائت گردید. غلظت فلاونوئید کل برحسب استاندارد کاتچین (۳۰۰-۶/۲۵ میلی‌گرم بر لیتر) محاسبه گردید.

۳.۴.۴. فعالیت آنتی‌اکسیدانی

فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها از طریق خاصیت خنثی‌کنندگی رادیکال آزاد ۲ و ۲ دی‌فنیل ۱- پیکریل هیدرازیل (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl - DPPH) مطابق روش Du *et al.* (2009) با اندکی تغییر اندازه‌گیری شد. برای این منظور ۲۰۰ میکرولیتر از عصاره استخراج‌شده را در داخل لوله‌های فالكون کوچک ریخته شد و به آن ۱۸۰۰ میکرولیتر محلول (M ۱۰^{-۵} × ۶/۲۵) DPPH اضافه گردید. محلول حاصل به سرعت به هم زده شد و سپس به مدت ۳۰ دقیقه در دمای اتاق در شرایط تاریکی نگهداری گردید. میزان جذب استاندارد و نمونه با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل UV-1800 Shimadzu، ژاپن) در طول موج ۵۱۵ نانومتر قرائت گردید. در نهایت فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ها به صورت درصد بازدارندگی DPPH محاسبه گردید.

۳.۴.۵. ارزیابی‌های حسی

ارزیابی‌های حسی میوه در زمان برداشت توسط گروه تست پنل پژوهش‌شکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مطابق روش پیشنهاد شده (Fernández-Sestelo *et al.* (2013) و Shiri *et al.* (2014) صورت گرفت. بر این اساس، دوام پوست میوه کیوی براساس نمره‌دهی (از یک تا ۱۰) که عدد ۱۰ به سفت‌ترین و عدد یک به نرم‌ترین حالت اختصاص یافت ارزیابی شد. طعم و مزه به صورت تست چشایی توسط پنج فرد به فاصله زمانی حداقل ۱۵ دقیقه از هر کدام از تیمارها و براساس نمره‌دهی (از یک تا ۱۰) که عدد ۱۰ برای طعم و مزه عالی و عدد یک برای میوه‌هایی با طعم و مزه غیرقابل قبول اختصاص یافت، مورد ارزیابی قرار گرفت. شیرینی میوه کیوی براساس نمره‌دهی (از یک تا ۱۰) که عدد ۱۰ به میوه‌های با بالاترین شیرینی و عدد یک به میوه‌های با کم‌ترین شیرینی اختصاص یافت، ارزیابی شد. میزان آبداربودن میوه از طریق ارزیابی ظاهری و براساس نمره‌دهی در مقیاس یک تا ۱۰ که عدد ۱۰ برای میوه‌های کاملاً آبدار و عدد یک برای میوه‌هایی با کم‌ترین میزان آبداربودن اختصاص یافت، مورد ارزیابی قرار گرفت. کیفیت ظاهری میوه کیوی براساس نمره‌دهی (از یک تا ۱۰) که عدد ۱۰ به میوه‌های با کیفیت عالی و بدون نقص و عدد یک به میوه با کیفیت

پایین و دارای نقص اختصاص یافت، ارزیابی شد. ارزیابی بازارپسندی میوه کیوی براساس نمره‌دهی (از یک تا ۱۰) که عدد ۱۰ به میوه‌های با بازارپسندی عالی و عدد یک به میوه‌های با کم‌ترین بازارپسندی اختصاص یافت، انجام گرفت. در پایان داده‌های مربوط به صفات حسی میوه فقط به‌صورت گزارشی ارائه شد.

۵.۳. آنالیز آماری

آنالیز آماری با نرم‌افزار SAS (Version 9.1 2002–2003, SAS Institute, Cary, NC) و مقایسه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمون چنددامنه‌ای دانکن^۱ انجام شد. همچنین، در شکل‌ها برای میانگین‌ها خطای استاندارد میانگین^۲ محاسبه گردید.

۴. یافته‌های پژوهش

۴.۱. اثر تیمارها بر صفات مورفولوژیکی

۴.۱.۱. عملکرد تک‌درخت

براساس نتایج، عملکرد تک‌درخت کیوی به‌طور معنی‌دار و در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر گرده‌افشانی تکمیلی قرار گرفت (جدول ۱). مقایسات میانگین نشان داد که درختان گرده‌افشانی‌شده به‌روش محلول‌پاشی با گرده ناخالص با ۹۸/۳۲ کیلوگرم در هر درخت بالاترین عملکرد تک‌درخت را به خود اختصاص دادند و در ادامه درختان گرده‌افشانی‌شده به‌روش محلول‌پاشی با گرده خالص (۹۱/۲۸ کیلوگرم در هر درخت) قرار داشتند (جدول ۲). درختان گرده‌افشانی‌شده به‌صورت دستی و آزاد نیز به‌ترتیب با ۸۵/۴۷ و ۸۱/۹۳ کیلوگرم در هر درخت در رتبه‌های بعدی قرار داشتند که البته از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند.

جدول ۱. تجزیه واریانس اثر روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی میوه کیوی رقم هایوارد در زمان برداشت

تعداد بذر	میانگین مربعات		درجه آزادی	منبع تغییرات
	عملکرد هکتاری	عملکرد تک‌درخت		
۱۲۶۱ ^{ns}	۱/۷۲ ^{ns}	۶/۷۲ ^{ns}	۲	بلوک
۱۸۶۷۱ ^{**}	۹۵/۴۴ ^{**}	۱۳۰/۶۸ ^{**}	۳	گرده‌افشانی
۲۹۴	۱۰/۳۷	۱۴/۰۹ ^{ns}	۶	خطای آزمایشی
۱۳/۸۱	۱۱/۶۹	۱۴/۰۷	-	ضریب تغییرات (درصد)

** و ns: به‌ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و عدم اختلاف معنی‌داری می‌باشد.

۴.۱.۲. عملکرد هکتاری

تجزیه واریانس داده‌ها حاکی از آن بود که گرده‌افشانی تکمیلی توانست در سطح احتمال یک درصد بر میزان عملکرد هکتاری درختان کیوی رقم هایوارد تأثیرگذار باشد (جدول ۱). بیش‌ترین و کم‌ترین عملکرد هکتاری به‌ترتیب با ۴۰/۳۹ و ۳۱/۸۲ تن در هکتار مربوط به درختان گرده‌افشانی‌شده به‌روش محلول‌پاشی با گرده ناخالص و درختان گرده‌افشانی‌شده به‌صورت آزاد بود (جدول ۲).

۱. Duncan's multiple-range test

۲. Standard Error of Mean

جدول ۲. مقایسات میانگین اثر روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی بر برخی ویژگی‌های مورفولوژیکی میوه کیوی رقم هایوارد در زمان برداشت

تیمارها	عملکرد تک‌درخت (کیلوگرم در هر درخت)	عملکرد هکتاری (کیلوگرم در هر درخت)	تعداد بذر
گرده‌افشانی آزاد	۸۱/۹۳ c*	۳۱/۸۲ c	۸۶۳ c
گرده‌افشانی دستی	۸۵/۴۷ c	۳۴/۶۱ bc	۹۰۳ c
محلول‌پاشی با گرده خالص	۹۱/۲۸ b	۳۷/۰۴ b	۹۸۴ b
محلول‌پاشی با گرده ناخالص	۹۸/۲۳ a	۴۰/۳۹ a	۱۰۳۸ a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطوح متناظر آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشند.

۳.۱.۴. تعداد بذر

مطابق نتایج مشخص شد که تعداد بذر میوه کیوی رقم هایوارد در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثر روش‌های گرده‌افشانی تکمیلی قرار داشت (جدول ۱). بیش‌ترین تعداد بذر در میوه‌های گرده‌افشانی شده به روش محلول‌پاشی با گرده ناخالص (۱۰۳۸) و گرده خالص (۹۸۴) به دست آمد (جدول ۲). در ادامه میوه‌هایی که به صورت دستی گرده‌افشانی شده بودند (۹۰۳) و میوه‌های حاصل از گرده‌افشانی آزاد (۸۶۳) قرار داشتند که البته از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری را نشان ندادند.

۲.۴. اثر تیمارها بر صفات فیزیولوژیکی

۱.۲.۴. املاح جامد محلول

اثر روش گرده‌افشانی تکمیلی بر میزان املاح جامد محلول میوه کیوی رقم هایوارد در زمان برداشت در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار بود (جدول ۳). مقایسات میانگین حاکی از آن بود که میوه‌های گرده‌افشانی شده به روش محلول‌پاشی با گرده ناخالص (۶/۰۷ درجه بریکس) و گرده خالص (۶/۷۹ درجه بریکس) دارای بیش‌ترین میزان املاح جامد محلول میوه در زمان برداشت بودند و از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نشان ندادند (جدول ۴). در ادامه میوه‌های گرده‌افشانی شده به روش دستی (۶/۴۱ درجه بریکس) و میوه‌هایی که به صورت آزاد گرده‌افشانی شده بودند (۶/۳۲ درجه بریکس) از لحاظ میزان املاح جامد محلول میوه در زمان برداشت در رتبه بعدی قرار داشته و با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۴).

جدول ۳. تجزیه واریانس اثر روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی بر برخی ویژگی‌های کیفی و رنگ‌دانه‌های میوه کیوی رقم هایوارد در زمان برداشت

منبع تغییرات	درجه آزادی	املاح جامد محلول	اسیدهای قابل تیتراسیون	شاخص بلوغ	کلروفیل a	کلروفیل b	کلروفیل کل	کاروتنوئید
بلوک	۲	۰/۰۰۸ ns	۰/۰۲۲ ns	۰/۳۷۴ ns	۰/۰۰۰۵ ns	۰/۰۰۱۶ ns	۰/۰۰۲۵ ns	۰/۰۰۰۷ ns
گرده‌افشانی	۳	۰/۳۶۱**	۰/۰۳۴ ns	۰/۱۲۰ ns	۰/۱۴۴**	۰/۰۱۶۲ ns	۰/۲۵۲**	۰/۰۰۰۲ ns
خطای آزمایشی	۶	۰/۰۱۳	۰/۰۲۳	۰/۲۶۵	۰/۰۰۴	۰/۰۴۱	۰/۰۲۳۱	۰/۰۰۰۱
ضریب تغییرات (درصد)	-	۱۱/۷۵	۱۲/۵۹	۹/۱۵	۴/۷۹	۱۳/۴۹	۵/۶۷	۷/۳۸

** و ns: به ترتیب نشان‌دهنده معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و عدم اختلاف معنی‌داری می‌باشند.

جدول ۴. مقایسات میانگین اثر روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی بر برخی ویژگی‌های کیفی و رنگ‌دانه‌های میوه کیوی رقم هایوارد در زمان برداشت

تیمارها	املاح جامد محلول (°Brix)	اسیدهای قابل تیتراسیون (درصد)	شاخص بلوغ (میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تازه)	کلروفیل a (میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تازه)	کلروفیل b (میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تازه)	کلروفیل کل (میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تازه)	کاروتنوئید (میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تازه)
گرده‌افشانی آزاد	۶/۳۳ b	۱/۱۳ a	۵/۶۲ a	۱/۲۶ b	۱/۲۵ a	۲/۵۱ b	۰/۴۵ a
گرده‌افشانی دستی	۶/۴۱ b	۱/۱۴ a	۵/۶۴ a	۱/۲۴ b	۱/۲۴ a	۲/۴۸ b	۰/۴۳ a
محلول‌پاشی با گرده خالص	۶/۷۹ a	۱/۱۶ a	۵/۸۷ a	۱/۳۱ b	۱/۳۱ a	۲/۶۲ b	۰/۴۵ a
محلول‌پاشی با گرده ناخالص	۷/۰۷ a	۱/۳۵ a	۵/۳۸ a	۱/۷۱ a	۱/۴۰ a	۳/۱۱ a	۰/۴۴ a

در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطوح متناظر آزمون چنددامنه‌ای دانکن می‌باشند.

۴.۲.۲. اسیدهای قابل تیتراسیون

نتایج نشان داد که میزان اسیدهای قابل تیتراسیون میوه کیوی رقم هایوارد در زمان برداشت تحت تأثیر روش گرده‌افشانی تکمیلی قرار نداشت (جدول ۳). محدوده اسیدهای قابل تیتراسیون میوه در میوه‌های گرده‌افشانی‌شده به‌روش‌های مختلف بین ۱/۱۳ تا ۱/۳۵ درصد متغیر بود، اما همان‌طوریکه گفته شد، از لحاظ آماری با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند (جدول ۴).

۴.۲.۳. شاخص بلوغ

مشخص شد که روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی بر شاخص بلوغ میوه کیوی رقم هایوارد اثر معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). شاخص بلوغ در محدوده ۵/۳۸ تا ۵/۸۷ متغیر بود اما اختلاف معنی‌داری بین آن‌ها مشاهده نشد (جدول ۴). عدم تغییر شاخص بلوغ میوه کیوی در زمان برداشت در بررسی حاضر می‌تواند به‌دلیل عدم تأثیرپذیری میزان اسیدهای قابل تیتراسیون از روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی باشد.

۴.۲.۴. کلروفیل‌ها

تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی در سطح احتمال یک درصد توانستند میزان کلروفیل a و کلروفیل کل گوشت میوه کیوی رقم هایوارد را تحت تأثیر قرار دهند اما بر میزان کلروفیل b اثر معنی‌داری نداشتند (جدول ۳). مقایسات میانگین مشخص نمود، درحالی‌که میوه‌های گرده‌افشانی‌شده به‌روش محلول‌پاشی با گرده ناخالص دارای بیش‌ترین میزان کلروفیل a و کلروفیل کل گوشت میوه بودند، سایر میوه‌های با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند (جدول ۴).

۴.۲.۵. کاروتنوئید

مطابق جدول (۳)، کاروتنوئید میوه کیوی تحت تأثیر روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی قرار نگرفت. محدوده کاروتنوئید میوه کیوی رقم هایوارد در بررسی حاضر بین ۰/۴۳ تا ۰/۴۵ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر متغیر بود که البته بین تیمارها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۴).

