

# مطالعات معماری ایران ۲۴

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال دوازدهم، شماره ۲۴، پاییز و زمستان ۱۴۰۲



- ◆ مدارس شهر یزد در روزگار آل کاکویه و اتابکان:
  - بازشناسی معماری و فهم ماهیت مدارس بر پایه گزارش‌های تاریخی و شواهد محیطی
  - ذات‌الله نیک‌زاد / مجتبی مهر علی کردیچه
- ◆ مسجد و مدرسه دارالاحسان سنندج: بررسی صورت اولیه و دگرگونی‌ها
  - سید کامیار نقشبندی / زهرا اهری / هادی صفایی‌پور
- ◆ تحقیقات پرسش‌مدار: مطالعات میان‌رشته‌ای معماری و علوم انسانی
  - زهرا اهری / هادی ندیمی / پریسا رحیم‌زاده / مریم حیدر خانی / فاطمه توانایی مروی / صحرا عابری زاهد / شیوا فلاح نجم‌آبادی
- ◆ تأثیرات شیوه زندگی زنان قوم لر بر تعریف عرصه‌های خصوصی و جمعی در خانه‌های تاریخی-قاجاری خرم‌آباد
  - مژگان هادی‌پور مرادی / مسعود ناری قمی / ساناز رهروی پوده / مریم قاسمی سیپجانی
- ◆ از ناصری تا اهواز؛ بازخوانی تجربه تجدید در یک شهر ایرانی عصر قاجار
  - روح‌الله مجتهدزاده / کاوه رستم‌پور / امین مقصودی
- ◆ زیبایی‌شناسی منظر براساس شعر توصیفی دوره غزنوی، ۳۸۰-۴۳۲ق
  - حمیدرضا جیحانی / مریم رضایی‌پور
- ◆ گونه‌شناسی فضایی - کالبدی مساجد تاریخی استان فارس
  - سید محمدحسین ذاکری / سیده یاسمن ده‌بزرگی / زهرا غلامی روین‌تن
- ◆ پتانسیل‌سنجی تهویه طبیعی در فضاهای اداری از منظر اقلیم و طرح فضای داخلی در مراکز استان
  - پریسا راه‌حق / زهرا سادات زمریدیان / محمد تحصیلدوست
- ◆ بررسی نقش مصالح بومی در بناهای سنتی شهر کاشان از منظر پایداری زیست‌محیطی
  - بابک عالمی / مهدی ممتحن / مرضیه نادری قمی
- ◆ ارزیابی شاخص‌های یکپارچگی میراث شهری با استفاده از فرایند تحلیل شبکه (ANP)
  - لیلا مقیمی / پیروز حناچی / سمیه فدائی نژاد بهرام‌جردی
- ◆ زیبایی‌شناسی نماهای اجرکاری مدرن آپارتمان‌های مسکونی شهر تهران طی دو دهه اخیر از منظر منطقه‌گرایی انتقادی
  - میلاد حبیبی لیالستانی / محمدرضا نعیمی / حسنعلی پورمند / رضا افهیمی
- ◆ مناظره در «چیستی ربط سلام با اسلام»،  
و چگونگی فاعلیت و تأثیر اصول و قوانین نتیجه‌شونده از این دو در هنر و معماری اسلامی گذشته، حال و آینده
- محمدعلی آبادی

# مطالعات معماری ایران

دوفصلنامه علمی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال دوازدهم، شماره ۲۴، پاییز و زمستان ۱۴۰۲  
صاحب امتیاز: دانشگاه کاشان  
مدیر مسئول: دکتر علی عمرانی پور  
سر دبیر: دکتر غلامحسین معماریان  
مدیر داخلی: دکتر بابک عالمی

هیئت تحریریه (به ترتیب الفبا):  
دکتر عباس اکبری. دانشیار دانشگاه کاشان  
دکتر حمیدرضا جیحانی. دانشیار دانشگاه شهید بهشتی  
دکتر پیروز حناچی. استاد دانشگاه تهران  
دکتر شاهین حیدری. استاد دانشگاه تهران  
دکتر مارکوس ریتز. استاد دانشگاه وین  
دکتر محمدصادق طاهر طلوع دل. دانشیار دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی  
دکتر بابک عالمی، دانشیار دانشگاه کاشان  
دکتر علی عبد الرئوف. استاد دانشگاه حمد بن خلیفه قطر  
دکتر علی عمرانی پور. دانشیار دانشگاه کاشان  
دکتر فاطمه کاتب. استاد دانشگاه الزهرا (س)  
دکتر حسین کلانتری. استاد جهاد دانشگاهی  
دکتر اصغر محمد مرادی. استاد دانشگاه علم و صنعت ایران  
دکتر غلامحسین معماریان. استاد دانشگاه علم و صنعت ایران  
دکتر محسن نیازی. استاد دانشگاه کاشان



