بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه جامع امام حسین(ع)

۱۳۶۵

من و شما، جوان این مملکت، دانشجوی این مملکت، مسئول این مملکت، استاد این مملکت باید بداند که دشمن از چه راهی وارد خواهد شد؛ پیش بینی کند.
اگر پیش بینی کردید، آن وقت پدیده‌هایی که در جامعه پیش می‌آید را می‌شناسید.

فرمانده معظم کل قوا
مورخه(۱۳۸۶/۱۰/۱۳)

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال سیزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱ (پیاپی ۵۰)

مجوز انتشار از معاونت مطبوعاتی وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی ۱۲۴/۳۵۹۸ — ۸۸/۷/۲۶

مجوز علمی – ترویجی از کمیسیون بررسی نشریات علمی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ۱۳۹۰/۲۳۳۴۱۴ — ۱۳۹۰/۱۱/۱۵

شماره استاندارد بین‌المللی پی‌آیند (شاپا ISSN)
۲۰۰۸-۶۸۴۹

- مطالب مندرج در نشریه، لزوماً بیانگر دیدگاه‌های دانشگاه نیست.
- مسئولیت صحت مطالب هرمقاله به عهده نویسنده/ نویسندگان می‌باشد.
- نشریه در رد یا قبول و نیز ویرایش مقالات آزاد است.
- کلیه حقوق مادی‌ومعنوی این نشریه برای این دانشکده محفوظ است.
- نقل و اقتباس از مندرجات نشریه با ذکر ماخذ بلامانع می‌باشد.

صاحب امتیاز: دانشگاه جامع امام حسین(ع)

مدیر مسئول: دکتر رضا غفارپور

سردبیر: دکتر مهدی مدیری

جانشین سردبیر: دکتر علی سعیدی

مدیر اجرایی: مصطفی عظیمی

کارشناس نشریه: عزیزاله طبرزدی

ویراستار ادبی: خانم منیره همدانی

تنظیم و صفحه‌آرایی: امیرمهدی داداش‌زاده

نشانی: تهران، بزرگراه شهید بابایی، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، موقعیت مرکزی، دفتر نشریات دانشگاه

تلفن: ۰۲۱ ۷۴۱۸۸۲۳۶

تارنما: http://pd.ihu.ac.ir

رایانامه: Padafandg@ihu.ac.ir

فصلنامه در پایگاه‌های زیر نمایه‌سازی شده است:

- **پایگاه استنادی علوم جهان اسلام (ISC) (www.isc.gov.ir)**
- **مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری (www.ricest.ir)**
- **بانک اطلاعات نشریات علمی کشور (www.magiran.com)**
- **پایگاه مجلات تخصصی نور (www.noormags.ir)**
- **پایگاه گوگل اسکالر (www. scholar.google.com)**
- **پایگاه سیویلیکا (www.civilica.com)**

اعضاء هیئت تحریریه (به ترتیب حروف الفبا)

دکتر سید بهشید حسینی
استاد دانشگاه هنر تهران

دکتر رضا حسنوی آتشگاه
استاد دانشگاه صنعتی مالک اشتر

دکتر صفا خزایی
دانشیار دانشگاه جامع امام حسین(ع)

دکتر محمودرضا دلاور
استاد دانشگاه تهران

دکتر مجتبی سعادتی
استاد دانشگاه جامع امام حسین(ع)

دکتر علی سعیدی
دانشیار دانشگاه جامع امام حسین(ع)

دکتر مهدی مدیری
استاد دانشگاه صنعتی مالک اشتر

دکتر سید مهدی موسی‌کاظمی‌محمدی
دانشیار دانشگاه پیام نور دانشگاه تهران

❊ ❊ ❊ ❊ ❊ ❊ ❊ ❊ ❊ ❊

داوران این شماره

حبیب اله اعلمی
محمدرضا علیزاده پهلوانی
مهدی مدیری
صفا خزائی
سیدمهدی موسی‌کاظمی محمدی
صادق بجانی
رامین دلیر
یاسر معرب
بلال اروجی
سمیه ملائی
محمدحسین تقوی پارسا
رضا حق مرام
صفا پیمان

فهرست مقالات

تعیین ستون بحرانی در پدیده فروپاشی پیش‌رونده در قاب خمشی فولادی با ملاحظه اثر اندرکنش خاک و سازه به دو روش مستقیم و غیر مستقیم..... ۱

محمد امامی کورنده، سید عظیم حسینی

ارزیابی عددی ظرفیت باربری دال بتن‌آرمه دارای بتن با مقاومت بالا تحت اثر بارهای انفجار..... ۱۵

مهدی مختاری، محمد ابراهیمی

شناسایی و اعتبارسنجی نشانگرهای ارزیابی پدافند غیرعامل در استقرارصنایع کشاورزی..... ۲۵

فارس عبدی، امیرحسین علی بیگی

مروری جامع بر کارهای صورت گرفته در زمینه تاب‌آوری شبکه قدرت در برابر حوادث با احتمال وقوع کم و خسارت تحمیلی شدید ۴۹

رضا غفارپور، سجاد مددی، سعید زمانیان

تأثیر ملاحظات مرتبط با مصالح در ماندگاری بناهای پیش از ۱۳۰۰ هجری شمسی در فلات مرکزی ایران..... ۶۷

سیما خالقیان، ابوذر صالحی

ارائۀ الگوی پدافند غیرعامل در توسعه اماکن ورزشی شهر تبریز..... ۸۳

مجتبی بابائیان، محمدرحیم نجف‌زاده، حبیب محمدپور یقینی، جعفر برقی مقدم

تحلیل ایستای ساختار فایل اجرایی جهت شناسایی و خوشه‌بندی بدافزارهای ناشناخته..... ۹۷

حمید تنها، مصطفی عباسی

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال سیزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، (پیاپی ۵۰): صص ۱۳-۱

علمی- پژوهشی

تعیین ستون بحرانی در پدیده فروپاشی پیش‌رونده در قاب خمشی فولادی با ملاحظه اثر اندرکنش خاک و سازه به دو روش مستقیم و غیر مستقیم

محمد امامی کورنده[1]*، سید عظیم حسینی[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۱۶

چکیده

پدیده فروپاشی پیش‌رونده در مقوله پدافند غیرعامل اهمیت بسیار بالایی دارد. با توجه به افزایش تهدیدات امنیتی و تروریستی در دهه‌های اخیر و گسترش روز افزون مسائلی از این دست، این پدیده بیش از پیش خود را نشان داده است. اندرکنش خاک و سازه نیز علمی جوان در مهندسی عمران به شمار می‌رود. رفتار سازه تحت اثر اندرکنش خاک و سازه تغییر می‌کند و روش‌های مختلفی نیز برای مدل‌سازی این پدیده در منتشرات سال‌های اخیر ارائه شده است. مسئله اصلی تحقیق حاضر تعیین ستون بحرانی در پدیده فروپاشی پیش‌رونده در قاب خمشی فولادی با ملاحظه اثر اندرکنش خاک و سازه به دو روش مستقیم و غیر مستقیم می‌باشد. پدیده فروپاشی پیش‌رونده در تحقیق حاضر به کمک سناریوی حذف ستون انجام شده است. همچنین اثر اندرکنش خاک و سازه به کمک دو روش مستقیم و غیر مستقیم در دو نرم‌افزار Sap و پلاکسیس مدل‌سازی شده است. قاب‌های فولادی دوبعدی به تعداد طبقات متفاوت به ترتیب ۵، ۱۰، ۱۵ و ۲۰ طبقه ساخته شده‌اند و به وسیله تحلیل استاتیکی غیر خطی تحلیل شده و با سناریوی حذف ستون گوشه و میانی مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پارامترهای مختلفی مانند ضریب رفتار، برش پایه، تغییر مکان نقطه عملکرد و تغییر مکان بالای گره حذف شده و گسترش مفاصل پلاستیک به‌عنوان شاخص‌های ارزیابی مطرح شدند. نتایج تحقیق حاضر نشان دادند که ستون‌های گوشه وضعیت بحرانی‌تری دارند.

کلید واژه‌ها: قاب فولادی خمشی، فروپاشی پیش‌رونده، تحلیل پوش‌آور، اندرکنش خاک و سازه

[1] استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران- (emamiacademic@gmail.com)- نویسنده مسئول

[2] استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب ، تهران، ایران

۱- مقدمه

فروپاشی پیش‌رونده یک واکنش زنجیره‌ای از خرابی است که با از دست دادن فوری یک یا چند عنصر حمل بار ثقلی آغاز می‌شود. هنگامی که عنصر سازه عمودی از کار افتاد، ساختار باید یک مسیر حمل بار دیگر را فعال کند و بارهای حمل شده توسط آن عنصر را به عناصر همسایه منتقل کند. نیروهای داخلی فعال در اعضای مجاور در نتیجه آزاد شدن انرژی داخلی به‌دلیل از دست دادن عضو، افزایش می‌یابد. پس از توزیع مجدد بار در سازه، هر یک از اجزای سازه از بارهای مختلف از جمله نیروهای داخلی اضافی پشتیبانی می‌کند.

در بررسی پدیده خرابی پیش‌رونده باید ابتدا عامل بارگذاری غیر عادی و خرابی‌های جزئی ناشی از آن بررسی گردد و پس از آن با توجه به خرابی‌های پدید آمده، برخی از توانایی‌ها سازه از جمله پیوستگی، شکل پذیری و درجه نامعینی سازه برای جلوگیری از گسترش خرابی، مورد بررسی قرار گیرد.

پدیده خرابی پیش‌رونده در اکثر نقاط جهان یک پدیده نادر می‌باشد، با این وجود در صورتی که این پدیده رخ دهد، می‌تواند نتایج بسیار ناگواری از خود به جای بگذارد. با توجه به افزایش حملات تروریستی به ساختمان‌های مهم در سال های اخیر، مطالعه و بررسی دقیق‌تر این بحث ضروری به نظر می‌رسد. به‌طور مثال در ۱۵ آوریل سال ۱۹۹۵، در بمب گذاری در ساختمان آلفردمورا[1] در شهر اوکلاهما، ۱۶۸ نفر بر اثر خرابی بخشی از سازه و نه در اثر اثرات مستقیم انفجار، جان خود را از دست دادند و بیش از ۸۰۰ نفر زخمی شدند. ضلع شمالی این ساختمان ۹ طبقه بتن مسلح، در اثر انفجار بمب معادل ۴۰۰۰ پوند TNT، نتوانست باز پخش عمودی بار را تحمل کند و سرانجام باعث رخ دادن این فروپاشی شد (شکل ۱).

شکل (۱): خرابی ساختمان آلفردمورا شهر اوکلاهما در سال ۱۹۹۵ [۱]

با توجه به تعداد بسیار زیاد مطالعات عددی و آزمایشگاهی صورت گرفته در رابطه با موضوع اندرکنش، یک تمایل جدی در محققین برای در نظر گرفتن پاسخ غیر الاستیک فونداسیون‌های سطحی در هنگام زلزله به وجود آمده است. برای مثال می‌توان به مطالعات انجام شده توسط Harden و همکارانش در سال ۲۰۰۶، Gajan در سال ۲۰۰۶، Allotey و Naggar در سال ۲۰۰۷، Zhang و Tang در سال ۲۰۰۷ و Apostolou و همکارانش در سال ۲۰۰۷ اشاره کرد.

بخشی‌پور و علی‌نژاد در تحقیقی به معرفی معرفی خرابی پیش‌رونده و بررسی پایداری و تأثیر آن بر انواع سازه‌های فولادی پرداختند [۱]. غلامپور و همکاران در تحقیق خود به تأثیر اثر حذف ستون در خرابی پیش‌رونده بر عملکرد لرزه‌ای سازه‌های فولادی دوگانه پرداختند. در این تحقیق ابتدا سه سازه فولادی با سامانه باربر جانبی دوگانه قاب خمشی متوسط و مهاربند هم محور ویژه ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه در نرم‌افزار Etabs 2013 طراحی شد، سپس با استفاده از آیین‌نامه GSA2003 و انتخاب روش مسیر جایگزین انتقال بار، سازه‌های مذکور در نرم‌افزار OpenSEES به‌صورت ۳ بعدی مدل‌سازی شده و با استفاده از تحلیل‌های استاتیکی غیر خطی و دینامیکی غیر خطی به بررسی سازه‌ها در مقابل خرابی پیش‌رونده پرداخته شده است [۲].

بررسی عددی رفتار اتصال نبشی بالا و پایین پیچی و جوشی در خرابی پیش‌رونده سازه‌های فولادی توسط هادیان فرد و همکاران انجام شده است. در این مقاله عملکرد اتصال متداول نبشی بالا و پایین پیچی و جوشی فولادی به‌صورت عددی بررسی شده است. کلیه اجزای اتصالات در نرم‌افزار اجزای محدود مدل شده است. سازه مدل شده تحت جابه‌جایی قائم در محل ستون حذف شده، مورد تحلیل غیر خطی قرار گرفته است و نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی صحت سنجی شده است [۳]. کریمیان به ارزیابی لرزه‌ای فروریزش پیش‌رونده در ساختمان‌های کوتاه مرتبه ۳ طبقه بتن مسلح ناشی از حذف ستون میانی پرداخته است [۴]. تخریب پیش‌رونده در سازه‌های قاب خمشی فولادی، مطالعه چند پارامتری تحقیق دیگری است که توسط محمدی و همکاران انجام شده است. در این تحقیق، سناریوهای مختلف حذف تک ستون (۵ مورد) و حذف جفت ستون (۶ مورد) در سازه‌های ۴، ۸ و ۱۲ طبقه دارای قاب خمشی فولادی در نرم‌افزار OpenSees بررسی شد. مدل‌سازی‌ها به‌صورت ماکرو و سه‌بعدی انجام شده است. اثرات غیر خطی مصالح و هندسه در مدل‌ها در نظر گرفته شده است [۵]. ارزیابی خرابی پیش‌رونده در سازه فضا کار با سناریوی حذف هم‌زمان ستون و مهاربند (نمونه موردی: سازه تونل توفان عمودی) تحقیق دیگری است که توسط رضاخانی و همکاران انجام شده است [۶].

Quanwang Li و همکاران در سال ۲۰۰۷ به بررسی خرابی سازه‌های فولادی با استفاده از سطح عملکرد در برابر زلزله پرداختند. در این مطالعات رفتار لرزه‌ای سازه‌های فولادی تحت اثر حرکت زمین ناشی از زلزله مورد بررسی قرار گرفت.

[1] Alfred P. Murrah

مدل‌سازی تحقیق حاضر در قالب نرم‌افزار SAP صورت گرفت و نتایج تحقیق به‌صورت بررسی ضریب رفتار سازه منتشر شد. Cordova و همکاران در سال ۲۰۱۰ با استفاده از ضریب رفتار به بررسی رفتار لرزه‌ای سازه‌های فولادی پرداختند. در این مطالعه پتانسیل خرابی سامانه سازه‌ای فولادی تحت زلزله مورد بررسی قرار گرفت. مهم‌ترین پارامتر مورد بررسی در این تحقیق ضریب رفتار سازه می‌باشد.Mengke Li و همکاران در سال ۲۰۱۴ به بررسی اثر اندرکنش خاک و سازه در رفتار لرزه‌ای سازه‌های بلند مرتبه پرداختند. سازه مورد بررسی در این مطالعه برجی به ارتفاع ۶۳۲ متر در شانگهای بود. نرم‌افزار المان محدود در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفت و هدف اصلی این تحقیق بررسی گسیختگی لرزه‌ای برج تحت تأثیر اندرکنش خاک و سازه است. Shehata و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی اثر اندرکنش خاک و سازه بر رفتار لرزه‌ای سازه‌های فولادی پرداخت. در این مطالعه به بررسی انرژی انتقالی از خاک به سازه تحت زلزله پرداخته شده است. اثر اندرکنش خاک و سازه در اتلاف این انرژی و میزان اثر آن بر روی تغییر مکان احتمالی بررسی شده است. مهم‌ترین هدف تحقیق بررسی اثر اندرکنش خاک و سازه بر سازه‌های چند طبقه می‌باشد. بخش اول تحقیق به مقدمه و مطالعات صورت گرفته پرداخته می‌شود و در ادامه ادبیات فنی و تئوری نظری تحقیق قرار گرفته است. در بخش دوم با معرفی روش تحقیق به جمع‌آوری داده‌های تحقیق و روش تحقیق ارائه شده است، در بخش سوم به تجزیه و تحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده پرداخته می‌شود و در آخر با جمع‌بندی و نتیجه‌گیری به پایان می‌رسد.

جنبه نوآوری تحقیق حاضر به بحث و بررسی در زمینه دو روش مدل‌سازی اثر اندرکنش خاک و سازه در پدیده تخریب پیش‌رونده می‌پردازد. بر این اساس با مطالعه منتشرات و مقالات موجود مشاهده شده است که روش‌های مستقیم و غیر مستقیم به‌صورت جداگانه پرداخته شده ولی به‌صورت مقایسه‌ای پرداخته نشده است. بنابراین نوآوری اصلی تحقیق حاضر مدل‌سازی و مقایسه دو روش مستقیم و غیر مستقیم در ملاحظه اثر اندرکنش خاک و سازه در تحلیل پدیده تخریب پیش‌رونده است.

۲- فروپاشی پیش‌رونده

خرابی محلی یک عنصر سازه‌ای ممکن است منجر به خرابی عنصر دیگری از همان سازه شود. بنابراین شکست ممکن است در یک قسمت عمده یا کل ساختار پیشرفت کند. معیارهای طراحی برای جلوگیری از چنین پیشرفت فروپاشی بحث شده است. روش‌های تحقیق و استراتژی‌های طراحی برای ایجاد سازه‌های مقاوم در برابر فروپاشی ارائه و مقایسه شده است. علاوه بر رویکردهای شناخته شده‌ای که مقاومت محلی یا مسیرهای متناوب بار را ارائه می‌دهند، رویکردی مبتنی بر جداسازی مقاطع در حال فروپاشی توصیف و بحث می‌شود.

۲-۱- روش‌های کلی بررسی پدیده خرابی پیش‌رونده

عمده استانداردها به سه روش طراحی برای کاهش خرابی پیش‌رونده اشاره می‌کنند.

روش اول، کاهش قرارگیری در معرض صدمات و خسارت‌ها می‌باشد.برای مثال، با اجرا نمودن موانع محافظتی در برابر ضربه وسایل نقلیه یا افزایش فاصله محافظتی در برابر بمب‌های تروریستی، یا ممنوع کردن استفاده از گاز آشپزی در ساختمان‌های آسمان خراش.

روش دوم و سوم، برای تأمین مقاومت در برابر خرابی پیش‌رونده مورد استفاده قرار می‌گیرند که روش غیر مستقیم و روش‌های مستقیم می‌باشند.

۲-۱-۱- روش غیر مستقیم

در این روش مقاومت در برابر خرابی پیش‌رونده با ایجاد پیوستگی، شکل‌پذیری و افزایش مقاومت با ایجاد درجات نامعینی بالاتر در سازه فراهم می‌شود که به وسیله جزئیات مناسب بست و اتصالات، جانمایی صحیح دیوارها و ستون‌ها، صفحات توکار جهت کنترل گسترش خرابی و همچنین در نظر گرفتن جزئیات لرزه‌ای انجام می‌گیرد تا ساختمان به‌صورت یکپارچه عمل کند که در این صورت انسجام کلی سازه افزایش می‌یابد.

۲-۱-۲- روش مستقیم

این روش به میزان زیادی وابسته به روش تحلیل سازه دارد. مقاومت در برابر خرابی پیش‌رونده، از طریق بالا بردن مقاومت اعضای کلیدی سازه‌ای در برابر بارهای ویژه و یا از طریق پل زدن در عرض ناحیه خرابی موضعی فراهم می‌شود.

در این تحقیق از روش سناریوی حذف ستون برای مدل‌سازی پدیده فروپاشی پیش‌رونده استفاده شده است.

۳- اندرکنش خاک و سازه

در بررسی اثرات اندرکنش خاک- سازه دو دیدگاه متفاوت وجود دارد. یکی تعیین پاسخ و حرکت میدان آزاد در اثر تحریک لرزه‌ای و سپس محاسبه پاسخ سازه به حرکت به دست آمده برای فونداسیون است و دیگری تعیین مشخصات دینامیکی سازه و سپس محاسبه پاسخ سازه به حرکت میدان آزاد. هر دو روش نتایج یکسانی خواهند داشت با این تفاوت که به دلیل سادگی روش دوم در مقاصد کاربردی و عملی، آیین‌نامه‌ها بیشتر به استفاده از این روش توصیه کرده‌اند.

تعامل بین ساختار و خاک یک زمینه بین رشته‌ای است که در تقاطع مکانیک خاک و سازه، پویایی خاک و سازه، مهندسی زلزله، ژئوفیزیک و ژئومکانیک، علوم مواد، روش‌های محاسباتی و عددی و سایر رشته‌های مختلف فنی وجود دارد. ریشه‌های آن به اواخر قرن نوزدهم برمی‌گردد، در دهه‌های بعدی و در طی نیمه اول قرن ۲۰ به تدریج تکامل یافته و بالغ می‌شود و در نیمه دوم با تحریک بیشتر به دلیل نیاز به انرژی هسته‌ای و صنایع فراساحل ، به سرعت پیشرفت می‌کند. اولین رایانه‌های قدرتمند و ابزارهای شبیه‌سازی مانند عناصر محدود و نیازهای بهبود ایمنی لرزه‌ای است.

۳-۱- روش‌های تحلیل اندرکنش خاک- سازه

بارهای طراحی زلزله اعمال شده به پی، از نیروهای اینرسی ایجاد شده در روبناها و از تغییر شکل خاک ناشی از عبور امواج لرزه‌ای و تحمیل شده بر پایه‌ها ناشی می‌شود. این دو پدیده در ادبیات فنی به‌عنوان بارگذاری اینرسی و حرکتی شناخته می‌شوند. جهت بررسی این نیروها و همچنین اثرات توأمان خاک و سازه بر یکدیگر روش‌های مختلفی جهت مدل‌سازی اندرکنش خاک و سازه به وجود آمده‌اند.

۳-۱-۱- روش مستقیم

در این روش تمام محیط خاک - پی- سازه با هم مدل شده و در یک مرحله تحت آنالیز قرار می‌گیرند. با توجه به مدل‌سازی هم‌زمان اجباری به اصل جمع آثار نیروها وجود نداشته و تحلیل غیر خطی نیز قابل انجام است. نرم‌افزارهای اجزاء محدود قابلیت مدل‌سازی چنین اثری را دارند، یکی از این نرم‌افزارها پلاکسیس [1] است که در این تحقیق نیز از آن استفاده شده است.

۳-۱-۲- روش زیرسازه (غیر مستقیم)

در روش زیرسازه مجموعه خاک- پی- سازه به‌طورجداگانه و هر کدام به‌عنوان یک زیرسازه مدل شده و مسائل مربوط به آن‌ها با روش مناسب خود تحلیل شده است، نتایج با استفاده از اصل جمع آثار قوا تجمیع می شوند. این روش یک روش خطی محسوب شده و سبب می‌شود برای مجموعه خاک و سازه، رفتار خطی لحاظ گردد. برای لحاظ آثار رفتار غیر خطی، از روش خطی معادل می‌توان استفاده نمود[۱۵]. به بیانی دیگر روش اول شامل اصلاح حرکت میدان آزاد، ارزیابی پاسخ یک سازه مشخص به حرکت اصلاح شده پی و حل هم‌زمان مسئله با استفاده از معادلاتی اضافی که حرکت دو سامانه را تعریف می‌کنند می‌باشد. روش دوم، شامل اصلاح خواص دینامیکی سازه و ارزیابی پاسخ سازه اصلاح شده به حرکت میدان آزاد معین می‌باشد.

۳-۱-۳- فنر وینکلر

یکی از اولین روش‌های مدل‌سازی اثر اندرکنش خاک و سازه استفاده از روش فنر وینکلر است. در مدل وینکلر به دلیل این که فنرها از هم مستقل‌اند، بنابراین فقط در محل اثر بار تغییر شکل و تنش به وجود می‌آید. در صورتی که خاک یک محیط پیوسته بوده و تغییر شکل و تنش در محل اثر بار و مجاور آن نیز به وجود می‌آید. به همین دلیل برخی دیگر از محققین برای رفع این مشکل، محیط خاک را به‌صورت ترکیبی از فنرهای وینکلر با یک عنصر سازه‌ای دیگر مدل نموده‌اند. به این مدل‌ها اصطلاحاً مدل‌های چند پارامتری می‌گویند. از معروفترین این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های فیلوننکو- بوردیچ، هیتنی و پاسترناک اشاره نمود. در مدل فینلوننکو- بورودیچ فنرهای وینکلر ارتباط بین فنرهای وینکلر در حالت دوبعدی به وسیله یک تیر الاستیک و در حالت سه بعدی به وسیله یک صفحه الاستیک انجام می‌گیرد. در مدل پاسترناک این فنرها به وسیله یک لایه برشی به هم مرتبط می‌شوند [۱۶].

یکی از روش‌های رایج برای تحلیل سازه‌های با اندرکنش، تبدیل این سازه‌ها به مدل پایه ثابت معدل می‌باشد. در پایین فرمول‌های پریود و میرایی مؤثر توسط $\tilde{T}$ و $\tilde{\beta}$ نشان داده شده‌اند و از مقادیر اشاره شده در آیین‌نامه‌های آمریکا (ATC3-06/1984; FEMA 450/2300). پریود مؤثر سامانه سازه با اندرکنش توسط معادله زیر داده خواهد شد:

$$\tilde{T} = \sqrt{1 + \frac{K}{K_x}\left(1 + \frac{K_x h^2}{K_\theta}\right)} \qquad (۱)$$

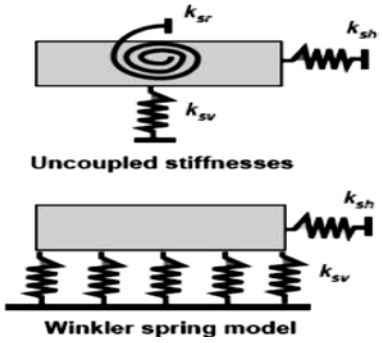
با مرتب کردن معادله بالا، سختی معادل سازه با اندرکنش به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{1}{K_{eq}} = \frac{1}{K} + \frac{1}{K_X} + \frac{h^2}{K_\theta} \qquad (۲)$$

میرایی معادل برای سامانه با اندرکنش به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\tilde{\beta} = \beta_0 + \frac{0.05}{(\frac{\tilde{T}}{T})^3} \qquad (۳)$$

که در آن، $\tilde{\beta}$ باید از روی شکل های موجود در آیین‌نامه‌های آمریکا (ATC3-06/1984; FEMA 450/2300) به‌دست آید.



شکل (۲): مدل وینکلر [۱۰]

[1] Plaxis

۴- معرفی خرابی پیش‌رونده

پدافند غیرعامل، مجموعه‌ای از اقدامات غیر مسلحانه‌ای است که به‌کارگیری آن‌ها، موجب افزایش بازدارندگی، کاهش آسیب‌پذیری، ارتقای پایداری ملی، تداوم فعالیت‌های ضروری و تسهیل مدیریت بحران در برابر تهدیدها و اقدام‌های نظامی دشمن می‌گردد. اجرای طرح‌های پدافند غیرعامل، موجب کاهش آسیب‌پذیری نیروی انسانی و ساختمان‌ها و تجهیزات حیاتی، حساس و مهم کشور در مقابل حملات دشمن (به ویژه تهاجم هوایی) می‌شود. این امر، باعث تداوم اداره کشور و فعالیت‌های ضروری در شرایط بحرانی گردیده و منجر به پایداری ملی می‌شود. در این راستا، ملاحظات معماری، سازه‌ای و تأسیسات مکانیکی و برقی در حوزه ساختمان و برنامه‌ریزی اقتصادی و مالی، به‌صورت میان رشته‌ای، مد نظر قرار می‌گیرد.

بر این اساس بررسی پدیده خرابی پیش‌رونده در سازه‌ها که یکی از دلایل ایجاد چنین پدیده‌ای تهدیدات تروریستی است، می‌تواند از پدیده‌های مهم پدافند غیرعامل باشد. بنابراین در این مقاله به بررسی پدیده خرابی پیش‌رونده در سازه‌های فولادی پرداخته شده است، بدیهی است با افزودن اثر اندرکنش خاک و سازه در این مدل‌سازی جنبه نوآوری تحقیق حاضر افزایش یافته است.

مهم‌ترین روش که در این گروه برای مدل‌سازی وقوع پدیده خرابی پیش‌رونده مورد استفاده قرار می‌گیرد، بر مبنای روش مسیر جایگزین انتقال بار، حذف یک ستون خارجی در طبقه اول سازه بوده و سازه به گونه‌ای طراحی می‌شود که اگر هر یک از اجزای آن منهدم گردند، مسیرهای جایگزین برای انتقال بار از آن عضو موجود باشند و اعضای باربر اطراف عضو محذوف بدون وقوع فروریزش کلی، ظرفیت اضافی جهت تحمل نیروی آن را داشته باشند. علت حذف ستون خارجی علاوه بر ایجاد حالت عدم تقارن در سازه، مربوط به احتمال بیشتر بروز آسیب‌های عمدی و غیر عمدی در آن‌ها می‌باشد. تحلیل‌های مورد استفاده در این روش شامل تحلیل استاتیکی خطی، استاتیکی غیر خطی، دینامیکی خطی، دینامیکی غیر خطی می‌باشند. استاندارد انجمن مهندسین عمران آمریکا، تنها استاندارد رایجی است که به مسئله گسیختگی پیش‌رونده در جزئیات می‌پردازد. این آیین‌نامه بر شدیدترین حوادثی تأکید می‌کند که می‌توانند منتج به گسیختگی پیش‌رونده شوند، و دو روش طراحی برای مقاومت در برابر گسیختگی پیش‌رونده ارائه می‌دهد: روش طراحی مستقیم و روش طراحی غیر مستقیم. در روش طراحی مستقیم، مقاومت در برابر گسیختگی پیش‌رونده را مستقیماً در طول فرآیند طراحی از دو طریق در نظر می‌گیرند: الف- روش مسیر فرعی ۱ که به دنبال ارائه مسیر فرعی برای بار پس از وقوع خرابی است، به نحوی که جلوی آسیب موضعی گرفته شده و از گسیختگی کلی جلوگیری شود، ب- روش مقاومت موضعی ویژه، که به دنبال ارائه توان کافی برای مقاومت در برابر خرابی در محل‌های بحرانی است. روش طراحی غیر مستقیم به‌طور ضمنی مقاومت در برابر گسیختگی پیش‌رونده را از طریق ضوابط حداقل سطوح توان، پیوستگی و انعطاف پذیری بررسی می‌کند. راهبردهایی را هم برای انسجام کلی سازه و تنش‌ها و انعطاف پذیری اتصالات ارائه می‌کند که می‌توانند در معرض تغییر شکل‌های بزرگ قرار بگیرند و مقادیر زیاد انرژی را در اثر شرایط غیر طبیعی جذب نمایند.

راهبردهایی برای طراحی در برابر گسیختگی پیش‌رونده را می‌توان در اسناد دولتی آمریکا مثل GSA و UFC مشاهده نمود. راهبردهای GSA روشی مستقل برای تعدیل امکان گسیختگی پیش‌رونده سازه‌ها بر اساس روش مسیر فرعی ارائه کرده است. این رهنمود سناریوهایی را تعریف می‌کند که طبق آن یکی از ستون‌های ساختمان برداشته شده و سازه آسیب دیده برای بررسی واکنش‌های سامانه تحلیل می‌گردد. این آیین‌نامه کاربری ساختمان، نوع سکونت، نوع ساختمان، نزدیکی به وسایل نقلیه متحرک یا پارک شده را همانند در نظر گرفتن خصوصیات سازه‌ای در طرح لرزه‌ای، لحاظ می‌نماید تا به طراح برای تصمیم‌گیری در لزوم طراحی در برابر خرابی پیش‌رونده ساختمان کمک کند.

۵- روش مدل‌سازی

تأثیر اندرکنش خاک و سازه بر پاسخ قاب خمشی فولادی تحت اثر تخریب پیش‌رونده در تحلیل استاتیکی غیر خطی مورد بررسی قرار می‌گیرد. برای این منظور ۳ قاب خمشی متوسط ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه در دو نرم‌افزار پلاکسیس و SAP مدل شده و سپس مطالعات موردی روی ستون‌های حذف شده عامل انجام می‌شود. هر کدام از این مدل‌ها در SAP یک بار با اثر اندرکنش خاک و سازه و یک بار بدون اعمال اندرکنش خاک سازه مورد تحلیل قرار می‌گیرند. مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه نیروی زلزله وارد به سازه را افزایش می‌دهد و باعث تغییر در پاسخ لرزه‌ای سازه می‌شود و در نظر گرفتن این تأثیر بر سازه‌های فولادی و سازه‌های بر روی خاک نرم زیاد بوده و چشم پوشی از آن باعث دور شدن نتایج از واقعیت می‌شود.

همچنین جهت بررسی و ارزیابی مقایسه‌ای از نرم‌افزار المان محدود پلاکسیس جهت مدل‌سازی اثر مستقیم اندرکنش خاک و سازه استفاده شده است. مدل‌سازی اندرکش خاک و سازه از

روش وینکلر به دلیل سادگی این روش و مزیت آن نسبت به اجزاء محدود سبب توصیه‌های آن در آیین‌نامه FEMA جهت لحاظ نمودن اندرکنش خاک و سازه شده است و آیین‌نامه‌هایی که به‌طور تخصصی در مورد تحلیل و طراحی برای مقابله با تخریب پیش‌رونده مطرح می‌شوند GSA2003، UFC و DOD2003 می‌باشد.

۵-۱- مدل‌سازی در Sap

مدل‌سازی در نرم‌افزار Sap با استفاده از قاب دوبعدی انجام شده است. آنالیز پوش‌آور با استفاده از تغییر مکان هدف بر مبنای نشریه ۳۶۰ بر روی قاب‌های ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه انجام شده است. جهت اعمال تحلیل پوش‌آور تغییر مکان هدف مطابق روابط نشریه ۳۶۰ که در ادامه ارائه شده است برای تمامی قاب‌ها محاسبه شده و به آن‌ها اعمال شده است.

در این روش پاسخ حداکثر تغییر مکان سازه با اعمال ضرایبی بر تغییر مکان طیفی ارتجاعی در زمان تناوب طبیعی سازه به‌دست می‌آید. در مورد تغییر مکان هدف مورد نیاز در تحلیل استاتیکی غیر خطی مطابق بند ۳-۳-۳-۱-۲ دستورالعمل بهسازی تغییر مکان هدف باید با در نظر گرفتن رفتار غیر خطی سازه برآورد شود. به‌عنوان یک روش تقریبی که به‌عنوان روش ضرایب تغییر مکان مشهور است طبق دستورالعمل FEMA 356 می‌توان از رابطه زیر تغییر مکان را به‌دست آورد:

$$\delta_t = c_0 c_1 c_2 c_3 \left(\frac{T_e}{2\pi}\right)^2 g \qquad (۴)$$

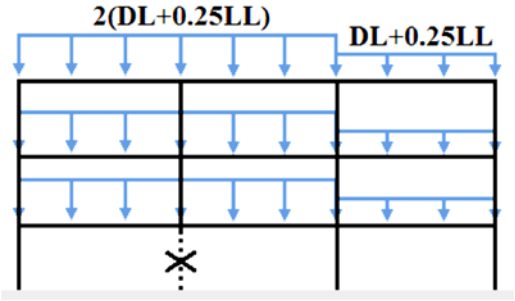
در رابطه فوق، c_0 ضریب اصلاح برای ارتباط دادن جابه‌جایی طیفی سامانه یک درجه آزاد معادل به جابه‌جایی بام ساختمان و c_1 ضریب اصلاح برای ارتباط دادن حداکثر جابه‌جایی غیر الاستیک به تغییر مکان محاسبه شده برای پاسخ الاستیک، c_2 ضریب اصلاحی که اثرات شکل منحنی هیسترزیس و کاهش سختی و مقاومت را بر پاسخ تغییر مکان بیشینه ساختمان بیان می‌کند، c_3 ضریب اصلاحی که افزایش تغییر مکان به علت اثرات استاتیکی پی دلتا را لحاظ می‌کند، s_a شتاب طیفی در پریود اصلی مؤثر و T_e پریود اصلی مؤثر می‌باشند.

پس از اختصاص مفاصل پلاستیک اعضاء به نرم‌افزار و ترکیبات بارگذاری استاتیکی غیر خطی و محاسبه تغییر مکان هدف اولیه، نوبت به انجام تحلیل می‌باشد. پس از انجام تحلیل با استفاده از نمودار پوش‌آور تغییر مکان نقطه هدف اصلی سازه به‌دست آورده می‌شود که در جدول (۱) محاسبه شده است.

جدول (۱): مقادیر ضرایب مؤثر در محاسبات مقدار تغییر مکان هدف

طبقات	C_0	C_1	T_{es}	A	B	$\delta_{t\,(m)}$
پنج	۱/۳۵	۱	۱/۰۱۹	۰/۳۵	۲/۰۱۷	۰/۲۴۱
ده	۱/۴۶	۱	۱/۶۱۸	۰/۳۵	۱/۴۲۱	۰/۴۷۰
پانزده	۱/۵	۱	۲/۳۲	۰/۳۵	۱/۱۱۵	۰/۷۲۸

بر اساس آیین‌نامه GSA، برای انجام تحلیل استاتیکی غیر خطی افزاینده قائم، از ترکیب بار 2(DL+0.25LL) در دهانه‌های مربوط به ستون حذف شده و از ترکیب بار (DL+0.25LL) در بقیه دهانه‌ها استفاده می‌گردد. در شکل (۳) نحوه ترکیبات بارگذاری در دهانه‌های مختلف نشان داده شده است.



شکل (۳): بارگذاری به‌کار رفته در تحلیل استاتیکی غیر خطی پس از حذف ستون بر اساس آیین‌نامه GSA [۱۱]

در تحلیل استاتیکی غیر خطی پس از حذف ستون مورد نظر و اعمال ترکیبات بارگذاری آیین‌نامه GSA، سازه تحت بارهای افزایشی ثقلی تحت تحلیل قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از تحلیل استاتیکی غیر خطی افزاینده قائم، منحنی‌های نیرو- تغییر مکان می‌باشند. بر اساس این منحنی‌ها می‌توان مقادیر ظرفیت کلی سازه قبل و بعد از حذف ستون مربوطه را به‌دست آورد.

۵-۱-۱- بارگذاری ثقلی

مقادیر بارهای اعمالی مطابق آیین‌نامه مبحث ششم و محاسبات بار مرده در جداول (۳) و (۴) ارایه شده است.

جدول (۲): مشخصات بارهای اعمالی طبق آیین‌نامه

بار مرده طبقات	600 Kg/m^2
بار زنده طبقات	200 Kg/m^2
بار مرده بام	500 Kg/m^2
بار زنده بام	150 Kg/m^2

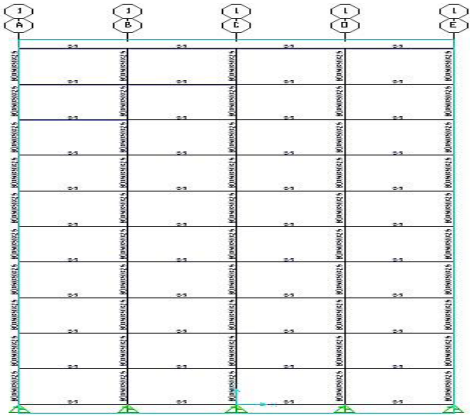
با فرض اینکه طول دهانه در بعد سوم ساختمان ۶ متر باشد، بارگذاری خطی بر روی تیر در مدل ۲ بعدی به‌صورت زیر خواهد بود.

جدول (۳): مشخصات بارهای اعمالی به سازه قاب

بار مرده طبقات	3600 Kg/m
بار زنده طبقات	1200 Kg/m
بار مرده بام	3000 Kg/m
بار زنده بام	9000 Kg/m

در این تحقیق رفتار سه قاب فولادی با سامانه قاب خمشی متوسط به ترتیب با ۵، ۱۰ و ۱۵ طبقه به‌صورت دوبعدی با

شرایط ارائه شده در قسمت‌های پیشین مدل‌سازی شده است. نمونه‌ای از قاب‌های مدل شده با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در شکل (۴) ارائه شده است. برای تمامی قاب‌ها به ترتیب یک بار برای حالت تکیه‌گاه صلب و یک بار با در نظر گرفتن تکیه‌گاه فنری در نظر گرفته شده است. همچنین یک بار ستون میانی حذف شده و یک بار ستون گوشه حذف شده است. در مجموع ۳ متغیر تعداد طبقه و دو متغیر نوع تکیه‌گاه و ۳ متغیر حالت حذف ستون در مدل‌سازی‌های صورت گرفته لحاظ شده و در مجموع تعداد ۱۸ مدل‌سازی در نرم‌افزار SAP صورت گرفته است. همچنین شرایط مدل‌سازی و تحلیل استاتیکی غیر خطی (پوش‌آور) برای تمامی مدل‌ها انجام شده و شرایط بارگذاری بر روی مدل‌ها کاملاً یکسان لحاظ شده است و سپس جهت بررسی نتایج پارامترهای خروجی بر مبنای طرح تحقیق استخراج شده است.



شکل (۴): نمایی از مدل‌سازی ۱۰ طبقه با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه

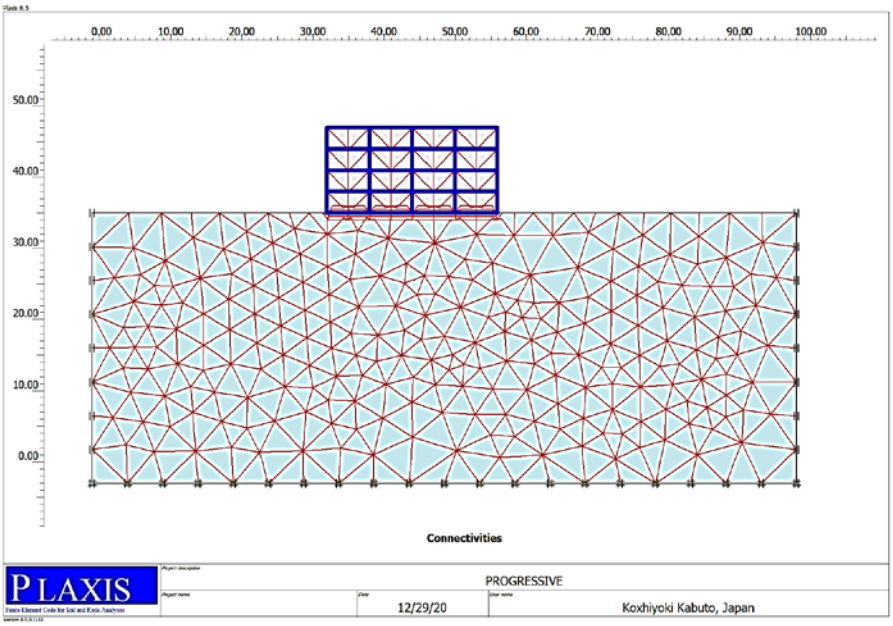
۵-۲- مدل‌سازی در نرم‌افزار پلاکسیس

بر مبنای توضیحات بخش سوم مربوط به روش‌های مدل‌سازی اثر اندرکنش خاک و سازه و همچنین در بخش ۵-۱ و مدل‌سازی مدل فنر وینکلر در این بخش نیاز به مدل‌سازی این اثر در روش مستقیم نیز احساس شد. برای این منظور یکی از پرکاربردترین نرم‌افزارهای مهندسی ژئوتکنیک با عنوان نرم‌افزار اجزاء محدود پلاکسیس جهت مدل‌سازی پدیده مذکور انتخاب شده است. بنابراین یک نمونه قاب فولادی مطابق مشخصات مدل‌سازی شده در نرم‌افزار SAP در این نرم‌افزار مدل‌سازی شد. همچنین پارامترهای خاک نیز متناظر با جدول (۴) برای هر دو مدل‌سازی لحاظ شده است.

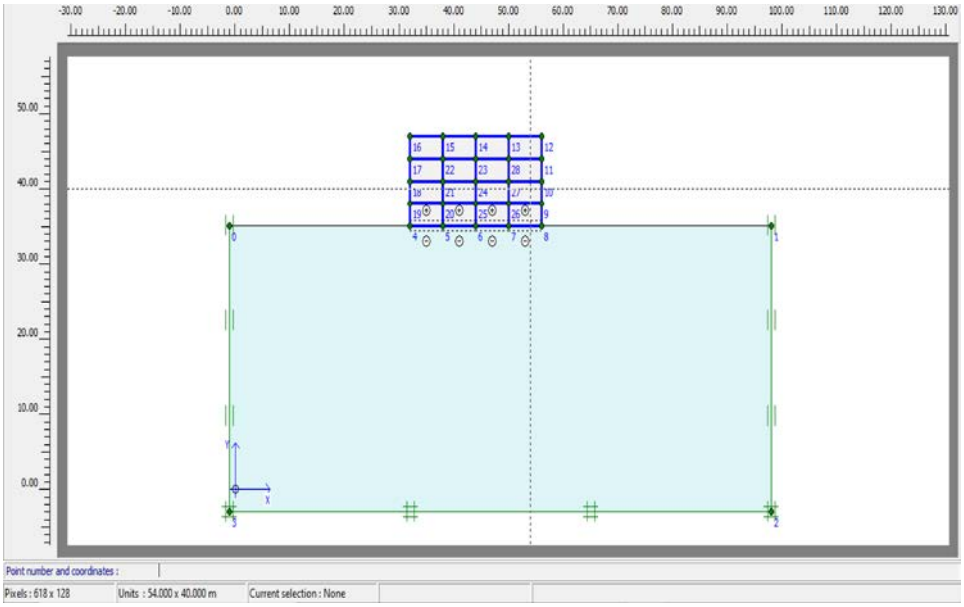
جدول (۴): مشخصات و پارامترهای خاک نوع III

تیپ خاک	C (kPa)	φ (degree)	E (kPa)	Ks (kN/m^3)
III	۲۰	۲۸	۲۰۰۰۰	۵۰۰

شرایط بارگذاری و تحلیل سازه و اندرکنش مشابه نرم‌افزار Sap بوده و شمایی از این مدل‌سازی در شکل (۵) و شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل (۵): مش‌بندی در نرم‌افزار پلاکسیس



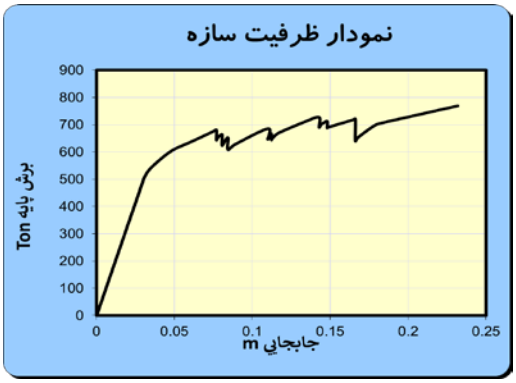
شکل (۶): مدل ساخته شده در نرم‌افزار پلاکسیس

۶- تحلیل و بررسی نتایج

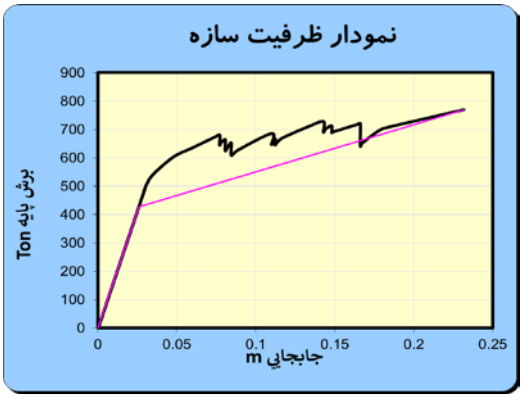
تحلیل و بررسی نتایج با استخراج پارامترهای مؤثر به‌عنوان خروجی هر یک از مدل‌ها انجام شده است. جهت اجرای این فرآیند در هر دو نرم‌افزار مورد استفاده پس از مدل‌سازی نهایی و آنالیز و طراحی مدل نتایج استخراج شده است. سپس این نتایج به نرم‌افزار بسیار قوی اکسل وارد شده و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۶-۱- بررسی نتایج در نرم‌افزار Sap

مدل‌سازی‌ها در نرم‌افزار Sap به‌عنوان یک نرم‌افزار سازه‌ای بسیار قوی انجام شده است. کامل‌ترین پارامترهای خروجی در این مدل‌سازی استخراج شده و محاسبات مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. بر این اساس با استفاده از ضوابط موجود در آیین‌نامه معتبر ATC-40 منحنی دو خطی جهت بررسی نتایج مطابق شکل‌های (۷ و ۸) استخراج شده است.



شکل (۷): منحنی پوش‌آور سازه پنج طبقه بدون اندرکنش خاک و سازه

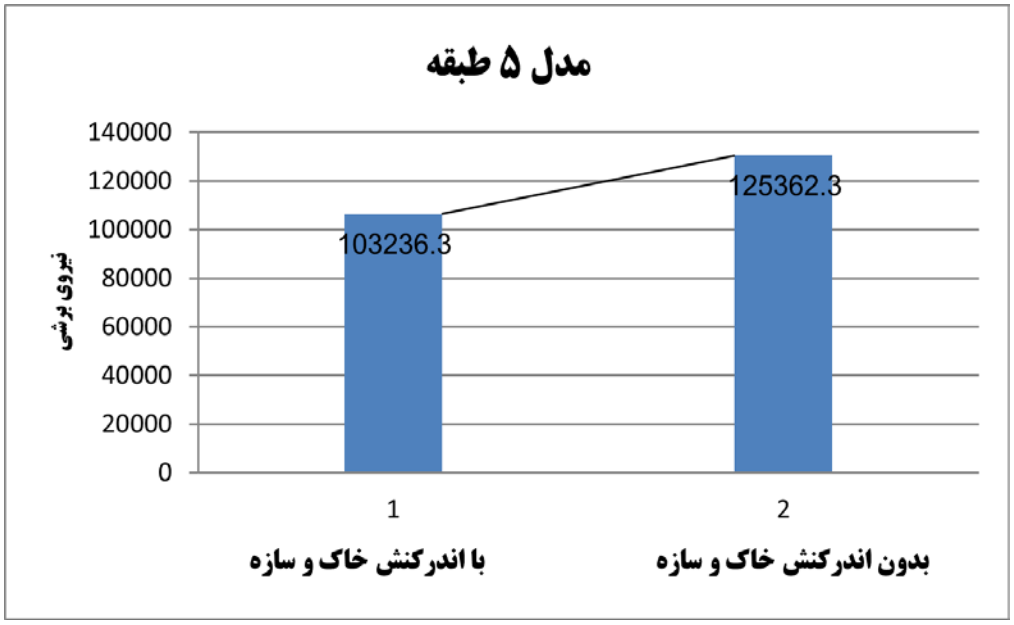


شکل (۸): منحنی پوش‌آور دوخطی سازه پنج طبقه بدون اندرکنش خاک و سازه

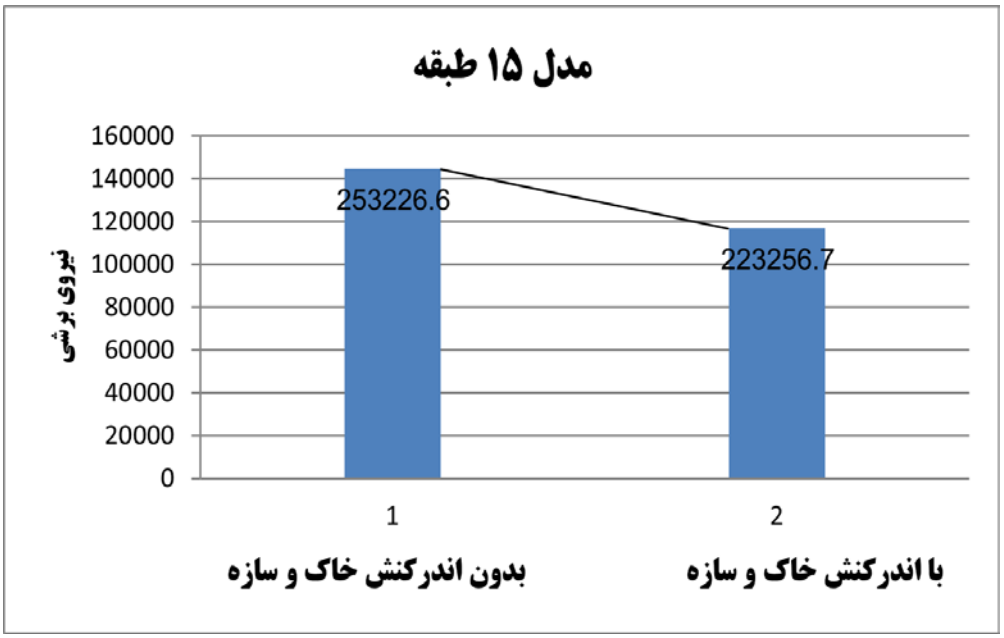
برای تمامی مدل‌های ساخته شده مربوط به نرم‌افزار SAP استخراج منحنی‌های پوشآور و دوخطی انجام شده است. سپس بر اساس این منحنی‌های استخراج شده به بررسی پارامترهای مؤثر در رفتار سازه‌های فولادی پرداخته شده است. پارامترهایی مانند برش پایه، تغییر مکان بیشینه، تغییر مکان بالای گره حذف شده، سختی و ضریب رفتار مورد محاسبه قرار گرفته است.

۶-۲- برش پایه

برش پایه یکی از مهم‌ترین پارامترها در طراحی سازه‌ها و همچنین مقایسه عملکرد سامانه سازه‌ای و نوع تحلیل در انواع تحقیقات مهندسی عمران است. در این تحقیق نیز از این پارامتر به‌عنوان یکی از پارامترهای مورد بررسی استفاده شده است. برای تمامی مدل‌ها در حالت‌های مختلف پس از استخراج نمودار پوش‌آور به بررسی مقادیر بیشینه برش پایه پرداخته شده است. مطابق شکل (۹) و (۱۰) نمودار برش پایه جهت مقایسه حالتهای با و بدون اثر اندرکنش خاک و سازه تشکیل شده است.



شکل (۹): مقایسه نیروی برشی مدل ۵ طبقه



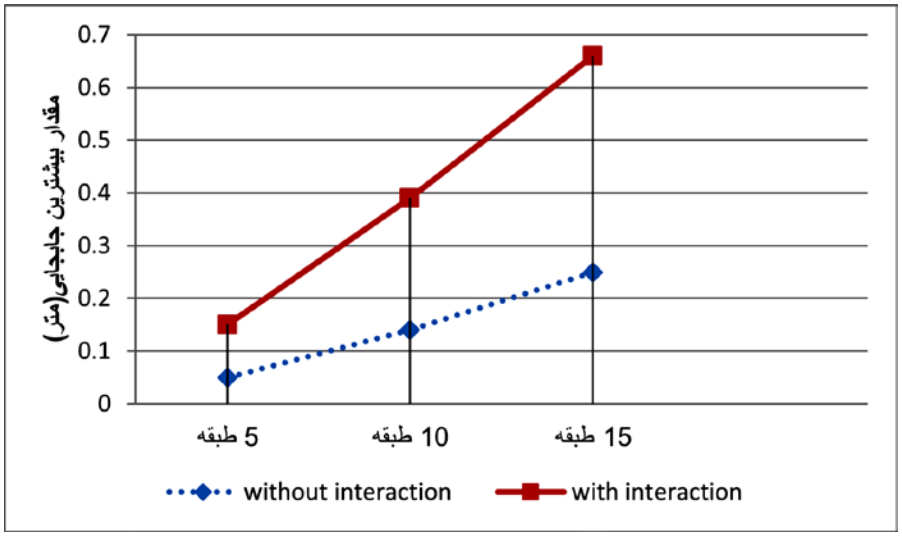
شکل (۱۰): مقایسه نیروی برشی مدل ۱۵ طبقه

۶-۳- تغییر مکان نقطه عملکرد

بر اساس تئوری اندرکنش خاک و سازه پیش‌بینی می‌شد که جابه‌جایی نقطه عملکرد در اثر در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه به علت نرمی فونداسیون سبب افزایش جابه‌جایی در نقطه عملکرد سازه شود. با این وجود جهت بررسی و مقایسه شرایط مدل‌سازی این پارامتر مورد بررسی قرار گرفته است. مطابق جدول (۵) و نمودار شکل (۱۱) نتایج حاصل از این بررسی مشاهده می‌گردد.

جدول (۵): مقادیر جابه‌جایی نقطه عملکرد سازه‌ها با اندرکنش و بدون اندرکنش خاک و سازه

سازه	ATC-40 (cm)		FEMA 356 (cm)	
	با اندرکنش	بدون اندرکنش	با اندرکنش	بدون اندرکنش
۵ طبقه	۶/۷	۳/۱۶	۱۰/۱۹	۲/۱۵
۱۰ طبقه	۲۵/۱۳	۱۲/۶	۲۴/۲۳	۱۸/۱۴
۱۵ طبقه	۳۵/۳	۴۴/۱۸	۳۲/۳	۴۰/۲۱
۲۰ طبقه	–	۵۸/۵۳	–	۵۲/۲



شکل (۱۱): نمودار بیشینه جابه‌جایی نقطه عملکرد در هر دو حالت بدون اندرکنش و با اندرکنش

۶-۴- جابه‌جایی گره بالای ستون حذف شده

جهت بررسی ستون بحرانی در پدیده تخریب پیش‌رونده سازه‌های مدل‌سازی شده پارامتر جابه‌جایی بالای گره حذف شده به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم لحاظ شده است. نتایج حاصل در قالب جدول (۶) قابل مشاهده است.

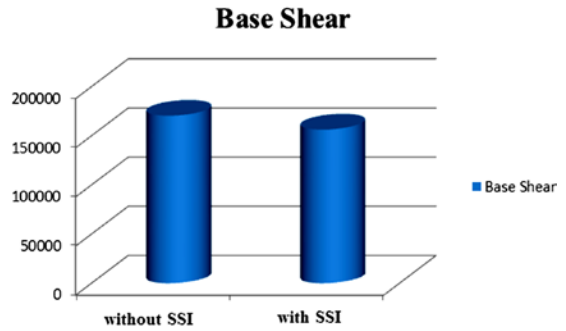
جدول (۶): جابه‌جایی بیشینه گره بالای محل حذف ستون با مقایسه اثر اندرکنش خاک و سازه

مدل	بدون اندرکنش خاک و	مدل	با اندرکنش خاک و سازه
ستون A-۱ در مدل ۵ طبقه	۶	ستون A-۱ در مدل ۵ طبقه	۶/۴۵
ستون C-۱ در مدل ۵ طبقه	۲/۷	ستون C-۱ در مدل ۵ طبقه	۲/۷
ستون A-۱ در مدل ۱۰ طبقه	۵/۷۲	ستون A-۱ در مدل ۱۰ طبقه	۲/۱۴
ستون C-۱ در مدل ۱۰ طبقه	۲/۹۵	ستون C-۱ در مدل ۱۰ طبقه	۲/۹۶
ستون A-۱ در مدل ۱۵ طبقه	۵/۵۲	ستون A-۱ در مدل ۱۵ طبقه	۴/۲
ستون C-۱ در مدل ۱۵ طبقه	۳/۳۱	ستون C-۱ در مدل ۱۵ طبقه	۳/۳۱

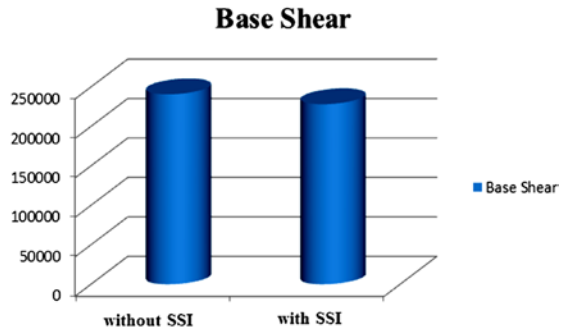
با توجه به جدول (۸) مشاهده می‌شود حالت در نظر گرفتن اندرکنش خاک و سازه بر تخریب پیش‌رونده با حذف ستون‌های گوشه تأثیر قابل توجهی دارد و برای ستون‌های میانی تغییری در میزان جابه‌جایی گره بالای حذف ستون نشان نمی‌دهد. پس تأثیر اندرکنش خاک و سازه در تخریب پیش‌رونده فقط برای ستون‌های گوشه تأثیرگذار می‌باشد. همچنین در جدول فوق نشان داده شده است که در حالت بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه، با افزایش ارتفاع میزان جابه‌جایی گره بالای ستون حذف شده در مدل تخریب پیش‌رونده، کاهش می‌یابد که این تغییر در حالت با اثر اندرکنش خاک و سازه در مدل ۵ طبقه تا ۱۰ طبقه کاهش تغییر مکان نسبی گره بالای حذف ستون را نشان می‌دهد و از مدل ۱۰ طبقه تا ۱۵ طبقه با افزایش تغییر مکان مواجه شده است که این بدان معنی می‌باشد که با افزایش مود یا زمان تناوب سازه از صفر تا ۰/۵ ثانیه با کاهش تغییر مکانی نسبی سازه نتیجه‌گیری می‌شود و از ۰/۵ تا پریود اصلی سازه با افزایش تغییر مکان مواجه می‌شود.

۶-۵- برش پایه در سناریوی حذف ستون

جهت بررسی اثر حذف ستون در برش پایه و همچنین اثر اندرکنش خاک و سازه نمودارهای برش پایه برای حالات مختلف حذف ستون استخراج شده است. در شکل‌های (۱۲ و ۱۳) به‌دست آمده از نتایج تحلیل نرم‌افزار SAP نسبت به برش پایه در حالت حذف ستون نسبت به حالت مبنا، اثر اندرکنش خاک و سازه در مدل‌های مورد بررسی باعث کاهش نیروی برشی به‌دست آمده با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه به‌دست آمده است. به عبارتی دیگر اثر اندرکنش در تخریب پیش‌رونده روند کاهشی را در نیروی برشی به‌دست آمده را دربر می‌گیرد.



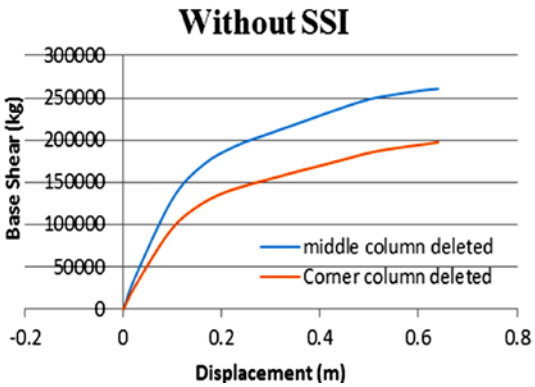
شکل (۱۲): مقایسه نیروی برشی در مدل ۵ طبقه حالت حذف ستون A1



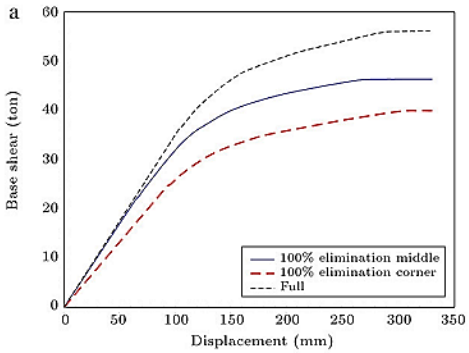
شکل (۱۳): مقایسه نیروی برشی در مدل ۵ طبقه حالت حذف ستون C1

۶-۶- صحت سنجی

جهت صحت سنجی مطالعات انجام شده از مقاله‌ای با عنوان بررسی تخریب پیش‌رونده در سازه‌های فولادی تحت بارگذاری جانبی تالیف توکلی و رشیدی در مجله علمی عمران شریف در سال ۲۰۱۲ استفاده شده است. در این مطالعه پدیده تخریب پیش‌رونده با استفاده از سناریوی حذف ستون مشابه فرآیند تحقیق حاضر انجام شده است. در این تحقیق نیز به این نتیجه رسیده شده که ستون گوشه وضعیت بحرانی‌تری نسبت به ستون میانی دارد. شکل (۱۴) و (۱۵) نمونه‌ای از منحنی‌های حاصل از نتایج این تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل (۱۴): منحنی برش حاصل از حذف ستون گوشه و میانی در قاب ۴ طبقه

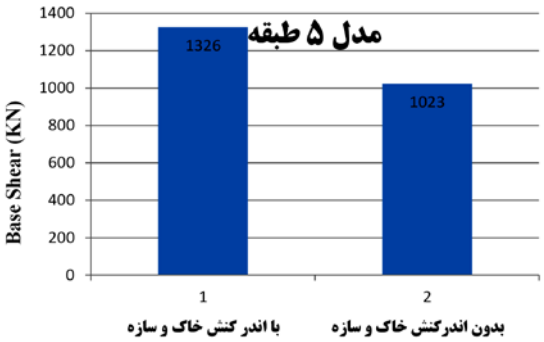


شکل (۱۵): منحنی برش جابه‌جایی حاصل از تحقیق فقیه مالکی و همکاران

همچنین نتایج تحقیق حاضر با مقاله سیروس غلامپور و همکاران تحت عنوان تأثیر اثر حذف ستون در خرابی پیش‌رونده بر عملکرد لرزه‌ای سازه‌های فولادی دارای قاب دوگانه در سال ۱۳۹۷ در مجله مهندسی سازه و ساخت نیز مقایسه شده است. بر اساس نتایج این تحقیق نیز ستون گوشه بحرانی‌ترین ستون در پدیده تخریب پیش‌رونده تعیین شده است.

۶-۷- نتایج تحلیل در روش مستقیم (پلاکسیس)

پس از بررسی نتایج تحلیل در نرم‌افزار Sap به بررسی نتایج تحلیل در روش مستقیم یعنی نرم‌افزار پلاکسیس به‌عنوان یکی از قوی‌ترین نرم‌افزارهای مهندسی ژئوتکنیک پرداخته شده است. هدف از این مدل‌سازی امکان مقایسه بین مدل‌سازی به روش مستقیم و غیر مستقیم می‌باشد. تئوری فنر وینکلر با استفاده از سختی فنرهای معادل سختی خاک از روش غیر مستقیم استفاده می‌کند در حالی که در نرم‌افزار پلاکسیس خاک به‌صورت مستقیم در زیر سازه مدل‌سازی شده است. جهت این بررسی نیز از سه پارامتر حداکثر نیروی برشی وارد شده به پای ستون و همچنین جابه‌جایی بالای گره حذف شده و جابه‌جایی بیشینه نقطه عملکرد سازه استفاده شده است. نمودارهای مربوط به آن استخراج شده و نتایج آن در شکل (۱۶) ارائه شده است. همچنین مقادیر تغییرمکانها در جداول (۷) و (۸) ارایه شده است.



شکل (۱۶): میزان کاهش نیروی برشی در حالت با اندرکنش خاک و سازه و تکیه‌گاه صلب در نرم‌افزار پلاکسیس در مدل ۵ طبقه

جدول (۷): جابه‌جایی بیشینه گره بالای محل حذف ستون با مقایسه اثر اندرکنش خاک و سازه (سانتی‌متر) در نرم‌افزار پلاکسیس

مدل	بدون اندرکنش خاک و سازه	مدل	با اندرکنش خاک و سازه
ستون ۱- A در مدل ۵ طبقه	۷/۵	ستون ۱- A در مدل ۵ طبقه	۹/۶
ستون ۱- C در مدل ۵ طبقه	۴/۴	ستون ۱- C در مدل ۵ طبقه	۶/۱

جدول (۸): مقادیر جابه‌جایی نقطه عملکرد سازه‌ها با اندرکنش و بدون اندرکنش خاک و سازه در نرم‌افزار پلاکسیس

سازه	ATC-40 (cm)		FEMA 356 (cm)	
	با اندرکش	بدون اندرکش	با اندرکش	بدون اندرکش
۵ طبقه	۸/۳	۵/۶	۱۱/۴	۶/۵

۷- نتیجه‌گیری

در این تحقیق نقش اثر اندرکنش خاک و سازه در جلوگیری از خرابی پیش‌رونده بسیار حائز اهمیت است، هنگامی که ستون‌های در گوشه‌های ساختمان در حالت بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه در مدل ۵ طبقه حذف می‌شدند، گسترش مفاصل پلاستیک در اعضای باربر مشاهده گردید که این سبب تغییر مکان گره بالای محل حذف ستون به مقدار بسیار ناچیز شده است، بنابراین موجودیت ساختمان به خطر نمی‌افتد، ولی در مدل‌های ۱۰ و ۱۵ طبقه مقدار قابل ملاحظه‌ای نتیجه‌گیری شد که لحاظ کردن اثر اندرکنش خاک و سازه در خرابی پیش‌رونده ضرورت می‌یابد.

همان‌طور که نتایج تحلیل مدل همچنین قاب خمشی نشان می‌دهد، هر چه محل حذف ستون در نزدیک به گوشه‌های ساختمان باشد، تعداد مفاصل پلاستیک ایجاد شده بیشتر می شود، بنابراین احتمال خرابی سازه در حالت‌های مختلف افزایش پیدا می‌کند.

در مقایسه حالات با و بدون در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه دیده شد که، در دو حالت حذف ستون تغییر مکان گره‌ای بسیار زیاد بود و در حالت حذف ستون میانی در دو حالت حذف ستون این اتفاق افتاده، بنابراین می‌توان اینگونه برداشت کرد که در سازه‌های قاب خمشی بتنی متوسط حتی الامکان با در نظر گرفتن اثر اندرکنش خاک و سازه به گونه‌ای که تعداد بیشتری از از ستون‌ها، در ستون‌های میانی قرار بگیرند حالت بهتری در مقابله با پدیده خرابی پیش‌رونده را ایجاد می‌کند.

همان‌طور که در تحلیل سازه با قاب خمشی در فصل سوم نشان داده شده است، ستون‌های گوشه ساختمان ستون‌های بحرانی هستند بنابراین تدابیر مقاوم سازی اعضای سازه‌ای در گوشه ساختمان می‌تواند مقاومت این ستون‌ها را در برابر پدیده خرابی پیش‌رونده پیشنهاد شود.

اندرکنش خاک سازه همواره باعث افزایش انعطاف‌پذیری سازه و در نتیجه، زمان تناوب اصلی ساختمان می‌گردد، آنچه که در این مطالعه مشاهده گردید این بود که با افزایش تعداد طبقات پریود سازه در مودهای بالاتر با در نظرگیری اندرکنش خاک سازه به پریود بدون اثر اندرکنش خاک سازه نزدیک‌تر می‌گردد.

با در نظرگیری اندرکنش خاک سازه سختی‌های مؤثر سازه کاهش می‌یابد، برش جاری شده سازه کاهش می‌یابد و تغییر مکان هدف سازه افزایش می‌یابد، اما در مورد تغییرات برش و تغییر مکان هدف در ارتفاع ساختمان نمی‌توان نظری داد.

اندرکنش خاک سازه ممکن است اثر مطلوبی بر پارامترهای ارزیابی اعضای سازه داشته و یا نداشته باشد اما آنچه در این مطالعه مشاهده گردید اینست که وضعیت المان‌ها (تیر یا ستون) بهتر می‌گردد.

با توجه به نمودارهای ارائه شده اندرکنش خاک و سازه باعث افزایش پریود سازه می شود که با توجه به پای گیردار و صلب این افزایش ناچیزتر نسبت به پای فنردار ستون‌ها می‌باشد. همچنین اندرکنش خاک و سازه باعث افزایش میرایی سازه‌ها می‌شود، این افزایش در مدل سازه‌های کوتاه‌تر بیشتر است.

اثر اندرکنش خاک و سازه با توجه به نمودارهای پوش‌آور باعث افزایش جابه‌جایی در مدل‌های ۵ طبقه افزایش می‌یابد که این امر با وارد شدن نیروی کمتری به سازه حاصل می‌شود به عبارتی برش پایه کاهش یافته در حالی که جابه‌جایی افزایش می یابد. این امر در مدل‌های ۱۰ طبقه نیز بدین صورت می‌باشد ولی در مدل ۱۵ طبقه برش پایه تا بیشترین نیرو در ناحیه خطی می‌باشد که از آستانه فرو ریزش می‌باشد.

همچنین جهت بررسی روش ملاحظه اثر اندرکنش خاک و سازه و مقایسه روش مستقیم و غیر مستقیم مدل‌سازی یک قاب در نرم‌افزار پلاکسیس نیز انجام شده است. بر مبنای نتایج ارائه شده مشاهده می‌شود درصد کاهش نیروی برش پایه در روش مستقیم (پلاکسیس) در حدود ۳۰ درصد بوده که نسبته به درصد میانگین ۱۸ درصدی روش غیر مستقیم (Sap) تأثیر بیشتری گذاشته است.

همچنین مقادیر جابه‌جایی‌های مشاهده شده در روش مستقیم (پلاکسیس) بیشتر از روش غیر مستقیم (Sap) به‌دست آمده است. از لحاظ ستون بحرانی نیز در روش مستقیم (پلاکسیس) نیز همانند روش غیر مستقیم (Sap) ستون گوشه وضعیت بحرانی‌تری از خود نشان داده است.

۸- مراجع

[1] A. Bakhshipour Sedaposhte and B. Alinejad, "The Introduction of Progressive Collapse and Its Impact on the Stability of Steel Structures," Road, vol. 26, no. 95, pp. 115-131, 2018 (In Persian).

[2] S. Gholampoor Dahaki, J. Vaseghi Amiri, A. Naseri, and S. Rezayi, "Effect of Eliminating the Column on Progressive Collapse on Seismic Performance in Dual Steel Structures," J. of Structural and Construction Eng., vol. 5, no. 3, pp. 5-27, 2018 (In Persian).

[3] M. Hadianfard and M. Namjoo, "Numerical Investigation of the Behaviour of Bolted and Welded Top and Seat Angle Connection in Progressive Collapse of Steel Structures," J. of Structural and Construction Eng., vol. 6, no. 1, pp. 5-26, 2019 (In Persian).

[4] S. Karimiyan, "Seismic Progressive Collapse Evaluation in 3 Story Reinforced Concrete Buildings due to Inner Column Removal," J. of Structural and Construction Eng., vol. 7, no. 1, 2020 (In Persian).

[5] E. Mohammadi Dehcheshmeh, M. Kamalizad, V. Broujerdian, and G. Ghodrati Amiri, (). "Progressive Collapse in Steel Moment Frame Structures: Multi-Parameter Study," J. of Structural and Construction Eng., vol. 37, no. 4, 2021 (In Persian).

[6] R. Rezakhani and S.Rezaei, "The Evaluation of Progressive Collapse in the Space-Structure with the Scenario of Simultaneous Removal of a Column and Brace (Case Study: Wind Tunnel Retaining Structure)," Passive Defense Quarterly, vol. 12, no. 3, pp. 1-10, 2021.

[7] N. Allotey and H. Naggar, "An Investigation Into the Winkle Rmodeling of the Cyclic Response of Rigid Footings," Soil Dyn. Earthquake Eng., vol. 28, no. 1, pp.44-57, 2008.

[8] S. S. Yasrebi and M. Emami "Application of Artificial Neural Networks (ANNs) in Prediction and Interpretation of Pressuremeter Test Results," In the 12th Int. Conf. of Int. Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG), Oct 1, pp. 1634-1638, 2008.

[9] FEMA-356, "Pre-Standard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings," Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., 2000.

[10] A. S. Moghadam, "A Pushover Procedure for Tall Buildings," Proc. of the 12th European Conf. on Earthquake Eng., Paper 315, Elsevier Science Ltd., London, UK, 2002.

[11] GSA, "Progressive Collapse Analysis and Design Guidelines for New Federal Office Buildings and Major Modernization Projects," Washington DC, US, 2003.