۴.۳. اثر تیمارها بر صفات فیتوشیمیایی

۴.۳.۱. ویتامین ث

نتایج نشان داد که ویتامین ث میوه در زمان برداشت به‌طور معنی‌دار و در سطح احتمال یک درصد تحت تأثیر اثر روش گرده‌افشانی تکمیلی قرار گرفت (جدول ۵). استفاده از روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی توانست میزان ویتامین ث میوه را در مقایسه با میوه‌هایی که به‌صورت آزاد گرده‌افشانی‌شده بودند، افزایش دهد (شکل ۲). بیش‌ترین ویتامین ث در میوه‌های گرده‌افشانی‌شده به‌روش محلول‌پاشی با گرده ناخالص (۶۰/۲۷ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) مشاهده شد که البته با میوه‌های حاصل از گرده‌افشانی به‌روش محلول‌پاشی با گرده خالص (۵۷/۶۴ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) اختلاف معنی‌داری نداشتند. در ادامه میوه‌هایی به‌صورت دستی گرده‌افشانی شده بودند (۵۵/۶۸ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) قرار داشتند که با میوه‌های حاصل از گرده‌افشانی به‌روش محلول‌پاشی با گرده خالص و میوه‌هایی که به‌صورت آزاد گرده‌افشانی شده بودند (۵۴/۷۱ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) اختلاف معنی‌دار نداشتند (شکل ۲).

جدول ۵. تجزیه واریانس اثر روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی بر برخی ترکیبات فیتوشیمیایی میوه کیوی رقم هایوارد

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات		
		ویتامین ث	فنل کل	فلاونوئید کل
بلوک	۲	۱/۷۳**	۱/۰۱ ns	۳/۸۱ ns
گرده‌افشانی	۳	۱۷/۸۷**	۳۷/۸۹*	۷/۵۷ ns
خطای آزمایشی	۶	۰/۰۸	۵/۱۴	۹/۲۴
ضریب تغییرات (درصد)	-	۸/۵۱	۱۰/۰۵	۶/۸۳

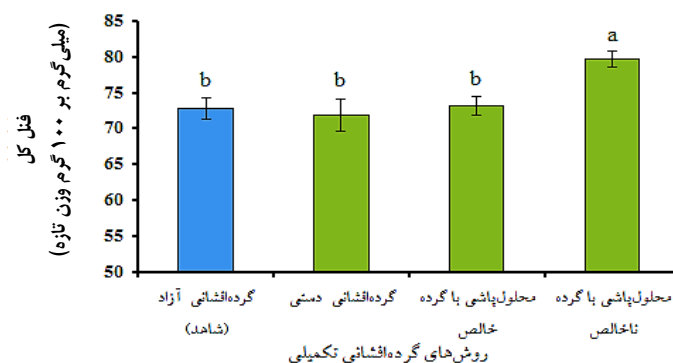
** و ns: به ترتیب معنی‌داری در سطح احتمال یک درصد و عدم معنی‌داری.



شکل ۲. اثر روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی بر ویتامین ث میوه کیوی رقم هایوارد. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطوح متناظر با آزمون دانکن می‌باشد. میله‌های هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (Standard Error) می‌باشد.

۴.۳.۲. فنل کل

مطابق جدول (۵) مشخص شد که روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی توانسته‌اند در سطح احتمال پنج درصد میزان فنل کل میوه کیوی را تحت تأثیر قرار دهند. بین میوه‌هایی که به صورت آزاد گرده‌افشانی شده بودند (۷۲/۸۳ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) با میوه‌های گرده‌افشانی شده با دست (۷۱/۲۶ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) و گرده‌افشانی شده به روش محلول‌پاشی با گرده خالص (۷۳/۱۶ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر) از نظر میزان فنل کل اختلاف معنی‌داری وجود نداشت (شکل ۳). این در حالی بود که میوه‌های گرده‌افشانی شده به روش محلول‌پاشی با گرده ناخالص با دارا بودن ۷۹/۶۲ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر بیش‌ترین میزان فنل کل میوه را به خود اختصاص داده بودند (شکل ۳).



شکل ۳. اثر روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی بر فنل کل میوه کیوی رقم هایوارد در زمان برداشت. حروف مشترک نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطوح متناظر با آزمون دانکن می‌باشد. میله‌های هر ستون نشان‌دهنده خطای استاندارد (Standard Error) می‌باشد.

۴.۳.۴. فلاونوئید کل

نتایج حاکی از آن بود که روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی بر میزان فلاونوئید کل میوه اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۵). همچنین مقایسات میانگین نشان داد که میزان فلاونوئید کل میوه کیوی رقم هایوارد در زمان برداشت در بین تیمارهای مختلف در محدوده ۵۲/۱۶ تا ۵۴/۷۹ میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تر بود (جدول ۶). فلاونوئیدها از متابولیت‌های ثانویه مهم گیاهی هستند که نقش مهمی در از بین بردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن دارند.

۴.۳.۴. فعالیت آنتی‌اکسیدانی

براساس جدول (۵) مشخص شد که فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه کیوی تحت تأثیر روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی قرار نگرفت. در زمان برداشت میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی میوه کیوی رقم هایوارد در محدوده بین ۶۱/۸۹ تا ۶۳/۸۷ درصد بازدارندگی DPPH به‌دست آمد که همان‌طور که گفته شد بین تیمارها اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد (جدول ۶).

جدول ۶. تجزیه واریانس اثر روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی بر برخی ویژگی‌های کیفی و رنگ‌دانه‌های میوه کیوی رقم هایوارد

تیمارها	فلاونوئید کل (میلی‌گرم بر ۱۰۰ گرم وزن تازه)	فعالیت آنتی‌اکسیدانی (درصد بازدارندگی DPPH)
گرده‌افشانی آزاد	۵۴/۷۹ ^a	۶۱/۸۹ ^a
گرده‌افشانی دستی	۵۴/۱۰ ^a	۶۲/۲۱ ^a
محلول‌پاشی با گرده خالص	۵۳/۳۷ ^a	۶۳/۸۷ ^a
محلول‌پاشی با گرده ناخالص	۵۲/۱۶ ^a	۶۲/۳۵ ^a

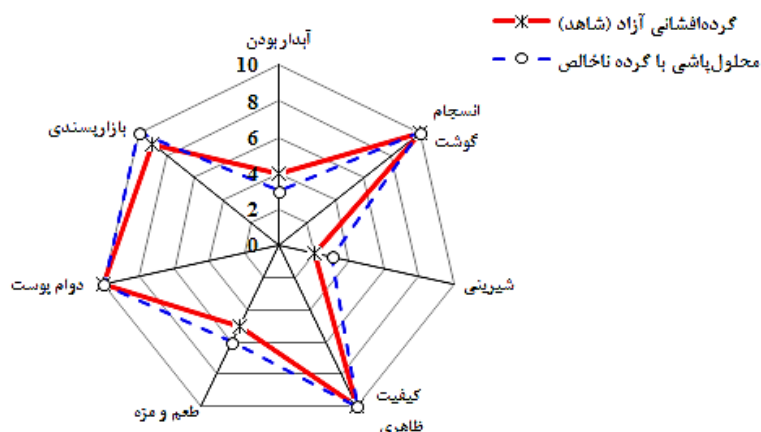
در هر ستون، میانگین‌های دارای حروف مشابه نشان‌دهنده عدم معنی‌داری در سطوح متناظر آزمون دانکن می‌باشند.

۴.۴. ارزیابی‌های حسی

ارزیابی‌های حسی (چشایی و بصری) میوه‌های کیوی رقم هایوارد در زمان برداشت بیانگر آن بود که بیش‌ترین تفاوت بین میوه‌هایی که به‌صورت آزاد گرده‌افشانی شده بودند و میوه‌های گرده‌افشانی‌شده به‌روش محلول‌پاشی با گرده ناخالص مشاهده شد (شکل ۴). میوه‌های گرده‌افشانی‌شده به‌روش محلول‌پاشی با گرده ناخالص از بازارپسندی، طعم و مزه و شیرینی بیش‌تر و در عین حال مقدار آب کم‌تری در مقایسه با میوه‌هایی که به‌صورت آزاد گرده‌افشانی برخوردار بودند (شکل ۴). افزایش بازارپسندی، کیفیت ظاهری و طعم و مزه میوه‌های گرده‌افشانی‌شده به‌روش محلول‌پاشی با گرده ناخالص را می‌توان با افزایش میزان کلروفیل گوشت میوه و املاح جامد محلول در این میوه‌ها مرتبط دانست.

۵. بحث

نتایج بررسی حاضر با یافته‌های جهان‌پناه و همکاران (۱۳۹۶) که بیان نمودند گرده‌افشانی تکمیلی درختان کیوی رقم هایوارد باعث افزایش تعداد بذر میوه می‌شود، مطابقت دارد. همچنین *Abbate et al.* (2021) گزارش کردند که در دو رقم کیوی طلایی AU Golden Sunshine و AU Gulf Coast Gold، استفاده از گرده‌افشانی تکمیلی توانست تعداد بذر را افزایش دهد که هم‌راستا با نتایج بررسی حاضر می‌باشد. گرده‌افشانی مهم‌ترین عامل در تولید میوه کیوی به‌شمار می‌آید. گرده‌افشانی ناکافی باعث تولید میوه‌های کوچک، نامرغوب و کیفیت پایین از نظر بازارپسندی می‌شود که دلیل آن به ارتباط نزدیک بین اندازه میوه و تعداد بذر مربوط می‌باشد. هر قدر تعداد تخمک‌های بیش‌تری بارور شود، تعداد بذر بیش‌تری تشکیل شده و در نتیجه میوه‌هایی با اندازه بزرگ‌تر شکل می‌گیرد (جهان‌پناه و همکاران، ۱۳۹۶؛ Gianni & Vania, 2018)، که این امر خود بر عملکرد تک‌درخت و همچنین عملکرد هکتاری نیز اثرگذار می‌باشد.



شکل ۴. اثر روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی بر برخی ویژگی‌های حسی (چشایی و بصری) میوه کیوی رقم هایوارد

میزان املاح جامد محلول از شاخص‌های مهم کیفیت میوه کیوی است به طوری که افزایش املاح جامد محلول میوه باعث بهبود طعم آن خواهد شد. میوه‌هایی که در زمان برداشت میزان قند بالاتری دارند، برداشت زودهنگام این میوه‌ها نیز امکان‌پذیر است و باعث کاهش خطر یخ‌زدگی میوه‌ها بر روی گیاهان خواهد شد. در واقع چنین میوه‌هایی کم‌تر در معرض خطر سرمای زودرس پاییزه که در برخی از مناطق شمالی ایران در بعضی از سال‌ها خسارت زیادی به کشاورزان وارد می‌کند، قرار می‌گیرد (Shiri, 2015).

افزایش میزان املاح جامد محلول میوه کیوی رقم هایوارد در میوه‌هایی که گرده‌افشانی تکمیلی شده بودند، می‌تواند از یک طرف با افزایش رشد میوه و جذب بیش‌تر مواد کربوهیدراتی مرتبط باشد. هم‌راستا با نتایج بررسی حاضر راجی امیرحسینی (۱۳۹۵) و جهان‌پناه و همکاران (۱۳۹۶) نشان دادند که گرده‌افشانی تکمیلی در کیوی رقم هایوارد باعث افزایش میزان املاح جامد محلول میوه در زمان برداشت می‌شود. هم‌چنین، هم‌راستا با نتایج پژوهش حاضر، راجی امیرحسینی (۱۳۹۵) نیز بیان کرد که گرده‌افشانی تکمیلی تأثیر معنی‌داری بر میزان اسیدهای قابل تیتراسیون میوه کیوی رقم هایوارد در زمان برداشت نداشت. یکی دیگر از عوامل مهم در کیفیت ظاهری گوشت میوه کیوی رقم هایوارد، رنگ سبز آن می‌باشد که در جذب مشتری و فروش محصول نقش مهمی بر عهده دارد. همان‌طوری‌که در پژوهش حاضر مشخص شد، گرده‌افشانی تکمیلی توانست تعداد بذر میوه را افزایش دهد. مشخص شده است که اگر تعداد بذر بیش‌تری در میوه تشکیل شود، به‌دنبال آن سینک قوی‌تری در میوه برای جذب مواد فتوسنتزی و کربوهیدرات‌ها ایجاد می‌شود (Ouma, 2010; Mokwala & Mangen, 2018). این احتمال وجود دارد که با افزایش این مواد که پیش‌ماده تولید بسیاری از ترکیبات می‌باشند، تولید و میزان بسیاری از ترکیبات از جمله رنگ‌دانه‌هایی مانند کلروفیل می‌تواند افزایش یابد.

کاروتنوئیدها به‌عنوان حامی رنگ‌های غیرفتوسنتزی شناخته‌شده که می‌توانند انرژی اضافی طول موج‌های کوتاه را بگیرند و اکسیژن یکتایی را به اکسیژن سه‌تایی تبدیل کرده و با گرفتن رادیکال‌های اکسیژن تولیدشده، نقش آنتی‌اکسیدانی از خود بروز دهند. بررسی‌های قبلی نیز حاکی از آن است که گرده‌افشانی تکمیلی در برخی موارد نمی‌تواند بر میزان برخی ترکیبات تأثیرگذار باشد (راجی امیرحسینی، ۱۳۹۵؛ جهان‌پناه و همکاران، ۱۳۹۶) که با یافته‌های بررسی حاضر مطابقت دارد.

ویتامین ث از جمله ترکیبات فیتوشیمیایی مهمی است که نقش مهمی در بالابردن ارزش غذایی محصولات دارد. در بررسی حاضر گرده‌افشانی تکمیلی توانست تعداد بذر میوه را افزایش دهد. مطالعات قبلی نشان داده‌اند که افزایش تعداد بذر در داخل میوه می‌تواند میوه را در مقایسه با سایر بخش‌ها به سینک قوی‌تری تبدیل کرده و در نتیجه اسیمولات‌های

بیش‌تری به میوه وارد خواهد شد (Ouma, 2010; Mokwala & Mangen, 2018). بنابراین، در مورد افزایش میزان ویتامین ث در میوه‌هایی که گرده‌افشانی تکمیلی شده بودند این احتمال وجود دارد که با افزایش این اسیمولات‌ها که خود مواد اولیه تولید بسیاری از ترکیبات می‌باشند، تولید و میزان ویتامین ث می‌تواند افزایش یابد.

