

## معیارهای مؤثر بر انتخاب مصالح ساختمانی با هدف کاهش خطرهای زیست محیطی

علی وکیلی اردبیلی\*

استادیار دانشکده معماری هنرهای زیبا، دانشگاه تهران

فائزه شاطری (faezeh.shateri90@gmail.com)

کارشناسی ارشد انرژی معماری، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۱۱/۲۹ - تاریخ پذیرش ۱۳۹۶/۳/۲۴)

### چکیده

صنعت ساختمان سازی بخشی حیاتی از نظام اقتصادی است که تأثیر چشمگیری بر محیط زیست دارد. عملیات ساخت و ساز، بهره برداری و تخریب ساختمان ها، از مهم ترین عوامل انسانی مؤثر بر محیط زیست به صورت مستقیم (از طریق مصرف مصالح و انرژی و آلودگی و هدررفت ناشی از آن) و غیرمستقیم (از طریق فشار بر زیرساخت های ناکارآمد) است. با توجه به تأثیر چشمگیر صنعت ساختمان بر مخاطرات زیست محیطی (چه از منظر آسیب هایی مانند تخریب لایه ازن، آزاد کردن گازهای گلخانه ای و چه از منظر خطر برای سلامت و کاهش چرخه کارآمدی مواد)، یکی از اقدامات مهم در این زمینه (مدیریت مخاطرات زیست محیطی)، انتخاب مصالح پایدار برای استفاده در پروژه های ساختمانی است. انتخاب مصالح، فرایندی حساس و پیچیده است و گزینه نهایی از میان شمار زیادی از مصالح تعیین می شود. معماران و متخصصان ساختمان هنگام ارزیابی دسته های متعدد مصالح ساختمانی، عوامل متعددی را در نظر می گیرند. اغلب اوقات سبک و سنگین کردن این تعداد فراوان و متنوع از عوامل، فرایند تصمیم گیری را پیچیده تر می کند. برای آسان کردن انتخاب مصالح، این مقاله به بررسی یکی از جنبه های این مبحث می پردازد: معیارهای مؤثر و متغیرهای لازم در جهت توسعه مدل ارزیابی برای انتخاب مصالح ساختمانی با رویکرد پایداری و مدیریت مؤثر مخاطرات زیست محیطی. از طریق داده های فراوان و نتایج مطالعات متعدد در این زمینه، عواملی که بیشترین پتانسیل تأثیر گذاری در فرایند تصمیم گیری معماران برای انتخاب مصالح با اهداف پایداری را دارند، حاصل شد. این معیارها می تواند شالوده اصلی یک سیستم ارزیابی [Assessment system] پایداری مصالح ساختمانی با هدف کاهش و مدیریت مخاطرات محیطی را تشکیل دهد.

**واژه های کلیدی:** انتخاب مصالح ساختمانی، خطرهای زیست محیطی، فرایند تصمیم گیری.چ

## مقدمه

جهان در طول قرن بیستم رشد بی سابقه جمعیت و استانداردهای زندگی را تجربه کرده است. بسیاری از این تحولات، افزایش تنش در محیط زیست را در پی داشته و جمعیت بیشتری را در معرض بلایای طبیعی قرار داده است. نقش و اهمیت مسائل زیست محیطی و مخاطرات محیطی، انسانی، اجتماعی منتج از آن به عنوان یک عامل بالقوه در بروز بلایای طبیعی انکارناپذیر است. خطرهای زیست محیطی می تواند منطقه پروژه را تحت تأثیر قرار دهد و پیامدهای اقتصادی و اجتماعی مثبت و منفی برای جمعیت هدف داشته باشد. پروژه های توسعه ممکن است بر انعطاف پذیری اجتماعی و محیط زیست طبیعی تأثیر بگذارند و سبب افزایش یا کاهش بلایای طبیعی شوند. اکثر مخاطرات محیطی، زیست محیطی است، به طوری که فقط در سال ۱۹۹۹ حدود ۷۰۰ بلای طبیعی سبب کشته شدن ۱۰۰۰۰۰ نفر و خسارت اقتصادی و اجتماعی فراوان شده است. از ۴۰ نوع بلیه موجود در جهان، ۳۱ نوع آن در ایران روی می دهد [۱].

به واسطه پیشرفت فناوری، زندگی آدمی نسبت به گذشته تغییرات زیادی یافته است؛ نیازها و خواسته های ما نیز دستخوش این دگرگونی است. معماری نیز چون دیگر علوم برای پاسخگویی به این نیازها از روش های گوناگونی بهره می گیرد. روش های نادرست ساخت و ساز در جامعه سبب بیمار شدن محیط زیست اطرافمان شده و سیستم زیستی ناسالمی را ایجاد کرده است.

صنعت ساخت و ساز از بزرگترین بهره برداران منابع طبیعی تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر است [۲]. به گفته سازمان دیدبان جهانی<sup>۱</sup> (۲۰۰۳)، در فعالیتهای ساختمانی و ساخت و ساز در سراسر جهان سالانه ۳ میلیارد تن (۴۰ درصد از کل استفاده جهانی) مواد خام مصرف می شود. ساخت و ساز در ایالات متحده، ۳۰ درصد از مواد خام، ۴۰ درصد از انرژی و ۲۵ درصد از آب این کشور را مصرف می کند. در اروپا، صنعت ساخت و ساز اتریش حدود ۵۰ درصد از حجم معاملات سالانه مواد خام را در بر می گیرد [۱۹]؛ این عدد در سوئد ۴۴ درصد است [۲۰]. صنعت ساخت و ساز بریتانیا، سالانه حدود ۴۲۰ میلیون تن مواد خام مصرف می کند که این مقدار بیش از سایر بخش های مصرفی است [۱۷]. تأمین مواد خام مصالح ساختمانی مانند چوب، شن و ماسه به شدت متکی بر محیط زیست طبیعی است و استخراج این منابع طبیعی سبب ایجاد مخاطرات و تغییرات بازگشتناپذیری در محیط زیست طبیعی در مناطق حومه و ساحلی، از دو نظر زیست محیطی و چشم انداز طبیعی می شود [۱۵، ۱۸].