[12] K. Khandelwal and S. El-Tawil, "Pushdown Resistance as a Measure of Robustness in Progressive Collapse Analysis," J. of Eng. Structures, vol. 33, pp. 2653-2661, 2011.

[13] S. M. Zahrai and A. R. Ezoddin, "Numerical Study of Progressive Collapse in Intermediate Moment Resisting Reinforced Concrete Frame Due to Column Removal," Civil Eng. Infrastructures J., vol. 47, no. 1, 2014.

[14] H. R. Tavakoli and A. Rashidi, "Evaluation of Progressive Collapse Potential of Multi-Story Moment Resisting Steel Frame Buildings Under Lateral Loading," Scientia Iranica, vol. 20, no. 1, pp. 77-86, 2013.

[15] M. Emami, "Modelling and Prediction of Coarse Grained Alluvium Behavior by Pressuremeter Test Results and Laboratory Chamber, Doctoral Dissertation, Tarbiat Modares University, 2014.

[16] O. A. Mohamed, "Calculation of Load Increase Factors for Assessmentof Progressive Collapse Potential in Framed Steel Structures," Case Studies in Structural Eng., vol. 3, pp. 11-18, 2015.

[17] H. R. Tavakoli and A. Rashidi, "Evaluation of Progressive Collapse Potential of Multi-Story Moment Resisting Steel Frame Buildings Under Lateral Loading," Scientia Iranica, vol. 20, no. 1, pp. 77-86, 2013.

[18] H. R. Tavakoli, A. Rashidi Alashti and G. R. Abdollahzadeh, "3-D Nonlinear Static Progressive Collapse Analysis of Multi-story Steel Braced Buildings,"15 WCEE, LISBOA, 2012.

[19] H. Helmy, H. Salem, and Sh. Mourad, "Progressive Collapse Assessment of Framed Reinforced Concrete Structures According to UFC Guidelines for Alternative Path Method," Eng. Struct., vol. 42, pp. 127-141, 2012.

[20] H. R. Tavakoli and F. Kiakojouri, "Numerical Study of Progressive Collapse in Framed Structures: A New Approach for Dynamic Column Removal," IJE Transactions A: Basics, vol. 26, no.7, pp. 685-692, July 2013.

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال سیزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، (پیاپی ۵۰): صص ۲۴-۱۵

علمی- پژوهشی

ارزیابی عددی ظرفیت باربری دال بتن‌آرمه دارای بتن با مقاومت بالا تحت اثر بارهای انفجار

مهدی مختاری[۱]، محمد ابراهیمی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۸

چکیده

بتن با مقاومت بالا که دارای شکل‌پذیری و چقرمگی بالایی است، به‌طور گسترده‌ای در ساخت سازه‌های مدرن استفاده می‌شود. مشخصه برجسته بتن با مقاومت بالا بدین گونه است که در تحمل بارهای شدید از قبیل بارهای ضربه‌ای یا انفجار از پتانسیل بسیار بالایی برخوردار است. در این مقاله به مدل‌سازی سه بعدی و تحلیل عددی یک دال بتنی با مقاومت بالا در نرم‌افزار اجزاء محدود LS-DYNA پرداخته می‌شود. برای این منظور سناریوهای مختلف بارگذاری انفجاری در نظر گرفته شده و پاسخ جابه‌جایی قائم و کانتور کرنش‌های پلاستیک دال تحت هر یک از این سناریوها مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در این مدل عددی، اثر نرخ کرنش نیز بر رفتار دینامیکی مواد لحاظ می‌گردد. ملاحظه گردید که دال تحت بار انفجار با شدت بیشتر و فاصله کمتر ابتدا بیشترین جابه‌جایی را تجربه و سپس با گذشت زمان جابه‌جایی آن ماندگار می‌شود؛ این در حالی است که دال در حالت بار انفجار کم و فاصله زیاد از سطح دال، نسبت به موقعیت اولیه خود با یک پریود تقریباً یکسان نوسان کرده و دارای جابه‌جایی‌های اندکی است.

کلید واژه‌ها: دال بتن‌آرمه، بتن با مقاومت بالا، تحلیل عددی، انفجار

[۱] دانشجوی دکتری، گروه سازه، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

[۲] پژوهشگر قرارگاه سازندگی خاتم الانبیا(ص)، تهران، ایران- (mm800295@yahoo.com)- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر بمب‌گذاری‌های ناشی از تهدیدات تروریستی در سراسر دنیا سبب شده است که توجه ویژه‌ای به پدیده انفجار و حفاظت ساختمان‌ها و افراد جامعه در برابر چنین تهدیداتی صورت گیرد. بار انفجار ممکن است سبب تغییر شکل‌های زیاد در اعضای سازه‌ای و نیز تغییر شکل‌های چشمگیری در کل سازه شده و در نتیجه ایمنی ساکنین و سازه را به خطر اندازد. برای این منظور ضروری است که عوامل مؤثر جهت کاهش اثرات انفجار بر سازه شناخته شود.

در طی چند دهه گذشته، استفاده از روش‌های تحلیلی متداول نتایج چندان دقیقی را ارائه نمی‌داد و در موارد حساس به ناچار باید از آزمایش‌های تجربی استفاده می‌گردید. تدابیر امنیتی و شرایط خاص مورد نیاز برای انجام آزمایش‌های تجربی بر روی این موضوع باعث بالا رفتن هزینه‌ها می‌گشت و در نتیجه دیگر مراکز علمی به تنهایی قادر به انجام این تحقیقات نبودند و بنابراین سازمان‌های دیگر اعم از وزارت دفاع، سرویس‌های امنیتی و نیروهای نظامی حمایت از این تحقیقات را به عهده گرفتند. با ورود مراکز غیر علمی در انجام این پژوهش‌ها، انتشار نتایج حاصله تحت تأثیر قرار گرفت و گزارش‌ها برای انتشار عمومی می‌بایست از فیلترهای بسیاری عبور می‌کردند و در برخی موارد تا سال‌ها به‌صورت محرمانه باقی می‌ماندند. اما در سال‌های اخیر با رواج نرم‌افزارهای اجزاء محدود و روش‌های عددی، می‌توان نتایج رضایت‌بخشی از تحلیل‌های مورد نظر گرفت. همچنین انتشار مقالات نیز به دلیل بیشتر شدن تحقیقات رواج بیشتری یافته است. توتلموند و بولی نرخ کرنش‌های بالا در رفتار دینامیکی دال‌های دایره‌ای بتن مسلح و ساده را با استفاده از برخورد هوای فشرده مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها گزارش دادند که کاهش قابل توجه در طول بازه اعمال ضربه، منجر به تغییر مد گسیختگی از خمش خالص (که به‌صورت ترک‌های قطری آشکار می‌شود) به گسیختگی خمشی - برشی (که با ایجاد ترک‌های قطری و محیطی در نزدیکی تکیه‌گاه‌ها بروز پیدا می‌کند) می‌شود. همچنین بروز ترک‌ها به‌صورت موازی با میلگردهای تقویتی و نوع گسیختگی نیز به شدت وابسته به بیشینه فشار اعمالی و نیز طول بازه اعمال بار گزارش شد [۱]. میرس و همکاران در سال ۲۰۰۴ هم‌زمان با محققین مؤسسه مهندسین ویلفرد باکر، رفتار مشابهی را برای دیوارهای CMU تقویت شده گزارش دادند (در هر دو مورد بالا دیوار تقویت نشده توسط نوارهای چسبیده به سطح بهسازی شده بودند) [۲]. رمنیکو و رز در سال ۲۰۰۵ [۳] به مدل‌سازی بار انفجار بر روی ساختمان‌های موجود در شهرهایی با هندسه پیچیده پرداختند و گزارش دادند که فرض در نظر گرفتن ساختمان‌ها به‌صورت مجزا از دیگر ساختمان‌ها می‌تواند خطاهایی در پی داشته باشد. بنابراین مدل‌سازی ساختمان‌های دیگر دقت کار را افزایش می‌دهد. این نتیجه در طی مدل‌سازی دو ساختمان مجاور هم و بررسی آثار انفجار بر روی آن‌ها ارائه شده است. کای‌ژو و یانگ‌لو در سال ۲۰۰۶ [۴] به شبیه‌سازی عددی خردشدگی صفحه بتن مسلح زیر اثر بار ناشی از انفجار پرداختند و اعلام کردند که با شبیه‌سازی عددی به‌صورت سه بعدی می‌توان به جواب‌های بسیار بهتری نسبت به حالت دو بعدی دست یافت. آن‌ها همچنین بیان نمودند که در حالتی که چشمه انفجار نزدیک به سطح است، می‌توان از موج در حالت یک بعدی به جای موج در حالت سه بعدی استفاده کرد. سیلوا و بینگنگ‌لو در سال ۲۰۰۷ [۵] موضوع بهبود مقاومت دال بتنی با مصالح ترکیبی تحت اثر انفجار را مورد بررسی قرار دادند و گزارش دادند که دالی که تنها در یک سمت مسلح شود (بالا و یا پایین) صرف نظر از نوع مصالح که برای مقاوم‌سازی در نظر گرفته می‌شود، به شدت آسیب می‌بیند؛ دالی که در هر دو طرف مقاوم‌سازی شده از لحاظ مقاومتی در سطح قابل قبولی قرار می‌گیرد و در این حالت ظرفیت برشی، عامل تعیین کننده است. رزاق‌پور و همکاران در سال ۲۰۰۷ [۶] موضوع نقش دورپیچ‌های GFRP در مقاوم‌سازی پانل‌های بتنی را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها رفتار بسیار بهتر نمونه مقاوم‌سازی شده در مقایسه با نمونه کنترل را گزارش دادند؛ به نحوی‌که مقاومت حاصل ۷۵٪ افزایش یافته بود. با این وجود آن‌ها اعلام کردند که اظهارنظر نهایی نیاز به انجام آزمایش‌های عملی بیشتری دارد. وو و همکاران در سال ۲۰۰۹ [۷] مقاوم‌سازی دال بتنی توسط FRP و UHPFC[1] تحت بار انفجار را مورد آزمایش قرار دادند. آن‌ها گزارش دادند که در یک بار گذاری انفجاری یکسان دال UHPFC نسبت به دال معمولی مقاوم‌سازی شده رفتار مناسب‌تر و آسیب‌دیدگی کمتری دارد. وی و اسروارت در سال ۲۰۱۰ [۸] موضوع رفتار دیوارهای بنایی تقویت نشده تحت بار انفجار را به‌صورت پارامتریک مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها گزارش دادند که شرایط مرزی، مقاومت مصالح و ضخامت دیوار عامل تعیین کننده‌ای در رفتار دیوار و میزان خسارات ایجاد شده بازی می‌کنند و در این میان نقش شرایط مرزی بسیار با اهمیت است.

بتن با مقاومت بالا دارای مقاومت فشاری بالاتر از ۲۰۰ مگاپاسکال و مقاومت کششی حدود ۴۰-۲۰ مگاپاسکال است، همچنین انرژی گسیختگی آن در حدود ۴۰۰۰۰-۲۰۰۰۰ ژول بر متر مربع می‌باشد که به مراتب بسیار بالاتر از بتن معمولی است [۹]. تحت شرایط نرخ بارگذاری بالا از قبیل انفجار و ضربه، عملکرد بتن با مقاومت بالا بهتر از عملکرد بتن با مقاومت متعارف است. اِن‌گو و همکاران در سال ۲۰۰۷ [۱۰] نتایج آزمون میدانی بر روی مقاومت پانل‌های بتنی ساخته شده از بتن با مقاومت بالا

[1] Ultra-High Performance Fiber Concrete

را ارائه دادند. داده‌های آزمایشگاهی به‌دست آمده شامل فشار انفجار و تغییر شکل‌های پانل بتنی بود که جهت ارزیابی عملکرد پانل‌های دارای بتن با مقاومت بالا و پانل‌های دارای بتن با مقاومت متعارف مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که پانل‌های دارای بتن با مقاومت بالا عملکرد بهتری در مقایسه با پانل‌های دارای بتن متعارف از خود نشان داده به‌طوری که پس از انفجار تنها ترک‌های جزئی‌ای مشاهده گردید. با توجه به سودمندی داده‌های حاصل از آزمون‌های انفجاری میدانی، شبیه‌سازی عددی قابل انجام بوده و نتایج حاصله می‌توانند در کنار نتایج آزمایشگاهی موجود با ارزش باشند. تیاگاراجان و همکاران در سال ۲۰۱۱ [۱۱] یک مطالعه مقدماتی بر روی مدل‌سازی عددی دال‌های بتن‌آرمه دارای بتن با مقاومت بالا، بتن متعارف و فولاد با مقاومت بالا انجام دادند. میرهاشمی در سال ۲۰۲۰ به بررسی خیز دال‌های بتنی تقویت شده با استفاده از صفحات و میلگردهای پلیمری GFRP و CFRP پرداخت. در این مطالعه ملاحظه گردید که استفاده از ورق‌های GFRP و CFRP در کاهش مقدار جابه‌جایی دال تحت بار انفجار، جلوگیری از قلوه‌کنی و فروریزش آوار در دال‌ها مؤثر بوده و موجب کاهش ۲۶ درصدی تغییر مکان دال خواهد شد [۱۲].

در این مقاله به مدل‌سازی عددی یک دال بتن‌آرمه دارای بتن با مقاومت بالا در نرم‌افزار LS-DANA پرداخته می‌شود و پاسخ‌های سازه‌ای آن تحت اثر بار انفجار به‌دست آورده می‌شود. همچنین اثر نرخ کرنش بر روی مشخصات دینامیکی مصالح مورد بررسی قرار می‌گیرد. در انتها یک مطالعه پارامتری جهت بررسی اثر سناریوهای مختلف انفجار بر روی مقاومت دال بتن‌آرمه نیز انجام می‌گیرد.

۲- معرفی مدل‌های عددی بتن و فولاد در نرم‌افزار LS-DAYNA

۲-۱- مدل مصالح بتنی

به‌منظور شبیه‌سازی اعضای بتنی تحت بار انفجار یک مدل ماده مناسبی می‌بایست انتخاب گردد تا بتواند مشخصات کامل بتن را بیان کند. برای این منظور مدل خسارت بتن (MAT72 R3)[1] تحت بار دینامیکی در این مطالعه به‌کار گرفته می‌شود. این مدل مؤلفه‌های لازم برای بیان رفتار بتن تحت شرایط دینامیکی بالا و تنش‌های پیچیده را فراهم می‌کند. تانسور تنش، به تانسور تنش هیدروستاتیک و تانسور تنش انحرافی، تقسیم شده است. تانسور تنش هیدروستاتیک حجم بتن را تغییر می‌دهد و تانسور تنش انحرافی تغییر شکل بتن را باعث می‌شود [۱۳].

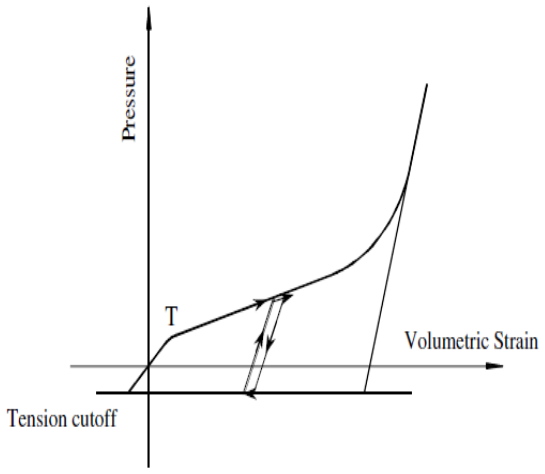
[1] Concrete Damage Model

۲-۱-۱- تانسور تنش هیدروستاتیک

برای تانسور هیدروستاتیک، مدل فشاری یک تقریب چند خطی در انرژی داخلی می‌باشد. فشار به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود [۱۳].

$$p = C(\varepsilon_V) + \gamma T(\varepsilon_V) E \qquad (۱)$$

که در آن، E انرژی داخلی نسبت به حجم اولیه و γ نسبت گرمای ویژه می‌باشد. کرنش حجمی ε_v از طریق لگاریتم طبیعی حجم نسبی تعیین می‌شود. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، مدل شامل یک مسیر الاستیک از قطع کشش هیدرواستاتیک[2] تا نقطه T از حد الاستیک می‌باشد. اگر تنش کششی بیش از قطع کشش هیدروستاتیک باشد گسیختگی کششی اتفاق می‌افتد که متناظر با منطقه گسیختگی بالک[3] است. هنگامی که کرنش حجمی بزرگ‌تر از نقطه T باشد، فشردگی ایجاد می‌شود و بتن به آرامی تبدیل به یک نوع ماده دانه‌ای می‌گردد و کرنش حجمی از این حالت افزایش نمی‌یابد. مسیر باربرداری، در طول باربرداری مدول بالک تا کشش قطع اتفاق می‌افتد. بارگذاری مجدد، همیشه از مسیر باربرداری تا نقطه‌ای که باربرداری شروع شده تبعیت می‌کند و روی مسیر بارگذاری ادامه می‌یابد.

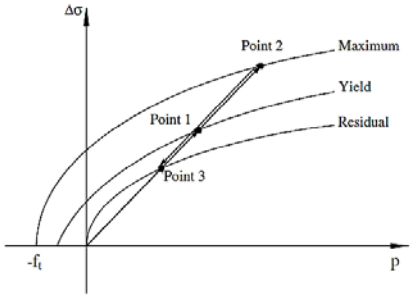


شکل (۱): نمودار فشار براساس کرنش حجمی [۱۳]

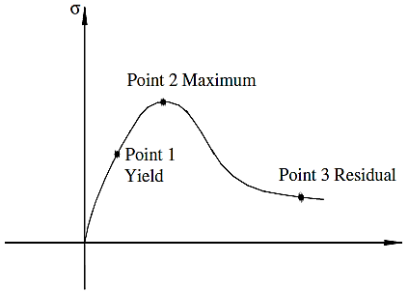
۲-۱-۲- تانسور تنش انحرافی

برای تحلیل تانسور تنش انحرافی از یک مدل با سه منحنی مطابق شکل (۲-الف) استفاده می‌شود که در آن بالاترین منحنی نشان دهنده حداکثر مقاومت، منحنی میانی نشان دهنده مقاومت تسلیم و پایین‌ترین منحنی نشان دهنده مقاومت پسماند ماده گسیخته شده است.

[2] Hydrostatic Tension Cutoff
[3] Bulk Failure Region



(الف)



(ب)

شکل (۲): مدل مقاومت برای ماده بتن: (الف) مدل مقاومت دو-منحنی و سطح تسلیم و (ب) منحنی تنش-کرنش برآیند معمولی [۱۳]

سطوح مقاومت تسلیم، مقاومت حداکثر و مقاومت پسماند به ترتیب از روابط زیر تعیین می‌شوند:

$$\Delta\sigma_y = \eta_y \Delta\sigma_m + (1-\eta_y)\Delta\sigma_r \qquad (۲)$$

$$\Delta\sigma_m = a_0 + \frac{p}{a_1 + a_2 p} \qquad (۳)$$

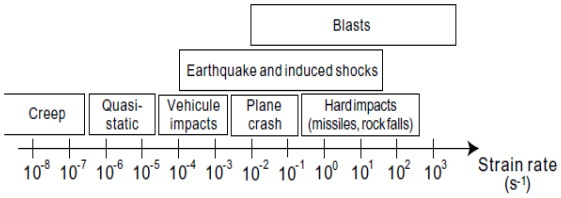
$$\Delta\sigma_r = a_{0f} + \frac{p}{a_{1f} + a_2 p} \qquad (۴)$$

که در آن، η مقدار کرنش پلاستیک مؤثر اصلاح شده است و مقدار متداول η_y برای بتن برابر ۰/۳۰۹ است. ضرایب (a_0، a_1، a_2) در معادله (۳) پارامترهای مستقل برای تعیین سطح مقاومت حداکثر ($\Delta\sigma_m$) و ضرایب (a_{0f}، a_{1f}) در معادله (۴) پارامترهای مستقل برای تعیین سطح مقاومت پسماند ($\Delta\sigma_r$) می‌باشند. مقدار p از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

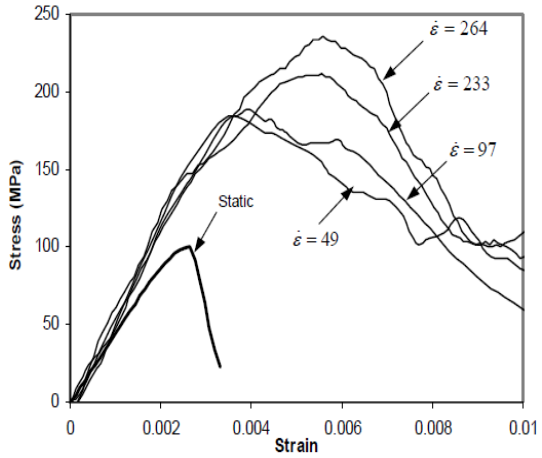
$$P = -\frac{\sigma_{xx} + \sigma_{yy} + \sigma_{zz}}{3} \qquad (۵)$$

۲-۱-۳- اثر نرخ کرنش بر مقاومت فشاری و کششی بتن

رفتار بتن بستگی به مقدار نرخ کرنش یا سرعت بارگذاری دارد که به آن تأثیر میزان نرخ کرنش و نحوه بارگذاری می‌گویند. نرخ کرنش در مصالح به نوع بارگذاری بستگی دارد. شکل (۳) نمونه‌های متفاوتی از نرخ کرنش در بارگذاری‌های مختلف مانند بارگذاری خزش، استاتیک، حادثه و غیره را نشان می‌دهد. خواص دینامیکی بتن تحت شرایط بارگذاری دینامیکی می‌تواند کاملاً متفاوت از خواص آن در شرایط با بارگذاری استاتیکی باشد. در حالی که سختی دینامیکی تفاوت زیادی با سختی استاتیکی ندارد، ولی تنش‌ها در شرایط دینامیکی برای یک مدت زمان مشخص ممکن است بسیار بالاتر از مقاومت فشاری استاتیکی باشد (شکل (۴)) [۱۴].



شکل (۳): مقادیر نرخ کرنش در موارد بارگذاری‌های مختلف [۱۵]



شکل (۴): افزایش مقاومت فشاری بتن با افزایش نرخ کرنش

برای بیان رابطه‌ای بین مقاومت بتن در حالت دینامیکی و استاتیکی از ضریب افزایش دینامیکی (DIF[1]) که در واقع افزایش مقاومت دینامیکی بتن نسبت به مقاومت استاتیکی است، استفاده می‌شود. در بسیاری از مراجع این ضریب برای مقاومت فشاری بیش از ۲/۵ و مقاومت کششی بیش از ۴ ذکر شده است. شاید جامع‌ترین مدل نرخ کرنش برای بتن هم در فشار هم در کشش توسط مدل CEB ارائه شده است [۱۴].

ضریب افزایش دینامیکی در حالت فشار به‌صورت رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$DIF = \frac{f_c}{f_{cs}} = \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_s}\right)^{1.026\alpha} \quad \text{for} \quad \dot{\varepsilon} \le 30\,S^{-1}$$
$$DIF = \frac{f_c}{f_{cs}} = \gamma\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_s}\right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{for} \quad \dot{\varepsilon} > 30\,S^{-1} \qquad (۶)$$

[1] Dynamic Increase Factor

که در آن، f_c مقاومت فشاری دینامیکی در $\dot{\varepsilon}$، f_{cs} مقاومت فشاری استاتیکی در $\dot{\varepsilon}_s$، f_{co} مقاومت استاتیکی نمونه مکعبی برابر ۱۰ مگاپاسکال (یا ۱۴۵۰ پوند بر اینچ مربع)، $\dot{\varepsilon}$ نرخ کرنش در محدوده $10^{-6}\times 30$ تا ۳۰۰ S^{-1}، $\dot{\varepsilon}_s$ نرخ کرنش استاتیکی و برابر $10^{-6}\times 30$ S^{-1} و γ و α از روابط زیر به‌دست می‌آیند [۱۴]:

$$\log\gamma = 6.156\alpha - 2 \qquad (۷)$$

$$\alpha = \frac{1}{5 + 9\frac{f_{cs}}{f_{co}}} \qquad (۸)$$

این روابط رفتارهای مشخصی از مصالح را دربر می‌گیرد که در زیر به آن‌ها اشاره شده است:

- log(DIF) بر حسب $\log(\dot{\varepsilon})$ یک رابطه دو خطی است که شیبش در حدود $30\,S^{-1}$ تغییر می‌کند.
- مقدار DIF برای بتن‌هایی با مقاومت کمتر، بیشتر است.
- همه ضرایب DIF به مقاومت اندازه‌گیری شده در نرخ کرنش مشخصی (شبه‌استاتیکی) ارتباط دارند.
- افزایش مقاومت در کشش و فشار متفاوت است.

ضریب افزایش دینامیکی در حالت کشش نیز به‌صورت رابطه زیر تعیین می‌شود [۱۴]:

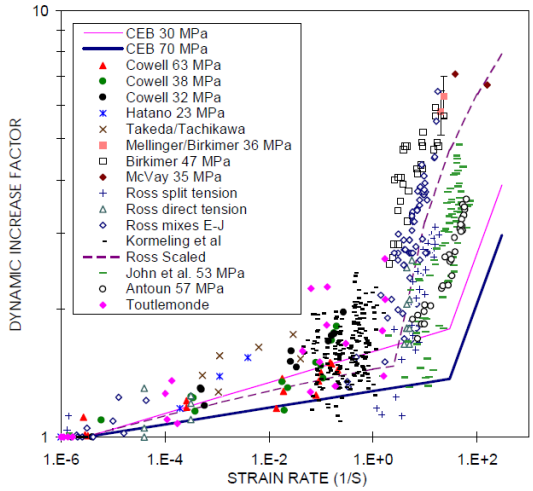
$$DIF = \frac{f_t}{f_{ts}} = \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_s}\right)^{1.016\delta} \quad \text{for} \quad \dot{\varepsilon} \le 30\,S^{-1}$$
$$DIF = \frac{f_t}{f_{ts}} = \beta\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_s}\right)^{\frac{1}{3}} \quad \text{for} \quad \dot{\varepsilon} > 30\,S^{-1} \qquad (۹)$$

که در آن، f_t مقاومت کششی دینامیکی در $\dot{\varepsilon}$، f_{ts} مقاومت کششی استاتیکی در $\dot{\varepsilon}_s$، f_{co} مقاومت استاتیکی نمونه مکعبی برابر ۱۰ مگاپاسکال (یا ۱۴۵۰ پوند بر اینچ مربع)، $\dot{\varepsilon}_s$ نرخ کرنش در محدوده 3×10^{-6} S^{-1} تا ۳۰۰ S^{-1}، $\dot{\varepsilon}_s$ نرخ کرنش استاتیکی و برابر 3×10^{-6} S^{-1} و β و δ از روابط زیر به‌دست می‌آیند [۱۴]:

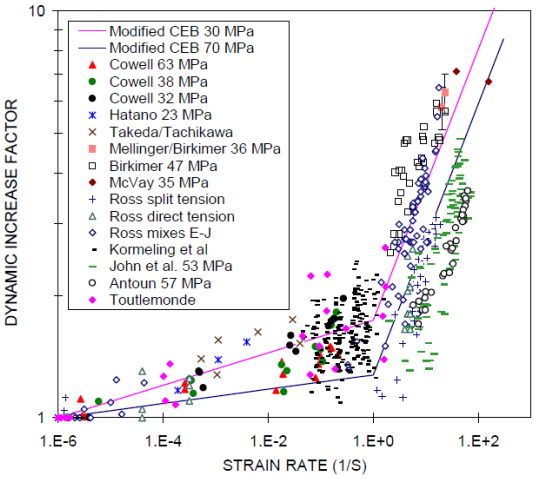
$$\log\beta = 7.11\delta - 2.33 \qquad (۱۰)$$

$$\delta = \frac{1}{10 + 6\frac{f_{cs}}{f_{co}}} \qquad (۱۱)$$

ضریب افزایش دینامیکی در کشش برای دو مقاومت فشاری مختلف (۳۰ و ۷۰ مگاپاسکال) در شکل‌های (۵ و ۶) ترسیم شده است. همان‌طور که از نمودار log-log مشهود است، منحنی‌های به‌دست آمده دو خطی بوده و از عدم پیوستگی در شیب برخوردار هستند؛ به‌طوری‌که بر اساس رابطه CEB این ناپیوستگی در شیب در نرخ کرنش $30\,S^{-1}$ رخ داده است. روابط CEB تا نرخ کرنش ۳۰۰ S^{-1} معتبر می‌باشد، که این ضریب برای بتن با مقاومت فشاری ۳۰ مگاپاسکال برابر ۳/۹ است.



شکل (۵): افزایش نسبی مقاومت فشاری بر حسب نرخ کرنش در کشش [۱۶]



شکل (۶): افزایش نسبی مقاومت فشاری بر حسب نرخ کرنش اصلاح شده در کشش [۱۶]

۲-۲- رفتار فولاد در برابر بار دینامیکی

رفتار فولاد در برابر بار دینامیکی به سرعت اعمال بار دینامیکی وابستگی زیادی دارد و هر چه سرعت بارگذاری دینامیکی افزایش یابد، نقطه تسلیم فولاد نیز بالاتر می‌رود؛ زیرا با افزایش سرعت بارگذاری، مقدار کمی از تغییر شکل پلاستیک امکان رخ دادن در

این زمان کوتاه را داشته و در نتیجه تنش بیشتری برای رسیدن به کرنش گسیختگی لازم است. بنابراین در این پژوهش از مدل ماده Plastic Kinematic Model (MAT3) جهت مدل‌سازی میلگردهای فولادی بهره گرفته شده است. اثر نرخ کرنش در این مدل به‌صورت فرمول سیموندز-کوپر ارائه شده است [۱۳].

$$DIF = 1 + \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{C}\right)^{\frac{1}{p}} \qquad (۱۲)$$

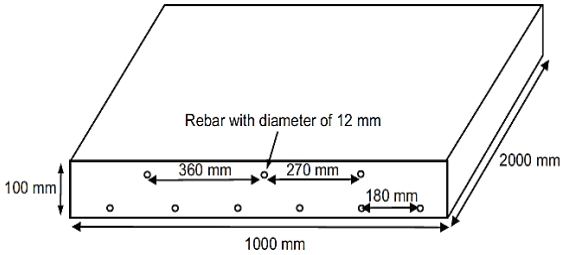
۲-۳- اندرکنش آرماتور و بتن

اندرکنش بین آرماتور و بتن، به دلیل رفتارهای متفاوتی که فولاد و بتن از خود نشان می‌دهند، باید در مدل‌سازی اعضای بتن مسلح در نرم‌افزارهای اجزاء محدود لحاظ شوند. رفتار متفاوت فولاد و بتن به دلیل مدول الاستیسیته بالاتر فولاد نسبت به بتن و تفاوت رفتار بتن در کشش و فشار، نسبت به فولاد می‌باشد.

این ناسازگاری در رفتار منجر به گسیختگی گیرایی بین فولاد و بتن می‌شود و نتیجه آن، لغزش آرماتورها، تغییر شکل‌های موضعی و ترک‌خوردگی می‌باشد. طبق تحقیقات وِدرزبای و ویریم [۱۷ و ۱۸] هر چه نرخ بارگذاری بالاتر باشد ضریب اصطکاک استاتیکی و چسبندگی شیمیایی بین بتن و فولاد افزایش می‌یابد. در این پژوهش، به دلیل نرخ بالای بارگذاری ناشی از بار انفجار، اندرکنش بین فولاد و بتن به‌صورت گیرایی کامل [1] فرض شده است.

۳- مدل عددی دال بتن‌آرمه مورد مطالعه

جهت مدل‌سازی عددی دال بتن‌آرمه در نرم‌افزار LS-DYNA، از یکی از دال‌های آزمایش شده توسط لی و همکاران در سال ۲۰۱۵ استفاده شده است [۱۹]. بر این اساس، دال انتخاب شده به ابعاد ۱۰۰ mm×۱۰۰۰×۲۰۰۰ است که مقطع عرضی آن و نحوه میلگردگذاری در شکل (۷) نشان داده شده است. در این دال از خاموت استفاده نشده است.



شکل (۷): ابعاد هندسی دال و نحوه میلگردگذاری [۱۹]

در این پژوهش، از المان solid شش وجهی - هشت گرهی برای شبیه‌سازی ماده بتن در نرم‌افزار LS-DYNA استفاده شده است. مشخصات ماده بتن مورد استفاده از نوع بتن با مقاومت بالا، مطابق با جدول (۱) است. میلگردهای فولادی نیز با استفاده از المان truss مدل شده و چسبندگی کامل بین بتن و میلگردها فرض شده است. قطر میلگردهای فولادی ۱۲ میلی‌متر بوده و مقاومت تسلیم آن‌ها ۳۰۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است. دو لبه دهانه‌های کوتاه دال مطابق آزمایش صورت گرفته، توسط قطعات فولادی به‌منظور جلوگیری از جداشدگی لبه‌ها از تکیه‌گاه مقیده شده‌اند. دال با ابعاد مش ۱۰ میلی‌متری در نرم‌افزار LS-DYNA مدل‌سازی شد. در این مدل، جابه‌جایی قائم دو لبه با دهانه کوتاه مقید شد. همچنین اثر نرخ کرنش برای هر دو مقاومت کششی و مقاومت فشاری با استفاده از روابط ذکر شده مربوط به DIF در بخش‌های قبل در نظر گرفته شد.

جدول (۱): مشخصات ماده بتن [۱۹]

مدول الاستیسیته (GPa)	نسبت پواسون	مقاومت نهایی (MPa)	کرنش نهایی	چگالی (kg/m^3)
۵۱/۵	۰/۲۰	۱۲۸/۹	۰/۰۰۲۵	۲۴۰۰

دال مورد نظر تحت بار انفجار به جرم معادل TNT و در فواصل مختلف در بالای دال قرار گرفت. جدول (۲) سناریوهای مختلف بارگذاری انفجاری را نشان می‌دهد. جهت اعمال فشار انفجار بر روی سطح دال، تابع Load_Blast_Enhanced در LS-DYNA برای مدل‌سازی بار انفجار به‌کار گرفته شده است. قابل ذکر است که به‌کارگیری این مدل بر اساس مدل‌های تجربی بیان شده در هندبوک TM5-855-1 بوده و این مدل رفتار بار انفجار را به‌صورت فشار نیم‌کروی روی زمین و به‌صورت فشار کروی در هوا در نظر می‌گیرد. همچنین این مدل می‌تواند تاریخچه فشار انفجار را به‌طور مناسبی بر اساس ورودی‌هایی شامل جرم معادل TNT، موقعیت قرارگیری ماده منفجره و نوع بار انفجار تولید نماید.

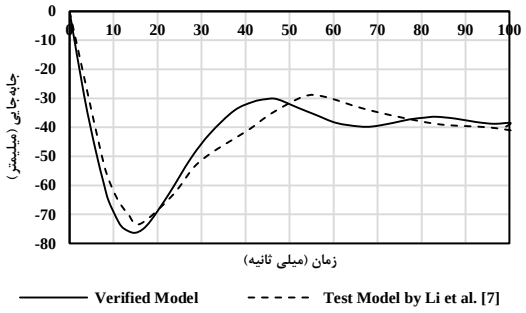
جدول (۲): سناریوهای مختلف بارگذاری انفجاری

شناسه بار	وزن معادل TNT بار انفجار (W) (kg)	موقعیت بار انفجار (R) (m)	فاصله مقیاس‌بندی شده ($Z=R\times W^{-1/3}$) ($m/kg^{1/3}$)
P8-1	۸/۰	۱/۰	۰/۵
P8-2	۸/۰	۲/۰	۱/۰
P1-1	۱/۰	۱/۰	۱/۰
P1-2	۱/۰	۲/۰	۲/۰

[1] Perfect Bond

در جدول (۲) هر سناریو بارگذاری دارای شناسه به‌صورت PW-R بوده، که در آن W نمایانگر وزن معادل TNT ماده منفجره و R نمایانگر فاصله عمودی ماده منفجره تا سطح دال است. به‌عنوان مثال شناسه بار P8-1 یعنی دال تحت بار انفجار به میزان هشت کیلوگرم TNT در فاصله عمودی یک متر قرار دارد.

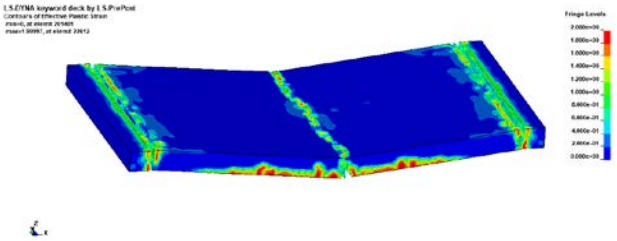
به‌منظور صحت‌سنجی نیز از مدل آزمایشگاهی لی [۱۹] با شناسه بار P8-1 مطابق جدول (۲) استفاده گردید به‌طوری‌که شکل (۸) جابه‌جایی‌های قائم وسط دهانه دال مورد نظر را تحت شناسه بار انفجاری P8-1 برای دو مدل آزمایشگاهی و مدل صحت‌سنجی شده نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در هر دو حالت، دال ابتدا بیشترین جابه‌جایی را تجربه و سپس با گذشت زمان جابه‌جایی آن ماندگار می‌شود؛ به عبارت دیگر دال وارد ناحیه پلاستیک خود شده و دچار خرابی با جابه‌جایی‌های پسماند می‌شود.



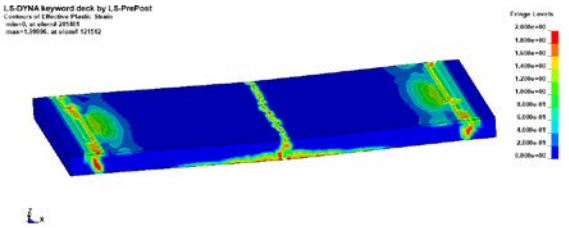
شکل (۸): مقایسه جابه‌جایی قائم وسط دهانه دال برای دو مدل آزمایشگاهی و مدل صحت‌سنجی شده

۴- نتایج و بحث

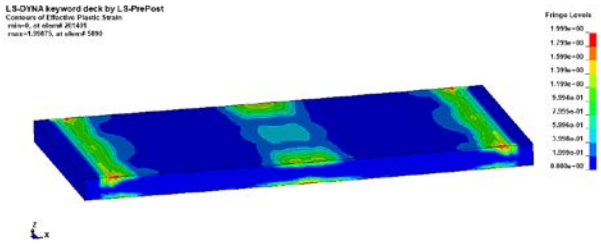
در این بخش به ارائه نتایج مربوط به جابه‌جایی وسط دهانه دال و نحوه تشکیل کانتور تنش‌ها و کرنش‌های پلاستیک تحت سناریوهای مختلف انفجار پرداخته می‌شود. شکل‌های ۱۲-۹ توزیع خرابی دال را تحت تأثیر سناریوهای مختلف بار انفجار نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود محل تشکیل کرنش‌های پلاستیک در وسط دهانه و در محل تکیه‌گاه‌ها رخ داده است که حالت P8-1 بیشترین حالت خرابی و حالت P1-2 کمترین حالت خرابی را نشان می‌دهد. مطابق شکل (۹)، دال تحت بار P8-2 در فاصله مقیاس‌بندی شده ۰/۵ به‌طور کامل تخریب و ترک‌های بزرگی ابتدا در وسط دهانه سپس در محل تکیه‌گاه‌ها رخ داد. اما مطابق شکل (۱۲)، پاسخ دال تحت بار P1-2 در فاصله مقیاس‌بندی شده دو به‌صورت الاستیک بود و هیچ خسارتی مشاهده نشد.



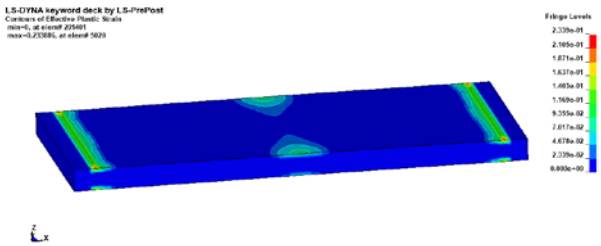
شکل (۹): کانتور کرنش پلاستیک مؤثر دال تحت سناریو P8-1



شکل (۱۰): کانتور کرنش پلاستیک مؤثر دال تحت سناریو P8-2

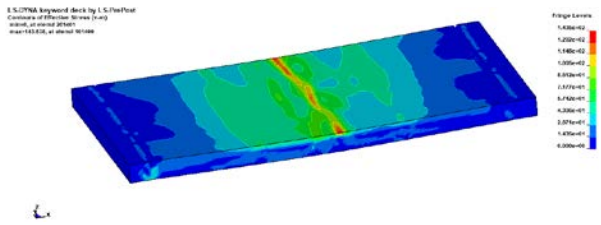


شکل (۱۱): کانتور کرنش پلاستیک مؤثر دال تحت سناریو P1-1

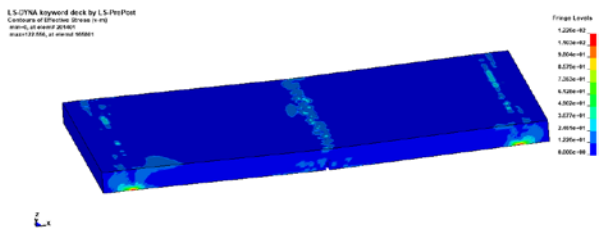


شکل (۱۲): کانتور کرنش پلاستیک مؤثر دال تحت سناریو P1-2

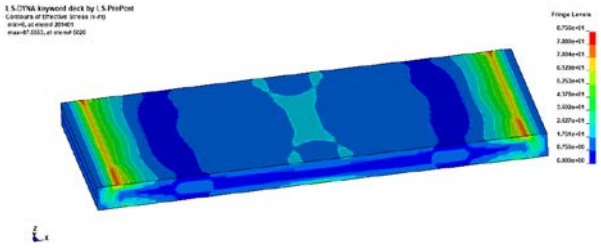
شکل‌های ۱۶-۱۳ کانتور حداکثر تنش ون‌مایزز دال را تحت تأثیر سناریوهای مختلف بار انفجار نشان می‌دهد.



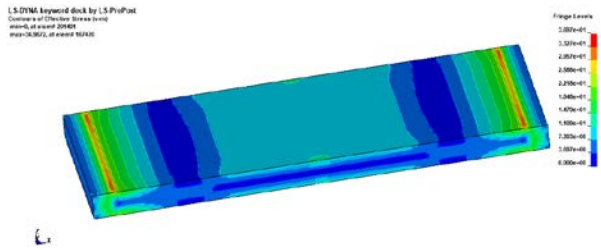
شکل (۱۳): کانتور تنش ون‌مایزز دال تحت سناریو P8-1



شکل (۱۴): کانتور تنش ون‌مایزز دال تحت سناریو P8-2

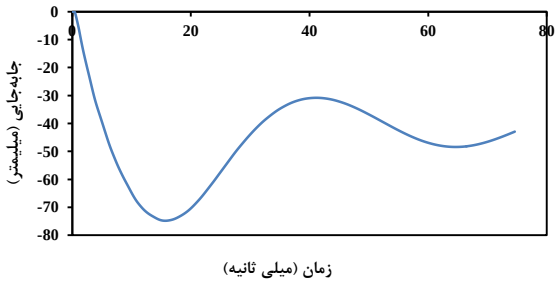


شکل (۱۵): کانتور تنش ون‌مایزز دال تحت سناریو P1-1

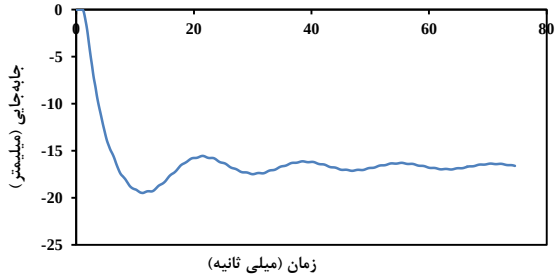


شکل (۱۶): کانتور تنش ون‌مایزز دال تحت سناریو P1-2

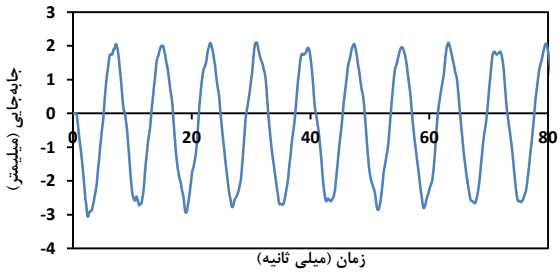
شکل‌های (۲۰-۱۷) جابه‌جایی‌های قائم وسط دهانه دال تحت سناریوهای مختلف بارگذاری نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود مطابق شکل‌های (۱۷ و ۲۰) دال تحت بار انفجار با شدت بیشتر و فاصله کمتر ابتدا بیشترین جابه‌جایی را تجربه و سپس با گذشت زمان جابه‌جایی آن ماندگار می‌شود؛ به عبارت دیگر دال وارد ناحیه پلاستیک خود شده و دچار خرابی با جابه‌جایی‌های پسماند می‌شود. این در حالی است که دال در حالت بار انفجار کم و فاصله زیاد از سطح دال، نسبت به موقعیت اولیه خود با یک پریود تقریباً یکسان نوسان کرده و دارای جابه‌جایی‌های اندکی خواهد بود که این امر نشان دهنده رفتار الاستیک دال در مقابل اینگونه بارگذاری‌ها می‌باشد.



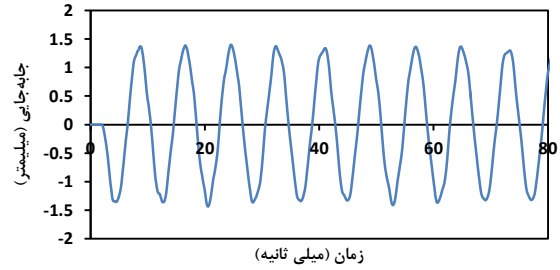
شکل (۱۷): جابه‌جایی قائم وسط دهانه دال تحت سناریو P8-1



شکل (۱۸): جابه‌جایی قائم وسط دهانه دال تحت سناریو P8-2



شکل (۱۹): جابه‌جایی قائم وسط دهانه دال تحت سناریو P1-1



شکل (۲۰): جابه‌جایی قائم وسط دهانه دال تحت سناریو P1-2

حداکثر جابه‌جایی‌ها و تنش‌های ون‌مایزز به‌دست آمده دال مورد نظر تحت هر یک از شناسه‌های بار انفجاری به‌صورت مقادیر جدول (۳) است.

جدول (۳): حدکثر پاسخ دال تحت بارگذاری‌های انفجاری مختلف

شناسه بار	حداکثر جابه‌جایی(mm)	حداکثر تنش ون‌مایزز(Pa)
P8-1	۷۴/۸۲	۱۴۳/۵۴
P8-2	۱۹/۴۸	۱۲۲/۵۶
P1-1	۳/۰۶	۸۷/۵۵
P1-2	۱/۴۴	۳۶/۹۷

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله ابتدا مدل‌های عددی رایج برای مصالح فولادی و بتنی و روابط حاکم بر آن‌ها تحت بار انفجار ارائه گردیدند. سپس در ادامه به مدل‌سازی سه بعدی و تحلیل عددی یک دال بتن‌آرمه آزمایش شده توسط لی و همکاران در نرم‌افزار LS-DYNA پرداخته شد. برای این منظور سناریوهای مختلف بارگذاری انفجاری در نظر گرفته شد و پاسخ جابه‌جایی قائم و کانتور کرنش‌های پلاستیک دال تحت هر یک از این سناریوها مورد بررسی قرار گرفت. در این مدل عددی، اثر نرخ کرنش نیز بر رفتار دینامیکی مواد لحاظ گردید. اهم نتایج به‌صورت موارد زیر حاصل گردید:

- محل تشکیل کرنش‌های پلاستیک در وسط دهانه و در محل تکیه‌گاه‌ها رخ داده است که حالت P8-1 بیشترین حالت خرابی و حالت P1-2 کمترین حالت خرابی را نشان می‌دهد.

- دال تحت بار P8-2 در فاصله مقیاس‌بندی شده ۰/۵ به‌طور کامل تخریب و ترک‌های بزرگی ابتدا در وسط دهانه سپس در محل تکیه‌گاه‌ها رخ داد. اما تحت بار P1-2 در فاصله مقیاس‌بندی شده دو به‌صورت الاستیک بود و هیچ خسارتی مشاهده نشد.
- دال تحت بار انفجار با شدت بیشتر و فاصله کمتر ابتدا بیشترین جابه‌جایی را تجربه و سپس با گذشت زمان جابه‌جایی آن ماندگار می‌شود؛ به عبارت دیگر دال وارد ناحیه پلاستیک خود شده و دچار خرابی با جابه‌جایی‌های پسماند می‌شود.
- این در حالی است که دال در حالت بار انفجار کم و فاصله زیاد از سطح دال، نسبت به موقعیت اولیه خود با یک پریود تقریباً یکسان نوسان کرده و دارای جابه‌جایی‌های اندکی خواهد بود که این امر نشان دهنده رفتار الاستیک دال در مقابل اینگونه بارگذاری‌ها می‌باشد. به‌طوری که حداکثر جابه‌جایی به‌دست آمده از تحلیل عددی دال تحت بار با شناسه P1-2 برابر ۱/۴۴ میلی‌متر به‌دست آمد. در حالی که طبق روابط الاستیک دینامیک سازه‌ها تحت بار ضربه‌ای معادل حداکثر جابه‌جایی الاستیک ۲/۵ میلی‌متر حاصل گردید که علت این تفاوت می‌تواند ناشی از عدم در نظر گرفتن سختی میلگردهای به‌کار رفته در روابط تحلیلی باشد.

۶- مراجع

[1] B. Toutlemonde and M. Boulay, “Dynamic Failure Modes of Concrete Slabs: Experimental Evidence and Questions,” Vicksburg, Mississippi, 1993.

[2] J. Myers, A. Belarbi, and K. El-Domiaty, “Blast Resistance of Un-Reinforced Masonry Walls Retrofitted with Fiber Reinforced Polymers,” Rep. 02-24, Center for Infrastructure Engineering Studies, Rolla, MO, Jan. 2004.

[3] A. M. Remennikov and T. A. Rose, “Modelling Blast Loads on Buildings in Complex City Geometries,” Comput. Struct., vol. 83, no. 27, pp. 2197–2205, Oct. 2005.

[4] K. Xu and Y. Lu, “Numerical Simulation Study of Spallation in Reinforced Concrete Plates Subjected to Blast Loading,” Comput. Struct., vol. 84, no. 5–6, pp. 431–438, Jan. 2006.

[5] P. F. Silva and B. Lu, “Improving the Blast Resistance Capacity of RC Slabs with Innovative Composite Materials,” Compos. Part B Eng., vol. 38, no. 5–6, pp. 523–534, Jul. 2007. d

[6] A. Ghani Razaqpur, A. Tolba, and E. Contestabile, “Blast Loading Response of Reinforced Concrete Panels Reinforced with Externally Bonded GFRP Laminates,” Compos. Part B Eng., vol. 38, no. 5–6, pp. 535–546, Jul. 2007.

[7] C. Wu, D. J. Oehlers, M. Rebentrost, J. Leach, and A. S. Whittaker, “Blast Testing of Ultra-High Performance Fibre and FRP-Retrofitted Concrete Slabs,” Eng. Struct., vol. 31, no. 9, pp. 2060–2069, Sep. 2009.

[8] X. Wei and M. G. Stewart, “Model Validation and Parametric Study on the Blast Response of Unreinforced Brick Masonry Walls,” Int. J. Impact Eng., vol. 37, no. 11, pp. 1150–1159, Nov. 2010.

[9] S. J. Barnett, J.-F. Lataste, T. Parry, S. G. Millard, and M. N. Soutsos, “Assessment of Fibre Orientation in Ultra High Performance Fibre Reinforced Concrete and its Effect on Flexural Strength,” Mater. Struct., vol. 43, no. 7, pp. 1009–1023, 2010.

[10] T. Ngo, P. Mendis, and T. Krauthammer, “Behavior of Ultrahigh-Strength Prestressed Concrete Panels Subjected to Blast Loading,” J. Struct. Eng., vol. 133, no. 11, pp. 1582–1590, 2007.

[11] G. Thiagarajan, A. K. Vasudevan, and S. Robert, “Numerical Modeling of Concrete Slabs Reinforced with High Strength Low Alloy Vanadium Steel Bars Subjected to Blast Loads,” Spec. Publ., vol. 281, pp. 1–16, 2011.

[12] S. N. Mirhashemi, “Investigating the Deflection of Concrete Slabs Reinforced with CFRP and GFRP Plates and Bars,” Passive Defense Quarterly, vol. 11, no. 3, pp. 55–65, 2020 (In Persian).

[13] Ls-Dyna, “Keyword User’s Manual Volume I,” 2007 و [Online] Available: www.lstc.com.

[14] F. Toutlemonde and P. Rossi, “Review of Strain Rate Effects for Concrete in Tension. Discussion and closure,” ACI Mater. J., vol. 96, no. 5, pp. 735-739, 1999.

[15] L. J. Malvar and C. A. Ross, “Review of Strain Rate Effects for Concrete in Tension,” ACI Mater. J., vol. 95, no. 6, pp. 735-739, 1998, doi: 10.14359/418.

[16] L. J. Malvar and J. E. Crawford, “Dynamic Increase Factors for Concrete,” Naval Facilities Engineering Service Center Port hueneme CA., 1998.

[17] J. Weathersby, “Investigation of Bond Slip between Concrete and Steel Reinforcement under Dynamic Loading Conditions,” Louisiana

State University and Agricultural & Mechanical College., 2003.

[18] J. (Jaap) Weerheijm, A. Doormaal, and J. M. Villa, “Concrete Structures Under Blast Loading Dynamic Response, Damage, and Residual Strength,” In: Pasman, H.J., Kirillov, I.A. (eds) Resilience of Cities to Terrorist and other Threats. NATO Science for Peace and Security Series Series C: Environmental Security. Springer, Dordrecht., 2008, pp. 217–238.

[19] J. Li, C. Wu, and H. Hao, “An Experimental and Numerical Study of Reinforced Ultra-High Performance Concrete Slabs under Blast Loads,” Mater. Des., vol. 82, pp. 64–76, Oct. 2015.

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال سیزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، (پیاپی ۵۰): صص ۴۷-۲۵

علمی- پژوهشی

شناسایی و اعتبارسنجی نشانگرهای ارزیابی پدافند غیرعامل در استقرار صنایع کشاورزی

فارس عبدی[۱]، امیرحسین علی بیگی[۲*]

تاریخ دریافت:۱۴۰۰/۰۴/۰۱

تاریخ پذیرش:۱۴۰۰/۰۶/۲۰

چکیده

یکی از جنبه‌های مهم در برنامه‌ریزی‌های توسعه توجه به آسیب‌پذیری کشور و شهرها در مقابل تهدیدهای جنگ و حوادث طبیعی است. از این رو الزامات حفاظتی و ملاحظات ایمنی از صنایع وابسته به کشاورزی به مثابه بنیادی‌ترین صنعت غذایی جامعه، بیش از گذشته مشهود است. پژوهش کاربردی حاضر با هدف شناسایی و اعتبارسنجی نشانگرهای ارزیابی پدافند غیرعامل در استقرار صنایع کشاورزی در استان کرمانشاه به روش ترکیبی (کیفی-کمی) اکتشافی انجام شد. جامعه آماری پژوهش، خبرگان حوزه پدافند غیرعامل بودند که در بخش کیفی با رویکرد نمونه‌گیری گلوله برفی و به‌صورت هدفمند پس از مصاحبه با تعداد ۱۴ نفر از آن‌ها اشباع نظری حاصل گردید و در بخش کمی با استفاده از روش تمام شماری، اطلاعات از ۳۰ نفر از خبرگان گردآوری شد. داده‌های مورد نیاز در بخش کیفی از طریق مصاحبه و در بخش کمی با استفاده از پرسشنامه گردآوری شد. تحلیل اطلاعات در بخش کیفی با استفاده از کدگذاری باز و محوری و در بخش کمی با استفاده از نرم افزارهای $spss_{win20}$ و pls_3 انجام شد. بعد از هم دسته کردن کدهای به‌دست آمده در مرحله اول، ۹۶ نشانگر شناسایی شدند که ذیل ۹ بُعد ؛۱) سازگاری مکانی، ۲) مقاوم‌سازی و استحکامات، ۳) ایمنی، ۴) آفاپ: استتار، فریب، اختفاء و پوشش، ۵) پراکندگی و کوچک سازی، ۶) موازی سازی سامانه‌های پشتیبانی وابسته، ۷) اعلام خطر، هشدار و تجهیزات، ۸) مدیریت بحران و ۹) آموزش و پژوهش صورت‌بندی گردیدند. در مرحله دوم، با رویکرد کمی، پرسشنامه محقق ساخته تهیه گردید که روایی محتوا توسط اساتید و پایایی با محاسبه آلفای کرونباخ (۰/۸۷) مورد تأیید قرار گرفت. به‌منظور اعتبارسنجی، میزان ضرایب عاملی نشانگرهای مرتبط با هر بُعد از طریق روش تحلیل مسیر محاسبه و ۷۷ نشانگر تأیید گردید. همچنین ضریب z (t-values) تأثیر معناداری مسیر نشانگرهای هر یک از این ۹ بُعد را نشان داد. اولویت‌بندی نشانگرهای هر بُعد نیز با آزمون فریدمن مورد تأیید قرار گرفت. با توجه به بالا بودن حساسیت صنایع کشاورزی لازم است نشانگرهای شناسایی و تأیید شده در پژوهش جهت استقرار صنایع کشاورزی مورد توجه قرار گیرند.

کلید واژه‌ها: پدافند غیرعامل، صنایع کشاورزی، استان کرمانشاه، امنیت غذایی، نشانگرهای ارزیابی

---

[۱] دانشجوی دکتری توسعه کشاورزی دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

[۲] دانشیار گروه ترویج و آموزش کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران- (baygi1@gmail.com)- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

موقعیت استراتژیک ایران در خاورمیانه، ذخایر عظیم نفت و گاز، معادن غنی و متنوع، فضای آکنده از تعارض، تهدید و نا آرامی‌های چند دهه اخیر در عرصه جهانی، استقرار پایگاه‌ها و کانون های بحران‌زا در منطقه، فشار همه جانبه آمریکا و اسرائیل علیه ج.ا. ایران، وضع تحریم‌ها در مقاطع زمانی مختلف [۱] و شهری شدن فضای نبرد، مسئله تهدیدات نظامی را در دایره پیش فرض‌های تصمیمات راهبردی کشور[۱] قرارداده است [۲]. همچنین به واسطه وضعیت جغرافیایی و قرار گرفتن در معرض آسیب‌های طبیعی زمین، از ۴۰ نوع حادثه طبیعی ثبت شده در سراسر دنیا ۳۱ نوع آن در ایران مشاهده شده است [۳]. بنابراین جنگ‌ها و بلایای طبیعی به‌عنوان مهم‌ترین عامل تهدید کننده زندگی انسان‌ها، تلفات جانی، خسارات مالی به تأسیسات، تجهیزات و ساختمان‌ها و هزینه‌های اقتصادی، اجتماعی جبران ناپذیر را به دنبال داشته است [۴] و یکی از جنبه‌های مهم در برنامه‌ریزی‌های توسعه توجه به آسیب‌پذیری کشور و آسیب‌پذیری شهرها در مقابل تهدیدهای جنگ و حوادث طبیعی است [۵]. از این رو الزامات حفاظتی و ملاحظات ایمنی از صنایع وابسته به کشاورزی[۲] به مثابه بنیادی‌ترین صنعت غذایی جامعه، با توجه به پیچیدگی شرایط، روند رو به رشد جمعیت، تنوع و کثرت نیازها و احتیاجات برابر حوادث انسان‌ساز و طبیعی، بیش از گذشته مشهود است [۶]. اکثر کشورهای جهان پس از پایان جنگ جهانی دوم، با شتاب فزاینده‌ای به پدافند غیرعامل با هدف پیشگیری و به‌کارگیری روش‌هایی که به کاهش آسیب‌پذیری تأسیسات شهری، تجهیزات زیربنایی و نیروی انسانی بیانجامد روی آورده‌اند [۴]. پدافند غیرعامل، بیش از آنکه از قاعده استحکام سازه‌ها تبعیت نماید، می‌بایست از قاعده پیشگیری و لگام اندیشه هجوم و برقراری ایمنی پیروی نماید [۷]. ایمنی و پایداری محیط فعالیت صنایع در برابر سوانح طبیعی و غیر طبیعی و هر گونه خطر تهدیدزای جان انسان‌ها در سایه اجرای مأموریت‌های پدافند غیرعامل اتفاق می‌افتد [۸]. رعایت الزامات پدافند غیرعامل در شرایط کنونی با توجه به افزایش تعداد و نوع بحران‌ها و آسیب‌ها نه تنها در مقابل حملات احتمالی، بلکه در مقابل سوانح طبیعی از اصول لازم در توسعه پایدار و ماندگاری صنایع، تأسیسات، تجهیزات زیربنایی و نیروی انسانی به شمار می‌رود [۹]. از طرفی با توجه به وجود تحریم‌ها، محدودیت منابع، خشکسالی‌های اخیر و خوداتکایی در تولید محصولات استراتژی کشور نگرانی‌هایی نسبت به آسیب‌پذیری صنایع کشاورزی به‌عنوان مهم‌ترین رکن تأمین کننده امنیت غذایی جامعه وجود دارد [۱۰]. با توجه به استقرار بسیاری از تأسیسات صنایع وابسته به کشاورزی و زیر ساخت‌های آن در شهرها و از همه مهم‌تر سکونت جمعیت زیاد در اطراف آن‌ها، حجم فراوان سرمایه‌گذاری، بالا بودن حساسیت به جهت میزان بالای تولید محصولات تبدیلی کشاورزی، صدمه و آسیب جدی به آن‌ها در زمره اهداف خصمانه دشمن به شمار می‌روند. بنابراین استمرار فعالیت‌های زیربنایی، تأسیسات، تجهیزات و شریان‌های صنعت کشاورزی، همچنین خوداتکایی در تولید محصولات استراتژیک کشور، معطوف به حفظ آمادگی در مقابل تهدیدات خارجی، مقابله با بلایای طبیعی، کاهش آسیب‌پذیری، ایمن سازی و حساسیت‌زدایی از آن‌ها به‌عنوان بخشی از سرمایه ملی و دارایی‌های مهم کشور است [۱۲ و ۱۱]. بنابراین شناخت فضاها و عوامل مؤثر در ایمنی صنایع، تأسیسات و زیرساخت‌های وابسته، مستلزم اتخاذ رویکردهای مدیریت پیش از بحران، آماده‌سازی و مصون نمودن محیط فعالیت آن‌ها در چگونگی مقابله با حوادث انسان‌ساز (جنگ، خراب‌کاری، بمب گذاری، انفجار) و مخاطرات طبیعی (سیل، رانش زمین، زلزله، خشکسالی، و ...) به‌منظور اجتناب از تحمیل تلفات جانی، خسارات مالی و صدمات جبران ناپذیر به تأسیسات و تجهیزات و ساختمان‌ها است [۱۳]. وفق بندهای اول و دوم سیاست‌های ابلاغی، پدافند غیرعامل به‌عنوان راهکار غیر مسلحانه در جهت کاهش آسیب‌پذیری تأسیسات شهری، تجهیزات زیربنایی و نیروی انسانی مطرح شده است. در سیاستگذاری‌های کلان کشور این امر بر عهده سازمان مدیریت بحران در وزارت کشور (مسئول اداره بحران در حوادث طبیعی) و سازمان پدافند غیرعامل کشور در ستاد کل نیروهای مسلح (مسئول اداره بحران کشور در شرایط جنگ) نهاده شده است. در حقیقت پژوهش پیش‌رو سعی دارد تا نشانگرهای ارزیابی پدافند غیرعامل در صنایع کشاورزی استان کرمانشاه را شناسایی و اعتبارسنجی نماید و پاسخگویی به سئوالات اساسی ذیل مد نظر قرار گرفت:

نشانگرهای مناسب پدافند غیرعامل در ابعاد مختلف کدامند؟

این نشانگرها تا چه حد از نظر متخصصین از اعتبار لازم برخوردارند؟

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱- پدافند غیرعامل

واژه پدافند متشکل از دو جزء «پد: ضد، متضاد، پی و دنبال» و «آفند: جنگ، جدال، پیکار و دشمنی» ، از نظر لغوی همتراز با «دفاع» و در منابع لاتین مترادف دفاع غیر نظامی یا دفاع شهری

[۱] فرض را بر این بگذارید که حمله به ایران حتمی است. رهبر انقلاب در دیدار مسئولان و کارگزاران نظام جمهوری اسلامی سال ۱۳۸۸

[2] Agro-Industries

است [۱۴]. پدافند شامل دو نوع عامل و غیر عامل با وجه تمایز «عاملیت انسان» است. پدافند عامل؛ مقابله نظامی و رویارویی مستقیم با دشمن، به‌کارگیری جنگ افزارها و ابزارهای مناسب و موجود برای دفع حمله و خنثی کردن اقدامات آفندی یا گاه اثرات عملیات خصمانه هوایی، زمینی، دریایی، نفوذی و خرابکارانه روی اهداف مورد نظر است [۱۵]. پدافند غیرعامل؛ مجموعه اصول و اقدامات احتیاطی غیر از استفاده از جنگ افزار و تسلیحات است که با رعایت و بهره‌گیری از آن‌ها، از وارد شدن خسارات به ساختمان‌ها، تأسیسات، تجهیزات، اسناد، شهرها، شریان‌های حیاتی کشور و تلفات انسانی در مقابل عملیات خصمانه و مخرب دشمن و یا مخاطرات ناشی از سوانح غیر طبیعی جلوگیری می‌نماید و یا میزان این خسارات و تلفات را به حداقل ممکن کاهش می‌دهد [۱۶]. این موضوع در برابر حوادث غیر مترقبه به استناد بند ۱۱ ماده ۱۲۱ قانون برنامه چهارم توسعه ۱۳۸۱؛ امکان تعریف معنایی دارد و به کاهش بحران‌ها یا اثرات حاصل از هر نوع مخاطرات با عامل انسانی (حملات نظامی و انسانی نظیر جنگ، شورش‌های داخلی، تحریم و...) به عامل طبیعی (خشکسالی، سیل، زلزله، رانش، لغزش، طوفان و...) نیز قابل تسری است [۱۷]. پدافند غیرعامل با مجموعه الزامات پدافندی و مهندسی معطوف به ایمنی و پایداری زیرساخت‌های کشور در وضعیت بهره‌برداری، در حال ساخت و در حال مطالعه، در وضعیت وقوع انواع تهدیدات زیرساختی، سخت، اقتصادی و سایبری است [۱۸].

سازمان پدافند غیرعامل به‌عنوان متولی امور پدافند غیرعامل برای جلوگیری از آسیب‌پذیری به مراکز حساس و مهم کشور در ۸ آبان ۱۳۸۲ تشکیل گردید. مأموریت عمده آن حول سه محور کلی راهبری سیاستگذاری، کمک به مدیریت بحران و فرماندهی و هدایت و کنترل در حوزه‌های مختلف است و اهداف آن شامل: الف) حفاظت از زیرساخت‌ها، حفاظت از تأسیسات و تجهیزات، کاهش آسیب‌پذیری زیرساخت‌های ملی و مراکز حیاتی، حساس و مهم کشور در مقابل تهدیدهای خارجی و افزایش ایمنی آن‌ها، ب) تعامل سازنده و پیش برنده با بخش‌های کشوری و لشکری در خصوص اعمال تدابیر دفاعی امنیتی و نهاد سازی دکترین پدافند غیرعامل و مدیریت بحران، ج) نظارت بر اجرای مدیریت بحران ناشی از جنگ، برآورد تهدیدها و احصای آسیب‌پذیری‌های زیرساخت‌های کشور و د) اداره امور مردم، حفاظت از جان مردم، تأمین نیازهای مردم، تداوم خدمات در شرایط جنگی و تهدید دشمن است [۱۹]. این سازمان در تابعیت ستاد کل نیروهای مسلح بوده، حوزه عملکرد آن تمامی سازمان‌ها و نهادهای لشکری و کشوری است و وفق اساسنامه مصوب سال ۱۳۹۳ ادارات کل پدافند غیرعامل در استانداری‌های کشور تأسیس شده‌اند [۲۰].

پدافند غیرعامل دارای اصول مختلفی است که لازم است جهت حفظ توسعه پایدار این اصول و ابعاد مورد توجه قرار گیرند، در اکثر منابع علمی دنیا این اصول شامل استتار[1]، اختفاء[2]، پوشش[3]، فریب[4]، تفرقه و پراکندگی[5]، مقاوم سازی و استحکامات[6]، اعلام خبر[7]، مکان‌یابی[8]، و مدیریت بحران[9] هستند [۲۱]. در این پژوهش و از طریق مصاحبه خبرگی این اصول در ۹ بُعد ذیل با ذکر نشانگرهای مربوطه و مستندات آن‌ها تعریف و مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

۲-۲- اصول پدافند غیرعامل

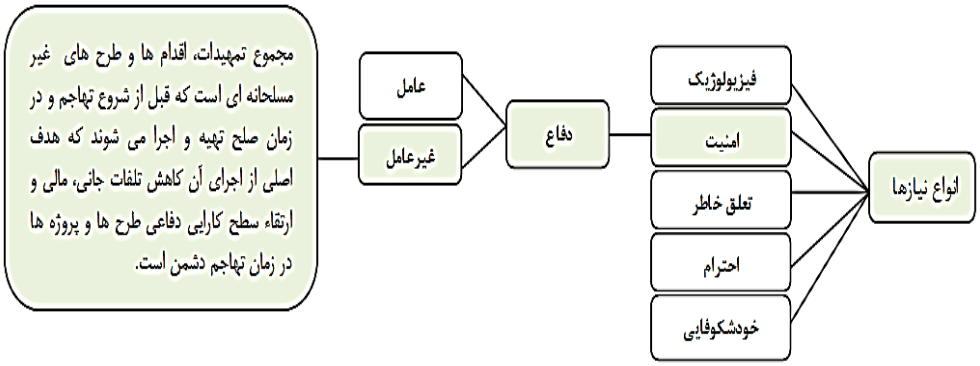
مکان‌یابی: جانمایی استقرار پروژه‌های صنعتی در مکان تعیین شده[10] با پراکنش مناسب در گستره مکان انتخابی[11] و ملاحظه شکل عوارض و محیط[12] سبب کاهش آسیب‌های وارده هنگام تهدیدات احتمالی می‌باشد [۲۲]. جایابی تابع عوامل متعدد امنیتی، قانونی، هزینه‌ای، انسانی و عملکردی صنعت به‌صورت مرحله‌ای و بر اساس خرد جمعی و متناسب با اهمیت نسبی آن‌ها است [۲۳]. این اقدامات بازه زمانی از "طراحی مفهومی و مطالعاتی تا پایان و بهره برداری هدف" قابل اجرا بوده و در مراحل مختلف چرخه عمر هدف، روش‌ها و فنون ویژه‌ای را می‌طلبد. به‌کارگیری معیارهای "حداکثر استفاده از عوارض طبیعی، آمایش سرزمینی، پراکندگی، پرهیز از انبوه و حجیم سازی، مقاوم سازی اولیه و غیره" در مرحله صفر پروژه؛ طراحی، احداث و تأسیس مراکز صنعتی موجب جلوگیری از بروز بسیاری از مشکلات پیچیده و هزینه‌بر بعدی می‌شود [۲۵ و ۲۴]. نتایج متفاوت اثرات تخریبی حملات هوایی عراق به مراکز حساس و حیاتی مانند پالایشگاه آبادان، پالایشگاه اصفهان، نیروگاه آبی سد دز، مرکز مخابرات ماهواره‌ای شهید قندی و ... از وضعیت و موقعیت مکانی مناسب و یا غیر مناسب این مراکز تبعیت نموده است [۲۶].

استحکامات و مقاوم سازی: استحکامات موقتی (خاک ریز، کیسه‌های شن، دال‌های بتنی، بشکه شن و ماسه، استوانه بتنی، دیوار کشی، و بلوک‌های پیش ساخته) و ایجاد سازه‌های مقاوم مانع اصابت مستقیم پرتابه‌ها (راکت، بمب و موشک) یا حوادث

[1] Camouflage
[2] Concealment
[3] Covering or Obscuration
[4] Deception (Deception Strategic)
[5] Separation& Dispersion
[6] Hardening or Fortification
[7] Early warning
[8] site selection or Location
[9] Crisis management
[10] Mission
[11] Dispersion
[12] Terrain Pattern

غیر مترقبه طبیعی به تأسیسات، تجهیزات و نفرات و خنثی سازی اثرات ترکش و موج انفجار اطراف آن می‌شود [۲۶]. به‌کارگیری راهکارهای فنی و مهندسی [۲۷] در طرح‌ها و کاربری‌های شهری [۲۸] برنامه‌ریزی مدون و اجرایی در دستیابی به فناوری روز صنعت برق [۲۹] و تأمین سخت‌افزاری پدافندی (تجهیزات)، نرم‌افزاری (آموزش و تهیه دستورالعمل‌ها) و کنترل (انجام مانور و غیره) در پالایشگاه نفت [۳۰] تا حد زیادی موجب آسیب‌پذیری ناشی از بحران و تهدیدات دشمن است.

ایمنی و امنیت: ایمنی و امنیت به‌عنوان یکی از مهم‌ترین نیازهای اساسی انسان و به‌تبع آن، وجود محیط امن سرمنشأ مباحث پدافند غیرعامل است [۳۱]. ایمنی به جنبه سلامت جسمانی و فیزیکی انسان (ملموس و بیرونی) و امنیت به جنبه ذهنی و روانی اشاره دارد [۳۲]. امنیت در هرم پیشنهادهای سلسله مراتب نیازهای انسانی مازلو (۱۹۸۷) رتبه دوم را به خود اختصاص داده و سایر محققان مانند کنتریل[1] (۱۹۶۵): امنیت و نظم، استیلی[2] (۱۹۷۳): تماس اجتماعی و لگتون[3] (۱۹۵۹): جهات و گرایش‌ها در جامعه، به شکل‌های متفاوتی به موضوع ایمنی و امنیت پرداخته‌اند [۳۳]. رابطه امنیت و پدافند غیرعامل در (شکل (۱)) آمده است.



شکل (۱): رابطه امنیت و پدافند غیرعامل [۳۴]

آفاپ: امروزه با پیشرفت‌های وسیع علم و فناوری و تصاویر ماهواره‌ای، هدف‌گیری و انهدام اهداف شناسایی شده از فواصل بسیار زیاد با موشک‌های دور برد و دقیق میسر است. کم هزینه‌ترین و مؤثرترین راه حفاظت از مراکز اقتصادی و صنعتی به‌کارگیری اصول اختفاء، فریب و استتار (آفا) مخفف معادل کلمات (Camouflage, Concealment, Deception) یا CCD است. اهمیت، وسعت و گستردگی این اقدامات در برخی موارد مترداف مفاهیم حوزه دفاع غیرعامل است. استتار، اختفاء، فریب، پوشش و نقش آن در زیرساخت‌ها و پروژه‌های ملی و منطقه‌ای یک اقدام ضروری در شرایط بحرانی است [۳۵]. در این پژوهش آفاپ (CCDC) تلخیص ماهیت مشترک اصول چهارگانه استتار، فریب، اختفاء و پوشش است.

استتار: استفاده و بهره برداری از اقلام، تجهیزات و روش‌هایی برای همگونی، تغییر شکل، شبیه‌سازی و نامرئی نمودن تأسیسات، تجهیزات، فعالیت‌ها، نیروهای خودی با محیط پیرامون با حذف شکل منظم هندسی، ایجاد اهداف فریبنده، و شیوه‌های زیرساخت‌ها: درون ساخته و افزودنی برای جلوگیری از کشف و شناسایی توسط سامانه‌های آشکارساز و حسگرهای دشمن است [۳۶و۳۷].