درجه علمی پژوهشی دوفصلنامه مطالعات معماری ایران طی نامه شماره ۱۶۱۶۷۶ مورخ ۱۳۹۰/۰۸/۲۱ دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی کشور، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ابلاغ گردیده است.

پروانه انتشار این نشریه به شماره ۹۰/۲۳۰۳۰ مورخ ۹۱/۹/۷ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی صادر شده است.

این نشریه حاصل همکاری مشترک علمی دانشگاه کاشان با دانشکده معماری دانشگاه تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشگاه الزهرا (س)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه شهید رجایی، پژوهشکده فرهنگ، هنر و معماری جهاد دانشگاهی و انجمن علمی انرژی ایران است. نشریه مطالعات معماری ایران در پایگاه استنادی علوم کشورهای اسلامی (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، پایگاه مجلات تخصصی نور (noormags.ir)، پرتال جامع علوم انسانی (ensani.ir) و بانک اطلاعات نشریات کشور (magiran.com) نمایه می شود.

تصاویر بدون استناد در هر مقاله، متعلق به نویسنده آن مقاله است.

(نسخه الکترونیکی مقاله‌های این مجله، با تصاویر رنگی در تارنمای نشریه قابل دریافت است.)

ویراستار ادبی فارسی: معصومه عدالت پور

ویراستار انگلیسی: غزل نفیسه تابنده

دورنگار: ۰۳۱-۵۵۹۱۳۱۳۲

نشانی دفتر نشریه: کاشان، بلوار قطب راوندی، دانشگاه کاشان، دانشکده معماری و هنر، کدپستی: ۸۷۳۱۷-۵۳۱۵۳

پایگاه اینترنتی: jias.kashanu.ac.ir

رایانامه: j.ir.arch.s@gmail.com

شاپای الکترونیکی: ۲۶۷۶-۵۰۲۰

عکس روی جلد: محمد موحدنژاد

(ایوان مدرسه چهارباغ، اصفهان)

همکار اجرایی: فائزه تفرشی



دانشگاه تربیت مدرس

## فهرست

- ۵ مدارس شهر یزد در روزگار آل کاکویه و اتابکان:  
بازشناسی معماری و فهم ماهیت مدارس بر پایه گزارش‌های تاریخی و شواهد محیطی  
ذات‌الله نیک‌زاد/ مجتبی مهرعلی کردیچه
- ۲۷ مسجد و مدرسه دارالاحسان سنندج: بررسی صورت اولیه و دگرگونی‌ها  
سید کامیار نقشبندی/ زهرا اهری/ هادی صفایی‌پور
- ۵۵ تحقیقات پرسش‌مدار: مطالعات میان‌رشته‌ای معماری و علوم انسانی  
زهرا اهری/ هادی ندیمی/ پریسا رحیم‌زاده/ مریم حیدرخانی/ فاطمه توانایی مروی/ صحرا عابری زاهد/ شیوا فلاح نجم‌آبادی
- ۷۷ تأثیرات شیوه زندگی زنان قوم لر بر تعریف عرصه‌های خصوصی و جمعی در خانه‌های تاریخی-قاجاری  
خرم‌آباد
- مژگان هادی‌پور مرادی/ مسعود ناری قمی/ ساناز رهروی پوده/ مریم قاسمی سیچانی
- ۱۰۹ از ناصری تا اهواز؛ بازخوانی تجربه تجدد در یک شهر ایرانی عصر قاجار  
روح‌الله مجتهدزاده/ کاوه رستم‌پور/ امین مقصودی
- ۱۲۹ زیبایی‌شناسی منظر براساس شعر توصیفی دوره غزنوی، ۳۸۰-۴۳۲ق  
حمیدرضا جیحانی/ مریم رضایی‌پور
- ۱۵۱ گونه‌شناسی فضایی - کالبدی مساجد تاریخی استان فارس  
سید محمدحسین ذاکری/ سیده یاسمن ده‌بزرگی/ زهرا غلامی روین‌تن
- ۱۶۹ پتانسیل‌سنجی تهویه طبیعی در فضاهای اداری از منظر اقلیم و طرح فضای داخلی در مراکز استان  
پریسا راه حق/ زهرا سادات زمردیان/ محمد تحصیلدوست
- ۱۹۳ بررسی نقش مصالح بومی در بناهای سنتی شهر کاشان از منظر پایداری زیست‌محیطی  
بابک عالمی/ مهدی ممتحن/ مرضیه نادری‌قمی
- ۲۱۵ ارزیابی شاخص‌های یکپارچگی میراث شهری با استفاده از فرایند تحلیل شبکه (ANP)  
لیلا مقیمی/ پیروز حناچی/ سمیه فدائی‌نژاد بهرام‌جردی
- ۲۴۳ زیبایی‌شناسی نماهای اجرکاری مدرن آپارتمان‌های مسکونی شهر تهران طی دو دهه اخیر از منظر  
منطقه‌گرایی انتقادی  
میلاذ حبیبی لیالستانی/ محمدرضا نعیمی/ حسنعلی پورمند/ رضا افهمی
- ۲۶۳ مناظره در «چیستی ربط اسلام با اسلام»، و چگونگی فاعلیت و تأثیر اصول و قوانین نتیجه‌شونده از این دو  
در هنر و معماری اسلامی گذشته، حال و آینده  
محمد علی‌آبادی
- ۳۳۰ بخش انگلیسی

