

## فهرست مقالات پژوهشی:

- ۱ تحلیل اقتصادی تولید زیتون با استفاده از تابع کابداگلاس در غرب کشور (مطالعه موردی: شهرستان ایلام)  
مصطفی زبردست، امیر عزیزپناه، رضا یگانه و صادق بهامین
- ۱۱ شبیه سازی جریان هوا در داخل خشک کن های خورشیدی گلخانه ای برای اقلیم منطقه اصفهان  
محمد باقر حیدری وزنامخواستی و حسن غفوری ورزنده
- ۲۱ پیش بینی تولید بیواتانول از ترکیبات لیگنوسلولزی در راکتور بی هوازی با همزن پنوماتیکی- مکانیکی توسط ...  
سیده هدی یوسفیان، رحیم ابراهیمی، بهرام حسین زاده سامانی و علی ملکی
- ۳۱ پایش وضعیت موتور تراکتور ITM285 با بهره گیری از تحلیل صدا و پارامترهای عملکردی موتور  
مجید حسنی، محمد حسین عباسپور فرد و امید دوستی ایرانی
- ۴۳ طراحی، ساخت و ارزیابی خشک کن سبز ترکیبی خورشیدی- بازیافت حرارتی محصول زرشک  
مریم اسلامی، سجاد رستمی، بهرام حسین زاده سامانی، رحیم ابراهیمی و مصطفی کیانی ده کیانی
- ۵۵ ارزیابی سامانه تعیین موقعیت خودرهیاب غیرماهواره ای و مقایسه با گیرنده GNSS به منظور مسیریابی بهینه تراکتور  
محمد صدفی، سعید مینایی، حسین باخدا و جعفر امیری پریان
- ۶۵ پیش بینی برخی ویژگی های کیفی میوه پرتقال با استفاده از روش غیرمخرب طیفسنجی NIR-Vis  
کریم گرامی، حسین بهفر، بهاره جمشیدی و شهین زمردی
- ۷۷ ارزیابی تأثیر رطوبت و نوع کمباین برداشت بر افت های کمی و کیفی برنج رقم چمپا  
نعیم لویمی، محسن سلیمانی و محمد جواد بهوندی
- ۹۱ بررسی تأثیر روش های کشت مستقیم و عمق کشت بر روی شاخص های یکنواختی استقرار بذر و برخی ...  
مناطهماسبی، ابوالفضل هدایتی پور و محمد گهری
- ۱۰۵ فراتحلیل اثر خاک ورزی حفاظتی بر عملکرد گندم آبی در ایران  
احمد حیدری

بسم الله الرحمن الرحيم

# نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی

نشریه علمی

جلد ۱۱ / شماره ۴ / پیاپی ۲۵ / زمستان ۱۴۰۱

شاپا: ۶۹۰۶-۲۳۴۵ (چاپی)

شاپا: ۰۷۰۵-۲۷۸۳ (آنلاین)

صاحب امتیاز: دانشگاه شهرکرد

مدیر مسئول: سید حسن طباطبائی

سر دبیر: رحیم ابراهیمی

## هیأت تحریریه:

مهندسی مکانیک و انرژی	استاد دانشگاه شهرکرد	رحیم ابراهیمی
مهندسی مکانیک بیوسیستم - طراحی ماشین‌های کشاورزی	دانشیار دانشگاه تهران	سید رضا حسن‌بیگی بیدگلی
مهندسی مکانیک بیوسیستم - طراحی سامانه‌های تبدیلی غیرحرارتی	دانشیار دانشگاه شهرکرد	بهرام حسین‌زاده سامانی
مهندسی مکانیک بیوسیستم - طراحی ماشین‌های کشاورزی	دانشیار دانشگاه شهرکرد	سجاد رستمی کندری
مهندسی مکانیک بیوسیستم - کشاورزی دقیق	استاد دانشگاه محقق اردبیلی	یوسف عباسپور گیلانده
مهندسی مکانیک بیوسیستم - انرژی	استاد دانشگاه تهران	حسین میلی
مهندسی مکانیک	استاد دانشگاه تهران	سید سعید محتسبی
مهندسی مکانیک بیوسیستم - آکوستیک و ارتعاشات در حوزه مهندسی فاکتورهای انسانی	دانشیار دانشگاه شهرکرد	علی ملکی
مهندسی مکانیک بیوسیستم - کشاورزی دقیق	استاد دانشگاه صنعتی اصفهان	عباس همت

ویراستار علمی: مجید لشگری

ویراستار انگلیسی: بهرام حسین‌زاده سامانی

صفحه آرایی: فاطمه قانی

شمارگان: ۲۰۰ نسخه

مدیر داخلی: علی ملکی

ویراستار فارسی: امید امیدی ارجنکی

کارشناس: فاطمه قربانی‌زاده

ناشر: دانشگاه شهرکرد

این نشریه طی شماره نامه ۳/۱۸/۲۶۵۹ به تاریخ ۱۳۹۵/۰۱/۱۶ از کمیسیون بررسی نشریات علمی کشور دارای اعتبار علمی - پژوهشی بوده و در جدیدترین ارزیابی سال ۱۴۰۰ توسط کمیسیون مذکور، موفق شده است رتبه B را دریافت نماید.  
مقالات مجله پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی در Magiran, SID, ISC, Civilica, CABI و Google Scholar نمایه می‌شود.

آدرس دفتر مجله: شهرکرد، دانشگاه شهرکرد، اداره انتشارات و مجلات علمی دانشگاه شهرکرد، نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی

کد پستی: ۸۸۱۸۶-۳۴۱۴۱ صندوق پستی: ۱۱۵ تلفن: ۰۳۸-۳۲۳۲۳۴۰ داخلی ۲۷۸۴ نمایه: ۳۸-۳۲۳۲۱۶۶۹

وبگاه: <http://jrmam.sku.ac.ir/> پست الکترونیک: [jrmam@journals.sku.ac.ir](mailto:jrmam@journals.sku.ac.ir)

## اسامی داوران مقالات این شماره (به ترتیب حروف الفبا)

نام خانوادگی	نام	نام خانوادگی	نام
قاسمی مبتکر	حسن	ابراهیمی	رحیم
کرمانی	علی ماشالله	ابونجمی	محمد
کیانی	حسن	احمدی مقدم	پرویز
گر جیان	شیوا	امیدی ارجنکی	امید
لشگری	مجید	ایمان مهر	عبداله
لطفعلیان دهکردی	امین	جعفری	علی
محمد رزداری	آیت	جمشیدی	بهاره
ملکی	علی	حسین زاده سامانی	بهرام
مومنی	داود	حیدری سلطان آبادی	محسن
نادری بلداجی	مجتبی	رستمی	سجاد
نبوی پله سرایی	اشکان	شمس آبادی	حسینعلی
نصیری	سید مهدی	شهبازی	فیض اله
هوشیار	احسان	طباطبایی کلور	رضا
		قاسم خانی	حمید



## راهنمای تهیه مقاله

نشریه "پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی"، در تمامی موضوعات طراحی ماشین‌های کشاورزی و صنایع غذایی، انرژی‌های تجدیدپذیر و حفظ محیط زیست، مکانیزاسیون کشاورزی و کشاورزی دقیق، مقالات پژوهشی را که قبلاً در نشریات علمی به چاپ نرسیده، و یا برای درج در آن‌ها ارسال نشده باشد، برای بررسی و داوری پذیرفته و در صورت تأیید، به ترتیب اولویت وصول چاپ می‌کند. پژوهش‌هایی که در چارچوب گزارش‌های پژوهشی یا در سمینارها و کنفرانس‌های علمی ارائه گردیده نیز در این نشریه قابل بررسی و چاپ است.

مسئولیت مقاله بر عهده شخصی است که مقاله را برای نشریه ارسال می‌کند و کلیه مکاتبات با وی انجام خواهد شد. دانشجویان کارشناسی ارشد و دکتری نیز برای ارسال مقاله مستخرج از پایان‌نامه خود، باید موافقت کتبی استاد یا استادان راهنمای خود را کسب کرده باشند.

مقالات باید به صورت دو ستونی روی صفحه‌های سفید بدون آرم و در ابعاد ۲۹×۲۱ سانتی‌متر (A4)، با حفظ ۲/۵ سانتی‌متر حاشیه از هر چهار طرف تهیه شود. عرض هر ستون برابر ۸/۲ سانتی‌متر و فاصله بین دو ستون ۰/۶ سانتی‌متر است به صورت تایپ رایانه‌ای (متن با فونت نازنین ۱۲ و عناوین اصلی به صورت Bold) و حداکثر در ۱۲ صفحه تنظیم شود. همچنین لازم است مقاله حتماً در فایل template که در سایت مجله موجود است و طبق تنظیمات آن تهیه و از طریق سامانه نشریه به آدرس <http://jrmam.sku.ac.ir/> ارسال گردد.

### ترتیب و شرح قسمت‌های مختلف مقاله:

مقالات ارسالی شامل برگ مشخصات مقاله، عنوان، چکیده فارسی، واژه‌های کلیدی، مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج، بحث، سپاس‌گزاری، منابع مورد استفاده و چکیده به زبان انگلیسی است.

**عنوان:** عنوان مقاله حداکثر در ۲۰ کلمه و منعکس کننده محتوای مقاله است. در زیر عنوان نیازی به ذکر نام نویسندگان نیست.  
**چکیده فارسی:** چکیده مقاله در ۱۰۰ تا حداکثر ۳۰۰ کلمه، بیانگر مساله، هدف، روش و نتایج به دست آمده و نتیجه‌گیری کلی از پژوهش است.

**واژه‌های کلیدی:** عبارت است از چند کلمه مجزا که موضوع پژوهش بیشتر پیرامون آن‌ها است.

**مقدمه:** در این بخش بایستی موضوع مورد پژوهش معرفی و فرضیه مورد نظر تعریف گردد. به اهم کارهای پژوهشی انجام شده قبلی در این مورد اشاره و زمینه لزوم پژوهش مورد نظر تشریح شود و هدف مطالعه حاضر مشخص گردد.

**مواد و روش‌ها:** شامل مواد مورد استفاده و شرح روش‌های جدید به کار رفته و یا ذکر مأخذ روش‌های متداول و شناخته شده است.

**نتایج و بحث:** در برگرفته نتایج حاصل از پژوهش به صورت متن، جدول و شکل است. از تکرار ارقام به صورت جداگانه (جدول، شکل و غیره) خودداری گردد. از مقالات مندرج در این نشریه می‌توان به عنوان راهنمای تهیه جدول‌ها و یا ترسیم شکل‌ها استفاده کرد. در این قسمت علل و روابط بین آن‌ها در ایجاد نتایج حاصل، با استفاده از منابع علمی دیگر، مورد بحث قرار می‌گیرد.

**نتیجه‌گیری:** در این بخش به صورت خلاصه، در چند خط نتیجه‌گیری کلی از پژوهش ارائه می‌گردد.

**سپاس‌گزاری:** در صورت نیاز، این بخش حداکثر در ۵۰ کلمه، معرف اشخاص، سازمان‌ها و نهادها، و به طور کلی اشخاص حقیقی و حقوقی مؤثر در انجام پژوهش و تشکر و قدردانی از آنان است.

**منابع:** منابع اشاره شده در متن مقاله باید قبلاً به صورت کتاب یا مقاله مندرج در یکی از مجلات علمی و یا ارائه شده در کنفرانس‌های علمی بوده و حتی‌الامکان قابل دسترسی به وسیله خواننده باشند. کلیه منابع در متن و یا در لیست پایانی به شکل لاتین نگارش شوند. نحوه ارجاع در متن با نام نویسنده و سال (Karimi, 2008) است. برای ارجاع به منابع با دو نویسنده در متن مقاله از عبارت & (Sakenian & Ebrahimi, 2007) و برای ارجاع منابع با بیش از دو نویسنده در متن از عبارت *et al* استفاده شود (Ebrahimi *et al.*, 2013). حتی‌الامکان منابع داخل متن در انتهای جمله و داخل پرانتز باشند.

در صورت نیاز به شروع جمله با نام نویسندگان از شکل‌های نمونه (Ghanbarian & Ghasemi-Varnamkhasti, 2005) و (Maleki (2007) و Hosseinzadeh *et al.* (2013) استفاده شود. در صورت استفاده از استانداردها، آمارنامه‌ها و ... در متن مقاله در پایان پاراگراف مربوطه از عبارت "Anonymous (2018)" استفاده شود.

فهرست منابع مورد استفاده در انتهای مقاله باید صرفاً از منابع اشاره شده در متن بوده و به ترتیب حروف الفبای نام نویسنده، برابر مثال‌های زیر تهیه شده باشد. نحوه نگارش منابع در انتهای مقاله بر اساس شیوه‌نامه APA (قابل اقتباس از گوگل اسکالر) و بدون درج شماره منبع باشد. کلیه منابع در انتها به شکل لاتین و با فونت Times New Roman و اندازه ۱۰ با فاصله سطور ۱ لیست شوند. منابعی که به زبان فارسی انتشار یافته‌اند، به انگلیسی برگردان شوند و در انتها با عبارت داخل پرانتز (In Persian) ارجاع شوند.

نمونه‌هایی از نحوه ارائه مراجع به صورت زیر است:

- Akan, A. O. (2006). *Open Channel Hydraulics*. Chapter 8: Introduction to Unsteady Open-Channel Flow. Elsevier. 364 p.
- Naderi-Boldaji, M., Sharifi, A., Hemmat, A., Alimardani, R., & Keller, T. (2012). Investigation of using electrical conductivity sensor Veris 3100 for field mapping of soil strength/compaction. *The 8<sup>th</sup> National Congress of Agricultural Machinery Engineering and Mechanization*. Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran. (In Persian).
- Omidi-Arjenaki, O., Ebrahimi, R., & Ghanbarian, D. (2016). Analysis of energy input and output for honey production in Iran (2012-2013). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59(1): 952-957.
- Soleimani Ghalati, A., Maleki, A., & Besharati, Sh. (2016). Fractal dimension of effective parameters on solar flat plate collector's performance. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*, 5(1): 1-7. (In Persian).
- Zhuo, L., & Han, D. (2016). The relevance of soil moisture by remote sensing and hydrological modelling. *ProcediaEngineering*, 154: 1368-1375.

**چکیده به زبان انگلیسی:** این چکیده، برگردان کامل چکیده فارسی به زبان انگلیسی است.

**واژه‌های کلیدی به زبان انگلیسی:** این واژه‌ها نیز برگردان کامل "واژه‌های کلیدی" به زبان انگلیسی است.

**تعداد صفحات:** حداکثر تعداد صفحات با رعایت فرمت مجله (شامل چکیده انگلیسی) ۱۲ صفحه است.

**تذکر:** در صورت نیاز به اطلاعات بیشتر در خصوص تهیه مقاله، به سامانه نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی مراجعه نمایید.

## ارزیابی سامانه تعیین موقعیت خودرهیاب غیرماهواره‌ای و مقایسه با گیرنده GNSS به منظور مسیریابی بهینه تراکتور

محمد صدفی<sup>۱</sup>، سعید مینایی<sup>۲\*</sup>، حسین باخدا<sup>۳</sup> و جعفر امیری پریان<sup>۴</sup>

چکیده

کشاورزی موضعی زیر مجموعه‌ای از کشاورزی دقیق است و با هدف افزایش بهره‌وری بر پایه سنجش تغییرات مکانی، ویژگی‌های خاک و گیاه و مصرف نهاده‌ها به صورت متغیر در پهنه زمان و مکان بنا شده است. موقعیت‌یابی صحیح ماشین کشاورزی در مکان مربوطه هدفی مهم است تا با توجه به آن، عملیات کشاورزی مورد نظر انجام پذیرد. در این پژوهش دستگاه موقعیت‌یاب زمینی دارای حسگرهای سنجش زاویه فرمان و تعداد دوران چرخ متحرک تراکتور ساخته شد. این سامانه با موقعیت‌یابی محلی و بدون نیاز به هرگونه خدمات‌دهنده خارجی، مورد آزمایش مزرعه‌ای قرار گرفت و داده‌ها با مقادیر خروجی گیرنده سامانه موقعیت‌یاب ماهواره‌ای (GNSS) مقایسه شدند. آزمایش‌ها در زمین‌های شخم خورده، شخم نخورده، آسفالت و در شرایط آب و هوایی آفتابی و ابری انجام گرفت. طرح آماری بر پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی در قالب آزمون فاکتوریل به صورت  $2 \times 2 \times 3$  با چهار تکرار انجام شد. طبق نتایج به دست آمده، داده‌های محورهای X و Y گیرنده GNSS و دستگاه یخودرهیاب به ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ تفاوت معناداری را نشان دادند. تغییر در عوامل محیطی شامل وضعیت زمین و شرایط هوایی آفتابی یا ابری در هر دو محور X و Y تأثیر معناداری بر تعیین موقعیت توسط گیرنده GNSS و یخودرهیاب نشان نداد. میزان دقت در سامانه یخودرهیاب در محور X برابر با ۲۵ cm و برای گیرنده GNSS، ۲۵۰ cm و همچنین در محور Y برابر با ۵۰ cm و برای گیرنده GNSS، ۱۴۰ cm است. در نتیجه دستگاه خودرهیاب در هر دو محور X و Y دقیق‌تر است. مقدار انحراف از نقطه واقعی توسط گیرنده GNSS و دستگاه خودرهیاب در سطح ۱٪ دارای تفاوت معنادار بود و میزان خطای تعیین فاصله در سامانه خودرهیاب ۶۰ cm و در گیرنده GNSS برابر با ۴۰۰ cm به دست آمد. به‌طور کلی عملکرد سامانه خودرهیاب در یافتن مسیر بهینه حرکت تراکتور دقیق‌تر از گیرنده GNSS معمولی (فاقد تصحیح افتراقی) بود.

**واژه‌های کلیدی:** سامانه خودرهیاب، GNSS، مسیریابی محلی، کشاورزی دقیق.

ارجاع: صدفی، م. مینایی، س. باخدا، ح. و امیری پریان، ج. ۱۴۰۱. ارزیابی سامانه تعیین موقعیت خودرهیاب غیرماهواره‌ای و مقایسه با گیرنده GNSS به منظور مسیریابی بهینه تراکتور. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۵: ۵۵-۶۴. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10170.565>

۱- دانشجوی دکتری، گروه مکانیزاسیون، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- استادیار گروه مکانیزاسیون، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

۴- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

\* نویسنده مسئول: [minaee@modares.ac.ir](mailto:minaee@modares.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۶

## مقدمه

نهادها از بین می‌رود و ممکن است محصولات آسیب ببینند.

برای مکان‌یابی می‌توان سامانه‌های غیرماهواره‌ای نیز بکار گرفت. روش‌های عمده مکان‌یابی غیرماهواره‌ای شامل مکان‌یابی شبکه‌ای، مکان‌یابی اینرسیایی<sup>۵</sup> و مثلث‌سازی<sup>۶</sup> است (Heege, 2015). سامانه اینرسیایی شامل یک حسگر شتاب‌سنج است که روی وسیله‌ای در حال حرکت نصب شده و با توجه به جهت‌هایی که این وسیله حرکت کرده است، هم سرعت و هم جهت حرکت وسیله را مشخص می‌کند. روش‌های مختلف برای اندازه‌گیری در حالت اینرسیایی وجود دارد که شامل روش Gimbaled و روش Strap down است (Özkan & Uçar, 2012).

یک شبکه حسگر از تعداد زیادی گره حسگر تشکیل شده است که این گره‌ها در محیط پراکنده شده‌اند و قابلیت تحریک و حس کردن شرایط محیطی را دارند. هدف از پخش این گره‌ها در محیط جمع‌آوری اطلاعات در مورد وضعیت محیط از جهات مختلف است (Koch, 2020). مثلث‌سازی روشی برای محاسبه موقعیت است که بر فاصله شناخته شده بین دو دستگاه اندازه‌گیری و زوایای اندازه‌گیری شده از آن دو نقطه تا یک جسم متکی است. این روش بر پایه قضیه تطابق مثلث زاویه-ضلع-زاویه، برای یافتن مکان یک جسم بنا شده است (Pierlot & Van Droogenbroeck, 2014).

اطلاعاتی نظیر میزان رطوبت، ویژگی‌های مختلف شیمیایی و فیزیکی خاک و حتی میزان روشنایی در مناطق مختلف زمین می‌تواند کمک قابل توجهی به کشاورزان برای تولید محصول بهتر کند. در کاربردهای کشاورزی با توجه به این که محیط مورد بررسی وسیع است باید گره‌های حسگر برد رادیویی بالایی داشته باشند که خود این مسئله مستلزم بهره‌گیری از حسگرهای گران قیمت است که یکینقص مهم در بکارگیری این فناوری در حوزه کشاورزی به شمار می‌رود (Mazlounzadeh et al., 2010). روش‌های مکان‌یابی با بکارگیری شبکه‌های حسگر شامل موارد زیر هستند: روش راهنمای متحرک<sup>۷</sup> (Hu and Evans, 2004)، روش مرکزگرا<sup>۸</sup> (Mazlounzadeh et al., 2010)، روش کشف مکان دقیق<sup>۹</sup> (Heege, 2015)، روش برنامه‌ریزی

بکارگیری ابزار دقیق و تجهیزات اتوماسیون و افزایش دقت در اندازه‌گیری، موجب افزایش کارایی سامانه‌ها و عملیات می‌شود. در حوزه کشاورزی دقیق بهره‌گیری از تجهیزات خاص از طریق اعمال بجا و به موقع نهاده‌ها، سبب افزایش بهره‌وری و همچنین افزایش کمی و کیفی محصولات می‌شود (Candiago et al., 2015). کشاورزی موضعی<sup>۱</sup> بر پایه سنجش تغییرات مکانی، ویژگی‌های خاک و گیاه و مصرف متغیر نهاده‌ها در نقاط مختلف بنا شده است (Song et al., 2020). بنابراین ابتدایی‌ترین نیاز برای رسیدن به این بهداف، موقعیت‌یابی ماشین مربوطه در مزرعه، باغ و یا مرتع است تا با توجه به آن عملیات مورد نظر انجام پذیرد. سامانه‌ی مکان‌یابی جهانی<sup>۲</sup> (GNSS) یکی از روش‌هایی است که برای تعیین موقعیت به کار می‌رود. این سامانه متشکل از حداقل ۲۴ ماهواره است که با استفاده از مکان‌یابی ماهواره‌ای اطلاعاتی را به دست می‌دهد. خدمات این مجموعه در هر شرایط آب و هوایی و در هر نقطه از کره زمین در تمام شبانه‌روز در دسترس بوده و استفاده از آن رایگان و تنها نیاز به فراهم کردن یک گیرنده است (Bartholomew et al., 2020).

در بسیاری از مناطق جهان، استفاده از گیرنده‌های GPS به منظور مکان‌یابی دارای خطای زیادی است که برای بالا بردن دقت و کاهش خطای مکان‌یابی به کمک این روش می‌توان از تغییر دادن سیگنال‌ها از حالت تکی به حالت سیگنال دوتایی (El-Naggar, 2011) و یا از روش‌های یموقیت‌یابی تفاضلی (DGPS<sup>۳</sup>) یا پروش تعیین موقعیت آبی (RTK<sup>۴</sup>) استفاده کرد (Heege, 2015). روش RTK بسیار گران است و سیگنال‌های مورد نیاز برای تصحیح DGPS در همه کشورها وجود ندارد. از این رو، باید به دنبال راهکارهای دیگری برای موقعیت‌یابی بود. خطا در مکان‌یابی ماهواره‌ای بدون تصحیح‌گر، در برخی موارد ممکن است به ۱۰ متر نیز برسد که برای کشاورزی دقیق مناسب نیست (Yong-Won, 2012). به عنوان مثال اگر یک کرت با عرض ۱۰ متر به اشتباه در مسیر یک سمپاش قرار بگیرد و به طول ۵۰۰ متر این خطا ادامه داشته باشد، علاوه بر آسیب به محیط زیست حجم بسیار زیادی از

5- Inertia

6- Triangulation

7- Mobile Beacon

8- Centroid

9 Accurate Location Discovery

1- Site-specific Agriculture

2- Global Navigation Satellite System

3- Differential Global Positioning System

4- Real-Time Kinematic



به دلیل عدم دسترسی سراسری به سیگنال‌های اصلاحی در کشور، مد نظر یقرار نگرفت. برای حل مسئله فوق، نقشه از پیش تعیین شده مسیر حرکت تراکتور به صورت الکترونیکی برای سیستم تعریف و در حافظه پردازنده مرکزی ذخیره و سپس حرکت در این مسیر انجام شد. نتیجه حرکت بر اساس نقشه پیش فرض، عدم نیاز به مختصات کنترل کننده خارج از سامانه بود زیرا از پیش مختصات در آن تعریف و تنها مسیر تعریف شده دنبال شد.

### ساختار سامانه خودرهیاب

اجزای سامانه خودرهیاب پژوهش حاضر در شکل ۱ نشان داده شده است. دو حسگر چرخش سنج<sup>۴</sup> برای محاسبه تعداد دوران چرخ جلو و اندازه زاویه فرمان به منظور محاسبه مقدار جابجایی طولی (Y) و عرضی (X) وسیله نقلیه به کار گرفته شد (شکل ۲). برای تعیین مسافت پیموده شده از سنجش دوران یک چرخ متحرک یبیا چرخش سنج (AUTONICS ENC-1-2-T-24 کره جنوبی) اندازه‌گیری شد. ریزینی<sup>۵</sup> این چرخش سنج، ۲۵ پالس بر دور یو مسافت طولی طی شده چرخ، به ازای هر پالس تولیدی آن، یک سانتی‌متر است. همچنین برای محاسبه زاویه چرخش فرمان از یک زاویه سنج دقیق (E40HB12-1024-6-1-5، کره جنوبی) بهره‌برداری شد. ریزینی این چرخش سنج، ۱۰۲۴ پالس بر دور است.

برای تسریع در فرایند پردازش، روش پردازش موازی به کار گرفته شد. به این معنی که پردازنده اول به شمارش تعداد دوران چرخش سنج چرخ می‌پردازد و هم زمان، پردازنده دوم با توجه به چرخش فرمان، زاویه انحراف را محاسبه می‌کند. تعیین جهت چرخش فرمان بر اساس مدارهای منطقی انجام شد. سپس تمامی اطلاعات روی کارت حافظه خارجی ذخیره شده و در مرحله تحلیل مورد استفاده قرار گرفت.

### نصب چرخش سنج‌ها بر روی تراکتور

برای نصب چرخش سنج‌ها روی تراکتور چندین قسمت مورد امتحان قرار گرفت تا در نهایت بهترین نقطه تعیین شد (شکل ۳). به دلیل تک دیفرانسیل بودن تراکتور MF285، با توجه به متحرک بودن چرخ‌های جلو (در مقابل

نیمه قطعی<sup>۱</sup> (Biswas, 2004)، روش تقسیم‌بندی چندوجهی<sup>۲</sup> (Ma et al., 2004)، روش راهنمای گردان<sup>۳</sup> (Nasipuri and Li, 2002)، روش‌های Ad-Hoc positioning، Robust positioning و N-hop (Mohapatra, 2005) و Diffusion (Langendoen & Reijers, 2003). معایب این روش‌ها به طور کلی عبارتند از: مصرف زیاد انرژی، سرعت پایین پردازشی، محاسبات زیاد و وابستگی به استفاده از سامانه موقعیت‌یاب ماهواره‌ای.

با توجه به معایب ذکر شده در مورد سامانه شبکه حسگر و گران قیمت بودن سامانه اینرسیایی، نیاز به یک سامانه عملی‌تر احساس می‌شود. در این تحقیق با بکارگیری روشی بدیل، موقعیت‌یابی ادوات در مزرعه بدون استفاده از سامانه GNSS انجام شد. مقادیر حاصل از این روش با مقدار شاهد حاصل از اندازه‌گیری واقعی به کمک اندازه‌گیری با متر دستی مقایسه شد تا دقت این سامانه با گیرنده GNSS مقایسه شود و بتوان به روشی مطمئن برای یافتن مسیر بهینه حرکت تراکتور دست یافت.

### مواد و روش‌ها

هدف این پژوهش، یافتن مسیر بهینه برای حرکت تراکتور بر اساس موقعیت‌یابی محلی به کمک سامانه خودرهیاب نصب شده روی تراکتور بود. با توجه به حرکت دو بعدی وسایل نقلیه، می‌بایست دو حرکت طولی و عرضی به منظور تعیین مقدار جابجایی کل، نسبت به مبدأ فرضی در نظر گرفته شود. برای رسیدن به این هدف از دو حسگر تشخیص جابجایی استفاده شده که هر یک به صورت مجزا به منظور اندازه‌گیری تغییرات طولی و عرضی حرکت تراکتور به کار گرفته شدند.

یکی از بی‌بی‌بی‌چیدگی‌هایی این پژوهش آن بود که مقدار جابجایی هر لحظه نسبت به موقعیت قرارگیری خود تراکتور و نه نسبت به مبدا، مختصات ثابت بیرونی محاسبه شده است. یعنی دستگاه به راحتی قادر به تشخیص سمت حرکت نیست و فقط موقعیت و جهت حرکت را نسبت به خود وسیله متحرک محاسبه می‌کند. در این راستا بکارگیری سامانه‌های ماهواره‌ای می‌تواند یک راه حل برای رفع مشکل مذکور باشد که در پژوهش حاضر این راهکار

1- Semi Definite Programming  
2- Multi-Dimensional Scaling  
3- Circling Beacon Localization

4- Rotary Encoder  
5- Resolution

ابتدا سعی شد تا از مقدار جابجایی میل فرمان، مقدار چرخش مشخص شود؛ اما میل فرمان دارای خلاصی بوده و در سیستم ایجاد خطا می‌کرد. نهایتاً این حسگر روی محور شغال دست نصب شد که در این حالت حسگر هیچگونه خلاصی نداشته و دقیقاً مقدار چرخش، برابر با زاویه فرمان‌گیری بود.

با توجه به آزمایشی بودن نحوه قرارگیری حسگرها و انجام آزمون‌های کوتاه مدت در سامانه حاضر، به منظور تداوم استفاده در زمین‌های کشاورزی که دارای خاک چسبیده هستند و امکان قرارگرفتن لایه‌ای از خاک روی چرخ وجود دارد، می‌بایست از ابزاری شبیه به کاردک به منظور حذف لایه خاک (یا گل) روی چرخ انجام شود تا در قطر بخش چرخشی حسگر تأثیری نداشته باشد.

### واسنجی حسگرها

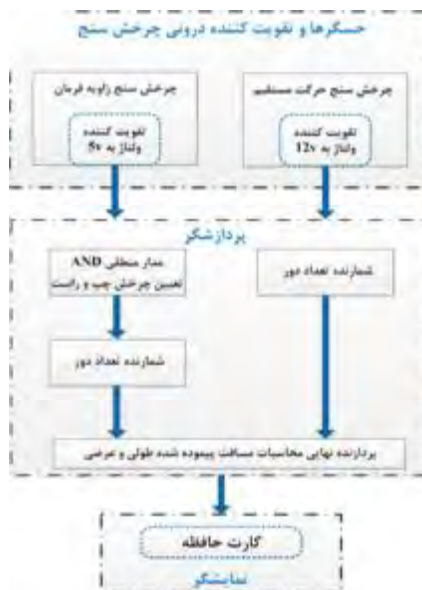
حسگر محاسبه کننده مسیر طولی، از بالای چرخ جلو به آن متصل و در نتیجه سرعت خطی در نقطه تماس برای هر دو جسم در حال دوران با هم برابر است. بنابراین مقدار جابجایی آن برابر با محیط چرخ جلو و محیط پیموده شده‌ی چرخ جلو برابر با جابجایی تراکتور است. در نتیجه به ازای هر پالس دریافتی از این حسگر، پیمایش یک سانتی‌متری محیط چرخ جلوی تراکتور ثبت می‌شود. حسگر محاسبه کننده زاویه فرمان، در یک دور چرخش ۱۰۲۴ عدد پالس خروجی داشت؛ بنابراین در هر درجه گردش ۲/۸۴ پالس خروجی تولید می‌کرد.

لازم به ذکر است که نوع پالس خروجی حسگرهای به کار رفته مربعی است و مقدار اعشاری به صورت همپوشانی روی پالس بعدی قرار می‌گیرد. در نتیجه با در نظر گرفتن مقدار تقریبی ۳ پالس برای یک درجه، این حسگر یتنظیم شد. باید در نظر داشت که مقدار بیشینه زاویه فرمان در این تراکتور ۱۳ درجه است در نتیجه بیشینه تعداد پالس-ها ۳۹ عدد (۳×۱۳=۳۹) خواهد بود. مقدار افزایش پالس خروجی نسبت به مقدار واقعی در حسگر برابر با ۰/۱۶ بود (۳-۲/۸۴=۰/۱۶). مقدار خطا در هر درجه ۰/۰۵۶ درجه بود (معادله (۱)).

$$\frac{1024}{0.16} = \frac{360}{x} \rightarrow x = 0.0056 \quad (1)$$

که در بیشینه فرمان‌گیری، این مقدار به حدود ۰/۰۷۳ درجه در ۱۳ درجه چرخش می‌رسید که جزء خطای سیستمی است.

محرک بودن چرخ‌های عقب تراکتور، از این چرخ‌ها برای نصب چرخش سنج استفاده شد. با توجه به ارتعاش بالای این چرخ‌ها در حین حرکت و نیز نیاز بخش چرخشی حسگر به تماس مناسب با لاستیک تراکتور، مکان‌های مختلف چرخ مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت، نصب آن در بالای چرخ تراکتور به کمک نصب یک اتصال ارتجاعی لاستیکی به دور بخش چرخشی حسگر، برای تماس کامل با آن انجام گرفت.



شکل ۱- اجزای سامانه خودرهیاب



شکل ۲- چرخش سنج‌ها (rotary encoders) و گیرنده GPS

به منظور نصب حسگر چرخش سنج فرمان، تمهیداتی مورد نیاز بود، زیرا یافتن محل مناسب برای به دست آوردن مقدار واقعی چرخش فرمان، کار بسیار حساسی است. در



شکل ۳- نحوه نصب چرخش سنج‌ها روی تراکتور MF285

حرکت بهینه مشخص می‌شد. سرعت حرکت تراکتور به صورت تقریبی برابر با ۵ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شد.

#### تحلیل داده‌های گیرنده GNSS

با استفاده از نرم‌افزار UTM Conversion نسخه ۱/۰، اطلاعات دریافت شده در نقاط مشخص شده، بر حسب متر در دستگاه UTM تبدیل و با سایر داده‌ها مقایسه شد. همچنین به کمک این نرم‌افزار مسیر حرکت تراکتور، بر اساس نقاط فوق رسم و در قالب یک فایل DXF ذخیره شدند. نقشه مسیرهای حرکتی مختلف مورد آزمایش در شکل‌های ۴ تا ۶ ارائه شده است.

#### آزمایش‌ها و طرح آماری

عوامل تأثیرگذار در نتایج به دست آمده شامل نوع دستگاه (A)، شرایط جوی (B) و نوع زمین (C) است. هر یک از عوامل یاد شده در سطوح متفاوتی تأثیرگذار هستند. نوع دستگاه شامل سه سطح گیرنده GNSS، یخودرهباب (SP) و محاسبه دستی است. شرایط جوی در دو سطح آفتابی و ابری و نوع زمین در سه سطح آسفالت، شخم خورده و شخم نخورده در نظر گرفته شد.

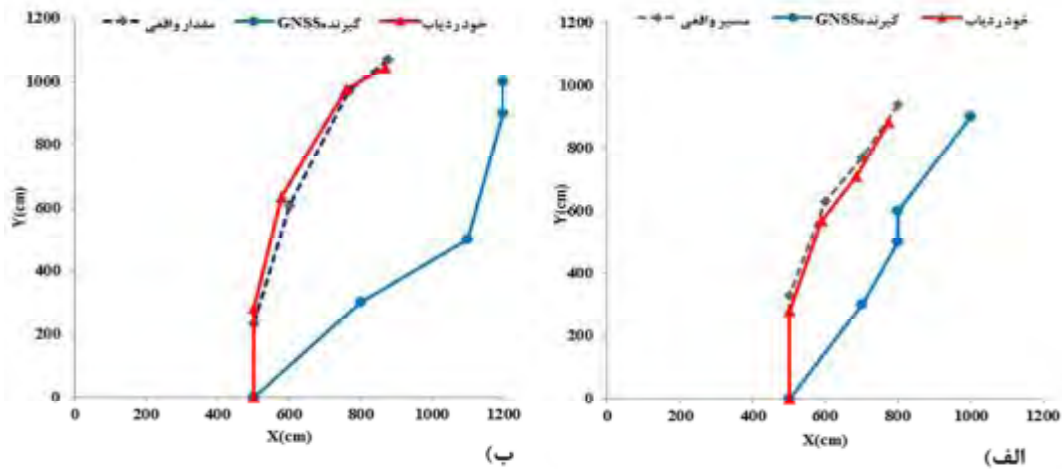
#### روش اندازه‌گیری و انجام آزمایش

تمامی داده‌های دو حسگر چرخش‌سنج به طور هم‌زمان به پردازنده مرکزی ارسال می‌شد. در این پردازش‌گر، داده‌های مربوط به هر حسگر با توجه به شناسه دیجیتال اختصاصی، تشخیص داده می‌شد و سپس به یک مدار منطقی می‌رفت که آنجا ابتدا جهت چرخش به چپ یا راست تراکتور مشخص می‌شد، سپس بر اساس ضرایب تبدیل و کالیبراسیون، مقادیر حرکت به سمت جلو (Y) و تمایل به سمت چپ یا راست (X) در کارت حافظه به صورت یک فایل json ذخیره می‌شدند.

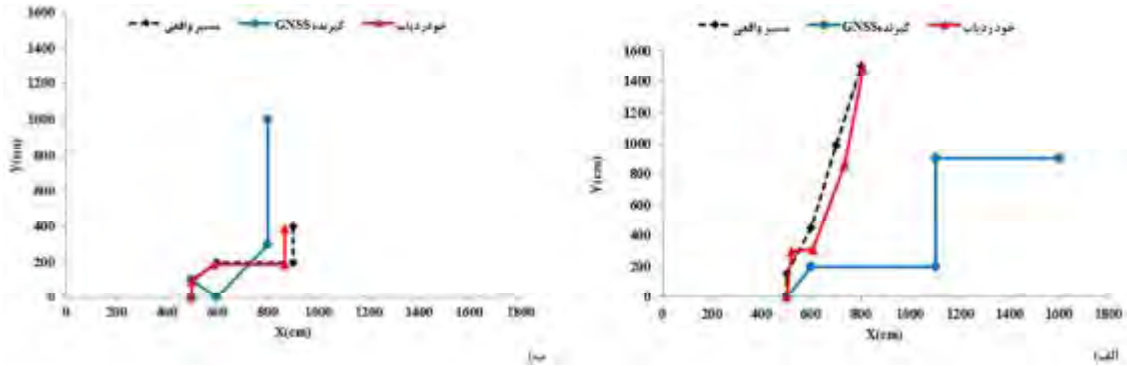
به منظور انجام آزمون، ابتدا مسیرهای حرکت مختلفی به صورت مشخص روی زمین‌های مورد آزمایش در سه حالت آسفالت، شخم خورده و شخم نخورده، همچنین در دو حالت جوی ابری و آفتابی (به منظور بررسی اثرات متغیر آنها بر سامانه تعیین موقعیت ماهواره‌ای) تعیین شدند. در این مسیرها چهار نقطه به صورت تصادفی انتخاب شد و مختصات هر یک از نقاط توسط دستگاه گیرنده GNSS و نیز به صورت دستی با متر اندازه‌گیری شد. در همان زمان اطلاعات نقاط مورد نظر در دستگاه یخودرهباب متناظر با هر نقطه ذخیره شد. سپس اختلاف مسیرهای حرکتی محاسبه شده و میزان اختلاف از مسیر برای بیان مسیر

آماری در دو مرحله برای هر مؤلفه انجام شده است. بر این اساس، از طرح آزمون فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد. تجزیه واریانس و آزمون مقایسه میانگین در سطح احتمال ۱٪ با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

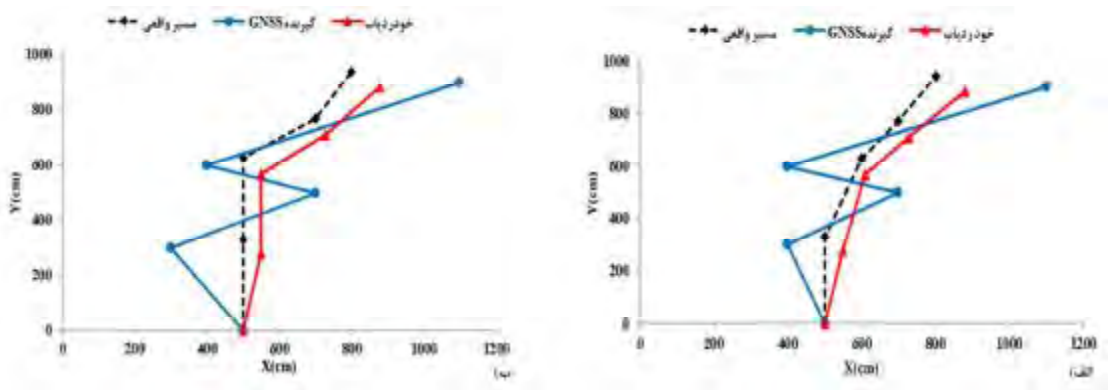
داده برداری‌های هر آزمایش در شرایط مشابه، با چهار تکرار انجام شد. برای ساده سازی روند آزمایش، اختلاف داده‌های آزمایشی از مقدار واقعی در نظر گرفته شد. در نتیجه داده‌های محاسبه دستی حذف شده و عامل A فقط در دو سطح مورد تحلیل قرار گرفت. همچنین چون مختصات دارای دو مؤلفه X و Y است، تمامی طرح‌های



شکل ۴- مسیر حرکت روی آسفالت: الف) در هوای آفتابی و ب) در هوای ابری



شکل ۵- مسیر حرکت روی خاک شخم نخورده: الف) در هوای آفتابی و ب) در هوای ابری



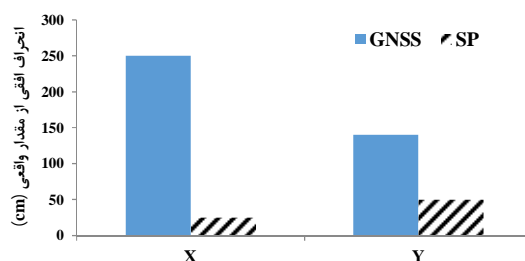
شکل ۶- مسیر حرکت روی خاک شخم خورده: الف) در هوای آفتابی و ب) در هوای ابری

## نتایج و بحث

## تحلیل داده‌های محورهای X و Y

با توجه به داده‌های آزمون‌ها در حالت‌های مختلف و انحراف مسیرها از مقادیر واقعی، ابتدا انحراف محور X (حرکت در عرض تراکتور) تحلیل شد. جدول ۱ نتایج مربوط به تجزیه واریانس برای داده‌های محور X را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اختلاف در عامل A (نوع دستگاه مکان‌یاب) در سطح احتمال ۱٪ معنادار است و در سایر عوامل اختلاف معناداری وجود ندارد. نوع زمین و شرایط جوی در این آزمایش اختلافی در میانگین داده‌ها ایجاد نکرده است. دلیل پتانسیل معنی‌دار نوع دستگاه بر دقت موقعیت‌یابی را می‌توان به این صورت بیان نمود که داده‌های GNSS به دلیل عدم دقت کافی ناشی از عدم

وجود سامانه‌های تصحیح افتراقی خطا ( differential correction) در اغلب مناطق، دچار خطای زیاد و غیر قابل قبول هستند. همان‌گونه که پیشتر اشاره شد، این دقت برای فعالیت‌های کشاورزی دقیق مناسب نیست. اما ریزبینی کافی حسگرهای مورد استفاده در سامانه خودرهیاب میزان حرکت تراکتور را با ریزبینی بسیار مناسبی (در حد یک سانتی‌متر و خطای زاویه ای ۰/۰۵۶ درجه) پایش می‌کند. مقایسه میانگین انحرافات دستگاه‌های مورد استفاده، در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که مقدار میانگین خطا در حرکت عرضی (X) برای دستگاه خودرهیاب ۲۵cm و برای دستگاه GNSS، ۲۵۰cm است.



شکل ۷- انحراف داده‌های X و Y از مقدار واقعی (گیرنده ماهواره‌ای در برابر سامانه این پژوهش)

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس انحراف X

Sig.	F	مجموع میانگین	درجه آزادی	مجموع مربعات	منابع
.۰۰۰	۱۰/۱۸۸	۱۰۱۶۳۱/۱۵۲	۱۱	۱۱۱۷۹۴۲/۶۶۷	Corrected Model
.۰۰۰	۹۸/۶۲۲	۹۸۳۸۴۱/۳۳۳	۱	۹۸۳۸۴۱/۳۳۳	Intercept
.۰۰۰	۶۷/۲۸۱	۶۷۱۱۸۷/۰۰۰	۱	۶۷۱۱۸۷/۰۰۰	A
.۰۶۶۳	۰/۱۹۳	۱۹۲۵/۳۳۳	۱	۱۹۲۵/۳۳۳	B
.۰۹۰۶	۰/۰۹۹	۹۹۱/۵۸۳	۲	۱۹۸۳/۱۶۷	C
.۰۶۱۸	۰/۲۵۳	۲۵۲۳/۰۰۰	۱	۲۵۲۳/۰۰۰	A * B
.۰۶۰۲	۰/۵۱۴	۵۱۳۰/۷۵۰	۲	۱۰۲۶۱/۵۰۰	A * C
.۰۰۰	۱۰/۷۳۳	۱۰۷۰۶۶/۵۸۳	۲	۲۱۴۱۳۳/۱۶۷	B * C
.۰۰۰	۱۰/۸۲۳	۱۰۷۹۶۴/۷۵۰	۲	۲۱۵۹۲۹/۵۰۰	A * B * C
		۹۹۷۵/۸۳۳	۳۶	۳۵۹۱۳۰/۰۰۰	خطا
			۴۸	۲۴۶۰۹۱۴/۰۰۰	کل
			۴۷	۱۴۷۷۰۷۲/۶۶۷	Corrected Total

a. R Squared = .757 (Adjusted R Squared = .683)

انجام شده و مقایسه اختلاف دستگاه‌ها در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۲، برای پارامتر حرکت در مسیر Y نیز اختلاف در عامل A در سطح احتمال ۵٪ معنادار است و در سایر عوامل اختلاف قابل توجهی وجود

با توجه ماهیت و اهمیت پایش حرکتی تراکتور در دو بعد متفاوت برای ارزیابی اثر حسگرهای مربوط به تعیین مسافت طولی و تغییرات یزویه‌ای توسط سامانه خودرهیاب، تحلیل آماری در مورد انحرافات محور Y نیز

اصلی این حرکت پیچیده‌تر از مسیر مستقیم طولی است. شاید بتوان گفت که در مسیرهای مستقیم حرکت، داده‌های ماهواره‌ای نیز می‌توانند تا حدی صحیح‌تر از زمانی باشند که در مسیر جانبی، حرکت وجود دارد. مقدار P در جدول تجزیه واریانس انحراف X صفر است اما در جدول تجزیه واریانس انحراف Y برابر با ۰/۱۸ است. در نتیجه این امکان وجود دارد که انحراف در محور X تأثیرگذارتر از محور Y باشد. همچنین با توجه به اطلاعات جدول ۳ اختلاف معناداری بین انحراف X و Y از مقدار واقعی مختصات وجود ندارد.

ندارد. با توجه به شکل ۷ می‌توان گفت که مقدار میانگین خطا در محور Y برای دستگاه خودرهیاب ۵۰ cm و برای دستگاه GNSS، ۱۴۰ cm است. علت اختلاف معنادار بین دو دستگاه را می‌توان به تفاوت و خطای ناشی از نحوه تعیین مختصات، همان‌طور که در پارامتر X بحث شد، مرتبط دانست. اما باید توجه داشت که اختلاف در حرکت جانبی (X) در سطح ۱ درصد و در حرکت طولی در سطح ۵ درصد (Y) معنادار شده است. با توجه به تحلیل آماری، کاملاً مشخص است که وجود اختلاف یجدی‌تر در حرکت جانبی، ناشی از تلفیق داده‌های دو حسگر بوده که ماهیت

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس انحراف Y

Sig.	F	مجموع میانگین	درجه آزادی	مجموع مربعات	منابع
۰/۲۰۶	۱/۴۲۰	۲۱۳۹۱/۰۶۶	۱۱	۲۳۵۳۰۱/۷۲۹ <sup>a</sup>	Corrected Model
۰/۰۰۰	۲۹/۸۹۱	۴۵۰۲۷۵/۰۲۱	۱	۴۵۰۲۷۵/۰۲۱	Intercept
۰/۰۱۸	۶/۱۸۷	۹۳۱۹۲/۱۸۷	۱	۹۳۱۹۲/۱۸۷	A
۰/۴۸۳	۰/۵۰۳	۷۵۷۵/۱۸۸	۱	۷۵۷۵/۱۸۸	B
۰/۱۲۰	۲/۲۴۹	۳۳۸۷۲/۲۷۱	۲	۶۷۷۴۴/۵۴۲	C
۰/۶۰۲	۰/۲۷۶	۴۱۶۲/۶۸۷	۱	۴۱۶۲/۶۸۷	A * B
۰/۲۲۵	۱/۵۵۴	۲۳۴۰۲/۴۳۷	۲	۴۶۸۰۴/۸۷۵	A * C
۰/۶۶۳	۰/۴۱۶	۶۲۷۲/۳۱۳	۲	۱۲۵۴۴/۶۲۵	B * C
۰/۸۹۷	۰/۱۰۹	۱۶۳۸/۸۱۳	۲	۳۲۷۷/۶۲۵	A * B * C
		۱۵۰۶۳/۷۸۵	۳۶	۵۴۲۲۹۶/۲۵۰	خطا
			۴۸	۱۲۲۷۸۷۳/۰۰۰	کل
			۴۷	۷۷۷۵۹۷/۹۷۹	Corrected Total

a. R Squared = .303 (Adjusted R Squared = .090)

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اختلاف بین انحرافات محور های X و Y

Sig.	F	مجموع میانگین	درجه آزادی	مجموع مربعات	
۰/۹۳۳	۰/۰۰۷	۲۴۳/۸۴۴	۱	۲۴۳/۸۴۴	بین گروهی
		۳۴۵۰۲/۹۳۲	۹۴	۳۲۴۳۲۷۵/۶۴۶	درون گروهی
			۹۵	۳۲۴۳۵۱۹/۴۹۰	کل

### مقایسه فاصله از مقدار واقعی مختصات

پرداخته شد تا مقدار انحراف مجموع، از مختصات واقعی به‌دست آید. با توجه به جدول ۴ اختلاف در عامل A معنادار بوده و در سایر عوامل اختلاف قابل توجهی مشاهده نشد. بنابراین اثر نوع دستگاه موقعیت‌یاب بر مقدار میانگین خطای فاصله برای دستگاه خودرهیاب ۶۰ cm و برای دستگاه GNSS، ۴۰۰ cm است. مقدار خطای گیرنده GNSS نزدیک به مقدار خطای یاد شده در دفترچه راهنمای دستگاه گیرنده (۳/۶ متر) است.

در این بخش ابتدا مقادیر X و Y حاصل از رابطه فیثاغورس با یکدیگر جمع شد تا مقدار فاصله از نقطه واقعی حاصل و سپس به مقایسه داده‌ها نسبت به یکدیگر انحراف فاصله در سطح احتمال ۱% معنادار بوده، اما نوع زمین و شرایط جوئی در این آزمایش اختلافی در میانگین داده‌ها ایجاد نکردند. مقایسه اختلاف دستگاه‌ها در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۸ می‌توان گفت که

است و بر این اساس حرکت بهینه تراکتور در هر مسیر تعیین شده به کمک این سامانه قابل انجام است.

نتایج نشان داد که مسیر طی شده به کمک سامانه خودرهیاب، دارای کمترین میزان انحراف از مسیر واقعی نسبت به حالتی است که از گیرنده ماهواره‌ای استفاده شده

جدول ۴ - تجزیه واریانس انحراف فاصله

Sig.	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منابع
./۰۰۱	۴/۱۸۴	۱۶۷۸۴۹/۷۹۴	۱۱	۱۸۴۶۳۴۷/۷۲۹	Corrected Model
./۰۰۰	۶۸/۹۳۷	۲۷۶۵۲۸۰/۰۲۱	۱	۲۷۶۵۲۸۰/۰۲۱	Intercept
./۰۰۰	۳۱/۵۲۵	۱۲۶۴۵۷۶/۶۸۸	۱	۱۲۶۴۵۷۶/۶۸۸	A
./۵۱۷	./۴۲۷	۱۷۱۳۸/۵۲۱	۱	۱۷۱۳۸/۵۲۱	B
./۵۵۵	./۵۹۹	۲۴۰۱۴/۰۲۱	۲	۴۸۰۲۸/۰۴۲	C
./۹۴۴	./۰۰۵	۲۰۴/۱۸۷	۱	۲۰۴/۱۸۷	A * B
./۵۵۴	./۶۰۱	۲۴۱۰۱/۴۳۸	۲	۴۸۲۰۲/۸۷۵	A * C
./۰۳۳	۳/۷۵۲	۱۵۰۵۰۳/۶۴۶	۲	۳۰۱۰۰۷/۲۹۲	B * C
./۱۳۹	۲/۰۸۴	۸۳۵۹۵/۰۶۳	۲	۱۶۷۱۹۰/۱۲۵	A * B * C
		۴۰۱۱۳/۲۰۱	۳۶	۱۴۴۴۰۷۵/۲۵۰	خطا
			۴۸	۶۰۵۵۷۰۳/۰۰۰	کل
			۴۷	۳۲۹۰۴۲۲/۹۷۹	Corrected Total

a. R Squared = .561 (Adjusted R Squared = .427)

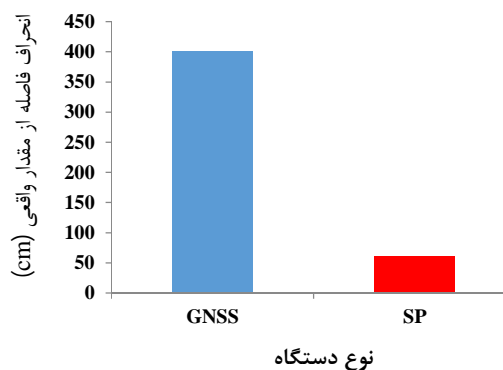
طولی آن با ادوات کشنده در پشت تراکتور، بافت خاک و شیب زمین نیاز به توجه فراوان دارند (Heege, 2015). در حالی که در سامانه خودرهیاب با استفاده از میزان غلتش چرخ محرک در هر مسیر و اندازه‌گیری چرخش غربلیک فرمان به طور مستقیم، این محدودیت‌ها وجود ندارد.

### نتیجه‌گیری

با توجه به معایب سامانه‌های شبکه حسگر، گران قیمت بودن سامانه اینرسیایی و عدم پاسخ این سامانه در فرکانس‌های تشدید، همچنین خطای زیاد گیرنده‌های ماهواره‌ای (GNSS)، در این پژوهش سامانه‌ای طراحی و ساخته شد تا با بکارگیری روشی جدید، موقعیت‌یابی ادوات در مزرعه بدون نیاز به سامانه ماهواره‌ای انجام شود. خلاصه‌ای از نتایج مقایسه دستگاه خودریدیاب ساخته شده با موقعیت‌یاب ماهواره‌ای به شرح زیر است:

داده‌های محور X دستگاه خودرهیاب نسبت به گیرنده GNSS در سطح ۱٪ به طور معناداری بهتر است. مقدار خطا در سامانه خودرهیاب در محور X، ۲۵cm و برای گیرنده GNSS برابر با ۲۵۰cm بود.

تغییر در عوامل محیطی یعنی وضعیت سطح زمین (خاک شخم خورده و نخورده و نیز آسفالت) و شرایط جوی، تأثیر



شکل ۸ - انحراف فاصله از مقدار واقعی

به نظر می‌رسد با توجه به نتایج حاصل شده، استفاده از سامانه خودرهیاب و امکان یبومی‌سازی این سامانه برای اجرای عملیات کشاورزی دقیق با توجه به دقت بالای کارکرد و عدم نیاز به هزینه‌کرد سنگین به منظور نصب و بکارگیری سامانه‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای که برای اغلب عملیات نیازمند تصحیح‌گرهای متفاوت همراه با هزینه‌های مربوطه هستند، مقرون به صرفه‌تر است. در بهره‌گیری از سامانه‌های ماهواره‌ای، توجه به مسیرهای شیب‌دار و نحوه اتصال ادوات به تراکتور مبحث بسیار مهمی است که با توجه به ارتفاع نصب گیرنده، فاصله

- Computer Science; *In: Tenth Annual International Conference on mobile Computing and networking*. Philadelphia, USA.
- Koch, E. (2020). Smart agriculture. A systematic overview; Master's Thesis, *Politecnico Di Milano, Italy*.
- Langendoen, K., Reijers, N. (2003). Distributed localization in wireless sensor networks: a quantitative comparison; *Networks*, 43 (4), 499-518.
- Ma, J., Gao, M., Zhu, Y., Ni, L. (2004). Anchor-free Localization with Refinement in Sensor Networks; *Department of Computer Science, Hong Kong University press, Clearwater Bay, Kowloon, Hong Kong*.
- Mazlounzadeh, S. M., Shamsi, M., & Nezamabadi-Pour, H. (2010). Fuzzy logic to classify date palm trees based on some physical properties related to precision agriculture. *Precision agriculture*, 11(3), 258-273.
- Mohapatra, P. (2005). Ad Hoc networks technologies and protocols; *University of California' Davis, S. V. krishnamurthy, University of California' Riverside, Springer Science + Business Media*.
- Nasipuri, A., Li, K. (2002). A Directionality based Location Discovery Scheme for Wireless Sensor Networks; *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications*, 105-111.
- Özkan, B., & Uçar, A. (2012). Comparison of the strapdown and gimbaled seekers utilized in aerial applications. *In Infrared Technology and Applications XXXVIII*, 8353, p. 83530K). International Society for Optics and Photonics.
- Pierlot, V. and Van Droogenbroeck, M. (2014). A New Three Object Triangulation Algorithm for Mobile Robot Positioning. *IEEE Transactions on Robotics*, 30(3), 566-577.
- Song, F. F., Xu, M. G., Duan, Y. H., Cai, Z. J., Wen, S. L., Chen, X. N., & Colinet, G. (2020). Spatial variability of soil properties in red soil and its implications for site-specific fertilizer management. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(9), 2313-2325.
- Yong-Won Ahn. (2012). GPS Error Sources and Mitigation; *short course notes, University of New Brunswick, department of geomantic engineering*, Canada.
- معناداری بر تعیین مختصات محور X توسط گیرنده GNSS و دستگاه خودرهیاب ایجاد نمی‌کند.
- داده‌های محور Y دستگاه خودرهیاب نسبت به گیرنده GNSS در سطح ۵٪ به طور یمنی‌داری بهتر است. مقدار خطای محور Y در سامانه خودرهیاب ، ۵۰cm و برای گیرنده GNSS برابر با ۱۴۰cm است.
- تغییر در عوامل محیطی یعنی وضعیت زمین و آب و هوا در محور Y اختلاف معنادار در تعیین موقعیت توسط گیرنده GNSS و سامانه خودرهیاب ایجاد نمی‌کند.
- مقدار انحراف از نقطه واقعی توسط گیرنده GNSS و دستگاه خودرهیاب در سطح ۱٪ تفاوت معناداری دارد. خطای تعیین فاصله در سامانه یخودرهیاب ۷۰cm و در گیرنده GNSS برابر با ۴۰۰cm است.
- بر اساس یافته‌های یاد شده، سامانه‌ی خودرهیاب اختلاف مسیر کمتری را نسبت به سامانه ماهواره‌ای ایجاد میکند که افزون بر دقیق‌تر بودن، به منظور طی مسیر بهینه، مناسب‌تر است. البته باید این نکته مد نظر قرار گیرد که در صورت عدم جلوگیری از بروز خطا یا عدم تصحیح آن، احتمال رویداد خطای تجمعی وجود دارد که در ادامه پژوهش حاضر، راه‌کارهای مناسب برای این منظور در دست اجرا هستند.

#### منابع

- Bartholomew, S., Strimel, G., Byrd, V., Santana, V., Otto, J., Laureano, Z., & DeRome, B. (2020). Using data to improve precision in crop fertilization through digital agriculture. *ma*
- Biswas, P. (2004). Semi definite Programming for Ad Hoc Wireless Sensor Network Localization; *Dept. of Electrical Engineering Stanford University, CA 94305* [pbiswas@stanford.edu](mailto:pbiswas@stanford.edu) USA.
- Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M., & Gattelli, M. (2015). Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote sensing*, 7(4), 4026-4047.
- El-Naggar, M. (2011). Enhancing the accuracy of GPS point positioning by converting the single frequency data to dual frequency data; *Transportation Department, Faculty of Engineering, Alexandria University*.
- Heege, H. J. (2015). Precision in crop farming. Springer. Kiel, Germany.
- Hu, L., Evans, H. (2004). Localization for Mobile Sensor Networks, Department of



## شبیه‌سازی جریان هوا در داخل خشک‌کن‌های خورشیدی گلخانه‌ای برای اقلیم منطقه اصفهان

محمد باقر حیدری وزنامخواستی<sup>۱</sup> و حسن غفوری ورزنده<sup>۲\*</sup>

### چکیده

خشک‌کردن گلخانه‌ای یکی از انواع روش‌های خشک کردن است که توانایی خشک کردن مقدار زیادی از محصولات کشاورزی را به صورت یکجا دارد. در تمام مدل‌های خشک‌کن گلخانه‌ای از انرژی تابشی خورشید استفاده می‌گردد. خشک‌کن‌های گلخانه‌ای از نظر شکل ظاهری کاملاً شبیه گلخانه هستند که هوای داخل آن توسط انرژی تابشی خورشیدی گرم شده و مواد خشک شدنی در داخل آن خشک می‌شوند. با توجه به اینکه بخش وسیعی از استان اصفهان را اقلیم خشک در بر گرفته و دارای ۳۰۰ روز آفتابی در سال است، پتانسیل بالایی برای استفاده از این نوع خشک‌کن در استان اصفهان وجود دارد. عمل خشک کردن در این خشک‌کن‌ها بستگی به ویژگی‌های جریان هوا و هندسه محفظه خشک‌کن دارد. لذا هدف از این تحقیق، پیش‌بینی رفتار جریان هوای داخل محفظه انواع خشک‌کن گلخانه‌ای با استفاده از روش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای اقلیم اصفهان است. به همین منظور، اثر شدت تابش نور خورشید و هندسه بیرونی خشک‌کن روی سرعت، دما و فشار هوای داخل محفظه، توسط نرم‌افزار Ansys Fluent 18 بررسی گردید. در این تحقیق، چهار نوع هندسه رایج برای خشک‌کن گلخانه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفت. این چهار نوع هندسه به ترتیب شامل گلخانه با سقف محدب، گلخانه با سقف شیب‌دار یک‌طرفه، گلخانه با سقف شیب‌دار دوطرفه و گلخانه با سقف محدب و دیواره‌های عمودی است. اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی از طریق مقایسه با نتایج تجربی به دست آمده از سایر محققین انجام گرفت. نتایج نشان داد که گلخانه با سقف محدب و دیواره‌های عمودی بهترین عملکرد را در یکنواختی سرعت جریان هوا در داخل خشک‌کن داشت. همچنین بهترین عملکرد در توزیع یکنواخت دمای هوای داخل خشک‌کن، مربوط به گلخانه با سقف شیب‌دار دوطرفه و گلخانه با سقف محدب و دیواره‌های عمودی بود. کمترین فشار هوای داخل محفظه خشک‌کن مربوط به گلخانه با سقف محدب بود.

**واژه‌های کلیدی:** جریان هوا، خشک‌کن گلخانه‌ای خورشیدی، دینامیک سیالات محاسباتی، شدت تابش خورشید، محصولات کشاورزی.

**ارجاع:** حیدری وزنامخواستی م. ب. و غفوری ورزنده ح. ۱۴۰۱. شبیه‌سازی جریان هوا در داخل خشک‌کن‌های خورشیدی گلخانه‌ای برای اقلیم منطقه اصفهان. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۵: ۲۰-۱۱. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10164.564>

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد شهر مجلسی، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان.  
۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اصفهان (خوراسگان)، اصفهان.

\* نویسنده مسئول: [hasangh28@gmail.com](mailto:hasangh28@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۲۶

## مقدمه

خشک‌کن‌های گلخانه‌ای تقریباً ۴۰٪ زمان لازم برای خشک شدن در معرض آفتاب بوده است و محل قرارگیری ورودی هوای خشک‌کن تأثیر قابل توجهی بر عملکرد خشک شدن محصولات در حال خشک شدن دارد (Etim *et al.*, 2020).

در تحقیقی با هدف بررسی انواع خشک‌کن‌های خورشیدی بر اساس مشخصات محصول خشک شده و جنبه‌های فنی، اقتصادی و زیست محیطی، مشخص شد که کارایی خشک‌کن خورشیدی و میزان خشک کردن عمدتاً به درجه حرارت و سرعت هوا بستگی دارد و عواملی مانند نوع محصول، میزان رطوبت اولیه و جرم کل محصول در درجه بعدی قرار دارند (Kumar & Singh, 2020).

دانستن نحوه توزیع دما در داخل خشک‌کن‌های گلخانه‌ای خورشیدی به اصلاح ساختار گلخانه و طراحی سیستم‌های تهویه مطبوع آن کمک می‌کند. این کار مستلزم توصیف و مدل‌سازی فرآیندهای انتقال حرارت در خشک‌کن‌های گلخانه‌ای خورشیدی است (Boulard & Wang, 2002).

فشار داخل گلخانه نیز از عوامل مهم در خشک کردن است. با کاهش فشار داخل گلخانه، می‌توان زمان و دمای خشک‌کن را پائین آورد و این امر در مواد غذایی حساس به حرارت حائز اهمیت است و آثار تخریبی حرارت را بر روی مواد غذایی کاهش می‌دهد (Bala & Janjai, 2013). تحقیقات در زمینه بهینه‌سازی کیفیت محصول و طراحی خشک‌کن‌های گلخانه‌ای خورشیدی بیشتر از طریق مدل‌سازی ریاضی انجام شده است. محققین برای مدل‌سازی ریاضی خشک‌کن خورشیدی سه روش مدل‌های مکانیکی، مدل‌های تجربی و مدل‌های دینامیک سیالات عددی یا محاسباتی (CFD) را استفاده کرده‌اند (Bala & Janjai, 2013).

در تحقیقی که به روش تجربی و شبیه‌سازی عددی برای پیش‌بینی توزیع دقیق مکانی و زمانی محتوای رطوبت محصول و بررسی مکانیسم‌ها و پارامترهای مؤثر در خشک کردن خورشیدی انجام شد، نشان می‌دهد که نتایج به دست آمده از طریق شبیه‌سازی رایانه‌ای با مقادیر تجربی مطابقت داشته است (Bekkioui *et al.*, 2020).

تحقیقات CFD روی خشک‌کن گلخانه‌ای به روش جابجایی اجباری و جابجایی طبیعی نشان داد که تنوع در ضخامت بستر مواد و دبی جریان هوا از عوامل مهم در عملکرد خشک‌کن است. همچنین دمای داخل خشک‌کن

با توجه به اینکه محیط‌های آبی و مرطوب زمینه‌ی مناسب را برای رشد و گسترش انواع آلودگی‌ها فراهم می‌کنند و کاهش رطوبت موجب حذف میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا و افزایش طول عمر مواد غذایی می‌گردد، لذا از خشک کردن برای نگهداری محصولات غذایی استفاده می‌شود. یکی از منابع انرژی برای خشک کردن، انرژی خورشیدی است. در مناطقی که تابش خورشید از شدت مناسبی برخوردار است، خشک‌کن‌های خورشیدی بیشتر مورد توجه واقع شده‌اند. فلات مرکزی کشور ایران، به عنوان یک اقلیم گرم و خشک، دارای شدت تابش خورشیدی مناسبی بوده و پتانسیل خوبی در استفاده از این انرژی، برای خشک کردن محصولات دارد. نوعی از این خشک‌کن‌ها وجود دارد که به خشک‌کن‌های گلخانه‌ای معروف اند و نمونه‌ای از آن در شکل ۱ نشان داده شده است. این خشک‌کن‌ها از نظر هندسه مانند گلخانه هستند و هوای داخلی آنها توسط تابش خورشید گرم می‌گردد.



شکل ۱- نمونه‌ای از یک خشک‌کن گلخانه‌ای

از عوامل مؤثر بر کیفیت محصول خشک شده، زمان خشک شدن و میزان حرارت داده شده به محصول است. هر چه زمان خشک شدن، کوتاه‌تر باشد کیفیت محصول بهتر است. از طرفی هر چه اختلاف دمای بین منبع تولید حرارت و ماده غذایی بیشتر باشد، میزان انتقال حرارت به ماده غذایی افزایش می‌یابد و موجب بالا رفتن سرعت خشک شدن می‌گردد. از طرفی میزان حرارت نباید از حد مجاز بیشتر باشد، زیرا موجب سفت شدن پوسته خارجی محصول می‌گردد (Tomar *et al.*, 2017).

توزیع نامناسب دما در داخل خشک‌کن، نه تنها باعث عدم یکنواختی در خشک کردن می‌شود بلکه باعث ایجاد آفات و بیماری‌ها نیز می‌گردد (Baxevanou *et al.*, 2010). بررسی عملکرد خشک‌کن‌های گلخانه‌ای در خشک کردن طبیعی میوه نشان داد که زمان خشک شدن در

### مواد و روش‌ها

در این تحقیق به بررسی عوامل موثر بر خشک‌کن گلخانه‌ای خورشیدی پرداخته شده است. از آنجایی که بررسی تجربی انواع هندسه‌های موجود خشک‌کن گلخانه‌ای خورشیدی در مقیاس واقعی منوط به احداث چندین گلخانه با اشکال مختلف است و این کار مستلزم صرف هزینه و زمان زیادی است، از روش شبیه‌سازی به عنوان روش جایگزین برای پیش‌بینی رفتار این خشک‌کن‌ها استفاده شده است. شبیه‌سازی با استفاده از نرم‌افزار ANSYS fluent 18 انجام شد. هندسه مسأله بر اساس اندازه واقعی (جدول ۱) در قسمت New design modeler به صورت دو بعدی ترسیم گردید و سپس با تعریف بعد سوم به آن حجم داده شد. مش‌بندی به صورت منظم و از سلول‌های چهار وجهی در فضای محاسباتی انجام گردید.

جدول ۱- مشخصات هندسی خشک‌کن‌ها به صورت عمومی

پارامتر	اندازه
طول گلخانه	۱۰ متر
عرض گلخانه	۵ متر
ارتفاع گلخانه	۲/۵ تا ۴ متر
سیستم حرارتی	تابش انرژی خورشید
تعداد دریچه‌ها	یک دریچه در ابتدا و یک دریچه در انتها
طریقه ورود هوا	ورود هوا از ابتدای خشک‌کن
طریقه خروج هوا	خروج هوا از انتهای خشک‌کن

به منظور بررسی عوامل موثر بر خشک کردن، اثر هندسه محفظه گلخانه در چهار سطح (شکل ۲) و شدت تابش خورشید در پنج سطح به نمایندگی از ساعات مختلف روز و ماه در شهر اصفهان (۴۰۰، ۶۰۰، ۸۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۰۰ وات بر متر مربع) روی سرعت، دما و فشار هوای داخل محفظه خشک‌کن به روش CFD مورد ارزیابی قرار گرفته است.

معادلات پیوستگی و مومنتم در جریان‌های تراکم‌ناپذیر و تراکم‌پذیر مطابق معادلات (۱) و (۲) است؛ با این تفاوت که چگالی جریان در جریان تراکم‌پذیر بر خلاف جریان تراکم‌ناپذیر، یک عدد ثابت نیست. از آنجایی که تراکم‌پذیری در انرژی جریان تأثیرگذار است، لذا معادلات انرژی (معادله (۴)) نیز به دستگاه معادلات اضافه شد.

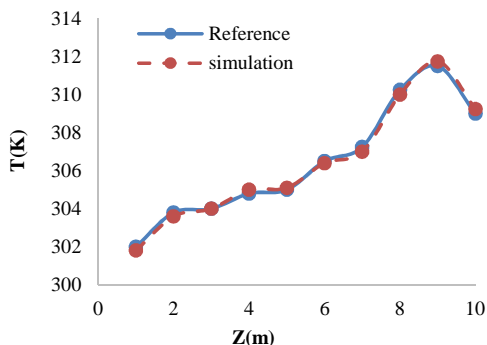
به روش جابجایی اجباری ۴۱ درصد بیشتر از جابجایی طبیعی بوده است (Purusothaman & Valarmathi, 2018).

شبیه‌سازی خشک‌کن گلخانه‌ای با دو هندسه واقعی و هندسه با ارتفاع کاهش یافته نشان داد که توزیع دمای در کل حجم گلخانه تقریباً یکنواخت بود و دمای متوسط داخل خشک‌کن، ۳۱۵ درجه کلون و گرادین دما نسبت به دمای محیط، ۱۴ درجه کلون بود. همچنین سرعت متوسط هوا در ارتفاع ۱ متر، ۰/۷۴ متر بر ثانیه بود که این مقدار نزدیک به پایین‌ترین حد خشک شدن با جابجایی اجباری (۰/۶ متر بر ثانیه) است (Roldan et al., 2019).

خشک کردن فلفل در خشک‌کن گلخانه‌ای با سقف سهموی و مساحت ۱۶۰ متر مربع توسط محققین مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که میزان رطوبت در طی ۳ روز از ۷۴٪ به ۹٪ (wb) کاهش یافت. این در حالی است که در روش خشک کردن مستقیم بدون گلخانه این زمان به ۵ روز افزایش یافت (Kaewkiew et al., 2012).