اختفاء: اقداماتی که مانع از دید مستقیم، دشواری کشف و یا نشانه‌گذاری تأسیسات توسط دشمن است. استقرار صحیح تأسیسات در محیط‌های طبیعی و مصنوعی در سطح و یا عمق زمین، پناه کوه‌ها، داخل دره‌ها، حاشیه و داخل جنگل‌ها و... موجب استحکام کافی در برابر پرتابه‌ها و جلوگیری از انهدام می شود [۳۸].

فریب: اقدامات طراحی شده حیله گرایانه‌ای که موجب گمراهی و انحراف ذهن دشمن در کسب اطلاعات و برآورد صحیح از توان کمی و کیفی حریف است و او را در تشخیص هدف و هدف‌گیری دچار شک و تردید می‌کند. در این حالت دشمن هدف واقعی را ساختگی تلقی نموده و با بمباران هدف‌های ساختگی و فریبنده، مأموریت خود را خاتمه یافته تلقی می‌نماید [۳۹]. اقدامات فریب شامل حوزه وسیع ارسال اطلاعات دروغین، تظاهر به حمله، نصب اهداف دروغین، ماکت‌های فریب، سامانه‌های رعب، فرستنده‌های رعب راداری، شبیه‌سازهای الکترونیکی و رادیویی، یا تغییر شکل، اندازه، رنگ و سایه و موقعیت اهداف، شبیه‌سازی، ایجاد سروصدای کاذب، فریب الکترونیکی و ... است [۴۰] که حتی موجب فریب ماهواره‌های شناسایی شده است. بازدهی طرح های فریب از طرح‌های مقاوم‌سازی به مراتب بالاتر است.

[1] Cantril
[2] Steely
[3] Leighton

پوشش: پنهان سازی و حفاظت تأسیسات، تجهیزات، تسلیحات و نیروی انسانی در برابر دید و تهاجم دشمن است [۴۱]. اصول استتار، اختفاء، فریب و غیره در صنایع نفت و پتروشیمی موجب کاهش بحران و آسیب‌پذیری در برابر تهدید بشرساز و عوامل طبیعی است [۴۲].

پراکندگی (ایجاد تفرقه، جداسازی و تمرکز زدایی در توزیع عملکردها): استقرار صنایع یا واحدهای هر مجتمع صنعتی در مکان‌های دور از هم و به فاصله مناسب از یکدیگر با ملاحظات اقتصادی، امنیتی، دفاعی، سیاسی و اجتماعی به خاطر آن است که هدف واحدی در مقابل عملیات دشمن تشکیل نداده و آسیب‌پذیری، خسارت و تلفات احتمالی را به حداقل ممکن کاهش دهد [۴۳]. وضعیت پراکنش تأسیسات و زیرساخت‌ها بر مبنای این اصل هر دشمن فرضی را برای بمباران اهداف ناچار به استفاده از امکانات بسیار وسیع و صرف مدت طولانی برای حملات هوایی می نماید [۴۴]. هر چند تأسیسات صنعتی به‌صورت ثابت در نقطه‌ای مستقر می‌شود و انتظار تغییرات و تحولات دفعی از آن‌ها نمی‌رود، ولی انتقال تجهیزات حساس قابل حمل از محل اصلی به محل موقتی دارای شرایط امن‌تر از مصادیق پراکندگی است. همچنین وجود یک صنعت با طبقه‌بندی رده صنایع حساس و حیاتی و مهم در نزدیکی صنایع دیگر، آن را به هدفی جذاب برای دشمن مبدل نموده تا از طریق هدف قرار دادن آن، غیر مستقیم مراکز صنعتی دیگر را با پیامدهای ناشی از خسارات صنعت مزبور مواجه و به آن‌ها نیز آسیب وارد کند [۴۵]، بنابراین در استقرار صنایع همجواری می‌بایست مد نظر قرار گیرد.

موازی سازی سامانه‌های پشتیبانی وابسته: جدایی سامانه‌های حیاتی از یکدیگر و پیش‌بینی امکانات موازی و جایگزین متضمن ادامه فعالیت یک واحد صنعتی یا شهری در صورت از کار افتادن بخشی از آن است [۴۶]. این اصل موارد، عدم وابستگی پشتیبانی سامانه به یک نقطه (امکان تأمین پشتیبانی از نقطه دیگر در صورت آسیب به آن نقطه)، ایجاد وابستگی به پشتیبانی از یک نقطه به چند نقطه، ایجاد دسترسی پشتیبانی از یک مسیر به چند مسیر و برقراری امکان تأمین مواد، لوازم و تجهیزات پشتیبانی مورد نیاز از چند منبع به‌صورت موازی است [۴۷]. استفاده از ژنراتورهای اتوماتیک، پانل‌های خورشیدی، مخازن و پمپ‌های آب و امثال آن‌ها در صورت انهدام مراکز تأمین انرژی یا آب و یا آلودگی هوا از آن جمله است.

اعلام خبر (اعلام هشدار و خبر اولیه): یکی از اصول مهم پدافند غیرعامل و به معنای آگاهی و هشدار نسبت به وقوع بحران، تهدید و تهاجم دشمن است. سامانه‌های مختلف اعلام خطر سامانه PA، آژیر سیرن، سامانه‌های اعلام خبر صوتی بلندگو و آژیر، پیام‌ها و آگهی‌های هشدار دهنده هستند [۲۸]. اعلام خبر به موقع نسبت به قریب الوقوع بودن عملیات تعرضی، موجب آمادگی نیروهای خودی در برابر حملات دشمن، اجتناب از بروز خسارات و تلفات و یا کاهش به حداقل ممکن می‌شود. اعلام خطر در حوادث قهری طبیعی مانند زلزله بلافاصله پس از وقوع، و در مخاطرات انسان ساز به فاصله چند دقیقه، چند ساعت، چند روز و یا زمانی طولانی‌تر از آغاز جنگ یا دشمنی انجام می‌گیرد که در عدم غافل‌گیری و کاهش آسیب پذیری اهمیت وافر دارد [۴۸].

مدیریت بحران: مدیریت بحران علمی کاربردی است که با مشاهده مستمر و نظام‌مند بحران‌های پیشین و تجزیه و تحلیل آن‌ها، راه حل‌های پیشگیری از وقوع فجایع یا آمادگی مقابله با آن‌ها، کاهش آسیب‌پذیری و استمرار فعالیت‌های تولیدی، و بهبود اوضاع را در صورت وقوع بحران ارائه می‌دهد [۴۹]. اجزای اصلی مدیریت بحران مبتنی بر کاهش خسارات، آمادگی، واکنش، بازسازی و عادی سازی است. یعنی در صورت ایراد خسارت، قابلیت سریع بازسازی، احیاء و امکان تداوم فعالیت با سلول‌سازی اجزا و نیز طرح‌های مرمت و جایگزین داشته باشد [۴۵]. مهم‌ترین اصل مدیریت بحران، پیش‌بینی و آمادگی مقابله با بحران است که سبب کاهش هزینه‌های مربوط به مرحله حین و پس از بحران می‌شود [۵۰].

آموزش و پژوهش: ضلع دیگر ایجاد ایمنی و امنیت عمومی به‌صورت آموزش و همکاری همگانی تبلور می‌یابد. هر چند آموزش و پژوهش در مطالعات انجام شده، به جز منبع جزو اصول پدافند غیرعامل معرفی نشده است [۱]. اما در این تحقیق به نظر می‌رسد نقش آموزش پرسنل شاغل در صنایع و انجام پژوهش و اجرای طرح‌های تحقیقاتی نقش به سزایی در وضعیت استقرار صنایع و حفظ و کارکرد آن‌ها ایفاء نماید.

مطالعات مشابه داخلی عبارتست از:

رحیمی در پژوهشی با عنوان شناسایی نشانگرهای مرتبط با بعد استحکامات و سازه‌های امن به این نتیجه دست یافت که مهم‌ترین نشانگرهای این بخش شامل سازه‌های دفنی و نیمه دفنی تأسیسات زیربنایی شهری، استحکامات دفاعی ثابت، مقاوم‌سازی و پناهگاه‌های عمومی و خصوصی است [۵۱].

مدیری و همکاران در پژوهشی با عنوان شاخص‌های امنیت‌ساز پدافند غیرعامل در آمایش سرزمین به شناسایی نشانگرهای امنیت‌ساز پدافند غیرعامل در آمایش سرزمین پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که مکان‌یابی مناسب، مقاوم سازی، استفاده از عوارض طبیعی از مهم‌ترین عوامل امنیت‌ساز پدافند غیرعامل در آمایش سرزمین به شمار می‌روند [۵۲].

نکویی و همکاران در مقاله‌ای با عنوان احصای شاخص‌های آسیب‌پذیری مجموعه‌های صنعتی از منظر پدافند غیرعامل به شناسایی شاخص‌های آسیب‌پذیری مجموعه‌های صنعتی با استفاده از روش تحلیل محتوا و تاکسونومی عددی پرداختند. این پژوهشگران مدل تحلیلی طرح «آسیب‌پذیری عام صنعت» را با عناوین: ۱) ماهیت آمایشی صنعت (قابلیت دسترسی، تجمع صنعت، مجاورت با مراکز جمعیتی، مجاورت با مراکز صنعتی و مجاورت با منابع طبیعی)، ۲) ماهیت کالبدی صنعت (وضعیت معماری و سازه‌ای صنعت) و ۳) ماهیت شناسایی صنعت (خوانایی شکل هندسی، خوانایی تحرکات و خوانایی بصری-طیفی) را ترسیم کردند [۴۵].

روشندل در پژوهش خود در ارتباط با شناسایی نشانگرهای پدافند غیرعامل در بخش زیرساخت‌های شهری به این نتیجه دست یافت که وجود اقلام و تجهیزات استتار، سامانه‌های رعب و سامانه‌های پوششی در بعد تجهیزات لازم و ضروری می‌باشند [۵۳].

پژوهش دیگری توسط رازپور و همکاران با عنوان الگوی تبیین شاخص‌های دفاع غیرعامل در راستای کاهش آسیب‌پذیری شهری از طریق مستندسازی، منجر به شناسایی ابعاد و شاخص‌های دفاع غیرعامل شهری برای کاهش آسیب‌پذیری شهری حین بحران‌های نظامی در ۵ بُعد کالبدی (۲۰ شاخص)، شبکه زیرساختی و تسهیلات شهری (۵ شاخص)، اقتصادی و خدماتی (۲ شاخص)، اجتماعی و فرهنگی (۱ شاخص)، مدیریت شهری (۶ شاخص) و نظامی (۱ شاخص) گردید [۵۴].

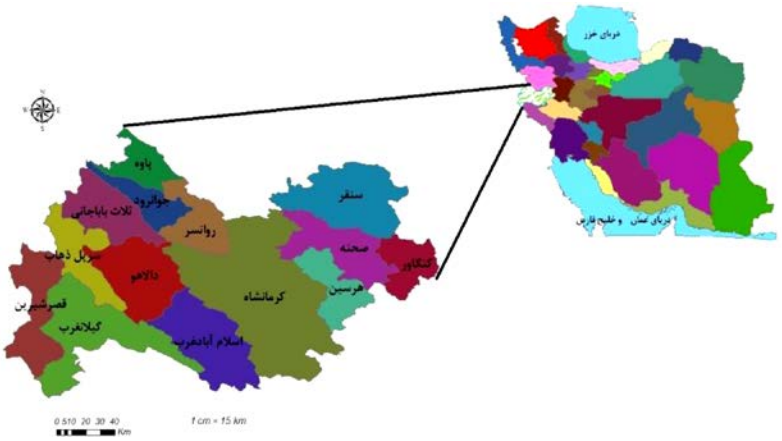
جعفری‌زاده و حمزه در پژوهشی با عنوان شاخص‌سازی پدافند غیرعامل از منظر زیرساختی در فضای شهری، به شناسایی مؤلفه‌های حوزه پدافند غیرعامل شهری اقدام نموده و ابعاد، مؤلفه‌ها و نشانگره‌های تأثیرگذار در آن را معرفی کردند. بر این اساس مؤلفه‌های این حوزه "اداره پدافند غیرعامل شهری، فناوری، دانش و فنون، زیرساخت پشتیبانی و طرح و برنامه‌ریزی ابعاد پدافند غیرعامل شهری و همچنین ساختار سازمانی، مدیریت و رهبری، سرمایه انسانی، راهبردها و سیاست‌ها، فناوری نوین، دانش، پژوهش و نوآوری، تجهیزات پدافند غیرعامل شهری، استحکامات و سازه‌های پدافند غیرعامل شهری، اعتبارات، اجرای طرح‌ها، کنترل و ارزیابی" تعیین گردیدند [۵۵].

جعفری‌زاده و حمزه در پژوهشی مشابه دیگری در همین راستا در مطالعه خود به مؤلفه‌سازی پدافند غیرعامل شهری در مقابله با تهدیدات آینده پرداختند و ابعاد، مؤلفه‌ها و نشانگرهای تأثیرگذار در آن را معرفی نموده‌اند. طبق یافته‌های این دو محقق، نشانگرهای مؤلفه تجهیزات پدافند غیرعامل شهری "سامانه‌های اعلام خطر و هشدار، تجهیزات مهندسی، تجهیزات تخلیه و اسکان اضطراری، سامانه‌های پوششی و مولد دود، تجهیزات آماد اضطراری، اقلام و تجهیزات استتار، سامانه دفاع سایبری، سامانه اطلاعات جغرافیایی، و سامانه‌های رعب"، نشانگرهای مؤلفه استحکامات و سازه‌های امن پدافند غیرعامل شهری "سازه‌های دفنی و نیمه دفنی تأسیسات زیربنایی شهری، سازه‌های زیرساختی، پناهگاه‌های عمومی، استحکامات دفاعی ثابت، پناهگاه‌های خصوصی، استحکامات صحرایی اضطراری، و مقاوم سازی"، نشانگرهای مؤلفه اعتبارات "حوزه مهندسی و سازه امن، حوزه تجهیزات و اقلام، حوزه تمرین‌های تخصصی و رزمایش‌ها، حوزه عملیاتی و اجرایی، حوزه آموزش، و حوزه پژوهش"، مؤلفه‌های بُعد زیرساخت پشتیبانی "تجهیزات پدافند غیرعامل شهری، زیرساخت پشتیبانی، اعتبارات و استحکامات و سازه‌های پدافند غیرعامل شهری" را تشکیل داده و ۲۲ نشانگر تأثیرگذار را در خصوص مؤلفه‌های ارائه شده مشخص نمودند [۱]. همان‌طور که گفته شد و جمع‌بندی مطالعات گذشته نیز نشان می‌دهد در ارتباط با پدافند غیرعامل پژوهش‌های مختلفی انجام شده است اما در ارتباط با پدافند غیرعامل در بخش کشاورزی و به خصوص نشانگرهای پدافند غیرعامل در استقرار صنایع کشاورزی تاکنون پژوهش و مطالعه‌ای انجام نشده است، بنابراین برای نخستین بار در پژوهش حاضر به شناسایی و اعتبارسنجی نشانگرهای پدافند غیرعامل در استقرار صنایع کشاورزی در استان کرمانشاه پرداخته شده است.

نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند به‌عنوان یک زیرساخت مطالعاتی و مرز علمی برای سایر پژوهش‌های مشابه علمی واقع شود و برای سازمان‌ها، ادارات و نهادهایی نظیر وزارت جهاد کشاورزی و سازمان صنعت، معدن و تجارت و پژوهش‌های علمی آینده مفید و مثمر ثمر واقع گردد.

۳- منطقه مورد مطالعه

استان کرمانشاه با جمعیتی بیش از دو میلیون نفر سیزدهمین استان پرجمعیت و مساحت ۲۵۰۴۱ کیلومترمربع هجدهمین استان وسیع کشور است [۵۶]. این استان با مرکزیت شهر کرمانشاه در میانه ضلع غربی کشور بین مدار جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۱۸ دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۴۵ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۷ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته و از شمال به استان کردستان، از جنوب به استان‌های لرستان و ایلام، از شرق به استان همدان و از غرب به کشور عراق محدود می‌شود [۵۷].ارتفاع متوسط استان از سطح دریاهای آزاد حدود ۱۲۰۰ متر است. استان کرمانشاه به ۱۴ شهرستان، ۳۱ بخش، ۳۲ شهر و ۸۶ دهستان تقسیم شده است [۵۸].



شکل (۲). موقعیت محدوده مورد مطالعه (شهرستان‌های استان کرمانشاه)

استان کرمانشاه به لحاظ سیاسی (مرکزیت غرب کشور، مسیر مواصلاتی شمال غرب، مرکز، شمال و جنوب)، امنیتی (یکی از ۵ استان هم مرز با دولت مرکزی عراق و اقلیم خودمختار منطقه‌ای کردستان: مرز نسبتاً طولانی ۳۷۱ کیلومتری، سابقه تهاجم در جنگ ۸ ساله) [۵۸]، اقتصادی (حدود ۵۰ درصد صادرات کشور) [۵۹]، ۳ مرز رسمی و ۵ بازارچه مرزی همجوار با عراق [۶۰]، کارخانجات و صنایع متعدد پالایشگاه نفت کرمانشاه، نیروگاه حرارتی، پتروشیمی، سیمان، کاشی، قند، روغن، و ...)، کشاورزی (۹۴۸ هزار هکتار اراضی کشاورزی (۲۶/۵۹٪ آبی و ۷۳/۴۱٪ دیم)، رتبه‌های برتر تولید برخی محصولات مهم زراعی در سطح ملی و فرهنگی - اجتماعی (تنوع قومی، زبانی و مذهبی)، نقش بالایی از تأثیرپذیری و تأثیرگذاری در کشور ایفاء می‌کند [۶۱]. صنایع کشاورزی این استان به تعداد ۳۵۱ واحد با ظرفیت تولید سالانه حدود ۴/۵ میلیون تن و اشتغال بیش از ۴ هزار و ۵۰۰ نفر در زیربخش‌های مختلف زراعی، دامی، باغی و شیلاتی فعالیت دارند [۶۲]. صنایع موجود در استان به تفکیک نوع محصول مصرفی شامل صنایع زراعی (گوجه فرنگی: کارخانه تولید رب، چغندرقند: کارخانه قند، کلزا: کارخانه تصفیه روغن نباتی، سیب درختی: کارخانه شهد سیب، زیتون: کارخانه فرآوری، گندم: کارخانه آرد، ذرت: واحد ذرت خشک کنی، سویا و ذرت: کارخانه خوراک دام و طیور، قارچ: کارخانه تولید قارچ خوراکی، واحد صنعتی تولید میوه خشک و چیپس میوه و تولید چیپس هندوانه و...) و صنایع دامی (شیر و فرآورده‌های لبنی: صنایع فرآوری لبنیات، کشتارگاه‌های دام و طیور و صنایع فرآوری گوشت، سایر فرآورده‌های دامی: کارخانه چرم و...) هستند که باعث رونق کشاورزی و بالا رفتن سطح اشتغال در منطقه گردیده و تأثیر به سزایی در توسعه اقتصادی منطقه داشته است. صنایع کشاورزی عمده استان شامل یک واحد تصفیه روغن نباتی به ظرفیت ۹۵۰ هزار تن، دو واحد قند و شکر به ظرفیت ۱۴۵ هزارتن، سه واحد تولید رب گوجه فرنگی به ظرفیت ۶۰ هزارتن، ۱۶ کارخانه تولید انواع لبنیات به ظرفیت ۴۶۰ هزارتن و... است که در جدول (۱) مشخصات مربوطه ذکر شده است.

جدول (۱): واحدهای مهم صنعتی کشاورزی استان کرمانشاه

ردیف	واحد صنعتی	محصول تولیدی	ظرفیت سالیانه	اشتغال (نفر)	محل استقرار
۱	قند بیستون	قند و شکر	۹۶/۵ هزارتن	۳۲۵	بیستون
۲	قند اسلام آباد غرب	قند و شکر	۴۸/۶ هزارتن	۱۳۲	اسلام آباد غرب
۳	تعاونی ۱۲۱ – بهار دالاهو مانیزان	دامی و لبنی	۴۸ هزار تن	۱۷۸	اسلام آباد غرب
۴	شیر بیستون	دامی و لبنی	۲۰/۹ هزار تن	۹۸	بیستون
۵	مجتمع کشت و صنعت ماهیدشت	تصفیه انواع روغن نباتی	۹۵۹ هزارتن	۱۱۵۰	کرمانشاه (ماهیدشت)
۶	مجتمع کشت و صنعت روژین تاک	رب گوجه فرنگی	۴۰ هزارتن	۳۳۵	کرمانشاه (سرابله)
۷	خوراک دام و طیور روانسر	دامی و لبنی	۱۲۴ هزارتن	۹۳	کرمانشاه (روانسر)
جمع			۳۷۸ هزارتن	۲۳۱۱	

(منبع: اداره طرح و برنامه‌ریزی سازمان صنعت، معدن و تجارت استان کرمانشاه)

بنابراین با توجه به موقعیت استراتژیکی خاص استان و وجود و اهمیت صنایع مختلف در آن، همچنین با احساس غفلت از حلقه مفقوده -پدافند غیرعامل- در زنجیره ارتباطی بین صنایع کشاورزی و قابلیت‌های بی‌شمار توسعه کشاورزی استان، مانند: لرزه خیزی، سیل خیز بودن، نوسانات آب و هوایی، عدم رعایت دقیق قوانین ساخت و ساز، قدیمی بودن تأسیسات و... موضوع شناسایی و اعتبارسنجی نشانگرهای ارزیابی پدافند غیرعامل در صنایع کشاورزی استان دارای اهمیت ویژه می‌باشد.

۴- روش پژوهش

در این پژوهش از روش شناسی ترکیبی (کیفی- کمی) متوالی و با توجه به اهداف و شیوه آن از طرح‌های اکتشافی و از مدل تدوین ابزار (تدوین پرسشنامه با رویکرد گراندد تئوری) استفاده شده است. جامعه بخش کیفی پژوهش افراد خبره، آشنا به پدافند غیرعامل و صنایع کشاورزی بودند که به روش نمونه‌گیری هدفمند و از نوع گلوله برفی انتخاب شدند، مصاحبه با ۱۴ نفر از آن‌ها انجام شد، معیار کفایت مصاحبه‌ها آستانه سودمندی با استفاده از تحلیل عاملی تشخیصی بود. تحلیل اطلاعات در این بخش بر اساس دو مرحله (کدگذاری باز و محوری) تئوری بنیانی انجام شد [۶۳].

به‌منظور احراز اعتبار بخش کیفی تحقیق از معیار اعتماد پذیری یا قابلیت اعتماد استفاده شده است. گوبا و لینکلن[1] سنجش روایی و پایایی پژوهش کیفی را به تناسب اهداف از چهار معیار اعتبارپذیری[2]، انتقال‌پذیری[3]، تأییدپذیری[4] و اطمینان‌پذیری[5] می‌دانند [۶۴ و ۶۵]. در این پژوهش از دو روش بازبینی مشارکت کنندگان و مرور کارشناسان غیر شرکت کننده در پژوهش استفاده شد. سپس از تحلیل محتوا به‌عنوان روشی برای تبدیل داده‌های متنی پراکنده و متنوع به داده‌هایی غنی و شناخت، تحلیل و گزارش الگوهای موجود در داده‌های کیفی مبتنی بر کدگذاری داده بنیاد استراوس و کوربین[6] استفاده گردید [۶۶-۶۸]. کدگذاری به فرآیندی از تحلیل اشاره دارد که از خلال آن، مفاهیم تشخیص داده می‌شوند و ابعاد آن‌ها در داده‌ها کشف می‌شود [۶۹].

در مرحله کدگذاری باز پس از پیاده‌سازی مصاحبه‌های ضبط شده مطالب به شیوه خط به خط بررسی شدند و به هر جمله جداگانه یک کد داده شد حاصل این مرحله شناسایی ۹۶ نشانگر بود. پس از شناسایی نشانگرها در مرحله کیفی، بخش کمی پژوهش در راستای اعتباربخشی بخش کیفی انجام شد. به‌طوری که به استناد مطالعات میدانی و مصاحبه‌های انجام شده و نیز تحلیل محتوا، پرسشنامه محقق ساخته از نوع نگرش سنجی در مقیاس ده‌تایی مبتنی بر۹۶ نشانگر شناسایی شده در ابعاد ۹ گانه تهیه و تدوین گردید. پاسخ دهندگان به هر یک از نشانگرها در قالب گویه‌های پرسشنامه بر حسب میزان اهمیت، عدد یک تا ده را اختصاص دادند [۷۰]. در پژوهش حاضر به‌منظور تعیین اعتبار ابزار اندازه‌گیری و حصول اطمینان از روایی محتوایی آن، از میزان توافق چند صاحب‌نظر و متخصص درباره پرسشنامه استفاده شد. بدین گونه که پرسشنامه در اختیار اساتید و صاحب‌نظران قرار گرفت و با پیروی از نقطه نظرات آنان، اعتبار پرسشنامه مجدد مورد سمجش قرار گرفت، به‌منظور اطلاع از پایایی پرسشنامه از آزمون آلفای کرونباخ استفاده گردید. نتایج این آزمون α=۰/۸۷ به‌دست آمد که بیانگر میزان پایایی بالای پرسشنامه بود.

جامعه آماری بخش کمی پژوهش، خبرگان پدافند غیرعامل آشنا به صنایع کشاورزی به تعداد ۳۰ نفر بودند که با توجه به کوچک بودن حجم جامعه، محدودیت تعداد آن‌ها و نیز افزایش دقت و صحت نتایج، از تمام شماری استفاده شد و پرسشنامه در بین تمامی ۳۰ نفر صاحب‌نظر و خبره توزیع گردید.

برای سنجش نشانگرها و روابط آن‌ها، در این مطالعه از معادلات ساختاری مرتبه دوم استفاده شد. کم بودن تعداد افراد جامعه آماری، ماهیت اکتشافی پژوهش و زیاد بودن سؤال‌ها، منجر به تصمیم در استفاده از روش حداقل مربعات جزئی یا همان Smart PLS نسخه ۳ شد [۷۱].

۵- نتایج و بحث

۵-۱- ویژگی‌های فردی و حرفه‌ای پاسخگویان

بررسی ویژگی فردی و حرفه‌ای پاسخگویان نشان داد که تمامی پاسخگویان مرد بودند. بیشترین بازه سنی نمونه را ۴۱ تا ۵۰ سال تشکیل داده است (۱۶ نفر). همچنین بیشترین سابقه خدمتی مربوط به افراد بالای ۲۵ سال بودند (۱۴ نفر). افراد با مدرک دکتری با ۸۰ درصد بیشترین فراوانی را داشتند. بررسی وضعیت شغلی پاسخگویان نیز نشان داد که ۴۵ درصد نمونه آماری مورد تحقیق از اعضای هیئت علمی مراکز تحقیقاتی بودند.

۵-۲- رتبه‌بندی نشانگرهای پدافند غیرعامل

پس از شناسایی و دسته‌بندی نشانگرهای پدافند غیرعامل در استقرار صنایع کشاورزی، در مرحله بعدی این بخش از تحقیق بر اساس پاسخ‌های جمع آوری شده در محیط نرم‌افزار $spss_{win20}$، رتبه‌بندی نشانگرها با استفاده از آزمون فریدمن انجام شد که نتایج آن (به‌صورت نزولی) در جداول۲، ۳و۴ ارائه شده است. اولویت‌بندی نشانگرهای مرتبط با ابعاد سازگاری مکانی، ایمنی، پراکندگی و موازی‌سازی بر اساس آزمون فریدمن در جدول (۲) ارائه شده است.

[1] Guba & Lincoln
[2] Credibility
[3] Transferability
[4] Confirmability
[5] Trustworthiness
[6] Strauss and Corbin

جدول (۲): رتبه‌بندی نشانگرهای مرتبط با ابعاد سازگاری مکانی، ایمنی، پراکندگی و موازی سازی

نشانگر / بعد	سازگاری مکانی	ایمنی	پراکندگی	موازی سازی
فاصله از خطوط انتقال آب	۹/۸۶			
فاصله از محل تأمین مواد اولیه	۹/۸۲			
فاصله از شبکه حمل و نقل، راه‌ها و محورهای مواصلاتی	۹/۷۵			
فاصله از خطوط انتقال برق	۹/۶۶			
فاصله از خطوط انتقال گاز	۸/۶۴			
فاصله از مراکز تجمع فعالیت‌های اقتصادی و صنعتی موجود	۸/۱۴			
دسترسی به نیروی کار	۷/۵۹			
امکان توسعه ظرفیت و تنوع	۷/۵۸			
کیفیت بافت خاک	۶/۷۷			
فاصله از سد و پهنه‌های آبی	۶/۱۸			
فاصله از مراکز جمعیتی روستایی و شهری	۵/۷۷			
فاصله از چاه‌ها و قنوات	۵/۵۵			
فاصله از رودخانه‌ها، آب‌های سطحی و...	۵/۴۱			
جهات شیب زمین و توپوگرافی	۲/۹۱			
فاصله از مسیر سیل/ مناطق سیل خیز		۶/۷۰		
فاصله نسبت به خطوط گسل/ زمین لغزش		۵/۹۰		
فاصله از مراکز خطرآفرین: مواد شیمیایی، زاغه‌های مهمات، پمپ بنزین، پست برق		۵/۶۰		
همجواری با مراکز حساس، مهم وحیاتی		۵/۵۰		
فاصله از مراکز نظامی و انتظامی		۴/۷۶		
فاصله از مرزهای جغرافیایی کشور		۴/۴۵		
فاصله از مراکز آتش نشانی		۴/۴۳		
فاصله از نقاط نشانگر ناوبری (جاده اصلی، اتوبان، خط آهن و ...)		۴/۲۵		
فاصله از مناطق مسکونی و مراکز شهری		۳/۴۰		
اجتناب از تجمیع عملکردهای حیاتی و حساس در کنار یکدیگر			۴/۹۵	
کاهش طول شبکه‌های زیرساختی برای آسیب‌پذیری کمتر			۴/۷۱	
فاصله از مراکز صنعتی			۴/۵۳	
ایجاد تأسیسات پراکنده و کوچک به جای تأسیسات بزرگ			۳/۸۵	
پیش‌بینی سامانه‌های پشتیبانی به‌صورت موازی و جایگزین				۴/۳۰
دو یا چند منظوره کردن فضای عمومی ساخت پناهگاه و تونل مشترک تأسیسات زیرزمینی				۴/۱۵
امکان استفاده از پانل‌های خورشیدی با توجه به ساعات آفتابی				۳/۷۵

در بررسی پاسخ‌های ارائه شده توسط صاحب‌نظران، از بین ۱۴ نشانگر تعریف شده مرتبط با بعد سازگاری مکانی، نشانگرهای فاصله از خطوط انتقال آب، فاصله از محل تأمین مواد اولیه و فاصله از شبکه حمل و نقل، راه‌ها و محورهای مواصلاتی در رتبه‌های اول تا سوم قرار دارند. اما سه نشانگر جهات شیب زمین و توپوگرافی، فاصله از رودخانه‌ها، آب‌های سطحی و فاصله از چاه‌ها و قنوات با کمترین میانگین در رتبه‌های آخر اهمیت قرار دارند. همچنین در بررسی پاسخ‌های ارائه شده توسط صاحب‌نظران، در بین ۹ نشانگر تعریف شده مرتبط با بعد ایمنی، فاصله از مسیر سیل/ مناطق سیل خیز، فاصله نسبت به خطوط گسل/ زمین لغزش و فاصله از مراکز خطرآفرین: مواد شیمیایی، زاغه‌های مهمات، پمپ بنزین، پست برق و... در بالاترین درجه اهمیت قرار دارند. در بررسی پاسخ‌های ارائه شده توسط صاحب‌نظران، برای بعد پراکندگی و کوچک‌سازی که دارای ۴ نشانگر است. بر اساس میانگین رتبه‌ای نشانگرهای اجتناب از تجمیع عملکردهای حیاتی و حساس در کنار یکدیگر، کاهش طول شبکه‌های زیرساختی و فاصله از مراکز صنعتی در رتبه‌های اول تا سوم قرار دارند. اولویت‌بندی بعد موازی سازی با سه نشانگر نیز بر اساس میانگین به ترتیب ارائه شده است.

مقاوم‌سازی، استحکامات و سازه‌های امن بعد دیگری از پدافند غیرعامل در استقرار صنایع کشاورزی است که دارای ۲۳ نشانگر است، اولویت نشانگرهای این بعد بر اساس آزمون فریدمن

نشان می‌دهد که مهم‌ترین نشانگرها شامل سازه‌های تأسیسات زیربنایی دفنی و نیمه دفنی، سازه‌های زیرساختی و استحکامات و سازه‌های بتونی و طراحی تأسیسات با قدرت مرمت‌پذیری می‌باشند، اما سه نشانگر استقرار در تراز صفر، نسبت ارتفاع به عرض (طبقات) و کامپوزیت مرتبط با بعد مقاوم سازی، استحکامات و سازه‌های امن در استقرار صنایع کشاورزی دارای اهمیت کمی هستند. بعد دیگر پدافند غیرعامل در استقرار صنایع کشاورزی استتار، اختفاء، فریب و پوشش با ۷ نشانگر است که اولویت‌بندی نشانگرها شان می‌دهد که سه نشانگر استفاده از تکرار، یکسان سازی نماها از نظر بافت، رنگ و فرم طراحی ساختمان‌ها برای استتار ساختمان‌های مهم از دید و حملات هوایی دشمن، استفاده از شکاف‌های طبیعی، پرتگاه، دره‌های گسله، شیارها، ارتفاعات، عوارض طبیعی، پوشش زیرزمینی، درون تونل‌ها و... و استقرار صنعت در پناه عوارض و شکل محیط برای همرنگی و هماهنگی با محیط طبیعی کوهستانی، کویری، جنگلی، روستایی و شهری دارای بیشترین اهمیت در این بعد می‌باشند (جدول (۳)).

جدول (۳): رتبه‌بندی نشانگرهای مرتبط با ابعاد مقاوم‌سازی، استحکامات و سازه‌های امن و استتار، اختفاء، فریب و پوشش (آفاپ)

نشانگر / بعد	مقاوم‌سازی و استحکامات	استتار، اختفاء، فریب و پوشش (آفاپ)
سازه‌های تأسیسات زیربنایی دفنی و نیمه دفنی	۹/۸۶	
سازه‌های زیرساختی و استحکامات و سازه‌های بتونی	۹/۷۵	
طراحی تأسیسات با قدرت مرمت پذیری	۹/۶۳	
اسکلت فلزی با پوشش‌های مقاومی از بتن	۹/۶۱	
نوع مصالح ساختمان	۸/۷۷	
دسترسی به راهرو و پلکان	۸/۷۱	
کیفیت ابنیه ساختمان	۸/۵۵	
عمر ابنیه ساختمان	۸/۴۰	
قرارگیری بخش‌های حیاتی در زیرزمین	۷/۴۷	
استقرار پایین‌تر از سطح زمین	۷/۳۱	
تراکم مطلوب ساختمانی	۷/۲۵	
قرارگیری فضای اصلی در میانه ساختمان	۶/۲۲	
دال بتنی	۶/۰۹	
استقرار بالاتر از سطح زمین	۵/۹۴	
نحوه اتصال	۵/۸۷	
جنس شیشه	۵/۶۷	
جنس مصالح نما	۵/۴۴	
تیرچه بلوک	۵/۱۶	
نوع و جنس پنجره	۴/۸۶	
نسبت طول به عرض (مساحت)	۴/۵۶	
کامپوزیت	۴/۵۲	
نسبت ارتفاع به عرض (طبقات)	۳/۴۷	
استقرار در تراز صفر	۳/۴۱	
استفاده از تکرار، یکسان سازی نماها از نظر بافت و رنگ و فرم طراحی ساختمان‌ها		۶/۱۱
استفاده از شکاف‌های طبیعی، پرتگاه، دره‌های گسله، شیارها، ارتفاعات، عوارض طبیعی و پوشش		۵/۷۸
استقرار صنعت در پناه عوارض و شکل محیط برای همرنگی و هماهنگی با محیط طبیعی		۵/۶۷
ایجاد موانع بصری و پنهان سازی در سایه‌های طبیعی و مصنوعی فضای سبز برای همگون سازی		۵/۲۲
عدم ایجاد تأسیسات کنار نشانه‌ها: بزرگراه‌ها، جاده‌های اصلی، رودخانه‌ها،دکل‌های فشار قوی		۴/۶۱
سامانه‌های پوششی و مولد دود		۴/۰۶
عدم ایجاد تأسیسات در دشت‌های بدون عارضه، مسطح و هموار		۳/۵۶

اولویت‌بندی ۸ نشانگر بعد اعلام خطر، هشدار و تجهیزات بر اساس میانگین رتبه‌ای آزمون فریدمن نشان می‌دهد که مهم‌ترین نشانگرهای این بعد، تجهیز سامانه‌های اعلام خطر و هشدار در مراکز خطر پذیر، استقرار سامانه‌های هوشمند اعلان و اطفای حریق و تجهیزات مهندسی هستند. اولویت‌بندی نشانگرهای مهم مدیریت بحران با ۳ نشانگر، و آموزش و پژوهش با ۶ نشانگر نیز بر اساس میانگین رتبه‌ای در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول (۴): رتبه‌بندی نشانگرهای مرتبط با بعد اعلام خطر، هشدار و تجهیزات، مدیریت بحران، و آموزش و پژوهش

نشانگر / بعد	اعلام خطر، هشدار و تجهیزات	مدیریت بحران	آموزش وپژوهش
تجهیز سامانه‌های اعلام خطر و هشدار در مراکز خطرپذیر	۶/۱۱		
استقرار سامانه‌های هوشمند اعلان و اطفای حریق	۶/۰۵		
تجهیزات مهندسی	۵/۴۴		
پناهگاه‌های امن	۴/۲۷		
نزدیکی به کاربری‌های امدادی (مراکز مدیریت بحران و درمانی)	۴/۲۲		
تجهیزات تخلیه و اسکان اضطراری	۳/۸۳		
تجهیزات پزشکی و مددکاری اضطراری	۳/۷۸		
تجهیزات آماد اضطراری	۳/۲۸		
طرح پیشگیری (قبل از بحران)		۲/۴۵	
طرح واکنش اضطراری		۱/۹۵	
طرح از سرگیری فعالیت کاری		۱/۶۰	
طرح‌های پژوهشی			۴/۵۶
دوره‌های تخصصی مدیران و کارکنان			۴/۲۸
دوره‌های خودحفاظتی			۳/۴۴
کارگاه آموزشی			۴/۳۹
بهره مندی از فارغ التحصیلان دانشگاهی پ. غ. ع			۲/۶۷
همایش‌های علمی و تخصصی			۲/۶۱

۵-۳- ضرایب بار عاملی نشانگرها نسبت به ابعاد

به‌منظور اعتبارسنجی نشانگرهای پدافند غیرعامل در استقرار صنایع کشاورزی از روش تحلیل مسیر با استفاده نرم‌افزار Smart pls استفاده شد. مقدار بار عاملی بین صفر و یک است، چنانچه بار عاملی کمتر از ۰/۳ باشد رابطه ضعیف است و از آن صرف نظر می‌شود، بار عاملی بین ۰/۳ تا ۰/۶ قابل قبول است و چنانچه بار عاملی بزرگ‌تر از ۰/۶ باشد مطلوب و قابل قبول است [۷۲]. در جدول (۵) بارهای عاملی مرتبط با نشانگرهای ابعاد سازگاری مکانی، ایمنی، پراکندگی و موازی‌سازی نشان داده شده، همان‌طور که اطلاعات جدول نشان می‌دهد تمامی نشانگرها دارای مقدار قابل قبول بارعاملی هستند.

جدول (۵): مقدار بار عاملی نشانگرهای مرتبط با ابعاد سازگاری مکانی، امنیت و ایمنی، پراکندگی، موازی‌سازی

نشانگر / بعد	سازگاری مکانی	ایمنی	پراکندگی	موازی سازی
فاصله از خطوط انتقال آب	۰/۷۴۴			
فاصله از محل تأمین مواد اولیه	۰/۷۲۸			
فاصله از شبکه حمل و نقل، راه‌ها و محورهای مواصلاتی	۰/۷۹۴			
فاصله از خطوط انتقال برق	۰/۷۵۲			
فاصله از خطوط انتقال گاز	۰/۵۵۳			
فاصله از مراکز تجمع فعالیت‌های اقتصادی و صنعتی موجود	۰/۵۷۱			
دسترسی به نیروی کار	۰/۶۸۰			
امکان توسعه ظرفیت و تنوع صنایع جانبی	۰/۶۹۴			
کیفیت بافت خاک	۰/۸۹۶			
فاصله از سد و پهنه‌های آبی	۰/۷۳۷			
فاصله از مراکز جمعیتی روستایی و شهری	۰/۵۹۲			
فاصله از چاه‌ها و قنوات	۰/۵۴۷			
فاصله از رودخانه‌ها،آب‌های سطحی و...	۰/۵۲۲			
جهات شیب زمین و توپوگرافی	۰/۳۹۲			
فاصله از مسیر سیل/ مناطق سیل خیز		۰/۸۰۱		
فاصله نسبت به خطوط گسل/ زمین لغزش		۰/۷۳۶		
فاصله از مراکز سوخت خطرآفرین: مواد شیمیایی، زاغه‌های مهمات، پمپ بنزین، برق		۰/۵۳۹		
همجواری با مراکز حساس، مهم و حیاتی		۰/۵۶۸		
فاصله از مراکز نظامی و انتظامی		۰/۵۹۵		
فاصله از مرزهای جغرافیایی کشور		۰/۶۲۱		
فاصله از مراکز آتش نشانی		۰/۵۶۳		
فاصله از نقاط نشانگر ناوبری (جاده اصلی، اتوبان، خط آهن و ...)		۰/۷۹۸		
فاصله از مناطق مسکونی و مراکز شهری		۰/۹۲۴		
اجتناب از تجمیع عملکردهای حیاتی و حساس در کنار یکدیگر			۰/۸۹۵	
کاهش طول شبکه‌های زیرساختی برای آسیب پذیری کمتر			۰/۸۲۷	
فاصله از مراکز صنعتی			۰/۸۶۲	
ایجاد تأسیسات پراکنده و کوچک به جای تأسیسات بزرگ			۰/۸۴۰	
پیش‌بینی سامانه‌های پشتیبانی به‌صورت موازی و جایگزین				۰/۷۴۱
دو یا چند منظوره کردن فضاهای عمومی برای ساخت پناهگاه، ساخت تونل مشترک				۰/۸۳۹
امکان استفاده از پانل‌های خورشیدی با توجه به ساعات آفتابی				۰/۸۲۸

مقدار بارعاملی نشـانگرهـای مـرتبط بـا ابعـاد مقـاوم‌سـازی، استحکامات و سازه‌های امن، و استتار، اختفاء، فریب و پوشش در جدول (۶) ارائه شده است، نتایج نشان مـی‌دهـد کـه ۲۳ نشـانگر مرتبط با بعد مقـاوم‌سـازی، اسـتحکامات و سـازه‌هـای امـن، و ۷ نشانگر بعد استتار، اختفاء، فریب و پوشش (آفاپ) از لحاظ میـزان بارهای عاملی در سطح مطلوب و مناسبی قرار دارند و مورد تأیید می‌باشند.

جدول (۶): مقدار بار عاملی نشانگرهای مرتبط با ابعاد مقاوم‌سازی، استحکامات و استتار، اختفاء، فریب و پوشش (آفاپ)

نشانگر / بعد	مقاوم‌سازی و استحکامات	استتار، ء، فریب و پوشش (آفاپ)
سازه‌های تأسیسات زیربنایی دفنی و نیمه دفنی	۰/۹۰۸	
سازه‌های زیرساختی و استحکامات و سازه‌های بتنی	۰/۸۸۰	
طراحی تأسیسات با قدرت مرمت پذیری	۰/۸۱۹	
اسکلت فلزی با پوشش‌های مقاومی از بتن	۰/۸۲۳	
نوع مصالح ساختمان	۰/۸۳۵	
دسترسی به راهرو و پلکان	۰/۵۷۶	
کیفیت ابنیه ساختمان	۰/۹۱۶	
عمر ابنیه ساختمان	۰/۸۵۸	
قرارگیری بخش‌های حیاتی در زیرزمین	۰/۷۲۹	
استقرار پایین‌تر از سطح زمین	۰/۷۴۰	
تراکم مطلوب ساختمانی	۰/۹۳۸	
قرارگیری فضای اصلی در میانه ساختمان	۰/۴۵۰	
دال بتنی	۰/۶۶۲	
استقرار بالاتر از سطح زمین	۰/۸۶۷	
نحوه اتصال	۰/۷۷۰	
جنس شیشه	۰/۷۴۵	
جنس مصالح نما	۰/۷۵۲	
تیرچه بلوک	۰/۴۹۵	
نوع و جنس پنجره	۰/۸۳۵	
نسبت طول به عرض (مساحت)	۰/۸۳۵	
کامپوزیت	۰/۵۵۶	
استقرار در تراز صفر	۰/۴۷۱	
نسبت ارتفاع به عرض (طبقات)	۰/۷۶۱	
استفاده از تکرار، یکسان سازی نماها از نظر بافت و رنگ و فرم طراحی ساختمان‌ها		۰/۷۰۱
استفاده از شکاف‌های طبیعی، پرتگاه، دره‌های گسله، شیارها، ارتفاعات، عوارض طبیعی، پوشش		۰/۷۱۱
استقرار صنعت در پناه عوارض و شکل محیط برای همرنگی و هماهنگی با محیط طبیعی		۰/۸۰۳
ایجاد موانع بصری و پنهان سازی در سایه‌های طبیعی و مصنوعی فضای سبز برای همگون سازی		۰/۸۰۶
عدم ایجاد تأسیسات کنار نشانه‌ها: بزرگراه‌ها، جاده‌های اصلی، رودخانه‌ها،دکل‌های فشار قوی		۰/۵۳۶
سامانه‌های پوششی و مولد دود		۰/۷۱۱
عدم ایجاد تأسیسات در دشت‌های بدون عارضه، مسطح و هموار		۰/۸۲۱

در جدول (۷) بارهای عاملی مرتبط با نشانگرهای اعلام خطر، هشدار و تجهیزات، مدیریت بحـران، و آمـوزش و پـژوهش نشـان داده شده است، محاسبه بارهای عاملی نشانگرهای این ابعاد نشان دهنده مقدار مطلوب و مناسب آن‌ها می‌باشد.

جدول (۷): مقدار بار عاملی نشانگرهای مرتبط با ابعاد اعلام خطر، هشدار و تجهیزات، مدیریت بحران، و آموزش و پژوهش

نشانگر / بعد	اعلام خطر، هشدار و تجهیزات	مدیریت بحران	آموزش و پژوهش
تجهیز سامانه‌های اعلام خطر و هشدار در مراکز خطرپذیر	۰/۸۷۰		
استقرار سامانه‌های هوشمند اعلان و اطفای حریق	۰/۸۸۸		
تجهیزات مهندسی	۰/۶۷۵		
پناهگاه‌های امن	۰/۹۱۲		
نزدیکی به کاربری‌های امدادی (مراکز مدیریت بحران و درمانی)	۰/۴۴۴		
تجهیزات تخلیه و اسکان اضطراری	۰/۸۰۲		
تجهیزات پزشکی و مددکاری اضطراری	۰/۹۲۲		
تجهیزات آماد اضطراری	۰/۶۶۶		
طرح پیشگیری (قبل از بحران)		۰/۹۶۰	
طرح واکنش اضطراری		۰/۹۹۰	
طرح از سرگیری فعالیت کاری		۰/۹۷۸	
طرح‌های پژوهشی			۰/۴۲۱
دوره‌های تخصصی مدیران و کارکنان			۰/۹۵۹
دوره‌های خودحفاظتی			۰/۹۵۲
کارگاه آموزشی			۰/۹۲۶
بهره مندی از فارغ التحصیلان دانشگاهی پ. غ. ع			۰/۷۴۰
همایش‌های علمی و تخصصی			۰/۴۹۴

۵-۴- بررسی میزان معناداری ضرایب مسیر نشانگرها بر ابعاد مربوطه

برای بررسی میزان معنادار بودن ضریب مسیر (تأثیر هر نشانگر بر بُعد و معنادار بودن آن) لازم است که ضرایب معناداری z یا همان مقادیر t-value هر مسیر در محیط نرم‌افزارPLS محاسبه گردد. چنانچه مقدار t بیش از سطح معناداری ۱/۹۶ باشد در سطح ۰/۰۰۵ معنی‌داری مورد تأیید قرار می‌گیرد و اگر مقدار t بیش از ۲/۵۸ باشد، در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار می‌باشد.

بر اساس اطلاعات جدول (۸) بعد سازگاری مکانی دارای ۱۴ نشانگر می‌باشد که تنها میزان t نشانگر جهات شیب زمین و توپوگرافی کمتر از ۱/۹۶ است که تأثیر این نشانگر بر روی بعد سازگاری مکانی در سطح ۰/۰۰۵ معنی‌دار است، اما میزان t سایر نشانگرها بالاتر از سطح معنی‌داری ۲/۵۸ است که می‌توان گفت این نشانگرها بر روی بعد سازگاری مکانی در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار هستند. تمامی ۹ نشانگر مرتبط با بعد ایمنی دارای مقدار t بالاتر از سطح معنی‌داری ۲/۵۸ هستند و در نتیجه این نشانگرها بر روی بعد ایمنی در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار هستند. مقدار t هر ۴ نشانگر مرتبط با بعد پراکندگی و کوچک‌سازی از سطح معنی‌داری ۲/۵۸ بالاتر است و نشان می‌دهد که میزان تأثیر نشانگرهای بعد پراکندگی و کوچک‌سازی بر این مؤلفه در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار می‌باشد. موازی سازی نیز دارای ۳ نشانگر است که میزان t دو نشانگر دو یا چند منظوره کردن فضاهای عمومی برای ساخت پناهگاه، ساخت تونل مشترک تأسیسات زیرزمینی و امکان استفاده از پانل‌های خورشیدی با توجه به ساعات آفتابی بالاتر از سطح معناداری ۲/۵۸ است و میزان تأثیر این دو نشانگر در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار، اما میزان t نشانگر پیش‌بینی سامانه‌های پشتیبانی به‌صورت موازی و جایگزین (از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر/ از یک مسیر به مسیر دیگر) مثل تأمین انرژی (برق) از چند جای مختلف (ژنراتور و شبکه سراسری توزیع برق) و ... بیشتر از سطح معنی‌داری ۱/۹۶ و در سطح ۰/۰۰۵ معنی‌دار است.

جدول(۸): ضرایب معناداری t-value نشانگرهای مربوط به ابعاد سازگاری مکانی، ایمنی، پراکندگی و موازی سازی

نشانگرها / ابعاد	سازگاری مکانی		ایمنی		پراکندگی		موازی سازی	
	مقدار t-value	معنی‌داری	مقدار t-value	معنی‌داری	مقدار t-value	معنی‌داری	مقدار t-value	معنی‌داری
فاصله از خطوط انتقال آب	۹/۵۵۰	۰/۰۰۰						
فاصله از محل تأمین مواد اولیه	۸/۵۴۲	۰/۰۰۰						
فاصله از شبکه حمل و نقل، راه‌های مواصلاتی	۱۲/۹۵۳	۰/۰۰۰						
فاصله از خطوط انتقال برق	۵/۷۲۳	۰/۰۰۰						
فاصله از خطوط انتقال گاز	۳/۰۴۷	۰/۰۰۰						
فاصله از مراکز تجمع فعالیت‌های اقتصادی و صنعتی	۵/۳۲۷	۰/۰۰۰						
دسترسی به نیروی کار	۸/۰۴۹	۰/۰۰۰						
امکان توسعه ظرفیت و تنوع صنایع جانبی	۶/۶۹۲	۰/۰۰۰						
کیفیت بافت خاک	۱۹/۱۲۵	۰/۰۰۰						
فاصله از سد و پهنه‌های آبی	۸/۷۵۳	۰/۰۰۰						
فاصله از مراکز جمعیتی روستایی و شهری	۲/۷۳۰	۰/۰۰۰						
فاصله از چاه‌ها و قنوات	۳/۰۲۱	۰/۰۰۰						
فاصله از رودخانه‌ها، آب‌های سطحی و...	۳/۱۵۸	۰/۰۰۰۰						
جهات شیب زمین و توپوگرافی	۱/۶۱۸	۰/۰۲۱						
فاصله از مسیر سیل/ مناطق سیل خیز			۹/۰۳۴	۰/۰۰۰				
فاصله نسبت به خطوط گسل/ زمین لغزش			۷/۳۹۲	۰/۰۰۰				
فاصله از مراکز خطرآفرین: پمپ بنزین، پست برق و...			۳/۹۷۴	۰/۰۰۰				
همجواری با مراکز حساس، مهم وحیاتی			۳/۳۷۲	۰/۰۰۰				
فاصله از مراکز نظامی و انتظامی			۳/۵۶۳	۰/۰۰۰				
فاصله از مرزهای جغرافیایی کشور			۲/۶۹۲	۰/۰۰۰				
فاصله از مراکز آتش نشانی			۲/۶۶۲	۰/۰۰۰				
فاصله از نقاط نشانگر ناوبری: جاده اصلی، اتوبان و خط آهن			۵/۷۶۱	۰/۰۰۰				
فاصله از مناطق مسکونی و مراکز شهری			۷/۹۳۹	۰/۰۰۰				
اجتناب از تجمیع عملکردهای حیاتی و ... در کنار یکدیگر					۲۹/۲۰۲	۰/۰۰۰		
کاهش طول شبکه‌های زیرساختی					۱۸/۸۳	۰/۰۰۰		
فاصله از مراکز صنعتی					۷/۲۰۸	۰/۰۰۰		
ایجاد تأسیسات پراکنده و کوچک					۱۲/۸۰۲	۰/۰۰۰		
پیش‌بینی سامانه‌های پشتیبانی موازی و جایگزین							۲/۶۶	۰/۰۰۰
دو یا چند منظوره کردن فضاهای عمومی							۴/۱۳	۰/۰۰۰
استفاده از پانل‌های خورشیدی با توجه به ساعات آفتابی							۴/۵۴	۰/۰۰۰

تمامی ۲۳ نشانگر مرتبط با بعد مقاوم‌سازی، استحکامات و سازه‌های امن دارای مقدار t بالای ۲/۵۸ هستند و میزان تأثیر این نشانگرها بر بعد مقاوم‌سازی، استحکامات و سازه‌های امن در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار است. بعد اعلام خطر، هشدار و تجهیزات دارای ۸ نشانگر است که مقدار t تنها یک نشانگر نزدیکی به کاربری‌های امدادی کمتر از سطح معنی‌داری ۱/۹۶ است و می‌توان گفت که تأثیر این نشانگر بر بعد اعلام خطر، هشدار و تجهیزات در سطح ۰/۰۰۵ معنی‌دار است (جدول (۹).

جدول (۹): ضرایب معناداری t-value نشانگرهای مربوط به ابعاد مقاوم‌سازی، استحکامات و سازه‌های امن، اعلام خطر، هشدار و تجهیزات

ابعاد / نشانگرها	مقاوم‌سازی، استحکامات		اعلام خطر و هشدار	
	مقدار t-value	معنی‌داری	مقدار t-value	معنی‌داری
سازه‌های تأسیسات زیربنایی دفنی و نیمه دفنی	۱۷/۲۷۳	۰/۰۰۰		
سازه‌های زیرساختی و استحکامات و سازه‌های بتنی	۱۷/۵۹۱	۰/۰۰۰		
طراحی تأسیسات با قدرت مرمت پذیری	۸/۶۸۷	۰/۰۰۰		
اسکلت فلزی با پوشش‌های مقاومی از بتن	۸/۴۳۴	۰/۰۰۰		
نوع مصالح ساختمان	۱۳/۶۲۴	۰/۰۰۰		
دسترسی به راهرو و پلکان	۶/۰۱۱	۰/۰۰۰		
کیفیت ابنیه ساختمان	۲۷/۰۰۵	۰/۰۰۰		
عمر ابنیه ساختمان	۱۶/۱۸۰	۰/۰۰۰		
قرارگیری بخش‌های حیاتی در زیرزمین	۹/۱۷۹	۰/۰۰۰		
استقرار پایین‌تر از سطح زمین	۱۱/۱۱۰	۰/۰۰۰		
تراکم مطلوب ساختمانی	۳۷/۷۷۴	۰/۰۰۰		
قرارگیری فضای اصلی در میانه ساختمان	۳/۲۸۵	۰/۰۰۰		
دال بتنی	۵/۰۲۷	۰/۰۰۰		
استقرار بالاتر از سطح زمین	۲۱/۸۴۶	۰/۰۰۰		
نحوه اتصال	۱۱/۹۷۵	۰/۰۰۰		
جنس شیشه	۱۳/۸۰۱	۰/۰۰۰		
جنس مصالح نما	۱۱/۹۸۱	۰/۰۰۰		
تیرچه بلوک	۲/۸۵۴	۰/۰۰۰		
نوع و جنس پنجره	۱۳/۸۵۸	۰/۰۰۰		
نسبت طول به عرض (مساحت)	۱۴/۷۵۷	۰/۰۰۰		
کامپوزیت	۳/۰۳۳	۰/۰۰۰		
استقرار در تراز صفر	۴/۳۹۲	۰/۰۰۰		
نسبت ارتفاع به عرض (طبقات)	۹/۵۹۵	۰/۰۰۰		
تجهیز سامانه‌های اعلام خطر و هشدار			۶/۴۰۵	۰/۰۰۰
استقرار سامانه‌های هوشمند اعلان و اطفای حریق			۶/۷۸۹	۰/۰۰۰
تجهیزات مهندسی			۴/۵۳۲	۰/۰۰۰
پناهگاه‌های امن			۷/۲۸۶	۰/۰۰۰
نزدیکی به کاربری‌های امدادی، درمانی و مدیریت بحران			۱/۵۹۲	۰/۰۱۱
تجهیزات تخلیه و اسکان اضطراری			۳/۴۴۳	۰/۰۰۰
تجهیزات پزشکی و مددکاری اضطراری			۷/۸۱۷	۰/۰۰۰
تجهیزات آماد اضطراری			۳/۴۴۳	۰/۰۰۰

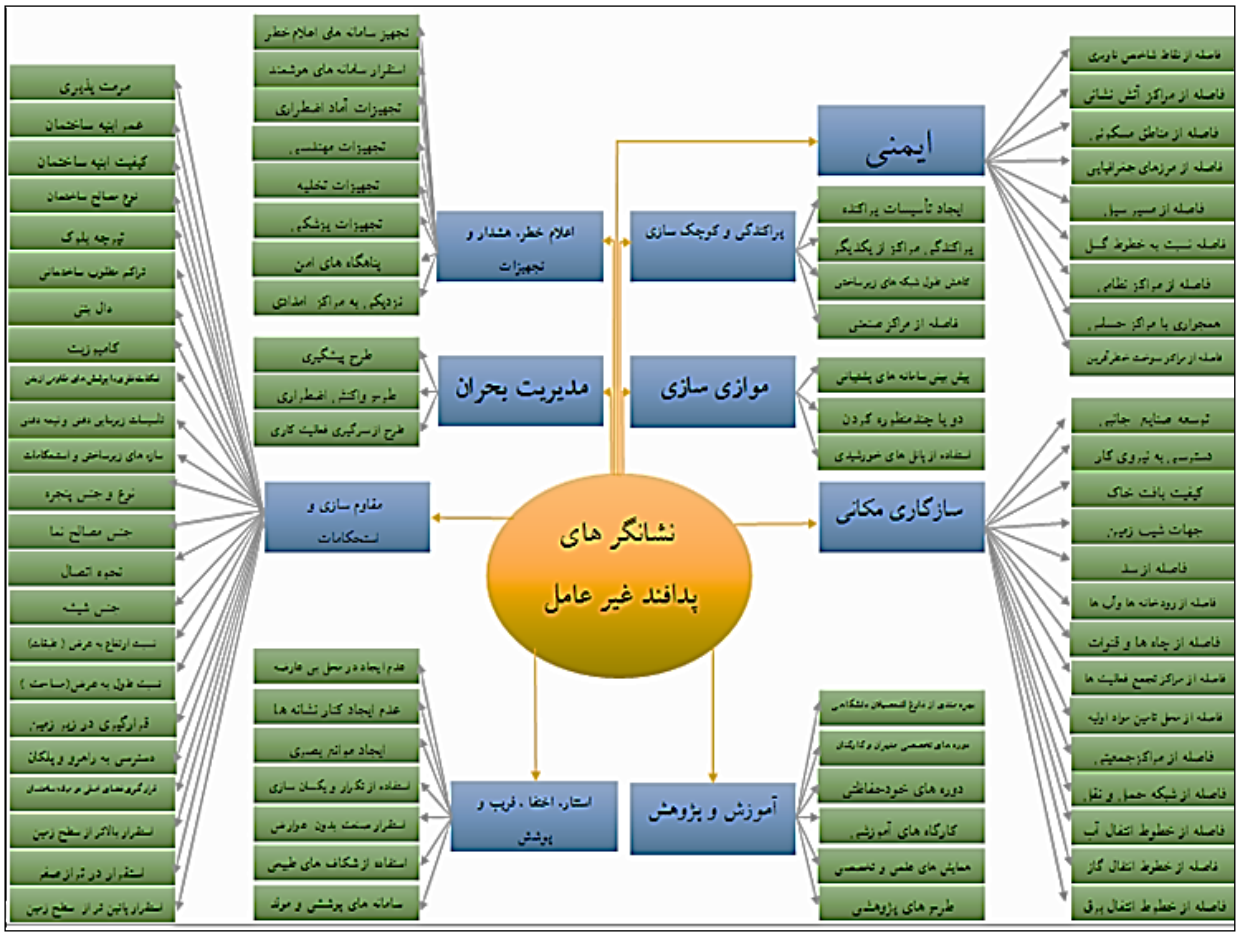
اطلاعات جدول (۱۰) حاکی از آن است که میزان t، ۶ نشانگر از ۷ نشانگر مرتبط با بعد استتار، اختفاء، فریب و پوشش از سطح معنی‌داری ۲/۵۸ بالاتر و در نتیجه میزان تأثیر این نشانگرها بر بعد استتار، اختفاء، فریب و پوشش در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار است، اما میزان t نشانگر عدم ایجاد تأسیسات کنار نشانه‌ها: بزرگراه‌ها، جاده‌های اصلی، رودخانه‌ها، دکل‌های فشار قوی بالاتر از سطح معنی‌داری ۱/۹۶ است و نشان می‌دهد میزان تأثیر این نشانگر در سطح ۰/۰۰۵ معنی‌دار است. مقدار t، ۳ نشانگر مرتبط با بعد مدیریت بحران نشان می‌دهد که تمامی مقادیر بالاتر از ۲/۵۸ است و در نتیجه میزان تأثیر این نشانگرها بر بعد مدیریت بحران در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار است. در نگاره مقدار t مرتبط با ۶ نشانگر بعد آموزش و پژوهش نشان داده شده است، همان‌گونه

که مشخص است میزان t، ۴ نشانگر دوره‌های تخصصی مدیران و کارکنان، دوره‌های خودحفاظتی، کارگاه آموزشی و بهره‌منـدی از فارغ التحصیلان دانشگاهی پ. غ. ع بالاتر از سطح ۲/۵۸ می‌باشد و نشان می‌دهد که میزان تأثیر این نشـانگرها بـر بعـد آمـوزش و پژوهش در سطح ۰/۰۰۱ معنی‌دار است، امـا میـزان t دو نشـانگر طرح‌های پژوهشی و همایش‌های علمی تخصصی بـالاتر از سـطح ۱/۹۶ است و نشان می‌دهد میزان تـأثیر ایـن دو نشـانگر بـر بعـد آموزش و پژوهش در سطح ۰/۰۰۵ معنی‌دار است.

جدول (۱۰): ضرایب معناداری t-value نشانگرهای مربوط به استتار، اختفاء، فریب و پوشش

نشانگرها / ابعاد	استتار، اختفاء، فریب و پوشش		مدیریت بحران			
	مقدار t-value	معنی‌داری	مقدار t-value	معنی‌داری	مقدار t-value	معنی‌داری
استفاده از تکرار، یکسان سازی نماها از نظر بافت و رنگ	۲/۵۹	۰/۰۰۰				
استفاده از شکاف‌های طبیعی، پرتگاه و دره‌های گسله	۴/۳۲	۰/۰۰۰				
استقرار صنعت در پناه عوارض و شکل محیط	۳/۱۶	۰/۰۰۰				
ایجاد موانع بصری و پنهان سازی در سایه‌های طبیعی	۳/۶۸	۰/۰۰۰				
عدم ایجاد تأسیسات کنار نشانه‌ها: بزرگراه‌ها، جاده‌ها	۲/۳۸	۰/۰۰۰				
سامانه‌های پوششی و مولد دود	۵/۰۱	۰/۰۰۰				
عدم ایجاد تأسیسات در دشت‌های بدون عارضه، مسطح	۷/۷۳	۰/۰۰۰				
طرح پیشگیری (قبل از بحران)			۹۴/۲۰	۰/۰۰۰		
طرح واکنش اضطراری			۲۶۷/۶۵	۰/۰۰۰		
طرح از سرگیری فعالیت کاری			۱۴۵/۳۰	۰/۰۰۰		
طرح‌های پژوهشی					۱/۵۵	۰/۰۲۱
دوره‌های تخصصی مدیران و کارکنان					۷/۶۹	۰/۰۰۰
دوره‌های خودحفاظتی					۷/۴۰	۰/۰۰۰
کارگاه آموزشی					۷/۳۹	۰/۰۰۰
بهره‌مندی از فارغ التحصیلان دانشگاهی پ. غ. ع					۳/۷۵	۰/۰۰
همایش‌های علمی و تخصصی					۱/۸۶	۰/۰۴۴

در نهایت و بر اساس نتیجه پژوهش نشانگرهای پدافند غیرعامل در ارزیابی استقرار صنایع کشاورزی در شـکل (۳) ارائـه و طراحـی گردیـده است.



شکل (۳): نشانگرهای پدافند غیرعامل در ارزیابی استقرار صنایع کشاورزی

۶- نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف شناسایی و اعتبار سنجی نشانگرهای پدافند غیرعامل در استقرار صنایع کشاورزی انجام گرفت. نتایج نشان داد که در بعد سازگاری مکانی سه نشانگر فاصله از خطوط انتقال آب، فاصله از محل تأمین مواد اولیه و فاصله از شبکه حمل و نقل، راه‌ها و محورهای مواصلاتی دارای بالاترین میزان اهمیت بودند، به‌طوری که می‌توان گفت در استقرار صنایع کشاورزی مکان مناسب، مکانی می‌باشد که به این سه نشانگر توجه نموده و بیشترین فاصله را از این خطوط و بسترها داشته باشد، در این راستا نتایج مطالعات مختلف از جمله پژوهش مدیری و همکاران [۵۲]؛ جعفری‌زاده و حمزه [۱] نیز این نتیجه را تأیید می‌نمایند که استقرار صنایع مختلف بر مبنای پدافند غیرعامل لازم است بیشترین فاصله را از شبکه‌های زیرساختی و تأسیسات زیربنایی شهری داشته باشند.

با توجه به وجود و اهمیت ایمنی و امنیت در تمامی ابعاد زندگی، وجود و استقرار صنایع کشاورزی نیز با توجه به حساسیت آن لازم است به این بعد و نشانگرهای آن توجه گردد به‌طوری‌که سه نشانگر مهم و مرتبط با این بعد بر اساس آزمون فریدمن شامل فاصله از مسیر سیل/ مناطق سیل خیز، فاصله نسبت به خطوط گسل/ زمین لغزش و فاصله از مراکز خطرآفرین: مواد شیمیایی، زاغه‌های مهمات، پمپ بنزین و پست برق می‌باشد؛ هم‌سو با نتیجه این بخش مطالعه جعفری‌زاده و حمزه [۱] نیز امنیت و نشانگرهای مرتبط با آن را در پژوهش خود مورد توجه و تأکید قرار دادند. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که جهت حفظ و ارتقای امنیت صنایع کشاورزی از لحاظ پدافند غیرعامل در استقرار آن‌ها فاصله مناسب از مناطق سیل‌خیز، خطوط گسل و همچنین مراکز خطرآفرین رعایت و حفظ گردد.

با توجه به اینکه استقرار صنایع یا واحدهای هر مجتمع صنعتی در مکان‌های دور از هم و به فاصله مناسب از یکدیگر با ملاحظات اقتصادی، امنیتی، دفاعی، سیاسی و اجتماعی به خاطر آن است که هدف واحدی در مقابل عملیات دشمن تشکیل نداده و آسیب‌پذیری، خسارت و تلفات احتمالی را به حداقل ممکن کاهش دهد، بنابراین می‌توان گفت توجه به بعد پراکندگی و نشانگرهای آن نیز در استقرار صنایع کشاورزی با توجه به اهمیت راهبردی بالای این صنایع لازم است مورد توجه قرار گیرد، در این بخش صاحب‌نظران چهار نشانگر را پیشنهاد نمودند که به

ترتیب اهمیت بر اساس آزمون فریدمن سه نشانگر مهم آن شامل اجتناب از تجمیع عملکردهای حیاتی و حساس در کنار یکدیگر، کاهش طول شبکه‌های زیرساختی برای آسیب پذیری کمتر و فاصله از مراکز صنعتی می‌باشند که هر یک از این‌ها به‌عنوان موارد مهم جهت حفظ امنیت صنایع کشاورزی لازم است که مد نظر قرار گیرند، نتایج این بخش از پژوهش را مطالعات جعفری‌زاده و حمزه [۱ و۵۵] نیز تأیید می‌نماید. بر همین اساس پیشنهاد می‌گردد که بر اساس بعد پراکندگی پدافند غیرعامل جهت استقرار صنایع کشاورزی لازم است که عملکردهای حساس در کنار یکدیگر قرار نگیرند، حداقل طول شبکه‌های زیرساختی لحاظ گردد و این صنایع از مراکز صنعتی فاصله مناسبی را داشته باشند. موازی‌سازی نیز یکی از ابعاد ۹ گانه پدافند غیرعامل در استقرار صنایع کشاورزی می‌باشد که بر اساس آزمون فریدمن سه نشانگر مهم آن به ترتیب اهمیت شامل پیش‌بینی سامانه‌های پشتیبانی به‌صورت موازی و جایگزین، دو یا چند منظوره کردن فضای عمومی ساخت پناهگاه و تونل مشترک تأسیسات زیرزمینی و امکان استفاده از پانل‌های خورشیدی با توجه به ساعات آفتابی می‌باشند. با توجه به اینکه ادامه فعالیت یک واحد صنعتی یا شهری متضمن جدایی سامانه‌های حیاتی از یکدیگر و پیش‌بینی امکانات موازی و جایگزین می‌باشد لازم است در استقرار صنایع کشاورزی نیز سامانه‌های پشتیبانی به‌صورت موازی و جایگزین لحاظ گردند، تونل‌ها و پناهگاه‌های زیرزمینی که حفر می‌گردند دو یا چند منظوره باشند و درنهایت امکان استفاده از پنل‌های خورشیدی فراهم باشند، در این زمینه نتیجه پژوهش جعفری‌زاده و حمزه [۱] نیز این مطلب را تأیید می‌نماید که لازم است در استقرار صنایع به پناهگاه‌ها و نحوه درست طراحی و ساخت آن‌ها توجه گردد به‌منظور استفاده‌های گوناگون توجه گردد.

پنجمین بعد از ابعاد پدافند غیرعامل در استقرار صنایع کشاورزی مقاوم‌سازی و استحکامات می‌باشد که ۲۳ نشانگر توسط صاحب‌نظران برای این بخش پیشنهاد گردید، می‌توان گفت یکی از مؤلفه‌ها و ابعاد مهم صنایع که می‌تواند در حفظ و نگهداری آن‌ها مؤثر واقع گردد خود مقاومت و استحکام سازه‌ها می‌باشد که لازم است از لحاظ سازه‌های زیربنایی دفنی و نیمه دفنی، سازه‌های زیرساختی و استحکامات و سازه‌های بتنی و طراحی تأسیسات با قدرت مرمت‌پذیری مد نظر قرار گیرند در این راستا مطالعات جعفری‌زاده و حمزه [۱ و۵۵]، رحیمی [۵۱] و مدیری و همکاران [۵۲] نیز در تأیید نتیجه پژوهش توجه به مقاوم‌سازی و استحکام را در استقرار صنایع و همچنین سازه‌های زیربنایی دفنی و نیمه دفنی را مورد توجه و تأکید قرار دادند. با توجه به اینکه امروزه کم هزینه‌ترین و مؤثرترین راه حفاظت از مراکز اقتصادی و صنعتی به‌کارگیری اصول اختفاء، فریب و استتار است و نقش آن در زیرساخت‌ها و پروژه‌های ملی و منطقه‌ای یک اقدام ضروری در شرایط بحرانی می‌باشد بنابراین لازم است که در استقرار صنایع کشاورزی مد نظر قرار گیرند، هفت نشانگر در این بخش توسط صاحب‌نظران پیشنهاد گردید که سه نشانگر مهم آن بر اساس آزمون فریدمن شامل استفاده از تکرار، یکسان سازی نماها از نظر بافت و رنگ و فرم طراحی ساختمان‌ها، استفاده از شکاف‌های طبیعی، پرتگاه، دره‌های گسله، شیارها، ارتفاعات، عوارض طبیعی، پوشش و استقرار صنعت در پناه عوارض و شکل محیط برای همرنگی و هماهنگی با محیط طبیعی می‌باشد. نتیجه پژوهش جعفری‌زاده و حمزه [۱] و روشندل [۵۳] نیز همسو با نتیجه مطالعه حاضر اقدامات مرتبط با استتار و اختفاء را در استقرار صنایع مختلف جهت حفظ امنیت آن‌ها مهم می‌داند.

هفتمین بعد از ابعاد پدافند غیر عامل در استقرار صنایع کشاورزی اعلام خطر، هشدار و تجهیزات می‌باشد، این اصل یکی از اصول مهم پدافند غیرعامل و به معنای آگاهی و هشدار نسبت به وقوع بحران، تهدید و تهاجم دشمن است که لازم است مورد توجه قرار گیرد سه نشانگر مهم از هشت نشانگر مرتبط با این بعد بر اساس آزمون فرید من شامل تجهیز سامانه‌های اعلام خطر و هشدار در مراکز خطرپذیر، استقرار سامانه‌های هوشمند اعلان و اطفای حریق و تجهیزات مهندسی می‌باشد. این بعد از ابعاد پدافند غیرعامل می‌تواند در عوامل طبیعی و غیر طبیعی از صنایع محافظ نماید، بنابراین جهت حفظ امنیت صنایع کشاورزی لازم است که مورد توجه قرار گیرد که این بخش از نتیجه نیز همسو با نتیجه مطالعه جعفری‌زاده و حمزه [۱] و روشندل [۵۳] می‌باشد. در استقرار صنایع کشاورزی بر مبنای پدافند غیرعامل لازم است که به بعد مدیریت بحران به‌عنوان یکی از ابعاد توجه گردد، در واقع مدیریت بحران با مشاهده مستمر و نظام‌مند بحران‌های پیشین و تجزیه و تحلیل آن‌ها، راه حل‌های پیشگیری از وقوع فجایع یا آمادگی مقابله با آن‌ها، کاهش آسیب‌پذیری و استمرار فعالیت‌های تولیدی و بهبود اوضاع را در صورت وقوع بحران ارائه می‌دهد، سه نشانگر مهم این بخش در استقرار صنایع کشاورزی بر اساس اهمیت شامل طرح پیشگیری، واکنش اضطراری و از سرگیری فعالیت کاری می‌باشد. در واقع مهم‌ترین بخش مدیریت بحران، پیش‌بینی و آمادگی مقابله با بحران است که سبب کاهش هزینه‌های مربوط به مرحله حین و پس از بحران می‌شود، پس از اقدامات پیشگیرانه، آمادگی جهت انجام اقدامات اضطراری و

واکنش سریع و همچنین آمادگی جهت از سرگیری اقدامات و فعالیت‌ها می‌تواند به حفظ و نگهداری صنایع و حتی مرمت آن‌ها کمک نماید که این بخش از پژوهش را نیز مطالعه جعفری‌زاده و حمزه [۱] تأیید می‌نماید. بعد آموزش و پژوهش نیز به‌عنوان آخرین بعد، لازم است در استقرار صنایع کشاورزی لحاظ و مد نظر قرار گیرد، برای این بعد ۶ نشانگر معرفی گردید که سه نشانگر مهم آن، که بر اساس آزمون فریدمن دارای بالاترین میزان اهمیت بود شامل طرح‌های پژوهشی، دوره‌های تخصصی مدیران و کارکنان و دوره‌های خودحفاظتی می‌باشد، افزایش دانش و آگاهی در هر زمینه‌ای می‌تواند یک عامل مؤثر در موفقیت و دستیابی به اهداف باشد که در مورد پدافند غیرعامل نیز ضرورت آموزش و آگاهی بخشی به نیروی انسانی مهم می‌باشد که لازم است مد نظر و لحاظ قرار گیرد. در این راستا نتیجه مطالعه جعفری‌زاده و حمزه [۵۵]نیز بر نیروی انسانی و ضرورت توجه به آن به‌عنوان یکی از ارکان مهم صنایع مختلف تأکید داشته است.

