

# اولویت‌بندی روش‌های متعارف بهسازی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح در شهر آمل با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل TOPSIS

مرتضی حسن‌نژاد<sup>۱</sup>، عارف عزیزی<sup>۲</sup>، محمد جواد طاهری امیری<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد مهندسی مدیریت و ساخت مؤسسه آموزش عالی طبری بابل (Manshoor65@gmail.com)

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد سازه و عضو هیئت علمی گروه عمران دانشگاه آزاد آیتا... آملی (Azizi\_aref@yahoo.com)

<sup>۳</sup> کارشناس ارشد مهندسی مدیریت و ساخت مؤسسه آموزش عالی طبری بابل (Jvd.taheri@gmail.com)

کد مقاله: H

کد انجمن: IF

## چکیده

مقاوم‌سازی از جمله اقدامات مهمی است که در دهه اخیر، بسیار مورد توجه مهندسين عمران قرار گرفته است. امروزه استفاده از شیوه‌های نوین در جهت بهسازی ساختمان‌های موجود با در نظر گرفتن ملاحظات اجرایی، زمانی، اقتصادی و غیره اجتناب‌ناپذیر می‌نماید. در این راستا مهندسين و محققین کشور درصددند تا با استفاده از روش‌های محاسباتی، بهترین راه‌حل را با کمترین هزینه و بالاترین ضریب اطمینان بدست آورند. با توجه به این که برخی از سازه‌های موجود در شهرستان آمل ویژگی‌های یک سازه مقاوم در برابر زلزله را ندارند، و بیشتر آنها مطابق با آئین‌نامه ویرایش دوم زلزله ایران و قبل از آن می‌باشند، لازم است نسبت به بررسی آن‌ها، اقدام شود. تا در ادامه با راه‌حل‌های مناسب، بهسازی در آن صورت گیرد. در این مطالعه، در ابتدا به تحلیل و بررسی روش‌های مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های متعارف بتن مسلح که در شهرستان آمل مورد استفاده قرار گرفته پرداخته شده است. پس از آن با استفاده از نظر متخصصین و توزیع و جمع‌آوری و تحلیل پرسشنامه هدفمند و روش TOPSIS<sup>۱</sup> به اولویت‌بندی روش مناسب برای مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح متعارف شهرستان آمل اقدام گردید. نتایج این پژوهش نشان داد که از اولویت‌های مهم مقاوم‌سازی ساختمان‌های بتن مسلح متعارف شهرستان آمل روش‌های زره‌پوش فولادی، زره‌پوش بتنی و دیوار برشی بتنی و استفاده از FRP است.

**کلمات کلیدی:** روش‌های بهسازی و مقاوم‌سازی، ساختمان بتن مسلح، TOPSIS

## ۱- مقدمه

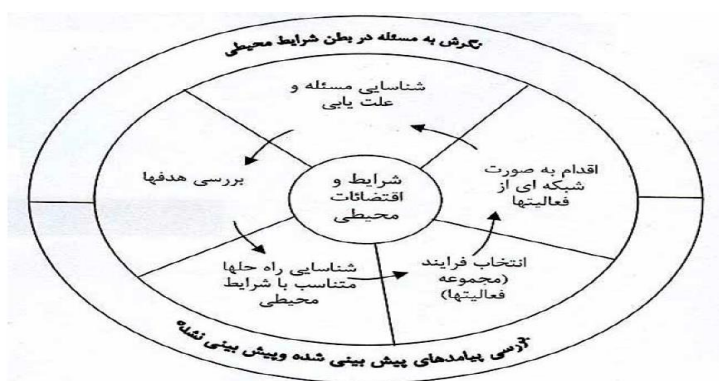
بهسازی و مقاوم‌سازی ساختمان‌های موجود جهت مقابله با نیروهای لرزه‌ای یکی از مسائل مهم مهندسی عمران به شمار می‌رود. بسیاری از ساختمان‌های موجود زمانی طراحی و اجرا شده‌اند، که مبانی طراحی لرزه‌ای به خوبی شناخته شده نبوده است و آئین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مشخصی یا وجود نداشته و یا در صورت وجود، به دلیل نو پا بودن به‌صورت الزام‌آور اجرا نمی‌شده‌اند، لذا این ساختمان‌ها دارای مقاومت، سختی و شکل‌پذیری کافی برای پاسخ به نیازهای لرزه‌ای نیستند [۱].

در حالت کلی دو روش برای افزایش ظرفیت لرزه‌ای سازه‌ها وجود دارد. می‌توان کل سازه با اضافه کردن اعضای جدید همانند دیوار برشی فولادی یا بتنی، مهاربند فولادی، دیوارهای پرکننده، کابل‌های پس‌تنیده، میراگرها و غیره تقویت شده و یا این‌که با ترمیم و تقویت اعضای موجود

<sup>۱</sup> Technique for order preference by similarity to ideal solution

همانند استفاده از پوشش‌های FRP و غیره برای تقویت موضعی تیرها و ستون‌های بتن‌آرمه آسیب‌پذیر و نیازمند به تقویت استفاده می‌گردد. البته لازم به ذکر است، روش منحصر به فردی برای رسیدن با پاسخ سازه‌ای قانع‌کننده وجود ندارد و الگوهای مقاوم‌سازی متفاوتی می‌توان برای تقویت یک سازه خاص به کار برد. ولی در تمامی روش‌ها، معمولاً اهداف و ملاک‌های افزایش استحکام و مقاومت سازه‌ها، افزایش انعطاف‌پذیری و شکل‌پذیری و یا مجموعه‌ای از دو خاصیت مذکور دنبال می‌گردد که اهمیت هر یک از ملاک‌های فوق به منظور انتخاب روش ترمیم بستگی به اهمیت، ارتفاع، مقاومت و انعطاف‌پذیری سازه و همچنین پلان مربوطه دارد [۲].