# بررسی نقش مصالح بومی در بناهای سنتی شهر کاشان از منظر پایداری زیست‌محیطی

علمی پژوهشی

بابک عالمی\*

مهدی ممتحن\*\*

مرضیه نادری‌قمی\*\*\*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۵

## چکیده

معماری سنتی کاشان، دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی در ابعاد مختلف است که یکی از مهم‌ترین این ابعاد، مصالح به‌کاررفته در آن هستند. با توجه به اهمیت روزافزون بحث پایداری و همچنین تأثیر قابل توجه مصالح بر پایداری بنا، در این پژوهش به بررسی نقش مصالح بومی کاشان در پایداری زیست‌محیطی بناهای سنتی این شهر پرداخته شد. در این راستا ابتدا با مطالعه منابع متعدد، شاخص‌های تأثیرگذار بر پایداری زیست‌محیطی مصالح در مراحل مختلف حیات آن‌ها شامل استخراج و تولید، حمل و انبار، ساخت‌وساز، بهره‌برداری و درنهایت تخریب و بازیافت، گردآوری شدند. سپس با بررسی‌های میدانی در بافت تاریخی کاشان و مطالعات کتابخانه‌ای، مصالح بومی به‌کاررفته در آن استخراج گردیدند تا از دیدگاه شاخص‌های جمع‌آوری شده مورد ارزیابی قرار گیرند. این ارزیابی در هر شاخص با روش متفاوتی نظیر گردآوری اطلاعات عددی، تحلیل کیفی و یا تدوین پرسش‌نامه انجام شد. درنهایت، بر مبنای تحلیل‌های صورت‌گرفته و با استفاده از طیف لیکرت، در هر شاخص امتیازاتی بین ۱ تا ۵ به مصالح مذکور اختصاص داده شد تا با جمع‌آوری امتیازات هر مورد، یک مقایسه کیفی بین آن‌ها از دیدگاه تطابق با شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی حاصل شود. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که از میان مصالح مورد بررسی شامل خاک، سنگ، گچ، آهک، مصالح نباتی و فلز، خاک با امتیاز ۸۳ از ۸۵ بیشترین تطابق و فلز با امتیاز ۳۷ از ۸۵ کمترین تطابق را با شاخص‌های مذکور دارند. با دقت روی تحلیل‌های موجود و امتیازات حاصل می‌توان دریافت که مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر امتیازات پایین فلز، فرایند ساخت پیچیده آن طی مراحل فراوری در کارخانه است، برخلاف خاک که نیازمند ساده‌ترین روش تولید، بدون انجام فرایندهای پیچیده برای آماده‌سازی است.

## کلیدواژه‌ها:

معماری پایدار، بناهای سنتی کاشان، مصالح بومی، محیط‌زیست، مواد اولیه.

