

# مطالعه روش های مقاوم سازی لرزه ای ساختمان های بتن مسلح واقع در شهرستان کازرون با استفاده از روش TOPSIS

دریافت مقاله: ۱۳۹۶-۱۱-۲۰

پذیرش مقاله: ۱۳۹۷-۴-۲۴

محمد رضا احسان دوست \*

کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کازرون، باشگاه پژوهشگران جوان ونخبگان، کازرون، ایران  
e.ehsandoost20@gmail.com

آریانپور، یاسر

دانشجوی دکترا و معاونت آموزشی موسسه آموزش عالی لیان، موسسه آموزش عالی لیان - دانشکده مهندسی، بوشهر، ایران  
yaser.a@yahoo.com

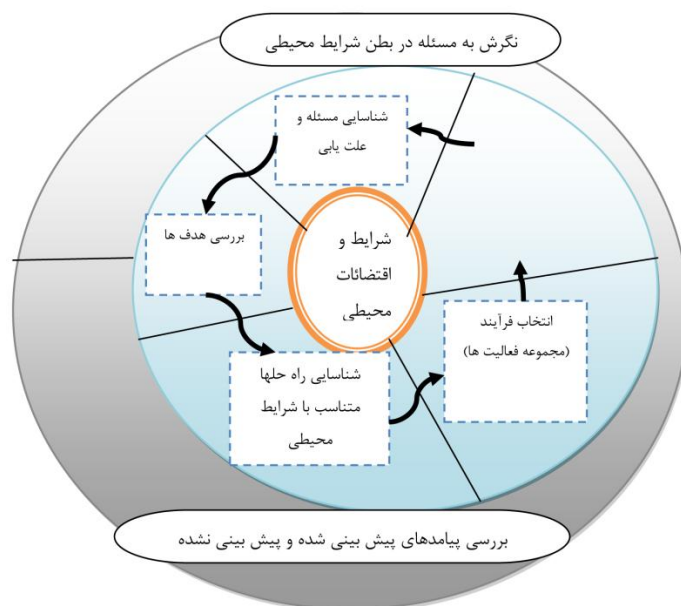
چکیده:

بطور کلی دلایل مختلفی برای مقاوم سازی سازه ها وجود دارد از جمله آنها می توان به ساختمان های آسیب دیده در اثر وقوع زلزله و ساختمان هایی که به دلیل تغییر ضوابط آئین نامه مقاومت کافی ندارند و یا ساختمان هایی که کاربری آنها تغییر داده شده است، اشاره کرد در این راستا مهندسیین و محققین کشور در تلاش هستند تا با استفاده از روش های محاسباتی، بهترین راه حل را با کمترین هزینه و بالاترین ضریب اطمینان بدست آورند. با توجه به این که برخی از سازه های موجود در شهرستان کازرون ویژگی های یک سازه مقاوم در برابر زلزله را ندارند، و بیشتر آنها مطابق با آئین نامه ویرایش دوم زلزله ایران و قبل از آن ساخته شده اند، لازم است نسبت به بررسی آنها، اقدام شود تا در ادامه با راه حل های مناسب، بهسازی در آن صورت گیرد. در این پژوهش، در ابتدا به تحلیل و بررسی روش های مقاوم سازی لرزه ای ساختمان های متعارف بتن مسلح که در شهرستان کازرون مورد مطالعه قرار گرفته و پس از آن با استفاده از نظر متخصصین و توزیع و جمع آوری و تحلیل پرسشنامه هدفمند و روش TOPSIS به اولویت بندی روش مناسب برای مقاوم سازی لرزه ای ساختمان های بتن مسلح متعارف در شهرستان کازرون پرداخته شده است. نتایج این پژوهش نشان دهنده این است که از اولویت های مهم مقاوم سازی ساختمان های بتن مسلح متعارف در شهرستان کازرون روش های غلاف فولادی، غلاف بتن مسلح و دیوار برشی بتن مسلح و استفاده از FRP است.

کلمات کلیدی: ساختمان بتن مسلح، بهسازی و مقاوم سازی، TOPSIS، شهرستان کازرون

زلزله می تواند یکی از اثرگذارترین پدیده های طبیعی در زندگی و رفتار مردم یک جامعه باشد. کشور ایران نیز به علت واقع شدن بر روی کمربند لرزه ای آلپ-همیالیا درگیر این مسئله بوده و زلزله های بزرگی را تاکنون تجربه کرده است. زلزله بم، منجیل، طیس، زرنند و نظایر آن می تواند موید این گفتار باشد. با توجه به آنچه گفته شد لزوم داشتن ساختمان های مقاوم که در سطح عملکرد مناسب توانایی به حداقل رساندن خسارت جانی و مالی هنگام زلزله را داشته باشند، امری ضروری بوده و یکی از مهم ترین چالش های مهندسين سازه در دهه های اخیر به شمار می رود. آیین نامه های متعددی نیز به همین منظور تهیه شده اند. (۱) استفاده از ساختمان های بتن مسلح از چند دهه پیش در کشور ما متداول بوده است. بسیاری از ساختمان های موجود زمانی طراحی و اجرا شده اند، که مبانی طراحی لرزه ای به خوبی شناخته شده نبوده است. آئین نامه ها، دستورالعمل های مشخصی و استاندارد ۲۸۰۰ یا وجود نداشته و یا در صورت وجود، به دلیل نو پا بودن به صورت الزام آور اجرا نمی شده، لذا این ساختمان ها دارای مقاومت، سختی و شکل پذیری کافی برای پاسخ به نیازهای لرزه ای نیستند (۲-۳).