یکی از حساس‌ترین وظایف مدیران که همواره با آن درگیر هستند و در نهایت موفقیت و شکست آتی سازمان و موفقیت مدیریت آنها را به دنبال خواهد داشت موضوع و مسئله تصمیم‌گیری است. در فرآیند اتخاذ تصمیم‌های سازمانی، مدیران معمولاً برای پیروی از عقلانی بودن رویکردها، مسئله پیش روی خود را تعریف و تمام حقایق آن را با توجه به افق زمانی، سطح پوشش و حساسیت گردآوری می‌کنند. راهکارها را تنظیم و آنها را اولویت‌بندی می‌کنند، سپس یکی از راهکارها را که با شرایط، توانمندی‌ها، امکانات و زمان تطابق پیدا می‌کند انتخاب می‌کنند و به اجرا در می‌آورند. اساساً در شناسایی مسائل دو نوع طرز تفکر خطی (تحلیلی تجزیه مدار) و طرز تفکر غیرخطی (سیستمی) که منجر به تدوین مدل باز تصمیم‌گیری با تعامل با محیط می‌شود.



شکل ۱- نگرش طرز تفکر سیستمی [۳]

هدف از انتخاب راهکار، حل مسئله برای رسیدن به هدف‌های از پیش تعیین شده است. تصمیم یک پایان نیست، بلکه فقط ابزاری برای نیل به پایان (هدف) است، که تصمیم‌گیر، راهکاری را انتخاب می‌کند که آن را به هدف برساند. بنابراین، این انتخاب را نباید به منزله یک عمل مجزا تلقی کرد. اگر این‌طور باشد، عواملی که منجر به اخذ تصمیم و هدایت آن می‌شود احتمالاً کنار گذاشته خواهند شد. به‌ویژه این‌که، مراحل تصمیم‌گیری باید، اجرا، کنترل و ارزشیابی آثار راهکارها را هم شامل شوند. نقطه حساس و با اهمیت این است که تصمیم‌گیری یک عمل مکانیکی نیست، بلکه یک فرآیند پویاست. در حالی که اکثر مدیران راهکارهایی انتخاب می‌کنند که دست‌یابی به آنها به زبان هدف‌های دیگر منجر می‌شود [۳].

## ۲- مروری بر روش‌های مقاوم‌سازی و بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح

### ۲-۱ تقویت سازه با اضافه کردن اعضای جدید

#### الف - اضافه کردن دیوار برشی

دیوارهای برشی به لحاظ دارا بودن سختی و مقاومت زیاد در برابر نیروهای جانبی مهم‌ترین عنصر مقاوم سازه در برابر نیروهای جانبی می‌باشند. به عبارت دیگر افزایش تعداد دیوارهای برشی بی‌شک بهترین راه برای تقویت سازه موجود در برابر زلزله و بهبود رفتار آن است. استفاده از دیواربرشی بتنی

با توجه به وزن بالایی که به سازه تحمیل می‌کنند و حجم بالایی که دارد برای مقاومسازی ساختمان‌های کوتاه مرتبه توصیه می‌شود. در این حالت برش پایه افزایش یافته و به دلیل افزایش فشار، تقویت فونداسیون سازه موجود زیر دیوار برشی اضافه شده هزینه بالایی را در پی دارد. در صورتی که استفاده از دیوار برشی فولادی به دلیل زمان نصب و ساخت از لحاظ اقتصادی مزایایی دارد و همچنین هزینه تقویت سایر المان‌های ساختمان نظیر فونداسیون را چندان تحت تأثیر قرار نمی‌دهد. اما یکی از معایب این دیوارها کمناش موضعی یا کلی در نواحی فشاری است که مقاومت برشی، سختی و ظرفیت استهلاک انرژی را کاهش می‌دهد که برای جلوگیری از این کمناش، سخت‌کننده به آن اضافه کرده که باعث افزایش هزینه‌های ساخت می‌گردد [۲].

### ب - اضافه کردن بادبندهای فولادی

اضافه شدن بادبندهای هم‌محور و برون‌محور فولادی به قاب‌های بتنی باعث افزایش مقاومت جانبی قاب می‌گردد. بادبندها به حالت‌های فشاری، کششی و به اشکال X، شورن و زانویی اجرا می‌گردند. اصولاً بادبندهای کششی نسبت به بادبندهای فشاری در سیکل‌های متناوب بارگذاری، رفتار لرزه‌ای بهتری داشته و حلقه‌های هیستریزس آنها باریک‌شدگی کمتری داشته و افت سختی کمتری دارند. مزایای این روش عبارتند از: افزایش مقاومت و شکل‌پذیری سازه، اعمال وزن کمتر به سازه، امکان استفاده از بازشو و پنجره در قاب بادبندی شده، اجرای نسبتاً آسان و کنترل کیفیت ساده‌تر می‌باشد. عیب روش فوق عدم اتصال مناسب بین بادبند فولادی و قاب بتن‌آرمه است که اتصال را حین زلزله آسیب‌پذیر می‌سازد. در صورتی که در اعضای فشاری بادبند کمناش اتفاق نیفتد و امکان تشکیل مفصل محوری فشاری فراهم گردد، یعنی رفتار این اعضا در کشش و فشار یکی شوند، اعضای مهاری می‌توانند در کشش و فشار به تسلیم برسند. در مقاومسازی قاب‌های بتن مسلح به کمک بادبندهای فولادی مشخص شد که بادبندهای فولادی می‌توانند تا ۹۰ درصد ظرفیت باربری جانبی سازه را ارتقا ببخشند و مهم‌ترین نکته که باید مورد توجه قرار گیرد نوع اتصال مهاربند به قاب می‌باشد که بالاترین تأثیر را روی عملکرد مهاربند می‌گذارد [۴].

