مجله علمی - پژوهشی مواد پرانرژی
سال ششم- شماره 3- شماره پیاپی 13- زمستان 90

روش‌های بهینه‌سازی پدافندی ساختمان‌های کلیدی در برابر انفجار

نوید رهگذر[1]، عبدالرضا سروقد مقدم*[2]
۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه عمران
۲- پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
(تاریخ وصول: ۹۰/۲/۴ ، تاریخ پذیرش: ۹۰/۶/۱۵)

چکیده
ارتقای مقاومت ساختمان‌های موجود در مقابل بارهای انفجار با هدف استمرار خدمت رسانی و حفظ سلامت نیروهای انسانی با روش‌های بهینه‌سازی پدافندی غیرعاملی مختلفی قابل حصول است. روش‌های بهینه‌سازی، گزینه‌ای است که علاوه بر تأمین ملاحظات فنی و اقتصادی به شیوه‌ای مناسب، میزان خسارت به تأسیسات، تجهیزات و ساختمان موجود و تلفات احتمالی نیروی انسانی را کاهش دهد. در این مقاله روالی برای تعیین روش پدافندی بهینه در برابر انفجاری توسط تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS) ارائه می‌شود. با کاربرد موردی تکنیک‌های توسعه داده شده، گزینهٔ "افزودن دیوار" به عنوان مناسب‌ترین روش‌ها بهینه‌سازی پدافندی از میان روش‌های مورد مطالعه برای گونه ای از ساختمان‌های کلیدی بتنی در مقابل بارهای انفجاری تعیین شد.

واژه‌های کلیدی: روش‌های پدافندی بهینه‌سازی، تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS).

1- مقدمه
انفجار و اثرات مخرب ناشی از آن به عنوان شایع‌ترین تهدید حفاظتی و امنیتی دارای ماهیتی متغیر و غیرقابل پیش‌بینی است. انفجار با اعمال بارگذاری شدید در مدت زمان بسیار کوتاه، پتانسیل ایجاد خسارت و تلفات زیاد در انواع سازه‌ها است. در این میان ساختمان‌های کلیدی موجود با توجه به نوع کاربری و اهمیت آن‌ها نسبت به سازه‌های دیگر بیشتر در معرض بارهای انفجاری و خطر ناشی از آن همانند خرابی پیش‌رونده هستند. خرابی پیش‌رونده بیانگر گسترش خرابی موضعی ناشی از انفجار است که به وقوع خرابی در کل و یا قسمت بزرگی از ساختمان می‌انجامد. با بهینه‌سازی مناسب ساختمان‌های کلیدی می‌توان مقاومت ساختمان در مقابل انفجار و انتشار خرابی در آن‌ها را کاهش داد و ایمنی جانی و روانی نیروهای انسانی داخل آن‌ها را نیز تأمین کرد. بدین با توجه به اهمیت موضوع، روش‌های بهینه‌سازی پدافندی متنوعی جهت کاهش خسارت‌های مستقیم و غیرمستقیم ناشی از انفجار معرفی شده است. هر یک از این روش‌های دارای ویژگی و کاربردهای منحصر به فردی هستند؛ که با انتخاب روش بهینه‌سازی مناسب هر ساختمان از میان روش‌های پدافندی موجود می‌توان شرایط آن‌ها را در مقابل انفجار به شیوه‌ای مطلوب بهبود داد.

محققان روش‌های تحلیل تصمیم‌گیری متعددی برای حل مسائل پیچیدهٔ تصمیم‌گیری و ایجاد توانایی انتخاب صحیح و اجتناب از انتخاب سلیقه‌ای یک گزینه از میان گزینه‌های مدنظر معرفی نمودند؛ روش‌های تحلیل

* E-mail: moghadam@iiees.ac.ir

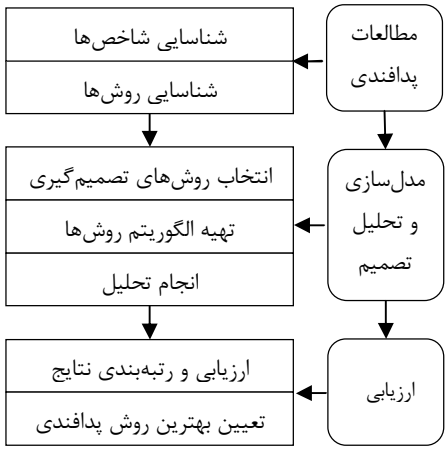
۱- دانشجوی دکترا
۲- استادیار

Archive of SID
www.SID.ir

چندمعیاره (MADM)، تحلیل تصمیم (DA)، تئوری مطلوبیت چند مشخصه (MAUT)، تصمیم‌گیری چند شاخصه (MCDM)، تحلیل هزینه- سود (CBA)، تحلیل تصمیم‌گیری (K-T)، تئوری قضاوت اجتماعی (SJT) نمونه‌هایی از این روش‌ها هستند؛ که با کاربرد این روش‌ها می‌توان بدون در نظرگیری سلایق کارشناسان در موضوع تصمیم‌گیری، مناسب‌ترین گزینه را به شیوه‌ای علمی و منطقی انتخاب نمود. نحوه به‌کارگیری روش‌های علمی تصمیم‌گیری برای کاهش خطای انتخاب مسئولان و تصمیم‌گیرندگان در پروژه‌های عمرانی تنها مورد مطالعهٔ برخی از محققین بوده است [3-1]. در این مطالعه نیز برای بررسی امکان‌پذیری کاربرد این روش‌ها در پروژه‌های بهینه‌سازی پدآفند غیرعاملی، نحوهٔ کاربرد دو روش پرکاربرد تحلیل تصمیم‌گیری چندمعیاره (MADM) یعنی تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و شباهت به گزینهٔ ایده‌آل (TOPSIS) پرداخته می‌شود. بدین منظور در بخش دوم مقاله، الگوریتم کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در پروژه‌های پدآفند غیرعامل ارائه می‌شود و سپس با توسعه الگوریتم مذکور در بخش های سوم و چهارم، نتایج اولویت‌بندی و نحوهٔ انتخاب روش پدافندی مناسب از میان 5 روش کلی بهینه‌سازی با دو روش تصمیم‌گیری مذکور برای تیپی از ساختمان‌های کلیدی به طور نمونه در بخش پنجم با یکدیگر مقایسه می‌شوند.

2- الگوریتم کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری در بهینه‌سازی پدآفند غیرعاملی ساختمان‌ها

تصمیم‌گیری و انتخاب نامناسب به دلایلی چون کمبود تجهیزات، مصالح، نیروی انسانی، تخصص و برگشت‌ناپذیر بودن سرمایه در پروژه‌های بهینه‌سازی پدافندی ساختمان‌های موجود غیر قابل قبول است. در پروژه‌های مذکور گاه تصمیم‌گیری و انتخاب صحیح گزینهٔ مناسب به دلیل تعدد روش‌های پدافندی موجود و پیچیدگی شاخص‌های کمی و کیفی موثر بر بهینه‌سازی امری دشوار است؛ در این مطالعه با ارائه الگوریتم کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری، روالی ساده برای تحلیل این نوع مسائل پیچیده تدوین می‌شود. به نظر فورمن [4] با کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری می‌توان از طریق یک تئوری قوی با فرموله کردن و ترکیب ارجحیت هر یک از گزینه‌ها و یا شاخص‌های نسبت به یکدیگر، گزینه‌ها مدنظر برای یک پروژه را الویت‌بندی نمود. شکل 1 الگوریتم نحوهٔ کاربرد روش‌های تصمیم‌گیری در پروژه‌های بهینه‌سازی پدافندی را نشان می‌دهد. این الگوریتم دارای سه سطح اصلی مطالعات، مدل‌سازی- تحلیل تصمیم‌گیری و ارزیابی نتایج است.



