



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



رتبه‌بندی طرح‌های اختلاط بتن پودری واکنشی با استفاده از روش VIKOR

برای استفاده در ساخت سازه‌های بتنی تاب‌آور

عباس مصلحی^۱، محمد مصلحی^۲

^۱استادیار، گروه عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران؛ jmi_moslehi@yahoo.com

^۲دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، معماری داخلی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد، ایران؛ moslehi1382moslehi@gmail.com

* نویسنده مسؤول: عباس مصلحی

چکیده

بتن پودری واکنشی (واکنش‌پذیر) نوع خاصی از بتن است که استحکام و دوام آن با از بین بردن مصالح درشت دانه و استفاده از مواد افزودنی، بهبود یافته است و به دلیل تنوع در مصالح و روش ساخت آن، نسبت اجزای تشکیل دهنده یا به عبارتی طرح‌های اختلاط متفاوتی برای تولید این نوع بتن ارائه شده است و تصمیم‌گیری در مورد انتخاب مناسب‌ترین طرح اختلاط بتن پودری واکنشی مشکل خواهد بود. در این تحقیق سعی بر آن است که از تکنیک VIKOR به منظور رتبه‌بندی و انتخاب مناسب‌ترین طرح‌های اختلاط بتن پودری واکنشی در ساخت سازه‌های بتنی تاب‌آور استفاده شود. شاخص‌های مؤثر در طرح اختلاط بتن، شامل: سیمان، آب، پودر سیلیس، ماسه سیلیسی، پودر میکروسیلیس، فوق روان کننده، مقاومت فشاری، درصد جذب آب و وزن واحد حجم است که با استفاده از پیشینه پژوهش تعیین و مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. ابتدا وزن شاخص‌ها با روش آنتروپی شانون مشخص، و ماتریس تصمیم تشکیل شد، سپس طرح‌های اختلاط بتن پودری واکنشی با تکنیک ویکور رتبه‌بندی شدند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره VIKOR برای رتبه‌بندی طرح‌های اختلاط بتن پودری واکنشی در ساخت سازه‌های بتنی تاب‌آور، روشی مناسب و قابل قبول است.

کلمات کلیدی: بتن پودری واکنشی، مقاومت فشاری، سازه‌های تاب‌آور، رتبه‌بندی، طرح اختلاط بتن، تصمیم‌گیری چند معیاره، ویکور

۱- مقدمه

امروزه بسیاری از ساختمان‌های کوچک و بزرگ از بتن ساخته می‌شود. موفقیت قابل توجه بتن نسبت به سایر مصالح ساختمانی و به خصوص فولاد در کاربرد فراگیر آن را می‌توان مرهون مقاومت فشاری قابل قبول، وجود بیشتر اجزاء تشکیل دهنده آن به عنوان مصالح محلی و ارزان قیمت، سهولت ساخت هر نوع مقطع سازه‌ای و شکل معماری، مقاومت بسیار خوب در مقابل آتش و رطوبت، برخورداری از صلبیت بالا، محافظت و نگهداری کمتر و عمر بهره‌دهی بسیار طولانی، دانست [۱]. با توجه به نیاز روز افزون صنعت ساختمان به مصالح با مشخصات عالی و مطلوب، کاربرد و استفاده از بتن‌های نوین امری ضروری است. ساخت این مواد و مصالح با استفاده از ارزان‌ترین و در دسترس‌ترین مواد، یکی از عوامل مهم در کاربرد تکنولوژی بتن می‌باشد [۲].

بتن پودری واکنشی^۱ (RPC) نوعی از بتن با مقاومت فوق‌العاده زیاد است که از شکل‌پذیری و خاصیت جذب انرژی بسیار خوب، تخلخل بسیار کم، نفوذپذیری ناچیز و مقاومت سایشی بسیار خوب برخوردار است. ایده تولید RPC نخستین بار در اوایل دهه ۱۹۹۰ در فرانسه شکل گرفت و برای اولین بار، در سال ۱۹۹۷ در ساخت یک پل عابر پیاده با دهانه ۶۰ متر در شربروک^۲ کانادا به صورت عملی به کار گرفته شد. مواد به کار رفته در تولید RPC دانه‌های کوارتز ریز با دانه‌بندی خوب و در محدوده ۰/۴-۰/۱۵ میلی‌متر، سیمان پرتلند بدون C₃A و یا C₃A بسیار کم (مثلاً سیمان نوع ۲ یا ۵)، پودر میکروسیلیس^۳ مرغوب و فوق روان کننده^۴ با کیفیت بسیار خوب است که با نسبت آب به سیمان بسیار کم (۰/۱۸ - ۰/۲) ساخته می‌شوند و عمل‌آوری در دمای معمولی، و یا تحت فشار و با بخار 160 °C انجام گیرد [۱].

^۱ Reactive Powder Concrete

^۲ Sherbrooke

^۳ Silica fume

^۴ Superplasticizer



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



طرح مخلوط بتن، فرآیند تعیین نسبت‌ها و مقادیر اجزای بتن است، به نحوی که بتن تولید شده از استحکام و دوام قابل قبولی برخوردار باشد. تعیین مقادیر نهایی اجزای تشکیل دهنده بتن معمولی، بر اساس جداول، نمودارها و روابط ارائه شده توسط آیین‌نامه‌های معتبر به همراه آزمون و اصلاح انجام می‌شود؛ به طوری که با تغییر دادن یکی از اجزای آن از نظر کیفیت و کمیت، خواص بتن به صورت متضاد تحت تأثیر قرار می‌گیرد [۳]. برای ساخت بتن معمولی، باید مسیر مشخصی را جهت طرح اختلاط بتن طی کنیم؛ این مسیر شامل انتخاب درست مصالح و مخلوط کردن آنها و سپس قالب‌گیری و متراکم کردن و در نهایت عمل‌آوری مربوطه طبق استاندارد می‌باشد، ولی روند طرح اختلاط RPC، کمی پیچیده‌تر از بتن معمولی بوده و شرایط خاص برای طرح و ساخت آن وجود دارد [۴]. تاکنون طرح‌های اختلاط RPC متنوعی با استفاده از مصالح بومی در کشور ایران توسط محققین ارائه شده است [۲، ۵، ۶، ۷، ۸]، که استفاده از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره^۵ (MCDM) برای اولویت‌بندی و انتخاب مناسب‌ترین آنها بسیار ضروری است. پژوهش کنونی بنا دارد با استفاده از تکنیک VIKOR، طرح‌های اختلاط RPC را رتبه‌بندی نماید.

۲- پیشینه تحقیق

بررسی ادبیات موضوع در مبحث طرح اختلاط بتن پودری واکنشی (RPC) و تصمیم‌گیری با تکنیک‌های چند معیاره، نشان می‌دهد که تحقیقات زیادی توسط پژوهشگران در داخل و خارج از کشور در این زمینه انجام شده است، که مهم‌ترین آنها به شرح زیر است:

حیدری و توکلی (۱۳۹۴) در بررسی بر روی RPC اصلاح شده، معلوم کردند که RPC، نوعی بتن با مقاومت بالا و تخلخل کم و دارای خواصی همچون مقاومت فشاری، کششی و خمشی بالا، نفوذپذیری کم و مقاومت در برابر حملات مضر است. مصالحی که برای ساخت RPC استفاده می‌شوند شامل سیمان پرتلند، پودر کوارتز، میکروسیلیس، فوق‌روان‌کننده و الیاف فولادی (اختیاری است) می‌باشد. [۹]. معراجی و همکاران (۱۳۹۲ و ۱۳۹۵)، در تحقیقات آزمایشگاهی، به بررسی اثر نوع و مقدار الیاف بر خواص RPC پرداختند و مشخص کردند که استفاده از الیاف در ساخت RPC، باعث بهبود ظرفیت جذب انرژی بتن خواهد شد. بدیهی است این افزایش ظرفیت بستگی به نوع و درصد الیاف به کار رفته در بتن دارد [۱۰، ۱۱].

