دریافت مقاله: ۹۵/۰۱/۲۸
پذیرش مقاله: ۹۶/۰۲/۱۷

انتخاب مصالح جداره بیرونی ساختمان مسکونی در اقلیم گرم و خشک ایران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

سارا آکوچکیان* رامتین خلعتبری**

چکیده

کاربری مسکونی به‌عنوان پیش‌برنده صنعت ساخت‌وساز، اصلی‌ترین مصرف‌کننده مصالح ساختمانی شناخته می‌شود. انتخاب مناسب و نظام‌مند مصالح جداره خارجی کاربری مسکونی علاوه بر حفظ کیفیت معماری ایجادشده، اثر مثبتی در حوزه‌های مختلف از جمله اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی- فرهنگی منطقه خواهد داشت. شاید در نگاه ابتدایی، انتخاب از میان طیف مصالح چندان پیچیده به‌نظر نرسد، ولی با نگاه به نتایجی که انتخاب ضعیف در حوزه‌های مختلف بر کیفیت معماری ایجادشده می‌گذارد، متوجه ابعاد فراوان و پیچیده تأثیرگذار و تأثیرپذیر در حوزه‌ی انتخاب مصالح خواهیم شد. پژوهش پیش رو، در راستای مشخص‌نمودن عوامل درگیر در روند انتخاب مصالح و تبیین روابط میان آنها است تا بتوان با استفاده از آن، انتخاب درستی را انجام داد. با تبیین نظام‌مند این روابط می‌توان الگویی برای انتخاب مناسب مصالح جداره خارجی کاربری مسکونی در اقلیم گرم و خشک ایران ایجاد نمود که مورداستفاده طراحان و کاربران نیز قرار بگیرد.

در این پژوهش با استفاده از ابزارهای تحلیلی در حوزه تصمیم‌گیری چند شاخصه تک هدفه و با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی با رویکرد فازی (FAHP)[1] با استفاده از پرسشنامه خبره، به گردآوری نظرات خبرگان برای معیارهای مشخص‌شده تأثیرگذار در این روند اقدام شده است. پس از مشخص‌شدن میزان اهمیت معیارها در نظر خبرگان با استفاده از ابزارهای تحلیل اطلاعات روش سلسله مراتبی فازی، میزان وزن نهایی معیارهای تعیین‌شده به‌دست آمد و در انتها نیز درخت سلسله مراتب معیارها و زیرمعیارها برای انتخاب مصالح جداره بیرونی ساختمان مسکونی ارائه و توضیح داده شده است.

پرتال جامع علوم انسانی

کلیدواژه‌ها: انتخاب مصالح ساختمانی، جداره خارجی کاربری مسکونی، اقلیم گرم و خشک، تصمیم‌گیری چند معیاره، تحلیل سلسله مراتبی فازی

* کارشناس ارشد انرژی و معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران. Email: Saraakoochekian@ut.ac.ir
** دانشجوی دکتری فناوری معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول). Email: khalatbari.ra@ut.ac.ir

مقدمه

یکی از مهم‌ترین زمینه‌هایی که در آثار خلق‌شده توسط معماران تأثیرگذار است، مصالح ساختمانی و در حقیقت ابزار ساخت آثار خلق‌شده در دنیای واقعی است. مصالح ساختمانی خود دارای دسته‌بندی‌های متفاوتی هست که هر کدام از آنها ویژگی‌های ممتاز و یکتایی برای خود دارد. شناخت عوامل تأثیرگذار بر مصالح ساختمانی باعث پیشبرد کیفیت آثار معماری خلق‌شده توسط طراحان می‌گردد، ولی سؤالی که پژوهش پیش رو در پی پاسخ به آن بوده این است که معماران و طراحان چگونه با وجود این دسته‌بندی‌های متفاوت مصالح و ویژگی‌های متفاوتی که هر کدام از آنها دارند، مصالح مناسب و درخور اثر معماری طراحی‌شده خود را انتخاب می‌نمایند؟ چگونه می‌توان بیشتر مؤلفه‌های تأثیرگذار بر انتخاب مصالح را در نظر گرفت و در نهایت از میان طیف گسترده مصالح ساختمانی انتخاب مناسبی کرد؟

صنعت ساختمان‌سازی، قسمتی حیاتی در هر نظام اقتصادی است که تأثیر قابل‌توجهی بر ابعاد متفاوت جامعه مانند حوزه‌های اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی_فرهنگی دارد. امروزه با توجه به تأثیر فراوان این صنعت بر سایر بخش‌های جامعه، توجه‌نمودن به اصول ساخت‌وساز پایدار باید تبدیل به یکی از مهم‌ترین چارچوب‌های فکری صاحبان این صنعت شود. یکی از تصمیم‌های مهم در این زمینه، انتخاب پایدار مصالح برای استفاده در پروژه‌های ساختمانی است. انتخاب دقیق مصالح پایدار به‌عنوان آسان‌ترین راه برای طراحان در جهت آغاز اصول پایداری در پروژه‌های ساختمانی شناخته شده است (Godfaurd et al, 2005: 321). انتخاب مصالح برای پروژه‌های ساختمانی تنها در ارتباط با ملاحظات فنی نیست، بلکه ظاهر و رفتار حسی مصالح نیز به‌همان اندازه در هنگام طراحی اهمیت دارند. زمانی‌که یک مصالح انتخاب می‌شود، معمار پروژه به عملکرد مرتبط با شخصیت آن مصالح نظیر دوام، توجه نموده اما در کنار آن نگاهی به جنبه‌هایی مانند رنگ و یا بافت که موجب جلب نظر و یا شبیه‌سازی حسی کاربر می‌شود نیز دارد. علاوه بر این، معمار ممکن است فضای خاصی در ذهن خود داشته که از طریق احساس حاصل از کاربرد مصالح انعکاس یافته باشد؛ مانند احساس رسمی‌بودن که برای فضای اتاق یک وکیل مدنظر معمار خواهد بود.

انتخاب مناسب مصالح ساختمانی پایدار با توجه به ابعاد گسترده موضوع و تأثیر انتخاب آن بر جنبه‌های فراوان، از پیچیدگی زیادی برخوردار است که نمی‌توان به‌راحتی از کنار آن عبور نمود. رسیدن به یک الگوی منطقی، اصولی و شفاف که تا حدود زیادی جنبه‌های تأثیرگذار بر روند انتخاب مصالح را در خود دیده باشد، کمک بزرگی به معمارانی است که به‌دنبال انتخاب‌های صحیح می‌باشند. لذا هدف کلی و نهایی پژوهش را می‌توان در رسیدن به الگویی مناسب برای انتخاب مصالح مناسب و پایدار در عمده‌ترین کاربری فضایی معماری یعنی کاربری مسکونی در اقلیم گرم و خشک به‌عنوان اقلیم غالب کشور ایران ذکر نمود؛ رسیدن به الگویی که بتواند با در نظر گرفتن شرایط و مقتضیات گوناگون از نگاه‌های متفاوت خبرگان، تغییری در رویکرد فعلی صنعت ساخت‌وساز مسکونی در ایران به جداره‌های خارجی ایجاد نماید؛ الگویی جامع که با آن بتوان از انتخاب‌های صرفاً احساسی و فردی و فارغ از سایر عوامل مؤثر بر این انتخاب، جلوگیری نمود.

پیشینه تحقیق

پژوهش‌های متفاوتی در ارتباط با روند انتخاب مصالح در صنعت صورت پذیرفته و در سالیان اخیر نیز تحقیقاتی پیرامون مصالح ساختمانی و روند انتخاب مصالح مناسب و پایدار انجام پذیرفته است. هر کدام از پژوهش‌ها با توجه به دیدی که به این حوزه داشته‌اند به بررسی و معرفی پیشنهاد خود پرداخته‌اند. یکی از تحقیقات متفاوتی که پیرامون این حوزه توسط ویستیل و ووتر[۲] در سال ۲۰۰۸ در فراهمایی در دانشگاه هالم شفیلد ارائه شد، به بررسی روند انتخاب مصالح و معیارهای تأثیرگذار بر این موضوع با تمرکز بیشتر بر روی دید معماری پرداخته بود. در این تحقیق، آنها چهار دسته اصلی را به‌عنوان معیارهای تأثیرگذار بر انتخاب مصالح معرفی نمودند (۲۰۰۸: ۱۷) : زمینه[۳]، روند تولید[۴]، تجارب[۵]، ویژگی‌های مصالح[۶].