\* دانشجوی دکتری، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان، نویسنده مسئول، alemi@kashanu.ac.ir

\*\* استادیار، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

\*\*\* دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

مطالعات معماری ایران

دو فصلنامه معماری ایرانی

شماره ۲۴ - پاییز و زمستان ۱۴۰۲

صفحات ۱۹۳-۲۱۳ ۱۹۳

## پرسش‌های پژوهش

۱. مصالح پایدار چه مصالحی هستند و چه شاخصه‌هایی دارند؟
۲. در معماری سنتی شهر کاشان چه مصالحی مورد استفاده قرار گرفته‌اند و این مصالح تا چه میزان با شاخصه‌های پایداری زیست‌محیطی تطابق دارند؟

### مقدمه

امروزه اصل پایداری یکی از مهم‌ترین مسائل مورد توجه بشر در دنیای معاصر است که از جهات مختلف (نظیر پایداری کالبدی، زیست‌محیطی، فرهنگی و اجتماعی) مورد مطالعه قرار می‌گیرد. توسعه پایدار، یعنی توسعه‌ای که نیازهای کنونی بشر را بدون به مخاطره انداختن نیاز نسل‌های آینده برآورده سازد و در آن به محیط‌زیست و نسل‌های فردا نیز توجه شود. تجلی توسعه پایدار در حوزه محیط ساخته‌شده، معماری پایدار نامیده می‌شود (اکرمی و علیپور ۱۳۹۴). از طرفی، معماری سنتی ایران در ادوار مختلف همواره پاسخ‌گوی بسیاری از چالش‌های پیش روی انسان بوده و معماران قدیمی ایرانی به کمک انجام روش آزمون و خطا، موفق به کسب تجارب ارزشمندی شدند که بی‌توجهی به این مسائل، معماری این کشور را سال‌ها به عقب می‌راند. با وجود اینکه پایداری در معماری موضوعی است که در قرن معاصر مورد توجه قرار گرفته، با دقت و مطالعه عمیق روی بناهای سنتی ایرانی می‌توان دریافت که بسیاری از اصول پایداری در این بناها رعایت شده است. استخراج و مطالعه فنون مورد استفاده توسط گذشتگان می‌تواند در جهت رعایت اصول پایداری در ساخت بناهای امروزی بسیار کمک‌کننده باشد.

در دستیابی به این اهداف در بناهای سنتی ایرانی، عوامل بسیاری نظیر فنون اجرا، هندسه و تناسبات، شکل ظاهری بنا، دانش زمانه و... تأثیرگذار بوده‌اند. بی‌گمان یکی از این عوامل مهم و مؤثر در این زمینه، استفاده از مصالح ساختمانی مناسب و سازگار با محیط‌زیست بوده است. عدم تخریب طبیعت در برداشت، کمترین آلودگی در تولید، پایین بودن مصرف انرژی در تولید، صرفه‌جویی در انرژی حمل‌ونقل، کاهش مصرف انرژی در بهره‌برداری، کاهش هزینه‌های تمام‌شده و از همه مهم‌تر، بازگشت سریع به طبیعت و تخریب نمودن محیط‌زیست، از مزایای مصالح بومی به شمار می‌رود (همان). استفاده از مصالحی با این مزایا، یکی از مهم‌ترین عوامل کمک‌کننده به استادکاران قدیمی در مسیر دستیابی به چنین اهدافی در بناهای سنتی بوده است. مصالح بومی یا به اصطلاح بوم‌آورد، شامل مصالح موجود یا قابل تهیه در روستا یا شهر یا مصالح واردشده به روستا یا شهر از فاصله‌ای کوتاه می‌شود (ویسه و دیگران ۱۳۸۸)؛ یعنی برخلاف روشی که امروزه در ساخت بناها مورد استفاده قرار گرفته و مصالح غیربومی از دورترین مسافت‌ها حمل شده و در بنا به کار گرفته می‌شوند و آسیب‌های بسیاری به محیط‌زیست می‌رسانند. معماری سنتی و بومی با موقعیت خود از نظر جغرافیایی و اقلیمی منطبق است، مصالح آن طبیعی بوده و در محل قابل تأمین می‌باشد و پس از پایان عمر بنا، به راحتی به طبیعت بازمی‌گردد (اکرمی و علیپور ۱۳۹۴). هدف پژوهش پیش رو آن است که ابتدا به کمک مطالعات کتابخانه‌ای و مشاهده بناهای سنتی شهر کاشان، مصالح بومی مورد استفاده در بافت تاریخی این شهر استخراج شوند. سپس با استناد بر شاخص‌های مصالح پایدار که با مطالعه پژوهش‌ها و منابع مربوط استخراج می‌شوند، به ارزیابی این مصالح از منظر پایداری زیست‌محیطی پرداخته می‌شود. در نهایت با تمرکز بر ترکیبات به کاررفته در آن‌ها و روند تولید و بهره‌برداری این مصالح، پیامدهای احتمالی مصالح مورد نظر برای محیط‌زیست، از مرحله استخراج و تولید تا بازیافت و بازگشت به طبیعت، مورد مطالعه قرار خواهند گرفت.