در حالت کلی دو روش برای افزایش ظرفیت لرزه ای سازه ها وجود دارد. می توان کل سازه را با اضافه کردن اعضای جدید همانند دیوار برشی فولادی یا بتن مسلح، مهاربند فولادی، دیوارهای پرکننده، کابل های پس تنیده، میراگرها و غیره تقویت نمود و یا اینکه با ترمیم و تقویت اعضای موجود همانند استفاده از پوشش های FRP و سایر روش های مرسوم برای تقویت موضعی تیرها و ستون های بتن مسلح آسیب پذیر و نیازمند به تقویت استفاده کرد. البته لازم به ذکر است، روش منحصر به فردی برای رسیدن به پاسخ سازه ای قانع کننده وجود ندارد و الگوهای مقاوم سازی متفاوتی را می توان برای تقویت یک سازه خاص به کار برد. ولی در تمامی روش ها، معمولاً اهداف و معیارها افزایش استحکام و مقاومت سازه ها، افزایش انعطاف پذیری و شکل پذیری و یا مجموعه ای از دو خاصیت مذکور دنبال می گردد که اهمیت هر یک از معیارهای فوق به منظور انتخاب روش ترمیم بستگی به اهمیت، ارتفاع، مقاومت و انعطاف پذیری سازه و همچنین پلان مربوطه دارد. (۴) انتخاب روش های مقاوم سازی بستگی به پارامترهای متعددی از جمله نوع سیستم باربر قائم و جانبی، نوع مصالح، فناوری موجود و نیروی کار ماهر دارد. در فرآیند اتخاذ تصمیم های 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 می کنند. راهکارها را تنظیم و آنها را اولویت بندی می کنند، سپس یکی از راهکارها را که با شرایط، توانمندی ها، امکانات و زمان تطابق پیدا می کند انتخاب می کنند و به اجرا در می آورند. اساساً در شناسایی مسائل دو نوع طرز تفکر خطی (تحلیلی تجزیه مدار) و طرز تفکر غیرخطی (سیستمی) که منجر به تدوین مدل باز تصمیم گیری با تعامل با محیط می شود، وجود دارد (شکل ۱).



شکل (۱) - نگرش طرز تفکر سیستمی (۵)

هدف از انتخاب راه کار، حل مسئله برای رسیدن به هدف های از پیش تعیین شده است. تصمیم یک پایان نیست، بلکه فقط ابزاری برای نیل به پایان (هدف) است. که تصمیم گیر، راهکاری را انتخاب می کند که او را به هدف برساند. بنابراین، این انتخاب را نباید به منزله یک عمل مجزا تلقی کرد. اگر این طور باشد که عواملی که منجر به اخذ تصمیم و هدایت آن می شود احتمالاً کنار گذاشته خواهند شد. به ویژه اینکه، مراحل تصمیم گیری باید، اجرا، کنترل و ارزشیابی آثار راه کارها را هم شامل شوند. نقطه حساس و با اهمیت این است که تصمیم گیری یک عمل مکانیکی نیست، بلکه یک فرآیند پویاست. در حالی که اکثر مدیران راه کارهایی انتخاب می کنند که دستیابی به آنها به زیان هدف های دیگر منجر می شود. عوامل متعددی در انتخاب تکنیک مقاوم سازی تاثیر دارند که در زیر به بخشی از آنها می پردازیم:

الف- ارزش سازه در مقابل اهمیت آن

ب- نیروی انسانی موجود.

پ- طول مدت اجرا یا زمان عدم استفاده.

ت- تکمیل و تقویت براساس عملکرد مورد نظر کارفرما.

ث- توجه به تناسب زیبا شناسی (معماری).

ج- تداخل برگشت پذیری.

چ- کنترل کیفی سطح عملکرد.

ح- اهمیت تاریخی و سیاسی سازه.

خ- سازگاری روش مقاوم سازی با سیستم سازه ای موجود.

د- نامنظمی در سختی، مقاومت و شکل پذیری.

ذ- مواد ترمیمی و روش های موجود مقاوم سازی.

۲- بررسی روش های مقاوم سازی و بهسازی لرزه ای 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 و مهمترین عنصر مقاوم سازه در برابر نیروهای جانبی می باشند. به عبارت دیگر افزایش تعداد دیوارهای برشی از روش های مناسب 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 می کنند و حجم بالایی که دارد برای مقاوم سازی ساختمان های کوتاه مرتبه توصیه می شود. در این حالت برش پایه افزایش یافته و به دلیل افزایش فشار، تقویت شالوده سازه موجود زیر دیوار برشی اضافه شده هزینه بالایی را در پی دارد. استفاده از دیوار برشی فولادی به دلیل زمان نصب و ساخت از لحاظ اقتصادی مزایایی دارد و همچنین هزینه تقویت سایر اجزاء ساختمان نظیر شالوده را چندان تحت تأثیر قرار نمی دهد. اما یکی از معایب این دیوارهای برشی فولادی کمناش موضعی یا کلی در نواحی فشاری است که مقاومت برشی، سختی و ظرفیت استهلاک انرژی را کاهش می دهد که برای جلوگیری از این کمناش، سخت کننده به آن اضافه کرده که باعث افزایش هزینه های ساخت می گردد(۴).

### ب) اضافه کردن بادبندهای فولادی

اضافه شدن بادبندهای هم محور و برون محور فولادی به قاب های بتن مسلح باعث افزایش مقاومت جانبی قاب می گردد. بادبندها به حالت های فشاری، کششی و به اشکال V، X (Chevron) و زانویی اجرا می گردند. اصولاً بادبندهای کششی نسبت به بادبندهای فشاری در سیکل های متناوب بارگذاری، رفتار لرزه ای بهتری داشته و حلقه های هیستریزس آنها باریک شدگی کمتری داشته و افت سختی کمتری دارند. مزایای این روش عبارتند از: افزایش مقاومت و شکل پذیری سازه، اعمال وزن کمتر به سازه، امکان استفاده از باز شو و پنجره در قاب بادبندی شده، اجرای نسبتاً آسان و کنترل کیفیت ساده تر می باشد. عیب روش فوق عدم اتصال مناسب بین بادبند فولادی و قاب بتن مسلح است که اتصال را حین زلزله آسیب پذیر می سازد. در صورتی که در اعضای فشاری بادبند کمناش اتفاق نمی افتد و امکان تشکیل مفصل خمیری فشاری فراهم می گردد، یعنی رفتار این اعضا در کشش و فشار یکی شوند، اعضای مهاری می توانند در کشش و فشار به تسلیم برسند. در مقاوم سازی قاب های بتن مسلح به کمک بادبندهای فولادی مشخص شد که بادبندهای فولادی می توانند تا ۹۰ درصد ظرفیت باربری جانبی سازه را ارتقا ببخشند و مهمترین نکته که باید مورد توجه قرار گیرد نوع اتصال مهاربند به قاب می باشد که بالاترین تأثیر را روی عملکرد مهاربند می گذارد(۶).