در تحقیقی عملکرد خشک‌کن خورشیدی گلخانه‌ای با سقف سهموی از جنس صفحات پلی‌کربنات برای خشک کردن زنجبیل ارزیابی شد. برای بررسی عملکرد تجربی خشک شدن، ۳۰۰ کیلوگرم زنجبیل در خشک‌کن گلخانه‌ای خورشیدی در دمای هوای ۳۳ تا ۵۵ درجه سلسیوس خشک شد. نتایج نشان داد که مقدار رطوبت وزنی اولیه مواد از ۹۰٪ تا رطوبت نهایی ۱۰٪ وزنی کاهش یافته است (Nimnuan & Nabnean, 2020).

با توجه به مطالعات انجام شده می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از خشک‌کن گلخانه‌ای خورشیدی روش مناسبی برای خشک کردن محصولات کشاورزی است که در کشورهای مختلف از آن استفاده می‌شود و عواملی مانند هندسه گلخانه، میزان تابش خورشید و سرعت هوای ورودی روی عملکرد آن اثر مستقیم دارند. لذا در این تحقیق مقایسه اثر انواع هندسه‌های موجود برای خشک‌کن گلخانه‌ای و اثر تابش خورشید در روزهای مختلف سال بر عملکرد این نوع خشک‌کن‌ها در اقلیم خشک شهر اصفهان به صورت شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل ۳- اعتبارسنجی نتایج شبیه‌سازی دمای هوای داخل گلخانه در طول گلخانه با نتایج تجربی (Patel (2020)

### بررسی اثر شدت تابش روی سرعت هوای داخل خشک‌کن

کانتور اثر شدت تابش نور خورشید روی سرعت هوای داخل در طول محفظه خشک‌کن نوع اول در شکل ۴ نشان داده شده است. با توجه به این‌که محفظه خشک‌کن در مقطع عرضی به صورت متقارن رسم گردیده است، کانتورها در صفحه  $Y-Z$  و در مقطع صفر عرضی ترسیم شده‌اند و قسمت‌های مستطیل شکل خاکستری رنگ، فضای قرارگیری مواد در حال خشک‌شدن هستند. مشاهده می‌شود که با افزایش تابش، گردش هوا در خشک‌کن بهتر شده است. در تابش ۴۰۰ وات بر متر مربع، نقاط ساکن بسیاری قابل مشاهده است و هر چه مقدار تابش افزایش یافته است این مناطق و نقاط ساکن کاهش یافته و یکنواختی بیشتری در سرعت هوای داخل محفظه ایجاد شده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش تابش شدت خورشید عامل مطلوبی در گردش هوای داخل محفظه است.

مقایسه اثر شدت تابش نور خورشید روی سرعت هوای داخل محفظه خشک‌کن نوع دوم (شکل ۵) نسبت به هندسه نوع اول، نشان می‌دهد که افزایش تابش نور خورشید، عملکرد مناسبی در گردش هوا نداشته است. بیشترین منطقه تحت تأثیر در تابش ۴۰۰ وات بر متر مربع مشاهده می‌شود، ولی نقاط ساکن بسیاری نیز قابل مشاهده است و هر چه مقدار تابش افزایش یافته، این منطقه‌ی تحت تأثیر کاهش یافته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش تابش شدت خورشید عامل مطلوبی در گردش هوای داخل محفظه نوع دوم نیست.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v}) = 0 \quad (1)$$

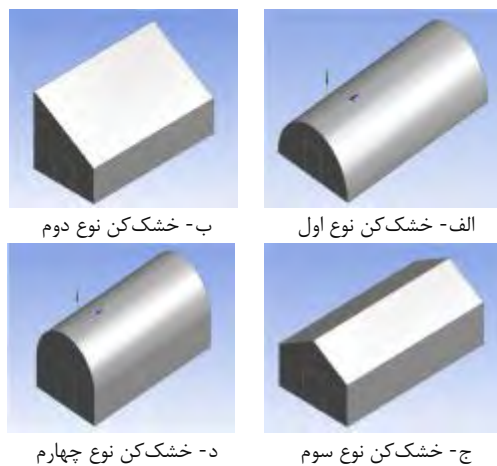
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \mathbf{v}) + \nabla \cdot (\rho \mathbf{v} \mathbf{v}) = \nabla \mathbf{p} + \nabla \cdot (\bar{\boldsymbol{\tau}}) + \rho \mathbf{g} + \mathbf{F} \quad (2)$$

که  $\rho$ : جرم حجمی،  $v$ : سرعت متوسط،  $p$ : فشار استاتیکی،  $\boldsymbol{\tau}$ : تانسور تنش،  $\rho \mathbf{g}$ : نیروی جاذبه و  $\mathbf{F}$ : نیروی خارجی احتمالی وارد بر بدنه است.

$$\bar{\boldsymbol{\tau}} = \mu \left[ (\nabla \mathbf{v} + \nabla \mathbf{v}^T) - \frac{2}{3} \nabla \cdot \mathbf{v} \mathbf{I} \right] \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \mathbf{E}) + \nabla \cdot [\mathbf{v}(\rho \mathbf{E} + \mathbf{p})] = \nabla \cdot [\mathbf{k}_{\text{eff}} \nabla T - \sum_j \mathbf{h}_j \mathbf{j}_j + (\bar{\boldsymbol{\tau}}_{\text{eff}} \cdot \mathbf{v})] + \mathbf{S}_h \quad (4)$$

که  $\mu$ : ویسکوزیته دینامیکی،  $E$ : انرژی جنبشی،  $\mathbf{k}_{\text{eff}}$ : هدایت گرمایی موثر،  $\mathbf{j}_j$ : شار انتشار،  $h$ : آنتالپی،  $T$ : دما و  $\mathbf{S}_h$ : منبع حرارتی حجمی است.

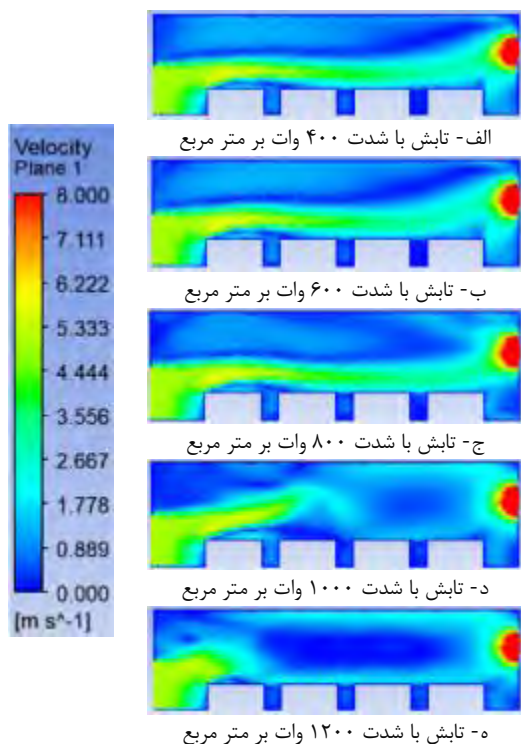


شکل ۲- انواع هندسه خشک‌کن گلخانه‌ای مورد بررسی

### نتایج و بحث

برای اعتبارسنجی شبیه‌سازی انجام شده، نتایج به دست آمده در پژوهش حاضر با داده‌های تجربی به دست آمده از پژوهشی دیگر (Patel, 2020)، مقایسه گردید. میانگین دمای داخل محفظه خشک‌کن (کل حجم خشک‌کن) در فواصل مختلف طولی (راستای  $Z$ )، به صورت شبیه‌سازی و تجربی در شکل ۳ نشان داده شده است. نتایج نشان‌گر این است که تطابق خوبی بین نتایج شبیه‌سازی و نتایج تجربی برقرار است.

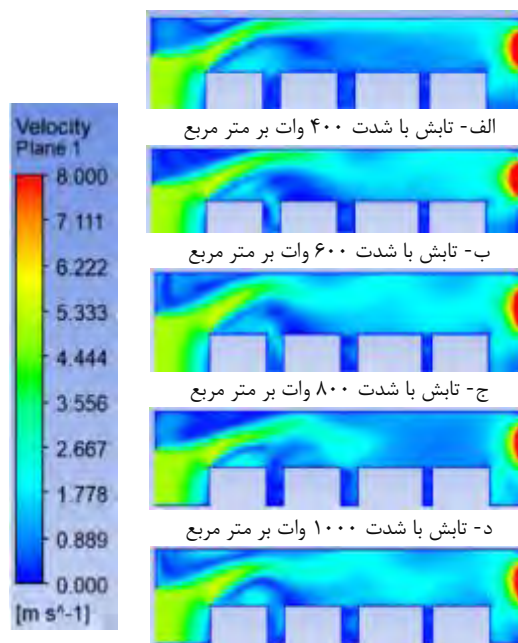
را تحت تأثیر قرار داده است. هر چه مقدار تابش افزایش یافته، این منطقه تحت تأثیر کاهش یافته است. در تابش با شدت ۲۰۰ وات بر متر مربع نقاط سکون زیادی مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده عدم گردش هوا در این حالت است.



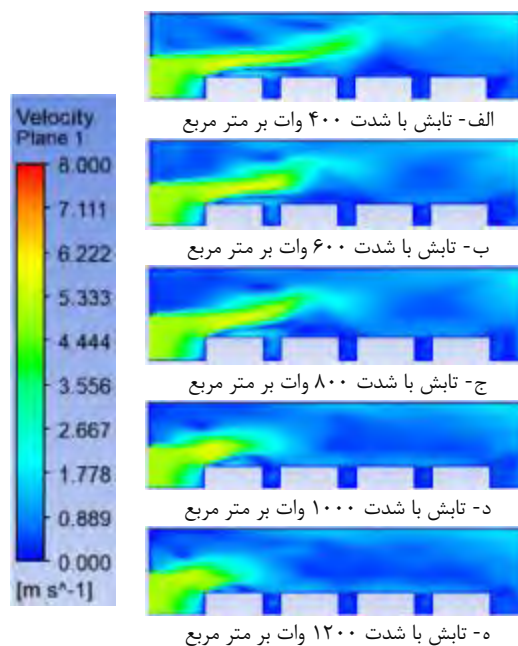
شکل ۶- کانتور سرعت هوای داخل محفظه در تابش‌های مختلف در هندسه نوع سوم

کانتور اثر شدت تابش نور خورشید روی سرعت هوای داخل محفظه خشک‌کن نوع چهارم در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود سرعت هوا در بالای محفظه مواد در حال خشک شدن در تمام شدت‌های تابش به صورت یکنواخت است. این یکنواختی سرعت هوا (۴/۵ تا ۵ متر بر ثانیه) منجر به یکنواختی خشک شدن در تمام طول بستر مواد می‌شود.

از مقایسه کانتورهای سرعت هوای مربوط به چهار نوع هندسه خشک‌کن می‌توان نتیجه گرفت که هندسه نوع چهارم که دارای دیواره‌های عمودی و سقفی سهموی است، بهترین عملکرد را در جریان یکنواخت هوا در داخل خشک‌کن داشته است. این مهم می‌تواند به خشک شدن یکنواخت مواد در طول بستر خشک‌کن کمک نماید.



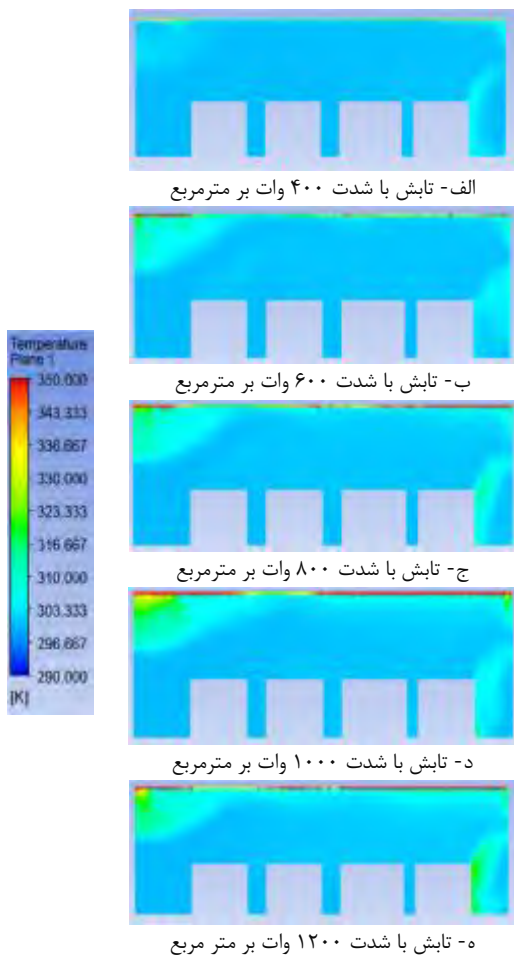
شکل ۴- کانتور سرعت هوای داخل محفظه در تابش‌های مختلف در هندسه نوع اول



شکل ۵- کانتور سرعت هوای داخل محفظه در تابش‌های مختلف در هندسه نوع دوم

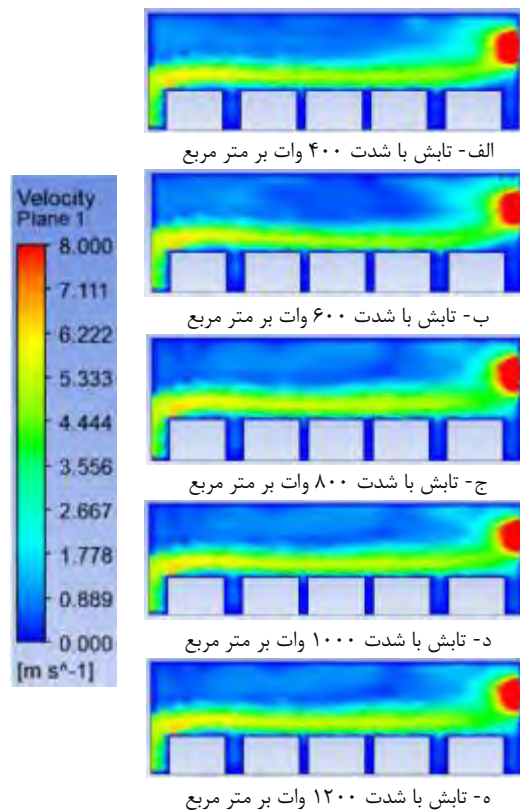
شکل ۶، کانتور اثر شدت تابش نور خورشید روی سرعت هوای داخل محفظه خشک‌کن نوع سوم را نشان می‌دهد. افزایش تابش از ۴۰۰ تا ۸۰۰ وات بر متر مربع، عملکرد مناسبی در گردش هوا داشته است و تمام طول خشک‌کن

نسبت به حالت قبل کمتر است. در تحقیقی مشابه، دمای تجربی به دست آمده برای این نوع گلخانه حدود ۳۲۳ درجه کلوین بوده که کمتر از گلخانه‌های نوع اول و دوم است و نتایج این تحقیق را تأیید می‌کند (Adu et al., 2012).



شکل ۸- کانتور دمای هوای داخل محفظه در تابش‌های مختلف در هندسه نوع اول

در شکل ۹، کانتور اثر شدت تابش نور خورشید روی دمای هوای داخل محفظه خشک‌کن نوع دوم، نشان داده شده است. این هندسه به گونه‌ای است که بیشترین میزان سطح خشک‌کن در معرض تابش مستقیم نور خورشید قرار دارد. نسبت به حالت اول، انتشار حرارت به لایه‌های پایین‌تر در کلیه شدت‌های تابش، بهتر صورت گرفته است.



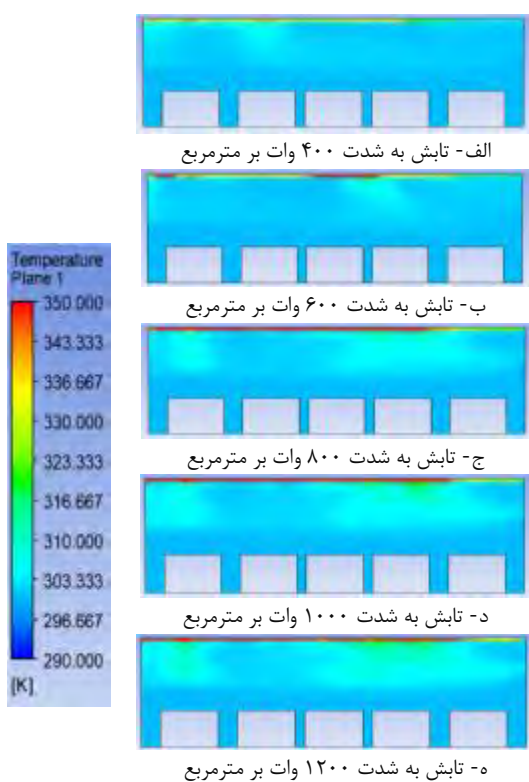
شکل ۷- کانتور سرعت هوای داخل محفظه در تابش‌های مختلف در هندسه نوع چهارم

### بررسی اثر شدت تابش روی دمای هوای داخل خشک‌کن

کانتور دمای هوای داخل محفظه خشک‌کن نوع اول در شدت‌های مختلف تابش نور خورشید در شکل ۸ نشان داده شده است. با افزایش تابش، میانگین دمای هوای خشک‌کن از ۳۰۰ درجه کلوین به ۳۲۰ درجه کلوین افزایش یافته است. افزایش دما، بیشتر در قسمت فوقانی محفظه رخ داده است. نتایج تجربی به دست آمده توسط سایر محققین برای این نوع خشک‌کن، دمای بین ۳۲۵ تا ۳۳۰ درجه کلوین را نشان داده است که مطابقت خوبی با نتایج شبیه‌سازی دارد (Janjai et al., 2009).

کانتور اثر شدت تابش نور خورشید روی دمای هوای داخل محفظه خشک‌کن نوع سوم در شکل ۱۰ نشان داده شده است. از نظر یکنواختی دما مشاهده می‌شود که دما تقریباً در محفظه، یکنواخت است و اثری از پرش‌های دمایی و نقاط با دمای بالا در داخل محفظه وجود ندارد. همچنین نسبت به هندسه نوع دوم به دلیل سطح کمتری که در معرض تابش قرار دارد، دمای داخل محفظه در این حالت

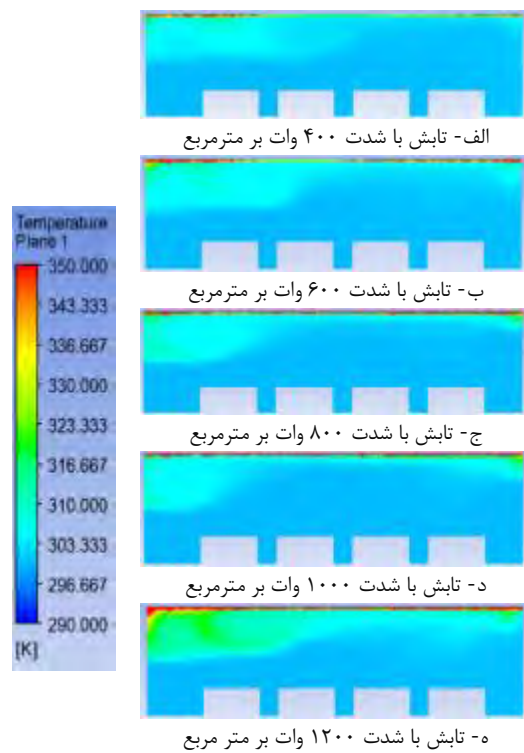
شکل ۱۱، کانتور شدت تابش نور خورشید روی دمای هوای داخل محفظه خشک‌کن نوع چهارم را نشان می‌دهد. بررسی کانتورها از نظر یکنواختی دما نشان می‌دهد که همانند هندسه نوع سوم، دمای تقریباً یکنواختی در محفظه وجود دارد و اثری از پرش‌های دمایی و نقاط با دمای بالا در داخل محفظه وجود ندارد. از مقایسه کانتورهای دمای هوای مربوط به چهار نوع هندسه خشک‌کن می‌توان نتیجه گرفت که هندسه نوع سوم و چهارم بهترین عملکرد را در توزیع دمای یکنواخت هوا (۳۱۰ تا ۳۱۵ کلوین) در داخل خشک‌کن داشته‌اند. این مهم می‌تواند به خشک شدن یکنواخت مواد در طول بستر خشک‌کن کمک نماید.



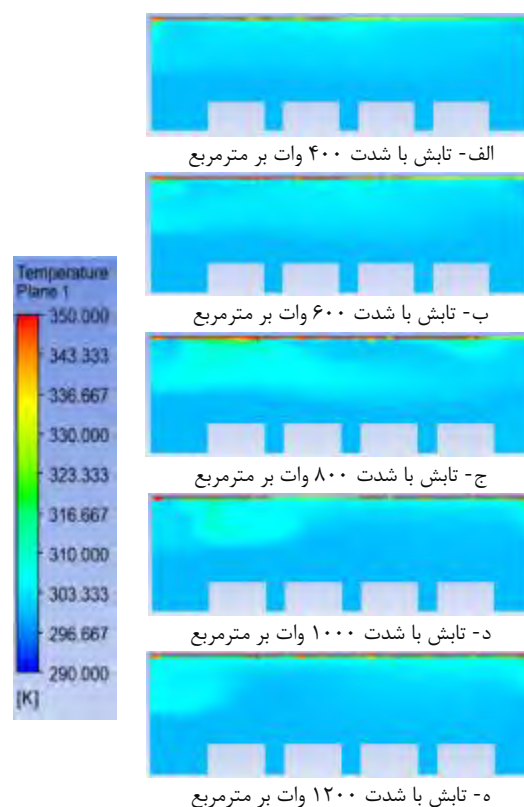
شکل ۱۱- کانتور دمای هوای داخل محفظه در تابش‌های مختلف در هندسه نوع چهارم

### بررسی اثر شدت تابش روی فشار هوای داخل خشک‌کن

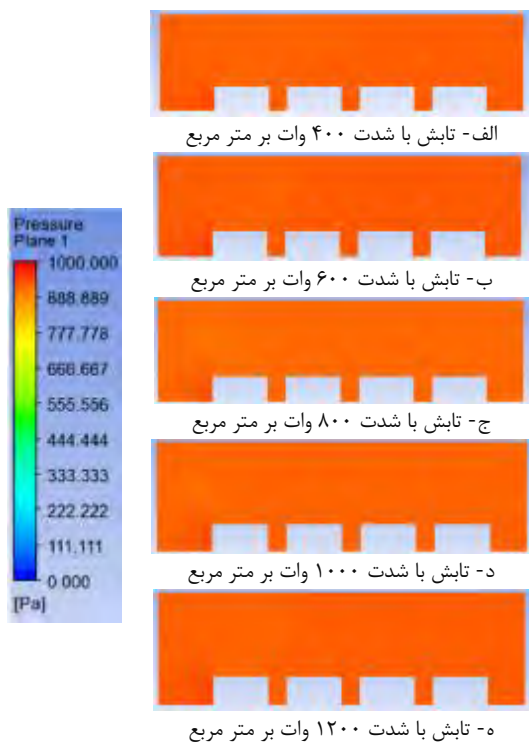
کانتور اثر شدت تابش نور خورشید روی فشار داخل محفظه خشک‌کن نوع اول در شکل ۱۲ نشان داده شده است. با افزایش تابش، میانگین فشار هوای خشک‌کن، کمی نسبت به فشار هوای آزاد افزایش یافته است.



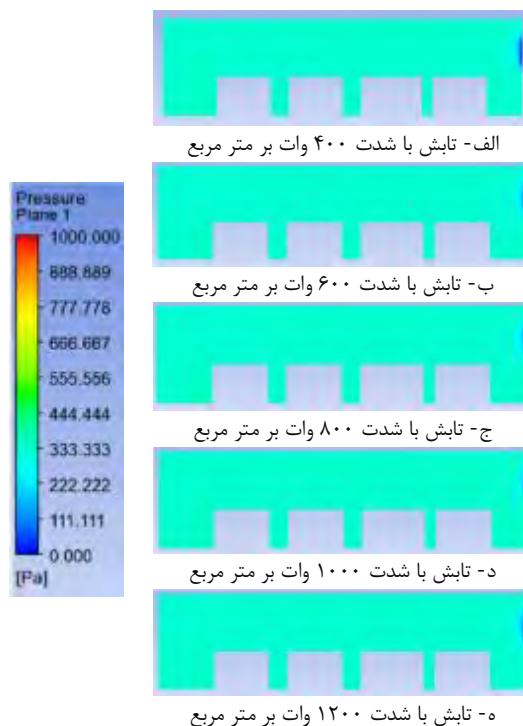
شکل ۹- کانتور دمای هوای داخل محفظه در تابش‌های مختلف در هندسه نوع دوم



شکل ۱۰- کانتور دمای هوای داخل محفظه در تابش‌های مختلف در هندسه نوع سوم

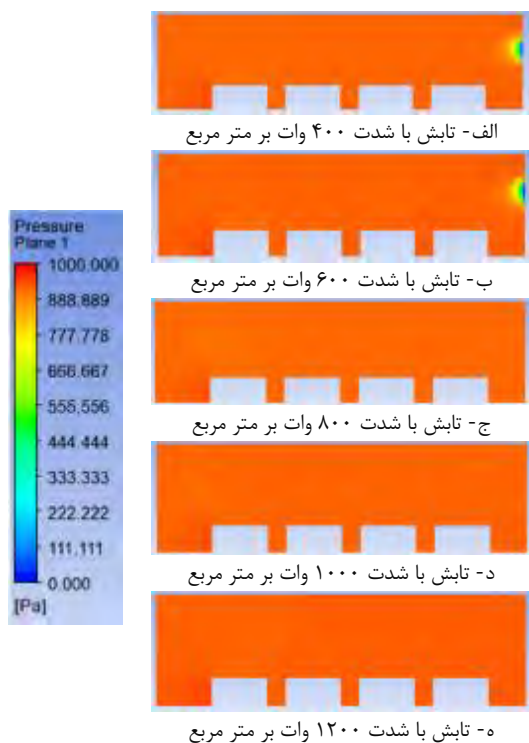


شکل ۱۳- کانتور فشار هوای داخل محفظه در تابش‌های مختلف در هندسه نوع دوم



شکل ۱۲- کانتور فشار هوای داخل محفظه در تابش‌های مختلف در هندسه نوع اول

شکل ۱۳ کانتور اثر شدت تابش نور خورشید روی فشار داخل محفظه خشک‌کن نوع دوم را نشان می‌دهد. فشار هوای خشک‌کن، با افزایش تابش، افزایش یافته است. این افزایش فشار، بیشتر از هندسه نوع اول بوده است. با توجه به اینکه دمای داخل خشک‌کن نوع دوم نسبت به نوع اول بیشتر بود، لذا انتظار افزایش فشار هم وجود داشت. کانتور اثر شدت تابش نور خورشید روی فشار داخل محفظه خشک‌کن نوع سوم در شکل ۱۴ نشان داده شده است. از مقایسه شکل ۱۴ با شکل ۱۳ مشاهده می‌شود که فشار داخل محفظه کمتر از هندسه نوع دوم بوده است. کانتور اثر شدت تابش نور خورشید روی فشار داخل محفظه خشک‌کن نوع چهارم در شکل ۱۵ نشان داده شده است. با افزایش تابش، فشار هوای خشک‌کن، به شدت افزایش یافته است. فشار بالای محفظه عمل مناسبی برای خشک کردن نیست.



شکل ۱۴- کانتور فشار هوای داخل محفظه در تابش‌های مختلف در هندسه نوع سوم



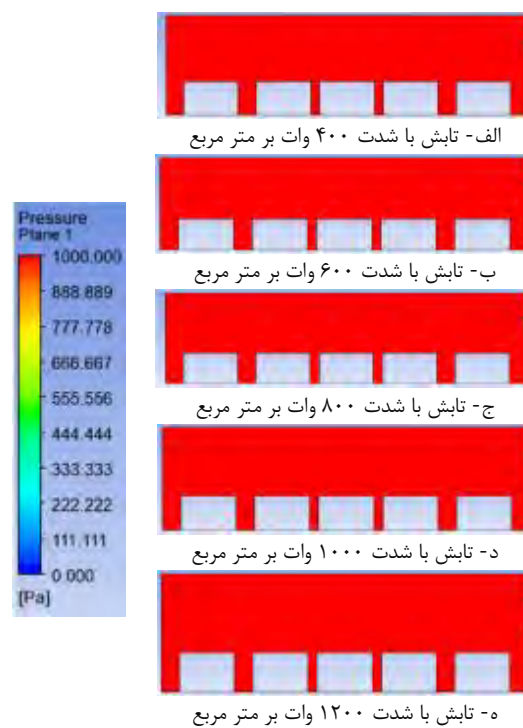
۲- بهترین عملکرد در توزیع یکنواخت دمای هوای داخل خشک‌کن (۳۱۰ تا ۳۱۵ کلوین) مربوط به گلخانه با سقف شیب‌دار دوطرفه و گلخانه با سقف محدب و دیواره‌های بوده است.

۳- کمترین و بیشترین فشار هوای داخل خشک‌کن، به ترتیب  $330 \text{ Pa}$  و  $890 \text{ Pa}$  مربوط به گلخانه با سقف محدب و گلخانه با سقف محدب و دیواره‌های عمودی بوده است.

۴- در مجموع، گلخانه با سقف محدب و دیواره‌های عمودی بهترین عملکرد را در خشک شدن یکنواخت مواد در طول بستر خشک‌کن داشت.

### منابع

- Adu, E. A., Bodunde, A. A., Awagu, E. F., & Olayemi, F. F. (2012). Design, construction and performance evaluation of a solar agricultural drying tent. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 1: 1-11.
- Bala, B. K., & Janjai, S. (2013). Solar drying of agricultural products. *Stewart Postharvest Review*, 9(2): 1- 8.
- Baxevanou, C., Fidaros, D., Bartzanas, T., & Kittas, C. (2010). Numerical simulation of solar radiation, air flow and temperature distribution in a naturally ventilated tunnel greenhouse. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 12: 48- 67.
- Bekkioui, N., El, S., Rachadi, A., & Ez-zahraouy, H. (2020). One-year simulation of a solar wood dryer with glazed walls in a Moroccan climate. *Renewable Energy*, 155: 770-782.
- Boulard, T., & Wang, S. (2002). Experimental and numerical studies on the heterogeneity of crop transpiration in a plastic tunnel. *Computers and Electronics in Agriculture*, 34: 173-190.
- Etim, P. J., Eke, A. B., & Joshua, K. (2020). Design and development of an active indirect solar dryer for cooking banana. *Scientific African*, 8: e00463.
- Janjai, S., Lamlert, N., Intawee, P., Mahayothee, B., Bala, BK., Nagle, M., & Müller, J. (2009). Experimental and simulated performance of a pv-ventilated solar greenhouse dryer for drying of peeled longan and banana. *Solar Energy*, 83: 1550-65.
- Kaewkiew, J., Nabnean, S., & Janjai, S. (2012). Experimental investigation of the performance of a large-scale greenhouse type solar dryer for drying chilli in Thailand. *Procedia Engineering*, 32: 433-9.



شکل ۱۵- کانتور فشار هوای داخل محفظه در تابش‌های مختلف در هندسه نوع چهارم

از مقایسه کانتورهای فشار هوای مربوط به چهار نوع هندسه خشک‌کن می‌توان نتیجه گرفت که هندسه نوع اول کمترین فشار هوای داخل خشک‌کن ( $330 \text{ Pa}$ ) و هندسه نوع چهارم بیشترین فشار هوای داخل خشک‌کن ( $390 \text{ Pa}$ ) را دارد. با توجه به اینکه هرچه فشار داخل محفظه کمتر باشد، تخییر در دمای پایین‌تری انجام می‌شود، می‌توان دریافت که خشک‌کن نوع چهارم با وجود عملکرد مناسب در ایجاد سرعت جریان هوای و توزیع دمای یکنواخت در محفظه خشک شدن، عملکرد خوبی در فشار داخل محفظه ندارد.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق، اثر هندسه محفظه خشک‌کن در چهار سطح و شدت تابش خورشید در پنج سطح روی سرعت، دما و فشار هوای داخل محفظه خشک‌کن به روش CFD ارزیابی گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که:

۱- گلخانه با سقف محدب و دیواره‌های عمودی بهترین عملکرد را در یکنواختی سرعت جریان هوا ( $4/5$  تا  $5$  متر بر ثانیه) بر روی مواد در حال خشک شدن داشته است.

- Kumar, P., & Singh, D. (2020). Advanced technologies and performance investigations of solar dryers: A review. *Renewable Energy Focus*, 35: 148- 158.
- Patel, H. A. (2020). Experimental conditions to identify the ideal shape of dryer investigation of six shapes of solar greenhouse dryer in no load. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 9(4): 206-210.
- Purusothaman, M. & Valarmathi, T. N. (2018). Computational fluid dynamics analysis of greenhouse solar dryer. *International Journal of Ambient Energy*, 40(8): 894-900.
- Roldan, N. I. R., Ortiz, A. L., Yudsonago, J. F. I., Valladares, O. G., & Figueroa, I. P. (2019). Computational fluid dynamics analysis of heat transfer in a greenhouse solar dryer “chapel-type” coupled to an air solar heating system. *Energy Science & Engineering*, 7(4): 1123-1139.
- Tomar, V., Tiwari, G. N., & Norton, B. (2017). Solar dryers for tropical food preservation: Thermophysics of crops, systems and components. *Solar Energy*, 154: 2-13.
- Nimnuan, P., & Nabnean, S. (2020). Experimental and simulated investigations of the performance of the solar greenhouse dryer for drying cassumunar ginger (*Zingiber cassumunar Roxb.*). *Case Studies in Thermal Engineering*, 22: 100745.

## پیش‌بینی تولید بیواتانول از ترکیبات لیگنوسلولزی در راکتور بی‌هوازی با همزن پنوماتیکی - مکانیکی توسط شبکه عصبی

سیده هدی یوسفیان<sup>۱</sup>، رحیم ابراهیمی<sup>۲</sup>، بهرام حسین‌زاده سامانی<sup>۳</sup> و علی ملکی<sup>۳</sup>

### چکیده

در این تحقیق یک هاضم بی‌هوازی با همزن پنوماتیکی جهت تخمیر ترکیبات لیگنوسلولزی کاه گندم و برنج طراحی و با هاضم با همزن مکانیکی مقایسه گردید. پیش‌تیمار فراصوت در زمان ۳۰ دقیقه، غلظت اسید ۱/۹۰۵ v/v % و بار زیست‌توده ۶% انجام گردید. سپس هیدرولیز اسیدی در زمان ۴۵ دقیقه، غلظت اسید ۲/۰۴ v/v % و دمای ۱۴۸/۴ درجه سلسیوس انجام شد. در ادامه زیست‌توده، جهت تخمیر در دو هاضم پنوماتیکی و مکانیکی ریخته شد و طی ۲۰ روز فرآیند تخمیر صورت گرفت. توالی نمونه‌برداری هر ۵ روز بود. بر اساس نتایج، هاضم پنوماتیکی توانست به میزان ۳۸/۶۶ درصد نسبت به هاضم با همزن مکانیکی، بیواتانول بیشتری تولید کند. همچنین ترکیبات  $H_2S$ ،  $CO$  و  $O_2$  نیز در طی تخمیر اندازه‌گیری شد. در هاضم پنوماتیکی میزان تولید  $H_2S$  و  $O_2$  نسبت به مخزن با همزن مکانیکی کمتر، اما میزان تولید  $CO$  به طور نامحسوسی بیشتر بود. همچنین توسط شبکه عصبی نیز میزان ترکیبات ایجاد شده در تخمیر طی ۵۰ روز پیش‌بینی و با نتایج واقعی مقایسه گردید. با توجه به نتایج، می‌توان به خوبی توسط شبکه عصبی روند تغییرات ترکیبات تخمیر را در هاضم پنوماتیک (۹۴%) و هاضم مکانیکی (۸۹%) پیش‌بینی نمود و تصمیم قطعی جهت تخمیر ترکیبات کاه و گندم و برنج گرفت. در نهایت با کمک سامانه هاضم پنوماتیکی می‌توان میزان ترکیبات مضر تولید شده در طی فرآیند را کنترل کرد و میزان تولید بیواتانول را افزایش داد.

**واژه‌های کلیدی:** بیواتانول، هاضم، تخمیر، پنوماتیک، همزن.

ارجاع: یوسفیان س. ه. ابراهیمی ر. حسین‌زاده سامانی ب. و ملکی ع. ۱۴۰۱. پیش‌بینی تولید بیواتانول از ترکیبات لیگنوسلولزی در راکتور بی‌هوازی با همزن پنوماتیکی-مکانیکی توسط شبکه عصبی. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۵: ۳۰-۲۱. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.113904.592>

۱- دکتری تخصصی، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۳- دانشیار گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

\* نویسنده مسئول: [Rahim.ebrahimi@gmail.com](mailto:Rahim.ebrahimi@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۸

## مقدمه

پرکاربرد در شکست ساختار در ترکیبات لیگنوسلولزی است (Pejin *et al.*, 2012).

در ادامه و جهت استخراج اتانول از گلوکز موجود در زیست‌توده، باید مواد را برای فرآیند تخمیر آماده کرد. اجزای سلولزی مواد لیگنوسلولزی می‌توانند پس از تجزیه‌ی آنزیمی توسط میکروارگانیسم‌های تخمیر کننده مورد استفاده قرار گرفته و در شرایط مناسب، اتانول تولید نمایند (Carrillo-Nieves *et al.*, 2019).

مخلوط کردن سیالات از فرایندهای مهم در صنایع شیمیایی است. سیستم‌های اختلاط می‌تواند شامل مخلوط کردن سیال با هر کدام از فازهای دیگر یعنی مایع، جامد و گاز باشد. عملیات اختلاط معمولاً به دلیل اختلاط یک حجم از سیال، واکنش شیمیایی، انتقال حرارت، انتقال جرم و اختلاط چند فاز با هم (سوسپانسیون و تعلیق) در داخل مخازن همزن‌دار انجام می‌شود (Jahanbakhshi & Salehi, 2019).

مخازن همزن‌دار معمولاً استوانه‌ای شکل هستند که بالای آن با هوا می‌تواند ارتباط داشته باشد یا بسته باشد. انرژی لازم جهت به حرکت درآوردن همزن نیز توسط یک الکتروموتور تأمین می‌گردد (Chow *et al.*, 2020). پره‌های همزن در مخازن همزن‌دار قادرند دو نوع کلی جریان یعنی شعاعی و محوری یا ترکیبی از این دو را به وجود آورند. در نوع جریان شعاعی، سیال پس از برخورد به پره در جهت شعاع حرکت می‌کند. اما در جریان محوری حرکت در جهت محور همزن خواهد بود. پره‌هایی که در همزن‌ها بکار می‌روند سه نوع کلی دارند که ۹۵٪ کل پره‌ها را تشکیل می‌دهند و عبارتند از ملخی، پارویی و توربینی (Jahanbakhshi & Salehi, 2019). در سرعت‌های پایین همزن، سطح مایع تقریباً صاف بوده و مایع در اطراف محور همزن گردش می‌کند. با افزایش سرعت همزن برای ایجاد تلاطم، توان لازم برای به حرکت درآوردن همزن افزایش یافته و در اطراف محور همزن گرداب تشکیل می‌شود. در سرعت‌های بالاتر، در نهایت گرداب به پره همزن می‌رسد. در این حالت هوا به درون مایع کشیده شده و قسمتی از پره درون هوا می‌گردد و توان لازم کاهش می‌یابد. کشیده شدن هوا به درون مایع عموماً نامطلوب است و به‌علاوه وجود گرداب سبب بروز مشکلاتی در تغییر مقیاس آزمایشگاهی و نیمه صنعتی به مقیاس صنعتی می‌گردد. لذا سعی در پیش‌گیری از ایجاد گرداب می‌شود

اتانول یا الکل اتیلیک با فرمول شیمیایی  $C_2H_5OH$  را می‌توان به دو روش پتروشیمیایی (هیدراسیون یا به عبارتی احیای غیرمستقیم و یا احیای مستقیم گاز اتیلن) و زیستی تولید کرد. بیواتانول (اتانول زیستی) توسط تخمیر اجزای کربوهیدراتی مواد گیاهی تولید می‌شود (Toor *et al.*, 2020). روش‌های مرسوم تولید بیواتانول (سوخت‌های زیستی نسل اول) بر پایه استفاده از محصولات نشاسته‌ای مانند ذرت و گندم و محصولات قندی مانند نیشکر و چغندر قند هستند (Panahi *et al.*, 2020). با این حال، کشت محصولات زراعی جایگزین مانند سورگوم شیرین فرصت‌های جدیدی را در جهان به ویژه در مناطق گرم و خشک ایجاد می‌کند (Ofori-Boateng & Lee, 2014).

علاوه بر این، با توسعه فناوری‌های جدید علاوه بر نشاسته و محصولات قندی حاوی انرژی بالا می‌توان از زیست توده‌های چوبی یا زیست توده جنگل‌ها به عنوان مواد لیگنوسلولزی نیز استفاده کرد که به عنوان نسل دوم سوخت‌های زیستی شناخته می‌شود (Velmurugan & Muthukumar, 2011). ترکیبات لیگنوسلولزی از سلولز، همی‌سلولز، لیگنین و مقدار ناچیزی ترکیبات دیگر تشکیل شده است. سلولز، فراوان‌ترین ترکیب در میان توده‌های زیستی است که در طبیعت و مخصوصاً در دیواره‌های سلولی گیاهان یافت می‌شود (Leustean, 2009). همی‌سلولز اغلب به صورت شیمیایی در اجتماع پلی‌ساکاریدها، پروتئین‌ها یا لیگنین‌ها حضور دارد و در مقایسه با سلولز، کریستالی و بسیار سخت است (Lin *et al.*, 2020). سلولز و همی‌سلولز به هم متصل و توسط لیگنین پوشانیده شده‌اند. پیوندهای شیمیایی بین لیگنین و همی‌سلولز و حتی سلولز یکی از موانع استفاده از مواد لیگنوسلولزی در فرآیندهای هیدرولیز و تخمیر است (Pan *et al.*, 2019).

مواد لیگنوسلولزی نسبت به حملات شیمیایی و بیولوژیکی بسیار مقاوم هستند. در واقع، عملیات پیش‌تیمار و هیدرولیز (Alvira *et al.*, 2010) جهت ایجاد تغییر در ساختار فیزیکی و شیمیایی مواد لیگنوسلولزی و به منظور بهبود بازده تبدیل آنها به قندهای قابل تخمیر صورت می‌گیرد. پیش‌تیمارهای مختلف فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و فیزیکی-شیمیایی از جمله پیش‌تیمارهای

طرفی با استفاده از همزن پنوماتیکی می‌توان در مصرف انرژی به طور چشم‌گیری صرفه‌جویی نمود و فرآیند اختلاط با مصرف انرژی کمتری صورت گیرد. با توجه به مطالعات صورت گرفته، هدف از انجام این تحقیق، بهبود فرآیند تولید بیواتانول با استفاده از تخمیر با همزن پنوماتیکی است که نخستین بار بدین صورت انجام خواهد شد.

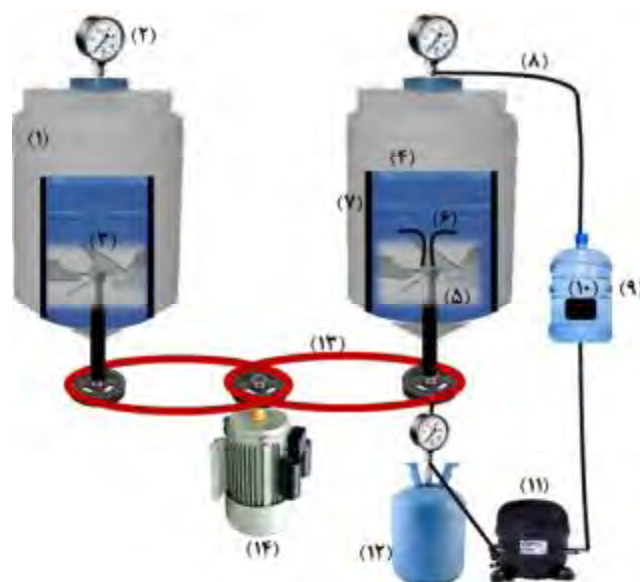
### مواد و روش‌ها

در این پژوهش پسماند دو محصول گندم و برنج (کاه) تهیه شد. قبل از استفاده از مواد شیمیایی و جهت خالص‌سازی، ابتدا مواد اولیه توسط هموژنایزر آزمایشگاهی (آسان‌توس شرق، ۱۰۰۰) به قطعات ریزتر تقسیم شد و به مدت ۲۴ ساعت در آب گذاشته شد تا کاملاً خیس بخورند و مواد اضافی چسبیده به آنها راحت‌تر جدا شود. سپس برای خشک شدن، مواد در دمای ۶۰ درجه سلسیوس تا رسیدن به وزن ثابت در آن (Memmert, UN55) قرار گرفتند. سپس از الک با اندازه ۲۰ (۸۵۰ میکرون) عبور داده شد و در کیسه پلی‌اتیلنی در بسته در دمای محیط نگهداری شدند. مراحل تولید بیواتانول در تحقیق، در شکل ۱ نشان داده شده است.

(Niazkhani., 2018). همچنین جهت جلوگیری از اتلاف وقت و هزینه در بسیاری از آزمایشات نمی‌توان در روزهای متوالی ترکیبات را بررسی نمود اما از هوش مصنوعی می‌توان در این زمینه بهره برد.

شبکه‌های عصبی مصنوعی از روش‌های مدل‌سازی با الهام از ویژگی‌های سیستم عصبی انسان است، که در حوزه‌های مختلف علوم مهندسی برای پیش‌بینی پدیده‌های پیچیده و غیر خطی مورد استفاده قرار می‌گیرد. ساختار شبکه عصبی حداقل با داشتن سه لایه شامل لایه ورودی، حداقل یک لایه مخفی و یک لایه خروجی قابل تعریف است. هر ورودی به شبکه عصبی به یک وزن ضرب شده و با یک بایاس جمع می‌گردد. از الگوریتم‌های مختلف شبکه برای آموزش الگوی موجود بین داده‌ها استفاده می‌شود و از سه قسمت آموزش، اعتبارسنجی و آزمون شبکه، مدل ساخته شده قابل ارزیابی است (Alborzi, 2001). در مجموع می‌توان از شبکه عصبی در پیش‌بینی فرآیندهای مختلف استفاده نمود.

با توجه به اهمیت بیواتانول و همچنین نحوه هم‌زدن در طی فرآیند تخمیر، نیاز است تا با روشی، مصرف انرژی و فرآیند هم‌زدن را سرعت بخشید و در عین حال در سرعت‌های بالا نیز از ایجاد گرداب جلوگیری نمود. از



شکل ۱- نمای فرآیند تخمیر توسط همزن پنوماتیک

۱- مخزن، ۲- فشارسنج، ۳- همزن مکانیکی، ۴- مخزن اصلی زیست‌توده، ۵- همزن پنو-مکانیکی، ۶- نازل روی همزن، ۷- بافل‌ها (سپرک) ۸- لوله انتقال گاز جمع‌آوری شده در مخزن، ۹- مخزن جمع‌آوری گاز، ۱۰- سیلیکاژل، ۱۱- کمپرسور، ۱۲- کپسول، ۱۳- پولی و تسمه و ۱۴- الکتروموتور)

### پیش‌تیمار نمونه‌ها با فراصوت

در این بخش، ۵ گرم زیست‌توده آسیاب شده با ۱۰۰ میلی‌لیتر آب مقطر در داخل قوطی‌های یورین ریخته و در محفظه آبی آلتراسوند ( Digital Ultrasonic Cleaner, ) CD-4820 (2500 cc) در زمان، دما و غلظت‌های اسید مختلف و با فرکانس ۳۵ kHz قرار گرفت. بعد از پیش‌تیمار فراصوت، جهت جداسازی محلول از زیست‌توده توسط کاغذ صافی whatman، محلول جداسازی شد و سپس و جهت خنثی کردن اثر اسید سولفوریک، زیست‌توده با آب مقطر و توسط قیف خلأ بوخنر شست و شو داده شد (Niju *et al.*, 2020).

### هیدرولیز

پیش‌تیمار فراصوت در زمان ۳۰ دقیقه، غلظت اسید ۱/۹۰۵ v/v % و بار زیست‌توده ۶% انجام شد. بعد از پیش‌تیمار فراصوت، میزان ۳۰ گرم زیست‌توده با ۶۱۶ میلی‌لیتر آب مقطر و ۱۱/۷۳ میلی‌لیتر اسید سولفوریک پیش‌تیمار و با آب مقطر شستشو داده شد و سپس بخش جامد و محلول جدا گردید. بخش جامد در آون با دمای ۶۰ درجه سلسیوس قرار گرفت تا رسیدن به وزن ثابت خشک شود. بعد از فرآیند پیش‌تیمار، میزان ۱۰ گرم زیست‌توده به همراه ۸۰ میلی‌لیتر آب مقطر در داخل قوطی‌های یورین ۷۰ میلی‌لیتری عایق در مقابل حرارت ریخته شد تا عملیات هیدرولیز انجام گردد.

### تخمیر زیست‌توده با همزن پنوماتیکی-مکانیکی

جهت بررسی فرآیند تخمیر از دو مخزن فایبرگلاس جهت مقایسه همزن مکانیکی و پنوماتیکی بر ظرفیت تولید بیواتانول استفاده شد. مخزن فایبرگلاس با همزن پنوماتیکی دارای حجم ۲۲۰ لیتر، ضخامت ۰/۰۱ متر، قطر ۰/۵۷ متر و ارتفاع ۰/۹ متر بود. در داخل آن از یک مخزن با حجم ۲۰ لیتر که شامل بافل‌هایی (سپرک) روی دیواره درونی آن بود، استفاده شد و انتهای مخازن همزن‌ها قرار داشتند. نمای مخازن و اتصالات همزن‌ها در شکل (۱) آورده شده است. همزن پنوماتیکی پارویی ساده شامل ۴ پره به طول ۱۲ سانتی‌متر متصل بر روی یک محور بوده و روی آن نازل‌هایی متقارن به طول تقریبی ۲ سانتی‌متر همراه با سوپاپ یک‌طرفه جوش خورده است. انتهای هر مخزن و از دیواره بیرونی، یک محور همراه با تسمه و پولی

به موتور الکتریکی متصل شد و با کمک تثبیت‌کننده دور آن قابل تنظیم بود. پس از مایع‌سازی، ۱۰ کیلوگرم زیست‌توده در مخزن همزن‌کننده ریخته شد و ۱۰ گرم مخمر *Saccharomyces cerevisiae* (۵ گرم به ازای هر لیتر) (Niju *et al.*, 2020) اضافه شد. در داخل مخزن اولیه و تا بالای مخزن آب ریخته شد و المنت‌های گرمایشی جهت گرم کردن آب داخل مخزن گرم‌کننده قرار گرفت. میزان pH هر دو مخزن توسط pH متر (3510, JENWAY, England) اندازه‌گیری شد که میانگین آن ۶/۸۳ بدست آمد. میزان دمای آب داخل مخزن گرم‌کننده هر روز توسط دماسنج (Lutron, TM-939) بررسی شد. میانگین دمای آب مخزن گرم‌کننده برابر با ۳۷ درجه سلسیوس نگهداشته شد. زیست‌توده، روزانه به مدت ۱۰ دقیقه در طی ۲۰ روز به صورت بی‌هوازی و پنوماتیک هم زده شد. گاز جمع‌آوری شده روی سطح زیست‌توده در داخل مخزن با گذشت زمان توسط لوله و در داخل یک مخزن ثانویه جمع‌آوری گردید. همچنین در این بخش از کیسه‌های سیلیکاژل ساشه‌ای جهت کاهش رطوبت در گاز برگشتی استفاده شد. سپس توسط کمپرسور و با تنظیم فشارسنج، گاز در زمان‌های مشخص به داخل مخزن و توسط نازل‌ها رانده شد. همچنین جهت مقایسه همزن پنوماتیکی، یک مخزن با همزن مکانیکی نیز طراحی گردید. تمامی مشخصات مخزن مکانیکی مانند مخزن قبل است و فقط در این مخزن از همزن مکانیکی جهت همزدن زیست‌توده استفاده شد. در نهایت در فواصل زمانی ۵ روزه توسط شیر خروجی تعبیه شده در انتهای مخزن از داخل راکتور نمونه‌برداری شد و برای مرحله تقطیر در داخل شیشه‌های در بسته نگهداری گردید. اندازه‌گیری ترکیبات بیواتانول بر اساس ppm و %v/v با استفاده از گازسنج BW (Gas Alert Max XT II, Canada) انجام گردید. بعد از مراحل تقطیر در چگالنده (IKA RV 10 digital V, Germany) در دمای ۷۸/۵ درجه سلسیوس، مقدار بیواتانول توسط یک سوانگار گازی (Gas Chromatography) با تزریق ۵ میکرولیتر از محلول خروجی از راکتور (بیواتانول) به دستگاه و با مشخصات دستگاهی ثابت، مورد بررسی قرار گرفت.

به طور خلاصه، بعد از انجام هیدرولیز با سولفوریک اسید ۲/۰۴%، زیست‌توده به مدت ۴۵ دقیقه و در دمای ۱۴۸/۴ درجه سلسیوس قرار گرفت. سپس عملیات تخمیر روی

جدول ۱- نتایج پیش‌بینی شبکه عصبی در تولید H<sub>2</sub>S در دو

هاضم مختلف		
نوع هاضم	بهترین شبکه	آموزش
H <sub>2</sub> S-PMD	لایه	۳
	اجرا	۱
	تکرار	۱۹۸
	کمترین مربعات خطا	$3/69779 \times 10^{-22}$
H <sub>2</sub> S-MD	مربعات خطای نهایی	$7/19014 \times 10^{-22}$
	r	۰/۹۲
	لایه	۴
	اجرا	۱
H <sub>2</sub> S-MD	تکرار	۲۰۰
	کمترین مربعات خطا	$1/6563 \times 10^{-22}$
	مربعات خطای نهایی	$1/6563 \times 10^{-22}$
	r	۰/۹۷

با توجه به نتایج شبکه عصبی (شکل ۳-ب)، بهترین شبکه برای بررسی H<sub>2</sub>S در هاضم پنوماتیک با سه لایه و تکرار ۱۹۸ رخ داد. در این شبکه میزان r بالا و میانگین مربعات خطای پایین نشان دهنده این است که پراکندگی داده‌ها کم است. نتایج پیش‌بینی شبکه عصبی با نمودار قرمز رنگ در شکل ۳-ج از روز اول تا ۵ام تخمیر در هاضم پنوماتیک ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که در روز ۵ام تخمیر در هاضم بی‌هوازی افزایش H<sub>2</sub>S رخ داده و سپس به مرور زمان این روند کاهش یافته است. شبکه عصبی ایجاد شده میزان H<sub>2</sub>S تولید شده در راکتور بی‌هوازی را در روز ۲۰ام تخمیر در پایین‌ترین میزان خود پیش‌بینی کرده است و با افزایش تخمیر، میزان H<sub>2</sub>S افزایش یافته است. همچنین میزان H<sub>2</sub>S در راکتور مکانیکی MD در روزهای ۵، ۱۰ و ۱۵ام افزایش داشته است و تا روز ۲۰ام نیز کمی روند نزولی به خود گرفته است. بهترین شبکه عصبی در روز ۱۵ام تخمیر، کاهش H<sub>2</sub>S را نشان داده و میزان این گاز تا روز ۵ام تخمیر نیز روند صعودی را به خود گرفته است. نتایج شبکه عصبی نشان می‌دهد که با افزایش زمان تخمیر میزان H<sub>2</sub>S افزایش می‌یابد که این به نوبه خود یک ضرر برای فرآیند تخمیر است. به نظر می‌رسد شبکه عصبی بهترین زمان تخمیر را در روز ۱۵ام تخمیر در راکتور MD و روز ۲۵ام در راکتور PMD تخمین زده است. می‌توان گفت که توسعه همزن پنوماتیکی در راستای حذف H<sub>2</sub>S موفق

زیست‌توده داخل هر دو مخزن شروع گردید. جهت مقایسه بین عملکرد دو مخزن پنوماتیکی (Pneu-Mechanical Digester, PMD) و مکانیکی (Mechanical Digester, MD) میزان بیواتانول، H<sub>2</sub>S، CO و O<sub>2</sub> در طول دوره ۲۰ روزه اندازه‌گیری شد. سپس توسط شبکه عصبی میزان ترکیبات تولید شده تا ۵۰ روز تخمیر پیش‌بینی گردید تا بررسی شود که افزایش مدت زمان تخمیر چه تأثیری بر ترکیبات تخمیر دارد.

ساختار شبکه عصبی یکی از عوامل مهمی است که می‌تواند عملکرد یادگیری شبکه را تحت تأثیر قرار دهد. پرسپترون‌های چند لایه به عنوان شبکه رو به جلو که توانایی یادگیری رابطه بین ورودی و خروجی را دارند، شناخته می‌شوند، به طوری که به صورت یک پیش‌بینی‌کننده قوی شناخته شده‌اند. برای مدل‌سازی ترکیبات تولیدی در طی فرآیند تخمیر، مقدار نوع هاضم و روز تخمیر به عنوان ورودی و ترکیبات گازی و بیواتانول نیز به عنوان خروجی شبکه در نظر گرفته شد. در این مطالعه، تعداد ۲۱۰ داده جهت آموزش (۷۰ درصد از داده‌ها برای آموزش)، ۴۵ داده برای آزمون شبکه (۱۵ درصد از داده‌ها برای آزمون شبکه) و تعداد ۴۵ داده برای اعتبارسنجی مدل (۱۵ درصد برای اعتبارسنجی شبکه) اختصاص داده شد. همچنین از شبکه عصبی با ۴ لایه مخفی و به ترتیب ۲، ۳، ۴ و ۵ نرون با هدف پیدا کردن مدلی که بتواند بهترین پیش‌بینی ترکیبات را داشته باشد، استفاده شد. برای لایه‌های پنهان توابع انتقال تانژانت هایپربولیک و برای لایه خروجی تابع انتقال خطی برای برآورد خروجی در نرم‌افزار NeuroSolutions 7 استفاده شد.

## نتایج و بحث

### پیش‌بینی ترکیبات حاصل از تخمیر توسط شبکه عصبی

بر اساس نتایج و با توجه به شکل ۳-الف و روند نمودار آبی رنگ، میزان H<sub>2</sub>S تولیدی در مخزن PMD در روز ۲۰ام تخمیر به ۸ گرم بر لیتر کاهش پیدا کرد درحالی که در مخزن MD در انتهای فرآیند تخمیر، این مقدار به میزان ۱۵ گرم بر لیتر رسید. نتایج نشان داد که میزان H<sub>2</sub>S در PMD نسبت به MD در انتهای فرآیند تخمیر به میزان ۴۶٪ کمتر بود.

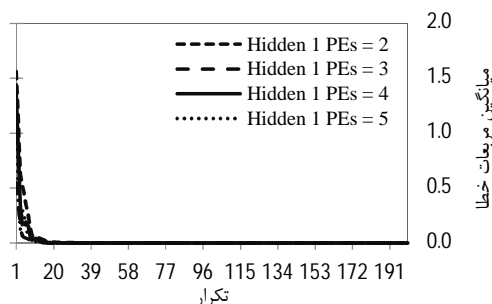
میزان CO تولید شده تا روز ۵۰ تخمیر را به مقدار ۱۸۰ گرم بر لیتر پیش‌بینی کرد (شکل ۴-ج).

جدول ۲- نتایج پیش‌بینی شبکه عصبی جهت تولید CO در دو هاضم مختلف

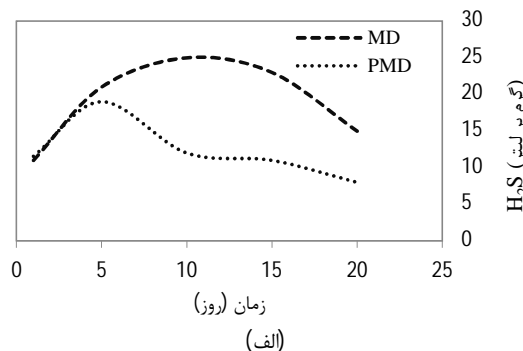
نوع هاضم	بهترین شبکه	آموزش
CO-PMD	لایه	۵
	اجرا	۱
	تکرار	۱۹۹
	کمترین مربعات خطا	$4/1085 \times 10^{-33}$
CO-MD	لایه	۳
	اجرا	۱
	تکرار	۱۹۲
	کمترین مربعات خطا	$2/10568 \times 10^{-33}$
	مربعات خطای نهایی	$4/57087 \times 10^{-33}$
	r	۰/۹۳
	r	۰/۹۶

بوده و توانسته است میزان آن را کاهش دهد، زیرا H<sub>2</sub>S در آب و با جابجایی یا به عبارتی گردش گازهای حاصل از فرآیند در زیست‌توده حل گردیده است (Mahmoodi-Eshkaftaki, & Ebrahimi., 2019; Van der Zee et al., 2007).

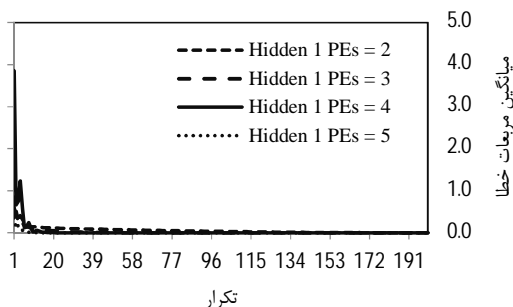
نتایج اندازه‌گیری CO در راکتور بی‌هوازی MD و PMD در شکل ۴-الف نشان داده شده است. میزان CO تولیدی در مخزن PMD از MD بیشتر است و دلیل آن افزایش گردش گازهای موجود در مخزن است. همچنین نتایج پیش‌بینی با شبکه عصبی طی ۵۰ روز تخمیر در دو راکتور در شکل ۴-ب و ۴-د نشان داده شده است. شبکه عصبی جهت پیش‌بینی تولید CO در لایه ۵ و ۳ به ترتیب برای دو هاضم پنوماتیک و مکانیکی با r بالا و MSE پایین توانسته است، پیش‌بینی را انجام دهد. بر اساس نتایج شبکه عصبی، کمترین میزان CO تولید شده در روز ۱۵ تخمیر رخ داده و همانطور که پیداست میزان تولید CO تا روز ۵۰ تخمیر به میزان ۴۶۳/۹۲ گرم بر لیتر افزایش داشته است (شکل ۴-ج). همچنین میزان CO تولید شده در راکتور MD نیز در روز ۱۵ تخمیر در کمترین میزان خود یعنی ۱۰۰ گرم بر لیتر قرار داشت. شبکه عصبی



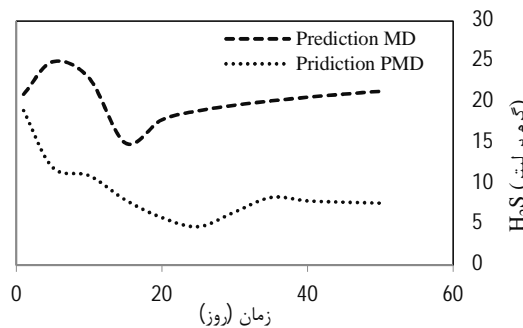
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۳- مقایسه دو هاضم بی‌هوازی پنوماتیکی و مکانیکی در تولید H<sub>2</sub>S (الف) هاضم پنوماتیک و مکانیکی، (ب) میانگین مربعات خطا در هاضم پنوماتیک، (ج) نتیجه پیش‌بینی شبکه عصبی در دو هاضم پنوماتیک و مکانیکی و (د) میانگین مربعات خطا در هاضم مکانیکی

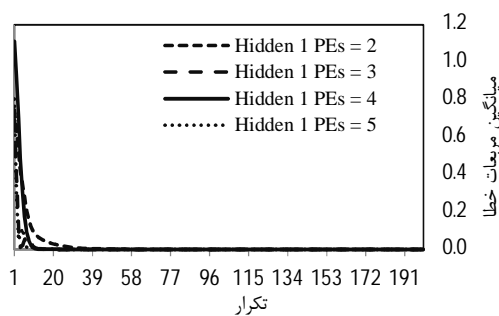


محسوب می‌شود. مخزن PMD طراحی شده موجب کاهش مقادیر  $H_2S$  و  $O_2$  گردید و مقدار CO را نسبت به MD افزایش داد اما می‌توان با تنظیم شرایط ورودی تخمیر مانند بهینه‌سازی هیدرولیز، پیش‌تیمار و ... میزان CO را نیز بهبود بخشید تا بتوان با کمترین هزینه، فرایند تولید بیواتانول را بهبود داد.

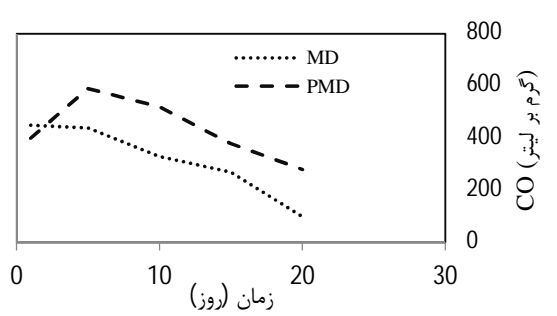
جدول ۳- نتایج پیش‌بینی شبکه عصبی جهت تولید  $O_2$  در دو هاضم مختلف

نوع هاضم	بهترین شبکه	آموزش
$O_2$ -PMD	لایه	۴
	اجرا	۱
	تکرار	۲۰۰
	کمترین مربعات خطا	$9/32471 \times 10^{-22}$
	مربعات خطای نهایی	$9/32471 \times 10^{-22}$
	r	۰/۸۹
$O_2$ -MD	لایه	۵
	اجرا	۱
	تکرار	۲۰۰
	کمترین مربعات خطا	$2/10568 \times 10^{-22}$
	مربعات خطای نهایی	$1/25314 \times 10^{-22}$
	r	۰/۹۱

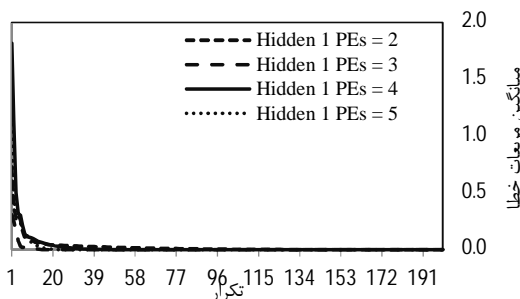
نتایج اندازه‌گیری مقادیر  $O_2$  در هاضم پنوماتیک و مکانیکی در شکل ۵-الف نشان داده شده است. با توجه به نتایج، میزان  $O_2$  تولیدی در PMD به میزان ۷۶٪ نسبت به MD کمتر بود. همچنین مقادیر پیش‌بینی شبکه عصبی تا روز ۵۰ تخمیر در شکل ۵-ج نیز نشان داده شده است. بهترین شبکه جهت پیش‌بینی مقادیر تولید  $O_2$  در لایه ۴ و ۵ با r بالا و میانگین مربعات خطا پایین توانایی پیش‌بینی تولید  $O_2$  تا ۵۰ روز تخمیر را داشت (جدول ۳ و شکل ۵-ب و ۵-د). بر اساس نتایج در شکل ۵-ج، خط قرمز رنگ مقادیر تولید اکسیژن در طول روند تخمیر را نشان می‌دهد که تا روز ۲۰ و ۲۵ تخمیر روند نزولی و بعد از روز ۲۵ تخمیر به تدریج روند صعودی به خود گرفته است. همچنین در هاضم مکانیکی نیز روند کاهش و افزایش اتفاق افتاده است با این تفاوت که میزان کاهش اکسیژن در هاضم پنوماتیک نسبت به مکانیکی بیشتر است. اگر میزان  $O_2$  در یک هاضم بیواتانول بالا باشد موجب افزایش میزان  $CO_2$  و  $H_2S$  شده و افزایش این ترکیبات موجب کاهش بیواتانول تولیدی می‌گردد (Cacua *et al.*, 2011; Lin & Chien., 2008). با توجه به نتایج می‌توان گفت تولید و افزایش CO و کاهش مقادیر  $H_2S$  و  $O_2$  هرکدام یک مزیت و یک عیب برای تولید بیواتانول



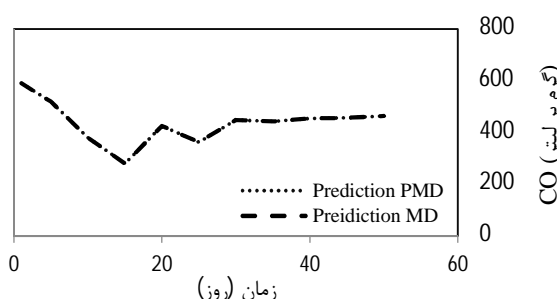
(ب)



(الف)

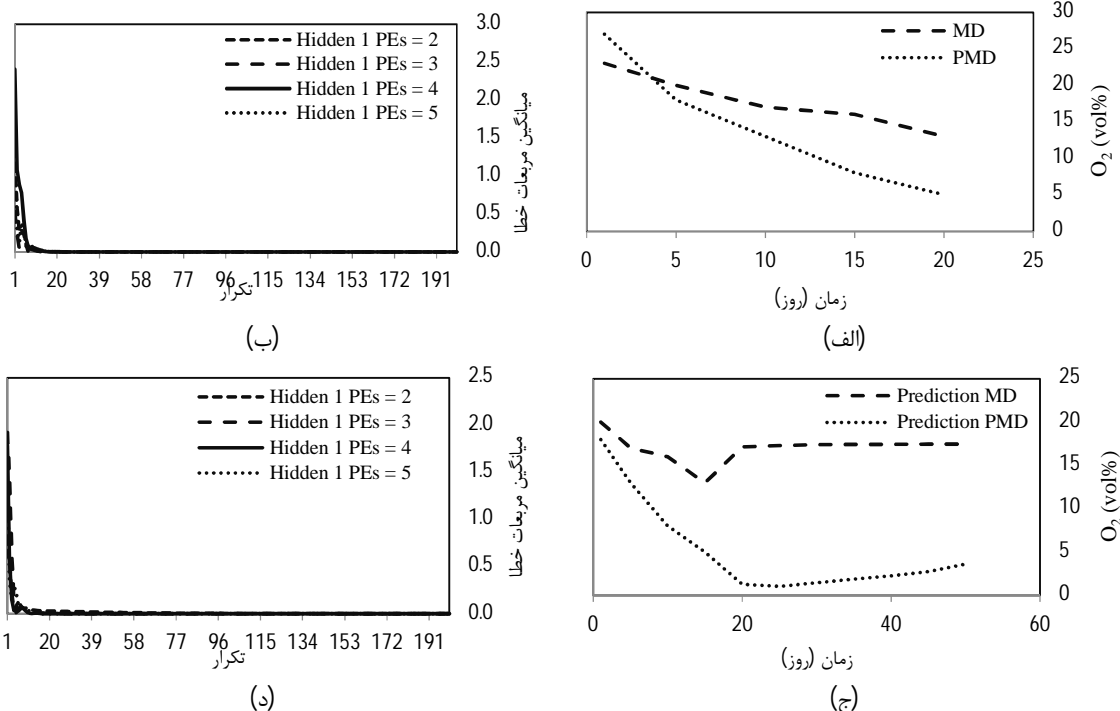


(د)



(ج)

شکل ۴- مقایسه دو هاضم بی‌هوازی پنوماتیک و مکانیکی در تولید CO در الف) هاضم پنوماتیک و مکانیکی، ب) میانگین مربعات خطا در هاضم پنوماتیک، ج) نتیجه پیش‌بینی شبکه عصبی در دو هاضم پنوماتیک و مکانیکی و د) میانگین مربعات خطا در هاضم مکانیکی



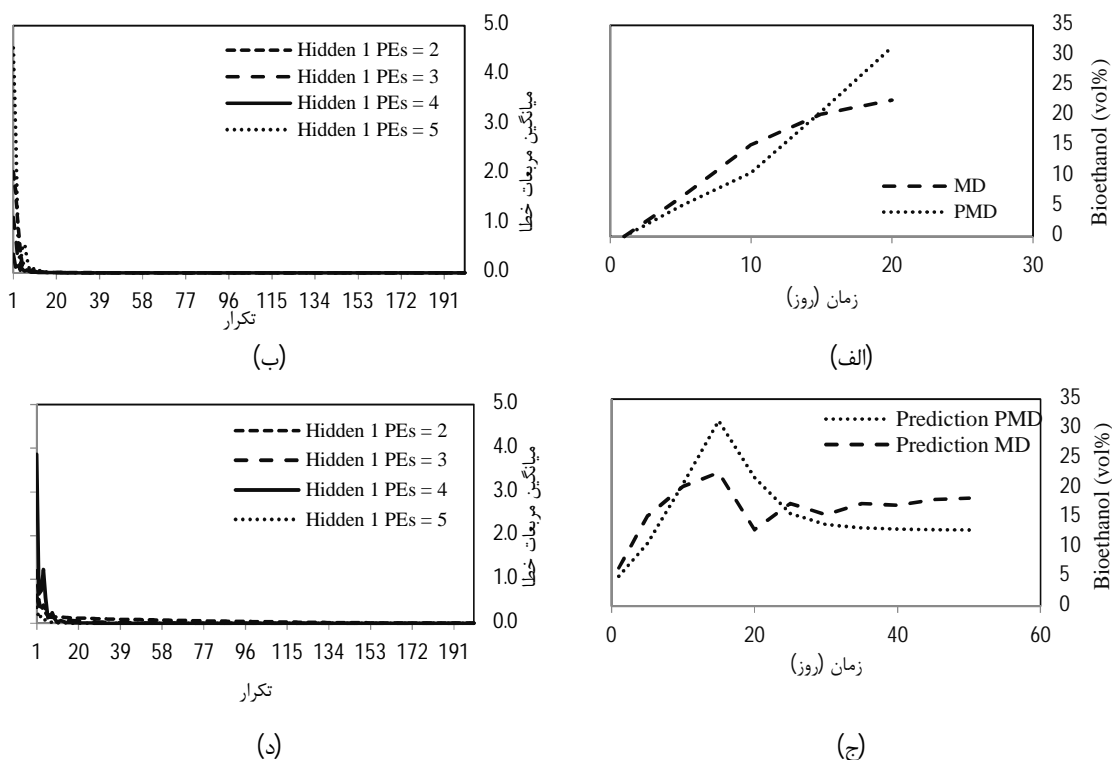
شکل ۵- مقایسه دو هضم بی‌هوازی پنومکانیکی و مکانیکی در تولید O<sub>2</sub> در (الف) هاضم پنوماتیک و مکانیکی، (ب) میانگین مربعات خطا در هاضم پنوماتیک، (ج) نتیجه پیش‌بینی شبکه عصبی در دو هاضم پنوماتیک و مکانیکی و (د) میانگین مربعات خطا در هاضم مکانیکی

و هزینه می‌توان تخمیر را تا روز ۲۰ ادامه داد و بعد از این روز بیواتانول تولید نخواهد شد. همچنین بر اساس نتایج شبکه عصبی (شکل ۶-ج)، میزان تولید بیواتانول در هاضم MD تا روز ۱۵ و ۲۰ در بالاترین میزان خود و سپس تا روز ۵۰ تخمیر روند ابتدا نزولی و سپس صعودی است.