با توجه به اینکه نشانگرهای شناسایی شده در پژوهش بر اساس نظر صاحب‌نظران و خبرگان بخش پدافند غیرعامل معرفی شدند و اعتبار آن‌ها مورد تأیید قرار گرفت، لازم است در استقرار صنایع کشاورزی مورد توجه جدی قرار گیرند.

۷- مراجع

[۱] جعفری‌زاده، امید؛ حمزه، فرهاد. "مؤلفه سازی پدافند غیرعامل شهری در مقابله با تهدیدات آینده"، فصلنامه علمی مطالعات بین رشته‌ای دانش راهبردی، سال نهم، شماره ۳۶، صفحات ۲۱۶-۱۸۹، ۱۳۹۸.

[۲] محمدی‌ده‌چشمه، مصطفی؛ حیدری‌نیا، سعید؛ شجاعیان، علی. "سنجش الگوی استقرار کاربری‌های حیاتی از منظر پدافند غیرعامل در کلان شهر اهواز"، پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره۴۹، شماره ۴، صفحات ۷۵۳-۷۳۳، ۱۳۹۶.

[۳] کاظمی، شهربانو؛ تبریزی، نازنین. "ارزیابی ایمنی فضای شهری با تأکید بر شاخص‌های پدافند غیرعامل (نمونه موردی: شهر آمل)"، فصلنامه مطالعات برنامه‌ریزی شهری، سال سوم، شماره نهم، صفحات ۲۶-۱۱، ۱۳۹۴.

[۴] جاسم‌پور، کیانا؛ یزدانی، سعید. "اقدامات و تمهیدات شهرسازی با رویکرد پدافند غیرعامل در مکان‌یابی نقاط امن شهری (مطالعه موردی: شهر مرزی اسلام آباد غرب)"، فصلنامه علمی- پژوهشی امداد و نجات، سال نهم، شماره ۱، صفحات ۴۶-۲۷، ۱۳۹۶.

[۵] خلقی‌فرد، مهرداد؛ بدفشان‌نژاد، احسان. "ارزیابی آسیب-پذیری لزره‌ای بیمارستان‌های شهر یاسوج از دیدگاه پدافند غیرعامل و روش ATC"، نشریه علمی پدافند غیرعامل، سال۱۲، شماره ۱، پیاپی ۴۵، صفحات ۱۲-۱، ۱۴۰۰.

[۶] امیری، سجاد؛ روانشادنیا، مهدی؛ چالوک، غلامرضا. "آسیب‌شناسی زیرساخت‌های صنایع پتروشیمی از منظر پدافند غیرعامل و ارائه تمهیدات لازم به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری و توسعه پایدار"، کنفرانس ملی پدافند غیرعامل و توسعه پایدار، وزارت کشور ۱۲ و ۱۳ مهرماه، صفحات ۱۳۰۱-۱۲۹۴، ۱۳۹۵.

[۷] عبداله‌زاده فرد، علیرضا. "جستاری بر نقش و جایگاه امنیت شهری در پدافند غیرعامل (مورد: شهر شیراز)"، فصلنامه علمی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری سال ۱۱، شماره ۴۰، صفحات ۲۰۰-۱۸۹، ۱۳۹۹.

[8] S. A. Saroser, “Application of Passive DefensePrinciples,Ensuring Sustainable Development,” www.khazaronline.com, 2018.

[۹] متولی حبیبی، فرید، برقچی، معصومه. "شناسایی عوامل مؤثر جهت کاهش آسیب‌پذیری در بافت‌های فرسوده شهری بر اساس ملاحظات پدافند غی عامل (نمونه موردی بافت فرسوده قلعه آبکوه مشهد) "، فصلنامه علمی-پژوهشی پژوهشنامه خراسان بزرگ، سال ششم، شماره ۱۹، صفحات ۹۳-۷۷، ۱۳۹۴.

[۱۰] غفاری، حمیده؛ محمدولی سامانی، جمال. "کاربرد و اثربخشی پدافند غیرعامل در برنامه‌ریزی منابع آب در ایران"، فصلنامه مجلس و راهبرد، سال بیست و هفتم، شماره یکصد و دوم، تابستان، صفحات ۳۸۳-۳۵۷، ۱۳۹۹.

[۱۱] خرم آبادی، محمد؛ ستاری‌خواه، علی. "ملاحظات پدافند غیرعامل در طراحی شهرها"، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و توسعه پایدار شهری، تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز، ، ۱۳۹۰.

[۱۲] نکویی، محمد علی؛ حسینی نژاد، ژیلا؛ نوری، مهدی؛ نصیبی، مهدی؛ صادقی، نیلوفر. "احصای شاخص‌های آسیب‌پذیری مجموعه‌های صنعتی از منظر پدافند غیرعامل"، دو فصلنامه علمی و پژوهشی، شماره دهم، پاییز و زمستان، صفحات ۶۷-۴۴، ۱۳۹۵.

[۱۳] قیاسی، سمیرا؛ امین نیری، بهناز؛ بداقلو، ساسان؛ حسینی امین، حسن. "ارزیابی و اولویت‌بندی مراکز ثقل شهری و ارائه راهکارهای دفاعی از منظر پدافند غیرعامل (با نگرش موضوعی به بندر بوشهر)"، فصلنامه علمی پژوهشی نگرش-های نو در جغرافیای انسانی، سال دهم، شماره اول، زمستان، صفحات ۳۳۲-۳۱۶، ۱۳۹۶.

[۱۴] صدری افشار، غلامحسین؛ حکمی، نسرین. "فرهنگ فارسی امروز"، تهران، انتشارات مؤسسه، نشر کلمه، ۱۳۷۳.

[۱۵] زیاری، کرامت‌اله. "برنامه‌ریزی شهرهای جدید"، انتشارات سمت، تهران، ۱۳۸۷.

[۱۶] پیمان، صفا؛ غضنفری‌نیا، سجاد. "استحکامات و سازه‌های امن"، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر مجتمع آمایش و پدافند غیرعامل، ۱۳۸۶.

[17] S. Spilerman, “Structural Character– Istics of Cities and Severity of Racial Disorders,” American Sociological Eview Seattle, vol. 41, no. 6, pp. 41-45, 2005.

[۱۸] حق‌جو، محمدرضا. "مبانی پدافند غیرعامل، کارگاه آموزشی، معاونت پژوهشی دانشگاه مازندران"، کمیته پدافند غیرعامل،۱۳ تا ۱۴ مرداد ماه، ۱۳۹۷.

[۱۹] جلالی، غلامرضا. "چهار گفتار در باب پدافند غیرعامل"، سازمان پدافند غیرعامل، تهران، ۱۳۹۱.

[۲۰] سازمان پدافند غیرعامل کشور. "سند راهبردی پدافند غیرعامل جمهوری اسلامی ایران (۹۶-۱۳۹۲)"، انتشارات نقش یاس، تهران، ۱۳۹۲.

[۲۱] میراحمدی، مریم؛ یادگارزاده، بنفشه. "بررسی آسیب‌پذیری فرم شهرها از دیدگاه پدافند غیرعامل و راهکارهای: کاهش آن"، فصلنامه ساخت شهر، شماره ۱۴، ۴، ۱۳۸۹.

[۲۲] رومینا، ابراهیم؛ حسینی، مهدی. "بررسی معیارهای پدافند غیرعامل در مکان گزینی فعالیت‌های صنعتی (مطالعه موردی: صنایع استان قم)"، فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات بین رشته‌ای دانش راهبردی، سال نهم، شماره ۳۴، صفحات ۱۸۳-۱۶۳، ۱۳۹۷.

[۲۳] عباسی، مرتضی؛ ربیعی، حسین. "ارائه رویکردی سیستماتیک و هدفمند به انتخاب مکان سازمان‌ها و صنایع امنیتی- نظامی با رویکرد پدافند غیرعامل"، فصلنامه علمی- پژوهشی مدیریت نظامی، شماره ۴۸ ، سال دوازدهم، صفحات۱۹۶-۱۵۹ ، ۱۳۹۱

[۲۴] خزایی، هوشنگ. "پدافند غیرعامل از منظر مقام معظم رهبری و فرماندهی کل قوا (مدظلة العالی)"، نشریه علمی- ترویجی بصیرت و تربیت اسلامی، شماره ۳۶، بهار، صفحات ۱۵۶- ۱۱۷، ۱۳۹۵.

[۲۵] نظافتی، مجتبی؛ معتمدی، محمد. "نقش پدافند غیرعامل در توسعه پایدار شهری، نمونه موردی شهر جاجرم"، فصلنامه دانش انتظامی خراسان شمالی دفتر تحقیقات کاربردی فا.ا.خراسان شمالی، سال پنجم، شماره ۱۹، پاییز، صفحات ۱۷۱-۱۴۹، ۱۳۹۷.

[۲۶] صالحی، حسن؛ اکبری، احسان. "ارائه الگوهای معماری برای طراحی ساختمان‌های پنهان در مقابل تهدیدات نظامی، به روش استتار درون ساخته"، نشریه علمی پدافند غیرعامل. سال دهم، شماره ۲، تابستان، پیاپی ۳۸، صفحات ۹۵-۸۳، ۱۳۹۸.

[۲۷] شکیبامنش، امیر؛ هاشمی فشارکی، جواد. "ملاحظات پدافند غیرعامل در تأسیسات زیربنایی شهری"، مجموعه مقالات اولین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت زیرساخت ها، تهران، ۱۳۸۸.

[۲۸] موحدی نیا، جعفر. "اصول و مبانی پدافند غیرعامل". چاپ سوم، پژوهشکده مهندسی دانشگاه صنعتی مالک اشتر، انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مجتمع دانشگاهی آمایش و پدافند غیرعامل، ۱۳۸۸.

[۲۹] مرد علی، محسن؛ صالح، مهدی. "بررسی پدافند غیرعامل در تهدیدات سایبری صنایع نیروگاهی، مطالعه موردی نیروگاه شهید رجایی قزوین"، کنفرانس ملی پدافند غیرعامل و توسعه پایدار، وزارت کشور ۱۲ و ۱۳ مهر ماه، صفحات ۹۴۲-۹۲۳، ۱۳۹۵.

[۳۰] آجودانی، میلاد. "پدافند غیرعامل در سیستم‌های الکتریکی پالایشگاه نفت ستاره خلیج فارس"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود، دانشکده فنی مهندسی، گروه برق، پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد، رشته برق قدرت، استاد راهنما دکتر محمد حسینی ابرده، ۱۳۹۸.

[۳۱] نامخواه، ناصر. "آموزش امنیت سایبری – مدیران"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران، صفحات ۵۹-۴۸، ۱۳۹۰.

[۳۲] پاکزاد، جهانشاه. "میزگرد نقش فضاهای شهری در تأمین امنیت اجتماعی، شهرداری‌ها"، سال چهارم، شماره ۴۱، صفحات ۱۴-۵، ۱۳۸۱.

[33] M. Abbas Zadegan, "Social-Psychological Aspects of Urban Spaces", J. of Eng. Sci., Iran Univ. of Sci. and Tech., Volume 16, Issue 1, pages69-84, 2006.

[۳۴] بیرانوند، مصطفی، مؤمنی کورش." پهنه بندی عرصه های مسکونی با رویکرد پدافند غیرعامل در راستای امنیت شهروندان در محیط(GIS) موردمطالعه: شهر دزفول"، پژوهشنامه جغرافیای انتظامی سال هفتم، شماره بیست و پنجم، صفحات ۱ تا ۲۰، ۱۳۹۸.

[۳۵] حسین‌زاده، حامد؛ آقادادی، ابوالفضل. "نقش پدافند غیرعامل در مدیریت ریسک پروژه‌های ملی و استراتژیک"، اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت استراتژیک پروژه‌ها، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، پژوهشکده شهید رضائی، ۱۳۸۷.

[۳۶] ملکی، سعید؛ ظریفی، کوکب. "تحلیل پدافند غیرعامل"، مجموعه مقالات پدافند غیرعامل سومین همایش ملی پدافند غیرعامل، ۱۳۹۰.

[۳۷] قنبری، فیروز. "بررسی روش‌های عملیاتی استتار در حین طراحی و ساخت"، فصلنامه پدافند غیرعامل، دوره ۲، شماره ۴، صفحات ۱۷-۹، ۱۳۹۰.

[۳۸] گروه مؤلفان. "آنچه شهرداران باید از پدافند غیرعامل بدانند"، ناشر انجمن علمی پدافند غیرعامل کشور، انتشار اول، ۱۳۹۷.

[۳۹] هاشمی فشارکی، سیدجواد؛ شکیبامنش، امیر. "طراحی شهری از منظر دفاع غیرعامل"، انتشارات بوستان حمید، تهران، ۱۳۹۰.

[40] C. Airspace "FM 3-52, Department of the Army Washington," DC, 8 February, pp. 44-45, 2013.

[۴۱] اسکندری، حمید. "آشنایی با مقدمات پدافند غیرعامل"، تهران، بوستان حمید، ۱۳۹۰.

[۴۲] امیری، علی اکبر؛ خندان، محمد علی؛ میرزائی، روخوش. "بررسی ضرورت نقش پدافند غیرعامل و مدیریت بحران در صنعت نفت"، کنفرانس ملی پدافند غیرعامل و توسعه پایدار، وزارت کشور ۱۲ و ۱۳ مهر ماه، صفحات ۱۳۰۱-۱۲۹۴، ۱۳۹۵.

[۴۳] سلیمانی، محمود. "پدافند غیرعامل؛ مقاومت ملی پایدار: ویژه دانش‌آموزان دوره متوسطه، تهران"، انتشارات معاونت توسعه فرهنگی و اطلاع‌رسانی پدافند غیرعامل، ۱۳۹۰.

[۴۴] معروفی، ایوب؛ سجادی، ژیلا؛ رستمی، حسین. "ارزیابی آسیب‌پذیری مکانی زیرساخت‌های استان آذربایجان غربی با رویکرد پدافند غیرعامل"، نشریه علمی پدافند غیرعامل سال دهم، شماره ۱، صفحات ۱۰۸-۹۷، ۱۳۹۸.

[۴۵] نکویی، محمد علی؛ حسینی نژاد، ژیلا، نوری، مهدی؛ نصیبی، مهدی؛ صادقی، نیلوفر. "احصای شاخص‌های آسیب‌پذیری مجموعه‌های صنعتی از منظر پدافند غیرعامل"، دو فصلنامه علمی و پژوهشی، شماره دهم، پاییز و زمستان، صفحات ۸۹-۸۳، ۱۳۹۵.

[۴۶] ندایی طوسی، سحر؛ شاه‌صفی، عباس؛ غفارخورزنی، مجید؛ طاهری، عباس. "آسیب‌شناسی کالبدی منطق فضایی کلان شهر تهران از منظر اصول پدافند غیرعامل"، هویت شهر، شماره بیست و یکم، بهار، صفحات ۵۶-۴۱ ، ۱۳۹۴.

[۴۷] فرزاد بهتاش، محمدرضا. "پدافند غیرعامل، دانشنامه بزرگ مدیریت شهری و روستایی"، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، سازمان شهرداری‌ها و دهیاری‌های کشور، صفحات ۸۷-۵۹، ۱۳۸۷.

[۴۸] برنافر، مهدی؛ افرادی، کاظم. "اولویت‌بندی مراکز حیاتی، حساس و مهم شهر بندر انزلی و ارائه راهکارهای دفاعی از دید پدافند غیر عام"، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال چهاردهم، شماره 32 ، صفحات ۱۸۹-۱۶۱ ، ۱۳۹۳.

[۴۹] کمیته پدافند غیرعامل. "اصول و مبانی پدافند غیرعامل"، اصفهان مرکز بهداشت شماره یک، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی استان اصفهان، صفحات ۵۴-۶، ۱۳۹۱.

[۵۰] ملکی، کیومرث. "ارزیابی و تحلیل آسیب‌پذیری کاربری‌های حساس شهر تبریز از منظر پدافند غیرعامل با تأکید بر بحران زلزله با استفاده از GIS"، طرح تحقیقاتی همکاران بخش دفاع سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۱۳۹۱.

[۵۱] رحیمی، محسن. "نقش مشارکت شهروندی در بهبود فعالیت‌های عمران شهری"، همایش ملی جغرافیا، گردشگری، منابع طبیعی و توسعه پایدار، تهران، اسفند، ۸۷-۶۹، ۱۳۹۳.

[۵۲] مدیری، مهدی؛ کرمی، مهرداد؛ انصاری‌زاده، سلمان؛ حیدری موصلو، طهمورث. "شاخص‌های امنیت‌ساز پدافند غیرعامل در آمایش سرزمین"، فصلنامه راهبرد دفاعی، سال یازدهم، شماره ۴۱، صفحات ۵۸-۳۳، ۱۳۹۲.

[۵۳] روشندل شب‌بویی، مهدی. "پایان‌نامه پدافند غیرعامل"، تهران، قرارگاه خاتم الانبیاء (ص)، صفحات ۲۵-۶، ۱۳۹۵.

[۵۴] رازپور، مهدی؛ عراقی‌زاده، مجتبی؛ علی‌الحسابی، مهران، "الگوی تبیین شاخص‌های دفاع غیرعامل در راستای کاهش آسیب‌پذیری شهری مطالعه موردی: شهر سنندج"، دو فصلنامه علمی و پژوهشی مدیریت بحران، شماره چهاردهم، پاییز و زمستان، صفحات۱۸۳-۱۳۷ ، ۱۳۹۷.

[۵۵] جعفری‌زاده، امید؛ حمزه، فرهاد. "شاخص‌سازی پدافند غیرعامل از منظر زیرساختی در فضای شهری"، فصلنامه علمی - پژوهشی فرماندهی و کنترل، سال دوم، شماره سه، پاییز، صفحات ۱۱۴-۹۲، ۱۳۹۷.

[۵۶] بیژندی، علیرضا. "طرح توسعه کسب و کار و اشتغال پایدار (طرح تکاپو)؛ گزارش تحلیل بازار مهارت مبتنی بر دینامیک کسب و کار و اشتغال استان کرمانشاه"، معاونت توسعه کارآفرینی و اشتغال، ۱۳۹۷.

[۵۷] فتح‌اللهی جمال، چکیده مطالعات آمایش استان کرمانشاه، دانشگاه رازی کرمانشاه و سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان کرمانشاه، ۱۳۹۷.

[۵۸] استانداری کرمانشاه، سالنامه آماری استان کرمانشاه، ۱۳۹۵.

[۵۹] ایاسه، علی؛ شهبازی، فریبرز. همایش معرفی فرصت‌های سرمایه‌گذاری و توانمندی‌های استان کرمانشاه، معاونت

اقتصادی اداره کل امور اقتصادی و دارایی استان کرمانشاه، ناشر کرمانشاه، ۱۳۹۷.

[۶۰] بازوند، هوشنگ. مستند همایش معرفی فرصت‌های سرمایه-گذاری و توانمندی‌های استان کرمانشاه، معاونت اقتصادی اداره کل امور اقتصادی و دارایی استان کرمانشاه، ناشر کرمانشاه، تهران ۱۷ دی ماه، ۱۳۹۷.

[۶۱] فتاحی، سجاد. "مسئله‌شناسی راهبردی توسعه در استان کرمانشاه، مرکز بررسی‌های استراتژیک ریاست جمهور"، تاریخ انتشار ۱۳۹۵/۴/۱۲ ناظر علمی دکتر سلیمان پاک سرشت، ۱۳۹۵.

[۶۲] کریمی، الیاس. "برنامه توسعه واحدهای تولیدی تبدیلی موجود و ایجاد واحد های تولیدی جدید در دستور کار سازمان جهاد کشاورزی استان قرار دارد"، مدیر صنایع تبدیلی سازمان جهاد کشاورزی کرمانشاه چهارشنبه ۱۶ مرداد ۱۳۹۸، گروه استان‌های خبرگزاری آنا ، ۱۳۹۸.

[۶۳] محمدی، کاوه؛ فرهادی راد، حمید؛ پارسا، عبداله. "شناسایی عوامل، ملاک‌ها و نشانگرهای اعتبارسنجی مدرسه‌های متوسطه نظری ایران"، فصلنامه مطالعات اندازه-گیری و ارزشیابی آموزش، سال نهم، شماره ۲۸ ، صفحات ۲۳۲-۱۸۹، ۱۳۹۸.

[۶۴] محرم‌زاده، عبدال؛ طالبی، بهنام؛ دانشور، زرین. "شناسایی و اعتبارسنجی عوامل مداخله‌گر در سیاست‌گذاری آموزش نیروی انسانی (مطالعه ترکیبی)"، مجله توانمندسازی سرمایه انسانی، دوره ۳، شماره ۲، صفحات ۱۰۲-۹۵، ۱۳۹۹.

[65] J. R. Anderson, “Risk Managment in Rural Development A Review,” The World Bank Rural Development Family", Rural Development Steagtegy Background paper 7, pp. 4-14, 2002.

[66] V. Braun and V. Clarke, “Using Thematic Analysis in Psychology,” Qualitative Research in Psychology, Vol. 3, No. 2, pp. 77-101, 2006.

[۶۷] دهقان دهنوی، حسن؛ نصیریان، محمد. "مقوله شناسی توسعه محصول جدید با استفاده از تحلیل محتوا"، فصلنامه مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج، سال چهاردهم، شماره ۴۷، بهار، صفحات ۲۰-۱. ۱۳۹۸.

[68] A. Straus and J. Corbin, “Basics of Qualitatvie Research: Techniques and Procedures for Developing Grounded Theory,” Third Edition, Los Angeles, Sage Publications, 1998.

[۶۹] رضوانی، محمدرضا؛ فرجی سبکبار، حسنعلی؛ دربان آستانه، علیرضا؛ کریمی سیدهادی. "شناسایی و اعتبارسنجی عوامل و شاخص‌های کیفیت محیطی مؤثر در برندسازی مقاصد گردشگری روستایی با استفاده از روش تحلیل محتوا (مورد مطالعه: منطقه قومی فرهنگی اورامانات در استان‌های کردستان و کرمانشاه)"، فصلنامه پژوهش‌های روستایی، تابستان، دوره ۸، شماره ۲، صفحات ۳۴۵-۳۱۸، ۱۳۹۶.

[۷۰] طهماسبی، رضا؛ حمیدی‌زاده، علی؛ عالم زاده، پریسا. "تدوین و اعتبارسنجی شاخص های شناسایی استعدادهای مدیریتی مدیران آموزش و پرورش استثنایی قم"، فصلنامه علمی– پژوهشی رهیافتی نو در مدیریت آموزشی، سال نهم، شماره ۲، تابستان ۹۷، پیاپی ۳۴، صفحات ۲۲۲-۱۹۹، ۱۳۹۷.

[۷۱] زمانی، اصغر. "شناسایی، تحلیل و اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر کیفیت آموزش در آموزش عالی"، فصلنامه نوآوری و ارزش آفرینی، سال ششم، شماره یازدهم، بهار و تابستان، ۱۳۹۶.

[72] P. Kline, “An Easy Guide to Factor Analysis,” London, Routledge, 1994.

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال سیزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، (پیاپی ۵۰): صص ۶۶-۴۹

علمی- پژوهشی

مروری جامع بر کارهای صورت گرفته در زمینه تاب‌آوری شبکه قدرت در برابر حوادث با احتمال وقوع کم و خسارت تحمیلی شدید

رضا غفارپور[1*]، سجاد مددی[2]، سعید زمانیان[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۰۶

چکیده

امروزه تأثیر حوادث با احتمال وقوع کم و خسارات تحمیلی شدید مانند بلایای طبیعی و اقدامات خرابکارانه بر شبکه برق در بسیاری از کارها مورد توجه قرار گرفته است. بر اساس نتایج گزارش شده، این حوادث بر شبکه برق تأثیراتی از قبیل خاموشی طولانی مدت قسمت بزرگی از شبکه، خروج تجهیزات اصلی (به‌عنوان مثال، پست‌ها، خطوط انتقال و نیروگاه‌ها) و تحمیل آسیب‌های شدید به تجهیزات دارند. این پیامدها باعث ایجاد روش‌های کنترل و بهره‌برداری و استراتژی‌های برنامه‌ریزی برای بهبود تاب‌آوری شبکه‌های برق در برابر چنین رویدادهایی شده‌اند. به‌طور کلی تاب‌آوری به توانایی شبکه به کاهش اثرات پیش آمده در نتیجه رخ دادن حوادث با احتمال وقوع کم و خسارات تحمیلی شدید تعریف می‌شود. هدف از تاب‌آوری، ایجاد پتانسیلی برای سرعت بخشیدن بهبود سامانه در برابر صدمات چنین حوادث و تطبیق عملکرد و ساختار آن به‌منظور کاهش و یا حذف تأثیرات این حوادث است. در این مقاله کارهای صورت گرفته در زمینه تاب‌آوری شبکه‌های قدرت در برابر حوادث با احتمال وقوع کم و خسارات تحمیلی شدید مرور می‌گردد. مقالات این حوزه در ابتدا به دو بخش تاب‌آوری در برابر حوادث طبیعی و حملات خرابکارانه تقسیم می‌شوند. کارهای صورت گرفته در هر بخش به‌صورت تفضیلی شرح داده شده و مقالات هر زیر بخش از دیدگاه‌های مختلف دسته‌بندی و ویژگی‌های هر دسته ذکر می‌شوند.

کلید واژه‌ها: تاب‌آوری شبکه قدرت، بلایای طبیعی، حوادث تروریستی، مقالات مروری

[1] استادیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران- (rghaffarpour@ihu.ac.ir)- نویسنده مسئول

[2] دانشجوی دکتری، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

[3] پژوهشگر، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران

۱- مقدمه

امروزه نقش حیاتی برق در توسعه صنعت، افزایش رفاه اجتماعی و امور روزمره مردم به خوبی شناخته شده است. با این حال عملکرد ایمن این شبکه‌ها با تهدیدات طبیعی و تروریستی همواره مورد تهدید قرار می‌گیرد. این حوادث دارای احتمال وقوع کم اما تأثیرگذاری زیاد در شبکه برق هستند. از جمله تأثیرگذاری حوادث طبیعی در شبکه برق را می‌توان به قطعی‌های برق رخ داده براثر وقوع زمین‌لرزه اشاره نمود. مرجع [۱] گزارشی از میزان خسارات ناشی از چندین زمین لرزه معروف جهان بر زیرساخت‌های انرژی ارائه داده است. بر اساس این گزارش، زمین لرزه نورثریج آمریکا با بزرگی ۶/۸ ریشتر سبب آسیب رساندن به پست‌های برق واقع در مناطق ایالت کالیفرنیا شده و قطعی برق وسیعی از چند ثانیه تا چند روز را به همراه داشته است. نمونه دیگر از گزارش‌های این مرجع به قطعی گسترده برق در تمامی قسمت‌های شمالی کشور تایوان و خسارت ۳۳۰ میلیون دلاری شبکه برق این کشور بر اثر وقوع زمین لرزه‌ای به شدت ۷/۶ ریشتر می‌پردازد. کشور ایران که کشوری زلزله‌خیز واقع در کمربند لرزشی آلپ هیمالیا است، بر اثر وقوع زمین لرزه‌های بم، اهر،هریس و کرمانشاه با خاموشی‌های طولانی مدت در بخش‌های روستایی و شهری قسمت‌های زلزله زده مواجه شد. بر اساس گزارش مرجع [۱] در جریان زمین لرزه بم علاوه بر قطعی گسترده در مناطق زلزله زده بهره‌برداران شبکه قدرت با شکسته شدن مقره‌ها و نشتی روغن آن‌ها و آسیب‌های جدی در تجهیزات پست و خطوط برق مواجه شدند. بنا بر ارقام گزارش شده در مرجع [۲] میزان خسارت وارد شده به زیرساخت‌های برق بر اثر زمین لرزه‌های بوشهر (۲۰ فروردین ۱۳۹۲)، هرمزگان (۲۱ اردیبهشت ۱۳۹۲) و اهر و ورزقان (۲۱ مرداد ۱۳۹۱) به ترتیب برابر با ۱۷۰، ۹۷ و ۱۲۰ میلیارد ریال تخمین زده شده است. مرجع [۳] میزان خاموشی ناشی از زمین لرزه سال ۲۰۱۱ توکیو ژاپن را در حدود ۴ میلیون مشترک و خسارات مالی زمین لرزه به صنعت برق این کشور را در حدود ۱۴/۵ تا ۳۴/۶ میلیارد دلار برآورد کرده است. از انواع دیگر بلایای طبیعی که موجب آسیب رساندن به عملکرد ایمن شبکه برق می‌شود، می‌توان به طوفان‌های آب و هوایی اشاره نمود. در سال ۲۰۰۸ میلادی بنا بر گزارش ارائه شده در مرجع [۴] وقوع طوفان برفی در کشور چین موجب آسیب رساندن به ۲۰۰۰ پست و ۸۵۰۰ دکل برق و در نتیجه قطعی برق در ۱۳ استان و ۱۷۰ شهر شد. نمونه دیگر از تأثیرات طوفان در قطعی برق، به خاموشی چند هفته‌ای ۲/۸ میلیون مشترک در آمریکا بر اثر طوفان در منطقه هوستون این کشور و خسارات مالی در حدود ۲۴/۹ میلیارد دلار اشاره نمود [۵]. از این دست حوادث می‌توان به طوفان تورندو در چین اشاره داشت که منجر به قطع برق ۱۳۵ هزار خانواده چینی شد [۶].

از سوی دیگر زیرساخت‌های برق به هدفی جذاب برای عوامل تروریستی به‌منظور انجام اقدامات خرابکارانه تبدیل شده‌اند [۷]. معمولاً عوامل خرابکار با آسیب رساندن به بخشی از شبکه الکتریکی درصدد تحمیل خاموشی‌های گسترده به شبکه هستند. پس از حوادث ۱۱ سپتامبر سال ۲۰۰۱، حفظ امنیت زیرساخت‌های حیاتی به نگرانی دولت و صنعت بسیاری از کشورها تبدیل شده است. در مرجع [۸] انواع مختلف تهدیدات در سامانه برق مورد بررسی قرار گرفته است. در این مرجع پروژه‌های انجام شده توسط دولت ایالات متحده آمریکا برای بررسی آسیب‌پذیری زیرساخت‌های شبکه برق بیان شده و یک روش اندازه‌گیری آسیب‌پذیری شبکه بر اساس روش ارزیابی ریسک احتمالی ارائه شده است. از آنجا که پیش‌بینی آسیب‌پذیری دستگاه‌های قدرت به‌منظور مشخص‌سازی توانایی آن‌ها در ادامه ارائه خدمات در صورت بروز حوادث تروریستی از اهمیت بالایی برخوردار است. در مرجع [۹] دو شاخص آسیب‌پذیری دستگاه‌های قدرت هنگام قرار گرفتن در شرایط احتمالی مورد بررسی قرار گرفته است. در این مرجع روش پیش‌بینی آسیب‌پذیری بر اساس شبکه عصبی احتمالی و با اندازه‌گیری میزان بار احتمالی پاسخ داده نشده انجام شده است. مطالعه این مرجع بر روی شبکه ۸۷ باسه نشان دهنده این موضوع است که در صورت وقوع یک حادثه تروریستی در شبکه مورد مطالعه در بدترین شرایط احتمالاً شبکه با خاموشی در حدود ۵۰ درصد بار مواجه می‌شود. در مرجع [۱۰] یک استراتژی دفاعی به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری شبکه در برابر حملات تروریستی ارائه شده است. روش پیشنهادی این مرجع بر روی دو شبکه آزمون ۲۴ و ۳۰۰ باسه IEEE پیاده‌سازی شده است. نتایج آسیب‌پذیری گزارش شده در این مرجع در حالتی که این شبکه‌ها از استراتژی دفاعی پیشنهادی استفاده نمی‌کنند حاکی از تحمیل خاموشی‌هایی به میزان ۱۸۵۹ MW و ۱۰۹۳۷/۸ به ترتیب برای شبکه‌های ۲۴ و ۳۰۰ باسه هست. همچنین یک برنامه دفاع از سامانه قدرت در برابر حوادث تروریستی توسط مرجع [۱۱] ارائه شده است. این مرجع از شبکه ۱۱۸ باسه IEEE برای ارزیابی طرح پیشنهادی خود استفاده کرده است. با توجه به نتایج گزارش شده این مرجع میزان خاموشی تحمیل شده به شبکه در صورت آسیب وارد شدن به ۲ خط انتقال توسط عامل تروریستی و عدم وجود سیاست دفاعی مناسب توسط بهره‌بردار شبکه، ۱۰۸ MW تخمین زده شده است. در حالی که انتظار می‌رود با افزایش آسیب‌های تروریستی میزان خاموشی تحمیل شده به‌صورت نمایی افزایش یابد. یک رویکرد دفاعی مبتنی بر بهینه‌سازی مقاوم برای کاهش آسیب‌پذیری یکریز شبکه در مرجع [۱۲] مورد بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج ارائه شده در این مرجع می‌توان عنوان داشت که عدم وجود استراتژی مناسب دفاعی در یکریز شبکه برق می‌تواند منجر به خاموشی‌های گسترده در صورت رخ دادن حوادث تروریستی شود.

با توجه به پیامدهای عنوان شده در اثر وقوع حوادث با احتمال کم اما تأثیرات مخرب بالا، بسیاری از محققین و برنامه‌ریزان شبکه‌های انرژی روش‌هایی برای تاب‌آوری سازی دستگاه‌های خود در برابر رخ دادن این حوادث ارائه داده‌اند. بر اساس یافته‌های گزارش شده می‌توان عنوان داشت که در راستای افزایش تاب‌آوری شبکه‌های برق نیاز به افزایش انعطاف‌پذیری شبکه با نصب منابع انعطاف‌پذیر مانند نیروگاه‌های تولید پراکنده و دستگاه‌های ذخیره‌ساز در مکان‌های مناسب هست. از سوی دیگر مدل‌سازی مناسب این رویدادها می‌تواند به حصول نتایجی با بیشترین تأثیر در تاب‌آوری دستگاه‌های قدرت کمک کند. از این رو در این مقاله با مرور کارهای صورت گرفته در خصوص افزایش تاب‌آوری دستگاه‌های قدرت در برابر حوادث با احتمال کم و خسارات تحمیلی زیاد انواع منابع انعطاف‌پذیر به‌کار برده شده با هدف ذکر شده بیان می‌گردد. همچنین مدل‌های ارائه شده جهت آشکارسازی پیامدهای هر یک از این حوادث تشریح می‌شوند. در پایان پیشنهادهایی جهت بهبود مدل‌های ارائه شده به‌صورت اجمالی بیان می‌گردند.

۲- تاب‌آوری شبکه برق در برابر حوادث طبیعی

در زمینه تاب‌آوری شبکه برق در برابر حوادث طبیعی تمرکز اساسی بر تقسیم شبکه توزیع به چندین ریزشبکه به هم پیوسته است. به گونه‌ای که هر یک از این ریزشبکه‌ها در حالت عملکرد عادی با در نظر گرفتن امکان انتقال توان بین ریزشبکه‌های مختلف برنامه‌ریزی شده‌اند. در شرایط به وجود آمدن یک حادثه شدید، مانند طوفان هر یک از ریزشبکه‌ها به‌صورت جزیره‌ای سعی در تأمین بار خود خواهد کرد. در این شرایط هر ریزشبکه با توجه منابع قابل دسترس خود بارهای موجود را به دو دسته بارهای بحرانی و غیر بحرانی تقسیم کرده و پس از اطمینان از پاسخگویی به بارهای بحرانی سعی به پاسخ دادن بیشترین بارهای غیر بحرانی می‌کند. در این راستا مرجع [۱۳] یک برنامه مدیریت سلسله مراتبی قطع به‌منظور ارتقای تاب‌آوری سامانه توزیع هوشمند متشکل از چند ریزشبکه در برابر حوادث غیر منتظره ارائه کرده است. بدین منظور، پس از مشخص کردن ویژگی‌ها و الزامات اصلی یک طرح مدیریت خاموشی انعطاف‌پذیر، یک چارچوب مناسب تدوین شده و نقش‌ها و وظایف اشخاص مختلف مدیریتی در یک سامانه چند ریزشبکه‌ای معرفی شده است. بر اساس این چارچوب، ریزشبکه‌ها منابع اولیه خود را در مرحله اول با استفاده از یک الگوریتم مبتنی بر کنترل پیش‌بینی شده، برنامه‌ریزی می‌کنند. در مرحله دوم، اپراتور سامانه توزیع، انتقال توان احتمالی را در میان ریزشبکه‌ها هماهنگ کرده و از ظرفیت‌های بلااستفاده ریزشبکه‌ها برای تغذیه بارهای پاسخ داده نشده در مرحله اول استفاده می‌کند. نویسندگان مرجع [۱۴] به نقش ریزشبکه‌های به هم پیوسته به‌عنوان دستگاه‌های توزیع شده برای تقویت تاب‌آوری سامانه انرژی در برابر حوادث شدید پرداخته است. این ایده که دستگاه‌های قدرت بزرگ می‌توانند از طریق استقرار ریزشبکه‌های به هم پیوسته به سطح انعطاف‌پذیری بالاتری دست پیدا کنند، به‌طور مفصل در این مرجع بررسی شده است. این مرجع به‌منظور روشن‌سازی نقش ریزشبکه‌های به هم پیوسته در مواجه با حوادث شدید اقدام به برنامه‌ریزی این ریزشبکه‌ها کرده است. این مرجع نتیجه می‌گیرد که ریزشبکه‌های به هم پیوسته یک راه حل مناسب برای بهبود تاب‌آوری در برابر حوادث شدید در شهرهای هوشمند هستند.

با مرور منابع ارائه شده در زمینه تاب‌آوری دستگاه‌های قدرت می‌توان بیان داشت که این منابع نقش تشکیل ریزشبکه‌های به هم پیوسته و برنامه‌ریزی جزیره‌ای هر ریزشبکه در افزایش تاب‌آوری سامانه کلی را پذیرفته‌اند و این امر به‌عنوان نقطه مشترک این منابع می‌تواند بیان شود. با این حال منابع ارائه دهنده راهکارهای بهبود تاب‌آوری شبکه در برابر حوادث طبیعی را می‌توان با توجه به شاخص ارزیابی تاب‌آوری مورد استفاده، نحوه مدل‌سازی عدم قطعیت‌های مسئله و همچنین منابع انعطاف‌پذیر لحاظ شده در ریزشبکه‌ها تقسیم‌بندی نمود که در زیر بخش‌های ۲-۱، ۲-۲، ۲-۳ به تفضیل به هر یک از این موارد پرداخته خواهد شد.

۲-۱- شاخص‌های استفاده شده برای ارزیابی تاب‌آوری

عملکرد طرح‌های پیشنهادی برای افزایش تاب‌آوری شبکه در برابر حوادث طبیعی باید با استفاده از یک شاخص تاب‌آوری مناسب ارزیابی شود. با این وجود، هیچ معیار استانداردی در زمینه سنجش تاب‌آوری سامانه قدرت تا به امروز به‌صورت جامع ارائه نشده است. در نتیجه شاخص‌های متفاوتی جهت ارزیابی اثربخشی چارچوب‌های پیشنهادی افزایش تاب‌آوری سامانه قدرت در برابر حوادث طبیعی به‌کار برده شده‌اند. این شاخص‌ها را می‌توان به صورت موارد زیر دسته‌بندی نمود:

- شاخص کاهش انرژی مورد انتظار: این شاخص میزان کاهش انرژی مورد انتظار در طی اختلالی با طول زمانی H را اندازه‌گیری می‌کند. با استفاده از این شاخص تجزیه و تحلیل رویدادهای مختلف احتمالی با زمان شروع متفاوت امکان‌پذیر است. میانگین کل کاهش انرژی در سامانه چند ریزشبکه‌ای به‌عنوان شاخص تاب‌آوری ثبت می‌شود. مدل ریاضی این شاخص در رابطه (۱) نشان داده شده است [۱۳].

$$RI = \frac{1}{NT}\sum_{h=1}^{NT}\sum_{i=1}^{N}\sum_{t=h+1}^{h+H}\Delta t.LS_{i,t}^{D} \quad (۱)$$

در این رابطه تعداد ریزشبکه‌ها با N، تعداد دفعات وقوع حوادث و میزان بار از دست رفته در هر سری به ترتیب با NT و $LS_{i,t}^{D}$ نشان داده شده‌اند.

- شاخص K: این شاخص تعداد خطوطی که پیش‌بینی می‌شود بر اثر وقوع یک حادثه شدید از مدار خارج شوند را اندازه‌گیری می‌کند. مدل ریاضی این شاخص در رابطه (۲) نشان داده شده است [۱۵].

$$k = \int_{0}^{\infty} kf(k)dk \quad (۲)$$

در این رابطه تعداد خطوط قطع شده با K مشخص شده است. تابع توزیع شکنندگی که ویژگی خاموشی‌های مربوط به یک رویداد شدید را توصیف می‌کند با f نشان داده شده و به‌صورت رابطه (۳) محاسبه می‌گردد. این پارامتر تابعی از احتمال خروج خط (P_d) براثر شرایط پیش آمده (V) هست.

$$f = P_d(k \mid V) \quad (۳)$$

- شاخص LOLP: احتمال اینکه بار پاسخ داده نشود را اندازه‌گیری می‌کند. این شاخص یکی از شاخص‌های مطرح سنجش قابلیت اطمینان سامانه است.

- شاخص EDNS: میزان متوسط بار پاسخ داده نشده را اندازه‌گیری می‌کند. این شاخص همانند شاخص LOLP از شاخص‌های ارائه شده در سنجش قابلیت اطمینان سامانه است. تفاوت میان این شاخص و شاخص کاهش انرژی مورد نیاز، توانایی شاخص کاهش انرژی مورد نیاز در مدل‌سازی تعداد حوادث و همچنین بازه‌های زمان‌های مختلف هست.

- شاخص G: این شاخص به‌منظور اندازه‌گیری پیچیدگی ترمیم شبکه پس از وقوع یک حادثه ارائه شده است. با توجه به شدت حوادث شدید و میزان خسارت وارده به زیرساخت‌های مهم شامل شبکه قدرت، حمل و نقل و زیرساخت‌های سایبری ممکن است. روند ترمیم شبکه قدرت در حوادث شدید چندین ساعت یا حتی چند روز طول بکشد. با پیش‌بینی وضعیت آب و هوا و آگاهی نسبی از وضعیت زیرساخت‌ها در شرایط وقوع حوادث شدید می‌توان شدت خسارت وارده به زیرساخت‌های مهم را برآورد کرده و منابع انسانی و مادی سازمانی را برای بازیابی کامل شبکه قدرت بسیج کرد. شاخص بازیابی شبکه با میانگین زمان سنتی برای تعمیر که در بیشتر موارد بستگی به وضعیت تجهیزات مربوط به شبکه برق دارد، متفاوت هست. این شاخص علاوه بر وضعیت تجهیزات، خرابی‌های شبکه حمل و نقل، سامانه ارتباطات و عوامل مختلف با توجه به نوع حادثه را مدل کرده و با حاصل جمع وزن‌دار هر یک از این عوامل محاسبه می‌شود. در رابطه (۴) مدل ریاضی این شاخص نشان داده شده است [۱۵].

$$G = \sum w_i \eta_i \quad (۴)$$

در این رابطه عامل تأثیرگذار و وزن هر عامل با η و w_i نشان داده شده‌اند.

- شاخص توانایی ترمیم: در این شاخص، میزان توانایی ترمیم ریزشبکه با توجه به میزان کل بار موجود و میزان بار بازگردانده شده توسط ریزشبکه در شرایط خطا سنجیده می‌شود. مدل ریاضی این شاخص در رابطه (۵) نشان داده شده است [۱۶].

$$RI = \left(\sum_{n-1}^{N}\frac{P_{t_e\rho_{n,r}}}{P_{t_e,\rho_n}}.\rho_n\right)/N \quad (۵)$$

در این رابطه مقدار بار بازگردانده شده و کل بار به ترتیب با $P_{t_e\rho_{n,r}}$ و P_{t_e,ρ_n} نشان داده شده‌اند. پارامتر ρ_n به‌منظور مشخص کردن اولویت بار لحاظ شده است.

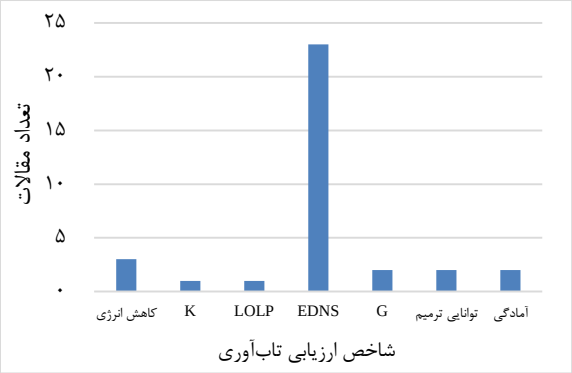
- شاخص آمادگی: این شاخص برابر است با میزان انرژی ذخیره شده موجود در ذخیره‌سازها که جهت پاسخگویی به بارهای مهم استفاده می‌شود. معمولاً این مقدار انرژی به‌عنوان آمادگی ریزشبکه در برابر حوادث طبیعی در شرایط عادی بهره‌برداری استفاده نمی‌شوند. میزان این انرژی در مسائل برنامه‌ریزی کوتاه مدت ریزشبکه به میزان آمادگی تعبیر شده است [۱۶].

بسیاری از مقالات مرور شده از یک یا چند شاخص‌های ذکر شده به‌صورت مستقیم و یا با اعمال تغییرات حداقلی استفاده کرده‌اند. در جدول (۱) شاخص‌های استفاده شده توسط مراجع بیان شده است.

جدول (۱): شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری سامانه استفاده شده توسط مراجع

مرجع	کاهش انرژی مورد انتظار	*K*	*LOLP*	*EDNS*	*G*	توانایی ترمیم	آمادگی
[۱۳]	✓						
[۱۴]				✓			
[۱۵]		✓	✓	✓	✓		
[۱۷]				✓			✓
[۱۸]				✓			
[۱۹]						✓	
[۲۰]				✓			
[۲۱]	✓						
[۲۲]						✓	
[۲۳]				✓			
[۲۴]				✓			
[۲۵]				✓			
[۲۶]				✓			
[۲۷]	✓						
[۲۸]				✓			
[۲۹]				✓			
[۳۰]				✓			✓
[۳۱]				✓			
[۳۲]				✓	✓		✓
[۳۳]				✓			
[۳۴]				✓			
[۳۵]				✓			
[۳۶]		✓		✓			
[۳۷]				✓			
[۳۸]				✓			
[۳۹]				✓			
[۴۰]				✓			
[۴۱]				✓			

در شکل (۱) مقایسه آماری از میزان استفاده این شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری سامانه توزیع ارائه شده است. بر اساس این شکل و جدول (۱) می‌توان نتیجه گرفت که شاخص میزان بار پاسخ داده نشده برای نشان دادن میزان اثربخشی مدل‌های تاب‌آوری شبکه قدرت در برابر بلایای طبیعی بیشتر از سایر شاخص‌ها مورد توجه قرار گرفته است. سایر مراجع اشاره نشده در این بخش نیز از مدل‌های اندازه‌گیری میزان بار پاسخ داده نشده برای ارزیابی مدل پیشنهادی خود استفاده کرده‌اند. بنابراین پیشنهاد می‌شود به‌منظور مقایسه پذیری اثربخشی روش‌هایی که در آینده توسط محققین ارائه می‌گردند از این شاخص استفاده شود.



شکل (۱): میزان استفاده از شاخص‌های ارزیابی تاب‌آوری سامانه در مراجع

۲-۲- نحوه مدل‌سازی عدم قطعیت در مدل‌های تاب‌آوری شبکه در برابر حوادث طبیعی

مقالات ارائه شده در زمینه تاب‌آوری شبکه قدرت در برابر حوادث طبیعی را با توجه به نحوه مدل‌سازی منابع عدم قطعیت در مسئله بهینه‌سازی می‌توان به سه دسته بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت، مدل‌های بهینه‌سازی تصادفی، مدل‌های بهینه‌سازی مقاوم تقسیم‌بندی نمود.

۲-۲-۱- مدل‌های تصمیم‌گیری بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت

در این مدل‌ها پارامترهای دارای عدم قطعیت مانند تولید نیروگاه‌های بادی، تأثیر حوادث قابل پیش‌بینی بر شبکه قدرت به‌صورت مقدار پیش‌بینی شده در نظر گرفته می‌شود. به‌عنوان مثال نویسندگان مرجع [۲۲] یک استراتژی مدیریت انرژی برای برنامه‌ریزی روزانه ریزشبکه‌های به هم پیوسته به‌عنوان سامانه مدیریت انرژی چند سطحی ارائه کرده‌اند. در استراتژی پیشنهادی مدیریت انرژی چند سطحی، توان مازاد موجود در ریزشبکه‌ها به‌عنوان یک منبع و کسری توان هر ریزشبکه به‌عنوان بار جهت تبادل توان به ریزشبکه‌های بیرونی منعکس می‌شود. هزینه بهره‌برداری از ریزشبکه‌های به هم پیوسته با دستگاه‌های مدیریت انرژی چند سطحی در مقایسه با استراتژی‌های مدیریت انرژی غیر متمرکز کمتر و دارای تاب‌آوری بیشتر است. به همین ترتیب، به دلیل درج داده‌ها (مازاد / کسری) از ریزشبکه‌های سطح داخلی، حریم خصوصی مشتری نیز افزایش می‌یابد. در حالت جزیره‌ای، عملکرد انعطاف‌پذیر ریزشبکه‌های جزیره‌ای شده به دلیل توانایی آن‌ها در تشکیل زیرگروه‌ها افزایش یافته است. در حالت اتصال به شبکه، انواع مختلف نیروگاه‌ها با هزینه‌های تولید متفاوت در هر ریزشبکه به همراه سیگنال‌های قیمت خریداری شده از بازار مورد بررسی قرار گرفته است. در حالت جزیره‌ای، تأثیر سامانه ذخیره‌ساز انرژی در هنگام قطع اتصال ریزشبکه‌ها از شبکه به هم پیوسته ارزیابی شده است. در مرجع [۲۷] یک چارچوب مدیریت پیشگیرانه ریزشبکه برای مقابله با اثرات منفی طوفان‌های شدید باد ارائه شده است. پس از دریافت هشدار برای طوفان، این چارچوب یک برنامه محافظه‌کارانه برای ریزشبکه‌هایی با حداقل تعداد شاخه‌های آسیب‌پذیر در اثر شرایط طوفان به‌صورتی که بار بحرانی پاسخ داده شود، پیدا می‌کند. برنامه ارائه شده در این مرجع عملکرد طبیعی ریزشبکه قبل از طوفان بادی و همچنین کاهش آسیب‌پذیری ریزشبکه در شروع طوفان را تضمین می‌کند. روش ارائه شده از تغییر توپولوژی شبکه، تغییر توان نیروگاه‌های قابل برنامه‌ریزی و تنظیم ولتاژ جهت رسیدن به پاسخ بهینه استفاده می‌کند.

۲-۲-۲- مدل‌های تصمیم‌گیری تصادفی

در دستگاه‌های انرژی در مقیاس بزرگ، وجود پارامترهای دارای عدم قطعیت مانند انرژی‌های تجدید پذیر باعث ایجاد چالش برای حل مسئله بهینه‌سازی و یافتن راه حل بهینه می‌شوند. روش بهینه‌سازی تصادفی یکی از راه‌های مقابله با این چالش شناخته می‌شود. در یک برنامه‌ریزی تصادفی با استفاده از سناریوهای مختلف و احتمال رویداد آن سناریو مسئله بهینه‌سازی با هدف رسیدن به جواب بهینه برای میانگین سناریوها حل می‌شود. این روش دارای دو مرحله شامل تولید سناریو و کاهش سناریوها به تعداد دلخواه هست. در مرحله تولید سناریو با استفاده از توزیع احتمالی به‌دست آمده بر اساس داده‌های تاریخی و شبیه‌سازی مونت‌کارلو سناریوهای مسئله به تعداد زیاد ساخته می‌شود [۴۱]. در گام بعدی بر اساس روش‌های ارائه شده برای کاهش سناریو مانند روش سندرد [۴۲] و یا روش‌های خوشه‌بندی [۴۳ و ۴۴] تعداد سناریوهای تولید شده به اندازه مناسب کاهش داده می‌شود. در راستای مدل‌سازی تصادفی تاب‌آوری دستگاه‌های قدرت در برابر حوادث طبیعی مرجع [۲۸] یک رویکرد برنامه‌نویسی تصادفی را برای افزایش تاب‌آوری یک سامانه توزیع در معرض آتش‌سوزی پیشنهاد می‌کند. ظرفیت دینامیکی خطوط

هوایی به‌منظور مدل‌سازی تأثیر آتش‌سوزی بر دمای هادی و جریان هادی‌ها در نظر گرفته شده است. عدم قطعیت‌های مربوط به تابش خورشیدی، سرعت باد و جهت باد تأثیرگذار بر پیشرفت آتش‌سوزی و میزان توان تولیدی نیروگاه‌های تجدید پذیر به‌عنوان پارامترهای تصادفی در نظر گرفته شده‌اند. در مرجع [۳۱] یک استراتژی یکپارچه ترمیم برای به حداقل رساندن هزینه کل سامانه با برنامه‌ریزی دستگاه‌های ذخیره‌ساز سیار انرژی، منابع ریزشبکه‌ها و تغییر توپولوژی شبکه توزیع پیشنهاد شده است. استراتژی یکپارچه باعث آسیب و اصلاح هر دو جاده در شبکه‌های حمل و نقل و ریزشبکه‌های دستگاه‌های توزیع می‌شود. عدم قطعیت در مصرف بار و وضعیت جاده‌ها و ریزشبکه‌ها به‌عنوان درخت سناریو با استفاده از روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو مدل‌سازی شده است. استراتژی عملیاتی پیشنهادی در این مرجع با یک روش تصادفی چند لایه شبکه زمان و مکان مدل‌سازی شده است. در مرجع [۴۵] یک ابزار تجزیه و تحلیل تأثیر طوفان مکانی و زمانی برای کمک به بهره‌برداران صنعت برق در تعیین میزان آسیب‌های طوفان به شبکه برق تهیه شده است. مدل ارائه شده در این مرجع سناریوهای طوفان تصادفی مبتنی بر داده‌های تاریخی طوفان را ایجاد کرده و سناریوهای قطع احتمالی اجزای شبکه توزیع را با استفاده از اطلاعات ساختاری محاسبه شده بر اساس منحنی‌های شکنندگی ارائه می‌کند. سناریوهای قطع تولید شده توسط مدل به بهره‌بردار امکان می‌دهد تا خطرات احتمالی شبکه برق را در ساعت‌ها یا روزهای منتهی به یک رویداد طوفان قریب‌الوقوع شناسایی کند. علاوه بر این، مدل ارائه شده در این مرجع می‌تواند به‌عنوان یک ابزار برنامه‌ریزی اضطراری به‌منظور شناسایی اقدامات مناسب در وضعیت طوفان استفاده شود.

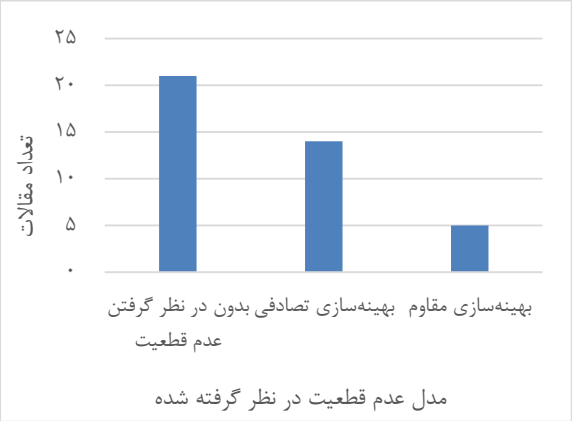
۲-۲-۳- مدل‌های تصمیم‌گیری مقاوم

در برنامه‌ریزی تصادفی نیاز به تخمین توزیع تصادفی متغیرهای دارای عدم قطعیت وجود داشت. با این حال تخمین توزیع تصادفی برخی از منابع عدم قطعیت امکان‌پذیر نیست. بهینه‌سازی مقاوم قادر است مشکلات بهینه‌سازی با پارامترهای عدم قطعیت که قادر به تخمین توزیع احتمالی مجموعه دارای عدم قطعیت آن نیست، را برطرف کند. در این مدل بهینه‌سازی یک مجموعه عدم قطعیت برای توصیف نتایج احتمالی پارامترهای دارای عدم قطعیت استفاده شده و همان‌طور که از نام آن مشخص است، دارای یک ساختار تنظیم کننده به‌منظور یافتن مقادیری از عدم قطعیت‌ها برای تحقق بدترین حالت از این پارامترها و بهینه نمودن تابع هدف به ازای بدترین حالت‌های ممکن تنظیم شده هست. در این روش بهینه‌سازی با استفاده از پیش‌بینی بازه‌ای، با در نظر گرفتن بدترین سناریوهای ممکن برای مجموعه عدم قطعیت با توجه به بودجه مقاوم تعیین شده توسط کاربر (ساختار تنظیم کننده) تابع هدف بهینه می‌شود. با در نظر گرفتن بودجه‌های مقاوم می‌توان میزان انتخاب بدترین شرایط توسط الگوریتم تغییر داده شود. مرجع [۲۶] یک مدل برنامه‌ریزی بهینه بر اساس بهینه‌سازی مقاوم برای برنامه‌ریزی کوتاه مدت ریزشبکه‌های قدرت با توجه به محدودیت‌های توانایی تاب‌آوری ریزشبکه در صورت جزیره‌ای شدن، ارائه می‌دهد. تابع هدف این مرجع به حداقل رساندن هزینه کل بهره‌برداری، از جمله هزینه تولید و هزینه ذخیره چرخان منابع محلی و همچنین هزینه خرید انرژی از شبکه اصلی با در نظر گرفتن محدودیت‌های تاب‌آوری یکریز شبکه و بهبود پارامترهای قابلیت اطمینان در منبع برق جزیره است. ریزشبکه موظف است به اندازه کافی ذخیره چرخان (از بالا و پایین) را برای تأمین تقاضای ریزشبکه در هنگام بروز حوادث منجر شونده به جدایی از شبکه اصلی در اختیار داشته باشد. در مرجع [۳۰]، یک مدل برنامه‌ریزی دو سطحی محدود شده با تاب‌آوری به‌منظور حداقل سازی هزینه لازم برای افزایش تاب‌آوری در شبکه‌های به هم پیوسته برق گاز طبیعی ارائه شده است. این مرجع در گام اول یک مسئله بهینه‌سازی بر اساس معیار استحکام و حداقل پشیمانی برای تقویت تاب‌آوری سامانه توزیع در برابر بدترین شرایط احتمالی $N\text{-}k$ تدوین کرده است. مدل آب و هوایی برای به‌دست آوردن پویایی مکانی حوادث آب و هوایی شدید در نظر گرفته شده است. سپس، مدل مقاوم پیشنهادی با ریلکس کردن معادلات جریان عبوری و جریان گاز طبیعی به محدودیت‌های مخروطی مرتبه دوم به‌عنوان یک مدل برنامه‌نویسی محدب مخلوط عدد صحیح ارائه شده است. الگوریتم تولید ستون و محدودیت برای حل مسئله بهینه‌سازی دو سطحی پیشنهادی این مرجع استفاده شده است. در مرجع [۳۸]، یک مدل بهینه‌سازی سه سطحی مقاوم برای بهره‌برداری و افزایش تاب‌آوری سامانه انرژی شامل شبکه‌های به هم پیوسته برق و گاز طبیعی با هدف به حداقل رساندن محدودیت‌های بار ناشی حوادث، ارائه شده است. محدوده‌های غیر محدب به‌منظور تدوین مسئله دوگان بهینه انرژی خطی سازی شده است. پس از آن مسئله سه مرحله‌ای ارائه شده توسط این مرجع با استفاده از الگوریتم تجزیه بندرز حل شده است.

دسته‌بندی منابع بر اساس روش مدل‌سازی عدم قطعیت در جدول (۲) ارائه شده است. همچنین مقایسه آماری از نحوه مدل‌سازی عدم قطعیت در مراجع در شکل (۲) آورده شده است. بر اساس این شکل می‌توان نتیجه گرفت که مدل بهینه‌سازی مقاوم در این راستا کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

جدول (۲): دسته‌بندی بر اساس روش مدل‌سازی عدم قطعیت

روش مدل‌سازی عدم قطعیت	مراجع
بدون در نظر گرفتن عدم قطعیت	[۱۳]، [۱۵]، [۱۶]، [۱۷]، [۲۰]، [۲۲]، [۲۵]، [۲۷]، [۳۲]، [۳۳]، [۳۴]، [۳۵]، [۴۸]، [۴۹]، [۵۰]، [۵۲]، [۵۳]، [۵۵]، [۵۶]، [۵۷]، [۵۸]
بهینه‌سازی تصادفی	[۱۸]، [۲۴]، [۲۸]، [۳۱]، [۳۶]، [۳۷]، [۳۹]، [۴۰]، [۴۵]، [۴۶]، [۴۷]، [۵۱]، [۵۴]، [۵۹]
بهینه‌سازی مقاوم	[۱۹]، [۲۶]،[۲۹]، [۳۰]، [۳۸]



شکل (۲): دسته‌بندی نحوه مدل‌سازی عدم قطعیت در مقالات بررسی شده

۲-۳- منابع انعطاف‌پذیر به‌کار برده شده در مدل‌های تاب‌آوری شبکه در برابر حوادث طبیعی

منابع انعطاف‌پذیر به‌عنوان عنصر اصلی در تاب‌آوری شبکه در برابر حوادث طبیعی عنوان شده‌اند وجود منابع انعطاف‌پذیر سبب ایجاد ریزشبکه‌های به هم پیوسته مناسب که به‌عنوان یک راه حل عمومی جهت افزایش تاب‌آوری شبکه قدرت در برابر حوادث شناخته شده است، می‌شود. منابع انعطاف‌پذیر که در کارهای گزارش شده++ توسط مراجع در نظر گرفته شده‌اند را می‌توان به سه دسته نیروگاه‌های تولید پراکنده، ذخیره‌سازهای انرژی و ظرفیت دینامیکی تجهیزات تقسیم نمود.

نیروگاه‌های تولید پراکنده: در سال‌های اخیر توجه به نصب نیروگاه‌های کوچک در محل مصرف یا نزدیک به مصرف به‌منظور تأمین اهداف اولیه از جمله کاهش تلفات شبکه، بهبود پروفایل ولتاژ مورد توجه قرار گرفته شدند. با ارائه مفهوم ریزشبکه‌های به هم پیوسته جهت افزایش تاب‌آوری ریزشبکه‌ها، نقش این نیروگاه‌ها در تعیین ریزشبکه‌ها و افزایش تاب‌آوری به اثبات رسیده است. نیروگاه‌های تولید پراکنده می‌توانند از یک منبع فسیلی (گاز) و یا منابع تجدید پذیر جهت تولید توان برق استفاده کنند. نیروگاه‌های دیزلی، بادی، فتوولتائیک از جمله نیروگاه‌های مطرح در سطح جهانی می‌باشند. به عنوان مثال یک استراتژی افزایش تاب‌آوری ریزشبکه‌ها با در نظر گرفتن انرژی‌های تجدید پذیر در مرجع [۴۶] با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین برای تولید سناریو توان نیروگاه‌های تجدید پذیر ارائه شده است. مدل ارائه شده در این مرجع می‌تواند با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر توان لازم جهت پشتیبانی از عملکرد بدون مشکل سامانه برق در مواجه با حوادث خطرناک شدید را تضمین کنند.

ذخیره‌ساز انرژی: با گسترش نیروگاه‌های تجدیدپذیر، دستگاه‌های ذخیره‌ساز جهت مقابله با ماهیت تولید غیر قابل برنامه‌ریزی این نیروگاه‌ها مورد توجه قرار گرفتند. با این حال امکان ذخیره انرژی در زمان‌های کم باری و تزریق آن در زمان پر باری می‌تواند موجب مسطح شدن پروفیل بار شود. این مزیت سبب گسترش استفاده از واحدهای ذخیره‌ساز انرژی شد. وجود ذخیره‌ساز در ریزشبکه‌ها موجب ارائه رویکردهایی جهت پاسخگویی به بارهای بحرانی در زمان وقوع حوادث غیر منتظره و افزایش تاب‌آوری ریزشبکه‌های یک سامانه قدرت می‌شود. در نتیجه در برخی از مراجع برنامه‌ریزی دستگاه‌های ذخیره‌ساز با در نظر گرفتن محدودیت‌های تاب‌آوری ارائه شده است. مرجع [۲۴] با هدف تقویت تاب‌آوری یکریز شبکه دارای نیروگاه‌های فتوولتائیک و باتری در برابر شرایط آب و هوایی شدید مانند طوفان، سونامی و حوادث مشابه مقادیر بهینه نصب باتری را مشخص کرده است. مزیت اصلی این مرجع در توانایی آن برای تعیین نقطه بهینه بین هزینه بهره‌برداری و تاب‌آوری شبکه است. به عبارت دیگر، این مرجع یک سامانه مدیریت بهینه باتری را به گونه‌ای پیشنهاد می‌کند تا ضمن حفظ هزینه بهره‌برداری ریزشبکه در کمترین مقدار، تاب‌آوری ریزشبکه پیشنهادی را نیز افزایش دهد. دستگاه‌های ذخیره‌ساز انرژی را می‌توان به دو دسته ذخیره‌سازهای شیمیایی (انواع مختلف باتری) و ذخیره‌سازهای طبیعی تقسیم‌بندی کرد. دستگاه‌های ذخیره‌ساز طبیعی به دلیل وابستگی به شرایط جغرافیایی در مسائل بهبود تاب‌آوری شبکه قدرت در برابر با حوادث طبیعی مورد توجه قرار نگرفته‌اند.

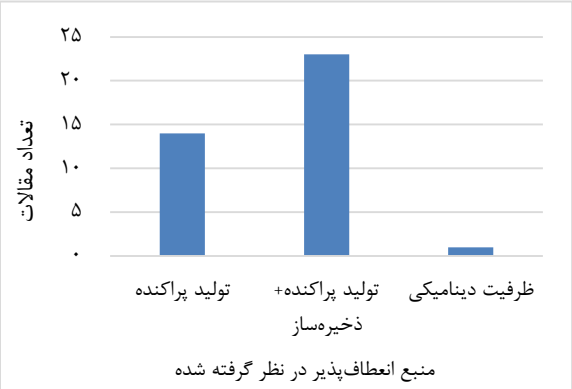
ظرفیت دینامیکی تجهیزات: محدودیت‌های حرارتی هر یک از تجهیزات (خطوط انتقال، ترانسفورماتورها) به‌کار برده شده در سامانه قدرت سبب تعریف ظرفیت نامی تجهیزات شده است. این ظرفیت نامی با توجه به بدترین شرایط آب و هوایی ثبت شده در محل نصب در دستگاه‌های رایج انرژی تعیین می‌شوند. با این حال افزایش دستگاه‌های اندازه‌گیری بر خط بهره‌بردارهای سامانه قدرت را قادر ساخته تا شرایط محیطی برخط تجهیزات را

اندازه‌گیری کرده و ظرفیت تجهیزات را بر اساس داده‌های برخط تعیین کنند. به ظرفیت محاسبه شده بر اساس شرایط برخط ظرفیت دینامیکی گفته می‌شود. ظرفیت دینامیکی تجهیزات در بیشتر مواقع مقدار قابل توجهی بیشتر از ظرفیت نامی تعیین شده بر اساس بدترین شرایط آب و هوایی برآورد شده است. از سوی دیگر یک عنصر افزایش انعطاف‌پذیری سامانه قدرت، افزایش ظرفیت تجهیزات موجود است. نقش مؤثر ظرفیت دینامیکی در افزایش تاب‌آوری سامانه قدرت در برابر آتش‌سوزی در مرجع [۲۸] بررسی شده است.

در جدول (۳) منابع انعطاف‌پذیر در نظر گرفته شده در مراجع مختلف جهت افزایش تاب‌آوری شبکه در برابر حوادث طبیعی مشخص شده است. مقایسه آماری این بخش نیز در شکل (۳) ارائه شده است.

جدول (۳): منابع انعطاف‌پذیر به‌کار گرفته شده در مراجع

منابع انعطاف‌پذیر	مراجع
تولید پراکنده	[۱۳]، [۱۷]،[۱۹]،[۲۶]، [۳۴]، [۳۶]، [۳۸]، [۳۹]، [۴۴]، [۴۷]، [۴۹]، [۵۵]، [۵۷]، [۵۸]
تولید پراکنده + ذخیره‌ساز	[۱۲]، [۱۵]، [۱۶]، [۱۸]، [۲۱]، [۲۳]، [۲۴]، [۲۵]، [۲۷]، [۲۸]، [۲۹]، [۳۰]، [۳۱]، [۳۲]، [۳۵]، [۳۷]، [۴۶]، [۴۸]، [۵۰]، [۵۱]، [۵۲]، [۵۳]، [۵۶]
ظرفیت دینامیکی	[۲۷]



شکل (۳): دسته‌بندی منبع انعطاف‌پذیر به لحاظ شده در مقالات

۳- تاب‌آوری شبکه در برابر حوادث خرابکارانه

امروزه تأثیر انرژی بر زندگی مردم و رشد اقتصادی و سیاسی کشورها کاملاً مشخص شده است. از این رو زیرساخت‌های انرژی از جمله شبکه برق هدفی مناسب برای عوامل خرابکار به‌منظور ضربه زدن به رشد اقتصادی و سیاسی یک کشور است. مراجع متعددی به ارائه راهکارهایی جهت بهبود تاب‌آوری شبکه قدرت در برابر حملات خرابکارانه پرداخته‌اند. اولین گام در این مقالات ارائه مدل مناسبی از رفتار عامل خرابکار جهت ضربه زدن به زیرساخت‌های برق است. مدل‌های مهاجم مدافع در ابتدا برای تجزیه و تحلیل آسیب‌پذیری دستگاه‌های قدرت در برابر چندین شرایط احتمالی از جمله حملات عوامل مخرب استفاده شده است. این مدل‌ها یک مسئله تصمیم‌گیری دو سطحی با در نظر گرفتن یک مهاجم و یک مدافع را تشکیل می‌دهند [۶۰-۶۸]. مهاجم یا همان عامل تروریستی مجموعه‌ای از تجهیزات شبکه برق را با هدف تحمیل بیشترین آسیب به شبکه را با در نظر گرفتن محدودیت‌های مالی عامل مخرب (بودجه خرابکاری) در سطح بالایی مدل انتخاب می‌کند. در سطح پایین مدل، مدافع یا همان بهره‌بردار شبکه به‌منظور حداقل سازی خسارات وارده توسط عامل مخرب با برنامه‌ریزی مجدد شبکه واکنش نشان می‌دهد. اگر چه مدل ارائه شده به‌منظور تشخیص تجهیزات ضروری برای تعیین استراتژی دفاعی و مصون نگهداری این تجهیزات از جمله عوامل مخرب به نظر مناسب هست، اما قادر به مدل‌سازی برنامه‌های توسعه شبکه به‌منظور افزایش تاب‌آوری شبکه نیست. در مورد شناسایی تجهیزاتی که نیاز به تقویت استراتژی دفاعی دارند، مراجع [۶۹-۷۱۹] نشان داده است، که خروجی‌های این مدل اگزما بهترین مجموعه از تجهیزات آسیب‌پذیر شبکه را مشخص نمی‌کند. بنابراین، به‌منظور پوشش نقاط ضعف مدل مهاجم مدافع، مدل سه سطحی مدافع- مهاجم- مدافع ارائه شد. بخش عمده‌ای از مراجع به‌منظور شناسایی رفتار عامل مخرب از این مدل استفاده کرده‌اند. این مدل که به مدل استحکام نیز معروف هست. شامل سه سطح بوده که در سطح نخست آن، برنامه‌ریز شبکه طرح‌های توسعه شبکه و یا تجهیزاتی که نیاز به مستحکم سازی دارند را به‌منظور حداقل سازی اثرات یک حمله خرابکارانه مشخص می‌کند. در سطح دوم این مدل مهاجم (عامل تروریستی) مجموعه‌ای از تجهیزات شبکه را به‌منظور بیشترین آسیب‌رسانی به زیرساخت‌های انرژی مشخص می‌کند. در سطح سوم، بهره‌بردار شبکه با در نظر گرفتن اقدامات برنامه‌ریز شبکه و عوامل تروریستی به کاهش صدمات وارده توسط یک عامل تروریستی می‌پردازد. در این مدل، هر عامل سعی در بهینه‌سازی تابع هدف خود با در نظر گرفتن رفتار سایر عوامل می‌کند. لازم به ذکر است که در مدل‌های ارائه شده محدودیت بودجه‌ای برای برنامه‌ریز شبکه و عامل تروریستی در نظر گرفته می‌شود. از معایب این روش وجود متغیر باینری در سطح دوم مدل که نشان دهنده تجهیزات انتخابی توسط عامل مخرب است، هست. وجود این بردار باینری مانع از تبدیل مسئله سه سطحی به یک مدل تک سطحی معادل با روش‌های معمول و

تئوری دوگان می‌شود. از این رو مراجع مختلف روش‌های حل مختلفی برای این مدل ارائه داده‌اند. از این رو می‌توان این مراجع را با توجه به مدل ارائه شده جهت حل مسئله سه سطحی تقسیم‌بندی نمود. در دسته‌بندی دوم این مراجع می‌توان همانند مقالات ارائه شده به‌منظور تاب‌آوری شبکه در برابر حوادث طبیعی، استفاده از منابع انعطاف‌پذیر هر یک از مراجع اشاره نمود. هر یک از این دسته‌بندی‌ها به تشریح در ادامه بررسی خواهد شد.