طوفانی میلانی و همکاران (۱۳۹۴) در دهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران در دانشگاه تبریز، با استفاده از ماسه سیلیسی موجود در مناطق کویری ایران طرح‌های اختلاط RPC متعددی را معرفی کردند که بتن ساخته شده با این نوع ماسه، از مقاومت مطلوبی برخوردار بود. آنها در این مقاله به ارائه ۶ طرح اختلاط بتن معمولی و ۱۷ طرح اختلاط RPC که ۱۳ طرح آن بدون استفاده از پودر سنگ آهک بود پرداختند [۲]. رستمی نیکو و مستوفی نژاد (۱۳۹۰) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد و معراجی و همکاران (۱۳۹۲) در مجله تحقیقات بتن، در تحقیقاتی جداگانه معلوم کردند که با استفاده از مصالح موجود در ایران و به کار بردن الیاف و با عمل‌آوری گرمایی می‌توان به مقاومت‌های فشاری و خمشی بسیار بالایی در این نوع بتن دست یافت [۴، ۶].

خالو و همکاران (۱۳۹۱)، در مطالعه‌ای آزمایشگاهی تأثیر مقدار دوده سیلیسی روی عملکرد RPC را بررسی کردند و اعلام نمودند که استفاده از نوع و مقدار دوده سیلیسی در طرح اختلاط RPC، روی عملکرد بتن تأثیر می‌گذارد و باعث افزایش استحکام و دوام خواهد شد [۱۲]. دی آمبیکا و همکاران (۲۰۲۰) در طرح‌های اختلاط RPC، سنگ‌دانه‌های درشت که ضعیف‌ترین ناحیه‌ی اتصال بتن می‌باشند را حذف کرده و برای افزایش استحکام و دوام بتن از مواد افزودنی معدنی از جمله خاکستر بادی و سرباره کوره‌های آهن‌گدازی به همراه الیاف فولادی استفاده نمودند و نشان دادن که استفاده از مواد افزودنی معدنی باعث افزایش استحکام و دوام RPC خواهد شد [۱۳]. احمد صلاح‌الدین و همکاران (۲۰۲۰) در تعدادی از طرح‌های اختلاط RPC، تأثیر سنگ‌دانه‌های بازیافتی بر عملکرد بتن در شرایط عمل‌آوری مختلف را بررسی کردند و خواص مختلفی از جمله مقاومت‌های فشاری، خمشی، کششی، جذب آب، مقاومت الکتریکی، مقاومت به سولفات و مقاومت در برابر محیط دریایی مورد آزمایش قرار گرفت و معلوم کردند که خصوصیات مکانیکی RPC تهیه شده با سنگ‌دانه‌های بازیافتی افزایش یافته، در حالی که دوام مقدار کمی کاهش می‌یابد، اما در حد قابل قبول است [۱۴].

⁵ Multi Criteria Decision Making (MCDM)



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



چن و لین‌هوا (۲۰۲۰)، استفاده از پودر سنگ آهک را در طرح اختلاط RPC آزمایش کردند و نتیجه گرفتند که پودر سنگ آهک باعث افزایش مقاومت اولیه می‌شود و با کاهش حجم منافذ بزرگ به تراکم میکروساختار بتن کمک می‌کند [۱۵]. موسوی‌فرد و رئیسی (۱۳۹۸)، در ارزیابی تأثیر پارامترهای کلیدی طرح اختلاط RPC بر مقاومت فشاری، مشخص کردند که بتن پودری واکنشی، حساسیت زیادی به نوع و مشخصات مصالح مورد استفاده در ساخت آن دارد؛ بنابراین برای دستیابی به مشخصات فیزیکی و مکانیکی مطلوب، لازم است در انتخاب مصالح و انتخاب نسبت‌های مخلوط دقت نمود. بررسی این پژوهشگران بر روی RPC نشان می‌دهد که بتن‌های ساخته شده توسط محققین دارای مقاومت فشاری در محدوده‌ی ۸۰۰-۱۰۰ مگاپاسکال، مقاومت خمشی در محدوده‌ی ۳۰-۶۰ مگاپاسکال، مقاومت کششی در محدوده‌ی ۶-۸ مگاپاسکال، مدول الاستیسیته در محدوده‌ی ۷۰-۴۰ گیگاپاسکال، وزن واحد حجم در محدوده‌ی ۲۵۰۰-۳۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشند. همچنین در مخلوط‌های بتنی ساخته شده، نسبت آب به مواد سیمانی در محدوده‌ی ۰/۱۵-۰/۲۴، میزان سیمان در محدوده‌ی ۹۵۰-۱۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، ماسه‌ی کوارتزی در محدوده‌ی ۱۴۰۰-۱۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مقدار نسبت میکروسیلیس به سیمان در محدوده‌ی ۰/۱۵-۰/۳۵، الیاف فولادی در محدوده‌ی ۲۵۰-۱۹۰ کیلوگرم بر مترمکعب و نسبت وزنی الیاف به مواد سیمانی در محدوده‌ی ۰/۱۵-۰/۳ قرار دارد [۱۶].

تاو و همکاران (۲۰۱۰)، شرایط بهینه برای تولید RPC را مورد بررسی قرار دادند و مخلوط‌های بتنی RPC با نسبت آب به مواد سیمانی مختلف و با سه نوع ماسه سیلیسی و اندازه‌های مختلف ساختند و عمل‌آوری در دماهای متفاوت و در سنین مختلف انجام شد. نتایج نشان داد که بیشترین مقاومت فشاری مربوط به طرح اختلاطی است که نسبت آب به مواد سیمانی در آن ۰/۲ است [۱۷].

مستوفی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۴)، در تحقیقی، طرح اختلاط و شرایط عمل‌آوری بهینه در بتن RPC را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که بیشترین مقاومت فشاری مربوط به طرح اختلاطی بود که نسبت آب به مواد سیمانی در آن برابر ۰/۱۴، نسبت میکروسیلیس به سیمان برابر ۰/۳ و نسبت فوق‌روان‌کننده به سیمان برابر ۰/۰۳ بود و عمل‌آوری حرارتی انجام شده بود [۱۸]. خرم رشید و همکاران (۲۰۲۰)، برای انتخاب یک طرح بهینه مخلوط بتن، ۸ طرح مخلوط بتن را به عنوان گزینه‌ها با ۴ شاخص، شامل: استفاده از مصالح طبیعی، اقتصادی بودن طرح، استحکام و تأثیرات زیست محیطی، را بررسی و با استفاده از سه تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره‌ی ELECTRE، TOPSIS و AHP اولویت‌بندی را انجام دادند. نتایج به دست آمده، اثر بخشی تکنیک‌های تصمیم‌گیری (MCDM) در صنعت ساخت و ساز برای انتخاب مناسب‌ترین طرح مخلوط بتن را ثابت کرد [۱۹].