جدول ۴- نتایج پیش‌بینی شبکه عصبی جهت تولید بیواتانول در دو هاضم مختلف

نوع هاضم	بهترین شبکه	آموزش
PMD-بیواتانول	لایه	۴
	اجرا	۱
	تکرار	۱۹۹
	کمترین مربعات خطا	$3/13285 \times 10^{-32}$
	مربعات خطای نهایی	$1/04771 \times 10^{-31}$
	r	۰/۹۴
MD-بیواتانول	لایه	۳
	اجرا	۱
	تکرار	۱۹۲
	کمترین مربعات خطا	$2/10568 \times 10^{-32}$
	مربعات خطای نهایی	$4/57087 \times 10^{-32}$
	r	۰/۸۹

نتایج تخمیر در هاضم پنوماتیکی و مکانیکی در شکل ۶- الف نشان داده شده است. نتایج نشان داد که با افزایش مدت زمان تخمیر، میزان بیواتانول تولیدی تا روز ۱۵ به طور محسوس سپس به طور نامحسوس افزایش یافته است. همچنین میزان تولید بیواتانول در دو مخزن PMD و MD متفاوت است. نتایج نشان داد که در مخزن PMD میزان بیواتانول تولیدی، ۳۸/۶۶ vol% نسبت به MD بیشتر بود. این نتایج پیش‌بینی توسط شبکه عصبی (شکل ۶-ج) نیز در ادامه آورده شده است. بهترین شبکه ایجاد شده جهت پیش‌بینی تولید بیواتانول در دو هاضم PMD و MD در جدول ۴ نشان داده شده است. بهترین شبکه در پیش‌بینی بیواتانول در هاضم PMD در لایه ۴ و برای هاضم MD در لایه ۳ با r بالا و میانگین مربعات خطای پایین ایجاد شده است. بر اساس نتایج، شبکه عصبی توانسته است روند مناسب و مشابه روند تخمیر واقعی را پیش‌بینی کند. همچنین بر اساس نتایج تخمین توسط شبکه عصبی (شکل ۶-ج) می‌توان گفت تا روز ۲۰ تخمیر بیشترین مقادیر بیواتانول تولید می‌شود و سپس از روز ۲۰ به بعد روند تولید بیواتانول حالت نزولی به خود می‌گیرد. این نتایج بدین معنی است که جهت کاهش وقت



شکل ۶- مقایسه دو هضم بی‌هوازی پنومکانیکی و مکانیکی در تولید بیواتانول در الف) هاضم پنوماتیک و مکانیکی، ب) میانگین مربعات خطا در هاضم پنوماتیک، ج) نتیجه پیش‌بینی شبکه عصبی در دو هاضم پنوماتیک و مکانیکی و د) میانگین مربعات خطا در هاضم مکانیکی

است. اما میزان CO تولیدی در هاضم پنوماتیکی به طور نامحسوس نسبت به همزن هاضم مکانیکی افزایش داشت که به نظر می‌رسد می‌توان با بهینه‌سازی شرایط هاضم پنومکانیکی میزان CO را کم و کنترل نمود. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که هاضم طراحی شده با همزن پنوماتیکی می‌تواند به خوبی جهت تولید بیواتانول به صورت بی‌هوازی استفاده شود و می‌توان توسط آن به راحتی و با هزینه خیلی پایین ترکیبات مضر فرآیند تخمیر و تولید بیواتانول را کنترل نمود.

#### سپاسگزاری

این پژوهش با حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور ( Iran National Science Foundation ) با کد طرح ۹۹۰۲۳۹۸۴ انجام شده است. همچنین این تحقیق برگرفته از رساله دکتری مصوب دانشگاه شهرکرد است.

#### نتیجه‌گیری

جهت استخراج اتانول از گلوکز موجود در زیست‌توده، باید مواد را برای فرآیند تخمیر آماده‌سازی کرد. اجزاء سلولزی مواد لیگنوسلولزی می‌توانند پس از تجزیه‌ی آنزیمی توسط میکروارگانسیم‌های تخمیر کننده مورد استفاده قرار گرفته و در شرایط مناسب، اتانول تولید نمایند. بدین منظور در این تحقیق، هاضم بی‌هوازی با همزن پنوماتیکی جدیدی جهت تخمیر بی‌هوازی ترکیبات لیگنوسلولزی طراحی شد و عملکرد آن با هاضم و با همزن مکانیکی معمول مقایسه گردید. بعد از سم‌زدایی محصولات حاصل از پیش‌تیمار و هیدرولیز، فرآیند تخمیر در هاضم‌ها طی ۲۰ روز انجام شد و هر ۵ روز از هاضم‌ها نمونه‌برداری مایع و گاز گردید. عملکرد دو هاضم توسط مقادیر  $H_2S$ ، CO،  $O_2$  و میزان تولید بیواتانول بررسی شد. نتایج پیش‌بینی با شبکه عصبی در محصولات تخمیر نشان داد که هاضم پنوماتیکی می‌تواند میزان تولید  $H_2S$  و  $O_2$  را کاهش دهد و بدین ترتیب می‌توان گفت میزان ترکیبات مضر در طی فرآیند تولید بیواتانول نسبت به همزن مکانیکی کاهش یافته

- Process Equipment. *Aria Danesh Publications*, 250. (In Persian)
- Niju, S., Nishanthini, T., & Balajii, M. (2020). Alkaline hydrogen peroxide-pretreated sugarcane tops for bioethanol production—a process optimization study. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 10(1): 149-165.
- Ofori-Boateng, C., & Lee, K. T. (2014). Ultrasonic-assisted simultaneous saccharification and fermentation of pretreated oil palm fronds for sustainable bioethanol production. *Fuel*, 119: 285-291.
- Pan, L., He, M., Wu, B., Wang, Y., Hu, G., & Ma, K. (2019). Simultaneous concentration and detoxification of lignocellulosic hydrolysates by novel membrane filtration system for bioethanol production. *Journal of Cleaner Production*, 227: 1185-1194.
- Panahi, H. K. S., Dehghani, M., Aghbashlo, M., Karimi, K., & Tabatabaei, M. (2020). Conversion of residues from agro-food industry into bioethanol in Iran: An undervalued biofuel additive to phase out MTBE in gasoline. *Renewable Energy*, 145: 699-710.
- Pejin, D. J., Mojović, L. V., Pejin, J. D., Grujić, O. S., Markov, S. L., Nikolić, S. B., & Marković, M. N. (2012). Increase in bioethanol production yield from triticale by simultaneous saccharification and fermentation with application of ultrasound. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 87(2): 170-176.
- Toor, M., Kumar, S. S., Malyan, S. K., Bishnoi, N. R., Mathimani, T., Rajendran, K., & Pugazhendhi, A. (2020). An overview on bioethanol production from lignocellulosic feedstocks. *Chemosphere*, 242: 125080.
- Van der Zee, F. P., Villaverde, S., Garcia, P. A., & Polanco, F. F. (2007). Sulfide removal by moderate oxygenation of anaerobic sludge environments. *Bioresour. Technol.*, 98(3): 518-524.
- Velmurugan, R., & Muthukumar, K. (2011). Utilization of sugarcane bagasse for bioethanol production: sono-assisted acid hydrolysis approach. *Bioresour. Technol.*, 102(14): 7119-7123.
- Alborzi, M. (2001). *Introduction to Neural Networks*. Translation. By Jackson, R. and Bill, t. *Sharif University Press*, (In Persian)
- Alvira, P., Tomás-Pejó, E., Ballesteros, M., & Negro, M. J. (2010). Pretreatment technologies for an efficient bioethanol production process based on enzymatic hydrolysis: a review. *Bioresour. Technol.*, 101(13): 4851-4861.
- Cacua, K., Amell, A., & Olmos, L. (2011). A comparative study of the com-combustion properties of normal bio-bustion biogas gas gas-air mixture and oxygen oxygen-enriched biogas biogas-air. *Ingeniería e investigación*, 31(1): 233-241.
- Carrillo-Nieves, D., Alanís, M. J. R., de la Cruz Quiroz, R., Ruiz, H. A., Iqbal, H. M., & Parra-Saldívar, R. (2019). Current status and future trends of bioethanol production from agro-industrial wastes in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102: 63-74.
- Chow, W. L., Chong, S., Lim, J. W., Chan, Y. J., Chong, M. F., Tiong, T. J., Chin, J.K. & Pan, G. T. (2020). Anaerobic Co-Digestion of Wastewater Sludge: A Review of Potential Co-Substrates and Operating Factors for Improved Methane Yield. *Processes*, 8(1): 39.
- Jahanbakhshi, A., & Salehi, R. (2019). Processing watermelon waste using *Saccharomyces cerevisiae* yeast and the fermentation method for bioethanol production. *Journal of Food Process Engineering*, 42(7): e13283.
- Leustean, I. (2009). Bioethanol from lignocellulosic materials. *Journal of Agroalim. Process. Technol.*, 15: 94-101.
- Lin, C. C., & Chien, K. S. (2008). Mass-transfer performance of rotating packed beds equipped with blade packings in VOCs absorption into water. *Separation and purification technology*, 63(1): 138-144.
- Lin, S. P., Kuo, T. C., Wang, H. T., Ting, Y., Hsieh, C. W., Chen, Y. K., Hsu, H.Y. & Cheng, K. C. (2020). Enhanced bioethanol production using atmospheric cold plasma-assisted detoxification of sugarcane bagasse hydrolysate. *Bioresour. Technol.*, 313: 123704.
- Mahmoodi-Eshkaftaki, M., & Ebrahimi, R. (2019). Assess a new strategy and develop a new mixer to improve anaerobic microbial activities and clean biogas production. *Journal of Cleaner Production*, 206: 797-807.
- Niazkhani, S. (2018). Download the book Introduction to Oil, Gas and Petrochemical

## پایش وضعیت موتور تراکتور ITM285 با بهره‌گیری از تحلیل صدا و پارامترهای عملکردی موتور

مجید حسنی<sup>۱</sup>، محمد حسین عباسپور فرد<sup>۲</sup> و امید دوستی ایرانی<sup>۳</sup>

### چکیده

پایش وضعیت یکی از عناصر اصلی در نگهداری پیشگیرانه است. با استفاده از پایش وضعیت می‌توان برنامه‌ریزی کرد و یا اقداماتی انجام داد که از اثرات پس‌آیندی شکست یک ماشین؛ پیش از اتفاق افتادن شکست جلوگیری شود. در ایران اجرای پایش وضعیت تراکتور و بازبینی و نگهداری آن مورد کم‌توجهی قرار می‌گیرد و یا بر اساس ساعت دقیق کارکرد اجرا نمی‌شود. در این پژوهش تأثیر عدم بازبینی فیلتر هوا (فیلتر کثیف) و عدم تنظیم لقی سوپاپ (لقی بیش‌تر و کم‌تر) به‌طور مستقل و توأم بر روی صدای و پارامترهای عملکردی موتور، شامل دمای خروجی اگزوز، میزان مصرف سوخت و کدوری دود در تراکتور ITM285 مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که تغییرات گشتاور و دور موتور بر میزان کدوری دود موتور اثر معنی‌داری داشته و همه عوامل بر میزان مصرف سوخت اثر معنی‌داری دارند. از طرفی دیگر میزان تمیز بودن فیلتر هوا، تغییرات گشتاور و دور موتور بر روی دمای موتور نیز اثر معنی‌داری دارند. همچنین تغییرات گشتاور و دور موتور و میزان لقی سوپاپ بر صدای سرسیلندر موتور اثر معنی‌داری دارند. نتایج همچنان نشان داد که تغییرات دور موتور بر صدای بدنه موتور تأثیر معنی‌داری می‌گذارد.

**واژه‌های کلیدی:** پارامترهای عملکردی موتور، پایش وضعیت موتور، تحلیل صدا، تراکتور ITM285، لقی سوپاپ.

ارجاع: حسنی م. عباسپور فرد م. ح. و دوستی ایرانی ا. ۱۴۰۱. پایش وضعیت موتور تراکتور ITM285 با بهره‌گیری از تحلیل صدا و پارامترهای عملکردی موتور. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۵: ۳۱-۴۲. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10149.561>

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

۳- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.

\* نویسنده مسئول: [abaspour@um.ac.ir](mailto:abaspour@um.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۸

## مقدمه

پایش وضعیت عاملی حیاتی در نگهداری تجهیزات و پیشگیری خرابی آنها است. هدف از پایش وضعیت نظارت بر وضعیت عملکرد دستگاه و به دست آوردن آثار و نشانه‌ی وضعیت دستگاه است، زمانی که دستگاه در حال انجام عملیات هست، به طوری که دستگاه بتواند به صورت اقتصادی و ایمنی نگهداری شده یا فعال بماند. (Lærum, 2018) یک سامانه شناسایی عیوب کارا، باید به محض اینکه علامتی از نقص در ماشین ظاهر شد به کاربر هشدار دهد تا سریعاً عملیات تصحیح عیب انجام شود (Das et al., 2019).

پایش وضعیت به عنوان یکی از روش‌های جدید تعمیر و نگهداری، به صورت سنجش منظم پارامترهای مناسب ماشین و مقایسه آنها با مقادیر به دست آمده تعریف می‌شود (Zhou et al., 2019). روش‌های مختلف پایش وضعیت در موتورهای احتراق داخلی عبارت‌اند از: تحلیل ارتعاشات، تحلیل روغن، تحلیل صدا، تحلیل بازده، تحلیل فشار درون سیلندر، تحلیل ترموگرافی و تحلیل سامانه خنک‌کننده (Jafari et al., 2009). صدای موتور به عنوان یکی از انواع آلودگی‌های زیست‌محیطی تهدیدی جدی برای سلامت جامعه و بقای موجودات زنده است (Cai et al., 2019). آلودگی صدا یکی از مشکلات شهری شهروندان محسوب می‌شود که مسئله رو به رشدی است و آثار بالقوه‌ای بر سلامت مردم دارد (Akay & Acar, 2018). تأثیر سرعت دورانی موتور در چهار سطح (۱۳۵۰، ۱۵۰۰ و ۱۶۵۰ rpm)، بار موتور در چهار سطح (۵۵، ۷۰، ۸۵ و ۱۰۰ درصد بار کامل) و زاویه پاشش سوخت در پنج سطح (۲۲، ۲۷، ۳۲، ۳۷ و ۴۲ درجه قبل از نقطه مرگ بالا) بر میزان کدری دود آگروز یک موتور دیزل تک سیلندر آب خنک با پاشش مستقیم بررسی شد. نتایج نشان داد که بار موتور و زاویه‌ی پاشش سوخت، بیشترین اثر را بر روی کدری دود آگروز داشتند. با توجه به سطوح بار موتور، این نتایج برای بارهای پایین (کم‌تر از ۵۵ درصد بار کامل) معتبر نیست. هم‌چنین منظور از زاویه پاشش سوخت، زاویه مخروط پاشش در سر انژکتور نیست بلکه اشاره به زمان‌بندی پاشش دارد (Abbaszadeh, Ghobadian, 2008). در پژوهشی به بررسی تأثیر سوخت بیودیزل بر روی صدای موتور پرداخته شد. نتایج نشان داد که فرکانس غالب صدای موتور، 315 Hz و با منشأ احتراق

و ساختار آگروز است. در این فرکانس، تراز فشار صدای موتور با سوخت B10، ۲۳ درصد کمتر از سوخت B30 بود. کمترین صدای تولیدی موتور در مخلوط سوخت B10، و بیشترین صدای تولیدی در B30 اتفاق می‌افتد (Nemat Keramat et al., 2017). منابع ایجاد صدا در قسمت جلوی یک موتور دیزل در پژوهشی بررسی شد و نشان داده شد که با استفاده از اندازه‌گیری تراز شدت صدا می‌توان منابع ایجاد صدا را مشخص نمود (JunHong & Bing, 2005). پژوهشگران طی تحقیقاتی که روی موتور دیزل هشت سیلندر یک خودروی نظامی انجام دادند دریافتند که وقتی دور موتور به ۱۹۰۰ و ۲۲۰۰ دور بر دقیقه می‌رسد، به ترتیب تأثیر صدای سیستم هوای ورودی و آگروز بیشتر می‌شود. سطح تراز صدا در نزدیکی لوله ورودی هوا و آگروز به ۱۲۰ دسی‌بل می‌رسد و با توجه به تصاویر طیف‌های فرکانسی، فرکانس صدای موتور با فرکانس عملکرد موتور انطباق نزدیکی دارد (Guangpu et al., 2006). همچنین روش جدیدی در عیب‌یابی موتور احتراق داخلی، به وسیله سیگنال‌های صدا و ارتعاش حاصل از موتور به کار گرفته شده است (Wu et al., 2008) که در این روش از یک طرح نقطه بصری استفاده شده است. سه حالت از دوره موتور که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته عبارت بودند از: ۱ - حالت بدون ضربه، ۲ - حالتی که ضربه در حال افزایش بود، ۳ - حالتی که همراه با ضربات سنگین بود. ملاک تشخیص، ارتعاشات گرفته شده از بدنه موتور و اساس کار در این روش عیب‌یابی، شناخت الگو در نظر گرفته شد. داده‌های مربوط به سه حالت فوق به وسیله یک شتاب‌سنج دقیق دریافت شد. برای این منظور از ابزار تحلیلی مقیاس- زمان که تبدیل موجک نامیده می‌شود استفاده شده است. پژوهشگران طی تحقیقات خود بر روی تراکتور در حال حرکت روی جاده آسفالت روستایی نشان دادند که صدا در موقعیت گوش راننده در مقایسه با موقعیت اطرافیان، ۷/۷۴ تا ۱۰/۷۵ دسی‌بل بیشتر است. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که موتور نقش تعیین‌کننده‌ای بر شدت سر و صدا دارد (Hassan-Beigi & Ghobadian, 2005). صدای ناشی از احتراق موتور را از صدای ناشی از فرایندهای مکانیکی موتور جدا نمودند و دریافتند که هم دور موتور و هم بار روی آن بر شدت صدای ایجاد شده مؤثر است. همچنین پژوهشگران پیشنهاد کردند که

روش عیب‌هایی را در نمایش طیف‌های به‌دست‌آمده دارد که هم‌پوشانی طیفی نامیده می‌شود. گاهی تداخل حاصل از هم‌پوشانی طیفی به عدم شناسایی فرکانس‌های ارتعاشی می‌انجامد (Albarbar *et al.*, 2010). پژوهشگران روش تبدیل موجک پیوسته را برای تحلیل سیگنال‌های موتور، تحلیل فرکانسی مناسبی ندیده و از روش A-Weighted CWT برای تحلیل زمان-فرکانس استفاده کردند. این روش، خروجی بهتری از صداهای ناپایدار به دست می‌دهد که برای معرفی منابع صدا بسیار مؤثر است (Anyu *et al.*, 2011). همچنین صدای یک موتور دیزل با توربوشارژر را در شرایط مختلف از جمله حالت رانندگی در جاده، شتاب‌گیری و افزایش بار آزمایش کردند. برای به دست آوردن توربوشارژر در موتور، یک بستر آزمون با تمامی امکانات فراهم شد. برای تعریف چگونگی انتشار صدای احتراق، از اندازه‌گیری فشار درون سیلندرها، عکس‌العمل توربوشارژر و گاورنر پمپ سوخت استفاده کردند. نتایج نشان داد جواب با تأخیر پرخوران به تغییرات دریچه گاز، بیشترین تأثیر را در تولید صدا دارد. دقت کالیبره کردن زمان پاشش سوخت تأثیر به‌سزایی بر سطح صدای تولیدی موتور دارد. دمای دیواره سیلندر با تغییر شرایط سوخت نمی‌تواند خود را تطبیق دهد، که همین امر باعث تولید صدا می‌گردد (Giakoumis *et al.*, 2011). همان‌طور که مشاهده شد تحقیقات پیشین اثر متغیرهای لقی، فیلتر هوا، گشتاور و دور موتور را به‌صورت تکی بر روی عامل‌های عملکردی موتور مورد بررسی قرار داده‌اند. در این تحقیق تأثیر این عامل‌ها به‌صورت یک‌جا بر روی عامل‌های عملکردی موتور مورد بررسی قرار خواهد گرفت، همچنین در بسیاری از تحقیقات اثرات متقابل این عوامل مورد بحث و بررسی قرار نگرفته است که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است. دو عیب تنظیم نبودن لقی سوپاپ و کثیفی فیلتر هوا در موتور دیزل ایجاد و تأثیر این دو عیب بر روی صدای موتور و عامل‌های عملکردی موتور سنجیده شد. فیلتر و لقی سوپاپ، هر دو در میزان حجم هوای ورودی به سیلندر و در نتیجه در بازده حجمی موتور تأثیرگذارند. لذا هدف از این تحقیق بررسی اثر لقی سوپاپ و میزان کثیفی فیلتر هوا بر روی صدا و عامل‌های عملکردی موتور تراکتور ITM285 با استفاده از تحلیل صدا و اندازه‌گیری پارامترهای موتور است.

تحقیقات ادامه یابد تا مشخص شود در شرایط مختلف در چه سطح فشار صدا و در چه مقیاس سروصدا شنوایی از دست می‌رود (Pruvost *et al.*, 2009). در پژوهشی، سروصدای احتراق با استفاده از سوخت بیودیزل در شروع کار با یک موتور پرخوران شده بررسی شد (Rakopoulos *et al.*, 2011). این آزمایش با سه نوع سوخت دیزل، بیودیزل B25 و B30 انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از سوخت بیودیزل تأثیر چندانی در کاهش صدای ناشی از احتراق موتور ندارد. در پژوهشی به ارزیابی مواجهه کاربر با ارتعاش و صدای تولید شده توسط یک تیلر دوار باغی پرداخته شد. طبق نتایج به دست آمده در این تحقیق، میزان مواجهه با ارتعاش دست و بازو بیش از میزان استانداردها بوده و باعث ایجاد ناراحتی و اختلالات عضلانی ناشی از ارتعاش می‌گردد. بیشترین مواجهه با ارتعاش در حالت شخم زدن و در جهت کف به پشت دست بیشتر از دو جهت دیگر یعنی پهنای دست و امتداد طول دست بوده است. بین تراز صدا در موقعیت گوش راننده و اطرافیان در هر سه حالت کاری در سطح ۵ درصد اختلاف معنی‌دار وجود داشت. بیشترین میزان مواجهه با تراز صوت در مرحله شخم زدن و کمترین در هنگام درجا کار کردن تیلر است. نتایج این مطالعه بر لزوم تحقیقات بیشتر جهت حذف و کاهش ارتعاش و صدای موتور تیلر به عنوان منبع اصلی تولید ارتعاش و اقدامات مدیریتی جهت کاهش مواجهه و استفاده از حفاظت‌های فردی تأکید دارد (Tabatabaei Kolor *et al.*, 2018).

در تحقیقی دیگر یک الگوریتم اندازه‌گیری صدای احتراق توسعه یافت تا شاخص تولید صدا و پیشینه نرخ افزایش فشار را با سطح صدای احتراق مقایسه کنند. تعداد زیادی از موتورهایی که در حالت پایدار کار می‌کردند از جمله موتورهای با اشتعال تراکمی معمولی، موتورهای اشتعال جرقه‌ای و موتورهای احتراق دمای پایین آزمون شدند (Shahlari *et al.*, 2014).

همچنین با استفاده از روش توزیع وینگر-وایل و با به کارگیری روش فیلترهای وفقی، صدای ناشی از سوزن انژکتورهای موتور را شناسایی نمودند. روش توزیع وینگر-وایل در مقایسه با روش‌های مشابه، جذابیت کاربرد بیشتری دارد. بدین دلیل که این روش فرضیه ایستایی کوتاه‌مدت سیگنال را نادیده می‌گیرد و به مشکل تفکیک‌پذیری بین زمان و فرکانس غلبه می‌کند. اما این

## مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثرات تنظیم نبودن لقی سوپاپ و کثیفی فیلتر هوا بر پارامترهای موتور (کدوری دود، دمای دود خروجی آگزوز، دبی جرمی مصرف سوخت و صدای موتور) این دو عیب در موتور تراکتور ITM285 ایجاد و پارامترهای موتور تحت شرایط مختلفی از کارکرد فیلتر هوا و لقی سوپاپ‌ها اندازه‌گیری و ثبت شد. آزمایش‌ها به صورت طرح چند عاملی در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی با انجام شد. فاکتور اول، میزان تمیزی فیلتر هوا در دو سطح (تمیز و کثیف) و فاکتور دوم میزان لقی سوپاپ در سه سطح (عادی معمولی، بیشتر و کمتر) است (جدول ۱). میزان لقی عادی بر اساس دفترچه راهنمای کارخانه سازنده ITM285 لحاظ شده است. میزان کثیفی فیلتر هوا بر مبنای میزان افت فشار مؤثر (حدود ۵ درصد) نمایش داده شده در خلأسنج‌های قبل و بعد از فیلتر هوا است (Anvarinia et al., 2015)

جدول ۱- میزان لقی سوپاپ مورد بررسی در تراکتور ITM285

لقی بیش‌تر (mm)		لقی عادی (mm)		لقی کم-تر (mm)	
دود	هوا	دود	هوا	دود	هوا
۰/۴۰	۰/۳۵	۰/۳۵	۰/۳۰	۰/۳۰	۰/۲۵

عامل سوم دور موتور در سه سطح ۱۲۵۰، ۱۷۳۰، ۲۲۰۰ دور بر دقیقه و عامل چهارم میزان بار یا گشتاور اعمالی به موتور در پنج سطح (طبق استاندارد ۲۵۶۸ سازمان استاندارد ایران، از صفر تا ۸۵ درصد بار بیشینه) است. مقادیر بار موتور بر اساس حداکثر گشتاور ۲۰۰ نیوتن متر در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- معادل‌سازی میزان درصد بار اعمالی با گشتاور

بار موتور (درصد)	گشتاور موتور (نیوتن-متر)
۰	۰
۲۵	۵۰
۵۰	۱۰۰
۷۵	۱۵۰
۸۵	۱۷۰

در جدول ۳ متغیرهای مستقل و وابسته مورد استفاده در تحقیق بیان شده‌اند.

## جدول ۳- متغیرهای مستقل و وابسته آزمون

متغیر مستقل	متغیر وابسته
فیلتر در دو سطح	دما
لقی در سه سطح	کدوری دود
دور موتور در سه سطح	سوخت مصرفی
بار یا گشتاور در پنج سطح	تراز شدت صدا (صدا)

## تجهیزات مورد نیاز

برای انجام آزمایش از تجهیزاتی چون، موتور دیزل تراکتور ITM285، دینامومتر اصطکاکی-هیدرولیکی (شکل ۱) با گردش آب، مدل Plint (انگلستان) با حداکثر ظرفیت بارگذاری ۳۲۵ نیوتن‌متر به منظور تبدیل دور دینامومتر به دور موتور و بالعکس (جدول ۵) استفاده شد. دینامومتر با اتصال از طریق محور PTO، گشتاور مورد نظر را به موتور تراکتور وارد می‌کند. میکروفن که به فاصله ۱۰ میلی‌متری بدنه موتور و ۱۰ میلی‌متری سرسیلندر قرار گرفت، جهت تشخیص صدا و دستگاه صدا سنج مدل Tes1358 جهت اندازه‌گیری و ثبت صدای موتور، ترمومتر مدل TM-902c جهت اندازه‌گیری دمای خروجی آگزوز، ترازوی دیجیتال مدل A&D-GF-6100 با دقت ۰/۰۱ گرم جهت اندازه‌گیری دبی جرمی مصرف سوخت، دستگاه کدوری‌سنج مدل MAHA MDO2 جهت اندازه‌گیری میزان کدوری دود آگزوز و دو عدد خلأسنج مدل OPF با دقت ۱۰ میلی‌متر جیوه برای اندازه‌گیری افت فشار قبل و بعد از فیلتر هوا استفاده شد. تراکتور مورد آزمایش در شکل ۱ نمایش و مشخصات فنی آن نیز در جدول ۴ بیان شده است.

با توجه به استاندارد موتور، آزمایش باید در دور مشخص یا نامی تراکتور (۱۷۳۰ rpm) انجام شود (انتخاب بر اساس کتابچه راهنمای دستگاه). همچنین لازم به ذکر است که هنگامی که دور محور PTO در حالت ۵۴۰ rpm انتخاب شود، دور مشخصه موتور برابر با ۱۷۳۰ rpm است و با توجه به این که در این آزمون سه دور باید مورد مطالعه قرار می‌گرفت از این رو با توجه به دور حداکثر و حداقل و انجام پیش‌آزمون و با استفاده از میانگین‌گیری دو دور ۱۲۵۰ و ۲۲۰۰ rpm به دست آمد. به منظور تجزیه و تحلیل نتایج از نرم‌افزار Minitab18 استفاده شد.



### نتایج و بحث

در ابتدا برای هر متغیر پاسخ شرط نرمال بودن مورد آزمون قرار گرفته است. سپس اثرات اصلی و متقابل در جدول تجزیه واریانس آورده شده و در پایان هر قسمت نمودارهای مربوط به اثرات متقابل دوگانه بیان و مورد بررسی قرار گرفته است.

برای فیلتر هوا منظور از فیلتر ۱ حالت تمیز و منظور از فیلتر ۲ حالت کثیف است. در ضمن منظور از (L1) شدت صدا در نقطه یک یا سرسیلندر و منظور از (L2) تراز کلی شدت صدا در نقطه دو یا بدنه موتور است.

### بررسی اثر فیلتر، لقی سوپاپ، دور و گشتاور موتور بر کدری دود

مطابق نتایج حاصله، خطای معیار برآورد  $0/0604917$ ، ضریب تبیین  $89/25$  درصد، ضریب تبیین تعدیل یافته  $81/59$  درصد و ضریب تبیین پیش بینی  $67/78$  به دست آمد. به عبارت دیگر، تقریباً  $81$  درصد تغییرات متغیر کدری توسط مدل توجیه شده است. جدول ۶ نتایج حاصل از تحلیل واریانس را نشان می‌دهد. طبق جدول ۶ اثرات اصلی گشتاور و دور و اثرات متقابل لقی و فیلتر، لقی و دور و گشتاور و دور در سطح  $5$  درصد و همچنین گشتاور و دور نیز در سطح یک درصد معنادار هستند. با توجه به معنادار بودن اثرات متقابل، تحلیل اثرات اصلی کمک شایان توجهی به تحلیل نمی‌کند. برای بررسی بیشتر نمودار اثرات متقابل رسم شده است.



شکل ۱- دینامومتر اصطکاکی - هیدرولیکی (چپ) و تراکتور ITM285 (راست)

جدول ۴- مشخصات تراکتور ITM285

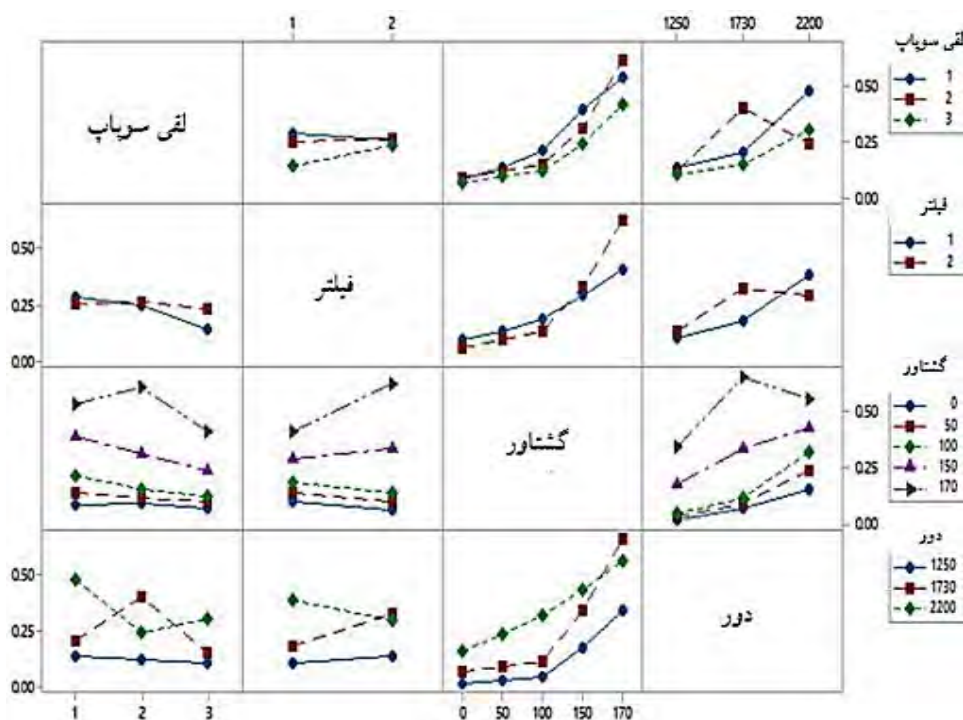
مشخصات	عنوان
پرکینز، چهار سیلندر، چهارزمانه	نوع موتور
۱۳۸۴	سال ساخت
۱۰۱mm	قطر سیلندر
۱۲۷mm	کورس پیستون
۱۶:۱	نسبت تراکم
سوخت دیزل (گازوئیل)	نوع سوخت
آسیابی	نوع پمپ انژکتور
۷۵ hp در سرعت	حداکثر قدرت
۲۰۰۰ rpm	
۵۴۰ rpm	سرعت محور توان دهی

جدول ۵- تبدیل دور دینامومتر به دور موتور و بالعکس

دور دینامومتر (rpm)	دور موتور (rpm)
۱۵۷۵	۱۲۵۰
۲۱۸۰	۱۷۳۰
۲۷۷۲	۲۲۰۰

جدول ۶- تجزیه واریانس برای متغیر کدری دود

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات تعدیل یافته	میانگین مجموع مربعات تعدیل یافته	آماره F	سطح معناداری
لقى	۲	۰/۰۱۸۶۵	۰/۰۰۹۳۲۴	۲/۵۵	۰/۰۸۸
فیلتر	۱	۰/۰۰۱۳۰	۰/۰۰۱۳۰۱	۰/۳۶	۰/۵۵۴
گشتاور	۴	۰/۸۶۰۶۱	۰/۲۱۵۱۵۱	۵۸/۸	۰/۰۰۰
دور	۲	۰/۴۴۲۷۵	۰/۲۲۱۳۷۷	۶۰/۵	۰/۰۰۰
لقى×فیلتر	۲	۰/۰۳۳۲۰	۰/۰۱۶۵۹۸	۴/۵۴	۰/۰۱۵
لقى×گشتاور	۸	۰/۰۰۵۴۳	۰/۰۰۰۶۷۹	۰/۱۹	۰/۹۹۲
لقى×دور	۴	۰/۰۹۰۱۷	۰/۰۲۲۵۴۲	۶/۱۶	۰/۰۰۰
فیلتر×گشتاور	۴	۰/۰۲۱۹۷	۰/۰۰۵۴۹۳	۱/۵	۰/۲۱۵
فیلتر×دور	۲	۰/۰۲۰۹۲	۰/۰۱۰۴۶۰	۲/۸۶	۰/۰۶۶
گشتاور×دور	۸	۰/۰۸۴۰۷	۰/۰۱۰۵۰۹	۲/۸۷	۰/۰۱۰
خطا	۵۲	۰/۱۹۰۲۸	۰/۰۰۳۶۵۹		
کل	۸۹	۱/۷۶۹۳۵			



شکل ۲- اثر سطوح مختلف متغیرهای مستقل بر کدری دود

#### بررسی اثر متقابل دور موتور و گشتاور (سطر چهارم ستون دوم شکل ۲)

در همه سطوح دور موتور، گشتاور صفر پایین‌ترین میزان کدری و گشتاور ۱۷۰ بالاترین میزان کدری اتفاق افتاده است. این اتفاق منطبق بر اکثر تحقیقات انجام شده است (Poursabagh Roknabadi *et al.*, 2015) که با افزایش دور و گشتاور کدری دود افزایش می‌یابد و همان‌طور که انتظار می‌رود نتایج این مطالعه نشان داد با افزایش دور و گشتاور موتور میزان کدری افزایش می‌یابد.

#### بررسی اثر فیلتر، لقی سوپاپ، دور و گشتاور موتور بر میزان مصرف سوخت

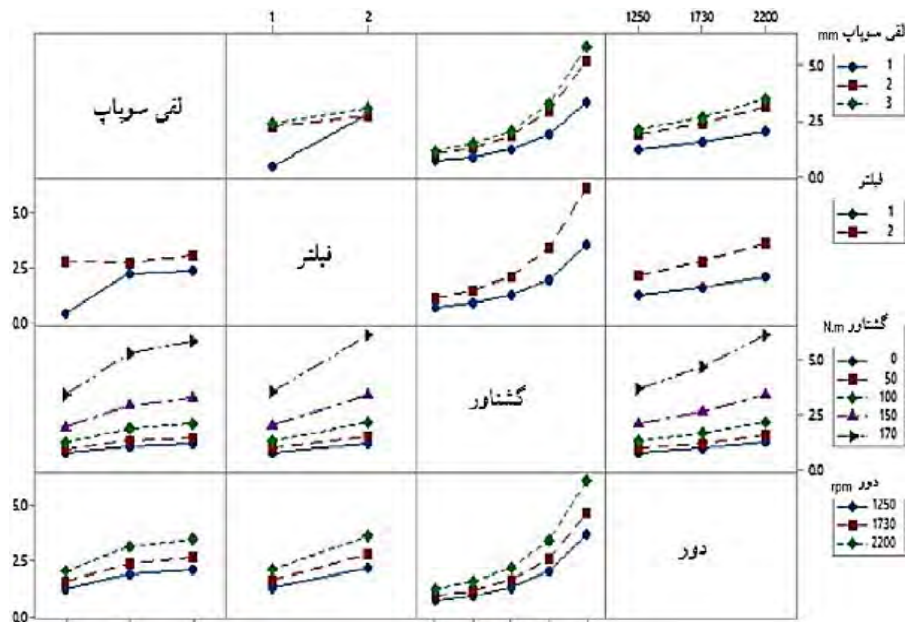
مطابق نتایج حاصله، خطای معیار برآورد ۰/۴۱۵۰۵۱، ضریب تبیین ۹۷/۱۰ درصد، ضریب تبیین تعدیل یافته ۹۵/۰۳ درصد و ضریب تبیین پیش بینی ۹۱/۳۱ به دست آمد. به عبارت دیگر، تقریباً ۹۵ درصد تغییرات مصرف سوخت توسط مدل توجیه شده است.

نتایج تجزیه واریانس (جدول ۷) نشان داد تأثیر متغیرهای مستقل و اثرات متقابل آن‌ها به جز لقی در دور موتور بر پارامتر مصرف سوخت در سطح یک درصد معنی دار است.

با توجه به شکل ۲ می‌توان نتیجه گرفت که پایین‌ترین سطح کدری به ازای لقی سوم و فیلتر یک حاصل می‌شود. در فیلتر تمیز (یک) با توجه به اینکه هوای بیشتری وارد موتور می‌شود و احتراق بهینه‌تری نسبت به حالت فیلتر کثیف ایجاد می‌شود در نتیجه عناصر آلاینده‌گی کمتری ایجاد شده و کدری دود خروجی کاهش می‌یابد. با توجه به اینکه در لقی بیشتر (سه) سوپاپ دود دیرتر باز و زودتر بسته می‌شود و مدت‌زمان کمتری باز است، در نتیجه گازهای سوخته کمتری از موتور وارد آگزوز شده و کدری دود کاهش می‌یابد. در دور موتور ۱۲۵۰ هر سه لقی تقریباً یکسان بوده‌اند، که با نتایج (Abbaszadeh, & Ghobadian, 2008) مطابقت دارد. علت افزایش کدری در لقی کمتر این است که با توجه به اینکه در لقی کمتر سوپاپ دود زودتر باز و دیرتر بسته می‌شود مدت‌زمان بازماندن سوپاپ دود بیشتر بوده در نتیجه گازهای سوخته بیشتری از مجرای دود وارد آگزوز شده و کدری دود خروجی افزایش می‌یابد. افزایش میزان کدری لقی عادی در دور ۲۲۰۰ پیش‌بینی نشده و قابل توجیه نیست.

جدول ۷- تجزیه واریانس برای متغیر مصرف سوخت

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات تعدیل یافته	میانگین مجموع مربعات تعدیم یافته	آماره F	سطح معناداری
لقی	۲	۲۰/۸۰۸	۱۰/۴۰۴	۶۰/۳۹	۰/۰۰۰
فیلتر	۱	۳۱/۴۹۴	۳۱/۴۹۴	۱۸۲/۸۲	۰/۰۰۰
گشتاور	۴	۱۷۹/۶۷۱	۴۴/۹۱۷۹	۲۶۰/۷۵	۰/۰۰۰
دور	۲	۲۰/۲۲۴	۱۰/۱۱۱۸	۵۸/۷۰	۰/۰۰۰
لقی×فیلتر	۲	۱۵/۰۶۶	۷/۵۳۲۹	۴۳/۷۳	۰/۰۰۰
لقی×گشتاور	۸	۹/۱۳۰	۱/۱۴۱۳	۶/۶۳	۰/۰۰۰
لقی×دور	۴	۰/۶۲۳	۰/۱۵۵۷	۰/۹۰	۰/۴۶۹
فیلتر×گشتاور	۴	۱۸/۲۱۳	۳/۳۰۴۶	۱۹/۱۸	۰/۰۰۰
فیلتر×دور	۲	۱/۶۲۳	۰/۸۱۱۴	۴/۷۱	۰/۰۱۳
گشتاور×دور	۸	۷/۸۰۰	۰/۹۷۵۰	۵/۶۶	۰/۰۰۰
خطا	۵۲	۸/۹۵۸	۰/۱۷۲۳		
کل	۸۹	۳۰۸/۶۱۵			



شکل ۳- نمودار اثرات متقابل برای متغیر مصرف سوخت

به عبارت دیگر تقریباً ۹۱ درصد تغییرات متغیر کداری توسط مدل توجیه شده است. با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۸) همان‌طور که مشاهده می‌شود عامل لقی اثر معنی‌داری بر دمای خروجی آگزوز ندارد. ولی اثرات اصلی فیلتر، گشتاور و دور موتور در سطح احتمال یک درصد اثر معنی‌داری بر دمای خروجی آگزوز دارند. از اثرات متقابل، اثر لقی در فیلتر و دور موتور به ترتیب در سطح احتمال یک و پنج درصد معنی‌دار هستند.

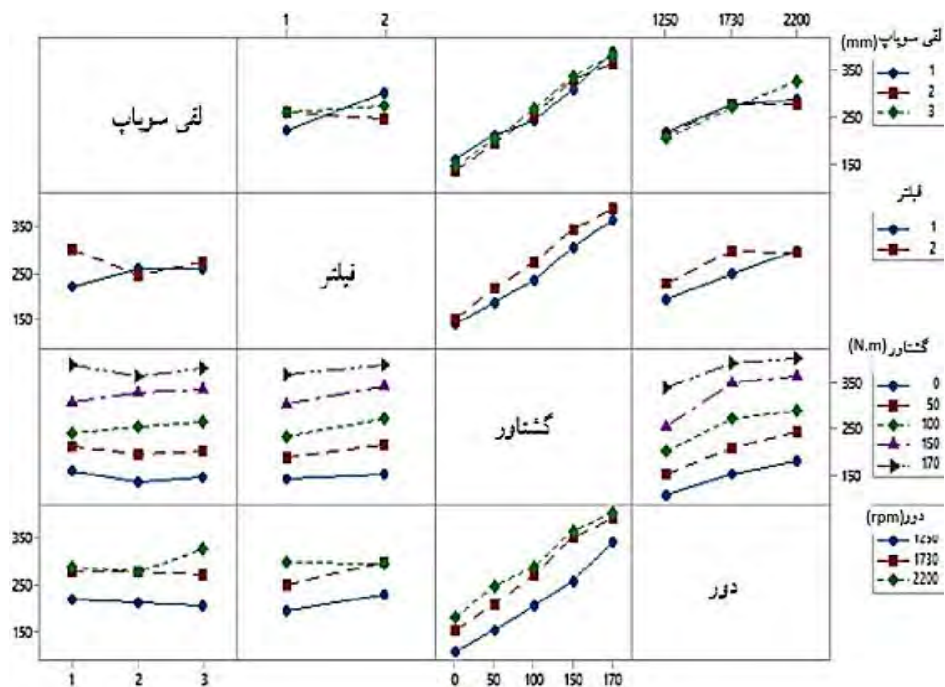
با توجه به نمودار اثرات متقابل (شکل ۳) می‌توان بیان کرد که پایین‌ترین میزان مصرف سوخت به ازای لقی یک و فیلتر یک حاصل شده است. اثر فیلتر تمیز در کاهش مصرف سوخت نیز نشان داده شده است.

### بررسی اثر فیلتر، لقی سوپاپ، دور و گشتاور بر دمای خروجی آگزوز

مطابق نتایج حاصله، خطای معیار برآورد ۲۹/۱۱۲۰، ضریب تبیین ۹۵/۰۱ درصد، ضریب تبیین تعدیل یافته ۹۱/۴۶ درصد و ضریب تبیین پیش بینی ۸۵/۰۵ به دست آمد.

جدول ۸- تجزیه واریانس برای متغیر دمای موتور

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات تعدیل یافته	میانگین مجموع مربعات تعدیم یافته	آماره F	سطح معناداری
لقی	۲	۲۲۷۲	۱۱۳۶	۱/۳۴	۰/۲۷۱
فیلتر	۱	۱۷۶۹۶	۱۷۶۹۶	۲۰/۸۸	۰/۰۰۰
گشتاور	۴	۶۲۵۳۸۵	۱۵۶۳۴۶	۱۸۴/۴۸	۰/۰۰۰
دور	۲	۱۱۸۱۴۴	۵۹۰۷۲	۶۹/۷۰	۰/۰۰۰
لقی×فیلتر	۲	۳۶۱۴۷	۱۸۰۷۳	۲۱/۳۳	۰/۰۰۰
لقی×گشتاور	۸	۷۰۸۲	۸۸۵	۱/۰۴	۰/۴۱۶
لقی×دور	۴	۱۲۳۱۲	۳۰۷۸	۳/۶۳	۰/۰۱۱
فیلتر×گشتاور	۴	۲۶۳۱	۶۵۸	۰/۷۸	۰/۵۴۶
فیلتر×دور	۲	۱۰۶۸۳	۵۳۴۱	۶/۳۰	۰/۰۰۴
گشتاور×دور	۸	۶۶۳۹	۸۳۰	۰/۹۸	۰/۴۳۶
خطا	۵۲	۴۴۰۷۱	۸۴۸		
کل	۸۹	۸۸۳۰۶۲			



شکل ۴- نمودار اثرات متقابل برای متغیر دمای خروجی اگزوز

مطابق با نتایج پژوهش‌های منتشر شده (Poursabagh, Roknabadi et al., 2015) همانطور که انتظار می‌رود، با افزایش بار و دور موتور، دمای گازهای خروجی از اگزوز افزایش یافت. در بحث لقی، در لقی بیشتر (سه) چون سوپاپ هوا دیرتر باز و زودتر بسته می‌شود در نتیجه هوای کمتری به داخل موتور راه پیدا می‌کند و منجر به احتراق ناقص سوخت و همچنین افزایش دمای خروجی اگزوز می‌شود و این قضیه در مورد لقی کمتر (دو) به صورت برعکس است. در شرایط لقی کمتر هم‌پوشانی دو سوپاپ

با توجه به نمودار اثرات متقابل (شکل ۴) نتیجه می‌شود که، به ازای لقی یک و فیلتر یک کمترین دمای موتور و به ازای لقی یک و فیلتر دو بیشترین دمای موتور حاصل شده است، بیشترین دمای موتور به ازای لقی ۳ و دور ۲۲۰۰ دور بر دقیقه حاصل شده است، دمای موتور در دور ۱۷۳۰ و ۱۲۵۰ دور بر دقیقه هر سه لقی تقریباً مشابه است. در دور ۱۷۳۰ و ۱۲۵۰ دور بر دقیقه با استفاده از فیلتر یک دمای موتور پایین‌تر بود و در دور ۲۲۰۰ دور بر دقیقه هر دو فیلتر اختلاف معناداری نداشتند.

### بررسی اثر فیلتر، لقی، دور و گشتاور بر روی تراز کلی شدت صدای سرسیلندر (L1)

نتایج حاصل از تجزیه واریانس در جدول ۹ نشان می‌دهد که از اثرات اصلی، عوامل لقی و فیلتر بر روی متغیر تراز کلی شدت صدای سرسیلندر (L1) تأثیر معناداری ندارند. ولی متغیرهای گشتاور و دور موتور تأثیر معناداری بر متغیر تراز کلی شدت صدای سرسیلندر (L1) دارند. از اثرات متقابل، تنها اثر لقی در فیلتر در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار است و بقیه اثرات متقابل اثر معنی‌داری ندارند.

باعث شده که دمای خروجی اگزوز افزایش پیدا نکند. در مبحث فیلتر تمیز این قضیه نیز صادق است؛ چون در فیلتر تمیز هوای بیشتری به داخل محفظه احتراق راه پیدا می‌کند، دو حالت پیش می‌آید: یا احتراق بهینه داریم، یعنی بهینه‌تر از حالتی که هوای کمتری برای احتراق کامل وجود دارد و یا احتراق مخلوط فقیر (هوای بیشتر و سوخت کمتر) انجام می‌شود که در هر دو حالت دمای خروجی اگزوز نسبت به حالت مخلوط غنی (سوخت بیشتر و هوای کمتر) کمتر است.

جدول ۹- تجزیه واریانس برای متغیر تراز کلی شدت صدای سرسیلندر (L1)

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات تعدیل یافته	میانگین مجموع مربعات تعمیم یافته	آماره F	سطح معناداری
لقی	۲	۱۵/۳۴۱	۷/۶۷۰۳	۵/۳۵	۰/۰۰۸
فیلتر	۱	۲/۳۰۲	۲/۳۰۱۹	۱/۶۱	۰/۲۱۱
گشتاور	۴	۵۸/۶۳۱	۲۹/۳۱۵۴	۲۰/۴۶	۰/۰۰۰
دور	۲	۰/۴۴۲۷۵	۰/۲۲۱۳۷۷	۶۰/۵	۰/۰۰۰
لقی×فیلتر	۲	۲۹/۴۱۲	۱۴/۷۰۵۸	۱۰/۲۶	۰/۰۰۰
لقی×گشتاور	۸	۱۳/۹۵۴	۱/۷۴۴۳	۱/۲۲	۰/۳۰۸
لقی×دور	۴	۸/۶۷۰	۲/۱۶۷۴	۱/۵۱	۰/۲۱۲
فیلتر×گشتاور	۴	۲/۸۹۹	۰/۷۲۴۸	۰/۵۱	۰/۷۳۲
فیلتر×دور	۲	۱۵/۶۵۸	۷/۸۲۹۲	۵/۴۶	۰/۰۰۷
گشتاور×دور	۸	۵/۹۸۳	۰/۷۴۷۹	۰/۵۲	۰/۸۳۵
خطا	۵۲	۷۴/۵۰۵	۱/۴۳۲۸		
کل	۸۹	۲۵۷/۰۵۴			

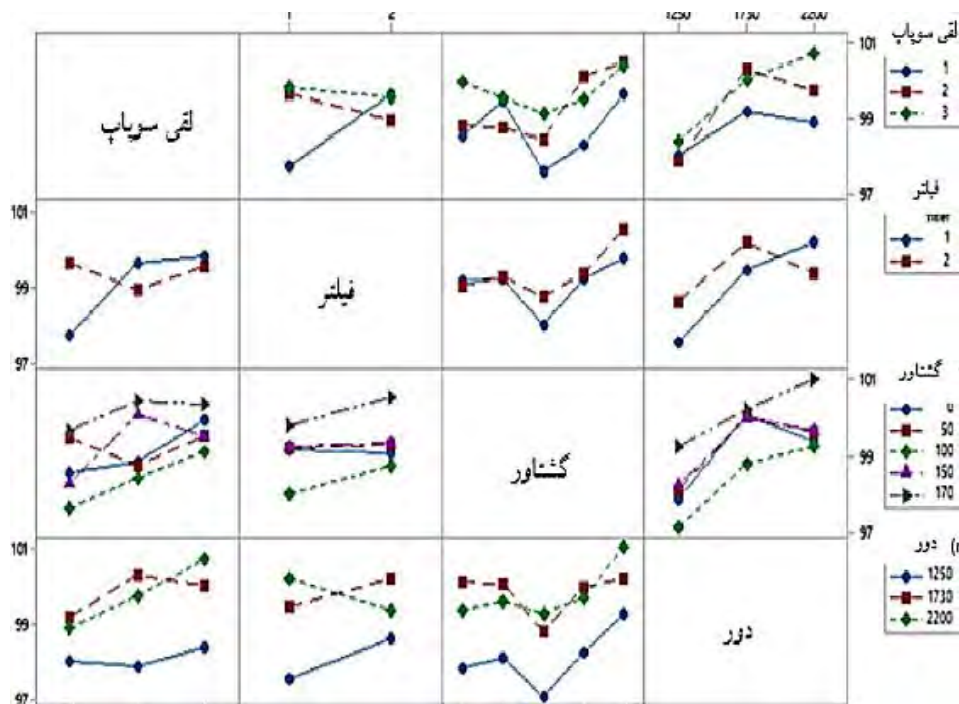
در نتیجه احتراق بهینه‌تری اتفاق می‌افتد و موتور نرم‌تر کار می‌کند و صدای موتور کمتر است. در دور ۱۲۵۰ و ۱۷۳۰ دور بر دقیقه به ازای فیلتر یک و در ۲۲۰۰ دور بر دقیقه به ازای فیلتر دو، کمترین میزان متغیر L1 حاصل شد. هر چند انتظار می‌رود که در هر سه دور موتور فیلتر تمیز صدای کمتری ایجاد کند ولی نتایج این مطالعه نشان داد که در دور ۲۲۰۰ دور بر دقیقه فیلتر شماره دو (کثیف) صدای کمتری تولید می‌کند.

### بررسی اثر فیلتر، لقی سوپاپ، دور و گشتاور موتور بر روی تراز کلی شدت صدای بدنه موتور (L2)

نتایج تجزیه واریانس نشان داد از بین عوامل مورد بررسی، اثر دور موتور و اثر متقابل لقی و فیلتر و دور موتور بر پارامتر تراز کلی شدت صدای بدنه موتور معنادار است (جدول ۱۰).

مطابق مدل ارزیابی خطای معیار برآورد ۱/۱۹۶۹۹، ضریب تبیین ۷۱/۰۲ درصد، ضریب تبیین تعدیل یافته ۵۰/۳۹ درصد و ضریب تبیین پیش بینی ۱۳/۱۸ به دست آمد. به عبارت دیگر، تقریباً ۵۰ درصد تغییرات متغیر L1 توسط مدل توجیه شده است.

با توجه به نمودار اثرات متقابل (شکل ۵) می‌توان نتیجه گرفت که، در حالت لقی عادی فیلتر کثیف تراز صدای بالایی دارد. در حالت لقی دوم فیلتر کثیف صدای کمتر تولید می‌کند و برای لقی شماره ۳، نوع فیلتر تأثیری نداشته و میزان صدا تقریباً مشابه است. به این دلیل که در حالت تنظیم بودن لقی (لقی عادی یا لقی یک) به صورت تجربی موتور نرم‌تر کار می‌کند و سروصدای کمتری دارد و همچنین در حالت فیلتر یک (تمیز) میزان مقاومت فشار هوای ورودی به موتور کمتر است، ضمن اینکه در فیلتر تمیز هوای بیشتری برای احتراق به موتور می‌رسد که



شکل ۵- نمودار اثرات متقابل برای متغیر تراز کلی شدت صدای سرسیلندر (L1)

جدول ۱۰- تجزیه واریانس برای متغیر تراز کلی شدت صدای بدنه موتور (L2)

منبع تغییر	درجه آزادی	مجموع مربعات تعدیل یافته	میانگین مجموع مربعات تعمیم یافته	آماره F	سطح معناداری
لقی	۲	۱۰/۷۰۴	۵/۳۵۲۱	۲/۳۲	۰/۱۰۹
فیلتر	۱	۷/۳۲۱	۷/۳۲۰۸	۳/۱۷	۰/۰۸۱
گشتاور	۴	۱۹/۰۷۵	۴/۷۶۸۸	۲/۰۷	۰/۰۹۹
دور	۲	۵۶/۱۶۲	۲۸/۰۸۰۹	۱۲/۱۶	۰/۰۰۰
لقی × فیلتر	۲	۱۹/۱۲۶	۹/۵۶۲۹	۴/۱۴	۰/۰۲۱
لقی × گشتاور	۸	۲۷/۷۵۳	۳/۴۶۹۱	۱/۵۰	۰/۱۷۹
لقی × دور	۴	۱۷/۷۶۷	۴/۴۴۱۹	۱/۹۲	۰/۱۲۰
فیلتر × گشتاور	۴	۳/۰۹۰	۰/۷۷۲۴	-/۳۳	۰/۸۵۳
فیلتر × دور	۲	۲۵/۸۵۵	۱۲/۹۲۷۳	۵/۶۰	۰/۰۰۶
گشتاور × دور	۸	۸/۷۶۸	۱/۰۹۶۰	-/۴۷	۰/۸۶۸
خطا	۵۲	۱۲۰/۰۶۵	۲/۳۰۸۹		
کل	۸۹	۳۱۵/۶۵۸			

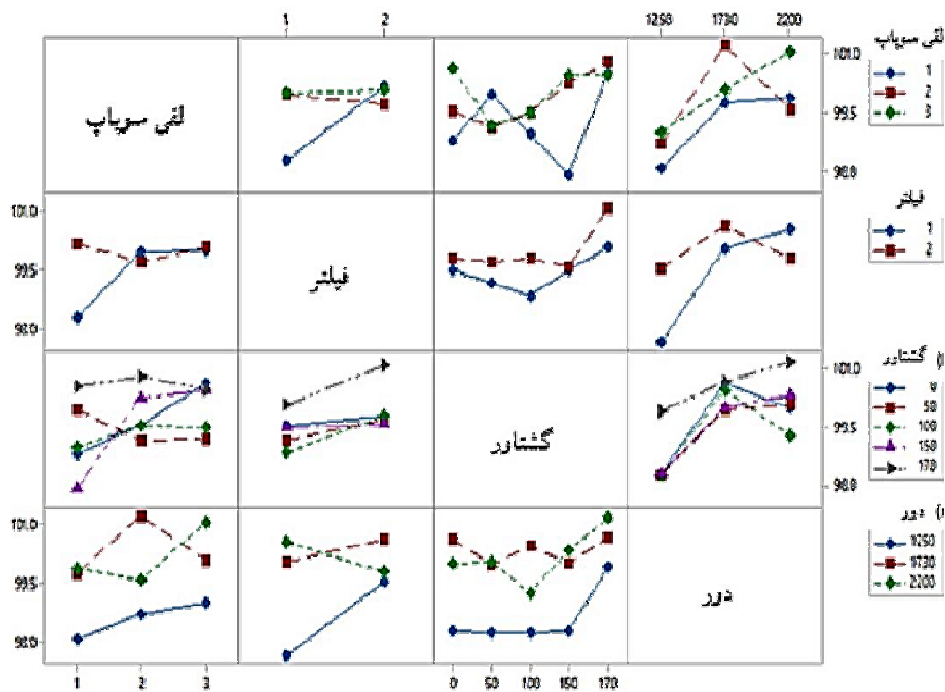
موتور در شرایط لقی عادی و فیلتر تمیز (کاهش مقاومت هوای ورودی به فیلتر و مجرا) نسبت داد. به این دلیل که زمانی که لقی تنظیم باشد (لقی عادی یا لقی یک) به‌طور تجربی موتور در حالت نرم کار می‌کند و همچنین زمانی که فیلتر تمیز باشد هیچ مقاومت فشاری از ناحیه ورود هوا به فیلتر و مجرا ایجاد نمی‌شود. ضمن اینکه به دلیل ورود هوای بیشتر به محفظه احتراق، احتراق بهینه‌تری انجام‌شده و به اصطلاح موتور نرم‌تر کار می‌کند و صدای

مطابق مدل ارزیابی خطای معیار برآورد ۱/۵۱۹۵۲، ضریب تبیین ۶۱/۹۷ درصد، ضریب تبیین تعدیل یافته ۳۴/۹۰ درصد و ضریب تبیین پیش بینی ۰/۰۰۰ به دست آمد. به‌عبارت‌دیگر، تقریباً ۳۱ درصد تغییرات تراز کلی شدت صدا در بدنه موتور توسط مدل توجیه شده است.

شکل ۶ نشان می‌دهد که پایین‌ترین میزان متغیر تراز کلی شدت صدای بدنه موتور در شرایط لقی عادی و فیلتر تمیز حاصل می‌شود. این مشاهده را می‌توان به کارکرد مناسب

شدت صدای بدنه موتور شد (شکل ۶). با در نظر گرفتن تأثیر مثبت فیلتر تمیز بر کاهش مقاومت هوای ورودی و در نهایت کاهش تراز شدت صدای بدنه موتور این مشاهده بر خلاف انتظار است.

کمتری ایجاد می‌نماید. نتایج نشان داد در تمام دوره‌های مورد بررسی به جز دور ۲۲۰۰ دور بر دقیقه فیلتر کثیف منجر به افزایش تراز کلی شدت صدای بدنه موتور در دور ۲۲۰۰ دور بر دقیقه فیلتر تمیز سبب افزایش تراز کلی



شکل ۶- نمودار اثرات متقابل برای متغیر تراز کلی شدت صدای بدنه موتور (L2)

افزایش مصرف سوخت می‌توان نتیجه گرفت که لقی سوپاپ تنظیم نیست و یا فیلتر (صافی) هوا کثیف است. البته در فیلتر بیشتر مصرف سوخت از حالت فیلتر کمتر بیش‌تر است. با افزایش میزان تراز کلی فشار صدا در هر دو نقطه نشان از بیشتر بودن لقی سوپاپ است.

#### منابع

- Abbaszadeh, A & Ghobadian, B. (2008). Investigation of the effect of working parameters of a diesel engine on the amount of exhaust fumes., *Fifth National Congress of Agricultural Machinery and Mechanization Engineering*, Mashhad. (In Persian).
- Akay, A. E., & Acar, H. H. (2019). Using GIS techniques for modeling noise propagation from mechanized harvesting equipment. *European Journal of Forest Engineering*, 5(2): 92-98.
- Albarbar, A., Gu, F., & Ball, A. D. (2010). Diesel engine fuel injection monitoring using acoustic measurements and

#### نتیجه‌گیری

نتایج حاصل تحقیق نشان داد که تنها گشتاور و دور موتور بر کدوری دود موتور اثر معنی‌داری دارند و دو عامل فیلتر هوا و لقی سوپاپ بر کدوری اثر معنی‌داری ندارند. همچنین همه عوامل اصلی بر میزان مصرف سوخت موتور دیزل اثر معناداری در سطح احتمال یک درصد دارند. نتایج حاصل از بررسی نشان داد که تنها اثر فیلتر، گشتاور و دور بر روی دمای موتور اثر معناداری دارند و عامل لقی سوپاپ اثر معناداری بر دمای موتور ندارد. اثر عوامل گشتاور و دور موتور بر تراز کلی شدت صدای سرسیلندر (L1) تأثیر معناداری دارد و دو متغیر دیگر (لقی سوپاپ و فیلتر) اثر معناداری ندارند. نتایج حاصل نشان داد که تنها اثر دور موتور بر تراز کلی شدت صدای بدنه موتور (L2) اثر معناداری دارد و سایر متغیرها اثر معناداری از خود نشان ندادند.

همچنین اگر دمای دود خروجی از روز از حالت عادی بالاتر باشد نشان از کثیف بودن صافی (فیلتر) هوا است. با

- and programming guidance* (Master's thesis, NTNU).
- Nemat Keramat, S., Gholam, H., Najafi, S.R., Beigi, H., & Ghobadian, B. (2017). *Frequency analysis of the effect of a mixture of diesel and biodiesel fuels on the sound of a single-cylinder diesel engine*, Sound and vibration, 13-22.
- Poursabagh Roknabadi, H., Rouhani, A., Tabasizadeh, M., & Naderan Tahan, H., (2015). Regression evaluation of smoke outlet temperature according to the parameters of internal combustion engine load and load., *6th Iranian Fuel and Combustion Conference*, Mashhad. (In Persian).
- Pruvost, L., Leclere, Q., & Parizet, E. (2009). Diesel engine combustion and mechanical noise separation using an improved spectrofilter. *Mechanical systems and signal processing*, 23(7): 2072-2087.
- Rakopoulos, C. D., Dimaratos, A. M., Giakoumis, E. G., & Rakopoulos, D. C. (2011). Study of turbocharged diesel engine operation. pollutant emissions and combustion noise radiation during starting with bio-diesel or n-butanol diesel fuel blends. *Applied Energy*, 88(11): 3905-3916.
- Shahlari, A. J., Kurtz, E., Hocking, C., & Antonov, S. (2015). Correlation of cylinder pressure-based engine noise metrics to measured microphone data. *International Journal of Engine Research*, 16(7): 829-850.
- Tabatabaei Kolor, R., Khosravi, M., & Mousavi, R. (2018). Evaluation of vibration and sound exposure produced by an orchard roto-tiller. *Iranian Journal of Biosystems Engineering*, 49(1): 139-148.
- Wu, J. D., Chiang, P. H., Chang, Y. W., & Shiao, Y. J. (2008). An expert system for fault diagnosis in internal combustion engines using probability neural network. *Expert Systems with Applications*, 34(4): 2704-2713.
- Zhou, Y., Liang, Y., & Li, R. (2019). Research on intelligent diagnosis technology of emergency diesel generator in nuclear power plant based on new monitoring method. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing, 677(3): 032074.
- independent component analysis. *Measurement*, 43(10): 1376-1386.
- Anvarinia, A., Matbooi, A., & Dastbast, M., (2015). The effect of air filter replacement on engine parameters and the amount of exhaust fumes., *the second international conference and the third national conference on the application of new technologies in engineering sciences*, Mashhad., (In Persian).
- Anyu, C., Jide, J., Xiliang, D., & Zhongkui, Z. (2011, January). Transient sound visualization and application to analysis of engine acoustic characteristics by continuous wavelet transform. *In 2011 Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, IEEE, 3: 1048-1051.
- Cai, M., Lan, Z., Zhang, Z., & Wang, H. (2019). Evaluation of road traffic noise exposure based on high-resolution population distribution and grid-level noise data. *Building and Environment*, 147: 211-220.
- Das, R. R., Kakkad, S., & Kumar, E. V. (2019). Diesel Engine Control and Protection Monitoring using PID Controller. In 2019 Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT) (Vol. 1, pp. 1-6). IEEE.
- Giakoumis, E. G., Dimaratos, A. M., & Rakopoulos, C. D. (2011). Experimental study of combustion noise radiation during transient turbocharged diesel engine operation. *Energy*, 36(8): 4983-4995.
- Guangpu, L., Shihua, B., & Hongxia, P. (2006). Analysis of noise characteristics for diesel engine. *In 2006 IEEE International Conference on Information Acquisition*, IEEE, pp. 1390-1394.
- Hassan-Beygi, S. R., & Ghobadian, B. (2005). Noise attenuation characteristics of different road surfaces during power tiller transport. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*.
- Jafari, M., Behzad, M., & Mehdiquoli, H. (2009). Application of Acoustic Emission among different methods of monitoring and troubleshooting internal combustion engines., *Fourth Specialized Conference on Status Monitoring and Troubleshooting, Tehran*. (In Persian) .
- John, J. A. & Williams. E. R. (2013). *Cyclic and Computer-Generated Designs*. 2nd ed, London.
- JunHong, Z., & Bing, H. (2005). Analysis of engine front noise using sound intensity techniques. *Mechanical systems and signal processing*, 19(1): 213-221.
- Lærum, K. H. (2018). *A study of machine learning for predictive maintenance-a topic*



## طراحی، ساخت و ارزیابی خشک‌کن سبز ترکیبی خورشیدی - بازیافت حرارتی محصول زرشک

مریم اسلامی<sup>۱</sup>، سجاد رستمی<sup>۲\*</sup>، بهرام حسین‌زاده سامانی<sup>۳</sup>، رحیم ابراهیمی<sup>۴</sup> و مصطفی کیانی ده کیانی<sup>۵</sup>

### چکیده

دلیل خشک کردن، ذخیره‌سازی طولانی مدت مواد غذایی، حداقل کردن نیازهای انبارداری، بسته‌بندی و کاهش هزینه‌های حمل و نقل است. هدف این پژوهش استفاده از ترکیب خشک‌کن خورشیدی با سیستم بازیافت حرارتی (MCHP) است که ضمن ذخیره انرژی، کنترل دمایی را نیز امکان‌پذیر می‌کند. در تحقیق حاضر، سیستم MCHP (سیستم تولید هم‌زمان قدرت و حرارت ریزمقیاس) از یک موتور دیزل تک سیلندر با توان ۴/۵ اسب بخار و حداکثر دور موتور ۲۵۰۰ دور بر دقیقه که با سوخت بیودیزل کار می‌کند، تشکیل شده است. همچنین خشک‌کن خورشیدی دارای یک گردآورنده تخت است، که درون آن یک مبدل حرارتی طراحی و ساخته شد و از یک مکنده جهت هدایت هوای گرم از گردآورنده به محفظه خشک‌کن استفاده گردید. نتایج نشان داد، با افزایش درجه گاز (۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪)، دمای گاز خروجی از آگزوز قبل از ورود به مبدل حرارتی افزایش می‌یابد. مبدل دوم در گردآورنده طراحی و ساخته شد. دمای آب خروجی از مبدل گردآورنده در حالت‌های مختلف درجه گاز به ترتیب (۲/۵، ۳۷/۵، ۲/۳، ۴۳/۳، ۴۹/۲ و ۵۵/۲ درجه سلسیوس) بود. همچنین، زمان خشک‌شدن محصول زرشک برای دمای ۷۰ درجه سلسیوس و سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه، نسبت به دما و سرعت‌های دیگر در این تحقیق کمتر بود.

**واژه‌های کلیدی:** خشک‌کن خورشیدی، سیستم MCHP، مبدل حرارتی، زمان خشک‌شدن.

ارجاع: اسلامی م. رستمی س. حسین‌زاده سامانی ب. ابراهیمی ر. و کیانی ده کیانی م. ۱۴۰۱. طراحی، ساخت و ارزیابی خشک‌کن سبز ترکیبی خورشیدی - بازیافت حرارتی محصول زرشک. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۴: ۴۳-۵۴. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.13766.579>

۱- دانشجوی دکتری، مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد.  
۲- دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد.  
۳- دانشیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد.  
۴- استاد تمام گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهرکرد، شهرکرد.  
۵- استادیار گروه مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران، اهواز.

\* نویسنده مسئول: [rostami.sajad@yahoo.com](mailto:rostami.sajad@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۸

## مقدمه

کشور ایران بزرگ‌ترین تولیدکننده زرشک در دنیا است و سالانه بیشتر از ۱۰۰۰۰ تن زرشک خشک در ایران تولید می‌شود. زرشک یک محصول فصلی است و در تمام طول سال امکان استفاده از آن به صورت تازه وجود ندارد. میوه زرشک در درمان آسم، تب‌های عفونی، امراض ریوی و ناراحتی‌های کیسه صفرا مفید بوده و ضد عفونی کننده است. از دیگر فواید زرشک استفاده در انواع مواد غذایی و دارویی است (Atefi et al., 2021). در حال حاضر زرشک به شیوه‌های کاملاً سنتی خشک می‌گردد. مهم‌ترین عیب خشک کردن به روش سنتی، افزایش هزینه و کندی فرآیند است که افزایش خطر صدمه محصول در اثر باران‌های پاییزه و آلودگی به انواع کپک، مخمر و اتلاف حدود ۳۰ تا ۳۵ درصد محصول سالیانه را در پی دارد. یکی از راه‌های کاهش ضایعات این محصول با ارزش، استفاده از روش خشک کردن صنعتی و با تجهیزات مکانیزه است که باعث کاهش چشم‌گیر آلودگی و اتلاف آن می‌گردد (Fyizi et al., 2018). اما در عوض قیمت اولیه و هزینه‌های کاربرد آن‌ها بالاست و به سوخت و انرژی وابسته‌اند. یک جایگزین خوب برای این مورد، استفاده از خشک‌کن‌های خورشیدی است (Leon et al., 2020).

امروزه بحران‌های اقتصادی و مسائلی نظیر محدودیت ذخایر فسیلی، نگرانی‌های زیست محیطی، ازدیاد جمعیت و ... فکر اندیشمندان را برای یافتن راهکارهای مناسب حل معضلات انرژی در جهان به خود مشغول کرده است.

تولید هم‌زمان قدرت و حرارت یک روش صرفه‌جویی انرژی است که در آن برق و حرارت به طور هم‌زمان تولید می‌شوند. فرآیند تولید هم‌زمان می‌تواند بر اساس استفاده از توربین‌های گاز، توربین‌های بخار یا موتورهای احتراقی بنا نهاده شود. منبع تولید انرژی اولیه نیز شامل دامنه وسیعی است که می‌تواند سوخت‌های فسیلی، زیست توده، زمین گرمایی یا انرژی خورشیدی باشد (Martinez et al., 2017).