ترکیبات فنلی گروهی از متابولیت‌های ثانویه با وزن ملکولی پایین هستند. این ترکیبات دارای یک یا چند گروه هیدروکسیل هستند که به‌طور مستقیم به یک حلقه آروماتیک متصل شده‌اند، بدین معنی که به‌واسطه وجود حلقه آروماتیک، هیدروژن گروه هیدروکسیل ترکیبات فنلی ناپایدار است. در نتیجه فنل‌ها خاصیت اسیدی ضعیفی دارند. پلی‌فنل‌ها به‌عنوان یک متابولیت ثانویه در تمام سلسله گیاهی وجود دارند و کیفیت میوه مانند رنگ و ویژگی‌های حسی مثل تلخی و گسی را در میوه‌ها، سبزی‌ها و محصولات گیاهی و نوشیدنی‌هایی که معمولاً استفاده می‌شوند، تحت تأثیر قرار می‌دهند. ترکیبات فنلی فعالیت‌های بیولوژیکی مختلفی را تحت تأثیر قرار می‌دهند. اما بیش‌تر به خاطر فعالیت آنتی‌اکسیدانی، خاصیت حفاظت‌کنندگی و بازدارندگی از بیماری‌های سرطان، مهم می‌باشند. ترکیبات فنلی قادر به خنثی کردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن می‌باشند که این امر به ویژگی اهدای الکترون آن‌ها ارتباط دارد. اثرگذاری خاصیت آنتی‌اکسیدانی ترکیبات فنلی به پایداری در سیستم‌های مختلف و همچنین تعداد و محل گروه‌های هیدروکسیل بستگی دارد (Hidalgo & Almajano, 2017; Ravimannan & Nisansala, 2017).

گرده‌افشانی تکمیلی توانست باعث بهبود گرده‌افشانی و لقاح تخمک‌ها شود. چنین میوه‌هایی تعداد بذر بیش‌تری داشتند (جدول ۲)، در نتیجه، از سینک قوی‌تری برای تجمع آسیمولات‌ها و مواد معدنی برخوردار خواهند بود (Ouma, 2018; Mokwala & Mangen, 2018). در مجموع، این احتمال وجود دارد که با افزایش این مواد که پیش‌ماده تولید بسیاری از متابولیت‌های ثانویه می‌باشند، تولید و میزان بسیاری از این ترکیبات از جمله ترکیبات فنلی می‌تواند افزایش یابد. فلاونوئیدها از متابولیت‌های ثانویه مهم گیاهی هستند که نقش مهمی در از بین بردن رادیکال‌های آزاد اکسیژن دارند. هم‌راستا با نتایج بررسی حاضر، حاضر راجی امیرحسینی (۱۳۹۵) و جهان‌پناه و همکاران (۱۳۹۶) در مطالعات خود گزارش نمودند که گرده‌افشانی تکمیلی در برخی موارد نمی‌تواند بر میزان برخی ترکیبات و متابولیت‌های ثانویه تأثیرگذار باشد. بررسی‌های قبلی نیز حاکی از آن است که گرده‌افشانی تکمیلی در برخی موارد نمی‌تواند بر میزان برخی ترکیبات تأثیرگذار باشد (راجی امیرحسینی، ۱۳۹۵؛ جهان‌پناه و همکاران، ۱۳۹۶) که با یافته‌های بررسی حاضر مطابقت دارد. در نهایت، افزایش بازارپسندی، کیفیت ظاهری و طعم و مزه میوه‌های گرده‌افشانی‌شده به‌روش محلول‌پاشی با گرده ناخالص را می‌توان با افزایش میزان کلروفیل گوشت میوه و املاح جامد محلول در این میوه‌ها مرتبط دانست.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج حاکی از آن بود که استفاده از روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی به‌ویژه محلول‌پاشی با گرده ناخالص در مقایسه با گرده‌افشانی آزاد توانست تعداد بذر، میزان املاح جامد محلول، کلروفیل a، کلروفیل کل، ویتامین ث و فنل کل میوه را به‌طور معنی‌داری افزایش دهد. چنین میوه‌هایی از لحاظ حسی و چشایی نیز کیفیت بهتری داشتند. این درحالی بود که میزان اسیدهای قابل‌تیتراسیون، شاخص بلوغ، کلروفیل b، کاروتنوئید، فلاونوئید کل و فعالیت آنتی‌اکسیدانی تحت تأثیر روش‌های مختلف گرده‌افشانی تکمیلی قرار نگرفتند. در نهایت، با توجه به کاربردی و همچنین آسان بودن جمع‌آوری دانه گرده از ورودی کندوی زنبورعسل با استفاده از دستگاه جمع‌آوری‌کننده گرده و همچنین با توجه به اثرات معنی‌دار گرده‌افشانی توسط محلول‌پاشی دانه گرده جمع‌آوری‌شده با این روش (گرده ناخالص) در بهبود کیفیت میوه، می‌توان به باغداران استفاده از این روش را به‌عنوان گرده‌افشانی تکمیلی در باغات کیوی رقم هایوارد توصیه نمود.

۷. تشکر و قدردانی

نویسندگان از پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، به‌خاطر حمایت از پژوهش حاضر کمال تشکر و قدردانی را دارند.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

- جهان‌پناه، سمانه؛ قاسم‌نژاد، محمود و ابراهیمی، یونس (۱۳۹۶). اثر گرده‌افشانی تکمیلی بر تشکیل و کیفیت میوه کیوی رقم هایوارد. *به زراعی کشاورزی*، ۱۹ (۳)، ۷۸۵-۷۹۷.
- راجی امیرحسینی، فاطمه (۱۳۹۵). اثر گرده‌افشانی مصنوعی با استفاده از مخلوط خشک دانه گرده بر تشکیل و کیفیت میوه کیوی رقم هایوارد. *پایان‌نامه کارشناسی ارشد*. به راهنمایی دکتر محمود قاسم‌نژاد. گیلان: دانشگاه گیلان، دانشکده کشاورزی، گروه علوم باغبانی.
- شبیری، محمد علی (۱۳۹۴). مطالعه کارایی زمان محلول‌پاشی کلسیم بر کیفیت و انبارمانی میوه کیوی (*Actinidia deliciosa*) رقم 'هایوارد'. *رساله دکتری*، به راهنمایی دکتر محمود قاسم‌نژاد. گیلان: دانشگاه گیلان، دانشکده علوم کشاورزی، گروه علوم باغبانی.
- عابدی قشلاقی، ابراهیم؛ جوادی مجدد، داود و فرزام، ابراهیم (۱۳۹۸). اثرات دما و مدت نگهداری بر قوه نامیه دانه‌گرده کیوی فروت. *یافته‌های تحقیقاتی در گیاهان زراعی و باغی*، ۸ (۱)، ۲۵-۳۶.
- عابدی قشلاقی، ابراهیم؛ فرزام، ابراهیم؛ جوادی مجدد، داود و داداش‌زاده، بهمن (۱۳۹۷). *عوامل گرده‌افشان در کیوی فروت*. گیلان: سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی.
- عدولی، بابک؛ قاسمی، مالک؛ عابدی قشلاقی، ابراهیم؛ فیفایی، رضا و داداش‌زاده، بهمن (۱۳۹۹). *اصول باغبانی در پرورش کیوی فروت*. پژوهشکده مرکبات و میوه‌های نیمه‌گرمسیری، مؤسسه تحقیقات علوم باغبانی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی. معاونت آموزش و ترویج کشاورزی، دفتر شبکه دانش و رسانه‌های ترویجی.

References

- Abbate, A. P., Campbell, J. W., Vinson, E. L., & Williams, G. R. (2021). The pollination and fruit quality of two kiwifruit cultivars (*Actinidia chinensis* var. *chinensis* "AU Golden Sunshine" and "AU Gulf Coast Gold") (Ericales: Actinidiaceae) grown in the Southeastern United States. *Journal of Economic Entomology*, 114(3), 1234-1241.
- Abedi Gheshlaghi, E., Javadi Mojaddad, D., & Farzam, E. (2019). Influence of storage duration and storage temperature on pollen viability of kiwifruit (*Actinidia deliciosa*). *Research Achievements for Field and Horticulture Crops*, 8(1), 25-36.
- Abedi Gheshlagji, E., Farzam, E., Javadi Mojaddad, D., & Dadashzadeh, B. (2018). *Pollinating factors in kiwifruit*. Gilan: Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Research and Education Center for Agriculture and Natural Resources. (In Persian).
- Adouli, B., Abedi Gheshlagji, E., Fifaei, R., & Dadashzadeh, B. (2020). Principles of gardening in growing kiwifruit. Citrus and Subtropical Fruits Research Center, Horticulture Science Research Institute, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO). (In Persian).
- Borghezan, M., Clauman, A. D., Steinmacher, D. A., Guerra, M. P., & Orth, A. I. (2011). *In vitro* viability and preservation of pollen grain of kiwi. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 11, 338-344.

- Broussard, M. A., Goodwin, M., McBrydie, H. M., Evans, L. J., & Pattemore, D. E. (2021). Pollination requirements of kiwifruit (*Actinidia chinensis* Planch.) differ between cultivars 'Hayward' and 'Zesy002'. *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*, 49, 30-40.
- Du, G., Li, M., Ma, F., & Liang, D. (2009). Antioxidant capacity and the relationship with polyphenol and vitamin C in *Actinidia* fruits. *Food Chemistry*, 113, 557-562.
- FAO. (2022). *Crops and livestock products*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>.
- Fernández-Sestelo, A., Sendra de Saá, R., Pérez-Lamela, C., Torrado-Agrasar, A., Rúa, M. L., & Pastrana Castro, L. (2013). Overall quality properties in pressurized kiwi purée: Microbial, physicochemical, nutritive and sensory tests during refrigerated storage. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 20, 64-72.
- Gianni, T., & Vania, M. (2018). Artificial Pollination in Kiwifruit and Olive Trees In: Pollination in Plants London: IntechOpen Limited, 2018. 59-80. <https://doi.org/10.5772/intechopen.74831>.
- Hidalgo, G. I., & Almajano, M. P. (2017). Red fruits: extraction of antioxidants, phenolic content, and radical scavenging determination: A review. *Antioxidants*, 6(7), 1-27.
- Holman, R. M., & Brubaker, F. (1926). *On longevity of pollen*. California: University of California Publications in Botany, 13, 179-204.
- Huang, H. (2016) *Kiwifruit: The genus ACTINIDIA*. Massachusetts: Academic Press, Elsevier.
- Jahanpanah, S., Ghasemnejad, M., & Ebrahimi, Y. (2018). The effect of supplemental pollination on fruit set and the quality of Hayward kiwifruit. *Journal of Crops Improvement*, 19(3), 785-797. (In Persian).
- Mokwala, P. W., & Mangen, P. (2018). Pollination in Plants. Norderstedt: BoD–Books on Demand.
- Ouma, G. (2010). *Flowering, Pollination, and Fruit Set in Fruit Trees: Fruit Thinning of Fruit Trees*. London: LAP LAMBERT Academic Publishing.
- Raji Amirhosseini, F. (2016). *The effect of artificial pollination using a dry mixture of pollen grains on the formation and quality of kiwifruit cv. Hayward*. Master of Science dissertation. Under the supervision of Dr. Mahmoud Ghasemnezhad. Guilan: University of Guilan, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Horticultural Sciences. (In Persian).
- Ravimannan, N., & Nisansala, A. (2017) Study on antioxidant activity in fruits and vegetables - A Review. *International Journal of Advanced Research in Biological Sciences*, 4(3), 93-101.
- Sale, P. R. (1990). *Kiwifruit Growing*. Wellington: GP Books.
- Shiri, M. A. (2015). *Study the effectiveness of calcium spray time on quality and storability of Kiwifruit (Actinidia deliciosa) cv. 'Hayward'*. Doctoral dissertation. Under the supervision of Dr. Mahmoud Ghasemnezhad. Guilan: University of Guilan, Faculty of Agricultural Sciences, Department of Horticultural Sciences. (In Persian).
- Shiri, M. A., Ghasemnezhad, M., Bakhshi, D., & Saadatian, M. (2011). Effect of ascorbic acid on phenolic compounds and antioxidant activity of packaged fresh cut table grape. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 10, 2506-2515.
- Shiri, M. A., Ghasemnezhad, M., Fattahi Moghaddam, J., & Ebrahimi, R. (2016a). Effect of CaCl₂ sprays at different fruit development stages on postharvest keeping quality of 'Hayward' kiwifruit. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(4), 624-635.
- Shiri, M. A., Ghasemnezhad, M., Fattahi Moghaddam, J., & Ebrahimi, R. (2016b). Enhancing and maintaining nutritional quality and bioactive compounds of 'Hayward' kiwifruit: Comparison the effectiveness of different CaCl₂ spraying times. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(5), 850-862.
- Shiri, M. A., Ghasemnezhad, M., Fattahi Moghaddam, J., & Ebrahimi, R. (2014). Fruit growth and sensory evaluation of 'Hayward' kiwifruit in response to preharvest calcium chloride application and orchard location. *Agriculturae Conspectus Scientificus*, 79(3), 183-189.
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. S. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu Reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152-178.

- Tacconi, G., Michelotti, V., Cacioppo, O., & Vittone, G. (2016). Kiwifruit pollination: the interaction between pollen quality, pollination systems and flowering stage. *Journal of Berry Research*, 6(4), 417-426.
- Wellburn, A. R. (1994). The spectral determination of chlorophylls A and B, as well as total carotenoids, using various solvents with spectrophotometers of different resolution. *Plant Physiology*, 144, 307-331.



Investigation of phenology and estimation of flower buds chill and heat requirements of some commercial almond cultivars using different models

Jafar Biabani¹ | Abdolrahman Mohammadkhani² | Masoud Fattahi³ 

1. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: dehghansamani@sku.ac.ir
2. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran. E-mail: mkhani7@sku.ac.ir
3. Corresponding Author, Department of Agriculture science, Technical and Vocational University (TVU), Tehran, Iran. E-mail: masoudfattahi@tvu.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:

Received 15 April 2022
Received in revised form
29 November 2022
Accepted 21 January 2023
Published online
20 September 2023

Keywords:

Blooming
Dormancy
Flower bud
Heat unit
Utah model

ABSTRACT

Objective: Almonds are high in antioxidants, vitamin E, protein, and fiber. This nutrient-rich nut is an excellent addition to any diet since it is a versatile ingredient linked to several health benefits. The development of communications have led to a wider cultivation of temperate fruits, cultivars being selected and grown in different environmental conditions. This situation has increased the risks derived from the incomplete breaking of dormancy, and encouraged studies concerning the chilling and heat requirements of fruit cultivars for breaking dormancy and flowering. Estimating chilling and heat requirements of flower buds in fruit trees is important due to predicting flowering time for appropriate site selection to escape spring frost damage.