شکل 1- الگوریتم مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در پروژه‌های پدآفند غیرعامل.

3- مطالعات پدآفند غیرعاملی

انجام مطالعات پدآفند غیرعاملی به عنوان اولین سطح از الگوریتم تصمیم‌گیری، مهم‌ترین بخش برای اولویت‌بندی روش‌های پدافندی بهینه‌سازی ساختمان‌های موجود است. در این سطح با شناسایی و دسته‌بندی شاخص‌های موثر بر بهینه‌سازی و تعیین مجموعه‌ای از روش‌های بهینه‌سازی مدنظر یک پروژه، اطلاعات لازم برای انجام تحلیل‌های تصمیم‌گیری جمع‌آوری می‌شود.

3-1- شاخص‌های بهینه‌سازی

انتخاب روش مناسب بهینه‌سازی ساختمان‌ها در مقابل انفجار و اثرات ناشی از آن به شاخص‌های کمی و کیفی متعددی وابسته است. شناخت، جمع‌آوری و دسته‌بندی دقیق این شاخص‌ها نقشی کلیدی برای تمیز دادن ضعف و قوت روش‌های پدافندی نسبت به یکدیگر دارند. در این مطالعه از پنج گروه برای پوشش تمام شاخص‌های کمی و کیفی موثر بر بهینه‌سازی ساختمان‌های موجود استفاده می‌شود. این گروه‌ها شامل پنج شاخص اصلی 1- شرایط موجود ساختمان، 2- درجه اهمیت ساختمان، 3- هدف پدافندی، 4- شرایط فنی بهینه‌سازی و 5- ملاحظات اقتصادی بهینه‌سازی هستند.

گروه اول یعنی "شرایط موجود ساختمان" شامل مجموعه‌ای از زیرشاخص‌ها برای بررسی شرایط سازه‌ای و معماری موجود ساختمان‌ها است؛ که ضعف‌ها

Archive of SID

www.SID.ir

و مزایای ساختمان موجود با بررسی عملکرد مواردی چون وضعیت باربری، مسیر انتقال بار، اتصال و پیوستگی المان‌های باربر، کیفیت اعضا و مصالح ساختمان در برابر انفجار امکان‌پذیر است. گروه دوم شاخص‌های بهینه‌سازی تعیین "درجه اهمیت ساختمان" است که با توجه به نوع کاربری، تعداد ساکنین، تعداد طبقات، مساحت بنا، ارزش فعلی و سرمایه درون آن تعیین می‌شود. گروه سوم نیز به عنوان یکی از مؤثرترین شاخص‌های بهینه‌سازی، تعیین "هدف پدافندی" است؛ که بر اساس سطح خطر انفجار و سطح عملکرد مدنظر کارفرما تعیین می‌شود. میزان "کیفیت طرح و اجرای روش‌های پدافندی" گروه چهارم شاخص‌های بهینه‌سازی است که بر اساس سطح دانش و تجربه طراحان و مجریان، وجود راهنماهای بهینه‌سازی انفجاری، فناوری و تجهیزات ساخت، وجود دستورالعمل اجرا و وجود مصالح خاص پروژه حاصل می‌گردد. گروه پنجم "ملاحظات اقتصادی" نیز به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها برای کافرمایان به میزان هزینه‌ها و سودها حاصل از بهینه‌سازی پدافندی ساختمان‌ها وابسته است. هزینه‌های بهینه‌سازی شامل مواردی چون هزینه‌های طراحی، اجرا، نظارت و هزینه‌های ناشی از تداخل اجرای بهینه‌سازی با امور و حضور ساکنین در حین و مدت زمان اجرا است.

3-2- روش‌های بهینه‌سازی پدآفند غیرعاملی

دومین بخش از مطالعات تصمیم‌گیری، شناسایی و انتخاب مجموعه‌ای از روش‌های بهینه‌سازی پدآفند غیرعامل برای ساختمان مورد مطالعه است. تاکنون روش‌های پدافندی متنوعی برای بهینه‌سازی موضعی هر یک از المان‌ها سازه در برابر انفجار و یا بهینه‌سازی کل سیستم سازه موجود برای کاهش اثرات ناشی از آن همانند وقوع خرابی پیش‌رونده در سازه معرفی شده است. روش‌های پدافندی بهینه‌سازی موضعی شامل بهینه‌سازی موضعی دیافراگم، اتصال، ستون‌ها، تیرها و یا تقویت دیوارهای ساختمان موجود می‌باشد. بهینه‌سازی موضعی دیافراگم شامل مواردی نظیر افزودن ورق فولادی، تیر فولادی و یا کابل فولادی دیافراگم می‌باشد. بهینه‌سازی اتصال نیز با استفاده از مصالح روکش بتنی، روکش فولادی و الیاف پلیمری و یا استفاده از تنگ‌های خارجی درون آن امکان‌پذیر است. بهینه‌سازی موضعی ستون‌ها نیز با روکش‌های بتنی، فولادی و الیاف پلیمری و یا پوشش‌های محافظ محتوی آب انجام می‌شود.

تیرها را نیز با مواردی چون روکش‌های بتنی، فولادی و پلیمری و استفاده از کابل‌های پیش‌تنیده می‌توان تقویت نمود. همچنین برای بهینه‌سازی موضعی دیوارها در مقابل بارهای انفجار نیز از روکش‌های بتنی، پلیمری و یا الاستوپلیمر و پروفیل‌های فلزی نورد شده استفاده می‌شود. همچنین جهت بهینه‌سازی کل سیستم سازه‌ای برای کنترل گسترش خرابی ناشی از انفجار نیز از تمهیدات کلی نظیر افزودن قاب خمشی بتنی و یا فولادی، استفاده از قاب خرپا و یا قاب تلسکوپی و همچنین افزودن دیوارهای برشی بتنی و یا فولادی و یا دیوارهای غیرسازه‌ای میانقاب استفاده نمود. در این مطالعه جهت اولویت‌بندی روش‌های پدافندی، شش روش برای بهینه‌سازی ساختمان‌های کلیدی در مقابل انفجاری بررسی می‌شوند. این روش‌ها هر یک دارای ویژگی‌های منحصر به فردی هستند؛ که در ادامه با توجه به نحوهٔ عملکرد پدافندی آن‌ها در دو گروه کلی مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