از لحاظ ترمودینامیکی، تولید هم‌زمان قدرت و حرارت به معنی تولید هم‌زمان دو شکل معمول انرژی یعنی الکتریکی و حرارتی، با استفاده از یک منبع انرژی اولیه است. موتورهای احتراق داخلی قادر به سوزاندن انواع سوخت، از جمله بنزین، گازوئیل، گاز طبیعی، نفت و سوخت‌های جایگزین برای تولید قدرت محور یا انرژی

مکانیکی هستند. حدود دوسوم از انرژی ورودی به موتور از طریق گاز اگزوز و سیستم خنک‌کننده به هدر می‌رود. قبل از اتلاف کامل این انرژی، می‌توان از آن برای برخی از اهداف مفید و اقتصادی استفاده کرد (Pandiyan et al., 2011). حدود ۳۰٪ از انرژی ورودی در یک موتور احتراق داخلی از طریق گاز خروجی به بیرون از موتور هدایت می‌شود. بنابراین، این انرژی می‌تواند به عنوان یک گزینه مناسب برای جایگزینی انرژی الکتریکی مورد نیاز خشک‌کن مورد استفاده قرار گیرد (Guoneng et al., 2020 & Martinez et al., 2017).

در تحقیقی (Leon et al., 2020)، به مطالعه و مقایسه روی خشک‌کن خورشیدی با استفاده از بازتابنده خارجی برای خشک کردن انگور پرداختند. نتایج نشان داد، استفاده از خشک‌کن خورشیدی با بازتابنده‌های خارجی باعث کاهش زمان خشک‌شدن در مقایسه با خشک‌شدن خورشیدی در فضای باز است. همچنین، دمای سینی خشک‌کن با استفاده از بازتابنده خارجی تا حدود ۲۰٪ نسبت به خشک‌شدن خورشیدی در فضای باز افزایش یافت.

تحقیقی بر ارزیابی عملکرد خشک‌کن خورشیدی و مواد آن برای خشک کردن محصولات کشاورزی انجام شد. نتایج نشان داد، با خشک‌کن خورشیدی نه تنها در مصرف سوخت فسیلی صرفه‌جویی می‌شود بلکه ارزش بالایی نیز برای بهبود کیفیت محصول از نظر طعم و رنگ دارد. همچنین هیچ تأثیر مضر بر محیط زیست ندارد (Masnaji et al., 2020). در تحقیق دیگری، (2021) Khouya، به مدل‌سازی و تحلیل خشک‌کن خورشیدی ترکیبی برای چوب پرداختند. نتایج نشان داد با افزایش دمای تنظیم شده، نسبت مصرف انرژی کاهش می‌یابد. استفاده ترکیبی از یک گردآورنده خورشیدی و یک پمپ حرارتی به ترتیب باعث کاهش ۵۲، ۳۷ و ۲۴ درصد از نظر زمان خشک‌شدن برای سه درجه حرارت تنظیم شده ۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس می‌شود.

در پژوهشی، (Thayla et al., 2021)، یک خشک‌کن ترکیبی خورشیدی - خلا را برای تولید میوه‌ها و سبزیجات خشک با کیفیت بالا بررسی کردند. نتایج نشان داد؛ خشک‌شدن تمام نمونه‌های میوه و سبزی بسته به درجه حرارت خشک‌شدن و استفاده از انرژی الکتریکی مداوم برای دمای بالاتر از ۷۰ درجه سلسیوس، منجر به تولید محصولات خشک و ترد در ۳-۴ ساعت است.

### مواد و روش

نمونه‌ها به‌منظور کاهش اثرات فعالیت‌های میکروبی تا قبل از شروع آزمایش در دمای ۴ درجه سلسیوس در یخچال نگهداری شدند. محصول زرشک با رطوبت اولیه ۷۶/۵٪ به صورت لایه نازکی با هدف رساندن رطوبت محصول کمتر از ۱۸ درصد در خشک‌کن قرار داده شد. طبق شکل ۱، و بر اساس اهداف این پژوهش، ابتدا خشک‌کن خورشیدی براساس منابع و تحقیقات پیشین، مطابق مشخصات زیر ساخته شد:

این خشک‌کن داری محفظه‌ای چوبی است که محصول در آن قرار گرفت. شاسی آن دارای پایه‌های آهنی به طول ۱ متر و نیز یک گردآورنده با مساحت ۲×۱ متر است. برای خشک‌کن‌های فعال جهت جابه‌جایی هوا در محفظه خشک‌کن و در سرتاسر محصول باید از مکنده یا دمنده استفاده کرد که در اینجا از یک مکنده استفاده شد. دسترسی به داخل محفظه خشک‌کن از طریق یک درب عایق امکان‌پذیر است. در این محفظه برای اینکه محصول بیشتری خشک شود از سه سینی با اندازه‌های متفاوت استفاده شده که فاصله از پایین محفظه تا سینی اول ۴۰ cm و فاصله ۳۰ cm بین هر سینی است. قسمت پایین اتاق خشک‌کن به گردآورنده متصل است. تعداد ۸ حسگر دماسنج مدل DS18B20، (با دقت ۰/۵ درجه که دامنه اندازه‌گیری دما ۱۲۵-۵۰ درجه سلسیوس) به‌منظور اندازه‌گیری دمای هوای ورودی و خروجی از گردآورنده، دمای وسط گردآورنده، دمای سینی اول، دمای سینی دوم، دمای محفظه، دمای خروجی از محفظه و دمای خروجی از هواکش مورد استفاده قرار گرفت. برای اندازه‌گیری سرعت هوا از یک سرعت‌سنج پره‌ای (مدل Testo 435) ساخت کشور آلمان، با حداکثر اندازه‌گیری سرعت ۲۰ و با رزولوشن ۰/۳؛ و برای سنجش میزان قدرت انرژی تابشی وارد بر سطح مورد نظر از یک دستگاه سولاری متر ( solar power meter, TES1333) ساخت تایوان (دامنه اندازه‌گیری تا  $W/m^2$  ۲۰۰۰) استفاده شد. همچنین برای سنجش وزن محصول مورد نظر از سه حسگر نیروی خمشی ۶kg و برای اندازه‌گیری میزان رطوبت هوا از یک حسگر TM-1240 (تیکا، ایران) مورد استفاده قرار گرفت.

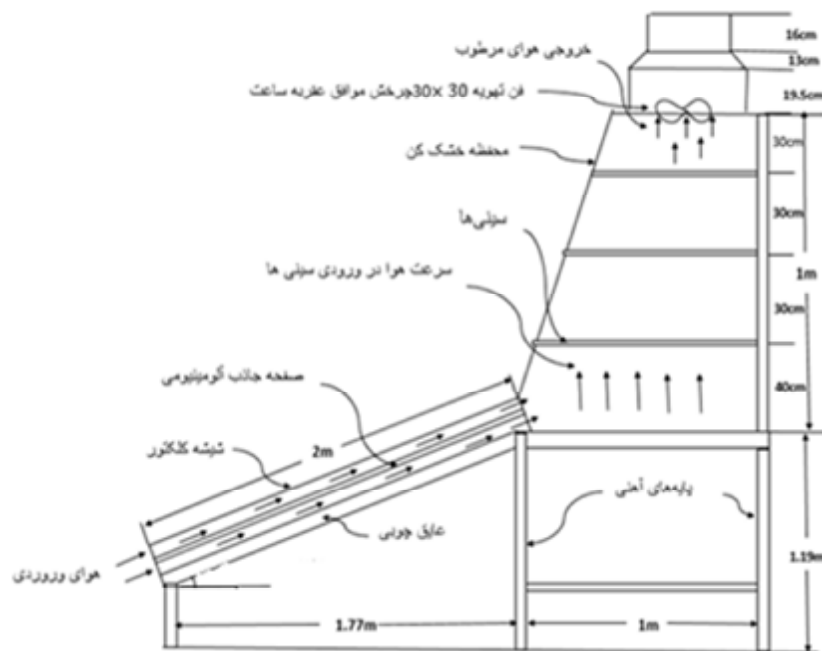
طی مطالعه‌ای بررسی سینتیک خشک کردن لایه نازک پرتقال در خشک‌کن سیستم تولید هم‌زمان قدرت و حرارت در ریزمقیاس، (MCHP) انجام شد. نتایج نشان داد که با افزایش بار خروجی از موتور و کاهش ضخامت نمونه، زمان خشک‌شدن به طور معنی‌داری از ۳۰۰ دقیقه (۲۵٪ بار موتور و ضخامت ۷ میلی‌متر) به ۹۵ دقیقه (۱۰۰٪ بار موتور و ضخامت ۳ میلی‌متر) کاهش یافته است (Khafajeh et al., 2013).

در تحقیقی طراحی مبدل حرارتی مبتنی بر گازهای خروجی موتور دیزلی برای خشک کردن محصولات کشاورزی انجام شد. نتایج نشان داد، انرژی حاصل از گازهای خروجی برای خشک کردن ۲ تن شلتوک، در دمای هوای خشک کننده ۵۳ درجه سلسیوس با سرعت جریان جرم خشک کننده ۶/۶۰۰ کیلوگرم بر ساعت به مدت ۸ ساعت زمان خشک‌شدن است (Nasruddin & Wahyu, 2016).

تحقیق دیگری بر سیستم‌های گرما و انرژی ریزمقیاس ترکیبی مبتنی بر منابع انرژی تجدیدپذیر انجام شد. نتایج نشان داد، استفاده از موتور احتراق داخلی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر است (Martinez et al., 2017).

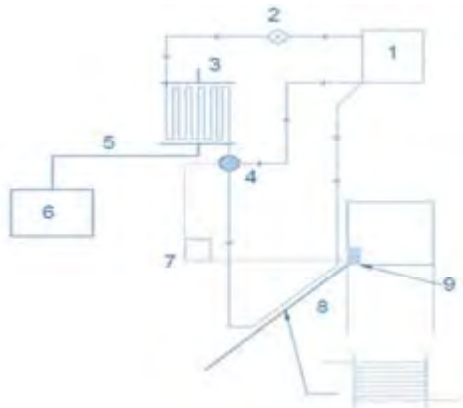
در پژوهشی، (Guoneng et al (2020)، به بررسی سیستم (MCHP) مبتنی بر مولد ترموالکتریک مجهز به کوره حرارتی پرداختند. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد؛ اتصال گرما، سیم‌کشی مازول ترموالکتریک (TE)، تهویه، ذخیره‌سازی برق و کنترل دما با هم ارتباط دارند. پیشنهاد شد که برای تقویت هم‌زمان برق به بیش از ۲۰۰ وات و قدرت گرمایش به بیش از ۹/۸ کیلو وات نیاز است.

با توجه به اینکه سامانه MCHP با استفاده از تولیدکننده برق، انرژی الکتریکی تولید می‌کند و آن را به‌مصرف می‌رساند، می‌توان حرارت اتلاف شده آن را بازیافت کرد. از طرف دیگر، در خشک‌کن‌های خورشیدی نوسانات دمایی زیاد بوده و ترکیب این خشک‌کن‌ها با روشی که مشکل مذکور را حل کند ضروری است. با توجه به بررسی‌های انجام شده برای ترکیب دو روش خشک‌کن خورشیدی و سامانه بازیافت حرارتی (MCHP)، به اندازه کافی مطالعات در این زمینه صورت پذیرفته است. بدین سامانه‌ای با ترکیب خشک‌کن خورشیدی با سیستم بازیافت حرارتی (MCHP) طراحی و ساخته شد.



شکل ۱- طرحواره خشک‌کن خورشیدی

گرما به جریان سیال دیگری در دمای پایین‌تر انتقال می‌دهد.



شکل ۲- طرح‌واره خشک‌کن خورشیدی MCHP مورد استفاده در تحقیق. ۱- مخزن ذخیره ۲- پمپ ۳- مبدل حرارتی ۴- شیر ۵- اگزوز ۶- موتور دیزل ۷- پردازش‌گر ۸- گردآورنده خورشیدی ۹- حسگر دما

سیال می‌تواند حرارت را از طریق سازوکارهای مختلف مانند تابش، همرفت یا هدایت انتقال دهد (Bisen & Manahate, 2017).

در این تحقیق دو مبدل حرارتی از نوع پوسته-لوله با استفاده از نرم‌افزار Solidworks طراحی و سپس ساخته شد.

### تجهیزات به کار رفته در MCHP

با توجه به شکل ۲، سیستم MCHP از یک موتور دیزل تک سیلندر با توان ۴/۵ اسب بخار و حداکثر دور موتور ۲۵۰۰ دور بر دقیقه که با سوخت بیودیزل کار می‌کند، تشکیل شده است. به‌منظور اندازه‌گیری دمای گاز خروجی از اگزوز قبل از مبدل و پس از مبدل حرارتی ابتدا سیستم به مدت یک ساعت کار کرد تا به حالت پایدار رسید. بعد از گذشت زمان مذکور در حالت‌های مختلف درجه گاز (۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪) دمای گاز خروجی قبل و بعد از مبدل اندازه‌گیری شد. بخش دوم که مهم‌ترین بخش این تحقیق بود مبدل حرارتی است. لازم بذکر است که بخش‌های دیگر شامل مخزن ذخیره آب، پمپ، شیر، پردازش‌گر و حسگر دما، مبدل و موتور تولیدکننده برق هستند.

### طراحی مبدل حرارتی

مبدل حرارتی، یک دستگاه انتقال حرارت است که برای انتقال انرژی حرارتی داخلی بین دو یا چند سیال موجود در دماهای مختلف استفاده می‌شود. در اکثر مبدل‌های حرارتی، سیال با یک سطح انتقال حرارت جدا می‌شوند و در حالت ایده‌آل مخلوط می‌شوند. در طول فرآیند انتقال حرارت، یک سیال در دمای بالاتر انرژی خود را به شکل

مراحل طراحی بدین شرح است:

۱- برای اهداف این طراحی، شرایط حالت پایدار در کل واحد فرض شد.

۲- خواص سیالات، از جمله ظرفیت حرارتی خاص، گرانروی و چگالی ثابت و مستقل از دما در نظر گرفته شدند.

۳- همچنین فرض بر این بود که واحد، دارای اتلاف حرارت ناچیز به محیط اطراف است. در نتیجه طبق معادله (۱) گرمای ناشی از سیال سرد و سیال گرم با هم برابرند.

(۱)  $q = m_c c_{p,c} (T_{c,out} - T_{c,in})$   
 $= m_h c_{p,h} (T_{h,out} - T_{h,in})$   
 $m$  جرم سیال (kg)،  $T$ ، دمای سیال (°K) و  $c_p$  ظرفیت گرمایی ویژه سیال ((kJ / (kg °C)) و اندیس‌های c, in, h و out به ترتیب سرد، گرم، ورودی و خروجی است (Bisen & Mahate, 2017).

۴- برپایه نوع جریان، اختلاف متوسط دمای لگاریتمی، معادله (۲) محاسبه شد (Bisen & Mahate, 2017).

$$LMTD = \frac{(T_{h,in} - T_{c,in}) - (T_{h,out} - T_{c,out})}{\ln \frac{(T_{h,in} - T_{c,in})}{(T_{h,out} - T_{c,out})}} \quad (2)$$

بر پایه پیکربندی مبدل ضریب تصحیح دما را می‌توان از معادله (۳) به دست آورد. در معادله (۳)، R و S طبق معادلات (۴) و (۵) محاسبه می‌شود (Bisen & Mahate, 2017).

$$F_t = \frac{\sqrt{R^2 + 1} \ln \left[ \frac{(1-S)}{(1-RS)} \right]}{(R-1) \ln \left[ \frac{2-S \left[ R+1 - \sqrt{R^2+1} \right]}{2-S \left[ R+1 + \sqrt{R^2+1} \right]} \right]} \quad (3)$$

$$R = \frac{(T_{in} - T_{out})}{(t_{out} - t_{in})} \quad (4)$$

$$S = \frac{(t_{out} - t_{in})}{(T_{in} - t_{out})} \quad (5)$$

در معادلات فوق دمای سیال اول، دمای سیال دوم (اندیس‌های in و out مربوط به ورودی و خروجی) بر حسب (K) است. البته در شرایطی که مبدل حرارتی از نوع یک مسیر لوله و جریان سیالات، مخالف جهت یکدیگر باشند، در نظر گرفته می‌شود (در تحقیق حاضر، سیالات خلاف جهت هم جریان دارند).

۶- به کمک معادله (۶) اختلاف متوسط دما (K) را می‌توان محاسبه کرد (Bisen & Mahate, 2017).

$$DT_m = F_t \times LMTD \quad (6)$$

۷- به عنوان نخستین حدس ضریب انتقال حرارت انتخاب می‌شود.

۸- سطح انتقال ( $m^2$ ) از معادله (۷) محاسبه شد.

$$A = \frac{q}{U \cdot DT_m} \quad (7)$$

که در آن  $U$  ضریب انتقال حرارت ( $m^2 \cdot K$ )،  $W$  انتقال گرما (kJ) و اختلاف متوسط دما (°K) هستند (Bisen & Mahate, 2017).

۹- با داشتن قطر داخلی یا خارجی، ضخامت لوله و طول لوله‌هایی که قبلاً فرض شده بود، تعداد لوله‌ها به صورت معادله (۸) محاسبه می‌شود.

$$N_t = \frac{A}{\pi \cdot d_0 L} \quad (8)$$

قطر خارجی لوله (m)، طول پوسته (m) است (Mamba et al., 2019).

سطح مبدل با جریان عمود بر هم ( $m^2$ ) را از معادله (۹) زیر محاسبه شد (Mamba et al., 2019).

$$A_S = \frac{0.4(p_t - d_0)D_s^2}{p_t} \quad (9)$$

در معادله فوق، قطر خارجی لوله، گام لوله و قطر پوسته هستند.

۱۰- سرعت جرمی ( $m/s$ ) طرف پوسته از معادله (۱۰) محاسبه شد (Mamba et al., 2019).

$$G_S = \frac{\text{shell - side flowrate [kg/s]}}{A_S} \quad (10)$$

۱۱- بر پایه پیکربندی سه گوش یا چهار ضلعی، قطر معادل پوسته (m) از معادله (۱۱) محاسبه شد (Mamba et al., 2019).

$$d_e = \frac{4 \left( \frac{p_t}{2} \times 0.87 p_t - \frac{1}{2} \pi \frac{d_0^2}{4} \right)}{\frac{\pi d_0}{2}} \quad (11)$$

گام مثلثی

$$= \frac{1.10}{d_0} (p_t^2 - 0.917 d_0^2)$$

۱۲- عدد رینولدز سمت پوسته را می‌توان از معادله (۱۲) به دست آورد. گرانروی سیال سمت پوسته است (Mamba et al., 2019).

$$Re = \frac{G_S d_e}{\mu} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} & \text{If } Re < 2100 (\text{laminar flow}) \text{ then } h_i \\ & = 1 \\ & \cdot 36 \frac{k_f}{d_i} (Re) \\ & \cdot Pr^{0.33} \left(\frac{d_i}{L}\right)^{0.33} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} & \text{If } Re > 2100 (\text{Transition and Turbulent}) h_i \\ & = 0.023 \frac{k_f}{d_i} Re^{0.8} Pr^{0.33} \left(1 + \frac{d_i}{L}\right)^{0.7} \end{aligned} \quad (20)$$

۲۰- ضریب انتقال حرارت کلی طبق معادلات (۲۱) و (۲۲) محاسبه شد (Mamba et al., 2019).

بر پایه جریان داخل لوله:

$$\begin{aligned} U_i & = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_{di}} + \frac{d_i \ln(d_o/d_i)}{2k_w} + \frac{d_i}{d_i h_{do}} + \frac{d_i}{d_o h_o}} \end{aligned} \quad (21)$$

یا بر پایه جریان خارج لوله:

$$\begin{aligned} U_o & = \frac{1}{\frac{1}{h_o} + \frac{1}{h_{do}} + \frac{d_o \ln(d_o/d_i)}{2k_w} + \frac{d_o}{d_i h_o} + \frac{d_o}{d_i h_{di}}} \end{aligned} \quad (22)$$

$h_{do}$  و  $h_{di}$  به ترتیب ضرایب انتقال حرارت لایه داخلی و خارجی لوله است.

۲۱- ضریب انتقال حرارت کلی که در مراحل پیش به دست آورده شد با مقدار آن در مرحله (۷) مقایسه گردید که اگر بهم نزدیک بودند فرض درست بوده است. در این صورت می‌توان نتایجی چون سطح کل لوله‌ها، تعداد لوله‌ها، طول و قطر مبدل، گرمای انتقالی و دیگر مشخصات طراحی را در جدولی نوشت. در غیر اینصورت، عدد به دست آمده در مرحله پیش را به عنوان فرض مرحله (۷) در نظر گرفته و محاسبات طبق مراحل یاد شده تکرار شدند تا اختلاف بین این ضریب انتقال حرارت کلی ناچیز باشد (Mamba et al., 2019).

درنهایت، مبدل اول با مشخصات، قطر پوسته، تعداد لوله‌ها قطر لوله، دمای گاز خروجی از آگزوز دمای آب ورودی به مبدل و مبدل درون گردآورنده با مشخصات، قطر پوسته، تعداد لوله‌ها قطر لوله دمای آب ورودی دمای هوای ورودی ساخته شدند.

باید اشاره کرد که خشک‌کن خورشیدی خود به تنهایی دارای نوسان دمایی است. لذا ترکیب سیستم MCHP با

۱۳- عدد پراوتل طبق معادله (۱۳) به دست می‌آید که  $C_p$ ، ظرفیت گرمایی سیال در فشار ثابت،  $kJ / (kg \cdot ^\circ C)$  و  $K$  ضریب انتقال حرارتی  $W / (m^2 \cdot K)$  هستند (Mamba et al., 2019).

$$Pr = \frac{\mu \cdot C_p}{K} \quad (13)$$

۱۴- عددهای رینولدز و پراوتل مانند معادلات (۱۲) و (۱۳) برای سیال داخل لوله محاسبه شد.

۱۵- به کمک یکی از معادلات (۱۴) و (۱۵) ضریب انتقال حرارت طرف پوسته محاسبه شد (Mamba et al., 2019).

$$\begin{aligned} & \text{If } Re < 2100 (\text{laminar flow}) \text{ then } h_s \\ & = 1 \\ & \cdot 36 \frac{k_f}{d_e} (Re) \\ & \cdot Pr^{0.33} \left(\frac{d_i}{L}\right)^{0.33} \left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} & \text{If } Re > 2100 (\text{Transition and Turbulent}) h_s \\ & = 0.023 \frac{k_f}{d_e} Re^{0.8} Pr^{0.33} \left(1 + \frac{d_i}{L}\right)^{0.7} \end{aligned} \quad (15)$$

گرانروی سیال در دمای دیواره سمت پوسته، ضریب انتقال حرارتی پوسته  $(W / (m^2 \cdot K))$ ، عدد ناسلت،  $Nu$ ،  $k_f$  ضریب انتقال حرارتی سیال  $W / (m^2 \cdot K)$  هستند (Mamba et al., 2019).

۱۶- از معادله (۱۶) تعداد پاس لوله‌ها محاسبه شد (Mamba et al., 2019).

$$N_{tpp} = \frac{N_t}{\text{number of passes}} \quad (16)$$

۱۷- طبق معادله (۱۷) سرعت جرمی سمت لوله محاسبه شد (اندیس مربوط به سیال درون لوله است). که جرم ویژه سیال داخل لوله است (Mamba et al., 2019).

$$G_m = \frac{\text{tube - side flowrate} [kg/s]}{N_{tpp} \times \frac{\pi d_i^2}{4}} \quad (17)$$

۱۸- در معادله (۱۸) سرعت سمت لوله محاسبه شد (Mamba et al., 2019).

$$u = \frac{G_m}{\rho_i} \quad (18)$$

۱۹- به کمک یکی از معادلات (۱۹) و (۲۰) ضریب انتقال حرارت محاسبه شد (Mamba et al., 2019).

لایه نازک زرشک در طی فرآیند خشک شدن استفاده شد. منحنی‌های خشک شدن با ۶ معادله لایه نازک برازش داده شدند تا بهترین مدل که بتواند معادله منحنی خشک شدن، لایه نازک زرشک را تحت شرایط مختلف در طول فرآیند خشک شدن توضیح دهد انتخاب شود. مدل‌های ریاضی گزارش شده توسط سایر محققین در جدول ۱ آورده شده است. از سه معیار ضریب تعیین ( $R^2$ )، مربع کای ( $\chi^2$ )، و ریشه متوسط مربع خطای داده‌ها (RMSE)، برای سنجش بهترین مدل استفاده شد. که برای هر مدل هرچه مقدار بیشتر، و RMSE کمتر باشد عملکرد آن مدل بهتر و برازش بهتری با داده‌ها خواهد داشت (Khafajeh *et al.*, 2013). این فراسنجه‌ها از معادلات زیر قابل محاسبه است:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_i - MR_{pre.i})}{\sum_{i=1}^n (MR_i - MR_{exp.i})} \quad (24)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (MR_{exp.i} - MR_{pre.i})^2}{N - n} \quad (25)$$

$$RMSE = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (MR_{pre.i} - MR_{exp.i})^2 \right]^{1/2} \quad (26)$$

در این معادلات نسبت رطوبت به دست آمده در طی نامین اندازه‌گیری،  $MR_{pre.i}$  نسبت رطوبت پیش‌بینی شده از مدل در نامین اندازه‌گیری، تعداد مشاهدات و  $N$  تعداد ثابت‌های به کار رفته در معادله است.

خشک‌کن خورشیدی این نوسان دما را کنترل می‌کند. به بیان دیگر کارایی دیگر مبدل‌ها بدین شکل است؛ در زمانی که دمای مورد نظر آزمایش کم باشد مبدل حرارتی دما را به مقدار مورد نظر افزایش می‌دهد. همچنین زمانی که دما مساعد باشد با استفاده از شیر برقی یا ترموستات که در شکل ۲ نشان داده شده است، آب به مخزن برمی‌گردد و دوره کامل می‌شود.

### سینتیک خشک شدن

برای مدل‌سازی ریاضی سینتیک خشک کردن بستر نازک زرشک، از نسبت رطوبت در طی فرآیند خشک کردن استفاده شد. نسبت رطوبت با توجه به رطوبت اولیه، رطوبت تعادلی و رطوبت توده در هر لحظه در طی خشک کردن به‌وسیله معادله (۲۳) محاسبه شد.

$$MR = \frac{M - M_e}{M_o - M_e} \quad (23)$$

که در این معادله، نسبت رطوبت (بدون بعد)، محتوای رطوبت در زمان (d.b)، محتوای رطوبت تعادلی (d.b) و محتوای رطوبت اولیه برحسب (d.b) است (Khafajeh *et al.*, 2013). در ادامه، زمان خشک کردن محصول زرشک با استفاده از پارامتر در دماهای (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس) و سرعت‌های هوای گرم (۱، ۰/۵ و ۱/۵ متر بر ثانیه) به دست آمد.

### مدل‌سازی ریاضی فرآیند خشک کردن زرشک

از مدل‌های عددی ریاضی پیشنهاد شده توسط سایر محققین به منظور نشان دادن نرخ از دست دادن رطوبت

جدول ۱- مدل‌های استاندارد خشک شدن لایه نازک توسط محققین

نام منبع	مدل	منبع مدل
لیوایز	$MR = \exp(-kt)$	Lewis (1921)
پیچ	$MR = \exp(-kt^n)$	Page (1949)
هندرسون و پابیس	$MR = a \cdot \exp(-kt)$	Henderson & Pabis (1961)
لگاریتمی	$MR = a \cdot \exp(-kt) + c$	Togrul & Pehlivan (2004)
تقریب دیفیوژن	$MR = a \cdot \exp(-kt) + (1 - a)\exp(-kbt)$	Yaldiz <i>et al.</i> , (2001)
تقریب فیک اصلاح شده	$MR = a \cdot \exp(-kt/l^2)$	Diamante & Munro (1991)

خورشیدی با کمک سیستم MCHP خشک شد. لذا تأثیر دو فراسنجه دما (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس) و سرعت هوای ورودی (۱، ۰/۵ و ۱/۵ متر بر ثانیه)، بر روی کیفیت زرشک بررسی شد.

### ارزیابی سیستم ترکیبی خشک‌کن خورشیدی

#### MCHP

یکی از مراحل مهم در فرآوری زرشک، خشک کردن و رساندن رطوبت محصول کمتر از ۱۸ درصد است. لذا در این تحقیق میوه زرشک با استفاده از خشک‌کن

## نتایج و بحث

همانطور که در شکل ۳ مشخص است، با افزایش درجه گاز، دمای گاز آگزوز به دلیل آزاد شدن بیشتر انرژی سوخت افزایش می‌یابد. همچنین ملاحظه می‌شود؛ دمای گاز خروجی از آگزوز پس از عبور از مبدل حرارتی به طور تقریبی ۱۰۰ تا ۲۰۰ درجه سلسیوس کاهش دما دارد. در واقع با بیشتر باز شدن درجه گاز، میزان انتقال گرما افزایش می‌یابد. این افت دمای زیاد در مبدل به علت ظرفیت حرارتی بالای آب است. به بیان دیگر ظرفیت حرارتی آب، بسیار بیشتر از ظرفیت حرارتی گاز خروجی از آگزوز است (Martinez et al., 2017).

نتایج مشابهی نیز در بررسی عملکرد مبدل حرارتی در بازیافت گرمای آگزوز موتور دیزل گزارش شده است. با افزایش زمان، آهنگ جذب حرارت کاهش پیدا می‌کند. دلیل این امر افزایش دمای سیال در ورودی مبدل بود که اختلاف دمای بین گاز خروجی و سیال را کاهش می‌داد. در این پژوهش مشابه، افت دمای زیادی در گاز آگزوز پس از عبور از مبدل حرارتی مشاهده شد (Pandiyarajan et al., 2011).

به‌منظور ارزیابی عملکرد مبدل، در حالت‌های مختلف درجه گاز (۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪)، دمای آب خروجی از مبدل ثبت شد. با توجه به اینکه دمای ورودی آب ۲۵ بود. دمای آب خروجی در حالت‌های مختلف درجه گاز به ترتیب ۲/۵، ۳۷/۵، ۲/۳، ۴۳/۳ و ۴۹ و ۵۵ درجه سلسیوس اندازه‌گیری شد که در سطح ۵٪ معناداری داشتند. بنابراین، با افزایش بار موتور، دمای سیال خروجی از مبدل حرارتی نیز افزایش می‌یافت.

در پژوهشی، (Mohammadi Maghanki et al., 2013) نیز نتایج مشابهی را در بررسی یک سیستم MCHP که موتور با سوخت گاز طبیعی کار می‌کرد اعلام کردند. در این تحقیق اثر بار الکتریکی بر دمای گازهای خروجی از آگزوز در مبدل حرارتی بررسی شد. نتایج نشان داد؛ با افزایش بار الکتریکی سیستم مذکور از صفر تا ۱۲۰۰ وات، دمای آب خروجی (۱۷/۵ درجه سلسیوس) پس از عبور از مبدل حرارتی از ۳۰ تا ۷۰ افزایش یافت. همچنین گازهای خروجی پس از عبور از مبدل حدود ۲۰۰ تا ۳۰۰ درجه سلسیوس کاهش دما داشتند.

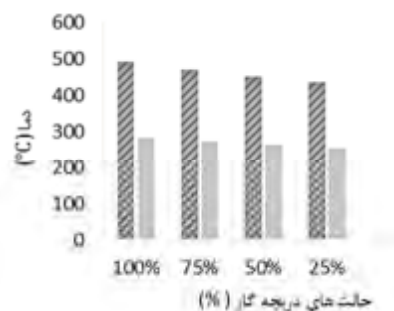
در مبدل دوم که در گردآورنده طراحی و ساخته شد. مقدار دمای آب ورودی و خروجی از مبدل گردآورنده در حالت‌های مختلف درجه گاز ثبت گردید.

همانطور که در شکل ۴ ملاحظه می‌شود، با افزایش درجه گاز انرژی بیشتری ناشی از سوخت آزاد می‌شود. در نتیجه مقدار دمای آب در مبدل گردآورنده افزایش می‌یابد. همچنین باید اشاره کرد، دمای هوای درون گردآورنده به دلیل انتقال حرارت بین سیالات (آب و هوا) بیشتر می‌شود (Mohammadi Maghanki et al., 2013).

در پژوهشی، (Khafajeh et al., 2013)، تحقیقی را بر روی خشک کردن تکه‌های پرتقال با استفاده از خشک‌کن MCHP در حالت‌های مختلف درجه گاز انجام دادند. نتایج نشان داد؛ زمان خشک شدن محصول با افزایش درجه گاز کاهش می‌یابد. به بیان دیگر، افزایش دما ناشی از افزایش گرما است. لذا افزایش دما، زمان خشک شدن را کاهش می‌دهد.



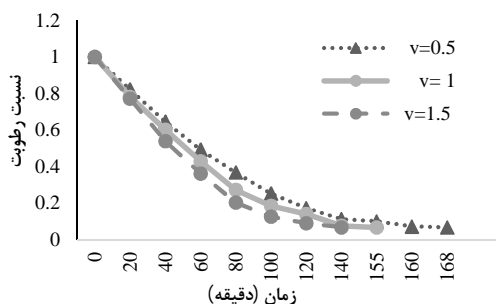
شکل ۴- دمای آب قبل از مبدل حرارتی گردآورنده و بعد از مبدل حرارتی گردآورنده



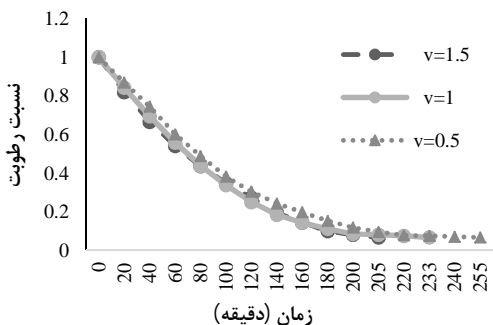
شکل ۳- دمای گاز خروجی از آگزوز قبل از مبدل حرارتی و پس خروج از مبدل حرارتی



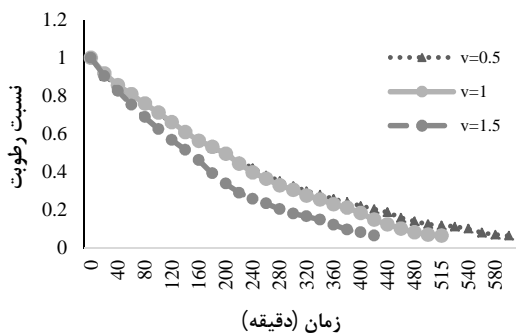
داده‌های آزمایشی با مدل‌های استاندارد و انتخاب بهترین معادله برای پیش‌بینی روند خشک شدن زرشک مورد استفاده قرار گرفت. همانطور که ملاحظه می‌شود؛ در سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه با دمای ۵۰ درجه سلسیوس مدل لوئیس، مدل هندرسون و پابیس، مدل لگاریتمی و مدل تقریب اصلاح شده فیک بهترین مدل با بیشترین  $R^2$  کمترین  $\chi^2$  و RMSE و برازش مناسبی هستند. همچنین در دمای ۶۰ درجه سلسیوس مدل پیچ و مدل تقریب دیکویژن مناسب می‌باشند.



شکل ۵- زمان خشک شدن محصول زرشک در دمای ۷۰ درجه سلسیوس



شکل ۶- زمان خشک شدن محصول زرشک در دمای ۶۰ درجه سلسیوس



شکل ۷- زمان خشک شدن محصول زرشک در دمای ۵۰ درجه سلسیوس

همچنین *Faal et al.*, (2014) پژوهشی بر خشک کردن زردآلو با استفاده از سیستم بازیافت حرارتی MCHP به صورت لایه نازک در دریچه‌های مختلف گاز (۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪) انجام دادند. نتایج نشان داد؛ با افزایش بار موتور زمان خشک شدن کاهش می‌یابد.

شکل‌های ۵، ۶ و ۷ نشان می‌دهند که هرچه دما و سرعت بیشتر باشد، زمان خشک شدن محصول کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، با افزایش دما و سرعت انتقال جرم و انتقال حرارت محصول به سطح محصول و در نهایت تبخیر رطوبت بیشتر می‌شود (*Thayla et al.*, 2021). همچنین باید اشاره کرد؛ زمان خشک کردن با افزایش دما (۵۰، ۶۰ و ۷۰ درجه سلسیوس) به ترتیب ۲۵۵، ۱۶۸ و ۱۶۸ دقیقه است. به عبارت دیگر، در دمای ۵۰ درجه سلسیوس ۷۱٪ و در دمای ۶۰ درجه سلسیوس ۳۴٪ زمان بیشتری جهت خشک کردن محصول، نسبت به دمای ۷۰ درجه سلسیوس صرف می‌شود.

لازم به ذکر است، زمان خشک شدن با افزایش سرعت در دمای ۵۰ درجه سلسیوس (۰/۵، ۱ و ۱/۵ متر بر ثانیه) به ترتیب ۵۹۰، ۵۱۵ و ۴۲۰ دقیقه است. به عبارت دیگر، در سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه، ۲۹٪ و در سرعت ۱ متر بر ثانیه، ۱۸٪ زمان بیشتری جهت خشک کردن محصول، نسبت به سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه صرف می‌شود.

همچنین باید اشاره کرد؛ اگر تنها از خشک‌کن خورشیدی استفاده شود، در دمای ۵۰ درجه سلسیوس با سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه، زمان خشک کردن تقریباً ۲۸۸۰ دقیقه طول می‌کشد. به بیان دیگر، ترکیب سیستم MCHP با خشک‌کن خورشیدی مشکل نوسان دما را کنترل می‌کند و زمان خشک کردن را کاهش می‌دهد.

در پژوهشی، خشک‌کن ترکیبی خورشیدی - خلا برای تولید میوه‌ها و سبزیجات خشک، با کیفیت بالا بررسی شد. نتایج نشان داد؛ خشک شدن تمام نمونه‌ها (میوه و سبزی) به درجه حرارت خشک شدن وابسته بوده و منجر به تولید محصولات خشک و ترد در ۳-۴ ساعت می‌شود (*Thayla et al.*, 2021).

با توجه به جدول‌های ۲ تا ۴، داده‌های حاصل از آزمایش‌ها با استفاده از نرم افزار متلب برای شش مدل تجربی ارائه شده است. شاخص‌های آماری نظیر ضریب تعیین،  $R^2$  مربع کای،  $\chi^2$  و ریشه متوسط مربع خطای داده‌ها (RMSE) برای سنجش بهترین مدل و برآورد

در نهایت مدل‌های لوئیس، هندرسون و پابیس، لگاریتمی، تقریب اصلاح شده فیک و مدل تقریب دیفیوژن در سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه با دمای ۶۰ درجه سلسیوس بهترین برازش را دارند. همچنین ملاحظه می‌شود، در دمای ۷۰ درجه سلسیوس مدل پیچ برازش مناسبی دارد.

همچنین ملاحظه می‌شود، در سرعت ۱ متر بر ثانیه با دمای ۵۰ درجه سلسیوس مدل لگاریتمی برازش مناسبی هست. لازم به ذکر است، در دمای ۶۰ درجه سلسیوس مدل‌های لوئیس، پیچ، هندرسون و پابیس، تقریب اصلاح شده فیک و تقریب دیفیوژن مدل‌های مناسبی هستند که از بین مدل‌های ذکر شده، مدل تقریب دیفیوژن در دمای ۶۰ درجه سلسیوس با بیشترین  $R^2$ ، کمترین  $\chi^2$  و RMSE بهترین برازش مناسب را دارد.

جدول ۲- مدل‌های استاندارد لایه نازک ارائه شده توسط محققین در سرعت ۰/۵ متر بر ثانیه

مدل	دمای ۵۰			دمای ۶۰			دمای ۷۰		
	RMSE			RMSE			RMSE		
لوئیس	۰/۹۹۴۴	۰/۱۲۹۸	۰/۰۲۰۴	۰/۹۸۹	۰/۱۵۷	۰/۰۳۲۳۵	۰/۹۸۴۷	۰/۱۶۳۲	۰/۰۴۰۴
پیچ	۰/۹۹۷۳	۰/۰۶۳۳۴	۰/۰۱۴۵	۰/۹۹۹۵	۰/۰۰۷۵	۰/۰۰۷۳۳	۰/۹۹۹۳	۰/۰۰۷۱	۰/۰۰۸۹۱۵
هندرسون و پابیس	۰/۹۹۴۸	۰/۰۱۲	۰/۰۲	۰/۹۹۲۸	۰/۰۱۰۳۵	۰/۰۲۷۱۹	۰/۹۸۸۲	۰/۰۱۲۵۳	۰/۰۳۷۳۱
لگاریتمی	۰/۹۹۹۵	۰/۰۱۲۴۶	۰/۰۰۶	۰/۹۹۷۱	۰/۰۰۴۱	۰/۰۱۷۷۷	۰/۹۹۷۹	۰/۰۲۲۱۲	۰/۰۱۶۶۳
تقریب اصلاح شده فیک	۰/۹۹۴۵	۰/۰۱۲۷۴	۰/۰۲۰۹۶	۰/۹۹۰۷	۰/۰۱۳۳۲	۰/۰۳۲	۰/۸۴۹۶	۰/۱۶۰۳	۰/۱۴۱۵
تقریب دیفیوژن	۰/۹۹۴۷	۰/۰۱۲۳	۰/۰۲۰۶۲	۰/۹۹۹۵	۰/۰۰۰۶۵	۰/۰۰۷۱	۰/۹۹۶۸	۰/۰۳۴۳۳	۰/۰۲۰۷۲

جدول ۳- مدل‌های استاندارد لایه نازک ارائه شده توسط محققین در سرعت ۱ متر بر ثانیه

مدل	دمای ۵۰			دمای ۶۰			دمای ۷۰		
	RMSE			RMSE			RMSE		
لوئیس	۰/۹۸۴۵	۰/۰۳۲۲	۰/۰۳۵۱۹	۰/۹۹۱۵	۰/۰۱۰۸	۰/۰۲۸۸	۰/۹۸۷۸	۰/۰۱۰۹	۰/۰۳۶۹۵
پیچ	۰/۹۹۵	۰/۰۱۰۴۹	۰/۰۲۰۴۸	۰/۹۹۹۴	۰/۰۰۰۸۱	۰/۰۰۸۲۴	۰/۹۹۸۷	۰/۰۰۱۲	۰/۰۱۲۹۲
هندرسون و پابیس	۰/۹۸۷	۰/۰۲۷۱	۰/۰۳۲۹۵	۰/۹۹۴	۰/۰۰۷۶	۰/۰۲۵۱۸	۰/۹۹۰۱	۰/۰۰۸۸	۰/۰۳۵۶۳
لگاریتمی	۰/۹۹۹۳	۰/۰۱۵۲	۰/۰۰۷۹	۰/۹۹۶۹	۰/۰۰۳۹۶	۰/۰۱۸۹۷	۰/۹۹۶۲	۰/۰۰۳۳	۰/۰۲۳۷۱
تقریب اصلاح شده فیک	۰/۹۸۴۳	۰/۰۳۲۶۵	۰/۰۳۶۸۸	۰/۹۹۴	۰/۰۰۷۶	۰/۰۲۶۳	۰/۹۹۰۱	۰/۰۰۸۸	۰/۰۳۸۴۸
تقریب دیفیوژن	۰/۹۸۵۵	۰/۰۳۰۲	۰/۰۳۵۴۷	۰/۹۹۹۵	۰/۰۰۰۶۳	۰/۰۰۷۵	۰/۹۹۸۸	۰/۰۰۱۱	۰/۰۱۶۶۴

جدول ۴- مدل‌های استاندارد لایه نازک ارائه شده توسط محققین در سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه

مدل	دمای ۵۰			دمای ۶۰			دمای ۷۰		
	RMSE			RMSE			RMSE		
لوئیس	۰/۹۹۱۱	۰/۰۱۵۵۴	۰/۰۲۷۲	۰/۹۹۳۳	۰/۰۰۷۰	۰/۰۲۵۳	۰/۹۸۵۸	۰/۰۱۱۹۶	۰/۰۴۱۳۴
پیچ	۰/۹۹۸	۰/۰۳۴۱۹	۰/۰۱۳۰	۰/۹۹۸۴	۰/۰۰۱۷	۰/۰۱۳۱۹	۰/۹۹۸۷	۰/۰۰۱۱	۰/۰۱۳۴۲
هندرسون و پابیس	۰/۹۹۳۱	۰/۰۱۲۰۱	۰/۰۲۴۵	۰/۹۹۴۴	۰/۰۰۵۹	۰/۰۲۴۳۱	۰/۹۸۸۴	۰/۰۰۹۸	۰/۰۴۰۳۷
لگاریتمی	۰/۹۹۸۱	۰/۰۰۳۲	۰/۰۱۳۱۳	۰/۹۹۹۶	۰/۰۰۰۴۲	۰/۰۰۶۸۷	۰/۹۹۳۷	۰/۰۰۵۳	۰/۰۳۲۵۴
تقریب اصلاح شده فیک	۰/۹۸۰۲	۰/۰۳۴۴۶	۰/۰۴۲۵۹	۰/۹۹۰۵	۰/۰۱۰۰۵	۰/۰۳۳۴	۰/۸۷۷	۰/۰۳۳	۰/۱۴۳۷
تقریب دیفیوژن	۰/۹۹۱۶	۰/۰۱۴۷۲	۰/۰۲۷۸۴	۰/۹۹۷۵	۰/۰۰۲۶	۰/۰۱۷	۰/۹۸۷	۰/۰۱۰۸۸	۰/۰۴۶۶۴

- Engineering of Biosystems*. University of Kurdistan, Kurdistan. Iran. (In Persian).
- Guoneng, L., Youqu, Z., Hongkun, L.v., Jianguen, H., Jian, L., & Wenwen, G. (2020). Micro combined heat and power system based on stove-powered thermoelectric generator. *Renewable Energy*, 155: 160-171.
- Henderson, S. M., & Pabis, S. (1961). Grain drying theory: Temperature affection drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research - Science Direct*, 6: 169-170.
- Khouya, A. (2021). Modelling and analysis of a hybrid solar dryer for woody biomass. *Energy*. 216, 119-287.
- Khafajeh, H., Banakar, A., Ghobadian, B., & Motevali, A. (2013). Drying of Orange Slices in CHP Dryer. *Advances in Environmental Biology*, 7: 2326-2331.
- Leon Dharmadurai, P., Vasanthaseelan, S., Bharathwaaj, R., Dharmaraj, V., Gnanasekran, K., Balaji, D., & Ravishankar, S. (2020). A comparative study on solar dryer using external reflector for drying grapes. *Materials Today Proceedings Journal*. 197: 1-11.
- Mamba, P. H. E., Singh, A., & Osman, K. (2019). Heat exchanger design report design of a shell and tube heat exchanger, 1 shell - 1 tube pass with fixe tube heat and counter current flow Submitted in partial fulfilment of Academic Requirements for the course ENCH3ED in the curriculum for the degree of Bachelor of Science in *Chemical Engineering at the University of KwaZulu-Natal*.
- Martinez, S., Michaux, G. H., Salagnac, P., & Louis Bouvier, J. (2017). Micro-combined heat and power systems (micro-CHP) based on renewable energy sources. *Energy Conversion and Management*, 154: 262-285.
- Masnaji, R., Nukulwar, V., & Tungikar, B. (2020). A review on performance evaluation of solar dryer and its material for drying agricultural products. *Materials Today: Proceedings*, 20: 1-5.
- Mohammadi Maghanki, M., Ghobadian, B., & Najafi, G. H. (2013). Design, Development and Evaluation of Heat Exchanger of Micro Scale Combined Heat and Power System (MCHP). Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Science (M.Sc.) in Mechanics of Agricultural Machinery. *Department of Mechanics of Agricultural Machinery Faculty of Agriculture*. Tarbiat Modares University. Tehran.Iran. (In Persian).
- نتیجه‌گیری**
- این تحقیق با ترکیب خشک‌کن خورشیدی و سیستم بازیافت حرارتی (MCHP) جهت خشک کردن محصول زرشک انجام شد. نتایج حاصل از ارزیابی این سامانه نشان داد که:
- ۱- با افزایش درجه گاز (۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪)، دمای گاز آگزوز قبل از ورود به مبدل حرارتی افزایش می‌یافت.
  - ۲- دمای گاز خروجی از آگزوز پس از عبور از مبدل حرارتی به طور تقریبی ۱۰۰ تا ۲۰۰ درجه سلسیوس کاهش دما داشت.
  - ۳- مبدل دوم در گردآورنده طراحی و ساخته شد. دمای آب خروجی از مبدل گردآورنده در حالت‌های مختلف درجه گاز (۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪) به ترتیب (۳۷/۵، ۴۳/۳، ۴۹ و ۵۵ درجه سلسیوس) به دست آمد.
  - ۴- زمان خشک شدن محصول زرشک برای دمای (۷۰ درجه سلسیوس و سرعت ۱/۵ متر بر ثانیه) نسبت به دما و سرعت‌های دیگر در این تحقیق کمتر می‌باشد.
- منابع**
- Atefi, M., Ghavami, A., Hadi, A., & Askari, G.h. (2021). The effect of barberry (*Berberis vulgaris* L.) supplementation on blood pressure: A systematic review and meta-analysis of the randomized controlled trials. *Complementary Therapies in Medicine*, 56: 1-7.
- Bisen, B., & Mahate, V. (2017). Thermal Design Procedure for Shell and Tube Heat Exchanger. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 6: 5112-5116.
- Diamante, L. M., & Munro, P. A. (1991). Mathematical modelling of hot air drying of sweet potato slices. *International Journal of Food Science and Technology*, 26: 99-109.
- Faal, S., Tavakoli, T., & Ghobadian, B. (2014). Mathematical modelling of thin layer hot air drying of apricot with combined heat and power dryer. *Journal of Food Science and Technology*, 52: 1-8.
- Fiyzi, S. H., Darvishi, H., & Behroozi Khazaei, N. (2018). Optimiziton of the heat exchanger of CHP dryer using computational fluid dynamic method. Submitted to the Postgraduate Studies Office in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of M.Sc. in *Mechanical*

- Nasruddin, A., & Wahyu, H. P. (2016). Experimental Design of Compact Heat Exchanger for Waste Heat Recovery of Diesel Engine Exhaust Gases for Grain Dryers. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 5: 333-338.
- Lewis, W.K., (1921). The rate of drying of solid materials. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, 13: 427-432.
- Pandiyarajan, V., Pandian, M., Malan, E., Velraj, R., & Seeniraj, R. V. (2011). Experimental investigations on heat recovery from diesel engine exhaust using finned shell and tube heat exchanger and thermal storage system. *Applied Energy*, 88: 77-87.
- Page, G. E. (1949). *Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers*. MSc Thesis, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- Thayla, B., Roratto Ricardo, L., Monteiro Bruno, A.M.C., & arciofi Joao, B.L. (2021). An innovative hybrid-solar-vacuum dryer to produce high-quality dried fruits and vegetables. *LWT Food Science and Technology*, 140: 110-777.
- Togrul, I. T., & Pehlivan, D. (2004). Modelling of thin-layer drying kinetics of some fruits under open-air sun drying process. *Journal Food Engineering*, 65: 413-425.
- Yaldiz, O., Ertekin, C., & Uzun, H.I. (2001). Mathematical modeling of thin layer solar drying of sultana grapes. *Energy*, 26: 457-465.

## ارزیابی سامانه تعیین موقعیت خودرهیاب غیرماهواره‌ای و مقایسه با گیرنده GNSS به منظور مسیریابی بهینه تراکتور

محمد صدفی<sup>۱</sup>، سعید مینایی<sup>۲\*</sup>، حسین باخدا<sup>۳</sup> و جعفر امیری پریان<sup>۴</sup>

چکیده

کشاورزی موضعی زیر مجموعه‌ای از کشاورزی دقیق است و با هدف افزایش بهره‌وری بر پایه سنجش تغییرات مکانی، ویژگی‌های خاک و گیاه و مصرف نهاده‌ها به صورت متغیر در پهنه زمان و مکان بنا شده است. موقعیت‌یابی صحیح ماشین کشاورزی در مکان مربوطه هدفی مهم است تا با توجه به آن، عملیات کشاورزی مورد نظر انجام پذیرد. در این پژوهش دستگاه موقعیت‌یاب زمینی دارای حسگرهای سنجش زاویه فرمان و تعداد دوران چرخ متحرک تراکتور ساخته شد. این سامانه با موقعیت‌یابی محلی و بدون نیاز به هرگونه خدمات‌دهنده خارجی، مورد آزمایش مزرعه‌ای قرار گرفت و داده‌ها با مقادیر خروجی گیرنده سامانه موقعیت‌یاب ماهواره‌ای (GNSS) مقایسه شدند. آزمایش‌ها در زمین‌های شخم خورده، شخم نخورده، آسفالت و در شرایط آب و هوایی آفتابی و ابری انجام گرفت. طرح آماری بر پایه بلوک‌های کاملاً تصادفی در قالب آزمون فاکتوریل به صورت  $3 \times 2 \times 2$  با چهار تکرار انجام شد. طبق نتایج به‌دست آمده، داده‌های محورهای X و Y گیرنده GNSS و دستگاه یخودرهیاب به ترتیب در سطح ۱٪ و ۵٪ تفاوت معناداری را نشان دادند. تغییر در عوامل محیطی شامل وضعیت زمین و شرایط هوایی آفتابی یا ابری در هر دو محور X و Y تأثیر معناداری بر تعیین موقعیت توسط گیرنده GNSS و یخودرهیاب نشان نداد. میزان دقت در سامانه یخودرهیاب در محور X برابر با ۲۵ cm و برای گیرنده GNSS، ۲۵۰ cm و همچنین در محور Y برابر با ۵۰ cm و برای گیرنده GNSS، ۱۴۰ cm است. در نتیجه دستگاه خودرهیاب در هر دو محور X و Y دقیق‌تر است. مقدار انحراف از نقطه واقعی توسط گیرنده GNSS و دستگاه خودرهیاب در سطح ۱٪ دارای تفاوت معنادار بود و میزان خطای تعیین فاصله در سامانه خودرهیاب ۶۰ cm و در گیرنده GNSS برابر با ۴۰۰ cm به‌دست آمد. به‌طور کلی عملکرد سامانه خودرهیاب در یافتن مسیر بهینه حرکت تراکتور دقیق‌تر از گیرنده GNSS معمولی (فاقد تصحیح افتراقی) بود.

**واژه‌های کلیدی:** سامانه خودرهیاب، GNSS، مسیریابی محلی، کشاورزی دقیق.

ارجاع: صدفی، م. مینایی، س. باخدا، ح. و امیری پریان، ج. ۱۴۰۱. ارزیابی سامانه تعیین موقعیت خودرهیاب غیرماهواره‌ای و مقایسه با گیرنده GNSS به منظور مسیریابی بهینه تراکتور. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۵: ۵۵-۶۴. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10170.565>

۱- دانشجوی دکتری، گروه مکانیزاسیون، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

۲- استاد گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

۳- استادیار گروه مکانیزاسیون، دانشگاه آزاد واحد علوم تحقیقات، تهران، ایران

۴- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

\* نویسنده مسئول: [minaee@modares.ac.ir](mailto:minaee@modares.ac.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۶

## مقدمه

نهادها از بین می‌رود و ممکن است محصولات آسیب ببینند.

برای مکان‌یابی می‌توان سامانه‌های غیرماهواره‌ای نیز بکار گرفت. روش‌های عمده مکان‌یابی غیرماهواره‌ای شامل مکان‌یابی شبکه‌ای، مکان‌یابی اینرسیایی<sup>۵</sup> و مثلث‌سازی<sup>۶</sup> است (Heege, 2015). سامانه اینرسیایی شامل یک حسگر شتاب‌سنج است که روی وسیله‌ای در حال حرکت نصب شده و با توجه به جهت‌هایی که این وسیله حرکت کرده است، هم سرعت و هم جهت حرکت وسیله را مشخص می‌کند. روش‌های مختلف برای اندازه‌گیری در حالت اینرسیایی وجود دارد که شامل روش Gimbaled و روش Strap down است (Özkan & Uçar, 2012).

یک شبکه حسگر از تعداد زیادی گره حسگر تشکیل شده است که این گره‌ها در محیط پراکنده شده‌اند و قابلیت تحریک و حس کردن شرایط محیطی را دارند. هدف از پخش این گره‌ها در محیط جمع‌آوری اطلاعات در مورد وضعیت محیط از جهات مختلف است (Koch, 2020). مثلث‌سازی روشی برای محاسبه موقعیت است که بر فاصله شناخته شده بین دو دستگاه اندازه‌گیری و زوایای اندازه‌گیری شده از آن دو نقطه تا یک جسم متکی است. این روش بر پایه قضیه تطابق مثلث زاویه-ضلع-زاویه، برای یافتن مکان یک جسم بنا شده است (Pierlot & Van Droogenbroeck, 2014).

اطلاعاتی نظیر میزان رطوبت، ویژگی‌های مختلف شیمیایی و فیزیکی خاک و حتی میزان روشنایی در مناطق مختلف زمین می‌تواند کمک قابل توجهی به کشاورزان برای تولید محصول بهتر کند. در کاربردهای کشاورزی با توجه به این که محیط مورد بررسی وسیع است باید گره‌های حسگر برد رادیویی بالایی داشته باشند که خود این مسئله مستلزم بهره‌گیری از حسگرهای گران قیمت است که یکینقص مهم در بکارگیری این فناوری در حوزه کشاورزی به شمار می‌رود (Mazloumzadeh et al., 2010). روش‌های مکان‌یابی با بکارگیری شبکه‌های حسگر شامل موارد زیر هستند: روش راهنمای متحرک<sup>۷</sup> (Hu and Evans, 2004)، روش مرکزگرا<sup>۸</sup> (Mazloumzadeh et al., 2010)، روش کشف مکان دقیق<sup>۹</sup> (Heege, 2015)، روش برنامه‌ریزی

بکارگیری ابزار دقیق و تجهیزات اتوماسیون و افزایش دقت در اندازه‌گیری، موجب افزایش کارایی سامانه‌ها و عملیات می‌شود. در حوزه کشاورزی دقیق بهره‌گیری از تجهیزات خاص از طریق اعمال بجا و به موقع نهاده‌ها، سبب افزایش بهره‌وری و همچنین افزایش کمی و کیفی محصولات می‌شود (Candiago et al., 2015). کشاورزی موضعی<sup>۱</sup> بر پایه سنجش تغییرات مکانی، ویژگی‌های خاک و گیاه و مصرف متغیر نهاده‌ها در نقاط مختلف بنا شده است (Song et al., 2020). بنابراین ابتدایی‌ترین نیاز برای رسیدن به این بهدف، موقعیت‌یابی ماشین مربوطه در مزرعه، باغ و یا مرتع است تا با توجه به آن عملیات مورد نظر انجام پذیرد. سامانه‌ی مکان‌یابی جهانی<sup>۲</sup> (GNSS) یکی از روش‌هایی است که برای تعیین موقعیت به کار می‌رود. این سامانه متشکل از حداقل ۲۴ ماهواره است که با استفاده از مکان‌یابی ماهواره‌ای اطلاعاتی را به دست می‌دهد. خدمات این مجموعه در هر شرایط آب و هوایی و در هر نقطه از کره زمین در تمام شبانه‌روز در دسترس بوده و استفاده از آن رایگان و تنها نیاز به فراهم کردن یک گیرنده است (Bartholomew et al., 2020).

در بسیاری از مناطق جهان، استفاده از گیرنده‌های GPS به منظور مکان‌یابی دارای خطای زیادی است که برای بالا بردن دقت و کاهش خطای مکان‌یابی به کمک این روش می‌توان از تغییر دادن سیگنال‌ها از حالت تکی به حالت سیگنال دوتایی (El-Naggar, 2011) و یا از روش‌های یموقیت‌یابی تفاضلی (DGPS<sup>۳</sup>) یا پروش تعیین موقعیت آبی (RTK<sup>۴</sup>) استفاده کرد (Heege, 2015). روش RTK بسیار گران است و سیگنال‌های مورد نیاز برای تصحیح DGPS در همه کشورها وجود ندارد. از این رو، باید به دنبال راهکارهای دیگری برای موقعیت‌یابی بود. خطا در مکان‌یابی ماهواره‌ای بدون تصحیح‌گر، در برخی موارد ممکن است به ۱۰ متر نیز برسد که برای کشاورزی دقیق مناسب نیست (Yong-Won, 2012). به عنوان مثال اگر یک کرت با عرض ۱۰ متر به اشتباه در مسیر یک سمپاش قرار بگیرد و به طول ۵۰۰ متر این خطا ادامه داشته باشد، علاوه بر آسیب به محیط زیست حجم بسیار زیادی از

5- Inertia

6- Triangulation

7- Mobile Beacon

8- Centroid

9 Accurate Location Discovery

1- Site-specific Agriculture

2- Global Navigation Satellite System

3- Differential Global Positioning System

4- Real-Time Kinematic

به دلیل عدم دسترسی سراسری به سیگنال‌های اصلاحی در کشور، مد نظر یقرار نگرفت. برای حل مسئله فوق، نقشه از پیش تعیین شده مسیر حرکت تراکتور به صورت الکترونیکی برای سیستم تعریف و در حافظه پردازنده مرکزی ذخیره و سپس حرکت در این مسیر انجام شد. نتیجه حرکت بر اساس نقشه پیش فرض، عدم نیاز به مختصات کنترل کننده خارج از سامانه بود زیرا از پیش مختصات در آن تعریف و تنها مسیر تعریف شده دنبال شد.

### ساختار سامانه خودرهیاب

اجزای سامانه خودرهیاب پژوهش حاضر در شکل ۱ نشان داده شده است. دو حسگر چرخش سنج<sup>۴</sup> برای محاسبه تعداد دوران چرخ جلو و اندازه زاویه فرمان به منظور محاسبه مقدار جابجایی طولی (Y) و عرضی (X) وسیله نقلیه به کار گرفته شد (شکل ۲). برای تعیین مسافت پیموده شده از سنجش دوران یک چرخ متحرک یبیا چرخش سنج (AUTONICS ENC-1-2-T-24 کره جنوبی) اندازه‌گیری شد. ریزینی<sup>۵</sup> این چرخش سنج، ۲۵ پالس بر دور یو مسافت طولی طی شده چرخ، به ازای هر پالس تولیدی آن، یک سانتی‌متر است. همچنین برای محاسبه زاویه چرخش فرمان از یک زاویه سنج دقیق (E40HB12-1024-6-1-5، کره جنوبی) بهره‌برداری شد. ریزینی این چرخش سنج، ۱۰۲۴ پالس بر دور است.

برای تسریع در فرایند پردازش، روش پردازش موازی به کار گرفته شد. به این معنی که پردازنده اول به شمارش تعداد دوران چرخش سنج چرخ می‌پردازد و هم زمان، پردازنده دوم با توجه به چرخش فرمان، زاویه انحراف را محاسبه می‌کند. تعیین جهت چرخش فرمان بر اساس مدارهای منطقی انجام شد. سپس تمامی اطلاعات روی کارت حافظه خارجی ذخیره شده و در مرحله تحلیل مورد استفاده قرار گرفت.

### نصب چرخش سنج‌ها بر روی تراکتور

برای نصب چرخش سنج‌ها روی تراکتور چندین قسمت مورد امتحان قرار گرفت تا در نهایت بهترین نقطه تعیین شد (شکل ۳). به دلیل تک دیفرانسیل بودن تراکتور MF285، با توجه به متحرک بودن چرخ‌های جلو (در مقابل

نیمه قطعی<sup>۱</sup> (Biswas, 2004)، روش تقسیم‌بندی چندوجهی<sup>۲</sup> (Ma et al., 2004)، روش راهنمای گردان<sup>۳</sup> (Nasipuri and Li, 2002)، روش‌های Ad-Hoc positioning، Robust positioning و N-hop (Mohapatra, 2005) و Diffusion (Langendoen & Reijers, 2003). معایب این روش‌ها به طور کلی عبارتند از: مصرف زیاد انرژی، سرعت پایین پردازشی، محاسبات زیاد و وابستگی به استفاده از سامانه موقعیت‌یاب ماهواره‌ای.

با توجه به معایب ذکر شده در مورد سامانه شبکه حسگر و گران قیمت بودن سامانه اینرسیایی، نیاز به یک سامانه عملی‌تر احساس می‌شود. در این تحقیق با بکارگیری روشی بدیل، موقعیت‌یابی ادوات در مزرعه بدون استفاده از سامانه GNSS انجام شد. مقادیر حاصل از این روش با مقدار شاهد حاصل از اندازه‌گیری واقعی به کمک اندازه‌گیری با متر دستی مقایسه شد تا دقت این سامانه با گیرنده GNSS مقایسه شود و بتوان به روشی مطمئن برای یافتن مسیر بهینه حرکت تراکتور دست یافت.

### مواد و روش‌ها

هدف این پژوهش، یافتن مسیر بهینه برای حرکت تراکتور بر اساس موقعیت‌یابی محلی به کمک سامانه خودرهیاب نصب شده روی تراکتور بود. با توجه به حرکت دو بعدی وسایل نقلیه، می‌بایست دو حرکت طولی و عرضی به منظور تعیین مقدار جابجایی کل، نسبت به مبدأ فرضی در نظر گرفته شود. برای رسیدن به این هدف از دو حسگر تشخیص جابجایی استفاده شده که هر یک به صورت مجزا به منظور اندازه‌گیری تغییرات طولی و عرضی حرکت تراکتور به کار گرفته شدند.

یکی از بی‌بی‌بی‌چیدگی‌هایی این پژوهش آن بود که مقدار جابجایی هر لحظه نسبت به موقعیت قرارگیری خود تراکتور و نه نسبت به مبدأ مختصات ثابت بیرونی محاسبه شده است. یعنی دستگاه به راحتی قادر به تشخیص سمت حرکت نیست و فقط موقعیت و جهت حرکت را نسبت به خود وسیله متحرک محاسبه می‌کند. در این راستا بکارگیری سامانه‌های ماهواره‌ای می‌تواند یک راه حل برای رفع مشکل مذکور باشد که در پژوهش حاضر این راهکار

1- Semi Definite Programming  
2- Multi-Dimensional Scaling  
3- Circling Beacon Localization

4- Rotary Encoder  
5- Resolution

ابتدا سعی شد تا از مقدار جابجایی میل فرمان، مقدار چرخش مشخص شود؛ اما میل فرمان دارای خلاصی بوده و در سیستم ایجاد خطا می‌کرد. نهایتاً این حسگر روی محور شغال دست نصب شد که در این حالت حسگر هیچگونه خلاصی نداشته و دقیقاً مقدار چرخش، برابر با زاویه فرمان‌گیری بود.

با توجه به آزمایشی بودن نحوه قرارگیری حسگرها و انجام آزمون‌های کوتاه مدت در سامانه حاضر، به منظور تداوم استفاده در زمین‌های کشاورزی که دارای خاک چسبیده هستند و امکان قرارگرفتن لایه‌ای از خاک روی چرخ وجود دارد، می‌بایست از ابزاری شبیه به کاردک به منظور حذف لایه خاک (یا گل) روی چرخ انجام شود تا در قطر بخش چرخشی حسگر تأثیری نداشته باشد.

### واسنجی حسگرها

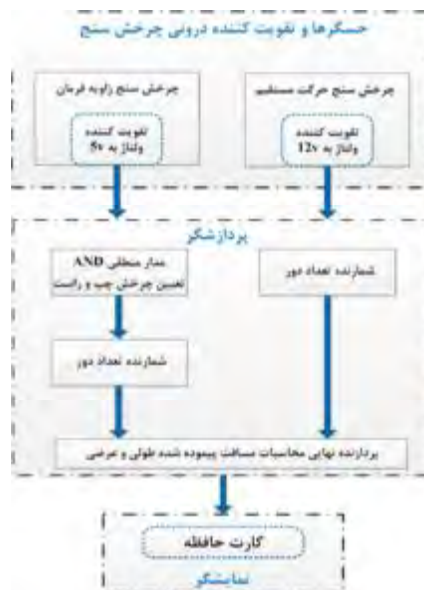
حسگر محاسبه کننده مسیر طولی، از بالای چرخ جلو به آن متصل و در نتیجه سرعت خطی در نقطه تماس برای هر دو جسم در حال دوران با هم برابر است. بنابراین مقدار جابجایی آن برابر با محیط چرخ جلو و محیط پیموده شده‌ی چرخ جلو برابر با جابجایی تراکتور است. در نتیجه به ازای هر پالس دریافتی از این حسگر، پیمایش یک سانتی‌متری محیط چرخ جلوی تراکتور ثبت می‌شود. حسگر محاسبه کننده زاویه فرمان، در یک دور چرخش ۱۰۲۴ عدد پالس خروجی داشت؛ بنابراین در هر درجه گردش ۲/۸۴ پالس خروجی تولید می‌کرد.

لازم به ذکر است که نوع پالس خروجی حسگرهای به کار رفته مربعی است و مقدار اعشاری به صورت همپوشانی روی پالس بعدی قرار می‌گیرد. در نتیجه با در نظر گرفتن مقدار تقریبی ۳ پالس برای یک درجه، این حسگر یتنظیم شد. باید در نظر داشت که مقدار بیشینه زاویه فرمان در این تراکتور ۱۳ درجه است در نتیجه بیشینه تعداد پالس-ها ۳۹ عدد (۳×۱۳=۳۹) خواهد بود. مقدار افزایش پالس خروجی نسبت به مقدار واقعی در حسگر برابر با ۰/۱۶ بود (۳-۲/۸۴=۰/۱۶). مقدار خطا در هر درجه ۰/۰۵۶ درجه بود (معادله (۱)).

$$\frac{1024}{0.16} = \frac{360}{x} \rightarrow x = 0.0056 \quad (1)$$

که در بیشینه فرمان‌گیری، این مقدار به حدود ۰/۰۷۳ درجه در ۱۳ درجه چرخش می‌رسید که جزء خطای سیستمی است.

محرک بودن چرخ‌های عقب تراکتور، از این چرخ‌ها برای نصب چرخش سنج استفاده شد. با توجه به ارتعاش بالای این چرخ‌ها در حین حرکت و نیز نیاز بخش چرخشی حسگر به تماس مناسب با لاستیک تراکتور، مکان‌های مختلف چرخ مورد بررسی قرار گرفت که در نهایت، نصب آن در بالای چرخ تراکتور به کمک نصب یک اتصال ارتجاعی لاستیکی به دور بخش چرخشی حسگر، برای تماس کامل با آن انجام گرفت.



شکل ۱- اجزای سامانه خودرهیاب



شکل ۲- چرخش سنج‌ها (rotary encoders) و گیرنده GPS

به منظور نصب حسگر چرخش سنج فرمان، تمهیداتی مورد نیاز بود، زیرا یافتن محل مناسب برای به دست آوردن مقدار واقعی چرخش فرمان، کار بسیار حساسی است. در





شکل ۳- نحوه نصب چرخش‌سنج‌ها روی تراکتور MF285

حرکت بهینه مشخص می‌شد. سرعت حرکت تراکتور به صورت تقریبی برابر با ۵ کیلومتر بر ساعت در نظر گرفته شد.

#### تحلیل داده‌های گیرنده GNSS

با استفاده از نرم‌افزار UTM Conversion نسخه ۱/۰، اطلاعات دریافت شده در نقاط مشخص شده، بر حسب متر در دستگاه UTM تبدیل و با سایر داده‌ها مقایسه شد. همچنین به کمک این نرم‌افزار مسیر حرکت تراکتور، بر اساس نقاط فوق رسم و در قالب یک فایل DXF ذخیره شدند. نقشه مسیرهای حرکتی مختلف مورد آزمایش در شکل‌های ۴ تا ۶ ارائه شده است.

#### آزمایش‌ها و طرح آماری

عوامل تأثیرگذار در نتایج به دست آمده شامل نوع دستگاه (A)، شرایط جوی (B) و نوع زمین (C) است. هر یک از عوامل یاد شده در سطوح متفاوتی تأثیرگذار هستند. نوع دستگاه شامل سه سطح گیرنده GNSS، یخودرهباب (SP) و محاسبه دستی است. شرایط جوی در دو سطح آفتابی و ابری و نوع زمین در سه سطح آسفالت، شخم خورده و شخم نخورده در نظر گرفته شد.

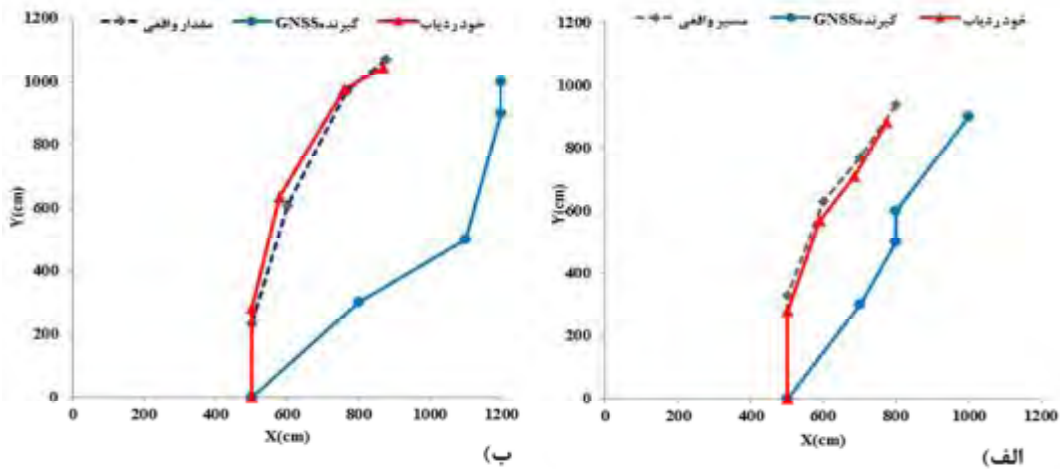
#### روش اندازه‌گیری و انجام آزمایش

تمامی داده‌های دو حسگر چرخش‌سنج به طور هم‌زمان به پردازنده مرکزی ارسال می‌شد. در این پردازش‌گر، داده‌های مربوط به هر حسگر با توجه به شناسه دیجیتال اختصاصی، تشخیص داده می‌شد و سپس به یک مدار منطقی می‌رفت که آنجا ابتدا جهت چرخش به چپ یا راست تراکتور مشخص می‌شد، سپس بر اساس ضرایب تبدیل و کالیبراسیون، مقادیر حرکت به سمت جلو (Y) و تمایل به سمت چپ یا راست (X) در کارت حافظه به صورت یک فایل json ذخیره می‌شدند.