Methods: In order to investigate the chill and heat requirements of commercial almond cultivars, a factorial experiment was planned and implemented in a completely randomized design with 3 replications in Shahrekord university lab (in 2017). The first factor included commercial almond cultivars in five levels (Mamaei, Rabi, Sefid, Shahroud 7, and Shahroud 12) and the second factor included chilling in seven levels (100, 200, 300, 400, 500, 600, and 700 hours at 4-7 °C). As soon as dormancy was induced in the buds of each cultivar, 75 branches were prepared and transferred to a refrigerator with a temperature of 4 to 7 °C to determine the chilling requirement. The samples were taken out of the refrigerator and placed in water and sucrose solution in the greenhouse environment, and the flowering status of flower buds was examined.

Results: The results illustrated that the chill and heat requirements of Sefid and Mamaei cultivars were lower than average requirements of all cultivars in this respect. Furthermore, these two cultivars had the lower chill and heat requirements than other cultivars. Also, Sefid cultivar needed 170 hours of chill requirements and 5886 growing degree hours' heat and Mamaei cultivar needed 170 hours of chill and 7707 growing degree hours' heat. Rabi cultivar had lower chill and heat requirements than the average of all cultivars, but in Shahroud 7 cultivar both of chill and heat requirements were high. Shahroud 7 cultivar needed to 220.5 hours of chill and 10958 of heat growth degree hours for blooming. On the other hand, Shahroud 12 cultivar was identified as a cultivar with high chilling requirements and low heat requirements.

Conclusion: The minus effects of the lack of chilling for breaking dormancy in temperate fruits, both in vegetative growth, and fruit-bearing have been proved. Chilling requirements of temperate fruit cultivars have to be fully satisfied, if dormancy breaking is to result in the desired vegetative growth, and if the fruit-bearing capacity is to be fulfilled. On the other hand, in case of low chilling requirements blooming happens too early and cold temperatures produce an important loss of yield by frost.

Cite this article: Biabani, J., Mohammadkhani, A., & Fattahi, M. (2023). Investigation of phenology and estimation of flower buds chill and heat requirements of some commercial almond cultivars using different models. *Journal of Crops Improvement*, 25 (3), 825-838. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.341628.2699>



بررسی فنولوژی و برآورد نیاز سرمایی و گرمایی جوانه‌های گل برخی از ارقام تجاری بادام با استفاده از مدل‌های مختلف

جعفر بیابانی^۱ | عبدالرحمان محمدخانی^۲ | مسعود فتاحی^۳ ✉

۱. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: dehghansamani@sku.ac.ir
۲. گروه علوم باغبانی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد، ایران. رایانامه: mkhani7@sku.ac.ir
۳. نویسنده مسئول، گروه کشاورزی، آموزشکده کشاورزی، دانشگاه فنی و حرفه‌ای، تهران، ایران. رایانامه: masoudfattahi@tvu.ac.ir

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف: به منظور بررسی نیاز سرمایی و گرمایی ارقام تجاری بادام، آزمایشی به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با سه تکرار برنامه‌ریزی و در آزمایشگاه دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۶ اجرا شد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۶	روش پژوهش: در این آزمایش فاکتور اول، شامل ارقام تجاری بادام در پنج سطح (مامایی، ربیع، سفید، شاهرود ۷ و شاهرود ۱۲) و فاکتور دوم شامل سرمادهی در هفت سطح (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ ساعت در دما ۴-۷ درجه سانتی‌گراد) بود. به محض القای خواب در جوانه‌ها از هر رقم، تعداد ۷۵ شاخه تهیه و به یخچال با دمای ۴ تا ۷ درجه سانتی‌گراد منتقل شدند. پس از سرمادهی از یخچال خارج و در محیط گلخانه، در محلول آب و ساکارز قرار داده شدند و وضعیت شکوفایی جوانه‌های گل بررسی شد.
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۹/۰۸	یافته‌ها: نتایج نشان داد که نیاز سرمایی و گرمایی در ارقام سفید و مامایی کم‌تر از متوسط نیاز سرمایی و گرمایی کل ارقام بودند. رقم سفید ۱۷۰ ساعت نیاز سرمایی و ۵۸۸۶ درجه ساعت رشد نیاز گرمایی و رقم مامایی ۱۷۰ ساعت نیاز سرمایی و ۷۷۰۷ درجه ساعت رشد نیاز گرمایی داشتند. رقم ربیع نیاز سرمایی کم‌تر و نیاز گرمایی بیش‌تر از متوسط کل ارقام داشت اما در رقم شاهرود ۷ هر دو نیاز سرمایی و گرمایی بیش‌تر بود. رقم شاهرود ۷ به ۲۲۰/۵ ساعت سرما و ۱۰۹۵۸ درجه ساعت رشد گرما جهت شکوفایی گل نیاز داشت. از طرف دیگر رقم شاهرود ۱۲ به‌عنوان رقمی با نیاز سرمایی بالا و نیاز گرمایی پایین شناسایی شد.
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۱	نتیجه‌گیری: به‌طور کلی نتایج نشان داد نیاز سرمایی و گرمایی ارقام مختلف در مدل‌های مختلف متفاوت بود. در بین ارقام این آزمایش رقم شاهرود ۱۲ دارای بالاترین نیاز سرمایی و گرمایی بود.
تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹	کلیدواژه‌ها: جوانه گل خواب زمستانه شکوفایی گل مدل بیوتا واحد حرارتی

استناد: بیابانی، جعفر؛ محمدخانی، عبدالرحمان؛ و فتاحی، مسعود (۱۴۰۲). بررسی فنولوژی و برآورد نیاز سرمایی و گرمایی جوانه‌های گل برخی از ارقام تجاری بادام با استفاده از مدل‌های مختلف. *بزرگای کشاورزی*، ۲۵ (۳)، ۸۲۵-۸۳۸. DOI: <https://doi.org/10.22059/jci.2023.341628.2699>



۱. مقدمه

اطلاع از نیاز سرمایی گیاهان اثرات اقتصادی و کاربردی مهمی بر کنترل، نگهداری و تولید درختان میوه داشته و چنین اطلاعاتی جهت تشخیص نواحی مناسب برای کاشت ضروری است. برای مثال، کشت ارقام با نیاز سرمایی پایین در مناطق دارای زمستان سرد، باعث تأمین سریع نیاز سرمایی جوانه گل شده و گل‌دهی زود هنگام اتفاق می‌افتد و در نتیجه سرمای دیررس بهاره می‌تواند خسارت‌های شدیدی را به این درختان وارد نماید (Scorza & Okie, 1990). بنابراین توجه به نیاز سرمایی و همچنین نیاز گرمایی نقش کلیدی در انتخاب رقم مناسب برای کاشت در یک منطقه جغرافیایی خاص دارد (Bassi *et al.*, 2006).

بادام از درختان معتدله است که به منظور جلوگیری از آسیب سرمای زمستان وارد رکود شده و تا زمانی که میزان مشخصی از سرمای زمستانه را دریافت نکند نیاز سرمایی آن برطرف نمی‌شود (Ruiz *et al.*, 2007) از طرف دیگر پس از رفع نیاز سرمایی، رشد و نمو جوانه گل زمانی امکان‌پذیر است که به اندازه کافی دماهای بالاتر از حد آستانه که در بیش‌تر درختان معتدله ۴/۵ درجه سانتی‌گراد است تأمین شود (Saure, 1985; Anderson *et al.*, 1986). در بیش‌تر مناطق معتدله دیرگلی برای جلوگیری از سرمای دیررس بهاره مدنظر است و هدف بسیاری از برنامه‌های اصلاحی می‌باشد (Campoy *et al.*, 2011). زمان گلدهی در درختان میوه بستگی به شرایط آب‌وهوایی زمستان جهت شکستن رکود درونی و میزان اختلاف در نیاز سرمایی و گرمایی در بین ژنوتیپ‌ها دارد (Ballester *et al.*, 2001). بنابراین، درختان میوه علاوه بر دریافت سرمای کافی، برای گلدهی کامل، به تعداد ساعت مشخصی گرما نیاز دارند (Campoy *et al.*, 2011).

۲. پیشینه پژوهش

روش‌های مختلفی برای تعیین میزان و مراحل خواب درونی جوانه‌ها برای درختان مختلف پیشنهاد شده است که همگی آن‌ها ترکیبی از مدل‌های دمایی و فتوپریودی هستند. به این منظور پژوهش‌گران خصوصیات مورفولوژیکی جوانه‌های رویشی و زایشی را جهت به‌دست‌آوردن ظرفیت و سرعت رشد سرآغازها اندازه‌گیری می‌کنند و با میزان محتوای نوکلئیک‌اسید و سطوح pH درونی جوانه‌ها می‌سنجند (Egea *et al.*, 2003). مدل‌های دیگری نیز برای هلو (Citadin *et al.*, 2001) و بادام (Alonso *et al.*, 2005; Luedeling *et al.*, 2013) مورد استفاده قرار گرفته است. در این مطالعات، پژوهش‌گران برای اندازه‌گیری زمان اتمام دوره استراحت جوانه‌ها، مطالعات مورفولوژیکی جوانه‌ها، کشت سرشاخه و مدل همبستگی بین تاریخ گلدهی بادام و دماهای دوره استراحت را مورد بررسی قرار داده‌اند و در نهایت مدلی را جهت پیش‌بینی زمان اتمام دوره استراحت جوانه‌ها در بادام و هلو ارائه کرده‌اند.

Polito (2009) پژوهش‌هایی گسترده‌ای در ارتباط با نیاز گرمایی ارقام بادام انجام داد و در نهایت بیان نمود که روش اندازه‌گیری نیاز گرمایی برای هر رقم بادام متفاوت می‌باشد. وی عواملی چون نوع رقم، میزان فیتوهورمون‌ها، سن درخت و سطوح دمایی در زمان گل‌انگیزی را مؤثر بر نیاز گرمایی بادام دانست. در پژوهشی Covert (2011)، اثر تجمع سرمایی و گرمایی بر زمان و مدت زمان گلدهی و عملکرد بادام را بررسی کردند و Glozer & Grant (2005)، روی مدل‌های دینامیکی اثرات دما بر خواب جوانه‌های گیلاس مطالعاتی را انجام دادند که در نهایت بیان داشتند بین زمان گلدهی و درجه ساعت رشد و همچنین درجه ساعت رشد و عملکرد نهایی ارتباط وجود دارد. بر این اساس دریافت میزان مختلفی از سرما و گرما می‌تواند زمان گلدهی و عملکرد درخت را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین این پژوهش‌گران مدلی جهت پیش‌بینی زمان و دوره گلدهی ارائه نمودند تا کشاورزان بتوانند با کمک این مدل اقدامات لازم جهت بهینه‌سازی فعالیت زنبور عسل، انجام اعمال باغبانی و تخمین عملکرد را انجام دهند. هم‌چنین Ruiz *et al.* (2007) نیز نتایج مشابهی را برای

زردآلو گزارش کرده‌اند. مدل‌های مختلفی برای برآورد نیاز سرمایی و گرمایی وجود دارد که ممکن است با توجه به نوع رقم، از سالی به سال دیگر و از منطقه‌ای به منطقه دیگر نتایج متفاوتی حاصل شود (نکونام و همکاران، ۱۳۹۷).

در بین مدل‌های مختلف، مدل یوتا بیش‌ترین کاربرد را دارد، اما انتقادهایی به آن نیز وارد است که به دلیل ناتوانی آن در پیش‌بینی دقیق نیاز سرمایی در زمستان‌های ملایم است. از طرف دیگر مدل دینامیکی می‌تواند یک روش مناسب برای کاهش این اختلافات باشد (Ruiz et al., 2007). در آزمایشی (Maulión et al., 2014)، با بررسی مدل‌های مختلف برآورد نیاز سرمایی و گرمایی روی هلو و شلیل مشخص کردند که نیاز سرمایی اهمیت بالایی دارد و بین زمان گلدهی و انباشت سرمایی ارتباط مستقیمی وجود دارد. همچنین با ارزیابی الگوهای برآورد نیاز سرمای زمستانه با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای فنولوژی درخت سیب در ارومیه، مشخص شد که مدل دینامیکی از عملکرد بالایی در برآورد انباشت سرمایی برخوردار بوده و ارقام زودگل سیب در اواخر زمستان در خطر سرما و یخبندان قرار دارند (Valashdi & Sabziparvar, 2016). گزارش‌ها نشان می‌دهد که در ارقام تجاری زردآلو، نقش نیاز سرمایی در مقایسه با نیاز گرمایی در تغییر تاریخ گلدهی در شرایط آب‌وهوایی کرج بیش‌تر است و همبستگی بالایی بین نیاز سرمایی و تاریخ گلدهی وجود دارد (نکونام و همکاران، ۱۳۹۷). در بررسی و تعیین نیاز سرمایی و گرمایی جوانه‌های گل برخی ارقام و ژنوتیپ‌های بادام توسط (Hadavand et al., 2021)، نتایج نشان داد دو رقم مامایی و ربیع نسبت به ارقام تونو و نانپاریل و ژنوتیپ‌های ۱۶-۱، ۱۳-۴۰ و D11 زودگل‌تر بوده و نیاز سرمایی کم‌تری داشتند از طرفی ژنوتیپ D11 به‌عنوان دیرگل‌ترین ژنوتیپ با نیاز سرمایی بالا معرفی گردید.

ارزیابی نیاز سرمایی ارقام پرکاربرد بادام در استان چهارمحال و بختیاری و تخمین میزان نیاز سرمایی این ارقام می‌تواند راهنمایی برای مقابله بهتر در برابر سرمای بهاره باشد. از طرف دیگر اطلاعات در مورد نیاز سرمایی هر رقم تجاری می‌تواند در انتخاب ارقام برای مناطق مختلف با توجه به شرایط آب‌وهوایی موثر باشد. گاهی ارقام جدید در مناطقی کشت می‌شوند که به دلیل عدم سازگاری آب‌وهوایی، نیاز سرمایی آن‌ها تأمین نشده یا به دلیل زودگل‌دهی با مشکل یخ زدگی گل در شروع فصل رشد مواجه می‌شوند. اطلاعات در مورد نیاز سرمایی یک رقم تأثیرات اقتصادی و عملی مهمی در کنترل، حفظ و تولید درختان میوه دارد. داشتن این اطلاعات برای ارقام کشت و کار شده در مناطق مختلف ضروری است (Hadavand et al., 2021). بنابراین، این پژوهش به منظور بررسی میزان نیاز سرمایی جوانه گل و نیاز گرمایی جوانه‌های گل پنج رقم مهم تجاری بادام برای هر یک از مراحل فنولوژیکی گل با استفاده از مدل‌های مختلف انجام شد.