### پ - اضافه کردن میراگرها

اضافه کردن میراگرها سبب می‌شود میرایی افزایش یافته و باعث کاهش دامنه نوسان و به دنبال آن کاهش پاسخ لرزه‌ای سازه می‌گردد. معمولاً میراگرها روی بادبند، بین بادبند، تیر، بین دیوارها یا بین دیوار و تیر نصب می‌شوند. انواع میراگرها عبارتند از اصطکاک، مایع لزج، ویسکوالاستیک، متالیک و غیره که مزیت اصلی همگی آنها سهولت در نصب می‌باشد [۲].

### ۲-۲ - تقویت سازه با ترمیم اعضای موجود به وسیله ورق‌های FRP

FRP<sup>۱</sup> نوعی ماده کامپوزیت متشکل از دو بخش فیبر یا الیاف تقویتی است که به وسیله یک ماتریس رزین از جنس پلیمر احاطه شده است. فیبرهای تشکیل دهنده می‌توانند در یک راستا یا دو راستای عمود بر هم قرار داشته باشند. به‌طور کلی FRPها به دو شکل ورقه‌های FRP و میلگردهای FRP وجود دارند و بر اساس فیبر تشکیل دهنده آن به دسته‌های CFRP با الیاف از جنس کربن، GFRP با الیاف از جنس شیشه و AFRP با الیاف از جنس آرامید می‌باشند. سادگی اجرای FRPها در عین سرعت عمل بالا، وزن کم، مقاومت کششی بالای ورق‌ها، مقاومت در برابر خوردگی، جذب ارتعاشات، افزایش مقاومت و استحکام سازه خصوصاً در مقابل بارهای دینامیکی از جمله مزیت‌های این مواد می‌باشد [۲]. در استفاده از این نوع الیاف در کاربردهای ساختمانی مطالعات متعددی صورت گرفته است که می‌توان به مطالعات عددی ساختمان‌های بتنی مقاوم شده با الیاف FRP در سال ۲۰۰۳ توسط چنساوات، بررسی انواع روش‌های بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی توسط دکتر ماهری در سال ۲۰۰۵، بهسازی قاب‌های فولادی با استفاده از پوشش‌های FRP و بادبندهای فولادی توسط آموری و همکارانش در سال ۲۰۰۵ و مطالعات گوپال و همکارانش بر روی استفاده از الیاف FRP در بهسازی سازه‌ها در سال ۲۰۱۲ اشاره نمود [۱].

1 Fiber Reinforced polymer or plastic

از آن جایی که در قریب به اتفاق ساختمان‌ها تنها یک بار عملیات مقاوم‌سازی صورت می‌پذیرد، انتخاب بهترین روش با توجه به نیاز ساختمان بسیار حائز اهمیت است. در مقاوم‌سازی ساختمان‌ها روش کاملی وجود ندارد و تمام روش‌ها دارای محاسن و معایبی هستند که برای انتخاب هر کدام از آنها باید علاوه بر محاسن، به معایب و محدودیت‌های آنها نیز توجه شود. در زمینه روش‌های مختلف مقاوم‌سازی ساختمان‌های بتنی تحقیقات بسیاری انجام شده است. به عنوان مثال می‌توان به نتایج محققانی که با استفاده از الیاف تقویت کننده پلیمری در ستون‌های بتن مسلح باعث ۱۹ درصد افزایش مقاومت و افزایش شکل‌پذیری به میزان ۳۸ درصد می‌شود و بدین‌وسیله باعث هدایت نقطه شکست سازه از داخل ستون‌ها به داخل تیرها می‌شود [۵]. همچنین عباسی دزفولی و همکارش با توزیع پرسشنامه به تحلیل و بررسی روش‌های مرسوم مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌ها از دیدگاه مدیریت ساخت پرداختند. در مطالعات آنها روش‌های شناسایی شده مشتمل بر موارد مطابق جدول ۱ بوده است.

جدول ۱-انواع روش‌های شناخته شده برای مقاوم‌سازی ساختمان‌های بتنی

روش‌های شناخته شده برای مقاوم‌سازی	نوع بار	نوع بتن	زره پوش فولادی	پارچه FRP	زره پوش بتنی	زره پوش بتنی
			میان قاب	مهاربند فولادی	پیش تنیدگی	میلگرد FRP
			مهاربند پیرامونی	جداساز	لمینت FRP	دیوار برشی فولادی

همچنین براساس مطالعات آنها شش معیار اصلی برای انتخاب روش مقاوم‌سازی مشتمل بر محدودیت زمانی، هزینه اجرایی، اهداف عملکردی، پرهیز از ریسک، ضرورت فعال بودن ساختمان، محدودیت پلان و نما برای اجرا بود. در مطالعات آنها استفاده از دیوار برشی بتنی، زره پوش فولادی، پارچه FRP مرسوم‌ترین روش‌های مقاوم‌سازی لرزه‌ای نتیجه‌گیری شدند [۶].