تعریف ساختمان پایدار<sup>۱</sup> بر پایه سه اصل توسعه پایدار شکل گرفته که ساختمان را بخشی از محیط زیست، اقتصاد و اجتماع در نظر می‌گیرد. در واقع ساختمان پایدار نه تنها به سازگاری با محیط زیست توجه دارد، بلکه پایداری اقتصادی و سازگاری اجتماعی را هم مدنظر قرار داده است [۳]. ساختمان پایدار منفعت اقتصادی را از طریق کاهش هزینه‌های دوره بهره‌برداری، تقویت قابلیت عرضه در بازار، بهبود بهره‌وری و بازدهی کارکنان، قابلیت ایجاد منافع ساختمان‌های اداری، به حداقل رساندن تأثیرات نامطلوب فضای داخلی و افزایش عملکرد اقتصادی چرخه حیات ساختمان حاصل می‌کند.

از زیرمجموعه‌های طراحی ساختمان پایدار، تمرکز این مقاله بر مبحث معیارهای انتخاب مصالح<sup>۲</sup> مناسب با اهداف پایداری (کاهش مخاطرات مستقیم و غیرمستقیم زیست‌محیطی) است که خود بخش مهمی از این فرایند است [۱۳]. مجموعه مصالح موجود به سرعت هم در نوع و هم در تعداد افزایش می‌یابد. تخمین زده می‌شود که بیش از ۸۰۰۰۰ مصالح در جهان وجود دارد، از جمله آلیاژهای فلزی و مصالح مهندسی غیرفلزی مانند پلاستیک، سرامیک و شیشه، مصالح مرکب و نیمه‌سازها. این تعداد فراوان مصالح در کنار پارامترهای مختلف انتخاب، اغلب انتخاب نهایی را به مسئولیتی بسیار دشوار تبدیل می‌کند. انتخاب مصالح تلاش است چندرشته‌ای و اغلب به زمینه‌های مختلف مانند علم مواد و مهندسی، مهندسی مکانیک، مهندسی صنایع و سایر متخصصان در زمینه مصرف و بهره‌برداری نیاز دارد [۱۱].

برای ساخت‌وساز درست و حفظ محیط زیست، مصالح به کاررفته در ساختمان‌ها اهمیت بسزایی دارد. انتخاب مصالح ساختمانی پایدار و مناسب، سبب کاهش مصرف انرژی می‌شود و سلامت بیشتر محیط‌زیست را تأمین می‌کند؛ همچنین استفاده از منابع طبیعی کاهش می‌یابد و جامعه به معیارهای پایداری نزدیک می‌شود [۴]. دسترسی به مجموعه جامعی از معیارها برای انتخاب صحیح مصالح مناسب و پایدار و اولویت‌بندی اصولی و درست آنها یکی از ابزارهایی است که کمبود آن در فرایند طراحی حس می‌شود. استفاده از مصالح مناسب یکی از راه‌های رسیدن به معماری پایدار و در نتیجه مدیریت مؤثرتر مخاطرات محیطی است.

### روش‌شناسی تحقیق

در طبقه‌بندی تحقیقات برحسب اهداف، قبل از هر چیز بر میزان کاربرد مستقیم یافته‌ها و درجه تعمیم‌پذیری آنها در شرایط دیگر توجه می‌شود که به چهار دسته تقسیم می‌شوند:

1. Sustainable Building
2. Material Selection Criteria

تحقیقات بنیادی (پایه‌ای)، تحقیقات کاربردی، تحقیق و توسعه، تحقیقات عملی. این پژوهش در دسته تحقیقات کاربردی قرار می‌گیرد، چراکه تحقیقات کاربردی تحقیقاتی‌اند که نظریه‌ها، قانونمندی‌ها، اصول و فنونی را که در تحقیقات پایه تدوین می‌شوند برای حل مسائل اجرایی و واقعی به کار می‌گیرد (اغلب در تحقیقات کاربردی، اصول علمی تدوین شده در تحقیقات پایه، مبنای کاربردی شدن قرار می‌گیرند). این تحقیقات بر یافتن راه حل مسائل فوری با ماهیت عملی متمرکز می‌شود و بنابراین این تحقیقات جنبه عملی دارند (نتایج این تحقیق عینی و مشخص است) و به طور معمول خود محققان در کاربرد نتایج دخیل‌اند. این نوع تحقیق برای به کار بردن شیوه جدید در جهت زندگی بهتر در جامعه به کار برده می‌شود.

از سوی دیگر با توجه به اینکه در این پژوهش از روش‌های مطالعه کتابخانه‌ای و نیز روش‌های میدانی نظیر پرسشنامه استفاده شده است، می‌توان گفت پژوهش حاضر براساس ماهیت و روش گردآوری داده‌ها، یک پژوهش توصیفی-پیمایشی (آمیخته) است.

ابزار جمع‌آوری داده‌ها ابتدا مطالعات کتابخانه‌ای منابع موجود در پایان‌نامه‌ها، مجلات و مقالات، سپس مصاحبه با خبرگان و در نهایت تهیه پرسشنامه به منظور جمع‌بندی نظر خبرگان و ارائه فهرست نهایی معیارها بوده است.