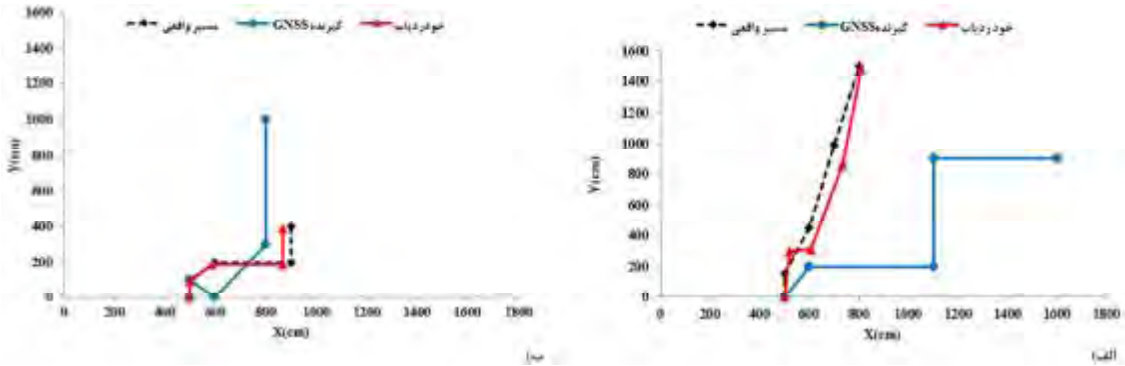
به منظور انجام آزمون، ابتدا مسیرهای حرکت مختلفی به صورت مشخص روی زمین‌های مورد آزمایش در سه حالت آسفالت، شخم خورده و شخم نخورده، همچنین در دو حالت جوی ابری و آفتابی (به منظور بررسی اثرات متغیر آنها بر سامانه تعیین موقعیت ماهواره‌ای) تعیین شدند. در این مسیرها چهار نقطه به صورت تصادفی انتخاب شد و مختصات هر یک از نقاط توسط دستگاه گیرنده GNSS و نیز به صورت دستی با متر اندازه‌گیری شد. در همان زمان اطلاعات نقاط مورد نظر در دستگاه یخودرهباب متناظر با هر نقطه ذخیره شد. سپس اختلاف مسیرهای حرکتی محاسبه شده و میزان اختلاف از مسیر برای بیان مسیر

آماری در دو مرحله برای هر مؤلفه انجام شده است. بر این اساس، از طرح آزمون فاکتوریل بر پایه بلوک‌های کامل تصادفی استفاده شد. تجزیه واریانس و آزمون مقایسه میانگین در سطح احتمال ۱٪ با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۶ انجام شد.

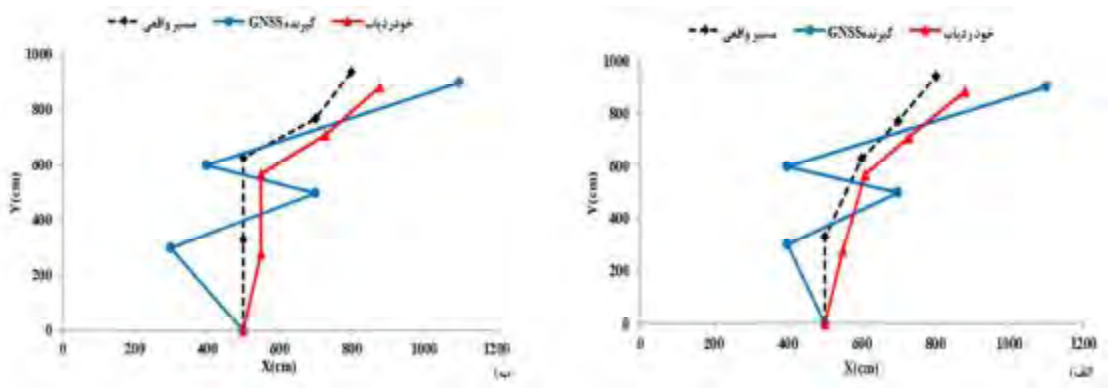
داده برداری‌های هر آزمایش در شرایط مشابه، با چهار تکرار انجام شد. برای ساده سازی روند آزمایش، اختلاف داده‌های آزمایشی از مقدار واقعی در نظر گرفته شد. در نتیجه داده‌های محاسبه دستی حذف شده و عامل A فقط در دو سطح مورد تحلیل قرار گرفت. همچنین چون مختصات دارای دو مؤلفه X و Y است، تمامی طرح‌های



شکل ۴- مسیر حرکت روی آسفالت: (الف) در هوای آفتابی و (ب) در هوای ابری



شکل ۵- مسیر حرکت روی خاک شخم نخورده: (الف) در هوای آفتابی و (ب) در هوای ابری



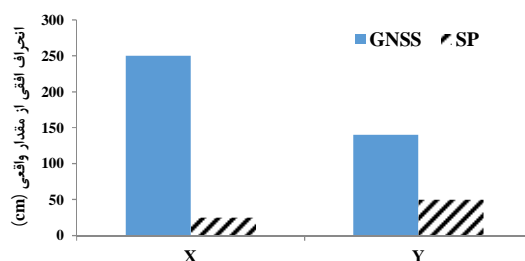
شکل ۶- مسیر حرکت روی خاک شخم خورده: (الف) در هوای آفتابی و (ب) در هوای ابری

## نتایج و بحث

## تحلیل داده‌های محورهای X و Y

با توجه به داده‌های آزمون‌ها در حالت‌های مختلف و انحراف مسیرها از مقادیر واقعی، ابتدا انحراف محور X (حرکت در عرض تراکتور) تحلیل شد. جدول ۱ نتایج مربوط به تجزیه واریانس برای داده‌های محور X را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، اختلاف در عامل A (نوع دستگاه مکان‌یاب) در سطح احتمال ۱٪ معنادار است و در سایر عوامل اختلاف معناداری وجود ندارد. نوع زمین و شرایط جوی در این آزمایش اختلافی در میانگین داده‌ها ایجاد نکرده است. دلیل پتانسیل معنی‌دار نوع دستگاه بر دقت موقعیت‌یابی را می‌توان به این صورت بیان نمود که داده‌های GNSS به دلیل عدم دقت کافی ناشی از عدم

وجود سامانه‌های تصحیح افتراقی خطا ( differential correction) در اغلب مناطق، دچار خطای زیاد و غیر قابل قبول هستند. همان‌گونه که پیشتر اشاره شد، این دقت برای فعالیت‌های کشاورزی دقیق مناسب نیست. اما ریزبینی کافی حسگرهای مورد استفاده در سامانه خودرهیاب میزان حرکت تراکتور را با ریزبینی بسیار مناسبی (در حد یک سانتی‌متر و خطای زاویه ای ۰/۰۵۶ درجه) پایش می‌کند. مقایسه میانگین انحرافات دستگاه‌های مورد استفاده، در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که مقدار میانگین خطا در حرکت عرضی (X) برای دستگاه خودرهیاب ۲۵cm و برای دستگاه GNSS، ۲۵۰cm است.



شکل ۷- انحراف داده‌های X و Y از مقدار واقعی (گیرنده ماهواره‌ای در برابر سامانه این پژوهش)

جدول ۱- نتایج تجزیه واریانس انحراف X

Sig.	F	مجموع میانگین	درجه آزادی	مجموع مربعات	منابع
.۰۰۰	۱۰/۱۸۸	۱۰۱۶۳۱/۱۵۲	۱۱	۱۱۱۷۹۴۲/۶۶۷	Corrected Model
.۰۰۰	۹۸/۶۲۲	۹۸۳۸۴۱/۳۳۳	۱	۹۸۳۸۴۱/۳۳۳	Intercept
.۰۰۰	۶۷/۲۸۱	۶۷۱۱۸۷/۰۰۰	۱	۶۷۱۱۸۷/۰۰۰	A
.۰۶۶۳	۰/۱۹۳	۱۹۲۵/۳۳۳	۱	۱۹۲۵/۳۳۳	B
.۰۹۰۶	۰/۰۹۹	۹۹۱/۵۸۳	۲	۱۹۸۳/۱۶۷	C
.۰۶۱۸	۰/۲۵۳	۲۵۲۳/۰۰۰	۱	۲۵۲۳/۰۰۰	A * B
.۰۶۰۲	۰/۵۱۴	۵۱۳۰/۷۵۰	۲	۱۰۲۶۱/۵۰۰	A * C
.۰۰۰	۱۰/۷۳۳	۱۰۷۰۶۶/۵۸۳	۲	۲۱۴۱۳۳/۱۶۷	B * C
.۰۰۰	۱۰/۸۲۳	۱۰۷۹۶۴/۷۵۰	۲	۲۱۵۹۲۹/۵۰۰	A * B * C
		۹۹۷۵/۸۳۳	۳۶	۳۵۹۱۳۰/۰۰۰	خطا
			۴۸	۲۴۶۰۹۱۴/۰۰۰	کل
			۴۷	۱۴۷۷۰۷۲/۶۶۷	Corrected Total

a. R Squared = .757 (Adjusted R Squared = .683)

انجام شده و مقایسه اختلاف دستگاه‌ها در شکل ۷ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۲، برای پارامتر حرکت در مسیر Y نیز اختلاف در عامل A در سطح احتمال ۵٪ معنادار است و در سایر عوامل اختلاف قابل توجهی وجود

با توجه ماهیت و اهمیت پایش حرکتی تراکتور در دو بعد متفاوت برای ارزیابی اثر حسگرهای مربوط به تعیین مسافت طولی و تغییرات یزویه‌ای توسط سامانه خودرهیاب، تحلیل آماری در مورد انحرافات محور Y نیز

اصلی این حرکت پیچیده‌تر از مسیر مستقیم طولی است. شاید بتوان گفت که در مسیرهای مستقیم حرکت، داده‌های ماهواره‌ای نیز می‌توانند تا حدی صحیح‌تر از زمانی باشند که در مسیر جانبی، حرکت وجود دارد. مقدار P در جدول تجزیه واریانس انحراف X صفر است اما در جدول تجزیه واریانس انحراف Y برابر با ۰/۱۸ است. در نتیجه این امکان وجود دارد که انحراف در محور X تأثیرگذارتر از محور Y باشد. همچنین با توجه به اطلاعات جدول ۳ اختلاف معناداری بین انحراف X و Y از مقدار واقعی مختصات وجود ندارد.

ندارد. با توجه به شکل ۷ می‌توان گفت که مقدار میانگین خطا در محور Y برای دستگاه خودرهیاب ۵۰ cm و برای دستگاه GNSS، ۱۴۰ cm است. علت اختلاف معنادار بین دو دستگاه را می‌توان به تفاوت و خطای ناشی از نحوه تعیین مختصات، همان‌طور که در پارامتر X بحث شد، مرتبط دانست. اما باید توجه داشت که اختلاف در حرکت جانبی (X) در سطح ۱ درصد و در حرکت طولی در سطح ۵ درصد (Y) معنادار شده است. با توجه به تحلیل آماری، کاملاً مشخص است که وجود اختلاف یجدی‌تر در حرکت جانبی، ناشی از تلفیق داده‌های دو حسگر بوده که ماهیت

جدول ۲- نتایج تجزیه واریانس انحراف Y

Sig.	F	مجموع میانگین	درجه آزادی	مجموع مربعات	منابع
۰/۲۰۶	۱/۴۲۰	۲۱۳۹۱/۰۶۶	۱۱	۲۳۵۳۰۱/۷۲۹ <sup>a</sup>	Corrected Model
۰/۰۰۰	۲۹/۸۹۱	۴۵۰۲۷۵/۰۲۱	۱	۴۵۰۲۷۵/۰۲۱	Intercept
۰/۰۱۸	۶/۱۸۷	۹۳۱۹۲/۱۸۷	۱	۹۳۱۹۲/۱۸۷	A
۰/۴۸۳	۰/۵۰۳	۷۵۷۵/۱۸۸	۱	۷۵۷۵/۱۸۸	B
۰/۱۲۰	۲/۲۴۹	۳۳۸۷۲/۲۷۱	۲	۶۷۷۴۴/۵۴۲	C
۰/۶۰۲	۰/۲۷۶	۴۱۶۲/۶۸۷	۱	۴۱۶۲/۶۸۷	A * B
۰/۲۲۵	۱/۵۵۴	۲۳۴۰۲/۴۳۷	۲	۴۶۸۰۴/۸۷۵	A * C
۰/۶۶۳	۰/۴۱۶	۶۲۷۲/۳۱۳	۲	۱۲۵۴۴/۶۲۵	B * C
۰/۸۹۷	۰/۱۰۹	۱۶۳۸/۸۱۳	۲	۳۲۷۷/۶۲۵	A * B * C
		۱۵۰۶۳/۷۸۵	۳۶	۵۴۲۲۹۶/۲۵۰	خطا
			۴۸	۱۲۲۷۸۷۳/۰۰۰	کل
			۴۷	۷۷۷۵۹۷/۹۷۹	Corrected Total

a. R Squared = .303 (Adjusted R Squared = .090)

جدول ۳- نتایج تجزیه واریانس اختلاف بین انحرافات محور های X و Y

Sig.	F	مجموع میانگین	درجه آزادی	مجموع مربعات	
۰/۹۳۳	۰/۰۰۷	۲۴۳/۸۴۴	۱	۲۴۳/۸۴۴	بین گروهی
		۳۴۵۰۲/۹۳۲	۹۴	۳۲۴۳۲۷۵/۶۴۶	درون گروهی
			۹۵	۳۲۴۳۵۱۹/۴۹۰	کل

### مقایسه فاصله از مقدار واقعی مختصات

پرداخته شد تا مقدار انحراف مجموع، از مختصات واقعی به‌دست آید. با توجه به جدول ۴ اختلاف در عامل A معنادار بوده و در سایر عوامل اختلاف قابل توجهی مشاهده نشد. بنابراین اثر نوع دستگاه موقعیت‌یاب بر مقدار میانگین خطای فاصله برای دستگاه خودرهیاب ۶۰ cm و برای دستگاه GNSS، ۴۰۰ cm است. مقدار خطای گیرنده GNSS نزدیک به مقدار خطای یاد شده در دفترچه راهنمای دستگاه گیرنده (۳/۶ متر) است.

در این بخش ابتدا مقادیر X و Y حاصل از رابطه فیثاغورس با یکدیگر جمع شد تا مقدار فاصله از نقطه واقعی حاصل و سپس به مقایسه داده‌ها نسبت به یکدیگر انحراف فاصله در سطح احتمال ۱٪ معنادار بوده، اما نوع زمین و شرایط جوّی در این آزمایش اختلافی در میانگین داده‌ها ایجاد نکردند. مقایسه اختلاف دستگاه‌ها در شکل ۸ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۸ می‌توان گفت که

است و بر این اساس حرکت بهینه تراکتور در هر مسیر تعیین شده به کمک این سامانه قابل انجام است.

نتایج نشان داد که مسیر طی شده به کمک سامانه خودرهیاب، دارای کمترین میزان انحراف از مسیر واقعی نسبت به حالتی است که از گیرنده ماهواره‌ای استفاده شده

جدول ۴- تجزیه واریانس انحراف فاصله

Sig.	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات	منابع
.۰۰۱	۴/۱۸۴	۱۶۷۸۴۹/۷۹۴	۱۱	۱۸۴۶۳۴۷/۷۲۹	Corrected Model
.۰۰۰	۶۸/۹۳۷	۲۷۶۵۲۸۰/۰۲۱	۱	۲۷۶۵۲۸۰/۰۲۱	Intercept
.۰۰۰	۳۱/۵۲۵	۱۲۶۴۵۷۶/۶۸۸	۱	۱۲۶۴۵۷۶/۶۸۸	A
.۰۵۱۷	-/۴۲۷	۱۷۱۳۸/۵۲۱	۱	۱۷۱۳۸/۵۲۱	B
.۰۵۵۵	-/۵۹۹	۲۴۰۱۴/۰۲۱	۲	۴۸۰۲۸/۰۴۲	C
.۰۹۴۴	-/۰۰۵	۲۰۴/۱۸۷	۱	۲۰۴/۱۸۷	A * B
.۰۵۵۴	-/۶۰۱	۲۴۱۰۱/۴۳۸	۲	۴۸۲۰۲/۸۷۵	A * C
.۰۰۳۳	۳/۷۵۲	۱۵۰۵۰۳/۶۴۶	۲	۳۰۱۰۰۷/۲۹۲	B * C
.۰۱۳۹	۲/۰۸۴	۸۳۵۹۵/۰۶۳	۲	۱۶۷۱۹۰/۱۲۵	A * B * C
		۴۰۱۱۳/۲۰۱	۳۶	۱۴۴۴۰۷۵/۲۵۰	خطا
			۴۸	۶۰۵۵۷۰۳/۰۰۰	کل
			۴۷	۳۲۹۰۴۲۲/۹۷۹	Corrected Total

a. R Squared = .561 (Adjusted R Squared = .427)

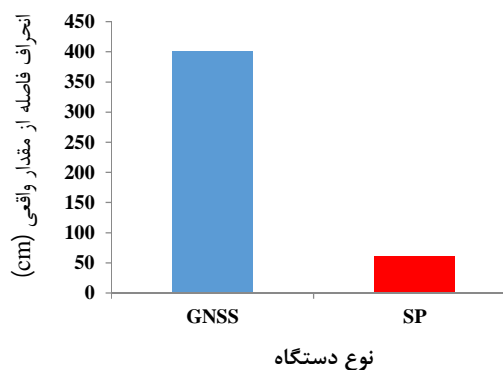
طولی آن با ادوات کشنده در پشت تراکتور، بافت خاک و شیب زمین نیاز به توجه فراوان دارند (Heege, 2015). در حالی که در سامانه خودرهیاب با استفاده از میزان غلتش چرخ محرک در هر مسیر و اندازه‌گیری چرخش غربلیک فرمان به طور مستقیم، این محدودیت‌ها وجود ندارد.

### نتیجه‌گیری

با توجه به معایب سامانه‌های شبکه حسگر، گران قیمت بودن سامانه اینرسیایی و عدم پاسخ این سامانه در فرکانس‌های تشدید، همچنین خطای زیاد گیرنده‌های ماهواره‌ای (GNSS)، در این پژوهش سامانه‌ای طراحی و ساخته شد تا با بکارگیری روشی جدید، موقعیت‌یابی ادوات در مزرعه بدون نیاز به سامانه ماهواره‌ای انجام شود. خلاصه‌ای از نتایج مقایسه دستگاه خودریدیاب ساخته شده با موقعیت‌یاب ماهواره‌ای به شرح زیر است:

داده‌های محور X دستگاه خودرهیاب نسبت به گیرنده GNSS در سطح ۱٪ به طور معناداری بهتر است. مقدار خطا در سامانه خودرهیاب در محور X، ۲۵cm و برای گیرنده GNSS برابر با ۲۵۰cm بود.

تغییر در عوامل محیطی یعنی وضعیت سطح زمین (خاک شخم خورده و نخورده و نیز آسفالت) و شرایط جوی، تأثیر



شکل ۸- انحراف فاصله از مقدار واقعی

به نظر می‌رسد با توجه به نتایج حاصل شده، استفاده از سامانه خودرهیاب و امکان یبومی‌سازی این سامانه برای اجرای عملیات کشاورزی دقیق با توجه به دقت بالای کارکرد و عدم نیاز به هزینه‌کرد سنگین به منظور نصب و بکارگیری سامانه‌های موقعیت‌یاب ماهواره‌ای که برای اغلب عملیات نیازمند تصحیح‌گرهای متفاوت همراه با هزینه‌های مربوطه هستند، مقرون به صرفه‌تر است. در بهره‌گیری از سامانه‌های ماهواره‌ای، توجه به مسیرهای شیب‌دار و نحوه اتصال ادوات به تراکتور مبحث بسیار مهمی است که با توجه به ارتفاع نصب گیرنده، فاصله

- Computer Science; *In: Tenth Annual International Conference on mobile Computing and networking*. Philadelphia, USA.
- Koch, E. (2020). Smart agriculture. A systematic overview; Master's Thesis, *Politecnico Di Milano, Italy*.
- Langendoen, K., Reijers, N. (2003). Distributed localization in wireless sensor networks: a quantitative comparison; *Networks*, 43 (4), 499-518.
- Ma, J., Gao, M., Zhu, Y., Ni, L. (2004). Anchor-free Localization with Refinement in Sensor Networks; *Department of Computer Science, Hong Kong University press, Clearwater Bay, Kowloon, Hong Kong*.
- Mazlounzadeh, S. M., Shamsi, M., & Nezamabadi-Pour, H. (2010). Fuzzy logic to classify date palm trees based on some physical properties related to precision agriculture. *Precision agriculture*, 11(3), 258-273.
- Mohapatra, P. (2005). Ad Hoc networks technologies and protocols; *University of California' Davis, S. V. krishnamurthy, University of California' Riverside, Springer Science + Business Media*.
- Nasipuri, A., Li, K. (2002). A Directionality based Location Discovery Scheme for Wireless Sensor Networks; *Proceedings of the 1st ACM international workshop on Wireless sensor networks and applications*, 105-111.
- Özkan, B., & Uçar, A. (2012). Comparison of the strapdown and gimbaled seekers utilized in aerial applications. *In Infrared Technology and Applications XXXVIII*, 8353, p. 83530K). International Society for Optics and Photonics.
- Pierlot, V. and Van Droogenbroeck, M. (2014). A New Three Object Triangulation Algorithm for Mobile Robot Positioning. *IEEE Transactions on Robotics*, 30(3), 566-577.
- Song, F. F., Xu, M. G., Duan, Y. H., Cai, Z. J., Wen, S. L., Chen, X. N., & Colinet, G. (2020). Spatial variability of soil properties in red soil and its implications for site-specific fertilizer management. *Journal of Integrative Agriculture*, 19(9), 2313-2325.
- Yong-Won Ahn. (2012). GPS Error Sources and Mitigation; *short course notes, University of New Brunswick, department of geomantic engineering*, Canada.
- معناداری بر تعیین مختصات محور X توسط گیرنده GNSS و دستگاه خودرهیاب ایجاد نمی‌کند.
- داده‌های محور Y دستگاه خودرهیاب نسبت به گیرنده GNSS در سطح ۵٪ به طور یمنی‌داری بهتر است. مقدار خطای محور Y در سامانه خودرهیاب ، ۵۰cm و برای گیرنده GNSS برابر با ۱۴۰cm است.
- تغییر در عوامل محیطی یعنی وضعیت زمین و آب و هوا در محور Y اختلاف معنادار در تعیین موقعیت توسط گیرنده GNSS و سامانه خودرهیاب ایجاد نمی‌کند.
- مقدار انحراف از نقطه واقعی توسط گیرنده GNSS و دستگاه خودرهیاب در سطح ۱٪ تفاوت معناداری دارد. خطای تعیین فاصله در سامانه یخودرهیاب ۷۰cm و در گیرنده GNSS برابر با ۴۰۰cm است.
- بر اساس یافته‌های یاد شده، سامانه‌ی خودرهیاب اختلاف مسیر کمتری را نسبت به سامانه ماهواره‌ای ایجاد میکند که افزون بر دقیق‌تر بودن، به منظور طی مسیر بهینه، مناسب‌تر است. البته باید این نکته مد نظر قرار گیرد که در صورت عدم جلوگیری از بروز خطا یا عدم تصحیح آن، احتمال رویداد خطای تجمعی وجود دارد که در ادامه پژوهش حاضر، راه‌کارهای مناسب برای این منظور در دست اجرا هستند.

#### منابع

- Bartholomew, S., Strimel, G., Byrd, V., Santana, V., Otto, J., Laureano, Z., & DeRome, B. (2020). Using data to improve precision in crop fertilization through digital agriculture. *ma*
- Biswas, P. (2004). Semi definite Programming for Ad Hoc Wireless Sensor Network Localization; *Dept. of Electrical Engineering Stanford University, CA 94305* [pbiswas@stanford.edu](mailto:pbiswas@stanford.edu) USA.
- Candiago, S., Remondino, F., De Giglio, M., Dubbini, M., & Gattelli, M. (2015). Evaluating multispectral images and vegetation indices for precision farming applications from UAV images. *Remote sensing*, 7(4), 4026-4047.
- El-Naggar, M. (2011). Enhancing the accuracy of GPS point positioning by converting the single frequency data to dual frequency data; *Transportation Department, Faculty of Engineering, Alexandria University*.
- Heege, H. J. (2015). Precision in crop farming. Springer. Kiel, Germany.
- Hu, L., Evans, H. (2004). Localization for Mobile Sensor Networks, Department of

## پیش‌بینی برخی ویژگی‌های کیفی میوه پرتقال با استفاده از روش غیرمخرب طیف‌سنجی NIR-Vis

کریم گرامی<sup>۱</sup>، حسین بهفر<sup>۲\*</sup>، بهاره جمشیدی<sup>۳</sup> و شهین زمردی<sup>۴</sup>

### چکیده

اندازه‌گیری شاخص‌های کیفی محصولات کشاورزی به روش‌های غیرمخرب با توجه به ارزش اقتصادی آن‌ها و هزینه‌بر بودن نهاده‌های مختلف برای تولید آن‌ها، یک الزام بسیار اساسی است. از بین روش‌های غیرمخرب مختلف، روش‌های طیف‌سنجی نوری به علت کاربرد آسان و سریع از اهمیت بیشتری برخوردارند. در این پژوهش روش طیف‌سنجی Vis-NIR (۴۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر) به منظور پیش‌بینی مقادیر مشخصه‌های کیفی پرتقال رقم تامسون مورد استفاده قرار گرفت. برخی از ویژگی‌های فیزیکی - شیمیایی پرتقال از جمله ابعاد، وزن، وزن حجمی، مواد جامد قابل حل (TSS)، اسید قابل تیتر (TA)، pH و شاخص‌های نسبت TSS/TA و BrimA تعیین شدند. طیف‌های Vis-NIR با استفاده از روش‌های مختلف هموارسازی و نرمال‌سازی و ترکیب آنها پیش‌پردازش شدند. نتایج نشان داد که طیف‌سنجی Vis-NIR با پیش‌پردازش‌های فیلتر میانه و تصحیح پراکنش افزایش می‌تواند به خوبی TSS ( $r_p=0/983$ ) و pH ( $r_p=0/972$ ) پرتقال رقم تامسون را پیش‌بینی کند. همچنین این روش در ترکیب با پیش‌پردازش‌های فیلتر میانه و تصحیح پراکنش افزایش می‌تواند با نتایج قابل قبولی، شاخص تصحیح پراکنش افزایش می‌تواند به خوبی TA ( $r_p=0/771$ ) و BrimA ( $r_p=0/865$ ) پرتقال رقم تامسون را پیش‌بینی کند. شاخص TSS/TA نیز با استفاده از روش طیف‌سنجی Vis-NIR و پیش‌پردازش‌های فیلتر میانه و تصحیح پراکنش افزایش می‌تواند با نتایج قابل قبولی ( $r_p=0/829$ ) پیش‌بینی شد. بنابراین روش طیف‌سنجی Vis-NIR به‌عنوان یک روش غیرمخرب می‌تواند در بررسی کیفی پرتقال رقم تامسون مورد استفاده قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:** طیف‌سنجی نوری، حداقل مربعات جزئی، مرئی-مادون قرمز نزدیک، پیش‌پردازش.

ارجاع: گرامی ک.، بهفر ح.، جمشیدی ب. و زمردی ش. ۱۴۰۱. پیش‌بینی برخی ویژگی‌های کیفی میوه پرتقال با استفاده از روش غیرمخرب طیف‌سنجی Vis-NIR. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۵: ۶۵-۷۶. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.13736.570>

۱- دانشجوی دکتری گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

۳- دانشیار موسسه تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج.

۴- دانشیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ارومیه.

نویسنده مسئول: [h\\_behfar@hotmail.com](mailto:h_behfar@hotmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۶

## مقدمه

ظاهر و مشخصات قابل مشاهده مرکبات، اصلی‌ترین عامل تأثیرگذار در خرید اولیه این محصولات کشاورزی است. اما تصمیم برای خریدهای بعدی به شدت وابسته به این اطمینان است که ظاهر بصری مرکبات خریداری شده با یک تجربه حسی مطلوب در زمان مصرف مطابقت داشته باشد (Ncama *et al.*, 2017b). بنابراین داشتن اطلاعاتی در خصوص مشخصات کیفی این محصولات کشاورزی بر اساس مشخصات ظاهری آن‌ها می‌تواند اطلاعات بسیار مفیدی در مورد طبقه‌بندی و حفظ بازار فروش این محصولات ارائه دهد. اصولاً تشخیص این موارد با استفاده از شکل نیاز به تکنولوژی‌ها و روش‌های دقیقی دارد (Chen *et al.*, 2013). مواد جامد قابل حل<sup>1</sup> (TSS)، اسید قابل تیترا (TA)، pH، TSS/TA و BrimA از شاخص‌های بلوغ و طعم میوه و بر کیفیت آن‌ها تأثیرگذار هستند (Zhan *et al.*, 2021).

بنابراین ارائه روش‌هایی که با استفاده از آن‌ها بتوان مقادیر این مشخصه‌های کیفی را به‌صورت سریع و غیرمخرب پیش‌بینی کرد بسیار مفید و حائز اهمیت است. روش طیف‌سنجی Vis-NIR به‌عنوان یک روش بسیار خوب و مناسب برای تشخیص مقادیر مشخصه‌های کیفی محصولات مختلف کشاورزی همواره مورد استفاده قرار گرفته است. طیف‌سنجی Vis/NIR یک فناوری غیرمخرب است که بر پایه اندازه‌گیری بازتاب یا عبور نور و تحلیل و تفسیر طیف‌های جذبی و نشری به مطالعه تجربی برهم‌کنش نور و ماده می‌پردازد. این فناوری توانایی نمایش جزئیات ترکیبی مواد و اندازه‌گیری ترکیبات شیمیایی مواد بیولوژیک را به‌صورت سریع و غیرمخرب دارد (Jamshidi, 2020). به‌ویژه در دو دهه گذشته، همراه با توسعه سیستم‌های قابل حمل، از این فناوری به‌صورت برخط و در سرعت‌های بالای خطوط درجه‌بندی محصولات کشاورزی استفاده شده است (Khodabakhshia *et al.*, 2014).

روش طیف‌سنجی Vis-NIR برای پیش‌بینی ویژگی‌های TSS، TA و شاخص TSS/TA سه رقوم‌گوجه‌فرنگی مورد استفاده قرار گرفت. نتایج این مطالعه نشان داد که روش طیف‌سنجی Vis-NIR توانایی پیش‌بینی مشخصه‌های کیفی مذکور را با ضریب همبستگی برابر با ۰/۸۵، دارا

است (Najjar & Abu-Khalaf, 2021). در مطالعه‌ای دیگر مقدار مواد جامد حل شدنی (TSS) به‌عنوان اصلی‌ترین مشخصه کیفی میوه سیب در طول نگهداری آن تحت جو کنترل شده با استفاده از روش طیف‌سنجی Vis-NIR در محدوده طول موج ۴۰۰ تا ۹۰۰ نانومتر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این مطالعه حاکی از توانایی خوب ( $r_p=0/876$ ،  $RMSEC=0/355$ ،  $r_c=0/924$ ) این روش در پیش‌بینی مقدار TSS بود (Shen *et al.*, 2021). مقدار TSS، pH، TA و سفتی میوه نارنگی رقم ساتسوما با استفاده از روش طیف‌سنجی Vis-NIR با دارا بودن ضریب همبستگی تقریباً برابر با ۰/۹۴ به‌خوبی پیش‌بینی شد (Antonucci *et al.*, 2011; Gómez *et al.*, 2006). علاوه بر این، برای میوه نارنگی مقدار TSS، TA، سفتی و نسبت وزن آبمیوه به وزن میوه با استفاده از روش طیف‌سنجی Vis-NIR با حداقل ضریب همبستگی برابر با ۰/۷۵ پیش‌بینی شد (Sánchez *et al.*, 2013). در مطالعه‌ای دیگر مقدار TSS، TA و شاخص بلوغ مربوط به میوه لیمو رقم لایم و ججو با استفاده از روش طیف‌سنجی NIR با ضریب همبستگی به‌ترتیب برابر با ۰/۸۴، ۰/۶۹ و ۰/۷۷ و ریشه میانگین خطای به‌ترتیب برابر با ۰/۲۳۷، ۰/۲۸۸ و ۰/۰۴۹ به‌خوبی پیش‌بینی شد (LeeTeerachaichayut & Ho, 2017; et al., 2004). ویتامین ث یا آسکوربیک اسید میوه لیمو با استفاده از روش طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک مورد بررسی قرار گرفت. مدل‌های واسنجی چند متغیره رگرسیون حداقل مربعات جزئی و روش‌های پیش‌پردازش مختلف برای پیش‌گویی ویتامین ث تدوین شدند. نتایج حاصل از مدل‌سازی با پیش‌پردازش‌های مختلف در محدوده NIR با طول‌موج‌های ۴۰۰ تا ۲۴۵۰ نانومتر، مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به نتایج به دست آمده برای مدل‌سازی بهترین نتیجه با پیش‌پردازش ترکیبی ساویتزگولای و مشتق دوم و با تعداد مؤلفه‌های اصلی ۱۲ حاصل گردید که برای دسته آموزش و آزمون به ترتیب دارای ضرایب رگرسیون ۰/۹۷۳ و ۰/۹۸۵ و ریشه خطای میانگین ۰/۷۴۴ و ۰/۶۳۷ بوده و نشان دهنده دقت بالای مدل در پیش‌بینی میزان ویتامین ث میوه لیمو به‌صورت غیرمخرب بود (Rafiee *et al.*, 2016). در مطالعه‌ای دیگر توانایی طیف‌سنجی فروسرخ نزدیک در حالت بازتاب به‌منظور تعیین غیرمخرب رطوبت لیموشیرین مورد

1- Total soluble Solid (TSS)



حذف نمونه‌های پرت، تعداد ۱۳۶ نمونه باقی ماند که ۱۰۰ نمونه برای آموزش و ۳۶ نمونه برای آزمون استفاده شد.

### تعیین ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌ها

ابتدا میوه‌ها توسط ترازوی دیجیتال (Sartorius، آلمان) با دقت ۰/۰۱ گرم توزین و ابعاد توسط کولیس دیجیتالی (ACCUD، اتریش) با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. سپس میانگین هندسی و جرم حجمی پرتقال‌ها به ترتیب با استفاده از معادلات (۱) و (۲) محاسبه شد.

$$MA = \sqrt[3]{A \times B \times C} \quad (1)$$

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (2)$$

که در این معادلات A، B و C ابعاد اصلی نمونه، M جرم نمونه‌ها (g)، V حجم نمونه‌ها (cm<sup>3</sup>)، ρ جرم حجمی پرتقال‌ها (g/cm<sup>3</sup>) هستند.

میزان pH آب پرتقال توسط دستگاه pH متر (Metrohm، سوییس) پس از کالیبره شدن با بافر ۴ و ۷ و اسیدیته قابل تیتراژ آب پرتقال (بر حسب اسید سیتریک) با استفاده از تیتراسیون با سود ۰/۱ نرمال تا رسیدن pH به ۸/۳ (روش پتانسیومتری) و بریکس (SSC) با استفاده از رفاکتومتر دستی (Garlzeiss Jena، آلمان) اندازه‌گیری شد. سپس شاخص‌های SSC/TA از نسبت بریکس به اسیدیته و BrimA با استفاده از معادله (۳) محاسبه گردید (Ncama et al., 2017b).

$$BrimA = SSC - K(TA) \quad (3)$$

با توجه به معادله (۳)، ثابت K نشان‌دهنده حساسیت بالای زبان به TA در مقایسه با TSS است. همچنین ثابت K موجب می‌شود که مقادیر TA کوچکتر از TSS تأثیر یکسانی را بر مقدار عددی BrimA داشته باشد. طبق پژوهش‌های پیشین در مرکبات، برای پرتقال بیشترین همبستگی بین BrimA و آزمون چشایی در K=۴ به وجود می‌آید. از این رو مقدار ثابت K در این پژوهش ۴ در نظر گرفته شد (Jamshidi et al., 2012a).

### طیف‌سنجی

طیف‌های Vis/NIR نمونه‌ها در حالت برهم‌کنش اندازه‌گیری شدند. سامانه طیف‌سنج استفاده شده (UV-VIS-NIR مدل V900) ساخت آزمایشگاه تهرترز گروه فوتونیک دانشگاه کاشان است. این سامانه دارای بخش‌های اصلی شامل منبع نور از نوع هالوژن-دوتریوم، طیف‌سنج با

بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده در این مطالعه نیز نشان داد که مدل‌سازی چند متغیره رگرسیون حداقل مربعات جزئی و پیش‌پردازش ترکیبی ساویتزگولای و مشتق دوم و با تعداد مؤلفه‌های اصلی ۱۲ با دارا بودن ضریب رگرسیونی پیش‌بینی برابر با ۰/۹۸۱ مناسب است (Rafiee et al., 2016). همچنین در مقالات بسیاری امکان پیش‌بینی شاخص‌های کیفی میوه پرتقال با استفاده از طیف‌سنجی مورد بررسی قرار گرفته است. از جمله TSS (Huishan et al., 2005) و ویتامین ث (Xia et al., 2007) پرتقال رقم ناول با استفاده از FT-NIR، شاخص TA، TSS (Cen et al., 2006) و اسید سیتریک و اسید تارتاریک (Cen et al., 2007)، TSS، TA و طعم پرتقال رقم والنسیا (Ncama et al., 2017a) با استفاده از طیف‌سنجی Vis-NIR بررسی شد و ضرایب رگرسیون پیش‌بینی بالاتر از ۰/۹۰ به دست آمد.

بنابراین مطالعات مختلف نشان می‌دهد که روش طیف‌سنجی Vis-NIR می‌تواند به‌عنوان یک روش غیرمخرب سودمند در پیش‌بینی پارامترهای کیفی مورد بررسی قرار گیرد.

در این تحقیق هدف اصلی بررسی و مطالعه توانایی پیش‌بینی شاخص‌های کیفی پرتقال رقم تامسون با استفاده از روش طیف‌سنجی Vis-NIR بود. به‌منظور دست یافتن به هدف اصلی این مطالعه روش‌های مختلف پیش‌پردازش روی داده‌های طیف‌سنجی اعمال و مورد مقایسه قرار گرفت. برای مدل‌سازی از روش خطی حداقل مربعات جزئی (PLS) استفاده شد.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش، از پرتقال رقم تامسون شمال استفاده شد. این رقم در استان‌های شمال کشور دارای سطح زیر کشت بیشتری بوده و در دنیا و ایران از محبوبیت زیادی برخوردار است. در دی ماه ۱۳۹۸ تعداد ۲۰ جعبه ۱۵ تایی پرتقال رقم تامسون از بازار میوه و تره‌بار شهرستان ارومیه (از محصولات یک باغ در شمال کشور) خریداری شد. سپس نوع رقم پرتقال‌های تهیه شده توسط بخش باغبانی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی آذربایجان غربی مورد تأیید قرار گرفت. برای دستیابی به نتایج واقعی و کاهش خطای آزمایش، تعداد ۱۵۰ عدد پرتقال سالم و یکنواخت از نظر اندازه به طور تصادفی انتخاب شد. پس از

حالت منبع نور روشن، از یک دیسک سفید استاندارد که توانایی بازتاب ۹۵ درصد را در محدوده ۲۲۰۰-۲۵۰ نانومتر و توانایی بازتاب ۹۸ درصد را در محدوده ۱۵۰۰-۲۵۰ نانومتر دارد، برای دستیابی به طیف مرجع استفاده شد. به این ترتیب، پس از قرار دادن کاوش‌گر روی پرتقال در حالت منبع نور روشن و با داشتن طیف‌های تیره و مرجع، نرم‌افزار 2013 labview میزان بازتاب را طبق معادله (۴) (Choudhary et al., 2009) محاسبه می‌کند:

$$R_{\lambda} = \frac{S_{\lambda} - D_{\lambda}}{Ref_{\lambda} - D_{\lambda}} \times 100 \quad (4)$$

که در این معادله:  $R_{\lambda}$ : بازتاب در طول موج  $\lambda$ ;  $S_{\lambda}$ : شدت نور خروجی نمونه در طول موج  $\lambda$ ;  $Ref_{\lambda}$ : شدت نور خروجی مرجع در طول موج  $\lambda$ ;  $D_{\lambda}$ : شدت نور خروجی تیره در طول موج  $\lambda$  است.

برای بررسی تکرارپذیری دستگاه نیز، هر نمونه پرتقال از سه جهت مختلف طیف‌سنجی شد و نتایج حاصل مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین طیف‌ها وجود نداشت. در نتیجه تکرارپذیری دستگاه مورد تأیید قرار گرفت.

### پردازش داده‌ها

عمدتاً داده‌های طیفی علاوه بر اطلاعات مفیدی که دارند، حاوی اطلاعات ناخواسته‌ای از پس‌زمینه و نویزها هستند. از این‌رو برای دستیابی به مدل‌های واسنجی پایدار، دقیق و قابل اعتماد نیاز به پیش‌پردازش داده‌های طیفی پیش از تدوین مدل‌های رگرسیون است (Jamshidi et al., 2014). بنابراین در این مطالعه پس از اینکه طیف‌های بازتابی از همه نمونه‌ها اخذ شد، به‌منظور ایجاد یک ارتباط خطی با غلظت مولکولی نمونه، این طیف‌ها با استفاده از معادله (۵) به طیف جذبی تبدیل شدند.

$$A = \log T^{-1} \quad (5)$$

که در آن  $T$  میزان بازتاب و  $A$  میزان جذب است (Chen & Nattuvelty, 1980).

اساساً به‌منظور آماده‌سازی و پیش‌پردازش طیف‌ها از برخی روش‌های هموارسازی<sup>۱</sup> و کاهش نویز (میانگین‌گیری متحرک<sup>۲</sup> (MA)، ساویتزکی-گولای<sup>۳</sup> (SG) و فیلتر میانه<sup>۴</sup>،

آشکارساز CCD و کاوشگر فیبر نوری است. بنابراین طیف‌سنج توانایی ثبت طیف الکترومغناطیس در ناحیه ۲۰۰-۱۱۰۰ نانومتر را با وضوح یک نانومتر دارا است. تکفام ساز به‌کار رفته از نوع پاشنده است که بدین منظور از منشور به عنوان تکفام ساز برای تجزیه تابش به طول موج‌های مختلف استفاده شده است (شکل ۱).



شکل ۱- دستگاه طیف‌سنجی مورد استفاده

همچنین، قابلیت اتصال فیبر نوری به طیف‌سنج و انتقال اطلاعات به لپ‌تاپ به منظور نمایش و ذخیره سازی طیف‌های به دست آمده در نرم‌افزار 2013 labview از طریق پورت USB در این سامانه وجود دارد. برای انتقال نور از منبع نور به کاوش‌گر و نمونه (میوه) و انتقال نور بازتابشی از نمونه (میوه) به داخل طیف‌سنج از فیبر نوری شیشه‌ای به قطر ۲۰۰ میکرون با درگاه خروجی SMA استفاده شده است. این سامانه دارای یک کاوشگر فیبر نوری دوشاخه است. کاوشگر دارای یک فیبرنوری گیرنده در وسط (متصل به طیف‌سنج) و شش فیبر نوری انتشار (متصل به منبع نور) بوده که در یک دایره پنج میلی‌متری در اطراف فیبر گیرنده توزیع شده است. در تحقیق دیگری در انتخاب بهترین حالت اندازه‌گیری برای طیف‌سنجی پرتقال، طیف‌ها برای شناسایی اوج‌های جذبی و اورتون‌های ارتعاش اصلی به‌منظور شناسایی ترکیبات شیمیایی درونی، تفسیر و از نظر مناسب بودن میزان جذب و مقدار نویز مقایسه شدند (Jamshidi et al., 2012b).

طیف‌سنج از طریق کابل USB به کامپیوتر متصل و طیف‌های حاصل توسط نرم‌افزار 2013 labview در کامپیوتر ذخیره شدند. برای کالیبره کردن و صحت‌سنجی دستگاه، قبل از طیف‌سنجی، طیف‌های تیره (D) و سفید مرجع (Ref) تعریف و ذخیره شدند. به این ترتیب که با خاموش کردن منبع نور طیف تیره گرفته شد، سپس در

1- Smoothing

2- Moving Average

3- Savitzky Golay

4- Median Filter

$$SDR = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_c} (y_i - y_m)^2 / (n_p - 1)} / RMSEP \quad (۸)$$

$$= SD / RMSEP$$

در این معادله‌ها،  $y_i$  مقدار اندازه‌گیری شده ویژگی برای نمونه  $i$ ام در دسته آموزش یا دسته آزمون،  $\hat{y}_i$  مقدار پیش‌بینی شده ویژگی برای نمونه  $i$ ام در دسته آموزش یا دسته آزمون،  $n_c$  تعداد نمونه‌های دسته آموزش،  $n_p$  تعداد نمونه‌های دسته آزمون و  $y_m$  میانگین مقدارهای اندازه‌گیری شده ویژگی در دسته آموزش یا دسته آزمون است.

مدل بهینه از بین مدل‌های تدوین شده برای پیش‌بینی پارامترهای کیفی پرتقال بر پایه داشتن RMSEP کمتر،  $r_p$  و SDR بیشتر انتخاب شد. کمتر بودن اختلاف بین RMSEC و RMSEP نیز بررسی شد. برای هر مدل نیز تعداد بهینه متغیرهای نهان (LV) به گونه‌ای انتخاب شد تا مدل کمترین RMSE را در پیش‌بینی پارامتر مورد نظر داشته باشد. اگر مقدار SDR بین ۱/۵ و ۲ باشد، مدل توانایی تشخیص مقادیر پایین صفت مورد نظر از مقادیر بالا را دارا است. اگر بین ۲ و ۲/۵ باشد، مدل توانایی پیش‌بینی صفت مورد نظر را با دقت کمی دارا است. اما اگر مقدار این شاخص بالای ۲/۵ باشد، دقت بالای مدل در پیش‌بینی صفت مورد نظر را نشان می‌دهد (Nicolai *et al.*, 2007).

## نتایج و بحث

### مشخصات فیزیکی و شیمیایی

در جدول ۱ مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های پرتقال در اسپکتروسکوپی Vis-NIR آورده شده است با توجه به جدول ۱، مقادیر ابعاد، جرم، حجم و جرم حجمی نمونه‌ها نشان دهنده تنوع مشخصات مورفولوژیکی نمونه‌های پرتقال بوده و دلیل اصلی استفاده از روش‌های نرمال‌سازی، برای حذف اثرات فیزیکی طیف‌ها است (Jamshidi, *et al.*, 2012a).

در این راستا میانگین طول پرتقال رقم تامسون درجه یک (بزرگ)، دو (متوسط) و سه (کوچک) را به ترتیب ۹۰/۴۰، ۸۴/۰۶ و ۷۷/۹۳ میلی‌متر و میانگین عرض را به ترتیب ۸۵/۰۳، ۷۷/۹۳ و ۷۰/۶۲ میلی‌متر، میانگین ضخامت را به ترتیب ۸۴/۳۹، ۷۵/۵۴ و ۶۹/۱۵ میلی‌متر و میانگین حجم را به ترتیب ۲۷۷/۵۳، ۲۱۵/۳۸ و ۱۵۹/۷۶ سانتی‌متر مکعب گزارش شده است (Sharifi *et al.*, 2007).

نرمال‌سازی<sup>۱</sup> (تصحیح پراکنش افزایشنده<sup>۲</sup> (MSC)، توزیع نرمال استاندارد<sup>۳</sup> (SNV)) استفاده می‌شود در تحقیق دیگری نیز نشان داده شد که روش‌های پیش‌پردازش ترکیبی مناسب‌تر از روش‌های تکی است (Jamshidi *et al.*, 2014). بنابراین در این مطالعه اثر شش شیوه ترکیبی SG+MSC، MA+SNV، MA+MSC، SG+SNV، MF+MSC و MF+SNV بر دقت مدل‌های چند متغیر تدوین شده برای هر یک از پارامترهای کیفی بررسی و برای اجرای این روش‌ها از نرم‌افزار Unscrambler X 10.4 استفاده شد.

### تدوین مدل

پس از اتمام آزمون غیرمخرب (طیف‌سنجی) و اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفی نمونه‌ها و انجام پیش‌پردازش مناسب، تدوین مدل‌های چند متغیره برآزش برای استفاده از طیف‌های حاصل انجام شد. در این پژوهش از تکنیک خطی حداقل مربعات جزئی (PLS) برای ایجاد مدل بین طیف‌های حاصل و داده‌های به‌دست آمده از آزمایش‌های مرجع (آزمایش‌های مخرب) استفاده شد. سپس مدل‌های PLS تدوین شده اعتبارسنجی شد. در این راستا، خطای مدل‌ها بر اساس ریشه میانگین مربعات خطای واسنجی<sup>۴</sup> (RMSEC)، ریشه میانگین مربعات خطای پیش‌بینی<sup>۵</sup> (RMSEP)، ضریب همبستگی واسنجی<sup>۶</sup> ( $r_c$ )، ضریب همبستگی پیش‌بینی<sup>۷</sup> ( $r_p$ ) و خطای شاخص SDR (نسبت انحراف استاندارد (SD) ویژگی مورد نظر در دسته آزمون به RMSEP) با استفاده از معادله (۴) تا معادله (۵) محاسبه شد.

$$RMSEC = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_c} (\hat{y}_i - y_i)^2 / n_c} \quad (۴)$$

$$RMSEP = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_p} (\hat{y}_i - y_i)^2 / n_p} \quad (۵)$$

$$r_c = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_c} (\hat{y}_i - y_i)^2 / \sum_{i=1}^{n_c} (\hat{y}_i - y_m)^2} \quad (۶)$$

$$r_p = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_p} (\hat{y}_i - y_i)^2 / \sum_{i=1}^{n_p} (\hat{y}_i - y_m)^2} \quad (۷)$$

- 1- Normalizing
- 2- Multiplicative Scatter Correction
- 3- Standard Normal Variate
- 4- Root Mean Square Error of Calibration (RMSAEC)
- 5- Root Mean Square Error of Prediction
- 6- Correlation Coefficient of Calibration
- 7- Correlation Coefficient of Prediction

فینیکه و آلتانیا به ترتیب ۳۰۰/۴۴، ۲۶۳/۵۵، ۲۰۷/۴۲ و ۲۰۶/۶۸ سانتی‌متر مکعب، قطر این ارقام به ترتیب ۸۰/۱۴، ۷۵/۹۶، ۷۱/۸۳ و ۷۱/۵۷ میلی‌متر و سطح ارقام به ترتیب ۲۰۲/۶، ۱۸۸/۲۶، ۱۶۲/۷ و ۱۶۲/۲ سانتی‌متر مربع گزارش شد. میانگین وزن نمونه‌های پرتقال نیز در محدوده ۱۷۵/۷۱ تا ۲۷۱/۴۰ گرم قرار داشت. نتایج این بررسی‌ها نتایج حاصل از بررسی حاضر را تایید می‌کند.

همچنین خواص فیزیکی و تغذیه‌ای چهار رقم پرتقال در ترکیه مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس نتایج این بررسی میانگین طول دو رقم پرتقال ناول (Navel) و شاموتی (Shamoti) در محدوده ۸۲/۶۰ - ۸۱/۷۴ میلی‌متر و ارقام آلتانیا (Alanya) و فینیک (Finike) در محدوده ۶۹/۲۱ - ۶۹/۴۴ میلی‌متر تعیین شد (Topuz et al., 2005). میانگین هندسی قطر ارقام مختلف پرتقال نیز از ۷۰/۷۶ تا ۸۰/۹۰ میلی‌متر متغیر بود. حجم ارقام ناول، شاموتی،

جدول ۱- مشخصه‌های فیزیکی و شیمیایی نمونه‌های پرتقال در اسپکتروسکوپی Vis-NIR

مشخصه	دسته آموزش (۱۰۰ نمونه)			دسته آزمون (۳۶ نمونه)			انحراف استاندارد
	کمینه	بیشینه	میانگین	کمینه	بیشینه	میانگین	
طول (mm)	۶۵	۷۹/۵	۷۲/۵۷	۶۷	۷۸/۵	۷۲/۹۴	۲/۹۹
عرض (mm)	۶۶	۸۰	۷۲/۳۸	۶۸	۷۸/۵	۷۲/۴۲	۲/۵۲
ارتفاع (mm)	۶۳/۵	۸۲	۷۳/۳۲	۶۳/۵	۸۲	۷۲/۳۳	۴/۵۹
میانگین هندسی (mm)	۶۶/۳۱	۷۷/۹۹	۷۲/۷۳	۶۶/۳۱	۷۹/۶۵	۷۲/۵۴	۲/۸۱
حجم (cm <sup>3</sup> )	۱۵۲/۶۰	۲۴۸/۲۳	۲۰۲/۱۶	۱۵۰/۶۰	۲۶۴/۴۴	۲۰۰/۶۲	۲۳/۴۵
جرم (g)	۱۴۶/۴۰	۲۴۰/۰۰	۱۹۵/۱۸	۱۴۸/۴۰	۲۳۸/۵۰	۱۹۵/۰۵	۲۱/۱۲
جرم حجمی (g/cm <sup>3</sup> )	۰/۸۶	۱/۰۵	۰/۹۷	۱/۰۵	۰/۸۶	۰/۹۷	۰/۰۴
TA (%)	۰/۵۸۳	۲/۱۴۵	۱/۰۳۷	۰/۵۸۲	۲/۱۴۴	۱/۱۰۶	۰/۳۶۶
TSS (%)	۹/۸	۱۴	۱۲/۰۳۲	۱۰/۲	۱۴	۱۲/۱۸۶	۰/۹۲۵
pH	۳/۱۴	۳/۹۷	۳/۵۶۱	۳/۲۵	۳/۹۷	۳/۵۹۸	۰/۱۷۹
TSS/TA	۶/۲۹۴	۲۰/۴۱۳	۱۲/۳۸۵	۶/۲۹۳	۲۰/۴۱۲	۱۲/۰۹۵	۳/۵۶۵
BrimA	۴/۶۶۷	۱۱/۰۳۸	۷/۸۸۳	۴/۶۱۴	۱۰/۴۸۶	۷/۷۶۳	۱/۵۵۷

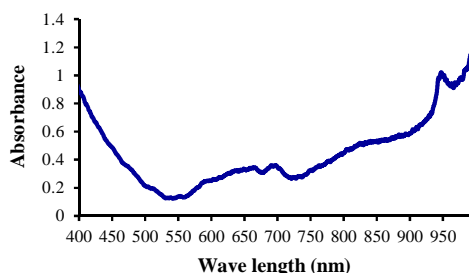
شیمیایی میوه نقش بسیار مهمی در توسعه فرآوری، کیفیت محصولات نهایی و ترکیب شیمیایی دارد که ارزش غذایی آن را ارزیابی می‌کند.

### طیف‌های Vis-NIR

در شکل ۲ نمونه طیف جذبی Vis-NIR مربوط به پرتقال رقم تامسون در محدوده طول موج ۴۰۰ تا ۹۹۰ نانومتر نشان داده شده است. طیف‌های جذبی در نواحی ابتدا و انتها دارای نویز زیاد بودند به همین دلیل، ناحیه مورد بررسی از ۲۰۰-۱۱۰۰ به ۴۰۰-۹۹۰ تغییر یافت. همان‌طور که مشاهده می‌شود طیف مذکور یک روند افزایشی همراه با دو اوج جذبی در نواحی تقریباً برابر با ۹۷۰ و ۶۸۰ نانومتر دارد. اوج موجود در ناحیه ۹۷۰ نانومتر می‌تواند ناشی از اورتون‌های دوم O-H و یا N-H موجود در پرتقال باشد (Jamshidi et al., 2013).

در تحقیق دیگری بریکس متوسط سه رقم پرتقال لیت والانسیا، میدنایت و والانسای بیدانه به ترتیب ۹/۵، ۸/۹۸ و ۹/۰، pH ۳/۸، ۳/۹۸ و ۳/۸۵ و اسیدیته ۰/۰۲، ۰/۹۹ و ۰/۹۱ درصد و وزن ۲۹۷/۸، ۲۷۵/۴ و ۲۳۹/۵ گرم (Alsina et al., 2012). همچنین بریکس متوسط چهار رقم پرتقال ناول، شاموتی، آلتانیا و فینیک به ترتیب ۱۲/۱، ۱۱/۸، ۱۰/۹ و ۱۲/۴، اسیدیته ۰/۶۹، ۰/۸۷، ۱/۳۸ و ۰/۸۴ درصد و pH ۳/۶۲، ۳/۸۴، ۳/۱۹ و ۳/۶۴ (Topuz et al., 2005) و بریکس، اسیدیته و pH متوسط پرتقال شیرین به ترتیب ۱۱، ۰/۵۱ درصد و ۳/۸ (Shravan et al., 2018) گزارش گردید که نتایج این بررسی‌ها در برخی موارد مشابه و در برخی موارد بیشتر از نتایج به دست آمده در بررسی حاضر بود (جدول ۱). اختلاف موجود در نتایج تحقیقات مختلف می‌تواند مربوط به ویژگی‌های منحصر به فرد ارقام پرتقال و شرایط کاشت و شرایط آب و هوای محل رشد پرتقال باشد. همچنین ویژگی‌های فیزیکی و

پردازش شده با هر یک از روش‌های هموارسازی با طیف‌های اولیه تفاوت چندانی ندارند. بنابراین برای هر یک از این طیف‌ها پس از انجام پیش‌پردازش‌ها، پیش‌پردازش به دو روش نرمال‌سازی MSC و NVA انجام شد.



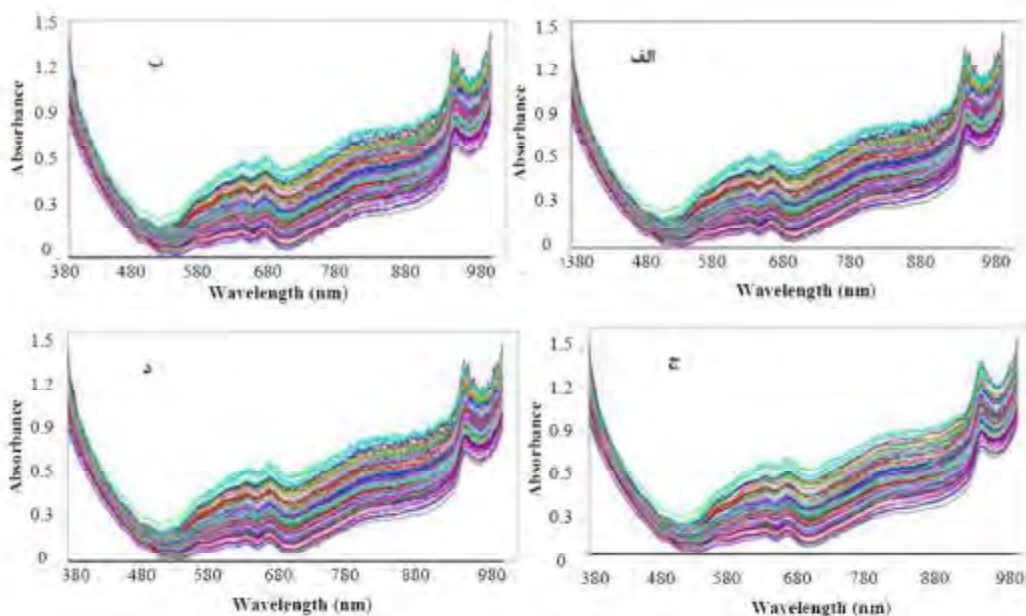
شکل ۲- نمودار طیف جذبی حاصل از یک نمونه تصادفی پرتقال رقم تامسون قبل از پردازش

به طور کلی طیف Vis-NIR مشاهده شده برای پرتقال رقم تامسون شباهت زیادی به طیف Vis-NIR مربوط به پرتقال رقم والنسیا دارد (Jamshidi *et al.*, 2012). در بازه NIR، منحنی روند افزایشی داشت و یک اوج قوی در حدود ۹۵۰ نانومتر پیدا شد که می‌تواند به دلیل اورتون دوم O-H باشد. نتایج مشابهی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Cayuela, 2008; Gómez *et al.*, 2006).

جزئیات بیشتری نیز در حدود ۶۸۰ نانومتر ناشی از جذب کلروفیل b یافت شد.

### پیش‌پردازش طیف‌های Vis-NIR

نتایج طیف‌سنجی Vis-NIR پرتقال رقم تامسون در شکل ۳ نشان داده شده است. طبق شکل ۳، طیف‌های پیش

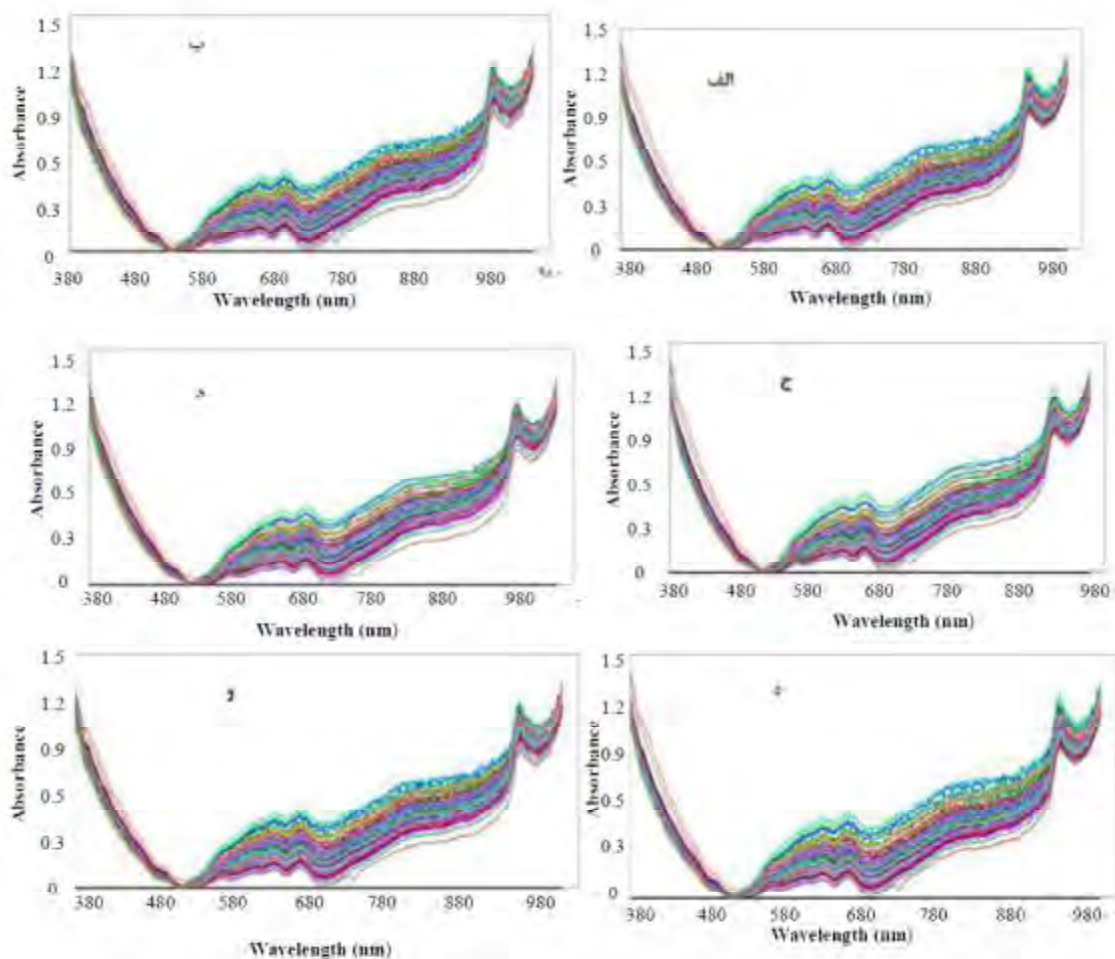


شکل ۳- نتایج طیف‌سنجی Vis-NIR پرتقال رقم تامسون

(الف) طیف‌های اولیه، (ب) هموارسازی به روش MA، (ج) هموارسازی به روش SG، (د) هموارسازی به روش MF

PLSR انجام شد. مدل‌های مربوط به pH و SSC در تمامی روش‌های پیش‌پردازش بهتر از سه مشخصه TA، SSC/TA و BrimA بود. علت این امر را می‌توان پایین بودن غلظت اسیدهای آلی نسبت به مواد جامد قابل حل در نمونه‌های پرتقال بیان کرد. نتایج مشابهی توسط سایر محققان نیز گزارش شده است (Liu *et al.*, 2008; Cayuela & Weiland, 2010; Jamshidi *et al.*, 2010; *al.*, 2012).

نتایج حاصل از پیش‌پردازش‌های دوگانه نیز در شکل ۴ آورده شده است. با توجه به شکل ۴، اعمال روش‌های نرمال‌سازی موجب تغییرات زیادی در طیف‌ها در مقایسه با طیف‌های اولیه شد. علاوه بر این پس از اعمال این پیش‌پردازش‌ها تفاوت‌ها در نقاط اوج افزایش یافته است. بنابراین پس از اعمال این پیش‌پردازش‌ها برای هر ۵ عامل کیفی مورد بررسی مدل‌سازی تمامی این طیف‌ها به روش



شکل ۴- نتایج پیش‌پردازش‌های ترکیبی هموارسازی و نرمال‌سازی  
 الف) MF+SNV، ب) MA+SNV، ج) SG+MSC، د) SG+SNV، ه) MF+MSC، و) MF+SNV

بهترین مدل برای مشخصه TA مربوط به پیش‌پردازش MF+MSC با  $r_p$  و  $r_c$  به ترتیب برابر با  $0/779$  و  $0/781$  بود. مقادیر ریشه خطای میانگین پیش‌بینی و واسنجی برای این مدل به ترتیب برابر با  $0/180$  و  $0/233$  است. علاوه بر این مقدار متغیرهای نهان (LV) این مدل برابر با ۸ است. برای شاخص SSC نیز همین روش پیش‌پردازش بهترین مدل با دارا بودن بیشترین مقدار  $r_p$  و  $r_c$  به ترتیب برابر با  $0/983$  و  $0/947$  بود. بیشترین مقدار SDR در میان تمام مدل‌ها مربوط به این مدل و برابر با  $4/936$  است، تعداد متغیرهای نهان این مدل برابر با ۱۴ است. روش پیش‌پردازش MF+MSC برای pH و BrimA نیز در مقایسه با سایر روش‌های پیش‌پردازش مدل بهتری را ارائه داد. اما برای مشخصه TSS/TA روش پیش‌پردازش MF+SNV با دارا بودن  $r_p$ ،  $r_c$  و SDR به ترتیب برابر با  $0/829$ ،  $0/731$

و ۹ مدل بهتری را ارائه داد. علاوه بر این با بررسی حداقل تفاوت خطای واسنجی و خطای پیش‌بینی، پیش‌پردازش ترکیبی SG+MSC برای پارامتر TSS و شاخص‌های TSS/TA و BrimA مدل بهتری ارائه داده است. برای پارامترهای TA و pH به ترتیب پیش‌پردازش‌های MF+MSC و SG+SNV مناسب بودند. با بررسی نتایج معیار کمترین متغیر نهان، و بر اساس آن برای پارامتر TA بهترین مدل با پیش‌پردازش MF+MSC حاصل شده است. بنابراین بر اساس تمامی معیارهای مورد بررسی بهترین پیش‌پردازش برای پارامتر TA پیش‌پردازش MF+MSC به دست آمد. بر اساس معیار متغیر نهان بهترین مدل برای پیش‌بینی پارامترهای TSS و pH مدل‌های بر اساس پیش‌پردازش SG+SNV هستند. بر اساس معیار متغیر نهان پیش‌پردازش‌های مختلف برای شاخص BrimA، غیر از روش

میانگین‌گیری متحرک و توزیع نرمال استاندارد مناسب است. به‌طور کلی نتایج مطالعات بسیاری بیانگر اهمیت روش‌های پیش‌پردازش بر صحت بالای مدل تبیین شده بر اساس داده‌های طیف‌سنجی است (Tajromi *et al.*, 2015). در نتایج حاصل از این مطالعه نیز مشاهده شد که روش‌های پیش‌پردازش بر نتایج مدل‌سازی پارامترهای مختلف پرتقال رقم تامسون مبتنی بر داده‌های طیفی NIR بسیار تأثیرگذار است.

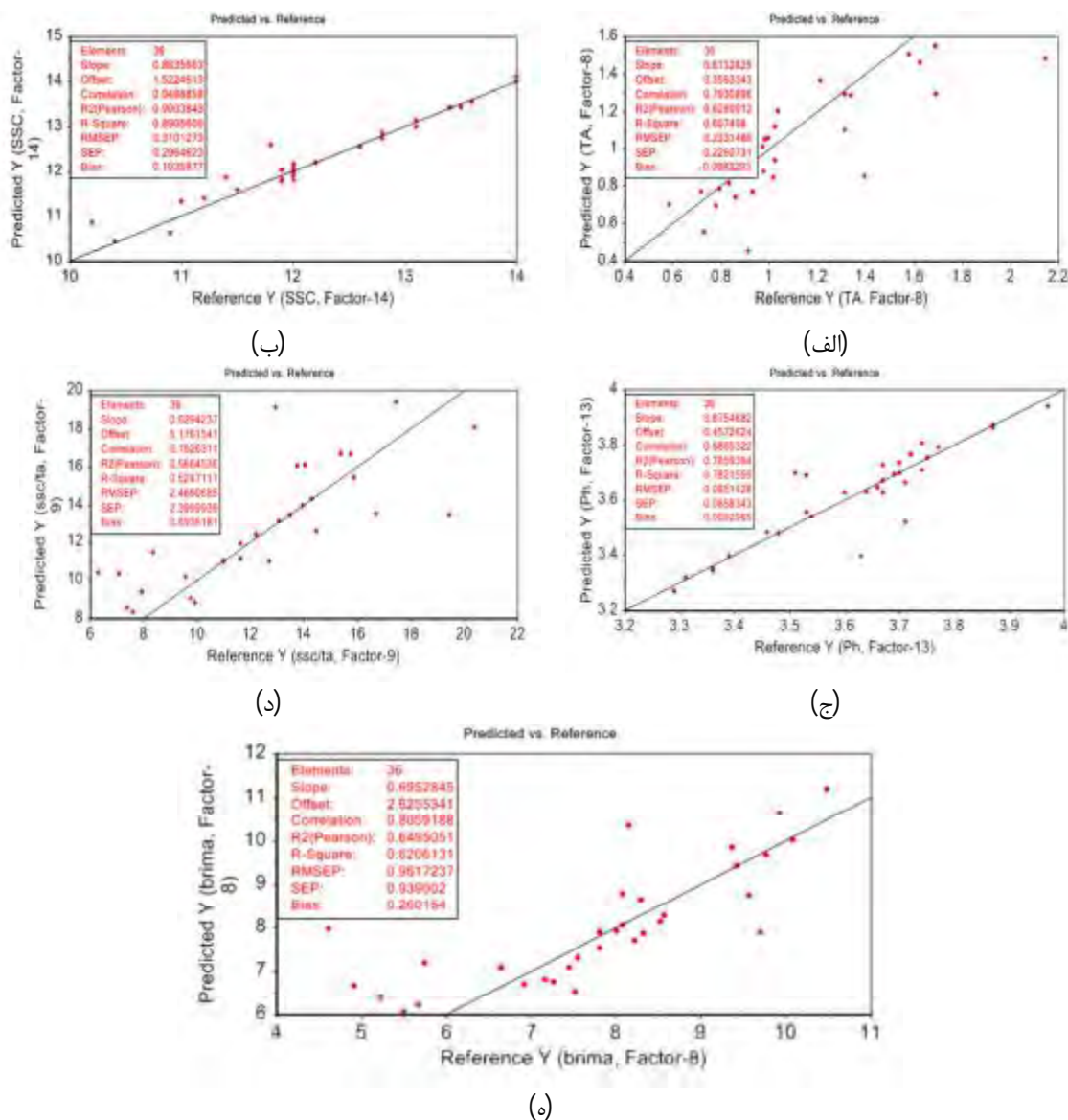
SG+SNV، بقیه روش‌ها مشابه هم و مناسب هستند. بهترین مدل برای شاخص SSC/TA بر اساس متغیر نهان مدل با پیش‌پردازش SG+MSC است. در شکل ۳ نمودارهای مقدار پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر اندازه گرفته شده مربوط به بهترین مدل‌های هر یک از مشخصه‌ها نشان داده شده است. نتایج موجود در جدول ۲ در این نمودارها نیز مشاهده می‌شود. در تحقیق دیگری نشان داده شد که برای پیش‌بینی SSC و TA در میوه پرتقال ترکیب روش‌های پیش‌پردازش

جدول ۲- نتایج واسنجی و پیش‌بینی مدل‌های PLSR بر اساس ترکیب روش‌های مختلف پیش‌پردازش به منظور مدل‌سازی پارامترهای

کیفی پرتقال رقم تامسون

$r_c$	$r_p$	SDR	E	RMSEC	RMSEP	LV	پارامتر/ شاخص کیفی	پیش‌پردازش
۰/۷۷۱	۰/۷۷۳	۲/۰۲۷	۰/۰۵۴	۰/۲۳۷	۰/۱۸۳	۸	TA	MA+MSC
۰/۹۴۳	۰/۹۸۱	۴/۶۴۳	۰/۱۰۸	۰/۳۱۰	۰/۲۰۲	۱۴	SSC	
۰/۸۸۴	۰/۹۶۸	۳/۳۹۴	۰/۰۳۹	۰/۰۸۵	۰/۰۴۶	۱۳	pH	
۰/۷۲۲	۰/۸۲۸	۱/۹۶۵	۰/۶۳۵	۲/۴۷۵	۱/۸۴۰	۸	SSC/TA	
۰/۷۸۴	۰/۸۶۲	۲/۱۹۹	۰/۲۵۱	۰/۹۶۹	۰/۷۱۸	۸	BrimA	
۰/۷۵۸	۰/۷۶۰	۱/۹۸۴	۰/۰۵۶	۰/۲۴۳	۰/۱۸۷	۸	TA	MA+SNV
۰/۹۳۲	۰/۹۷۵	۴/۰۴۲	۰/۱۰۷	۰/۳۳۹	۰/۲۳۲	۱۴	SSC	
۰/۸۸۵	۰/۹۷۲	۴/۱۱۹	۰/۰۴۱	۰/۰۸۵	۰/۰۴۴	۱۴	pH	
۰/۷۲۵	۰/۸۲۵	۲/۰۳۲	۰/۶۸۷	۲/۴۶۶	۱/۷۷۹	۹	SSC/TA	
۰/۷۹۲	۰/۸۳۲	۲/۰۰۱	۰/۱۶۵	۰/۲۶۸	۰/۷۸۹	۸	BrimA	
۰/۶۹۴	۰/۶۷۴	۱/۷۴۲	۰/۰۵۵	۰/۲۶۸	۰/۲۱۳	۹	TA	SG+MSC
۰/۸۶۱	۰/۸۸۵	۱/۹۱۸	۰/۰۱۲	۰/۴۷۷	۰/۴۸۹	۱۴	SSC	
۰/۷۲۰	۰/۶۸۸	۱/۳۵۳	۰/۰۰۸	۰/۱۲۶	۰/۱۳۴	۹	pH	
۰/۶۴۳	۰/۶۶۴	۱/۵۳۲	۰/۳۸	۲/۷۳۹	۲/۳۵۹	۹	SSC/TA	
۰/۷۴۴	۰/۷۵۴	۱/۶۹۶	۰/۱۱۲	۱/۰۴۳	۰/۹۳۱	۸	BrimA	
۰/۶۹۱	۰/۷۴۵	۱/۹۴۲	۰/۰۷۸	۰/۲۶۹	۰/۱۹۱	۱۱	TA	SG+SNV
۰/۷۸۱	۰/۶۶۹	۱/۲۰۲	۰/۱۹۴	۰/۵۸۶	۰/۷۸۰	۹	SSC	
۰/۶۳۶	۰/۶۷۲	۱/۳۷۳	۰/۰۰۱	۰/۱۳۱	۰/۱۳۲	۸	pH	
۰/۶۳۶	۰/۶۷۲	۱/۵۴۷	۰/۴۲۲	۲/۷۵۹	۲/۳۳۷	۸	SSC/TA	
۰/۷۴۷	۰/۷۷۱	۱/۷۵۰	۰/۱۳۶	۱/۰۳۸	۰/۹۰۲	۹	BrimA	
۰/۷۷۹	۰/۷۸۱	۲/۰۶۱	۰/۰۵۳	۰/۲۳۳	۰/۱۸۰	۸	TA	MF+MSC
۰/۹۴۷	۰/۹۸۳	۴/۹۳۶	۰/۱۱۱	۰/۳۰۱	۰/۱۹۰	۱۴	SSC	
۰/۸۸۴	۰/۹۷۲	۴/۲۱۵	۰/۰۴۲	۰/۰۸۵	۰/۰۴۳	۱۳	pH	
۰/۷۲۹	۰/۸۱۷	۱/۹۸۵	۰/۶۲۸	۲/۴۵۰	۱/۸۲۲	۸	SSC/TA	
۰/۷۸۸	۰/۸۶۵	۲/۲۲۱	۰/۲۵۱	۰/۹۶۲	۰/۷۱۱	۸	BrimA	
۰/۷۶۷	۰/۷۶۸	۲/۰۱۶	۰/۰۵۵	۰/۲۳۹	۰/۱۸۴	۸	TA	MF+SNV
۰/۹۳۵	۰/۹۷۸	۴/۲۴۳	۰/۱۱۲	۰/۳۳۳	۰/۲۲۱	۱۴	TSS	
۰/۸۷۸	۰/۹۶۱	۳/۵۵۳	۰/۰۳۶	۰/۰۸۷	۰/۰۵۱	۱۳	pH	
۰/۷۳۱	۰/۸۲۹	۲/۰۵۳	۰/۶۷۸	۲/۴۳۹	۱/۷۶۱	۹	SSC/TA	
۰/۷۹۴	۰/۸۳۱	۲/۰۲۹	۰/۱۷۲	۰/۹۵۰	۰/۷۷۸	۸	BrimA	

\* E نشان دهنده تفاوت خطای واسنجی و پیش‌بینی است. اعداد پر رنگ مدل‌های منتخب را نشان می‌دهد.