### ج- اضافه کردن میراگرها

اضافه کردن میراگرها سبب می شود میرایی افزایش یافته و باعث کاهش دامنه نوسان و به دنبال آن کاهش پاسخ لرزه ای سازه شود. معمولاً میراگرها روی بادبند، بین بادبند، تیر، بین دیوارها یا بین دیوار و تیر نصب می شوند.

### ۲-۲) تقویت سازه با ترمیم اعضای موجود به وسیله ورق های 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 می توانند در یک راستا یا دو راستای عمود بر هم قرار داشته باشند. به طور کلی FRP ها به دو شکل ورقه های FRP و میلگردهای FRP وجود دارند و براین اساس فیبر تشکیل دهنده آن به دسته های CFRP با الیاف از جنس کربن، GFRP با الیاف از جنس شیشه و AFRP با الیاف از جنس آرامید هستند. از آنجایی که در قریب به اتفاق ساختمان ها تنها یک بار عملیات مقاوم سازی صورت می گیرد، انتخاب بهترین روش با توجه به نیاز ساختمان بسیار حائز اهمیت است. در مقاوم سازی ساختمان ها روش کاملی وجود ندارد و تمام روش ها دارای محاسن و معایبی هستند که برای انتخاب هر کدام از آنها باید علاوه بر محاسن، به معایب و

<sup>۱</sup> Fiber Reinforced polymer or plastic

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 تقویت‌کننده پلیمری در ستون‌های بتن مسلح باعث می‌شود که ۱۹ درصد افزایش مقاومت و افزایش شکل‌پذیری به میزان ۳۸ درصد منجر شود و بدینوسیله باعث هدایت نقطه شکست سازه از داخل ستون‌ها به داخل تیرها می‌شود (۷).

### ۳- مروری بر تحقیقات صورت گرفته

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 ساختمان‌های بتنی	غلاف بتن مسلح	پارچه FRP	غلاف بتن مسلح	غلاف فولادی
	میلگرد FRP	مهاربند فولادی	پیش‌تنیدگی	میان قاب
	دیوار برشی فولادی	جداساز	FRP	مهاربند پیرامونی

همچنین براساس مطالعات آنها شش معیار اصلی برای انتخاب روش مقاوم‌سازی مشتمل بر محدودیت زمانی، هزینه اجرایی، اهداف عملکردی، پرهیز از ریسک، ضرورت در خدمت بودن ساختمان، محدودیت پلان و نما برای اجرا بود. در مطالعات آنها استفاده از دیوار برشی بتن مسلح، غلاف فولادی، پارچه FRP مرسوم‌ترین روش‌های مقاوم‌سازی لرزه‌ای نتیجه‌گیری شد (۸).

Badoux و Jirsa (۹) در سال ۱۹۹۰ یک آزمایش بارگذاری چرخه‌ای را روی قاب‌های مقاوم‌سازی شده با مهاربندهای داخل قابی انجام دادند. برخی دیگر از محققین (۱۰-۱۱) تاثیر بکارگیری اعضاء خرپایی را برای مقاوم‌سازی قاب بتن مسلح بررسی نمودند.

در مطالعه روش‌نکار و همکارش معمول‌ترین روش‌های یاد شده مقاوم‌سازی، استفاده از دیوار برشی بتن مسلح، بادبند فولادی، غلاف بتن مسلح، غلاف 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 کم‌هزینه تر بودن ترمیم و یا تعویض سیستم بادبندی آسیب دیده بعد از وقوع زلزله و نداشتن محدودیت جهت عبور لوله‌های آب، برق و تأسیسات، بهترین روش شناخته شد (۱۲).

ناطق الهی (۱۳) مهاربندهای فولادی داخلی را برای بهبود ظرفیت باربری ساختمان هشت طبقه در ایران به کار برد. Ghobarah و همکارانش (۱۴) ساختمان‌های بتن مسلح غیرشکل‌پذیر موجود را به کمک مهاربندهای فولادی V معکوس هم‌محور و برون‌محور مقاوم‌سازی نمودند.

عباسی طرئی و همکارانش روش‌های سبک‌سازی و کاهش وزن ساختمان، محدود نمودن در استفاده از سازه یا تغییر کاربری، استفاده از ورق‌های پوشش یا غلاف، افزودن مهاربند هم‌محور یا برون‌محور فولادی، افزودن دیوار برشی بتن مسلح یا فولادی، استفاده از جداگرهای پایه و پی‌های لغزشی، استفاده از میراگرهای اصطکاکی هیستریز و ویسکوالاستیک، و استفاده از روش‌های ترکیبی فوق‌برای بهسازی لرزه‌ای سازه‌های بلند مرتبه فولادی معرفی کردند (۱۵).

ماهری و کوهساری (۱۶) یک کار آزمایشگاهی بارافزون (Pushover) را روی قاب‌های بتن مسلح مهاربندی شده با اعضاء فولادی انجام دادند. در این مطالعه به منظور دستیابی اهداف ابتدا قاب‌های بتن مسلح برای مقاوم‌سازی، بر اساس ویرایش دوم "آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله" (۱۷) بارگذاری لرزه‌ای گردیده و طراحی کردند.

سپس بارهای لرزه ای افزایش یافته که بر اساس استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش سوم (۱۸) محاسبه شده به قاب ها اعمال گردیدند.

احمدی مقدم و همکارش در مقاله خود استفاده از دیوار برشی فولادی، تقویت مهاربند، تقویت و سبک سازی اعضای سازه ای، تقویت مسیر بار و اضافه کردن اجزا قائم باربر جانبی جدید، منظم سازی شکل کلی ساختمان، مقابله با اثر ساختمان های مجاور و کاهش نیروهای زلزله وارد به ساختمان ها را روش های مقاوم سازی برای سازه عنوان کردند. در مطالعه آنها روش های عمومی مقاوم سازی اسکلت، شامل تعبیه مهاربندهای مناسب در هر دو راستا و تعبیه دیوار برشی و تعبیه میان قاب های مناسب نتیجه گیری کردند (۱۹).

بر اساس گزارش FEMA روش های بهسازی لرزه ای ساختمان های موجود عبارتند از:

الف- رفع بی نظمی های موجود در پلان و ارتفاع

ب- تکمیل مسیر انتقال نیرو.

پ- اضافه کردن سیستمهای باربر جانبی.

ت- کاهش وزن ساختمان.