فام و همکاران (۲۰۱۷)، تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) را به عنوان ابزاری مفید در دست مدیران پروژه برای غلبه بر مشکلات تصمیم‌گیری در پروژه‌های مهندسی عمران معرفی کردند و نتیجه گرفتند که تکنیک‌های MCDM برای انواع مختلف و گسترده‌ای از داده‌ها در پروژه‌های مهندسی عمران قابل استفاده است [۲۰]. رضاییان و حسینی (۱۳۹۴)، برای انتخاب سیستم ساختمانی بهینه، از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با تأکید بر سه روش SAW، TOPSIS و AHP استفاده نمودند و نتیجه گرفتند که روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره با توجه به خصوصیات ویژه آنها، می‌توانند در بررسی موضوعات مربوط به انتخاب سیستم بهینه، کاربرد مطلوبی داشته باشند. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره از این نظر مفید هستند که زمینه را برای تبدیل مسائل پیچیده به مسائل ساده‌تر فراهم می‌آورند که در چارچوب آن، برنامه‌ریز بتواند ارزیابی گزینه‌ها را با کمک معیارها و زیر معیارها انجام دهد. با توجه به این که در مسائل مربوط به انتخاب سیستم ساختمانی بهینه، تعداد معیارها زیاد می‌باشد و احتیاج به اتخاذ تصمیم بر اساس چند معیار است، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌تواند کمک شایانی در انتخاب بهترین راه حل ممکن کند [۲۱].

نعمتی و کاظمی (۱۳۹۳)، پژوهشی برای رتبه‌بندی شرکت‌های بیمه انجام دادند. آنها ابتدا از روش آنتروپی شانون وزن هر شاخص (معیار) را تعیین و با استفاده از سه روش تصمیم‌گیری چند شاخصه‌ی VIKOR، TOPSIS، SAW اقدام به رتبه‌بندی کردند، سپس نتایج حاصل از اجرای روش‌های مختلف را با استفاده از روش کُپلند (Copeland) ترکیب کردند [۲۲]. همچنین تحقیق بسیار زیادی در زمینه‌ی کاربرد تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره در سایر علوم جهت ارزیابی، الویت‌بندی (رتبه‌بندی) و بهینه‌سازی گزینه‌ها انجام گرفته است [۲۳، ۲۴، ۲۵].



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



این پژوهش از نوع مطالعه تطبیقی- تحلیلی بوده و انجام مدل‌سازی پژوهش عملیاتی با تکنیک‌های MCDM می‌باشد. با توجه به بررسی پیشینه پژوهش و بررسی مقالات مشابه، از مجموعه طرح‌های اختلاط RPC ارایه شده توسط طوفانی میلانی و همکاران برای ارزیابی و رتبه‌بندی استفاده شده است [۲]. این مجموعه دارای ۱۳ طرح اختلاط RPC به عنوان گزینه‌ها با ۹ شاخص مؤثر بر ارزیابی و رتبه‌بندی طرح اختلاط بتن با جنس ایده‌آل‌های مثبت و منفی (مثبت، یعنی هر چه بیشتر بهتر و منفی، یعنی هر چه کمتر بهتر) مشخص و ماتریس تصمیم تشکیل شد. مراحل انجام پژوهش در گام‌های زیر ارایه شده است. تمامی محاسبات توسط نرم افزار اکسل انجام شده است.

۴- گام‌های انجام پژوهش:

گام ۱: بررسی شاخص‌های (معیارهای) طرح اختلاط RPC و تعیین جنس ایده‌آل‌های شاخص‌ها

جدول ۱ طرح اختلاط بتن RPC ارائه شده توسط طوفانی میلانی و همکاران جهت ارزیابی و رتبه‌بندی را نشان می‌دهد:

جدول ۱: طرح اختلاط پیشنهادی طوفانی میلانی و همکاران [۲].

اجزاء بتن طرح اختلاط	مقادیر اجزاء طرح اختلاط بتن (kg/m^3)						نتایج حاصل از انجام آزمایش		
	سیمان	ماسه سیلیسی	پودر سیلیس	ژل میکروسیلیس	فوق روان کننده	آب	مقاومت فشاری (MPa)	جذب آب (%)	وزن واحد حجم بتن (kg/m^3)
(RPC1)	۸۱۰	۹۶۱	۱۸۲	۱۶۷	۴۰	۲۰۰	۱۳۲	۱/۰۴	۲۳۶۰
(RPC2)	۸۹۷	۷۹۷	۲۰۵	۱۸۸	۴۶	۲۰۶	۱۴۳	۰/۹۸	۲۳۳۹
(RPC3)	۶۷۳	۱۱۲۵	۱۴۴	۱۹۲	۴۰	۱۷۳	۱۳۰	۰/۹۹	۲۳۴۷
(RPC4)	۷۳۰	۱۰۷۰	۱۷۵	۱۷۵	۳۹	۱۷۰	۱۳۴	۰/۹۵	۲۳۵۹
(RPC5)	۹۱۹	۸۷۰	۷۷	۲۲۱	۳۸	۲۰۴	۱۳۹	۱/۱۰	۲۳۲۹
(RPC6)	۷۱۴	۱۲۰۳	۸۶	۱۳۲	۳۹	۱۸۶	۱۲۱	۱/۰۳	۲۳۶۰
(RPC7)	۶۲۹	۱۰۸۵	۲۶۱	۱۵۱	۳۶	۱۹۸	۱۲۵	۰/۷۹	۲۳۶۰
(RPC8)	۸۳۰	۱۰۸۰	۱۰۰	۱۵۰	۴۲	۱۸۰	۱۳۲	۰/۷۵	۲۳۸۲
(RPC9)	۷۵۰	۱۰۵۱	۱۱۹	۲۱۵	۴۱	۱۷۰	۱۳۱	۰/۹۳	۲۳۴۶
(RPC10)	۱۰۲۱	۶۶۲	۱۲۲	۲۵۳	۴۸	۲۰۴	۱۳۶	۱/۰۸	۲۳۱۰
(RPC11)	۸۴۰	۹۲۴	۱۷۸	۲۰۲	۴۲	۱۸۰	۱۴۱	۰/۸۲	۲۳۶۶
(RPC12)	۸۹۸	۸۹۵	۱۱۰	۱۸۸	۴۴	۲۰۷	۱۳۸	۰/۹۷	۲۳۴۲
(RPC13)	۸۹۰	۷۰۰	۲۹۶	۱۸۷	۴۶	۲۰۳	۱۴۴	۱/۰۱	۲۳۲۲

مهم‌ترین مرحله در طرح مسئله، تعیین شاخص‌های تصمیم‌گیری و جنس (وزن) ایده‌آل‌های شاخص‌های (معیارهای) مؤثر انتخاب، ارزیابی و رتبه‌بندی طرح‌های اختلاط RPC است که در ادامه به بررسی شاخص‌ها و تعیین جنس (وزن) ایده‌آل‌های مثبت (یعنی هر چه بیشتر بهتر) و ایده‌آل‌های منفی (یعنی هر چه کمتر بهتر) خواهیم پرداخت:

۱-۱- شاخص سیمان: سیمان اصطلاحاً به ماده‌ای اطلاق می‌شود که با انجام واکنش شیمیایی با آب (واکنش هیدراسیون)، نقش چسباندن مصالح سنگی به یکدیگر و تولید جسم سخت بتن را ایفا می‌کند. مواد اولیه سیمان عمدتاً از خاک رس و آهک تشکیل شده است [۱]. سیمان نقش بسیار مهمی در طرح اختلاط RPC و همچنین مقاومت بتن بعد از خشک شدن دارد، بنابر این شاخص با ایده‌آل مثبت در ماتریس تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شود.