شکل ۳- مقدار پیش‌بینی شده در مقابل مقادیر اندازه گرفته شده مربوط به بهترین مدل

(الف) TA، (ب) SSC، (ج) pH، (د) SSC/TA، (ه) BrimA

### نتیجه‌گیری

همین روش و این ترکیب پیش‌پردازش با دقت خوبی (SDR=۴/۱۵۶،  $r_p=0/۹۷۲$ ، RMSEP=۰/۰۴۳) پیش‌بینی کرد. حال آنکه مقدار اسید قابل تیتر (TA) ( $r_p=0/۷۸۱$ ) و مشخصه‌های TSS/TA ( $r_p=0/۸۲۹$ ) و BrimA ( $r_p=0/۸۶۵$ ) (SDR=۲/۰۳۲) می‌توان با استفاده از این روش با دقت قابل قبولی پیش‌بینی نمود. بنابراین نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که روش غیرمخرب طیف‌سنجی Vis-NIR را می‌توان با دقت قابل قبولی برای پیش‌بینی مشخصات کیفی پرتقال رقم تامسون مورد استفاده قرار داد.

نتایج به دست آمده در این مطالعه نشان داد که روش طیف‌سنجی Vis-NIR به‌عنوان یک روش غیرمخرب توانایی بسیار بالایی برای ارائه مدلی به منظور ارزیابی مقدار مواد جامد قابل حل پرتقال رقم تامسون دارد. به‌عبارت دیگر مقدار مشخصه TSS را می‌توان با استفاده از طیف‌سنجی Vis-NIR و اعمال پیش‌پردازش ترکیبی فیلتر میانه به همراه تصحیح پراکنش افزاینده با دقت خوب (SDR=۴/۸۶۷،  $r_p=0/۹۸۳$ ، RMSEP=۰/۱۹) پیش‌بینی کرد. علاوه بر این pH نمونه‌های پرتقال را نیز می‌توان به



- Jajromi A, Taghi Zadeh M, Sazgar Nia A, Behzad K. (2015). Application of preprocessing techniques for visible/near infrared spectroscopy data in developing a model for the prediction of soluble solid and acidity of lime. *FSCT*, 13 (53):103-112.
- Jamshidi, B. (2020). The Role Of Spectroscopy As An Optical Non-Destructive Technology In Development Of Smart Agriculture. *Non-destructive Testing Technology*, 2(5): 83-92.
- Jamshidi, B., Minaei, S., Mohajerani, E., & Ghassemian, H. (2012a). Reflectance Vis/NIR spectroscopy for non-destructive taste characterization of Valencia oranges. *Computers and Electronics in Agriculture*, 85: 64-69.
- Jamshidi, B., Minaee, S., & Mohajerani, A. (2012b). Vis / NIR spectroscopy for non-destructive classification of oranges by variety, The 7th National Congress on Agr. Machinery Eng. (Biosystem) & Mechanization of Iran, Iran. (In Persian).
- Jamshidi, B., Minaei, S., Mohajerani, E., & Ghassemian, H. (2013). *Linear multivariate model based on NIR spectroscopy for non-destructive internal quality prediction of orange*. Paper presented at the 19th Iranian Conference on Optics and Photonics, and 5th Iranian Conference on Photonics Engineering, Zahedan, Iran. (In Persian).
- Jamshidi, B., Minaei, S., Mohajerani, E., & Ghassemian, H. (2014). Effect of Spectral Pre-Processing Methods on Non-Destructive Quality Assessment of Oranges Using NIRS. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 15(2): 27.
- Lee, K. J., Kim, G. Y., Kang, S. W., Son, J. R., Choi, D. S., & Choi, K. H. (2004). *Measurement of sugar contents in citrus using near infrared transmittance*. Paper presented at the Key Engineering Materials.
- Liu, Y., Sun, X., Zhang, H., & Aiguo, O. (2010). Non-destructive measurement of internal quality of Nanfeng mandarin fruit by charge coupled device near infrared spectroscopy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 71: S10-S14.
- Najjar, K., & Abu-Khalaf, N. (2021). Non-Destructive Quality Measurement for Three Varieties of Tomato Using VIS/NIR Spectroscopy. *Sustainability*, 13(19): 10747.
- Ncama, K., Opara, U. L., Tesfay, S. Z., Fawole, O. A., & Magwaza, L. S. (2017a). Application of Vis/NIR spectroscopy for predicting sweetness and flavour parameters of 'Valencia' orange (*Citrus sinensis*) and 'Star Ruby' grapefruit (*Citrus x paradisi Macfad*). *Journal of Food Engineering*, 193: 86-94.
- Alsina, D., Nescier, I., Santini, Z., Gariglio, N., & Cives, H. (2012). Physicochemical properties of orange fruit cultivated at the central-east area of Santa Fe province (Argentina). *Horticultura Argentina*, 31(74): 18-23.
- Antonucci, F., Pallottino, F., Paglia, G., Palma, A., D'Aquino, S., & Menesatti, P. (2011). Non-destructive estimation of mandarin maturity status through portable VIS-NIR spectrophotometer. *Food and Bioprocess Technology*, 4(5): 809-813.
- Cayuela, J. A. (2008). Vis/NIR soluble solids prediction in intact oranges (*Citrus sinensis* L.) cv. Valencia Late by reflectance. *Postharvest Biology and Technology*, 47(1): 75-80.
- Cayuela, J. A., & Weiland, C. (2010). Intact orange quality prediction with two portable NIR spectrometers. *Postharvest Biology and Technology*, 58(2): 113-120.
- Cen, H., Bao, Y., He, Y., & Sun, D.-W. (2007). Visible and near infrared spectroscopy for rapid detection of citric and tartaric acids in orange juice. *Journal of Food Engineering*, 82(2): 253-260.
- Cen, H., He, Y & . Huang, M. (2006). Measurement of soluble solids contents and pH in orange juice using chemometrics and vis- NIRS. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(20): 7437-7443.
- Chen, L., & Opara, U. L. (2013). Texture measurement approaches in fresh and processed foods — A review. *Food Research International*, 51(2): 823-835.
- Chen, P., & Nattuvetty, V. (1980). Light transmittance through a region of an intact fruit. *Transactions of the ASAE*, 23(2): 519-522
- Choudhary, R., Bowser, T., Weckler, P., Maness, N., & McGlynn, W. (2009). Rapid estimation of lycopene concentration in watermelon and tomato puree by fiber optic visible reflectance spectroscopy. *Postharvest Biology and Technology*, 52(1): 103-109.
- Gómez, A. H., He, Y., & Pereira, A. G. (2006). Non-destructive measurement of acidity, soluble solids and firmness of Satsuma mandarin using Vis/NIR-spectroscopy techniques. *Journal of Food Engineering*, 77(2): 313-319.
- Huishan, L., Yibin, Y., Huanyu, J., Yande, L., Xiaping, F., & Wang, J. (2005). *Application Fourier transform near infrared spectrometer in rapid estimation of soluble solids content of intact citrus fruits*. Paper presented at the 2005 ASAE Annual Meeting.

- varieties. *Journal of Food Engineering*, 66(4): 519-523.
- Xia, J. F., Li, X. Y., Li, P. W., Qian, M., & Ding, X. X. (2007). Application of wavelet transform in the prediction of navel orange vitamin C content by near-infrared spectroscopy. *Agricultural Sciences in China*, 6(9): 1067-1073.
- Zhan, B., Xiao, X., Pan, F., Luo, W., Dong, W., Tian, P., & Zhang, H. (2021). Determination of SSC and TA content of pear by Vis-NIR spectroscopy combined CARS and RF algorithm. *International Journal of Wireless and Mobile Computing*, 21(1): 41-51.
- Ncama, K., Opara, U. L., Tesfay, S. Z., Fawole, O. A., & Magwaza, L. S. (2017b). Application of Vis/NIR spectroscopy for predicting sweetness and flavour parameters of 'Valencia' orange (*Citrus sinensis*) and 'Star Ruby' grapefruit (*Citrus x paradisi* Macfad). *Journal of Food Engineering*, 193: 86-94.
- Nicolai, B. M., Beullens, K., Bobelyn, E., Peirs, A., Saeys, W., Theron, K. I., & Lammertyn, J. (2007). Non-destructive measurement of fruit and vegetable quality by means of NIR spectroscopy: A review. *Postharvest Biology and Technology*, 46(2): 99-118.
- Rafiee, A., Minaee, S., & Jamshidi, B. (2016a). Measurement of lemongrass vitamin C using near infrared spectroscopy, The 10th National Congress on Agr. Machinery Eng. (Biosystem) & Mechanization of Iran, Iran. (In Persian).
- Rafiee, A., Minaee, S., Jamshidi, B., & Khoshtaghaza, M. (2016b). Moisture measurement of sweet lemon using near infrared spectroscopy. *The 10th National Congress on Agr. Machinery Eng. (Biosystem) & Mechanization of Iran*, Iran. (In Persian).
- Sánchez, M.-T., De la Haba, M.-J., & Pérez-Marín, D. (2013). Internal and external quality assessment of mandarins on-tree and at harvest using a portable NIR spectrophotometer. *Computers and electronics in agriculture*, 92: 66-74.
- Sharifi, M., Rafiee, S., Keyhani, A., Jafari, A., Mobli, H., Rajabipour, A., & Akram, A. (2007). Some physical properties of orange [var. Tompson]. *International Agrophysics*, 21(4): 391-397.
- Shen, M., Li, H., Zhang, B., Zhang, M., Pu, Y., Chen, A., & Zhao, J. (2021). *Study on Quality Model of Apple During Controlled Atmosphere Storage Based on VIS/NIR Spectroscopy*. Paper presented at the 2021 ASABE Annual International Virtual Meeting, St. Joseph, MI. <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=52378&t=5>
- Shravan, R., Shere, D., & Joshi, M. (2018). Study of physico-chemical characteristics of sweet orange (*Citrus sinensis*) fruit. *Journal Pharmacogn. Phytochem*, 7(6): 1687-1689.
- Teerachaichayut, S., & Ho, H. T. (2017). Non-destructive prediction of total soluble solids, titratable acidity and maturity index of limes by near infrared hyperspectral imaging. *Postharvest Biology and Technology*, 133: 20-25.
- Topuz, A., Topakci, M., Canakci, M., Akinci, I., & Ozdemir, F. (2005). Physical and nutritional properties of four orange

## ارزیابی تأثیر رطوبت و نوع کمباین برداشت بر افت‌های کمی و کیفی برنج رقم چمپا

نعیم لویمی<sup>۱\*</sup>، محسن سلیمانی<sup>۲</sup> و محمد جواد به‌وندی<sup>۳</sup>

### چکیده

برنج یکی از مهم‌ترین محصولات تابستانه است که طی چند سال اخیر توسط کمباین‌هایی با مکانیزم‌های متفاوت برداشت می‌شود. در این تحقیق میزان تلفات کمی و کیفی برنج رقم چمپا در شهرستان رامهرمز به وسیله کمباین‌های مختلف در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی به روش کرت‌های یک بار خرد شده مورد ارزیابی قرار گرفت. کرت‌های اصلی شامل مقادیر رطوبت محصول در هنگام برداشت در سه سطح ۱۹-۲۱، ۲۱-۲۳ و ۲۳-۲۵ درصد، و کرت‌های فرعی شامل نوع کمباین در چهار سطح کمباین غلات دارای کوبنده سوهانی، کمباین غلات دارای کوبنده دندان‌میخی، کمباین برنج مدل ورلد دارای کوبنده دندان‌میخی و کمباین برنج مدل چری دارای کوبنده دندان‌میخی بودند. نتایج نشان داد که تلفات کمی و کیفی تحت تأثیر معنی‌دار رطوبت قرار گرفت. از نظر رطوبتی، کمترین و بیشترین تلفات کمی به ترتیب با مقدار ۳/۶۰ درصد در رطوبت ۲۱-۲۳ و مقدار ۳/۸۷ درصد در رطوبت ۱۹-۲۱ درصد اتفاق افتاد. همچنین کمترین و بیشترین تلفات کیفی به ترتیب با مقدار ۱/۳۷ درصد در رطوبت ۲۳-۲۵ درصد و ۳/۰۱ درصد در رطوبت ۱۹-۲۱ درصد مشاهده شد. طبق نتایج، تمام اجزای مختلف تلفات کمی، به جز قسمت هد کمباین و نیز تمام اجزای مختلف تلفات کیفی، تحت تأثیر معنی‌دار نوع کمباین‌ها قرار گرفت. کمترین و بیشترین مقادیر افت کمی به ترتیب متعلق به کمباین برنج مدل ورلد با ۲/۹۷ درصد و کمباین غلات با کوبنده سوهانی با ۴/۸۳ درصد بود. همچنین از نظر افت کیفی، کمترین و بیشترین مقادیر به ترتیب به کمباین برنج مدل چری با ۱/۳۲ درصد و کمباین غلات با کوبنده سوهانی با ۳/۹۹ درصد تعلق داشت.

**واژه‌های کلیدی:** افت کمی، افت کیفی، برنج رقم چمپا، کوبنده سوهانی، کوبنده میخی.

ارجاع: لویمی ن. سلیمانی م. و به‌وندی م. ج. ۱۴۰۱. ارزیابی تأثیر رطوبت و نوع کمباین برداشت بر افت‌های کمی و کیفی برنج رقم چمپا. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۷۷-۹۰. ۲۵: ۱۰۲۱۹-۵۶۸. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10219.568>

۱- استادیار پژوهش، بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خوزستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اهواز.

۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.

\* نویسنده مسئول: [n1584m@yahoo.com](mailto:n1584m@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۳۰

## مقدمه

غذای اصلی دو میلیارد انسان از برنج تأمین می‌شود. همچنین پروتئین مورد نیاز ۴۰ تا ۷۰ درصد کل مردم قاره آسیا از محصول برنج است (Datta, 2004). یکی از مهم‌ترین مسائل تولید محصول برنج، تلفات در هنگام برداشت آن است. افت برداشت برنج با توجه به سطح زیر کشت آن می‌تواند خسارات زیادی به کشاورزان و اقتصاد هر کشور وارد نماید. مطالعات مختلفی در نواحی و کشورهای مختلف، مخصوصاً در کشورهای آسیایی بر روی میزان افت برداشت دانه برنج انجام شده است و با توجه به نواحی جغرافیایی، نوع واریته و روش‌های برداشت، میزان افت نیز متفاوت بوده است. حتی در یک ناحیه، در فصول مختلف نیز، میزان افت متفاوت بوده است. برای مثال، در مصر، افت برداشت به وسیله کمباین بین ۱/۳۵ تا ۲/۴۹ درصد و در هند بین ۲/۸۸ تا ۳/۶ متغیر است. همچنین حداقل افت بوسیله کمباین در چین ۱/۲۳ و در بنگلادش این مقدار برابر با ۱/۶۱ بوده، در حالی که افت برداشت به وسیله دست همراه با کوبش سنتی آن در این دو کشور به ترتیب ۵/۵ و ۶/۹۵ درصد گزارش شده است (Qu et al., 2021).

امروزه در کشور ما برداشت محصولات و خصوصاً برنج به دلیل مشقت‌ها و نیز وجود فناوری، از حالت سنتی و غیرمکانیزه با دست، و یا نیمه‌مکانیزه به شکل برداشت با دست و جدایش با ماشین، به شکل کاملاً مکانیزه تغییر یافته است. علاوه بر استفاده از کمباین‌های رایج غلات، کمباین‌های مخصوص برداشت برنج نیز چندین سال است که در مزارع برنج کشور به کار گرفته می‌شوند. قسمت کوبنده در کمباین‌های غلات به دو شکل دندان میخی و سوهانی است، در حالی که همه کمباین‌های برنج دارای کوبنده میخی هستند.

افت دانه در برداشت با کمباین به عوامل زیادی وابسته است. این عوامل شامل سرعت پیشروی کمباین، نسبت مواد غیر از دانه (کاه و کلش) به دانه، محتوی رطوبتی، سرعت دورانی کوبنده و فاصله بین کوبنده و ضد کوبنده است (Hasan et al., 2019; Andrews et al., 1993). در یک مطالعه روی کمباین برداشت برنج، نرخ تغذیه مواد مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر میزان افت بیان شد (Andrews et al., 1993). همچنین نسبت مواد غیر از دانه (کاه و کلش) به دانه، دومین عامل تأثیرگذار بود. در مورد

اجزای افت، هد کمباین بیش از ۵۰ درصد از کل تلفات را به خود اختصاص داد (Zareei & Abdollahpour, 2016). شاخص سرعت چرخ‌فلک (نسبت سرعت محیطی چرخ فلک به سرعت پیشروی کمباین برداشت)، ارتفاع برش محصول و فاصله افقی و عمودی چرخ و فلک از شانه برش از عوامل مؤثر در افت هد کمباین بیان شده است (Zareei & Abdollahpour, 2016). میزان افت دانه همچنین با طول عمر کمباین و همچنین تنظیمات قسمت‌های مختلف نیز در ارتباط است. طبق نتایج مطالعه (Reşat et al., 2016)، افت محصول در طول عمرهای مختلف کمباین از ۶/۶۷ درصد تا ۹/۲۳ درصد متغیر بود. نتایج این مطالعه نشان داد که عمر کمباین مستقیماً بر افت مؤثر نیست، بلکه عواملی مانند تنظیم و نگهداری کمباین، مهارت اپراتور، عملکرد محصول و شرایط مزرعه بر میزان افت تأثیر می‌گذارد.

مطالعه‌ای با هدف بررسی سرعت واقعی کمباین برنج و تأثیر آن بر دانه از دست رفته در سطح مزرعه در مالزی انجام شد. یافته‌های این مطالعه نشان داد که سرعت پیشروی کمباین در برداشت برنج در شرایط شالیزارهای مالزی از ۳/۸۷ تا ۶/۱۱ کیلومتر در ساعت متغیر است. در حالی که بهترین سرعت مزرعه ۳/۸۷ کیلومتر در ساعت بود، چرا که افت دانه در این سرعت تنها ۰/۶۷ درصد و معادل ۱/۹۶ دلار در هکتار بود. همچنین افت دانه یک رابطه خطی را با سرعت مزرعه‌ای نشان داد (Mokhtor et al., 2020).

عملکرد مزرعه‌ای پنج روش مختلف برداشت برنج شامل سه روش برداشت غیرمستقیم از جمله برداشت دستی + کوبیدن توسط خرمن‌کوب، درو با دروگر برنج + خرمن‌کوبی با خرمن‌کوب متصل به تراکتور، درو با دروگر برنج + خرمن‌کوبی توسط کمباین متداول مجهز به هد بردارنده و دو روش برداشت مستقیم بوسیله کمباین برنج تغذیه شونده (فقط عمل کوبش) و کمباین کامل برنج مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که حداکثر و حداقل ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای به ترتیب مربوط به کمباین کامل با ۰/۳۶۱ هکتار در ساعت، و برش دستی با ۰/۰۰۹ هکتار در ساعت بود. متوسط تلفات کمی در برداشت غیرمستقیم و برداشت مستقیم به ترتیب ۲/۵۸ درصد و ۲/۳۳ درصد اندازه‌گیری شد که از نظر آماری معنی‌دار نبودند. همچنین میانگین تلفات کیفی (دانه‌های شکسته،

در نهایت محققین مؤسسه ملی آزمون ماشین‌های کشاورزی ژاپن حداکثر مجاز شکستگی دانه برنج برای تأیید مراحل آزمون یک ماشین برداشت را ۱ درصد اعلام کرده‌اند (Masato, 1980).

رطوبت موجود در محصول از جمله عوامل مؤثر بر عملکرد کوبش محصول است. نتایج یک تحقیق نشان داد که عمل کوبش برنج باید در شرایط مناسب رطوبتی انجام گیرد، در غیر این صورت تلفات حاصل ممکن است تا ۵ درصد افزایش یابد (Araullo *et al.*, 1976). این تلفات هم در زمان برداشت و هم در عملیات تبدیل شلتوک به برنج در کارخانه‌های شالیکوبی اثر می‌گذارد. به عبارتی نارس و سبز بودن محصول در مقابل خشک و رسیده بودن بیش از حد آن در راندمان برداشت و نیز شالیکوبی تأثیر مستقیمی دارد.

به نظر می‌رسد با توجه به اختلاف مکانیزم کوبنده‌ها در مرحله کوبش محصول و نوع ضربه‌های وارده به شلتوک و نیز تفاوت میزان رطوبت محصول در هنگام برداشت، میزان افت برداشت در روش‌های مختلف برداشت متفاوت باشد. لذا ارزیابی دقیق مکانیزم‌های برداشت خصوصاً کوبش در کمباین‌ها می‌تواند بطور مؤثری در انتخاب روش مناسب با حداقل افت برداشت محصولات کمک نماید. این مطالعه با هدف بررسی میزان تلفات کمی و کیفی در کمباین‌های سنتی غلات با کوبنده‌های متفاوت (کوبنده‌های سوهانی و میخی) و نیز کمباین‌های مخصوص برنج، در رطوبت‌های مختلف محصول، پایه‌ریزی شده تا مناسب‌ترین روش و رطوبت برای برداشت برنج ارائه گردد.

#### مواد و روش‌ها

##### روش اجرای آزمایش

این تحقیق در قالب طرح بلوک‌های کاملاً تصادفی و به روش کرت‌های یک بار خرد شده و در سه تکرار، در پاییز سال ۱۳۹۹ در شهرستان رامهرمز اجرا شد. در واقع به دلیل نیاز به زمین آزمایش نسبتاً بزرگ برای انجام عملیات برداشت توسط کمباین‌ها و نیز کوچک بودن قطعات زراعی منطقه، از سه مزرعه کنار هم برای اجرای این تحقیق استفاده گردید و هر یک از مزارع به عنوان یک بلوک در نظر گرفته شد. تمام عملیات تهیه زمین، آبیاری، تغذیه و کنترل علف‌های هرز سه مزرعه مشترک بود. روش کشت به صورت نشاء کاری، و با توجه به شرایط

پوسته پوسته و ترک خورده) برای برداشت غیرمستقیم ۲/۳۰ درصد و برای برداشت مستقیم ۰/۶۱ درصد بود. روش برداشت به طور معنی‌داری بر درصد برنج شکسته تأثیر گذاشت و از نظر کاهش تلفات، استفاده از کمباین برنج نسبت به روش‌های برداشت غیرمستقیم اولویت داشت (Alizadeh & Allameh, 2013).

در مطالعه دیگر کیفیت برداشت در کشور مالزی با کمباین‌هایی با اندازه معمولی، کمباین نیوهلند مرسوم منطقه با عرض کار ۵ متر، اندازه متوسط، کمباین ورلد استار با عرض ۲/۲ متر، براساس میزان ریزش در هنگام برداشت و نیز کیفیت دانه جمع‌آوری شده در مخزن دانه، دانه تمیز و کوبیده نشده، پس از عملیات برداشت برنج ارزیابی شد (Mairghany *et al.*, 2018). عملیات برداشت برنج در زمین‌های زراعی کشاورزان با مساحت تقریباً ۳۰ هکتار برای کمباین معمولی و حدود ۱۷ هکتار برای کمباین متوسط انجام شد. کیفیت دانه‌های کوبیده شده با توجه به درصد و وزن کل دانه‌های سالم، دانه‌های شکسته یا آسیب دیده، مواد خارجی و دانه‌های پوک بیان شد. براساس مخزن دانه، در کمباین اندازه متوسط، میانگین دانه‌های کوبیده نشده، ۰/۴۹ درصد بیشتر و میزان دانه‌های شکسته، مواد خارجی و دانه‌های پوک به ترتیب به میزان ۶۳، ۸۹ و ۴۶ درصد کمتر از کمباین اندازه معمولی بود. از نظر ریزش پس از برداشت، نتایج نشان داد که میانگین کل افت دانه در کمباین اندازه متوسط ۶۷ درصد کمتر و میانگین تلفات دانه و خوسه افتاده به ترتیب ۷۴ و ۵۰ درصد کمتر از کمباین معمولی بود.

نتایج یک تحقیق نشان داد اختلاف میزان ضایعات ارقام مختلف برنج متأثر از مرحله برداشت و خرمن‌کوبی است و اختلاف معنی‌داری بین ضایعات ارقام در زمان خشک کردن و تمیزکردن وجود نداشت (Hou, 1989). نتایج یک تحقیق دیگر نشان داد که متوسط تلفات کوبش برنج در بنگلادش چیزی حدود ۴ درصد و ارزشی برابر ۳۰۰ میلیون دلار داشت که این میزان می‌تواند ۵ میلیون نفر را در طول یک سال تغذیه کند (Miah, 1994). همچنین طبق نتایج تحقیقات دیگر حداکثر تلفات مجاز کوبنده‌ها، ۱ درصد اعلام شده (Hunt, 1983; Srivastava *et al.*, 1993) و برای کل قسمت‌های مختلف کمباین غلات مقدار مجاز افت، ۳ الی ۵ درصد است (Mansouri-Rad, 1993).

استاندارد و نیز انجام صحیح و بدون مشکل عملیات برداشت صورت گرفت. به عبارت دقیق‌تر کلیه تنظیمات مربوط به سرعت محیطی چرخ و فلک، سرعت کوبنده، فاصله کوبنده و ضد کوبنده، فاصله هلیس و کف، سرعت پیشروی و سایر تنظیمات، براساس برگه اطلاعات و راهنمای هر دستگاه انجام گرفت و با توجه به شرایط برداشت در رطوبت‌های مختلف، هر یک از تنظیمات مذکور براساس نظر رانندگان خبره کمباین‌ها مقداری تغییر داده شد تا محصول در بخش‌های مختلف کمباین‌ها گیر نکند و عملیات برداشت بدون مشکل صورت گیرد.

برای اندازه‌گیری درصد رطوبت دانه از دستگاه رطوبت‌سنج قابل حمل دانه استفاده گردید. برای اطمینان از صحت کار دستگاه رطوبت‌سنج طبق روش استاندارد (Chen, 2003) نمونه‌ای از محصول پس از توزین، به آزمایشگاه منتقل شده و به مدت ۷۲ ساعت در دمای ۱۰۵ درجه سلسیوس در آن نگه داشته شد و سپس دوباره وزن گردید. تفاوت این دو وزن بر حسب وزن اولیه، درصد رطوبت بر پایه تر را نشان می‌دهد.

بعد از رسیدن فصل برداشت برنج در منطقه، در آبان ماه، رطوبت دانه محصول با آزمایش روزانه به وسیله دستگاه رطوبت‌سنج در حداقل ۱۰ تکرار و محاسبه میانگین آنها محاسبه شد. عملیات برداشت هر سطح رطوبتی نیز در صورت قرار گرفتن میانگین رطوبت در محدوده رطوبتی آن سطح بلافاصله در همان روز به وسیله کمباین‌های مختلف آزمایش، انجام گردید. فاصله زمانی برداشت بین سطوح رطوبتی با توجه به شرایط آب و هوایی متفاوت بود. در این آزمایش با توجه به عدم وقوع بارندگی و شرایط دمایی، فاصله برداشت بین سطح رطوبت ۲۳-۲۵ و ۲۱-۲۳ درصد، سه روز، و فاصله برداشت بین سطح رطوبت ۲۱-۲۳ و ۱۹-۲۱ درصد، دو روز بود.

شاخص‌های اندازه‌گیری شده میزان تلفات کمی شامل ریزش دانه و خوشه در جلوی کمباین‌ها (افت هد)، تلفات مربوط به افت دانه جدا نشده از کاه (واحد کوبنده) و ریزش دانه (واحد جدایش: کاه‌پران، الک‌ها و پنکه باد) و نیز تلفات کیفی شامل درصد شکستگی و لب‌پر شدن دانه شلتوک پس از برداشت بودند. همچنین ظرفیت مزرعه‌ای

مرسوم منطقه بدون عمیات پادلینگ انجام شد. رقم انتخابی برنج، رقم چمپا بود که کشت آن در منطقه رایج است. کرت‌های اصلی میزان رطوبت محصول در هنگام برداشت شامل رطوبت ۲۱-۱۹ درصد، رطوبت ۲۳-۲۱ درصد و رطوبت ۲۳-۲۵ درصد و کرت‌های فرعی نوع کمباین شامل کمباین غلات جان‌دیر ۹۵۵ مجهز به کوبنده سوهانی<sup>۱</sup>، کمباین غلات جان‌دیر ۹۵۵ مجهز به کوبنده دندان‌میخی<sup>۲</sup>، کمباین برنج مدل ورلد<sup>۳</sup> با کوبنده دندان‌میخی و کمباین برنج مدل چری<sup>۴</sup> با کوبنده دندان‌میخی بودند (شکل ۱). رطوبت مناسب برداشت برنج بین ۲۰ تا ۲۵ درصد توصیه شده که محدوده دقیق‌تر آن براساس منطقه و رقم متفاوت است (IRRI, 2013). برای مثال میزان قابل قبول رطوبت در هنگام برداشت، برای ارقام دانه بلند، ۱۹-۲۲ و برای ارقام دانه متوسط ۲۲-۲۴ درصد، ذکر گردیده است (Siebenmorgen et al., 2006). لذا با توجه به رقم چمپای مورد ارزیابی که رقم دانه متوسط بوده و لزوم برداشت برنج در محدوده حداقل و حداکثر توصیه شده، سه محدوده رطوبتی مذکور مورد بررسی قرار گرفتند. هر کرت به ابعاد ۵ در ۳۰ متر در نظر گرفته شد. عرض هر کرت با توجه به عرض کمباین و با لحاظ حاشیه جانبی، و طول آن به دلیل به ثبات رسیدن کمباین از نظر ورودی محصول انتخاب شد. نمونه‌گیری‌ها نیز از قسمت نزدیک به انتهای هر کرت انجام گردید. در این تحقیق از کمباین‌هایی که طول عمر کمتر از ۵ سال داشته و از نظر فنی سالم بوده استفاده شد. اختلاف عمده کمباین‌ها از نظر مشخصات فنی در این پروژه در بخش کوبنده آنها است. کمباین‌های سنتی غلات در دو نوع کوبنده سوهانی و میخی بوده که در این تحقیق از هر دوی آنها استفاده شد. کمباین‌های برنج هر یک دارای دو کوبنده دندان‌میخی (پیش‌کوبنده و کوبنده اصلی) بوده و علت انتخاب دو مدل ورلد و چری به دلیل گستردگی استفاده از این دو مدل در منطقه و نیز تفاوت آنها از نظر قدرت موتور و مشخصات ابعادی کوبنده‌های آنها بود (جدول ۱).

ارتفاع برش هنگام برداشت ۲۰ تا ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و تنظیمات کمباین‌ها براساس دو عامل توصیه

1- Raspbar  
2- Spike type  
3- World model  
4- Chery

کمباین‌ها نیز اندازه‌گیری شد. در نهایت مقایسه میانگین‌ها به روش آزمون چند دامنه‌ای دانکن و در محیط نرم‌افزار

MSTATC نسخه ۴ انجام شد.



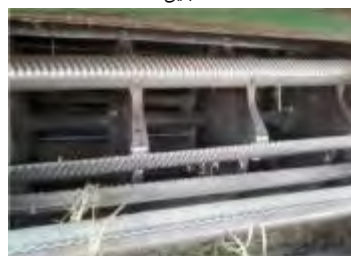
ب- کمباین برنج



الف- کمباین غلات



د- کوبنده میخی کمباین غلات



ج- کوبنده سوهانی کمباین غلات



و- کوبنده میخی کمباین برنج مدل چری



ه- کوبنده میخی کمباین برنج مدل ورد

شکل ۱- کمباین‌ها و کوبنده‌های مختلف مورد ارزیابی

محصول نگردد.

مجدداً عمل انداختن قاب این بار در پشت کمباین (بعد از انجام عملیات برداشت) و در کناره‌هایی از پشت کمباین که بقایا وجود ندارد، تکرار گردید و میزان دانه و خوشه‌های قرار گرفته درون قاب وزن گردید. این عمل همانند قبل برای هر کرت سه بار تکرار و میانگین آنها محاسبه شد. با توجه به این، افت هد کمباین براساس معادله (۱) محاسبه گردید (Alizadeh & Allameh, 2013).

$$L_H = \frac{W_2 - W_1}{Y} \times 100 \quad (1)$$

در این معادله  $L_H$  افت هد کمباین (درصد)،  $W_1$  وزن دانه و خوشه‌های درون قاب قبل از برداشت (کیلوگرم در هکتار)،  $W_2$  وزن دانه و خوشه‌های درون قاب بعد از برداشت (کیلوگرم در هکتار) و  $Y$  عملکرد کرت مورد مطالعه (کیلوگرم در هکتار) است.

روش اندازه‌گیری شاخص‌ها

افت کمی:

الف- افت هد کمباین

در همه اندازه‌گیری‌های مربوط به افت‌های کمی ابتدا عملکرد دانه هر کرت براساس انداختن تصادفی سه بار قاب یک متر در یک متری به صورت تصادفی برآورد شد. افت هد کمباین از تفاوت میزان دانه و خوشه‌های افتاده در زیر یک قاب یک در یک متری در بعد و قبل از برداشت محاسبه می‌شود. بدین صورت که دانه و خوشه‌های ریخته شده روی زمین، قبل از برداشت محصول، با انداختن قاب جمع‌آوری و وزن شد. این عمل در سه تکرار و به صورت تصادفی انجام گردید و میانگین وزن هر سه بار، در هر کرت، به عنوان تلفات طبیعی آن کرت در نظر گرفته شد. در این مرحله دقت شد که انداختن قاب به گونه‌ای باشد که خود باعث ریزش

جدول ۱- مشخصات کمباین‌های مورد استفاده در تحقیق

مشخصات کوبنده اصلی	مشخصات پیش کوبنده	تعداد و نوع کوبنده	عرض کار مفید (متر)	توان موتور (اسب بخار)	نوع کمباین
طول ۱۰۲ سانتی‌متر، ۸ ردیف نبشی سوهانی در محیط کوبنده، عرض هر نبشی ۱۲ سانتی‌متر	-	یک واحد کوبنده سوهانی	۳/۲	۱۲۰	غلات جان‌دیر ۹۵۵
طول ۱۰۲ سانتی‌متر، ۸ ردیف انگشت (میخ) در محیط کوبنده، ۱۶ انگشت در هر ردیف	-	یک واحد کوبنده میخی	۳/۲	۱۲۰	غلات جان‌دیر ۹۵۵
طول ۱۳۵ سانتی‌متر، ۶ ردیف انگشت (میخ) در محیط کوبنده، ۱۸ انگشت در هر ردیف	طول ۹۴ cm، ۶ ردیف انگشت (میخ) در محیط کوبنده، ۱۲ انگشت در هر ردیف	یک واحد پیش کوبنده میخی و یک واحد کوبنده میخی	۲/۲	۱۱۰	برنج مدل ورلد
طول ۱۳۰ سانتی‌متر، ۶ ردیف انگشت (میخ) در محیط کوبنده، ۱۶ انگشت در هر ردیف	طول ۶۰ cm، ۶ ردیف انگشت (میخ) در محیط کوبنده، ۸ انگشت در هر ردیف	یک واحد پیش کوبنده میخی و یک واحد کوبنده میخی	۲/۲	۱۰۰	برنج مدل چری

### ب- افت دانه‌های جدا شده (ریزش دانه)

برای اندازه‌گیری افت دانه جدا شده یا ریزش، از روش سینی سر پوشیده استفاده شد. بدین ترتیب که طول سینی، یک متر (طول در راستای مسیر برداشت محصول)، و عرض آن کمی بیشتر از عرض خروجی کمباین (۱/۲ متر) بوده به نحوی که تمام بقایای خارج شده از پشت کمباین در داخل سینی بریزد، در نظر گرفته شد. این سینی در عین حرکت کمباین و انجام عملیات برداشت، در پشت کمباین و قبل از افتادن بقایا، به زیر کمباین انداخته می‌شود بطوری که بقایا کاملاً روی آن بریزد. در واقع افت دانه جدا شده هر کمباین مربوط به دانه‌های کوبیده شده و جدا شده از خوشه است که عمل جدایش آنها توسط کاه‌پران صورت نگرفته و در میان بقایا مانده‌اند. همچنین بخش کوچکی از این ریزش ناشی باد پنکه کمباین است که با توجه به تنظیمات مداوم جهت و مقدار باد، این مقدار به حداقل رسیده است. لذا با تکان دادن بقایای افتاده روی سینی و جدا کردن دانه‌ها از بقایا، این دانه‌ها وزن گردیده و براساس معادله (۲) محاسبه شد (Loveimi et al., 2008).

$$L_C = \frac{W_3}{Y} \times 100 \quad (2)$$

در این معادله  $L_C$  افت دانه‌های جدا شده (درصد)،  $W_3$  وزن دانه‌های درون بقایای روی سینی (کیلوگرم در هکتار) و  $Y$  عملکرد کرت مورد مطالعه (کیلوگرم در هکتار) است.

### ج- افت دانه جدا نشده

افت دانه جدا نشده (کوبیده نشده) و چسبیده به خوشه هر کمباین همانند دانه‌های جدا شده و به وسیله سینی سر پوشیده محاسبه شد. افت دانه جدا نشده هر کمباین مربوط به دانه‌های کوبیده نشده و چسبیده به خوشه است که عمل کوبش روی آنها صورت نگرفته و با بقایا از کمباین خارج شدند. لذا با جدا کردن خوشه‌های کوبیده نشده و نیم‌کوب شده درون بقایای افتاده روی سینی و کوبیدن و توزین آنها، براساس معادله (۳)، این افت محاسبه گردید (Loveimi et al., 2008).

$$L_D = \frac{W_4}{Y} \times 100 \quad (3)$$

در این معادله  $L_D$  افت دانه‌های جدا نشده هر کمباین (درصد)،  $W_4$  وزن دانه‌های مربوط به خوشه‌های کوبیده نشده و نیم‌کوب‌شده در بین بقایای ریخته‌شده روی سینی (کیلوگرم در هکتار) و  $Y$  عملکرد کرت مورد مطالعه (کیلوگرم در هکتار) است.

### د- افت کمتی کل

از مجموع افت هد کمباین، افت دانه جدا شده و افت دانه جدا نشده، افت کمتی کل هر کمباین طبق معادله (۴) محاسبه شد (Loveimi et al., 2008).

$$L = L_H + L_C + L_D \quad (4)$$

در این معادله  $L$  افت کمتی کل کمباین (درصد) است.



**افت کیفی**

دانه‌های شکسته و افت دانه‌های لب‌پر شده براساس معادله (۷) به دست آمد (Loveimi et al., 2008).

$$S = Sa + Sb \quad (۷)$$

در این معادله S: افت کل کیفی (درصد)، Sa: افت دانه‌های شکسته (درصد) و Sb: افت دانه‌های لب‌پر شده (درصد) است.

**ظرفیت زراعی**

برای محاسبه ظرفیت زراعی، زمان انجام عملیات برداشت برای مساحت مشخصی خارج از زمین آزمایش (مساحت حداقل یک هکتار) توسط هر کمباین یادداشت شد و ظرفیت زراعی هر کمباین براساس معادله (۸) محاسبه گردید (Almassi et al., 2015).

$$C = \frac{A}{T} \quad (۸)$$

در این معادله C ظرفیت زراعی هر کمباین (هکتار در ساعت)، A مساحت مشخص برداشت شده (هکتار) و T کل زمان صرف شده برای برداشت مساحت مشخص شده (ساعت) است.

**نتایج و بحث****افت کمی****افت هد برداشت**

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افت مربوط به هد کمباین‌های مورد ارزیابی در اثر رطوبت معنی‌دار بود ولی نوع کمباین برداشت و نیز اثر متقابل رطوبت و نوع کمباین بر افت هد، اثر معنی‌داری نداشتند (جدول ۲). از نظر رطوبت، کمترین و بیشترین افت هد کمباین به ترتیب به رطوبت ۲۵-۲۳ درصد با ۱/۱۷ درصد و رطوبت ۲۱-۱۹ درصد با ۲/۴۴ درصد تعلق داشت. همچنین کمباین‌ها از نظر افت هد در یک سطح قرار گرفتند اما بطور نسبی، کمباین غلات با کوبنده دندان میخی با ۱/۷۷ درصد، کمترین، و کمباین برنج مدل ورلد با ۱/۸۴ درصد، بیشترین مقادیر را داشتند (جدول ۳). تأثیر رطوبت بر افت هد موضوعی است که به میزان قدرت اتصال خوشه به ساقه و نیز دانه به خوشه مرتبط است. در عموم محصولات کشاورزی در رطوبت بالا این اتصال قوی بوده و با روند خشک شدن این اتصال کم می‌شود (Boz et al., 2012; Yaoming et al., 2007) و به عبارتی زمان برداشت فرا

افت کیفی برداشت توسط کمباین‌ها مربوط به میزان شکستگی دانه در هنگام برداشت است و منابع (Alizadeh & Allameh, 2013; Loveimi et al., 2008) مقادیر شکستگی، چه شکسته کامل و چه صدمه جزئی از کناره‌ها را جزو افت کیفی حساب نموده‌اند. در این تحقیق برای بررسی بیشتر، این دو به صورت جدا در نظر گرفته شده‌اند، اما روش کلی محاسبه آنها به یک شکل و براساس همان روش به کار برده در منابع مذکور است.

**الف - افت دانه‌های شکسته**

برای محاسبه افت دانه‌های شکسته، از محصول دانه هر کرت سه نمونه یک کیلوگرمی از مخزن کمباین در هنگام رسیدن کمباین برداشت به میانه دوم هر کرت و جهت عدم اختلاط محصول هر کرت با کرت قبلی، اخذ شده و سپس میزان دانه‌های شکسته کامل، جدا و توزین شدند. براساس وزن کل نمونه‌های هر کرت، میزان تلفات مربوط به درصد شکستگی از معادله (۵) به دست آمد (Alizadeh & Allameh, 2013; Loveimi et al., 2008).

$$Sa = \frac{W_a}{W} \times 100 \quad (۵)$$

در این رابطه S<sub>a</sub>: افت دانه‌های شکسته (درصد)، W<sub>a</sub>: وزن دانه‌های شکسته کامل شلتوک در نمونه (گرم) و W: وزن کل دانه‌های هر نمونه (گرم) است.

**ب - افت دانه‌های لب‌پر**

با جدا کردن دانه‌های شکسته جزئی از کناره‌ها در نمونه‌های مذکور هر کرت و بر اساس وزن کل نمونه‌های هر کرت، تلفات مربوط به درصد لب‌پر شده از معادله (۶) به دست آمد (Alizadeh & Allameh, 2013; Loveimi et al., 2008).

$$Sb = \frac{W_b}{W} \times 100 \quad (۶)$$

در این رابطه Sb: افت دانه‌های لب‌پر شده (درصد)، W<sub>b</sub>: وزن دانه‌های شکسته جزئی از کناره‌های شلتوک در نمونه (گرم) و W: وزن کل دانه‌های هر نمونه (گرم) است.

**ج - افت کل کیفی**

افت کل کیفی مربوط به مجموع تمام دانه‌های شکسته کامل و جزئی است. لذا این افت از حاصل جمع افت

در واقع افت دانه جدا نشده از خوشه به دو عامل میزان اتصال دانه به خوشه و نوع مکانیزم کوبش و قدرت آن بستگی دارد. بدین ترتیب وجود افت بیشتر دانه جدا نشده در رطوبت‌های بالاتر به دلیل اتصال محکم‌تر دانه به خوشه قابل توجیه است (Wang *et al.*, 2021; Boz *et al.*, 2007). با وجود دو سازوکار متفاوت سوهانی و میخی در کمباین‌های مورد ارزیابی، معنی‌دار شدن افت دانه جدا نشده قابل انتظار بود. در واقع یکی از دلایل مهم افت دانه جدا نشده، تراکم محصول و نسبت مواد غیردانه‌ای به دانه‌ای است (Modarres-Razavi, 1996; Srivastava *et al.*, 1993). در شرایط تراکم محصول و افزایش ورودی در کمباین، بخشی از خوشه‌ها در لابلای محصول از دسترس اجزای کوبش کوبنده خارج می‌شوند. همچنین مکانیزم کوبش و ساختار کوبنده‌ها نقش اساسی در این افت دارند. کوبنده سوهانی مخصوص گندم بوده که هر کدام از دانه‌ها در پوشینه قرار گرفته و از طریق این پوشینه به سنبله اصلی وصل هستند. لذا عمل کوبش باید علاوه بر جدا کردن پوشینه از سنبله، بوسیله سایش عمل خارج کردن دانه از پوشینه را هم انجام دهد. بدین ترتیب کوبنده سوهانی برای برداشت گندم دارای مزیت ویژه است اما برای برداشت برنج که پوشینه وجود ندارد احتیاجی به سایش نیست. از طرف دیگر هر کدام از میخ‌های کوبنده میخی با نفوذ در بین محصول، باعث می‌شود که خوشه‌های بسیار کمتری بدون کوبیده شدن، از کوبنده خارج شوند. به این ترتیب تراکم محصول (حجم مواد ورودی کمباین) و نسبت مواد غیردانه‌ای به دانه‌ای در این کوبنده در میزان این افت کمتر اثر دارد و به عبارت صحیح‌تر کوبنده میخی در حجم مواد ورودی مساوی، افت دانه جدا نشده کمتری دارد. همچنین کمباین‌های برنج ورلد و چری علاوه بر داشتن کوبنده میخی اصلی، یک پیش‌کوبنده نیز دارند و نیز نسبت توان موتور به عرض کار آنها بیشتر بوده (جدول ۱) و لذا با توجه به شدت بیشتر کوبش، افت دانه جدا نشده کمتری داشتند. علاوه بر این مدل ورلد کمباین برنج علاوه بر داشتن پیش‌کوبنده عریض‌تر، نسبت توان موتور به عرض کار آن از مدل چری بیشتر بوده (جدول ۱) و لذا کمترین افت دانه جدا نشده از این کمباین به دست آمد.

می‌رسد. با این توصیف، افت کمتر در رطوبت بیشتر قابل تحلیل است. افت هد در کمباین‌های مورد ارزیابی نیز با مکانیزم هد و چگونگی جمع‌آوری محصول جهت برداشت توسط آنها مرتبط است که در چهار نوع کمباین مورد ارزیابی همه هدها از نوع انگشتی بوده و با توجه به انجام تنظیمات استاندارد از جمله سرعت پیشروی، نسبت سرعت چرخ و فلک به سرعت پیشروی، ارتفاع هد و موارد دیگر مرتبط با اجزاء هد در همه کمباین‌ها، عدم معنی‌دار شدن این افت در کمباین‌های مورد ارزیابی توجیه می‌شود. به همین شکل و با توجه به عدم تفاوت در مکانیزم و تنظیمات هدها در انواع کمباین‌های مورد ارزیابی، عدم معنی‌دار شدن افت هد در اثر متقابل رطوبت و نوع کمباین قابل تحلیل می‌شود. بدین ترتیب با مکانیزم مشترک و تنظیمات استاندارد هد انواع کمباین‌ها، روند تغییرات افت آنها در هر دامنه رطوبتی نزدیک به هم است. نتایج تحقیقات حاکی از آن است که افت هد بیشترین میزان از افت در بین بخش‌های مختلف کمباین (بیشتر از ۵۰ درصد کل افت) را دارا است (Taghinazhad & Dehghan, 2020; Zareei & Abdollahpour, 2016; Behroozi-lar, 2000; Behroozi-lar *et al.*, 1995). در این تحقیق نیز افت هد در کمباین‌های برنج بیش از ۵۰ درصد افت کمتی کل بوده و در کمباین‌های غلات نیز حدود ۴۰ درصد بود. همچنین این افت بجز در کمباین غلات با کوبنده سوهانی، بیشترین سهم از اجزای افت را دارا بود.

#### افت دانه جدا نشده

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افت مربوط به دانه جدا نشده در اثر رطوبت و نیز نوع کمباین معنی‌دار بود ولی اثر متقابل رطوبت و نوع کمباین بر افت دانه جدا نشده اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). از نظر رطوبت، کمترین و بیشترین افت دانه جدا نشده به ترتیب به رطوبت ۱۹-۲۱ درصد با ۰/۷۵ درصد و رطوبت ۲۳-۲۵ درصد با ۱/۶۸ درصد تعلق داشت و بین کمباین‌ها، کمترین و بیشترین افت دانه جدا نشده به ترتیب از کمباین برنج مدل ورلد با ۰/۶۴ درصد (بدون اختلاف معنی‌دار با کمباین برنج مدل چری) و کمباین غلات با کوبنده سوهانی با ۱/۹۷ درصد به دست آمد (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس میانگین مربعات (MS) میزان تلفات کمی برنج

منابع تغییرات	درجه آزادی	افت هد برداشت	افت دانه جدا نشده	افت دانه جدا شده	افت کمی کل
بلوک	۲	۰/۰۵۹	۰/۰۱۴	۰/۰۰۴	۰/۱۵۴
میزان رطوبت (M)	۲	۴/۷۷۰ **	۳/۰۴۸ **	۰/۰۳۹ **	۰/۷۸۱ **
خطای a	۴	۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	۰/۰۰۲	۰/۰۳۹
نوع کمباین (C)	۳	۰/۰۰۱	۲/۹۳۳ **	۱/۳۱۵ **	۷/۷۰۶ **
اثر متقابل (M*C)	۶	۰/۰۲۶	۰/۰۰۵	۰/۰۰۴	۰/۰۱۴
خطای b	۱۸	۰/۱۰۵	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۱۱
ضریب تغییرات (رصد)		۷/۹۵	۹/۵۲	۱۱/۶۶	۱۱/۷۵

\* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۳- مقایسه میانگین تلفات کمی در روش‌های مختلف برداشت\*

تیمار	افت هد برداشت (درصد)	افت دانه جدا نشده (درصد)	افت دانه جدا شده (درصد)	افت کمی کل (درصد)
<b>میزان رطوبت</b>				
رطوبت ۱۹ تا ۲۱ درصد (M1)	۲/۴۴ a	۰/۷۵ c	۰/۶۸ c	۳/۸۷ a
رطوبت ۲۱ تا ۲۳ درصد (M2)	۱/۷۹ b	۱/۰۲ b	۰/۷۹ b	۳/۶۰ b
رطوبت ۲۳ تا ۲۵ درصد (M3)	۱/۱۷ c	۱/۶۸ a	۰/۸۶ a	۳/۷۱ b
<b>نوع کمباین</b>				
کمباین غلات با کوبنده سوهانی (C <sub>1</sub> )	۱/۷۸ a	۱/۹۷ a	۱/۰۸ a	۴/۸۳ a
کمباین غلات با کوبنده دندان میخی (C <sub>2</sub> )	۱/۷۷ a	۱/۱۶ b	۱/۱۲ a	۴/۰۵ b
کمباین برنج مدل ورلد (C <sub>3</sub> )	۱/۸۴ a	۰/۶۴ c	۰/۴۹ b	۲/۹۷ c
کمباین برنج مدل چری (C <sub>4</sub> )	۱/۸۱ a	۰/۷۳ c	۰/۵۱ b	۳/۰۵ c

در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، در سطح ۵ درصد احتمال تفاوت معنی‌داری ندارند.

**افت دانه جدا شده**

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افت مربوط به دانه جدا شده در اثر رطوبت و نیز نوع کمباین معنی‌دار بود ولی اثر متقابل رطوبت و نوع کمباین بر این افت اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). از نظر رطوبت، کمترین و بیشترین افت دانه جدا شده به ترتیب به رطوبت ۲۱-۱۹ درصد با ۰/۶۸ درصد و رطوبت ۲۳-۲۵ درصد با ۰/۸۶ درصد تعلق داشت و بین کمباین‌ها، کمترین و بیشترین افت دانه جدا شده به ترتیب در کمباین‌های برنج (مدل ورلد ۰/۴۹ درصد و چری ۰/۵۱ درصد) و کمباین غلات (کوبنده میخی ۱/۱۲ درصد و کوبنده سوهانی ۱/۰۸ درصد) به دست آمد (جدول ۳).

در واقع افت دانه جدا شده مرتبط به واحدهای تمیز کننده و جدایش هر کمباین است. این افت مربوط به واحد جداکننده (کاه‌پران) و تا حدودی نیز ناشی از تنظیم جهت و مقدار باد (فن کمباین) قسمت تمیز کننده است. این افت همانند افت دانه جدا نشده متأثر از حجم ورودی مواد و نیز نسبت مواد غیردانه‌ای به دانه‌ای است (Modarres-Razavi,

1996; Mansouri-Rad, 1993). به عبارتی میزان حجم ورودی مواد و تراکم محصول، از نظر افت دانه جدا شده، کوبنده و عملیات کوبش را تحت تأثیر قرار می‌دهد و از جنبه افت دانه جدا شده، کاه‌پران‌ها و بخش جدایش را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بطور مشخص از نظر رطوبتی، در رطوبت بیشتر وزن مواد ورودی بیشتر می‌شود و جدایش توسط کاه‌پران‌ها نسبتاً کندتر و افت دانه جدا شده بیشتر می‌شود و در مقابل در رطوبت کمتر با کار روان کاه‌پران‌ها، افت دانه جدا شده کمتر می‌گردد. در بین کمباین‌ها نیز دو کمباین برنج در سطح افت دانه جدا شده کمتر نسبت به دو کمباین غلات قرار گرفتند و به صورت تحلیلی عامل اصلی در این زمینه، نسبت بیشتر توان موتور به عرض این کمباین‌ها بوده که در بالا بحث شد و از این نظر کمباین‌های برنج با توان نسبی بیشتر عمل جدایش را بهتر انجام دادند. همچنین مدل ورلد این کمباین‌ها با بیشترین توان نسبی، کمترین افت دانه جدا شده را کسب نمود.

### افت کمتی کل

دلیل مجهز بودن به کوبنده و پیش‌کوبنده میخی و از طرف دیگر با داشتن توان موتور بیشتر نسبت به عرض، توانایی کوبش و جدایش بیشتر داشته و از هر دو نوع کمباین غلات با کوبنده سوهانی و میخی افت کمتی کل کمتری داشتند. به‌طور مشخص در اینجا مزیت اصلی به کارگیری کمباین‌های برنج نسبت به غلات برای برداشت برنج با توجه به افت کمتی کل کمتر آنها روشن می‌شود. در بین کمباین‌های مخصوص برنج، هر دو مدل ورلد و چری از نظر افت کلی تفاوت معنی‌داری نداشتند. همچنین افت کمتی کل کمتر ورلد نسبت به چری با توجه به توان بیشتر ورلد نسبت به چری تحلیل می‌شود.

### افت کیفی

#### افت دانه‌های شکسته

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افت مربوط به دانه‌های شکسته در اثر رطوبت و نیز نوع کمباین معنی‌دار بود ولی اثر متقابل رطوبت و نوع کمباین بر افت دانه‌های شکسته اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۴).

از نظر رطوبت، کمترین و بیشترین افت دانه‌های شکسته به ترتیب به رطوبت ۲۳-۲۵ درصد با ۰/۷۴ درصد و رطوبت ۱۹-۲۱ درصد با ۱/۸۲ درصد تعلق داشت و بین کمباین‌ها، کمترین و بیشترین افت دانه‌های شکسته به ترتیب از کمباین برنج مدل چری با ۰/۷۷ درصد و کمباین غلات با کوبنده سوهانی با ۲/۳۹ درصد به دست آمد (جدول ۵).

شکستگی و صدمه فیزیکی به دانه در هنگام برداشت رابطه معکوسی با میزان رطوبت دارد. به عبارتی هر چه محصول مرطوب‌تر باشد از حالت شکنندگی خارج شده و میزان رطوبت مانع شکستگی می‌شود. لذا وجود افت دانه شکسته کمتر در رطوبت بیشتر که در این تحقیق به دست آمده بر این اساس قابل درک است. از نظر نوع کمباین، شکستگی بیشتر متأثر از کوبش است که در کوبنده‌های کمباین‌ها صورت می‌گیرد. با توجه به این که کوبنده سوهانی عمدتاً از طریق سایش دانه‌های شلتوک، در محل اتصال به محور اصلی خوشه، باعث جداسازی می‌شود، انتظار شکستگی بیشتر در اثر سایش مستقیم وجود دارد.

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افت کمتی کل در اثر رطوبت و نیز نوع کمباین معنی‌دار بود ولی اثر متقابل رطوبت و نوع کمباین بر افت کمتی کل اثر معنی‌داری نداشت (جدول ۲). از نظر رطوبت، کمترین و بیشترین افت کمتی کل به ترتیب به رطوبت ۲۳-۲۱ درصد با ۳/۶۰ درصد و رطوبت ۱۹-۲۱ درصد با ۳/۸۷ درصد تعلق داشت و بین کمباین‌ها، کمترین و بیشترین افت کمتی کل به ترتیب از کمباین برنج مدل ورلد با ۲/۹۷ درصد و کمباین غلات با کوبنده سوهانی با ۴/۸۳ درصد به دست آمد (جدول ۳). افت کمتی کل متأثر از اجزای افت آن شامل افت هد، افت دانه جدا نشده و افت دانه جدا شده است. داشتن بیشترین افت کل در رطوبت ۱۹-۲۱ درصد با توجه به افت بالای هد و سهم بالای آن نسبت به سایر افت‌ها در این رطوبت، قابل توجیه است. احراز کمترین افت کل در رطوبت ۲۳-۲۱ درصد متأثر از روند متفاوت افزایش و کاهش افت‌ها در رطوبت‌های مختلف است. رطوبت بیشتر در عین این که باعث کاهش افت هد شده، منجر به افزایش افت دانه جدا نشده و تا حدودی افزایش افت دانه جدا شده گردیده است، و در مقابل رطوبت کمتر با وجود اینکه باعث کاهش افت‌هایی دانه جدا شده و دانه جدا نشده گردیده، بیشترین افت هد را داشته است. لذا در مجموع در رطوبت ۲۳-۲۱ درصد کمترین افت کمتی کل به دست آمد (از نظر افت کمتی کل، رطوبت‌های ۲۳-۲۱ و ۲۳-۲۵ درصد در یک سطح و پایین‌تر از سطح رطوبت ۱۹-۲۱ درصد قرار گرفتند و به طور نسبی رطوبت ۲۳-۲۱ درصد از رطوبت ۲۳-۲۵ درصد افت کمتی کل کمتری داشت). تحقیقات صورت گرفته (Siebenmorgen *et al.*, 2006) میزان رطوبت مناسب برداشت برنج را که افت کمتری داشته باشد برای ارقام دانه بلند، ۱۹-۲۲ درصد و برای ارقام دانه متوسط، ۲۲-۲۴ درصد توصیه کرده است. در این تحقیق با توجه به رقم چمپای این آزمایش که دانه متوسط است، کمترین افت کمتی کل در رطوبت ۲۳-۲۱ درصد به دست آمد. در بین کمباین‌های رایج غلات، کمباین با کوبنده میخی نسبت به کمباین با کوبنده سوهانی به دلیل افت دانه جدا نشده کمتر، افت کمتی کل کمتری داشت. همچنین کمباین‌های برنج از یک طرف به

جدول ۴- تجزیه واریانس میانگین مربعات میزان تلفات کیفی برنج و ظرفیت مزرعه‌ای

منابع تغییرات	درجه آزادی	افت دانه‌های شکسته	افت دانه‌های لب‌پر	افت کل کیفی	ظرفیت مزرعه‌ای
بلوک	۲	۰/۰۲۱	۰/۰۹۵	۰/۰۲۷	۰/۰۰۰۲
میزان رطوبت (M)	۲	۳/۳۳۶ **	۰/۹۳۲ **	۷/۷۷۸ **	۰/۱۹۱ **
خطای a	۴	۰/۰۶۷	۰/۰۲۱	۰/۰۲۲	۰/۰۰۰۳
نوع کمباین (C)	۳	۱۴/۱۸۱ **	۱/۹۴۱ **	۲۲/۴۱ **	۰/۰۸۱ **
اثر متقابل (M*C)	۶	۰/۵۳۴	۰/۰۴۱	۰/۵۰۲	۰/۰۰۲ **
خطای b	۱۸	۰/۳۲۷	۰/۰۳۳	۰/۱۹۷	۰/۰۰۰۲
ضریب تغییرات (درصد)		۱۳/۴۵	۱۹/۵۶	۱۸/۱۷	۳/۲۲

\* و \*\*: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۵ و ۱ درصد

جدول ۵- مقایسه میانگین تلفات کیفی در روش‌های مختلف برداشت\*

تیمار	افت دانه‌های شکسته (درصد)	افت دانه‌های لب‌پر (درصد)	افت کل کیفی (درصد)
<b>میزان رطوبت</b>			
رطوبت ۱۹ تا ۲۱ درصد (M1)	۱/۸۲ a	۱/۱۹ a	۳/۰۱ a
رطوبت ۲۱ تا ۲۳ درصد (M2)	۱/۲۵ b	۰/۹۵ ab	۲/۲۰ b
رطوبت ۲۳ تا ۲۵ درصد (M3)	۰/۷۴ c	۰/۶۳ b	۱/۳۷ c
<b>نوع کمباین</b>			
کمباین غلات با کوبنده سوهانی (C1)	۲/۳۹ a	۱/۶۰ a	۳/۹۹ a
کمباین غلات با کوبنده دندان‌میخی (C2)	۱/۰۳ b	۰/۷۴ bc	۱/۷۷ b
کمباین برنج مدل ورلد (C3)	۰/۸۸ bc	۰/۸۱ b	۱/۶۹ b
کمباین برنج مدل چری (C4)	۰/۷۷ c	۰/۵۵ c	۱/۳۲ c

\* در هر ستون میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند، در سطح ۵ درصد احتمال تفاوت معنی‌داری ندارند.

تحلیل افت دانه‌های لب‌پر شده همانند افت دانه‌های شکسته بوده و به عبارتی همان‌طور که بخشی از دانه‌ها از میانه و نزدیک میانه دانه‌ها شکسته می‌شوند، بخشی دیگر در فرآیند عمل کوبش، دچار صدمه جزئی از کناره‌ها می‌شوند.

#### افت کل کیفی

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افت مربوط به کل کیفی در اثر رطوبت و نیز نوع کمباین معنی‌دار بود ولی اثر متقابل رطوبت و نوع کمباین بر افت کل کیفی تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۴). از نظر رطوبت، کمترین و بیشترین افت کل کیفی به ترتیب به رطوبت ۲۳-۲۵ درصد با ۱/۳۷ درصد و رطوبت ۱۹-۲۱ درصد با ۳/۰۱ درصد تعلق داشت و بین کمباین‌ها، کمترین و بیشترین افت کل کیفی به ترتیب از کمباین برنج مدل چری با ۱/۳۲ درصد و کمباین غلات با کوبنده سوهانی با ۳/۹۹ درصد به دست آمد (جدول ۵). افت کل کیفی حاصل جمع افت دانه‌های شکسته و لب‌پر شده است و همان‌طور که بحث شد در هر دو جزء ی (افت دانه‌های شکسته و

اما کوبنده میخی، در کمباین‌های دیگر مورد بررسی، با ضربه و تکان دادن محصول، عمل جدایش را انجام می‌دهد که احتمال ضربه مستقیم و قوی به دانه‌های شلتوک کمتر است. لذا بیشترین افت دانه‌های شکسته از کمباین غلات با کوبنده سوهانی اتفاق افتاد. کمباین غلات با کوبنده میخی از نظر این افت کیفی در رده دوم، و دو نوع کمباین برنج ورلد و چری در رده‌های بعد قرار گرفتند.

#### افت دانه‌های لب‌پر

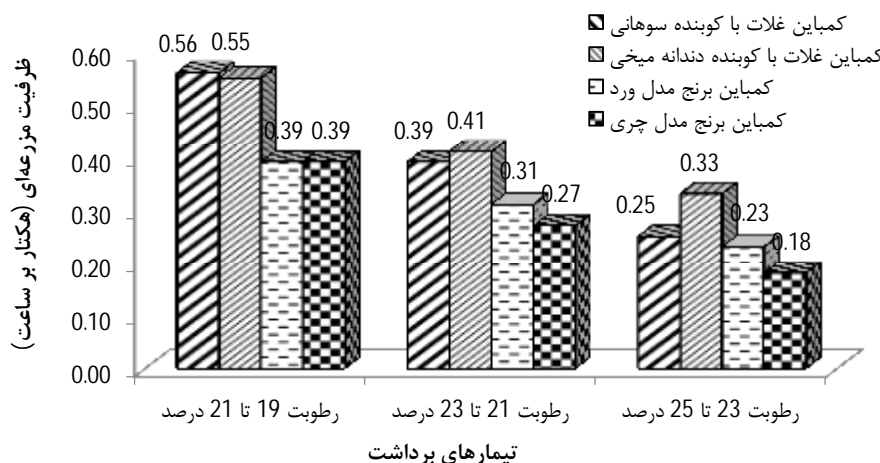
نتایج تجزیه واریانس نشان داد که افت مربوط به دانه‌های لب‌پر در اثر رطوبت و نیز نوع کمباین معنی‌دار بود ولی اثر متقابل رطوبت و نوع کمباین بر افت دانه‌های لب‌پر تأثیر معنی‌داری نداشت (جدول ۴). از نظر رطوبت، کمترین و بیشترین افت دانه‌های لب‌پر به ترتیب به رطوبت ۲۳-۲۵ درصد با ۰/۶۳ درصد و رطوبت ۱۹-۲۱ درصد با ۱/۱۹ درصد تعلق داشت و بین کمباین‌ها، کمترین و بیشترین افت دانه‌های لب‌پر به ترتیب از کمباین برنج مدل چری با ۰/۵۵ درصد و کمباین غلات با کوبنده سوهانی با ۱/۶ درصد به دست آمد (جدول ۵).

بیشتری کسب کردند. اگر چه در همه سطوح رطوبتی به دلیل توان بیشتر، ظرفیت کمباین برنج ورلد مساوی و یا بهتر از چری بود ولی در بین کمباین‌های غلات، در رطوبت ۱۹-۲۱ درصد، کمباین سوهانی ظرفیت مزرعه‌ای بیشتری از میخی داشت. اما در دو رطوبت ۲۱-۲۳ درصد و ۲۳-۲۵ درصد روند برعکس شده و کمباین میخی دارای ظرفیت مزرعه‌ای بیشتری گردید و لذا از این لحاظ اثر متقابل میزان رطوبت و نوع کمباین معنی‌دار گردید. نکته دیگر در مورد ظرفیت مزرعه‌ای مربوط به شرایط محصول است. در این تحقیق محصول در کرت‌های آزمایشی اکثراً سرپا بود و خوابیدگی بسیار محدودی داشت. اما اگر به دلیل دیر برداشت کردن و یا وجود باد در زمان آبیاری‌های آخر، محصول ورس نماید (خوابیدگی)، با وجود این که ظرفیت مزرعه‌ای در هر دو نوع کمباین‌های غلات و برنج دچار کاهش می‌شود ولی براساس مشاهدات و تجربه، این کاهش در کمباین‌های برنج با توجه به عرض کمتر و در نتیجه مانور بهتر آنها برای برداشت محصول خوابیده و خصوصاً لزوم برداشت از سمت خوابیده بودن محصول جهت کاهش افت، کمتر بوده و ظرفیت مزرعه‌ای این دو نوع کمباین به یکدیگر نزدیک‌تر می‌گردد.

لب‌پر شده) در رطوبت بیشتر محصول، این افت‌ها کمتر می‌شود و نیز کمباین غلات با کوبنده سوهانی دارای بیشترین مقدار و کمباین برنج مدل چری دارای کمترین مقدار بودند.