مطالعات گسترده در زمینه انتخاب مصالح ساختمانی پایدار، مشخص کرد که هیچ فهرست مشخص و جامعی از معیارهایی که تمامی اصول پایداری را رعایت کنند، به خصوص در زمینه انتخاب مصالح در پروژه‌های ساختمانی وجود ندارد. به منظور گردآوری فهرستی جامع و قابل اعتماد، تحقیقات و مطالعات زیادی در این زمینه صورت گرفت. فهرست اولیه با تمرکز بر مسائل زیست‌محیطی و در ادامه آن، بررسی نیازمندی‌های مالکان ساختمان و مطالعه دیدگاه معماران تهیه شد.

براساس معیارهای تهیه‌شده در فهرست اولیه، پرسشنامه‌ای طراحی شد تا اهمیت معیارهای ذکر شده در انتخاب مصالح ساختمانی را بررسی کند. همچنین در این پرسشنامه، به منظور رسیدن به فهرستی جامع، مانع و شفاف، از پاسخ‌دهندگان خواسته شده بود در صورت نیاز معیار جدیدی را بیفزایند یا از فهرست حذف کنند. این کار در جهت کاربردی‌تر کردن هرچه بیشتر فهرست ضروری است. نتایج حاصل از پرسشنامه‌ها که طی مصاحبه با متخصصان به دست آمده بود، بازبینی شده و نظر پاسخ‌دهندگان در فهرست اعمال شد که حاصل آن فهرست نهایی این پژوهش شد.

به منظور استفاده کاربردی از این معیارها برای اولویت‌بندی گزینه‌های انتخابی مصالح، به سیستم ارزیابی نیاز است که در ساختار خود، این معیارها را در نظر داشته باشد؛ سیستمی که با استفاده از این معیارها انتخاب نهایی را آسان کند.

مرحله بعدی این مقاله، طراحی مدل ارزیابی انتخاب مصالح است. برای طراحی چنین مدلی از معیارهای به‌دست‌آمده از پژوهش حاضر استفاده خواهد شد. با توجه به ماهیت تحقیق مدنظر یعنی انتخاب مصالح پایدار، روش تصمیم‌گیری چندشاخصه، از زیرمجموعه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره انتخاب شد. روشی که در زمینه انتخاب و گزینش حرکت می‌کند. در این روش، مدلی که برای تحلیل داده‌های این تحقیق مناسب دیده شد، مدل تحلیل سلسله‌مراتبی است.

### مرور تحقیقات

اسین در سال ۱۹۸۰ در کتاب خود به نام *خواص مواد برای طراحی*، عوامل مورد توجه در انتخاب مصالح را در سه گروه طبقه‌بندی کرد: الزامات عملکردی، الزامات اقتصادی، الزامات نگهداری. به اعتقاد اسین، الزامات عملکردی برای مقایسه صحیح بین طیفی از مصالح از اهمیتی حیاتی برخوردار است. در میان گزینه‌ها، این الزامات عملکردی و فنی هستند که ملاک اندازه‌گیری تعیین می‌شوند (مانند مقاومت و سختی). او در آخر نتیجه می‌گیرد که گزینه‌های ضعیف‌تر نیاز به مصالح بیشتری داشته و گزینه‌های با طول عمر کوتاه‌تر نیاز به نگهداری یا جایگزینی بیشتری دارد (هر دو سبب هزینه‌های سالانه بیشتری می‌شوند). وی همچنین توضیح می‌دهد که طراحان باید الزامات نگهداری را لحاظ کنند و جایگزینی یا تعمیر پیش‌بینی شده، به اندازه بخش، میزان آسیب احتمالی و سطح قابل قبولی از هزینه‌های جایگزینی و تعمیر بستگی دارد [۶].

آگونکا و یانگ (۲۰۱۲) چارچوبی را برای انتخاب مصالح برای مدل ارزیابی خود ارائه کرده‌اند. چارچوب پیشنهادی ایشان به شرح جدول ۱ است.

کاگان و ووگلدر (۲۰۰۲) در کتاب *تولید محصولات موفقیت‌آمیز*، شش دسته معیار معرفی کرده‌اند که مؤلفان معتقدند سبب افزایش ارزش و عملکرد محصولات می‌شود. این معیارها با رویکرد صنعتی توسعه داده شده‌اند. لیونگرگ در نقدی بر این رویکرد می‌گوید حتی اگر در ایده‌آل‌ترین حالت این شرایط بتوانند تمام مصالح را پوشش دهند، باز هم برای اندازه‌گیری و ارزیابی عملکرد مصالح و محصولات به‌اندازه کافی معیار ارائه نکرده‌اند.

در جزوه‌ای که انجمن معماری آمریکا<sup>۱</sup> در سال ۲۰۱۳ برای آموزش شیوه‌های انتخاب مصالح و رتبه‌بندی ساختمان‌ها تنظیم کرده، معیارهای اصلی به قرار زیر عنوان شده‌اند: قابلیت اجرا (حمل و نقل، ذخیره در سایت، نصب، اتصالات و ...)، سازگاری (اتصال مصالح، پوشش مصالح، مقاومت فرسودگی/زنگ‌زدگی/خوردگی)، قابلیت نگهداری (سازگاری پوشش‌ها، وصله کردن و حملات

1. AIA (American Institute of Architecture)

شیمیایی یا گرافیتی)، اثرهای زیست‌محیطی (مصرف منابع در تولید، تأثیر چرخه حیات و امتیازات لید)، هزینه (هزینه نصب، هزینه نگهداری)، زیبایی‌شناسی (تأثیر بصری، گزینه‌های سفارشی و انتخاب رنگ)، ظرفیت سازه‌ای (نیروهای طبیعی و خواص مقاومتی)، ایمنی آتش (مقاومت در برابر آتش، پخش شعله، توسعه دود، سمیت، بار مواد سوختی، قابلیت سوزاندن)، قابلیت سکونت (خواص گرمایی، خواص آکوستیکی، ضد آب، خواص بصری، بهداشت، راحتی، ایمنی)، دوام (مقاومت در برابر سایش، فرسایش چسبندگی روکش بر اثر هوازدگی، ثبات فرم و اندازه، خواص مکانیکی/فنی، خواص تغییرشکل‌پذیری) [۷].