ث- افزایش مقاومت و یا جایگزین کردن اعضا و المانهای ضعیف سازه.

ج- استفاده از سیستم های جداساز لرزه ای.

چ- استفاده از سیستمهای فعال و غیر فعال اتلاف انرژی (۲۰).

روش غلاف فولادی و دیوار برشی در حالاتی 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 (۲۱).

#### ۴- معرفی منطقه مورد مطالعه

وجود گستره پایدار سپر اوراسیا و تنش های فشارشی ناشی از حرکت صفحه عربی در راستای شمال-شمال شرقی و حرکت صفحه هند در راستای شمال-شمال غربی، موجب حرکت و جابجایی های نسبی متفاوت در قطعات گوناگون پوسته ایران می شود. شهرستان کازرون در ۵۱ درجه و ۳۹ دقیقه و ۱۵ ثانیه طول شرقی و ۲۹ درجه و ۲۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. شهرستان کازرون مرکز **شهر کازرون** در بخش باختری **استان فارس** و در جنوب غربی ایران است. این شهرستان با برخورداری از ارزش های معماری و نیز از آنجا که مجموعه ای از آثار باستانی و بناهای تاریخی را در خود جای داده است، در بین شهرهای ایران حائز اهمیت است. قرارگیری شهرستان کازرون در بین راه های ارتباطی کشور (از خاور به **شهر شیراز**، از شمال به **شهرستان ممسنی** و از باختر و جنوب به **استان بوشهر** و از جنوب خاوری به **شهرستان فراهین**)، موقعیت ویژه ای به این شهرستان بخشیده است (شکل ۲). این ناحیه که در ایالت لرزه زمین ساختی زاگرس واقع شده، از نظر زمین ساختی ناحیه ای فعال است.



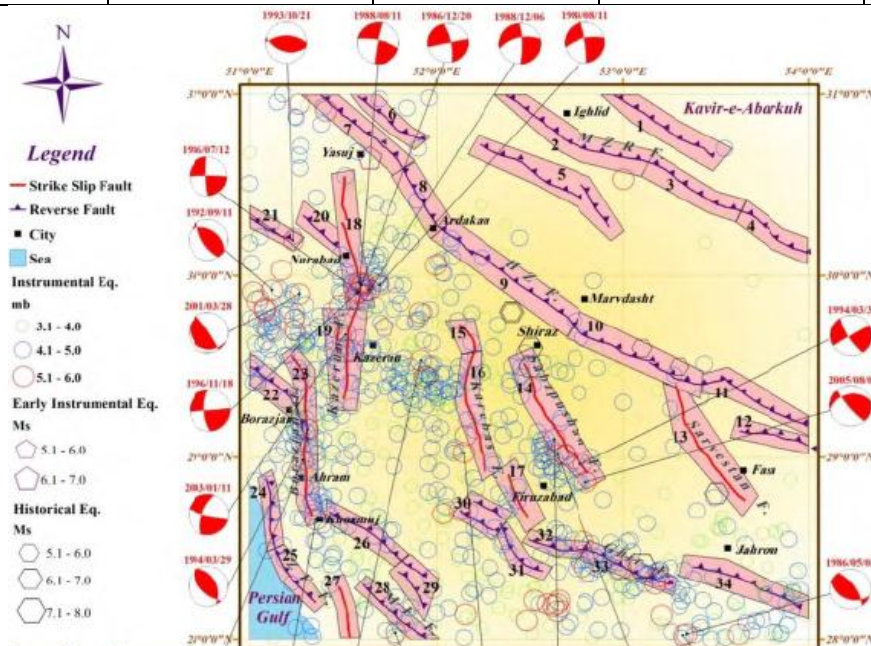


شکل (۲): موقعیت ناحیه مورد مطالعه (قسمت دایره ای) بر روی نقشه

در شهرستان کازرون، گسل کازرون که به گسل قطر کازرون معروف است و گسل منطقه کوهمره سرخی از جمله گسل های این شهرستان به شمار می روند که نسبت به دیگر گسل ها فعال ترند. سوابق لرزه خیزی شهرستان کازرون نشان دهنده ی آن است که کازرون روی کمربند لرزه است و بارها به سبب زلزله با خاک یکسان شده است. درجه ی خطر نسبی زلزله در شهرستان کازرون دارای دامنه زیاد است (جدول ۲- شکل ۳). آخرین زلزله در شهرستان کازرون، زلزله ی سال ۱۳۸۹ به قدرت ۶/۱ ریشتر بود. جمعیت این شهر در سال ۱۳۹۰ بالغ بر ۱۴۰،۸۶۹ نفر بوده است. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۸۶۰ متر بوده و دارای آب و هوایی معتدل است.

جدول (۲): خطر نسبی زمین لرزه در شهرستان کازرون (۲۲)

ناحیه ی خطر	خطر زمین لرزه (کیفی)	محدوده ی شتاب مبنای طراحی (g)	محدوده سرعت مبنای طراحی (cm/s)	وسعت ناحیه (کیلومتر مربع)
ناحیه ۲	بالا	$0.32 < a \leq 0.37$	$15 < v < 20$	۵۶۳۴۰



شکل (۳) - نقشه لرزه زمین ساختی استان فارس (۲۳)

## ۵- روش تحقیق

جمع آوری اطلاعات و تحلیل آنها باید به نوعی باشد که جامعه ی آماری مورد بررسی را به طور کامل پوشش دهد و حجم اطلاعات دریافتی به حدی باشد که سطح اطمینان آن بالا باشد و بتوان به آن استناد شود. در این مطالعه روش های گردآوری اطلاعات به شرح زیر می باشد.

### ۵-۱) پرسشنامه

در این تحقیق تمام اعضای جامعه شانس یکسانی در انتخاب نمونه دارند و با توزیع پرسشنامه میان ۱۳ متخصص بتن با درجه کارشناسی ارشد و دکتری و میانگین سابقه اجرایی ۱۴/۳ سال در پروژه های کشور بودند که بیشتر افرادی که پرسشنامه را تکمیل کرده اند متخصصین ساخت و ساز در شهرستان کازرون و همچنین از اساتید دانشگاهی این شهرستان بوده اند. در نهایت عوامل مؤثر به ترتیب درجه اهمیت مرتب شده و مهمترین عامل انتخاب شده است. در این پژوهش، از قاعده ی 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 می گیرد (۲۴).