بیشتر پژوهش‌های انجام‌گرفته، به مباحث فیزیکی و ابعاد فنی مصالح اختصاص یافته و در کمتر پژوهشی دیدی به‌نسبت جامع و مانع لحاظ شده است. ژو[۷] و همکاران (2009: 1211) بیان نموده‌اند که یک طراح، زمانی‌که مصالحی را انتخاب می‌کند، باید سه جنبه ویژگی‌های اساسی آن را در نظر بگیرد: ویژگی‌های مکانیکی، ویژگی‌های اقتصادی و ویژگی‌های زیست‌محیطی. بر اساس نظر وی، ویژگی اقتصادی مهم‌ترین جنبه در انتخاب مصالح است. سیریسالی[۸] و همکاران (2009: 90) دو عامل "ویژگی‌های مکانیکی" و "ویژگی‌های اقتصادی" را به‌عنوان دو نیاز اساسی در انتخاب مصالح تشخیص دادند. گلاویک و لوکمان[۹] با توجه به شرایط ذهنی در پروژه‌های ساخت‌وساز، از رویکرد بهینه‌سازی ترکیبی اعداد صحیح[۱۰] برای انتخاب مصالح ساختمانی استفاده نمودند. در این سیستم از شاخصه‌های پایداری بیان‌شده به‌وسیله‌ی مجموعه‌ای از

نمرات دو دویی، برای کمک به بهینه‌سازی تصمیم‌گیران در انتخابی از میان انواع مصالح کمک گرفته شده است (2007: 1879). رحمان[۱۱] و همکاران در تحقیقاتی در ده سال گذشته به توسعه مدل تصمیم‌گیری چند معیاره پرداختند؛ مدلی که معیارهای عملکرد فناوری و یا مصالح جدید را در نظر گرفته و تصمیم‌گیران را قادر به حل مسائل ترکیبی مرتبط با روند انتخاب مصالح می‌کند. گرچه هدف این سیستم به‌طور خاص، کاوش‌نمودن مدلی دانش‌بنیان (مبتنی بر دانش) است که به چرخه عمر مصالح و فناوری‌ها با در بر داشتن کمترین هزینه توجه دارد (2008: 221). فرناندز[۱۲] به‌طور مستقیم ارتباط میان روند تصمیم‌گیری و عمر خدماتی محصول یا مصالح را توضیح می‌دهد. وی نشان داد که چگونه معماران معاصر بر اساس ویژگی‌های عملکردی، مدل‌های موجود را انتخاب می‌کنند؛ انتخابی که آنها برای مصالح انجام نمی‌دهند بلکه برای ابزارها و سیستم‌ها اعمال می‌نمایند (2006: 54). فلورز[۱۳] و همکاران، توسعه یک مدل انتخاب مصالح که میزان تأثیر ابعاد و مؤلفه‌های پایداری بر ساختار پایداری را از دریچه ادراک معماران نشان می‌دهد، انجام داده‌اند. چارچوب این مدل؛ مؤلفه‌ها و یا متغیرهای ذهنی مانند جذابیت محصول، ظرفیت بالا و عملکرد را به‌عنوان ابعادی که نقشی مؤثر در ارزیابی پایداری مصالح و یا محصولات دارند، تعیین نموده است (2009: 1166). چوه[۱۴] بیان نموده که ابعاد اصلی کیفیت محصولات شامل مؤلفه‌هایی مانند: عملکرد، ویژگی‌ها، قابلیت اطمینان، تطابق، دوام، خدمات‌پذیری، زیبایی‌شناسی، تعهد، ارزش، مشارکت و پاسخگویی است. با این وجود، از ادراک و برداشت مصرف‌کننده به‌عنوان یک مؤلفه اصلی در تعیین انتخاب مصالح و عملکرد صحبت کرده است (2004: 72).

هدف اصلی پژوهش پیش رو، ایجاد روندی شفاف و منطقی برای یاری‌رساندن به معماران در انتخاب مصالح جداره بیرونی با کاربری مسکونی است؛ به‌عبارتی، ایجادنمودن بستری برای الگوی انتخاب مصالح برای معماران و پیشبرد آن در جهت پیشنهاددادن و انتخاب‌نمودن مصالح مناسب برای بستر و ویژگی‌های معرفی‌شده از جانب طراح است.

روش تحقیق

پژوهش انجام‌گرفته را می‌توان در سه بخش اصلی تبیین نمود؛ بخش نخست به بررسی انتخاب مصالح و معیارهای ارائه‌شده تأثیرگذار بر این انتخاب اختصاص یافته است. رسیدن به معیارهای موردنظر با مطالعه پژوهش‌های انجام‌گرفته توسط سایرین و نظرات خبرگان گردآوری شده است تا در مراحل بعدی مورداستفاده قرار بگیرند. بخش دوم پژوهش به حوزه تصمیم‌گیری و روش‌های متعدد اصولی تصمیم‌سازی اختصاص یافته است؛ مطالعاتی که با توجه به ویژگی‌های بستر مسأله موردنظر که انتخاب بهینه مصالح بوده، به روش تحلیل سلسله مراتبی با رویکرد فازی به‌عنوان روش مناسب این مسئله ختم گردید. در گام بعدی در کنار مطالعات کتابخانه‌ای و فعالیت‌های پژوهشی میدانی، پرسشنامه‌های لازم (پرسشنامه خبره) ایجاد گردید؛ پرسشنامه تهیه‌شده مربوط به جامعه حرفه‌ای معماری برای شناخت حوزه کاربردی مصالح در وضعیت کنونی و در نهایت رسیدن به معیارها و وزن موردنظر آنها بود. تجزیه‌وتحلیل داده‌های به‌دست‌آمده، با استفاده از نرم‌افزارهای بررسی داده‌های آماری شامل اکسل و با استفاده از زبان برنامه‌نویسی Visual Basic صورت پذیرفته و سپس بر طبق مطالعات انجام‌گرفته برای مسائل چند شاخصه‌ای اقدام به بررسی مسأله شده که در کنار آن از نرم‌افزارهای تخصصی این حوزه شامل "اکسپرت چویس[۱۵] " و "سوپر دسیژن[۱۶] " استفاده گردیده است.

انتخاب مصالح

با پیشرفت جنبش ساخت‌وساز کم‌کربن[۱۷] در سال‌های اخیر، تحقیق و توسعه به‌طور فزاینده‌ای به‌سمت ترویج استفاده و اولویت به منابع بومی و برگشت‌پذیر[۱۸] (قابل بازیافت) میل نموده است (Trusty, 2003: 13). تحقیقات اخیر نشان داده که استفاده از مصالح و منابع ساختمانی بومی و برگشت‌پذیر، فوایدی مانند کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای کربن دی‌اکسید، ایجاد ساختمان‌های سالم و هم‌چنین تقویت اقتصاد محلی خواهد داشت (Kibert, 2008: 71). این موضوع را در جایی می‌توان دید که با استفاده‌نمودن از این مصالح به‌طور معمول، انرژی کمتری برای پردازش و حمل‌ونقل این مصالح مورد نیاز است (Ogunkah et al, 2012: 14).

امروزه با وجود تعداد زیادی از فناوری‌های مورداستفاده موجود، نیاز اساسی به روشی جدید که استفاده از مصالح ساختمانی کم‌تأثیر را بهینه نماید، دیده می‌شود. بسیاری از موج‌های قبلی فعالیت‌های مسکن و توسعه پایدار که توسط جنبش زیست‌محیطی دهه ۱۹۷۰ میلادی ایجاد شده بود، پایین آمدند و بعد از آن مرحله، به افزایش فشار برای ایجاد ساختمان‌هایی با کارآمدی انرژی بالا روی نمودند (Hulme et al, 2010: 43). اگرچه رویکرد آنها به‌عنوان رویکردی موفق در گسترش ایده‌ها برای روند انتخاب مصالح معرفی شده است، ولی سیستمی که استفاده کارا و قابل‌توجه از مصالح ساختمانی بومی و بازیافت‌پذیر را در روند طراحی_تصمیم‌سازی در مراحل ساخت یک ساختمان در نظر بگیرد، وجود ندارد

(Fernandez, 2006: 56).با این حال، تعداد بسیاری از مؤلفه‌های متفاوت که باعث تأثیرگذاری و یا عدم تأثیرگذاری تولید محصول به‌صورت بومی و بازیافت‌پذیر می‌شود، وجود دارد؛ از جمله می‌توان به موارد روبرو اشاره نمود: سطح اثرات زیست‌محیطی، طراحی مناسب، هزینه، منبع اجزای آن و نوع سیستم حمل‌ونقل (Trusty, 2003: 16).

انتخاب مصالح پایدار به‌عنوان آسان‌ترین راه برای طراحان در جهت آغاز اصول تفکر پایداری در پرو ژه‌های ساختمانی شناخته شده است (Godfaurd et al, 2005: 320). انتخاب مصالح ساختمانی به‌عنوان یک مسأله تصمیم‌گیری چند معیاره در نظر گرفته شده است (Nassar et al, 2003: 551)که بخشی از روند طراحی بوده که اغلب در فاز طراحی جزئیات، در جایی‌که تصمیمات مهمی با توجه به روند ساخت‌وساز ساختمان گرفته می‌شود، قرار می‌گیرد (Gething, 2011: 16). این مرحله تا حد زیادی با توجه به نبود معیارهای اندازه‌گیری در دسترس، بر اساس تجربه‌های مورداعتماد هر یک از افراد به‌جای روش‌های علمی و مبتنی بر اعداد قابل‌قیاس پیش رفته است (Chen et al, 2010: 238). امروزه تنوع بسیار زیادی از مصالح ساختمانی که معماران و سازندگان می‌توانند از آنها در طراحی خود بهره ببرند، وجود دارد. برای انتخاب از میان این تعداد زیاد مصالح، معماران باید از تعداد فراوانی از معیارهای طراحی استفاده نمایند. به‌منظور تشخیص این‌که چه چیزی بهترین مصالح می‌تواند باشد، فهم این‌که چه جنبه‌هایی در زمانی‌که معماران مصالح را انتخاب می‌کنند دخیل هستند، از اهمیت بالایی برخوردار است. علاوه بر این، به‌منظور تسهیل‌نمودن روند انتخاب مصالح سازنده، معماران نیاز به اطلاعات مناسب مصالح دارند؛ به‌عبارتی این اطلاعات موجب هدایت و راهنمایی آنها در انتخاب مناسب‌تر می‌گردد (WASTIELS et al, 2008: 84). با این توصیفات به‌نظر می‌رسد که نیاز برای توسعه یک الگوی انتخاب مصالح نظام‌مند که در آن معماران قادر به شناسایی و اولویت‌بندی معیارها و مؤلفه‌های مربوطه برای ارزیابی دقیق و مؤثرتر هستند، حس می‌شود؛ الگویی که با ایجاد توازن میان بحث‌های فنی، زیست‌محیطی، مسائل اقتصادی و عملکردی در طول مدت روند ارزیابی و انتخاب مصالح، دید جامع‌تر و دقیق‌تری را برای معماران ایجاد نماید.