۳-۱- دسته‌بندی مراجع بر اساس روش حل مدل مدافع- مهاجم- مدافع

با توجه به وجود متغیر باینری در سطح میانی مدل مدافع- مهاجم- مدافع امکان تبدیل این مدل به یک مسئله تک سطحی با استفاده از روش‌های معمول و تئوری دوگان وجود ندارد. بنابراین محققین این زمینه روش‌های مختلفی برای حل مدل ارائه داده‌اند. در اکثر این روش‌ها با استفاده از تئوری دوگان مسئله دو سطح میانی و پایینی را به یک مسئله تبدیل کرده در نتیجه مسئله کلی به یک مسئله دو سطحی معادل تبدیل می‌شود. برای حل این مسئله دو سطحی معادل از روش‌های زیر استفاده می‌شود:

- حل مسئله دو سطحی معادل بر اساس الگوریتم شمارشی: در این الگوریتم، یک درخت جستجو با در نظر گرفتن یک فرض که مربوط به انتخاب مؤلفه‌های دفاعی است، تشکیل می‌شود. در فرض مطرح شده عنوان می‌گردد که یک مجموعه دفاعی بهینه باید حداقل یک عضو از مجموعه بحرانی داشته باشد. همچنین، یک مجموعه بحرانی مجموعه‌ای از تجهیزاتی است که توسط یک عامل مخرب زمانی که هیچ استراتژی دفاعی تعیین نشده انتخاب می‌شود. یک الگوریتم شمارشی با تعیین مجموعه بحرانی شروع می‌شود. در این گام مسئله سطح پایین بدون در نظر گرفتن مجموعه دفاعی حل می‌شود. برنامه بهینه عامل مخرب مجموعه بحرانی را ساخته و هر عضو آن به‌عنوان یک گره ریشه در الگوریتم شمارشی شناخته می‌شوند. هر یک از گره‌های ریشه در طی فرآیندی که به شاخه سازی تعبیر می‌شود، گسترش می‌یابد. به‌منظور گسترش هر گره در فرآیند شاخه سازی از تجهیزات مشخص شده در آن گره به‌عنوان اعضای دفاع شده در مسئله سطح بالا لحاظ شده و مسئله سطح پایین حل می‌گردد، جواب‌های بهینه به‌دست آمده توسط عامل مخرب به‌عنوان گره‌های جدید وصل شونده به گره لحاظ می‌گردند. فرآیند شاخه سازی برای هر گره تا زمانی که محدودیت بودجه دفاعی برنامه‌ریز نقض نشود، ادامه پیدا می‌کند. در صورت رسیدن به محدودیت بودجه دفاعی اصطلاحاً عنوان می‌شود که گره مذکور تبدیل به برگ شده است. پس از به برگ رسیدن تمامی گره‌ها، اجزای شاخه‌ای که کمترین خسارت تحمیلی را دارا می‌باشند، به‌عنوان جواب بهینه مسئله انتخاب می‌شوند.
- حل مسئله دو سطحی بر اساس روش تولید محدودیت و ستون: این روش نیز بر اساس تبدیل مسئله‌های سطوح میانی و پایین به یک مسئله معادل با استفاده از تئوری دوگان انجام می‌شود. پس از انجام این مرحله مدل مدافع مهاجم- مدافع به یک مسئله دو سطحی معادل تبدیل می‌شود. به‌منظور حل مسئله به‌دست آمده با استفاده از روش تولید محدودیت و ستون، مسئله سطح پایین به‌عنوان یک زیرمسئله به‌منظور شناسایی مخرب‌ترین استراتژی‌های حمله استفاده می‌شود. پس از تشکیل زیرمسئله، یک مسئله اصلی مطابق با روش ذکر شده در مرجع [۷۲] تشکیل می‌شود. این مسئله شامل متغیرهای هر دو سطح بالا و همچنین مسئله سطح پایین است. متغیرهای مسئله سطح پایین با یک زیرنویس k، شاخص تکرار مشخص می‌شوند. بنابراین در این روش متغیرهای مسئله سطح پایین به‌صورت مقادیر ثابتی به‌دست آمده از حل زیر سئله در نظر گرفته می‌شوند. همچنین یک متغیر کمکی به‌عنوان صفحه برش برای اجتناب از در نظر گرفتن شرایط تکراری و تضمین همگرایی روش در تابع هدف لحاظ می‌شود. پس از تشکیل مسئله اصلی و زیرمسئله الگوریتم تولید ستون و محدودیت اجرا می‌گردد. در گام نخست این الگوریتم حد بالا و پایین جواب به ترتیب برابر با مثبت و منفی بی‌نهایت مقداردهی اولیه می‌شوند. همچنین در این گام مقدار اولیه تولید نیروگاه‌ها در شرایط عادی با استفاده از اجرای پخش بار به‌دست می‌آید. در گام دوم زیرمسئله تعریف شده با استفاده از مقادیر تولید نیروگاه‌ها حل می‌شود. همچنین با حل زیرمسئله در این گام، مقدار تابع هدف عامل مخرب جهت به‌روزرسانی حد بالایی جواب استفاده می‌شود. بردار برنامه بهینه عامل مخرب به‌دست آمده با استفاده از حل زیرمسئله به مسئله اصلی منتقل می‌شود. در گام سوم مسئله اصلی با توجه به مقادیر ارسال شده از زیرمسئله حل می‌شود. در گام بعدی در صورتی که اختلاف حد بالایی و پایینی از مقدار تعیین شده توسط کاربر بزرگ‌تر بوده باشد. مسئله پخش بار با در نظر گرفتن تجهیزات خارج شده با اقدام تروریستی به‌دست آمده از حل تکرار اول اجرا می‌شود و مقادیر توان تولیدی نیروگاه‌ها به‌روز می‌شوند. مقادیر به‌روز شده به گام دوم انتقال یافته و الگوریتم تا زمان رسیدن به شرایط توقف (کمتر بودن اختلاف حد بالا و پایین جواب از مقدار تنظیمی کاربر) ادامه می‌یابد.

- حل مسئله دو سطحی بر اساس الگوریتم تجزیه بندرز: این الگوریتم مشابه با روش تولید ستون و محدودیت است. با ایجاد زیرمسئله و مسئله اصلی و انجام روشی مانند الگوریتم تولید ستون و محدودیت به جواب بهینه می‌رسد. مرجع [۱۱] بیان داشته است که حل مسئله دو سطحی بر اساس الگوریتم بندرز در واقع همان الگوریتم تولید محدودیت و ستون است.

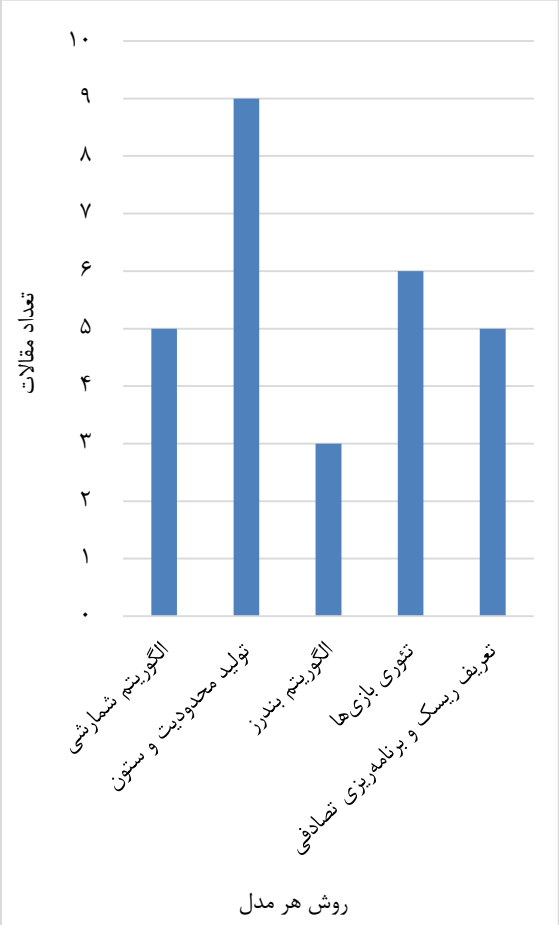
- حل مسئله بر اساس تئوری بازی‌ها: با توجه به این امر که مهاجم و مدافع اطلاعات کاملی در مورد انتخاب استراتژی‌های یکدیگر یا عواقب حملات مختلف ندارند، بازی‌های پیشنهادی برای حل این مدل شامل بازی‌های با اطلاعات ناقص است. اولین گام در این بازی‌های معرفی بازیکن‌هاست. برنامه‌ریز شبکه، عامل مخرب و بهره‌بردار شبکه سه بازیکنی هستند که در این بازی‌ها در نظر گرفته می‌شوند. در گام دوم تابع بازپرداخت هر یک از بازیکنان و تابع احتمالی که هر یک برای اقدامات طرف مقابل در نظر می‌گیرند، مطابق اهداف هر یک از بازیکنان تعریف می‌شود. در گام آخر بر اساس تعادل بیزی نش استراتژی دفاعی مناسب توسط برنامه‌ریز اتخاذ می‌گردد.

- حل مسئله بر اساس تعریف ریسک و برنامه‌ریزی تصادفی: برخی مراجع با توجه به ویژگی‌های برنامه‌ریزی تصادفی، رفتار مهاجم را به‌عنوان یک متغیر تصادفی لحاظ نموده و مسئله را با این فرض تبدیل به یک مسئله تک سطحی می‌کنند. این روش مدل مناسبی برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری شبکه در برابر حوادث تروریستی نیست.

بر اساس روش‌های بیان شده جهت حل مدل مدافع- مهاجم- مدافع در جدول (۴) مراجع مختلف بر اساس روش حل انتخابی تقسیم‌بندی شده‌اند. همچنین جهت مشخص‌سازی محبوب‌ترین روش حل در شکل (۴) تعداد استفاده از هر روش در مراجع مشخص گردیده است. بر اساس این شکل می‌توان بیان داشت که روش تولید محدودیت و ستون بیشتر توسط مراجع برای حل مدل سه سطحی مورد استفاده قرار گرفته است.

جدول (۴): تقسیم‌بندی مراجع تاب‌آوری در برابر حملات تروریستی بر اساس روش حل انتخابی

روش حل	مراجع
الگوریتم شمارشی	[۷۴]، [۷۹]، [۸۱]، [۸۲]، [۸۶]
تولید محدودیت و ستون	[۷۲]، [۷۵]، [۸۰]، [۸۵]، [۸۷]، [۸۹]، [۹۳]، [۹۴]، [۹۵]
الگوریتم بندرز	[۱۱]، [۷۷]، [۹۲]
تئوری بازی‌ها	[۷۶]، [۸۳]، [۹۰]، [۹۱]، [۹۶]، [۹۷]
تعریف ریسک و برنامه‌ریزی تصادفی	[۷۳]، [۷۸]، [۸۴]، [۸۸]، [۹۹]

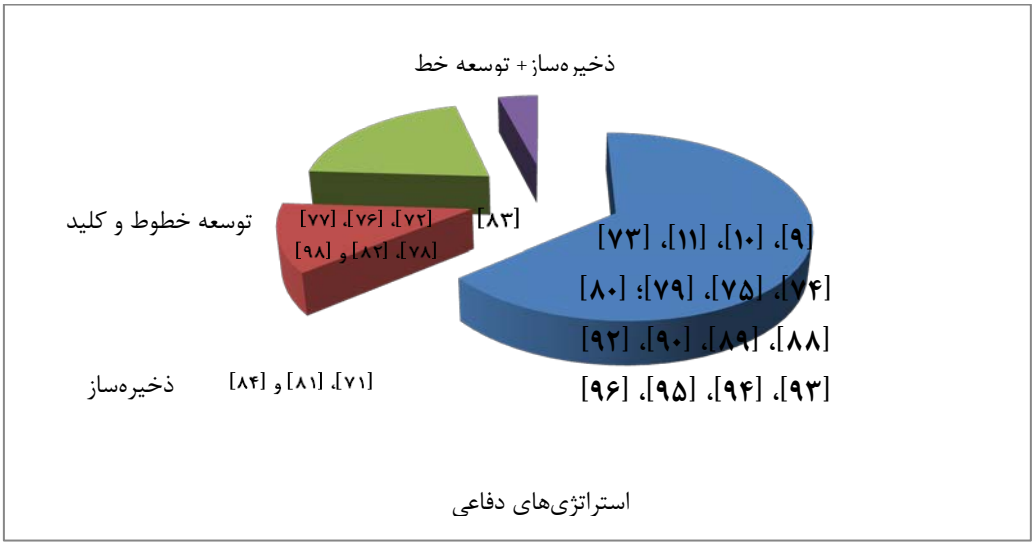


شکل (۴): تقسیم‌بندی مراجع تاب‌آوری در برابر حملات تروریستی بر اساس روش حل انتخابی

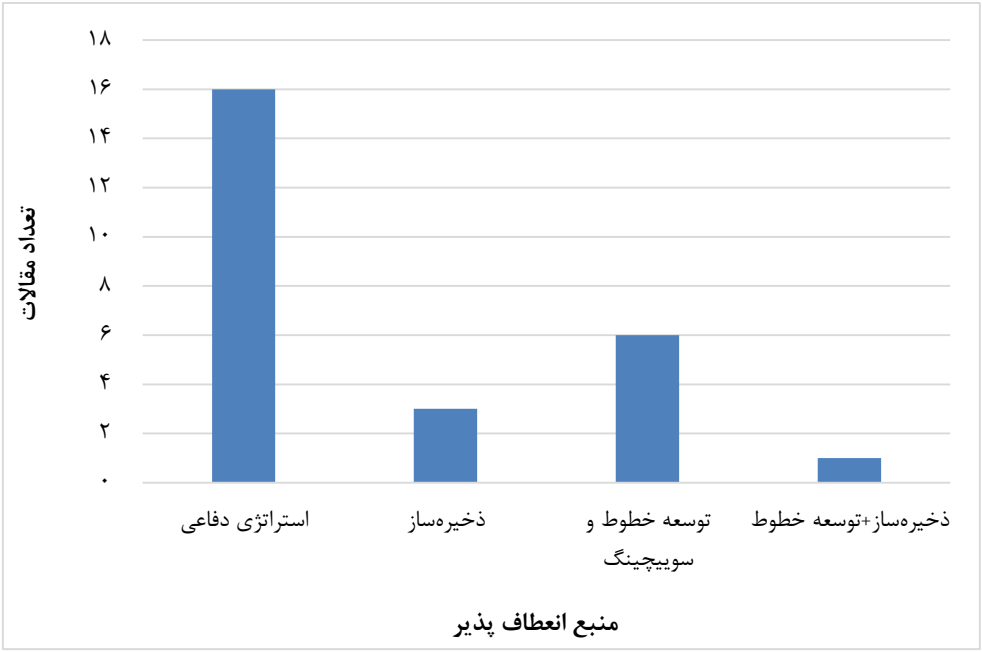
۳-۲- منابع انعطاف‌پذیر به‌کار برده شده در مدل‌های تاب‌آوری شبکه در برابر حملات تروریستی

مطالعات مربوط به افزایش تاب‌آوری در برابر حوادث طبیعی را از لحاظ استفاده از منابع انعطاف‌پذیر می‌توان به دو گروه تقسیم نمود. در گروه اول، محققین با حل مدل مدافع – مهاجم - مدافع به شناسایی تجهیزات آسیب‌پذیر و استفاده از ابزارهای حفاظتی و مقاوم‌سازی تجهیزات شناسایی شده تاب‌آوری شبکه را در برابر حوادث تروریستی افزایش می‌دهند. در این دسته از مراجع منابع انعطاف‌پذیر به نوعی روش‌های مقاوم‌سازی تجهیزات خطرپذیر با استفاده از روش‌های پدافند غیرعامل می‌باشند. در گروه دوم همانند مدل‌های ارائه شده در مورد تاب‌آوری شبکه قدرت در برابر حوادث طبیعی، محققین با در نظر گرفتن مدل‌های مختلف توسعه خطوط و کلید زنی، ذخیره‌سازهای انرژی به‌عنوان منابع انعطاف‌پذیر سعی در افزایش تاب‌آوری در برابر حملات می‌کنند. در مرجع [۷۵] با توجه به منابع انعطاف‌پذیر رایج برای افزایش تاب‌آوری شبکه‌های قدرت در برابر حوادث تروریستی نوع جدیدی از منابع انعطاف‌پذیر تحت مفهوم فریب معرفی شده

است. نشانه و فریب به‌عنوان ابزاری مؤثر برای گمراه کردن مهاجم در برنامه‌ریزی‌های استراتژیک شناخته شده است. برای این منظور، فریب مدافع با انتشار اطلاعات غلط در مورد برنامه شبکه قدرت در مدل مبتنی بر شناخت مشترک، از لحاظ ریاضی شکل می‌گیرد. برای کاهش خطر خسارت در صورت غیر کارآمد بودن فریب، از تابع هدف برنامه پیشگیرانه‌ای برای اولویت‌بندی استراتژی‌های محافظت از اجزای حیاتی استفاده شده است. علاوه بر این مفهومی به‌عنوان ارزش استقرار معرفی شده که مزایای منبع انعطاف‌پذیر جدید که با عنوان فریب را اندازه‌گیری می‌کند. مطالعات جامع انجام شده بر روی دستگاه‌های WSCC 9-bus و IEEE 118-bus نشان می‌دهد که منبع انعطاف‌پذیر معرفی شده به‌عنوان فریب می‌تواند باعث صرفه‌جویی مقدار قابل توجهی از هزینه‌های حفاظت شبکه شده و رویکرد پیشنهادی یک پیشرفت امیدوار کننده برای اطمینان از عملکرد مطمئن شبکه‌های برق است. استفاده از ذخیره‌سازهای حرارتی جهت بهبود تاب‌آوری شبکه به هم پیوسته برق و گاز نیز در مرجع [۸۰] ارائه شده است. خلاصه‌ای از تمرکز مراجع مختلف جهت بهره‌گیری از منابع انعطاف‌پذیر در شکل (۵) نشان داده شده است. از دیدگاه آماری نیز مقایسه محبوبیت هر روش در شکل (۶) مشخص گردیده شده است.



شکل (۵): دسته‌بندی مراجع تاب‌آوری در برابر حوادث تروریستی از لحاظ منابع انعطاف‌پذیر



شکل (۶): تقسیم‌بندی مراجع تاب‌آوری در برابر حملات تروریستی بر اساس منبع انعطاف‌پذیر

۴- پیشنهادها جهت بهبود مدل‌های تاب‌آوری شبکه قدرت

بر اساس مطالب ارائه شده در بخش‌های قبلی، پیشنهادها نویسندگان این مقاله جهت بهبود مدل‌های تاب‌آوری شبکه قدرت در برابر حوادث طبیعی و یا حملات تروریستی به تفکیک در این بخش ارائه می‌گردند.

۴-۱- پیشنهادها جهت بهبود مدل‌های تاب‌آوری شبکه قدرت در برابر حوادث طبیعی

۱. بر اساس دسته‌بندی صورت گرفته در بخش ۱-۲، می‌توان بیان نمود که شاخص ارزیابی تاب‌آوری شبکه بر اساس اندازه‌گیری میزان بار از دست رفته از مقبولیت بیشتری برخوردار بوده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود که این شاخص به‌عنوان یک شاخص مرجع در ارزیابی اثربخشی مدل‌های پیشنهادی لحاظ گردد.

۲. در زمینه مدل‌سازی حوادث طبیعی، در برخی از مقالات اثرات این مدل‌ها به‌عنوان یک پارامتر دارای عدم قطعیت در نظر گرفته شده و با استفاده از روش‌های حل مسائل دارای عدم قطعیت بررسی شده در بخش ۲-۲ جواب بهینه مسئله تاب‌آوری شبکه در برابر حوادث طبیعی به‌دست آمده است. همانگونه که در توضیحات روش‌های در نظر گرفتن عدم قطعیت بیان شد، به‌منظور رسیدن به جواب بهینه و مناسب نیاز به در اختیار داشتن تابع توزیع چگالی احتمالی این حوادث و یا پیش‌بینی بازه‌ای شدت آن برای مدل‌سازی توسط روش تصادفی و یا مقاوم هست. بنابراین این روش‌ها برای حوادث پرتکرار در یک منطقه خاص مانند طوفان مناسب می‌باشند. در حالی که به‌منظور مدل‌سازی توسعه شبکه به‌منظور تاب‌آوری در برابر زمین لرزه و حوادث طبیعی مشابه، نیاز به مدل‌سازی ریاضی این پدیده‌ها بوده که در مراجع بررسی شده این مدل‌سازی‌ها برای یک شبکه قدرت ارائه نشده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود به‌عنوان مثال برای زمین لرزه با مدل‌سازی اثرات زمین لرزه به‌صورت تابعی از شدت و کانون زمین لرزه با توجه به گسل‌های نزدیک بازده روش‌های توسعه شبکه افزایش یابد.

۳. به‌طور کلی چهار روش برای مدل‌سازی عدم قطعیت در مسائل بهره‌برداری و توسعه شبکه قدرت استفاده شده است. در مقالات مرور شده در بخش تاب‌آوری شبکه قدرت در برابر حوادث طبیعی، روش مدل‌سازی بر اساس تئوری شکاف اطلاعات مورد توجه قرار گرفته نشده است. استفاده از این رو با توجه به عدم نیاز به پیش‌بینی بازه پارامتر و یا تابع چگالی احتمالی پارامتر دارای عدم قطعیت، می‌تواند راه حل مناسبی برای رفع مشکلات عنوان شده در بخش ۲-۲ باشد.

۴. منابع انعطاف‌پذیر زیادی به‌منظور افزایش تاب‌آوری شبکه قدرت در برابر حوادث طبیعی توسط مراجع مختلف مورد توجه قرار گرفته است. با این حال استفاده از ذخیره‌سازهای طبیعی مانند ذخیره‌ساز هوای فشرده و یا تلمبه ذخیره‌ای در مقالات بررسی نشده است. از آنجا که این ذخیره‌سازها قابلیت تزریق ظرفیت بیشتری به شبکه داشته اما به دلیل غیر قابل برنامه‌ریزی بودن محل نصب آن‌ها در این زمینه ارزیابی‌های کافی صورت نگرفته است. نویسندگان این مقاله در نظر گرفتن ترکیب ذخیره‌سازهای طبیعی و باتری‌ها را جهت افزایش تاب‌آوری شبکه‌های قدرت به‌منظور بهبود مدل‌های ارائه شده پیشنهاد می‌دهند.

۴-۲- پیشنهادها جهت بهبود مدل‌های تاب‌آوری شبکه قدرت در برابر حملات

۱. با بررسی مراجع این بخش می‌توان بیان نمود استفاده از مدل سه سطحی مدافع – مهاجم – مدافع می‌تواند بدترین شرایط ممکن را ارائه دهد. در نتیجه در انتخاب مدل پیشنهاد می‌گردد که از این مدل استفاده شده و برای حل آن از یکی از روش‌های ارائه شده در بخش ۱-۳ استفاده شود.

۲. تأثیر استفاده از منبع انعطاف‌پذیر فریب بر کاهش سرمایه‌گذاری جهت تاب‌آوری شبکه در برابر حملات در مرجع [۷۵] مورد بررسی قرار گرفته و سودمندی آن اثبات شده است. با این حال، تأثیر فریب به‌عنوان منبعی که در اختیار عامل تروریستی است، جهت شناسایی آسیب‌پذیری شبکه و کاهش هزینه سرمایه‌گذاری عامل تروریستی ارزیابی نشده است. به نظر جهت بهبود مدل‌های افزایش تاب‌آوری شبکه برق در برابر حوادث تروریستی نیاز به در نظر گرفتن احتمال فریب بهره‌بردار شبکه توسط عامل تروریستی ضروری هست.

۳. توسعه خطوط شبکه قدرت یکی از راهکارهای افزایش تاب‌آوری شبکه قدرت در برابر حوادث طبیعی توسط محققین انجام شده است. با این حال در سال‌های اخیر استفاده از ظرفیت دینامیکی تجهیزات همانند ظرفیت دینامیکی خطوط باعث کاهش هزینه توسعه خطوط شبکه انتقال شده است. از این رو پیشنهاد می‌شود که نقش ظرفیت دینامیکی در افزایش تاب‌آوری شبکه قدرت در برابر حوادث خرابکارانه مورد ارزیابی قرار گیرد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله مروری جامع بر روی تحقیقات صورت گرفته در حوزه تاب‌آوری دستگاه‌های قدرت در برابر حوادث با احتمال وقوع کم و خسارات تحمیلی شدید ارائه شده است. این حوادث بر اساس مدل‌های ارائه شده به دو بخش کلی حوادث طبیعی و حملات خرابکارانه به سامانه قدرت تقسیم شده است. در بررسی مراجع مربوط به تاب‌آوری در برابر حوادث طبیعی نبود یک شاخص مرجع در مورد ارزیابی میزان تاب‌آوری شبکه در برابر این حوادث سبب شد که شاخص‌های استفاده شده در مورد ارزیابی تاب‌آوری بیان گردید. مقالات این حوزه بر اساس شاخص استفاده شده تقسیم‌بندی شد و نتیجه گرفته شد که شاخص میزان بار از دست رفته به‌عنوان یک شاخص ارزیابی تاب‌آوری سامانه در برابر حوادث طبیعی تقریباً به‌عنوان یک شاخص مناسب در صد قابل توجهی از مقالات مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین روش‌های در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در شبکه‌های قدرت و منابع انعطاف‌پذیر استفاده شده در مراجع به‌منظور ایجاد یک دیدگاه جامع به خوانندگان معرفی و ویژگی‌های هر یک بیان شده است. در بخش بررسی مراجع در حوزه تاب‌آوری دستگاه‌های قدرت در برابر حملات خرابکارانه بیان شد که استفاده از مدل سه سطحی مدافع - مهاجم از سایر روش‌های مدل‌سازی رفتار عامل خرابکارانه مناسب‌تر هست. با توجه به ماهیت این مدل عدم توانایی حل آن با روش‌های مرسوم حل مدل‌های سه سطحی به‌عنوان یک چالش استفاده از این مدل بیان شد. راهکارهای ارائه شده جهت حل این مدل در این مقاله به‌منظور تسهیل فرآیند مدل‌سازی هر یک توسط خوانندگان تشریح شد. همچنین منابع انعطاف‌پذیر لحاظ شده در این حوزه بیان شده و مفهوم استراتژی دفاعی و فریب به‌عنوان دو منبع انعطاف‌پذیر خاص مسائل تاب‌آوری در برابر حوادث خرابکارانه معرفی شدند. در آخر پیشنهادهای نویسندگان جهت بهبود مدل‌های تاب‌آوری شبکه در برابر حوادث با احتمال وقوع کم و خسارات تحمیلی شدید به‌منظور شناسایی ضعف‌های موجود در این حوزه مطرح گردید.

۶- مراجع

[1] M. Eskandari, M. Modiri, and B.Omidvar, “Seismic Damage Analysis Model of Critical Infrastructure Based on Spatial Information System,” SEPEHR (Data Geographical of Quarterly Research) vol. 98, no. 25, 2016 (In Persian).

[2] M. Hosseini, M. Sadeghi, and N. Hasani, “Seismic Evaluation and Analysis of Power Distribution Substations,” HSE conf. Iran, 2014 (In Persian).

[3] R. Ishihara, “Formation and Development of Disaster Resilience Theory,” Depopulation, Deindustrialisation and Disasters, Japan, pp. 253273, 2019.

[4] A. Hu, W. Xie, N. Li, X. Xu, Z. Ji, and J. Wu, “Analyzing Regional Economic Impact and Resilience: A Case Study on Electricity Outages Caused by the Snowstorms in Southern China,”Natural Hazards, vol. 70, no. 2, pp. 1019-1030, 2014.

[5] R. Berg, “Tropical Cyclone Report: Hurricane Ike (AL092008),”1-14 September 2008, Nat. Hurricane Center, Miami, FL, USA, Tech. Rep. AL092008, 2009.

[6] H. Jia and D. Pan, “Tornado Disaster Impacts and Management: Learning from the 2016 Tornado Catastrophe in Jiangsu Province, China,” Natural Hazards, vol. 89, no. 1, pp. 457471, 2017.

[7] M. Palizvan and R. Dashti, “Reinforcing Power Network Infrastructures by Employing Passive Defense Applications,” Scientific J. of Passive Defense, No. 36, Vo. 36, pp. 57-67, 2019 (In Persian).

[8] K. Lin and K. E. Holbert, “PRA for Vulnerability Assessment of Power System Infrastructure Security,” Proc. of the 37th Annual North American Power Symp., Ames, IA, USA, 2005, pp. 43-51, 2005.

[9] A. M. A. Haidar, Z. Khalidin, and I. A. Ahmed, “Probabilistic Neural Network for Vulnerability Prediction on a Practical Power System,” Int. Conf. on Elect. and Information Eng., Kyoto, 2010, pp. V1-146-V1-150, 2010.

[10] N. Alguacil, A. Delgadillo, and J. M. Arroyo, “A Trilevel Programming Approach for Electric Grid Defense Planning,” Comput. Oper. Res. no.41, pp. 282-290, 2014.

[11] X. Wu and A. J. Conejo, “An Efficient Tri-Level Optimization Model for Electric Grid Defense Planning,” In IEEE Trans. Power Syst., vol. 32, no. 4, pp. 2984-2994, July 2017.

[12] L. Hongtao, et al. “Robust Optimization for Microgrid Defense Resource Planning and Allocation against Multi-Period Attacks,” IEEE Trans. Smart Grid, vol.5, no.10, pp. 5841-5850, 2019.

[13] H. Farzin, M. Fotuhi-Firuzabad, and M. Moeini-Aghtaie, “Enhancing Power System Resilience Through Hierarchical Outage Management in Multi-Microgrids,” IEEE Trans. Smart Grid, vol. 7, no. 6, pp. 2869-2879, Nov. 2016.

[14] Z. Li, M. Shahidehpour, F. Aminifar, A. Alabdulwahab and Y. Al-Turki, “Networked Microgrids for Enhancing the Power System Resilience,” In Proc. IEEE, vol. 105, no. 7, pp. 1289-1310, July 2017.

[15] X. Liu, M. Shahidehpour, Z. Li, X. Liu, Y. Cao and Z. Bie, “Microgrids for Enhancing the Power Grid Resilience in Extreme Conditions,” In IEEE Trans. Smart Grid, vol. 8, no. 2, pp. 589-597, March 2017.

[16] H. Akhtar, V.-H. Bui, and H.-M. Kim, "Optimal Operation of Hybrid Microgrids for Enhancing Resiliency Considering Feasible Islanding and Survivability,” IET Renewable Power Gener, vol. 6, no.11, pp. 846-857, 2017.

[17] M. H. Amirioun, F. Aminifar, and M. Shahidehpour, “Resilience-Promoting Proactive Scheduling Against Hurricanes in Multiple Energy Carrier Microgrids,” In IEEE Trans. Power Syst., vol. 34, no. 3, pp. 2160-2168, May 2019.

[18] S. Mousavizadeh, et al. “Resiliency analysis of Electric Distribution Networks: A New Approach Based on Modularity Concept,” IJEPS, no. 117, p. 105669, 2020.

[19] A. Hussain, A. Oulis Rousis, I. Konstantelos, G. Strbac, J. Jeon, and H. Kim, “Impact of Uncertainties on Resilient Operation of Microgrids: A Data-Driven Approach,” In IEEE Access, vol. 7, pp. 14924-14937, 2019.

[20] S. Cano-Andrade, et al. “Multi-objective Optimization for the Sustainable-Resilient Synthesis/Design/Operation of a Power Network Coupled to Distributed Power Producers via Microgrids,” In ASME Int. Mechanical Eng. Congress and Exposition, American Soc. of Mech. Eng., pp. 1393-1408, 2012.

[21] M. Panteli, D. N. Trakas, P. Mancarella, and N. D. Hatziargyriou, “Power Systems Resilience Assessment: Hardening and Smart Operational Enhancement Strategies,” In Proc. IEEE, vol. 105, no. 7, pp. 1202-1213, July 2017.

[22] [22] A. Hussain, V. Bui, and H. Kim, “A Resilient and Privacy-Preserving Energy Management Strategy for Networked Microgrids,” In IEEE Trans. Smart Grid, vol. 9, no. 3, pp. 2127-2139, May 2018.

[23] S. Chanda and A. K. Srivastava, “Defining and Enabling Resiliency of Electric Distribution Systems With Multiple Microgrids,” In IEEE Trans. Smart Grid, vol. 7, no. 6, pp. 2859-2868, Nov. 2016.

[24] M. Tavakoli, et al. “CVaR-Based Energy Management Scheme for Optimal Resilience and Operational Cost in Commercial Building Microgrids,” IJEPS, vol. 100, pp. 1-9, 2018.

[25] K. Balasubramaniam, et al. “Energy Management System for Enhanced Resiliency of Microgrids During Islanded Operation,” Electr. Power Syst. Res., vol. 137, pp. 133-141, 2016.

[26] G. Liu, et al. “Robust Optimisation-Based Microgrid Scheduling with Islanding Constraints,” IET Gener. Transm. Distrib. vol. 11, no. 7, pp. 1820-1828

[27] M. H. Amirioun, F. Aminifar, and H. Lesani, “Resilience-Oriented Proactive Management of Microgrids Against Windstorms,” In IEEE Trans. Power Syst., vol. 33, no. 4, pp. 4275-4284, July 2018.

[28] D. N. Trakas, and N. D. Hatziargyriou, “Optimal Distribution System Operation for Enhancing Resilience against Wildfires,” IEEE Trans. Power Syst., vol. 33, no. 2, pp. 2260-2271, 2017.

[29] A. Hussain, V. Bui, and H. Kim, “A Proactive and Survivability-Constrained Operation Strategy for Enhancing Resilience of Microgrids Using Energy Storage System,” In IEEE Access, vol. 6, pp. 75495-75507, 2018.

[30] Y. Li, Z. Li, F. Wen, and M. Shahidehpour, “Minimax-Regret Robust Co-Optimization for Enhancing the Resilience of Integrated Power Distribution and Natural Gas Systems,” In IEEE Trans. Sustainable Energy, vol. 11, no. 1, pp. 61-71, Jan. 2020.

[31] S. Yao, P. Wang, X. Liu, H. Zhang, and T. Zhao, “Rolling Optimization of Mobile Energy Storage Fleets for Resilient Service Restoration,” In IEEE Trans. Smart Grid, vol. 11, no. 2, pp. 1030-1043, March 2020.

[32] M. M. Arsoon and S. M. M. Tafreshi, “Zero Energy Trading Strategy for Enhancing Resilience of Networked Microgrids,” 2019 7th ICSG, Istanbul, Turkey, pp. 86-90, 2019.

[33] F. N. Shimim, M. Bahramipanah, and H. Nehrir, “Resilient and Extreme-Event-Aware Microgrid Using Energy Storage and Load Curtailment,” NAPS. Conf., Wichita, KS, USA, pp. 1-6, 2019.

[34] G. Wang, Z. Liu, L. Wang, B. Hu, K. Xie, and J. Yan, “Integrated Response to Boost Distribution System Resilience Against Windstorms,” 2019 ISPEC. Conf., Beijing, China, pp. 2060-2065, 2019.

[35] L. Xiaonan, et al. “A Resilience Assessment Approach for Power System from Perspectives of System and Component Levels,” IJEPS, vol. 118, 2020.

[36] S. Mousavizadeh, M.-R. Haghifam, and M.-H. Shariatkhah, “A Linear Two-Stage Method for Resiliency Analysis in Distribution Systems Considering Renewable Energy and Demand Response Resources,” Appl. Energy, vol. 211, pp. 443-460, 2018.

[37] R. Eskandarpour, H. Lotfi, and A. Khodaei, “Optimal Microgrid Placement for Enhancing Power System Resilience in Response to Weather Events,” NAPS. Conf., Denver, CO, pp. 1-6, 2016.

[38] C. O. N. G. Hao, et al. “Robust Optimization for Improving Resilience of Integrated Energy Systems with Electricity and Natural Gas Infrastructures,” MPSE, vol. 6, no. 5, pp. 1066-1078, 2018.

[39] R. Eskandarpour, G. Edwards, and A. Khodaei, "Resilience-Constrained Unit Commitment Considering the Impact of Microgrids," NAPS. Conf., Denver, CO, 2016, pp. 1-5, 2016.

[40] S. Nikkhah, et al. "Optimal Wind Turbine Allocation and Network Reconfiguration for Enhancing Resiliency of System after Major Faults Caused by Natural Disaster Considering Uncertainty," IET Renewable Power Gener, vol. 12, no. 12, pp. 1413-1423, 2018.

[41] M. Jadidbonab, S. Madadi, and B. Mohammadi-ivatloo, "Hybrid Strategy for Optimal Scheduling of Renewable Integrated Energy Hub Based on Stochastic/Robust Approach," JEMAT, vol.2, no.4, pp. 29-38, 2018.

[42] H. Heitsch and W. Römisch, "Scenario Tree Reduction for Multistage Stochastic Programs," Computational Management Sci., vol. 6, pp. 117-133, 2009.

[43] S. Madadi, B. Mohammadi-Ivatloo, and S. Tohidi. "A Data Clustering Based Probabilistic Power Flow Method for AC/VSC-MTDC," IEEE Syst. J., vol. 13, no.4, pp. 4324-4334, 2019.

[44] S. Madadi, B. Mohammadi-Ivatloo, and S. Tohidi, "Integrated Transmission Expansion and PMU Planning Considering Dynamic Thermal Rating in Uncertain Environment," IET Gener. Transm. Distrib. vol. 14, no. 10, pp. 1973-1984, 2020.

[45] J. W. Muhs and M. Parvania, "Stochastic Spatio-Temporal Hurricane Impact Analysis for Power Grid Resilience Studies," ISGT. Conf., Washington, DC, USA, pp. 1-5, 2019.

[46] Y. Chen, Y.Wang, D. S. Kirschen, and B. Zhang, "Model-Free Renewable Scenario Generation Using Generative Adversarial Networks," IEEE Trans. Power Syst., vol. 33, no. 3, pp. 3265_3275, May 2018.

[47] A. Gholami, T. Shekari, F. Aminifar, and M. Shahidehpour, "Microgrid Scheduling With Uncertainty: The Quest for Resilience," In IEEE Trans. Smart Grid, vol. 7, no. 6, pp. 2849-2858, Nov. 2016.

[48] A. Gholami and F. Aminifar, "A Hierarchical Response-Based Approach to the Load Restoration Problem," In IEEE Trans. Smart Grid, vol. 8, no. 4, pp. 1700-1709, July 2017.

[49] A. Hussain, V.-H. Bui, and H.-M. Kim, "Microgrids as a Resilience Resource and Strategies Used by Microgrids for Enhancing Resilience," Appl. Energy, vol. 240, pp. 56-72, 2019.

[50] C. Ju, S. Yao, and P. Wang, "Resilient Post-Disaster System Reconfiguration for Multiple Energy Service Restoration," 2017 IEEE Conf. on Energy Internet and Energy Syst. Integration, Beijing, pp. 1-6, 2017.

[51] M. Mansour-lakouraj and M. Shahabi, "Comprehensive Analysis of Risk-Based Energy Management for Dependent Micro-Grid under Normal and Emergency Operations," Energy, vol. 171, pp. 928-943, 2019.

[52] E. T. Lau, et al. "Efficient Economic and Resilience-Based Optimization for Disaster Recovery Management of Critical Infrastructures," Energies, vol. 11, no. 12, pp. 3418, 2018.

[53] J. Confrey, A. H. Etemadi, S. M. F. Stuban, and T. J. Eveleigh, "Energy Storage Systems Architecture Optimization for Grid Resilience with High Penetration of Distributed Photovoltaic Generation," In IEEE Syst. J., vol. 14, no. 1, pp. 1135-1146, March 2020.

[54] J. Najafi, et al. "An Efficient Interactive Framework for Improving Resilience of Power-Water Distribution Systems with Multiple Privately-Owned Microgrids," IJEPS, vol. 116, p. 105550, 2020.

[55] M. Sadeghi Khomami, et al. "Bi-Level Network Reconfiguration Model to Improve the Resilience of Distribution Systems against Extreme Weather Events," IET Gener. Transm. Distrib. vol. 13, no. 15, pp. 3302-3310, 2019.

[56] Q. Zhou, M. Shahidehpour, A. Alabdulwahab, and A. Abusorrah, "Flexible Division and Unification Control Strategies for Resilience Enhancement in Networked Microgrids," In IEEE Trans. Power Syst., vol. 35, no. 1, pp. 474-486, Jan. 2020.

[57] C. Gouveia, J. Moreira, C. L. Moreira, and J. A. Pecas Lopes, "Coordinating Storage and Demand Response for Microgrid Emergency Operation," IEEE Trans. Smart Grid, 2013.

[58] I. F. Abdin, Y. P. Fang, and E. Zio, "A Modeling and Optimization Framework for Power Systems Design with Operational _Exibility and Resilience against Extreme Heat Waves and Drought Events," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 112, pp. 706-719, Sep. 2019.

[59] C. Ren and Y. Xu, "A Fully Data-Driven Method Based on Generative Adversarial Networks for Power System Dynamic Security Assessment with Missing Data," IEEE Trans. Power Syst., vol. 34, no. 6, pp. 5044-5052, Nov. 2019.

[60] J. M. Arroyo and F. D. Galiana. "On the Solution of the Bilevel Programming Formulation of the Terrorist Threat Problem," IEEE Trans. Power Syst., vol. 20, no. 2, pp. 789-797, 2005.

[61] A. L. Motto, J. M. Arroyo, and F. D. Galiana, "A Mixed-Integer LP Procedure for the Analysis of Electric Grid Security under Disruptive Threat," IEEE Trans. Power Syst. vol. 20, no. 3, pp. 1357-1365, 2005.

[62] V. M. Bier, et al. “Methodology for Identifying Near-Optimal Interdiction Strategies for a Power Transmission System,” Reliab. Eng. Syst. Saf, vol. 92, no. 9, pp. 1155-1161, 2007.

[63] J. Salmeron, K. Wood, and R. Baldick, “Worst-Case Interdiction Analysis of Large-Scale Electric Power Grids,” IEEE Trans. Power Syst. vol. 24, no. 1, pp. 96-104, 2009.

[64] A. Delgadillo, J. M. Arroyo, and N. Alguacil, “Analysis of Electric Grid Interdiction with Line Switching,” IEEE Trans. Power Syst. vol. 25, no. 2, pp. 633-641, 2009.

[65] D. Bienstock and A. Verma, “The nk Problem in Power Grids: New Models, Formulations, and Numerical Experiments,” SIAM J. on Optimization, vol. 20, no. 5, pp. 2352-2380, 2010.

[66] V., Donde, et al. “Severe Multiple Contingency Screening in Electric Power Systems,” IEEE Trans. Power Syst. vol. 23, no. 2, pp. 406-417, 2008.

[67] J. M. Arroyo, “Bilevel Programming Applied to Power System Vulnerability Analysis under Multiple Contingencies,” IET Gener. Transm. Distrib. vol. 4, no. 2, pp. 178-190, 2010.

[68] A. Pinar, et al. “Optimization Strategies for the Vulnerability Analysis of the Electric Power Grid,” SIAM J. on Optimization, vol. 20, no. 4 pp. 1786-1810, 2010.

[69] V. M. Bier, et al. “Methodology for Identifying Near-Optimal Interdiction Strategies for a Power Transmission System,” Reliab. Eng. Syst. Saf, vol. 92, no.9, pp. 1155-1161, 2007.

[70] Y. Yao, et al. “Tri-Level Optimization in Power Network Defense,” IEEE Trans. on Syst., Man, and Cybernetics, Part C App. and Reviews, vol. 37, no. 4 , pp. 712-718, 2007.

[71] R. W. Rose, “Defending Electrical Power Grids,” Naval Postgraduate School Monterey CA, 2007.

[72] K. Lai, Y. Wang, D. Shi, M. S. Illindala, X. Zhang, and Z. Wang, “A Resilient Power System Operation Strategy Considering Transmission Line Attacks,” In IEEE Access, vol. 6, pp. 70633-70643, 2018.

[73] N. Nezamoddini, S. Mousavian, and M. Erol-Kantarci, “A Risk Optimization Model for Enhanced Power Grid Resilience against Physical Attacks,” Electr. Power Syst. Res., vol. 143, pp. 329-338, 2017.

[74] A. M. Fathollahi Fard and M. Hajiaghaei-Keshteli. “A Bi-Objective Partial Interdiction Problem Considering Different Defensive Systems with Capacity Expansion of Facilities under Imminent Attacks,” Appl. Soft Comput. vol. 68, pp. 343-359, 2018.

[75] H. Davarikia, al. “A Novel Approach in Strategic Planning of Power Networks against Physical Attacks,” Electr. Power Syst. Res, vol. 180, pp. 106140, 2020.

[76] A. J. Holmgren, E. Jenelius, and J. Westin, “Evaluating Strategies for Defending Electric Power Networks against Antagonistic Attacks,” In IEEE Trans. Power Syst., vol. 22, no. 1, pp. 76-84, Feb. 2007.

[77] A. Delgadillo, J. M. Arroyo, and N. Alguacil, “Analysis of Electric Grid Interdiction with Line Switching,” In IEEE Trans. Power Syst., vol. 25, no. 2, pp. 633-641, May 2010.

[78] M. Carrion, J. M. Arroyo, and N. Alguacil, “Vulnerability-Constrained Transmission Expansion Planning: A Stochastic Programming Approach,” In IEEE Trans. Power Syst., vol. 22, no. 4, pp. 1436-1445, Nov. 2007.

[79] Y. Fang, and G. Sansavini, “Optimizing Power System Investments and Resilience against Attacks,” Reliab. Eng. Syst. Saf., vol. 159,161-173, 2017.

[80] C. Wang, et al., “Robust Defense Strategy for Gas–Electric Systems Against Malicious Attacks,” In IEEE Trans. Power Syst., vol. 32, no. 4, pp. 2953-2965, July 2017.

[81] J. Fang, C. Su, Z. Chen, H. Sun, and P. Lund, “Power System Structural Vulnerability Assessment Based on an Improved Maximum Flow Approach,” In IEEE Trans. Smart Grid, vol. 9, no. 2, pp. 777-785, March 2018.

[82] K. Lai, Y. Wang, D. Shi, M. S. Illindala, Y. Jin, and Z. Wang, “Sizing Battery Storage for Islanded Microgrid Systems to Enhance Robustness against Attacks on Energy Sources,” In MPSE, vol. 7, no. 5, pp. 1177-1

[83] H. Nemati, M. A. Latify, and Gh. R. Yousefi, “Tri-Level Transmission Expansion Planning under Intentional Attacks: Virtual Attacker Approach–Part I: Formulation,” IET Gener. Transm. Distrib. vol. 13, no. 3, pp. 390-398, 2018.

[84] H. Nemati, M. A. Latify, and G. R. Yousefi, “Optimal Coordinated Expansion Planning of Transmission and Electrical Energy Storage Systems Under Physical Intentional Attacks,” In IEEE Syst. J, vol. 14, no. 1, pp. 793-802, March 2020.

[85] K. Lai, et al., “A Robust Energy Storage System Siting Strategy Considering Physical Attacks to Transmission Lines,” NAPS. Conf, Fargo, ND, 2018, pp. 1-6, 2018.

[86] [H. Sarhadi, M. Tulett, and M. Verma. “An Analytical Approach to the Protection Planning of a Rail Intermodal Terminal Network,” Eur. J. Oper. Res., vol. 257, no. 2, pp. 511-525, 2017.

[87] H. Davarikia, and M. Barati. “A Tri-Level Programming Model for Attack-Resilient Control of Power Grids,” MPSE, vol. 6, no. 5, pp. 918-929, 2018.

[88] S. Sayyadipour, G. R. Yousefi, and M. A. Latify. “Mid-Term Vulnerability Analysis of Power Systems under Intentional Attacks,” IET Gener. Transm. Distrib. vol. 10, no. 15, pp. 3745-3755, 2016.

[89] Y. Xiang and L. Wang, “An Improved Defender–Attacker–Defender Model for Transmission Line Defense Considering Offensive Resource Uncertainties,” In IEEE Trans. Smart Grid, vol. 10, no. 3, pp. 2534-2546, May 2019.

[90] J. Jiang, and X. Liu, “Multi-Objective Stackelberg Game Model for Water Supply Networks against Interdictions with Incomplete Information,” Eur. J. Oper. Res., vol. 266, no. 3, pp. 920-933, 2018.

[91] J. Jiang, and X. Liu, “Bayesian Stackelberg Game Model for Water Supply Networks against Interdictions with Mixed Strategies,” Int. J. Prod. Res., pp. 1-21, 2020.

[92] S. Jalali, M. Seifbarghy, and S. TAkhavan Niaki, “A Risk-Averse Location-Protection Problem under Intentional Facility Disruptions: A Modified Hybrid Decomposition Algorithm,” Trans. Res., vol. 114, pp. 196-219, 2018.

[93] T. Ding, L. Yao, and F. Li, “A Multi-Uncertainty-Set Based Two-Stage Robust Optimization to Defender–Attacker–Defender Model for Power System Protection,” Reliab. Eng. Syst. Saf., vol. 169, pp. 179-186, 2018.

[94] P. Jiang, S. Huang, and T. Zhang, “Optimal Deception Strategies in Power System Fortification against Deliberate Attacks,” Energies, vol. 12, no. 3, p. 342, 2019.

[95] [95] Uncertainty-Set Based Two-Stage Robust Optimization to Defender–Attacker–Defender Model for Power System Protection,” Reliab. Eng. Syst. Saf., vol. 169, pp. 179-186, 2018.

[96] B. GAO and L. Shi, “Modeling an Attack-Mitigation Dynamic Game-Theoretic Scheme for Security Vulnerability Analysis in a Cyber-Physical Power System,” In IEEE Access, vol. 8, pp. 30322-30331, 2020.

[97] G. Chen, Z. Y. Dong, D. J. Hill, and Y. S. Xue, “Exploring Reliable Strategies for Defending Power Systems against Targeted Attacks,” In IEEE Trans. Power Syst., vol. 26, no. 3, pp. 1000-1009, Aug. 2011.

[98] N. Alguacil, J. M. Arroyo, and M. Carrión, “Transmission Network Expansion Planning under Deliberate Outages,” In Handbook of Power Systems I. Springer, p. 365-389, 2010.

[99] J. M. Arroyo, N. Alguacil, and M. Carrión, “A Risk-Based Approach for Transmission Network Expansion Planning under Deliberate Outages,” IEEE Trans. Power Syst, vol. 25, no. 3, pp. 1759-1766, 2010.

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال سیزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، (پیاپی ۵۰): صص ۸۲-۶۷

علمی- پژوهشی

تأثیر ملاحظات مرتبط با مصالح در ماندگاری بناهای پیش از ۱۳۰۰ هجری شمسی در فلات مرکزی ایران

سیما خالقیان[1*]، ابوذر صالحی [2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۲

چکیده

بناهای معماری از جمله سرمایه‌های ملی هستند. از این رو لازم است تا حد ممکن، عمر مفید بالایی داشته باشند. به نظر می‌رسد نادیده گرفتن عمر کوتاه بناهای معاصر از جمله عواملی است که منجر به پدید آمدن مشکلات مهمی در زمینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی، تخریب زودهنگام بناهای معاصر و تولید انبوهی از نخاله‌های ساختمانی شده است. طولانی بودن عمر مفید بناها و ضرورت آن، پس از ورود ایران به دوره تجدد به دست فراموشی سپرده شد؛ حال آنکه ماندگاری معماری در جامعه سنتی ایران، همواره مورد توجه بوده است؛ تا آنجا که در بافت‌های تاریخی ایران، بناهایی وجود دارد که عمر مفید چند صد ساله دارند. در این رابطه، هدف این پژوهش شناخت نقش مصالح بر عمر مفید بناهای پیش از ۱۳۰۰ هجری شمسی است. از منظر روش تحقیق، این تحقیق از نوع کیفی و به روش نظریه زمینه‌ای انجام شده است؛ با رویه‌ای از جزء به کل و استقرایی که مبتنی بر تجزیه و تحلیل داده‌ها است. در مسیر تحقیق، از طریق گردآوری نظام‌مند داده‌ها و با استفاده از منابع کتابخانه‌ای، مطالعات میدانی، مصاحبه با معماران سنتی و تحلیل استقرایی آن، دانشی درباره نقش مصالح در ماندگاری معماری سنتی به‌دست آمده است. بر طبق این مطالعات، ملاحظات مرتبط با مصالح به‌عنوان نتیجه این پژوهش و یکی از عوامل مؤثر بر ماندگاری معماری سنتی ایران قابل طرح است. شناخت نحوه استفاده از مصالح، استفاده از مصالح بوم آورد، استفاده از مصالح متناسب با اقلیم، افزایش مقاومت مصالح، هم‌نشینی صحیح مصالح، کاهش آسیب‌پذیری در برابر عوامل محیطی، شناخت جنس مصالح و انتخاب مصالح متناسب با کارکرد عناصر بنا از جمله ملاحظات مرتبط با مصالح است که بر ماندگاری معماری سنتی ناحیه فلات مرکزی ایران تأثیرگذار است. معماران سنتی با تکیه بر دانش ضمنی به این ملاحظات و الگوهایی که آن‌ها را در بطن خود دارند، درمجموع بناهایی مانا و با عمر مفید بالا ایجاد کرده‌اند. الگوهایی که در طول تاریخ و با تکیه بر خرد جمعی شکل گرفته‌اند و معماری ماندگاری برای ایران به ارمغان آورده‌اند.

کلید واژه‌ها: مصالح، ماندگاری بنا، معماری سنتی، فلات مرکزی ایران

[1] دانشجوی دکتری دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران- (sima.khaleghian@yahoo.com)- نویسنده مسئول

[2] استادیار دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

۱- مقدمه

نگاهی به آمارها و مطالعاتی که هر ساله در کشورهای توسعه یافته صورت می‌گیرد، نشان از اهمیت بحث طول عمر ساختمان در دنیای امروزی است. اگر چه با وجود مطرح بودن این مسئله برای عموم محققین این حوزه، معمولاً به‌صورت بدیهی راه حل آن، محکم‌تر ساختن بنا، تقویت سازه یا استفاده از مصالح و فناوری‌های نوین در معماری دانسته شده است. مدت زمان واقعی که ساختمان و هر جزء آن قادر به ایفای نقش خود هستند، بدون آنکه هیچ‌گونه هزینه نگهداری و تعمیر پیش‌بینی نشده به ساختمان تحمیل شود، عمر مفید ساختمان نامیده می‌شود. به عبارت دیگر عمر مفید ساختمان برابر با مدت زمانی است که انتظار می‌رود یک عنصر ساختمانی خدمات رضایت‌بخش با بازده قابل قبول، ارائه دهد.

امروزه بسیاری از کشورهای جهان گام‌های مؤثری برای افزایش عمر مفید بناها برداشته‌اند و در مسیر حفظ سرمایه‌های ملی و منابع زمین، توصیه‌های بسیاری دیده می‌شود. جلوگیری از تخریب ساختمان‌ها و سعی بر استفاده حداکثری از بناهای ساخته شده در جهت پاسخ دادن به این توصیه‌هاست [۱].

پژوهشگران این حوزه معتقدند اگر ماندگاری در گذشته، مبارزه با طبیعت بود، امروز یک مبارزه برای حفظ طبیعت است. ماندگاری بناها می‌تواند در حل بحران تولید سرسام‌آور نخاله‌های ساختمانی، یک بارمصرف بودن معماری و آسیب‌های فرهنگی و زیست‌محیطی ناشی از آن مؤثر باشد. با اعتقاد به ماندگاری ساختمان‌ها و ضرورت احیای فرهنگ حفظ و نگهداری نسل‌های پیشین، می‌توان با تفکر نظام سرمایه‌داری که تشنه استفاده از منابع طبیعی است مبارزه کرد [۴۴ و ۵۶-۵۳]

یافته‌ها، بسیاری از مفروضات معمول در مورد طول عمر بناها و به ویژه رابطه بین مصالح سازه و عمر سرویس‌دهی را به چالش می‌کشد [۵]؛ گرچه غالباً اینگونه تصور می‌شود که استفاده از اسکلت ساختمانی پایدار، نظیر استفاده از فولاد و بتن، سبب افزایش طول عمر ساختمان می‌شود، نتایج پژوهش‌ها نشان می‌دهد که ارتباط مشخصی میان سامانه سازه‌ای نوین و عمر مفید واقعی بنا وجود ندارد [۲]. شاهد این امر در کشور ما بیشتر بودن عمر مفید معماری سنتی در مقایسه با معماری معاصر با سازه‌های نوین است. از این رو، به نظر می‌رسد معماری ایرانی در ارتباط با ماندگاری و طویل بودن عمر مفید بنا اصولی داشته است که معماران بر اساس آن عمل می‌کرده‌اند و البته معماران و سازندگان معاصر هم تا حد زیادی با آن بیگانه‌اند.

از آن جمله اصول مرتبط با روش‌های به‌کارگیری مصالح مختلف است که آگاهی یافتن از آن، به ویژه در دوران امروز می‌تواند بسیار مفید باشد. بدین معنا، کاربرد شایسته مصالح یکی از وجوه تمایز معماری با دوام و ماندگار از معماری کم دوام و کم عمر است.

امروزه با توجه به افزایش جمعیت شهرنشینی و کمبود منابع، تأمین انرژی بسیار دشوار و پرهزینه است. این در حالی است که بیش از ۴۰ درصد انرژی در بخش ساختمان مصرف می‌شود و زندگی افراد به آن وابسته است و این موضوع زمانی به اوج خود می‌رسد که در زمان بحران با قطع انرژی، زندگی افراد به خطر می‌افتد. اقدامات پدافند غیرعامل برای کاهش آسیب‌پذیری در هنگام بحران، بدون استفاده از اقدامات نظامی و صرفاً با بهره‌گیری از فعالیت‌های فنی و مدیریتی در جهت کاهش خسارات مالی و جانی است. تلفیق طراحی پدافند غیرعامل، برای مقابله با خطرات طبیعی مانند زلزله علاوه بر تهدیدات انسان‌ساز، در زمان صلح و جنگ، باعث پایداری طرح دفاعی می‌گردد.

امروزه می‌توان با به‌کارگیری اقدامات مؤثر و کاربردی و حتی‌الامکان کم هزینه و چند منظوره در مرحله قبل از بحران، به میزان زیادی از شدت و گستردگی خسارات و تلفات ناشی از خطرات (نظامی و غیر نظامی – طبیعی) کاست. از مهم‌ترین این اقدامات، استفاده از اصول پدافند غیرعامل به‌عنوان راه حلی جهت کاهش خطرپذیری در برابر خطرات مختلف و افزایش کارایی هنگام روبه‌رو شدن با خطر است که باید در سطوح مختلف برنامه‌ریزی و از جنبه‌های مختلف منطقه‌ای، شهرسازی و معماری مورد توجه قرار گیرد.

با توجه به قرارگیری کشور ایران بر روی یکی از دو کمربند زلزله خیز زمین، نیاز به برنامه‌ریزی و طراحی مطابق با اصول پدافند غیرعامل در عرصه ساخت و ساز ضروری است [۵۲]. در مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان (پدافند غیرعامل)، هر اقدام غیر مسلحانه‌ای را که موجب کاهش آسیب‌پذیری نیروی انسانی، ساختمان‌ها، تأسیسات، تجهیزات، اسناد و شریان‌های کشور در مقابل تهدیدات انسان‌ساز گردد، پدافند غیرعامل خوانده می‌شود. به‌کارگیری مصالح ماندگار یکی از اقدامات مؤثر بوده و مورد بحث این نوشتار است.

هدف این پژوهش شناخت چگونگی تأثیر ملاحظات مرتبط با مصالح بر ماندگاری معماری سنتی ایران است که در ادامه به آن پرداخته می‌شود. در این راستا، پژوهش حاضر، به جستجو در ملاحظات مرتبط با مصالح و نقش آن در ماندگاری ابنیه سنتی پرداخته و داده‌های متعددی از طریق مطالعات کتابخانه‌ای،

مطالعات میدانی و مصاحبه با معماران سنتی استخراج نموده است. پس از آن تلاش بر آن بوده است تا در میان این داده‌ها، ملاحظات مرتبط با مصالح که در طولانی بودن عمر مفید معماری سنتی نقش دارند شناسایی شود. سپس به شیوه کدگذاری این عوامل، در سه مرحله دسته‌بندی و در آخر با بیان کیفی هر یک از این دسته عوامل روایت می‌شود. شایان توجه است در همه مراحل اندیشه‌ها و تفسیر خودِ محقق از داده‌ها ثبت و در کدگذاری‌ها استفاده می‌گردد. توضیح آنکه کاربرد روش نظریه مبنایی در این پژوهش، امکان تجزیه و تحلیل داده‌ها را از طریق مفهوم‌پردازی و طبقه‌بندی داده‌ها به‌صورت انواع کدگذاری باز، کدگذاری محوری و کدگذاری گزینشی فراهم آورده است.

۲- روش تحقیق

در مطالعات انجام شده، پژوهشی که مستقیماً درباره «تأثیر ملاحظات مرتبط با مصالح بر ماندگاری معماری سنتی ایران» باشد، مشاهده نشده است؛ اما برخی از پژوهش‌ها به عوامل مؤثر بر تداوم کالبد معماری پرداخته‌اند [۶-۳ و ۶۰-۵۷]. از آن جمله پژوهشی است که در آن ساختمان‌ها به سه دسته تقسیم می‌شوند و طول عمر مفیدی که هر کدام باید داشته باشند ذکر می‌شود؛ دسته اول ساختمان‌های به یادماندنی مانند کلیسا و معابد هستند که انتظار می‌رود عمر مفید ۱۰۰۰ ساله‌ای داشته باشند؛ دسته دوم ساختمان‌های خدماتی مانند پل‌ها و مخازن هستند که طول عمر ۱۰۰ تا ۲۰۰ سال برایشان مناسب است و دسته سوم ساختمان‌هایی مانند خانه و اداره هستند که تحت عنوان سرپناه از آن‌ها یاد شده است. برای این دسته طول عمر ۱۰۰ سال انتظار می‌رود. در این پژوهش ۹ ساختمان بتنی با عمر زیر ۱۰۰ سال انتخاب و میزان و علت‌های آسیب آن‌ها بررسی شده است. در نتایج این پژوهش مهم‌ترین عامل کاهش دهنده عمر مفید ساختمان، رطوبت دانسته شده است [۳].

در این بین، حوزه مصالح سنتی ادبیات پژوهش گسترده‌ای را دربر می‌گیرد. اگر چه هر یک از پژوهشگران با دیدگاه متفاوتی به این موضوع پرداخته‌اند. برخی از این پژوهش‌ها تجارب استادکاران سنتی را در قالب نوشتار درآورده‌اند [۱۰-۷]. دسته‌ای دیگر از پژوهش‌ها به مطالعه موردی یک مصالح مانند سنگ یا یک روش مانند گچ‌بری پرداخته‌اند [۱۵-۱۱]. نوشتار دیگر چگونگی استفاده از مصالح را در قالب چهارده اصل دسته‌بندی کرده است که از جمله این اصول می‌توان به اصل کاربست فی‌البداهه، اصل معدودیت و اصل صناعت مصالح اشاره کرد [۱۶]. در خلال سفرنامه‌های جهان گردان خارجی نیز می‌توان گزارش و تحلیل‌هایی درباره مصالح سنتی یافت [۱۷ و ۱۸].

در مجموع، همان‌طور که گفته شد مطالعه‌ای در زمینه تأثیر ملاحظات مرتبط با مصالح در ماندگاری معماری سنتی صورت نگرفته است. در این رابطه، نوشتار حاضر با استفاده از منابع مکتوب و غیر مکتوب کدهای علی مرتبط با این موضوع را استخراج کرده و به دسته‌بندی آن‌ها پرداخته است.

این تحقیق در زمره تحقیقات کیفی است و به روش نظریه زمینه‌ای انجام شده است. نظریه زمینه‌ای نظریه‌ای برگرفته از داده‌هایی است که در طی فرآیند پژوهش به‌صورت نظام‌مند جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل می‌شوند. بخشی از داده‌ها از طریق مطالعات میدانی، مصاحبه نیمه ساختار یافته با معماران سنتی و استفاده از دانش بومی معماری منطقه استخراج شده است. مصاحبه شوندگان با نمونه‌گیری هدفمند و نظری، شامل ۲۰ نفر از معماران سنتی در محدوده سنی بالای ۵۰ سال، انتخاب شدند. اندازه نمونه براین اساس معین شد که داده‌ها به اشباع نظری برسند. به بیان دیگر نتوان مفهوم جدیدی از مصاحبه‌ها استخراج کرد. مطالعات میدانی بر پایه یافتن تأثیر ملاحظات مرتبط با مصالح در افزایش عمر مفید معماری سنتی در فلات مرکزی ایران است. همچنین در ادامه بخش قابل توجهی از داده‌ها به روش کتابخانه‌ای گردآوری شده است. گردآوری داده‌ها در نظریه زمینه‌ای تا سرانجام تحقیق و اشباع نظری کدها ادامه می‌یابد. پس از آن محقق تلاش می‌کند داده‌ها را به شیوه کدگذاری در سه مرحله دسته‌بندی کند. در مرحله بعد رابطه بین مقوله‌ها و زیرمقوله‌های به‌دست آمده بر اساس مدل مطرح شده در روش استراوس و کربین یافته شد. صحت یافته‌ها با توجه به فرآیند کدگذاری و مقوله سازی در تحقیق و همچنین نظر متخصصان در زمینه ماندگاری تأیید شد. در جدول (۱) تعدادی از کدها به‌عنوان نمونه آمده است.

جدول (۱): روند کدگذاری باز، محوری و انتخابی در پژوهش

کدگذاری باز	کدگذاری محوری			کدگذاری انتخابی
کدها/ مفاهیم	زیر مقوله‌ها	مقوله‌های اصلی		مقوله مرکزی
برای ساختن گچ زنده، گچ را توی آب ریخته و بلافاصله به‌عنوان اندود روی بناها می‌کشند. اگر گچ برای مدت بیشتری در آب بماند و مرتب به هم بخورد کشته می‌شود که دوام گچ زنده را ندارد ولی به‌وسیلهٔ آن گچ زنده را پرداخت و سطح صافی ایجاد می‌کنند (پیرنیا،۱۳۸۱، ۱۳۹ و ۱۳۷).	علّی	شناخت نحوهٔ استفاده از مصالح		عوامل مؤثر بر مصالح و پیامدهای ناشی از آن بر ماندگاری معماری سنتی ناحیهٔ فلات مرکزی ایران
«برای ساخت درها هم از چوب راش و گاهی از چوب توت یا گردو استفاده می‌کردند. زبان‌گنجشک چوب مقاومی بوده است. اینکه از چوب همان منطقه استفاده شود مسئلهٔ مهمی است. اگر از شمال چوب به زواره آورده شود جواب نمی‌دهد. چون به آب‌وهوا نمی‌خورد. اگر از مصالح همان‌جایی که قرار است خانه ساخته شود استفاده شود مناسب‌تر و بادوام‌تر خواهد بود»(نساجی، مصاحبهٔ شخصی)	علّی	استفاده از مصالح بوم آورد		
«چرا مصالح قدیمی صدها سال عمر می‌کنند ولی مصالح جدید چنین نیست... شیوه‌های ساختمان‌های سنتی ازنظر زیست‌اقلیمی صحیح‌تر هستند، برای این‌که از مصالح طبیعی به‌جای مصالح مصنوعی استفاده می‌کنند... ». کوینلن تری دوام مصالح سنتی را همزیستی مصالح با طبیعت بیان کرده است (http://anthropology.ir).	علّی	استفاده از مصالح متناسب با اقلیم		
نوع سوخت در زمان حرارت دادن به خشت، در میزان مقاومت آجر اثر فراوان دارد... آجرهای زیرین کوره به شکل سبز و بعدازآن مرحله سبز و زرد و سپس زرد و بعدازآن گل بهی و در انتها نیم پخته خواهد بود. از آجرهای سبز برای اسکلت‌سازی و فرش کف‌ها و از آجر سبز زرد، جهت نماسازی‌های آجری که نیاز به مقاومت بیشتری دارد، استفاده می‌گردد. از آجرهای گل بهی برای ساخت دیوارهای غیر باربر و حائل و موارد مشابه استفاده می‌شود و آجرهای نیم پخته دوباره به کوره برده شده تا پخته شود (زمرشیدی، ۱۳۷۷: ۴۰).	شناخت نحوهٔ عمل‌آوری	علّی	افزایش مقاومت مصالح	
در کشورهای مختلف با اضافه کردن موادی چون ماسه و سنگریزه، پشم و مو، فضولات ازجمله مدفوع و خون گاو، خار و خاشاک، کاه، سبوس، خاک‌اره، گیاهان روغنی و شیره‌های نباتی، برنج، نی، مو، آسفالت و قیر، صمغ‌های گیاهی و چربی‌های حیوانی، روغن‌های بزرک، دانه درخت اقاقیا و گیاه موز، کاکائو، انجیر هندی، شیره کاکتوس، عسل، شیر و نشاسته، لعاب کاکتوس تونا، زائدات زیتون سوخته، آب‌پنیر و ... به خاک رس، میزان انقباض گل کاهش پیدا می‌کند (مینکه، ۱۳۸۸: ۶۲).	ترکیب صحیح مصالح			
معماران سنتی آجرهایی را که باهم همخوان نیستند و از دو خاک تشکیل‌شده‌اند ازهم جدا می‌کرده‌اند. بعضی از این آجرها دورنگ هستند و خاکشان باهم تفاوت دارد، یکی بیشتر آتش خورده و یکی کمتر. مثل‌اینکه بدن انسان عضو مریضی داشته باشد که باید آن را جدا کرد، در آجر هم آن قسمت مریض و ناهمخوان را باید از آجر جدا کرد تا شکل یکنواختی به خود بگیرد (اخویان، ۱۳۸۷: ۵۱)	آزمون مصالح			
معماران سنتی به مشکلات ناشی از استفاده دو ساخت مایه با جنس متفاوت فکر و برای آن چاره اندیشیده‌اند؛ «در اتاق‌های کهن (چه در خانه‌ها کاخ‌ها مدرسه‌ها) در بلندای نزدیک به دو متر یک دوال گرداگرد اتاق می‌چرخد. این نوار گچی (دوال) در محل قرارگیری کلاف قرار می‌گرفت با توجه به اینکه در محل قرارگیری دو نوع ساخت مایه متفاوت احتمال ترک‌خوردگی زیاد است و چوب کلاف هم دقیقاً زیر اندود قرار داشت، برای مانع‌شدن از ترک‌خوردگی، اتاق را دوال بندی می‌کردند» (گلابچی و جوانی دیزجی، ۱۳۹۲: ۶۸).	علّی	هم‌نشینی صحیح مصالح		
راهکار دیگر در رابطه با مسدود کردن درزهای مجاور آب مانند درز تنبوشه‌ها، کنارهٔ ناودان‌ها و در محل اتصال شیر آب در آب‌انبارها است که از ملات پیه دارو یا پیه پنبه استفاده می‌شود. برای ساخت این ملات پیه را آب نموده و داخل آن پنبهٔ زده‌شده می‌ریختند و برای مقاومت بیشتر به آن تراشهٔ چوب بید و ساروج اضافه می‌کردند... سپس ملات را روی درزها می‌کشیدند. وقتی آب به آن می‌رسید پیه دارو باد می‌کرد و اطراف درز را کاملاً می‌گرفت (پیرنیا،۱۳۸۱: ۱۶۳ و ۱۶۴).	علّی	کاهش آسیب‌پذیری در برابر عوامل محیطی		
«در معرفت صنعت کاشی سازی که آن را غضاره گویند و آن حرفت به حقیقت نوعی است از اکسیر» غضاره، به معنی خاک باکیفیتی است که در آن ریگ نباشد. گل پاکیزه سبز و چسبناک است. اکسیر نیز، ماده‌ای که ماهیت اجسام را تغییر دهد و باارزش‌تر سازد... سنگ مها، شکرسنگ، کوارتز متبلور. این سنگ شفاف و درخشان است. در شفافیت از بلور کدرتر و از مرمر روشن‌تر و بسیار سخت است. در برخورد با آتش زنه از آن اخگر بیرون می‌جهد. سنگ قمصری که چون آن را بسوزانند و بشکنند مانند قند سفید، ترد و ریزنده می‌شود. شخار، قلیا، بهترین شخار است؛ چنان‌که اگر آن را بشکنند، درونش سرخ است و بویی تند دارد (کاشانی. عرایس الجواهر و نفایس الاطایب)	علّی	شناخت جنس مصالح		
ملات ساروج با خاکستر، تخم‌مرغ، پشم شتر و موی بز برای جلوگیری از نفوذ آب در آب‌انبارها و پل‌ها، ملات گل آهک در نقاط مرطوب و برای فرش کردن، آجرکاری و سنگ‌کاری و ملات گچ مرمری و گچ آهک برای اندود نقاط مرطوب و ملات گچ خالص برای سفیدکاری و اتصال قطعات گچی استفاده‌شده است (فروتنی، ۱۳۸۸: ۸۷ تا ۹۵).	علّی	انتخاب مصالح متناسب با کارکرد عناصر بنا		

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تعاریف

ماندگاری معماری: در مجمع علمی معماری ماندگاری به معنای قابلیت ساختمان، اجزاء، مواد و مصالح آن در حفظ کارایی خود در طول زمانی مشخص، توانایی مصالح یا عناصر بنا برای باقی ماندن، به ویژه هنگام استفاده مکرر، تحت فشار، شرایط متغیر مانند آب و هوا و رطوبت و غیره [۱۹] و یا توانایی یک ماده برای مقاومت در برابر سایش، تحلیل، هوازدگی و دیگر شرایط طبیعی [۲۰] آمده است. همچنین، عمر مورد انتظار یا تخمین زده شده از یک ساختمان که تابع بسیاری از عوامل از جمله شرایط اجرا در زمان ساخت و ساز، طبیعت مصالح مورد استفاده، قرار گرفتن در معرض سختی، شرایط سرویس‌دهی و غیره است، ماندگاری بنا خوانده می‌شود [۲۱ و ۴۳].

معماری و شهرسازی به‌عنوان یک واسطه، قدرت دفاعی را بالا می‌برد و در ارضای نیاز به امنیت در سلسله مراتب پله‌ای

مازلو اثر مثبت داشته و باعث بقای انسان می‌گردد. با این رویکرد روانشناسانه به معماری و شهرسازی، بحث ایمنی و امنیت باید در کلیه سطوح برنامه‌ریزی و طراحی، از موضوعات کلان شهرسازی تا معماری و جزئیات فنی مد نظر قرار گیرد. برای مثال اثرات موج انفجار ناشی از بمباران هوایی یا زلزله، نه تنها باید در برنامه‌ریزی کلان یک مجتمع زیستی منظور گردد، بلکه باید در جزئی‌ترین حوزه مهندسی مانند ساخت درب و پنجره و جنس مصالح ساختمان نیز به‌صورت همه جانبه و متعادل بررسی شود تا طرح «ماندگار» باشد. تدابیر پدافند غیرعامل در معماری و شهرسازی می‌تواند علاوه بر کاهش خسارات تهدیدات انسان‌ساز (جنگ، بمباران هوایی و ...)، جهت کاهش خطرپذیری در برابر انواع خطرات طبیعی نیز مفید واقع شود [۴۵].

معماری سنتی: مطالعات صورت گرفته در این پژوهش مختص معماری سنتی است. از لحاظ تاریخی تا قبل از قرن چهاردهم در غرب را دوره زندگی سنتی انسان و از آن دوره تا حال را دوره تجدد نام‌گذاری می‌کنند. در کشورهای آسیایی و آفریقایی مانند ایران گرایش به تجددگرایی و تجددخواهی چند قرن دیرتر در اواخر قرن نوزدهم آغاز شد [۴۲]. منظور از جهان سنتی، جهان پیش از تجدد در ایران است که به لحاظ تاریخی تا قبل از دوره پهلوی را می‌تواند شامل شود.