در پژوهشی مشابه، رحمان و همکاران به توسعه مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره پرداختند، مدلی که معیارهای عملکردی فناوری و مصالح جدید را در نظر می‌گیرد و تصمیم‌گیران را قادر به حل مسائل ترکیبی مرتبط با انتخاب مصالح می‌کند. هدف این سیستم به‌طور خاص ارائه مدلی دانش‌بنیان (مبتنی بر اصول علمی) است که به چرخه عمر فناوری و مصالح با صرف کمترین هزینه توجه دارد [۱۸].

اکادیری در سال ۲۰۱۲ پژوهشی مفصل با عنوان «ارائه معیار ارزیابی پایدار برای انتخاب مصالح ساختمانی» انجام داد [۴] که نگارنده نیز از روش پژوهش وی الهام گرفته است. او ابتدا با استفاده از مرور پژوهش‌های پیشین، معیارهای انتخاب مصالح پایدار را استخراج کرد و سپس این معیارها را به‌صورت پایلوت و آزمایشی با پرسش از خبرگان تصحیح و تکمیل کرده و در نهایت نیز با کمک خبرگان (در اینجا محدود به معماران انگلیسی) معیارها را اولویت‌بندی کرد. معیارهای تدوین‌شده توسط اکادیری در سه گروه کلی به‌شرح زیر جای داده شده‌اند:

#### جدول ۱. معیارهای گزینش مصالح ساختمانی پایدار

معیارهای تکنیکی	معیارهای اجتماعی-اقتصادی	معیارهای زیست‌محیطی
قابلیت نگهداری	هزینه دورریز	پتانسیل بازیافت و استفاده مجدد
راحتی ساخت‌وساز	سلامت و امنیت	وجود گزینه‌های از بین‌برنده محیط زیست
مقاومت در برابر فساد و زوال	هزینه نگهداری	اثر مصالح بر کیفیت هوا
مقاومت در برابر آتش	زیبایی	پتانسیل از بین بردن آزن
عمر مورد انتظار مصالح (مثل بومی، مقاومت، دوام و ...)	استفاده از مصالح بومی	تأثیرات زیست‌محیطی تا نتیجه دادن مصالح
	هزینه ابتدایی مالکیت	صفر یا حداقل میزان سمی بودن
	وجود نیروی کار	کمینه کردن آلودگی‌های هوا و زمین و ...
		مطابقت با قوانین زیست‌محیطی
		هدر رفتن مصالح
		روش استخراج مصالح خام
		انرژی نهان

### مصالح ساختمانی پایدار

#### - مصالح ساختمانی و پایداری و مخاطرات زیست‌محیطی

مصالح ساختمانی، اهمیت اساسی در تأمین پایداری ساختمان و افزایش ارزش اقتصادی دارد. مصالح ساختمانی بر محیط زیست بسیار اثرگذار است؛ بسیاری از این مصالح، تجدیدپذیر نیستند و استفاده نامناسب آن‌ها نسل‌های بعد را از مصرف آنان محروم می‌کند [۸]. علاوه بر این، تمام مصالح ساختمانی در طول چرخه زندگی خود، محیط زیست را تحت تأثیر قرار می‌دهند و به تبع آن سبب بروز یا جلوگیری از مخاطرات زیست‌محیطی می‌شوند. از استخراج مواد خام تا دفع پسماند حاصل از تخریب، گونه‌های مختلفی از آلودگی‌ها ایجاد می‌شود که تأثیراتی سوء بر اتمسفر، زمین، و سامانه آب‌های جهان دارد. در گذشته بیشترین عوامل تأثیرگذار بر انتخاب مصالح ساختمانی هزینه، در دسترس بودن و ظاهر این مصالح بود؛ با این حال، هم‌اکنون تناسب مصالح با محیط زیست عامل مهم دیگری است که دست‌اندرکاران ساخت‌وساز به آن توجه نشان می‌دهند. تأکید بر همین موضوع مهم، اهمیت دست‌اندرکاران حوزه ساخت‌وساز در مدیریت مخاطرات محیطی را پررنگ می‌کند.

هابرمن و پرل ماطر اظهار می‌کنند که رویکردهای پایدار در مورد مصالح ساختمانی بر دو پرسش متمرکز است: از چه چیزی استفاده می‌کنید؟ آیا به‌خوبی از آن استفاده می‌کنید؟ آنها معتقدند مصالح پایدار دارای مشخصه‌های زیر است: احترام به محدودیت‌های منابع تجدیدناپذیر، قرارگیری در الگوی چرخه طبیعت و روابط بین اکوسیستم‌ها، غیرسمی بودن، کارآمد بودن از نظر مصرف آب و انرژی و ساخته‌شده از مواد بازیافتی و قابلیت بازیافت [۹]. کبیرت و بوش از سوی دیگر مشخصات زیر را برای مصالح پایدار تعریف می‌کنند [۱۲]:

- سطوح قابل قبولی از عملکرد زیست‌محیطی باید تأمین شود؛
- همه جنبه‌های کل چرخه عمر مواد باید در نظر گرفته شود؛
- هیچ گونه آلودگی محیط زیستی دائمی نباید در طول عمر مصالح رخ دهد؛
- مواد نباید به مصالح ترکیبی تجزیه‌ناپذیر تبدیل شوند؛
- تولید و استفاده مواد باید انرژی- کارآمد باشد؛
- صدور گواهینامه شخص ثالث برای برخی از محصولات مطلوب است؛
- آنها اغلب مقرون به صرفه‌تر از آن هستند که عموماً تصور می‌شود؛
- استفاده مناسب از آنها می‌تواند در صرفه‌جویی هزینه‌ها مؤثر باشد؛
- آنها در بهبود کیفیت هوای داخل ساختمان تأثیر گذارند؛
- باید تخریب آنها پس از استفاده در ساختمان ممکن باشد.