روش تحلیل سلسله مراتبی فازی (FAHP)

در دهه‌های اخیر توجه محققین در حوزه‌های تصمیم‌گیری پیچیده، معطوف به مدل‌های چند معیاره (MCDM) [۱۹] گردیده است. در این تصمیم‌گیری‌ها به‌جای استفاده از یک معیار سنجش بهینگی، ممکن است از چندین معیار سنجش استفاده گردد. این مدل‌ها به دو دسته عمده تقسیم می‌گردند: مدل‌های چند هدفه[۲۰] و مدل‌های چند شاخصه[۲۱] (اصغرپور، ۱۳۸۵: ۲۳) مدل چند شاخصه معمولاً برای انتخاب بهترین گزینه ارائه‌شده استفاده شده است که ممکن است معیارهای آنها با یکدیگر در تعارض باشد، مدل چند هدفه نیز می‌تواند به‌طور هم‌زمان بر چند هدف تمرکز کرده و با روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی بهترین راه‌حل را ارائه دهد. یکی از پرکاربردترین روش‌ها در این مدل، روش تجزیه‌وتحلیل سلسله مراتبی است که در دهه ۱۹۷۰ میلادی توسط پروفسور ساعتی به‌وجود آمد. این تحلیل یکی از جامع‌ترین سیستم‌های طراحی‌شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا این تکنیک امکان فرموله‌کردن مسأله را به‌صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند و هم‌چنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسأله دارد (زیاری و همکاران، ۱۳۸۹: ۷۶). درک پدیده‌ها و مسائل پیچیده برای ذهن انسان می‌تواند مشکل‌آفرین باشد، از این رو تجزیه یک مسأله بزرگ به عناصر جزئی آن (با استفاده از ساختار رده‌ای) می‌تواند به درک انسان کمک نماید.

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) [۲۲] و کاربرد آن بر سه اصل استوار است: ۱) برپایی یک ساختار و قالب رده‌ای مسأله، ۲) برقراری ترجیحات از طریق مقایسه‌های زوجی، ۳) برقراری اصل سازگاری در اندازه‌گیری‌ها (اصغرپور، ۱۳۸۵: ۳۲). این فرآیند، گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری مشارکت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها را دارد، علاوه بر این، این روش بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده که قضاوت و محاسبات را تسهیل نموده است و میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد (قدسی پور، ۱۳۸۸: ۵۲). با وجود استفاده از نظرات خبرگان در مقایسه‌های زوجی در این روش، باید به این نکته توجه داشت که این روش، امکان انعکاس سبک تفکر انسانی را به‌طور کامل ندارد (Chang, 1996:651). با توجه به این‌که ارائه قضاوت‌ها به‌صورت کلامی برای تصمیم‌گیرندگان آسان‌تر از ارائه یک پاسخ به‌طور قطعی است، برای این مسأله از رویکرد فازی بهره گرفته شده است. دلیل این امر را در این نکته می‌توان جست‌وجو نمود که در حالت فازی به‌طور معمول، تصمیم‌گیران قضاوت‌های راحت‌تری را به‌جای بیان قضاوت‌های ثابت به‌سبب ماهیت فرآیند مقایسه‌های دو دویی فازی انجام می‌دهند (Bozdag et al, 2003: 17). فرآیند تعیین معیارها و عامل‌های مهم در تصمیم‌گیری، خلاقانه‌ترین مرحله در این فرآیند است (Saaty, 1980: 62).

معیارها و زیرمعیارهای انتخاب مصالح

با توجه به اهمیت این مرحله با نگاه به پژوهش‌های انجام‌گرفته، سعی بر آن شد تا با مطالعه آنها مجموعه‌ای از معیارهای موردنظر خبرگان در کنار نظرخواهی مستقیم از جامعه خبره ایجاد گردد. در جدول ۱ به‌صورت خلاصه به تعدادی از این معیارها اشاره شده است.

در کنار نظرات متخصصین می‌توان به یکی از معتبرترین راهنماهای انتخاب مصالح در کشور استرالیا اشاره داشت که در تصویر ۱ آورده شده است (D.P.T.I. ,2012: 3).

در این مرحله با مشخص‌شدن مجموعه‌ای از مؤلفه‌های تأثیرگذار بر روند انتخاب مصالح، باید بتوان مهم‌ترین آنها را انتخاب کرد؛ برای این منظور از روش تحلیل اهمیت نسبی (RI) [۲۳]، طبق فرمول زیر استفاده شد (Braimah et al, 2009: 1283).

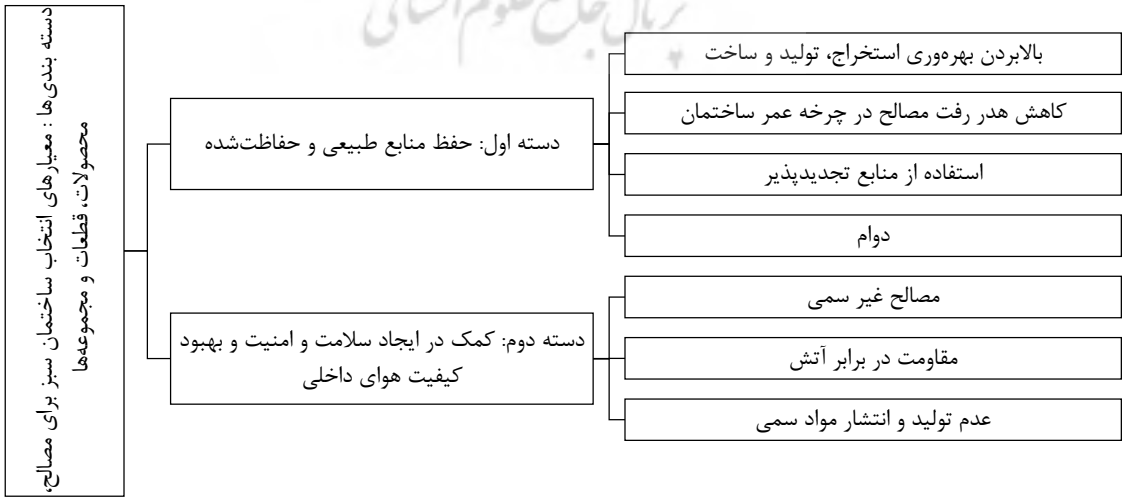
$$RI = \sum w / A \times N \quad (۱)$$

در اینجا w، نشان‌دهنده وزن معیار است که توسط پاسخ‌دهنده انتخاب شده، A بیشترین میزان وزن درنظرگرفته‌شده برای معیار و N نشان‌دهنده تعداد جامعه آماری پاسخ‌دهنده است. در این پژوهش برای امتیازدهی به معیارها، از مقیاس امتیازبندی لیکرت استفاده شده که در آن امتیاز ۱ معادل کمترین میزان اهمیت و امتیاز ۵ معادل بیشترین میزان اهمیت برابر گرفته شد است. چن و همکاران در سال ۲۰۱۰، پنج سطح اهمیت برای روش اهمیت نسبی بیان نموده‌اند. در این مدل، سطح بالا(H) (0.8≤RI≤1)، بالا_متوسط(H-M)

جدول ۱. معیارها و مؤلفه‌های تأثیرگذار بر انتخاب مصالح از نظر صاحب‌نظران

متخصصین	حوزه معیارها
اشبی و جانسون-۲۰۰۲	۱. فنی ۲. اقتصادی ۳. پایداری(زیست‌محیطی) ۴. زیبایی‌شناسی ۵. برداشت و نیت‌ها (Ashby et al, 2002: 41)
سیریسالی و همکاران-۲۰۰۴	۱. ویژگی‌های مکانیکی ۲. ویژگی‌های اقتصادی(Sirisalee et al, 2004: 90)
چوه-۲۰۰۴	۱. تطابق ۲. دوام ۳. خدمات‌پذیری ۴. زیبایی‌شناسی ۵. تعهد و همدلی ۶. ارزش ۷. مشارکت ۸. پاسخگویی ۹. ادراک و برداشت ۱۰. ویژگی‌ها ۱۱. عملکرد ۱۲. قابلیت اطمینان (Akadiri et al, 2012: 673)
ون کسترن و همکاران-۲۰۰۵	۱. شخصیت محصول ۲. استفاده ۳. عملکرد ۴. ویژگی‌های مصالح ۵. شکل ۶. روند تولید[همان، ۶۷۰]
ویستیل و همکاران-۲۰۰۸	۱. زمینه ۲. روند تولید ۳. تجارب ۴. ویژگی‌های مصالح (WASTIELS et al, 2008: 71)
ژو و همکاران-۲۰۰۹	۱. ویژگی‌های مکانیکی ۲. ویژگی‌های اقتصادی ۳. ویژگی‌های زیست‌محیطی(Zhou et al,2009: 1211)
ابیسوندرا و همکاران-۲۰۰۹	۱. زیست‌محیطی ۲. مسائل اقتصادی ۳. متغیرهای اجتماعی(Akadiri et al, 2012: 671)
آکادیری و همکاران-۲۰۱۲	۱. اجتماعی-اقتصادی ۲. زیست‌محیطی ۳. فنی(همان، ۶۷۱)