۱-۲- شاخص ماسه سیلیسی: یکی از ویژگی‌های RPC، حذف کردن مصالح سنگی درشت دانه، برای رسیدن به ساختاری همگن‌تر است [۴]، بنابر این قسمت اعظم ترکیب RPC از ماسه ریز دانه تشکیل شده است که جایگزین مصالح دانه‌ای بتن معمولی شده است. ماسه سیلیسی می‌تواند در افزایش مقاومت RPC نقش بسزایی ایفا کند [۷]. این شاخص با ایده‌آل مثبت در نظر گرفته می‌شود.



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



۳-۱- شاخص پودر سیلیس: پودر سیلیس نقش پرکنندگی فضای بین ماسه سیلیسی را بر عهده دارد که علاوه بر باعث کاهش جذب آب و افزایش دوام، باعث و افزایش مقاومت فشاری بتن RPC خواهد شد [۲]. این شاخص نیز با ایده‌آل مثبت خواهد بود.

۴-۱- شاخص میکروسیلیس یا دوده سیلیسی: ذرات بسیار ریز و غیر کریستالی سیلیسی هستند که محصول جانبی کوره‌های دوار الکتریکی بوده و از عنصر پایه‌ی سیلیسیم یا آلیاژهای حاوی سیلیسیم تولید می‌شود. میکروسیلیس به عنوان یک ماده‌ی افزودنی سیمانی طبقه بندی می‌شود. با خاصیت سیمانی و پوزولانی، ترکیبات جدیدی از C-S-H (کلسیم سیلیکات هیدرات، نتیجه واکنش بین فازهای سیلیکات سیمان پرتلند و آب است) تولید کرده و بافت مستحکم‌تری فراهم کرده که منجر به مقاومت بالاتر می‌شود. به دلیل نرمی زیاد، تمام حفره‌های میکروسکوپی خمیر سیمان را پر کرده و بتن کاملاً توپری فراهم کرده که منجر به دوام بالاتر می‌شود [۲۷]. تأثیر شاخص ژل میکروسیلیس با ایده‌آل مثبت است.

۵-۱- شاخص فوق روان کننده: این مواد بر روی ذرات سیمان می‌نشینند و با باردار کردن ذرات سیمان، ایجاد نیروی دافعه بین ذرات می‌کنند بنابراین ذرات همدیگر را دفع کرده و بتن روان می‌شود. فوق روان کننده‌ها برای سه منظور در بتن به کار می‌روند:

(الف) در بتن با نسبت آب به سیمان برابر با بتن شاهد، باعث افزایش روانی بتن شده و بتن را بدون کاهش مقاومت، کار پذیر می‌کنند.

(ب) در بتن با نسبت آب به سیمان کمتر نسبت به بتن شاهد، روانی کافی را به بتن می‌دهند و باعث افزایش مقاومت بتن می‌شوند.

(پ) در بتن با عیار سیمان کمتر، می‌توانند به وسیله کاهش نسبت آب به سیمان و تأمین روانی باعث صرفه جویی در مصرف سیمان شوند. شاخص فوق روان کننده با ایده‌آل مثبت در نظر گرفته می‌شود.

۶-۱- شاخص آب: آبرامز در سال ۱۹۱۸ دریافت که رابطه معکوسی بین نسبت آب به سیمان (آب به مواد سیمانی) و مقاومت بتن وجود دارد. بر اساس مشاهدات آزمایشگاهی، برای نسبت‌های آب به سیمان کمتر از ۰/۳، با کاهش اندک در نسبت آب به سیمان، افزایش قابل ملاحظه‌ای در مقاومت فشاری بتن حاصل می‌شود. تولید بتن‌های با مقاومت خیلی بالا اصولاً با رعایت نسبت آب به مواد سیمانی حدود ۰/۲۵ انجام می‌گیرد [۱]. در ماتریس تصمیم شاخص آب با ایده‌آل منفی است.

۷-۱- شاخص مقاومت فشار: مقاومت فشاری بتن نه تنها به عنوان مهم‌ترین خصوصیت مکانیکی بتن، بلکه به عنوان یکی از مهم‌ترین خواص رفتاری بتن شناخته می‌شود. عوامل مؤثر بر مقاومت فشاری بتن، عبارتند از: نوع نمونه، اندازه نمونه، سرعت بارگذاری، نوع سیمان، نسبت آب به سیمان (نسبت آب به مواد سیمانی)، مواد سیمانی تکمیلی، خصوصیات سنگدانه، شرایط مراقبت از بتن (زمان، رطوبت، دما) [۱]. این شاخص با ایده‌آل مثبت در نظر گرفته خواهد شد.

۸-۱- شاخص جذب آب: بهبود فوق‌العاده RPC در برابر همه انواع مهاجم‌های محیطی نظیر کلرایدها، سولفات‌ها و با سیکل‌های یخبندان و ذوب شدن ناشی از نفوذ ناپذیر بودن و در نتیجه جذب آب کمتر آن است.

دو علت اصلی باعث ایجاد این ویژگی (نفوذ ناپذیری و جذب آب کم) در RPC شده است: ترکیب مواد از دانه‌های بسیار ریز (پودر سیلیس) که دانه‌های ریزتر فواصل دانه‌های درشت (ماسه سیلیسی) را پر می‌نماید و در نهایت یک منحنی پیوسته از اندازه دانه‌ها حاصل می‌شود؛ ناحیه اتصال خمیر سیمان به سنگدانه‌ها که در RPC نسبت به بتن معمولی خیلی متراکم و نفوذ ناپذیرتر است که ناشی از انجام هیدراتاسیون کامل‌تر در اطراف سنگدانه‌ها است [۸]. این شاخص با ایده‌آل منفی وارد ماتریس تصمیم می‌شود.

۹-۱- شاخص جرم مخصوص: بتن هر چقدر متراکم‌تر باشد و فضای خالی از مصالح پر شود، دارای جرم مخصوص بیشتر و در نتیجه افزایش مقاومت فشاری و کاهش نفوذپذیری و جذب آب کمتر و افزایش دوام (طول عمر بیشتر) را به دنبال دارد [۲۸]. این شاخص نیز با ایده‌آل مثبت است. در جدول ۲ وزن (جنس) مؤثر بر انتخاب طرح اختلاط RPC تعیین شده است.



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



جدول ۲: وزن معیارهای موثر بر انتخاب طرح اختلاط RPC

وزن مخصوص بتن	جذب آب	مقاومت فشاری	آب	فوق روان کننده	ژل میکروسیلیس	پودر سیلیس	ماسه سیلیسی	سیمان	شاخص‌ها
+	-	+	-	+	+	+	+	+	وزن

لازم بذکر است که از بین شاخص‌های فوق دو شاخص آب و جذب آب منفی (یعنی هرچه کمتر بهتر) و سایر شاخص‌ها مثبت (یعنی هرچه بیشتر بهتر) هستند.

گام ۲: تشکیل ماتریس تصمیم D

ماتریس تصمیم ماتریسی است که سطر و ستون آن به ترتیب دربردارنده گزینه‌ها و معیارها (شاخص‌ها) می‌باشند به گونه‌ای که درایه r_{ij} بیانگر مقدار معیار j برای گزینه i است. برای رتبه‌بندی، تکنیک‌های مختلفی وجود دارد. در دهه‌های اخیر توجه به تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) برای تصمیم‌گیری‌های پیچیده معطوف شده است. تکنیک‌های تصمیم‌گیری به دو دسته عمده تقسیم می‌شوند:

(الف) تکنیک‌های چند هدف^۱ (MODM): غالباً به منظور طراحی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

(ب) تکنیک‌های چند شاخصه^۲ (MADM): غالباً به منظور ارزیابی گزینه‌ها و انتخاب گزینه یا گزینه‌های برتر مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲۹،۳۰]. هر مسئله تصمیم‌گیری چند شاخصه را می‌توان در قالب ماتریس تصمیم‌گیری بصورت جدول ۳ خلاصه کرد:

جدول ۳: ماتریس تصمیم D

شاخص / گزینه	X_1	X_2	...	X_n
A_1	r_{11}	r_{12}	...	r_{1n}
A_2	r_{21}	r_{22}	...	r_{2n}
...	...	...	...	...
A_m	r_{m1}	r_{m2}	...	r_{mn}

$A_1, A_2, \dots, A_m$ در ماتریس تصمیم‌گیری بترتیب تشکیل دهنده m گزینه از قبل معلوم، و $X_1, X_2, \dots, X_n$ نشان دهنده n شاخص برای سنجش مطلوبیت هر گزینه و عناصر r_{ij} بیانگر مقادیر خاص از شاخص j ام برای گزینه i ام است.