۳-۲- ملاحظات مرتبط با مصالح

۳-۲-۱- شناخت جنس (ویژگی‌های ذاتی) مصالح

از اولین موارد قابل ذکر، معرفت معماران نسبت به ویژگی‌های مصالح است که غالباً موجب گزینشی صحیح شده است. تا آنجا که شناخت و انتخاب مواد و طرز مصرفشان در جهت رسیدن به ایستایی کالبد معماری، موضوعی پراهمیت بوده است.

شناخت مصالح، نتایجی نیز در نحوه استفاده از آن‌ها داشته است. برای مثال فهم و شناخت مصالحی مانند چوب، معمار را بر آن داشته تا در تولید، استفاده و حتی نگهداری و تعمیر آن، ملاحظات ویژه‌ای در نظر داشته باشد. چرا که چوب در مقابل عواملی از قبیل رطوبت، آتش، اختلاف زیاد دما در شب و روز و بعضی حشرات، آسیب‌پذیر است. به همین دلیل در بناهای ساده، غالباً از تیرهای چوبی استفاده نمی‌شود و از آن فقط برای سقف تالارهای بزرگ و ستون و نرده استفاده می‌کنند [۱۸]. به علت نبودن چوب‌های استوار و محکم در ایران، کمتر در اسکلت ساختمان‌های بزرگ به‌عنوان تیر حمال یا ستون باربر و ... به‌کار رفته است. البته در مناطق مختلف ایران بر حسب امکان دسترسی مردم منطقه به چوب، از آن به‌عنوان تیر در پوشش‌های مسطح، کلاف، نعل درگاه، در و پنجره استفاده کرده‌اند [۷]. برای مثال چوب بلوط مقاوم‌ترین چوب است ولی از آنجایی که گران قیمت است خیلی به ندرت از آن استفاده می‌شود [۲۳]. ایرانیان با آزمون و خطا دریافته بودند که مصالح خاکی نسبت به چوب ماندگاری بیشتری دارد و نمی‌پوسد؛ مقاومت مکانیکی آجر از چوب بیشتر است و برای تحمل بارهای سنگین در ساختمان‌های دائمی مانند پل‌ها و بندها و غیره مناسب‌تر از چوب است [۲۴]. شناخت محدودیت‌های مصالحی مانند سنگ، باعث شده کاربرد وسیع و فراگیری در معماری ایران نداشته باشد. مردم ایران در ساختن بناهای خود از سنگ استفاده نمی‌کنند و این به خاطر این نیست که در این کشور سنگ به میزان کافی وجود ندارد بلکه دلیل آن این است که معمولاً در مناطق گرمسیر برای ساخت خانه سنگ کاربرد ندارد [۱۸]. شاردن محدودیت سنگ را نه در عدم بوم آوردی و سهولت دسترسی بلکه در نداشتن تطابق اقلیمی این ماده در فلات مرکزی می‌داند. اگر چه مصادیق بناهای سنگی در فلات مرکزی موجود است ولی تعداد آن نسبت به بناهای خشتی و آجری محدود است.

همچنین، شناخت انواع مواد چسباننده، پرکننده و افزودنی در انتخاب و کاربرد مناسب ملات تعیین کننده بوده است. قابلیت‌های اساسی ملات در حین کار با آن، قابلیت‌هایی از جمله نگهداری آب، روانی، مقاومت در برابر جدا شدن، سرعت و سهولت اجرا و قابلیت‌های ملات پس از سخت و خشک شدن، استحکام، چسبندگی، مقاومت فشاری، عدم نفوذ آب، شوره زدن و عدم تغییر رنگ است [۲۵] که درک صحیح آن موجب افزایش عمر ملات به‌کار رفته بنا در مورد مصرف آن بوده است.

۳-۲-۲- انتخاب مصالح متناسب با کارکرد عناصر بنا

بعضی مصالح در کاربست و آزمون‌های متعدد توانسته‌اند از عهده کارکردی که از آن‌ها انتظار می‌رود به خوبی برآیند، کارآمدی خود را حفظ کنند و به‌عنوان عنصری قابل اعتماد و با کاربرد بیشتر شناسایی شوند [۱۶]. برای مثال از هر نوع چوب درخت متناسب با کارکرد آن در بنا استفاده شده است. در بناهای مجاور آب و همین‌طور در مناطق مرطوب مانند حمام‌ها، در و پنجره‌ها را از چوب سنجد می‌ساختند [۷]. اغلب پهن برگان دارای چوب سخت هستند و به دلیل مقاومت در مقابل رطوبت و موریانه در قسمت پی و زیرسازی ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲۶]. چوب سپیدار تغییر حالت نمی‌دهد؛ بنابراین برای شمع بندی در بناها مناسب است. به علت مقاومت خوب چوب گردو (مخصوصاً نوع سیاه آن) و فراوانی آن در اغلب نقاط ایران برای ساخت در و پنجره از آن استفاده می‌کردند. از چوب زردآلو، بادام معمولی یا شمشاد برای کارهای خراطی، از سه نوع چوب شمشاد، سنجد و توت در لمبه‌کوبی و پرواز و پردی، از چوب زرشک یا

عناب برای ساخت میخ چوبی، از چوب بسیار محکم سرخبید یا درخت آزاد برای ساختن اماکن متبرکه، از چوب چنار برای ستون‌های چوبی و قواره بری و آلت‌بندی، از چوب‌های نرم مانند توسکا، صنوبر و تبریزی که چوب‌هایی صاف و بلند می‌باشند برای تیرهای اصلی، ستون‌هایی که در نما قرار می‌گیرد و خرپا، استفاده شده است [۷ و ۲۶].

معماران سنتی مصالح را در تناسب با میزانی که در معرض سایش هستند به‌کار می‌برند. «در مکان‌های پر رفت و آمد از سنگ استفاده می‌کردند؛ اگر نمی‌توانستند در این مکان‌ها سنگ به‌کار ببرند، آجرچینی نره و یا خفته راسته را جایگزین آن می‌کردند. گاه کف ساختمان شفته‌آهک می‌ریختند و آجر را با ملات گل آهک کار می‌کردند و گاهی چهار تا پنج ردیف آجر کار می‌کردند تا به اندازه لازم محکم شود. همچنین به دلیل اینکه پله پاخور زیادی دارد آجرها را به‌صورت هره کار می‌کردند» [۲۷]. قسمت ازاره (حد ازاره از کف اتاق تا لبه طاقچه بود) در معرض تماس بیشتری است؛ بنابراین برای ساخت آن به گچ کتیرا اضافه می‌کردند و ازاره مانند مرمر مصنوعی و بسیار زیبا می‌شد افزودن کتیرا به ملات گچ علاوه بر امکان کنترل گیرش گچ، مقاومت آن را در برابر ضربه و سایش بالا می‌برد. استادکاران قدیمی ایران از گوگرد، نمک و خاک رس نیز برای این منظور استفاده کرده‌اند [۷].

۳-۲-۳- توجه به هم‌نشینی صحیح مصالح

هر کدام از مصالح، ویژگی‌ها و نیازهای خود را دارد. در تناسب با این ویژگی‌ها، جدای از توجه به قابلیت‌های جداگانه هر کدام از آن‌ها، توجه به ملاحظات مرتبط با هم‌نشینی و هم‌زیستی‌شان نیز حائز اهمیت بسیار است [۲۸]. انسجام و پیوستگی واقعی مصالح و شکل ساختمان، ایجاد ارتباط، انسجام و پیوستگی مداوم بین مصالح مختلفی که بار و فشار را به‌تناسب جابه‌جا می‌کنند کاری بس سخت و دشوار و تقریباً غیر ممکن است؛ به عقیده الکساندر [۲۹] ضروری است که ساختمان از یک نوع مصالح یا مصالح همگون ساخته شود که این مصالح به‌طور کامل از یک عضو به عضو دیگر مداوم و پیوسته باشد.

آگاهی از میزان ماندگاری مصالح مصرفی سبب می‌شود تا اجزای مختلف با عمر و دوام بسیار متفاوت در کنار یکدیگر قرار نگیرند؛ زیرا این امر تعمیر و نگهداری آن‌ها را سخت‌تر کرده و از عمر کل سامانه می‌کاهد [۳۰]. دوام اجزای کنار هم بر اساس تجربه، آزمایش و یا دستورالعمل‌های موجود تعیین می‌شود. عمر خدمت‌دهی و سرویس‌دهی واقعی اجزاء و عناصر بنا نیز بستگی به مواد، محیط قرارگیری آن و نحوه طراحی و روند ساخت دارد؛ بنابراین وابستگی اجزاء به یکدیگر در دوام و مانایی سامانه بسیار اهمیت دارد؛ برای مثال در یک دیوار آجری، آجر از ملات با دوام‌تر است. اگر به هر علتی ملات عمرش به پایان برسد از آنجا که دیگر قابل جایگزینی نیست، لاجرم منجر به پایان عمر کل دیوار خواهد شد. در یک بنا هر چه مشابهت موادی که در کنار هم قرار دارند از نظر دوام و مانایی کمتر باشند، در هنگام تخریب ساختمان ماده بیشتری به هدر می‌رود؛ زیرا در حالی که عمر مصرف موادی هنوز باقی‌مانده است، عمر مابقی آن‌ها به سر آمده است. اگر در هنگام ساخت و طراحی بنا به نحوه هم‌نشینی مصالح توجه نشود در هنگام تخریب، آن‌ها را به سادگی نمی‌توان از لایه‌های دیگر جدا نمود و قسمت‌هایی از مجموعه را حفظ و نگهداری کرد. زمانی که در یک سامانه موادی در کنار هم با طول عمرهای غیر همگون و نامتناسب نصب شوند، عمر کل سامانه به عمر ماده کم دوام تنزل می‌یابد [۳۱ و ۳۲].

بدین ترتیب یکی از عوامل موجد عمر بالاتر در معماری سنتی وحدت و هماهنگی در هم‌نشینی بین مصالح است. چنانچه در بسیاری از بناها دیوارها را از خشت خام می‌ساختند و ملاتی که استفاده می‌کردند نیز گل بوده، یعنی هر دو از یک جنس و یک ماهیت بوده‌اند. این در حالی است که امروزه ملات‌های سیمان یا آهک عموماً برای پایداری آجر خشت‌ها به‌کار می‌روند ولی ملات‌های سیمانی با خشت ناپایدار ناسازگارند؛ زیرا میزان انبساط و انقباض گرمایی متفاوتی دارند؛ بنابراین ملات‌های سیمان روند تخریب آجر خشت‌ها را سرعت می‌بخشند.

مثال‌های ذکر شده نشان از آگاهی معماران سنتی درباره هم‌نشینی صحیح مصالح و نقش این آگاهی در ماندگاری مصالح سنتی دارد. آن‌ها به‌صورت تجربی دریافته بودند که به‌کارگیری مصالح با ویژگی کاملاً متفاوت، از نظر ضرایب انبساط و انقباض، طول عمر و ماندگاری، همچنین سازگاری با شرایط اقلیمی مورد نظر، باعث فرسودگی و تخریب زودهنگام ساختمان می‌شود [۳۲]. بدین ترتیب توجه به چگونگی قرارگیری مصالح در مجاورت هم در عمر سلامت مصالح و در نتیجه بنا مؤثر است.

۳-۲-۴- اتخاذ تدابیری برای کاهش آسیب‌پذیری در برابر عوامل محیطی

غالب بناهای تاریخی مناطق گرم و خشک ایران با مصالح خشت و گل ساخته شده‌اند. نمای این بناها از ملات کاه‌گل یا سیم‌گل است و اکثر درها و پنجره‌ها چوبی هستند. در حیاط این بناها حوض بزرگ آب با باغچه‌هایی در اطراف آن وجود دارد که باعث مرطوب شدن محیط این بناها می‌شود. همچنین در اکثر این بناها، زیرزمین‌های نم‌داری وجود دارد. داشتن این ویژگی‌ها سبب شده که این بناها مورد حمله بسیاری از عوامل بیولوژیک از جمله موریانه‌ها قرار بگیرند؛ چرا که رطوبت باعث جلب میکروارگانیسم‌ها و حمله شدید آن‌ها به بنا می‌شود [۳۳]. از این

رو لازم است به تدابیری که برای حفظ بناها در برابر اینگونه عوامل اندیشیده شده است، پرداخته شود.

۳-۲-۴-۱- رطوبت و آسیب‌های ناشی از شرایط جوی

رطوبت برای بقاء حیوان و گیاه نیاز است ولی بیشترین آسیب را نیز در بناهای خاکی سبب می‌شود [۱۰]. اثرات مداوم رطوبت در ساختمان باعث تغییر شکل بسیاری از مصالح و به ویژه پوسیدگی چوب‌های به‌کار رفته در ساختمان می‌شود. در موارد دیگر، باعث نرم شدن سطوح گچ کاری و طبله کردن آن‌ها و در نتیجه جدا شدن از سطح دیوارها می‌گردد [۱۱].

ضمن اینکه عاملی چون رطوبت، موجب می‌شود بحث ماندگاری برای لایه پوششی ساختمان بسیار حساس‌تر از سایر اجزای ساختمان باشد؛ زیرا به علت مجاورت و همبستگی این لایه با نیروهای محیطی و عوامل مخرب خارجی و بروز تخریب‌های عمده شیمیایی و مکانیکی، نمای ساختمان عملاً لایه‌ای آسیب‌پذیر و با عمر نسبی محدود است [۳۰]. گذشتگان ما برای کاهش اثر رطوبت به راهکارهایی دست یافته‌اند که در ادامه به نمونه‌هایی از آن اشاره می‌شود.

معماران سنتی به این نکته توجه می‌کردند: تنها در صورتی که ملات‌های گلی عاری از ترک و در مقابل آب مقاوم باشند، برای اجرا روی دیوارهای بیرونی مناسب‌اند. ملات گل غالباً برای اندود دیوارهای در معرض شرایط جوی مناسب نیست و ترجیح بر استفاده از ملات‌های آهکی بوده است. اگر اندود در برابر تغییرات دما و رطوبت مقاومت نکند ترک می‌خورد. رطوبت از طریق ترک‌ها به داخل گل نفوذ کرده و تورم آن و در نتیجه فراخ شدن ترک‌ها و پوسته پوسته شدن آن را سبب می‌شود [۳۴].

در شرایطی که اندود اجرا شده در معرض تغییرات شدید حرارتی قرار داشت و یا سطوح اندود شده بسیار وسیع و پیوند میان ملات و سطح دیوار ضعیف بود از حصیری که به زمینه کار تکیه داشت استفاده شده است. برای جلوگیری از خراب شدن حصیر در آینده نیز قبل از نصب در شیر آهک غوطه‌ور می‌شده است [۳۴]. در شهر سوخته از اندودی حاوی گل و مواد آهکی برای پوشش درگاه‌ها، پنجره‌ها و کف اتاق‌ها استفاده شده و در بخش‌هایی در زیر این اندود پوششی حصیری برای جلوگیری از ریزش اندود و نفوذ رطوبت به‌کار برده شده است [۳۵].

نمونه دیگر، راهکاری است که معماران سنتی برای حفاظت از سطح رویی حصار چینه‌ای که در اثر عوامل جوی مثل باد و باران شسته و خراب می‌شد، اندیشیده‌اند. قرار دادن بوته‌های خار، شاخه‌های زرشک و هیزم در سطح رویی چینه، از تخریب حصار بر اثر عوامل جوی مثل باد و باران جلوگیری می‌کند [۷].

استادکاران گاهی نیز با افزودن روغن چراغ به ملات کاه‌گل میزان نفوذ آب به ملات را کاهش می‌دادند. چنانچه از روغن چراغ جهت آغشته کردن بام‌ها استفاده شود، از خطر مکش آب در کاه‌گل پیشگیری می‌کند و آب باران و برف به سرعت از ناودانی سرازیر می‌گردد [۱۲]. علاوه بر روش‌های یاد شده، معماران سنتی برای دفع رطوبت تا روی پی شفته می‌ریختند و برای سقف از «خاک سیبه» که مخلوط رس و ماسه بادآورد است استفاده می‌کردند. چرا که آب در خاک سیبه کمتر نفوذ می‌کند [۲۷].

۳-۲-۴-۲- میکروارگانیسم‌ها

مصالح معماری خاکی ممکن است محیط خوبی را برای زندگی حیوانات و حشرات فراهم کند و همین حیوانات و حشرات می‌توانند برای بنا مخرب و مضر باشند. ریشه درختان، موریانه و دیگر حشرات، پرندگان، موش، عنکبوت و حتی زنبور برخی از میکروارگانیسم‌هایی هستند که به‌عنوان عوامل مخرب معماری خاکی شناخته می‌شوند. در ادامه، به‌طور نمونه رفتار موریانه‌ها و راهکارهای معماران در مقابله با آن‌ها اشاره می‌شود.

موریانه‌ها حشراتی کاملاً اجتماعی هستند که در جستجوی غذا به ساختمان‌ها وارد می‌شوند و با تغذیه از چوب‌های به‌کار رفته در ساختار بنا و سایر مواد سلولزی موجود در مصالح بنا مانند کاه موجود در ملات کاه‌گل باعث وارد آمدن خسارات جبران ناپذیری به بناهای خشتی تاریخی می‌گردند [۳۳]. بقایای گیاهان و یا چوب‌هایی که در سازه دیوار استفاده شده‌اند بستر مناسبی برای هجوم موریانه‌ها است. موریانه‌ها با تغذیه از این مواد موجب می‌شوند تا فضاهایی که از قبل به وسیله چوب و یا بقایای گیاهان در دیوارها پرشده بود به‌صورت حفره‌هایی درآمده و شرایطی برای ناپایداری دیوار ایجاد کند.

از راهکارهایی که معماران سنتی برای دفع میکروارگانیسم‌ها اندیشیده‌اند می‌توان به چوب‌های دارای صمغ یا کندر مانند سرو، کاج و صنوبر که در برابر حمله موریانه مصون هستند اشاره نمود؛ ولی به‌محض اینکه بوی کندر از چوب خارج شد در معرض حمله موریانه قرار می‌گیرند [۳۶]. درگذشته برای مقاوم کردن چوب در برابر موریانه از چوب شورانه (شنگ/ اِشن) (نوعی درخت تبریزی) استفاده می‌کردند و یا اینکه چوب را با صمغی بسیار تلخ به نام اِشه همراه با کندور دود می‌دادند یا چوب را قیرمالی (قیر آبکی) می‌کردند و دورش را گچ می‌گرفتند [۳۶].

در میان چوب درختان مختلف، چوب سدر به دلیل داشتن روغن از پوسیدگی و کرم‌خوردگی محفوظ می‌ماند [۳۶]. علاوه بر این معمولاً از چوب درختان بی‌بر مانند سپیدار و تبریزی که در مقابل موریانه مقاوم‌اند در ساخت پوشش‌ها استفاده می‌شود. این چوب‌ها برای فرسب‌ها و تیرهای اصلی مناسب‌اند. ولی چوب‌هایی

مانند سرو، کاج و شوره گز تا وقتی بوی کندر دارند موریانه آن‌ها را نمی‌خورد ولی پس از گذشت سال‌ها و از بین رفتن بوی کندر از گزند موریانه در امان نیستند [۷].

در راهکار دیگر، برای حفاظت در برابر موریانه، وادارهای ارسی را با مصالح بنایی می‌ساختند. گاه نیز چوب را درون گچ محبوس می‌کردند و به گچ‌خاک تنباکو اضافه می‌کردند تا محفوظ بماند [۷]. به علاوه گاهی با آغشته کردن چوب به قطران، دوغابِ آهک و یا اندود قیرهای طبیعی از آن محافظت می‌کردند و یا سطح چوب را به اندازه حدوداً دو میلی‌متر می‌سوزانند [۱۲]. گاهی نیز «به تمام تیرها و تخته‌هایی که در هر قسمت ساختمان به‌کار می‌روند نمک بسیار می‌پاشند تا از آسیب کرم‌خوردگی مصون بماند» [۱۸].

مثال دیگر برای مقابله با هجوم موریانه‌ها، افزودن اندکی از پودر گیاه خارشتر به گل دیوار است. این پودر دارای طعم تلخی برای موریانه است، در برخی مناطق از گیاه شیرین بیان نیز برای مقابله با هجوم موریانه استفاده می‌شود. راهکار دیگر آن‌که کاه‌گل را با کاه گندم درست می‌کنند؛ از آن جهت که اگر کاه جو با آن مخلوط شود موجب پیدایش موریانه می‌شود. امروزه کاه گندم کمیاب شده است. افزون بر این، روی چوب‌های در و پنجره روغن منداب که از بوته منداب به‌دست می‌آید یا روغن بزرک می‌زنند. این روغن تلخ است و موریانه نمی‌خورد (صادقی فرد، مصاحبه شخصی). طریقه مصرف روغن منداب به این صورت بوده که آن را داغ می‌کردند و داخل آن زودو (نوعی صمغ از درخت زردآلو) می‌ریختند. سپس محکم روغن را با پارچه روی چوب می‌کشیدند [۷].

بدین ترتیب توجه به میکروارگانیسم‌ها و اندیشیدن تدابیری برای دفع خطر تخریب بنا توسط آن‌ها نیز در بالا بردن عمر مصالح و در نتیجه عمر مفید کالبد بنا مؤثر است. توجه به عوامل مخرب و چاره‌جویی برای آن‌ها، از تجربه معماران سنتی در طول سال‌ها به‌دست آمده است.

۳-۲-۵- شناخت نحوه استفاده از مصالح

از دیگر ملاحظات مرتبط با مصالح که به افزایش عمر بناها منجر شده می‌توان به استفاده به جا و صحیح از مصالح اشاره نمود. آنچه موجب می‌شود بناها آسیب‌پذیری کمتری داشته باشند و گاه با مرمت‌های اندک همچنان ماندگار باشند. از آن جمله است نکاتی که در استفاده از خشت مد نظر قرار می‌گیرد. در ساخت بنای خشتی به لحاظ ویژگی‌ها و کاستی‌های خشت، معضلاتی ایجاد می‌شود که در برخی موارد برای کاستن از این عوارض، تمهیداتی برای آماده‌سازی ساخت مایه یا روش‌های مختلفی در اجرا اندیشیده می‌شود؛ برای مثال با کم کردن ضخامت خشت، سطح چسبندگی خشت ثابت و از وزن آن کاسته می‌شود. این مسئله موجب سهولت و بالا رفتن سرعت اجرای بنای خشتی می‌شود. علاوه بر این، کاهش وزن خشت موجب پایداری بیشتری در محل نصب در بنا می‌گردد؛ به ویژه زمانی که ملات چسباننده آن خیس بوده و گیرایی و چسبندگی لازم بین خشت و ملات به وجود نیامده است.

از دیگر روش‌ها خراش دادن پشت و روی خشت در موقع قالب‌گیری به‌منظور افزایش گیرداری آن است. محل این خراش‌ها به هنگام اجرای بنای خشتی موجب می‌شود تا ملات به داخل آن‌ها وارد شده و اتصال مناسبی میان خشت‌ها و ملات صورت گیرد؛ همچنین با قرار دادن گاز (سنگ، تکه آجر و قطعه سفال) در قسمت بالای درز ملات خور از نزدیک شدن دو خشت مجاور هم تا خشک شدن کامل جلوگیری می‌کند. این کار به‌منظور حفظ رج‌های خشتی اجرا شده در ردیف‌ها صورت می‌گیرد تا احیاناً جابه‌جایی که بر اثر لغزش خشت بر روی ملات خیس صورت می‌گیرد به کلی حذف شود؛ در غیر این صورت این احتمال وجود دارد که جابه‌جایی خشت‌ها هم موجب ناهماهنگی در اجرا شده و هم موجب تغییر بار نیروی وارده به جرزها شود؛ در موارد لازم می‌توان به جای استفاده از ملات گل خالص از ملات گل و گچ جهت زودگیر کردن ملات خشت استفاده کرد (کمک گرفتن از خاصیت چسبندگی گچ). برای اتصال محکم‌تر خشت یا آجر نیز آن را با ضرب به ملات می‌کوبند که اصطلاح ضربی به این علت برای این روش اجرای طاق به‌کار می‌رود. این کار موجب ایجاد چسبندگی بین خشت یا آجر با ملات می‌گردد [۳۵].

به‌عنوان نمونه‌ای دیگر، برای حوض یا خزینه حمام از ساروج استفاده می‌کردند؛ یعنی آهک و لویی را مخلوط می‌کردند. به مدت چندین روز کارگری به آن آب پاشیده و ماله می‌کشید؛ به وسیله ماله کشیدن، ساروج بسیار محکم‌تر از مصالحی مثل سیمان می‌شود [۲۷]. سپس روی آن آب پاشیده و رویش را با زیلو یا چیز دیگری تا روز بعد می‌پوشاندند. مدت ۳ تا ۷ روز این عمل را تکرار می‌کردند به این ترتیب اندود طی سالیان دراز باقی‌مانده و گزندی نمی‌دید. دیمه‌هایی متعلق به ۲۰۰۰ سال پیش در ایران دیده شده است [۷]. نمونه‌های ذکر شده برخی از شواهد متعدد مبنی بر معرفت معماران نسبت به نحوه استفاده از مصالح است.

۳-۲-۵-۱- استفاده از هندسه و پیمون در نحوه چینش مصالح

بسیاری از مصالح در معماری ایرانی، مدولار هستند و از پیمونی با اندازه‌های خرد و یکسان استفاده می‌شود مانند خشت، آجر،

کاشی، معماران با بهره‌گیری از پیمون و تکرار آن در اندازه‌ها و اندام‌ها، ساختمان‌ها را بسیار گوناگون از کار درمی‌آوردند [۳۷]، نحوه چینش مصالح با پیمون (مدولار) از منطق و هندسه خاصی بهره می‌برند و با عنوان هندسه نقوش و یا هندسه گره در میان معماران و هنرمندان و در کتب از آن یاد می‌شود. تحول و تکامل هر چه بیشتر کاشی‌کاری و سایر هنرهای وابسته به معماری با کارهای گره به نام هندسه نقوش انجام می‌گردد که از افکار متعالی بنایان، معماران، کاشی‌گران، کاشی‌کاران، در تعداد فراوان هندسه گره که از فلسفه علم هندسه سخن می‌گوید، برای کاشی‌کاری آن دوران آفریده می‌شد. مصداق بارز چینش منطقی مصالح برای نماسازی، آجرکاری‌های متنوع و چشم‌نواز است. پولاک در سفرنامه خود اشاره می‌کند: «ایرانی‌ها می‌دانند که آجرهای بزرگ و کوچک با رنگ‌های گوناگون را با زاویه‌های مختلف چنان پهلوی هم بچینند که دل‌انگیزترین طرح‌ها و نقوش هندسی از آن‌ها پدید بیاید. به خصوص در ساختمان‌های قدیم اصفهان به اشکال ساده بسیار زیبایی می‌توان برخورد که بیننده را متحیر می‌کند» [۱۶]. بدیهی است چینش مصالح با منطق هندسی به ماندگاری مصالح کمک می‌کند.

۳-۲-۶- افزایش مقاومت مصالح

مقاومت بالای مصالح به‌کار رفته در بناها می‌تواند از وارد شدن خسارات مالی به تجهیزات و تأسیسات حیاتی و حساس نظامی و غیر نظامی و تلفات انسانی جلوگیری نموده و یا میزان این خسارات و تلفات را به حداقل ممکن، کاهش دهد.

معماران سنتی سعی می‌کردند تا حد امکان مقاومت مصالح را افزایش دهند. به نظر می‌رسد در معماری ایرانی همواره این امر در نظر گرفته شده است که مصالح مورد استفاده، استعداد و آمادگی قابل قبولی در کاربست و اجرا داشته باشند. برخی از مصالح رفتار خاصی را در فرآیند تولید می‌طلبند. شیوه‌های گوناگون در ترکیب مواد نیز، نتیجه کار را متفاوت می‌سازد. با شناخت امکانات و قابلیت‌های مواد خام می‌توان کیفیت نهایی محصول را کنترل و حتی تعیین کرد و بر اساس محل و هدف کاربست، بهترین نتیجه را از ترکیب مواد خام به‌دست آورد [۱۶]. ترکیب صحیح مصالح، آزمون مصالح و شناخت نحوه عمل‌آوری مصالح از جمله راهکارهایی است که به افزایش مقاومت مصالح می‌انجامد. آنچه در ادامه بدان پرداخته می‌شود.

۳-۲-۶-۱- ترکیب صحیح مصالح

شناخت اجزای تشکیل دهنده مصالح ساختمانی و خواص آن‌ها، معمار را قادر خواهد ساخت تا مخلوط مناسب برای هر هدف و نیاز را انتخاب کند. در این راستا، ترکیب صحیح مصالح یکی از عوامل مهمی است که باعث دوام آن‌ها در طول سالیان متمادی شده است. در ادامه نمونه راهکارهایی در زمینه افزایش مقاومت مصالح با استفاده از ترکیب صحیح مصالح شرح داده می‌شود.

از جمله این راهکارها آن است که برای افزایش استحکام خشت به مخلوط خاک، ماسه بادآورد اضافه می‌کردند (زارع زواره‌ای، مصاحبه شخصی) چرا که انواع خشت با توجه به میزان همگن بودن موادی که ترکیب می‌شود و انبساط و انقباض در مقابل گرما و سرما و عوامل طبیعی پایدار یا ناپایدار هستند. توضیح آنکه اگر در هنگام تهیه خشت از خاک رس خالص استفاده می‌شد، خشت حاصل ترک برمی‌داشت و مقاوم نبود. برای حل این مسئله کمی ماسه دستی، کاه یا سبزی‌های خشک به خاک رس اضافه می‌کردند [۷]. در سیم‌گل سنتی (مخلوط خاک رس، ماسه، کاه خرد شده بسیار نرم و اندکی گچ نیم کوب) از پوست ارزن و پوست برنج ریز شده نیز به جای کاه استفاده می‌شده است. با مخلوط کردن خاک رس با الیاف خرما خشتی مقاوم به‌دست می‌آید که به آن اصطلاحاً «ساز و دار» یا «سازو» گفته می‌شود [۱۱]. با افزودن موی بز به خاک رس خشتی مقاوم به‌دست می‌آورده‌اند که ترک پذیری این خشت بسیار کم است. پشم شتر به خاک رس معدنی نرم با نسبت معینی افزوده شده و خشتی مقاوم به‌دست می‌آمد. در خشت‌های بنای مسجد فهرج یزد از ژاژ (خارشتر) استفاده کرده‌اند. ژاژ همان عملکرد کاه را دارد و به فراوانی در آن محل یافت می‌شده است [۷]. با افزودن شلتوک به خاک رس به هم پیوستگی اجزای خشت افزایش و میزان ترک پذیری آن کاهش می‌یابد. خرده‌سنگ مقاومت فشاری خشت را زیاد می‌کند. خاک رس چرب کوبیده با مقداری خاکستر مخلوط شده و از آن خشت خاکستری رنگی تهیه شده است. معمولاً خاکستر دارای اندکی چربی است و حالت عدم مکش آب در خشت به وجود می‌آورد [۱۱]. از معایب استفاده از گچ و خاک ترک‌خوردگی آن است. در گذشته برای جلوگیری از ترک‌خوردگی موی اضافه و باقیمانده در دباغی‌ها را که مخلوطی از پشم و کرک بود می‌گرفتند و داخل اندود گچ و خاک می‌ریختند. همچنین گاه برای جلوگیری از ترک خوردن خشت‌های بزرگ در مخلوط گل پهن می‌ریختند. این ترکیب مقاومت خشت را در برابر رطوبت افزایش می‌دهد و از باز شدن آن جلوگیری می‌کند [۷].

۳-۲-۶-۲- آزمون مصالح

میزان وسواس معماران سنتی در انتخاب و آزمون مصالح، به حدی است که گاه مصالح را به دقت مورد بررسی قرار می‌دادند. چنانچه با چشیدن خاک به میزان نمک و دیگر ویژگی‌های آن

دست می‌یافتند. به اصطلاح خودشان خاک زنده را از خاک مرده تشخیص می‌دادند. آن‌ها به تجربه دریافته بودند معمولاً زمینی که دست نخورده باشد و خاک زنده که زیاد به‌کار نرفته مقاوم‌تر است در حالی که خاک اگر بماند شور می‌شود؛ شوره می‌زند و در نتیجه خاک کهنه زودتر موریانه می‌زند. به همین خاطر در خشت کهنه کاه نمی‌ریختند و با خاک تنها خشت می‌زدند. استادکاران سنتی تکه‌ای گل را در آب قرار می‌دادند و اگر گل چهار تا پنج ساعت در آب بماند و از هم باز نشود یعنی رنگ آب عوض نشود گل مرغوبی است [۲۷].

همچنین، از جمله مصالحی که استادکاران مقاومت آن را آزمایش می‌کرده‌اند آجر است. وزن مخصوص آجر مقاوم، بیشتر از نوع نامقاوم خواهد بود. چنانچه با ته تیشه به آجر ضربه زده شود، آجر مقاوم سبز و زرد صدای زنگ و آجر نامقاوم به رنگ گل بهی صدای تاپ، تاپ و اصطلاحاً صدای مرگ می‌دهد. بدون شک، مقاومت آجر آبمال به مراتب بیشتر از آجر غیر آبمال است و این به آن علت است که سطوح آبمال شده خشت و بعد آجر پخته آن، کاملاً صیقلی و فاقد خلل و فرج‌های ریز است [۱۲]. تحدب و تقعر آجر نیز اثر نامطلوبی بر مقاومت آن دارد زیرا باعث تمرکز تنش در محل‌های خاص شده و از توزیع یکنواخت تنش جلوگیری می‌کند [۳۹]. معماران سنتی با شناخت این نشانه‌ها میزان مقاومت مصالح را می‌آزمودند.

افزون بر مثال‌های ذکر شده، آجر کارها و تیشه‌داران اغلب از آجری استفاده می‌کنند که در برابر نشت آب، یخبندان و فشار مقاوم باشد و زمانی که به آن ضربه‌ای زده می‌شود صدای زنگ بدهد. آجر باید آب ملات را در حد متوسط جذب کند. اگر آجر آب را جذب نکند ملات به آجر نمی‌چسبد و اگر خیلی جذب کند آجر پوک و شکننده می‌شود. آجر تیشه‌داری نباید ناخالص باشد و ذراتی چون سنگ‌ریزه، آهک و مواد دیگر داشته باشد، چون به هنگام تیشه‌داری طرح‌های ظریف بر آجر حک نمی‌شود و آجر ترک برمی‌دارد [۸]. معماران سنتی حتی با روش ساده‌ای ملات آجر را نیز امتحان می‌کردند. اگر ملات آماده شده به ماله که عمودی نگه داشته شده می‌چسبید و به سادگی با یک تکان ناگهانی از آن کنده می‌شد ترکیب ملات درست بوده است [۳۴].

۳-۲-۶-۳- شناخت نحوه عمل‌آوری مصالح

مواد فرآوری شده، برساخته از مواد خام هستند؛ اما مانند هر ماده ترکیبی دیگری، ویژگی‌های متفاوتی با مواد سازنده خود دارند و بر اساس شیوه تولید و جنس مواد، قابلیت‌های متفاوتی با هم دارند. به‌عنوان نمونه‌ای از عمل‌آوری مصالح می‌توان به عمل‌آوری چوب اشاره نمود. حجم چوب پس از دریافت یا از دست دادن رطوبت تغییر می‌کند و ترک‌های طولی در آن ایجاد می‌شود؛ بنابراین تا مغز چوب باید خشک شود [۱۱]. اگر تنها یک طرف چوب هوا بخورد و خشک شود، طرف دیگر ترک خواهد خورد. اگر چوب بیش از حد بماند پنبه‌ای شده و قابل استفاده نخواهد بود. باید چوب زیر سرپوشی خوابانده شود تا آب باران به آن نرسد. به علاوه شیره درخت در پاییز کمتر است؛ قبل از کار با چوب ته چوب را برای بیرون آمدن همه شیره آن می‌سوزانند. چوب چنار نمونه چوب بسیار محکم و بادوامی است که عمل آوردن آن مشکلات زیادی در پی دارد. رشته‌ها تا چند سال پس از قطع درخت جان دارند و تغییر شکل می‌دهند؛ بنابراین باید زمان طولانی خوابانده شوند [۷].

یا چنان چه در تهیه خشت، خاک رس تهیه شده را برای چند هفته یا چند ماه زیر نور آفتاب و برف و باران و یخبندان و جریان هوا قرار می‌دادند تا فعل و انفعالات شیمیایی خود را انجام دهد [۱۴]. با رها کردن مخلوط خاک به حال خود برای مدت ۱۲ تا ۴۸ ساعت، نیروی پیوستگی در خاک افزایش پیدا می‌کند. غرقاب کردن برای غنی کردن خاک‌های شنی با رس یا فرآوری خاک سبک الزامی بوده است. اگر به جای پودر از کلوخ استفاده می‌شد باید آن را برای چند روز در یک مخزن آب بزرگ و مسطح غوطه‌ور می‌کردند [۳۴]. زمان قالب‌گیری خشت و تهیه آن نیز با توجه به نوع اقلیم، در فصول گرم و از اواخر فصل بهار تا اوایل فصل پاییز است؛ اما بهترین زمان تهیه خشت در ماه‌های تیر و مرداد است؛ چرا که در فصول گرم سرعت خشک شدن و فرآوری خشت بالا می‌رود. همچنین ممکن است خشت بر اثر بارندگی‌های احتمالی در فصول سرد خیس شود یا یخ بزند [۱۲].

در ادامه فرآوری خشت، گل را به میزان زیادی ورز می‌دادند. ورز دادن گل در مقاومت آن بسیار تأثیرگذار است. بهترین کاه‌گل آن است که به مدت ۱۵ روز لگد بخورد؛ ورز دادن کامل گل از ترک خوردن خشت جلوگیری می‌کند [۷]. پس از ریختن مخلوط درون قالب با دست به خوبی ورز داده می‌شود تا تمام زوایای قالب را پر و همه حباب‌های هوا را خارج کند. ملات را در قالب می‌کوبند تا خشتی فشرده و بدون منفذ به‌دست آید. در نتیجه ورز دادن مخلوط خشت‌ها صلب و دارای گوشه‌ها و لبه‌های قوی خواهند شد [۴۰]. همچنین باید خشت‌ها را به‌صورت عمودی و زیر سایبان قرار داد تا از تابش مستقیم خورشید و جریان هوا حفظ شوند و فرآیند خشک شدن آن‌ها به‌صورت برابر و به کندی انجام شود. کاهش طول عناصر ساختمانی و بالا بردن زمان

خشک شدن آن‌ها ترک‌های انقباضی در ساختمان‌های خاکی را کاهش می‌دهد [۳۴]. برای مثال در خاک خوزستان مقدار زیادی ماسه وجود دارد و برای خشت‌زنی نامناسب است. در نتیجه در این منطقه برای دوام بیشتر خشت ابعاد آن را خیلی کوچک در نظر می‌گیرند [۷].

در جریان ساخت آجر نیز برای به‌دست آوردن شکل صاف، منظم و مقاوم‌تر (نسبت به آجر معمولی)، آن را واکوب می‌کردند. ابتدا خشت قبل از رفتن به کوره به کمک دو تخته به‌صورت ماله و کمی آب، واکوفته (صاف و مرتب) شده و پس از آن دوغاب شل از گل رس به اطراف آن کشیده می‌شد. سپس خشت داخل کوره گذاشته می‌شد. البته ممکن بود در کوره کمی تاب بردارد. لایه‌ای که به این وسیله روی آجر تشکیل می‌شود دارای مقاومت بیشتری از داخل آجر است. واکوب، لایه فشرده صافی روی آجر تشکیل می‌دهد. همچنین برای صاف کردن لبه‌های آجر با تخته‌ای صاف به لبه‌های خشت می‌کشند تا سطح خشت یکنواخت شود [۷]. نوع سوخت نیز در زمان حرارت دادن به خشت، در میزان مقاومت آجر تأثیر فراوان دارد. به‌طور مثال سوخت کوره‌ها در قدیم از هیزم‌های قطور و با وزن مخصوص زیاد که به مراتب، حرارتی بیشتر از سوختی نظیر پوشال یا بوته یا مواد دیگر بوده، استفاده می‌شده است [۱۲].

شایان ذکر است طراحی سازه‌ها در برابر انفجار، مستلزم آگاهی از ویژگی‌های دینامیکی مصالح است. مصالح تحت بارگذاری دینامیکی، افزایش مقاومتی از خود نشان می‌دهند که به‌طور قابل ملاحظه‌ای مقاومت سازه‌ای را افزایش می‌دهد. سازه‌ها برای جذب انرژی بارهای انفجاری، وارد محدوده تغییر شکل‌های فرا ارتجاعی می‌شوند. بدین رو مصالح سازه‌ها باید دارای طاقت کافی باشد. افزایش مقاومت مصالح، به علت بارگذاری سریع، به عضو اجازه می‌دهد تا مقاومت بیشتری نسبت به حالت استاتیکی از خود نشان دهد. با وجود راهکارهای متنوع افزایش انعطاف پذیری مصالح در برابر بارهای استاتیکی و دینامیکی در معماری سنتی، متأسفانه مصالح بنایی غیر مسلح به علت تردشکنی و عدم یکپارچگی، مصالح مناسبی برای سازه‌های مقاوم در مقابل انفجار نیست و طبق مبحث ۲۱ مقررات ملی ساختمان لازم است امروزه از مصالح بنایی مسلح استفاده شود [۴۶].

۳-۲-۷- استفاده از مصالح متناسب با اقلیم

به نظر می‌رسد، سکونتگاه‌های انسانی و بناهای فلات مرکزی ایران با طبیعت و زمینه اقلیمی خاص خود رابطه‌ای هماهنگ و پایدار دارند [۴۱]. چنانچه یکی از خصوصیات مهم و قابل توجه هنر معماری ایران در گذشته این بوده که با شرایط محلی از نظر مواد اولیه و آب و هوا کاملاً تطابق داشته است. بدین ترتیب، از میان معیارهای انتخاب مصالح در فلات مرکزی ایران، آنچه بیش از همه مهم است تناسب و سازگاری با اقلیم خاص این منطقه است. از دلایل عمده استفاده از مصالحی از جمله آجر، خشت و گل در فلات مرکزی ایران، ظرفیت حرارتی زیادی است که دارند. به دلیل اختلاف دمای شب و روز در فلات مرکزی ایران، این مصالح گرما را در طول روز ذخیره، در هنگام سردی هوای شبانه آن را به محیط منتقل می‌کنند. آجر و دیگر مصالح با منشأ خاک، در مقایسه با مصالح دیگر از توانایی ذخیره انرژی حرارتی برخوردار هستند و در نتیجه انتقال نوسان‌های حرارتی محیط بیرونی به داخل از طریق این جداره‌ها شدید نیست. دلیل دیگری که آجر در مقایسه با دیگر مصالح هم خانواده خود دارد، ضریب انبساط و انقباض آجر در برابر سرما به گونه‌ای است که از ایجاد ترک در بنا جلوگیری می‌کند.

اگر چه در دوره‌ای نمای بسیاری از ساختمان‌ها را در ایران از سنگ‌هایی که در مقابل حرارت‌های مختلف تغییر درجه حرارت فاحش می‌داد، پوشانیدند؛ به‌کارگیری سنگ در ایران به‌طور تجربی آزمایش شد و امتحان خوبی پس نداد. در همین زمان با پیشرفت فناوری صاحبان صنایع در حرفه‌های مختلف تصمیم گرفتند که از انواع مصالح چه طبیعی و چه غیر طبیعی برای نماسازی بهره گیرند. آن‌ها مصالحی را که از اختراعات و ابداعات خودشان بود برای نماسازی با تبلیغات فراوان به‌کار گرفتند و تمام آن‌ها را به بوته آزمایش سپردند ولی نتیجه مطلوبی عاید نگشت و هر کدام به نوبت از لیست مصالح ساختمانی خارج و دوباره آجر (در برخی شهرها) که از مصالح سنتی هر آب و خاکی بود جانشین همه آن‌ها شد [۱۵]. بدین ترتیب، یکی از دلایل طولانی بودن عمر مفید مصالح در معماری سنتی را می‌توان استفاده از مصالح متناسب با اقلیم دانست.

فلات مرکزی ایران، منطقه‌ای است گرمسیر و تقریباً خشک با بادهای شدید. ساکنان فلات ایران، گل، خشت، آجر، سنگ و چوب را به‌عنوان مصالح اصلی در ساختن بنا مورد استفاده قرار داده‌اند ولی تکیه اصلی در عمده بخش‌های این سرزمین بر گل، خشت و آجر قرار داشته است. با استفاده از راهکارهایی در راستای کاهش نوسانات حرارتی، بر عمر مفید مصالح و در نتیجه بنا افزوده شده است.

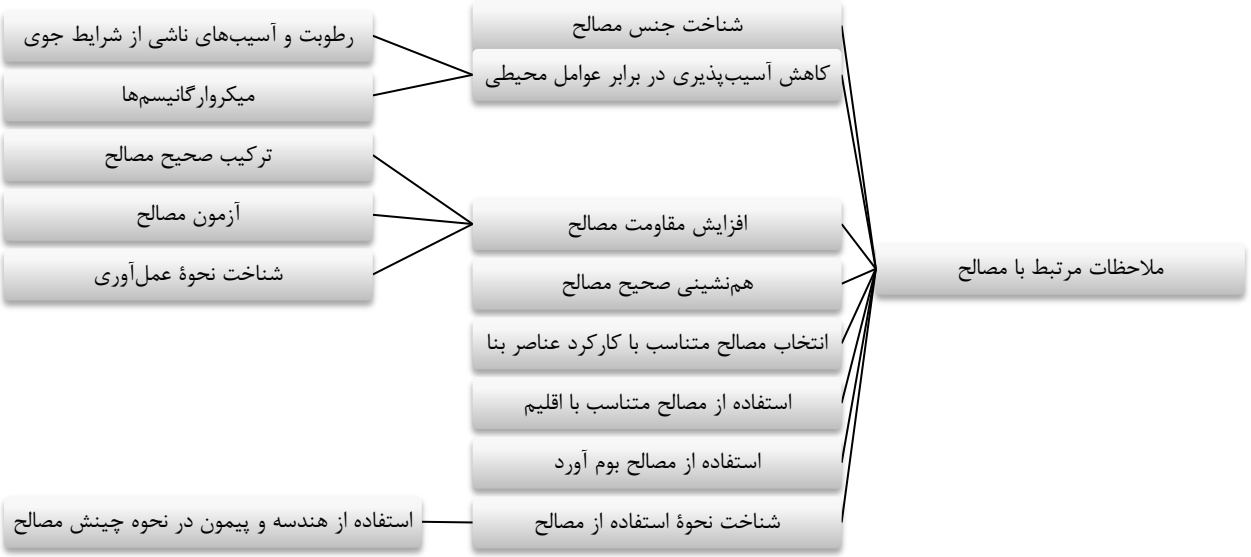
۳-۲-۸- استفاده از مصالح بوم آورد

فلات مرکزی ایران از شرایط و ویژگی‌های بومی خاصی برخوردار است و معماری متناسب با بوم خود را می‌طلبد. به گفته مرحوم پیرنیا استفاده از مصالح محلی و «بوم آورد» از اصول معماری و شهرسازی سنتی ایران به شمار می‌رود: «مصالح باید فرآورده (محصول) همان‌جایی باشد که ساختمان ساخته می‌شود و تا آنجا که شدنی است از امکانات محلی بهره‌گیری شود» [۳۷]. مصالح بناهای شهرهای سنتی معمولاً خشت و آجری است که از خاک گودبرداری شده از محل بنا تأمین شده و گاهی در ترکیب با مصالحی مانند «کاه» که محصول جانبی کشاورزی بوده، به‌کار می‌رفته است. مصالح برآمده از خاک و محیط پیرامون، دارای کیفیت و ماهیتی هستند که گویی بنا از زهدان زمین زاده و سر برآورده است. ماهیت مصالح بومی به مراتب قوی‌تر از مصالح نامتجانس با محیط است. از طرفی بوم، کارکرد مصالح از لحاظ تکنیکی را متضمن می‌شود. برای مثال بنا به گفته استادکاران، شفته‌آهک تا هفتصد سال خود گیری دارد و تا رطوبت اطراف شفته وجود دارد، شفته خود گیری خود را انجام می‌دهد و به مقاومت آن اضافه می‌شود، بنابراین با رطوبتی که در خاک اصفهان موجود است هر روز به مقاومت شفته‌های ریخته شده گذشته افزوده می‌گردد [۱۶].

اگر مصالحی پاسخگوی نیازهای اقلیمی محلی نبود، معماران مصالح کارآمد و متناسب آن اقلیم را جایگزین می‌کردند. برای نمونه معماری پارتی، با توجه به خاک ترده بار (موریانه دار) ایران، به خصوص در خاور و جنوب خاوری و اشکال تهیه چوب بلند و سخت در داخل کشور، احداث طاق را که از روزگارهای کهن در این سرزمین معمول بوده است، دوباره رایج کرد [۳۶].

همچنین استفاده از مصالح بوم آورد باعث تقویت اصل استتار و اختفاء، یکی از اصول عمده در پدافند غیرعامل، می‌شود. در منظر شهری می‌توان با استفاده از تدابیر گوناگون ساختمان‌ها و تأسیسات مهم و حیاتی را از دید دشمن محفوظ کرد تا به آن‌ها آسیبی نرسد. استفاده از تکرار، یکسان‌سازی نماها از نظر بافت و رنگ و فرم طراحی ساختمان‌ها در استتار ساختمان‌های مهم از دید دشمن به خصوص در حملات هوایی تأثیرگذار است. در این حالت می‌توان با یکسان‌سازی مصالح نمای ساختمان مهم مد نظر با ساختمان‌های اطراف و یا حتی کاهش تأثیر بصری و عادی جلوه دادن ساختمان نسبت به دیگر ساختمان‌های موجود از شناسایی آن توسط دشمن تا حد ممکن جلوگیری به عمل آید.

بدین ترتیب، یکی از دلایل طولانی بودن عمر مفید مصالح در معماری سنتی را می‌توان استفاده از مصالح بوم آورد دانست.



نمودار (۱): چگونگی افزایش عمر مفید معماری سنتی با توجه به مصالح مورد استفاده

۴- بحثی در ملاحظات مرتبط با مصالح در ماندگاری معماری امروز

در مجموع، لازم به ذکر است که ماندگاری یک صفت نسبی است. در طبیعت هر ماده متناسب با کاربری و شرایط محیطی‌اش دوام دارد. برگ درختان خزان پذیر عمری چند ماهه دارند که ماندگاری متناسب همان بازه زمانی مورد نظر را نیز دارند. از این رو، در انتخاب مصالح ابتدا باید عمر مورد تقاضا و مناسب ساختمان تعیین و پس از آن ماده انتخاب شود [۳۰]. انتخاب صحیح مصالح و استفاده مناسب از آن، نقش به سزایی در تأمین سلامت و عمر ساختمان دارند. انتخاب مصالح آزموده شده می‌تواند از نارسایی زودهنگام ساختمان پیشگیری کند. در زمینه عمر مفید کم ساختمان‌های مسکونی در ایران، گرچه بیشتر به نامرغوب بودن کیفیت مصالح اشاره می‌شود، اما نمی‌توان علت اصلی تخریب‌های گسترده در شهر و یا هنگام رخداد زلزله را ضعف مصالح دانست. گو اینکه در ساختمان‌های مشابه، از نظر نوع مصالح مصرفی، در سایر کشورها و یا حتی در همان منطقه حضور ساختمان، عملکردها متفاوت است [۳۲]. امروزه به جز موارد محدودی که کیفیت مصالح انتخابی ممکن است زیر حد استاندارد باشد در بیشتر موارد اشتباه طراحان در نحوه استفاده از مواد و مصالح، عدم توجه به شروط هم‌جواری این مواد با سایر مصالح و کمبود مهارت در هنگام نصب آن‌ها باعث بروز کاستی‌های زودهنگام در ساختمان می‌شود. چرا که نه تنها از مصالح سنتی به شیوه غیر سنتی استفاده می‌شود، بلکه معماران هر روز با مصالح و روش‌های ساختمان‌سازی جدیدی روبه‌رو می‌شوند که دانش کمی درباره رفتار و ویژگی‌های آن‌ها دارند. [۳۲]. «تفاوت در گزینش مصالح، اختلاف عمده میان معماری مدرن و معماری سنتی را شکل می‌دهد. ویژگی معماری با مصالح مدرن، بر مبنای ترکیب مصالح در نماها، کاربرد روکش، تکه‌دوزی و مصالح ساختگی و ناملموس، تقلید از نمونه‌های اصیل، تزئینات افراطی، عدم تناسب در جزئیات و نازک‌کاری است. ویژگی دوره سنتی اساساً بر مبنای بیان ساده و صریح و با اصالت مصالح، احتیاط در تعداد مصالح، هماهنگی و سازگاری مصالح با طرح معماری و دوری از تزئینات نمایشی است. در معماری سنتی ایران وسواس و دقت بسیار در گزینش، کاربرد مواد، ترکیب آن‌ها با یکدیگر و همسویی‌شان با کل طرح اعمال می‌شود. دقایق این کار به حدی است که عرصه کار با مصالح را به‌صورت یک علم تمام، یک صنعت ظریف و نیز هنری پیچیده می‌نمایاند» [۳۸]

شایان ذکر است اکثر ساختمان‌های مصالح بنایی در طول عمر خود می‌توانند تحت بارهای حاصل از انفجار قرار بگیرند. رفتار این مصالح برای حفاظت اشخاص یا تجهیزات حساس از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از رویکردهای مطرح در مبحث پدافند غیرعامل، تقویت ساختمان‌ها در برابر انفجار است. در طول سالیان اخیر با افزایش حملات تروریستی و خطرات ناشی از انفجار ضرورت تقویت این دیوارها اجتناب ناپذیر است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که اکثر دیوارهای بنایی غیر مسلح، در برابر انفجار مقاوم نبوده و یا مقاومت کافی و قابل قبولی ندارند، زیرا غالباً بدون در نظر گرفتن آیین‌نامه ساخته شده و یا دقت کافی در اجرای آن‌ها نگردیده است [۴۷]. از این رو ضرورت تقویت دیوارهای بنایی غیر مسلح برای مقابله با نیروهای جانبی و با روش‌های مقاوم‌سازی قابل اعتماد اجتناب ناپذیر می باشد. مقاوم‌سازی یا بهسازی دیوارهای بنایی با روش‌های سنتی جهت افزایش مقاومت دارای مشکلات عدیده اجرایی و نیازمند در نظر گرفتن تغییرات معماری بوده که در بعضی موارد امکان پذیر نیست [۴۸-۵۱]. از این رو در پدافند غیرعامل استفاده از روش‌های نوین مقاوم سازی دیوارهای غیر مقاوم نیز ضروری است

۵- نتیجه‌گیری

عدم توجه به عمر مفید کوتاه بناهای معاصر، مشکلات مهمی در زمینه‌های اقتصادی و محیط زیست پدید آورده است. عدم شناخت عوامل مؤثر بر بقاء بنا منجر به تخریب زودهنگام بناهای معاصر و تولید انبوه نخاله‌های ساختمانی شده است. بناهای معماری از جمله سرمایه‌های ملی هستند و می‌بایست در ساخت، تعمیر و نگهداری آن نهایت دقت و کوشش به عمل آید تا بتوان متوسط عمر مفید ساختمان‌های ساخته شده در کشور را افزایش داد. افزایش عمر کالبد بناها به جز

صرفه‌جویی در هزینه‌های بازسازی بنا - اگر بر مبنای فرهنگ اصیل ملی ساخته شده باشد - به نسل‌های بعدی این امکان را می‌دهد تا مبانی فرهنگی خود و به ویژه صرفه‌جویی را در شکل کالبدی ساختمان مورد شناسایی قرار دهد و به این وسیله بستر زمانی و مکانی لازم جهت توسعه فرهنگ صرفه‌جویی به وجود می‌آید. اگر معماران معاصر افزایش عمر مفید بناها را دغدغه خود بدانند و راهکارهای به‌دست آمده را دستور کار خود قرار دهند، جامعه ما دوباره صاحب معماری ماندگاری می‌شود که همانند معماری سنتی متناسب با بوم، فرهنگ و نیازهای روز زمان است. امروزه به دلیل افزایش قیمت زمین‌ها، نگاه به انرژی سبز و حفظ طبیعت، تلاش در افزایش تداوم عمر بناها نگاه ویژه اکثر طراحان است. در کالبد زندگی شهری امروز، کم بودن عمر بناها باعث استفاده حداکثری از مصالح می‌شود. بنابراین جامعه علاوه بر ایجاد مشکلات بحرانی در زمینه محیط زیست، به سمت از بین بردن هر چه بیشتر منابع طبیعی پیش می‌رود. اگر برای افزایش عمر مفید بناها تلاش شود افزون بر جنبه‌های مثبت اقتصادی بر سبز بودن بناها و حفظ منابع طبیعی نیز تأکید خواهد شد.

معماری ماندگار ایران حاصل تجربه‌های ارزشمندی است که در طی هزاران سال استادکاران سنتی به شاگردان خود انتقال داده‌اند. در واقع می‌توان گفت راز ماندگاری معماری ایران احترام و استفاده از اندیشه هزاران ساله معماران سنتی است. بی‌شک منظور از بهره‌گیری از این تجربیات الگوبرداری صرف از صورت معماری سنتی نیست. با استخراج مفاهیم از این تجربیات، می‌توان الگوهایی کاربردی جهت درمان عمر کوتاه معماری امروز شناسایی نمود. امروزه معماری در کشور ما، بی‌بهره از الگوهای گذشته خویش است. عدم توجه به این الگوها نه تنها عمر کوتاه معماری بلکه مشکلات اقلیمی، زیست‌محیطی، اتلاف انرژی ناشی از تخریب بناها و نخاله‌های حاصل از آن را سبب شده است. ماندگاری معماری سنتی ایران در طول قرن‌های متمادی پیام مهم معماران حکیم این سرزمین برای معماران نسل امروز است که آزموده را آزمودن خطاست.

این نوشتار به ملاحظات مرتبط با مصالح و نقشی که در طولانی کردن عمر مفید معماری سنتی ایفا می‌کند پرداخت.

این پژوهش در گروه تحقیقات کیفی است و به روش نظریه زمینه‌ای انجام شده است. گردآوری داده‌ها در این پژوهش تا سرانجام تحقیق و اشباع نظری کدها ادامه یافت. پس از آن داده‌ها به شیوه کدگذاری در سه مرحله (باز - محوری - انتخابی) دسته‌بندی شد. در مرحله بعد رابطه بین مقوله‌ها و زیرمقوله‌های به‌دست آمده بر اساس مدل مطرح شده در روش استراوس و کربین یافته شد. صحت یافته‌ها با توجه به فرآیند کدگذاری و مقوله سازی در تحقیق و همچنین نظر متخصصان در زمینه ماندگاری تأیید شد.

شناخت ویژگی‌های ذاتی مصالح (۲۹ کد)، شناخت نحوه استفاده از مصالح (۲۰ کد)، استفاده از مصالح بوم آورد (۸ کد)، انتخاب مصالح متناسب با کارکرد عناصر بنا (۳۳ کد)، استفاده از مصالح متناسب با اقلیم (۱۴ کد)، هم‌نشینی صحیح مصالح (۱۰ کد)، اتخاذ تدابیری برای کاهش آسیب‌پذیری در برابر عوامل محیطی مانند رطوبت (۱۹ کد) و میکروارگانیسم‌ها (۱۸ کد) و درنهایت راهکارهایی در جهت افزایش مقاومت مصالح مانند آزمون مصالح (۱۶ کد)، ترکیب صحیح مصالح (۳۷ کد) و شناخت نحوه عمل‌آوری مصالح (۳۸ کد)، اصول به‌دست آمده از این پژوهش کیفی هستند که پایبندی به آن‌ها به افزایش عمر مصالح و در نتیجه بقای کالبد در طول سالیان متمادی می‌انجامد.

۶- مراجع

[1] T. Yashiro, “Stock Management for Sustainable Urban Regeneration: Overview of Building Stock Management,” In Japan, 2009.

[2] J. O'Connor, “Survey on Actual Service Lives for North American Buildings,” Presented at Woodframe Housing Durability and Disaster Issues Conf., Las Vegas, 2004.

[۳] پرهیزکار، سید محمدرضا. "روش‌های افزایش عمر ساختمان‌های عمومی و تأثیر آن در صرفه‌جویی اقتصاد ملی"،

پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی - دانشکده معماری و هنر. ۱۳۹۱.

[4] W. P. S. Dias, “Useful Life of Buildings,” Department of Civil Engineering, 2003.

[5] R. Van Hees, S. Naldini, and J. Roos, “Durable Past-Sustainable Future,” TU Delft. 2014.

[6] W. Celadyn, “Durability of Buildings and Sustainable Architecture,” Czasopismo Techniczne, 2015.

[۷] پیرنیا، محمد کریم. "مصالح ساختمانی (آژند، اندود، آمود)"، تهران، مؤسسه انتشارات تعاون سازمان میراث فرهنگی کشور، ۱۳۸۱.

[۸] اخویان، مهدی. "تیشه‌داری (گذری بر آثار استاد محمدقاسم اخویان معماری سنتی خراسان)"، فرهنگستان هنر، ۱۳۸۷.

[۹] پیشوایزدی، محمد. "روایت بنایی تا استادکاری: خاطرات استاد معمار، محمد پیشوایزدی"، مؤسسه علم معمار رویال، ۱۳۹۱.

[۱۰] رحیم نیا، رضا. "دانش معماران بومی در حفاظت از معماری زمینه‌ها و عوامل مؤثر بر مداخله در معماری خاکی از منظر معماران بومی در جنوب خراسان"، پایان‌نامه دکتری دانشگاه هنر اصفهان، ۱۳۹۵.

[۱۱] زمرشیدی، حسین. "معماری ایران- اجرای ساختمان با مصالح سنتی"، شرکت چاپ خواجه، ۱۳۷۴.

[۱۲] زمرشیدی، حسین. "معماری ایران، مصالح شناسی سنتی"، تهران، انتشارات زمرد، ۱۳۷۷.

[۱۳] ماهرالنقش، محمود. "هنر کاشی‌کاری در ایران"، هنر و معماری ایران، ۱۳۵۲.

[۱۴] ماهرالنقش، محمود. "میراث آجرکاری ایران"، تهران، سروش انتشارات صداوسیما. ۱۳۸۱.

[۱۵] ماهرالنقش، محمود. "آجر و نقش"، تهران، نشر ماهرالنقش، ۱۳۷۳.

[۱۶] درخشی، روژین. "اصول کاربست مصالح سنتی در معماری فلات مرکزی ایران"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هنر اصفهان، ۱۳۹۶.

[۱۷] دونالد، ویلبر. "معماری ایران در دوره ایلخانان"، ترجمه عبدالله فریار، تهران، بنگاه ترجمه و نشر کتاب، ۱۳۴۶.

[۱۸] شاردن، ژان. "سفرنامه شاردن: متن کامل"، ترجمه اقبال یغمایی، جلد ۲، تهران، توس ۱۳۷۲–۱۳۷۵.

[19] H. Cowan, & P. Smith, "Dictionary of Architectural and Building Technology," (4th ed.), India: Routledge, 2004.

[20] N. Davies & E. Jokiniemi, "Dictionary of Architecture and Building Construction," (1st ed.),. India: Routledge, 2008.

[21] J.-P. Kurtz, "Dictionary of civil engineering: English-French. Boston, MA: Springer US, 2004.

[۲۲] ابوالقاسمی، لطیف. "معماری ایرانی"، آبادی، شماره ۱۹، ۱۳۷۴.

[۲۳] ویلیام، مورگان. "رفتار اجزای سازه‌ها"، ترجمه مجید بدیعی، تهران، نشر شهرآب، علوم روز، ۱۹۰۶.

[۲۴] فرشاد، مهدی. "تاریخ مهندسی در ایران"، تهران، نشر بلخ وابسته به بنیاد نیشابور، ۱۳۷۶.

[۲۵] فروتنی، سام. "مصالح و ساختمان"، تهران، نشر روزنه، ۱۳۸۸.

[۲۶] قبادیان، وحید. "بررسی اقلیمی ابنیهٔ سنتی ایران"، تهران، دانشگاه تهران، ۱۳۹۲.

[۲۷] مصاحبه با استاد هادی طحان، استاد طلایی، استاد نساجی، استاد عابد زاده زواره، آقای زارع زواره‌ای و استاد صادقی فرد.

[۲۸] تومپازیس، آلکساندروس نیکولائو. "نامه‌ای به یک معمار جوان"، تهران، علم معمار، ۱۳۹۰.

[۲۹] الکساندر، کریستوفر. "الگوهای استاندارد در معماری. ترجمه فرشید حسینی"، تهران، دایره دانش، ۱۳۹۳.

[۳۰] کلانتر مهرجردی، نگار. "مانایی و دوام متناسب"، فصلنامه معماری و ساختمان، ۱۳۸۸.

[22] K. Ted, “Durability Implications,” www.cdnarchitect.com, 2002.

[23] K. Ted, “Enclosure durability,” Canadian Architect, vol. 47, no. 9, Sept., p. 48, 2002.

[۳۱] پورمحمدی، سپیده؛ حسینی دهمیری، هادی، "موریانه‌ها خطری جدی برای بناهای خشتی تاریخی شهر یزد و سایر شهرهای ایران، به ویژه در هنگام وقوع زلزله"، مجله اثر، ش ۴۲ و ۴۳، صص۱-۱۵. ۱۳۸۶.

[۳۲] مینکه، گرنوت. "راهنمای ساخت‌وساز با خاک (کاربرد مصالح خاکی در معماری مدرن) "، مترجم: شاهین طلوع آشتیانی، تهران، اداره کل روابط عمومی، امور فرهنگی و اجتماعی، اداره برنامه‌ریزی نشر، ۱۳۸۸.

[۳۳] گلابچی، محمود؛ جوانی دیزجی، آیدین، "فن شناسی معماری ایران"، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۲.

[۳۴] پیرنیا، محمد کریم.. گنبد در معماری ایران"، گردآورنده: زهره بزرگمهری. شماره ۲۰، تهران، سازمان میراث فرهنگی کشور، ۱۳۷۰.

[۳۵] پیرنیا، محمد کریم. "سبک‌شناسی معماری ایران"، تهران، نشر معمار، ۱۳۸۳.

[۳۶] نوایی، کامبیز؛ حاجی قاسمی، کامبیز. "خشت و خیال"، تهران، دانشگاه شهید بهشتی، ۱۳۹۱.

[۳۷] ویسه، سهراب؛ خدابنده، ناهید؛ حکاکی فرد، حمیدرضا؛ طهماسبی، فرهنگ. "ارائه روش‌های مناسب در استفاده از مصالح بوم آورد"، مسکن و محیط روستا شماره ۱۲۶،صص. ۱۹-۲، ۱۳۸۸.

[۳۸] ولفسکیل، لایل؛ دانلپ، وین؛ کالاوی، باب. "استفاده از خاک در خانه‌سازی"، ترجمه حسین تابش، تهران، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۶۶.

[۳۹] اردلان، نادر و بختیار، لاله. "حس وحدت"، ترجمه حمید شاهرخ، اصفهان، نشر خاک، ۱۳۷۹.

[۴۰] داوری اردکانی، رضا.. "رساله در باب سنت و تجدد"، تهران، نشر ساقی، ۱۳۸۴

[24] F. Kenneth, [1930], "Intimations of Durability: Notes on Architecture and the Theme of Time," Harvard Design Magazine 90 (Automn), pp. 22-28. 1997.

[25] T. Cavanagh, "On Permanence: Thoughts about a Historical Reconstruction of a Value Basic to Building," J. of Architectural Edu. vol. 54, no. 1, pp. 45-54 2000.

[۴۱] اژدری، میلاد، "مقاوم‌سازی ساختار فضایی در طراحی ساختمان‌ها با معیارهای پدافند غیرعامل"، فصلنامه علمی تخصصی معاونت مهندسی ناجا. ش. ۳۲، صص ۱۳۰-۱۶۲، ۱۳۹۵.

[۴۲] دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان. "مقررات ملّی ساختمان ایران مبحث بیست و یکم پدافند غیرعامل"،تهران، مرکز تحقیقات راه مسکن شهرسازی، ۱۳۹۵

[۴۳] اسماعیلی، علی؛ امامزاده، سید شهاب؛ امینی مزرعه ن.، مصطفی. "بررسی اثر چیدمان ورق‌های CFRP در مقاوم سازی دیوارهای بنایی غیر مسلح دربرابر بار انفجار"، فصلنامه پدافند غیرعامل، دوره ۵ شماره ۴، صص ۱-۸. ۱۳۹۳.

[26] Y. Su, "Numerical Simulation of Strengthened Unreinforced Masonry (URM) Walls by New Retrofitting Technologies for Blast Loading," Master Thesis, School of Civil Environmental and Minig Engineering, University of Adelaied, December 2008.

[27] H. Hao, "Numerical Derivation of Homogenized Dynamic Masonry Material Properties with Strain Rate Effects," Int. J. of Impact Eng., vol. 36, no. 3, pp. 522– 536, 2009.

[28] X. Wei and M. Stewart, "Model Validation and Parametric Study on the Blast Response of Unreinforced Brick Masonry Walls," Int. J. of Impact Eng., vol. 37, no. 11, pp. 1150-1159. 2010.

[29] C. Mullen, "Nanoparticle Reinforced Polymer for Blast Protection of Unreinforced Masonry Wall," Associate Professor, Dept. of Civil Eng. Univ. of Mississippi, Oxford, MS, pp. 38677-1848, 2011.

[۴۴] فردوسی، سجاد؛ شکری فیروزجاه، پری؛ "تعیین حداکثر تراکم ساختمانی با رویکرد کاهش آسیب پذیری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر شاهرود) "، فصلنامه پدافند غیرعامل، دوره ۵، شماره ۴، ۱۳۹۳، صص۹-۲۰

[30] K. Touw, "Firmitas Re-Visited: Permanence in Contemporary Architecture," *UWSpace*, 2006.

[31] H. Klotz, "The History of Postmodern Architecture," Cambridge, Mass., MIT Press, 1988.

[32] A. Powter, (Team Leader). "Sustainable Historic Places: A Background Paper for Historic Places Program Branch," Gatineau, 93, Quebec, Parks Canada, Project 474198, 2005.

[33] W. McDonough, and M. Braungart, "Towards a Sustaining Architecture for the 21st Century: The Promise of Cradle-Tocradle Design," United Nations Environment Programme Industry and Environment, April-September, pp. 13-16, http://www.uneptie.org/, 2003.

[34] A. J. Prieto, J. M. Macías-Bernal, María-José Chávez, and F. Alejandre, "Fuzzy Modeling of the Functional Service Life of Architectural Heritage Buildings," J. of Performance of Constructed Facilities, vol. 31, no. 5, pp. 1-13, 2017

[35] A. Bogatov, E. Kablov, O. V. Startsev, and A. Matvievskiy, "The Effectiveness of Materials Different with Regard to Increasing the Durability," V. Erofeev, A. Dergunova, Anna Piksaikina, EDP Sciences, 2016.

[36] A. M. Aikivuori, "Durability of Building Materials and Components 8," Edited by M. A. Lacasse and D. J. Vanier, Institute for Research in Construction, Ottawa ON, K1A 0R6, Canada, pp. 1369-1376. 1999.

[37] K. Heathcote, "Durability of Earthwall Buildings," Construction and Building Materials, 1995.

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال سیزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، (پیاپی ۵۰): صص ۹۵-۸۳

علمی- ترویجی

ارائۀ الگوی پدافند غیرعامل در توسعه اماکن ورزشی شهر تبریز

مجتبی بابائیان[۱]، محمدرحیم نجف‌زاده[۲*]، حبیب محمدپور یقینی[۳]، جعفر برقی مقدم[۴]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۶

چکیده

پژوهش حاضر با هدف ارائه الگوی پدافند غیرعامل در توسعه اماکن ورزشی شهر تبریز با رویکرد ترکیبی اجرا گردید. پژوهش حاضر از لحاظ هدف کاربردی، روش تحقیق، آمیخته از نوع اکتشافی متوالی و شیوه گردآوری پیمایشی بود. جامعه آماری در بخش کیفی را خبرگان حوزه‌های مختلف از جمله پدافند غیرعامل، مدیریت شهری، سازه‌ها و معماری و همچنین خبرگان حوزه مدیریت ورزشی، شامل می‌شوند، که این افراد، به‌صورت هدفمند از نوع معیاری، برای مصاحبه‌های کیفی در موضوع پژوهش انتخاب گردید (۱۷ مصاحبه با ۱۷ نفر و تا حد اشباع نظری ادامه یافت). جامعه آماری بخش کمی شامل همان گروه بخش کیفی با تعداد بیشتر می‌باشد. از بین ۱۶۲ نمونه پژوهش و ۱۲۸ پرسشنامه صحیح مورد تحلیل قرار گرفت. ابزار گردآوری اطلاعات در پژوهش حاضر مصاحبه نیمه ساختار یافته و پرسشنامه محقق ساخته بود. به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌های پژوهش حاضر از کدگذاری در بخش کیفی و از روش معادلات ساختاری در بخش کمی استفاده گردید. در بخش کیفی پژوهش مشخص گردید که مقوله‌ها در قالب ۴۸ کد مفهومی و ۶ مقوله اصلی استخراج شد. در بخش کمی نیز مشخص گردید که هر ۶ مقوله اصلی پژوهش (به ترتیب مکان‌یابی، امکانات، جمعیت‌شناختی، انسانی، اقتصادی و جمعیت‌شناختی) از برازش مناسبی برخوردار است، بنابراین مدل پژوهش از برازش کافی برخوردار می‌باشد.

کلید واژه‌ها: مکان‌یابی، پدافند غیرعامل، اماکن ورزشی، شهر تبریز

[۱] دانشجوی دکترای مدیریت ورزشی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

[۲] استادیار مدیریت ورزشی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران - (najafzadeh@iaut.ac.ir)- نویسنده مسئول

[۳] استادیار مدیریت ورزشی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

[۴] استادیار مدیریت ورزشی، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۱- مقدمه

در طول تاریخ، بشر همواره با پدیده‌ای به نام جنگ‌افروزی مواجه بوده است. طوری که به جرئت می‌توان گفت نقطه‌ای در کره خاکی یافت نمی‌شود که یک بار طعم تلخ جنگ را نچشیده باشد. بدین منظور بشر همواره به دنبال تدابیری برای دفاع از خود بوده و یکی از گزینه‌های هوشمندانه دفاع را، پدافند غیرعامل می‌داند، بنابراین هر کشوری که به مسائل نظامی و دفاعی نیندیشد، محکوم به نابودی است، زیرا دیگر حکومت‌ها به جای او خواهند اندیشید. این مسئله برای ایران، از دید قرار گرفتن در موقعیت راهبردی جغرافیایی و داشتن منابع طبیعی، اهمیت بیشتری دارد [۱]. توجه به طراحی اصولی فضاهای باز بر مبنای اندیشه‌های دفاعی توسط طراحان شهرسازی و ضابطین قوانین شهرسازی باعث بالا رفتن ضریب ایمنی این فضاها و به طبع آن کاهش صدمات و خسارات جانی خواهد شد. با تلفیق هوشمندانه عناصر طبیعی، عناصر معماری و اصول پدافند غیرعامل می‌توان این آسیب‌ها را به حداقل ممکن کاهش داد. فضاهای باز، نقش مهمی در کاهش آثار و نتایج اکثر حوادث طبیعی و مصنوعی دارند[۲]. فضاهای باز می‌توانند در مواقع اضطراری به‌عنوان یک منطقه در دسترس با امکان فرار و استقرار و پناه گرفتن در آن مطرح باشند. بدین ترتیب طراحی مناسب فضاهای باز و بسته داخل بافت‌های شهری یکی از مهم‌ترین حربه‌ها جهت مقابله با خطر محسوب می‌گردد. سودمندی فضاهای باز در محدوده شهری، بستگی به تعداد این فضاها، توزیع یکسان آن در تمام شهر و همچنین تداوم سامانه فضاهای باز و پوشیده امن دارد [۳]. موضوع پدافند غیرعامل امروز نه به‌عنوان یک موضوع فقط پژوهشی که به‌عنوان یک الزام حیاتی برای اداره هر کشور چه در مواقع بحران و چه در مواقع غیر بحران در راستای حفظ و صیانت از ارزش‌های مادی و معنوی کشور تعریف می‌گردد [۴].