در مطالعه روش‌های معمول‌ترین روش‌های یاد شده مقاوم‌سازی، استفاده از دیوار برشی بتنی، بادبند فولادی، پوشش بتنی، پوشش فولادی، پوشش FRP، مصالح میان قاب عنوان شده است. در بین روش‌های موجود برای تقویت ساختمان‌های دارای قاب بتن مسلح، استفاده از بادبند فولادی به دلیل سرعت عمل و سادگی در اجرا، آسان بودن و کم‌هزینه‌تر بودن ترمیم و یا تعویض سیستم بادبندی آسیب‌دیده بعد از وقوع زلزله و نداشتن محدودیت جهت عبور لوله‌های آب، برق و تأسیسات، بهترین روش شناخته شد [۷].

روش‌های سبک سازی و کاهش وزن ساختمان، محدود نمودن در استفاده از سازه یا تغییر کاربری، استفاده از ورق‌های پوشش یا غلاف، افزودن مهاربند هم‌محور یا برون محور فولادی، افزودن دیوار برشی بتنی یا فولادی، استفاده از جداگرهای پایه و پی‌های لغزشی، استفاده از میراگرهای اصطکاکی هیستریزیس و ویسکوالاستیک، و استفاده از روش‌های ترکیبی فوق برای بهسازی لرزه‌ای سازه‌های بلند مرتبه فولادی توسط عباسی طرئی و همکارانش معرفی شده است [۸].

احمدی مقدم و همکارش در مقاله خود استفاده از دیوار برشی فولادی، تقویت مهاربند، تقویت و سبک‌سازی اعضای سازه‌ای، تقویت مسیر بار و اضافه کردن اجزا قائم باربر جانبی جدید، منظم‌سازی شکل کلی ساختمان، مقابله با اثر ساختمان‌های مجاور و کاهش نیروهای زلزله وارد به ساختمان‌ها را روش‌های مقاوم‌سازی برای سازه عنوان کردند. در مطالعه آنها روش‌های عمومی مقاوم‌سازی اسکلت، شامل تعبیه مهاربندهای مناسب در هر دو راستا و تعبیه دیوار برشی و تعبیه میان‌قاب‌های مناسب نتیجه‌گیری گردید [۹].

براساس گزارش FEMA<sup>۱</sup> روش‌های بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های موجود عبارتند از: - رفع بی‌نظمی‌های موجود در پلان و ارتفاع - تکمیل مسیر انتقال نیرو - اضافه کردن سیستم‌های باربر جانبی - کاهش وزن ساختمان - افزایش مقاومت و یا جایگزین کردن اعضا و المان‌های ضعیف سازه - استفاده از سیستم‌های جداساز لرزه‌ای - استفاده از سیستم‌های فعال و غیر فعال اتلاف انرژی [۱۰].

روش زره پوش فولادی و دیوار برشی در حالتی که به تعداد کمتری از آنها در بهسازی احتیاج باشد در موارد خاص مناسب هستند. در حالی که بادبندهای فولادی در صورت اطمینان از اجرای مناسب و کنترل کیفی دقیق گزینه مناسب است. نتیجه مطالعات باورسایبی موارد مذکور را نشان داد [۱۱].

### ۳- روش تحقیق

جمع‌آوری اطلاعات و تحلیل آنها باید به نوعی باشد که جامعه‌ی آماری مورد بررسی را به‌طور کامل پوشش دهد و حجم اطلاعات دریافتی

به حدی باشد که سطح اطمینان آن بالا باشد و بتوان به آن استناد کرد. در این مطالعه روش‌های گردآوری اطلاعات عبارتند از:

#### ۳-۱- پرسش‌نامه

در این تحقیق تمام اعضای جامعه شانس یکسانی در انتخاب نمونه داشته‌اند و با توزیع پرسشنامه میان ۱۸ متخصص بتن با درجه کارشناسی ارشد و دکتری و میانگین سابقه اجرایی ۱۶/۲ سال در پروژه‌های کشور بودند که بیشتر افرادی که پرسش‌نامه را پر کرده‌اند متخصصین ساخت و ساز در شهر آمل و همچنین اساتید دانشگاهی این شهر بوده‌اند، در نهایت عوامل مؤثر به ترتیب درجه اهمیت مرتب شده و مهم‌ترین عامل انتخاب شده است. در این پژوهش، از قاعده‌ی ترکیبی به منظور استخراج اطلاعات استفاده شده است. این قاعده بدین صورت است که ترکیب وزنی از هر دسته را به عنوان یک اولویت به کار می‌گیرد [۱۲].

#### ۳-۲- روش TOPSIS

روش TOPSIS، یکی از روش‌های معروف روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره کلاسیک می‌باشد که اولین بار توسط هوانگ و یون<sup>۲</sup> [۱۳] معرفی گردید. منطق اصولی TOPSIS، تعریف حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل می‌باشد. حل ایده‌آل حلی است که معیارهای سود را ماکزیمم و معیارهای هزینه را مینیمم می‌نماید. به طور خلاصه، حل ایده‌آل شامل تمام بهترین مقادیر معیارهای در دسترس می‌باشد در حالی که حل ضد ایده‌آل، ترکیبی از بدترین مقادیر معیارهای در دسترس می‌باشد. گزینه بهینه، گزینه‌ای است که کوتاه‌ترین فاصله از حد ایده‌آل و بیشترین فاصله را از حد ضد ایده‌آل دارد.