(نگارندگان)



تصویر ۱. معیارهای درنظرگرفته‌شده برای انتخاب مصالح سبز در راهنمای طراحی کشور استرالیا نگارندگان بر اساس (D.P.T.I. ,2012)

(0.6≤RI<0.8)، متوسط (M) (0.4≤RI<0.6)، متوسط-پایین (M-L) (0.2≤RI<0.4)، و پایین (L) (0≤RI<0.2) مشخص شده است (Chen et al, 2010) . به‌طور معمول در بررسی و رتبه‌بندی تجزیه اهمیت نسبی، رتبه‌های سطح بالا- متوسط که بیشتر از ۰/۷ را به خود اختصاص داده‌اند انتخاب می‌گردند که در این پژوهش نیز معیارهایی که به این سطح رسیده‌اند در پژوهش تأثیر داده شده‌اند (گلابچی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲۵). برای تعیین معیارها، پرسشنامه‌ای برای خبرگان تهیه و با استفاده از روش دلفی و انجام این مرحله در چندین بار، در انتها ۵ معیار اصلی انتخاب شد. معیارهای حسی/ زیبایی‌شناسی[۲۴]/ معیارهای زیست‌محیطی[۲۵]/ معیارهای انرژی[۲۶]/معیارهای اجتماعی/ اقتصادی[۲۷]/معیارهای فنی مصالح[۲۸].

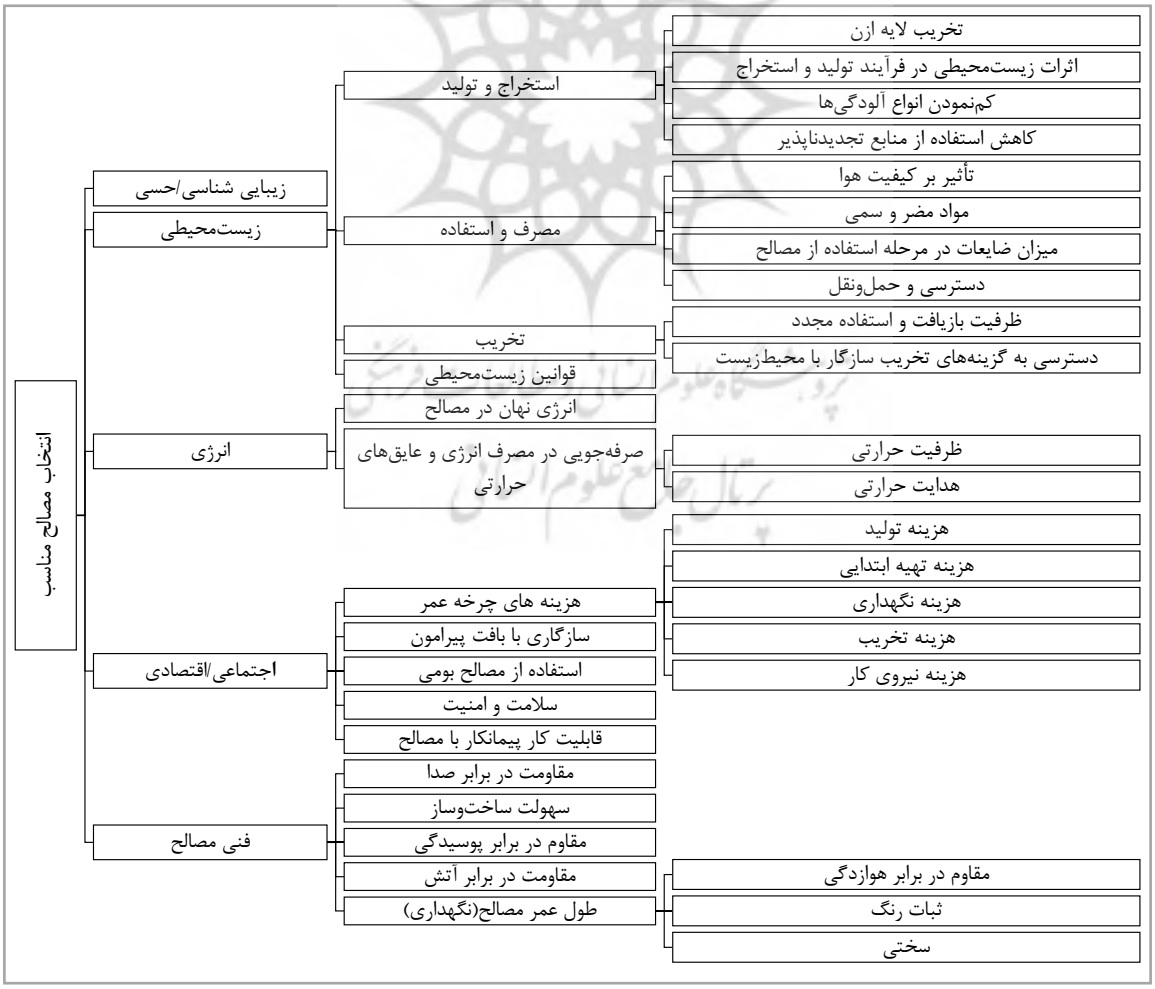
برای مشخص‌شدن زیرمعیارها نیز با گذراندن مراحل بیان‌شده، در نهایت درخت سلسله مراتبی که در تصویر ۲ آمده، ایجاد گردید.

تعریف معیارها و زیرمعیارهای انتخاب‌شده

حسی/ زیبایی‌شناسی: این معیار به مقوله دریافت و حس بصری طراح نسبت به مصالح انتخابی مربوط می‌گردد. با نگاه دیگری می‌توان این معیار را به‌عنوان زیرمعیار دسته فنی مصالح محسوب نمود ولی با توجه به اهمیتی که این مقوله در بستر معماری و طراحی دارد، به‌عنوان یک معیار جداگانه محسوب شده است.

در ادامه در جدول ۲ معیار زیست‌محیطی، جدول۳ معیار انرژی، جدول ۴ معیار اجتماعی_اقتصادی و جدول ۵ معیار فنی مصالح به‌صورت مختصر با ارائه زیرمعیارها تبیین شده‌اند.

- زیست‌محیطی
- انرژی
- اجتماعی-اقتصادی
- فنی مصالح



تصویر ۲. درخت سلسله مراتب تصمیم‌گیری انتخاب مصالح مناسب و پایدار نگارندگان

جدول ۲. دسته‌بندی معیار زیست‌محیطی

۱	استخراج و تولید-Mining and manufacturing (فعالیت‌هایی در جهت تولید و استخراج مصالح انجام می‌پذیرد)			
	پرهیز از اتمام منابع Avoiding resources depletion	کم‌نمودن انواع آلودگی‌ها Minimize pollution – e.g. Air, land	اثرات زیست‌محیطی در فرآیند تولید و استخراج Environmental impact during material harvest	تخریب لایه ازن Ozone depletion potential
۲	مصرف و استفاده -Use and consumption (فعالیت‌هایی که در طی ساخت پروژه و هم‌چنین دوران بهره‌برداری انجام می‌گیرد.)			
	تأثیر بر کیفیت هوا Impact of material on air quality	مواد مضر و سمی Zero or low toxicity	میزان ضایعات در مرحله استفاده از مصالح Amount of likely wastage in use of material	دسترسی و حمل‌ونقل Availability & transportation
۳	تخریب-Demolition (فعالیت‌هایی مربوط به از بین بردن مصالح بعد از تخریب پروژه)			
	ظرفیت بازیافت و استفاده مجدد Potential for recycling and reuse		دسترسی به گزینه‌های تخریب سازگار با محیط‌زیست Availability of environmentally option sound disposal	
۴	قوانین زیست‌محیطی-Environmental statutory compliance (قوانین و آیین‌نامه‌هایی که در هر منطقه وجود دارد.)			

(نگارندگان)

جدول ۳. دسته‌بندی معیار انرژی

۱	انرژی نهان در مصالح-Embodied energy within material (انرژی مصرف‌شده در مصالح در مراحل تولید، انتقال، ساخت، مصرف، تخریب و نگهداری)	
۲	صرفه‌جویی در مصرف انرژی و عایق‌های حرارتی-Energy saving and thermal insulation (فعالیت دوران ساخت و دوران بهره‌برداری)	
	ظرفیت حرارتی-Heat Capacity	هدایت حرارتی-Heat Conduction

(نگارندگان)

جدول ۴. دسته‌بندی معیار اجتماعی-اقتصادی

۱	هزینه‌های چرخه عمر-Life cycle costs (انرژی مصرف‌شده در مصالح در تمامی مراحل از تولید تا تخریب)				
	هزینه تولید Production cost	هزینه تهیه ابتدایی Initial acquisition cost	هزینه نگهداری Maintenance cost	هزینه تخریب Disposal cost	هزینه نیروی کار Labor cost
۲	سازگاری با بافت پیرامون (فیزیکی و فرهنگی)-Context (cultural and physical) (مصالح از سازگاری با بافتی که در آن قرار می‌گیرند برخوردار باشد.)				
۳	استفاده از مصالح بومی-Use of local material (مصالح موردنظر از مصالح بومی منطقه باشند.)				
۴	سلامت و امنیت-Health and safety (در تمام مراحل سلامت و امنیت کاربران و نیروی کار به خطر نیفتد.)				
۵	قابلیت کار پیمانکار با مصالح-Work ability (مصالح انتخابی به‌نحوی باشد که سازنده پروژه بتواند با آن کار کند.)				