پدافند غیرعامل یکی از اقدامات اساسی در زمینه مدیریت بحران می‌باشد. پدافند غیرعامل به دلیل ایجاد زیرسازی‌ها و شکل‌دهی عوامل روبنایی، از موضوعات خاص نه تنها در ایران بلکه در بسیاری از کشورهای جهان است. هدف از برنامه‌ریزی و اجرای پدافند غیرعامل حمایت و کاهش آسیب‌پذیری از منابع انسانی و دارایی‌های موجود در برابر تهدیدات و خطرات طبیعی و انسان‌ساز است [۵]. پیشگیری وقایع و رعایت تمهیدات پیشگیری، آماده‌سازی و مصون کردن عوامل انسانی و انسان ساخت در مقابل هر نوع بحرانی، نشان دهنده تدبیر است. در شرایط کنونی که تعداد و نوع بحران‌ها و آسیب‌ها به شدت افزایش یافته و روزبه‌روز در حال دگرگونی است، ضرورت مداقه در خصوص موضوع پدافند غیرعامل، کاری بس هوشمندانه است. شاید در تعاریف اولیه از پدافند غیرعامل، ناخودآگاه توجه انسان به حوزه‌های سیاسی و پدافند نظامی بیشتر از وقایع و بحران‌های طبیعی متمرکز شود، اما در حقیقت، پدافند غیرعامل علاوه بر کاهش خسارات ناشی از تهدیدات انسان ساخت، برای کاهش خطرپذیری در برابر خطرات طبیعی نیز استفاده می‌شود [۶]. بنابراین، پدافند غیرعامل مربوط به جنگ و صلح نیست بلکه یک آمادگی برای مقابله با حوادث و بلایای مختلف طبیعی و غیر طبیعی است [۷]. بنابراین در معماری و شهرسازی بحث ایمنی و امنیت باید در کلیه سطوح برنامه‌ریزی و طراحی از موضوعات کلان شهرسازی تا معماری فضاهای باز و بسته شهری و جزئیات فنی مد نظر قرار گیرد به گونه‌ای که قبل از وقوع هر بحران فضاهای امن در دسترس مردم موجود باشد و این فضاها می‌توانند عملکرد چند منظوره داشته و در مواقع بحران نقش پناهگاه را ایفاء نمایند. در این راستا اماکن و فضاهای ورزشی به دلایل دسترسی مناسب و وسعت بالا می‌تواند از جمله محل‌های مناسب و مطلوب در جهت اجرای پدافند غیرعامل باشد. در این راستا معیارهای مکان‌یابی فضاهای ورزشی شامل: دسترسی، آسایش، شیب کم زمین، هم‌جواری و غیره هستند که متولیان احداث فضاهای ورزشی بر اساس قانون تعیین شده توسط شهرداری‌ها موظف به رعایت آن می‌باشند [۸]. حفظ حریم‌های قانونی مانند حریم رودها، کابل‌های برق و غیره نیز از جمله عوامل اصلی مکان‌یابی و احداث اماکن ورزشی هستند که باعث کاهش مخاطرات در زمان بحران می‌شود و باعث می‌شود که اماکن ورزشی پتانسیل در نظر گرفتن به‌عنوان یک مکان امن را دارد. در این راستا اور و همکاران [۹] اظهار کردند که اماکن ورزشی به‌عنوان یک فضای ایمن شهری قابلیت پذیرش شهروندان به‌عنوان یک مکان امن در زمان نیاز به واکنش سریع و اضطراری را دارد و می‌بایست از این منظر آمادگی لازم را در این اماکن ایجاد کرد. چو و همکاران [۱۰]نیز اظهار کردند که اماکن ورزشی پتانسیل بالایی در جهت حفظ سلامت شهروندان در بلایای طبیعی و بحران‌ها دارند و مدیران اماکن با تصمیم سریع و کارآمد می‌توانند از این اماکن بهره‌برداری مطلوبی نمایند. با این حال جمعیت شهری ایران در طی دهه‌های اخیر به دلیل مهاجرت بیش از اندازه افزایش قابل ملاحظه‌ای پیدا کرده است. این موج مهاجرت، علاوه بر رشد جمعیت در داخل شهرها باعث تغییراتی در ساختار و همچنین بافت شهر گردیده و این امر باعث شده که بار جمعیتی زیاد گردد. به گونه‌ای که این جمعیت مازاد، نیاز به خدماتی دارند که مدیریت شهری توان پاسخگویی به آن‌ها را ندارد. همچنین شهر تبریز یکی از بزرگ‌ترین شهرهای شمال غرب کشور است و جمعیت این شهر ۱،۷۳۳،۰۳۳ نفر می‌باشد (مرکز آمار ایران) می‌باشد. این بار جمعیتی از لحاظ امنیتی نیازمند توجه و برنامه در راستای پدافند غیرعامل دارد. بدین

منظور در این تحقیق سعی شده با توجه به اهمیت فضاهای ورزشی شهری به‌عنوان بخشی از فضاهای باز و پوشیده به واسطه سهل‌الوصول بودن و پرتردد بودن، بر اساس بررسی‌های میدانی، به‌عنوان بخشی و از پدافند غیرعامل در نظر گرفته شده و مهم‌ترین مؤلفه‌های پدافند غیرعامل در طراحی و احداث فضاهای ورزشی با مطالعه موردی فضاهای ورزشی شهر تبریز شناسایی و اولویت‌بندی گردند و در ادامه طرحی و احداث این فضاها با حضور مؤلفه‌های پدافند غیرعامل مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند. از سویی سرانه فضای ورزشی در شهر تبریز ۰/۸۳ متر مربع می‌باشد [۱۱] که با مقیاس پیشنهادی کشور (۲ متر مربع برای هر فرد)[۱۲] اختلاف زیادی دارد و این شهر نیازمند احداث و توسعه اماکن ورزشی می‌باشد و توجه به پدافند غیرعامل می‌تواند در کنار توسعه مناسب اماکن، به توسعه و پیشرفت امنیت شهروندان کمک نماید. بنابراین با توجه به خلأ تحقیقاتی در زمینه الگوی پدافند غیرعامل در توسعه اماکن ورزشی در کشور و لزوم توجه بیش از پیش به این زمینه، هدف از پژوهش حاضر ارائه الگوی پدافند غیرعامل در توسعه اماکن ورزشی شهر تبریز می‌باشد.

۲- روش تحقیق

پژوهش حاضر از لحاظ هدف کاربردی، روش تحقیق، توصیفی و شیوه گردآوری پیمایشی بود، چون هیچ‌گونه دست‌کاری بر روی متغیرها و عوامل صورت نگرفته و بر اساس رویکرد پژوهش، آمیخته بود. در مرحله اول، برای ساخت الگو از روش کیفی و برای آزمون الگو از روش کمی توصیفی- تحلیلی و از نوع همبستگی مبتنی بر الگوی معادلات ساختاری استفاده گردید. روش پژوهش آمیخته از نوع اکتشافی متوالی بود، یعنی ابتدا کیفی و سپس کمی بود. ابزار مورد استفاده در این پژوهش بعد از انجام مصاحبه و رسیدن به اشباع نظری تدوین شد که شامل ۴۶ گویه و در قالب ۶ مؤلفه، به‌صورت پنج گزینه‌ای لیکرت (کاملاً موافقم، ۵ امتیاز تا کاملاً مخالفم، ۱ امتیاز) تدوین شد.

سؤالات مصاحبه عباتد از:

۱- با توجه به آنکه جنابعالی (سرکار عالی)، تجربه مناسبی در حوزه پدافند غیرعامل دارید، چه عواملی به نظر شما در طراحی و ساخت فضاهای ورزشی تأثیرگذار است؟ کدام یک از این عواملی که ذکر نمودید از عوامل مؤثر پدافند غیرعامل می‌باشند؟ برای مثال از عوامل جغرافیایی، انسانی، جمعیت‌شناختی، جغرافیایی، مکان‌یابی و امکانات می‌توان نام برد.

۲- میزان اهمیت هر یک از عواملی که در سؤال قبلی عنوان نمودید به چه صورت می‌باشد؟

۳- چه پیشنهاداتی برای توجه بیشتر به پدافند غیرعامل در طراحی و برنامه‌ریزی فضاهای ورزشی دارید؟

در بخش اول (کیفی) برای انجام مصاحبه میدانی، جامعه آماری پژوهش را خبرگان حوزه‌های مختلف از جمله پدافند غیرعامل، مدیریت شهری، سازه‌ها و معماری و همچنین خبرگان حوزه مدیریت ورزشی، شامل می‌شوند، که این افراد، به‌صورت هدفمند از نوع معیاری، برای مصاحبه‌های کیفی در موضوع پژوهش انتخاب گردید (۱۷ مصاحبه با ۱۷ نفر و تا حد اشباع نظری ادامه یافت)، و در بخش دوم (کمی) بعد از گردآوری اطلاعات حاصل از پژوهش کیفی، اقدام به ساخت پرسشنامه نموده و این پرسشنامه در بین متولیان و خبرگان حوزه پدافند غیرعامل در اماکن ورزشی توزیع گردید (جدول (۱)).

جدول (۱): جامعه و نمونه آماری در بخش کمی پژوهش

جامعه آماری	اندازه جامعه آماری (نفر)	اندازه نمونه (نفر)	عودت داده شده
خبرگان نظام شهرسازی	۶۰	۳۰	۲۴
خبرگان مدیریت شهری	۶۵	۳۰	۲۶
خبرگان معماری، سازه و تأسیسات	۳۵	۲۲	۱۷
خبرگان سامانه پدافند غیرعامل	۶۰	۴۰	۳۱
خبرگان طراحی مجتمع ورزشی	۶۰	۴۰	۳۰
جمع	۲۸۰	۱۶۲	۱۲۸

بنابراین به‌صورت کلی، تعداد ۱۲۸ خبره به پرسشنامه پژوهش به‌صورت صحیح پاسخ داده‌اند. روش نمونه‌گیری به‌صورت طبقه‌ای تصادفی بود.

روایی و پایایی در بخش کیفی (قابلیت اعتماد پژوهش)

در این پژوهش برای بررسی روایی، یافته‌های پژوهش را برای مشارکت کنندگان ارائه و متن نظریه توسط آن‌ها مطالعه و دیدگاه‌های آن‌ها اعمال شده است. در پایان، این پژوهش توسط اساتید مورد مطالعه و بازبینی قرار گرفته و مواردی جهت اصلاح یا تغییر نظریه نهایی بیان شده است. پایایی به گستره تکرارپذیری یافته‌های پژوهش اشاره دارد. یکی از راه‌های نشان دادن پایایی، مطالعه حسابرسی فرآیند آن است. یافته‌های آن، زمانی قابل حسابرسی هستند که محقق دیگر بتواند مسیر تصمیم

به‌کار رفته توسط محقق در طول مصاحبه را نشان دهد. بنابراین محقق پایایی داده‌ها را از طریق نشان دادن مسیر تصمیمات خود و همچنین قرار دادن تمامی داده‌های خام، تحلیل شده، کدها، مقوله‌ها، فرآیند مطالعه، اهداف اولیه و سؤال‌ها در اختیار اساتید راهنما و مشاور قرار داد و با حسابرسی دقیق صاحب‌نظران درستی تمام گام‌های تحقیق مورد تأیید قرار گرفت. علاوه بر این در تحقیق کنونی از روش توافق درون موضوعی برای محاسبه پایایی مصاحبه‌های انجام گرفته استفاده شده است. برای محاسبه پایایی مصاحبه با روش توافق درون موضوعی دو کدگذار (ارزیاب)، از یک دانشجوی مقطع دکتری مدیریت ورزشی درخواست شد تا به‌عنوان همکار پژوهش (کدگذار) در پژوهش مشارکت کند. آموزش‌ها و روش‌های لازم جهت کدگذاری مصاحبه‌ها به ایشان انتقال داده شد. در هر کدام از مصاحبه‌ها، کدهایی که در نظر دو نفر هم مشابه هستند با عنوان «توافق» و کدهای غیر مشابه با عنوان «عدم توافق» مشخص می‌شوند. سپس محقق به همراه این همکار پژوهش، تعداد سه مصاحبه را کدگذاری کرده و درصد توافق درون موضوعی که به‌عنوان شاخص پایایی تحلیل به‌کار می‌رود با استفاده از فرمول زیر محاسبه شد:

$$\text{درصد توافق درون موضوعی} = \frac{\text{تعداد توافقات} * ۲}{\text{تعداد کل کدها}} * ۱۰۰\%$$

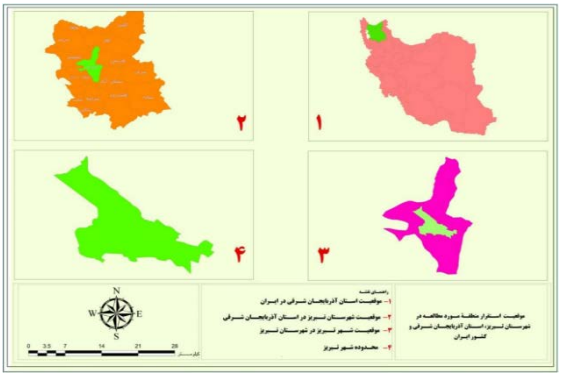
تعداد کل کدهای ثبت شده توسط هر دو نفر (محقق و فرد همکاری کننده) برابر ۱۴۶، تعداد کل توافقات بین این کدها ۵۱ و تعداد کل عدم توافقات بین این کدها ۴۴ هست. پایایی بین دو کدگذار با استفاده از فرمول ذکر شده ۶۹/۹٪ است که از ۶۰٪ بالاتر بوده بنابراین قابلیت اعتماد کدگذاری‌ها مورد تأیید است.

۲-۱- پایایی و روایی بخش کمی

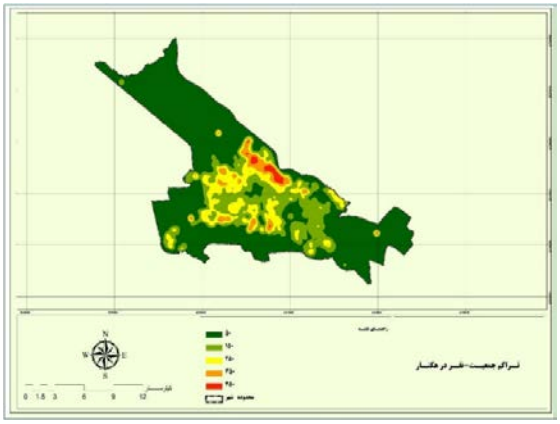
پایایی و روایی در پی‌ال‌اس در دو بخش سنجیده می‌شود: الف) بخش مربوط به مدل‌های اندازه‌گیری و ب) بخش مربوط به مدل ساختاری. پایایی مدل اندازه‌گیری به وسیله ضرایب بارهای عاملی، آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. بارعاملی از طریق محاسبه مقدار همبستگی شاخص های یک سازه با آن سازه محاسبه می شود که اگر این مقدار برابر و یا بیشتر از مقدار ۰/۴ شود مؤید این مطلب است که واریانس بین سازه و شاخص‌های آن از واریانس خطای اندازه‌گیری آن سازه جدول (۲) لیست اماکن ورزشی تبریز و شکل (۳) موقعیت و توزیع اماکن ورزشی در شهر تبریز را نشان می دهد.

بیشتر بوده و پایایی در مورد آن سازه قابل قبول است. همچنین در خصوص روایی محتوی نیز با استفاده از فرم‌های روایی سنجی CVI و CVR روایی مورد تأیید قرار گرفت. مقدار CVR با توجه به تعداد اساتید (۸ نفر)، ۰/۷۷ و مقدار CVI بیشتر از ۰/۸۰ به‌دست آمد. بنابراین روایی محتوی ابزار ما مورد تأیید قرار گرفت. روایی واگرا و همگرا که مربوط به معادلات ساختاری است، مورد سنجش قرار گرفت.

در این پژوهش از دو بخش آمار توصیفی و آمار استنباطی استفاده شد. در بخش آمار توصیفی از جداول و نمودارهای توصیفی برای بیان ویژگی‌های دموگرافیک و توصیفی پژوهش استفاده شد. از شاخص‌های کشیدگی و چولگی به‌منظور بررسی توزیع داده‌ها (طبیعی و یا غیر طبیعی بودن) استفاده و برای بررسی و پاسخ به سؤالات پژوهش و رسم و تدوین مدل اندازه‌گیری و مدل ساختاری از نرم‌افزارهای SPSS نسخه ۲۴، Smart PLS نسخه ۲/۰ و نرم‌افزار Max QDA نسخه Pro استفاده شد. همچنین شکل (۱) محدوده مورد مطالعه و شکل (۲) تراکم جمعیت محدوده مورد مطالعه **را نشان می هد.**



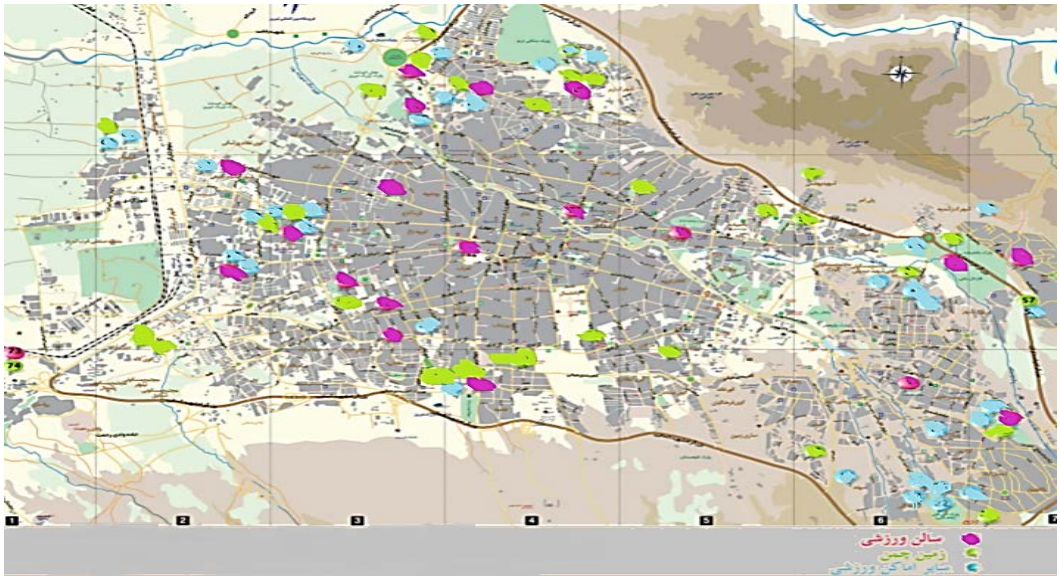
شکل (۱): محدوده مورد مطالعه



شکل (۲): تراکم جمعیت محدوده مورد مطالعه

جدول (۲): لیست اماکن ورزشی تبریز

ردیف	مکان ورزشی	متراژ روباز (متر)	متراژ سرپوشیده (متر)	ردیف	مکان ورزشی	متراژ روباز (متر)	متراژ سرپوشیده (متر)
۱.	سالن ورزشی توحید	0	1458	۲.	میدان فوتبال ایثار (شهدای گمنام)	7100	0
۳.	استادیوم تختی تبریز	0	275	۴.	میدان فوتبال رهروان شهدا (منبع)	6800	0
۵.	مجموعه ورزشی گنجویان	0	168	۶.	میدان فوتبال شهید تجلایی (آذربایجان)	6400	0
۷.	ورزشگاه تلاش تبریز	0	1008	۸.	سالن بوکس گنجویان	۰	208
۹.	سالن کشتی ستارخان	۰	100	۱۰.	چمن طبیعی پایگاه قهرمانی (فوتبال)	800	۰
۱۱.	ورزشگاه ستارخان تبریز	0	1468	۱۲.	زمین‌های روباز تیراندازی با کمان ۲ باب	2300	۰
۱۳.	خوابگاه رسالت تبریز	0	814	۱۴.	سالن ووشو (میرداماد)	۰	350
۱۵.	ورزشگاه ایثار تبریز	0	320	۱۶.	پیست اسکی سهند	35700	۰
۱۷.	مجموعه ورزشی خیابانی تبریز	0	960	۱۸.	میدان فوتبال شهید پیشقدم	6400	۰
۱۹.	سالن ورزشی زعفرانیه	۰	154	۲۰.	میدان فوتبال شهدای حکم آباد	6400	۰
۲۱.	سالن کوثر (بانوان)	0	600	۲۲.	میدان فوتبال امام علی (ع)	6400	۰
۲۳.	استخر سرپوشیده کوثر (بانوان)	0	800	۲۴.	سالن کشتی سردرود	۰	120
۲۵.	سالن امام علی تبریز	0	1995	۲۶.	سالن آمادگی جسمانی سهند	۰	260
۲۷.	سالن اسکواش	0	665	۲۸.	پیست دو و میدانی یادگار امام (ره)	7000	۰
۲۹.	سالن آموزش پایگاه قهرمانی	0	100	۳۰.	میدان فوتبال باغ معروف	6400	۰
۳۱.	سالن پرواز	0	690	۳۲.	سالن ورزشی چند منظوره خلجان	0	1320
۳۳.	ورزشگاه توحید	6800	0	۳۴.	سالن ورزشی چند منظوره باسمنج	0	1350
۳۵.	مجموعه ورزشی تلاش	7000	0	۳۶.	ساختمان جدید اداره کل	0	1400
۳۷.	میدان فوتبال دیهم	6000	0	۳۸.	استخر سرپوشیده زعفرانیه تبریز	0	1594
۳۹.	میدان فوتبال شهید رفعتی	6400	0	۴۰.	میدان هاکی چمن مصنوعی	5700	0
۴۱.	میدان فوتبال لاله	6000	0	۴۲.	مجموعه ورزشی کجاباد	12000	0
۴۳.	میدان فوتبال ابوذر	6700	0	۴۴.	چمن مصنوعی زمین مینی فوتبال تبریز	1215	0
۴۵.	میدان فوتبال یادگار امام (ره) چمن	7000	0	۴۶.	زمین روباز اسکیت تبریز	1240	0
۴۷.	میدان فوتبال رشدیه	7100	0	۴۸.			



شکل (۳): موقعیت و توزیع اماکن ورزشی در شهر تبریز

۳-یافته‌های پژوهش

۳-۱- تحلیل وضعیت جمعیت شناختی

نتایج بخش توصیفی مربوط به ویژگی‌های جمعیت شناختی بخش کیفی پژوهش نشان داد که همه گروه‌های خبرگان دارای تحصیلات کارشناسی ارشد و دکتری بودند و همگی نمونه‌ها آقایان بودند.

۳-۲- تحلیل کیفی

در این مرحله، چند کد مفهومی تبدیل به یک مقوله می‌شود. در جدول (۳) نتایج کدگذاری باز بر اساس کدهای مفهومی و مقولات آورده شده است.

جدول (۳): کدگذاری ثانویه و شکل‌دهی مقولات

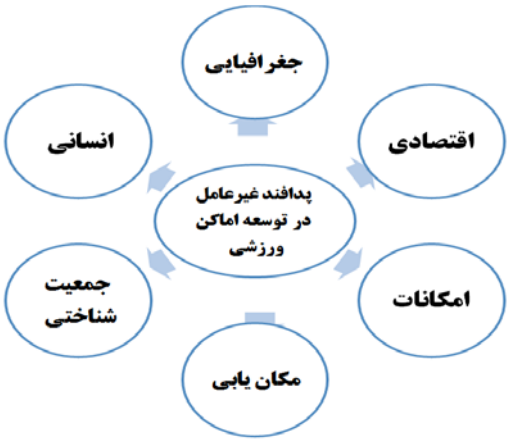
ردیف	مقوله	مفاهیم	کد مصاحبه شونده
•	جغرافیایی	آب و هوای منطقه	P2, P4, P11
•		جنس زمین (مانند توان بالقوه، نفوذپذیری، مکانیک و پوشش گیاهی)	P3, P7, P13
•		نوع پوشش گیاهی منطقه	P1, P6, P12
•		ارتفاع از سطح دریا	P5, P8, P9, P14
•		وضعیت رطوبت	P1, P2, P17
•		شیب زمین	P3, P5, P8, P15
•		جهت وزش باد	P8, P9, P10, P16
•	اقتصادی	بودجه پدافند غیرعامل برای فعالیت در حوزه اماکن ورزشی	P1, P8, P12
•		بودجه سازمان‌های ورزشی برای احداث اماکن ورزشی متناسب با ملاک‌های پدافند غیرعامل	P6, P10, P13
•		مقدار بودجه اختصاص یافته در حوز پژوهش در پدافند غیرعامل اماکن ورزشی	P3, P6, P16
•	امکانات	برخورداری از فضای باز	P6, P9, P17
•		برخورداری از فضای سبز	P2, P4, P16
•		دسترسی به مواد اولیه برای ساخت اماکن ورزشی	P2, P5, P10
•		امکان تخلیه سریع	P5, P10, P11, P14, P17
•		انعطاف‌پذیری در کاربری	P1, P3, P16
•		تعداد ورودی‌ها و خروجی‌های مکان ورزشی	P5, P9, P11
•		وجود سامانه آنتن دهی شبکه‌های مخابراتی	P7, P9, P16
•		آنتن دهی اینترنت پرسرعت	P5, P7, P10
•		دسترسی به زیرساخت‌های سامانه بهداشتی	P2, P3, P8, P9
•		وجود سامانه صوتی مناسب برای اعلام خطر در مواقع ضروری	P1, P2, P9, P17

ردیف	مقوله	مفاهیم	کد مصاحبه شونده
•	مکان‌یابی	هم‌جواری فضای باز	P2, P5, P8, P12
•		هم‌جواری فضای سبز	P3, P4, P7, P11, P13
•		دوری از مراکز حیاتی و حساس نظامی	P6, P13, P17
•		دوری از مناطق پرخطر آتش‌نشانی	P3, P7, P12, P15
•		قرار نگرفتن در مناطق سیل گیر	P1, P5, P7, P9
•		قرار نگرفتن روی گسل زلزله	P1, P7, P12
•		دسترسی به مراکز درمانی	P1, P3, P5, P11
•		دسترسی به آتش‌نشانی	P5, P7, P9, P14
•		دسترسی به نیروی انتظامی	P2, P3, P15
•		دسترسی به راه‌های اصلی	P2, P11, P13
•		دسترسی به راه‌های مختلف از طریق ورودی‌های مختلف	P1, P6, P10
•		دسترسی به خط ریلی	P3, P6, P9, P12
•		دسترسی به فرودگاه	P5, P9, P13
•		هم‌جواری با اماکن مسکونی	P4, P9, P11
•		توجه به تراکم ساختمانی منطقه	P2, P10, P15, P17
•		پراکندگی اماکن ورزشی	P4, P11, P16
•	جمعیت شناختی	تراکم جمعیت منطقه	P2, P3, P14
•		شغل غالب ساکنین منطقه	P3, P10, P12, P13
•		گروه‌های سنی ساکنین منطقه	P6, P7, P8
•		تناسب بین جمعیت شهری و تعداد اماکن ورزشی	P5, P8, P12, P13
•	انسانی	وجود نیروهای متخصص در مدیریت بحران پدافند غیرعامل	P3, P7, P8, P11
•		وجود نیروهای متخصص در مدیریت بحران در اماکن ورزشی	P1, P3, P6, P14
•		وجود مدیران اماکن ورزشی متخصص در مدیریت بحران	P1, P2, P7, P10
•		وجود مدیران پدافند غیرعامل متخصص در مدیریت بحران	P6, P9, P11, P14
•		وجود طراحان اماکن ورزشی متخصص در مدیریت بحران	P7, P11, P13
•		پرورش نیروهای انسانی متخصص در مدیریت بحران امکان ورزشی	P2, P9, P10, P12

درنهایت ۴۶ کد مفهومی و ۶ مقوله اصلی استخراج شد.

۳-۳- کدگذاری محوری

کدهای محوری پژوهش حاضر در واقع همان مقولات مستخرج شده در مرحله کدگذاری باز می‌باشند [۸]؛ بنابراین مدل نهایی الگوی پدافند غیرعامل در توسعه اماکن ورزشی شهر تبریز در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل (۴): مدل نهایی الگوی پدافند غیرعامل در توسعه اماکن ورزشی شهر تبریز

در ادامه از طریق نرم‌افزار SPSS و نرم‌افزار Smart PLS به سؤال‌های ایجاد شده پژوهش پاسخ داده خواهد شد.

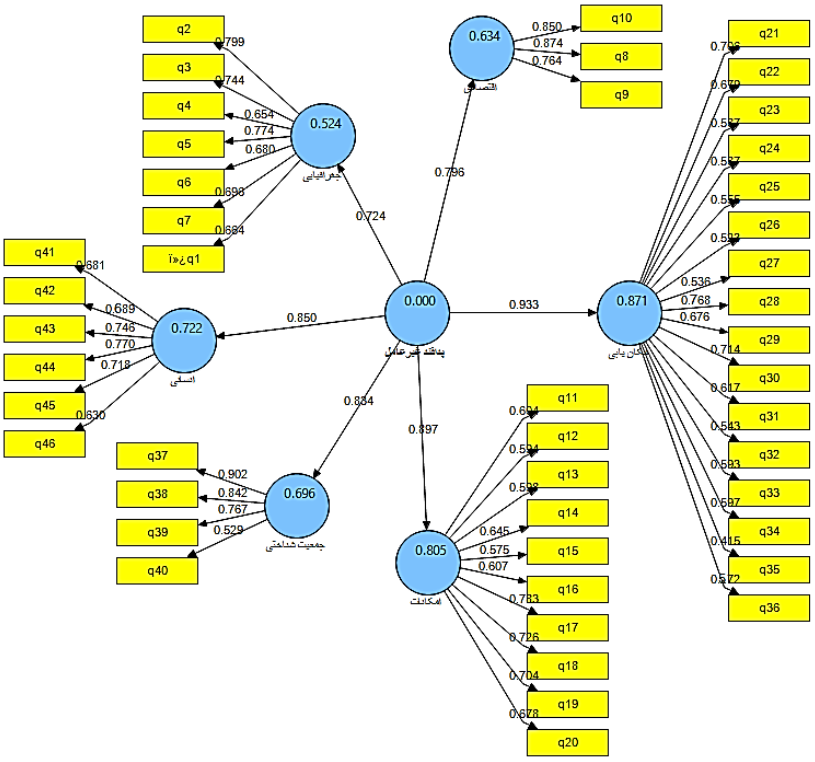
نتایج نشان داد که چولگی بین ۳ و ۳- و کشیدگی بین ۵ و ۵- قرار دارد؛ اما تعداد نمونه‌های پژوهش کمتر از ۲۰۰ نفر می‌باشد و به ازای هر متغیر، ۳ گویه وجود دارد. بنابراین در این پژوهش، از نرم‌افزارهای واریانس محور پی ال اس استفاده می‌شود.

برای بررسی برازش مدل‌های اندازه‌گیری، سه معیار پایایی، روایی همگرا و روایی واگرا استفاده می‌شود و پایایی خود از سه طریق بررسی ضرایب بارهای عاملی، ضرایب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی صورت می‌پذیرد (جدول (۴)).

جدول (۴): برازش مدل اندازه‌گیری

معیارها	آزمون‌ها	نتیجه
پایایی	ضرایب بارهای عاملی	بیشتر از ۰/۵
	آلفای کرونباخ	بیشتر از ۰/۷
	پایایی ترکیبی	بیشتر از ۰/۷
روایی همگرا	میانگین واریانس استخراج شده (AVE)	بیشتر از ۰/۴
روایی واگرا	روش اول (سؤالات مربوط به هر متغیر نسبت به خود آن متغیر همبستگی بیشتری دارند تا نسبت به متغیرهای دیگر)	تأیید شد
	روش دوم (معیار مهم دیگری که با روایی واگرا مشخص می‌گردد، میزان رابطه یک متغیر با سؤالاتش در مقایسه رابطه آن متغیر با سایر متغیرهاست)	تأیید شد

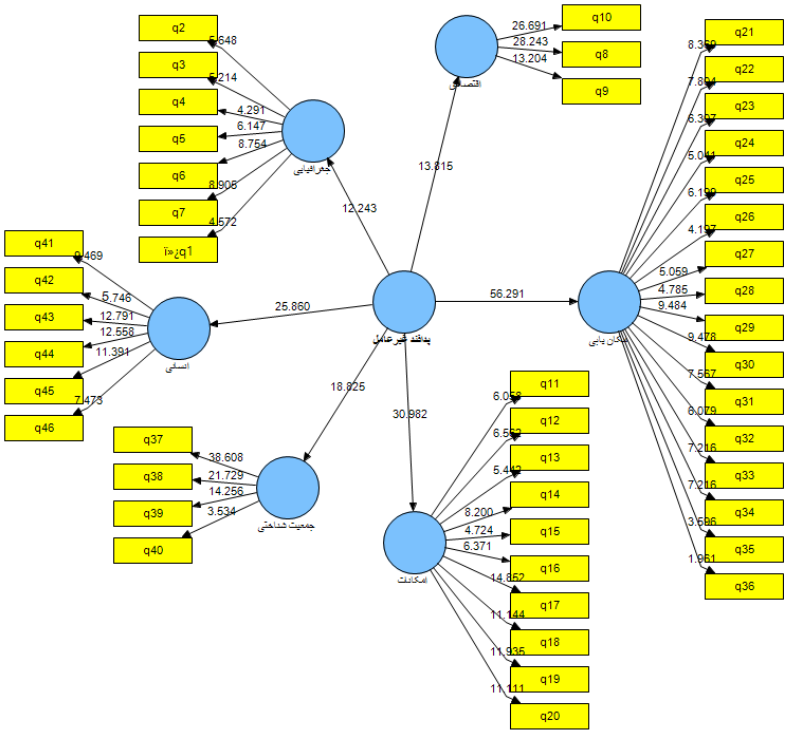
در ادامه با توجه به تأیید روایی و پایایی پرسشنامه پژوهش از طریق معادلات ساختاری، به بررسی روابط موجود در مدل پژوهش با استفاده از نرم‌افزار پی ال اس پرداخته می‌شود (شکل (۴) و (۵)).



شکل (۵): مدل اندازه‌گیری (بررسی ضرایب مسیر)

برای بررسی برازش مدل ساختاری پژوهش از چندین معیار استفاده می‌شود که اولین و اساسی‌ترین معیار، ضرایب معنی‌داری (تی[1]) می‌باشد. در صورتی که مقدار این اعداد از ۰/۹۵ بیشتر شود، نشان از صحت رابطه بین متغیرها و در نتیجه تأیید روابط موجود در مدل پژوهش در سطح اطمینان ۱/۹۶ است. البته باید توجه داشت که اعداد فقط صحت رابطه را نشان می‌دهند و شدت رابطه بین متغیرها را نمی‌توان با آن سنجید. شکل (۶) مدل ساختاری پژوهش (بررسی ضرایب معنی‌داری تی) را نشان می دهد.

[1] T Value



شکل (۶): مدل ساختاری پژوهش (بررسی ضرایب معنی‌داری تی)

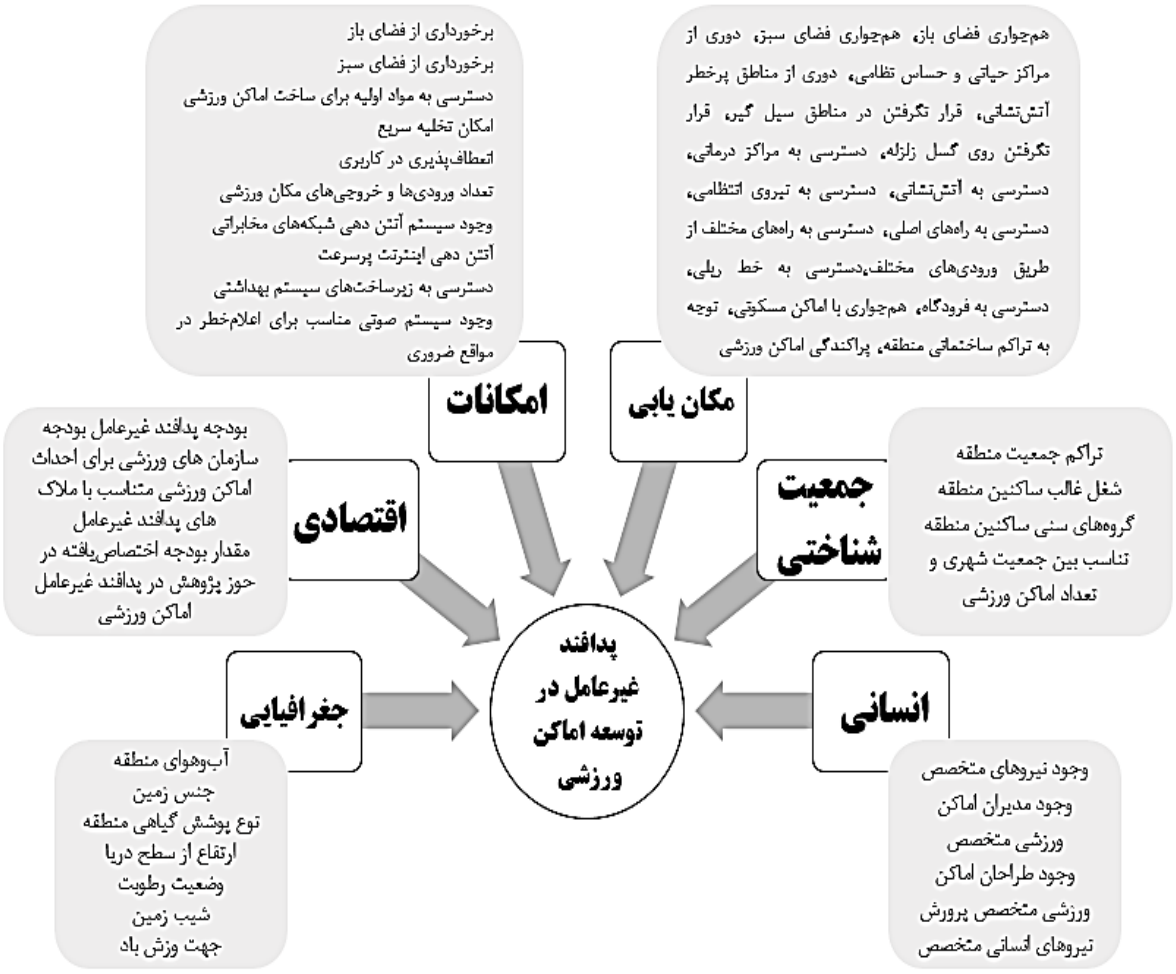
مقدار R^2 برای متغیرهای برون‌زا یا مستقل برابر صفر است. در این قسمت، مقدار R^2 برای همه متغیرهای درون‌زا بیشتر از ۰/۶۰ و برابر با مقدار قوی می‌باشد. مقدار Q^2: این معیار برای همه متغیرهای درون‌زای مدل بیشتر از ۰/۳۲ می‌باشد که این نشان می‌دهد که متغیر برون‌زا (مستقل) در پیش‌بینی متغیر وابسته، قوی هستند و برازش مناسب مدل ساختاری پژوهش را بار دیگر تأیید می‌سازد.

برازش مدل کلی: مدل کلی شامل هر دو بخش مدل اندازه‌گیری و ساختاری می شود و با تأیید برازش آن، بررسی برازش در یک مدل کامل می‌شود. با توجه به سه مقدار ۰/۰۱، ۰/۲۵ و ۰/۳۶ که به‌عنوان مقادیر ضعیف، متوسط و قوی برای برازش حداقل مربعات جزئی معرفی شده است، در هر ۶ متغیر، بیشتر از ۰/۳۶ به‌دست آمد که نشان از برازش کلی قوی مدل دارد. در ادامه در جدول (۵) به بررسی روابط در مدل پژوهش پرداخته می‌شود.

جدول (۵): بررسی روابط موجود در مدل پژوهش

مستقل	مسیر	وابسته	ضرب مسیر	مقدار ضریب تی	نتیجه
پدافند غیرعامل در توسعه اماکن ورزشی	<---	جغرافیایی	۰/۷۲۴	۱۲/۲۴۳	تأیید
	<---	اقتصادی	۰/۷۹۶	۱۳/۸۱۵	تأیید
	<---	امکانات	۰/۸۹۷	۳۰/۹۸۲	تأیید
	<---	مکان‌یابی	۰/۹۳۳	۵۶/۲۹۱	تأیید
	<---	جمعیت شناختی	۰/۸۳۴	۱۸/۸۲۵	تأیید
	<---	انسانی	۰/۸۵۰	۲۵/۸۶۰	تأیید

نتایج جدول (۵) نشان داد که با توجه به اینکه مقدارتی همگی روابط بیشتر از ۱/۹۶ می‌باشند بنابراین در سطح ۰/۹۵، هر یک از روابط موجود در مدل پژوهش به تأیید رسید. بنابراین مدل نهایی پژوهش در شکل (۷) آورده شده است.



شکل (۷): مدل نهایی پژوهش

۴- بحث

مهم‌ترین اصل در زمینه پدافند غیرعامل انتخاب مکان مناسب با ضریب امنیت مکانی بالا به‌منظور حفظ و سلامت مراکز حیاتی و حساس می‌باشد و به نظر می‌رسد اماکن ورزشی به دلیل وسعت بالا و دسترسی مکانی مطلوب می‌تواند به‌عنوان بخشی از پدافند غیرعامل مورد توجه قرار گیرد. بنابراین هدف از این پژوهش ارائه الگوی پدافند غیرعامل در توسعه اماکن ورزشی شهر تبریز بود. نتایج نشان داد توجه به عوامل جغرافیایی (آب و هوای منطقه، جنس زمین، نوع پوشش گیاهی منطقه، ارتفاع از سطح دریا، وضعیت رطوبت، شیب زمین و جهت وزش باد)، توجه به عوامل اقتصادی (بودجه پدافند غیرعامل برای فعالیت در حوزه اماکن ورزشی، بودجه سازمان‌های ورزشی برای احداث اماکن ورزشی متناسب با ملاک‌های پدافند غیرعامل و مقدار بودجه اختصاص یافته در حوزه پژوهش در پدافند غیرعامل اماکن ورزشی)، توجه به عوامل امکاناتی (برخورداری از فضای باز، برخورداری از فضای سبز، دسترسی به مواد اولیه برای ساخت اماکن ورزشی، امکان تخلیه سریع، انعطاف‌پذیری در کاربری، تعداد ورودی‌ها و خروجی‌های مکان ورزشی، وجود سامانه آنتن دهی شبکه‌های مخابراتی، آنتن دهی اینترنت پرسرعت، دسترسی به زیرساخت‌های سامانه بهداشتی و وجود سامانه صوتی مناسب برای اعلام خطر در مواقع ضروری)، مکان‌یابی (هم‌جواری فضای باز، هم‌جواری فضای سبز، دوری از مراکز حیاتی و حساس نظامی، دوری از مناطق پرخطر آتش‌نشانی، قرار نگرفتن در مناطق سیل گیر، قرار نگرفتن روی گسل زلزله، دسترسی به مراکز درمانی، دسترسی به آتش‌نشانی، دسترسی به نیروی انتظامی، دسترسی به راه‌های اصلی، دسترسی به راه‌های مختلف از طریق ورودی‌های مختلف، دسترسی به خط ریلی، دسترسی به فرودگاه و هم‌جواری با اماکن مسکونی) توجه به عوامل جمعیت شناختی (تراکم جمعیت منطقه، شغل غالب ساکنین منطقه، گروه‌های سنی ساکنین منطقه و تناسب بین جمعیت شهری و تعداد اماکن ورزشی) و توجه به عوامل انسانی وجود نیروهای

متخصص در مدیریت بحران پدافند غیرعامل، وجود نیروهای متخصص در مدیریت بحران در اماکن ورزشی، وجود مدیران اماکن ورزشی متخصص در مدیریت بحران، وجود مدیران پدافند غیرعامل متخصص در مدیریت بحران، وجود طراحان اماکن ورزشی متخصص در مدیریت بحران و پرورش نیروهای انسانی متخصص در مدیریت بحران امکان ورزشی از عوامل اصلی الگوی پدافند غیرعامل در توسعه اماکن ورزشی شهر تبریز بود.

از وظایف خطیر مدیران شهری امکان اداره شهر در وضعیت فوق‌العاده اضطراری بحران می‌باشد. به گونه‌ای که می‌بایست تلاش نمایند با آمادگی لازم در جهت کاهش وضعیت بحرانی اقدام نمایند. بدیهی است به‌منظور این آمادگی لازم است قبل از وقوع، کلیه تدابیر، الزامات و پیش‌بینی‌های لازم صورت پذیرفته باشد تا در زمان وقوع حادثه، قابلیت بهره‌برداری مدیریت مطلوب شهری میسر گردد. در این راستا بر اساس نتایج پژوهش حاضر توجه به عوامل جغرافیایی، از جمله ابعاد الگوی پدافند غیرعامل در توسعه اماکن ورزشی شهر تبریز می‌باشد. در این راستا شهر تبریز با آب و هوایی معتدل مایل به سرد، خشک و کوهستانی و با ارتفاع ۱۳۶۵ متر از سطح دریا قرار دارد و این شهر از سمت شمال به کوه‌های یکه‌چین و عون بن علی، از سمت شمال شرق به کوه‌های گوزنی و باباباغی، از سمت شرق به گردنه پایان و از سمت جنوب به دامنه‌های رشته‌کوه سهند محدود شده است و بنابراین هر چه احداث اماکن به حاشیه شهر نزدیک‌تر باشد هم از لحاظ جغرافیایی دارای کیفیت بالایی می‌باشند و هم اینکه چون بیشتر تعداد شهروندان در حاشیه شهر هستند، اماکن ورزشی می‌توانند در زمان بحران افراد بیشتری را در پوشش خود قرار دهند. بر اساس نتایج پژوهش توجه به عوامل اقتصادی و بودجه پدافند غیرعامل برای فعالیت در حوزه اماکن ورزشی از جمله ابعاد الگوی پدافند غیرعامل در توسعه اماکن ورزشی شهر تبریز می‌باشد. با توجه به دشوار بودن تأمین مالی برای توسعه پدافند غیرعامل در اماکن ورزشی، می‌بایست به ملاک هزینه - فایده در این زمینه توجه ویژه نمود. در ۵ سال اخیر جنگ‌های زیادی در کشورهای همسایه اتفاق افتاده و این عامل زنگ خطر را برای توجه بیش از پیش به پدافند غیرعامل در کنار پدافند عامل به صدا درآورده است. همچنین افزایش تعداد زمین‌لرزه و زلزله و بحران‌های این‌چنینی لزوم توجه به اماکن ورزشی را به‌عنوان یک پناهگاه و مکان امن بیش از پیش کرده است. با این حال هزینه‌های اقتصادی از جمله مهم‌ترین عوامل بازدارنده توسعه اماکن ورزشی می‌باشد [۱۳]؛ بنابراین ارگان‌های امنیتی و شهری نیز می‌بایست بخشی از بودجه توسعه طرح‌های امنیتی و پدافند غیرعامل را به اماکن ورزشی اختصاص دهند.

بر اساس نتایج پژوهش توجه به عوامل امکاناتی از جمله ابعاد الگوی پدافند غیرعامل در توسعه اماکن ورزشی شهر تبریز می‌باشد، بنابراین توجه به فضای باز، فضای سبز، دسترسی به مواد اولیه و امکان تخلیه سریع، انعطاف‌پذیری در کاربری، دسترسی به زیرساخت‌های سامانه بهداشتی می‌بایست مورد توجه طراحان و مسئولین احداث اماکن ورزشی قرار گیرد، از سویی در سال‌های اخیر به علت رشد سریع شهرنشینی و متقابلاً عدم برنامه‌ریزی و مدیریت جامع در نظام شهری، اماکن ورزشی با مسائل و مشکلات عدیده‌ای روبه‌رو شده است و برای آن‌ها فضای باز و فضای سبز کمی در نظر گرفته شده است و اغلب آن‌ها امکان توسعه و انعطاف‌پذیری کاربری ندارند، بنابراین برای توسعه اماکن ورزشی در آینده می‌بایست توجه ویژه‌ای به امکانات و نیازهای محیطی در راستای پدافند غیرعامل نمود. بر اساس نتایج پژوهش توجه به عوامل مکان‌یابی از جمله ابعاد الگوی پدافند غیرعامل در توسعه اماکن ورزشی شهر تبریز می‌باشد زیرا امروزه علاوه بر دیدگاه‌های اقتصادی (حداکثر کردن سود و به حداقل رساندن هزینه‌ها) در استفاده از زمین شهری باید مورد توجه قرار گیرند. به دلیل پیچیدگی نیازهای بشری و به‌تبع آن، پیچیدگی روزافزون نظام‌های (سامانه‌های) شهری، بدون داشتن نگرش نظام‌مند و تعریف معیارهای دقیق، استفاده از زمین شهری و مکان‌یابی فعالیت‌ها بر اساس آن، پاسخگویی مناسب به این نیازها مقدور نخواهد بود. در همین راستا یکی از مهم‌ترین کارکردها در شهرهای امروزی در قالب خدمات‌رسانی نمود یافته است، در این میان تعادل بین مراکز خدمات رسان همچون اماکن ورزشی با حوزه‌های بهره‌مند از خدمات همچون عموم افراد جامعه، از ویژگی‌ها و عناصر مهم مکان‌یابی به شمار می‌آیند که در واقع شریان‌های حیاتی یک شهر محسوب می‌گردند که از لحاظ پراکندگی باید به نحوی باشند که حداقل هزینه و دسترسی بهتری را برای استفاده کنندگان به همراه داشته باشد. بنابراین مکان‌یابی بهینه، کارایی فضاهای ورزشی را به حداکثر می‌رساند و خدمات بهتری را برای استفاده کنندگان با هزینه‌های ممکن ارائه می‌نماید. در این راستا می‌بایست در مرحله مکان گزینی، به مسئله امکانات موجود در خصوص خدمات شهری و در رأس آن توجه به وجود تسهیلات و شبکه‌های ارتباطی مانند راه‌ها، خیابان‌ها و وسایل حمل و نقل عمومی جهت دسترسی آسان اقشار مختلف مردم توجه خاص و ویژه گردد تا حرکت به سوی راه

برده‌های پدافند غیرعامل تسهیل شود. همچنین با توجه به آنکه اماکن و فضاهای ورزشی به‌طور مستقیم یا غیر مستقیم بر روی بستری به نام زمین بنا می‌شود، داشتن شناخت مناسب از این بستر و اطلاع از ویژگی‌های آن، در زمان مکان گزینی اینگونه فضاها ضروری به نظر می‌رسد.

بر اساس نتایج پژوهش توجه به عوامل جمعیت شناختی از جمله ابعاد الگوی پدافند غیرعامل در توسعه اماکن ورزشی شهر تبریز می‌باشد (تراکم جمعیت منطقه، شغل غالب ساکنین منطقه، گروه‌های سنی ساکنین منطقه و تناسب بین جمعیت شهری و تعداد اماکن ورزشی). به‌طور کلی با بررسی میدانی و بر اساس آخرین تقسیمات سیاسی، کلان‌شهر تبریز به ۱۰ منطقه تقسیم می‌شود. از باب مساحت کاربری‌های مسکونی، منطقه ۴ با دارا بودن ۸۱۵ هکتار کاربری مسکونی، بیشترین مساحت کاربری‌های مسکونی را به خود اختصاص داده است. در مراتب بعدی مناطق سه، دو و یک قرار دارند که به ترتیب ۶۵۲، ۵۵۸ و ۵۵۰ هکتار کاربری مسکونی را به خود اختصاص داده‌اند. در این زمینه کمترین کاربری‌های مسکونی مربوط به مناطق شش و هشت می‌باشد که به ترتیب ۲۱۳ و ۱۶۰ هکتار کاربری مسکونی دارند. در این زمینه بررسی‌های انجام شده حاکی از آن است که منطقه چهار با جمعیتی بالغ بر ۳۱۶،۱۲۶ نفر بیشترین جمعیت را در بین مناطق شهرداری تبریز دارا است. مناطق سه و یک در رتبه‌های بعدی قرار دارند که به ترتیب دارای جمعیتی بالغ بر ۲۴۳،۴۰۰ و ۲۱۲،۲۰۶ نفر می‌باشند. نتایج بررسی‌ها در زمینه تراکم ناخالص جمعیتی حاکی از آن است که منطقه ۱۰ با تراکم جمعیتی ۱۹۸ نفر در هکتار بیشترین تراکم ناخالص را در بین مناطق به خود اختصاص داده است. منطقه چهار و سه به ترتیب با تراکم ۱۷۰ و ۱۵۵ نفر در هکتار در رتبه‌های بعدی جای دارند. منطقه ۱ با تراکم ۱۴۰ نفر در هکتار در مرتبه بعدی قرار گرفته است. در این زمینه کمترین تراکم مربوط به مناطق پنج، شش و هفت است. به‌طوری که تراکم ناخالص مناطق پنج و شش برابر با ۶۷ و تراکم ناخالص منطقه هفت برابر با ۷۳ نفر در هکتار است. محاسبه تراکم خالص جمعیتی مناطق شهرداری تبریز نشان می‌دهد که بیشترین تراکم خالص جمعیتی مربوط به مناطق، شش، ده و یک است. تراکم خالص این مناطق به ترتیب برابر با ۴۴۵، ۴۱۳ و ۳۸۵ نفر در هکتار است.

۵- نتیجه‌گیری

با این حال به نظر می‌رسد که منطقه ده به دلیل بافت مسکونی بالا و همچنین بافت جمعیتی بالا، نیازمند توجه بیشتر در اجرای پدافند غیرعامل است. بر اساس نتایج پژوهش توجه به عوامل انسانی از جمله ابعاد الگوی پدافند غیرعامل در توسعه اماکن ورزشی شهر تبریز می‌باشد، بنابراین می‌بایست به وجود نیروهای متخصص در مدیریت بحران و پدافند غیرعامل در اماکن ورزشی و پرورش نیروهای انسانی متخصص در مدیریت بحران امکان ورزشی توجه ویژه‌ای کرد. به‌طور کلی شناسایی افراد مستعد و پرورش آن‌ها می‌تواند فرآیند دستیابی به اهداف را تسهیل نماید، لذا برای اجرای پدافند غیرعامل در اماکن ورزشی نیز می‌بایست به شناخت و تربیت مدیران توانا در این حیطه توجه کرد.

۶- مراجع

[1] Y. Esmaizadeh, “Presenting Passive Defense Strategies in the Architecture of Medical Centers; Case Study: Shahid Beheshti Medical Training Center in Qom,” Passive Defense Quarterly, vol. 12, no. 2, pp. 19-31, 2021 (In Persian).

[2] E. Puga-González, E. España-Estévez, G. Torres-Luque, and D. Cabello-Manrique, “The Effect of the Crisis on the Economic Federative Situation and Evolution of Sports Results in Spain,” J. of Human Sport and Exercise, vol. 17, no. 2, pp. 378-387, 2022

[3] M. Aghababaei, S. Hosseini, and A. Maher, “Assessing the Readiness of Tehran University of Medical Sciences Hospitals to Implement Passive Defense Strategies from the Perspective of Managers,” Passive Defense Quarterly, vol. 11, no. 1, pp. 37-50, 2019. (In Persian)

[4] H. Vahdani Charzekhon, A. Harasani, V. AbediBizeki, and M. Ghadi. “Site Selection of Multi-Purpose Urban Shelters with Passive Defense Approach (Case Study: Bojnourd City),” Passive Defense Quarterly, vol. 12, no. 1, pp. 49-58, 2021. (In Persian)

[5] M. Kholghifard and E. Badakhshan Nejad, “Seismic Vulnerability Assessment of Yasooj Hospitals from the Perspective of Passive Defense and ATC Methods,” Passive Defense Quarterly, vol. 12, no. 1, pp. 1-12, 2021. (In Persian)

[6] M. Shahinifar and S. Amirian. “Evaluation of Passive Defense Indicators in Rural Areas (Case Study: Villages of Kermanshah Province),” Passive Defense Quarterly, vol. 14, no. 1, pp. 35-49, 2019. (In Persian)

[7] S. McLean, D. Rath Lethlean, M. Hornsby, J. Gallagher Anderson, and P. Salmon, “With Crisis Comes Opportunity: Redesigning Performance Departments of Elite Sports Clubs for Life after a Global Pandemic,” Frontiers in

psychology, 11, P. 588959, 2021.

[8] M. Hosseini Siahgoli, I. Soleimani Rad, and M. Heidarifar, “Spatial Analysis Of Land Uses in Kermanshah from the Perspective of Passive Defense in the GIS Environment,” Scientific-Research Quarterly of Geographical Information, Sepehr, vol. 29, no. 114, pp. 185-194, 2019. (In Persian)

[9] M. Orr and T. Kellison, “Sport Facilities as Sites of Environmental and Social Resilience,” Managing Sport and Leisure, vol. 5, pp. 1-6, 2020.

[10] J. Cho, J. Song, M. Jang, C. Jang, “A Study on the Essential Information to Collect Disaster Sites for Effective Disaster Management: Focused on Jecheon Sports Center Fire Case,” J. of the Society of Disaster Information, vol. 16, no. 1, pp. 70-78, 2020.

[11] A. Ghanbari, “Location of Lands for Establishing Sports Activities in Iranian Cities (Case Study: Tabriz Metropolis),” Geography (Regional Planning), vol. 10, no. 2-3, pp. 685-701, 2020. (In Persian)

[12] S. Tabesh, M. Noori khanyourdi, M. Dousti, and H. Ganjaeain, “Presenting the Proposed Model for the Location of Sports Places Using The Integrated Model of WLC and AHP,” Sport Management and Development, vol. 9, no. 1, pp. 2-22, 2020. (In Persian)

[13] L. Zhang, “Research on the Evaluation of Sports Events Based on the Concept of Green Environmental Protection”. InIOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2021 vol. 651, no. 4, p. 042028, 2021. IOP Publishing.

نشریه علمی پدافند غیرعامل

سال سیزدهم، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۱، (پیاپی ۵۰): صص ۱۰۶-۹۷

علمی- ترویجی

تحلیل ایستای ساختار فایل اجرایی جهت شناسایی و خوشه‌بندی بدافزارهای ناشناخته

حمید تنها[۱]، مصطفی عباسی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۰۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۷

چکیده

یکی از روش‌های محبوب شناسایی بدافزار، تطبیق الگوی امضای فایل بدافزار با پایگاه داده امضای بدافزارها است. پایگاه داده امضای بدافزار از قبل استخراج شده و به‌طور مداوم به‌روزرسانی می‌گردد. بررسی شباهت داده‌های ورودی با بهره‌گیری از امضاهای ذخیره شده موجب بروز مشکلات ذخیره‌سازی و هزینه محاسبات می‌گردد. علاوه بر این، شناسایی مبتنی بر تطبیق الگوی امضای بدافزاری در زمان تغییر کد بدافزار در بدافزارهای چند ریخت، با شکست مواجه می‌شود. در این مقاله با ترکیب روش تحلیل ایستای ساختار فایل اجرایی و الگوریتم‌های یادگیری ماشین، روش مؤثری جهت شناسایی بدافزارها ارائه شده است. مجموعه داده برای آموزش و ارزیابی روش پیشنهادی شامل ۳۶۵۶۷ نمونه بدافزاری و ۱۷۲۹۵ فایل بی‌خطر است و در روش پیشنهادی، بدافزارها را در ۷ خانواده، خوشه‌بندی می‌نماید. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی قادر است با دقت بیش از ۹۹ درصد و با نرخ هشدار اشتباه کمتر از ۰/۴ درصد بدافزارها را از فایل‌های سالم تشخیص و خوشه‌بندی نماید. روش پیشنهادی نسبت به روش‌های مشابه، دارای سربارهای پردازشی بسیار کم بوده و مدت زمان پویش فایل‌های اجرایی به‌طور متوسط ۰/۲۴۴ ثانیه طول است.

کلید واژه‌ها: تشخیص بدافزار، ساختار فایل اجرایی، تحلیل ایستا، خوشه‌بندی، یادگیری ماشین

[۱] کارشناس ارشد فناوری اطلاعات، پژوهشگر، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران

[۲] پژوهشگر، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، تهران، ایران - (moabbasi@ihu.ac.ir)- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

بدافزار به نرم‌افزار بدخواهی اطلاق می‌شود که با اهداف مختلفی نظیر خراب‌کاری، جاسوسی، سرقت و غیره توسعه می‌یابند. روند توسعه و انتشار بدافزارها در سال‌های اخیر شتاب چشمگیری داشته است به گونه‌ای که بر اساس گزارش‌های منابع امنیتی معتبر در سال ۲۰۱۳ روزانه بیش از ۱۰۰۰۰۰ بدافزار در روز منتشر می‌شده است. این میزان انتشار در سال ۲۰۱۹ به میزان روزانه بیش از ۳۵۰۰۰۰ بدافزار جدید افزایش یافته است [۱] و علاوه بر کاربران سامانه‌های نرم‌افزاری خانگی، تجهیزات کنترل صنعتی نیز در معرض این دسته از حملات سایبری قرار دارند [۲]. از جمله دلایل این روند فزاینده می‌توان به تجهیز بدافزارها به موتورهای مبهم سازی، چندریختی و دگردیسی اشاره نمود. این تجهیزات، بدافزار پایه را قادر به تولید نمونه‌های بی‌شماری می‌سازد که در عملکرد یکسان ولی در ظاهر متفاوت هستند [۳]. تفاوت در ظاهر اعضای خانواده یک بدافزار موجب ایجاد تفاوت در امضای آن‌ها می‌گردد، در نتیجه شیوه شناسایی مبتنی بر تطبیق الگو در شناسایی این خانواده از بدافزارها ناکارآمد است [۴ و ۵]. علاوه بر این کاهش سرعت با افزایش حجم بانک اطلاعاتی و تأخیر در اعمال به‌روزرسانی بسیار مشهود خواهد بود [۶]؛ بنابراین تلاش‌ها به سمت شناسایی هوشمندانه بدافزار فارغ از امضاء سوق پیدا کرد. در این مقاله سعی می‌گردد روشی نوین و مؤثر برای شناسایی هوشمندانه بدافزارها و خوشه‌بندی آن‌ها مبتنی بر تحلیل ایستای ساختار فایل‌های اجرایی ارائه گردد.

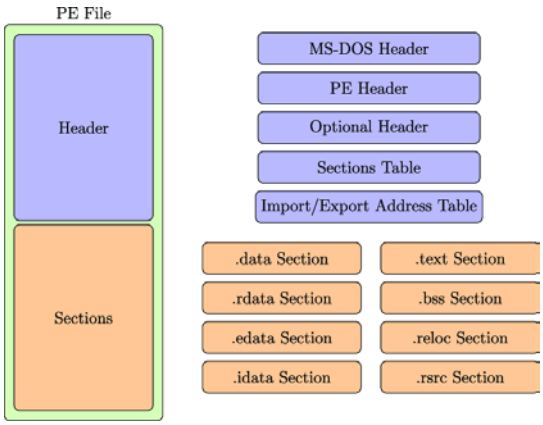
این مقاله در شش بخش سازمان‌دهی شده است. در بخش دوم روش‌های تشخیص بدافزار معرفی و مقایسه شده و در بخش سوم پیشینه موضوع و کارهای انجام شده بیان می‌گردد. در بخش چهارم روش پیشنهادی در تحلیل بدافزار مبتنی بر تحلیل ایستای ساختار فایل اجرایی و نحوه تشخیص و خوشه‌بندی بدافزارها ارائه شده است. نتایج ارزیابی و تحلیل روش پیشنهادی در بخش پنجم بیان شده و در پایان نتیجه‌گیری مقاله ارائه شده است.

۲- بررسی روش‌های تشخیص بدافزار

در این بخش روش‌های شناسایی و تحلیل بدافزار معرفی و مزایا و معایب هر کدام بیان می‌گردد. در پایان این بخش مقایسه کوتاه بین این روش‌ها ارائه شده است و جایگاه روش پیشنهادی و مزایا و محدودیت‌های آن نسبت به سایر روش‌ها عنوان می‌گردد.

۲-۱- ساختار فایل اجرایی قابل حمل

پیش از پرداختن به شیوه‌های موجود در شناسایی بدافزار نیاز است در خصوص ساختار فایل‌های اجرایی قابل حمل مطالبی بیان گردد. این ساختار یک قالب استاندارد است که جهت اجرای فایل‌های اجرایی از نسخه سیستم عامل مایکروسافت ویندوز NT تاکنون توسط مایکروسافت مورد استفاده قرار گرفته [۷ و ۸] و در شکل (۱) نمای کلی ساختار PE ارائه شده است.



شکل (۱): ساختار فایل اجرایی قابل‌حمل در سیستم عامل ویندوز [۹]

همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، ساختار فایل اجرایی قابل حمل از قسمت‌هایی[1] مختلفی با اهداف متفاوتی تشکیل شده‌است. اولین قسمت MS DOS Header بوده که از زمان سیستم عامل داس[2] باقی مانده است. قسمت دوم این ساختار، قسمت کد است که بر اساس نوع کامپایلر به‌صورت اختصاری text. یاcode. نامیده می‌شود و در این قسمت کدهای اجرایی قرار می‌گیرد. قسمت‌های دیگر این ساختار شامل قسمت‌های data. که دربردارنده داده‌های مورد نیاز برنامه، idata، شامل داده‌های ورودی و edata. حاوی داده‌های خروجی برنامه است. قسمت idata یکی از مهم‌ترین بخش‌هایی است که در روش پیشنهادی برای تشخیص بدافزار مورد استفاده قرار گرفته و در این قسمت جدول آدرس ورودی مشخص شده است. این جدول دربردارنده نام و آدرس توابع سامانه‌ای است که برنامه مورد نظر حین اجرا به آن‌ها نیاز دارد. در قسمت edata میز جدول آدرس خروجی وجود دارد که نام و آدرس توابعی نگهداری می‌شود که توسط برنامه جهت استفاده سایر برنامه‌ها ارائه می‌گردد. در انتهای این ساختار، اطلاعات مربوط به اشکال‌زدایی برنامه شامل نمادهای اشکال‌زدایی نگهداری می‌شود [۸ و ۱۰].

۲-۲- شناسایی مبتنی بر تحلیل پویا

شیوه‌های شناسایی مبتنی بر تحلیل پویا با هدف جبران نقاط ضعف و محدودیت‌های موجود در روش‌های شناسایی مبتنی بر تحلیل ایستا ارائه شده‌اند. ویژگی بارز این روش‌ها، اجرای فایل مشکوک با هدف دست‌یابی به یک برآورد از میزان خوش‌خیم و یا بدخیمی فایل مورد نظر است [۱۱ و ۱۲].

[1] Section
[2] DOS

۳- پیشینه موضوع و کارهای انجام شده

در این قسمت مروری اجمالی بر برخی از کارهای انجام شده در زمینه شناسایی بدافزار مبتنی بر ویژگی‌های ایستای فایل اجرایی ارائه شده و هدف از این بخش مشخص نمودن جایگاه روش پیشنهادی و مزایا و محدودیت‌های آن است.

روش استفاده شده توسط اسچالتز و همکاران [۱۳] مبتنی بر استفاده از داده‌کاوی برای تشخیص بدافزارها است که در آن خواصی از ساختار فایل اجرایی از جمله نام کتابخانه‌های مورد استفاده، نام و تعداد توابعی استفاده شده از هر یک از کتابخانه‌ها و جستجوی رشته‌های متنی استفاده شده است. در این روش از الگوریتم Ripper برای تولید نقش‌ها، Naïve Byes برای آموزش و n-gram برای جستجوی رشته‌ها استفاده شده است. اگر چه دقت روش پیشنهادی بیش از ۹۷ درصد بیان شده است اما نرخ مثبت کاذب بسیار بالایی دارد.

در پژوهش متیو شولتز و همکاران [۱۴]، با بهره‌گیری از روش‌های داده‌کاوی در ویژگی‌های استخراج شده از فایل اجرایی روشی برای تشخیص بدافزارها ارائه نموده‌اند. در این پژوهش از استخراج سه ویژگی رفتار، رشته‌ها و توالی بایت‌ها و چندین روش دسته‌بندی برای تشخیص برنامه‌های مخرب استفاده شده است. مجموعه داده‌های جهت آموزش و ارزیابی روش پیشنهادی شامل ۳۲۶۵ فایل بدافزاری و ۱۰۰۱ فایل بی‌خطر بوده است. از الگوریتم داده‌کاوی RIPPER، برای ایجاد یک سامانه مبتنی بر نقش و برای اعمال بر روی مجموعه DLLها استفاده و از الگوریتم بیز ساده جهت اعمال بر روی داده‌های رشته‌ای و از الگوریتم n-grams برای آموزش یک دسته‌بندی بیز Multi-Naive با یک استراتژی رأی‌گیری بهره‌برداری شده است. در این روش پیشنهادی با بهره‌گیری از الگوریتم بیز ساده و با استفاده از ویژگی رشته‌ها بهترین دقت حاصل شده است.

روش ارائه شده توسط دی گائو و همکاران [۱۵] مبتنی بر تحلیل ایستا است که بر اساس خواص ساختار فایل اجرایی، بدافزارها را تشخیص می‌دهد. این روش خوشه‌بندی را توسط نسخه‌ای بهینه شده از الگوریتم KNN انجام می‌دهد. مجموعه داده برای آموزش و ارزیابی شامل ۴۱۰ فایل به تفکیک ۳۰۰ بدافزار و ۱۱۰ فایل بی‌خطر بوده است که از این تعداد ۲۸۰ نمونه برای آموزش مدل و ۱۳۰ نمونه برای آزمون استفاده است. بدافزارهای استفاده شده شامل سه خانواده بدافزاری شامل تروجان، درب پشتی و کرم و یک خانواده شامل فایل بی‌خطر است. دقت این روش به‌صورت میانگین ۸۹ درصد بوده و مدل ارائه شده تنها قادر به بررسی فایل‌های اجرایی ۳۲ بیتی هست.

در پژوهش علیرضایی [۱۶]، بر اساس نام کتابخانه‌های بارگذاری شده توسط یک برنامه، بدخواه یا بی‌خطر بودن آن بررسی می‌شود. در روش بیان شده این پژوهش، شناسایی بدافزار از روش کتابخانه‌های پیوندی پویا که در زمان اجرا توسط بدافزار بارگذاری می‌شوند، صورت می‌گیرد. در این روش هیچ تمایزی بین توابع سامانه‌ای موجود در فایل‌های کتابخانه‌ای پیوند پویا وجود نداشته و تنها از بدافزارها جهت مدل‌سازی رفتار مخرب استفاده شده و دقت شناسایی بدافزارها در روش مذکور ۷۵ درصد بوده است.

تشخیص بدافزار با استفاده از توالی API توسط سانگ و همکاران [۱۷] یکی از پژوهش‌های مهم این حوزه است. آن‌ها یک سامانه تشخیص مبتنی بر امضاء را به نام تحلیل ایستای فایل اجرایی مخرب، SAVE، ایجاد کردند که توالی API استخراج شده از برنامه را با دنباله‌ای از یک پایگاه داده امضاءها با بهره‌گیری از ضریب همبستگی پیرسان، کسینوس و ژاکارد تعمیم یافته مقایسه و نتیجه نهایی را بر مبنای میانگین این سه مورد تعیین می‌کند. با استفاده از این بررسی‌های آماری برای تعیین میزان شباهت، SAVE را قادر می‌سازد تا بدافزارهایی ناشناس و غیر قابل شناسایی به روش‌های سنتی، تشخیص داده شوند.

در پژوهش وبر و همکاران [۱۸]، ابزار تجزیه و تحلیل فایل اجرایی PEAT را برای تشخیص مبتنی بر ناهنجاری‌های ساختاری را در یک برنامه دیگر توسعه داده‌اند. PEAT بر این اصل استوار است که کد درج شده در یک برنامه یکپارچگی ساختاری آن را مختل نموده و از این طریق و با استفاده از ابزارهای آماری و مجسم سازی می‌توان میزان مخرب بودن آن را شناسایی نمود. ابزارهای مجسم سازی احتمال یافتن ویژگی‌های خاصی (ترتیبی از بایت‌ها، رشته‌ها، کد دیس اسمبل شده و دسترسی به حافظه از طریق آفست‌های رجیستری) از درج کد را در نواحی خاصی از برنامه برای کاربر مجسم می‌نماید. تحلیل ایستا بر روی تناوب دستورالعمل‌ها، الگوی دستورالعمل‌ها، آفست‌های ثبات، پرش و فراخوانی، آنتروپی مقادیر کدهای عملیاتی و کد و رشته‌ها اعمال شده و نتایج تجربی تنها برای یک برنامه مخرب ارائه گردیده است.

در پژوهش دیگری [۱۹] نویسندگان یک سامانه تشخیص جاسوس‌افزار نظارتی ارائه داده‌اند که از اطلاعات مهم توابع واسط برنامه‌نویسی و کتابخانه‌های پویا و تغییر در رجیستری، سامانه فایل و وضعیت شبکه برای تشخیص جاسوس‌افزار استفاده می‌کند. در این پژوهش از ۱۱۴۷ نمونه جمع‌آوری شده برای آموزش و ارزیابی استفاده شده و برای استخراج ویژگی‌های مؤثر از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان بهره‌برداری شده است. نرخ تشخیص صحیح ۹۷/۹ درصد و تشخیص اشتباه ۰/۶۸ درصد بوده است.

در پـژوهش توریسـقام و همکـاران [۲۰]، از مجموعـه‌ای از ویژگـی‌هـای ترکیبـی بـا اسـتفاده از الگـوریتم n-gram، تـوالی دستورالعمل و فراخوانی API ایجاد نمودند و پژوهش خود را با دو مجموعه داده مجزا آموزش و ارزیابی نمودند. مجموعه داده اولیـه شامل ۱۴۳۵ فایل اجرایی که ۵۹۷ تا از آن‌ها خوش‌خـیم و ۸۳۸ فایل دیگر مخرب بوده و مجموعـه داده دوم شـامل ۲۴۵۲ فایـل اجرایی که شامل ۱۳۷۰ فایل خوش‌خـیم و ۱۰۸۲ فایـل بـدخیم بوده است. دقت هر یک از مجموعه ویژگی‌ها با اعمال کراس سـه حالته با استفاده از الگوریتم‌های ماشین بـردار پشـتیبان، درخـت تصمیم، بیز ساده، شبکه بیز و درخت تصمیم تقویت شـده مـورد آزمایش قرار گرفت. برای مجموعه داده اول، بهترین نتیجه بـرای HFS با استفاده از n-grams با اندازه ۶ و دقت دسته‌بنـدی ۹۷/۴ درصد گزارش شده و مجموعه دوم HFS دقت تشـخیص بهتـری نسبت به مجموعه اول داشته است.

۴- روش پیشنهادی

همان‌طور که پیش از این نیز بیان شـد، هـدف از ایـن پـژوهش، کشف و خوشه‌بندی بدافزارها با رویکرد مبتنی بر تحلیل به‌صورت ایستا است، یعنی زمانی که فایل اجرایی بـر روی حافظـه جـانبی ذخیـره شـده اسـت. در ایـن پـژوهش، ویژگـی‌هـایی از سـاختار فایل‌های اجرایی قابل حمل استخراج شده است. این ویژگی‌ها در تعیین ماهیت فایل‌های اجرایی و پیش‌بینی، نـوع رفتـار آن‌هـا در زمان اجرا بسیار مؤثر خواهد بود. در ادامه این ویژگـی‌هـا کـه بـا مکاشـفه در داده‌کـاوی از حجـم انبـوهی شـامل ۳۶۵۶۷ برنامـه مخـرب و ۱۷۲۹۵ برنامـه بـی‌خطـر کـه از مراجـع [۲۳- ۲۱] جمع‌آوری شده، توضیح داده می‌شوند.