۳. روش‌شناسی پژوهش

این آزمایش در دانشکده کشاورزی دانشگاه شهرکرد در سال ۱۳۹۶، روی پنج رقم محلی و تجاری بادام تهیه‌شده از باغ‌های شرکت باغ‌گستران سامان انجام شد. این آزمایش به صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور و سه تکرار انجام شد. فاکتور اول، شامل پنج رقم تجاری بادام سفید، مامایی، علی‌اکبر ربیع، شاهرود ۷ و شاهرود ۱۲ و فاکتور دوم طول دوره سرمادهی در دمای ۷-۵ درجه سانتی‌گراد در هفت سطح (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ ساعت) بود.

جهت تعیین زمان دقیق خفتگی جوانه‌ها، از اواسط مردادماه از آمار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک سامان به صورت روزانه استفاده شد. به محض القای خواب در جوانه‌ها از هر رقم تجاری بادام سه درخت به صورت تصادفی انتخاب و تعداد ۷۵ شاخه به طول ۵۰ تا ۶۰ سانتی‌متر دارای بیش‌ترین جوانه گل تهیه شد. پس از انجام برگ‌زنی و حذف شاخه‌های فرعی، شاخه‌ها به دسته‌های پنج‌تایی تقسیم و با قارچ‌کش بنومیل یک درصد ضدعفونی شدند. در ادامه شاخه‌ها با سلفون پوشیده و به منظور تأمین نیاز سرمایی به یخچال (دارای دمای ۴-۷ درجه سانتی‌گراد) منتقل شدند. پس از سپری شدن

زمان‌های موردنظر (۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰، ۵۰۰، ۶۰۰ و ۷۰۰ ساعت) شاخه‌ها به ترتیب به گلخانه (دمای ۲۵-۲۰ درجه سانتی‌گراد، ۱۶ ساعت روشنایی) منتقل شدند. به منظور جذب بهتر، انتهای شاخه‌ها به اندازه یک سانتی‌متر بریده و در محلول قندی ساکارز پنج درصد قرار گرفتند. این محلول، هر چهار روز یک بار تعویض و قاعده شاخه‌ها به اندازه یک سانتی‌متر در هفته برش داده شد. سپس برای محاسبه نیاز سرمایی از مدل‌های یوتا، کارولینای شمالی، مدل ساعات سرمایی، مدل دینامیکی (بخش‌های سرمایی)، مدل نیاز سرمایی کم استفاده شد.

برای تعیین نیاز گرمایی از زمان رفع نیاز سرمایی تا ۵۰ درصد تمام گل استفاده شد. برای تعیین این محدوده زمانی، یک دستگاه کنترل‌کننده دما و رطوبت‌سنج دیجیتالی (مدل HD110، کشور فرانسه) در محل گلخانه نصب و به‌طور مرتب (ساعتی یک‌بار) دما و رطوبت کنترل و ثبت شد. همچنین کلیه مراحل فنولوژی جوانه‌های گل به ترتیب، شامل مرحله متورم‌شدن جوانه گل، نوک سبز، نوک صورتی، ظهور گلبرگ‌ها، باز شدن اولین گل، تمام گل و ریزش گلبرگ ثبت گردید تا نیاز گرمایی جهت ورود به هر کدام از مراحل فنولوژی جوانه‌های گل در ارقام مختلف تعیین گردد. به منظور بررسی نیاز سرمایی و گرمایی و تجزیه و تحلیل داده‌های ارقام مختلف دو شاخص در نظر گرفته شد. شاخص اول شامل زمانی که ۳۰ درصد جوانه‌ها نوک سبز شدند و شاخص دوم زمان شکوفایی اولین گل بود.

برای تعیین نیاز سرمایی در شرایط آزمایشگاهی (یخچال) از آمار دماهای ساعتی ثبت‌شده توسط یک دستگاه دیتالاگر (مدل TES-1365، کشور تایوان) استفاده شد. ورودی تمام مدل‌های برآوردکننده نیاز سرمایی، داده دمای ساعتی بود. از مدل‌های ساعات سرمایی (Luedeling et al., 2013)، یوتا (Richardson et al., 1974)، مدل نیاز سرمایی کم (Gilreath & Buchanan, 1981)، مدل کارولینای شمالی (Cesaraccio et al., 2004; Shaultout & Unrath, 1983) و مدل دینامیکی (Erez et al., 1981; Luedeling et al., 2013) برای محاسبه نیاز سرمایی استفاده شد. برای تعیین نیاز گرمایی در شرایط گلخانه از آمار دماهای ساعتی ثبت‌شده توسط دستگاه دیتالاگر استفاده گردید. ورودی تمام مدل‌های برآوردکننده نیاز گرمایی، داده‌های دماهای ساعتی می‌باشد. از مدل‌های، درجه‌روزهای رشد مؤثر و فعال (GDD) (McMaster & Wilhelm, 1997)، مدل درجه ساعات‌های رشد (GDH) (Zhang & Taylor, 2011)، مدل (Anderson et al., 1985) و مدل (Richardson et al., 1974) برای محاسبه نیاز گرمایی استفاده شد. تعداد روز تا ۵۰ درصد شکوفایی جوانه‌ها برای تعیین نیاز گرمایی ثبت شد. در این فاصله تجمع دماهای بالاتر از صفر گیاهی (۴/۵ درجه سانتی‌گراد) به صورت درجه ساعت رشد (GDH) به عنوان نیاز گرمایی ارقام مورد مطالعه منظور گردید (Egea et al., 2003).

رابطه (۱) $24 \times (\text{صفر فیزیولوژیکی بادام} - \text{مجموع میانگین دمای روزانه}) = \text{درجه ساعت رشد}$
 تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS (نسخه ۹/۳)، ترسیم شکل‌ها با استفاده از نرم‌افزار صفحه گسترده اکسل و مقایسه بین میانگین‌ها با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) در سطح احتمال ۵ درصد انجام شد.

۴. یافته‌های پژوهش

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۱) نشان داد در دو مرحله اندازه‌گیری (با فواصل هفت روز) اثر رقم، سرمادهی و برهم‌کنش رقم و سرمادهی بر وقوع مرحله ۳۰ درصد نوک سبز (شاخص اول) تأثیر معنی‌داری داشت. همچنین بررسی نتایج حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها (جدول ۲) نشان داد که اثر رقم، زمان سرمادهی و برهم‌کنش رقم و سرمادهی بر تشکیل اولین گل (شاخص دوم)، در تمام مراحل مورد بررسی، تأثیر معنی‌داری داشت.

1. Growth Degree Days
2. Growth Degree Hours
3. Least Significant Difference

جدول ۱. آنالیز واریانس اثر تیمارها بر وقوع مرحله ۳۰ درصد نوک سبز در جوانه‌های ارقام بادام در دو زمان مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات	
		سه هفته پس از آغاز تیمار سرمادهی	دو هفته پس از آغاز تیمار سرمادهی
رقم	۴	۰/۱**	۰/۱۶**
سرمادهی	۶	۰/۱۵**	۰/۱۷**
رقم × سرمادهی	۲۴	۰/۰۵**	۰/۰۷**
خطا	۳۱۵	۰/۰۲	۰/۰۲
ضریب تغییرات (درصد)		۸/۳۳	۹/۱۳

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

جدول ۲. تجزیه واریانس اثر تیمارها بر وقوع مرحله اولین گل ارقام بادام در زمان‌های مختلف

منابع تغییر	درجه آزادی	میانگین مربعات زمان پس از آغاز تیمار گرمادهی			
		هفته دوم	هفته سوم	هفته چهارم	هفته پنجم
رقم	۴	۰/۰۵**	۰/۲۱**	۰/۲۹**	۰/۳**
سرمادهی	۶	۰/۰۱**	۰/۰۵**	۰/۰۹**	۰/۱**
رقم × سرمادهی	۲۴	۰/۰۱**	۰/۰۴**	۰/۰۵**	۰/۰۶**
خطا	۳۱۵	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۲
ضریب تغییرات (درصد)		۴/۹۴	۹/۹۷	۱۱/۲۷	۱۱/۱۹

** معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد

۴.۱. ظهور ۳۰ درصد جوانه نوک سبز

نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد در شرایط ۱۰۰ ساعت سرمادهی، در رقم مامایی وقوع مرحله ۳۰ درصد نوک سبز هرگز محقق نشد و از نظر آماری تفاوت معنی‌داری با رقم ربیع وجود نداشت (جدول ۳). اما در سایر ارقام و تیمارهای سرمادهی وقوع مرحله ۳۰ درصد نوک سبز در هفته دوم و سوم به وقوع پیوست. بدین نحو که در زمان دو هفته پس از آغاز تیمار سرمادهی، بیش‌ترین درصد جوانه نوک سبز در رقم شاه‌رود ۱۲ و در ۶۰۰ ساعت سرمادهی وجود داشت. در زمان هفته سوم پس از آغاز تیمار سرمادهی نیز بیش‌ترین درصد جوانه نوک سبز در رقم شاه‌رود ۱۲ در زمان ۶۰۰ و ۷۰۰ ساعت سرمادهی و هم‌چنین در رقم سفید در زمان ۴۰۰ ساعت سرمادهی ثبت گردید (جدول ۳).

۴.۲. درصد ظهور گل

بررسی درصد ظهور گل در زمان‌های مختلف پس از اعمال تیمار گرمادهی نشان داد که ظهور گل، دو هفته پس از آغاز تیمار گرمادهی آغاز شد. به‌نحوی که در هفته دوم رقم مامایی در شرایط ۲۰۰ ساعت سرمادهی، رقم سفید در شرایط ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ ساعت سرمادهی به بیش از یک درصد ظهور گل در شاخه رسیدند (جدول ۴). روند تغییرات ظهور گل در هفته ششم اندازه‌گیری به ثبات رسید و تغییراتی نداشت. لازم به ذکر است رقم سفید در شرایط ۱۰۰ و ۷۰۰ ساعت سرمادهی، شاه‌رود ۷ در شرایط ۲۰۰ و ۳۰۰ ساعت سرمادهی و ربیع در شرایط ۷۰۰ ساعت سرمادهی، هرگز به مرحله یک درصد ظهور گل نرسیدند (جدول ۴).

۴.۳. مدل‌های تعیین نیاز سرمایی از زمان تیمار دهی سرمایی تا ۳۰ درصد نوک سبز شدن جوانه گل

نتایج بررسی مدل ساعات سرمایی نشان داد که کم‌ترین نیاز سرمایی برای وقوع مرحله ۳۰ درصد نوک سبز

جوانه‌ها در رقم ربیع با میانگین ۱۱۷/۵ ساعت و بیش‌ترین نیاز سرمایی در رقم شاهروود ۱۲۰ با میانگین ۳۲۰ ساعت وجود داشت (شکل ۱). در بررسی نتایج توسط مدل یوتا بیش‌ترین و کم‌ترین نیاز سرمایی به‌ترتیب در ارقام شاهروود ۱۲۰ (۳۹۸/۷۵ واحد سرمایی) و ربیع (۱۳۸/۲۵ واحد سرمایی) به ثبت رسید. هم‌چنین در مدل نیاز سرمایی کم نیز رقم شاهروود ۱۲۰ (۳۵۳/۵ واحد سرمایی) بیش‌ترین و رقم ربیع (۱۲۲/۷۵ واحد سرمایی) کم‌ترین نیاز سرمایی را داشتند.

جدول ۳. مقایسه میانگین اثر عوامل مورد آزمایش بر وقوع مرحله ۳۰ درصد نوک سبز در جوانه‌ها در زمان‌های مختلف

سرمادهی	رقم	درصد جوانه‌های نوک سبز دو هفته پس از آغاز تیمار سرمادهی	درصد جوانه‌های نوک سبز سه هفته پس از آغاز تیمار سرمادهی
۱۰۰	مامایی	n-p ۱۵/۷۵	k ۲۳/۳۵
	ربیع	l-p ۳۱/۱	h-k ۴۱/۱۲
	سفید	g-l ۴۴/۴۶	g-k ۴۴/۴۶
	شاهروود ۱۲۰	i-m ۴۱/۶۶	f-j ۴۶/۲
	شاهروود ۷۰	l-p ۳۰/۷۴	jk ۳۰/۸۷
۲۰۰	مامایی	g-l ۴۴/۵۳	d-i ۵۵/۳۷
	ربیع	i-m ۳۹/۵۶	f-k ۴۴/۹۶
	سفید	g-l ۴۵/۰۹	f-k ۴۵/۰۹
	شاهروود ۱۲۰	c-h ۶۲/۳۵	ab ۸۳/۸۴
	شاهروود ۷۰	l-p ۳۱/۳۸	f-j ۴۶/۵۵
۳۰۰	مامایی	a-f ۶۹/۲۹	ab ۸۸/۷
	ربیع	c-z ۵۳/۹۵	ab ۸۸/۹
	سفید	a-c ۷۴/۳۴	a-d ۷۶/۰۵
	شاهروود ۱۲۰	d-k ۵۳/۰۶	ab ۸۶/۶۷
	شاهروود ۷۰	f-l ۴۸/۶۸	b-f ۶۷/۶۲
۴۰۰	مامایی	a-e ۶۹/۳۷	a-d ۷۶/۸۷
	ربیع	m-p ۲۳/۳	i-k ۳۵/۲۷
	سفید	ab ۸۵/۴	a ۹۱/۷۴
	شاهروود ۱۲۰	h-m ۴۲/۲۳	a-e ۷۳/۸۸
	شاهروود ۷۰	i-m ۴۰/۰۴	c-h ۶۰/۰۱
۵۰۰	مامایی	e-l ۴۸/۷۴	a-c ۸۰/۲۵
	ربیع	k-o ۳۳/۰۴	h-k ۴۰/۹۵
	سفید	j-n ۳۴/۷۲	h-k ۴۰/۶۲
	شاهروود ۱۲۰	l-p ۳۰/۲۵	f-j ۴۹/۵۶
	شاهروود ۷۰	op ۱۲/۵	h-k ۴۴/۰۸
۶۰۰	مامایی	a-d ۷۳/۴۸	a-c ۸۱/۴۲
	ربیع	j-n ۳۴/۶۹	f-j ۵۰/۳۵
	سفید	i-m ۳۹/۳۴	b-g ۶۶/۹۹
	شاهروود ۱۲۰	a ۸۸/۸۶	a ۹۲/۱۶
	شاهروود ۷۰	c-i ۵۷/۲۸	ab ۸۵/۷۵
۷۰۰	مامایی	c-g ۶۴/۳۷	ab ۸۸/۳۱
	ربیع	p ۱۱/۵۳	f-k ۴۵/۶۹
	سفید	n-p ۱۷/۵۸	f-k ۴۴/۸۸
	شاهروود ۱۲۰	b-f ۶۸/۱۱	a ۹۲/۷۷
	شاهروود ۷۰	j-n ۳۴/۸۳	e-j ۵۲/۷۳

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند.