#### ۳-۲-۱. الگوریتم

قدم یکم - تبدیل ماتریس تصمیم‌گیری موجود به یک ماتریس بی‌مقیاس شده با استفاده از رابطه زیر نشان داده شده است:

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m r_{ij}^2}}$$

قدم دوم - ایجاد ماتریس بی‌مقیاس وزین با مفروض بودن بردار W به عنوان ورودی به الگوریتم یعنی :

<sup>۱</sup> Federal Emergency Management Agency

<sup>۲</sup> and Yoon Hwang

$w = \{w_1, w_2, \dots, w_n\} \approx$  (مفروض از DM)

$$V = N_D \cdot W_{n \times n} = \begin{vmatrix} V_{11}, \dots, V_{1j}, \dots, V_{1n} \\ \vdots \\ V_{m1}, \dots, V_{mj}, \dots, V_{mn} \end{vmatrix}$$

ماتریس بی مقیاس وزین

به طوری که  $N_D$  ماتریسی است که امتیازات شاخص‌ها در آن بی مقیاس و قابل مقایسه شده است و  $W_{n \times n}$  ماتریسی است قطری که فقط عناصر قطر اصلی آن، غیر صفر خواهد بود.

برای گزینه ایده‌آل مثبت ( $A^+$ ) و ایده‌آل منفی ( $A^-$ ) تعریف کنیم:

$$A^+ = \left\{ \left( \max_{j \in J} V_{ij} \right), \left( \min_{j \in J'} V_{ij} \right) \mid i = 1, 2, \dots, m \right\}$$

$$= \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_j^+, \dots, V_n^+\}$$

$$A^- = \left\{ \left( \min_{j \in J} V_{ij} \right), \left( \max_{j \in J'} V_{ij} \right) \mid i = 1, 2, \dots, m \right\}$$

$$= \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^-\}$$

$$J = \{j = 1, 2, \dots, n \mid \text{z های مربوط به سود}\}$$

به طوری که

$$J' = \{j = 1, 2, \dots, n \mid \text{z های مربوط به سود}\}$$

قدم چهارم - محاسبه اندازه جدائی (فاصله)

فاصله گزینه  $A_m$  یا ایده‌آل با استفاده از روش اقلیدسی بدین قرار است:

$$d_{i+} = \text{فاصله گزینه } A_m \text{ از ایده‌آل} = \left\{ \sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2 \right\}^{0/5} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$d_{i-} = \text{فاصله گزینه } A_m \text{ از ایده‌آل منفی} = \left\{ \sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2 \right\}^{0/5} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

قدم پنجم - محاسبه نزدیکی نسبی  $A_i$  به راه‌حل ایده‌آل منفی، این نزدیکی نسبی به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$0 \leq c_{i+} < 1 \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$$cl_i = \frac{d_i}{(d_{i+} + d_{i-})}$$

ملاحظه می‌شود که چنانچه  $A_i = A^+$  گردد آنگاه  $d_{i+} = 0$  بوده و بر این اساس  $cl_{i+} = 1$  خواهد شد و در صورتی که  $A_i = A^-$  شود آنگاه  $d_{i-} = 0$  بوده و  $cl_{i+} = 0$  خواهد شد. بنابراین هر اندازه گزینه  $A_i$  به راه‌حل ایده‌آل ( $A^+$ ) نزدیک‌تر باشد، ارزش  $cl_{i+}$  به واحد نزدیک‌تر خواهد بود.

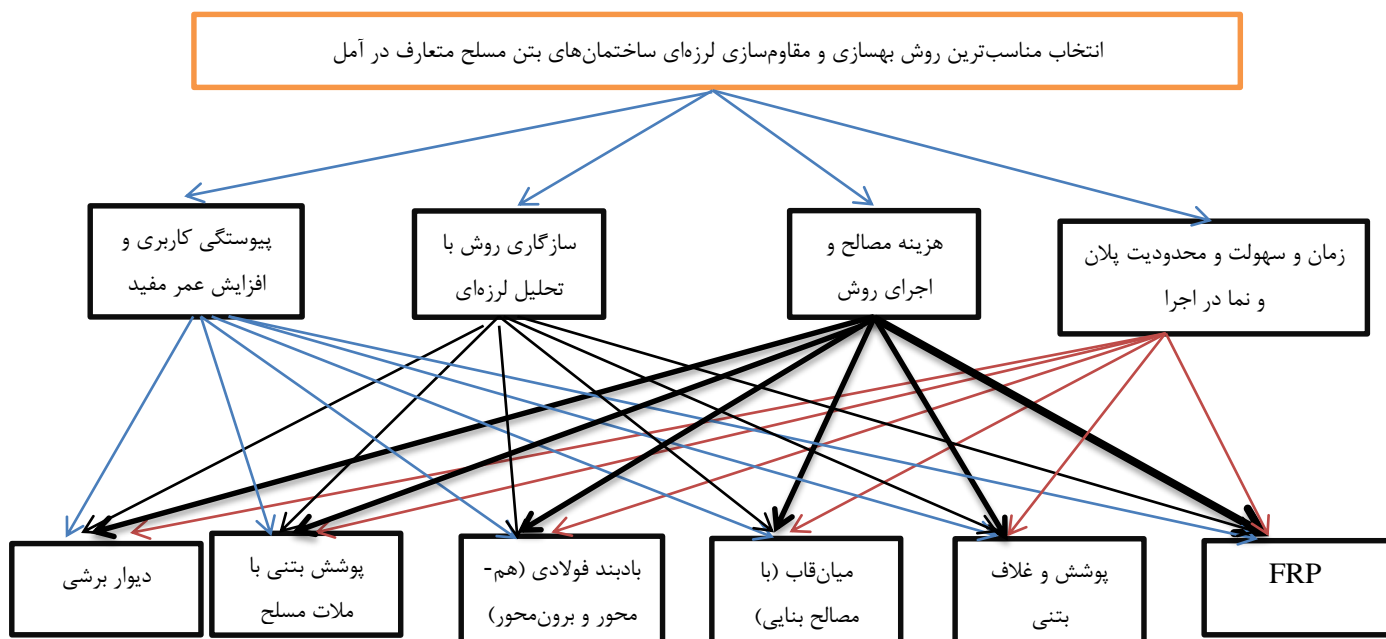
قدم ششم - رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس ترتیب نزولی  $cl_{i+}$  می‌توان گزینه‌های موجود از مساله مفروض را رتبه‌بندی نمود [۱۴].