گروه اول شامل روش‌های بهینه‌سازی افزودن دیوار برشی، تقویت ستون با پوشش‌های فلزی، تقویت دیوارهای با پروفیل‌های فولادی سرد نورد شده[1] است. این روش‌های بر اساس سطح خطر انفجار و هدف پدافندی مدنظر کارفرما برای کاستن از خرابی المان‌های کلیدی طراحی می‌شوند؛ که با تأمین مقاومت و شکل‌پذیری موضعی لازم در آن‌ها از خسارت موضعی اولیه در المان‌های کلیدی ساختمان‌ها جلوگیری می‌شود. با افزودن دیوار برشی می‌توان مقاومت کلی و نامعینی ساختمان را افزایش داد. همچنین دیوارها با عملکرد قوسی، مسیرهای انتقال بار انفجار از کف‌ها به فونداسیون را افزایش می‌دهند؛ و با داشتن وزن و حجم زیاد مستقیماً در برابر شوک اولیه انفجار به نحو مناسبی رفتار می‌کند. با تقویت ستون با پوشش‌های فلزی نیز می‌توان از تخریب ترد ستون هنگام وقوع انفجار جلوگیری به عمل آورد. با این روش پایداری سقف تأمین می‌شود. در این روش گاه از پوشش‌های فلزی با آلیاژهای حافظه‌دار استفاده می‌شود که قابلیت تغییرشکل و بازگشت سریع به حالت اولیه را پس از وقوع بارگذاری انفجار دارند. این پوشش‌ها امواج منتقل شده به ستون را کاهش می‌دهند و از احتمال شکست ناگهانی ستون‌ها و پرتابه شدن اجزای آن ممانعت می‌کند. یکی دیگر از روش‌های بهینه‌سازی پدافندی برای محافظت از بخش‌های داخلی ساختمان، استفاده از پروفیل‌های فولادی در دیوارهای پیرامونی است که با اتصالاتی ویژه به سقف‌ها در متصل می‌شوند. این پروفیل‌ها قابلیت تغییرشکل

1- Cold Form Steel Stud

Archive of SID

www.SID.ir

غیرخطی زیادی در پاسخ به بارهای انفجار هستند و با بازتوزیع تنش در پوسته پروفیل فلزی، انرژی حاصل از بارهای دینامیکی انفجاری را مستهلک می‌کنند. گروه دوم شامل روش‌های تقویت سقف با استفاده از کابل‌های پس‌تنیده[1]، محافظت از سازه با قاب بتنی در پیرامون ساختمان و روش بهینه‌سازی دینامیکی اتصال با سیستم‌های الاستیک[2] است. در این گروه روش‌های بهینه‌سازی پدافندی مستقل از طراحی برای یک سطح و نوع بار انفجاری خاص، به طور غیرمستقیم پایداری ساختمان‌های کلیدی تأمین می‌شود. این روش‌ها در صورت ایجاد خسارت موضعی در المان‌های کلیدی با ایجاد مسیرهای جایگزین انتقال بار، نیاز انفجاری متمرکز در محدوده خرابی را به محدوده سالم ساختمان انتقال می‌دهند. بدین صورت با کاستن از احتمال گسترش خرابی حاصل از تخریب موضعی المان‌ها از وقوع خرابی پیش‌رونده در سازه ممانعت می‌شود. روش بهینه‌سازی تقویت دیافراگم با کابل‌های پس‌تنیده به منظور حداقل کردن تخریب دال‌ها استفاده می‌شود. کابل‌های پس تنیده با قابلیت فرم‌پذیری انحنایی (عمل زنجیره‌ای) در برابر تغییر شکل‌های برشی و خمشی درون صفحه‌ای تشدید شده، دیافراگم‌هایی مقاوم و منسجم ایجاد می‌کنند؛ که باربرداری از قسمت آسیب‌دیده، بارهای تشدید شده را به المان‌های سالم انتقال می‌دهند و با ایجاد مسیری جایگزین یکپارچگی ساختمان را بهبود می‌دهند. استفاده از قاب‌های بتنی در خارج ساختمان‌های کلیدی نیز با داشتن زیبایی‌های معماری، احتمال تهدیدهای تروریستی مهاجمین را کاهش می‌دهد. این روش چون محافظی عظیم با اجرا در پیرامون ساختمان خرابی اعضای اصلی سازه‌ای در برابر شوک و موج‌های مستقیم انفجار و ضربه حاصل از ترکش‌ها می‌کاهد. همچنین در صورت حذف المان‌های باربر در انفجار، قاب با ایجاد مسیرهای جایگزین بار، بارهای ثقلی تشدید شده را بازتوزیع می‌کند. با روش تقویت اتصال با سیستم‌های الاستیک نیز می‌توان ظرفیت‌های دورانی و کششی اتصال را برای ایجاد پیوستگی المان‌های افقی در صورت حذف المان‌های قائم در انفجار بهبود بخشید. در این روش با افزایش مقاومت و شکل‌پذیری محل اتصال المان‌های خمشی افقی با المان‌های باربر قائم، عملکرد زنجیره‌وار المان‌ها در بازتوزیع بار بهبود می‌یابد.

4- مدل‌سازی و تحلیل‌های تصمیم‌گیری

تصمیم‌گیری از مهم‌ترین مشخصه‌های انسانی است و نتایج تصمیم‌گیری تابع عوامل مهمی نظیر موضوع تصمیم، فرد تصمیم‌گیرنده، زمان تصمیم‌گیری است [5]. استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری وابستگی نتایج تحلیل به این عوامل را می‌کاهد و امکان در نظرگیری توأم روش‌ها و شاخص‌های کمی و کیفی پیچیده را ممکن می‌سازد. در این مطالعه به منظور تصمیم‌گیری برای انتخاب روش بهینه پدافندی از مدل‌های تحلیلی تصمیم‌گیری چند معیاره[3] استفاده شده است. بدین منظور از دو مدل تکنیک شباهت به گزینه ایده‌آل[4] و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی[5] برای تأمین دقت و صحت نتایج تحلیل تصمیم‌گیری استفاده می‌گردد. در بخش‌های زیر برای تعیین مناسب‌ترین روش پدافندی بهینه‌سازی انفجاری با بیان اصول کلی روش‌های تصمیم‌گیری، خلاصه‌ای از نتایج تحلیل برای ساختمان مورد مطالعه توسط دو روش مذکور ارائه می‌گردد.

4-1- فرآیند تحلیل سلسه مراتبی

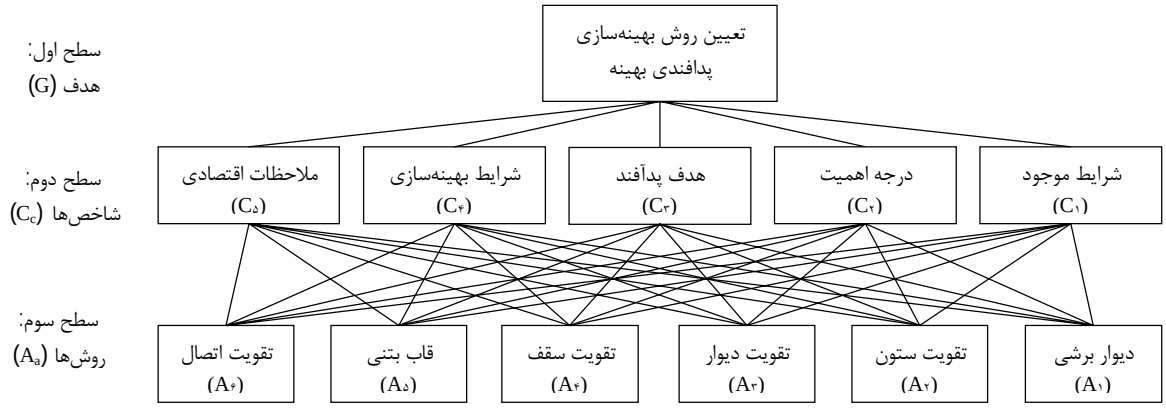
فرآیند تحلیل سلسله مراتبی سازگاری زیادی با نحوه تفکر و فرآیند ذهنی انسان دارد و الگوریتم آن بر اساس یک منطق ریاضی توسط توماس ال ساعتی برای نخستین بار در سال 1980 مطرح شد [6]. تحلیل سلسله مراتبی تصمیم‌گیری‌ها و قضاوت‌های ذهنی را به شیوه‌ای منطقی ترکیب می‌نماید تا انتخاب مناسب بدست آید [7]. فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و کاربرد آن بر سه اصل 1- برپایی ساختار سلسله مراتبی برای مسئله، 2- الویت‌بندی از طریق مقایسه‌های زوجی و 3- برقراری سازگاری منطقی از اندازه‌گیری‌ها استوار است. در این مقاله با در نظرگیری این سه اصل اساسی برای دست‌یابی به روش بهینه پدافندی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی به دو مرحلهٔ تشکیل درخت سلسله مراتبی مسئله و محاسبه وزن و الویت شاخص‌ها و روش‌های بهینه‌سازی پدافندی تقسیم می‌شود.