### ۵-۲) روش TOPSIS

روش TOPSIS، یکی از روش های معروف تصمیم گیری چندمعیاره کلاسیک می باشد که اولین بار توسط هوانگ و یون (۲۵) معرفی شد. این روش بر اساس این مفهوم است که گزینه منتخب باید کمترین فاصله را از راه حل مثبت ایده آل داشته باشد (یعنی دستیابی به کمترین شکاف در هر معیار) و بیشترین راه حل منفی ایده آل را داشته باشد (یعنی دستیابی به سطوح حداکثری در هر معیار). TOPSIS شاخصی را تعریف می کند که شباهت به راه حل مثبت ایده آل و دوری از راه حل منفی ایده آل خوانده می شود. سپس در این روش گزینه ای انتخاب می شود که بیشترین شباهت را به راه حل ایده آل مثبت دارد (۲۶) این روش خصوصاً در حل مسائل تصمیم گیری گروهی در فضای فازی کارایی دارد. (۲۷) در ادامه بطور مختصر به منطق نظریه فازی پیش از توسعه TOPSIS فازی می پردازیم. این مفهوم ریاضی برگرفته شده از کار بایوکوزکان و فیض اوگلو و نبول<sup>۲</sup> (۲۸) کو و دیگران (۲۰۰۷) و وانگ و چانگ (۲۰۰۷) است.

### ۵-۲-الف) الگوریتم

الف) تبدیل ماتریس تصمیم گیری موجود به یک ماتریس بی مقیاس شده با استفاده از رابطه (۱) نشان داده شده است:

$$n_v = \frac{r_v}{\sqrt{\sum_{i=1}^m r_v^2}} \quad \text{رابطه ۱}$$

ب) ایجاد ماتریس بی مقیاس وزین با مفروض بودن بردار  $W$  به عنوان ورودی به الگوریتم یعنی:

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

$$F = V = N_D W_{n \times n} = \begin{vmatrix} v_{11} & \dots & v_{1j} & \dots & v_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ v_{m1} & \dots & v_{mj} & \dots & v_{mm} \end{vmatrix} \quad \text{رابطه ۲}$$

$F =$  ماتریس بی مقیاس وزین

به طوری که  $N_D$  ماتریسی است که امتیازات شاخص ها 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 ایده آل مثبت ( $A^+$ ) و ایده آل منفی ( $A^-$ ) تعریف کنیم:

رابطه ۳

$$A^+ = \left\{ \left( \max_{ij} V_{ij}, I_j \in J \right), \left( \min_{ij} V_{ij}, I_j \in J^0 \right) \mid i = 1, 2, \dots, m \right\} = \{V_1^+, V_2^+, \dots, V_j^+, \dots, V_n^+\}$$

$$A^- = \left\{ \left( \min_{ij} V_{ij}, I_j \in J \right), \left( \max_{ij} V_{ij}, I_j \in J^0 \right) \mid i = 1, 2, \dots, m \right\} = \{V_1^-, V_2^-, \dots, V_j^-, \dots, V_n^-\}$$

به طوری که

$$J = \{j = 1, 2, \dots, n\} \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{لهای مربوط به سود} \end{array} \right\}$$

$$J^0 = \{j = 1, 2, \dots, n\} \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{لهای مربوط به سود} \end{array} \right\}$$

(پ) محاسبه اندازه جدائی (فاصله)

فاصله گزینه  $A_i$  یا ایده آل با استفاده از روش اقلیدسی بدین قرار است:

$$d_{i+} = \left\{ \sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^+)^2 \right\}^{0.5} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

رابطه ۴

$d_{i+}$  = فاصله گزینه  $i$  از ایده آل مثبت

$$d_{i-} = \left\{ \sum_{j=1}^n (V_{ij} - V_j^-)^2 \right\}^{0.5} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

$d_{i-}$  = فاصله گزینه  $i$  از ایده آل منفی

(ت) محاسبه نزدیکی نسبی  $A_i$  به راه حل ایده آل منفی، این نزدیکی نسبی به صورت زیر تعریف می گردد:

$$0 \leq cl_{i+} < 1$$

$$i = 1, 2, \dots, m$$

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

رابطه ۵

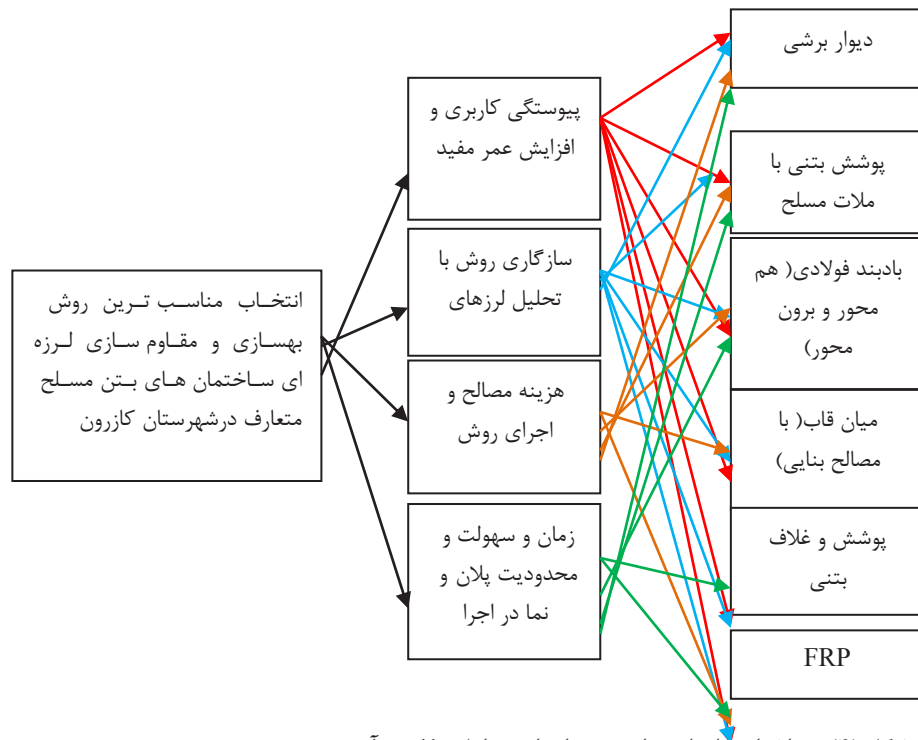
ملاحظه می شود که چنانچه  $A_i = A^+$  گردد آنگاه  $d_{i+} = 0$  بوده و بر این اساس  $cl_{i+} = 1$  خواهد شد و در صورتی که  $A_i = A^-$  شود آنگاه  $d_{i-} = 0$  بوده و  $cl_{i+} = 0$  خواهد شد. بنابراین هر اندازه گزینه  $A_i$  به راه حل ایده آل ( $A^+$ ) نزدیک تر باشد، ارزش  $cl_{i+}$  به واحد نزدیک تر خواهد بود.