#### ۴- گزینه‌ها و معیارهای مورد ارزیابی

با توجه به قسمت‌های پیشین معیارهای در نظر گرفته شده در این مدل‌سازی، - زمان و سهولت و محدودیت پلان و نما در اجرا، - هزینه مصالح و اجرای روش، - سازگاری روش با تحلیل لرزه‌ای، - پیوستگی کاربری و افزایش عمر مفید بوده است و عوامل مؤثر در اولویت‌بندی روش‌های متعارف بهسازی - بادبند فولادی (هم‌محور و برون‌محور)، - دیوار برشی، - میان‌قاب (با مصالح بتنی)، - پوشش و غلاف بتنی، - پوشش بتنی با ملات مسلح، - FRP استنتاج شد، که در شکل شماره ۲ ساختار سلسله مراتبی این مسئله نشان داده شده است. در سطح اول ساختار، هدف مسئله که اولویت‌بندی روش‌های متعارف بهسازی در آمل می‌باشد، آورده شده است. در سطح دوم معیارهای مؤثر در این اولویت‌بندی و در سطح سوم روش‌های شناسایی شده جهت اولویت‌بندی نشان داده شده است. قابل ذکر است که، استفاده از روش‌های مشتمل بر کابل‌های پس تنیده و پیش‌تنیده و جدایش‌گرهای پایه و میراگرهای استاتیکی هیستریزیس و ویسکوالاستیک که از روش‌های متعارف نمی‌باشد، از محدوده این پژوهش خارج است.

#### ۵- نتایج حاصل از روش TOPSIS

توسط پرسشنامه‌های تنظیم شده، موارد کمی به کیفی تبدیل شده است. در ماتریس مقایسات زوجی هر درایه بیانگر درجه اهمیت معیار سطر نسبت به معیار ستون است. در جدول شماره ۲ ماتریس مقایسه زوجی معیارها آورده شده است. درایه‌های ماتریس مقایسات زوجی حاصل میانگین هندسی نظرات پرسش‌شونده‌ها و تصمیم‌گیرندگان است. در این جدول وزن هر یک از معیارها آورده شده است



### شکل شماره ۲ - ساختار سلسله مراتبی معیارها و عوامل مؤثر بر آن

در ماتریس مقایسات زوجی، مقدار هر عنصر ماتریس بیانگر درجه اهمیت معیار سطر نسبت به معیار ستون می‌باشد. در جدول ۲ ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها با توجه به معیار زمان و سهولت اجرا و محدودیت پلان و نما در اجرا نشان داده شده است. درایه‌های این ماتریس حاصل میانگین حسابی نظرات تصمیم‌گیرندگان مختلف با قدرت تصمیم‌گیری یکسان می‌باشند.

جدول ۲-ماتریس مقایسه زوجی گزینه‌ها با توجه به معیار زمان و سهولت اجرا و محدودیت پلان و نما در اجرا

FRP	پوشش بتنی با ملات مسلح	پوشش و غلاف بتنی	میان‌قاب (با مصالح بنایی)	دیوار برشی	بادبند فولادی (هم‌محور و برون‌محور)
۱/۵	۱/۳	۳	۵	۷	بادبند فولادی (هم‌محور و برون‌محور)
۱/۹	۱/۸	۱/۵	۱/۳	۱	دیوار برشی
۱/۹	۱/۷	۱/۳	۱	۳	میان‌قاب (با مصالح بنایی)
۱/۷	۱/۵	۱	۳	۵	پوشش و غلاف بتنی
۱/۳	۱	۵	۷	۸	پوشش بتنی با ملات مسلح
۱	۳	۷	۹	۹	FRP

همانطور که مطابق جدول شماره ۲ نشان داده شده است ورق‌های FRP بهترین عملکرد را با توجه به معیار زمان و سهولت اجرا و محدودیت پلان و نما خواهد داشت. به همین ترتیب بقیه معیارها نیز وزن‌دهی می‌شوند و بدست می‌آیند. پس از به دست آوردن وزن هر یک از گزینه‌ها با توجه به معیارهای مختلف، اولویت هر یک از گزینه‌ها با توجه به معیارهای مختلف در جدول شماره ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳-اولویت‌بندی گزینه‌ها با توجه به معیارهای مختلف