### - انتخاب مصالح پایدار

تخمین زده می‌شود که تا سال ۲۰۵۶، فعالیت‌های اقتصادی جهانی پنج برابر شود، جمعیت جهان بیش از ۵۰ درصد افزایش یابد، مصرف جهانی انرژی در حدود سه برابر بیشتر شده و تولید جهانی دست‌کم سه‌برابر افزایش یابد [۱۰].

به این دلایل، کاهش تأثیرات زیست‌محیطی محصولات و مصالح ساختمانی از طریق کاهش تولید، نرخ استفاده و عملکرد کلی بنا غیرممکن به نظر می‌رسد و تنها راه‌حل ممکن بهینه‌سازی طول عمر آن، با افزایش عمر اولیه مصالح یا از طریق استفاده مجدد و بازآوری آن است. به گفته ناصر و همکاران، انتخاب مصالح ساختمانی یکی از عوامل متعددی است که می‌تواند پایداری یک پروژه ساختمانی را تأمین کند [۱۴]. ژو و همکاران نیز تأکید می‌کنند که انتخاب مناسب مصالح در فرایند طراحی تأثیر مهمی در طول چرخه زندگی ساختمان دارد [۲۲].

کیبرد معتقد است که انتخاب مواد پایدار از دشوارترین وظایف در یک پروژه ساختمان است. دلیل آن به شرح زیر است [۱۲]:

بسیاری از محصولات و مصالح مختلف، چه به صورت جداگانه و چه به صورت جزئی از اجزای ساختمان، نیازمند ارزیابی هستند.

پارامترهای ارزیابی مصالح در محصولات گوناگون تولید شده و در کشورهای مختلف یکسان نیستند، از جمله:

شفاف نبودن فرایندهای تولید مصالح؛

عدم توافق بین‌المللی در روش ارزیابی محصولات و مصالح

آینک و همکاران یک راهبرد برای انتخاب مصالح پایدار پیشنهاد می‌دهند: ساختمان را به گونه‌ای طراحی کنید که کارآمد باشد و کمترین مصالح ممکن را مصرف کند. مصالح مصرفی از منابع تجدیدپذیر و بازیافتی تأمین شود تا حلقه چرخه زندگی مصالح کامل شود و موادی با حداقل تأثیرات زیست‌محیطی را انتخاب کنید [۵].

### - موانع استفاده از مصالح سازگار با محیط زیست

اگرچه ضرورت استفاده از این مصالح برای تأمین پایداری به اثبات رسیده است، همچنان موانع متعددی از همه‌گیر شدن این شیوه مهندسی سبک جدید جلوگیری می‌کند. موانع اصلی عبارت‌اند از [۱۶]:

۱. تأمین هزینه واقعی یا متصور مالی و ریسک شامل مشکل هزینه‌های اولیه و هزینه‌های جاری از بودجه‌های جداگانه و حتی سازمان‌های متفاوت؛



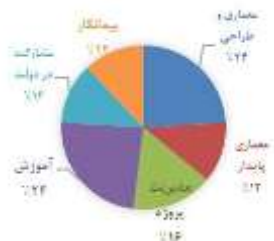
۲. نبود اطلاعات و آموزش طراحان، پیمانکاران و مشتریان؛
  ۳. عدم تقاضای مشتریان؛ «طراحان و پیمانکاران می‌گویند مشتریان تقاضا نمی‌کنند، مشتریان می‌گویند که طراحان ارائه نمی‌دهند»؛
  ۴. در ادامه موارد پیشین، عدم حمایت از سوی پیمانکاران فرعی؛
  ۵. در نهایت ضعف قانونگذاران.
- این موانع، آثاری واقعی یا متصور در ریسک و سود گروه‌های مختلف صنعت دارد و بنابراین ممکن است تصمیم‌گیری در استفاده از مصالح پایدار نوین را تحت تأثیر خود قرار دهد.

### معرفی جامعه آماری

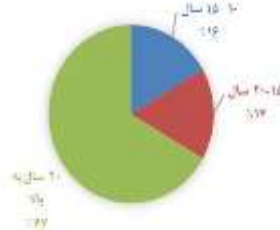
پرسشنامه بر مبنای جامعه هدف طراحی شده و به صورت حضوری پاسخ‌ها جمع‌آوری شده‌اند. در مجموع با هفت متخصص در حوزه ساخت‌وساز مصاحبه شد که در زیر به بررسی دقیق‌تر این جامعه آماری می‌پردازیم.



شکل ۳. میزان تحصیلات جامعه آماری

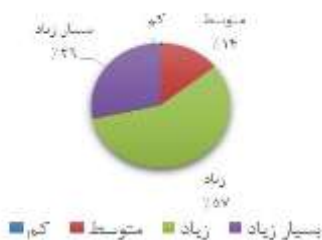


شکل ۲. زمینه فعالیت‌های حرفه‌ای جامعه آماری



شکل ۱. میزان تجربه فعالیت‌های حرفه‌ای جامعه آماری

### - شناخت جامعه آماری



شکل ۴. اهمیت موضوع انتخاب مصالح از نگاه پاسخ‌دهندگان

**- شناخت وضعیت موجود**

در این بخش، سؤالات مطرح شده در زمینه آگاهی پاسخ‌دهندگان از حوزه انتخاب مصالح ساختمانی و دغدغه پایداری در این فرایند بود.