در این تحقیق از تکنیک‌های چند شاخصه (MADM) برای رتبه‌بندی استفاده شده است. تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری D ، اجزاء طرح اختلاط RPC و نتایج حاصل از انجام آزمایش بتن بر روی هر یک از طرح‌های اختلاط را به عنوان شاخص j در نظر گرفته و با $X_1, X_2, X_3, \dots, X_9$ و هر یک از طرح‌های اختلاط RPC را به عنوان گزینه i در نظر گرفته و با $A_1, A_2, A_3, \dots, A_{13}$ نمایش می‌دهیم.

از آنجا که در این تحقیق ۱۳ طرح اختلاط و ۹ شاخص (معیار) وجود دارد، لذا ماتریس تصمیم یک ماتریس 13×9 می‌باشد. به منظور تشکیل ماتریس تصمیم، برای هر طرح اختلاط کدهای بدست آمده از شواهد استخراج گردید. ماتریس تصمیم D و جنس شاخص‌ها در جدول ۴ آورده شده است. در این جدول اعداد نشان داده شده همان عناصر ماتریس (r_{ij}) تصمیم‌گیری هستند.



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



جدول ۴: ماتریس تصمیم D

شاخص j گزینه i	مقادیر اجزاء طرح اختلاط بتن (kg/m ³)						نتایج حاصل از انجام آزمایش		
	X ₁ (سیمان)	X ₂ (ماسه سیلیسی)	X ₃ (پودر سیلیس)	X ₄ (ژل میکروسیلیس)	X ₅ (فوق روان کننده)	X ₆ (آب)	X ₇ (مقاومت فشاری)	X ₈ (جذب آب)	X ₉ (وزن مخصوص بتن)
جنس شاخص‌ها	+	+	+	+	+	-	+	-	+
A ₁ (RPC1)	۸۱۰	۹۶۱	۱۸۲	۱۶۷	۴۰	۲۰۰	۱۳۲	۱/۰۴	۲۳۶۰
A ₂ (RPC2)	۸۹۷	۷۹۷	۲۰۵	۱۸۸	۴۶	۲۰۶	۱۴۳	۰/۹۸	۲۳۳۹
A ₃ (RPC3)	۶۷۳	۱۱۲۵	۱۴۴	۱۹۲	۴۰	۱۷۳	۱۳۰	۰/۹۹	۲۳۴۷
A ₄ (RPC4)	۷۳۰	۱۰۷۰	۱۷۵	۱۷۵	۳۹	۱۷۰	۱۳۴	۰/۹۵	۲۳۵۹
A ₅ (RPC5)	۹۱۹	۸۷۰	۷۷	۲۲۱	۳۸	۲۰۴	۱۳۹	۱/۱۰	۲۳۲۹
A ₆ (RPC6)	۷۱۴	۱۲۰۳	۸۶	۱۳۲	۳۹	۱۸۶	۱۲۱	۱/۰۳	۲۳۶۰
A ₇ (RPC7)	۶۲۹	۱۰۸۵	۲۶۱	۱۵۱	۳۶	۱۹۸	۱۲۵	۰/۷۹	۲۳۶۰
A ₈ (RPC8)	۸۳۰	۱۰۸۰	۱۰۰	۱۵۰	۴۲	۱۸۰	۱۳۲	۰/۷۵	۲۳۸۲
A ₉ (RPC9)	۷۵۰	۱۰۵۱	۱۱۹	۲۱۵	۴۱	۱۷۰	۱۳۱	۰/۹۳	۲۳۴۶
A ₁₀ (RPC10)	۱۰۲۱	۶۶۲	۱۲۲	۲۵۳	۴۸	۲۰۴	۱۳۶	۱/۰۸	۲۳۱۰
A ₁₁ (RPC11)	۸۴۰	۹۲۴	۱۷۸	۲۰۲	۴۲	۱۸۰	۱۴۱	۰/۸۲	۲۳۶۶
A ₁₂ (RPC12)	۸۹۸	۸۹۵	۱۱۰	۱۸۸	۴۴	۲۰۷	۱۳۸	۰/۹۷	۲۳۴۲
A ₁₃ (RPC13)	۸۹۰	۷۰۰	۲۹۶	۱۸۷	۴۶	۲۰۳	۱۴۴	۱/۰۱	۲۳۲۲

گام ۳: تعیین وزن (ضریب اهمیت) شاخص‌ها

یکی از مهم‌ترین قسمت‌های حل مسائل اولویت بندی، وزن دهی شاخص‌ها است. وزن شاخص، معیاری از اهمیت و ارجحیت شاخص در محدوده مورد بررسی است. از آن جا که ماتریس تصمیم دارای شاخص‌های مختلفی است، دانستن وزن هر یک از این شاخص‌ها در تصمیم گیری ضروری است. وزن هر شاخص، اهمیت نسبی آن را نسبت به شاخص‌های دیگر بیان می‌کند. انتخاب آگاهانه و صحیح وزن‌ها کمک بزرگی در جهت رسیدن به هدف مورد نظر می‌نماید. وزن دهی شاخص‌ها با روش‌های مختلفی انجام می‌شود که در این تحقیق از وزن دهی آنتروپی شانون برای رتبه‌بندی استفاده خواهد شد. مراحل روش آنتروپی شانون شامل به شرح زیر است:

مرحله ۱) ابتدا ماتریس تصمیم را تشکیل می‌دهیم (جدول ۳).

مرحله ۲) با استفاده از نرم ساعتی، ماتریس تصمیم را نرمال می‌کنیم و هر درایه نرمال شده را p_{ij} می‌نامیم. نرمال شدن به این صورت می‌باشد که درایه هر ستون را بر مجموع ستون تقسیم می‌کنیم:

$$p_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^m r_{ij}} \quad (1)$$

مرحله ۳) محاسبه آنتروپی هر شاخص: آنتروپی E_j به صورت زیر محاسبه می‌گردد و k به عنوان مقدار ثابت مقدار E_j را بین ۰ و ۱ نگه می‌دارد.

$$E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \times \ln P_{ij} \quad \text{که:} \quad k = \frac{1}{\ln(m)} \quad \text{و} \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (2)$$

که در آن m تعداد گزینه‌ها است.



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



مرحله ۴) در ادامه مقدار d_j (درجه انحراف) محاسبه می‌شود که بیان می‌کند شاخص مربوطه (d_j) چه میزان اطلاعات مفید برای تصمیم‌گیری در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهد.