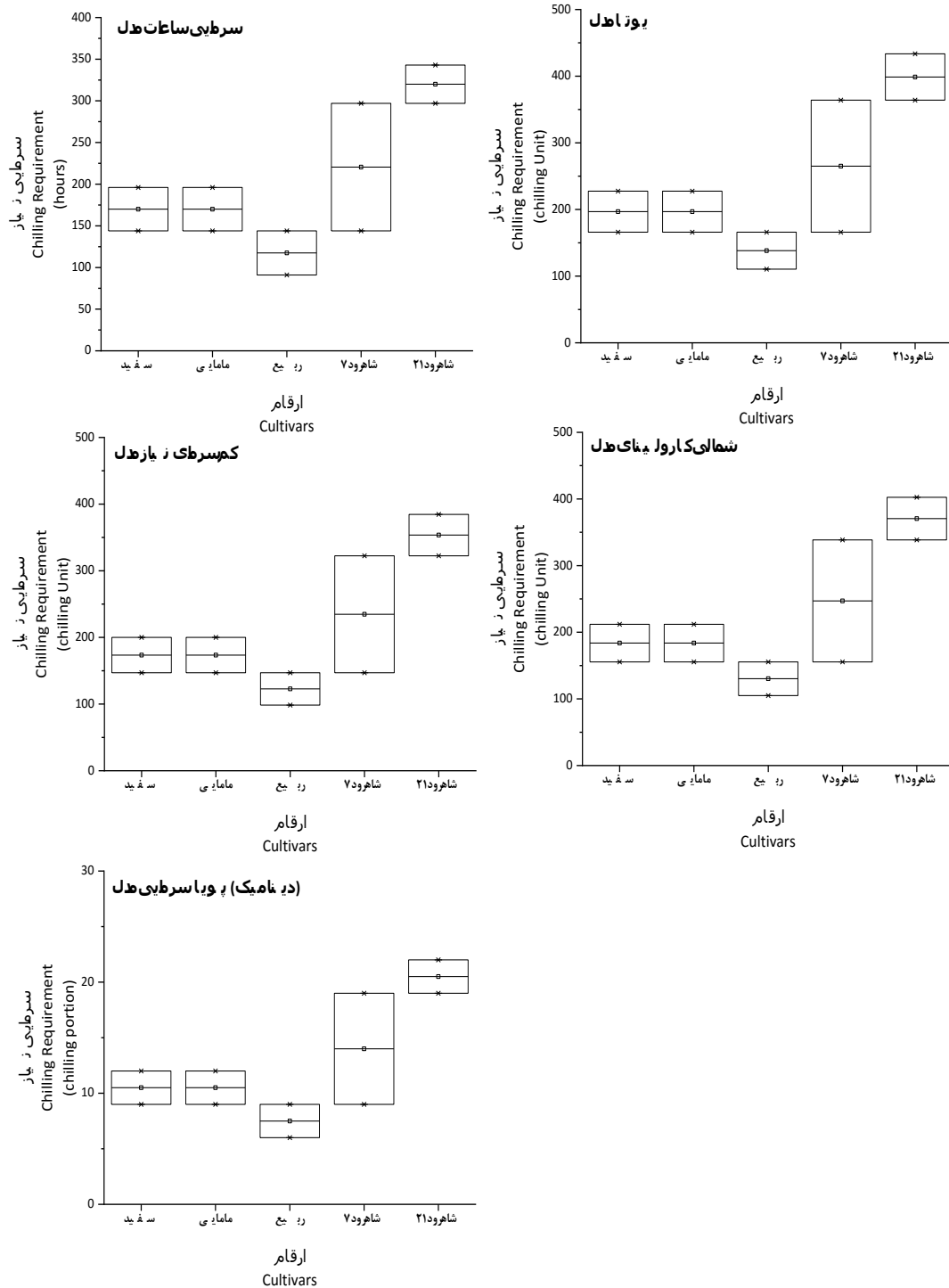
جدول ۴. مقایسه میانگین اثر عوامل مورد آزمایش بر درصد ظهور گل در زمان‌های مختلف

زمان پس از آغاز تیمار گرمادهی					رقم	سرمادهی
هفته ششم	هفته پنجم	هفته چهارم	هفته سوم	هفته دوم		
۲/۹۴ g-j	۲/۹۴ g-i	۲/۹۴ ef	۲/۹۴ d-f	۰ C	مامایی	۱۰۰
۵/۹۸ c-j	۵/۹۸ c-i	۵/۹۸ b-f	۵/۹۸ c-f	۰ C	ربیع	
۰/۷ ij	۰/۷ i	۰/۷ f	۰/۷ f	۰/۷ C	سفید	
۷/۹۸ c-j	۷/۹۸ c-i	۷/۹۸ b-f	۷/۹۸ a-e	۰ C	شاهرود ۱۲	
۰ j	۰ i	۰ f	۰ f	۰ C	شاهرود ۷	
۱۴/۵۴ a-d	۱۴/۵۴ a-d	۱۴/۵۴ ab	۱۴/۵۴ a	۲/۹۲ ab	مامایی	۲۰۰
۰/۹۸ ij	۰/۹۸ i	۱/۰ f	۰/۵۴ f	۰ C	ربیع	
۴ e-j	۴ e-i	۴ c-f	۴ c-f	۴ A	سفید	
۸/۹۲ b-j	۸/۹۲ b-i	۸/۹۲ b-f	۸/۹۲ a-d	۰ C	شاهرود ۱۲	
۰/۸۴ ij	۰/۲۵ i	۰/۰۸ f	۰ f	۰ C	شاهرود ۷	
۱۸/۰۴ ab	۱۸/۰۴ ab	۱۳/۵۵ a-c	۱/۷۷ ef	۰ C	مامایی	۳۰۰
۱۵/۳ a-c	۱۴/۹۴ a-c	۱۴/۷۸ ab	۳/۷۱ c-f	۰ C	ربیع	
۱۳/۶۱ a-e	۱۳/۶۱ a-e	۱۳/۶۱ a-c	۹/۰۵ a-d	۱/۳۶ Bc	سفید	
۹/۰۷ b-j	۹/۵۷ b-i	۸/۴۹ b-f	۴/۹۳ c-f	۰ C	شاهرود ۱۲	
۰ j	۰ i	۰ f	۰ f	۰ C	شاهرود ۷	
۹/۰۹ b-j	۹/۰۹ b-i	۹/۰۹ b-f	۲/۲۹ ef	۰/۲۴ C	مامایی	۴۰۰
۱۱/۰۳ b-h	۱۱/۰۳ b-h	۱۱/۰۳ b-e	۰ f	۰ C	ربیع	
۳/۸۲ e-j	۳/۸۲ e-i	۳/۸۲ d-f	۳/۸۲ c-f	۳/۸۲ A	سفید	
۰/۳ ij	۰/۳ i	۰/۳ f	۰ f	۰ C	شاهرود ۱۲	
۰ j	۰ i	۰ f	۰ f	۰ C	شاهرود ۷	
۱۱/۴۸ b-g	۱۱/۴۸ b-g	۱۱/۴۸ b-e	۹/۷۲ a-c	۰ C	مامایی	۵۰۰
۰ j	۰ i	۰ f	۰ f	۰ C	ربیع	
۴/۵۳ e-j	۴/۵۳ e-i	۴/۵۳ c-f	۴/۵۳ c-f	۴/۵۳ A	سفید	
۱۲/۰۱ b-g	۱۲/۰۱ b-g	۱۱/۴۶ b-e	۶/۵۳ b-f	۰ C	شاهرود ۱۲	
۲/۴۹ g-j	۲/۴۹ g-i	۲/۴۹ ef	۰ f	۰ C	شاهرود ۷	
۱۲/۹۳ b-f	۱۲/۹۳ b-f	۱۲/۹۳ b-d	۱۲/۹۳ ab	۰/۳۷ C	مامایی	۶۰۰
۲/۶۶ g-j	۲/۶۶ g-i	۲/۶۶ ef	۲/۵۳ d-f	۰/۳۶ C	ربیع	
۴/۷۶ d-j	۴/۷۶ d-i	۴/۷۶ c-f	۳/۲۹ c-f	۰ C	سفید	
۳/۵۲ f-j	۳/۱۲ f-i	۳/۱۲ ef	۱/۸۳ ef	۰ C	شاهرود ۱۲	
۵/۲ d-j	۴/۸۹ d-i	۳/۱ ef	۰ f	۰ C	شاهرود ۷	
۲۳/۲ a	۲۲/۴۸ a	۲۲/۶۶ a	۱۲/۹ ab	۰ C	مامایی	۷۰۰
۰/۱ j	۰/۱ i	۰/۱ f	۰/۱ f	۰ C	ربیع	
۰/۳۳ ij	۰/۳۳ i	۰/۳۳ f	۰ f	۰ C	سفید	
۱۰/۰۵ b-i	۹/۴۳ b-i	۴/۰۹ c-f	۰ f	۰ C	شاهرود ۱۲	
۱/۵ h-j	۱/۵ hi	۰ f	۰ f	۰ C	شاهرود ۷	

در هر ستون میانگین‌هایی که حداقل یک حرف مشترک دارند اختلاف معنی‌داری در سطح احتمال ۵ درصد با استفاده از آزمون حداقل اختلاف معنی‌دار (LSD) ندارند.

در مدل کارولینای شمالی بیش‌ترین و کم‌ترین نیاز سرمایی برای وقوع مرحله ۳۰ درصد نوک سبز جوانه‌ها به ترتیب در ارقام شاهرود ۱۲ با ۳۷۰/۵ واحد سرمایی و ربیع با ۱۳۰/۲۵ واحد سرمایی به ثبت رسید. همچنین در مدل‌های ساعات سرمایی، یوتاه، نیاز سرمایی کم و کارولینای شمالی بیش‌ترین دامنه واکنش به مدت زمان سرمادهی در رقم شاهرود ۷ مشاهده شد و روند تجمع نیاز سرمایی آن نسبت به سایر ارقام کندتر انجام شد (شکل ۱). براساس نتایج به‌دست‌آمده از مدل سرمایی دینامیکی، کم‌نیازترین رقم به سرما و کم‌دامنه‌ترین رقم از نظر واکنش به ساعات سرمادهی، رقم ربیع (هشت سهم سرمایی) می‌باشد. درحالی‌که رقم شاهرود ۱۲ بیش‌ترین نیاز سرمایی (۲۱ سهم سرمایی) و رقم شاهرود ۷

بیش‌ترین دامنه واکنش به مدت زمان سرمادهی را به خود اختصاص دادند (شکل ۱). مشاهدات در مدل‌های مختلف نشان داد که ارقام مامایی و سفید از نظر نیاز سرمایی مشابهند و اختلاف معنی‌داری با یکدیگر ندارند (شکل ۱).

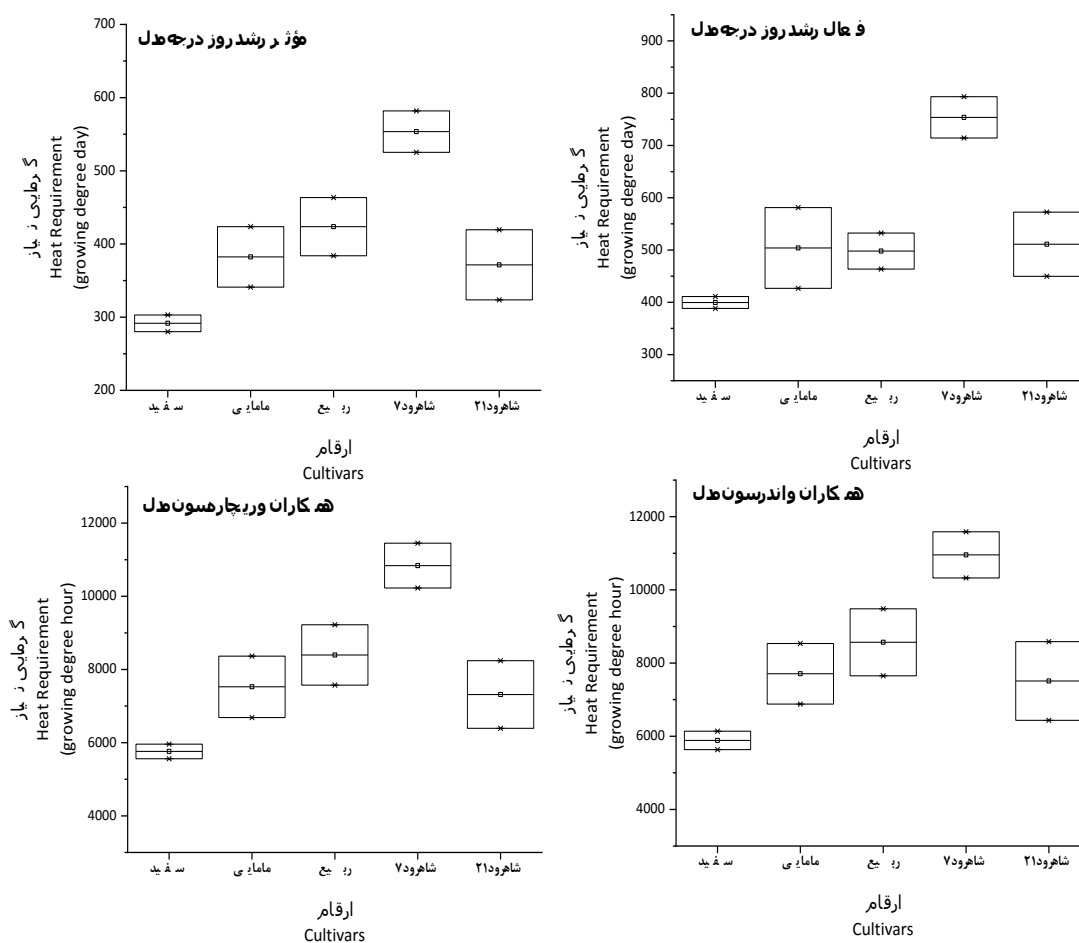


شکل ۱. نیاز سرمایی ارقام بادام مورد بررسی با استفاده از مدل ساعات سرمایی، مدل یوتا، مدل نیاز سرمای کم، مدل کارولینای شمالی و مدل سرمایی پویا