### ظرفیت مزرعه‌ای

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که تفاوت ظرفیت مزرعه‌ای مربوط به کمباین‌های مورد ارزیابی در اثر رطوبت، نوع کمباین برداشت و نیز اثر متقابل رطوبت و نوع کمباین معنی‌داری بود (جدول ۴). بیشترین ظرفیت مزرعه‌ای توسط کمباین غلات با کوبنده سوهانی و در رطوبت ۲۱-۱۹ درصد با ۰/۵۶ هکتار در ساعت و کمترین آن توسط کمباین برنج مدل چری در رطوبت ۲۳-۲۵ درصد با ۰/۱۸ هکتار در ساعت به دست آمد (شکل ۲). ظرفیت مزرعه‌ای همه کمباین‌های مورد ارزیابی با افزایش رطوبت محصول کم می‌شود و این می‌تواند ناشی از افزایش وزن ورودی با توجه به رطوبت محصول و در نتیجه کاهش سرعت پیشروی توسط اپراتور کمباین جهت انجام بهینه عمل انتقال، کوبش و جدایش باشد. بین کمباین‌ها، کمباین‌های غلات با توجه به عرض کار بیشتر، ظرفیت مزرعه‌ای



شکل ۲- مقایسه ظرفیت مزرعه‌ای مربوط به تیمارهای مختلف

افت کمی کل بدست آمد. همچنین افت کل کیفی در رطوبت حداکثر، کمترین بود. بین کمباین‌ها و در بخش افت کمی، کمباین‌های برنج افت کمی کل کمتری نسبت به کمباین‌های غلات داشتند. در بخش افت کیفی، با توجه به سایش و تماس بیشتر کوبنده سوهانی با دانه‌های شلتوک، بیشترین افت کیفی در دانه‌های شکسته و نیز در

### نتیجه‌گیری

برنج در اکثر مناطق با کمباین‌هایی متفاوت از نظر نوع کمباین، کمباین غلات و کمباین برنج، و نوع کوبنده، سوهانی و میخی، برداشت می‌شود. در این تحقیق افت کمی و کیفی این نوع کمباین‌ها در رطوبت‌های مختلف ارزیابی گردید. نتایج نشان داد در رطوبت میانی، کمترین

- IRRI. (2013). Standard Evaluation System for Rice. *International Rice Research Institute*, 1: 56.
- Loveimi, N., Gilani, A., & Alizadeh, M. R. (2008). The Effect of Harvesting Method on Losses for Two Rice Varieties in Khouzestan Province. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 9(3): 89-106. (In Farsi).
- Mairghany, M., Yahya, A. Adam, N. M., Suhaizi, A., Su, M., & Elsoragaby, S. (2018). Quality of Performance and Grain Losses of Two Type of Rice Combine Harvesters. *Agric. Res. Technol.*, 19: 556085.
- Mansouri-Rad, D. (1993). *Farm machinery and tractors*. Bou-Ali Sina Pub. (In Persian).
- Masato, S. (1980). Performance of rice combine harvesters as evaluated by national test in Japan. *JARQ*, 14(1).
- Miah, A. K. (1994). *Improving the quality of quality of parboiled rice in Bangladesh and its Potential for export*. A technical report submitted to NRI in the month of December. Chatham. Kent. ME44TB. UK (Unpublished).
- Modarres-Razavi, M. (1996). *Grain harvesting equipment binders, threshers, combine harvesters*. Emam Reza Pub. (In Persian).
- Mokhtor, S. A., El Pebrian, D., & Johari, N. A. A. (2020). Actual field speed of rice combine harvester and its influence on grain loss in Malaysian paddy field. *Journal of Saudi Social Agriculture Science*, 19: 422-425.
- Qu, X., Kojima, D., Wu, L., & Ando, M. (2021). The Losses in the Rice Harvest Process: A Review. *Sustainability*, 13: 1-25.
- Reşat, E., Abdulla, S., & Yilmaz, B. (2016). The relationship between the age of combine harvester and grain losses. *International Science Journal Mechanization Agriculture*, 2: 49-52.
- Siebenmorgen, T. J., Bautista, R. C., & Meullenet, J. F. (2006). Predicting rice physicochemical properties using thickness fraction properties. *Cereal Chem*, 83(3): 275-283.
- Srivastava, A. K., Goering, C. E., & Rohrbach, R. P. (1993). *Engineering Principles of Agricultural Machines*. ASAE Pub.
- Taghinazhad, J., & Dehghan, E. (2020). Assessment of Wheat Harvesting Losses with Different Combines and Provide the Necessary Solutions in Ardabil Province. *Journal of Agricultural Mechanization*, 5(1): 1-10.
- Wang, J., Sun, X., Xu, Y., Zhou, W., Tang, H., & Wang, Q. (2021). Timeliness Harvesting Loss of Rice in Cold Region under Different
- دانه‌های لب‌پر شده متعلق به کمباین غلات با کوبنده سوهانی بود.
- منابع**
- Alizadeh, M. R., & Allameh, A. (2013). Evaluating rice losses in various harvesting practices. *International Research Journal, Applied Basic Science*, 4: 894-901.
- Almassi, M., Kiani, S., & Loveimi, N. (2015). *Principles of agricultural mechanization*. Gofteman Andishieh Maaser Press. Iran. (In Farsi).
- Andrews, S. B., Siebenmorgen, T. J., Vories, E. D., Loewer, D. H., & Mauromoustakos, A. (1993). Effects of combine operating parameters on harvest loss and quality in rice. *Transaction American Social Agriculture Engineering*, 36:1599-1607.
- Araullo, E., Depandua, B., & Graham, M. (1976). Rice post harvesting technology. International Development Research center, Ottawa, 85-67.
- Behrooz-Lar, M. (2000). *Grain harvest: engineering principles of agricultural machines*. Azad Islamic University Press. Tehran, Iran. (In Persian).
- Behrooz-Lar, M., Hassanpour, M., Sadeghnejad, H., Asadi, A., Khosravani, A., & Saati, M. (1995). *Final research report: Combine harvesting loss*. Agricultural Engineering Research institute. Karaj, Iran. (In Persian).
- Boz, H., Gerçekaslan, K. E., Karaoglu, M. M., & Kotancilar, H. I. G. (2012). Differences in some physical and chemical properties of wheat grains from different parts within the spike. *Turk. J. Agric.*, 36: 309-316.
- Chen, C. (2003). Evaluation of air oven moisture content determination methods for rough rice. *Biosystem Engineering*, 86: 447-457.
- Datta, S. K. (2004). Rice biotechnology: A need for developing countries. *Journal of Agro biotechnoly Management & Economics*, 7(1&2): 31-35.
- Hasan, M. K., Ali, M. R., Saha, C. K., Alam, M. M., & Haque, M. E. (2019). Combine Harvester: Impact on Paddy Production in Bangladesh. *J. Bangladesh Agric. Univ.*, 17: 583-591.
- Hou, F. F. (1989). Estimation of field losses. In post harvest prevention of paddy/ rice loss. *Rice abstracts*, 12(2): 22.
- Hunt, D. R. (1983). *Farm power and Machinery management*. Translated by Behrooz Lar. 1991. Tehran University Pub. (In Persian).

- Mechanical Harvesting Methods. *Sustainability*, 13: 6345.
- Zareei, S., & Abdollahpour, S. (2016). Simulation of neuro-fuzzy model for optimization of combine header setting. *Journal of Agricultural Machinery*, 6(2): 406-416. (In Persian).
- Yaoming, L., Lizhang, X., & Xilong, S. (2007). Analysis of factors affecting performance of petiolate seeds in threshing. *Trans. Chin. Soc. Agric. Eng.*, 23: 131-134.



## بررسی تأثیر روش‌های کشت مستقیم و عمق کشت بر روی شاخص‌های یکنواختی استقرار بذر و برخی شاخص‌های زراعی در کشت گندم دیم

منا طهماسبی<sup>۱\*</sup>، ابوالفضل هدایتی‌پور<sup>۲</sup> و محمد گهری<sup>۳</sup>

### چکیده

به منظور بررسی تأثیر روش کشت مستقیم گندم در میزان بقایای متفاوت و عمق کاشت متغیر در شرایط دیم، آزمایشی در سال‌های زراعی ۹۶-۹۷ و ۹۸-۹۹ به صورت کرت خورد شده، در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد. در این آزمایش کرت‌های اصلی میزان بقایای گیاهی (۱- حفظ بقایای ایستاده و انتقال بقایای خارج شده از انتهای کمباین به بیرون از مزرعه و ۲- حفظ تمام بقایا در مزرعه، کرت فرعی نوع شیاربازکن دستگاه کشت مستقیم (۱- بیلچه‌ای باریک، ۲- بیلچه‌ای پهن و ۳- دیسکی) و کرت فرعی عمق کشت (۴-۶ سانتی‌متر و ۸-۶ سانتی‌متر) در نظر گرفته شد. در این تحقیق از کارنده‌های کشت مستقیم رایج مورد استفاده در استان مرکزی (ماشین برزگر همدان، جیران صنعت آریا و تاکا) جهت کشت گندم دیم استفاده شد. روش خاک‌ورزی و کاشت مرسوم در استان نیز به عنوان شاهد در هر کرت فرعی در نظر گرفته شد. ضریب یکنواختی عمق کاشت، ضریب یکنواختی توزیع افقی بذر، شاخص برگردانی خاک، درصد سبزشدن مزرعه و عملکرد محصول اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که تأثیر نوع شیاربازکن و عمق کاشت بر عملکرد در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار است. اثر میزان بقایا در دو سال کشت بر عملکرد و صفات اندازه‌گیری شده معنی‌دار نشد و نشان می‌دهد که نحوه اثر آن یکسان بوده است. روش کشت مستقیم عملکرد پایین‌تری را نشان داد در حالی که روش کشت مرسوم با دستگاه عمیق‌کار بیشترین عملکرد را داشت. ضریب یکنواختی توزیع عمودی بذر در سطح آماری ۱٪ معنی‌دار و نشان دهنده آن است که نوع شیار بازکن در عمق قرارگیری بذر تأثیرگذار بوده است. با افزایش عمق کشت، درصد سبزشدن بذر و عملکرد دانه کاهش یافت. یافته‌ها نشان داد کشت مستقیم ضمن کاهش زمان عملیات باعث صرفه‌جویی مصرف سوخت به میزان ۷۵ درصد در مقایسه با روش مرسوم شده است.

**واژه‌های کلیدی:** استقرار بذر، کشت مستقیم، عمق کشت، عملکرد گندم دیم.

**ارجاع:** طهماسبی م، هدایتی‌پور ا، و گهری م. ۱۴۰۱. بررسی تأثیر روش‌های کشت مستقیم و عمق کشت بر روی شاخص‌های یکنواختی استقرار بذر و برخی شاخص‌های زراعی در کشت گندم دیم. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۲۴: ۹۱-۱۰۳. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.13808.582>

۱- استادیار بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران.

۲- مربی بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران.

۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک- طراحی کاربردی، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی اراک، اراک، ایران.

\* نویسنده مسئول: [tahmasebi.mona@gmail.com](mailto:tahmasebi.mona@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۷

## مقدمه

تولید گندم دیم در ایران و به ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک که بیشترین مناطق کشت این محصول را دربرمی‌گیرد، همواره با ریسک همراه بوده است. تغییرات میزان و پراکنش بارندگی در مناطق خشک از سالی به سال دیگر و وقوع خشکسالی‌های اخیر که باعث افزایش ضریب تغییرات بارندگی شده، کاهش عملکرد محصول دیم را دربرداشته است. بنابراین وجود یک ذخیره رطوبت در خاک به‌ویژه در عمق ۲۵ سانتی‌متر و پایین‌تر در هنگام استقرار گندم دیم در خاک ضروریست. بالا بودن میزان تبخیر در مناطق خشک و نیمه‌خشک (بیش از ۸ برابر بارندگی)، کمبود مواد آلی در خاک و ساختمان نامناسب باعث کاهش ضریب نفوذپذیری خاک و کاهش ظرفیت نگهداری آب در خاک می‌شود. همچنین چرای بی‌رویه دام در اراضی دیم و روش‌های مرسوم تهیه زمین در دیم‌زارها که بر مبنای شخم برگردان در بهار و نرم کردن خاک در پاییز (دیسک و گاوآهن قلمی و ...) انجام می‌شود باعث کاهش شدید ماده‌آلی خاک و هدر رفت رطوبت در سال آیش در این اراضی می‌گردد ( Heidari & Soltani, 2016).

یکی از راهکارهای عملی جهت توسعه کشاورزی پایدار و حفظ منابع خاک و آب، کشاورزی حفاظتی است. ساختار کشاورزی حفاظتی بر سه اصل حفظ بقایای گیاهی در سطح زمین، حداقل بهم‌خوردگی خاک و اجرای تناوب زراعی استوار است. بنابراین دسترسی به کشاورزی پایدار و حصول منافع حاصل از آن مستلزم پیاده‌سازی اصول مذکور به‌صورت توأم است ( Corsi & Muminjanov, 2019). مقدار بقایای گیاهی بر روی سطح خاک باید در حدود ۳۰ درصد خاک را پوشش دهد ( Sadeghnejad, 2017). اجرای عملیات خاک‌ورزی شدید و نامناسب و شخم با گاوآهن برگردان‌دار در روش مرسوم نه تنها نقش زیادی در کاهش درصد رطوبت خاک و همچنین ماده آلی خاک دارد، بلکه به دلیل افزایش مقاومت کششی ادوات خاک‌ورز منجر به هدررفت بیشتر انرژی می‌شود ( Sharma, 2005; Helm, 2011; et al.). روش‌های مختلفی برای اجرای خاک‌ورزی حفاظتی معرفی شده است که در ایران دو روش کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم) متداول است. برخلاف روش‌های خاک‌ورزی مرسوم، روش کشت مستقیم به دلیل حذف عملیات خاک‌ورزی باعث

کاهش هزینه‌های تولید می‌شود، ضمن این‌که در فرآیند افزایش ماده‌آلی خاک، حفظ رطوبت خاک، بهبود ساختمان خاک و حفظ محیط‌زیست نقش مهمی را ایفا می‌نماید. در خاک‌های زراعی دیم، هر سال مقادیر قابل توجهی از مواد غذایی خاک به صورت کاه و کلش از زمین خارج می‌شود که به نظر می‌رسد حفظ و مدیریت بقایای گیاهی در دیم‌زارها علاوه بر حفظ رطوبت خاک و افزایش ماده آلی آن موجب کاهش مصرف انرژی و تردد در مزرعه می‌شود (Chaghazardi et al., 2015).

در دهه‌های اخیر، در کشورهای صنعتی و توسعه یافته در راستای کاهش تردد در مزارع و به حداقل رساندن عملیات زراعی، استفاده از ماشین‌های مرکب در حال گسترش است. از جمله نتایج استفاده از این ماشین‌ها کاهش مصرف انرژی، افزایش تولید در واحد سطح، کاهش هزینه عملیات کشاورزی، کمینه کردن فشردگی خاک و جلوگیری از فرسایش خاک مزرعه است ( Akbarnia, 2013). طبق گزارش‌ها، عملیات خاک‌ورزی، ۶۰ درصد انرژی مصرف شده در عملیات ماشینی را به خود اختصاص می‌دهد (Behrouzilar, 1991).

با استفاده از روش‌های خاک‌ورزی نوین و یا روش‌های کشت مستقیم می‌توان کاهش قابل ملاحظه‌ای در مصرف انرژی مشاهده نمود. معمولاً در روش خاک‌ورزی با استفاده از گاوآهن قلمی علاوه بر کاهش زمان انجام عملیات شخم، ۵۰ درصد در میزان سوخت صرفه‌جویی می‌شود ( Bonari et al., 1995). این محققین گزارش دادند، اختلاف معنی‌داری در عملکرد محصول در دو روش مرسوم و کم‌خاک‌ورزی مشاهده نمی‌شود. ماشین‌های کاشت مستقیم در سامانه بی‌خاک‌ورزی باید قادر به بریدن خاک شخم نخورده، عبور دادن بقایا از بین ساقه‌های شیاربازکن‌ها و ایجاد تماس مناسب بین بذر با خاک باشند. با توجه به نوع خاک و همچنین وضعیت بقایای گیاهی، میزان صرفه‌جویی سوخت در این روش کشت در هر هکتار نیز بین ۲۰ تا ۵۰ لیتر در هکتار گزارش شده است (El Titi, 2002).

مطابق نتایج پژوهش‌های Sharma & Behra (2014)، براساس شرایط خاک، میزان صرفه‌جویی در مصرف سوخت در روش کشت مستقیم در مقایسه با روش مرسوم به میزان ۴۰ تا ۷۰ لیتر در هر هکتار است. همچنین در این تحقیق گزارش شد که این موضوع علاوه بر صرفه‌جویی در

برابر گردید. عملکرد گندم در سه سال اول این تحقیق تحت تأثیر معنی‌دار روش‌های خاک‌ورزی بوده است، به طوری که در اکثر این سال‌ها، بیشترین عملکرد برای روش خاک‌ورزی مرسوم گزارش شده است. اما در سال آخر اختلاف معنی‌داری بین تیمارهای حفاظتی با روش مرسوم از نظر عملکرد گندم مشاهده نشده که نشان می‌دهد چنانچه مدت زمان اجرای مداوم خاک‌ورزی حفاظتی به اندازه کافی باشد، عملکرد گندم در این روش‌ها به روش خاک‌ورزی مرسوم نزدیک‌تر می‌شود.

در پژوهشی تأثیر روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی بر روی مصرف انرژی، برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک محصول گندم دیم را بررسی کردند (Hedayatipour *et al.*, 2015). نتایج نشان داد که کمترین مصرف انرژی در روش کشت مستقیم به دست آمد اما تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر روی عملکرد دانه خشک معنی‌دار نبود. اثر روش‌های مختلف خاک‌ورزی بر مصرف سوخت، برخی خواص فیزیکی و شیمیایی خاک و عملکرد محصول (آفتابگردان و گندم) در شهرستان میامی بررسی گردید (Omid-Mehr, 2018).

در تحقیقی در مرکز بین‌المللی تحقیقات کشاورزی در مناطق خشک (ICARDA) در سوریه مشخص شد تأثیر روش خاک‌ورزی بر عملکرد گندم معنی‌دار بوده و خاک‌ورزی کمینه بیشترین تأثیر را در افزایش عملکرد گندم دارد (Arnon, 2012). همچنین در پژوهش‌های دیگر در زمینه بررسی تأثیر بلندمدت سامانه‌های متفاوت خاک‌ورزی بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم، نتایج نشان می‌دهد اگرچه روش کم‌خاک‌ورزی تأثیر معنی‌داری بر عملکرد و اجزای عملکرد گندم داشته است (Hemmat & Eskandari, 2006) اما روش کشت مستقیم (بی‌خاک‌ورزی) نیز موجب افزایش قابل توجه عملکرد گندم (۶۶ درصد) نسبت به روش مرسوم در شرایط دیم گردیده است (Mejhed & Sander, 1998).

معمولاً جهت کاشت در روش‌های خاک‌ورزی مرسوم از شیاربازکن‌های کفشی استفاده می‌گردد که کارایی لازم جهت کار در بقایای گیاهی را ندارند لذا بهتر است جهت کاشت در بقایای گیاهی از شیار بازکن‌های مناسب استفاده گردد تا از جمع‌شدگی بقایا در جلوی شیاربازکن جلوگیری شده و بذر و کود در دو عمق مورد نظر کاشته شوند. در اکثر موارد در زمین‌های دارای بقایای زیاد استفاده از

مصرف سوخت، مقدار دی‌اکسیدکربن وارد شده به محیط را کاهش می‌دهد (هر لیتر سوخت ۲/۶ کیلوگرم دی‌اکسیدکربن تولید می‌کند). از سوی دیگر گزارش شد که اجرای روش کشت مستقیم هزینه‌های تعمیرات تراکتور را به طور چشم‌گیری کاهش می‌دهد. اثر چهار روش تهیه زمین بر عملکرد گندم در تحقیقی دیگر مورد بررسی قرار گرفت (Isaac Beigi, 2008). نتایج نشان داد استفاده از گاواهن قلمی ضمن مصرف انرژی کمتر، سرعت انجام عملیات خاک‌ورزی را نیز افزایش می‌دهد. همچنین میانگین عملکرد تیمارهای گاواهن قلمی و برگردان‌دار نسبت به سایر تیمارها بیشتر گزارش شد. در پژوهشی (Afzalnia *et al.*, 2009) گزارش کردند که خاک‌ورزی حفاظتی باعث صرفه‌جویی در مصرف سوخت به میزان ۷۷ درصد و زمان مورد نیاز جهت تهیه زمین به میزان ۸۴ درصد می‌شود. به منظور بررسی اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد محصول در کشت جو آبی سه تیمار خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی (خاک‌ورزی حفاظتی) مورد مقایسه قرار گرفتند (Dehghaneian & Afzalnia, 2012; Akbarnia, 2013). نتایج نشان داد که سیستم خاک‌ورزی حفاظتی باعث کاهش مصرف سوخت و افزایش ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر می‌شود. همچنین Akbarnia (2013) روش کم‌خاک‌ورزی را به لحاظ تردد محدود در مزرعه، کاهش مصرف سوخت، کاهش فشردگی خاک و حصول عملکرد قابل قبول که منجر به کاهش بخشی از هزینه‌های تولید و افزایش درآمد می‌شود را در شرایط مختلف فیزیکی زمین‌های زراعی به عنوان روشی مناسب و جایگزین روش مرسوم و بی‌خاک‌ورزی توصیه نمود. همچنین میانگین عملکرد محصول در روش‌های خاک‌ورزی مرسوم، کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به ترتیب ۵/۰۱، ۴/۹ و ۳/۵ تن در هکتار گزارش شده است. اثر خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) بر خصوصیات خاک، ظرفیت مزرعه‌ای، مصرف سوخت و عملکرد گندم در تناوب با ذرت بررسی گردید (Afzalnia *et al.*, 2019). نتایج این تحقیق نشان داد که روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم در مصرف سوخت به ترتیب به میزان ۵۸ و ۸۰ درصد کاهش داشته است. همچنین ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر برای تهیه زمین و کاشت در تیمارهای کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی مرسوم به ترتیب ۳ و ۶

باله‌دار و T شکل معکوس، بقایای زیرسطحی را بهتر خرد کرده که منجر به سرعت رشد بهتر و استقرار نهایی بهتر بذر خواهد شد (Chaudhuri, 2001). در تحقیقی تأثیر نوع شیاربازکن و موقعیت چرخ‌های فشار در کارنده‌های کشت مستقیم بر جوانه‌زنی محصول و کارایی ماشین کاشت مستقیم در سیستم‌های خاک‌ورزی حفاظتی بررسی شده است (Roosbeh & Khosravani Gashtasb, 2018). نتایج نشان داد که نوع شیاربازکن و وجود یا عدم وجود چرخ فشار تأثیر معنی‌داری بر عمق کاشت، یکنواختی عمودی توزیع بذر، سرعت جوانه‌زنی و عملکرد گندم داشته است. با توجه به اهمیت اجرای کشاورزی حفاظتی در صرفه‌جویی در وقت و انرژی و تقویت منابع آب و خاک، هدف از این تحقیق بررسی عملکرد گندم و میزان مصرف سوخت در روش کشت مستقیم و مقایسه شیاربازکن‌های رایج دستگاه‌های کشت مستقیم مورد استفاده در مزارع استان مرکزی در استقرار افقی و عمودی بذر و مقایسه آن‌ها با یکدیگر است.

#### مواد و روش‌ها

به منظور مقایسه روش‌های کشت مستقیم و همچنین نوع شیاربازکن، آزمایشی در یکی از مزارع کشاورزی منطقه دو گوش آشتیان با مختصات N34.32883 و E050.26868 و ارتفاع ۲۰۹۷ متر از سطح دریا طی سال‌های زراعی ۹۶-۹۵، ۹۶-۹۷، ۹۷-۹۸ و ۹۸-۹۹ اجرا شد. متوسط بارندگی و دمای سالیانه به ترتیب ۲۵۷/۹ میلی‌متر و ۱۱/۸ درجه سلسیوس است. متوسط رطوبت سالیانه آشتیان ۴۶٪ بوده و براساس طبقه‌بندی دومارتن اقلیم نیمه‌خشک و براساس طبقه‌بندی آمبرژه دارای اقلیم خشک و سرد است. مشخصات خاک محل آزمایش قبل از اعمال تیمارها در سال اول و تا عمق ۳۵ سانتی‌متر تعیین گردید (جدول ۱).

شیاربازکن‌های دیسکی و به‌ویژه کنگره‌دار پیشنهاد می‌گردد (Hedayatipoor *et al.*, 2021). عملکرد دستگاه‌های کشت مستقیم بستگی به فاکتورهایی مانند شرایط مزرعه از جمله نوع و مقدار بقایای گیاهی بر روی سطح خاک، طراحی شیاربازکن و محصول کشت شده دارد (Morrison, 2002). در واقع خصوصیات شیاربازکن نقش مهمی را در جوانه‌زنی بذر دارد و بسیاری از محققان اشاره نمودند که عوامل بسیار مهم در تنظیم جوانه‌زنی مانند قابلیت ماتریک خاک، درجه حرارت (Lindstrom *et al.*, 1976; Schneider & Gupta, 1985) و عمق کاشت (Alessi & Power, 1971; Mahdi *et al.*, 1998) تحت تأثیر تعامل بین شیاربازکن و خاک قرار می‌گیرد. بسیاری از ویژگی‌های بستر بذر در روش کشت مستقیم به نوع شیاربازکن مورداستفاده بستگی دارد، به طوری که استفاده از دو نوع شیاربازکن اصلی یعنی شیاربازکن بیلچه‌ای و دیسکی باعث تفاوت‌هایی در شکل‌گیری بستر بذر می‌گردد (Wilkins *et al.*, 1983). شیاربازکن‌ها براساس شرایط آب و هوایی و خاک، باید چندین هدف را پوشش دهند که این اهداف عبارتند از یکنواختی کاشت (عمق و فاصله کاشت بذر)، تولید مقدار کافی خاک نرم در بستر بذر برای تعامل بهتر بذر و خاک، کاهش تلفات آب، جلوگیری از تماس بذر با کود یا بقایای گیاهی و جلوگیری از تراکم خاک توسط شیاربازکن که ممکن است رشد ریشه را مختل نماید (Bueno *et al.*, 2002; Tsegaye & Mullins, 1994; Willatt, 1986). نوع شیاربازکن تأثیر قابل‌توجهی بر ظهور و استقرار گیاه دارد (McLeod *et al.*, 1992). محققان در پژوهشی دریافتند که انواع مختلف شیاربازکن‌ها منجر به الگوهای مختلف رشد جو خواهد شد (Chaudhry & Baker, 1988). در تحقیقی دیگر، به عنوان جایگزین در روش بی‌خاک‌ورزی، شیاربازکن‌هایی مانند چیزل، چیزل

جدول ۱- نتایج آزمایش شیمیایی و فیزیکی خاک محل انجام آزمایش

سال آزمایش	بافت (Sandy clay loam)			مواد خنثی شونده (%)	کربن آلی (%)	ازت کل (ppm)	فسفر قابل جذب (ppm)	پتاسیم قابل جذب (ppm)
	رس (%)	شن (%)	سیلت (%)					
اول	۲۱/۴	۶۶/۲	۱۲/۴	۸	۰/۴	۰/۰۴	۶	۲۲۰

بنابراین تیمارها در سال دوم و چهارم آزمایش (سال‌های زراعی ۹۶-۹۷ و ۹۸-۹۹) به صورت کرت خورد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی در سه تکرار اجرا شد.

باتوجه به اجرای آزمایش در شرایط دیم و کشت گندم در سال قبل از اجرای پروژه (۱۳۹۴) در مزرعه انتخابی، در سال اول پروژه مزرعه به صورت آیش نگهداری گردید.

عرض کرت‌های فرعی ۴/۵ متر در نظر گرفته شد و در هر کرت فرعی تیمارهای عمق کاشت ۴-۶ و ۸-۶ سانتی‌متر اجرا شد.

در روش شاهد، خاک‌ورزی اولیه با استفاده از گاوآهن برگردان‌دار و عملیات خاک‌ورزی ثانویه توسط کولتیواتور پنجه‌غازی در عمق ۲۵ سانتی‌متری انجام شد. کاشت گندم با دستگاه عمیق‌کار مناسب برای کاشت دیم مدل جان‌دیر (جدول ۲) انجام شد.

تراکم بذر گندم مورد استفاده در تمام تیمارها به میزان ۱۰۰ کیلوگرم در هکتار و یکسان در نظر گرفته شد. بذر مادری رقم سرداری ضدعفونی شده با قارچ‌کش دیفنوکونازول (Difenoconazole) با نام تجاری دیویدند (Dividend) و با دوز ۲ در هزار استفاده شد. همچنین حداقل خلوص بذر ۹۰٪ بود. براساس تراکم آزمایش، عملیات کالیبراسیون برای تمام دستگاه‌های کارنده انجام شد.

در این آزمایش کرت‌های اصلی میزان بقایای گیاهی (حفظ بقایای ایستاده و انتقال بقایای خارج شده از انتهای کمباین به بیرون از مزرعه و حفظ تمام بقایا در مزرعه (بقایای خارج شده از انتهای کمباین نیز در سطح مزرعه پخش گردید))، کرت فرعی نوع شیاربازکن دستگاه کشت مستقیم (۱- بیلچه‌ای باریک، ۲- بیلچه‌ای پهن و ۳- دیسکی) و کرت فرعی عمق کاشت (۴-۶ و ۸-۶ سانتی‌متر) در نظر گرفته شد. در این تحقیق از کارنده‌های کشت مستقیم رایج مورد استفاده در استان جهت کاشت گندم دیم (شرکت‌های ماشین برزگر همدان، جیران صنعت و تاکا) استفاده شد.

در جدول ۲ مدل دستگاه‌های کاشت مستقیم و خصوصیات آنها آورده شده است. کاشت با کارنده‌های تاکا، جیران صنعت و ماشین برزگر در اوایل آبان‌ماه سال‌های ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸ انجام شد. با توجه به عرض زمین انتخابی و همچنین عرض کار دستگاه‌های کارنده کشت مستقیم،

جدول ۲- خصوصیات ماشین‌های مورد استفاده جهت کاشت

نام شرکت	مدل کارنده کشت مستقیم	نوع شیاربازکن	تعداد شیاربازکن	فاصله بین ردیف کشت (cm)
تاکا	Rock	بیلچه‌ای باریک	۱۱	۲۰
جیران صنعت	JSA	بیلچه‌ای پهن	۱۳	۱۸
ماشین برزگر همدان	SPDe 3000	دیسکی	۱۶	۱۷
جان‌دیر	عمیق‌کار	بیلچه‌ای معمولی	۱۰	۲۰

### شاخص برگردانی خاک

با استفاده از کادری به ابعاد ۵۰ در ۱۰۰ سانتی‌متر میزان بقایای گیاهی بر روی زمین قبل و پس از کاشت در آبان‌ماه دو سال ۱۳۹۶ و ۱۳۹۸ اندازه‌گیری گردید و سپس با استفاده از معادله (۱) شاخص برگردانی خاک محاسبه شد (Anonymous, 1995).

$$F = \frac{W_p - W_E}{W_p} \times 100 \quad (1)$$

که در آن:  $F$  شاخص برگردانی خاک (%);  $W_p$  میزان بقایای محصول قبل از عملیات در واحد سطح؛  $W_E$  میزان بقایای محصول بعد از عملیات در واحد سطح است.

### ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر ادوات

در بیرون از زمین اصلی و در یک مسیر طولی ۱۰۰ متری، ظرفیت مزرعه‌ای ادوات مطابق معادله زیر اندازه‌گیری شد (Shafiee, 2010):

پس از عملیات کاشت، صفاتی هم‌چون ضریب یکنواختی عمق کاشت، ضریب یکنواختی توزیع افقی بذر، درصد سبزشدن مزرعه و پس از برداشت، شاخص برداشت و عملکرد محصول اندازه‌گیری شدند. به منظور محاسبه عملکرد دانه، پس از حذف حاشیه کرت‌ها، کل سنبله‌های برداشت شده از سطح یک مترمربع در هر کرت با دست خرمن‌کوبی و عملکرد در مبنای یک هکتار محاسبه شد. همچنین برای محاسبه شاخص برداشت، وزن کل دانه‌های خشک شده (در سطح یک مترمربع مذکور) بر جرم زیست توده (کل خوشه‌های خشک شده) تقسیم گردید.

تحلیل واریانس داده‌های آزمایش با استفاده از نرم‌افزار MSTAT-C (تحت سیستم عامل DOS) انجام و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح آماری ۵٪ انجام گردید.

به ابعاد ۵۰ در ۱۰۰ سانتی‌متر با سه تکرار در هر تیمار اندازه‌گیری شد. براساس تعداد بذور سبز شده، درصد سبزشدگی مزرعه از طریق معادله (۵) محاسبه گردید (Anonymous, 1995).

$$PE = \frac{n}{N} * 100 \quad (5)$$

که در آن:  $PE$  درصد سبز شدگی (%);  $n$  تعداد گیاهچه‌های شمرده شده و  $N$  تعداد بذرهایی که به صورت اسمی در واحد سطح کشت شده‌اند، است.

### نتایج و بحث

جدول ۳ اثر تیمارهای آزمایش و همچنین اثر متقابل تیمارهای آزمایش را بر روی عملکرد، شاخص برداشت، درصد سبز شدن بذر، شاخص برگردانی خاک، ضرایب توزیع افقی و عمودی بذر نشان می‌دهد. با توجه به این جدول اثرات نوع شیاربازکن و عمق کاشت بر روی عملکرد در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار است اما میزان بقایای گیاهی معنی‌دار نبوده این موضوع به دلیل حجم کم بقایای گیاهی در کشت دیم (میانگین وزنی کل میزان بقایا قبل از کشت در دو سال کشت ۳۶۴ کیلوگرم در هکتار) بوده است. از سوی دیگر این بدان معناست که نحوه اثر میزان بقایای گیاهی بر روی تمام صفات اندازه‌گیری شده یکسان بوده است و یکی از دلایل می‌تواند همان مقدار کم بقایای گیاهی در زراعت دیم باشد که در پژوهش Hedayatipour *et al.* (2012) نیز به آن اشاره شده بود. همچنین با توجه به نتایج جدول مذکور، مشاهده می‌گردد که اثر نوع شیاربازکن بر روی عملکرد و شاخص برداشت در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار است. همچنین اثر این عامل بر روی ضریب یکنواختی توزیع عمودی بذر، درصد سبز شدن بذر و شاخص برگردانی خاک در سطح آماری ۱٪ معنی‌دار است و نشان دهنده آن است که نوع شیاربازکن می‌تواند به عنوان یک عامل در عمق قرارگیری بذر و درصد سبز شدن آن تأثیرگذار باشد.

جدول ۴ مقایسه میانگین عملکرد و صفات اندازه‌گیری شده را تحت تأثیر نوع شیاربازکن با استفاده از آزمون دانکن در سطح آماری ۵٪ نشان می‌دهد. براساس نتایج این جدول، بیشترین عملکرد مربوط به روش کشت مرسوم با دستگاه عمیق‌کار با شیاربازکن بیلچه‌ای معمولی بود و روش کشت مستقیم در بقایا عملکرد پایین‌تری را داشت و با نتایج دیگر پژوهش‌گران منطبق است (Hedayatipour

$$C_a = \frac{W \times S}{10} \times e_f \quad (2)$$

که در آن:  $W$  عرض ماشین (متر);  $S$  سرعت ماشین (متر بر ثانیه) و  $e_f$  راندمان مزرعه‌ای است.

### میزان مصرف سوخت

مصرف سوخت نیز هم‌زمان با اندازه‌گیری ظرفیت مؤثر مزرعه‌ای و از روش مخزن پر بر حسب لیتر بر هکتار اندازه‌گیری شد. قبل از اعمال تیمارها، باک سوخت تا قسمت گلوبی پر شده و بعد از طی شدن مسیر مورد نظر و با استفاده از استوانه مدرج مقدار سوخت ریخته شده به داخل مخزن تا قسمت گلوبی اندازه‌گیری و ثبت شد.

### ضریب یکنواختی توزیع افقی بذر

با استفاده از معادله (۳) (Senapati *et al.*, 1992) ضریب یکنواختی توزیع افقی بذر محاسبه گردید.

$$S_e = \left(1 - \frac{Y}{D}\right) \times 100 \quad (3)$$

که در آن:  $S_e$  ضریب یکنواختی توزیع افقی بذر (%);  $Y$  میانگین قدرمطلق تفاضل فاصله به دست آمده از میانگین (میلی‌متر) و  $D$  میانگین فاصله بذر تا خط میانی کشت (میلی‌متر) است.

### ضریب یکنواختی توزیع عمودی بذر (عمق قرارگیری بذر)

پس از کاشت و سبز شدن تمام بذرهایی کاشته شده، در چند نقطه از هر کرت بوته‌هایی را به صورت تصادفی از زمین بیرون آورده و عمق کاشت از محل قرارگیری بذر تا قسمتی که با سطح خاک در تماس بوده است، اندازه‌گیری شد. با استفاده از معادله (۴) ضریب یکنواختی عمق کاشت محاسبه گردید (Senapati *et al.*, 1992).

$$S_d = \left(1 - \frac{Y_d}{D_d}\right) \times 100 \quad (4)$$

که در آن:  $S_d$  ضریب یکنواختی توزیع بذر (%);  $Y_d$  میانگین قدرمطلق انحراف عمق بذر از میانگین عمق قرارگیری بذر (میلی‌متر) و  $D_d$  میانگین عمق بذر (میلی‌متر) است.

### درصد سبز شدن مزرعه

تعداد گیاهچه‌های سبز شده در واحد سطح و درصد جوانه‌زنی در اوایل بهار، با استفاده از کادر مستطیل شکل

درصد مربوط به روش کشت مرسوم با استفاده از شیاربازکن بیلچه‌ای معمولی است، زیرا خاک با گاوآهن برگرداندار شخم زده شده و با نتایج دیگر پژوهش‌ها منطبق است (Hedayatipour *et al.*, 2012; Roozbeh & Khosravani, 2018). کمترین و بیشترین میزان برگردان شدن خاک در روش کشت مستقیم به ترتیب مربوط به شیاربازکن بیلچه‌ای باریک و دیسکی است در مقایسه انواع شیاربازکن‌ها در کارنده‌های کشت مستقیم، محققان گزارش نمودند که میزان به هم خوردگی خاک در جهت عمودی، در شیاربازکن‌های کاردی بیشتر از دیسکی است (Aikins *et al.*, 2018; Tessier *et al.*, 1990).

*et al.*, 2012; De Vita *et al.*, 2007; Rahimzadeh *et al.*, 2005; Afzalnia *et al.*, 2019). در روش کشت مستقیم با استفاده از شیاربازکن بیلچه‌ای باریک، دیسکی و بیلچه‌ای پهن میزان عملکرد به ترتیب ۶۳۱/۷۷، ۵۸۳/۰۲ و ۵۳۹/۳۸ کیلوگرم در هکتار بوده است. همان‌طور که در این جدول مشخص است، درصد سبز شدن بذر در روش کشت مستقیم با سه نوع شیاربازکن معنی‌دار نبوده و از سوی دیگر کمترین درصد سبز شدن در روش کشت مرسوم با استفاده از شیاربازکن بیلچه‌ای معمولی دیده شده است. همچنین همان‌طور که در جدول ۴ مشخص است، بیشترین میزان برگردانده شدن خاک به میزان ۹۳/۴

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب اثر تیمارها بر روی عملکرد و صفات اندازه‌گیری شده

میانگین مربعات						
منابع تغییر	درجه آزادی	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	توزیع افقی بذر (یکواختی)	توزیع عمودی بذر (یکواختی)	درصد سبز شدن بذر
سال	۱	۳۱۸۶۱/۳۲ <sup>ns</sup>	۱۳۳۰/۲۰ <sup>**</sup>	۱۴۸/۷۰ <sup>*</sup>	۷۵/۷۷ <sup>ns</sup>	۱۰۹۵۰/۹۰ <sup>**</sup>
تکرار×سال	۴	۷۴۰۹۷/۵۳ <sup>ns</sup>	۵۸/۳۴ <sup>ns</sup>	۶۷/۴۳ <sup>ns</sup>	۵۳/۱۱ <sup>ns</sup>	۸۹۷/۸۷ <sup>ns</sup>
بقایا	۱	۴۳۸/۷۴۶ <sup>ns</sup>	۰/۰۰۱ <sup>ns</sup>	۴/۶۸ <sup>ns</sup>	۱۰۲/۳۲ <sup>ns</sup>	۵/۸۳ <sup>ns</sup>
بقایا×سال	۱	۲۵۱۶۹/۳۰ <sup>ns</sup>	۰/۹۰ <sup>ns</sup>	۷۳/۵ <sup>ns</sup>	۵۳/۶۳ <sup>ns</sup>	۶۲/۸۲ <sup>ns</sup>
خطای آزمایش	۴	۱۸۲۶۸/۳۸	۲۰/۸۷	۲۱/۲۴	۸۴/۵۸	۲۴۸/۴۴
نوع شیاربازکن	۳	۵۱۳۹۳/۱۱ <sup>*</sup>	۱۱۴/۸۵ <sup>*</sup>	۶/۹۷ <sup>ns</sup>	۲۶۹/۱۸ <sup>**</sup>	۹۰۷/۵۱ <sup>**</sup>
نوع شیاربازکن×سال	۳	۶۷۳۵۸/۲۹ <sup>*</sup>	۸۷/۰۴ <sup>ns</sup>	۴۵/۰۷ <sup>ns</sup>	۷۱/۶۹ <sup>ns</sup>	۸۹۱/۲۷ <sup>**</sup>
بقایا×نوع شیاربازکن	۳	۲۸۳۴۶/۹۲ <sup>ns</sup>	۲۹/۸۹ <sup>ns</sup>	۳۵/۹۲ <sup>ns</sup>	۱۱۶/۲۷ <sup>ns</sup>	۳۱۷/۴۲ <sup>ns</sup>
بقایا×نوع شیاربازکن×سال	۳	۵۹۶۷/۱۳ <sup>ns</sup>	۱۰/۵۷ <sup>ns</sup>	۲۱/۹۱ <sup>ns</sup>	۸۰/۶۵ <sup>ns</sup>	۱۷۵/۹۲ <sup>ns</sup>
خطای آزمایش	۲۴	۱۹۴۷۱/۸۰	۳۶/۰۴	۱۸/۴۸	۵۱/۹۵	۱۶۴/۲۶
عمق بذر	۱	۱۳۶۸۰/۶۱ <sup>*</sup>	۲/۷۸ <sup>ns</sup>	۱/۵۴ <sup>ns</sup>	۴۹/۶۱ <sup>ns</sup>	۲۴۵/۵۹ <sup>*</sup>
عمق بذر×سال	۱	۹/۳۳ <sup>ns</sup>	۲۸/۴۴ <sup>ns</sup>	۱۵/۷۵ <sup>ns</sup>	۳۷/۰۱ <sup>ns</sup>	۵۱/۰۲ <sup>ns</sup>
بقایا×عمق بذر	۱	۵۶۶۶/۷۶ <sup>ns</sup>	۲۸/۵۲ <sup>ns</sup>	۴/۸۳ <sup>ns</sup>	۳۴۶/۰۷ <sup>*</sup>	۶/۴۵۱ <sup>ns</sup>
بقایا×عمق بذر×سال	۱	۶۶۹/۶۶ <sup>ns</sup>	۳/۸۷ <sup>ns</sup>	۰/۰۲ <sup>ns</sup>	۷۴/۳۳ <sup>ns</sup>	۲/۶۷ <sup>ns</sup>
نوع شیاربازکن×عمق بذر	۳	۵۱۰۶/۰۳ <sup>ns</sup>	۲/۰۸ <sup>ns</sup>	۳۱/۷۲ <sup>ns</sup>	۶۴/۹۱ <sup>ns</sup>	۳۴/۶۹ <sup>ns</sup>
نوع شیاربازکن×عمق بذر×سال	۳	۱۲۹۳/۴۰ <sup>ns</sup>	۱۳/۱۳ <sup>ns</sup>	۱۱/۸۱ <sup>ns</sup>	۳۷/۱۶ <sup>ns</sup>	۱۵۴/۱۷ <sup>ns</sup>
بقایا×نوع شیاربازکن×عمق بذر	۳	۵۷۰۰/۹۴ <sup>ns</sup>	۳۰/۴۰ <sup>ns</sup>	۲۵/۲۵ <sup>ns</sup>	۲۷۴/۴۸ <sup>*</sup>	۲۵/۱۹ <sup>ns</sup>
همه عوامل×سال	۳	۵۰۰۸/۹۶ <sup>ns</sup>	۱/۲۸ <sup>ns</sup>	۲۹/۳۳ <sup>ns</sup>	۵۴/۸۹ <sup>ns</sup>	۵۸/۹۳ <sup>ns</sup>
خطای آزمایش	۳۲	۵۱۶۹/۴۶	۴/۴۹	۱۸/۴۶	۷۱/۴۲	۵۸/۸۹
ضریب تغییرات (%)	۱۲	۱۲	۱۳/۵	۴/۶	۹/۶	۱۲/۷۱

\*\* و \* : نشان دهنده وجود اختلاف معنی‌دار تیمار بر روی صفت مربوطه به ترتیب در سطوح آماری ۱ و ۵ درصد و ns: نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار تیمار بر روی صفت مربوطه به ترتیب در سطح آماری ۵ درصد است.

جدول ۴- مقایسه میانگین تأثیر نوع شیاریازکن بر روی عملکرد و صفات اندازه‌گیری شده

نوع شیاریازکن	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	ضریب یکنواختی توزیع افقی بذر	ضریب یکنواختی توزیع عمودی بذر	درصد سبزشدن بذر	شاخص برگردانی خاک (درصد)
بیلچه‌ای باریک	۶۳۱/۷۷ <sup>b</sup>	۳۰/۲۴ <sup>a</sup>	۹۲/۸۷ <sup>a</sup>	۹۱/۱۹ <sup>a</sup>	۶۴/۳۵ <sup>a</sup>	۴۹/۷۳ <sup>c</sup>
بیلچه‌ای پهن	۵۳۹/۳۸ <sup>d</sup>	۲۶/۱۹ <sup>b</sup>	۹۲/۹۸ <sup>a</sup>	۸۳/۹۵ <sup>b</sup>	۶۵/۳۳ <sup>a</sup>	۵۹/۳۱ <sup>b</sup>
دیسکی	۵۸۳/۰۳ <sup>c</sup>	۲۸/۱۵ <sup>ab</sup>	۹۴/۰۳ <sup>a</sup>	۸۷/۲۷ <sup>ab</sup>	۵۹/۹۵ <sup>a</sup>	۶۱/۱۹ <sup>b</sup>
بیلچه‌ای معمولی	۶۳۸/۲۸ <sup>a</sup>	۳۱/۰۵ <sup>a</sup>	۹۳/۵۲ <sup>a</sup>	۹۰/۶۰ <sup>a</sup>	۵۱/۸۳ <sup>ab</sup>	۹۳/۴۰ <sup>a</sup>

حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد است (با توجه به سطح معنی دار بودن عامل).

بقایای مورد آزمایش، تأثیر افزایش و یا کاهش عمق بذر روند یکسانی را دارند و فقط بر روی یکنواختی عمق قرارگیری بذر اثر داشته‌اند.

نتایج تجزیه واریانس اثر تیمارهای آزمایش بر روی صفات اندازه‌گیری شده (جدول ۳) نشان می‌دهد که اثر متقابل عمق کاشت بذر و نوع شیاریازکن بر روی عملکرد و صفات اندازه‌گیری شده به غیر از شاخص برگردانی خاک در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار نیست. این بدان معناست که کارایی همه شیاریازکن‌ها در دو عمق آزمایش تقریباً یکسان است.

نتایج جدول ۶ نشان داد که اثر نوع شیاریازکن در دو عمق ۴-۶ سانتی‌متر و ۸-۶ سانتی‌متر بر روی شاخص برگردانی خاک معنی‌دار نبوده و در دو عمق کاشت موردنظر میزان برگردانده شدن خاک یکسان بوده است. بیشترین و کمترین مقدار شاخص برگردانی خاک به ترتیب مربوط به روش کشت مرسوم با شیاریازکن بیلچه‌ای در عمق کشت ۸-۶ سانتی‌متر و کشت مستقیم با شیاریازکن بیلچه‌ای باریک در عمق کشت ۴-۶ سانتی‌متر مشاهده شده است.

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۳)، اثر متقابل هر سه عامل آزمایش بر عملکرد و صفات اندازه‌گیری شده به غیر از ضریب یکنواختی توزیع عمودی بذر در سطح آماری ۵٪ معنی‌نبود. جدول ۷ اثر متقابل سه عامل میزان بقایای گیاهی، نوع شیاریازکن و عمق کاشت بذر بر روی عملکرد و صفات اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد.

اگرچه طبق نتایج جدول ۳ اثر متقابل میزان بقایای گیاهی، نوع شیاریازکن و عمق کاشت بذر بر روی ضریب یکنواختی توزیع عمودی بذر در سطح ۵٪ معنی‌دار است، اما با توجه به نتایج جدول ۷ مشاهده می‌شود که اثر

با توجه به جدول تجزیه واریانس (جدول ۳) اثر متقابل نوع شیاریازکن و سال در سطح آماری ۵٪ بر روی عملکرد معنی‌دار است، اما بر روی ضرایب یکنواختی توزیع افقی و عمودی بذر معنی‌دار نیست. می‌توان گفت یکی از دلایل عدم وجود اختلاف معنی‌دار، مقدار کم بقایای گیاهی در زراعت دیم (در مقایسه با کشت آبی) است. از طرف دیگر در تحقیقی گزارش شده است که مقدار سفتی خاک در اراضی دیم در حدی نیست که باعث عدم یکنواختی توزیع بذر شود (Hedayatipour et al., 2012).

با توجه به نتایج تجزیه واریانس، اثر عمق کاشت بذر بر روی عملکرد و درصد سبزشدن بذر در سطح آماری ۵٪ و بر روی شاخص برگردانی خاک در سطح ۱٪ معنی‌دار به دست آمد. مقایسه میانگین تأثیر عمق بذر بر روی عملکرد و صفات اندازه‌گیری شده، در جدول ۵ آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که عملکرد و درصد سبزشدن در عمق ۴ تا ۶ سانتی‌متر نسبت به عمق ۶ تا ۸ سانتی‌متر بیشتر بوده است. در واقع با افزایش عمق کاشت، درصد سبزشدن و در نتیجه عملکرد دانه کاهش می‌یابد. با افزایش عمق، درصد سبزشدن کاهش یافته که با نتایج Hedayatipour و Rahimzadeh et al., (2005) و et al. (2012) هم‌خوانی دارد. همان‌طور که مشخص است شاخص برگردانی خاک در عمق ۶ تا ۸ سانتی‌متر نسبت به عمق ۴ تا ۶ سانتی‌متر بیشتر بوده و بقایای بیشتری با خاک مخلوط شده و زیر خاک دفن شده است.

در جدول ۳ مشاهده می‌شود که اثر متقابل عمق کاشت بذر و میزان بقایای گیاهی بر روی عملکرد، شاخص برداشت، ضریب یکنواختی توزیع افقی بذر، درصد سبزشدن و شاخص برگردانی خاک در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار به دست نیامد. این به این معناست که در میزان



شیارباژکن تفاوت معنی‌داری را در قرارگیری افقی و عمودی بذر ایجاد نماید. مشابه این نتایج در تحقیق Hedayatipour *et al.* (2012) نیز گزارش شده بود.

متقابل میزان بقایای گیاهی، نوع شیارباژکن و عمق کاشت بذر بر روی ضریب یکنواختی توزیع عمودی بذر معنی‌دار نبوده و نشان می‌دهد که میزان بقایا آنقدر بالا نبوده است (به دلیل زراعت دیم) که تفاوت نوع

جدول ۵- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده متأثر از عمق‌های کاشت مورد آزمایش

شاخص برگردانی خاک (درصد)	درصد سبزشدن بذر	ضریب یکنواختی توزیع عمودی بذر	ضریب یکنواختی توزیع افقی بذر	شاخص برداشت (درصد)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	عمق کاشت (سانتی‌متر)
۶۴/۲۹a	۶۱/۹۶a	۸۸/۹۷a	۹۳/۷۲a	۲۹/۰۸a	۶۱۰/۰۵ a	۴-۶
۶۷/۵۲b	۵۸/۷۷b	۸۷/۵۳a	۹۳/۴۷a	۲۸/۷۴a	۵۸۶/۱۷ b	۶-۸

حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و یا ۵ درصد است (با توجه به سطح معنی‌دار بودن عامل).

جدول ۶- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده به ازای اثر متقابل عمق کاشت بذر و نوع شیارباژکن

شاخص برگردانی خاک (درصد)	درصد سبزشدن بذر	ضریب یکنواختی توزیع عمودی بذر	ضریب یکنواختی توزیع افقی بذر	شاخص برداشت (درصد)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	عمق کاشت (سانتی‌متر)	نوع شیارباژکن
۴۸/۴۴c	۶۷/۴۸a	۹۰/۰۵a	۹۴/۳۱a	۳۰/۱۶a	۶۳۷/۰۷ a	۴-۶	بیلچه‌ای باریک
۵۱/۰۱c	۶۱/۲۱abc	۹۲/۳۳a	۹۱/۴۳a	۳۰/۳۳a	۶۲۶/۴۷ a	۶-۸	
۵۸/۰۸b	۶۷/۰۳ab	۸۶/۶۶ab	۹۴/۱۸a	۲۶/۷۷bc	۵۴۰/۷۵ b	۴-۶	بیلچه‌ای پهن
۶۰/۵۴b	۶۳/۶۲abc	۸۱/۲۳b	۹۳/۷۷a	۲۵/۶۰c	۵۳۸ b	۶-۸	
۵۹/۷۰b	۶۰/۱۷bc	۸۸/۴۹ab	۹۲/۶۷a	۲۸/۱۹b	۶۱۶/۴۹ a	۴-۶	دیسکی
۶۲/۶۹b	۵۹/۷۳c	۸۶/۰۵ab	۹۵/۴۰a	۲۸/۱۱b	۵۴۹/۵۵b	۶-۸	
۹۰/۹۷a	۵۳/۱۷d	۹۰/۶۸a	۹۳/۷۵a	۳۱/۱۹a	۶۴۵/۸۸ a	۴-۶	بیلچه‌ای معمولی
۹۵/۸۳a	۵۰/۴۹d	۹۰/۵۲a	۹۳/۲۹a	۳۰/۹۱a	۶۳۰/۶۷ a	۶-۸	

حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و یا ۵ درصد است (با توجه به سطح معنی‌دار بودن عامل).

### ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر

مقادیر ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر در مرحله آماده‌سازی زمین و مرحله کاشت توسط خطی‌کارهای استفاده شده در آزمایش در جدول ۸ آورده شده است. با توجه به نتایج، ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر در روش کشت مستقیم توسط سه نوع دستگاه مورد آزمایش از روش کشت مرسوم (۰/۲ هکتار بر ساعت) بالاتر است. همچنین کاهش مدت زمان انجام عملیات کشاورزی با توجه به محدودیت زمان کشت در اول پاییز، از اهمیت زیادی برخوردار است که در روش کشت مستقیم به خوبی مشهود است.

### میزان مصرف سوخت

مقادیر میزان مصرف سوخت در جدول ۸ آورده شده است. همان‌طور که در جدول دیده می‌شود، میزان مصرف سوخت در روش کشت مستقیم نسبت به روش کشت مرسوم به دلیل حذف عملیات خاک‌ورزی بسیار کمتر (حدود یک چهارم) است. میزان کاهش مصرف سوخت در روش کشت مستقیم به ترتیب با کارنده‌های تاکا، جیران صنعت و ماشین بزرگ نسبت به روش کشت مرسوم ۷۷، ۷۲ و ۷۷ درصد بوده است. در واقع نه تنها زمان انجام عملیات در روش کشت مستقیم کاهش یافته، بلکه مصرف انرژی و در نتیجه هزینه نیز نسبت به روش کشت مستقیم کاهش یافته است.

جدول ۷- مقایسه میانگین صفات اندازه‌گیری شده به ازای اثر متقابل میزان بقایای گیاهی، نوع شیاربازکن و عمق کاشت بذرها

بقایا	نوع شیاربازکن	عمق کاشت (سانتی‌متر)	عملکرد (کیلوگرم در هکتار)	شاخص برداشت (درصد)	توزیع افقی بذرها	توزیع عمودی بذرها	ضریب یکنواختی	درصد سبز شدن بذرها	شاخص برداشتی خاک (درصد)
بقایای ایستاده	بیلچه‌ای باریک	۴-۶	۶۳۰/۰۶abc	۲۹/۲۷bcd	۹۳/۷۲ab	۹۱/۹۵a	۶۴/۴۹abcd	۷۲/۸۹a	۴۴/۳۹e
	بیلچه‌ای پهن	۴-۶	۵۲۴/۶۴de	۲۷/۴۳de	۹۴/۰۱ab	۸۴/۲۵a	۶۲/۸۹bcd	۶۲/۸۹a	۴۶/۶۸de
	دیسکی	۴-۶	۶۱۵/۷۵abcd	۲۹/۰۲bcd	۹۰/۱۳ab	۸۵/۵۷a	۶۰/۵۹cdef	۵۹/۱۶cdef	۶۵/۸۱bc
	بیلچه‌ای معمولی	۴-۶	۶۹۱/۹۳a	۳۲/۷۷a	۹۵/۲۶ab	۹۰/۶۵a	۵۲/۵def	۵۲/۵def	۹۱/۶۶a
بقایای ایستاده + کاه و کلش	بیلچه‌ای باریک	۴-۶	۶۴۴/۰۹abc	۳۱/۰۴abc	۹۴/۹ ab	۸۸/۱۵a	۶۲/۰۷efg	۶۲/۰۷efg	۵۲/۴۹de
	بیلچه‌ای پهن	۴-۶	۵۵۶/۸۵cde	۲۶/۱۲e	۹۴/۳۵ab	۸۹/۰۹a	۷۱/۱۷def	۷۱/۱۷def	۵۵/۳۵d
	دیسکی	۴-۶	۶۱۷/۲۴abcd	۲۷/۳۶de	۹۵/۲۰ab	۹۱/۴۲a	۵۹/۷۵abc	۵۹/۷۵abc	۵۴/۱۹de
	بیلچه‌ای معمولی	۴-۶	۵۹۹/۸۳abcd	۲۹/۶۲bcd	۹۲/۲۳ab	۹۰/۷۰a	۵۲/۸۴fg	۵۲/۸۴fg	۹۰/۲۷a
		۶-۸	۶۰۰/۶۷abcd	۳۰/۱۱abcd	۹۲/۸۳ab	۹۱/۹۸a	۴۷/۸۵g	۴۷/۸۵g	۹۴/۷۷a

حروف مشابه نشان دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۱ و یا ۵ درصد است (با توجه به سطح معنی‌دار بودن عامل).

جدول ۸- ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر و میزان مصرف سوخت خطی کارها در روش‌های کشت آزمایش

روش کشت	مدل دستگاه	ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر (هکتار در ساعت)	میزان مصرف سوخت (لیتر بر هکتار)	زمان مفید انجام عملیات (ساعت بر هکتار)	زمان کل انجام عملیات (ساعت بر هکتار)
کشت مستقیم	کارنده ناکا	۰/۹۶	۱۸/۲	۰/۷۸	۱/۰۴
	کارنده جیران صنعت	۱/۱۵	۲۲/۲۲	۰/۶۵	۰/۸۷
	کارنده ماشین برزگر	۱/۷۲	۱۸/۱۲	۰/۴۳	۰/۵۸
کشت مرسوم	گاواهن سه خیش	۰/۳۰	۶۴	۲/۸	۳/۳۳
	کولتیواتور	۱/۲۲	۸	۰/۶۹	۰/۸۲
	کارنده چاندر	۰/۷۵	۸/۴۶	۱	۱/۳۳
جمع کل عملیات در روش مرسوم		۰/۱۸	۸۰/۴۶	۴/۴۹	۵/۴۸

### نتیجه‌گیری

نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر نشان می‌دهد:

- اثر نوع شیاربازکن بر روی عملکرد در سطح آماری ۵٪ معنی‌دار است. بیشترین عملکرد مربوط به روش کشت مرسوم با دستگاه عمیق‌کار با شیاربازکن بیلچه‌ای معمولی (۶۳۸ کیلوگرم در هکتار) است و روش کشت مستقیم

عملکرد پایین‌تری را دارد، که می‌تواند ناشی از کاهش تعداد خوشه در واحد سطح و تراکم پایین‌تر و فراهم بودن فضای کافی رشد در روش کشت مرسوم بوده باشد. در روش کشت مستقیم با استفاده از شیاربازکن بیلچه‌ای باریک، دیسکی و بیلچه‌ای پهن میزان عملکرد به ترتیب ۶۳۲، ۵۸۳ و ۵۳۹ کیلوگرم در هکتار بوده است.

- No-tillage tine furrow opener performance: soil-tool-residue interactions, tool geometry and settings. In *2018 ASABE Annual International Meeting* (p. 1). American Society of Agricultural and Biological Engineers.
- Akbarnia, A. (2013). Study of fuel consumed and crop yield of three tillage methods in barley farms. *Journal of Plant Production*, 20(1): 203-210.
- Alessi, J., & Power, J. F. (1971). Corn emergence in relation to soil temperature and seeding depth 1. *Agronomy journal*, 63(5): 717-719.
- Anonymous. 1995. RNAM Test Codes & Procedures for Farm Machinery. *Economic and Social Commission for Asia and the Pacific. Technical Series*, 12. United Nations, Bangkok.
- Arnon, I. (2012). *Agriculture in dry lands: principles and practice*. Elsevier, Amsterdam, Netherland. pp 992.
- Behrouzilar, M. (1991). *Management of tractor and Agricultural Machinery*. University of Tehran Press, Iran. (In Persian).
- Bonari, E., Mazzoncini, M., & Peruzzi, A. (1995). Effects of conventional and minimum tillage on winter oilseed rape (*Brassica napus* L.) in a sandy soil. *Soil and Tillage Research*, 33(2), 91-108.
- Bueno, J., Hernandez, J. L., Alvarez, M., & Amiana, C. (2002). Seeding opener and fertilizer placement in no-tillage silage corn production. In *Proceedings of the International Conference on Agricultural Engineering* (Vol. 1, pp. 71-76).
- Chaghazardi, H. R., Jahnsuz, M. R., Ahmadi, A., & Gorji, M. (2015). Effects of different tillage methods on bread wheat and chickpea yield, yield components and soil physical properties under rainfed conditions in Kermanshah. *Iranian Journal of Field Crop Science*, 46(4): 687-698.
- Chaudhry, A. D., & Baker, C. J. (1988). Barley seedling establishment by direct drilling in a wet soil. 1. Effects of openers under simulated rainfall and high water-table conditions. *Soil and Tillage Research*, 11(1), 43-61.
- Chaudhuri, D. (2001). PM—power and machinery: performance evaluation of various types of furrow openers on seed drills—a review. *Journal of agricultural engineering research*, 79(2), 125-137.
- Corsi, S., & Muminjanov, H. (2019). *Conservation Agriculture: Training guide for extension agents and farmers in Eastern Europe and Central Asia*. FAO.
- De Vita, P., Di Paolo, E., Fecondo, G., Di Fonzo, N., & Pisante, M. (2007). No-tillage - نحوه اثر میزان بقایا در دو سال کشت بر عملکرد و صفات اندازه‌گیری شده یکسان بوده است.
- هر یک از شیاربازکن‌ها در دو تیمار بقایای گیاهی تأثیر معنی‌داری بر روی روند افزایش یا کاهش عملکرد نداشته است. می‌توان گفت یکی از دلایل عدم اختلاف معنی‌دار، مقدار کم بقایای گیاهی در زراعت دیم (در مقایسه با کشت آبی) است. از طرف دیگر مقدار سفتی خاک در اراضی دیم در حدی نیست که باعث عدم یکنواختی توزیع بذر بشود.
- اثر نوع شیاربازکن بر روی ضریب یکنواختی توزیع عمودی بذر در سطح آماری ۱٪ معنی‌دار است و نشان دهنده آن است که نوع شیار بازکن در عمق قرارگیری بذر می‌تواند تأثیرگذار باشد.
- با افزایش عمق کشت، درصد سبز شدن بذر و عملکرد دانه کاهش می‌یابد.
- درصد سبز شدن بذر در روش کشت مستقیم با سه نوع شیاربازکن معنی‌دار نبوده است.
- بیشترین و کمترین میزان برگرداندن خاک به ترتیب به میزان ۹۳/۴ و ۴۹/۷۳ درصد مربوط به روش کشت مرسوم با استفاده از شیاربازکن بیلچه‌ای معمولی و بیلچه‌ای باریک است.
- شاخص برگردانی خاک در عمق ۶ تا ۸ سانتی‌متر نسبت به ۴ تا ۶ سانتی‌متر بیشتر بوده است.
- نه تنها زمان انجام عملیات در روش کشت مستقیم کاهش یافته است بلکه میزان مصرف سوخت نیز در روش کشت مستقیم نسبت به روش کشت مرسوم به طور میانگین ۷۵ درصد کاهش یافته است.

## منابع

- Afzalnia, A., Karami, A., & Rousta, M. J. (2019). Effect of Conservation Tillage on Soil Properties, Field Capacity, Fuel Consumption, and Wheat Yield in the Wheat-Corn Rotation. *Agricultural Mechanization and System Research*, 20(72): 163-178. (In Persian)
- Afzalnia, S., Dehghanian, E., & Talati, M. H. (2009). Effect of conservation tillage on soil physical properties, fuel consumption, and wheat yield. In *Fourth Conference on Energy Efficiency and Agricultural Engineering*. Rousse, Bulgaria.
- Aikins, K. A., Antille, D. L., Jensen, T. A., Barr, J. B., Ucgul, M., & Desbiolles, J. M. (2018).

- Lindstrom, M. J., Papendick, R. I., & Koehler, F. E. (1976). A model to predict winter wheat emergence as affected by soil temperature, water potential, and depth of planting I. *Agronomy Journal*, 68(1), 137-141.
- Mahdi, L., Bell, C. J., & Ryan, J. (1998). Establishment and yield of wheat (*Triticum turgidum* L.) after early sowing at various depths in a semi-arid Mediterranean environment. *Field Crops Research*, 58(3), 187-196.
- McLeod, J. G., Dyck, F. B., Campbell, C. A., & Vera, C. L. (1992). Evaluation of four zero-tillage drills equipped with different row openers for seeding winter wheat in the semi-arid prairies. *Soil and Tillage Research*, 25(1), 1-16.
- Mejahed, E. I., & Sander, K. D. H. (1998, November). Rotation, tillage and fertilizer effects on wheat-based rainfed crop rotation in semiarid Morocco. In *Proceeding of third European conference on grain legumes. Opportunities for high quality, healthy and added-value crops to meet European demands. Valladolid, Spain* (pp. 442-454).
- Morrison, J. E. (2002). Compatibility among three tillage systems and types of planter press wheels and furrow openers for vertisol clay soils. *Applied Engineering in Agriculture*, 18(3), 293-295.
- Omid-Mehr, Z. (2018). *Effect of conservation tillage on fuel consumption, some physical properties of soil and crop yield in sunflower-wheat rotation in rainfed condition*. Final Report. Agricultural Engineering Research Institute. (In Persian)
- Rahimzadeh, R., mahfozee, S., & Fazi Asl, V. (2005). *Influence of seeding depth and direct seeding in to standing stubble on emergence, plant establishment, winter survival and grain yield of wheat and barley in the cold region*. Final Report. Agricultural Engineering Research Institute. (In Persian)
- Roosbeh, M., & Khosravani Gashtasb, A. (2018). *Effects of furrow opener type and press wheel configuration of direct drill planter on seeding and crop performances in wheat cropping*. Final Report. Agricultural Engineering Research Institute. (In Persian)
- Sadeghnejad, H.R. (2017). *Sustainable tillage*. Agricultural Education Press. (In Persian)
- Schneider, E. C., & Gupta, S. C. (1985). Corn emergence as influenced by soil temperature, matric potential, and aggregate size distribution. *Soil Science Society of America Journal*, 49(2), 415-422.
- Senapati, P. C., Mohapatra, P. K., & Dikshit, U. N. (1992). Field evaluation of seeding and conventional tillage effects on durum wheat yield, grain quality and soil moisture content in southern Italy. *Soil and tillage research*, 92(1-2), 69-78.
- Dehghaneian, M., & Afzalnia, S. (2012). Effect of conservation tillage on grain drill performance, barley yield and barley yield components. *The 7th National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization*. Sep.14-16. 2012. Shiraz University. (In Persian)
- El Titi, A. (2002). Implications of soil tillage for weed communities. In *Soil tillage in agroecosystems* (pp. 161-200). CRC Press.
- Hedayatipour, A., Ghadbeiglo, G., Moradabadi, Gh., Keikhaee, M.A., Taheri, A., Younesi Alamoti, M., Babaei, M., Kishani, M., Borzabzdi, H. (2012). *Study of the effect of conservation tillage methods on some soil physical and chemical properties, Energy consumption, weed population and water use efficiency in wheat*. Final Report. Agricultural Engineering Research Institute. (In Persian)
- Hedayatipour, A., Goodarzi, M., Tahmasebi, M., Beheshtinezhad, H.R., Najmi, M., Roodbarani, J., & Kishani, A.R. (2021). *Methods of Implementation of Conservation Agriculture for Common Bean*. Agricultural Education Press. (In Persian)
- Hedayatipour, A., Ghadbeiglo, G., Moradabadi, Gh., Khodshenas, M.A., Taheri, A., Younesi Alamoti, M., Babaei, M., Kishani, M., Borzabzdi, Bafandeh, H. A. & Lak, M. (2015). *Study of the effect of conservation tillage methods on Energy consumption, some soil physical and chemical properties and weed population in Rain-fed Wheat*. Final Report. Agricultural Engineering Research Institute. (In Persian)
- Heidari A., & Soltani, H. 2016. Effect of Conservation Tillage and Crop Rotation on Dryland Wheat Yield and Weed Population. *Research in Crop Ecosystems*, 3(1 & 2), 11-17.
- Helm, V. (2005). Conservation tillage: corn, grain sorghum, and wheat in Dallas County, Texas. *Soil and Tillage Research*, 23(5), 356-366.
- Hemmat, A., & Eskandari, I. (2006). Dryland winter wheat response to conservation tillage in a continuous cropping system in northwestern Iran. *Soil and tillage research*, 86(1), 99-109.
- Isaac Beigi, A. (2008). Reduction of energy on wheat tillage process with Replacement of mould board plowing. *5th National Conference on Agricultural Machinery Engineering and Mechanization*. Sep. 6-7. Ferdowsi University. (In Persian)

- devices for finger-millet. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa, and Latin America*, 23(3), 21-24.
- Shafiee, S.A. (2010). *Principles of agricultural machinery*. University of Tehran Press.
- Sharma, A.R. & Behera, U. K. (2014). Conservation agriculture in India—Problems, prospects and policy issues. *International Soil and Water Conservation Research*, 2(4), 1-12.
- Sharma, P., Abrol, V., & Sharma, R. K. (2011). Impact of tillage and mulch management on economics, energy requirement and crop performance in maize-wheat rotation in rainfed subhumid inceptisols, India. *European journal of agronomy*, 34(1), 46-51.
- Tessier, S., Peru, M., Dyck, F. B., Zentner, F. P., & Campbell, C. A. (1990). Conservation tillage for spring wheat production in semi-arid Saskatchewan. *Soil and Tillage Research*, 18(1), 73-89.
- Tsegaye, T., & Mullins, C. E. (1994). Effect of mechanical impedance on root growth and morphology of two varieties of pea (*Pisum sativum* L.). *New Phytologist*, 126(4), 707-713.
- Wilkins, D. E., Muilenburg, G. A., Allmaras, R. R., & Johnson, C. E. (1983). Grain-drill opener effects on wheat emergence. *Transactions of the ASAE*, 26(3), 651-665.
- Willatt, S. T. (1986). Root growth of winter barley in a soil compacted by the passage of tractors. *Soil and Tillage Research*, 7(1-2): 41-50.



## فرا تحلیل اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد گندم آبی در ایران

احمد حیدری<sup>\*۱</sup>

### چکیده

خاک‌ورزی حفاظتی به دلیل پتانسیل حفاظت از منابع خاک و آب و کاهش هزینه‌های تولید می‌تواند یک روش جایگزین برای خاک‌ورزی رایج محصول گندم آبی در ایران باشد. گزارشات متعددی از تأثیر روش‌های مختلف خاک‌ورزی در زراعت گندم آبی وجود دارد که به‌طور عمده اثر این روش‌های خاک‌ورزی را بر عوامل مختلف مانند عملکرد محصول، خواص فیزیکی خاک، هزینه‌ها و ... بررسی کرده‌اند. به‌منظور کسب چشم‌انداز بهتری از تأثیر روش‌های خاک‌ورزی بر عملکرد گندم در ایران، بررسی‌های موجود به‌صورت نظام‌مند مرور شد و یافته‌های آن‌ها با روش فرا تحلیل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. مقاله‌های منتشر شده در مجلات ایرانی، گزارش‌های پژوهشی و مقالات مرتبط ارائه شده در کنفرانس‌ها، و نیز پایان‌نامه‌های دانشجویی با استفاده از کلید واژه‌های استاندارد مرور شد. در نهایت پس از کنترل کیفی، ۴۰ مطالعه برای مقایسه روش‌های کم‌خاک‌ورزی با خاک‌ورزی رایج و ۲۱ مطالعه برای مقایسه بی‌خاک‌ورزی با خاک‌ورزی رایج با استفاده از مدل تصادفی وارد فرایند فرا تحلیل شدند. نتایج نشان داد که مقدار اندازه اثر (SMD) در روش‌های کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی به ترتیب ۰/۴۲- و ۱/۱۸- است که حاکی از تأثیر منفی این روش‌ها بر عملکرد گندم در مقایسه با خاک‌ورزی رایج بود. روش‌های کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار + دیسک + ماله) باعث کاهش جزئی عملکرد گندم (۲/۸۷- درصد) شدند. همچنین روش بی‌خاک‌ورزی در مقایسه با خاک‌ورزی رایج باعث کاهش عملکرد (۸/۲- درصد) شد. با توجه به اینکه روش‌های کم‌خاک‌ورزی اثر قابل توجهی بر کاهش عملکرد گندم نداشتند می‌توان یکی از روش‌های کم‌خاک‌ورزی به ترتیب اولویت شامل ۱- چیزل‌پکر، ۲- خاک‌ورز مرکب (گاواهن قلمی مجهز به غلطک)، ۳- گاواهن قلمی + دیسک و ۴- دیسک را با توجه به امکانات و دسترسی هر منطقه به این ادوات جایگزین خاک‌ورزی رایج نمود.

**واژه‌های کلیدی:** بی‌خاک‌ورزی، خاک‌ورزی حفاظتی، کم‌خاک‌ورزی، گندم آبی، مرور نظام‌مند.

ارجاع: حیدری ا. ۱۴۰۱. فرا تحلیل اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد گندم آبی در ایران. نشریه پژوهش‌های مکانیک ماشین‌های کشاورزی. ۱۰۵: ۲۵-  
<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.13885.589>

۱- بخش تحقیقات فنی و مهندسی کشاورزی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان همدان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.

\* نویسنده مسئول: [heidari299@gmail.com](mailto:heidari299@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۶

## مقدمه

تمایل گروهی از محققین، داورها و سردبیران برای ارسال و پذیرش دست نوشته‌ها بر اساس یافته‌های تحقیق است اثر برخی عملیات زراعی شامل خاک‌ورزی، سطوح کود نیتروژن، تنش شوری بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیکی و شاخص برداشت گندم با روش فرا تحلیل مطالعه شد. نتایج نشان داد که تیمار (بدون شخم پاییزه + شخم با ادوات ثانویه (گاواهن قلمی و پنجه‌غازی)) نسبت به تیمار رایج (شخم با گاواهن برگرداندار + اکثرا دو بار دیسک عمود بر هم) در هر دو اراضی دیم و آبی باعث افت عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک و شاخص برداشت شد که این کاهش در اراضی دیم مشهودتر بود (Khaliliagdam *et al.*, 2018). با روش فراتحلیل به این سوال که چه وقت بی‌خاک‌ورزی باعث افزایش عملکرد می‌شود پاسخ داده شد. نتایج نشان داد که بی‌خاک‌ورزی به‌طور متوسط عملکرد پنجاه محصول را حدود ۵/۱ درصد کاهش داد. در غلات اثر منفی بی‌خاک‌ورزی بر عملکرد حداقل بود (۲/۶- درصد) و در برنج (۷/۵- درصد) و ذرت (۷/۶- درصد) حداکثر بود (Pittelkow *et al.*, 2015). با روش فراتحلیل به این سوال که آیا خاک‌ورزی سطحی بدون برگردان خاک<sup>۲</sup> در کشاورزی ارگانیک باعث حفظ عملکرد محصول و افزایش کربن می‌شود پاسخ داده شد. نتایج نشان داد که کم کردن شدت خاک‌ورزی (کم‌خاک‌ورزی) عملکرد محصول را ۷/۶ درصد نسبت به سیستم‌های خاک‌ورزی با برگردان کامل خاک کاهش داد، ولیکن اختلاف معنی‌داری با سیستم‌های خاک‌ورزی سطحی برگردان خاک نداشت (Cooper *et al.*, 2016).