(نگارندگان)

پرسشنامه خبره

در این مرحله، پرسشنامه‌ای برای به‌دست‌آوردن میزان اهمیت تمامی معیارها از نگاه خبرگان، به‌صورت ماتریس‌های مقایسه‌های زوجی در میان همه دسته‌ها تدوین شد (جدول شماره ۶). مقایسه زوجی بسیار ساده است و تمامی عناصر هر خوشه باید به‌صورت دو به دو مقایسه شوند. بنابراین اگر در یک خوشه n عنصر وجود داشته باشد، ($\frac{n(n-1)}{2}$) مقایسه صورت خواهد گرفت. به‌عنوان نمونه در خوشه اول معیارها که پنج دسته کلی بیان شده ده مقایسه انجام می‌گیرد:

$$\frac{n(n-1)}{2} = \frac{5(5-1)}{2} = 10 \qquad (۲)$$

جامعه هدف این پرسشنامه، معماران آشنا به حوزه مصالح بوده‌اند. پرسشنامه در دو صورت چاپ شده و به‌صورت بر خط[۲۹] از طریق ابزار داده‌های گوگل[۳۰] تهیه و برای ۱۷۰ نفر ارسال شد که با جواب‌گویی ۱۰۴ نفر روبرو شد؛ ضریب پاسخگویی به پرسشنامه موردنظر در جامعه هدف خبره، ۶۱% است.

تعیین اولویت و میزان اهمیت عوامل انتخاب مصالح مناسب

روند تحلیل به‌صورت مراحل زیر است:

۱. مقایسه زوجی معیارهای اصلی بر اساس هدف و تعیین وزن معیارهای اصلی
۲. مقایسه زوجی زیرمعیارهای هر معیار و تعیین وزن زیرمعیارهای هر خوشه
۳. ضرب وزن زیرمعیارها در وزن معیار مربوط و تعیین وزن نهائی زیرمعیارها

برای مقایسه زوجی عناصر، از مقیاس نه درجه ساعتی که توسط توماس ساعتی واضع تئوری تحلیل سلسله مراتبی ارائه شده، استفاده گردید. هم‌چنین برای کمی‌کردن مقادیر در رویکرد فازی، هریک از اعداد درنظرگرفته‌شده برای بیان قضاوت در مقایسه‌های زوجی، به‌صورت اعداد فازی مثلثی $X=(l_{ij},m_{ij},u_{ij})$ بیان می‌گردند که در آن m_{ij} محتمل‌ترین ارزش و l_{ij} و u_{ij} به‌ترتیب کمترین و بیشترین میزان عدد فازی

جدول ۵. دسته‌بندی معیار فنی مصالح

۱	مقاومت در برابر صدا- Sound resistance (مقاومت مصالح در برابر انواع صوت‌های تولیدی)		
۲	سهولت ساخت‌وساز- Ease of construction (مصالح از روش‌های آسانی برای ساخت در پروژه برخوردار باشند)		
۳	مقاومت در برابر پوسیدگی-دوام- Resistance to decay- Durability(مقاومت مصالح در برابر انواع مواد شیمیایی، نمک‌ها و...)		
۴	مقاومت در برابر آتش-Fire resistance مقاومت مصالح در برابر حریق و اثرات آن)		
۵	طول عمر مصالح (قابلیت نگهداری)-Life expectancy of material-Maintainability مصالح انتخابی از طول عمر بالا و قابلیت تعمیر و نگهداری مناسبی برخوردار بوده و احتیاج به تعمیرات مضاعف نداشته باشند)		
	مقاومت در برابر هوازدگی esistance to climatic changes (weathering)	ثبات رنگ Color Fastness	سختی Hardness

(نگارندگان)

جدول ۶. ماتریس مقایسه‌های زوجی در سطح معیارها

	زیبایی‌شناسی (C1)	زیست‌محیطی (C2)	انرژی (C3)	اجتماعی_اقتصادی (C4)	فنی مصالح (C5)
(C1)	(۱،۱،۱)				
(C2)		(۱،۱،۱)			
(C3)			(۱،۱،۱)		
(C4)				(۱،۱،۱)	
(C5)					(۱،۱،۱)

(نگارندگان)

را به‌خود اختصاص می‌دهند. مقیاس فازی معادل طیف ساعتی مطابق جدول ۷ مورداستفاده قرار گرفته است.

در جدول ۶، اعداد قطر اصلی ماتریس مقایسه‌های زوجی برای هر سطر از مدل، همواره (۱،۱،۱) هستند و اگر (a,b,c) مقدار واقع در سطر i و ستون j باشد، آنگاه مقدار واقع در سطر j و ستون i برابر $(\frac{1}{c},\frac{1}{b},\frac{1}{a})$ است.

پس از فازی‌سازی نظرات خبرگان در مقایسه‌های زوجی بر اساس جدول ۷، با استفاده از میانگین فازی اقدام به تجمیع دیدگاه خبرگان گردیده است. با استفاده از میانگین هندسی دیدگاه خبرگان، ماتریس مقایسه زوجی سطح اول معیارها در جدول ۸ نمایش داده شده است.

پس از تشکیل ماتریس مقایسه زوجی، بردار ویژه محاسبه گردیده است. ابتدا جمع فازی هر سطر محاسبه می‌شود.

$$\sum_{j=1}^{n} M_{g_i}^{j} \qquad (۳)$$

به‌عبارتی، بسط فازی جمع فازی عوامل درونی به‌صورت زیر خواهد بود:

i	A_i
1	$A_1=(a_{11},a_{21},a_{31},a_{41},a_{51})$
2	$A_2=(a_{12},a_{22},a_{32},a_{42},a_{52})$
⋮	⋮
n	$A_n=(a_{1n},a_{2n},a_{3n},a_{4n},a_{5n})$

$$A=(a,b,c)=A_1 \oplus A_2 \oplus \dots \oplus A_n \qquad (۴)$$

جدول ۷. مقیاس متغیرهای زبانی با اعداد فازی مثلثی

ارزش	وضعیت مقایسه i نسبت به j	اعداد فازی			معکوس اعداد فازی		
		l	m	u	l	m	u
۱	ترجیح یکسان	1	1	1	1	1	1
۲	بینابین	1	2	3	0.333	0.5	1
۳	کمی مرجح	2	3	4	0.25	0.333	0.5
۴	بینابین	3	4	5	0.2	0.25	0.333
۵	خیلی مرجح	4	5	6	0.166	0.2	0.25
۶	بینابین	5	6	7	0.142	0.16	0.2
۷	خیلی زیاد مرجح	6	7	8	0.125	0.142	0.166
۸	بینابین	7	8	9	0.111	0.125	0.142
۹	کاملاً مرجح	9	9	9	0.111	0.111	0.111

(Lin et al, 2009: 4140)

جدول ۸. ماتریس مقایسه زوجی معیارهای اصلی

	C1	C2	C3	C4	C5
C1	(1, 1, 1)	(0.32, 0.39, 0.52)	(0.31, 0.38, 0.5)	(0.74, 0.98, 1.26)	(0.58, 0.75, 0.96)
C2	(1.94, 2.54, 3.12)	(1, 1, 1)	(0.95, 1.09, 1.27)	(1.01, 1.36, 1.79)	(1.21, 1.48, 1.71)
C3	(1.98, 2.61, 3.27)	(0.78, 0.92, 1.05)	(1, 1, 1)	(1.31, 1.75, 2.19)	(0.89, 1.22, 1.62)
C4	(0.79, 1.02, 1.36)	(0.56, 0.73, 0.99)	(0.46, 0.57, 0.76)	(1, 1, 1)	(0.52, 0.65, 0.82)
C5	(1.04, 1.33, 1.72)	(0.59, 0.68, 0.83)	(0.62, 0.82, 1.12)	(1.93, 1.53, 1.93)	(1, 1, 1)

(نگارندگان)

بنابراین بسط فازی ترجیحات هر یک از معیارهای اصلی، به‌صورت جدول ۹ خواهد بود:

سپس جمع فازی مجموع عناصر ستون ترجیحات طبق فرمول زیر محاسبه می‌شود. مجموع عناصر ستون ترجیحات معیارهای اصلی به‌صورت زیر خواهد بود:

$$\sum_{i=1}^{5}\sum_{j=1}^{5} M_g^j = (23.52, 27.81, 33.78) \quad (۵)$$

برای نرمال‌سازی ترجیحات هر معیار، باید مجموع مقادیر آن معیار بر مجموع تمامی ترجیحات (عناصر ستون) تقسیم شود. چون مقادیر فازی هستند، بنابراین جمع فازی هر سطر در معکوس مجموع ضرب می‌شود. معکوس مجموع باید محاسبه شود.

$$F_1^{-1} = (1/u_1, 1/m_1, 1/l_1) \quad (۶)$$

$$(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} M_g^j)^{-1} = (0.04, 0.04, 0.03) \quad (۷)$$

$$(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} M_g^j)^{-1} \quad (۸)$$

بنابراین نتایج حاصل از نرمال‌سازی مقادیر به‌دست‌آمده به‌صورت زیر خواهد بود:

C1=(0.09, 0.13, 0.18) / C2=(0.18, 0.27, 0.38) / C3=(0.18, 0.27, 0.39) / C4=(0.1, 0.14, 0.21) / C5=(0.16, 0.19, 0.28)

هر یک از مقادیر به‌دست‌آمده وزن فازی و نرمال‌شده، مربوط به معیارهای اصلی هستند. برای فازی‌زدایی مقادیر به‌دست‌آمده، روش‌های متنوعی وجود دارد؛ یکی از روش‌های مورداستفاده برای فازی‌زدایی، محاسبه درجه امکان‌پذیری و هم‌چنین استفاده از عدد کریسپ است.