ج) رتبه بندی گزینه ها بر اساس ترتیب نزولی  $cl_{i+}$  می توان گزینه های موجود از مساله مفروض را رتبه بندی نمود (۲۹).

## ۶- گزینه ها و معیارهای مورد ارزیابی

با توجه به قسمت های پیشین معیارهای در نظر گرفته شده در این مدل سازی، زمان و سهولت و محدودیت پلان و نما در اجرا، هزینه مصالح و اجرای روش، سازگاری روش با تحلیل لرزه ای، پیوستگی کاربری و افزایش عمر مفید بوده است و عوامل مؤثر در اولویت بندی روش های متعارف بهسازی عبارتند از: بادبند فولادی (هم محور و برون محور)، دیوار برشی، میان قاب (با مصالح بنایی)، غلاف بتن مسلح، استخراج شد، که در شکل شماره (۴) ساختار سلسله مراتبی این مسئله نشان داده شده است. در سطح اول ساختار، هدف مسئله که اولویت بندی روش های

متعارف بهسازی در شهرستان کازرون می باشد، آورده شده است. در سطح دوم معیارهای مؤثر در این اولویت بندی و در سطح سوم روش های شناسایی شده برای اولویت بندی نشان داده شده است. قابل ذکر است که، استفاده از روش های مشتمل بر کابل های پس تنیده و پیش تنیده و جدایش گرهای پایه و میراگرهای استاتیکی هیستریزیس و ویسکوالاستیک که از روش های متعارف نمی باشد، از محدوده این پژوهش خارج است.



شکل (۴): ساختار سلسله مراتبی معیارها و عوامل مؤثر بر آن

## ۷- نتایج حاصل از روش TOPSIS

در ماتریس مقایسات زوجی، مقدار هر عنصر ماتریس بیان گر درجه اهمیت معیار سطر نسبت به معیار ستون می باشد. در جدول (۳) ماتریس مقایسه زوجی گزینه ها با توجه به معیار زمان و سهولت اجرا و محدودیت پلان و نما در اجرا نشان داده شده است. درایه های این ماتریس حاصل میانگین حسابی نظرات تصمیم گیرندگان مختلف با قدرت تصمیم گیری یکسان می باشند.

جدول (۳): ماتریس مقایسه زوجی گزینه ها با توجه به معیار زمان و سهولت اجرا و محدودیت پلان و نما در اجرا

روش های مقاوم سازی	بادبند فولادی (هم محور و برون محور)	دیوار برشی	میان قاب (با مصالح بنایی)	غلاف بتن مسلح	پوشش بتن مسلح	FRP
بادبند فولادی (هم محور و برون محور)	۱	۶,۹	۵	۳,۲	۱,۴	۱,۶
دیوار برشی	۱,۸	۱	۱,۴	۱,۶	۱,۹	۲
میان قاب (با مصالح بنایی)	۱,۶	۳,۲	۱	۱,۴	۱,۸	۲
غلاف بتن مسلح	۱,۴	۵	۳,۲	۱	۱,۶	۱,۸
پوشش بتن مسلح	۳,۲	۸	۷	۵	۱	۱,۴
FRP	۵	۹	۹	۷	۳,۲	۱

همان طور که مطابق جدول شماره (۳) نشان داده شده است استفاده از 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 وزن دهی می شوند پس از به دست آوردن وزن هر یک از گزینه ها با توجه به معیارهای مختلف، اولویت هر یک از گزینه ها با توجه به معیارهای مختلف در جدول شماره (۴) نشان داده شده است.

جدول ۴: اولویت بندی گزینه ها با توجه به معیارهای مختلف

معیارها / اولویت ها	زمان و سهولت و محدودیت پلان و نما در اجرا	هزینه مصالح و اجرای روش	سازگاری روش با تحلیل لرزه ای	پیوستگی کاربری و افزایش عمر مفید
اولویت اول	ورق FRP	ورق FRP	دیوار برشی	ورق FRP
اولویت دوم	پوشش بتن مسلح	پوشش بتن مسلح	بادبند فولادی هم محور و برون محور	پوشش بتن مسلح
اولویت سوم	بادبند فولادی هم محور و برون محور	میان قاب با مصالح بنایی	پوشش بتن با بتن مسلح	دیوار برشی
اولویت چهارم	غلاف بتن مسلح	غلاف بتن بتن مسلح	میان قاب با مصالح بنایی	غلاف بتن مسلح
اولویت پنجم	میان قاب با مصالح بنایی	بادبند فولادی هم محور و برون محور	غلاف بتن مسلح	میان قاب با مصالح بنایی
اولویت ششم	دیوار برشی	دیوار برشی	FRP	بادبند فولادی هم محور و برون محور

برای محاسبه ساختار با استفاده از روش TOPSIS نیاز به مقایسه زوجی معیارها نسبت به هم می باشد که این ماتریس مقایسات زوجی در جدول شماره (۵) نشان داده شده است.

جدول (۵): ماتریس مقایسه زوجی معیارها نسبت به هم

معیارها / مقادیر	زمان و سهولت اجرا و محدودیت پلان و نما	هزینه مصالح و اجرای روش	سازگاری روش با تحلیل لرزه ای	سازگاری روش در حالت بهره برداری بی وقفه
زمان و سهولت اجرا و محدودیت پلان و نما	۱	۳,۲	۱,۶	۱,۴
هزینه مصالح و اجرای روش	۱,۴	۱	۱,۸	۱,۶
سازگاری روش با تحلیل لرزه ای	۵	۷	۱	۳,۲
سازگاری روش در حالت بهره برداری بی وقفه	۳,۲	۵	۱,۴	۱

در روش TOPSIS لازم است مقادیر حداقل و حداکثر هر یک از معیارها تعیین گردد که در جدول شماره (۶) نشان داده شده است.