در اولین مرحله تصمیم‌گیری توسط فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، مسئله به بخش‌های کوچک‌تر تجزیه می‌شود [8].

1- Catenary Cables
2- EDRS
3- MADM
4- TOPSIS
5- AHP

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 2- درخت سلسله مراتبی تعیین روش بهینه‌سازی پدافندی.

این کار کمک شایانی به تصمیم‌گیرنده در فهم ساده‌تر مسئله و دقت بیشتر در تحلیل و درنظرگیری نکات و ظرافت‌های آن می‌کند. درخت سلسله مراتب موضوع مورد مطالعه در شکل 2 نشان داده شده است.

این ساختار از سه سطح کلی هدف پروژه یعنی تعیین روش بهینه‌سازی پدافندی بهینه ساختمان‌های کلیدی، شاخص‌های و روش‌های پدافندی تشکیل شده است.

دومین مرحله تصمیم‌گیری، محاسبه وزن نسبی و الویت‌بندی شاخص‌ها نسبت به هدف و روش‌های پدافندی نسبت به هر کدام از شاخص‌ها از طریق مقایسه‌های زوجی می‌باشد. این مرحله خود از شش قسمت 1- برپایی ماتریس زوجی شاخص‌ها نسبت به هدف، 2- برپایی ماتریس زوجی روش‌های پدافندی نسبت به هر کدام از شاخص‌ها، 3- بررسی سازگاری ماتریس‌های زوجی، 4- محاسبه وزن نسبی و الویت‌بندی شاخص‌ها نسبت به هدف، 5- محاسبه وزن نسبی و الویت‌بندی روش‌های پدافندی نسبت به هر کدام از شاخص‌ها و سرانجام 6- الویت‌بندی نهایی روش‌های پدافندی نسبت به هدف تشکیل می‌شود.

ماتریس‌های مقایسهٔ زوجی بر اساس مقایسهٔ زوجی شاخص‌ها و یا گزینه‌ها با یکدیگر توسط کارشناسان متخصص در این زمینه تشکیل می‌گردد. در این مطالعه برای مقایسه شاخص‌های (معرفی شده در شکل 2) با هدف مطالعه یعنی تعیین روش بهینه‌سازی پدافندی بهینه از ماتریس زوجی جدول 1 و برای مقایسه روش‌های پدافندی نسبت به هر کدام از شاخص‌ها از ماتریس زوجی جدول 2 استفاده می‌گردد. کارشناسان برای انجام مقایسه‌ها از یک ماتریس زوجی برای مقایسه شاخص‌ها و پنج ماتریس زوجی برای مقایسه روش‌ها استفاده می‌نمایند. شایان ذکر است مقادیر کمی مندرج در ماتریس‌های زوجی بیانگر ارجحیت نسبی کلامی شاخص یا روش iام به شاخص یا روش jام می‌باشد که به ترتیب با مشخصه‌های r_{ij} و R_{ij} نشان داده می‌شود. ساعتی برای کمی‌سازی ارجحیت‌های کلامی قضاوت کارشناسان مقادیر یک تا نه را طبق جدول 3 پیشنهاد نموده است. شایان ذکر است در صورتی که ارجحیت شاخص $C_{(c=ij)}$ و گزینه $A_{(a=ij)}$ به ترتیب برابر r_{ij} و R_{ij} باشند، آنگاه مقدار ارجحیت شاخص $C_{(c=ji)}$ و گزینه $A_{(a=ji)}$ به ترتیب برابر نسبت‌های $\frac{1}{r_{ij}}$ و $\frac{1}{R_{ij}}$ می‌باشند.

جدول1- ماتریس زوجی شاخص‌ها نسبت به هدف.

		شاخص‌ها ($C_{(c=i)}$)				
نسبت به هدف		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
شاخص‌ها ($C_{(c=j)}$)	C_1	1	r_{12}	r_{13}	r_{14}	r_{15}
	C_2	r_{21}	1	r_{23}	r_{24}	r_{25}
	C_3	r_{31}	r_{32}	1	r_{34}	r_{35}
	C_4	r_{41}	r_{42}	r_{43}	1	r_{45}
	C_5	r_{51}	r_{52}	r_{53}	r_{54}	1

جدول2- ماتریس زوجی روش‌ها نسبت به شاخص iام.

		روش‌های پدافندی ($A_{(a=i)}$)					
نسبت به شاخص cام(C_c)		A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
روش‌های پدافندی ($A_{(a=j)}$)	A_1	1	R_{12}	R_{13}	R_{14}	R_{15}	R_{16}
	A_2	R_{21}	1	R_{23}	R_{24}	R_{25}	R_{26}
	A_3	R_{31}	R_{32}	1	R_{34}	R_{35}	R_{36}
	A_4	R_{41}	R_{42}	R_{43}	1	R_{45}	R_{46}
	A_5	R_{51}	R_{52}	R_{53}	R_{54}	1	R_{56}
	A_6	R_{61}	R_{62}	R_{63}	R_{64}	R_{65}	1

Archive of SID

www.SID.ir

در جدول‌های 1 و 2، C_1 تا C_5 و A_1 تا A_6 به ترتیب شاخص‌ها و روش‌های پدافندی معرفی شده در بخش 3 و شکل 2 می‌باشند، r_{ij} و R_{ij} به ترتیب ارجحیت نسبی شاخص یا روش iام به شاخص یا روش jام می‌باشد.

جدول3- مقادیر عددی قضاوت تصمیم‌گیرندگان [6].

تعریف کلامی ترجیح‌ها	مقادیر عددی ترجیح‌ها
کاملاً مطلوب‌تر	9
مطلوبیت خیلی قوی	7
مطلوبیت قوی	5
کمی مطلوب‌تر	3
مطلوبیت یکسان	1
ترجیح‌ها بین فواصل فوق	۲،۴،۶،8

با تشکیل ماتریس‌های زوجی، تعیین میزان صحت و دقت قضاوت تصمیم‌گیرندگان در تشکیل ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی توسط شاخص ناسازگاری امکان‌پذیر است. ساعتی برای محاسبه میزان شاخص ناسازگاری رابطه‌های (1) تا (3) ارائه نموده و اصلاح و تشکیل مجدد ماتریس‌های زوجی را برای ماتریس‌ها با شاخص ناسازگاری بزرگ‌تر از 0.1 را توصیه نموده است.