### ۱. پیشینه پژوهش

با توجه به ضرورت و اهمیت مسئله پایداری در معماری در دنیای معاصر و وجود ظرفیت‌های اثبات‌شده در همهٔ وجوه بناهای سنتی نواحی مختلف، محققان در سراسر جهان به دنبال استخراج شاخص‌های پایداری در معماری

تاریخی و مصالح پایدار به کاررفته در آن‌ها هستند. توجه به خطرات زیست‌محیطی ساخت‌وسازهای امروزی به‌همراه توصیف و تحلیل همه عوامل تأثیرگذار بر انتخاب مصالح پایدار، نشان می‌دهد که استفاده از مصالح بومی هر منطقه در امر ساختمان‌سازی موجب کاهش خطرات زیست‌محیطی ساخت‌وساز می‌شود (همان). پژوهشی با تلاش برای شناسایی اصول و روش‌های پایداری در مسکن سنتی، به ارائه راهکارهایی برای طراحی معماری پایدار می‌پردازد (ضرغامی، خاکی، و سادات ۱۳۹۴). استخراج ویژگی‌های قابل تکرار معماری سنتی در راستای دستیابی به اهداف معماری پایدار، به درک اهمیت نقش معماری بومی در ایجاد رویکرد پایداری در معماری منجر می‌شود (ارمغان و گرجی‌مهلبانی ۱۳۸۸). در پژوهش‌های متمرکز بر بحث پایداری در مناطق و اقلیم‌های مشخصی از کشور ایران، با بررسی تناسب و هماهنگی موجود بین تکنیک، مصالح، محیط‌زیست و عملکرد بناهای سنتی شهرهای کویری ایران، پس از اثبات وجود این هماهنگی، به یک سری نکات اصلی طراحی در این مناطق که به کاهش هرچه بیشتر مصرف انرژی منجر شده، دست یافته می‌شود (رستمی، جاویدنژاد، و منصور ۱۳۹۸). بررسی و تحلیل چند نمونه انتخابی از این اقلیم، با تبیین وجود ارتباطی تنگاتنگ بین معماری بومی و شرایط آب‌وهوایی، نشان می‌دهد که با طراحی و اتخاذ مناسب‌ترین رویکردها می‌توان به معماری پایدار در این مناطق دست یافت (زرین، طاهباز، و مفیدی شمیرانی ۱۴۰۰). همچنین بررسی میزان مصرف انرژی در خانه‌های بومی روستایی بخش جلگه‌ای گیلان از طریق انتخاب، مقایسه و تحلیل میزان مصرف انرژی سه گونه از این خانه‌ها با مصالح بومی و جدید، نشانگر این است که ساختمان‌های نمونه با مصالح بومی مصرف انرژی کمتری نسبت به مصالح جدید دارند (زهري، طاهباز، و اعتصام ۱۳۹۵). پژوهشی با رویکرد بهره‌گیری از مصالح بومی، سعی در بهینه‌سازی مصرف انرژی داشته و در این راستا به بررسی نمونه‌های یکسان در محیط بومی گرم و بیابانی گناباد با مصالح مصرفی متفاوت پرداخته است (مداحی، عابدی، و صداقت‌مند ۱۳۹۶).