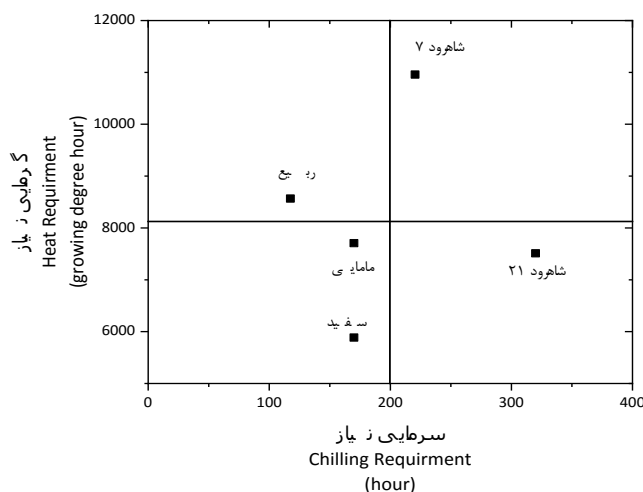
۴.۴. مدل‌های تعیین نیاز گرمایی از ۳۰ درصد نوك سبز شدن تا ظهور اولین گل

بررسی مدل درجه روز رشد مؤثر در تعیین نیاز گرمایی ارقام نشان داد که بیش‌ترین نیاز گرمایی برای ظهور گل در رقم شاهرود ۷ (۵۵۴ درجه روز رشد) و کم‌ترین نیاز گرمایی در رقم سفید (۲۹۲ درجه روز رشد) ثبت شد و کم‌ترین دامنه واکنش به ساعات گرمایی در رقم سفید مشاهده شد (شکل ۲). نتایج حاصل از بررسی نیاز گرمایی ارقام با استفاده از مدل درجه روز رشد فعال نشان داد که از نظر متوسط مقدار نیاز گرمایی برای ظهور گل، ارقام مامایی، ربیع و شاهرود ۱۲ با یکدیگر تفاوت معنی‌داری ندارند. هم‌چنین بیش‌ترین و کم‌ترین نیاز گرمایی به‌ترتیب در ارقام شاهرود ۷ (۷۵۴ درجه روز رشد) و سفید (۴۰۰ درجه روز رشد) مشاهده شد. در این مدل بیش‌ترین دامنه نیاز گرمایی در رقم مامایی وجود داشت و سایر ارقام نیز از این نظر با یکدیگر متفاوت بودند (شکل ۲).

در مدل اندرسون و همکاران و مدل ریچاردسون نیز رقم سفید به‌ترتیب با ۵۸۸۶ و ۵۷۶۱ درجه ساعت رشد، کم‌ترین و رقم شاهرود ۷ به‌ترتیب با ۱۰۹۵۸ و ۱۰۸۳۹ درجه ساعت رشد، بیش‌ترین نیاز گرمایی برای ظهور گل را داشتند. هم‌چنین نتایج بررسی مدل‌های مختلف نشان داد که رقم سفید درمقایسه با سایر ارقام کم‌ترین دامنه نیاز گرمایی را داشت (شکل ۲).



شکل ۲. نیاز گرمایی ارقام بادام مورد بررسی با استفاده از مدل درجه روز رشد مؤثر، مدل درجه روز رشد فعال، مدل اندرسون و همکاران و مدل ریچاردسون و همکاران



شکل ۳. نمایش بای پلات نیاز سرمایی (با استفاده از مدل ساعات سرمایی) و نیاز گرمایی (با استفاده از مدل اندرسون و همکاران) ارقام مختلف بادام. خط افقی نشان دهنده میانگین نیاز گرمایی ارقام و خط عمودی نشان دهنده میانگین نیاز سرمایی ارقام است.

نتایج مربوط به بررسی بای پلات نیاز سرمایی و گرمایی ارقام بادام سفید، مامایی، ربیع، شاهرود ۷ و شاهرود ۱۲ با استفاده از مدل‌های ساعات سرمایی و اندرسون و همکاران نشان داد رقم شاهرود ۱۲ بیشترین نیاز سرمایی و رقم شاهرود ۷ بیشترین نیاز گرمایی را داشتند (شکل ۳). رقم ربیع دارای کمترین نیاز سرمایی (۱۱۷ ساعت) بود اما نسبت به ارقام سفید، مامایی و شاهرود ۱۲ نیاز گرمایی بیشتری داشت. همچنین نتایج نشان داد ارقام سفید و مامایی دارای نیاز سرمایی یکسان بودند، در حالی که نیاز گرمایی رقم مامایی (۷۷۰۷ درجه ساعت رشد) نسبت به رقم سفید (۵۸۸۶ درجه ساعت رشد) بیش‌تر بود.

۵. بحث

یکی از جنبه‌های فیزیولوژیک درختان میوه مناطق معتدله که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی قرار دارند، انباشت کافی سرما در زمستان است (Luedeling *et al.*, 2013). در پژوهش حاضر ارقام بادام مورد بررسی دامنه نیاز سرمایی و گرمایی متفاوتی را نشان دادند و تعداد ساعات متفاوتی دمای ۷-۵ درجه سانتی‌گراد برای شکستن خفتگی جوانه‌ها وجود داشت. بررسی مدل‌های مختلف نشان داد که رقم مامایی نسبت به سایر ارقام نیاز سرمایی کمتری داشت که با نتایج Hadavand *et al.* (2021) مطابقت دارد. نتایج این آزمایش نشان داد در بررسی نیاز سرمایی در همه مدل‌های استفاده شده الگوی یکسانی وجود داشت که می‌تواند به‌علت توانایی نسبی نزدیک مدل‌ها برای تخمین نیاز سرمایی باشد (نکونام و همکاران، ۱۳۹۷). مطالعات گذشته نشان دادند که کمترین خطا و درصد تغییرات جهت بررسی نیاز سرمایی در مدل دینامیکی وجود دارد و مدل‌های ساعات‌های سرمایی و یوتا در رتبه‌های بعدی قرار می‌گیرند (نکونام و همکاران، ۱۳۹۷). به‌تازگی، مدل دینامیکی به‌علت کارایی بالا در سطح وسیعی گسترش یافته است (Cesaraccio *et al.*, 2004). این مدل میزان تجمع سرما را در بخش‌های سرمایی با استفاده از دامنه دمایی از ۱/۵ تا ۱۲/۵ محاسبه می‌کند. در این مدل از بین رفتن نیاز سرمایی در نوسانات دمایی گرم رخ می‌دهد (Cesaraccio *et al.*, 2004).

در پژوهشی Egea *et al.* (2003) با بررسی نیاز سرمایی و گرمایی ارقام بادام براساس آمار دمای ساعتی مشخص نمودند که ارقام بادام بین ۵۵۰۰ تا ۷۸۰۰ درجه ساعت رشد نیاز دارند. رقم مامایی دارای نیاز سرمایی کم و نیاز گرمایی

بالا و رقم شاه‌رود ۱۲ دارای نیاز سرمایی بالا و نیاز گرمایی پایین بود. مطالعات قبلی نشان دادند بین نیاز سرمایی برای شکستن خواب و نیاز گرمایی موردنیاز برای گلدهی همبستگی معکوس وجود دارد (Hadavand *et al.*, 2016). زمانی که نیاز سرمایی به اندازه کافی تأمین شده باشد، میزان نیاز گرمایی کم‌تر می‌شود و معمولاً درختانی که در معرض ساعات سرمایی کم‌تری قرار می‌گیرند دارای نیاز گرمایی بالاتری هستند (Ruiz *et al.*, 2007). در این رابطه Citadin *et al.* (2001) گزارش کردند که هنگامی یک رقم سرمای بیشتری دریافت می‌کند نیاز گرمایی گلدهی کاهش می‌یابد با این وجود ممکن است استثناهایی وجود داشته باشد. همچنین مطالعات گزارش شده که تداوم وجود سرما پس از شکستن رکود در درختان میوه باعث کاهش نیاز گرمایی برای شکوفایی جوانه‌ها خواهد شد (Compy *et al.*, 2011b).

در شرایط آب‌وهوای سرد اسپانیا در ارقام بادام، نقش نیاز گرمایی در تنظیم زمان گلدهی با اهمیت‌تر از نیاز سرمایی عنوان شده (Alonso *et al.*, 2005) اما در جنوب‌شرقی اسپانیا زمان گلدهی در برخی ارقام بادام بیش‌تر توسط نیاز سرمایی تعیین شده است (Egea *et al.*, 2003). همچنین Rattigan & Hill (1988) زمان گلدهی بادام را با استفاده از میزان نیاز سرمایی و نیاز گرمایی پیش‌بینی کردند و بیان کردند که می‌توان زمان گلدهی ارقام بادام در یک محل را با نیاز سرمایی و گرمایی به‌دست‌آمده در مکان‌های دیگر با شرایط آب‌وهوایی متفاوت محاسبه کرد. بنابراین زمان گلدهی به شرایط آب‌وهوایی زمستان جهت شکستن رکود درونی و میزان اختلاف در نیاز سرمایی و گرمایی ارقام بستگی دارد. با توجه به بررسی‌های به‌عمل‌آمده، برای تعیین نیاز سرمایی و گرمایی در شرایط آزمایشگاهی و انطباق آن با شرایط آب‌وهوایی منطقه سامان، به‌ترتیب مدل‌های ساعات سرمایی و اندرسون و همکاران به‌عنوان مناسب‌ترین مدل‌های نتیجه‌گیری انتخاب شدند. مهم‌ترین دلیل در انتخاب مدل ساعات سرمایی، این است که نیاز سرمایی بادام نیز مانند سایر درختان میوه مناطق معتدله، بیش‌تر در مواجهه با دماهای بین صفر تا ۷/۲ درجه سانتی‌گراد تأمین می‌گردد. مهم‌ترین دلایل در انتخاب مدل اندرسون و همکاران در این بخش جهت تعیین میزان نیاز گرمایی این است که اولاً در این مدل مقدار عددی به‌عنوان فاکتور تنش در نظر گرفته می‌شود که با توجه به شرایط جوی منطقه احتمال وقوع تنش‌هایی نظیر سرما و یخبندان بهاره وجود دارد که می‌توان در فرمول مذکور لحاظ نمود، همچنین در این روش بیش‌ترین تجمع نیاز گرمایی در دماهای بین چهار تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد (صفر فیزیولوژیکی بادام ۴ تا ۴/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد) تأمین می‌گردد.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بررسی اثر متقابل نیاز سرمایی و درصد شکوفایی جوانه‌ها در این مطالعه نشان داد رقم مامایی و سفید دارای کم‌ترین نیاز سرمایی و ارقام شاه‌رود ۱۲ و ۷ دارای بیش‌ترین نیاز سرمایی بودند. در بررسی مدل‌ها به‌منظور بررسی نیاز سرمایی ارقام مختلف، نتایج نشان داد که تمامی مدل‌ها به‌طور تقریباً یکسانی می‌توانند نیاز سرمایی ارقام مختلف در این آزمایش را برآورد کنند، اما در بررسی مدل‌های مختلف برای محاسبه نیاز گرمایی، نتایج متفاوتی وجود داشت. برای تعیین نیاز سرمایی و گرمایی مدل‌های ساعات سرمایی و اندرسون و همکاران به‌عنوان مناسب‌ترین مدل‌ها انتخاب شدند. بر این اساس شاه‌رود ۱۲ بیش‌ترین نیاز سرمایی و شاه‌رود ۷ بیش‌ترین نیاز گرمایی را داشتند و در رقم ربیع کم‌ترین نیاز سرمایی و در رقم سفید کم‌ترین نیاز گرمایی مشاهده شد.

۷. تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از گروه باغبانی دانشگاه شهرکرد به‌دلیل فراهم‌کردن شرایط لازم جهت اجرای این آزمایش، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

۹. منابع

نکونام، فاطمه؛ فتاحی‌مقدم، محمدرضا و زمانی، ذبیح‌اله (۱۳۹۷). ارزیابی نیاز سرمایی و حرارتی جوانه‌های گل در سه رقم تجاری زردآلو با استفاده از مدل‌های مختلف. *مجله علوم باغبانی ایران*، ۴۹ (۱)، ۳۵-۳۶.

References

- Alonso, J., Anson, J., Espiau, M., & Sociasi, C. R. (2005). Determination of endodormancy break in almond flower buds by a correlation model using the average temperature of different day intervals and its application to the estimation of chill and heat requirements and blooming date. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 130, 308-318.
- Anderson, J. L., Richardson, E. A., & Kesner, C. D. (1985). Validation of chill unit and flower bud phenology models for 'Montmorency' sour cherry. *Acta Horticulturae*, 184, 71-78.
- Ballester, J., Socias, I., Company, R., Arus, P., & Devicente M. C. (2001). Genetic mapping of a major gene delaying blooming time in almond. *Plant Breeding*, 120, 268-270.
- Bassi, D., Barrolini, S., & Viti, R. (2006). Recent advances on environmental and physiological challenges in apricot growing. *Acta Horticulturae*, 717, 23-31.
- Cesaraccio, C., Spano, D., Snyder, R. L., & Duce, P. (2004). Chilling and forcing model to predict bud-burst of crop and forest species. *Agricultural and Forest Meteorology*, 126, 1-113.
- Citadin, I., Raseira, M. C. B., Herter, F. G., & Silva, J. B. (2001). Heat requirement for blooming and leafing in peach. *HortScience*, 36, 305-307.
- Covert, M. M. (2011). *The influence of chilling and heat accumulation on bloom timing, bloom length and crop yield in almonds (Prunus dulcis Mill)*. Master dissertation. under the supervision of Mary Pedersen. San Luis Obispo: California Polytechnic State University, Department of Horticulture and Crop Science. <https://doi.org/10.15368/theses.2011.222>.
- Campoy, J. A., Ruiz, D., Cook, N. G., Allderman, L., & Egea, J. (2011). High temperatures and time to budbreak in low chill apricot 'Palsteyn'. Towards a better understanding of chill and heat requirements fulfillment. *Scientia Horticulturae*, 129, 649-655.
- Egea, J., Ortega, E., Martinez-Gomez, P., & Dicenta, F. (2003). Chilling and heat requirements of almond cultivars for flowering. *Environmental and Experimental Botany*, 50, 79-85.
- Erez, A., Fishman, S., Linsley-Noakes, G. C., & Allan, P. (1989, September). *The dynamic model for rest completion in peach buds*. In Second International Symposium on Computer Modeling in Fruit Research and Orchard Management, 165-174. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.1990.276.18>.
- Gilreath, P. R., & Buchanan, D. W. (1981). Rest prediction model for low-chilling "Sungold" nectarine. *American Society for Horticultural Sciences*, 106, 426-429.
- Glozer, K., & Grant, J. A. (2005). Use of the Dynamic Model and Chill Portions to time chemical rest-breaking treatments. In *"Bing" sweet cherry*. edited by Board, C. C. A. Novato: University of California Cooperative Extension.
- Hadavand, N., Asna-Ashari, M., Imani, A., & Ershadi, A. (2021). Investigation and estimation of chill and heat requirements of flower buds of some promising almond genotypes and cultivars. *Journal of Plant Process and Function*, 45(10), 329-315.
- Luedeling, E., Kunz, A., & Blanke, M. M. (2013). Identification of chilling and heat requirements of cherry trees- a statistical approach. *International Journal of Biometeorology*, 57(5), 679-689.