جدول (۶): مقادیر حداقل و حداکثر هر یک از مقادیر معیارها در روش TOPSIS

معیارها / مقادیر	زمان و سهولت اجرا و محدودیت پلان و نما	هزینه مصالح و اجرای روش	سازگاری روش با تحلیل لرزه ای	سازگاری روش در حالت بهره برداری بی وقفه
حداقل	۰,۰۰۰۸۲	۰,۰۰۰۹۷	۰,۱۰۳۲۲	۰,۰۰۶۲۶
حداکثر	۰,۱۷۰۹۶	۰,۲۰۵۱۱	۱,۷۹۶۶۱	۱,۱۴۲۶۹

برای هر یک از گزینه ها مقادیر ایده آل مثبت و منفی در جداول شماره (۷ و ۸) نشان داده شده است.

جدول (۷): مقادیر ایده آل مثبت هر یک از گزینه ها در روش TOPSIS

گزینه ها	وزن
بادبند فولادی (هم محور و برون محور)	۱,۲۳۷
دیوار برشی	۰,۶۴۷
میان قاب (با مصالح بنایی)	۱,۷۴۴۳
پوشش و غلاف بتنی	۱,۷۶۱۷
پوشش بتن مسلح	۰,۹۶۷۷
FRP	۱,۷۰۴۳۹

جدول (۸): مقادیر ایده آل منفی هر یک از گزینه ها در روش TOPSIS

گزینه ها	وزن
بادبند فولادی (هم محور و برون محور)	۱,۲۸۹۹۱
دیوار برشی	۱,۸۱
میان قاب (با مصالح بنایی)	۰,۴۱۲
غلاف بتن مسلح	۰,۳۷۴۸۲
پوشش بتن مسلح	۰,۹۶۷۸
FRP	۱,۱۷۸

نزدیکی نسبی هر یک از گزینه ها به راه حل ایده آل محاسبه شده که در جدول شماره (۹) نشان داده شده است.

جدول ۹: مقدار نزدیکی نسبی گزینه ها به راه حل ایده آل و اولویت بندی گزینه ها با روش TOPSIS

گزینه ها	وزن
بادبند فولادی (هم محور و برون محور)	۰,۵۲۱۶۷
دیوار برشی	۰,۷۴۷۸۴
میان قاب (با مصالح بنایی)	۰,۱۹۸۶۷
غلاف بتن مسلح	۰,۱۸۴۳۱
پوشش بتن مسلح	۰,۶۲۶۲۷
FRP	۰,۴۱۲

در روش TOPSIS، هر چه مقدار نزدیکی نسبی بیشتر باشد، گزینه متناظر با آن ایده آل تر است. با توجه به نتایج به دست آمده از روش TOPSIS مشخص شد که روش دیوار برشی بهترین سیستم به منظور بهسازی و مقاوم سازی لرزه‌های ساختمان های بتن مسلح می باشد.

#### ۶- نتیجه گیری:

شهرستان کازرون از جمله مناطقی در کشور است که در منطقه‌ی بالرزه‌خیزی زیاد قرار دارد. نتایج به دست آمده از این تحقیق پس از بررسی و آنالیز مقادیر به شرح زیر می باشد:

۱- با توجه به نتایج به دست آمده از جدول شماره (۴) استفاده از FRP بهترین سیستم بهسازی و مقاوم سازی سازه‌های بتن مسلح با توجه به معیار زمان و سهولت و محدودیت پلان و نما دارد.

- ۲- با توجه به نتایج به دست آمده از جدول شماره (۴) استفاده از FRP بهترین سیستم بهسازی و مقاوم سازی سازه‌های بتن مسلح با توجه به معیار هزینه مصالح و اجرای روش دارد.
- ۳- با توجه به نتایج به دست آمده از جدول شماره (۴) دیوار برشی بهترین سیستم بهسازی و مقاوم سازی سازه های بتن مسلح با توجه به معیار سازگاری روش با تحلیل لرزه ای دارد.
- ۴- با توجه به نتایج به دست آمده از جدول شماره (۴) استفاده از FRP بهترین سیستم بهسازی و مقاوم سازی سازه های بتن مسلح با توجه به معیار پیوستگی کاربردی و افزایش عمر مفید دارد.
- ۵- با توجه به جدول شماره (۵) مشخص شد که معیار سازگاری روش با تحلیل لرزه ای مهمترین معیار در انتخاب بهترین سیستم بهسازی و مقاوم سازی است.
- ۶- با در نظر گرفتن وزن تک تک معیارها و استفاده از روش TOPSIS و همچنین در نظر گرفتن تمامی جوانب دیوار برشی به عنوان بهترین سیستم بهسازی و مقاوم سازی انتخاب شده است.

#### ۷- قدردانی

بدین وسیله از اساتید محترم رشته‌ی مهندسی عمران دانشگاه خلیج فارس بوشهر و همچنین سازمان نظام مهندسی شهرستان کازرون که در طول انجام این پروژه همکاری‌های لازم را به عمل آورده اند تشکر به عمل می‌آید.

#### منابع

- ۱-ح-عرب زاده، اشرفی و ابارانی، "مقایسه عملکرد سیستم ترکیبی قاب خمشی بتنی با مهاربند فولادی و دیگر سیستم های دوگانه"، دومین کنفرانس بتن ایران، ۱۳۹۲.
- ۲-ه، حسنی، "بهسازی ساختمان های بتنی با استفاده از پانلهای سه بعدی"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ۱۳۹۱.
- ۳- یاسر یدالهی، مسعود قلیزاده، حامد همدانی " بررسی اثر الیاف FRP در مقاوم سازی قابهای بتن مسلح "مجموعه مقالات هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، 1392.
- ۴- محسن احمدی " بررسی روشهای مقاوم سازی در سازه های بتن آرمه "مجموعه مقالات اولین همایش منطقه ای مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد جویبار، 1390.
- ۵- جواد خزایی، میثم شایسته " بررسی عوامل مؤثر در تصمیمگیری "مجموعه مقالات همایش ملی سیازه، راه، معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، ۱۳۹۰.
- ۶- گرامی، م. و بزاز، م. و عندلیب، ز، " مقاوم سازی قاب های بتن مسلح به کمک بادبندهای فولادی "چهاردهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسر کشور، تهران، 1387.
- ۷- قدرتی، ا. و رادمان، ب.، " بهسازی لرزه‌های ساختمان های بتن مسلح تقویت شده با الیاف CFRP چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، تهران، ۱۳۸۷.
- ۸- عبدالکریم عباسی دزفولی، محمد ایزدیار " تحلیل و بررسی روشهای مرسوم مقاوم سازی لرزه‌های ساختمان های بتنی از دیدگاه مدیریت ساخت "مجموعه مقالات هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان، ۱۳۹۲.