$$\lambda_{\max} = \max(\det([M]-\lambda[I]) = 0) \quad (1)$$

$$I.I. = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1} \quad (2)$$

$$I.R. = \frac{I.I.}{I.I.R} \le 0.1 \quad (3)$$

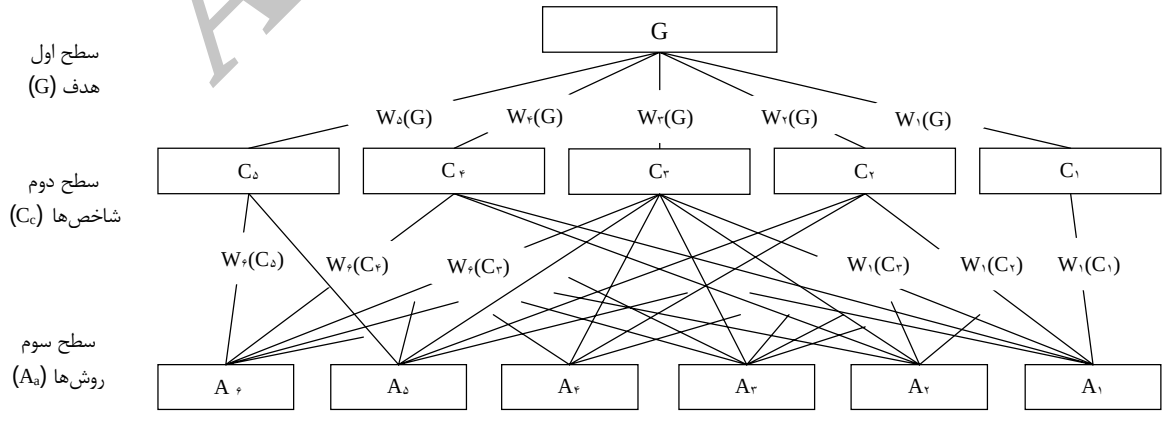
در رابطه 1، [M] ماتریس زوجی شاخص‌ها و یا روش‌ها و [I] ماتریس قطری واحد می‌باشد.

جدول4- شاخص ناسازگاری ماتریس‌های تصادفی [7].

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I.I.R	0	0	0/58	0/9	1/12	1/24	1/32	1/41	1/45	1/48	1/51	1/54	1/56	1/57

در رابطه 2، λ_{max} و n به ترتیب بزرگ‌ترین ماکزیمم مقدار ویژه و بعد ماتریس زوجی می‌باشند و در رابطه 3، I.I.R شاخص ناسازگاری ماتریس تصادفی می‌باشد که طبق جدول 4 بر اساس اندازه ماتریس زوجی محاسبه می‌گردد. با تشکیل ماتریس‌های زوجی سازگار، وزن نسبی و الویت هریک از شاخص‌ها نسبت به هدف و هر یک از روش‌های پدافندی نسبت به هر کدام از شاخص‌ها قابل محاسبه است. بدین منظور، پنج مقدار برای وزن نسبی شاخص‌های نسبت به هدف با مشخصه $W_c(G)$ و شش مقدار برای وزن نسبی برای روش‌ها نسبت به هر یک از شاخص و در مجموع سی مقدار برای وزن نسبی برای روش‌ها نسبت به تمام شاخص‌ها با مشخصه $W_a(C)$ محاسبه می‌گردد. شمای کلی نحوه بیان وزن‌های نسبی موضوع مورد مطالعه در قسمتی از شکل 2 به صورت شکل 3 ارائه شده است.

با توجه به شکل 3، وزن‌های نسبی و الویت هر یک از شاخص‌ها $W_c(G)$ و روش‌های پدافندی $W_a(C)$ توسط روش‌های متنوعی چون روش حداقل مربعات، روش حداقل مربعات لگاریتمی، روش بردار ویژه و روش‌های تقریبی قابل محاسبه است. در این مقاله به دلیل احتمال وجود ناسازگاری در قضاوت تصمیم‌گیرندگان و به تبع آن در ماتریس‌های تصمیم‌گیری زوجی از روش حداقل مربعات لگاریتمی به منظور حداقل نمودن خطای تصمیم‌گیری استفاده می‌گردد. شایان ذکر است، ماتریسی ناسازگار است که برای یکی از عناصر ماتریس‌های زوجی شاخص‌ها و یا روش‌های پدافندی به ترتیب روابط 4 و یا 5 برقرار باشد.



شکل 3- شمای کلی از ساختار وزن‌های نسبی.

Archive of SID

www.SID.ir

$$r_{ij} \neq \frac{W_{(c=i)}}{W_{(c=j)}} \quad (4)$$

$$R_{ij} \neq \frac{W_{(a=i)}}{W_{(a=j)}} \quad (5)$$

در روابط 4 و 5، r_{ij} و R_{ij} به ترتیب ارجحیت نسبی شاخص یا روش iام به شاخص یا روش jام می‌باشند و W_c و W_a به ترتیب اوزان نسبی شاخص‌ها و روش‌ها می‌باشند.در روش حداقل مربعات لگاریتمی وزن نسبی شاخص‌ها و روش‌های پدافندی با حداقل کردن میانگین هندسی اختلاف قضاوت تصمیم‌گیرندگان با وزن‌های نسبی و با در نظرگیری دو قید مثبت بودن وزن‌ها و برابر یک بودن مجموع وزن‌ها، طبق روابط 6 و 7 محاسبه می‌شوند.

$$Min\ Z = \sum_{i=1}^{5}\sum_{j=1}^{5}(Lnr_{ij} - Ln\frac{W_{(c=i)}}{W_{(c=j)}})^2 \quad (6)$$

$$\sum_{c=1}^{5} W_c = 1\ ,\ W_c \succ 0$$

$$Min\ Y = \sum_{i=1}^{6}\sum_{j=1}^{6}(LnR_{ij} - Ln\frac{W_{(a=i)}}{W_{(a=j)}}) \quad (7)$$

$$\sum_{a=1}^{6} W_a = 1\ ,\ W_a \succ 0$$

در این روابط Z و Y توابع مربعات لگاریتمی میانگین خطاها است که باید حداقل شوند؛ r_{ij} و R_{ij} به ترتیب ارجحیت نسبی شاخص یا روش iام به شاخص یا روش jام هستند و W_c و W_a به ترتیب اوزان نسبی شاخص‌ها و روش‌ها می‌باشند. سرانجام وزن نهایی هر روش پدافندی نسبت به هدف با ترکیب وزن نسبی شاخص‌ها و روش‌های پدافندی با ضرب و جمع سلسله مراتبی وزن‌های نسبی توسط رابطه 8 تعیین می‌گردد. بدین ترتیب، بیشترین مقدار حاصل از وزن‌های نهایی روش‌ها، برترین روش پدافندی را مشخص می‌نماید.

$$W_a(G) = \sum_{a=1}^{6}\sum_{c=1}^{5} W_a(C) \times W_c(G) \quad (8)$$

در این رابطه $W_a(G)$ وزن نسبی روش aام نسبت به هدف، شاخص kام، $W_a(C)$ وزن نسبی روش aام نسبت شاخص cام و $W_c(G)$ وزن نسبی شاخص cام نسبت به هدف می‌باشند.

4-2- تکنیک شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS)

یکی دیگر از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره تکنیک تاپسیس می‌باشد که اولین بار توسط هوانگ و یون در سال 1981 ارائه گردید. این تکنیک بر پایه‌های نظری قوی استوار است و با ارائه یک مدل هندسی، شاخص‌ها و روش‌های پدافندی را اولویت‌بندی می‌کند. این تکنیک قابلیت درنظرگیری وزن و نوع شاخص‌ها را از لحاظ تاثیرگذاری مثبت و یا منفی بر هدف مسئله ممکن می‌سازد. در این مقاله به منظور بکار گیری تکنیک تاپسیس برای دست‌یابی به روش بهینه پدافندی از دو گام 1- محاسبه وزن نسبی شاخص‌ها 2- محاسبه وزن و رتبه‌بندی روش‌های پدافندی بر اساس وزن نسبی شاخص‌ها استفاده می‌شود.