در زمینه تعیین میزان دغدغه و اهمیت پاسخ‌دهندگان به انتخاب مصالح مناسب در پروژه‌های خود، پاسخ‌ها با ۵۷ درصد آراء، حاکی از اهمیت دادن زیاد به این موضوع بود.

**ارائه معیارهای انتخاب مصالح ساختمانی پایدار****- شاخص‌های مورد نظر برای معیارها**

۱. جامعیت: معیارهای انتخاب شده با در نظر گرفتن تمام ابعاد اصول توسعه پایدار انتخاب شده‌اند؛

۲. کاربردی و عملی: معیارهای انتخاب شده در دامنه وسیعی از گزینه‌های مصالح مورد بررسی و قابل اجرا هستند؛

۳. شفافیت: معیارها باید برای معماران و متخصصان قابل درک و فهم باشند.

**- دسته‌بندی معیارها**

با توجه به مباحثی که ارائه شد، مشاهده می‌شود که امروزه مسئله انتخاب مصالح پایدار در صنعت ساختمان بسیار حائز اهمیت است و می‌تواند گامی مؤثر در جهت پیشبرد اهداف پایداری و مدیریت و کاهش مخاطرات زیست‌محیطی محسوب شود.

ضرورت پیشنهاد مدل ارزیابی برای انتخاب مصالح مناسب و پایدار را می‌توان در حوزه‌های مختلف بررسی کرد. به عبارتی شاید بتوان دلیل اصلی نیاز به چنین نظامی را همین دامنه گسترده تأثیرگذار بر روند انتخاب مصالح دانست، چراکه عامل‌های پیش روی معمار از حوزه‌های مختلف و هر کدام نیز دارای زیر معیارهای گوناگون است و این موضوع تصمیم‌گیری را پیچیده می‌کند. مدل ارزیابی با در نظر گرفتن تمام این مسائل، این فرایند را برای طراح آسان کرده و آنها را در این تصمیم‌گیری یاری می‌کند. مهم‌ترین گام در توسعه این سیستم، در دست داشتن معیارهای مناسب است.

با استفاده از نظر متخصصان و کارشناسان، تحقیقات صورت گرفته و مرور پژوهش‌های سایر محققان که در بخش دوم عنوان شد، چارچوب کلی شامل پنج معیار اصلی تنظیم شد که هر کدام از آنها خود شامل زیرمعیارهایی است.

در ادامه ابتدا به معرفی دسته‌بندی معیارهای اصلی و سپس تحت قالب جدول‌هایی به ارائه زیرمعیارها پرداخته می‌شود.

## - ارائه معیارها

## معیارهای اصلی:

۱. معیار سلامت/ زیست‌محیطی<sup>۱</sup>؛
۲. معیار فنی<sup>۲</sup>؛
۳. معیار هزینه/ اقتصاد<sup>۳</sup>؛
۴. معیار مسائل اجتماعی- فرهنگی/ زیبایی‌شناختی<sup>۴</sup>؛
۵. معیار مدیریت طراحی<sup>۵</sup>.

## زیرمعیارها

در این بخش شایان توضیح است که تنها دسته‌ای که علاوه بر زیرمعیار، به معرفی خردمعیار نیز پرداخته، دسته معیار سلامت/ زیست‌محیطی است، چراکه این معیار در این پژوهش به‌عنوان مهم‌ترین شاخص پایداری شناخته شده است.

## نتیجه‌گیری

در این مقاله به ارائه معیارهای مؤثر بر انتخاب مصالح ساختمانی پایدار، به‌منظور معرفی ابزاری برای معماران و طراحان ساختمان در مرحله تصمیم‌گیری طراحی پرداخته شد. به‌طور کلی معیارها شامل پنج گروه اصلی‌اند: سلامت/ زیست‌محیطی (شامل سه گروه زیرمعیار)، فنی (شامل ۱۰ زیرمعیار)، هزینه/اقتصاد (شامل ۹ زیرمعیار)، اجتماعی-فرهنگی/زیبایی‌شناسانه (شامل ۵ زیرمعیار) و مدیریت طراحی (شامل ۱۰ زیرمعیار). در مجموع ۳۷ معیار براساس سه اصل توسعه پایدار (پایداری زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی)، نظر کارشناسان و نیازهای مالکین تعیین شد. تمامی معیارها براساس مطالعه گسترده ادبیات موضوعی و مباحثه با خبرگان در زمینه کاربرد پایداری در انتخاب مصالح جمع‌آوری شده‌اند. در نظر گرفتن این پنج معیار در انتخاب مصالح ساختمانی، پایداری انتخاب را قطعی خواهد کرد.

هدف نهایی پژوهش‌هایی مانند مقاله حاضر این است که به متخصصان صنعت ساخت‌وساز کمک کند تا با استفاده از روشی علمی و منطقی، انتخابی بر مبنای اهداف پایداری و حفظ محیط زیست انجام دهند. مطالعه پیش رو گام آغازین این مسیر است. قدم بعدی، کاربردی

- 
1. Health/Environmental Criteria
  2. Technical Criteria
  3. Cost/Economic Criteria
  4. Socio-Cultural Criteria
  5. Design Management Criteria

کردن این معیارها در جهت توسعه مدلی برای کمک به تصمیم‌گیری انتخاب مصالح ساختمانی پایدار است.