محاسبه درجه امکان‌پذیری

محاسبه درجه ارجحیت (درجه امکان‌پذیری) یک عدد فازی S که از k عدد فازی بزرگ‌تر باشد به‌شرح زیر است:

$$S_i; i=1,2,\ldots,k \quad (۹)$$

$$V(S_i \geq S_k) \quad (۱۰)$$

$$V(S_i \geq S_k \begin{cases} 1 & if(m_i \geq m_k) \\ \frac{l_k - u_i}{(m_i - u_i) - (m_k - l_k)} & else \end{cases} \quad (۱۱)$$

در سطح معیارهای کلی نیز مطابق با معادلات بالا به این حالت است:

V(S1>Sk)= 0.132

V(S2>Sk) = 0.278

V(S3>Sk) = 0.281

V(S4>Sk) = 0.152

V(S5>Sk) = 0.211

اگر فرض شود $d'(Ci)=\min V(Si \geq Sk)$ آنگاه بردار وزن به‌صورت زیر خواهد بود:

$$W' = (d'(C_1), \ldots, d'(C_n)) \quad (۱۲)$$

بر این اساس، بردار ویژه اولویت معیارهای اصلی به‌صورت W_1 خواهد بود:

$$W_1 = \begin{matrix} ۰,۱۲۵ \\ ۰,۲۶۴ \\ ۰,۲۶۷ \\ ۰,۱۴۴ \\ ۰,۲۰۰ \end{matrix}$$

بر اساس بردار ویژه به‌دست‌آمده، معیار انرژی (C3) با وزن نرمال ۰/۲۶۷ از اهمیت بیشتری نسبت به سایر عوامل برخوردار است. معیار عوامل زیست‌محیطی (C2) با وزن ۰/۲۶۴ در اولویت دوم، معیار فنی مصالح (C5) با وزن ۰/۲ در اولویت میانی، عوامل اجتماعی_اقتصادی (C4) با وزن ۰/۱۴۴ در اولویت و معیار عوامل زیبایی‌شناسی (C1) ۰/۱۲۵ از کمترین اولویت برخوردار است (تصویر ۳). هم‌چنین نرخ ناسازگاری مقایسه‌های انجام‌شده ۰/۰۹۱ بوده که از ۰/۱ کوچک‌تر است. بنابراین می‌توان به مقایسه‌های انجام‌شده اعتماد کرد. نرخ سازگاری در روش موردنظر، نشان‌دهنده میزان سازگاری پاسخ‌ها و قضاوت پاسخ‌دهنده است که در این تکنیک باید عددی بالاتر از ۰/۱ باشد تا قابل‌قبول واقع شود.

در گام بعدی زیرمعیارهای مربوط به هر معیار به‌صورت زوجی مقایسه می‌شوند. به این ترتیب، اوزان مربوط به هر زیرمعیار در خوشه مربوط قابل‌محاسبه است. نظر به طولانی‌بودن حجم محاسبات فازی و مشابهت گام‌های طی‌شده برای تعیین اولویت هریک از زیرمعیارها، از تکرار آنها صرف‌نظر شده و نتایج نهایی در زیر ارائه می‌گردد.

- زیست‌محیطی: استخراج و تولید-۰/۱۵۸(S21)، مصرف و استفاده-۰/۲۵۴(S۲۲)، تخریب-۰/۱۴۶(S23)، قوانین زیست- محیطی-۰/۴۴۲(S24)
- انرژی: انرژی نهان در مصالح-۰/۴۱۱(S31)، صرفه‌جویی در مصرف انرژی-۰/۵۸۹(S32)

- اجتماعی-اقتصادی: هزینه‌های چرخه عمر-۰/۱۵۷(S41)، سازگاری با بافت-۰/۲۳۳(S42)، استفاده از مصالح بومی۰/۱۸۷(S43)، سلامت و امنیت-۰/۳۱۴(S44)، قابلیت کار پیمانکار با مصالح-۰/۱۱۰(S45)
- فنی مصالح: مقاومت در برابر صدا-۰/۰۸۷(S51)، سهولت ساخت‌وساز-۰/۱۰۹(S52)، مقاومت در برابر پوسیدگی۰/۲۶۲(S53)، مقاومت در برابر آتش-۰/۲۸۶(S54)، طول عمر بالا-۰/۲۵۶(S55)

به‌همین صورت برای سطح پایین‌تر که شاخص‌های نهایی می‌باشند، فرمول‌های معرفی‌شده اعمال می‌گردند که در ادامه ارائه شده‌اند.

- دسته استخراج و تولید: تخریب لایه ازن (S211)، اثرات زیست‌محیطی (S212)، کمینه‌کردن آلودگی (S213)، منابع تجدیدپذیر(S214)
- دسته مصرف و استفاده: تأثیر بر کیفیت هوا (S221)، مواد مضر و سمی (S222)، میزان ضایعات (S223)، دسترسی و حمل‌ونقل (S224)
- دسته تخریب: ظرفیت بازیافت (S231)، دسترسی به تخریب (S232)
- دسته صرفه‌جویی در مصرف انرژی: ظرفیت حرارتی (S321)، هدایت حرارتی (S322)
- دسته هزینه‌های چرخه عمر: هزینه تولید (S411)، هزینه تهیه ابتدایی (S412)، هزینه نگهداری (S413)، هزینه تخریب (S414) ، هزینه نیروی کار (S415)
- دسته طول عمر مصالح: مقاومت در برابر هوازدگی (S551)، ثبات رنگی(S552)، سختی (S553)

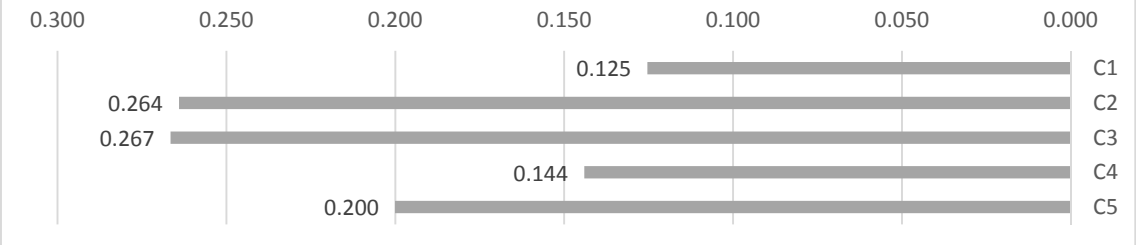
تعیین اولویت نهائی انتخاب مصالح مناسب با روش FAHP

برای تعیین اولویت نهائی عوامل انتخاب مصالح مناسب با استفاده از تکنیک FAHP ، باید اوزان مربوط به معیارهای اصلی (W_1) و وزن شاخص‌ها بر اساس هر معیار(W_2) در دست باشد. نتایج مقایسه زیرمعیارهای تحقیق و اوزان مربوط به آنها، ماتریس (W_2) را تشکیل می‌دهد. برای تعیین اولویت نهائی شاخص‌های با تکنیک FAHP کافی است وزن شاخص‌ها بر اساس هر معیار (W_2) در وزن معیارهای اصلی (W_1) ضرب شود. هر یک از این ماتریس‌ها در گام‌های پیشین محاسبه شده است. با انتقال مقادیر قطعی (CRISP) به نرم‌افزار سوپر دسیژن، با استفاده از این نرم‌افزار، اولویت نهائی شاخص‌ها محاسبه شده است. نتایج محاسبه انجام‌شده و اوزان مربوط به شاخص‌های موردنظر در جدول ۱۰ در ادامه آمده است.

جدول ۹. بسط فازی ترجیحات هر یک از معیارهای اصلی

	C1	C2	C3	C4	C5	بسط فازی
C1	(1, 1, 1)	(0.32, 0.39, 0.52)	(0.31, 0.38, 0.5)	(0.74, 0.98, 1.26)	(0.58, 0.75, 0.96)	(2.94, 3.51, 4.24)
C2	(1.94, 2.54, 3.12)	(1, 1, 1)	(0.95, 1.09, 1.27)	(1.01, 1.36, 1.79)	(1.21, 1.48, 1.71)	(6.11, 7.47, 8.88)
C3	(1.98, 2.61, 3.27)	(0.78, 0.92, 1.05)	(1, 1, 1)	(1.31, 1.75, 2.19)	(0.89, 1.22, 1.62)	(5.97, 7.5, 9.13)
C4	(0.79, 1.02, 1.36)	(0.56, 0.73, 0.99)	(0.46, 0.57, 0.76)	(1, 1, 1)	(0.52, 0.65, 0.82)	(3.33, 3.97, 4.93)
C5 (1.04, 1.33, 1.72)		(0.59, 0.68, 0.83)	(0.62, 0.82, 1.12)	(1.93, 1.53, 1.93)	(1, 1, 1)	(5.17, 5.36, 6.6)

(نگارندگان)



تصویر ۳. نمایش اولویت عوامل انتخاب مصالح مناسب (نگارندگان)