گام اول تصمیم‌گیری تاپسیس، محاسبه وزن شاخص‌ها با توابع گسسته احتمالاتی آنتروپی شانون می‌باشد. اساس این روش بر این اصل استوار است که هر چه پراکندگی مقادیر یک شاخص بیشتر باشد آن شاخص اهمیت بیشتری دارد. این گام از چهار بخش تشکیل 1- ماتریس بی‌بعد تصمیم‌گیری، 2- محاسبه مقدار آنتروپی، 3- محاسبه درجه انحراف شاخص‌ها و 4- محاسبه وزن نسبی بر اساس درجه انحراف شاخص‌ها تشکیل می‌شود. در ابتدا ماتریس تصمیم‌گیری همانند جدول 5 از طریق مقایسه نسبی و ارزش‌گذاری روش‌های پدافندی نسبت به یکدیگر و با درنظرگیری شاخص‌ها تشکیل می‌گردد. سپس ماتریس تصمیم‌گیری بی‌بعد $[P_{ij}]_{5\times6}$ برای معنادار شدن محاسبات و نتایج تحلیل طبق تعریف ریاضی رابطه 9 تشکیل می‌گردد. شایان ذکر است، روش‌های پدافندی بهینه‌سازی، توسط مقادیر کمی یک تا نه با مشخصه I_{ij} مطابق جدول 3 ارزش‌گذاری می‌شوند.

$$P_{ij} = \frac{I_{ij}}{\sum_{j=1}^{6} I_{ij}} \quad (9)$$

جدول5- ماتریس تصمیم‌گیری.

		روش‌های پدافندی ($A_{a(a=j)}$)					
		A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
شاخص‌ها ($C_{c\ (c=i)}$)	C_1	I_{11}	I_{12}	I_{13}	I_{14}	I_{15}	I_{16}
	C_2	I_{21}	I_{22}	I_{23}	I_{24}	I_{25}	I_{26}
	C_3	I_{31}	I_{32}	I_{33}	I_{34}	I_{35}	I_{36}
	C_4	I_{41}	I_{42}	I_{43}	I_{44}	I_{45}	I_{46}
	C_5	I_{51}	I_{52}	I_{53}	I_{54}	I_{55}	I_{56}

Archive of SID

www.SID.ir

جدول 6- ماتریس بی‌بعد تصمیم‌گیری ($[P_{ij}]_{5\times6}$).

شاخص‌ها ($C_{c\ (c=i)}$)	روش‌های پدافندی ($A_{a(a=j)}$)					
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
C_1	p_{11}	p_{12}	p_{13}	p_{14}	p_{15}	p_{16}
C_2	p_{21}	p_{22}	p_{23}	p_{24}	p_{25}	p_{26}
C_3	p_{31}	p_{32}	p_{33}	p_{34}	p_{35}	p_{36}
C_4	p_{41}	p_{42}	p_{43}	p_{44}	p_{45}	p_{46}
C_5	p_{51}	p_{52}	p_{53}	p_{54}	p_{55}	p_{56}

در رابطه 9 و جداول 5 و 6، I_{ij} مقدار ارزش روش پدافندی jام نسبت به شاخص iام، p_{ij} مقادیر بی‌بعد شده ماتریس تصمیم‌گیری، A_a روش‌های پدافندی و C_c روش‌های ماتریس پدافندی می‌باشند. در تاپسیس با استفاده از مفاهیم آنتروپی پس از بی‌بعدسازی خطی ماتریس تصمیم‌گیری $[P_{ij}]_{5\times6}$، مقدار آنتروپی هر یک از شاخص‌ها (E_i) با رابطه 10 محاسبه می‌گردد. همچنین درجه انحراف اطلاعات موجود هر یک از شاخص‌ها از مقدار آنتروپی آن شاخص و مقدار اوزان نسبی (w_i) هر یک از آن‌ها به ترتیب توسط روابط 11 و 12 محاسبه می‌گردد. ماتریس قطری $[w_{ij}]_{5\times5}$ متشکل از اوزان نسبی شاخص‌ها (w_i) در جدول 7 نمایش داده شده است.

$$E_i = -\frac{1}{Ln(m)}\sum_{j=1}^{6} P_{ij} Ln(P_{ij}) \qquad (10)$$

$$d_i = 1 - E_i \qquad (11)$$

$$w_i = \frac{d_i}{\sum_{i=1}^{5} d_i} \qquad (12)$$

در روابط 10 تا 12، P_{ij} عناصر بی‌بعد شده ماتریس تصمیم توسط روش خطی، m تعداد گزینه‌ها، E_i میزان آنتروپی، d_i درجه انحراف شاخص‌ها و w_i وزن نسبی شاخص‌ها می‌باشند. گام دوم تصمیم‌گیری توسط تکنیک تاپسیس، محاسبه وزن و الویت‌بندی روش‌های پدافندی می‌باشد. برای دست‌یابی به این موضوع، این گام به پنج قسمت 1- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری بی‌بعد، 2- وزن‌دار نمودن ماتریس تصمیم‌گیری بی‌بعد، 3- تعیین جواب‌های ایده‌آل، 4- محاسبه فاصله نسبی شاخص‌ها با جواب‌های ایده‌آل و 5- رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌باشد. در این مقاله برای امکان انجام عملیات جبری تکنیک تاپسیس از تعریف بی‌بعدسازی توسط نرم‌برداری طبق رابطه 13 استفاده می‌شود. ماتریس تصمیم‌گیری بی‌بعد $[n_{ij}]_{5\times6}$ در جدول 8 نشان داده شده است.

$$n_{ij} = \frac{I_{ij}}{\sqrt{\sum I_{ij}^2}} \qquad (13)$$

جدول7- ماتریس وزن شاخص.

شاخص‌ها ($C_{c\ (c=i)}$)	روش‌های پدافندی ($C_{c(c=i)}$)					
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	
C_1	w_1	0	0	0	0	
C_2	0	w_2	0	0	0	
C_3	0		w_3	0	0	
C_4	0	0	0	w_4	0	
C_5	0	0	0	0	w_5	

جدول 8- ماتریس بی‌بعد تصمیم‌گیری ($[n_{ij}]_{5\times6}$).

شاخص‌ها ($C_{c\ (c=i)}$)	روش‌های پدافندی ($A_{a(a=j)}$)					
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6
C_1	n_{11}	n_{12}	n_{13}	n_{14}	n_{15}	n_{16}
C_2	n_{21}	n_{22}	n_{23}	n_{24}	n_{25}	n_{26}
C_3	n_{31}	n_{32}	n_{33}	n_{34}	n_{35}	n_{36}
C_4	n_{41}	n_{42}	n_{43}	n_{44}	n_{45}	n_{46}
C_5	n_{51}	n_{52}	n_{53}	n_{54}	n_{55}	n_{56}

در رابطه 13 و جدول 7، n_{ij} مقادیر بی‌بعد شده ماتریس تصمیم‌گیری متشکل از اعدادی بین صفر و یک، I_{ij} مقدار ارزش روش پدافندی jام نسبت به شاخص iام، $\sqrt{\sum I^2_{ij}}$ بردار نرم هر یک از بردارهای ارزش‌گذاری حاصل از روش‌های پدافندی A_a روش‌های پدافندی، C_c روش‌های ماتریس پدافندی می‌باشند. در تکنیک تاپسیس برای درنظرگیری تأثیر وزن شاخص‌ها از ماتریس $[v_{ij}]_{5\times6}$ حاصل از ضرب ماتریس تصمیم‌گیری بی‌بعد $[n_{ij}]_{5\times6}$ در ماتریس قطری $[w_{ij}]_{5\times5}$ طبق رابطه 14 استفاده می‌گردد. ماتریس تصمیم‌گیری وزن‌دار شده در جدول 9 نشان داده شده است.

$$[v_{ij}]_{5\times6} = [w_{ij}]_{5\times5} \times [n_{ij}]_{5\times6} \qquad (14)$$

در این رابطه، v_{ij} مقادیر ماتریس بی‌بعد وزن‌دار شده، w_{ij} مقادیر ماتریس وزن شاخص‌ها و n_{ij} مقادیر ماتریس بی‌بعد تصمیم‌گیری می‌باشند. در این قسمت

Archive of SID

www.SID.ir

برای تعیین جواب‌های ایده‌آل مثبت (بهترین) و منفی (بدترین) هر شاخص به ترتیب بیشترین و کم‌ترین مقدار مختص هر شاخص ماتریس تصمیم‌گیری بی‌بعد وزن‌دار طبق روابط 15 و 16 انتخاب می‌گردد. جواب‌های ایده‌آل در جدول 9 نشان داده شده است.