جدول ۲. دسته معیارهای سلامت / زیست‌محیطی

ردیف	زیر معیارها	خرد معیارها	توضیحات
۱	استفاده از مواد و انرژی (Material and energy consumption)	۱. انرژی نهان ساخت (embodied energy) ۲. فاکتور اتلاف مصالح (/) ۳. مواد قابل بازیافت یا بازیافتی ۴. ساخته‌شده از منابع تجدیدپذیر ۵. مصالح بومی ۶. مصرف منابع در تولید مصالح	۱. انرژی مصرف‌شده در مراحل تولید، انتقال، ساخت، مصرف، انهدام و نگهداری ۳. صرف‌نظر از اینکه از منابع تجدیدپذیر ساخته شده یا نه قابلیت بازیافت شدن دارد یا می‌توان از آنها باز هم استفاده کرد. ۶. میزان کل منابعی که برای ساخت مصالح مصرف می‌شود (منابع سوختی، مواد اولیه طبیعی و ...)
۲	آسایش و سلامت ساکنان و انسان‌ها (safety and health of users)	۱. کیفیت هوای داخل ۲. ایمنی افراد حین ساخت و نصب ۳. ایمنی در برابر آتش ۴. سلامت انسان ۵. ویژگی‌های آکوستیکی فضای داخل	۱. مصالحی که در زمان بهره‌برداری بوی خاصی ساطع می‌کنند یا ذراتی را از خود پخش می‌کنند. ۵. به هنگام بهره‌برداری سبب ایجاد مواد مضر و سمی برای کاربران نشود.
۳	تأثیرات زیست‌محیطی (Environmental impact)	۱. اثر چرخه حیات مواد ۲. تخریب لایه ازن ۳. گرمایش جهانی ناشی از گازهای گلخانه‌ای ۴. مصرف منابع تجدیدناپذیر ۵. پتانسیل اسیدسازی ۶. مصرف آب ۷. تغییر در زیستگاه طبیعی ۸. آلودگی هوا ۹. آلودگی آب، زمین و اکوسیستم ۱۰. تولید مواد سمی در طبیعت	۱. تأثیر مصالح بر محیط زیست در تمام مراحل تولید، انتقال، ساخت، مصرف و نگهداری ۳، ۲. فعالیت‌هایی که در مراحل چرخه حیات استخراج و تولید بر لایه ازن تأثیر می‌گذارد و سبب تولید گازهای گلخانه‌ای می‌شوند. ۷. فعالیت‌ها و اقداماتی که در مراحل استخراج، تولید و حمل‌ونقل موجب بروز تغییرات در اکوسیستم منطقه می‌شوند. ۱۰. در طی مراحل چرخه حیات ساخت و تولید و همچنین بهره‌برداری مواد سمی به محیط و طبیعت وارد می‌کنند.

جدول ۳. دسته معیارهای فنی

ردیف	زیر معیارها	توضیحات
۱	قابلیت استفاده مجدد (Reusability)	۱. مصالحی که قابلیت بازیافت دارند یا می‌توان به‌نوعی باز هم از آنها استفاده کرد.
۲	میزان نیاز به نگهداری (maintenance level)	۲. مصالح انتخابی احتیاج به تعمیرات و مراقبت‌های مضاعف نداشته باشد.
۳	سهولت تعمیرات (material fixing)	۵. مقاومت در برابر نیروهای طبیعی، خواص مقاومتی
۴	وزن و جرم مصالح (Weight and mass of materials)	۶. مقاومت در برابر انواع صداهای مزاحم، ایجاد فضای مطلوب آکوستیکی
۵	قابلیت سازمادی (Structural Serviceability)	۷. ساخت، سرهم کردن، جزئیات و ...
۶	خواص آکوستیکی (Acoustic Properties)	۹. مقاومت (در برابر فرسایش، گرما، آب، خراش و ...، هوازدگی، ثبت فرم و اندازه، خواص مکانیکی
۷	هدایت حرارتی (Thermal Conductivity)	
۸	تکنیک‌های فنی (Technique)	
۹	دوام (Durability)	
۱۰	عمر مفید (Lifespan)	

جدول ۴. دسته معیارهای هزینه / اقتصاد

ردیف	زیر معیارها	توضیحات
۱	هزینه چرخه حیات (Life Cycle Cost)	۱. هزینه کل صرف‌شده برای مصالح در تمام مراحل تولید، انتقال، ساخت، مصرف، انهدام و نگهداری
۲	هزینه انرژی پنهان مصالح (Embodied Energy Cost)	۲. هزینه‌هایی که انرژی مصرف‌شده در تمام مراحل تولید، انتقال، مصرف، انهدام و نگهداری می‌تواند در بر داشته باشد.
۳	توان مالی (Affordability)	۸. تأثیری که سلیقه رایج در بازار مصالح و معماری (چه از جانب مشتری و چه از جانب طراح) می‌تواند در انتخاب و در پی آن هزینه‌های جاری داشته باشد.
۴	هزینه نیروی کار (Labor Cost)	
۵	هزینه خرید و ساخت‌وساز (Purchase and construction cost)	
۶	هزینه حمل‌ونقل (Transportation cost)	
۷	هزینه نگهداری / تعمیرات / سرویس (Maintenance / fixing / service cost)	
۸	تمایلات بازار / استقبال عموم (Market interest)	
۹	برگرداندن به شرایط اولیه	

جدول ۵. دسته معیارهای اقتصادی-اجتماعی / زیبایی‌شناسی

ردیف	زیر معیارها	توضیحات
۱	سازگاری با سنت‌های فرهنگی و مذهبی (Compatibility with Cultural and Religious Traditions)	۳. معنا، مد، جنبش‌های
۲	سازگاری با سنت‌های زیبایی‌شناسانه (Compatibility with Aesthetic Traditions)	طراحی و ...
۳	مفهوم فرهنگی مصالح (Cultural implications of material)	۴. بافت، رنگ،
۴	فاکتورهای حسی (Sensorial Factors)	الگو، بو و ...
۵	نفظ هویت بومی (Protect Ecological Character)	