هر چه مقادیر اندازه‌گیری شده شاخصی به هم نزدیک باشند نشان دهنده آنست که گزینه‌های رقیب از نظر آن شاخص تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. لذا نقش آن شاخص در تصمیم‌گیری باید به همان اندازه کاهش یابد.

$$d_j = 1 - E_j \quad (۳)$$

مرحله ۵) سپس مقدار وزن W_j از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$W_j = d_j / \sum d_j \quad (۴)$$

نتایج مراحل ۳ الی ۵ وزن دهی شاخص‌ها (معیارها) با روش آنتروپی شانون در جدول ۵ آورده شده است:

جدول ۵: نتایج مراحل سوم الی پنجم وزن دهی شاخص‌ها (معیارها) با روش آنتروپی شانون

نتایج مرحله ۳) محاسبه آنتروپی هر شاخص با استفاده از رابطه (۲):									
	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5	E_6	E_7	E_8	E_9
E_j	۰/۹۹۶۶	۰/۹۹۴۳	۰/۹۹۶۳	۰/۹۹۴۶	۰/۹۹۸۵	۰/۹۹۸۹	۰/۹۹۹۵	۰/۹۹۷۷	۰/۹۹۹۹
نتایج مرحله ۴) محاسبه مقدار d_j (درجه انحراف) با استفاده از رابطه (۳):									
	d_1	d_2	d_3	d_4	d_5	d_6	d_7	d_8	d_9
d_j	۰/۰۰۳۴	۰/۰۰۵۷	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۵۴	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۱	۰/۰۰۰۵	۰/۰۰۲۳	۰/۰۰۰۱
نتایج مرحله ۵) محاسبه مقدار وزن W_j با استفاده از رابطه (۴):									
	W_1	W_2	W_3	W_4	W_5	W_6	W_7	W_8	W_9
W_j	۰/۰۶۷۱	۰/۱۱۲۴	۰/۰۶۰۵۵	۰/۱۰۶۵	۰/۰۲۹۰	۰/۰۲۱۷	۰/۰۰۹۹	۰/۰۴۵۴	۰/۰۰۲۰

گام ۴: رتبه‌بندی با تکنیک ویکور (VIKOR):

روش VIKOR یکی از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای انتخاب بهترین گزینه است. این مدل توسط اپریکویک به سال ۱۹۸۴ ارائه شد. تکنیک ویکور از طریق ارزیابی گزینه‌ها بر اساس معیارها، گزینه‌ها را رتبه‌بندی (اولویت‌بندی) می‌کند. در این مدل همواره چند گزینه مختلف وجود دارد که این گزینه‌ها بر اساس چند معیار به صورت مستقل ارزیابی می‌شوند و در نهایت گزینه‌ها بر اساس ارزش، رتبه‌بندی می‌گردند. هدف اصلی روش ویکور، نزدیکی بیشتر به جواب ایده‌آل هر شاخص است. روش ویکور قادر است تصمیم‌گیرندگان را برای دستیابی به یک تصمیم نهایی یاری دهد. مراحل انجام تکنیک ویکور به شرح زیر است:

مرحله ۱) تشکیل ماتریس تصمیم: نخستین گام تکنیک ویکور تشکیل ماتریس تصمیم است. ماتریس تصمیم‌گیری یک ماتریس برای ارزیابی تعدادی گزینه براساس تعدادی معیار است. یعنی ماتریسی که در آن هر گزینه براساس تعدادی معیار امتیازدهی شده است. ماتریس تصمیم با X و هر درایه آن با x_{ij} نشان داده می‌شود. این ماتریس در زیر آورده شده است:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{bmatrix}$$



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



مرحله ۲) تشکیل ماتریس تصمیم نرمال: نرمال سازی یا بی مقیاس سازی دومین گام در حل تمامی تکنیک‌های تصمیم گیری چند معیاره مبتنی بر ماتریس تصمیم است. در روش‌های MCDM بهتر است از واژه بی‌مقیاس سازی استفاده شود. در تکنیک VIKOR نرمال سازی به روش خطی و به صورت ماتریس زیر است:

$$N = \begin{bmatrix} n_{11} & n_{12} & \dots & n_{1n} \\ n_{21} & n_{22} & \dots & n_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ n_{m1} & n_{m2} & \dots & n_{mn} \end{bmatrix}$$

نرمال کردن خطی

یک روش ساده برای نرمال کردن اعداد توسط ساعتی مطرح شده که به محاسبه بردار ویژه نیز معروف شده است. در این روش کافی است هر عدد در یک مجموعه بر مجموع عناصر آن مجموعه تقسیم شود. در این صورت جمع کل عناصر پس از نرمال‌سازی یک خواهد بود. مرحله‌ی نرمال‌سازی به این علت انجام می‌گیرد که شاخص‌های انتخاب شده به شاخص‌های مجرد و خالی از مقیاس تبدیل شود تا امکان جمع کردن متغیرهای مختلف با همدیگر فراهم گردد.

$$n_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sum_{i=1}^m X_{ij}} \quad (5)$$

$$n_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^m X_{ij}^2}} \quad (6)$$

که در آن X_{ij} مقادیر هر معیار برای هر گزینه است.

مرحله ۳) وزن دار کردن ماتریس نرمال: جهت وزن دار کردن، مقادیر ماتریس نرمال هر یک از گزینه‌ها، بر وزن معیارها ضرب می‌گردد.

مرحله ۴) تعیین نقطه ایده آل مثبت و منفی: تعیین مقادیر بالاترین و پایین‌ترین ارزش ماتریس نرمال وزنی، بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین عدد هر ستون تعیین می‌گردد. در اینجا منظور از بزرگ‌ترین عدد، یعنی عددی که بیش‌ترین ارزش مثبت را داراست و کوچک‌ترین یعنی بیش‌ترین ارزش منفی.

پس اگر معیار ما از نوع منفی باشد، بزرگ‌ترین عدد برعکس می‌شود یعنی می‌شود کم‌ترین مقدار و کوچک‌ترین می‌شود بیش‌ترین مقدار و بالعکس. بنابر این برای هر معیار، بهترین و بدترین هریک را در میان همه گزینه‌ها تعیین کرده و به ترتیب f_i^+ و f_i^- می‌نامیم. اگر معیار از نوع سودمندی باشد خواهیم داشت:

$$f_i^+ = \text{Max } f_{ij} \quad (7)$$

$$f_i^- = \text{Min } f_{ij} \quad (8)$$

مرحله ۵) تعیین شاخص مطلوبیت (S) و شاخص نارضایتی (R):

$$S_j = \sum_{i=1}^n w_i \cdot \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-} \quad (9)$$

$$R_j = \max \left[w_i \cdot \frac{f_i^* - f_{ij}}{f_i^* - f_i^-} \right] \quad (10)$$



١٨ و ٩ بهمن ١٤٠٤



که در آن f^* : بزرگ‌ترین عدد ماتریس نرمال وزنی برای هر ستون و f_{ij} : عدد گزینه‌ی مورد نظر برای هر معیار در ماتریس نرمال وزنی و f^- : کوچک‌ترین عدد ماتریس نرمال وزنی برای هر ستون است که به طور معمول برای هر گزینه به ازاء هر معیار یک شاخص مطلوبیت به دست می‌آید که مجموع آن‌ها، شاخص نهایی S_j گزینه را مشخص می‌کند.

بزرگ‌ترین S_j هر گزینه به ازای هر معیار، شاخص نارضایتی (R) آن گزینه است.