جدول ۱۰. تعیین اولویت نهائی شاخص‌ها با تکنیک FAHP

معیارهای اصلی	وزن	زیرمعیارها	وزن اولیه	وزن نهایی	شاخص‌های نهایی	وزن اولیه	وزن نهایی
زیبایی‌شناسی (C1)	۰/۱۲۵	–	–	–	–	–	–
زیست‌محیطی (C۲)	۰/۲۶۴	استخراج و تولید	۰/۱۵۸	۰/۰۴۲	تخریب لایه ازن	۰/۱۸۱	۰/۰۰۸
					اثرات زیست‌محیطی	۰/۲۳۸	۰/۰۱۰
					کمینه‌کردن آلودگی	۰/۲۷۲	۰/۰۱۱
					منابع تجدیدپذیر	۰/۳۰۹	۰/۰۱۳
		مصرف و استفاده	۰/۲۵۴	۰/۰۶۷	تأثیر بر کیفیت هوا	۰/۲۹۸	۰/۰۲۰
					مواد مضر و سمی	۰/۳۶۳	۰/۰۲۴
					میزان ضایعات	۰/۱۶۴	۰/۰۱۱
					دسترسی و حمل‌ونقل	۰/۱۷۵	۰/۰۱۲
		تخریب	۰/۱۴۶	۰/۰۳۹	ظرفیت بازیافت	۰/۶۰۱	۰/۰۴۰
					دسترسی به تخریب	۰/۳۹۹	۰/۰۲۷
		قوانین زیست–محیطی	۰/۴۴۲	۰/۱۱۷	–	–	–
انرژی (C۳)	۰/۲۶۷	انرژی نهان در مصالح	۰/۴۱۱	۰/۱۱۰	–	–	–
		صرفه‌جویی در مصرف انرژی	۰/۵۸۹	۰/۱۵۷	ظرفیت حرارتی	۰/۵۲۰	۰/۰۸۲
					هدایت حرارتی	۰/۴۸۰	۰/۰۷۵
اجتماعی–اقتصادی (C۴)	۰/۱۴۴	هزینه‌های چرخه عمر	۰/۱۵۷	۰/۰۲۳	هزینه تولید	۰/۱۸۱	۰/۰۰۴
					هزینه تهیه ابتدایی	۰/۱۷۱	۰/۰۰۴
					هزینه نگهداری	۰/۳۰۳	۰/۰۰۷
					هزینه تخریب	۰/۱۲۰	۰/۰۰۳
					هزینه نیروی کار	۰/۲۲۶	۰/۰۰۵
		سازگاری با بافت	۰/۲۳۳	۰/۰۳۴	–	–	–
		استفاده از مصالح بومی	۰/۱۸۷	۰/۰۲۷	–	–	–
		سلامت و امنیت	۰/۳۱۴	۰/۰۴۵	–	–	–
		قابلیت کار پیمانکار با مصالح	۰/۱۱۰	۰/۰۱۶	–	–	–
فنی مصالح (C۵)	۰/۲۰۰	مقاومت در برابر صدا	۰/۰۸۷	۰/۰۱۷	–	–	–
		سهولت ساخت‌وساز	۰/۱۰۹	۰/۰۲۲	–	–	–
		مقاومت در برابر پوسیدگی	۰/۲۶۲	۰/۰۵۲	–	–	–
		مقاومت در برابر آتش	۰/۲۸۶	۰/۰۵۷	–	–	–
		طول عمر مصالح	۰/۲۵۶	۰/۰۵۱	مقاومت در برابر هوازدگی	۰/۳۴۵	۰/۰۱۸
					ثبات رنگی	۰/۲۶۷	۰/۰۱۴
					سختی	۰/۳۸۷	۰/۰۲۰

(نگارندگان)

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش، ایجاد روندی منطقی برای انتخاب مصالح ساختمانی مسکونی در اقلیم گرم و خشک بود. دلیل انتخاب‌نمودن ویژگی‌های بستر تعریف‌شده برای موضوع انتخاب مصالح در جداره بیرونی را می‌توان در گستردگی و میزان بالای حجم ساخت کاربری مسکونی در صنعت ساخت‌وساز و هم‌چنین گستردگی اقلیم گرم و خشک در کشور ایران بیان نمود. در مراحل ابتدایی با مطالعه سایر پژوهش‌ها و اعمال نظرات خبرگان، مجموعه‌ای از معیارهای تأثیرگذار بر این روند ارائه گردید و سپس بر اساس روش دلفی با ارائه چندین باره مجموعه تمامی معیارها به نخبگان که از میان معماران آشنا به حوزه مصالح انتخاب شده بودند، معیارها و زیرمعیارهای نهایی تأثیرگذار بر روند انتخاب مصالح مشخص گردید. بعد از مشخص‌شدن معیارهای نهایی، با توجه به ماهیت مسأله و ویژگی‌های آن، روش سلسله مراتبی با رویکرد فازی به‌عنوان روش مناسب برای تصمیم‌گیری در این مسأله انتخاب و درخت سلسله مراتبی آن ایجاد گردید. معیارهای موردنظر در پنج دسته زیبایی‌شناسی، زیست‌محیطی، انرژی، اجتماعی- اقتصادی و فنی مصالح تقسیم‌بندی شد. پس از تشکیل درخت سلسله مراتبی تصمیم‌گیری، پرسشنامه‌هایی برای مقایسه‌های زوجی و آگاه‌شدن از نظرات خبرگان در دو صورت چاپ شده و برخط به جامعه خبره ارائه شد. نظرات ارائه‌شده توسط نخبگان بر اساس تجربه و حیطه دانشی هر یک از آنها در این حوزه شکل گرفته است که به‌وسیله روش تحقیق انتخابی سعی گردید تا اطلاعات و دانش ضمنی آنها به اعداد و ارقام قابل‌مقایسه تبدیل شود. پرسشنامه برای ۱۷۰ نفر ارسال (از هر دو روش) و در نهایت با جواب‌گویی ۱۰۴ متخصص روبرو شد؛ به‌عبارتی ضریب پاسخگویی به پرسشنامه موردنظر در جامعه هدف خبره، ۶۱ ٪ بود.

پس از جمع‌آوری نظرات خبرگان، روند تحلیل این پاسخ‌ها با استفاده از محیط نرم‌افزار اکسل و کدنویسی Visual Basic و هم‌چنین نرم‌افزار تخصصی سوپر دسیژن انجام پذیرفت. با استفاده از فرآیندهای طی‌شده، مجموعه دسته معیارهای انرژی وزن ۰/۲۶۷، زیست‌محیطی وزن ۰/۲۶۴، فنی مصالح وزن ۰/۲، اجتماعی_اقتصادی وزن ۰/۱۴۴ و زیبایی‌شناسی وزن ۰/۱۲۵ را به‌خود اختصاص دادند. در سطوح بعدی، زیرمعیارها و شاخص‌های نهایی نیز هر کدام از معیارهای ارائه‌شده وزن‌هایی را به‌شرح جدول ۱۰ به‌خود اختصاص دادند. با مشخص‌شدن درخت سلسله مراتبی تصمیم‌گیری انتخاب مصالح و تعیین‌نمودن وزن نهایی معیارها، گزینه‌هایی به‌عنوان مصالح در سطح آخر درخت سلسله مراتب تصمیم‌گیری در نظر گرفته شده است و از میان آنها انتخاب نهایی صورت میگیرد؛ انتخابی که بر مبنای اصول علمی و منطقی بنا نهاده شده و با استدلال‌های علمی قابل‌دفاع است. وزن‌های به‌دست‌آمده برای معیارها توسط خبرگان با توجه به بستر تعریف‌شده -کاربری مسکونی در اقلیم گرم و خشک- داده شده است. به‌عبارتی، اثرگذاری نوع کاربری و اقلیم مورداشاره به‌صورت ضمنی در پاسخ‌های داده‌شده توسط خبرگان و به‌عبارتی در وزن‌های نهایی معیارها اعمال گردیده است. درصورتی‌که اقلیم موردنظر برای انتخاب مصالح، اقلیم دیگری غیر از اقلیم گرم و خشک معرفی می‌شد، به‌طور حتم در تعدادی از وزن‌های معیارها، پاسخ‌های خبرگان پاسخ‌های دیگری می‌بود. به‌طور کلی می‌توان چنین بیان نمود که الگوی درخت سلسله مراتبی به‌دست‌آمده، بستر روابط میان معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در انتخاب مصالح جداره بیرونی کاربری مسکونی را تعریف نموده است که با تغییر اقلیم، درحالی‌که این الگو ثابت خواهد بود، وزن‌های داده‌شده توسط خبرگان تغییر خواهد نمود. حتی می توان در مورد کاربری چنین بیان نمود که با تغییردادن کاربری نیز تا حد بسیار بالایی، الگوی مورداشاره ثابت بوده و ممکن است دستخوش تغییرات بسیار محدودی شود که خود می‌تواند موضوع پژوهش دیگری باشد. هدف این پژوهش، ارائه فهرستی قطعی برای مصالح جداره کاربری مسکونی در اقلیم گرم و خشک نبوده، زیرا که در الگوی به‌دست‌آمده معیارهایی در نظر گرفته شده است که متناسب با شرایط و امکانات موجود تغییر می‌نمایند و لذا ممکن است مصالحی که در منطقه‌ای از شهر یزد توسط این الگو به‌عنوان گزینه مناسب معرفی شده است مناسب پروژه دیگری در شهر اصفهان و یا حتی در منطقه دیگری از همان شهر نباشد. در نهایت می‌توان هدف این پژوهش را رسیدن به اوزان نهایی معیارها و زیرمعیارهای الگوی معرفی‌شده دانست که هر معمار و سازنده‌ای بتواند با توجه به طیف مصالح درنظرگرفته‌شده

برای طرح و انجام مقایسه‌های زوجی با توجه به معیارهای معرفی‌شده در الگو و اعمال وزن‌های به‌دست‌آمده در این پژوهش، به انتخاب مناسب از میان طیف مصالح موردنظر برسد. امید است تا با توجه به پژوهش انجام‌گرفته علاوه بر اجرایی‌شدن روش پیشنهادی برای انتخاب مصالح ساختمانی، توجه معماران و سازندگان به تأثیر فراوان مؤلفه‌های متعدد ارائه‌شده در این پژوهش و وزن تأثیرگذاری آنها جلب شود.