اولویت اول	زمان و سهولت و محدودیت پلان و نما در اجرا	هزینه مصالح و اجرای روش	سازگاری روش با تحلیل لرزه‌ای	پیوستگی کاربری و افزایش عمر مفید
اولویت اول	ورق FRP	ورق FRP	دیوار برشی	ورق FRP
اولویت دوم	پوشش بتنی با ملات مسلح	پوشش بتنی با ملات مسلح	بادبند فولادی هم‌محور و برون‌محور	پوشش بتنی با ملات مسلح
اولویت سوم	بادبند فولادی هم‌محور و برون‌محور	میان‌قاب با مصالح بنایی	پوشش بتنی با ملات مسلح	دیوار برشی
اولویت چهارم	پوشش و غلاف بتنی	پوشش و غلاف بتنی	میان‌قاب با مصالح بنایی	پوشش و غلاف بتنی
اولویت پنجم	میان‌قاب با مصالح بنایی	بادبند فولادی هم‌محور و برون‌محور	پوشش و غلاف بتنی	میان‌قاب با مصالح بنایی



		برون محور		
اولویت ششم	دیوار برشی	دیوار برشی	FRP ورق	بادبند فولادی هم محور و برون محور

برای محاسبه ساختار با استفاده از روش TOPSIS نیاز به مقایسه زوجی معیارها نسبت به هم می‌باشد که این ماتریس مقایسات زوجی در جدول شماره ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴- ماتریس مقایسه زوجی معیارها نسبت به هم

سازگاری روش در حالت بهره‌برداری بی‌وقفه	سازگاری روش با تحلیل لرزه‌ای	هزینه مصالح و اجرای روش	زمان و سهولت اجرا و محدودیت پلان و نما
۱/۳	۱/۵	۳	زمان و سهولت اجرا و محدودیت پلان و نما
۱/۵	۱/۷	۱	هزینه مصالح و اجرای روش
۳	۱	۷	سازگاری روش با تحلیل لرزه‌ای
۱	۱/۳	۵	سازگاری روش در حالت بهره‌- برداری بی‌وقفه

در روش TOPSIS لازم است مقادیر حداقل و حداکثر هر یک از معیارها تعیین گردد که در جدول شماره ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵-مقادیر حداقل و حداکثر هر یک از مقادیر معیارها در روش TOPSIS

حداقل	زمان و سهولت اجرا و محدودیت پلان و نما	هزینه مصالح و اجرای روش	سازگاری روش با تحلیل لرزه‌ای	سازگاری روش در حالت بهره‌برداری بی‌وقفه
۰/۰۰۰۹۶	۰/۰۰۱۱	۰/۱۰۳۳۶	۰/۰۰۶۴	حداقل
۰/۱۷۱۱	۰/۲۰۵۲۵	۱/۷۹۶۷۵	۱/۱۴۲۸۴	حداکثر

برای هر یک از گزینه‌ها مقادیر ایده‌آل مثبت و منفی در جداول شماره ۶ و ۷ نشان داده شده است.

جدول ۶-مقادیر ایده آل مثبت هر یک از گزینه‌ها در روش TOPSIS

گزینه‌ها	وزن
بادبند فولادی هم محور و برون محور	۱/۲۲۶
دیوار برشی	۰/۶۳۶
میان قاب با مصالح بنایی	۱/۷۳۳۳
پوشش و غلاف بتنی	۱/۷۵۰۷
پوشش بتنی با ملات مسلح	۰/۹۵۶۷
ورق FRP	۱/۶۹۳۳۹

جدول ۷-مقادیر ایده آل منفی هر یک از گزینه‌ها در روش TOPSIS

گزینه‌ها	وزن
بادبند فولادی هم محور و برون محور	۱/۲۷۸۸۹
دیوار برشی	۱/۷۸
میان قاب با مصالح بنایی	۰/۴
پوشش و غلاف بتنی	۰/۳۶۳۸۲
پوشش بتنی با ملات مسلح	۰/۹۵۶۷
ورق FRP	۱/۱۶۷

نزدیکی نسبی هر یک از گزینه‌ها به راه حل ایده آل محاسبه شده که در جدول شماره ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸-مقدار نزدیکی نسبی گزینه‌ها به راه حل ایده آل و اولویت بندی گزینه‌ها با روش TOPSIS

گزینه‌ها	وزن
بادبند فولادی هم محور و برون محور	۰/۵۱۰۵۵
دیوار برشی	۰/۷۳۶۷۵
میان قاب با مصالح بنایی	۰/۱۸۷۵
پوشش و غلاف بتنی	۰/۱۷۲

۰/۶۱۵۱	پوشش بتنی با ملات مسلح
۰/۴	ورق FRP

در روش Topsis، هر چه مقدار نزدیکی نسبی بیشتر باشد، گزینه متناظر با آن ایده‌آل‌تر است. با توجه به نتایج به دست آمده از روش Topsis مشخص است که روش دیوار برشی بهترین سیستم به منظور بهسازی و مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح می‌باشد.