مرحله ۶) محاسبه مقدار Q و رتبه بندی نهایی گزیندها:

$$Q_i = v \left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right] + (1-v) \left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right] \quad (11)$$

که در آن v عدد ثابت 0.5 ، S_j مجموع مقدار S برای هر گزینه، S_j مجموع مقدار S برای هر گزینه، S^- بزرگ‌ترین عدد شاخص S برای هر گزینه، S^* کوچک‌ترین عدد شاخص S برای هر گزینه، R_j مجموع مقدار R برای هر گزینه، R^- بزرگ‌ترین عدد شاخص R برای هر گزینه و R^* کوچک‌ترین عدد شاخص R برای هر گزینه است.

$$S^- = \max S_i, S^* = \min S_i \quad (12)$$

$$R^- = \max R_i, R^* = \min R_i \quad (13)$$

$$Q(A_2) - Q(A_1) \geq \frac{1}{m-1} \quad (14)$$

مرحله ۷) تعیین سودمندی و تأسف: اپریکویک دو مفهومی اساسی سودمندی (S) و تأسف (R) را در محاسبات ویکور مطرح کرده است. مقدار سودمندی (S) بیانگر فاصله نسبی گزینه i ام از نقطه ایده‌آل و مقدار تأسف (R) بیانگر حداکثر ناراحتی گزینه i ام از دوری از نقطه ایده‌آل می‌باشد. برای این منظور از رابطه ۹ و رابطه ۱۰ استفاده می‌شود.

مرحله ۸) محاسبه شاخص ویکور: گام بعدی محاسبه شاخص ویکور (Q) برای هر گزینه براساس رابطه ۱۱ است.

دو شرط نهایی تصمیم‌گیری با تکنیک ویکور

در گام پایانی از آموزش تکنیک ویکور، گزینه‌ها براساس مقادیر Q, R, S در سه گروه از کوچک به بزرگ مرتب می‌شوند. بهترین گزینه آن است که کوچکترین Q را داشته باشد به شرط آنکه دو شرط زیر برقرار باشد:

شرط ۱): اگر گزینۀ A_1 و A_2 در میان m گزینۀ رتبه اول و دوم را داشته باشند، باید رابطه ۱۴ برقرار باشد.

شرط ۲): گزینه A_1 باید حداقل در یکی از گروه‌های R و S به عنوان رتبه برتر شناخته شود.

اگر شرط نخست برقرار نباشد هر دو گزینه بهتر بن گزینه خواهند بود.

اگر شرط دوم برقرار نباشد گزینه A_1 و A_2 هر دو به عنوان گزینه برتر انتخاب می‌شوند.

نتایج حاصل از رتبه‌بندی با روش VIKOR در جداول ۶ الی ۸ ارائه شده است:

جدول ۶: شاخص مطلوبیت (S) و شاخص ناراضایتی (R)

گزینه	RPC ₁	RPC ₂	RPC ₃	RPC ₄	RPC ₅	RPC ₆	RPC ₇	RPC ₈	RPC ₉	RPC ₁₀	RPC ₁₁	RPC ₁₂	RPC ₁₃
S _i	۰/۴۴۲	۰/۵۲۸	۰/۳۹۱	۰/۴۶۶	۰/۱۸۶	۰/۱۸۲	۰/۶۶۲	۰/۲۸۳	۰/۳۵۲	۰/۳۳۸	۰/۵۰۸	۰/۲۸۰	۰/۷۵۵
S ⁻ = max S _i = ۰/۷۵۵							S [*] = min S _i = ۰/۱۸۲						
R _i	۰/۲۹۰	۰/۳۵۴	۰/۱۸۵	۰/۲۷۱	۰/۰۷۸	۰/۱۱۲	۰/۵۰۹	۰/۰۸۷	۰/۱۱۶	۰/۱۲۴	۰/۲۷۹	۰/۰۹۱	۰/۶۰۶
R ⁻ = max R _i = ۰/۶۰۶							R [*] = min R _i = ۰/۰۷۸						



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



جدول ۷: مقدار Q_i و رتبه‌بندی گزینه‌ها

رتبه هر گزینه	شاخص ویکور (Q_i) ($V=0.5$)	گزینه‌ها
۶	۰/۵۷۲۱	(RPC1)
۳	۰/۴۳۶۸	(RPC2)
۷	۰/۷۱۶۶	(RPC3)
۵	۰/۵۶۹۳	(RPC4)
۱۳	۰/۹۹۶۴	(RPC5)
۱۲	۰/۹۶۷۷	(RPC6)
۲	۰/۱۷۳۲	(RPC7)
۱۱	۰/۹۰۳۵	(RPC8)
۸	۰/۸۱۵۸	(RPC9)
۹	۰/۸۲۰۰	(RPC10)
۴	۰/۵۲۴۷	(RPC11)
۱۰	۰/۹۰۲۵	(RPC12)
۱	۰/۰۰۰۰	(RPC13)

جدول ۸: رتبه‌بندی گزینه‌ها با تکنیک VIKOR

رتبه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
گزینه	RPC13	RPC7	RPC2	RPC11	RPC4	RPC1	RPC3	RPC9	RPC10	RPC12	RPC8	RPC6	RPC5

۶- بحث و نتیجه گیری:

۱- نتایج رتبه‌بندی گزینه‌های طرح‌های اختلاط RPC با روش VIKOR، به طور عموم برای اکثر مسائل عملی و به طور خاص برای رتبه‌بندی طرح‌های اختلاط RPC، کاربردی و نتایج حاصل از آن با اطمینان بالایی قابل استفاده و استناد در ساخت سازه‌های بتنی تاب‌آور است.

۲- نتایج نشان می‌دهد که استفاده از تکنیک تصمیم‌گیری چند معیاره VIKOR برای رتبه‌بندی طرح‌های اختلاط بتن پودری واکنشی، روشی مناسب و قابل قبول است.

۳- پیشنهاد می‌شود در تحقیقات بعدی برای بهینه کردن طرح اختلاط RPC، با روش‌هایی مانند: SAW، TOPSIS و تاگوچی انجام شود.

مراجع

- [1] D. Mostofi Nejad. "Reinforced Concrete Structures" (in Persian). Second Edition. Isfahan: Arkan Danesh Publications, 2018, PP. 28-30.
- [2] A. Tofani Milani. And H. Afshin. And H. Naseri. "Production of Reactive Powder Concrete Using Silica Sand in Iranian Desert Areas" (in Persian). In: 10th International Congress of Civil Engineering, Tabriz, Tabriz University, 2015.