تغییر سامانه خاک‌ورزی از شخم با گاواهن برگرداندار به گاواهن قلمی بر خواص فیزیکی خاک (شاخص‌های ساختمان خاک) تأثیر نداشت. اما کاهش شدت خاک‌ورزی از گاواهن برگرداندار به بی‌خاک‌ورزی باعث افزایش شاخص پایداری خاکدانه (در حالت تر) در لایه‌های کمتر از ۱۵ سانتی‌متر و کاهش جزئی در شاخص‌های چگالی ظاهری خاک و مقاومت به نفوذ در خاک در لایه زیر ۲۵ سانتی‌متری خاک شد. در مقایسه با گاواهن برگرداندار، بی‌خاک‌ورزی تأثیر کمی بر شاخص‌های فشردگی خاک (چگالی ظاهری و مقاومت به نفوذ در خاک) داشت اما تغییر از شخم با گاواهن برگرداندار و به سامانه‌های کشت چند ساله، خواص فیزیکی خاک را در تمام عمق ۴۰

استفاده مداوم از خاک‌ورزی مرسوم (شخم با گاواهن برگرداندار) در اراضی زیر کشت گندم منجر به افزایش فرسایش خاک و کاهش حاصلخیزی خاک شده است. برای غلبه بر این مشکل، کشاورزی حفاظتی شامل کاهش شدت خاک‌ورزی، پوشش دائم خاک و تناوب زراعی توصیه شده است (FAO, 2022). اثر بخشی کشاورزی حفاظتی در کنترل رواناب و فرسایش خاک اثبات شده است (Barton *et al.*, 2004; Scopel *et al.*, 2004) می‌توان انتظار داشت که این مسئله در نهایت بر عملکرد محصول اثر مثبت بگذارد. از مزایای دیگر کشاورزی حفاظتی کاهش هزینه تولید محصول و به حداکثر رساندن سود است (Dumanski *et al.*, 2006; Knowler & Bradshaw, 2007).

اجرای کشاورزی حفاظتی در ایران با چالش‌هایی مواجه است. در مناطق نیمه‌خشک (بارندگی سالیانه ۵۰۰-۳۰۰ میلی‌متر)، موفقیت کشاورزی حفاظتی بستگی به توانایی کشاورزان در حفظ بقایای گیاهی و کنترل کافی علف‌های هرز دارد (Giller *et al.*, 2009). در مناطق نیمه خشک، بقایای گیاهی یا توسط دام چرا شده یا برای فروش از مزرعه خارج می‌شوند، بارندگی‌ها نامنظم هستند و همچنین تناوب زراعی مشخصی رعایت نمی‌شود و کود کافی به دلیل قیمت بالا و عدم آگاهی کشاورزان در اختیار گیاه قرار نمی‌گیرد (Giller *et al.*, 2009).

فراتحلیل امکان تجزیه و تحلیل کمی نتایج آزمایش‌های گزارش شده توسط دیگر نویسندگان را فراهم می‌کند (Ried, 2000; Borenstein *et al.*, 2009). همچنین فراتحلیل قدرت آماری موجود برای آزمایش فرضیه‌ها و تفاوت واکنش‌های تیمارها را در شرایط مختلف محیطی افزایش می‌دهد (Gates, 2002; Borenstein *et al.*, 2009). همه مطالعات برای برآورد کلی اثر تیمار مشارکت دارند اگرچه نتیجه هر مطالعه‌ای به‌طور آماری معنی‌دار یا غیرمعنی‌دار باشد. داده‌های مطالعاتی که دارای اندازه‌های دقیق بیشتری هستند وزن بالاتری می‌گیرند بنابراین آن‌ها تأثیر بیشتری بر برآورد کل دارند (Gates, 2002). به‌رحال فراتحلیل دارای نقاط ضعف بالقوه‌ای مانند سوگرایی انتشار<sup>۱</sup> و سوگرایی‌های دیگری که در مراحل جستجو، انتخاب و ترکیب مطالعات اتفاق می‌افتد است (Egger *et al.*, 1997; Nobel, 2006). سوگرایی انتشار



خاک‌ورزی رایج در زراعت گندم آبی با روش فراتحلیل مقایسه شدند.

### مواد و روش‌ها

#### جمع‌آوری اطلاعات

اطلاعات عملکرد گندم آبی از مطالعات طولانی مدت (۳۰ سال گذشته در بازه زمانی ۱۴۰۰-۱۳۷۰) تحت مدیریت‌های مختلف خاک‌ورزی به دست آمد. مطالعات شامل مقالات علمی پژوهشی چاپ شده در مجلات معتبر، مقالات کنفرانسی، گزارشات پژوهشی، پایان‌نامه‌ها و ... بود که با جستجوی برخط در پایگاه‌های داخلی معتبر مانند پایگاه مرکز اطلاعات علمی جهاد کشاورزی (SID)، بانک اطلاعات نشریات کشور (Magiran)، ایراندک و سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی بدست آمد. جستجو جامع و بر اساس کلمات کلیدی و ترکیب آن‌ها شامل: خاک‌ورزی، کم‌خاک‌ورزی، بی‌خاک‌ورزی، شخم، کشاورزی حفاظتی، کشت مستقیم و عملکرد گندم بود. همچنین با توجه به این‌که ممکن است تحقیقی در داخل کشور انجام شده ولی به صورت مقاله انگلیسی ارائه شده باشد در پایگاه‌های (Scopus, Web of Science & Google Scholar) نیز جستجو انجام شد.

#### فرایند غربال‌گری و انتخاب

ارزیابی دقیق هر مطالعه برای تصمیم‌گیری در مورد این‌که آن پژوهش کیفیت لازم و اطلاعات مفید را برای فراتحلیل دارد مهم است. این قسمت اهمیت زیادی در فراتحلیل دارد. هر مطالعه باید حداقل نیازهای از پیش تعیین شده‌ای را داشته باشد و باید ارزیابی دقیقی درباره کیفیت مطالعه مورد استفاده صورت گیرد (Soltani & Soltani, 2014). در مورد ارزیابی مطالعه‌ها سیاهه‌ای تهیه شد و اطلاعاتی شامل: مؤلف و سال، مدیریت خاک‌ورزی، محل اجرای آزمایش، بافت خاک، تناوب گیاهی و ... استخراج و ثبت شد (جدول ۱). این عوامل تأثیر بسزایی بر اندازه اثر<sup>۱</sup> دارند.

در مرحله ارزیابی مطالعات به بررسی عدم تجانس<sup>۲</sup> و دیگر اختلاط‌های<sup>۳</sup> مهم پرداخته شد. در این مرحله، تمام موارد

سانتی‌متر بهبود بخشید. در بین خواص فیزیکی خاک، پایداری خاکدانه بیشترین حساسیت را به خاک‌ورزی دارد. در پایان نتیجه گرفته شد که کاهش شدت خاک‌ورزی باعث بهبود خواص فیزیکی خاک می‌شود (Nunes *et al.*, 2020-a). تغییر سامانه خاک‌ورزی از گاواهن برگرداندار به گاواهن قلمی بر شاخص‌های کربن آلی خاک، کربن زیست توده میکروبی، نیتروژن زیست توده میکروبی و تنفس خاک در عمق کمتر از ۱۵ سانتی‌متر تأثیر داشت. تغییر سامانه از گاواهن برگرداندار به بی‌خاک‌ورزی همه شاخص‌های سلامت خاک (کربن آلی خاک، کربن زیست توده میکروبی، نیتروژن زیست توده میکروبی، تنفس خاک، و پروتئین خاک) را در لایه بالایی خاک زیاد کرد. در لایه‌های پایین خاک (۱۵-۲۵ سانتی‌متر) بی‌خاک‌ورزی شاخص‌های کربن زیست توده میکروبی، نیتروژن زیست توده میکروبی و تنفس خاک را نسبت به گاواهن برگرداندار بیشتر کرد (Nunes *et al.*, 2020-b).

بی‌خاک‌ورزی اثری بر عملکرد، تبخیر و تعرق، و کارآیی مصرف آب گندم در شمال‌غربی و شمال‌چین نداشت (Wang *et al.*, 2018). نتایج نشان داد که خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) اثر منفی بر عملکرد محصول داشت. متوسط کاهش عملکرد در روش‌های خاک‌ورزی حفاظتی ۴/۵ درصد بود. بی‌خاک‌ورزی به‌طور متوسط عملکرد را ۸/۵ درصد کاهش داد. کم‌خاک‌ورزی بیشترین کاهش عملکرد را در ذرت و غلات زمستانه داشت. با کمال تعجب بی‌خاک‌ورزی در شرایط آب و هوایی خشک عملکرد بدتری داشت (Van den putte *et al.*, 2010). بی‌خاک‌ورزی تنها عملکرد گندم زمستانه را در شمال مرکزی چین و ذرت را در شمال شرقی چین افزایش داد (Wang *et al.*, 2020).

گندم در ایران به‌دلیل اینکه خوراک عمده مردم است مهم است. در این پروژه بر یکی از ستون‌های مدیریت پایدار که حفظ یا افزایش بهره‌وری بود تمرکز شد (Dumanski *et al.*, 2006). عملکرد محصول مهم است زیرا رایج‌ترین و مفیدترین عاملی است که برای توجیه و توصیه هر روش تولید توسط کشاورزان پذیرفته می‌شود (Abeyasekera, 2002). بنابراین در این تحقیق، با استفاده از داده‌های مطالعات انجام شده در کشور با شرایط محیطی مختلف، خاک‌ورزی حفاظتی (کم‌خاک‌ورزی و بی‌خاک‌ورزی) با

1- Effect size  
2- Heterogeneity  
3- Confounder

$$SMD = \frac{M_1 - M_2}{SD_{pooled}} \quad (3)$$

که در این معادله،  $M_1$  و  $M_2$  به ترتیب میانگین عملکرد تیمار آزمایش و تیمار کنترل و  $SD_{pooled}$  انحراف معیار ترکیب شده (معادله (۴)) است (Cohen, 1988).

$$SD_{pooled} = \sqrt{\frac{SD_1^2 + SD_2^2}{2}} \quad (4)$$

که در این معادله  $SD_1$  و  $SD_2$  به ترتیب انحراف معیار گروه آزمایش و کنترل است.

بهترین راه برای مقایسه مطالعه‌های مختلف، استفاده از میانگین اثر آن‌ها است. هر چند در تخمین اندازه اثر آزمایش‌های مختلف، دقت‌های (اشتباه معیار) متفاوتی وجود دارد. بنابراین قبل از فراتحلیل، باید به داده‌ها وزن داده شود به این ترتیب مطالعاتی که دقت آزمایشی بالاتری دارند وزن بیشتری خواهند داشت که موجب افزایش دقت اندازه اثر تخمین زده خواهد شد (Soltani & Soltani, 2014). میانگین وزن‌دهی از معادله (۵) محاسبه شد.

$$WSMD_{overall} = \frac{\sum wi \times SMD}{\sum wi} \quad (5)$$

وزن داده شده به هر مطالعه ( $w_i$ ) با معکوس کردن واریانس محاسبه شد (معادله (۶)).

$$wi = \frac{1}{var_i} = \frac{1}{SD_i^2} \quad (6)$$

حدود اطمینان از معادله (۷) محاسبه شد.

$$95\% CI = WSMD \pm 1.96 \times \sqrt{var_{overall}} \quad (7)$$

تست  $Q$  (کوکران) و تجزیه آماری (I-squared) برای تشخیص عدم همگنی مطالعات استفاده شد (Higgins *et al.*, 2019). عدم همگنی در چهار گروه طبقه‌بندی شد: ناهمگنی زیاد (۷۵٪  $I^2 \geq$ )، ناهمگنی متوسط (۷۴٪ - ۵۰٪  $I^2 =$ )، ناهمگنی کم (۴۹٪ - ۲۵٪  $I^2 <$ ) و نداشتن ناهمگنی (۲۵٪  $I^2 <$ ) (Higgins *et al.*, 2019).

به‌منظور انجام سوگیری انتشار، از آزمون Begg (Begg & Egger, 1997) و Mazumdar (Mazumdar, 1994) استفاده شد. همچنین از نرم‌افزار STATA 14.2 برای فراتحلیل داده‌ها استفاده گردید.

درباره روش‌های اعمال تیمارها ثبت شد و تصمیم گرفته شد که کدام مطالعه‌ها نسبتاً همگن<sup>۱</sup> هستند و می‌توان در تجزیه و تحلیل آن‌ها را وارد کرد. در نهایت ۴۰ مطالعه برای مقایسه روش‌های کم‌خاک‌ورزی با خاک‌ورزی رایج و ۲۱ مطالعه برای مقایسه بی‌خاک‌ورزی با خاک‌ورزی رایج انتخاب شده و وارد فرایند تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفتند.

### استخراج داده‌ها

داده‌های مورد نیاز برای فراتحلیل عبارتند از: میانگین تیمار ( $\bar{X}$ )، انحراف معیار استاندارد ( $SD_{\bar{X}}$ ) و تعداد تکرار یا حجم نمونه<sup>۲</sup> ( $n$ ) در طرح آزمایشی. در تعدادی از مطالعات نویسندگان داده آماری را در شکل‌های مختلف مانند خطای استاندارد ( $SE_{\bar{X}}$ ) و ضریب تغییرات (CV%) گزارش کردند. این شکل‌ها به انحراف معیار استاندارد با استفاده از معادلات (۱) و (۲) تغییر پیدا کردند:

$$\times \sqrt{n} = SE_{\bar{X}} \quad SD_{\bar{X}} \quad (1)$$

$$SD_{\bar{X}} = \left(\frac{CV\%}{100}\right) \times \bar{X} \quad (2)$$

(Dickersin, 1990). عواملی مانند محل جغرافیایی، تناوب گیاهی، بافت خاک و ... می‌توانند روی اندازه اثر تأثیر بگذارند به این دلیل در این پروژه مدل اثر تصادفی انتخاب شد (Ried, 2000).

### تیمارهای فراتحلیل

در تجزیه و تحلیل، روش‌های خاک‌ورزی که تأثیرشان بر عملکرد گندم آبی مشخص بود تفکیک شدند. در جدول ۲ شرح کوتاهی از روش‌های مختلف خاک‌ورزی مورد استفاده آورده شده است. خاک‌ورزی رایج در مقایسه با کم-خاک‌ورزی (چهار روش) و بی‌خاک‌ورزی (یک روش) مقایسه شد. بنابراین تیمار کنترل (شاهد)، خاک‌ورزی رایج انتخاب گردید.

### تجزیه و تحلیل داده‌ها

در تجزیه تحلیل داده‌ها از عامل تفاضل میانگین استاندارد<sup>۳</sup> شده (SMD) (معادله (۳)) که از شاخص‌های مهم اندازه اثر است در عملکرد بین تیمار کنترل و آزمایش استفاده شد (Cohen, 1988).

1- Homogeneous

2- Sample size

3- The standardized mean difference (SMD)

جدول ۱ - مطالعات استفاده شده در فراتحلیل

منبع	مدیریت خاک‌ورزی	محل آزمایش استان (شهرستان)	بافت خاک	تناوب زراعی	مدت زمان آزمایش (سال)
Asoudar & Marzban (2020)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (چیزل پکر)	خوزستان (اهواز)	رسی لومی	نامشخص	۱
Afzali & Javaheri (2013)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (دیسک) خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	خوزستان (اهواز)	رسی سیلتی	نامشخص	۲
Afzalinia et al. (2016)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	فارس (داراب)	لومی	پنبه-گندم	۲
Afzalinia et al. (2019-a)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	فارس (مرودشت)	رسی	ذرت دانه‌ای-گندم	۴
Afzalinia et al. (2019-b)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	فارس (داراب)	لومی	کتجد-گندم	۴
Amani et al. (2016)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) کم‌خاک‌ورزی (چیزل پکر) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	مرکزی (خنداب)	سیلتی رسی لومی	ذرت دانه‌ای-گندم	۱
Amini et al. (2014)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	فارس (مرودشت)	رسی لومی	گندم-گندم	۱
Bakhtiari et al. (2007)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (تاواهن) قلمی-دیسک کم‌خاک‌ورزی (دیسک)	همدان (کیودرآهنگ)	لومی رسی شنی	سیب‌زمینی-گندم	۲
Banayanaval et al. (2020)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (دیسک)	خراسان رضوی (مشهد)	لومی سیلتی	گوجه-گندم	۱
Tabizad (2015)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (تاواهن) قلمی-دیسک خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	آذربایجان غربی (رومیه)	لومی رسی سیلتی	ذرت دانه‌ای-گندم	۴
Habibiasl & Gilani (2014)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (تاواهن) قلمی-دیسک کم‌خاک‌ورزی (دیسک) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	خوزستان (اهواز)	لومی سیلتی رسی	برنج-گندم	۲
Hassanzadehmoghadam et al. (2019)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (دیسک) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	خراسان رضوی (تربت حیدریه)	سیلتی لومی	ذرت علوفه‌ای-گندم	۱
Houseini et al. (2016)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	فارس (افقید)	لومی سیلتی	نامشخص	۲
Heidari, (2011)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	همدان (کیودرآهنگ)	لومی رسی	چغندر قند-گندم	۱
Rouzbeh & Pouskani, 2003	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (تاواهن) قلمی-دیسک	فارس (داراب)	لومی رسی	ذرت دانه‌ای-گندم	۳
Rouzbeh & Niazi, (2015)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (تاواهن) قلمی-دیسک خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	فارس (داراب)	لومی	پنبه-گندم	۳
Zabolestani et al. (2010)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (دیسک)	آذربایجان شرقی (خسروشهر)	شنی لومی	نامشخص	۳
Zaree et al. (2014)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	فارس (شیراز)	رسی شنی	گندم-گندم	۱
Saati (2005)	خاک‌ورزی رایج (تاواهن برگرداندار) کم‌خاک‌ورزی (تاواهن) قلمی-دیسک کم‌خاک‌ورزی (دیسک)	همدان (اسداباد)	لومی رسی	چغندر قند-گندم	۲

## ادامه جدول ۱ - مطالعات استفاده شده در فراتحلیل

مدت زمان آزمایش (سال)	تناوب زراعی	بافت خاک	محل آزمایش استان (شهرستان)	مدیریت خاک‌ورزی	منبع
۲	کنجد-گندم	نامشخص	آذربایجان شرقی (خسروشهر)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (گاواهن قلمی+دیسک) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	Salezamani <i>et al.</i> (2007)
۱	نامشخص	لومی شنی	سیستان بلوچستان (زابل)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (دیسک) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	Sepidedam & Ramroudi (2015)
۱	چغندر-قند-گندم	نامشخص	خراسان رضوی (مشهد)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (چیزل پکر) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	Salami <i>et al.</i> (2017)
۱	نامشخص	نامشخص	خوزستان (صفی آباد)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (گاواهن قلمی+دیسک) خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	Sharifnasab & sharbanonejad, (2009)
۱	نامشخص	نامشخص	گلستان (گرگان)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (گاواهن قلمی+دیسک) خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	Sharifnasab & Sadeghnejad, (2009)
۱	نامشخص	نامشخص	خراسان رضوی (مشهد)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (گاواهن قلمی+دیسک) خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	Sharifnasab & Mehdiinia, (2009)
۱	گیاهان پوششی- گندم	لومی شنی	خراسان جنوبی (بیرجند)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (گاواهن قلمی+دیسک) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	Sharifi <i>et al.</i> (2018)
۳	نامشخص	سیلتی رسی لومی	گلستان (گنبد)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (گاواهن قلمی+دیسک) کم خاک‌ورزی (دیسک) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	Sadeghnejad & Eslami (2006)
۱	نامشخص	سیلتی رسی لومی	فارس (کربال)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	Solhjou (2015)
۱	نامشخص	لومی سیلتی	فارس (زرقان)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	Solhjou & Niazi, (2001)
۱	نامشخص	نامشخص	مازندران (ساری)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	Abasian & Emaeeli, (2006)
۲	ذرت دانه‌ای-گندم	سیلتی لومی	فارس (شیراز)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (گاواهن قلمی+دیسک)	Alijani <i>et al.</i> (2011)
۱	ذرت دانه‌ای-گندم	لومی رسی	خوزستان (دزفول)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (دیسک) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	Eedkahnagi <i>et al.</i> (2019)
۴	پنبه-گندم	نامشخص	فارس (داراب)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	Mouhamadi & Afzalimia, (2018)
۳	چغندر-قند-گندم	لومی سیلتی	آذربایجان غربی (میاندوآب)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) خاک‌ورزی عمیق (زیرشکنی)	Mouhamadimazrae & Nourjou, (2009)
۱	نامشخص	لومی رسی	البرز (کرج)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب)	Mousavibugar <i>et al.</i> (2013)
۱	برنج-گندم	نامشخص	خوزستان (اهواز)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (دیسک)	Mousavitalab & Habibiasl (2014)
۱	نامشخص	نامشخص	خوزستان (اهواز)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	Nourafab <i>et al.</i> (20121)
۲	ذرت دانه‌ای-گندم	نامشخص	مرکزی (اراک)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) رایج-کم خاک‌ورزی (چیزل پکر) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	Hedayatipour & Yونسiamouti, (2018)

## ادامه جدول ۱ - مطالعات استفاده شده در فراتحلیل

منبع	مدیریت خاک‌ورزی	محل آزمایش استان (شهرستان)	بافت خاک	تناوب زراعی	مدت زمان آزمایش (سال)
Hammat & Asadi, (1996)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (گاواهن قلمی+دیسک) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	اصفهان (اصفهان)	لومی رسی	جو-گندم	۲
Houshmandi et al. (2021)	خاک‌ورزی رایج (گاواهن برگرداندار) کم خاک‌ورزی (خاک‌ورز مرکب) بی‌خاک‌ورزی (کشت مستقیم)	فارس (زرقان)	لومی رسی سیلنی	ذرت دانه‌ای-گندم	۲

## جدول ۲ - شرح کوتاه از تیمارهای مورد استفاده در ارزیابی اثر خاک‌ورزی حفاظتی بر عملکرد گندم آبی

مدیریت خاک‌ورزی	توضیح مختصر
خاک‌ورزی رایج	شخم با گاواهن برگرداندار + دیسک + لولر + کاشت با خطی کار رایج
کم خاک‌ورزی	روش‌های کم‌خاک‌ورزی شامل: ۱- خاک‌ورز مرکب (گاواهن قلمی مجهز به غلطک) + کاشت گندم با خطی کار رایج، ۲- گاواهن قلمی + دیسک + کاشت گندم با خطی کار رایج، ۳- چیزل پکر + کاشت گندم با خطی کار رایج و ۴- دیسک + کاشت گندم با خطی کار رایج
بی‌خاک‌ورزی	کاشت گندم با خطی کار کشت مستقیم

## نتایج و بحث

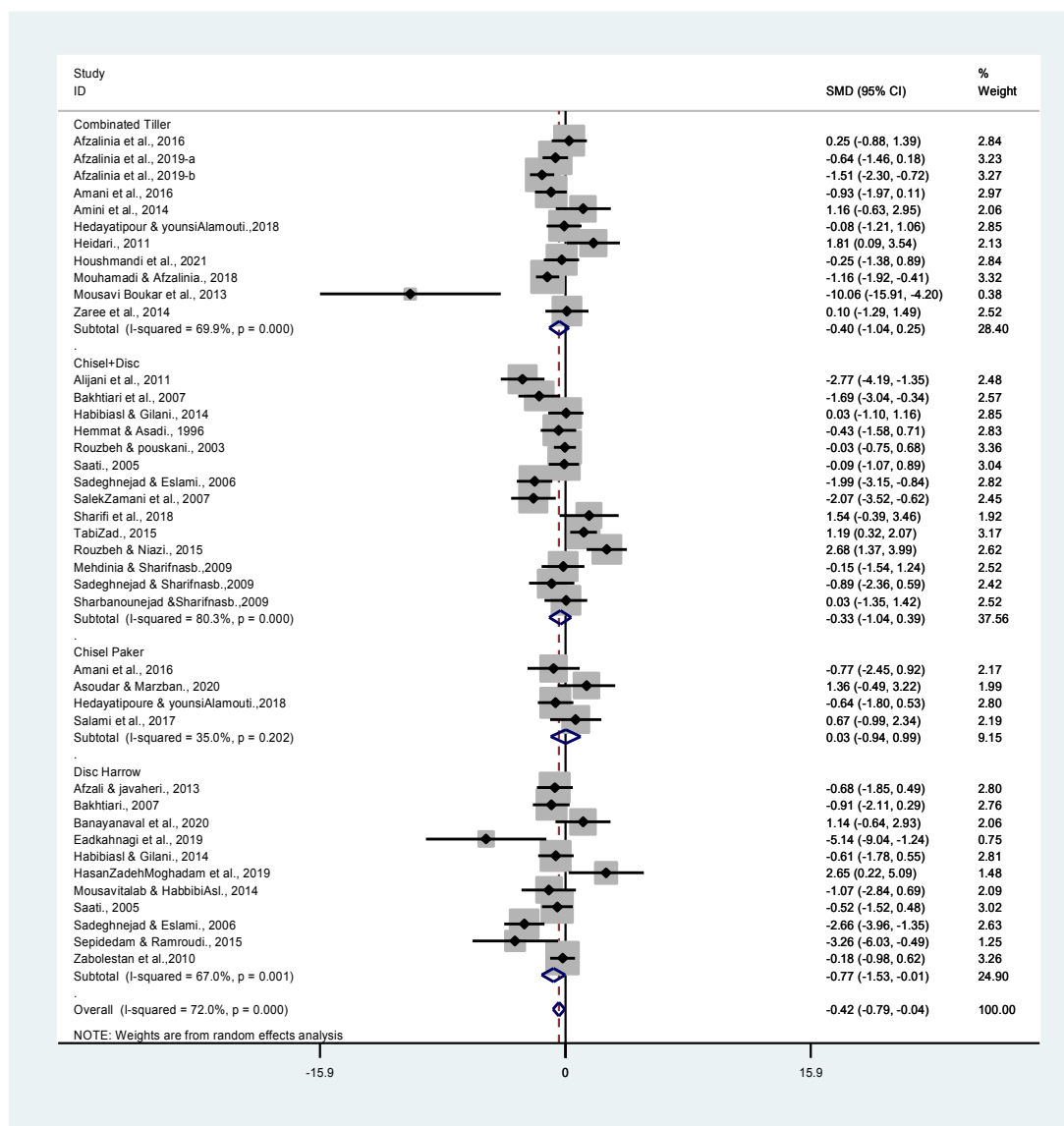
## اثر روش‌های کم‌خاک‌ورزی بر عملکرد گندم آبی

نتایج تجزیه آماری عامل تفاضل میانگین استاندارد شده (اندازه اثر) اثر روش‌های کم‌خاک‌ورزی در مقایسه با روش رایج بر عملکرد گندم در شکل ۱ آورده شده است. روش‌های کم‌خاک‌ورزی به چهار زیر گروه شامل: ۱- خاک‌ورز مرکب (گاواهن قلمی مجهز به غلطک)، ۲- گاواهن قلمی + دیسک، ۳- چیزل پکر و ۴- دیسک طبقه‌بندی شدند. برای هر گروه مقدار اندازه اثر (SMD) و  $I^2$  (I-squared) و در پایین نمودار اندازه اثر و  $I^2$  (I-squared) کل (Overall) نیز ارائه شده است (جدول ۳). با توجه به مقدار اندازه اثر کل (SMD = -۰/۴۲)، می‌توان نتیجه گرفت که در مجموع روش‌های کم‌خاک‌ورزی اثر مثبتی بر عملکرد گندم نداشته‌اند و در مقایسه با خاک‌ورزی رایج در کل باعث کاهش ۲/۸۷ درصدی عملکرد شده‌اند. میانگین عملکرد کل در خاک-ورزی رایج و کم‌خاک‌ورزی به ترتیب برابر ۴۷۰۷ و ۴۵۷۸ کیلوگرم در هکتار بود که بعد از وزن‌دهی (شکل ۱) به هر کدام از عملکردها، میانگین عملکرد وزنی روش خاک‌ورزی رایج و کم‌خاک‌ورزی به ترتیب ۱۱۸/۷۱۲ و ۱۱۵/۳۰۴ بدست آمد. نتایج بدست آمده با گزارشات محققین دیگر (Khaliliaqdam et al., 2018; Cooper et al., 2011; Van den putte et al., 2010) مبنی بر کاهش عملکرد

گندم در سامانه‌های کم‌خاک‌ورزی منطبق است. همچنین با توجه به مقدار اندازه اثر هر گروه (جدول ۳)، سه روش ۱- گاواهن قلمی + دیسک، ۲- خاک‌ورز مرکب (گاواهن قلمی مجهز به غلطک) و ۳- دیسک به ترتیب نسبت به خاک‌ورزی رایج، عملکرد گندم را کاهش دادند. ولی عملکرد گندم در چیزل پکر با روش رایج نسبتاً یکسان بود (SMD = ۰/۰۳). احتمالاً با توجه به ساختار چیزل پکر (ساقه و تیغه‌های قویتر نسبت به سه وسیله کم‌خاک‌ورز دیگر) کارایی بهتری در نفوذ به خاک و گسیختگی آن داشته است. دیسک در بین روش‌های کم‌خاک‌ورزی بیشترین اثر را در کاهش عملکرد گندم داشته است. با توجه به سرعت پیشروی بیشتر دیسک (ظرفیت مزرعه‌ای زیادتر) نسبت به سه وسیله دیگر پیشنهاد می‌شود در تناوب‌های چغندر قند-گندم و سیب‌زمینی-گندم که با محدودیت تهیه زمین بعد از برداشت چغندر قند و سیب‌زمینی مواجه است از دیسک استفاده شود. همچنین با توجه به اینکه برداشت چغندر قند و سیب‌زمینی به ترتیب با چغندرکن دو تیغه‌ای و سیب‌زمینی‌کن انجام می‌شود و این ادوات به هنگام برداشت یک مقدار گسیختگی در خاک ایجاد می‌کنند لذا تهیه زمین با دیسک برای کاشت گندم کفایت می‌کند. دو روش کم-خاک‌ورزی شامل خاک‌ورز مرکب (گاواهن قلمی مجهز به غلطک) و گاواهن قلمی + دیسک اثر نسبتاً یکسانی بر

با توجه به مقدار I-squared کل (۷۲ درصد) بین مطالعات یک ناهمگنی متوسط وجود دارد (جدول ۳ و شکل ۱). همچنین در بین گروه‌های فرعی تنها چیزل پکر دارای مطالعات با ناهمگنی کم است. مقدار سطح احتمال در روش Egger و Begg (برای تخمین سوگرایی انتشار) به ترتیب ۰/۸۵۲ و ۰/۷۶۳ بدست آمد (بیشتر از ۱۰ درصد) که می‌توان نتیجه گرفت که سوگرایی انتشار در مطالعات مشاهده نشده است.

عملکرد گندم داشتند که با توجه به ساختار مشابه (وجود گاوآهن قلمی) قابل پیش‌بینی بود؛ ولیکن با توجه به اینکه در روش گاوآهن قلمی + دیسک نیاز است که تراکتور دوبار وارد زمین شود پیشنهاد می‌شود که از خاک‌ورز مرکب که با یک‌بار عبور تراکتور عملیات تهیه زمین را انجام می‌دهد استفاده شود. هنگامی که محصولاتی مانند ذرت و پنبه که دارای بقایای گیاهی خشبی و زیاد هستند در تناوب با گندم قرار می‌گیرند نیاز است قبل از تهیه زمین با وسیله‌ای مانند ساقه‌خردکن یا کمباین‌های مجهز به ساقه‌خردکن، بقایای این گیاهان خرد و ریز شوند.



شکل ۱- نمودار انباشت اثر روش‌های کم‌خاک‌ورزی بر عملکرد گندم آبی (SMD (اندازه اثر)، weight% (درصد وزن)، study ID (مشخصات مطالعه)، combinated tiller (خاک‌ورز مرکب)، chisel+disc (چیزل+دیسک)، chisel paker (چیزل پکر)، disc harrow (دیسک))

جدول ۳- مقادیر اندازه اثر (SMD) و همگنی مطالعات (I-squared)

روش کم‌خاک‌ورزی	اندازه اثر (SMD)	همگنی مطالعات (I-squared)
خاک‌ورز مرکب	-۰/۴	۶۹/۹%
گاواهن قلمی + دیسک	-۰/۳۳	۸۰/۳%
چیزل‌پکر	۰/۰۳	۳۵%
دیسک (هرس بشقابی)	-۰/۷۷	۶۷%
کل	-۰/۴۲	۷۲%

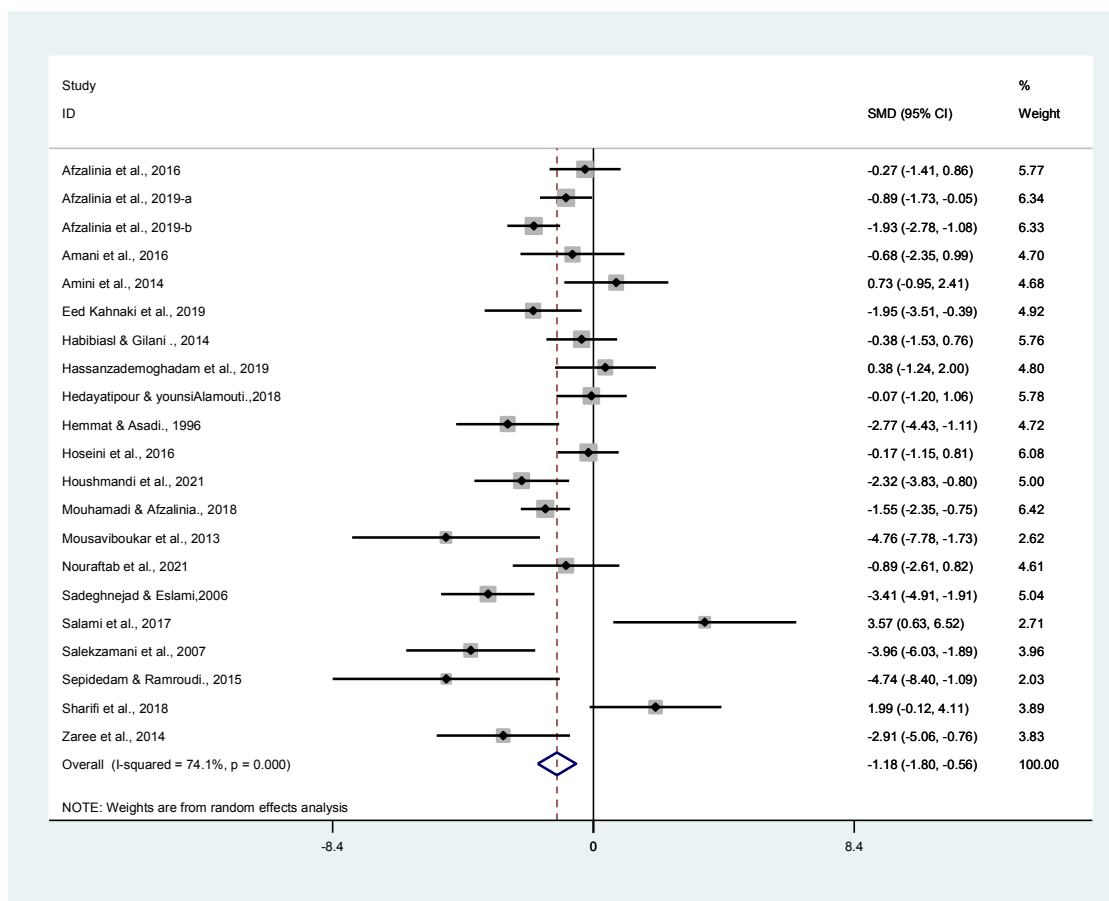
(Hilshey *et al.*, 2020). با توجه به مقدار I-squared کل (۷۴/۱ درصد)، بین مطالعات یک ناهمگنی زیاد وجود دارد (شکل ۲). مقدار سطح احتمال در روش Egger و Begg (برای تخمین سوگرایی انتشار) به ترتیب ۰/۷۶۳ و ۰/۶۷۵ بدست آمد (بیشتر از ۱۰ درصد) که می‌توان نتیجه گرفت که سوگرایی انتشار در مطالعات مشاهده نشده است.

#### نتیجه‌گیری

در کل، روش‌های کم‌خاک‌ورزی باعث کاهش عملکرد گندم به میزان ۲/۸۷ درصد شدند. روش‌های کم‌خاک‌ورزی شامل ۱- گاواهن قلمی + دیسک، ۲- خاک‌ورز مرکب (گاواهن قلمی مجهز به غلطک) و ۳- دیسک نسبت به خاک‌ورزی رایج عملکرد گندم را کاهش دادند. عملکرد گندم در روش چیزل‌پکر با روش رایج تقریباً یکسان بود. روش بی‌خاک‌ورزی عملکرد گندم را به میزان ۸/۲ درصد کاهش داد. تغییر بافت خاک در روش بی‌خاک‌ورزی اثری بر عملکرد گندم نداشت. عملکرد گندم در روش بی‌خاک‌ورزی در تناوب چغندر-گندم و گیاهان پوششی-گندم نسبت به روش خاک‌ورزی رایج بیشتر بود، ولیکن در تناوب‌های دیگر عملکرد در روش خاک‌ورزی رایج بیشتر بود. با توجه به اینکه روش‌های کم‌خاک‌ورزی تأثیر زیادی بر کاهش عملکرد گندم نداشتند و از طرفی با توجه به مزایای روش‌های کم‌خاک‌ورزی در کاهش مصرف سوخت، کاهش زمان انجام عملیات تهیه زمین، افزایش ظرفیت مزرعه‌ای مؤثر و افزایش بهره‌وری مصرف آب پیشنهاد می‌شود، روش کم‌خاک‌ورزی به خصوص چیزل‌پکر جایگزین روش رایج خاک‌ورزی (گاواهن برگرداندار + دیسک + ماله) شوند. استفاده از روش بی‌خاک‌ورزی در زراعت گندم آبی نیاز به تحقیقات بیشتر و بلندمدت دارد.

#### اثر بی‌خاک‌ورزی بر عملکرد گندم آبی

نتایج تجزیه آماری پارامتر تفاضل میانگین استاندارد شده (اندازه اثر) اثر بی‌خاک‌ورزی بر عملکرد گندم در شکل ۲ آورده شده است. با توجه به مقدار اندازه اثر کل (۱/۱۸ - SMD =)، می‌توان نتیجه گرفت که روش بی‌خاک‌ورزی اثر مثبتی بر عملکرد گندم نداشته و در مقایسه با خاک‌ورزی رایج در کل باعث کاهش عملکرد (۸/۲- درصد) شده است. میانگین عملکرد کل در خاک‌ورزی رایج و بی‌خاک‌ورزی به ترتیب برابر ۴۸۳۷ و ۴۳۰۳ کیلوگرم در هکتار بود که بعد از وزن‌دهی (شکل ۲) به هر کدام از عملکردها، میانگین عملکرد وزنی روش خاک‌ورزی رایج و بی‌خاک‌ورزی به ترتیب ۳۴۹/۴۵۳ و ۳۲۰/۷۴۵ بدست آمد. تغییر بافت خاک در روش بی‌خاک‌ورزی اثری بر عملکرد گندم نداشت. همچنین تناوب گیاهی از عوامل تأثیرگذار بر عملکرد در روش بی‌خاک‌ورزی است. تنها در تناوب‌های چغندر-گندم و گیاه پوششی - گندم روش بی‌خاک‌ورزی نسبت به خاک‌ورزی رایج برتری داشت در حالی که در تناوب‌های دیگر (ذرت - گندم، پنبه - گندم، آفتابگردان - گندم و جو - گندم) عملکرد گندم در روش بی‌خاک‌ورزی کمتر از خاک‌ورزی رایج بود. بررسی‌های Pittelkow *et al.* (2015) نیز نشان داد که بی‌خاک‌ورزی باعث کاهش ۲/۶ درصدی عملکرد غلات می‌شود. همچنین Van den putte *et al.* (2010) نیز با روش فراتحلیل اعلام کردند که بی‌خاک‌ورزی عملکرد پنبه محصول را به‌طور متوسط ۸/۵ درصد کاهش داد. اجرای کوتاه مدت مدیریت بی‌خاک‌ورزی در ایران می‌تواند یکی از دلایل کاهش عملکرد گندم در این روش خاک‌ورزی باشد. در خاک‌هایی که خاک‌ورزی انجام نشده باشد کشاورزان تجربه دارند که عملکرد به مدت سه سال در حدود ۱۰ درصد کاهش پیدا کرده است (Hilshey *et al.*, 2020). بیشترین عملکرد محصول در روش بی‌خاک‌ورزی در مدیریت‌های بلند مدت گزارش شده است



شکل ۲- نمودار انباشت اثر روش بی خاک‌ورزی بر عملکرد گندم (SMD (اندازه اثر)، weight (%درصد وزن)، study ID (مشخصات مطالعه))

- Casagrande, M. (2016). Shallow non-inversion tillage in organic farming maintains crop yields and increases soil C stocks: a meta-analysis. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(1): 22.
- Cooper, J., Lombardi, R., Boardman, D., & Carliell-Marquet, C. (2011). The future distribution and production of global phosphate rock reserves. *Resources, Conservation & Recycling*, 57: 78–86.
- Dickersin, K. (1990). The existence of publication bias and risk factors for its occurrence. *Jama*, 263(10): 1385-1389.
- Dumanski, J., Peiretti, R., Benetis, J., McGarry, D., & Pieri, C. (2006). The paradigm of conservation tillage. *Proceedings of World Association of Soil and Water Conservation*, FAO, Rome. 58–64.
- Egger, M., Davey Smith, G., Schneider, M., & Minder, C. (1997-a). Bias in meta-analysis detected by a simple, graphical test. *BMJ.*, 315(7109): 629–634.
- Egger, M., Smith, G. D., & Phillips, A. N. (1997-b). Meta-analysis: principles and procedures. *BMJ.* 315(7121):1533–1537.
- FAO. (2022). <http://www.fao.org/ag/ca/>.

## منابع

- Abeyasekera, S., Ritchie, J. M., & Lawson-McDowall, J. (2002). Combining ranks and scores to determine farmers' preferences for bean varieties in southern Malawi. *Experimental Agriculture*, 38(1): 97-109.
- Barton, A. P., Fullen, M. A., Mitchell, D. J., Hocking, T.J., Liu, L, Bo, Z. W, Zheng, Y., & Xia, Z. Y. (2004). Effects of soil conservation measures on soil erosion rates and crop productivity on subtropical Ultisols in Yinnan Province. *China Agricultural Ecosystem Environmental*, 104: 343–357.
- Begg, C. B., & Mazumdar, M. (1994). Operating characteristics of a rank correlation test for publication bias. *Biometrics*, 50: 1088–1101.
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to Meta-analysis*. Wiley, London.
- Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*, 2nd Edition. *Hillsdale: Lawrence Erlbaum*.
- Cooper, J., Baranski, M., Stewart, G., Nobel-de Lange, M., Bärberi, P., Fließbach, A., &



- Van den Putte, A., Govers, G., Diels, J., Gillijns, K., & Demuzere, M. (2010). Assessing the effect of soil tillage on crop growth: A meta-regression analysis on European crop yields under conservation agriculture. *European journal of agronomy*, 33(3): 231-241.
- Wang, J., Pan, Z., Pan, F., He, D., Pan, Y., Han, G., & Zhang, J. (2020). The regional water-conserving and yield-increasing characteristics and suitability of soil tillage practices in Northern China. *Agricultural Water Management*, 228: 105883.
- Wang, Y., Zhang, Y., Zhou, S., & Wang, Z. (2018). Meta-analysis of no-tillage effect on wheat and maize water use efficiency in China. *Science of the Total Environment*, 635: 1372-1382.
- Gates, S. (2002). Review of methodology of quantitative reviews using meta-analysis in ecology. *Journal of Animal Ecology*, 71(4): 547-557.
- Giller, K. E., Witter, E., Corbeels, M., & Tittonell, P. (2009). Conservation agriculture and smallholder farming in Africa: The heretics' view. *Field Crop Research*, 114: 14-23.
- Higgins, J. P., Thomas, J., Chandler, J., Cumpston, M., Li, T., Page, M. J., & Welch, V. A. (Eds.). (2019). *Cochrane handbook for systematic reviews of interventions*. John Wiley & Sons.
- Hilshey, B., Bench, C., & Tessieri, L. (2020). A practical guide to no-till and cover crops in the Mid-tlantic. <https://projects.sare.org/wp-content/uploads/No-till-and-Cover-Crop-Implimenation-Third-Edition-online.pdf>
- Khaliliaqdam, N., Hasani, R., & Mir-Mahmoodi. (2018). Meta-analysis of some effective factors on wheat production in Iran. *Journal of Agricultural Crops Production*, 20(1): 191-204. (In Persian).
- Knowler, D., & Bradshaw, B. (2007). Farmers' adoption of conservation agriculture: A review and synthesis of recent research. *Food Policy*, 32: 25-48.
- Noble, J. H. (2006). Meta-analysis: Methods, strengths, weaknesses, and political uses. *Journal of Laboratory and Clinical Medicine*, 147(1): 7-20.
- Nunes, M. R., Karlen, D. L., & Moorman, T. B. (2020-a). Tillage intensity effects on soil structure indicators—A US meta-analysis. *Sustainability*, 12(5): 2071.
- Nunes, M. R., Karlen, D. L., Veum, K. S., Moorman, T. B., & Cambardella, C. A. (2020-b). Biological soil health indicators respond to tillage intensity: A US meta-analysis. *Geoderma*, 369: 114335.
- Pittelkow, C. M., Linquist, B. A., Lundy, M. E., Liang, X., Van Groenigen, K. J., Lee, J., . . . Van Kessel, C. (2015). When does no-till yield more? A global meta-analysis. *Field crops research*. 183: 156-168.
- Ried, K. (2000). Interpreting and understanding meta-analysis graphs: A practical guide. *Australian family physician*, 35(8).
- Scopel, E., Silva, F. A. M. D., Corbeels, M., Affholder, F., & Maraux, F. (2004). Modelling crop residue mulching effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions. *Agronomie*, 24: 383-395.
- Soltani, E., & Soltani, A. (2014). Necessity of using meta-analysis in field crops researches. *Journal of Crop Production*, 7(3): 203-216. (In Persian).



**Research paper****Meta-analysis of the effect of conservation tillage on irrigated wheat yield in Iran****A. Heidari<sup>1\*</sup>****Abstract**

Conservation tillage can be an alternative system to conventional tillage of irrigated wheat crops in Iran due to its potential for protecting soil and water resources and reducing production costs. Many studies in Iran have investigated the effect of different tillage methods on various factors, such as yield, soil physical properties, costs, etc., in irrigated wheat cultivation. All available studies were systematically reviewed to gain a better perspective on the impact of tillage methods on wheat yield in Iran, and their findings were analyzed by meta-analysis. All articles published in Iranian journals, final reports of research projects, and related articles presented at congresses and student dissertations were reviewed using standard keywords. Then, the articles and reports published in this field with the criteria for entering the research were entered into the meta-analysis after quality control using a random model. Finally, 40 studies were selected to compare minimum tillage methods with conventional tillage, and 21 were selected to compare no-tillage with conventional tillage. The results showed that the effect size (SMD) in minimum tillage and non-tillage methods were -0.42 and -1.18, respectively, indicating the negative effect of these methods on yield. Reduced tillage methods significantly reduced wheat yield (-2.87%) compared to conventional tillage. Also, no-tillage significantly reduced yield (-8.2%) compared to conventional tillage. Minimum tillage methods did not have much effect on reducing wheat yield. It is suggested that one of the minimum tillage methods, including 1- Chiselpaker, 2- combined tiller (chisel plow equipped with rollers), 3- chisel plow + disc, and 4- disc according to the facilities and access of each area to these tools, replaced conventional tillage (moldboard plow + disc harrow + leveler).

**Keywords:** Conservation tillage, Irrigated wheat, Meta-analysis, Minimum tillage, No-till.**Citation:** Heidari A. 2023. Meta-analysis of the effect of conservation tillage on irrigated wheat yield in Iran. *Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery*. 25: 105-115. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.13885.589>

---

1- Department of Agricultural Engineering Research, Hamedan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension organization (AREEO), Hamadan, Iran.

\* **Corresponding Author:** [heidari299@gmail.com](mailto:heidari299@gmail.com)

Received: 2022/06/06 Accepted: 2022/07/29

<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.13885.589>

## Research paper

# Investigation of the Effect of Direct Drilling Methods and Planting Depth on Seed Uniformity Indices and Some Agronomic Indices in Rainfed Wheat Cultivation

M. Tahmasebi<sup>1\*</sup>, A. Hedayatipour<sup>2</sup> and M. Gohari<sup>3</sup>

## Abstract

An experiment was conducted during 2017-2018 and 2019-2020 (the land was followed between two intervals) as a split-split plot in a randomized complete block design with three replications to investigate the effect of using the no-tillage method in different residues and variable planting depth in rainfed conditions. In this experiment, the main plots were crop residue levels with two levels (1- retaining only standing stubble and 2- retaining all residues), and subplots were opener types (1- Narrow shovel, 2- wide shovel, and 3- disc opener), and sub-sub-plots were planting depths with two levels (4-6 cm and 6-8 cm). This study used common direct drilling employed in the Markazi province for rainfed wheat cultivation (Hamedan Machine Barzegar, Jeiran Sanat Arya, and Taka Companies). Conventional tillage and planting methods (moldboard plow+cultivator+deep seeder) were also considered controls in each subplot. The planting depth uniformity coefficient, horizontal seed distribution uniformity coefficient, field germination percentage, and crop yield were measured in all treatments. The results showed that the effect of opener type and planting depth on the yield was statistically significant ( $p < 0.5$ ). The effect of residue in two years of cultivation on yield and measured traits was insignificant and confirmed that the effect on yield and measured factors was no different. The direct seeding technique demonstrated a lower yield, while the conventional planting method with a deep seeder using the conventional common opener had the highest yield. The uniformity coefficient of vertical seed distribution is statistically significant ( $p < 0.01$ ), which indicates that the type of furrow opener can be effective in seed depth placement. With increasing planting depth, seed germination percentage and grain yield decreased. The findings also showed that employing the direct drilling method while reducing operation time has saved the amount of fuel consumption by an average of 75% compared to the conventional cultivation methods.

**Keywords:** Direct drilling, Planting depth, Rainfed wheat yield, Seed Establishment.

**Citation:** Tahmasebi M. Hedayatipour A. and Gohari M. 2023. Investigation of the Effect of Direct Drilling Methods and Planting Depth on Seed Uniformity Indices and Some Agronomic Indices in Rainfed Wheat Cultivation. Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery. 25: 91-103. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10219.568>

---

1- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Arak, Iran.

2- Instructor, Agricultural Engineering Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Arak, Iran.

3- Assistant Professor, Department of Applied Mechanics Engineering, Faculty of Mechanical Engineering, Arak University of Technology, Arak, Iran.

\* Corresponding Author: [tahmasebi.mona@gmail.com](mailto:tahmasebi.mona@gmail.com)

Received: 2022/04/04

Accepted: 2022/07/29

<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.13808.582>

## Research paper

# Evaluation of the effect of moisture and type of harvest combine on quantitative and qualitative losses of rice Champa cultivar

N. Loveimi<sup>1\*</sup>, M. Soleymani<sup>2</sup> and M. J. Behvandy<sup>3</sup>

## Abstract

Rice is one of the most important summer crops harvested in recent years by combining harvesters with different mechanisms. In this study, the amount of quantitative and qualitative losses of Champa cultivar in Ramhormoz city was evaluated by different combines. The current research was conducted in a randomized complete block design with split plots. The main plots were the crop moisture at harvest time included three levels: 19-21 percent (M1), 21-23 percent (M2), and 23-53 percent (M3), and the secondary plots were the combine types included four levels: cereal combine, with rasp bar thresher (C1), cereal combine, with spike type thresher (C2), rice combine, World model, with spike type thresher (C3) and rice combine, Chery model, with spike type thresher (C4). The results showed that quantitative and qualitative losses related to moisture were significant. In terms of moisture, the lowest and highest total quantitative losses were obtained in M2 at 3.60 percent and M1 at 3.87 percent, respectively, and the lowest and highest total qualitative losses obtained in M3 with 1.37 in M1 at 3.01 percent, respectively. Also, all the different components of quantitative losses, except for the head section and the various components of qualitative losses related to the type of combine, were significant. In terms of total quantitative losses, the lowest and highest values belonged to C3 with 2.97 percent and C1 with 4.83 percent, respectively, and in terms of total qualitative losses, the lowest and highest values belonged to C4 with 1.32 percent and C1 with 3.99 percent, respectively.

**Keywords:** Qualitative losses, Quantitative losses, Rice Champa cultivar, Rasp bar thresher, Spike type thresher.

**Citation:** Loveimi N. Soleymani M. and Behvandy M. J. 2023. Evaluation of the effect of moisture and type of harvest combine on quantitative and qualitative losses of rice Champa cultivar. Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery. 25: 77-90. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10219.568>

1- Assistant Professor, Agricultural Engineering Research Department, Khuzestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Ahvaz, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Biosystem Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

3- M.Sc. Graduate, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

\* Corresponding Author: [n1584m@yahoo.com](mailto:n1584m@yahoo.com)

Received: 2022/01/31 Accepted: 2022/07/21

<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10219.568>

## Research paper

# Non-destructive prediction of some quality characteristics of orange fruit using Vis-NIR spectroscopy

K. Gerami<sup>1</sup>, H. Behfar<sup>2\*</sup>, B. Jamshidi<sup>3</sup> and Sh. Zomorodi<sup>4</sup>

## Abstract

Due to the economic value and the high cost of various inputs used to produce agricultural products, measuring their quality characteristics using non-destructive methods is an important requirement. Among various non-destructive techniques, optical spectroscopy methods are more important because they are rapid and easy to use. In this research, visible/near-infrared (Vis-NIR) (400-900 nm) spectroscopy was used to predict the quality characteristics of Thomson oranges. Some physicochemical properties of oranges, including dimensions, weight, volume weight, soluble solids content (SSC), acidity (TA), pH, as well as SSC/TA and BrimA indices, were determined. Vis-NIR spectra were pre-processed using different smoothing and normalization methods and their combinations. The results showed that the Vis-NIR spectroscopy with median filter and multiplicative scatter correction (MSC) pre-processing methods can well predict SSC ( $r_p = 0.983$ ) and pH ( $r_p = 0.972$ ) of Thomson oranges. Moreover, this technique combined with median filter and MSC methods could predict TA ( $r_p = 0.771$ ) and BrimA index ( $r_p = 0.865$ ) of Thomson oranges with acceptable results. The SSC/TA index was also predicted with acceptable results using Vis-NIR spectroscopy combined with the median filter and MSC methods ( $r_p = 0.829$ ). Therefore, Vis-NIR spectroscopy as a non-destructive technique can be used for the quality evaluation of Thomson oranges.

**Keywords:** Optical spectroscopy, Partial least squares, Visible-near infrared, Pre-processing.

**Citation:** Gerami K. Behfar H. Jamshidi B. and Zomorodi Sh. 2023. Non-destructive prediction of some quality characteristics of orange fruit using Vis-NIR spectroscopy. Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery. 25: 65-76. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.13736.570>

1- Ph.D. Student, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.

2- Assistant Professor, Department of Biosystem Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Tabriz, Iran.

3- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Institute, AREEO, Karaj, Iran.

4- Associate Professor, Agricultural Engineering Research Department, West Azerbaijan Agriculture and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Urmia, Iran.

\*Corresponding Author: [h\\_behfar@hotmail.com](mailto:h_behfar@hotmail.com)

Received: 2022/02/06 Accepted: 2022/06/06

<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.13736.570>

## Research paper

# Evaluation of non-satellite self-navigation system and Comparison with GNSS receiver for optimal tractor routing

M. Sadafi<sup>1</sup>, S. Minaei<sup>2\*</sup>, H. Bakhoda<sup>3</sup> and J. Amiri Parian<sup>4</sup>

## Abstract

Site-specific agriculture is a subset of precision agriculture that aims to increase productivity as well as the quantity and quality of crops based on measuring spatial variation, soil and plant characteristics, and consumption of inputs as variables in time and space. The first step to fulfill this goal is to locate the agricultural machine in the relevant place so that the desired operation can be performed accordingly. In the current research, a ground positioning device with sensors for measuring the steering angle and the number of rotations of the moving wheel of the tractor has been developed. The system was field-tested with local positioning without needing external servers, and the data were compared with the output values of a GNSS receiver. The experiments were performed on asphalt, plowed and uncultivated fields as well as in sunny and cloudy conditions. The statistical design was based on randomized complete blocks as a factorial test in  $2 \times 2 \times 3$  with four replications. According to the obtained results, the X and Y axes data of the GNSS receiver and self-tracking device showed a significant difference at the 1% and 5% levels, respectively. Changes in environmental factors, including sunny/cloudy and the ground surface conditions on both the X and Y axes, did not significantly affect positioning by the GNSS receiver and the self-tracker. The accuracy of the tracker system in the X direction was found to be 25 cm and for the GNSS receiver 250 cm, while in the Y direction, this was 50 cm and 140 cm for the GNSS receiver. As a result, the tracker system was more accurate on both the X and Y axes. In addition, path deviation distances obtained with the GNSS receiver and the self-tracking device were significantly different at the 1% probability level. The accuracy of determining the distance in the self-tracking system was 60 cm, while with the GNSS receiver, it was 400 cm. In general, the performance of the self-tracking system in finding the optimal trajectory was more accurate than the conventional GNSS receiver (without DC correction).

**Keywords:** Self-navigation system, GNSS, Local navigation, Precision Agriculture.

**Citation:** Sadafi M. Minaei S. Bakhoda H. and Amiri Parian J. 2023. Evaluation of non-satellite self-navigation system and Comparison with GNSS receiver for optimal tractor routing. Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery. 25: 55-64. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10170.565>

1- Ph.D. Student, Agricultural Mechanization Department, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Professor, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Agricultural Mechanization Department, Science and Research branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

4- Assistant Professor, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

\* Corresponding Author: [minaee@modares.ac.ir](mailto:minaee@modares.ac.ir)

Received: 2022/01/26

Accepted: 2022/06/06

<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10170.565>

## Research paper

# Design, construction, and evaluation of green dryer combined solar-heat recovery of barberry product

M. Eslami<sup>1</sup>, S. Rostami<sup>2\*</sup>, B. Hosseinzadeh-Samani<sup>3</sup>, R. Ebrahimi<sup>4</sup> and M. Kyani<sup>5</sup>

## Abstract

The reason for drying is the long-term storage of food, minimizing the need for storage, packaging and reducing transportation costs. This research aims to use a combination of solar dryers with a heat recovery system (MCHP), which, while storing energy, also makes temperature control possible. In the present study, the MCHP (Micro-scale Simultaneous Power and Heat Generation System) system consists of a single-cylinder diesel engine with a power of 4.5 hp and a maximum engine speed of 2,500 rpm, which runs on biodiesel fuel. The solar dryer also has a flat collector, inside which a heat exchanger is designed and built. A vacuum cleaner was used to direct hot air from the collector to the dryer chamber. The results showed that by increasing the gas valve (25%, 50%, 75%, and 100%), the temperature of the exhaust gas before entering the heat exchanger increases. The second converter was designed and built into the collector. The outlet water temperature of the collector converter in different throttle positions (25%, 50%, 75%, and 100%) respectively (37.5, 43.3, 49, and 55 degrees Celsius) was. Also, the drying time of the barberry crop for temperature (70 ° C and a speed of 1.5 m / s) was shorter than the temperature and other velocities in this study.

**Keywords:** Drying time, Heat exchanger, MCHP system, Solar dryer.

**Citation:** Eslami M. Rostami S. Hosseinzadeh-Samani B. Ebrahimi R. and Kyani M. 2023. Design, construction, and evaluation of green dryer combined solar-heat recovery of barberry product. Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery. 25: 43-54. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.13766.579>

---

1- Ph.D. Student, Mechanical Engineering of Biosystem Department, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

2- Associate Professor, Mechanical Engineering of Biosystem Department, Shahrekord University, Shahrekord, Iran

3- Associate Professor, Mechanical Engineering of Biosystem Department, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

4- Professor, Mechanical Engineering of Biosystem Department, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

5- Assistant Professor, Biosystem Engineering Department, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

\* Corresponding Author: [rostami.sajad@yahoo.com](mailto:rostami.sajad@yahoo.com)

Received: 2022/02/22

Accepted: 2022/05/29

<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.13766.579>



## Research paper

# Monitoring the engine condition of the ITM285 tractor using sound analysis and engine performance parameters

M. Hasani<sup>1</sup>, M. H. Abbaspour-Fard<sup>2</sup> and O. Doosti-Irani<sup>3</sup>

## Abstract

Condition monitoring is one of the critical elements in preventive maintenance. By using condition monitoring, maintenance can be programmed, or steps can be taken to prevent the side effects of a failure before its occurrence. With this definition, for failure detection, a deviation should occur in the base value of a parameter (such as temperature or vibrational behavior). Using this method is more economical than occurring a failure. In Iran, monitoring the conditions of tractors and their maintenance is underestimated, and this is not performed based on the exact hour of operation. In this research, the lack of cleaning and servicing *fo* the air filter (dirty filter) and the lack of appropriate valve clearance adjustment (low or high clearance) as independent variables were investigated on the sound level of *cht* engine at the bottom of the cylinder head and cylinder block and also the engine's performance parameters, including exhaust temperature, fuel consumption, and opacity of exhaust gas. The tests were performed on an ITM285 tractor. The results showed that both engine load and engine RPM have significant effects on engine exhaust gas opacity. At the same time, all factors significantly affect fuel consumption. Moreover, the cleanliness of the air filter, the engine torque, and the engine RPM significantly affect the engine temperature. Engine load, engine speed, and valve clearance significantly affect the sound level of the engine cylinder head. Finally, the sound emitted from *cht* engine block is significantly affected by engine speed.

**Keywords:** Engine, ITM285, Performance Parameters, Sound Analysis, Status Tracking.

**Citation:** Hasani M. Abbaspour-Fard M. H. and Doosti-Irani O. 2023. Monitoring the engine condition of the ITM285 tractor using sound analysis and engine performance parameters. Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery. 25: 31-42. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10149.561>

---

1- Graduated M.Sc. Student, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

2- Professor, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

3- Ph.D. Student, Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

\* Corresponding Author: [abaspour@um.ac.ir](mailto:abaspour@um.ac.ir)

Received: 2022/01/08

Accepted: 2022/05/29

<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10149.561>

## Research paper

# Prediction of bioethanol production from lignocellulosic compounds in anaerobic digester with pneumatic-mechanical agitator by neural network

S. H. Yoosefian<sup>1</sup>, R. Ebrahimi<sup>2</sup>, B. Hosseinzadeh Samani<sup>3</sup> and A. Maleki<sup>4</sup>

## Abstract

In this study, an anaerobic digester with pneumatic digester (PMD) was designed to ferment lignocellulosic compounds of wheat and rice straw and was compared with mechanical digester (MD). Ultrasonic pretreatment was performed with time values of 30 min, acid concentration of 1.905 %v/v and bagasse load of 6%. Then acid hydrolysis was performed in 45 min, acid concentration of 2.04 %v/v and temperature of 148.4 °C. Then biomass was poured for fermentation in PMD and MD digesters and the fermentation process took place within 20 days and the sampling sequence was every 5 days. According to the results, the pneumatic digester was able to produce 38.66% more bioethanol than the mechanical digester. H<sub>2</sub>S, CO and O<sub>2</sub> compounds were also measured during fermentation. In the pneumatic digester, the production of H<sub>2</sub>S and O<sub>2</sub> was lower than in the mechanical digester, but the amount of CO production in the pneumatic digester was significantly higher. Also, the amount of produced compounds created 50 fermentation predicted days was examined by the neural network and compared with the actual results. According to the results, it is possible to predict the trend of changes in fermentation compounds by the neural network and make a definite decision to ferment the straw, wheat and rice compounds. Finally, it can be said that with the help of pneumatic digestion system, the amount of harmful compounds produced during the process can be controlled and the amount of bioethanol production can be increased.

**Keywords:** Bioethanol, Digester, Fermentation, Pneumatic, Stirrer.

**Citation:** Yoosefian S. H. Ebrahimi R. Hosseinzadeh Samani B. and Maleki A. 2023. Prediction of bioethanol production from lignocellulosic compounds in anaerobic digester with pneumatic-mechanical agitator by neural network. Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery. 25: 21-30. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.113904.592>

1- Ph.D., Department of Biosystem Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

2- Professor, Department of Biosystem Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

3- Associate Professor, Department of Biosystem Mechanical Engineering, Faculty of Agriculture, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

\* Corresponding Author: [Rahim.ebrahimi@gmail.com](mailto:Rahim.ebrahimi@gmail.com)

Received: 2022/06/16

Accepted: 2022/07/30

<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.113904.592>

## Research paper

### Simulation of airflow inside greenhouse solar dryers for Isfahan climate

M. B. Heidari Varnamkhashti<sup>1</sup> and H. Ghafari<sup>2\*</sup>

#### Abstract

Greenhouse drying is one of the drying methods that can dry large amounts of agricultural products simultaneously. All greenhouse dryer models use solar radiation energy. Greenhouse dryers are very similar in appearance to a greenhouse in that the air inside is heated by solar radiation, and the desiccants are dried inside. Because a large part of Isfahan province has a dry climate and has 300 sunny days a year, there is a high potential for using this type of dryer. The performance of this dryer depends on the airflow characteristics and the geometry of the dryer chamber. Therefore, this study aims to predict the behavior of airflow inside the chamber of greenhouse dryers using computational fluid dynamics (CFD) for the climate of Isfahan. For this purpose, the effect of sunlight intensity and external geometry of the dryer on the speed, temperature, and air pressure inside the chamber was investigated by Ansys Fluent 18 software. This study evaluated four common types of geometries for greenhouse dryers. These four types of geometry include a greenhouse with a convex roof, a one-sided sloping roof, a double-sided sloping roof, and a greenhouse with a convex roof and vertical walls, respectively. The simulation results were validated by comparison with experimental results obtained from other researchers. The results showed that the greenhouse with a convex roof and vertical walls had the best performance in the uniformity of airflow velocity inside the dryer. Also, the best performance in the uniform air temperature distribution inside the dryer was related to the double-sided sloping roof and the greenhouse with a convex roof and vertical walls. The lowest air pressure inside the dryer chamber was associated with the geometry of the greenhouse with the convex roof.

**Keywords:** Airflow, Crops, Computational fluid dynamics, Greenhouse solar dryer, Sunlight intensity.

**Citation:** Heidari Varnamkhashti M. B. and Ghafari H. 2023. Simulation of airflow inside greenhouse solar dryers for Isfahan climate. Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery. 25: 11-20. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10164.564>

---

1- M.Sc, Department of Mechanical Engineering, Majlesi Branch, Islamic Azad University, Isfahan. Iran.

2- Assistant Professor, Department of Biosystems Engineering, Isfahan (khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan. Iran.

\* Corresponding Author: [hasangh28@gmail.com](mailto:hasangh28@gmail.com)

Received: 2021/12/25 Accepted: 2022/04/15

<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.10164.564>

**Research paper****Analysis economical of olive producers using Douglas cab function in the west of the country (Case study: Ilam city)****M. Zabardast<sup>1</sup>, A. Azizpanah<sup>2\*</sup>, R. Yeganeh<sup>2</sup> and S. Bahamin<sup>3</sup>****Abstract**

Energy efficiency is in the production of agricultural and horticulture products. Due to the olives' compatibility in terms of resistance to water deficiency, olive cultivation has become popular in some parts of the country, including Ilam province. This study was conducted in 2019 with the aim of Economic Analysis Using the Cub-Douglas function of Production Olive in Ilam city. Information on the number of olive growers and yields was obtained from the Comprehensive Agricultural Data Structuring and Management System. The study included an economic analysis of olive production by analyzing human resources, electricity, fossil fuels, chemical fertilizers and animal manure, pesticides, and water. The gross value, total production cost, interest-to-cost ratio, net profit (special profit), and gross profit of olive production were 17519366, 3928231, 3.46, 13591135, and 14669100 Tomans, respectively. The tensile strengths of manpower, gasoline, nitrogen fertilizer, livestock manure, water, and electricity were calculated to be 0.058, 0.01, 0.001, 0.038, 1.05, and 0.158, respectively. This study estimated APP and MPP of direct energies as higher than indirect energies. Average product productivity (APP) of renewable and non-renewable energy was obtained with coefficients of 1.046 and 1.252, respectively. Marginal physical product (MPP) of renewable and non-renewable energy was estimated with the coefficients of -0.735 and -0.026, respectively. The highest final product in Model 1 was water input. Direct energies' final productivity and average productivity were higher than indirect ones. Finally, due to the special profit and special profit obtained in this study, the economical production of olives is affordable.

**Keywords:** Cub-Douglas function, Energy, Economic Analysis, Olive.**Citation:** Zabardast M. Azizpanah A. Yeganeh R. and Bahamin S. 2023. Analysis economical of olive producers using Douglas cab function in the west of the country (Case study: Ilam city). Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery. 25: 1-9. <https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.13760.576>

---

1- Master's Student in Agricultural Mechanization, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam, Iran.

2- Member of the Faculty of Mechanical Engineering, Biosystem of Ilam University, Ilam, Iran.

2- Member of the Faculty of Mechanical Engineering, Biosystem of Ilam University, Ilam, Iran.

3- Ph.D. Student in Agroecology, Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

\* **Corresponding Author:** [a.azizpanah@ilam.ac.ir](mailto:a.azizpanah@ilam.ac.ir)

Received: 2022/03/17 Accepted: 2022/04/14

<https://dx.doi.org/10.22034/JRMAM.2022.13760.576>

# Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery

Scientific Journal

Volume 11/ Number 4/ Serial Number 25/ Winter 2023

ISSN: 2345-6906 (Print)

ISSN: 2783-0705 (Online)

**Proprietor:** Shahrekord University

**Managing Editor:** Tabatabaei S.H.

**Editor-in-Chief:** Ebrahimi R.

## Editorial Board:

Abbaspour-Gilandeh Y.	Professor, University of Mohaghegh Ardabili	Mechanical Engineering of Biosystems - Precision Farming
Ebrahimi R.	Professor, Shahrekord University	Mechanical Engineering and Energy
Hassan beigi S. R.	Associate Professor, Tehran University	Mechanical Engineering of Biosystems- Design of Agricultural Machinery
Hemmat A.	Professor, Isfahan University of Technology	Mechanical Engineering of Biosystems- Precision Farming
Hosseinzadeh Samani B.	Associate Professor, Shahrekord University	Mechanical Engineering of Biosystems- Design of Nonthermal Processing Systems
Maleki A.	Associate Professor, Shahrekord University	Mechanical Engineering of Biosystems- Acoustics and Vibration in Human Factors Engineering Field
Mobli H.	Professor, Tehran University	Mechanical Engineering of Biosystems- Energy
Mohtasebi S. S.	Professor, Tehran University	Mechanical Engineering
Rostami Kondori S.	Associate Professor, Shahrekord University	Mechanical Engineering of Biosystems- Design of Agricultural Machinery

**Journal Manager:** Maleki A.

**Scientific Editor:** Lashgari M.

**Editor of Persian Language:** OmidI Arjanaki O.

**Editor of English Language:** Hosseinzadeh Samani B.

**Administrative Executor:** Ghorbanizadeh F.

**Typesetting:** Ghany F.

**Publisher:** Shahrekord University

**Circulation:** 200 Copies

The papers of this journal are indexed by:  
**CABI, Civilica, ISC, SID, Magiran, Google Scholar**

---

**Address:** Journal of Researches in Mechanics of Agricultural Machinery, Shahrekord University Press, Shahrekord, Iran

**Postal Code:** 88186-34141 **P.O.Box:** 115 **Tel:** 038-32324401-7;(Int. 2784) **Fax:** 038-32321669

**Website:** <http://jrmam.sku.ac.ir/>

**E-mail:** [jrmam@journals.sku.ac.ir](mailto:jrmam@journals.sku.ac.ir)

**Contents of Research Papers:**

<b>Analysis economical of olive producers using Douglas cab function in the west of the country ...</b>	<b>1</b>
<b>M. Zabardast, A. Azizpanah, R. Yeganeh and S. Bahamin</b>	
<b>Simulation of airflow inside greenhouse solar dryers for Isfahan climate</b>	<b>11</b>
<b>M. B. Heidari Varnamkhasti and H. Ghafari</b>	
<b>Prediction of bioethanol production from lignocellulosic compounds in anaerobic digester with ...</b>	<b>21</b>
<b>S. H. Yoosefian, R. Ebrahimi, B. Hosseinzadeh Samani and A. Maleki</b>	
<b>Monitoring the engine condition of the ITM285 tractor using sound analysis and engine ...</b>	<b>31</b>
<b>M. Hasani, M. H. Abbaspour-Fard and O. Doosti-Irani</b>	
<b>Design, construction, and evaluation of green dryer combined solar-heat recovery of ...</b>	<b>43</b>
<b>M. Eslami, S. Rostami, B. Hosseinzadeh-Samani, R. Ebrahimi and M. Kyani</b>	
<b>Evaluation of non-satellite self-navigation system and Comparison with GNSS receiver for ...</b>	<b>55</b>
<b>M. Sadafi, S. Minaei, H. Bakhoda and J. Amiri Parian</b>	
<b>Non-destructive prediction of some quality characteristics of orange fruit using Vis-NIR ...</b>	<b>65</b>
<b>K. Gerami, H. Behfar, B. Jamshidi and Sh. Zomorodi</b>	
<b>Evaluation of the effect of moisture and type of harvest combine on quantitative and qualitative ...</b>	<b>77</b>
<b>N. Loveimi, M. Soleymani and M. J. Behvandy</b>	
<b>Investigation of the Effect of Direct Drilling Methods and Planting Depth on Seed Uniformity ...</b>	<b>91</b>
<b>M. Tahmasebi, A. Hedayatipour and M. Gohari</b>	
<b>Meta-analysis of the effect of conservation tillage on irrigated wheat yield in Iran</b>	<b>105</b>
<b>A. Heidari</b>	