پی نوشت

1. Fuzzy Analytical Hierarchy Process
2. WASTIELS & WOUTERS
3. Context
4. Manufacturing process
5. Experiences
6. Material properties
7. Zhou
8. Sirisalee
9. Glavic & Lukman
10. Mixed integer optimization approach
11. Rahman
12. Fernandez
13. Flórez
14. Chueh
15. Expert choice
16. Super decision
17. Low-carbon
18. Recycle
19. Multiple Criteria Decision Making (MCDM)
20. Multiple objective decision making (MODM)
21. Multiple attribute decision making (MADM)
22. Analytic Hierarchy Process
23. Relative Index/ Relative Importance analysis
24. Sensorial / Aesthetic criteria
25. Environmental criteria
26. Energy criteria
27. Social-Economic criteria
28. Technical criteria
29. Online
30. Google Document

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع و مآخذ

- اصغرپور، محمدجواد. (۱۳۸۵). **تصمیم‌گیری‌های چند معیاره**. چاپ چهارم، تهران: دانشگاه تهران.
- زیاری، حسینعلی و رضوانی، مهرناز. (۱۳۸۹). بررسی و مکان‌یابی مراکز خدمات پستی با استفاده از روش AHP در محیط GIS. **فصلنامه جغرافیایی آمایش محیط**، سال سوم (۱۰)، ۸۹-۷۳.
- قدسی پور، سید حسن. (۱۳۸۸). **مباحثی در تصمیم‌گیری چند معیاره فرآیند تحلیل سلسله مراتبی**. چاپ هفتم، تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

- گلابچی، محمود؛ خلعتبری زمانپور، رامتین و آکوچکیان، سارا. (۱۳۹۴). انتخاب ساختگاه مناسب برای ساخت مجموعه‌های گردشگری-اقامتی در مناطق کویری ایران، نمونه موردی: شهرستان خور و بیابانک. **مجله مرمت و معماری ایران**. سال پنجم(۱۰)، ۳۴-۱۷.

- Akadiri,P. & Olomolaiye, P. (2012). Development of sustainable assessment criteria for building materials selection. **Engineering, Construction and Architectural Management**, Vol 19, (6), 666- 687.
- Ashby,M.. & Johnson,K. (2002). **Materials and Design: The Art and Science of Material Selection in Product Design**. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Braimah, N. & Ndekugri,I. (2009). Cunsultants perception on construction delay analysis methodologies. **Construction Engineering and Management**, Vol 135, (12), 1279- 1288.
- Bozdag, C.; Kahraman, C. & Ruan, D. (2003). Fuzzy Group Decision Making For Selection among Computer Integrated Manufacturing Systems. **Computers Industry**, Vol.51, (1), 13- 29.
- Chang,D. (1996). Application of the extent anlysis method on fuzzy AHP. **European Journal of Operational Research**, Vol 95, (3), 649- 655.
- Chen,Y.; Okudan,G. & Riley,D. (2010). Sustainable performance criteria for construction method selection in concrete buildings. **Automation in Construction**, Vol 19, (2), 235- 244.
- Chueh , T. & Kao, D. (2004). The moderating effects of consumer perception to the impacts of country-of-design on perceived quality. **J. Am. Acad. Bus**, 70- 74.
- D.P.T.I (Department of Planning, Transport and Infrastructure). (2012). **Environmentally Sustainable Building Materials - Selection** (G164). Government of South Australia, Retrieved from *https://www.dpti.sa.gov.au/__data/assets/word_doc/0009330777//G164_environmentally_sustainable_building_materials_-_selection_v11-.doc.*
- Fernandez,J. (2006). **Material Architecture: Emergent Materials for Innovative Buildings and Ecological Construction**. Amsterdam, the Netherlands and Boston: Architectural Press.
- Flórez, L.; Castro-Lacouture, D.; Sefair, J. & Medaglia, A. (2009). Optimization model for the selection of materials using the LEED green building rating system. **Building and Environment**, Vol 44, (46), 1162- 1170.
- Gething,B. (2011). **Green Overlay to the RIBA Outline Plan of Work**. London: RIBA Publishing.
- Glavic, P., & Lukman, R. (2007). Review of sustainability terms and their definitions. **J. Clean. Prod**. Vol 15 , (18) , 1875- 1885.
- Godfaurd,J.; Clements-Croome,D, & Jeronimidis. (2005). Sustainable building solutions a review of lessons from the natural world. **Building and Environment**, Vol 40, (3), 319- 328.
- Hulme, J., & Radford, N. (2010). **Sustainable Supply Chains That Support Local Economic Development**. London: Prince's Foundation for the Built Environment.
- Kibert,C. (2008). **Sustainable Construction: Green Building Design and Delivery**. New York: John Wiley & Sons.
- Lin, Yu-Hsin.; Kune-Muh Tsai b; Wei-Jung Shiang c; Tsai-Chi Kuo a, & Chih-Hung Tsai. (2009). Research on using ANP to establish a performance assessment model for business intelligence systems. **Expert Systems with Applications**, vol 36, (2), 4135–4146.
- Nassar, K.; Thabet, W. & Beliveau, Y. (2003). A procedure for multi-criteria selection of building assemblies. **Automation in Construction**, Vol 12, (5), 543- 560.

- Ogunkah , I., & Yang, J. (2012). Investigating Factors Affecting Material Selection: The Impacts on Green Vernacular Building Materials in the Design-Decision Making Process. **Buildings**, Vol 2, (1), 1- 32.
- Rahman, S; Perera, S; Odeyinka, H & Bi, Y. (2008). A conceptual knowledge-based cost model for optimizing the selection of materials and technology for building design. **In: Dainty, A (Ed) Procs 24th Annual ARCOM Conference**, 1- 3 September 2008, Cardiff, UK, Association of Researchers in Construction Management, 217- 225.
- Saaty,T. (1980). **The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation (Decision Making Series)**. New york: McGraw-Hill.
- Sirisalee,P.; Ashby,M.; Parks,G. & Clarks.(2004). Multi-criteria material selection in engineering design. **Advanced Engineering Materials**, Vol 6, (1), 84- 92.
- Trusty. (2003). W.B. Understanding the Green Building Toolkit: Picking the Right Tool for the Job. Proceedings of the USGBC Green build Conference & Expo.Pittsburgh. *http://www.athenasmi.ca/publications/publications.html*. (-Retrieved November. 2003)
- Van Kesteren, I E H.; Stappers, P. J. & Kandachar, P. V. (2005). Representing product personality in relation to materials in a product design problem. **1st Nordic Design Research Conference**, Copenhagen, Denmark, 2005.
- WASTIELS, Lisa & WOUTERS, Ine. (2008). Material Considerations in Architectural Design: A Study of the Aspects Identified by Architects for Selecting Materials. **In: Undisciplined! Design Research Society Conference 2008**, Sheffield Hallam University, Sheffield, UK, 16- 19 July 2008.
- Zhou,C.; Yin,G. & Hu,X. (2009). Multi-objective optimization of material selection for sustainable products: artificial neural networks and genetic algorithm approach. **Materials and Design**, Vol 30, (4), 1209- 1215.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Received: 2016/04/16
Accepted: 2017/05/07

The Selection of Materials for Residential Building Façade in the Hot and Dry climate of Iran Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP) Method

Sara Akoochakian[*] Ramtin Khalatbari[**]

Abstract

Residential buildings are recognized as the main consumer of materials in construction industry. The proper and systematic selection of materials for the residential building facade will have a positive effect on various fields such as economic, environmental, and social-cultural, in addition to maintain the quality of architecture. Maybe, at first glance, choosing from the range of materials seems simple, but by reviewing the results that the weak choices have caused in various fields for the quality of architecture, we will notice the complex influenced and being influenced dimensions regarding the material selection. This study aims to determine the involved factors in the process of selecting the materials and defining their relationships in order to have a correct selection. A material selection model can be created for the residential buildings in the hot and dry climate of Iran by the systematic explanation of these relationships so as to be used by the designers and users. This study is carried out by using analytical methods in the field of Multiple Attribute Decision Making (MADM), Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP), and also specific questionnaires to gather the experts' opinions about the defined influencing factors in this process. After determining the importance of the criteria in the exports' opinion, the final weight of the criteria was obtained by using Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP), and finally the tree of hierarchy process of the criteria for selecting the materials for the residential building facade are presented and described.

Keywords: Selection of materials, Residential building facade, Hot and dry climate, Multiple attribute decision making, Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FAHP)

[*] MA, Architecture and Energy, University of Tehran, Tehran, IRAN.
[**] PhD student of Architecture Technology, University of Tehran, Tehran, IRAN,(Corresponding author).