#### نتیجه‌گیری:

پس از بررسی و آنالیز مقادیر بدست آمده، نتایجی به شرح زیر حاصل می‌گردد:

۱- با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۳ ورق FRP بهترین سیستم بهسازی و مقاوم‌سازی سازه‌های بتن مسلح با توجه به معیار زمان وسهولت و محدودیت پلان و نما می‌باشد.

۲- با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۳ ورق FRP بهترین سیستم بهسازی و مقاوم‌سازی سازه‌های بتن مسلح با توجه به معیار هزینه مصالح و اجرای روش می‌باشد.

۳- با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۳ دیوار برشی بهترین سیستم بهسازی و مقاوم‌سازی سازه‌های بتن مسلح با توجه به معیار سازگاری روش با تحلیل لرزه‌ای می‌باشد.

۴- با توجه به نتایج به دست آمده از جدول ۳ ورق FRP بهترین سیستم بهسازی و مقاوم‌سازی سازه‌های بتن مسلح با توجه به معیار پیوستگی کاربردی و افزایش عمر مفید می‌باشد.

۵- با توجه به جدول شماره ۴ مشخص است که معیار سازگاری روش با تحلیل لرزه‌ای مهمترین معیار در انتخاب بهترین سیستم بهسازی و مقاوم سازی می‌باشد

۶- با در نظر گرفتن وزن تک تک معیارها و استفاده از روش Topsis با در نظر گرفتن تمامی جوانب دیوار برشی به عنوان بهترین سیستم بهسازی و مقاوم‌سازی انتخاب گردیده است.

#### مراجع:

- [۱]. یاسر یدالهی، مسعود قلی‌زاده، حامد همدانی "بررسی اثر الیاف FRP در مقاوم‌سازی قاب‌های بتن مسلح" مجموعه مقالات هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، ۱۳۹۲
- [۲]. محسن احمدی "بررسی روش‌های مقاوم‌سازی در سازه‌های بتن‌آرمه" مجموعه مقالات اولین همایش منطقه‌ای مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار، ۱۳۹۰
- [۳]. جواد خزایی، میثم شایسته "بررسی عوامل مؤثر در تصمیم‌گیری" مجموعه مقالات همایش ملی سازه، راه، معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، ۱۳۹۰
- [۴]. گرامی، م. و بزاز، م. و عندلیب، ز. "مقاوم‌سازی قاب‌های بتن مسلح به کمک بادبندهای فولادی" چهاردهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسر کشور، تهران، ۱۳۸۷
- [۵]. قدرتی، ا. و رادمان، ب.، "بهسازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتن مسلح تقویت شده با الیاف CFRP" چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، ۱۳۸۷
- [۶]. عبدالکریم عباسی دزفولی، محمد ایزدیار "تحلیل و بررسی روش‌های مرسوم مقاوم‌سازی لرزه‌ای ساختمان‌های بتنی از دیدگاه مدیریت ساخت" مجموعه مقالات هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، ۱۳۹۲
- [۷]. شهاب روشنکار، علی ضیا شمس "ارائه یک روش بهینه مقاوم‌سازی لرزه‌ای با توجه به پارامترهای کارایی، هزینه و زمان" مجموعه مقالات سومین کنفرانس سالیانه بتن ایران، تهران، ۱۳۹۰

- [۸]. مرضیه عباسی طرئی، عباس حق‌اللهی، محمد صادق طاهر طلوع دل "پیشنهاد روش نوین بهسازی لرزه‌ای سازه‌های بلند مرتبه فولادی" مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی سازه، زلزله، ژئوتکنیک، مازندران، ۱۳۹۱
- [۹]. حامد احمدی مقدم، لیلا کاسب‌نژاد "بررسی روش‌های مقاوم‌سازی و بهسازی سازه‌های فلزی موجود (مطالعه موردی: سالن ورزشی مرکز تربیت معلم رشت)" مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی سازه، زلزله، ژئوتکنیک، مازندران، ۱۳۹۱
- [10]. FEMA-172: "Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings", Federal Emergency Management Agency, Washington, 2007
- [۱۱]. محمد باورسای "مقایسه چند روش بهسازی ساختمان‌های بتنی در برابر نیروی زلزله" مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی عمران شهری، دانشگاه آزاد اسلامب واحد سنندج، ۱۳۹۰
- [۱۲]. حامد رضا طارقیان، "برنامه‌ریزی و کنترل پروژه"، چاپ اول، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۸
- [13]. Hwang .C.L., Zadeh L.A., Decision-making in a fuzzy environment, Management Sciences 17, 141-164, 1970
- [۱۴]- اصغرپور، محمدجواد. "تصمیم‌گیری های چندمعیاره"، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۸.

## Preferences of seismic strengthen and rehabilitation reinforced concrete construction in AMOL city

The seismic is the main issue of decades in engineers' tendency. Today uses of new methods of rehabilitation on construction according to performance, time and economic and etc. to this way engineers of Iran country search to new calculate method, choose best option to minimum of cost and maximum of safety factor. According to this issue, in amol city the most construction haven't the characters of strength of seismic, necessity of investigation of construction that don't have a character of seismic strength. In this study, first investigated the methods of seismic strength and rehabilitation and then, with the opinion of engineer and disturb and assemblage and analysis the goal quash Narre, to preferences the methods of seismic strengthen and rehabilitation method in amol reinforced concrete construction. The harvest of this study shows that the most preferences of strength of construction is steel jacketing, concrete jacketing, and shear wall and uses of FRP.

**Keywords:** methods of strengthen and rehabilitation, reinforced concrete construction, decided making