(15)

$$A_i^+ = \{A_1^+, A_2^+, A_3^+, A_4^+, A_5^+\} = \{\max(v_{1j}, v_{2j}, v_{3j}, v_{4j}, v_{5j}) \mid j = 1,2,3,4,5,6\}$$

(16)

$$A_i^- = \{A_1^-, A_2^-, A_3^-, A_4^-, A_5^-\} = \{\min(v_{1j}, v_{2j}, v_{3j}, v_{4j}, v_{5j}) \mid j = 1,2,3,4,5,6\}$$

در روابط 14 و 15 v_{ij} عناصر ماتریس بی‌مقیاس وزن‌دار و A^+_i و A^-_i به ترتیب جواب ایده‌آل مثبت و منفی شاخص iام می‌باشند.

جدول9- ماتریس وزن‌دار شده و جواب‌های ایده‌آل.

شاخص‌ها ($C_{c\,(c=i)}$)		روش‌های پدافندی ($A_{a(a=j)}$)						A^+_i	A^-_i
		A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	max C_i	min C_i
	C_1	v_{11}	v_{12}	v_{13}	v_{14}	v_{15}	v_{16}	v^+_{1j}	v^-_{1j}
	C_2	v_{21}	v_{22}	v_{23}	v_{24}	v_{25}	v_{26}	v^+_{2j}	v^-_{2j}
	C_3	v_{31}	v_{32}	v_{33}	v_{34}	v_{35}	v_{36}	v^+_{3j}	v^-_{3j}
	C_4	v_{41}	v_{42}	v_{43}	v_{44}	v_{45}	v_{46}	v^+_{4j}	v^-_{4j}
	C_5	v_{51}	v_{52}	v_{53}	v_{54}	v_{55}	v_{56}	v^+_{5j}	v^-_{5j}

در تکنیک تاپسیس با تعیین فاصله اقلیدسی هر بردار گزینه A_j با مولفه‌های v_{ij}، از بردارهای جواب‌های ایده‌آل مثبت A^+_i با مولفه‌های v^+_{ij} و جواب‌های ایده‌آل منفی با مولفه‌های v^-_{ij} در یک فضای هندسی، میزان شباهت یا فاصله روش‌های پدافندی با جواب‌های ایده‌آل طبق روابط 17 و 18 محاسبه می‌شود.

$$D_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^{5}(v_{ij} - A_i^+)^2} \rightarrow j = 1,2,3,4,5,6 \qquad (17)$$

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^{5}(v_{ij} - A_i^-)^2} \rightarrow j = 1,2,3,4,5,6 \qquad (18)$$

در روابط 16 و 17 D^+_j و D^-_j به ترتیب فاصله اقلیدسی روش jام از ایده‌آل مثبت و منفی می‌باشند. سرانجام رتبه هر روش با محاسبه فاصله نسبی روش‌های تصمیم‌گیری طبق رابطه 19 تعیین می‌گردد. بر اساس این رابطه، روشی که دارای بیشترین مقدار فاصله نسبی (CL^+_j) نسبت به سایر روش‌ها می‌باشد، مناسب‌ترین روش پدافندی است.

$$CL_j^+ = \frac{D_j^+}{D_j^+ + D_j^-} \rightarrow j = 1,2,3,4,5,6 \qquad (19)$$

در این رابطه D^+_j و D^-_j به ترتیب فاصله اقلیدسی روش jام از ایده‌آل مثبت و منفی و CL^+_j فاصله نسبی هر روش با روش ایده‌آل می‌باشد.

5- مطالعه موردی

در این بخش نتایج مدل‌های توسعه داده شده، در سطح آخر تصمیم‌گیری برای یک نمونه از ساختمان‌های کلیدی کشور مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. جدول 10 تعدادی از مشخصات و ویژگی‌هایی این ساختمان را نشان می‌دهد. این ساختمان پنج طبقه، دارای کاربری اداری است و به طور متوسط حدود هزار نفر در آن مشغول فعالیت هستند. این ساختمان در شرق استان تهران و دور از مراکز حساس و تاسیسات نظامی واقع است. ارزیابی اولیه این ساختمان بتنی نشان دهنده آسیب‌پذیری سازه و فونداسیون این ساختمان در برابر انفجار است. معماری این ساختمان نیز به دلایلی چون بازشوهای بزرگ و نامناسب بودن فضای داخلی از لحاظ پدافندی در برابر بارهای انفجار شرایط مطلوبی را ندارد. کارشناسان با توجه به آسیب‌پذیر بودن ساختمان، محدوده تلفات انسانی و خسارت‌های و اختلال‌های ناشی از آن را زیاد برآورد نموده‌اند.

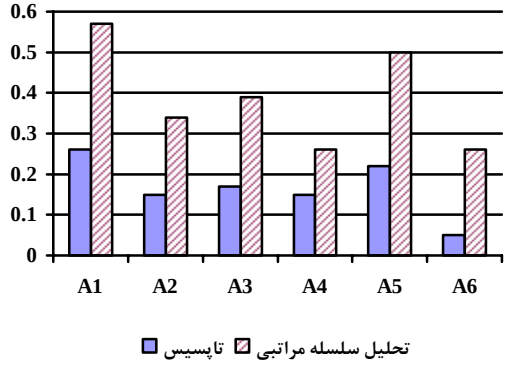
جدول 10- مشخصات ساختمان مورد مطالعه.