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



- [3] Road, Housing and Urban Development Research Center. "National Method of Concrete Mix Design" (in Persian). Third Edition. Tehran: under the supervision of the Committee for the Preparation and Expert Committee of the, Publication No. 797, 2018.
- [4] M. Rostami Nikoo. And D. Mostofi Nejad. "Investigation of Reactive Powder Concrete Technology (RPC) and the Effect of Micro silica and Nano silica on It" (in Persian). M.Sc. and Professor at Department of civil Engineering Isfahan University of Technology (IUT), 2011.
- [5] M. Karimi. And M.A. Dashti Rahmatabadi. Mostofi Nejad. "Characteristics of Reactive Powdered Concrete Made from Native Iranian Wind Desert Processing" (in Persian). In: First National Conference on Applied Research in Science and Engineering. Mashhad: Institute of Higher Education. Lahore, 2017.
- [6] L. Meraji. And H. Afshin. And K. Abedi. "Investigating the Possibility of Production of Reactive Powder Concrete with Available Materials in Iran" (in Persian). Concrete Research. Fifth Year, no. 2, PP. 7-18, 2013.
- [7] J. Chakhrilu. And B. Shervani. "Using Limestone Powder as a Substitute for Part of Silica Sand in Reactive Powder Concrete" (in Persian). In: 9th National Iranian Concrete Conference. Tehran: Road, Housing and Urban Development Research Center, 2016.
- [8] J. Morvati. And I. Akrami. "UHPC Ultra-Powerful Concrete Examining Properties and Experimental Production with Native Materials" (in Persian). In: First National Concrete Conference. Tehran: National Documentation and Library of Iran Conference Center, 2009.
- [9] A. Heydari. And D. Tavakoli. "Production of high-strength concrete based on modified reaction powder" (in Persian). Scientific Journal of Experimental Research in Civil Engineering. Vol. 2, No. 2, pp. 111-120, 2015.
- [10] L. Meraji. And H. Afshin. And K. Abedi. "Investigating the effect of fiber type on the properties of reactive powder concrete" (in Persian). Experimental Journal of Civil and Environmental Engineering. Vol. 46, No. 4, pp. 85-96, 2016.
- [11] L. Meraji. And H. Afshin. And K. Abedi "The effect of different fibers on the properties of reactive powder concrete" (in Persian). 5th Annual National Concrete Conference of Iran, Tehran, 2013.
- [12] A. Khaloo. And M.M. God bless Zanjani. And K. Azizi. " Laboratory study of the effect of silica fume on reactive powder concrete (RPC) performance " (in Persian). Concrete research. Fifth year, No. 1, pp. 78-69, 2012.
- [13] D. Ambika. and V. Nandhini. and V. Santha Rubini. and G. Poovizhi. and S. Dhinu Priya. "An exploration on the durability properties of reactive powder concrete". Publisher: Elsevier. Date: Available online 16 March 2020.
- [14] H. Salahuddin. and L. Ali Qureshi. and A. Nawaz. and S. Safdar, Razad. "Effect of recycled fine aggregates on performance of Reactive Powder Concrete". Construction and Building Materials. Vo. 243, 20 May 2020.
- [15] C. Zhi Li. and L. Jiang. "Utilization of limestone powder as an activator for early-age strength improvement of slag concrete". Construction and Building Materials. Vo. 253, 30 August 2020.
- [16] S. J. Mousavi Fard. and M. Raisi. "Influence evaluation of key mix design parameters of reactive powder concrete on compressive strength" (in Persian). Amir Kabir Civil Engineering Magazine. DOI: 10.22060 / CEEJ.2019.16047.6114. 2019.
- [17] C.M. Tam. and V.W. Tam. and K.M. Ng. "Optimal conditions for producing reactive powder concrete". Magazine of Concrete Research. PP. 701-716, 2010.
- [18] D. Mostofi Nejad. and M.R. Nikoo. and S.A. Hosseini. "Determination of optimized mix design and curing conditions of reactive powder concrete (RPC)" (in Persian). Construction and Building Materials, PP. 754-767, 2016.
- [19] K. Rashid. and S. Farooq. and A. Mahmood. And S. Iftikhar. And A. Ahmad. "Moving towards resource conservation by automated prioritization of concrete mix design". Construction and Building Materials. Vol. 236, 10 March, 2020.
- [20] F.F. Abdel Malak. and U. H. Issa. and Y. H. Miky. And E. A. Osman. "Applying decision-making techniques to Civil Engineering Projects". Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 6, PP. 326-331, 2017.



کد اختصاصی:

۰۴۲۵۰-۲۸۲۲۵

اولین همایش ملی

ساختمان‌ها و زیرساخت‌های عمرانی تاب‌آور و زیست‌بوم پایدار

دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف آباد

۸ و ۹ بهمن ۱۴۰۴



- [21] A. Rezaian. and S.A.H. Hosseini. "Selecting the Optimal Building System Using Multiple Criteria Decision Making Emphasising on Three Methods of TOPSIS, SAW, AHP" (in Persian). Journal of Structural and Construction Engineering. second year, No. 2, pp. 27-16, 2015.
- [22] M. Nemati. and A. Kazemi. "Insurance companies are ranked using multi-criteria decision making methods" (in Persian). Financial Research, Vol. 16, No. 1, pp. 163-180, 2015.
- [23] A. Pourahmad. and A. Shahbazzpour. And M.A. Khaliji. "Utilizing multi-criteria decision-making models in evaluating the tourism capabilities of Semnan province" (in Persian). Geographical studies of arid regions, No. 21, pp. 50-66, 2015.
- [24] M. Noojavan. and A.A. Mohammadi. And I. Salehi. "Application of multi-criteria decision making methods in urban and regional planning with emphasis on TOPSIS and SAW methods" (in Persian). Urban Management, No. 28, pp. 285-296, 2011.
- [25] D. Mohammadi Zanjirani. and K. Salimfard. And S. Yousefi Dehbidi. "Study of performance of the most common multi-criteria decision-making techniques with optimization approach" (in Persian). Journal of Operations Research in its applications. Eleventh year. The first issue (40 consecutive), PP. 65-84, 2014.
- [26] H. Nazmafar. and A. Ali Bakhshi. "Comparison of performance of multi-criteria decision making models in order to determine the level of development" (in Persian). Scientific-Research Quarterly, Geography (Regional Planning). Eighth year, No. 2 PP. 147-166, 2018.
- [27] M. Akbari. and F. al-Sadat Khademi. And Seyed S. Khademi. "Investigation of the Effect of Microsphere Silica on the Compressive Strength of Concrete" (in Persian). Scientific-Research Quarterly, Geography (Regional Planning). In: Eighth National Congress of Civil Engineering. Babol: Faculty of Civil Engineering, 2014.
- [28] M. Azizpour. and Seyed F. Sajedi. "Investigation of the relationship between specific gravity with compressive strength and chloride penetration in high strength concrete containing microsilica and ash" (in Persian). Scientific-Research Quarterly, Geography (Regional Planning). In: Fourth International Congress on Civil, Architecture and Urban Development. Tehran: Permanent Secretariat of the Conference, Shahid Beheshti University, 2016.
- [29] Seyed S. Ghazi Nouri. And Seyed H. Tabatabaieian. "Sensitivity Analysis of Multi-Index Decision Making Problems with the Type of Technique Used: A Case Study" (in Persian). Scientific-Research Quarterly, Geography (Regional Planning). Management Knowledge. Tehran: Journal of Tehran University School of Management, Vol. 15, No. 56, PP. 129-141, 2002.
- [30] A. Pour Ahmad. And A. Shahbaz Pour. And M.A. Khaliji. "Using Multi Criteria Decision Making Models in Evaluating Tourism Capacity of Case Study of Semnan Province" (in Persian). Scientific-Research Quarterly, Geography (Regional Planning). Geographical Studies of Arid Regions. Vol. 6, Issue 21, PP. 50-66, 2015.
- [31] N. Tavakoli. And M. Sharifi. And A. Akram. "Performance Evaluation of the Most Common Multi-Index Decision Making Techniques for Ranking Effective Parameters in Agile Cooperative Distribution Chain Agencies in Fars Province" (in Persian). Scientific-Research Quarterly, Geography (Regional Planning). Iranian Journal of Biosystems, Vol. 48, No. 3, PP. 299-308, 2016.
- [32] C.L. Hwang. and K. Yoon. "Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications". New York: Springer-Verlag, 1981.
- [33] F. Hatami. And M. Behroush. And M. Nakhaei Aghmouni. "Application of Multi criteria Decision Making Models in Project Management" (in Persian). In: 7th National Congress of Civil Engineering. Zahedan: Sistan and Baluchestan University, 2013.
- [34] M. Noori. And M.B. Sharifi. And M. Nakhaei Aghmouni. "Investigation of Multi Criteria Decision Making Methods and their Application in Water Resources Management" (in Persian). Fifth National Congress of Civil Engineering. Mashhad: Ferdowsi University of Mashhad, 2010.