- Maulión, E., Valentini, G. H., Kovalevski, L., Prunello, M., Monti, L. L., Daorden, M. E., Quaglino, M., & Cervign, G. D. L. C. (2014). Comparison of methods for estimation of chilling and heat requirements of nectarine and peach genotypes for flowering. *Scientia Horticulturae*, 177, 112-117.
- Nekoonam, F., Fattahi Moghaddam, M., & Zamani, Z. (2018). Evaluation of chilling and heat requirements of flower buds in three commercial apricot cultivars by using different models. *Iranian Journal of Horticultural Science*, 49(1), 25-36. (In Persian).
- Polito, V. S. (2009). *Dormancy and flowering in tree-crop species*. Davis: UC Davis Plant Sciences.
- Rattigan, K., & Hill, S. J. (1988). Relationship between temperature and flowering in almond: effect of location. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, 27, 905-908.
- Richardson, E. A., Seeley, S. D., & Walker, D. R. (1974). A model for estimating the completion of rest for "Red haven" and "Alberta" Peach Trees. *Horticultural Science*, 9, 331-332.
- Ruiz, D., Campoy, J. A., & Egea, J. (2007). Chilling and heat requirements of apricot cultivars for flowering. *Environmental and Experimental Botany*, 61, 254-263.
- Saure, M. C. (1985). Dormancy Release in Deciduous Fruit Trees. In *Horticultural Reviews*. edited by Janick, J. New Jersey: John Wiley and Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118060735.ch6>.
- Scorza, R., & Okie, W. R. (1990). Peaches (*Prunus persica* L. Batsch). *Acta Horticulturae*, 290, 177-231.
- Shaultout, A. D., & Unrath, C. R. (1983). Rest completion prediction model for *Starkrimson Delicious* apples. *American Society for Horticultural Sciences*, 108, 957-963.
- Zhang, J., & Taylor, C. (2011). The dynamic model provides the best description of the chill process on "Sirora" pistachio trees in Australia. *Horticultural Science*, 46(3), 420-425.

Table of Contents

■ Effect of nitrogen splitting and supplemental irrigation on yield, yield components, and oil percentage of sunflower Abdollah Safari, Ali Nakhzari Moghaddam, Ali Rahemi Karizaki, Mohammad Salahi Farahi	521
■ Effect of Biochar and Biosulfur on grain yield and some ecophysiological traits of rapeseed (<i>Brassica napus</i> L.) under drought stress conditions in winter planting Mohsen Karimi Movahedi, Gholam Abbas Akbari, Gholam Ali Akbari, Fatemeh Benakashani, Mohammad Reza Ardakani	533
■ Study of the seed priming effect of different barley (<i>Hordeum vulgare</i>) cultivars on various emergence characteristics Moslem Heydari, Mehrdad Chaichi	543
■ Investigate the effect of drought stress on root and shoot characteristics of safflower genotypes (<i>Carthamus tinctorius</i> L.) Hamid Jabbari, Majid Gholam Hosseini, Mohammad Bagher Valipour, Mohammad Reza Nazari, Amir Hasan Omid, Habib Tashakori Meymand	557
■ Genetic evaluation of bread wheat spike length in diverse population derived from Roshan-D-01 line × Roshan cultivar Maryam Dorrani-Nejad, Ali Kazemi Pour, Mohammad Ghader Ghaderi, Ali Akbar Maghsoudi Moud, Roohollah Abdoshahi	575
■ Estimating maize canopy nitrogen content using aerial multispectral remote sensing by unmanned aerial vehicle Nikrooz Bagheri, Maryam Rahimi Jahangirlou, Mehryar Jaberi Aghdam	587
■ The effect of inoculation with two mycorrhizal species on fractionation and uptake of cadmium in presian clover Marzieh Mowlavi Sorond, Jalal Sadeghi, Amir Lakzian	603
■ Efficiency of using gibberellic acid hormone on grain yield performance of imported cultivars faba bean by GGE-biplot method Mohammadreza Dehghani, Mozghan Hashemi, Maryam Dahajipour Heidarabadi, Shahram Mohammadi	619
■ Investigating the agronomic value of two new bean cultivars applying for commercialization Babak Darvishi, Enayat Rezvani, Hosein Sadeghi, Mostafa Shakeri, Hamed Nasiri Vatan, Mohammad Kavand, Shamsollah Yenkeje Farahani, Mehran Sharafizad	633
■ Effect of foliar application of Magnesium sulfate and Manganese sulfate on yield and some quantitative traits of Agria cultivar Potato Morteza Barmaki, Damoon Rajabzadeh, Khadijeh Aghaeifard	651
■ Effect of putrescine on dried flower yield and essential oil components changes of Chamomile Plants (<i>Matricaria chamomilla</i> L.) under different moisture regimes Hossein Nazari, Ali Naderi Arefi	669
■ Effect of plant density, trifluralin and mechanical control on weed control and fennel yield in Khuzestan province Mohammad Reza Baghbani, Abdolreza Siapoosh, Ali Reza Shafeinia, Elham Elahifard	685
■ Investigating the effect of seed priming and foliar application of seaweed extract and salicylic acid on thymus under drought stress Faezeh Samandari Bahr Aseman, Anahita Rashtian, Afagh Tabandeh Saravi, Mojtaba Soleimani Sardo	703
■ The effect of <i>Trichoderma harzianum</i> on the antioxidative traits of <i>Ocimum basilicum</i> L. under different irrigation regimes Mina Amani, Saeideh Alizadeh-Salteh, Mohsen Sabzi-Nojadeh, Mehdi Younessi-Hamzekhanlu	719
■ The effect of drought and heavy metal stresses on growth characteristics, morphology and seed weight of quinoa plant Fatemeh Mirzaei, Mohammad Rafeiolhossaini, Nafiseh Rangzan, Mehdi Amiryousofi	737
■ Evaluation of phytochemical traits in different ecotypes of marshmallow (<i>Althaea</i> spp.) Amin Arjmand, Mohsen Ebrahimi, Mohamad Reza Bihamta, Narges Moradi	755
■ The effect of salinity stress and foliar application of nano-fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of quinoa forage Faezeh Heidari, Jalal Jalilian, Esmail Gholinezhad	769
■ The effect of culture media on some morphophysiological characteristics and nutritional value of (<i>Agaricus subrufescens</i>) Razieh Khodsiani, Mehrdad Jafarpour	787
■ Evaluation of the practical methods of complementary pollination on quality of kiwifruit cv. Hayward Mohammad Ali Shiri, Malek Ghasemi	807
■ Investigation of phenology and estimation of flower buds chill and heat requirements of some commercial almond cultivars using different models Jafar Biabani, Abdolrahman Mohammadkhani, Masoud Fattahi	825

In the name of God, the Beneficent, The Merciful

Journal of Crops Improvement

College of Abouraihan – University of Tehran

Vol. 25

No. 3

Summer 2023

Publisher

University of Tehran

Director in Chief

Ali Izadi Darbandi

Editor in Chief

Iraj Allahdadi

Editorial Board

H. Alizadeh	Professor, Faculty of Agricultural Sciences and Engineering, University of Tehran
B. Ehdaie	Professor, Department of Botany & Plant Sciences, College of Natural and Agricultural Sciences, University of California, USA
E. Fallahi	Professor, Parma Research and Extension Center, College of Agriculture, University of Idaho, Idaho, USA
A. Izadi Darbandi	Associate Professor, College of Aboureihan, University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran
Sh. Khanizadeh	Plant Breeder, Physiologist and Statistician, Agriculture and Agri-Food, Ottawa, Ontario, Canada
M. R. Moradi-Telavat	Associate Professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, Khuzestan Agricultural Sciences and Natural Resources University, Mollasani, Khuzestan
S. M. M. Mortazavian	Associate Professor, College of Aboureihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran
H. Ramshini	Associate Professor, College of Aboureihan, University of Tehran, Pakdasht, Iran
H. R. Roosta	Professor, Dept. of Horticultural Science, Vali-e-Asr University Of Rafsanjan
F. Sefidkon	Professor, Research Department of Medicinal Plants, Research Institute of Forests and Rangelands, Tehran, Iran

Editorial Secretary: Rezvaneh Momeni

Address: The editorial office, College of Abouraihan, Pakdasht, Tehran, Iran, Postal Code:

E-mail: abujournal@ut.ac.ir, **Website:** <https://jci.ut.ac.ir>, **Tel:** +98 (21) 36040904

University of Tehran Electronic Journals Dtabase: <http://journals.ut.ac.ir>

The articles are indexed in regional Infromation Center for Science and Technology (ISC) (<https://jcr.isc.ac>) and the Scientific Information Center of the Scientific Information Database (<https://www.sid.ir>) and the database of the country's publications (<https://www.magiran.com>) are indexed.

Journal of Crops Improvement



College of Aburairhan
University of Tehran

Vol. 25

No. 3

Summer 2023

Print ISSN: 2008-8337

Online ISSN: 2345-6957

- **Effect of nitrogen splitting and supplemental irrigation on yield, yield components, and oil percentage of sunflower**
Abdollah Safari, Ali Nakhzari Moghaddam, Ali Rahemi Karizaki, Mohammad Salah Farahi 521
- **Effect of Biochar and Biosulfur on grain yield and some ecophysiological traits of rapeseed (*Brassica napus* L.) under drought stress conditions in winter planting**
Mohsen Karimi Movahedi, Gholam Abbas Akbari, Gholam Ali Akbari, Fatemeh Benakashani, Mohammad Reza Ardakani 533
- **Study of the seed priming effect of different barley (*Hordeum vulgare*) cultivars on various emergence characteristics**
Moslem Heydari, Mehrdad Chaichi 543
- **Investigate the effect of drought stress on root and shoot characteristics of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.)**
Hamid Jabbari, Majid Gholam Hosseini, Mohammad Bagher Valipour, Mohammad Reza Nazari, Amir Hasan Omid, Habib Tashakori Meymand 557
- **Genetic evaluation of bread wheat spike length in diverse population derived from Roshan-D-01 line × Roshan cultivar**
Maryam Dorrani-Nejad, Ali Kazemi Pour, Mohammad Ghader Ghaderi, Ali Akbar Maghsoudi Moud, Roohollah Abdoshahi 575
- **Estimating maize canopy nitrogen content using aerial multispectral remote sensing by unmanned aerial vehicle**
Nikrooz Bagheri, Maryam Rahimi Jahangirlou, Mehryar Jaber Aghdam 587
- **The effect of inoculation with two mycorrhizal species on fractionation and uptake of cadmium in presian clover**
Marzieh Mowlavi Sorond, Jalal Sadeghi, Amir Lakzian 603
- **Efficiency of using gibberellic acid hormone on grain yield performance of imported cultivars faba bean by GGE-biplot method**
Mohammadreza Dehghani, Mozghan Hashemi, Maryam Dahajipour Heidarabadi, Shahram Mohammadi 619
- **Investigating the agronomic value of two new bean cultivars applying for commercialization**
Babak Darvishi, Enayat Rezvani, Hosein Sadeghi, Mostafa Shakeri, Hamed Nasiri Vatan, Mohammad Kavand, Shamsollah Yenkeje Farahani, Mehran Sharafizad 633
- **Effect of foliar application of Magnesium sulfate and Manganese sulfate on yield and some quantitative traits of Agria cultivar Potato**
Morteza Barmaki, Damoon Rajabzadeh, Khadijeh Aghaeifard 651
- **Effect of putrescine on dried flower yield and essential oil components changes of Chamomile Plants (*Matricaria chamomilla* L.) under different moisture regimes**
Hossein Nazari, Ali Naderi Arefi 669
- **Effect of plant density, trifluralin and mechanical control on weed control and fennel yield in Khuzestan province**
Mohammad Reza Baghbani, Abdolreza Siapoosh, Ali Reza Shafeinia, Elham Elahifard 685
- **Investigating the effect of seed priming and foliar application of seaweed extract and salicylic acid on thymus under drought stress**
Faezeh Samandari Bahr Aseman, Anahita Rashtian, Afagh Tabandeh Saravi, Mojtaba Soleimani Sardo 703
- **The effect of *Trichoderma harzianum* on the antioxidative traits of *Ocimum basilicum* L. under different irrigation regimes**
Mina Amani, Saeideh Alizadeh-Salteh, Mohsen Sabzi-Nojaded, Mehdi Younessi-Hamzekhanlu 719
- **The effect of drought and heavy metal stresses on growth characteristics, morphology and seed weight of quinoa plant**
Fatemeh Mirzaei, Mohammad Rafieiohossaini, Nafiseh Rangzan, Mehdi Amiryousofi 737
- **Evaluation of phytochemical traits in different ecotypes of marshmallow (*Althaea* spp.)**
Amin Arjmand, Mohsen Ebrahimi, Mohamad Reza Bihamta, Narges Moradi 755
- **The effect of salinity stress and foliar application of nano-fertilizers on quantitative and qualitative characteristics of quinoa forage**
Faezeh Heidari, Jalal Jalilian, Esmail Gholinezhad 769
- **The effect of culture media on some morphophysiological characteristics and nutritional value of (*Agaricus subrufescens*)**
Razieh Khodsiani, Mehrdad Jafarpour 787
- **Evaluation of the practical methods of complementary pollination on quality of kiwifruit cv. Hayward**
Mohammad Ali Shiri, Malek Ghasemi 807
- **Investigation of phenology and estimation of flower buds chill and heat requirements of some commercial almond cultivars using different models**
Jafar Biabani, Abdolrahman Mohammadkhani, Masoud Fattahi 825