9-Badoux M, Jirsa JO. *Steel bracing of RC frames for seismic retrofitting. J Structural Engineering ASCE* 1990; 116(1): 55–74.

10-Higashi Y, Endo T, Shimizu Y. *Experimental studies on retrofitting of reinforced concrete structural members. In: Proceedings of the second seminar on repair and retrofit of structures. Ann Arbor (MI): National Science Foundation; 1981. p.p. 126–155.*

11- Ohishi H, Takahashi M, Yamazaki Y. *A seismic strengthening design and practice of an existing reinforced concrete school building in Shizuoka city. In: Proceedings of the ninth world conference on earthquake engineering. Vol. VII. 1988. p.p. 415–420.*

- ۱۲- شهاب روشنکار، علی ضیا شمس "ارائه یک روش بهینه مقاوم سازی لرزه‌های با توجه به پارامترهای کارایی، هزینه و زمان" مجموعه مقالات سومین کنفرانس سالیانه بتن ایران، تهران، ۱۳۹۰.
- 13-Nateghi-Alahi F. *Seismic strengthening of eightstorey RC apartment building using steel braces. Engineering Structure 1995; 17(6): 455-461.*
- 14-Ghobarah A., Abou Elfath H. *Rehabilitation of a reinforced concrete frame using eccentric steel bracing. Engineering Structure 2001; 23:745-755.*
- ۱۵- مرضیه عباسی طرئی، عباس حق اللهی، محمد صادق طاهر طلوع دل "پیشنهاد روش نوین بهسازی لرزه‌های سازه های بلند مرتبه فولادی" مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی سازه، زلزله، ژئوتکنیک، مازندران، ۱۳۹۱.
- 16-Maheri MR, Kousari R, Razazan M. *Pushover tests on steel X-braced and knee-braced RC frames. Engineering Structure 2003; 25(13): 1697-1705.*
- ۱۷- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، «آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) ویرایش دوم»، ۱۳۷۸.
- ۱۸- مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، «آیین نامه طراحی ساختمان ها در برابر زلزله (استاندارد ۲۸۰۰) - ویرایش سوم»، ۱۳۸۴.
- ۱۹- حامد احمدی مقدم، لیلا کاسب نژاد "بررسی روشهای مقاوم سازی و بهسازی سازه های فلزی موجود (مطالعه موردی: سالن ورزشی مرکز تربیت معلم رشت)" مجموعه مقالات دومین کنفرانس ملی سازه، زلزله، ژئوتکنیک، مازندران، ۱۳۹۱.
- 20-FEMA-172: "Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings", Federal Emergency Management Agency, Washington, 2007.
- ۲۱- محمد باورسایبی "مقایسه چند روش بهسازی ساختمان های بتنی در برابر نیروی زلزله" مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی عمران شهری، دانشگاه آزاد اسالمب واحد سنندج، ۱۳۹۰.
- ۲۲- آیین نامه طراحی ساختمانها در برابر زلزله استاندارد ۲۸۰۰ ویرایش ۴.
- ۲۳- مدنی، ح.، (۱۳۸۵)، زمین شناسی ساختمانی و تکتونیک [کتاب]، انتشارات جهاد دانشگاهی.
- ۲۴- حامد رضا طارقیان، "برنامه ریزی و کنترل پروژه"، چاپ اول، مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۸.
- 25-Hwang C.L., Zadeh L.A., *Decision-making in a fuzzy environment, Management Sciences 17, 141-164 1970.*
- 26-Wang, T.-C., & Chang, T.-H. (2007). *Application of TOPSIS in evaluating initial training aircraft under a fuzzy environment. Expert Systems with Applications, 33(4), 870-880.*
- 27-Kuo, M.-S., Tzeng, G.-H., & Huang, W.-C. (2007). *Group decision making based on concepts of ideal and anti-ideal points in fuzzy environment. Mathematical and Computer modeling, 45(3/4), 324-339.*
- 28-Buyukozkan, G., Feyzioglu, O., & Nebol, E. (2007). *Selection of the strategic alliance partner in logistics value chain. International Journal of Production Economics, 113(1), 148-158.*
- 29- اصغر پور، محمد جواد. "تصمیم گیری های چندمعیاره"، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۸.

# Study on Seismic Retrofitting Methods of Reinforced Concrete Buildings in Kazerun City by Using TOPSIS Method

**Mohammadreza Ehsandoost\***

*Msc Graduate of civil engineer, Department of Civil Engineer Young Researchers Club Kazerun Branch Islamic Azad University Kazerun, Iran  
e.ehsandoost20@gmail.com*

**Yaser Aryanpour**

*PhD student of civil engineer, Department of Civil Engineering, Iain Institute of Higher Education, Bushehr, Iran*

## **Abstract**

*In this paper, it is attempted to obtain the best solution with the lowest cost and highest reliability coefficient using computational methods. Due to the fact that some of the existing structures in Kazerun do not have the characteristics of an earthquake resistant structure and most of them are made in accordance with the provisions of the second edition of Iran's earthquake before and after it, it is necessary to review their design. In this research, at first the seismic retrofitting methods of conventional RC structures analyzed and evaluated that were studied in Kazerun city and then, using experts' opinion, distributed, collected and analyzed by purposeful questionnaire using TOPSIS method to prioritize the appropriate method for seismic retrofit of conventional reinforced concrete buildings in Kazerun city. The results of this research indicate that the main priorities of retrofitting of conventional reinforced concrete buildings in the Kazerun city are steel sheets, reinforced concrete jacket, reinforced concrete shear walls or using of FRP wrapping.*

*key words: Reinforced Concrete Building, Refurbishment and Retrofitting, TOPSIS, Kazerun City*