۴-۱- ویژگـی‌هـای سـاختاری فایـل‌هـای اجرایـی قابل‌حمل

۴-۱-۱- اختلاف در اندازه خام و مجازی

این ویژگی یکی از مهم‌تـرین و پـروزن‌تـرین مـلاک‌هـا در شـیوه پیشنهادی بوده و در این ویژگی هدف بررسی اختلاف بین انـدازه فایل خام و اندازه مجازی فایل اسـت. انـدازه خـام نشـان دهنـده اندازه فایل بر روی دیسک سخت و اندازه مجـازی نشـان دهنـده اندازه فایل بر روی حافظه اصلی است که از سرآیند فایل اجرایـی قابل استخراج است. این اختلاف در صورتی که بیش از ۱ درصـد حجـم کـل فایـل باشـد بـه‌عنـوان یـک امتیـاز منفـی در شـیوه پیشنهادی مد نظر قرار می‌گیرد و بر اساس این همین روال، هر ۲ درصد اختلاف یک وزن منفی افزوده می‌شود

۴-۱-۲- خواص قسمت‌ها

در این مورد خواص قسمت‌های یک فایل بـه ویـژه قسـمت .text مورد بررسی قرار می‌گیرد. در حالت پیش‌فرض قسمت کـد فقـط خواندنی است. در شیوه پیشنهادی اگر یک فایل اجرایی در زمان تحلیل مشخص شود که قسمت .text آن خاصیت دیگری غیـر از فقط خواندنی دارد به گونـه‌ای کـه قابلیـت نوشـتن در آن وجـود داشته باشد به‌عنوان یک امتیاز منفی با وزن بالا در ارزیـابی قـرار داده می‌شود. دلیل این امر این است که بدافزارهایی کـه نیـاز بـه تغییر کد در زمان اجرا دارند، می‌بایست قادر به نوشتن مجـدد در این قسمت باشند.

۴-۱-۳- خواص سرآیند قسمت‌ها

این بخش ویژگی‌های مهمی از قسمت[1] نظیر نـام، تعـداد، آدرس، اندازه و غیره را دربر می‌گیرد [۲۴]. بر اساس نتایج ایـن پـژوهش مشخص شده بسیاری از بـدافزارها نسـبت بـه فایـل‌هـای سـالم، در ویژگـی‌هـای قسـمت‌هـا، دارای اختلافـات ملموسـی هسـتند. از این جملـه مـی‌تـوان بـه نـام قسـمت‌هـا اشـاره نمـود. تعـداد زیـادی از بـدافزارها حـاوی نـام‌هـای قسـمت نـامفهوم ماننـد .dnn4fh4۶، .Bga1m3ar، .IOu15g4I و غیره هستند در حالی که فایل‌های سالم دارای نام قسـمت‌هـای .text، .data، .rsrc و سـایر بخش‌ها و یا نام‌های معنی‌دار می‌باشند. علاوه بر ایـن، بـه‌صـورت معمول تعداد قسمت‌ها بین ۵ تا ۸ عدد است، تعداد قسـمت‌هـای خارج از این بازه شک برانگیز است. یکی دیگر از ویژگی‌ها، انـدازه قسمت است؛ در واقع منظور از اندازه قسمت، مقایسه قسمت‌های حساس کد و داده با مقدار کـل فایـل اجرایـی اسـت. فایـل‌هـای اجرایی که دارای قسمت کد با انـدازه کوچـک و قسـمت داده بـا اندازه بزرگ می‌باشند، از آن جهت که مشـابه فایـل‌هـای مخـرب بسته‌بندی شـده و نیـز خـود تغییـر هسـتند، مشـکوک بـه نظـر می‌رسند. خاصیت قابل نوشتن بودن قسـمت کـد یکـی دیگـر از ویژگی‌هایی است که در فایل‌های مخرب و فایل‌های سـالم دارای تفاوت ملموس هستند. وجود یا عدم وجود قسمت منـابع معتبـر آخرین ویژگی از این سری ویژگی‌ها است کـه مـی‌تـوان از آن در شناسایی مخرب یا غیر مخرب بودن فایل اجرایـی تصـمیم‌گیـری نمود. در فرآیند تصمیم‌گیری در خصوص وضعیت فایـل اجرایـی، به ازای وجود هر ویژگی مشـکوک امتیـاز ۱- و در صـورت عـدم وجود امتیاز ۱+ به فایل مورد نظر اختصاص داده می‌شود.

۴-۱-۴- آدرس نقطه شروع

نقطه شروع در فایل‌های اجرایی مکانی است کـه فرآینـد اجـرا از آنجـا آغـاز مـی‌گـردد. در حالـت اسـتاندارد آدرس نقطـه شـروع می‌بایست همواره به مکانی درون قسمت کد اشاره نماید [۲۵]. با

[1] Section

این وجود برخی بدافزارها با هدف محافظت از کد و دشوار نمودن فرآیند تحلیل از ابزارهای بسته‌بندی و محافظ استفاده می‌کنند که مشخصه اصلی آن‌ها ایجاد قسمت جدید و قرار دادن نقطه شروع درون آن است. علاوه بر این بدافزارهایی که کد خود را درون فایل‌های اجرایی بر روی دیسک سخت تزریق می‌کنند، جهت در دست گرفتن روال اجرا در زمان بارگذاری فایل اجرایی بر روی حافظه اصلی می‌بایست آدرس نقطه شروع را تغییر دهند که به ابتدای کدهای تزریق شده اشاره می‌کند [۲۶]. در روش پیشنهادی به فایل‌های اجرایی که دارای آدرس نقطه شروع خارج از بازه قسمت کد می‌باشند امتیاز ۱- تعلق می‌گیرد.

۴-۱-۵- نرخ بی‌نظمی

از دیگر ویژگی‌های اصلی جهت شناسایی فایل‌ها مخرب به‌کار رفته شده در روش پیشنهادی می‌توان به نرخ بی‌نظمی اشاره نمود. منظور از بی‌نظمی میزان تنوع بایت‌های تشکیل دهنده فایل اجرایی است. این تنوع برای قسمت‌های کد و داده محاسبه می‌گردد [۲۷]. میزان تنوع بایت‌های تشکیل دهنده فایل اجرایی ساکن در قسمت کد، بسته به معماری پردازنده که می‌تواند ۳۲ و یا ۶۴ بیتی باشد در یک بازه مشخص قرار می‌گیرد. نرخ بی‌نظمی بیشتر از این بازه نشان دهنده بسته‌بندی و یا رمزنگاری شدن فایل اجرایی است [۲۸]. در روش پیشنهادی آستانه نرخ بی‌نظمی 7.3 در نظر گرفته می‌شود و به فایل‌هایی که دارای نرخ بی‌نظمی بیشتر از مقدار آستانه باشند، امتیاز ۱- تعلق می‌گیرد.

۴-۱-۶- کتابخانه‌ها و توابع

از آن‌جهت که هر کتابخانه و توابع مربوط به آن‌ها با هدف ارائه تسهیلات خاصی توسعه یافته‌اند [۲۹ و ۳۰]، این دسته از مؤلفه‌ها نقش مهمی در پیش‌بینی رفتار فایل اجرایی ایفاء می‌کنند که شامل لیست کتابخانه‌های استفاده شده، لیست توابع فراخوانی شده از کتابخانه‌ها و تعداد فراخوانی‌ها از هر کتابخانه توسط فایل اجرایی است. کتابخانه‌ها و توابع مورد استفاده در فایل اجرایی در مکانی به نام جدول توابع ورودی قرار می‌گیرند. پس از استخراج موارد بیان شده از جدول توابع ورودی، بر اساس لیست تهیه شده از توابع خطرناک سیستم عامل (توابعی که در حالت معمول کمتری مورد استفاده قرار می‌گیرند) [۳۱]، با داده‌کاوی بر روی حجم انبوهی از بدافزارها و فایل‌های بی‌خطر، قوانینی جهت تصمیم‌گیری در مورد بدخیم و یا خوش‌خیم بودن فایل اجرایی استخراج می‌شود و این قوانین در دسته‌بندی بدافزارهای کاربردهای متنوع و فراوانی دارد.

۴-۱-۷- آیکون فایل اجرایی

آیکون‌ها می‌توانند در ترغیب کاربران برای اجرای فایل‌های اجرایی، مؤثر باشند؛ از همین روی اغلب تحت عنوان روش‌های مهندسی اجتماعی توسط توسعه دهندگان بدافزار مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۲ و ۳۳]. در طول این پژوهش از مجموع ۳۶۵۶۷ فایل مخرب، ۸۷۳ آیکون و از مجموع ۱۷۲۹۵ فایل سالم، ۱۴۲۹ آیکون استخراج گردید. در شکل (۲) برخی از آیکون‌های جعلی استفاده شده توسط بدافزارها جهت ترغیب و فریب کاربران برای قانونی نشان دادن بدافزار، ارائه شده است؛ استخراج آیکون‌ها به‌صورت برنامه‌نویسی از قسمت rsrc. صورت می‌پذیرد.

شکل (۲): آیکون‌های جعلی استفاده شده در بدافزارها [۳۳]

بنابراین فایل‌های اجرایی که دارای آیکون وابسته به سایر فرمت‌های شناخته شده و پرکاربرد می‌باشند مشکوک تشخیص داده شده و به آن‌ها امتیاز ۲- تعلق می‌گیرد.

۴-۱-۸- اشیاء گرافیکی

وجود یا عدم وجود پنجره‌ها، دکمه‌ها، منوها و سایر عناصر بصری معتبر تشکیل دهنده واسط کاربری در فایل‌های اجرایی می‌تواند به‌عنوان ویژگی دیگری در شناسایی و تشخیص بدافزارها مورد استفاده قرار بگیرد. در این ویژگی، تعیین اعتبار عناصر بصری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. اعتبار عناصر بصری از طریق بررسی قابل دسترس و مشاهده بودن عناصر تعیین می‌گردد و به فایل‌های اجرایی با عناصر بصری غیر معتبر امتیاز ۳- و در مقابل عناصر بصری معتبر ۳+ تعلق می‌گیرد.

۴-۱-۹- دنباله بایت‌های قابل چاپ

رشته‌های موجود در فایل‌های اجرایی شامل نام کتابخانه‌ها و توابع، امضای نویسنده، نام فایل‌ها، اطلاعات منابع سامانه، برخی تکه کدها و سایر مواردی از این دست است که اغلب بین فایل‌های بدافزار و بی‌خطر مشترک است [۳۴]. علاوه بر این می‌توان به پیام‌ها اشاره نمود که با هدف تعامل با کاربر در فایل‌های اجرایی بی‌خطر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در صورت وجود پیام‌های معتبر و قابل دسترس در فایل اجرایی، امتیاز ۱+ به فایل اجرایی تعلق می‌گیرد.

۴-۱-۱۰- دستورالعمل‌های گریز

دستورالعمل‌های گریز، دستورالعمل‌هایی هستند که توسط بدافزارها با هدف شناسایی محیط اجرا مورد استفاده قرار می‌گیرد. از جمله محیط‌های اجرایی که بدافزارها سعی در شناسایی و فرار از آن‌ها دارند می‌توان به محیط‌های جعبه شن [۳۵]، اشکال‌زداها و مقلدهای محصولات ضد بدافزار اشاره نمود [۱۲ و ۳۶]. با بررسی دستورالعمل‌های گریز نیز می‌توانند به پیش‌بینی قابل قبولی از فایل اجرایی مورد بررسی دست یافت. در

روش پیشنهادی برخی از دستورالعمل‌های حساس از جمله دستورالعمل‌های شناسایی ماشین مجازی، دستورالعمل‌های معادل به‌کار رفته جهت اعمال روش‌های دگردیسی، دستورالعمل‌های مقابله با اشکال‌زداها و سایر مواردی از این دست شناسایی‌شده [۳۷] و به فایل‌هایی که از این دسته دستورالعمل‌های استفاده می‌کنند امتیاز ۱- تعلق می‌گیرد.

۴-۱-۱۱- جدول آدرس توابع خروجی

جدول آدرس توابع خروجی در قسمت edata. قرار دارد. این جدول نام و آدرس توابع خروجی توسط برنامه را نشان می‌دهد. این توابع، توسط برنامه دیگری که فایل اجرایی جاری را Import کرده، مورد استفاده قرار می‌گیرد. بسیار غیر معمول است که بدافزار تابعی را برای استفاده دیگر برنامه‌ها ارائه دهد و در مقابل اغلب برنامه‌های بی‌خطر به ویژه کتابخانه‌های پیوند پویا در مجموعه‌های نرم‌افزاری ارائه دهنده این توابع هستند؛ بنابراین در شیوه پیشنهادی وجود جدول EAT معتبر یک امتیاز مثبت برای بی‌خطر بودن فایل در حال تحلیل است.

۴-۲- تشخیص و خوشه‌بندی

در ابن بخش با بهره‌گیری از روش‌های داده‌کاوی بر روی حجم داده‌های اولیه که شامل فایل‌های اجرایی بدافزار و فایل‌های بی‌خطر است، آن‌ها را با توجه به میزان شباهت و نزدیکی خواص ذکر شده در بخش‌های پیشین خوشه‌بندی نموده تا در زمان برخورد با فایل‌های ناشناس ضمن تشخیص خوش‌خیم و یا بدخیم بودن فایل اجرایی، آن‌ها را در یکی از دسته‌های موجود قرار داده شود. در فاز تشخیص می‌بایست میزان خوش‌خیم و یا بدخیم بودن فایل اجرایی محاسبه گردد؛ محاسبه میزان خوش‌خیم و یا بدخیم بودن فایل اجرایی، بر اساس داده‌کاوی از طریق رابطه (۱) صورت می‌گردد:

$$\text{نرخ بدخیمی} = \frac{\sum W \times Pi + \sum W \times Nj}{\sum Wi + Wj} \qquad (۱)$$

در رابطه (۱)، مقدار $\sum W \times Pi$ حاصل جمع امتیازهای مثبت داده شده به فایل اجرایی مورد بررسی با در نظر گرفتن وزن آن‌ها بوده و مقدار $\sum W \times Nj$ حاصل جمع امتیازهای منفی داده شده به همراه وزن آن‌ها است. مقدار $\sum Wi + Wj$ نشان دهنده مجموع امتیازهای مثبت و منفی قابل اعمال به یک فایل در زمان بررسی با در نظر گرفتن وزن آن‌ها هست؛ اگر حاصل رابطه بالا یک عدد مثبت باشد، فایل مورد نظر به‌عنوان یک فایل بی‌خطر و در صورتی که حاصل رابطه منفی باشد به‌عنوان بدافزار تشخیص داده می‌شود. در فرآیند آموزش و ارزیابی روش پیشنهادی از ابزار داده‌کاوی Weka در حالت یادگیری نیمه مدیریت شده و با بهره‌گیری از الگوریتم‌های موجود در آن، استفاده شده است. در فرآیند داده‌کاوی از الگوریتم‌های KStar و Jrip برای تولید قانون و از الگوریتم J48 برای ایجاد درخت تصمیم جهت تعبیه در نرم‌افزارهای تشخیص و شناسایی استفاده شده است. در جدول (۱) یک نمونه قانون برای تشخیص بدافزار جاسوس‌افزار ارائه شده است.

جدول (۱): یک نمونه قانون برای تشخیص بدافزار

```
IF (ExecutableSectionNAme!="text") &&
(NumberOfSection>8) ||
(NumberOFUnknownNamedSection > 0) &&
(DifOfSectionSizeAndFileSize < 0.000040) &&
(SubOfVirtualAndRawSizeOfCodeSection < 000070) &&
(NumberOfPackingInstruction > 1 && PortOpening =
True && KeyboardAPI>3 || ScreenAPI>4)) Then
MalwareType = Malware.Spayware
```

قانون ارائه شده در جدول (۱) با استفاده ویژگی‌های سرآیند قسمت، تعداد قسمت‌های ناشناخته، قسمت اجرایی، اختلاف بین اندازه مجازی، اندازه خام و واسط‌های برنامه‌نویسی کاربردی، میزان مخرب بودن فایل بررسی و در صورت مثبت بودن نتیجه نوع بدافزار را مشخص می‌نماید. روش پیشنهادی قادر است تمامی بدافزارها را در ۷ گروه ویروس، کرم، تروجان، باتنت، جاسوس‌افزار، روت کیت و نرم‌افزار ناخواسته خوشه‌بندی کند. گروه‌های بیان‌شده با الهام از منبع [۳۸] انتخاب شده‌اند. این گروه‌بندی قادر به پوشش انواع کدهای بدخواه و بدافزارها است.

۵- ارزیابی روش پیشنهادی

در این بخش میزان دقت روش پیشنهادی برای کشف و خوشه‌بندی بدافزارها بررسی می‌گردد. جزئیات داده‌های مورد استفاده در این پژوهش که شامل ۳۶۵۶۷ فایل مخرب و ۱۷۲۹۵ فایل سالم در جدول (۲) نشان داده شده است.

با هدف ارزیابی روش پیشنهادی، کار انجام شده با چهار مورد از کارهای مرتبط که اخیراً منتشر شده‌اند مقایسه گردیده است. جهت دست‌یابی به این هدف روش‌های پیاده‌سازی شده در کار شولتز و همکاران [۱۴]، کالتر و همکاران [۳۹]، سیدیکیو و همکاران [۴۰] و گائو و همکاران [۱۵] بر اساس مستندات موجود پیاده‌سازی گردید و خروجی‌های به‌دست آمده به همراه خروجی‌های روش پیشنهاد شده در ادامه ارائه گردیده است. اعتبارسنجی نتایج آزمایش با استفاده از شیوه متقاطع ۱۰ صورت گرفته است. در این شیوه مجموعه داده به‌صورت تصادفی به ۱۰ زیرمجموعه کوچک‌تر تقسیم می‌گردد که در آن ۹ زیرمجموعه

برای آموزش استفاده می‌شود و زیرمجموعه دهم برای آزمون مورد بهره‌برداری قرار خواهد گرفت. روند بیان شده برای هر ترکیب ده‌تایی به میزان ۱۰ بار تکرار گردیده است. علاوه بر این دو سامانه مبتنی بر معماری ۳۲ و ۶۴ بیتی سازوکار بیان شده را به‌صورت مجزا اجرا می‌کنند. سامانه‌های ۳۲ و ۶۴ بیتی دارای پیکربندی سخت‌افزاری مجازی سازی شده یکسان می‌باشند. از جمله این پیکربندی سخت‌افزاری می‌توان به ۶ هسته پردازنده و ۴ گیگابایت حافظه اصلی اشاره نمود. فارغ از معماری، هر دو سامانه سیستم‌عامل ویندوز ۷ نسخه SP3 را اجرا می‌کنند.

جدول (۲): جزئیات مجموعه داده مورد استفاده

عنوان	ویروس	کرم	تروجان	بات‌نت	جاسوس‌افزار	روت کیت	نرم‌افزار ناخواسته	نرم‌افزار سالم
تعداد	۳۰۵۴	۹۴۷۳	۵۶۲۹	۳۹۶۷	۷۷۰۸	۳۹۶۱	۲۷۷۵	۱۷۲۹۵
کتابخانه	۰	۱۰۸۳	۷۶۲	۱۴۲۸	۲۶۹۴	۲۷۳۵	۳۵۷	۴۳۰۸
غیر کتابخانه	۳۰۵۴	۸۳۹۰	۴۸۶۷	۲۵۳۹	۵۰۱۴	۱۲۲۶	۲۴۱۸	۱۲۹۸۷
معماری ۶۴ بیتی	۲۲۳	۴۸۳۱	۲۱۶۶	۱۵۳۳	۲۶۸۷	۹	۱۱۴۴	۳۴۶۶
معماری ۳۲ بیتی	۲۸۳۱	۴۶۴۲	۳۴۶۳	۲۴۳۴	۵۰۲۱	۳۹۵۲	۱۶۳۱	۱۳۸۲۹
UPX	۴۱۶	۱۳۶۸	۵۲۰	۴۸۳	۸۹۴	۱۷۲	۲۹۱	۲۵۶۱
ASPack	۳۰۴	۸۱۰	۳۷۴	۲۱۲	۳۱۷	۴۳	۱۱۶	۷
Themida	۴۷	۹۶	۱۸۶	۹۲	۲۰۳	۲۷	۸۷	۳
Other Packer	۲۶۶	۸۹۳	۴۶۱	۲۴۷	۳۶۸	۷۲۸	۳۰۱	۱۲
Borland C/C++	۲۸۴	۱۰۳	۶۹۴	۳۸۸	۵۷۳	۲۲۴	۲۱۴	۴۳۸۱
Borland Delphi	۱۳۳	۳۸۴	۲۵۸	۲۶۱	۴۲۵	۱۳	۲۴	۸۶۵
Visual Basic	۱۹۷	۳۵۲	۱۳۶	۳۱۶	۱۴۶	۱۷	۱۸۳	۷۳۹
Visual c++	۹۱۹	۳۶۴۸	۲۰۱۵	۵۸۷	۲۹۷۵	۲۱۳۶	۷۶۹	۴۵۰۷
.Net	۸۴	۱۳۵۵	۷۲۲	۷۸۳	۸۶۳	۵۱۰	۵۳۶	۳۶۴۷
Other	۶۳۸	۴۶۴	۲۶۳	۵۹۸	۹۹۴	۹۱	۲۵۴	۵۷۳

در مرحله نخست هدف یافتن میزان دقت روش پیشنهادی و چهار مقاله بیان شده در تشخیص فایل‌های خوش‌خیم و بدخیم است. بررسی میزان تفکیک فایل‌های بدخیم و خوش‌خیم از طریق معیارهای مثبت واقعی (TP)، منفی واقعی (FP)، مثبت کاذب (TN) و منفی کاذب (FN) صورت می‌پذیرد. معیار مثبت واقعی عبارت است تشخیص‌هایی که به درستی فایل ورودی را بدافزار تشخیص داده است. به‌صورت مشابه، منفی واقعی، شامل تشخیص‌هایی است که فایل ورودی را به درستی فایل غیر بدافزار تشخیص داده است. منفی کاذب به مواردی گفته می‌شود که فایل ورودی به اشتباه به‌عنوان بدافزار تشخیص داده نشده است و در مثبت کاذب فایل ورودی به اشتباه بدافزار تشخیص داده می‌شود. در جدول (۳) معیارهای تشخیصی بیان شده برای هر یک از الگوریتم‌های بیان شده در روش‌های چهارگانه و روش پیشنهادی نشان داده شده است. مقادیر برجسته بهترین گزینه از بین مقادیر موجود از ۵ روش شناسایی است. نتایج به‌دست آمده حاصل ۸۵۰ بار تکرار به شیوه متقاطع ۱۰ است. جدول (۳) نشان می‌دهد که روش پیشنهادی دارای بیشترین نرخ تفکیک صحیح و نیز کمترین میزان تفکیک غلط در بین روش‌های بیان شده است. این عملکرد نتیجه انتخاب ویژگی‌های مؤثرتر و انتخاب و بهره‌برداری بهتر از الگوریتم‌های داده‌کاوی است.

جهت بررسی میزان دقت در خوشه‌بندی بدافزار بر اساس معیارهای چهارگانه بالا رابطه (۲) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \qquad (۲)$$

جدول (۳): وضعیت تشخیص بدافزار از فایل‌ها سالم

ردیف	روش	الگوریتم	TP	FN	FP	TN
۱	روش پیشنهادی	*KStar*	۹۹/۲	۰/۲	۸۱/۱	**۰/۱**
		Jrip	۹۹/۶	۰/۰۰۴	۹۸/۹	۰/۳
		J48	۹۵/۱	۰/۰۰۵	۹۹/۸	۰/۲
۲	شولتز و همکاران	*RIPER*	۹۴/۱	۰/۸	۹۳/۵	۰/۴
		Naïve Bayes	۸۵/۴	۱/۱	۹۲/۳	۰/۸
		Multy NB	۸۹/۶	۰/۹	۹۴/۸	۰/۴
۳	کالتر و همکاران	*Naive Bayes*	۹۷/۱	۰/۴	۹۵/۶	۰/۵
		J48	۸۹/۰	۱/۲	۹۴/۲	۰/۷
		TFIDF	۹۳/۸	۲/۰	۹۸/۰	۰/۳
۴	سیدیکیو و همکاران بی‌خطر	*Decision Tree*	۹۷/۴	۰/۴	۹۷/۵	۰/۴
		Bagging	۹۶/۷	۱/۳	۹۸/۳	۱/۲
		Random Forest	۹۴/۷	۱/۱	۹۷/۳	۰/۵
۵	گائو و همکاران	*K means*	۹۸/۳	۰/۲	۹۴/۱	۰/۷
		KNN	۹۵/۵	۰/۶	۸۹/۹	۱/۹

بر اساس [۳۶] میزان شباهت در ساختار فایل‌های اجرایی بدافزار در بازه [۹۳-۱۴] درصد قرار دارد. این میزان تشابه در حالت معمول ۳۵ درصد است. در نتیجه انتخاب ویژگی‌های جامع که دربردارنده تمامی حالات و مؤلفه‌های خوشه‌ها باشد امری بسیار حائز اهمیت است که می‌تواند در نرخ دقت روش‌های پیشنهادی تأثیر مستقیم داشته باشد.

در جدول (۴) میزان دقت خوشه‌بندی روش پیشنهادی و چهار شیوه دیگر ارائه شده است. مقادیر برجسته بهترین میزان خوشه‌بندی را در بین پنج روش مورد ارزیابی نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص است روش پیشنهادی می‌تواند با دقت بالاتری نسبت به سایر روش‌ها، بدافزارها را خوشه‌بندی نماید. نتایج به‌دست آمده حاصل ۷۵۰ بار تکرار به شیوه متقاطع ۱۰ است. همان‌طور که در جدول (۴) نشان داده شده است، شناسایی روت کیت‌ها در مقایسه با سایر خوشه‌ها چالش برانگیزتر است. دلیل این امر ایجاد تغییرات گسترده و عمیق این خوشه بر روی سیستم‌عامل است که موجب می‌گردد آن‌ها از دید بسیاری از نرم‌افزارهای امنیتی و نظارتی مخفی بمانند.

از دیگر معیارهای کارایی می‌توان به منابع مورد نیاز جهت اجرا اشاره نمود. از جمله منابع حائز اهمیت سربار حافظه اصلی و زمان اجرای فایل‌های ورودی است که تأثیر مستقیمی بر روی قابلیت اطمینان و رضایت کاربر نیز دارد. واحد ارزیابی زمان ثانیه / فایل و واحد ارزیابی سربار حافظه اصلی هزار بایت / فایل است.

جدول (۴): میزان دقت خوشه‌بندی درروش پیشنهادی و سایر روش‌ها

ردیف	خوشه	روش پیشنهادی	شولتز	کالتر	سیدیکیو	گائو
۱	ویروس	**۹۹/۱**	۹۶/۹	۹۵/۹	۹۵/۸	۹۶/۲
۲	کرم	**۹۹/۶**	۹۷/۱	۹۷/۵	۹۷/۲	۹۸/۱
۳	تروجان	**۹۹/۳**	۹۵/۳	۹۸/۳	۹۸/۱	۹۷/۳
۴	باتنت	**۹۹/۲**	۹۴/۷	۹۷/۹	۹۷/۹	۹۷/۳
۵	جاسوس‌افزار	**۹۸/۴**	۹۷/۳	۹۵/۶	۹۴/۷	۹۳/۲
۶	روت کیت	**۹۹/۸**	۹۲/۶	۹۳/۳	۹۱/۲	۹۲/۸
۷	نرم‌افزار ناخواسته	**۹۸/۸**	۹۷/۹	۹۷/۲	۹۷/۱	۹۶/۹
۸	بی‌خطر	**۹۹/۷**	۹۸/۴	۹۷/۸	۹۷/۶	۹۸/۳

در جدول (۵)، منابع مورد نیاز روش پیشنهادی به همراه ۴ شیوه دیگر نشان داده شده است. مقادیر برجسته نشان دهنده مقادیر بهینه نسبت به بقیه روش‌ها است. نتایج به‌دست آمده حاصل ۹۵۰ بار تکرار الگوریتم‌های مربوطه بر روی فایل‌های مختلف است. فایل‌های ورودی برای تمامی الگوریتم‌ها یکسان بوده است.

جدول (۵): مقایسه منابع مورد نیاز

ردیف	عنوان روش	زمان پویش	زمان استخراج ویژگی	زمان خوشه‌بندی	حافظه اصلی
۱	روش پیشنهادی	۰/۱۳۰	۰/۷۰	۰/۴۴	۱۴۰
۲	شولتز و همکاران	۰/۲۰۱	۰/۹۴	۰/۷۵	۲۴۷
۳	کالتر و همکاران	۰/۱۹۷	۰/۸۵	۰/۵۲	۲۰۳
۴	سیدیکیو و همکاران	۰/۲۶۴	۰/۷۶	۰/۸۴	۳۱۲
۵	گائو و همکاران	۰/۱۷۸	۰/۹۹	۰/۶۳	۱۹۵

با توجه به بررسی‌های صورت گرفته بر روی معیارهای سنجش و مقایسه روش پیشنهادی با سایر کارهای مرتبط که اخیراً صورت گرفته است، برتری روش پیشنهادی در خصوص تفکیک فایل‌های سالم از مخرب و نیز خوشه‌بندی بدافزارها نسبت به سایر روش‌ها روشن گردید. این برتری در نتیجه انتخاب ویژگی‌های کارآمد و بهره‌گیری از الگوریتم‌های داده‌کاوی مؤثر حاصل شده است.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله، نشان داده شد که چگونه با بررسی دقیق ساختار فایل اجرایی و بدون نیاز به اجرای فایل مشکوک، می‌توان ویژگی‌هایی از آن فایل استخراج کرد و بر اساس ویژگی‌های استخراج شده در شناسایی و خوشه‌بندی بدافزارهای ناشناخته استفاده نمود. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به اطلاعات مربوط به قسمت‌ها، آدرس نقطه شروع، نرخ بی‌نظمی، لیست کتابخانه‌ها و توابع، رشته‌ها، آیکون‌ها و سایر موارد مرتبط اشاره کرد. در روش پیشنهادی این مقاله، با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین مدل رفتاری برای سنجش میزان خوش‌خیم و یا بدخیم بودن فایل اجرایی با انتصاب نمره مثبت و منفی بر اساس فرمول‌های تعریف شده ایجاد نماید. با بهره‌گیری از قوانین تولید شده مبتنی بر داده‌کاوی از حجم انبوهی از بدافزارها و فایل‌های بی‌خطر، میزان مخرب بودن یا سالم بودن فایل‌های مشکوک تعیین و بدافزارهای شناخته شده در ۷ خوشه بدافزاری قرار می‌گیرند. در انتها، میزان کارایی روش پیشنهادی، بر اساس میزان دقت در تشخیص و خوشه‌بندی بدافزارها و فایل‌های بی‌خطر ارزیابی و با روش‌های مرتبط مقایسه شده و نتایج نشان می‌دهد که دقت روش پیشنهادی بیش از ۹۸ درصد بوده است. از جمله عوامل دخیل در بهبود دقت نسبت به سایر روش‌های مورد مقایسه می‌توان به انتخاب ویژگی‌های کارا و مؤثر در بین مجموعه ویژگی‌های ممکن، انتخاب الگوریتم‌های داده‌کاوی سازگار با نوع مسئله و مجموعه داده جامع جهت بررسی و اصلاح نتایج اشاره نمود. توسعه روش پیشنهادی می‌تواند در قالب کاری‌های آتی جهت شناسایی و مقابله با گونه‌های جدیدتر بدافزارها همانند بدافزارهای بدون فایل مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد.

۷- مراجع

[1] "Malware Statistics & Trends Report| AV-TEST," https://www.av-test.org/en/statistics/malware/ (Accessed Nov. 25, 2021.

[2] A. Afshar, A. Termechi, A. Golshan, A. Aghayan, H. R. Shahriari, and S. Soleimani, "Review of the Types of Strategies to Improve Security of Industrial Control Systems and Critical Infrastructure," Passiv. Def. Q., vol. 9, no. 2, pp. 1–9, 2018.

[3] K. Kaushal, P. Swadas, and N. Prajapati, "Metamorphic Malware Detection Using Statistical Analysis," Int. J. Soft Comput. Eng., vol. 2, no. 3, pp. 49–53, 2012.

[4] V. P. Nair, H. Jain, Y. K. Golecha, M. S. Gaur, and V. Laxmi, "Medusa: Metamorphic Malware Dynamic Analysis Usingsignature from API," in Proc. of the 3rd Int. Conf. on Security of Information and Networks, pp. 263–269, 2010.

[5] C. S. Veerappan, P. L. K. Keong, Z. Tang, and F. Tan, "Taxonomy on Malware Evasion Countermeasures Techniques," In IEEE World Forum on Internet of Things, WF-IoT-Proceedings, pp. 558–563, May 2018.

[6] J. Saxe and K. Berlin, "Deep Neural Network Based Malware Detection Using Two Dimensional Binary Program Features," In Malicious and Unwanted Software (MALWARE), 10th Int. Conf. on, pp. 11–20, 2015.

[7] Y. Ye, D. Wang, T. Li, D. Ye, and Q. Jiang, "An Intelligent PE-Malware Detection System Based on Association Mining," J. Comput. Virol., vol. 4, no. 4, pp. 323–334, 2008.

[8] "PE Format - Win32 APPS | Microsoft Docs." https://docs.microsoft.com/en-us/windows/win32/debug/pe-format (accessed Nov. 25, 2021).

[9] D. Gibert, C. Mateu, and J. Planes, "The Rise of Machine Learning for Detection and Classification of Malware: Research Developments, Trends and Challenges," J. Netw. Comput. Appl., Mar. 2020.

[10] M. Belaoued and S. Mazouzi, "A Real-Time Pe-Malware Detection System Based on Chi-Square Test and Pe-File Features," In IFIP Int. Conf. on Comput. Sci. and its App., pp. 416–425, 2015.

[11] C.-H. Lin, H.-K. Pao, and J.-W. Liao, "Efficient Dynamic Malware Analysis Using Virtual Time Control Mechanics," Comput. Secur., vol. 73, no.? pp. 359–373, 2018.

[12] A. Afianian, S. Niksefat, B. Sadeghiyan, and D. Baptiste, "Malware Dynamic Analysis Evasion Techniques: A Survey," CoRR, vol. abs/1811.0, 2018.

[13] J. L. C. Candás, V. Peláez, G. López, M. Á. Fernández, E. Alvarez, and G. Díaz, "An Automatic Data Mining Method to Detect Abnormal Human Behaviour Using Physical Activity Measurements," Pervasive Mob. Comput., vol. 15, pp. 228–241, 2014.

[14] M. G. Schultz, E. Eskin, F. Zadok, and S. J. Stolfo, “Data Mining Methods for Detection of New Malicious Executables,” In Proc. 2001 IEEE Symp. on Security and Privacy, S&P 2001, pp. 38–49, 2000.

[15] D. Gao, G. Yin, Y. Dong, and L. Kou, “A Research on the Heuristic Signature Virus Detection Based on the PE Structure,” 2013.

[16] E. Alirezaei, “Behavioral Analysis of Malicious Code,” Kish Paradise Univ. of Tehran, Kish, 2011.

[17] A. H. Sung, J. Xu, P. Chavez, and S. Mukkamala, “Static Analyzer of Vicious Executables (Save),” In 20th Annual Comput. Security App. Conf., pp. 326–334, 2004.

[18] M. Weber, M. Schmid, M. Schatz, and D. Geyer, “A Toolkit for Detecting and Analyzing Malicious Software,” In 18th Annual Computer Security App. Conf., 2002. Proc., pp. 423–431, 2002.

[19] T.-Y. Wang, S.-J. Horng, M.-Y. Su, C.-H. Wu, P.-C. Wang, and W.-Z. Su, “A Surveillance Spyware Detection System Based on Data Mining Methods,” In 2006 IEEE Int. Conf. on Evolutionary Computation, pp. 3236–3241, 2006.

[20] [M. M. Masud, L. Khan, and B. Thuraisingham, “A Scalable Multi-Level Feature Extraction Technique to Detect Malicious Executables,” Inf. Syst. Front., vol. 10, no. 1, pp. 33–45, 2008.

[21] “Inc, V. Malware Sample.” https://virusshare.com/ (Accessed Nov. 25, 2019).

[22] “VirusSign | Malware Research & Data Center, Threat Intelligence, Free Downloads.” https://www.virussign.com/ (Accessed Nov. 25, 2021).

[23] “GitHub - ocatak/malware_api_class: Malware Dataset for Security Researchers, Data Scientists. Public Malware Dataset Generated by Cuckoo Sandbox Based on Windows OS API Calls Analysis for Cyber Security Researchers.” https://github.com/ocatak/malware_api_class (Accessed Nov. 25, 2021).

[24] H. S. Anderson and P. Roth, “Ember: An Open Dataset for Training Static Pe Malware Machine Learning Models,” arXiv Prepr. arXiv1804.04637, 2018.

[25] T. Dube, R. Raines, G. Peterson, K. Bauer, M. Grimaila, and S. Rogers, “Malware Target Recognition via Static Heuristics,” Comput. Secur., vol. 31, no. 1, pp. 137–147, 2012.

[26] J. Demme et al., “On the Feasibility of Online Malware Detection with Performance Counters,” ACM SIGARCH Comput. Archit. News, vol. 41, no. 3, pp. 559–570, 2013.

[27] K. S. Han, J. H. Lim, B. Kang, and E. G. Im, “Malware Analysis Using Visualized Images and Entropy Graphs,” Int. J. Inf. Secur., vol. 14, no. 1, pp. 1–14, 2015.

[28] D. Baysa, R. M. Low, and M. Stamp, “Structural Entropy and Metamorphic Malware,” J. Comput. Virol. hacking Tech., vol. 9, no. 4, pp. 179–192, 2013.

[29] C. Ravi and R. Manoharan, “Malware Detection Using Windows Api Sequence and Machine Learning,” Int. J. Comput. App., vol. 43, no. 17, pp. 12–16, 2012.

[30] G. G. Sundarkumar, V. Ravi, I. Nwogu, and V. Govindaraju, “Malware Detection via API Calls, Topic Models and Machine Learning,” In IEEE Int. Conf. on Automation Sci. and Eng., vol. 2015-Octob, pp. 1212–1217, 2015.

[31] W. Fu, J. Pang, R. Zhao, Y. Zhang, and B. Wei, “Static Detection of Api-Calling Behavior from Malicious Binary Executables,” In 2008 Int. Conf. on Comput. and Elect. Eng., pp. 388–392, 2008.

[32] S. Abraham and I. Chengalur-Smith, “An Overview of Social Engineering Malware: Trends, Tactics, and Implications,” Tech. Soc., vol. 32, no. 3, pp. 183–196, 2010.

[33] J.-S. Kim, W. Jung, S. Kim, S. Lee, and E. T. Kim, “Evaluation of Image Similarity Algorithms for Malware Fake-Icon Detection,” In 2020 Int. Conf. on Information and Communication Tech. Convergence (ICTC), pp. 1638–1640, 2020.

[34] L. Chen, T. Li, M. Abdulhayoglu, and Y. Ye, “Intelligent Malware Detection Based on File Relation Graphs,” In Proc. of the 2015 IEEE 9th Int. Conf. on Semantic Computing (IEEE ICSC 2015), pp. 85–92, 2015.

[35] S. Parsa and F. Jamshidinia, “An Approach to Rootkit Detection Based on Virtual Machine Introspection,” Passiv. Def. Q., vol. 10, no. 2, pp. 33–42, 2019.

[36] B. Lau and V. Svajcer, “Measuring Virtual Machine Detection in Malware Using DSD Tracer,” J. Comput. Virol., vol. 6, no. 3, pp. 181–195, 2010.

[37] Y. Huang, U. Verma, C. Fralick, G. Infantec-Lopez, B. Kumar, and C. Woodward, “Malware Evasion Attack and Defense,” pp. 34–38, 2019,

[38] A. R. A. Grégio, V. M. Afonso, D. S. F. Filho, P. L. de Geus, and M. Jino, “Toward a Taxonomy of Malware Behaviors,” Comput. J., vol. 58, no. 10, pp. 2758–2777, 2015.

[39] J. Z. Kolter and M. A. Maloof, “Learning to detect Malicious Executables in the Wild,” in KDD-2004 - Proc. of the Tenth ACM SIGKDD Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, pp. 470–478, 2004.

[40] M. Siddiqui, M. C. Wang, and J. Lee, “Detecting Internet Worms Using Data Mining Techniques,” J. Syst. Cybern. Informatics, vol. 6, no. 6, pp. 48–53, 2009.

Static Analysis of the Executable File Structure to Detect and Cluster Unknown Malware

M. Abbasi*, H. Tanha

Abstract

One of the most popular ways to detect malware is to find a match for malware file signature pattern in the malware signature database. The malware signature database is pre-extracted and is constantly updated. Checking the similarity of input data using the stored signatures causes storage problems and increases the calculation costs. In addition, the detection based on adapting the malware signature pattern fails when changing the malware code in polymorphic malware. In this paper, by combining the static analysis of executable file structure and the machine learning algorithms, an effective method for malware detection is presented. The data set for training and evaluation of the proposed method includes 36,567 samples of malware and 17295 benign files, and the malware is clustered in 7 families. The results show that the presented method is able to detect and cluster malware from benign files with an accuracy of more than 99% and a false positive rate less than 0.4%. The proposed method has very low processing overheads compared to similar methods and the average scanning time of executable files is 0.244 second.

Key Words: *Malware Detection, Executable File Structure, Static Analysis, Clustering, Machine Learning*

* Researcher Imam Hossein University, Tehran, Iran (moabbasi@ihu.ac.ir) -Writer-in-Charge

Providing a Model of Passive Defense in the Development of Sports Facilities in Tabriz

M. Babaeian, M. R. Najafzadeh*, H. MohamadporYaghini, J. Barghi Moghadam

Abstract

The present study was conducted with the aim of presenting a passive defense model in the development of sports facilities in Tabriz with a combined approach. This study is practical in terms of purpose, and the research method is the mixed consecutive exploratory type and the collection method is survey. The statistical population in the qualitative sector includes experts in various fields including passive defense, urban management, structures and architecture, as well as experts in the field of sports management. These individuals were purposefully selected for qualitative interviews on the subject of research (17 interviews with 17 people and continued to the point of theoretical saturation). The statistical population of the quantitative section includes the same group of qualitative scratches plus a few more members (as samples). Out of 162 research samples, 128 valid questionnaires were analyzed. The data collection tool in the present study was a semi-structured interview and a researcher-made questionnaire. In the qualitative part, coding and in the quantitative part, structural equation method was used to analyze the data. In the qualitative part of the research, it was found that the categories were extracted in the form of 48 concept codes and 6 main categories. In the quantitative part, it was found that all 6 main categories of research (location, facilities, demographic, human, economic and demographic, respectively) have a good fit, so the research model has a sufficient fit.

Key Words: *Location, Passive Defense, Sports Facilities, Tabriz*

*Assistant Professor of Sports Management, Islamic Azad University, Tabriz Branch, Tabriz, Iran (najafzadeh@iaut.ac.ir)- Writer-in-Charge

Influence of Material-Related Considerations on the Durability of Pre-1300 Hijri Buildings in the Central Iranian Plateau

S. Khaleghian*, A. Salehi

Abstract

As the architectural buildings are among the national investments, their beneficial life should be as long as possible. It seems that ignoring the short life of contemporary buildings is one of the factors that has led to the emergence of complex problems in the economic and environmental fields, the early destruction of contemporary buildings and the massive production of construction debris. Since the arrival of the modern era in Iran, the long working life of the buildings and its necessity has been forgotten, despite the fact that architecture durability has always been at the center of attention in the traditional Iranian society; there are buildings in Iran's historical neighborhoods with the useful life of several hundred years. In this regard, the purpose of this research is to identify the role of materials in the survival of traditional architecture. From the perspective of the research methodology, the research method of this study is qualitative and is a type of grounded theory research, based on the induction procedure and data analysis. By systematically gathering data using library resources, field studies, interviews with traditional architects and applying an inductive analysis, some knowledge about the long useful life of traditional architecture is obtained. According to these studies, considerations related to materials can be considered as one of the factors affecting the durability of traditional Iranian architecture. Knowing how to use the materials, applying domestic materials suitable to the climate, boosting material resistance, matching closely related materials, reducing the material vulnerability against environmental issues, knowledge of material type and finally, choosing materials according to the building functionality are important matters taken into consideration in traditional domestic architecture. Traditional architects had made durable long lasting buildings relying on the collective wisdom and taking into account these considerations and patterns, in general. The patterns that have evolved over the course of history, relying on collective wisdom and have resulted in a durable architecture for Iran.

Key Words: *Material, Durability of Buildings, the Traditional Architecture, the Central Plateau of Iran*

*Doctoral Student, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran. (sima.khaleghian@yahoo.com)- Writer-in-Charge

A Comprehensive Review of Power System Resilience Against High-Impact Low-Probability Events

R. Ghaffarpour*, S. Madadi, S. Zamanian

Abstract

Nowadays, the impact of accidents with a low probability of occurrence and severe damage such as natural disasters and terrorist attacks on the power grid has been considered in many research works. According to the reported results, it is highlighted that such events can influence power systems in the form of long-term blackouts in large parts of the power system, the elimination of main equipment (ex. posts, transmission lines, and power plants), and the infliction of severe damage on the equipment. Therefore, the power system resilience concept is defined as the power system capability to reduce the effects that occur as a result of the occurrence of high-impact low-probability events. In other words, the goal of power system resilience is to create a potential capability for accelerating the recovery of the system from the impacts of such events and to adapt its functions and structure to reduce or eliminate the effects of these events. In this paper, a comprehensive review of power system resilience against high-impact low-probability events is provided. The related published works are classified in two parts including resilience against natural disasters and resilience against terrorist attacks. The published work related to each part is described in detail, and the papers of each sub-section are classified from different perspectives and the characteristics of all categories are presented.

Key Words: *Power System Resilience, Natural Disasters, Terrorist Attacks, Review Papers*

*Assistant Professor, Imam Hossein University, Tehran, Iran. (rghaffarpour@ihu.ac.ir)- Writer-in-Charge

Identification and Validation of Passive Defense Evaluation Indicators in the Establishment of Agricultural Industries

F. Abdi, A. H. Alibaygi*

Abstract

One of the important aspects in development planning is paying attention to the vulnerability of the country and cities to the threats of war and natural disasters. Hence, the protection requirements and safety consideration of agricultural-related industries, as the most fundamental food industries in society, are more evident than ever. The present applied research was conducted with the aim of identifying and validating the passive defense evaluation indicators in the establishment of agricultural industries in Kermanshah province by combined (qualitative-quantitative) exploratory method. The statistical population of the study was composed of passive defense experts whose number was determined in the qualitative part with purposeful snowball sampling approach with the theoretical saturation being obtained after 14 interviews. In the first stage namely the quantitative part, using the method of statistical population counting, information was collected from 30 experts. The required data was gathered in the qualitative part through interviewing and in the quantitative part using questionnaires. Data analysis was performed in the qualitative part using open and axial coding and in the quantitative part using $spss_{win20}$ and Smart pls_3 software. After grouping the obtained codes, 96 markers were identified and then classified in the following 9 categories: 1. spatial compatibility, 2.reinforcements and fortifications, 3.safety, 4.camouflage, deception, concealment and cover, 5. dispersion and downsizing, 6. parallelization of dependent support systems, 7. alarm and warning equipment, 8. crisis management and, 9. education and research. In the second stage namely the quantitative approach, a researcher made questionnaire was prepared in which the content validity was confirmed by professors and the reliability was confirmed by calculating Cronbach's alpha (0/87). In order to perform the validation, the amount of factor coefficients related to each dimension was calculated though the path analysis method and 77 indicators were confirmed. The z factor also showed an effective significance for each one of the 9 dimension indicator paths. The prioritization of each dimension indicator was also confirmed by the Friedman test. Due to the high sensitivity of agricultural industries, for their establishment it is necessary to pay attention to the indicators identified and approved in this research.

Key Words: *Passive Defense, Agriculture Industry, Kermanshah Province, Food Security, Evaluation Indicators*

*Assosiate Professor Agricultural Development, Razi University, Kermanshah, Iran
(baygi1@gmail.com) -Writer-in-Charge

Numerical Assessment of the Reinforced Ultra-High Performance Concrete Slab Subjected to Blast loading

M. Mokhtari, M. Ebrahimi*

Abstract

The ultra-high performance concrete which has high ductility and toughness, is widely used in the construction of new structures. The key feature of ultra-high performance concrete is that it has a very high potential in bearing strong loads such as impact loads or explosions. In this paper a 3D model of an ultra-high performance concrete slab is modeled and subjected to blast loading in LS-DYNA finite element software. To this end, different scenarios of blast loading are selected and the responses including the vertical displacement and the plastic strain contour of the slab are determined under each scenario. In this numerical model, the effect of strain rate on the dynamic behavior of materials is also considered. It is observed that when the slab is subjected to a shorter distance and stronger blast load, it first experiences the largest displacement and after that the displacement decreases and remains constant. However, in the case of exposure to a weaker blast load at a longer distance from the surface of the slab, the slab fluctuates relative to the initial position with an almost constant fluctuation period and has little displacements.

Key Words: *RC Slab, Ultra-High Performance Concrete, Numerical Analysis, Blast*

*Ph.D. Khatam-al Anbiya Construction Headquarters, Tehran, Iran (mm800295@yahoo.com) - Writer-in-Charge

Determination of the Critical Column in the Phenomenon of Progressive Collapse of the Steel Bending Frame Considering the Effect of Soil-Structure Interactions with both the Direct and Indirect Methods

M. Emami Korandeh*, S. A. Hosseini

Abstract

The phenomenon of progressive collapse is very important in the management of structures as well as the discussions related to passive defense. Due to the increasing terrorist threats in recent decades and the prevalence of such issues, this phenomenon has become more pronounced. The soil-structure interaction is also a new science in civil engineering. The structure behavior changes due to interactions with the soil and the literature review reveals various methods that have been presented for modelling this phenomenon in recent years. The main problem of the present study is to determine the critical column in the phenomenon of progressive collapse in steel flexural frame by considering the effect of soil-structure interactions with both the direct and indirect methods. The phenomenon of progressive collapse in the present study has been done with the help of column deletion scenario. In addition, the effect of soil-structure interactions has been modeled using the two direct and indirect methods in both Sap and Plaxis software. The two-dimensional steel frames are made for 5, 10, 15 and 20 story structures and are analyzed by the nonlinear static analysis and examined by the corner and middle column removal scenario. Various parameters such as the coefficient of behavior, base shear, displacement of the operating point and top of the node displacement are removed and the expansion of plastic joints are proposed as evaluation indicators. The results of the present study shows that the corner columns are in a more critical condition and the effect of soil-structure interactions in the direct method is much more significant.

Key Words: *Bending Steel Frame, Progressive Collapse, Pushover Analysis, Soil-Structure Interactions*

*Assistant Professor; Department of Civil Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
(emamiacademic@gmail.com) - Writer-in-Charge

« فراخوان مقاله »

بی‌تردید انگیزه بالا، تلاش و سخت‌کوشی اساتید، پژوهشگران، دانشجویان مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری، یک منبع قابل توجه برای انجام تحقیقات مفید و رفع برخی نیازمندی‌های مراکز پژوهشی و اجرایی کشور و نیز نیروهای مسلح می‌باشد. بهره‌گیری از چنین ظرفیتی، در دستور کار دانشکده و پژوهشکده پدافند غیرعامل دانشگاه جامع امام حسین(ع) قرار گرفته است. پژوهشگران محترم می‌توانند مقالات خود را در صورتی که در هیچ نشریه‌ای به چاپ نرسیده باشد، در قالب مورد نظر به دفتر نشریه ارسال نمایند. تاکنون مقالات زیادی با موضوعات ذیل دریافت گردیده و در هیئت تحریریه طرح و مورد ارزیابی اساتید داور قرار گرفته است. لذا سعی کرده‌ایم با انتخاب مقالات علمی و وزین محتوای فصلنامه را غنی ببخشیم.

محورهای پژوهشی:

- استحکامات دفاعی (شبیه‌سازی ضربه، نفوذ و انفجار) فناوری‌های نوین در مصالح مقاوم، سازه‌های مدفون و نیمه مدفون، سازه‌های زیرزمینی، تونل و سازه های هیدرولیکی
- سد و موانع، دفاع آبی، موانع و شبیه سازی های دفاعی
- آمایش و دفاع سرزمینی (سیستم اطلاعات مکانی (GIS) و سنجش از دور(RS) ، مکان‌یابی مراکز و مجتمع های حیاتی، حساس، عرصه‌های ایمن و پناهگاههای جمعی، چند منظوره سازی
- پدافند کالبدی(مصون سازی زیرساخت ها، شریان های حیاتی، خطوط انتقال انرژی و ...)
- CCD استتار نوین، اختفا، پوشش‌های مدرن، ماکت‌های فریب، روش‌های شناسایی و ...)
- مهندسی مدیریت بحران ناشی از تهاجم
- مدیریت انرژی
- پدافند مردم محور (دفاع غیرنظامی و ترکیبی از آن)، پدافند شهری
- سایر موارد مرتبط

«راهنمای تدوین و ارسال مقاله»

به‌منظور انتشار فعالیت‌های علمی در حوزه پدافند غیرعامل، فصلنامه علمی پدافند غیر عامل وابسته بـه دانشـکده و پژوهشـکده پدافنـد غیرعامـل دانشگاه جامع امام حسین(ع) پذیرای مقالات اساتید، محققان و پژوهشگران محترم می‌باشد.

- زبان مقاله فارسی است و باید سلیس، روان و پیراسته از غلط‌های دستوری و املایی بوده و از آوردن اصطلاحات لاتین که معادل‌های دقیـق و پذیرفته شده در زبان فارسی دارند، خودداری گردد.
- نویسنده مسئول باید طی نامه‌ای که همراه مقاله ارسال می‌دارد به صراحت قید نماید که مقاله تاکنون در جای دیگـری چـاپ نشـده و بـه مجله دیگری نیز ارسال نشده است. چنانچه خلاصه مقاله قبلاً در مجموعه خلاصه مقالات یک همایش یا سمینار بـه چـاپ رسـیده باشـد عنوان خلاصه مقاله و مشخصات کامل همایش ذکر گردد.
- پذیرش مقاله برای چاپ به عهده هیئت تحریریه نشریه است که بعد از داوری و تأیید همکـاران علمـی نشـریه، صـلاحیت چـاپ آن اعـلام خواهد شد. بدیهی است فصلنامه هیچ‌گونه تعهدی در قبال پذیرش و یا رد مقاله بر عهده نخواهد داشت و کلیـه مسـئولیت‌هـای ناشـی از صحت علمی یا دیدگاه‌های نظری و ارجاعات مندرج در مقاله به عهده نویسنده یا نویسـندگان آن خواهـد بـود. در عـین حـال نشـریه در ویرایش، تلخیص یا اصلاح مقاله پذیرفته شده آزاد است.
- مقالات مروری (Review Articles) از اشخاص مجرب، با بصیرت کامل از موضوعی خاص و مراجعه به تعداد قابل قبولی از مقالات منتشر شده (حداقل ۳ مقاله) خود پذیرفته می‌شود.

روش تدوین نسخه اصلی مقاله و شرایط فنی

صفحه اول: شامل موارد زیر می‌باشد:

- عنوان کامل مقاله (واضح، بیان‌کننده محتوای مقاله و حداکثر ۸۰ حرف)
- نام و نام خانوادگی نویسنده / نویسندگان
- نشانی، شماره تلفن، نمابر، همراه و پست الکترونیک نویسنده مسئول
- کلید واژگان (عنوان مکرر) با حداکثر ۵ واژه
- در این صفحه، نگارش انگلیسی نام و آدرس نویسندگان نیز ارائه گردد. در ضمن این صفحه برای داوران ارسال نمی‌گردد.

صفحه دوم: شامل عنوان کامل مقاله، چکیده فارسی (با حداکثر ۲۵۰ واژه حاوی: سابقه و هدف، مواد و روش‌ها، نتیجـه و بحـث). در انتهـا آوردن کلید واژگان الزامی می‌باشد. از نوشتن مشخصات نویسندگان در این صفحه خودداری گردد.

صفحه سوم: شامل عنوان کامل مقاله، چکیده مقاله بـه زبـان انگلیسـی (باحـداکثر ۲۵۰ واژه، بـه تفکیـک حـاوی: Background، Materials and Methods، Results و Conclusion و (Keywords) ۳ تا ۵ واژه می‌باشد. از نوشتن نام و آدرس نویسندگان در ایـن صـفحه نیـز اجتنـاب شـود. لازم است محتوای خلاصه فارسی و انگلیسی با یکدیگر منطبق باشند.

صفحه چهارم: شامل مقدمه، مواد و روش‌ها، نتایج و بحث به شرح زیر می‌باشد:

مقدمه: شرحی بر موضوع مورد بررسی شامل اهمیت، پیشینه مختصر، فرضیه و هدف تحقیق است.

مواد و روش: شامل روش مطالعه، شیوه به کار رفته، شیوه و نحوه اجرای پژوهش و روش تجزیه و تحلیل داده‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث: در این بخش، تمامی یافته‌های کمی و کیفی می‌تواند با استفاده از شکل‌ها، جداول و نمودارها ارائه و مورد بحث و بررسی قرار گیرد. گردد.

نتیجه‌گیری: شامل پیام اصلی تحقیق، تحلیل و تفسیر نتایج به‌صورت کلی می‌باشد.

تشکر و قدردانی: منابع مالی که منجر به انجام تحقیق و تهیه مقاله گردیده، قید شود. همچنین هرگونه کمک تکنیکی و یا نظری افراد در این بخش درج و مورد تقدیر قرار گیرد.

منابع: منابع مورد استفاده در متن مقاله شماره‌گذاری شود. [داخل کروشه] و به ترتیب استفاده در متن، در قسمت منابع مطابق استانداردIEEE تنظیم گردد.

- در صفحه فهرست منابع، ترتیب شناسه‌ها در مورد مقاله، کتابها، گزارشات و سایر مراجع به شرح ذیل است.
- **مقالات**: نام خانوادگی، نام نویسنده،...، عنوان مقاله، نام نشریه، شماره (جلد)، شماره صفحات، سال انتشار.
- **پتنت:** .سال، عنوان پتنت، (شماره پتنت)، US Patent
- **کتاب‌ها**: نام خانوادگی، نام نویسنده و یا مترجم،...عنوان کتاب، نام ناشر، شماره (جلد)، شماره صفحه، سال انتشار.
- **منابع اینترنتی:** .عنوان مقاله ،www...
- **همایش**: نام خانوادگی، نام نویسنده،...، عنوان مقاله، نام همایش، سال.
- **ضمائم یا پی‌نوشت‌ها**: برخی اشکال و اسناد ضروری مورد استفاده در مقاله مانند: نقشه، جدول، آمار و شکل‌ها و نمودار به تعداد نامحدود با ذکر شماره و عنوانی که در مقاله آمده است، همراه با توضیحات لازم و ذکر منبع در زیر جدول، نمودار یا شکل، بدون خط خوردگی، هرکدام بر روی یک صفحه در فایل جداگانه ارسال شود.

نکته ۱: کلیه حروف اول انگلیسی با حروف بزرگ نوشته شود و علامت ربط ویرگول (،) در مقالات فارسی و در مقالات انگلیسی (,) با دقت نشانه‌گذاری شود.

نکته ۲: در تهیه مقالات حتی‌الامکان از منابع جدید استفاده شود.

نکته ۳: اهداف و کاربرد مقالات به وضوح در مقاله‌های پژوهشی و ترویجی ذکر گردد.

صفحه آرایی:

❖ مقاله بایستی روی کاغذ A4 با حاشیه بالا و پایین ۳ سانتی‌متر، چپ و راست ۲/۵ سانتی‌متر و با قلم B Nazanin- 12 نرم‌افزار Word 2007 تحت Windows Xp و با فواصل بین خطوط به صورت Single تایپ شود.

صفحه اول مقاله		نام قلم	اندازه قلم
بخش فارسی	عنوان مقاله (حداکثر۱۵ کلمه، وسط‌چین)	B Titr	۱۴
	نام نویسنده‌ها (نویسنده پاسخگو با ستاره مشخص شود)	B Lotus Bold	۱۲
	محل انجام تحقیق، مرتبه علمی یا عنوان شغلی	B Lotus	۱۰
	چکیده (حداکثر ۱۰ خط، تک ستونی)	B Nazanin	۱۱
	واژه‌های کلیدی (حداقل ۵ کلمه)	B Nazanin Bold	۱۱
بخش لاتین	عنوان مقاله (حداکثر۱۵ کلمه، وسط‌چین)	Times New Roman Bold	۱۴
	نام نویسنده‌ها (نویسنده پاسخگو با ستاره مشخص شود)	Times New Roman Bold	۱۰
	محل انجام تحقیق	Times New Roman	۹
	چکیده (تک ستونی)	Times New Roman Italic	۱۰
	واژه‌های کلیدی (حداقل ۵ کلمه)	Times New Roman	۱۰
	رایانامه نویسنده پاسخگو (به صورت پاورقی)	Times New Roman	۸
متن مقاله		**نام قلم**	**اندازه قلم**
متن مقاله دو ستونی (Single Space)		B Nazanin	۱۱
کلمه‌های انگلیسی داخل متن		Times New Roman	۹
عنوان بخش‌ها (مثال: ۳.)		B Nazanin Bold	۱۳
عنوان زیر بخش‌ها (مثال: ۱،۳.)		B Nazanin Bold	۱۲
شماره جدول‌ها و شکل‌ها (وسط چین)		B Nazanin Bold	۱۰
توضیحات جدول‌ها و شکل‌ها		B Nazanin	۱۰

فصلنامه علمی
پدافند غیرعامل

همراهان صمیمی، سلام:

نشریه‌ای که هم اینک با نام «فصلنامه علمی پدافند غیرعامل» در پیش روی دارید حاصل تلاش گروهی از اساتید و پژوهشگران است. چنانچه پیشنهاد و انتقادی دارید آن را بررسی و به کار خواهیم بست. دفتر نشریه چشم‌انتظار نامه‌ها و پاسخگوی تماس‌های شماست. چنانچه تمایل به همکاری با ما را دارید، کافیست فرم زیر را تکمیل و به دفتر نشریه ارسال فرمایید.

نام: **نام خانوادگی:**

میزان تحصیلات: **رشته:** **گرایش:** **محل تحصیل:**

آیا سابقه همکاری با نشریه دیگری را دارید: **نام نشریه:**

موضوعات و زمینه‌های مورد علاقه:

فصلنامه علمی
پدافند غیرعامل

فرم اشتراک نشریات دانشکده

پژوهشگران و علاقمندان گرامی می‌توانند در صورت تمایل، فرم اشتراک نشریه را تکمیل و به نشانی زیر ارسال فرمایند.

شخصی ☐ **نام:** **نام خانوادگی:** **تاریخ اشتراک:**

مؤسسه ☐

تعداد مورد نیاز:

وضعیت اشتراک: **جدید** ☐ **تجدید اشتراک** ☐ **کد اشتراک قبلی:**

شغل: **نشانی کامل:**

تلفن: **همراه:** **نمابر:** **پست الکترونیکی:** **ص پ:** **ک پ:**

نشانی: تهران، بزرگراه شهید بابائی، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، موقعیت مرکزی، مدیریت تبادل و نشر دانش، دفتر نشریه

- **تلفن: ۷۴۱۸۸۲۳۶** **رایانامه: padafandg@ihu.ac.ir**
- در صورت تغییر نشانی و یا عدم دریافت نشریه، مراتب را کتباً به دفتر نشریه اعلام فرمایید.

Contents

Title **Page**

❖ **Determination of the Critical Column in the Phenomenon of Progressive Collapse of the Steel Bending Frame Considering the Effect of Soil-Structure Interactions with both the Direct and Indirect Methods**.....1

M. Emami Korandeh, S. A. Hosseini

❖ **Numerical Assessment of the Reinforced Ultra-High Performance Concrete Slab Subjected to Blast loading**.....2

M. Mokhtari, M. Ebrahimi

❖ **Identification and Validation of Passive Defense Evaluation Indicators in the Establishment of Agricultural Industries**.....3

F. Abdi, A. H. Alibaygi

❖ **A Comprehensive Review of Power System Resilience Against High-Impact Low-Probability Events** 4

R. Ghaffarpour, S. Madadi, S. Zamanian

❖ **Influence of Material-Related Considerations on the Durability of Pre-1300 Hijri Buildings in the Central Iranian Plateau**.....5

S. Khaleghian, A. Salehi

❖ **Providing a Model of Passive Defense in the Development of Sports Facilities in Tabriz**.....6

M. Babaeian, M. R. Najafzadeh, H. MohamadporYaghini, J. Barghi Moghadam

❖ **Static Analysis of the Executable File Structure to Detect and Cluster Unknown Malware**.....7

M. Abbasi, H. Tanha

Members of Academic Writer

M. R. Delavar (PhD)
(Professor, Tehran University)

R. Hosnavi Atashgah (PhD)
(Professor, Malek Ashtar Industrial University)

S. B. Hosseini (PhD)
(Professor, Tehran University of Art)

A. Saeidi (PhD)
(Associate Professor, Imam Hossein Comprehensive University (Pbh))

M. Modiri (PhD)
(Associate Professor, Malek Ashtar Industrial University)

S. M. Mosa Kazemi Mohammadi (PhD)
(Associate Professor, Tehran Payame Noor University)

S. Khazaei (PhD)
(Associate Professor, Imam Hossein Comprehensive University (Pbh))

M. Saadati (PhD)
(Professor, Imam Hossein Comprehensive University (Pbh))

❊ ❊ ❊ ❊ ❊ ❊ ❊ ❊ ❊ ❊

This Number Judges

H. Alami

M. R. Alizade Pahlavani

M. Modiri

S. Khazaei

S. M. Mosakazemi Mohammadi

S. Bejani

R. Dalir

B. Orogi

Y. Morab

R. Haghmaram

S. Molaei

M. H. Taghavi Parsa

S. Peyman

In The Name of Allah

Imam Hossein Comprehensive University

Scientific Journal of Passive Defense

Summer 2022, Vol. 13, No. 2

International Standard Serial Number (ISSN): 2008-6849

Owner: Imam Hossein Comprehensive University

Manager: Dr. Reza Ghaffarpour

Editor: Dr. Mahdi Modiri

Vice Editor-in-Chief: Dr. Ali Saeidi

Executive Director: Mostafa Azimi

Expert: Aziz Tabarzadi

Literary Editor: Monireh Hamedani

Typesetting and Layout: Amir Mahdi Dadashzadeh

Address: University publications office, Central location Site, Imam Hossein Comprehensive University, Shahid Babaee Highway, Tehran, I. R. Iran

Tel: 02174188236

Website: http://pd.ihu.ac.ir

Email: Padafandg@ihu.ac.ir

Subjects Contained in the Journal, do not Represent the View at the Research Center.
Accuracy of the Contents for Each Article is the Responsibility of the Author.
Journal in Rejection, Acceptance or Edition of the Articles is Free.
All Intellectual and Finantial Rights are Reserved for the Research Center.
The Adaptation of Contents of the Journal with the Mention of the Source is Permitted.

This Journal is Indexed in the Following Sites:

- **Islamic World Science Citation: www.isc.gov.ir**
- **Regional Information Center for Science and Technology: www.ricest.ac.ir**
- **Database Bank of Scientific Publications: ww.magiran.com**
- **Noor specialized magazines website www.noormags.ir**

Google Scholar: www. scholar.google.com
Civilica: www.civilica.com

عناوین مقالات فصلنامه پدافند غیرعامل

سال دوازدهم، شماره ۲ (پیاپی ۴۶) ، تابستان ۱۴۰۰

- مروری تحلیل ترافیک شبکه گمنام‌ساز پارس با استفاده از یادگیری ماشین
  حامد همایون، مهدی دهقانی، حمید اکبری
- ارائه راهکارهای پدافند غیرعامل در معماری مراکز درمانی (نمونه موردی: مرکز آموزشی درمانی شهید بهشتی قم)
  یوسف اسماعیل‌زاده، مهتا تاری
- شناسایی اشخاص از فواصل دور با استفاده از تصاویر ویدئوی راه رفتن آن‌ها
  علی امینی، حسین خالقی بیزکی
- مقدمه‌ای بر مقاوم‌سازی الگوریتم‌های رمزنگاری در برابر حملات کانال جانبی با استفاده از روش پیاده‌سازی آستانه‌ای
  جواد علیزاده، حمید قنبری
- تجزیه و تحلیل دینامیکی مخازن آب بتن آرمه تحت اثر انفجار با در نظر گرفتن اندرکنش آب و سازه
  مجید مقدم، سید وحید رضوی طوسی، مهرداد شهربانوزاده
- پدافند غیرعامل سامانه قدرت در برابر تهدیدات الکترومغناطیسی
  رضا شعبانی‌نژاد، عارف بالی‌لاشک، ایمان سلطانی، حسین فیاضی
- راهبردهای تأمین و بومی‌سازی در سامانه‌های قدرت با رویکرد پدافند غیرعامل
  فرشید کامرانی ، عارف بالی لاشک، ایمان سلطانی، حسین فیاضی
- بررسی متغیرهای مؤثر بر پایداری ساختمان‌ها در برابر حریق
  وحید بهرامی
- استتار و اختفای حرارتی سنگرهای انفرادی در مناطق دشت
  محمد کاظمی، صفا خزائی

عناوین مقالات فصلنامه پدافند غیرعامل

سال دوازدهم، شماره ۳ (پیاپی ۴۷) ، پاییز ۱۴۰۰

- ارزیابی خرابی پیش‌رونده در سازه‌ی فضا کار با سناریوی حذف هم‌زمان ستون و مهاربند (نمونه موردی: سازه تونل توفان عمودی)
  رامتین رضاخانی، شاهرخ رضایی
- بررسی اثر قابلیت‌ها و محدودیت‌های ژئومورفولوژی بر پدافند غیرعامل سواحل اروندرود محدوده شهرستان آبادان
  رضا مظاهری، مهدی مومی پور، مهدی امانت بهبهانی
- اثر تعداد اعضای نواری در بررسی عددی رفتار دیوارهای برشی فولادی لاغر بدون سخت‌کننده با رویکرد پدافند غیرعامل
  سیداحسان ابطحی، سیدحسین حسینی لواسانی
- برنامه‌ریزی هماهنگ منابع انرژی نوظهور در جهت بهبود تاب‌آوری ریزشبکه‌های جزیره‌ای تحت یک رویکرد تصمیم‌گیری دومرحله‌ای
  رضا غفارپور، سعید زمانیان
- رتبه‌بندی میزان تاب‌آوری مراکز مهم آسیب‌پذیر از سیلاب با استفاده از روش ترکیبی AHP-TOPSIS (مطالعه موردی شهر همدان)
  بیتا روحی، مهناز میرزا ابراهیم طهرانی، علیرضا استعلاجی، محمدرضا فرزاد بهتاش
- تأثیر پیش‌تنیدگی در پاسخ دینامیکی دال‌های بتنی در برابر انفجار
  سیدشهاب امامزاده
- مطالعه راهبردی کاهش آسیب‌پذیری سامانه‌های قدرت در برابر پالس‌های الکترومغناطیسی
  رضا شعبانی‌نژاد، عارف بالی‌لاشک، ایمان سلطانی، حسین فیاضی
- پهنه‌بندی حریم امن زیرساخت شهرهای پشتیبان جنگ از منظر پدافند غیرعامل مطالعه موردی شهر بروجرد
  علی عبدالملکی، مهدی صفری نامیوندی

عناوین مقالات فصلنامه پدافند غیرعامل

سال دوازدهم، شماره ۴ (پیاپی ۴۸)، زمستان ۱۴۰۰

- راهبردهای مقابله با خطرات حاصل از عوامل تهدیدکننده سلامت در محصولات کشاورزی راهبردی وارداتی
  مهرداد اسدیان، مجتبی سعادتی، مهدی گودرزی

- رویکرد راهبردی به استفاده از پلاسما در برابر تهدیدات ناشی از پالس‌های الکترومغناطیسی
  عارف بالی، حسین فیاضی، محمدرضا علیزاده پهلوانی

- اولویت‌بندی تهدیدهای محتمل و ارزیابی موقعیت زیرساخت‌های شهر سمنان در پهنه‌های آسیب‌پذیر با رویکرد پدافند غیرعامل
  رضا بابایان آتنی، مجید ولی شریعت پناهی، نصرالله فلاح تبار، زهرا خدایی

- واکاوی مفهوم پدافند غیرعامل در آمایش شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای با بهره‌گیری از تجربیات دفاعی (مطالعه موردی: استان خوزستان)
  رسول افسری، جهانبخش بالیست، حسن دارابی، محمدرضا میرزایی

- مکان‌یابی و طراحی پارک‌های جنگلی چند منظوره با رعایت الزامات پدافند غیرعامل (نمونه موردی منطقه ۴ تهران)
  گلناز حاجی مرادی، آرمین رجب‌پور، حبیب الله سهامی

- بررسی خاموشی‌های سراسری و ارائه راهکارهای مقابله با تهدیدات و آسیب‌پذیری‌های شبکه سراسری با رویکرد پدافند غیرعامل
  محمد مهرابی، حسین ذکی دیزجی، ستار قهرمانی، محمد لطف‌آبادی

- راهبردهای امن‌سازی بیمارستان‌های موجود در کلان‌شهرها در شرایط بحران با رویکرد پدافند غیرعامل
  محمد مهدی عبداله‌زاده، عارف بالی، ایمان سلطانی

- ارزیابی میزان خطرپذیری کالبدی سکونتگاه‌های شهری (مطالعه موردی: شهر اهواز)
  مژده پوریار محمدی، حسن احمدی، علی‌اکبر سالاری‌پور، صادق نداف

- ارزیابی عددی اثرات حاکم بر انفجار زیر آب در سدهای بتنی به کمک روش بدون شبکه
  رامتین صبح خیز فومنی، علیرضا مردوخ پور، همتا خانجانی

عناوین مقالات فصلنامه پدافند غیرعامل

سال سیزدهم، شماره ۱ (پیاپی ۴۹)، بهار ۱۴۰۱

- بررسی عددی عملکرد لرزه‌ای دیوارهای برشی فولادی لاغر بدون سخت کننده با رویکرد پدافند غیرعامل
  سید احسان ابطحی، سید حسین حسینی لواسانی

- ارائه مدلی برای مدیریت جریان ورودی در شبکه‌های رایانه‌ای به‌منظور جلوگیری از حمله محروم‌سازی از سرویس بر اساس نظریه بازی‌ها
  پژمان غلام نژاد

- بررسی تحلیلی و عددی نفوذ پرتابه با دماغه دوپله در اهداف بتنی و با در نظر گرفتن اصطکاک
  ابوذر ملکیان، خداداد واحدی، علیرضا نادف اسکویی، روح اله حسینی

- مقایسه مقاومت ضربه‌ای بتن قلیافعال و بتن معمولی تحت حرارت بالا بر اساس آزمون **XRD** و **SEM**
  محمدحسین منصورقناعی، مرتضی بیک لریان، علیرضا مردوخ پور

- نقش پدافند غیرعامل در مقابله با حملات اگروتروریسم در منابع طبیعی (مطالعه موردی: عوامل قارچی)
  آناهیتا شریعت

- پدافند غیرعامل در زمینه تهدیدات معیشتی از منظر قرآن و روایات
  محسن شهیدی، مریم حاجی عبدالباقی، سید محسن میرباقری

- مکان‌یابی نقشه‌های خطرپذیری سیلاب رودخانه دز با رویکرد پدافند غیرعامل (محدوده مطالعاتی: شهرستان دزفول)
  حامد پورصمصام، الهام اکبری، کاظم حمادی، علی محمد آخوندعلی