درجه اهمیت	کلیدی	**تعداد ساکنین یا شاغلین**	هزار نفر
شهر	تهران	**نوع قاب سازه**	بتنی خمشی
تعداد طبقات	پنج طبقه	**جمعیت و توزیع منطقه**	کلان شهر
مساحت زیربنا	هزار مترمربع	**موقعیت شهر**	غیر مرزی
کاربری	اداری	**هدف بهینه‌سازی مد نظر کارفرما**	ویژه
شکل سازه‌ای	منظم	**هندسه ساختمان**	مسطح
وضعیت سازه	آسیب‌پذیر	**بازشوها در ارتفاع**	30 درصد نما
نوع پی	گسترده	**همجواری با تاسیسات نظامی**	غیر همجوار

Archive of SID

www.SID.ir

با توجه به نیاز این ساختمان به بهینه‌سازی، شش روش بهینه‌سازی معرفی شده در بند 3 برای تحلیل یعنی دست‌یابی به برترین روش پدافندی در نظر گرفته شد. بدین منظور برای مقایسهٔ نسبی شاخص‌ها و روش‌های پدافندی، از مدل‌های ریاضی فرآیند سلسله مراتبی (AHP) و تکنیک شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS) مطابق روال توضیح داده شده در بند 4 استفاده شد. نتایج رتبه‌بندی و وزن و درصد اهمیت هریک از شاخص‌ها و روش‌های پدافندی حاصل از دو مدل مذکور در جداول 11 و 12 نشان داده شده است. نمودارهای 4 و 5 نیز به ترتیب مقایسه‌ای از وزن نسبی شاخص‌ها و وزن نهایی روش‌های پدافندی حاصل از دو مدل تصمیم‌گیری را نشان می‌دهند. نتایج یکسان در رتبه‌بندی شاخص‌ها و روش‌های بهینه‌سازی حاصل از دو روش تصمیم‌گیری AHP و TOPSIS موید قابلیت کاربرد این روش‌ها در پروژه‌های بهینه‌سازی ساختمان‌ها در مقابل بارهای انفجاری است. نتایج کاربرد موردی تحلیل‌های تصمیم‌گیری نشان می‌دهد شاخص اقتصادی برای ساختمان نمونه از اهمیت بیشتری نسبت به شاخص‌های دیگر برخوردار است. همچنین روش افزودن دیوار برشی، مناسب‌ترین روش پدافندی از میان شش روش بهینه‌سازی مورد مطالعه برای بهینه‌سازی ساختمان و ایجاد فضایی ایمن در برابر انفجار است. شایان ذکر است در محاسبهٔ وزن نسبی شاخص‌ها به ترتیب از روش حداقل مربعات لگاریتمی و روش آنتروپی در فرآیند AHP و تکنیک TOPSIS استفاده شده است. همچنین وزن نهایی روش‌های پدافندی به ترتیب در فرآیند AHP و در تکنیک TOPSIS بر اساس ترکیب وزن نسبی معیارها و گزینه‌ها دیگری بر اساس فاصله نسبی روش‌ها از جواب‌های ایده‌آل بدست آمده است.



شکل 4- وزن نسبی شاخص‌های ساختمان مورد مطالعه.

جدول 11- وزن نسبی شاخص‌ها توسط دو روش سلسله مراتبی و تاپسیس.

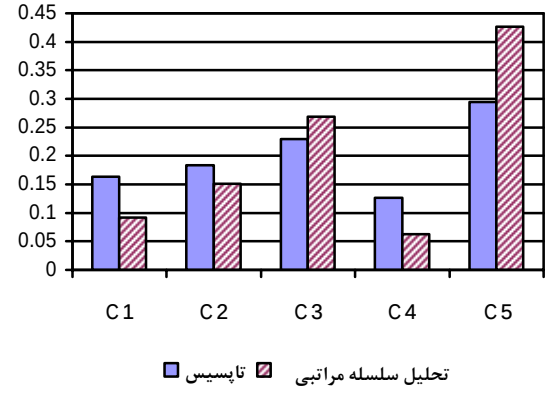
	شاخص‌ها	وزن نسبی		درصد اهمیت نسبی		رتبه شاخص‌ها	
		تاپسیس	سلسله مراتبی	تاپسیس	سلسله مراتبی	تاپسیس	سلسله مراتبی
C_1	شرایط موجود ساختمان	0/16	0/09	16	9	4	4
C_2	درجه اهمیت ساختمان	0/18	0/15	18	15	3	3
C_3	هدف پدافندی	0/23	0/26	23	26	2	2
C_4	شرایط طراحی و اجرای بهینه‌سازی	0/12	0/06	12	6	5	5
C_5	ملاحظات اقتصادی بهینه‌سازی	0/29	0/32	30	42	1	1

جدول 12- وزن‌ها و رتبه‌بندی روش‌های پدافندی بهینه‌سازی ساختمان مورد مطالعه به روش‌های تاپسیس و تحلیل سلسله مراتبی.

	گزینه‌ها	وزن نهایی		درصد اهمیت نسبی		رتبه شاخص‌ها	
		تاپسیس	سلسله مراتبی	تاپسیس	سلسله مراتبی	تاپسیس	سلسله مراتبی
A_1	افزودن دیوار برشی	0/57	0/26	22	26	1	1
A_2	تقویت ستون با پوشش‌های فلزی	0/34	0/15	13	15	4	4
A_3	تقویت دیوارهای با پروفیل‌های فولادی(CFSD)	0/39	0/17	18	17	3	3
A_4	تقویت سقف با کابل پس تنیده (CC)	0/26	0/15	12	15	5	4
A_5	قاب‌های فضایی در خارج ساختمان	0/50	0/22	24	22	2	2
A_6	بهینه‌سازی دینامیکی اتصال(EDRS)	0/26	0/05	11	5	6	5

Archive of SID

www.SID.ir



شکل 5- وزن نهایی روش‌های پدافندی ساختمان مورد مطالعه.

6- نتیجه‌گیری

بهینه‌سازی ساختمان‌های حیاتی آسیب‌پذیر در برابر بارهای انفجار و اثرات ناشی از آن، چه در زمان صلح و چه در زمان جنگ امری ضروری است. با به کارگیری و انتخاب روش‌های پدافندی مناسب برای بهینه‌سازی این نوع از ساختمان‌ها به طور چشمگیری می‌توان آسیب‌پذیری، خسارت‌های مالی و جانی ناشی از بارهای انفجار را کاهش داد. در این مقاله به منظور انتخاب آسان و سریع روش پدافندی مناسب از نظر شاخص‌های مختلف موثر بر امر بهینه‌سازی، قابلیت کاربرد و نحوه به‌کارگیری مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیارهٔ تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و شباهت به گزینه ایده‌آل (TOPSIS) مطالعه گردید. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که کارشناسان با کاربرد این مدل‌ها در یک چارچوبی علمی، به شیوه‌ای مطلوب قادر به تصمیم‌گیری دقیق و انتخاب روش پدافندی بهینه از میان روش‌های مورد مطالعه هستند.

7- تشکر و قدردانی

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی "امکان سنجی بهینه‌سازی ساختمان‌های موجود در برابر اثرات انفجار" و با حمایت دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب انجام پذیرفته است.

مراجع

[1] Azmoodeh, B. M.; Moghadam, A. S. “Optimum Seismic Retrofitting Technique for Buildings.”; J. CEE. 2009, 26, 91-107.

[2] Azmoodeh, B. M.; Moghadam, A. S. “An Investigation on the Value-Based Evaluation: Optimum Rehabilitation Process of the Unreinforced Masonry Buildings.”; J. CEE. 2010, 31, 432-449.

[3] Smyth, A. W. “Probabilistic Benefit–Cost Analysis for Earthquake Damage Mitigation: Evaluating Measures for Apartment in Turkey.”; J. EES. 2004, 20, 171–203.

[4] Forman, E. H. “Decision Support for Executive Decision Makers.”; J. Inf. Stra. 1985, 12, 4-14.

[5] قدسی پور، سید حسن؛ "مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، چاپ هفتم، ص 220، 1388.

[6] آذر عادل، رجب زاده علی؛ "تصمیم‌گیری‌های کاربردی"، انتشارات نگاه دانش، چاپ سوم، ص 399، 1388.

[7] Saaty, T. L. “Decision Making for Leaders.”; 3th Ed. RWS Publication: USA; Vol. 2, pp 441, 1991.

[8] Saaty, T. L. “Highlights and Critical Points in the Theory and Application of the Analytical Hierarchy Process.”; J. Eur. Oper. Res. 1994, 74, 426-447.

Archive of SID

www.SID.ir