## جدول ۶. دسته معیارهای مدیریت طراحی

ردیف	زیر معیارها	توضیحات
۱	نظر مالک (Owner's View)	۱. تأثیر سلیقه مالک در انتخاب مصالح برای طراح
۲	تجربه (Experience)	۲. میزان تأثیرگذاری تجربه طراح یا متخصص در
۳	خلاقیت (Creativity)	تصمیم‌گیری او بر سر انتخاب
۴	اطلاعات منطقی‌های / زمین‌شناسی / آب و هوا (Regional / Climate information/Geographic)	۸. برای خلق فرم، برای ترکیب مصالح (مانند
۵	مکان (Location)	اتصالات)، آیین‌نامه‌ها
۶	در دسترس بودن مصالح (Availability of Material)	۹. مشاوره‌های فنی و تخصصی در مرحله
۷	سلیقه طراح (Designer's Taste)	تصمیم‌گیری
۸	محدودیت‌های طراحی (Design Limitations)	۱۰. اهمیت قابلیت ساخت سفارشی محصولی مطابق
۹	مشاوره (Consultancy)	خواسته‌های شما در کیفیت، ابعاد، فرم و سایر
۱۰	گزینه‌های سفارشی (Customizing Options)	ویژگی‌های منحصربه‌فرد مورد نظر

## منابع

- [۱]. رنجبر، محسن؛ امیرعزادی، طوبی؛ اصغری، سمیرا (۱۳۹۰). ارزیابی اثرات اجتماعی ابزاری برای کاهش مخاطرات محیطی، یازدهمین کنگره جغرافیدانان ایران، تهران، انجمن جغرافیایی ایران، دانشگاه شهید بهشتی
- [2]. Abadin, H.G. ; Chou, C.H.S.J. ; Lladós, F.T. (2007). "Health effects classification and its role in the derivation of minimal risk levels: immunological effects", *Regul. Toxicol. Pharm* 47 (3) (2007): 249–256.
- [3]. AIA (2012). Material Slection & Specification: <http://www.aia.org/aiaucmp/groups/aia/documents/pdf/aiab097628.pdf>
- [4]. Akadiri, Peter O. Olomolaiye, Paul O. (2012). Development of sustainable assessment criteria for building material selection, *Engineering, Construction and Architectural Management* Vol. 19 No. 6, 2012 : 666 687
- [5]. Anink, D; Boonstra, C. and Mak, J. (1996). *Handbook of Sustainable Building: an Environmental Performance Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment*, James and James, London.
- [6]. Cagan, J; Vogel, C. (2002). *Creating Breakthrough Products*, NJ, USA : Prentice Hall PTR: Upper Saddle River.
- [7]. Esin, A. (1980). *Properties of Material for Design*. Gaziantep: METU Printing Office.
- [8]. Godfaurd, J; Clements-Croome, D. ; Jeronimidis, G. (2005). "Sustainable building solutions: a review of lessons from the natural world". *Building and Environment*. Volume 40, Issue 3, March 2005 : 319-328

- [9]. Huberman, N. ; Pearlmutter, D. (2008). "a life cycle energy analysis of building materials in the Negev desert". *Energy and Buildings*. 40: 837-848.
- [10]. Ilha, M.S.O; Oliveira, L.R. ; Gonçalves, O.M. (2009). "Environmental assessment of residential buildings with an emphasis on water conservation". *Building Services Engineering Research and Technology*. 30: 15-26.
- [11]. Jahan, A; Ismail, M.Y; Sapuan, S.M; Mustapha, F. (2010). "Material and Design". *Elsevier*, Vol. 31, Issue 2 : 696-705.
- [12]. Kibert, C. J. (2005). *Sustainable construction: green building design and delivery*. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons, Inc
- [13]. Kibert, C.J. (2008). *Sustainable construction: Green Building Design and Delivery*. Second edition, John Wiley and Sons, Inc., Hoboken, New jersey, USA
- [14]. Nassar, K. W; Thabet, Y. ; Beliveau, (2003). "A procedure for multi-criteria selection of building assemblies". *Automation in Construction*, Volume 12, Number 5, September 2003: 543-560 (18)
- [15]. Ogunkah I, Yang J. "Investigating Factors Affecting Material Selection: The Impact on Green Vernacular Building Materials in the Design-Decision Making Process". *Buildings*. 2012, 2: 1-32
- [16]. Owen, C. (2003). *the green field: the (sub) culture of sustainable architecture*. PhD thesis, Melbourne University, Melbourne.
- [17]. Plank, R. (2008). "The principles of sustainable construction". *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*, 1: 4, 301 - 307
- [18]. 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 Proceedings of the 24th Annual ARCOM Conference: 217-225). Cardiff, UK: Dainty, A., Ed.
- [19]. Rohracher, H. (2001). "Managing the technological transition to sustainable construction of buildings: a socio-technical perspective". in *Technology Analysis and Strategic Management*, Vol. 13, No. 1: 137- 150
- [20]. Sterner, E. (2002). "Green procurement of buildings: A study of Swedish clients considerations", in *Construction Management and Economics*, Vol. 20: 21-30.
- [21]. Worldwatch Institute (2003). *State of the World, A Worldwatch Institute Report on Progress toward a Sustainable Society* available at <http://www.worldwatch.org/system/files/ESW03A.pdf>
- [22]. Zhou, C.C.; Yin, G.F. ; Hu, X.B. (2009). "Multi-objective optimization of material selection for sustainable products: Artificial neural networks and genetic algorithm approach". *Materials & Design*, 30(4): 1209-1215.