در نقاط مختلف جهان نیز مطالعاتی روی مسئله پایداری در بناهای سنتی صورت گرفته است. تلاش برای اثبات مصالح بومی و ایجاد پایداری در معماری با به‌کارگیری آن‌ها، مشخص می‌کند که راه رسیدن به پایداری در محیط‌زیست، بازگشت به راهکارهای همگام با طبیعت است (Mahmoud and Rowaida 2019). بررسی رابطه بین معماری پایدار پرتغال و مصالح بومی برای ارزیابی، سهم این مصالح در پایداری و مقایسه آن‌ها از دیدگاه زیست‌محیطی با مصالح صنعتی، توانایی معماری بومی در ایجاد تعامل بین معماری و شرایط اقلیمی را مشخص می‌کند (Fernandes et al. 2014). با تمرکز بر چالش‌های مصرف انرژی ساختمان‌ها در اقلیم گرم و بیابانی عربستان سعودی، سعی در یافتن راهی برای کاهش مصرف انرژی از طریق استفاده از تکنیک‌ها و مصالح بومی می‌شود (Alrashed, Asif, and Burek 2017). ارزیابی علت پایداری و سازگاری با محیط در خانه‌های بومی بالی که با مصالح بومی ساخته شده‌اند، از طریق بررسی دو نمونه، کارآمد بودن این راهکارها برای نیازهای امروزی را تبیین کرده (Flaiban 2019) و پژوهشی روی معماری پادشاهی سوکور، بر استفاده از مصالح به‌عنوان وسیله‌ای پایدار در حل مشکلات پیش روی معماری، تمرکز می‌کند (Dodo et al. 2014). همچنین بررسی رابطه بین معماری بومی چین و مصالح محلی، نشان‌دهنده اهمیت استفاده از این مصالح برای بروز پایداری در معماری بومی است (Fang 2014).

از بررسی پژوهش‌های نگاشته‌شده در این زمینه می‌توان دریافت که روی مسئله تأثیر مصالح بومی بر پایداری بناهای سنتی و معماری بومی هر منطقه، مطالعات بسیاری در نقاط مختلف جهان صورت گرفته و اهمیت این موضوع کاملاً تبیین شده است. در این پژوهش سعی بر این است که با بهره‌گیری از نتایج مطالعات مرتبط درباره انواع و ویژگی‌های مصالح پایدار، به بررسی مصالح بومی به‌کاررفته در بناهای تاریخی شهر کاشان پرداخته و ضمن تمرکز بر این بناها و استخراج مصالح به‌کاررفته در آن‌ها، رعایت شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی در این مصالح در مراحل مختلف استخراج و تولید تا اجرا و بازیافت، مورد ارزیابی قرار گیرد.

## ۲. چارچوب نظری پژوهش

### ۲.۱. معماری پایدار و شاخص‌های آن

مفهوم پایداری در معماری آن است که بناهایی خلق کنیم که به نیازهای زمان حال خود پاسخگو باشند و نه اینکه صرفاً عمر زیادی را سپری کنند. چون ممکن است یک بنا با عمر چندین صدساله با نیازهای زمان حال هماهنگی نداشته باشد. نحوه ارتباط با طبیعت که بستر هرگونه خلق فضایی است و چگونگی استفاده و حفظ و نگهداری آن، یکی از ریشه‌های اصلی پایداری است. همچنین منطقه‌گرایی و بوم‌گرایی، به معنای همراهی بنا با بوم و اقلیم خود نیز، یکی دیگر از مصادیق پایداری است. میزان اثرگذاری ارزش‌های بومی و منطقه‌ای بر طراحی و خلق فضا را نیز می‌توان یکی دیگر از این مصادیق دانست (ضرغامی، خاکی، و سادات ۱۳۹۴). مفهوم معماری پایدار را می‌توان از وجوه مختلفی اعم از وجه زیست‌محیطی، اجتماعی و فرهنگی، وجه اقتصادی، وجه کالبدی و... بررسی کرد. با توجه به اینکه مصالح، که موضوع مورد توجه در این مطالعه است، پدیده‌ای است که تأثیر زیادی روی وجوه زیست‌محیطی یک بنا می‌گذارد، در این پژوهش به مطالعه پایداری زیست‌محیطی در معماری پرداخته می‌شود. با توجه به نیازهای امروز معماری و محدودیت در زمینه منابع انرژی، شاخص‌هایی را می‌توان به‌عنوان اصول معماری پایدار از وجه زیست‌محیطی، با مطالعه منابع و متون تخصصی در این حوزه استخراج کرد که شرح آن‌ها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: شاخص‌های پایداری در معماری از وجه زیست‌محیطی

منابع	شاخص‌های پایداری در معماری از وجه زیست‌محیطی
ضرغامی، خاکی، و سادات ۱۳۹۴؛ بیرانوند ۱۳۹۰؛ دربان و جوادنی ۱۳۹۷؛ ارمغان و گرجی‌مهلبانی ۱۳۸۸: Akadiri, Chinyio, and Olomolaiye 2012	هماهنگی و سازگاری با طبیعت و محیط‌زیست
رستمی، جاویدی‌نژاد، و منصور ۱۳۹۸؛ ضرغامی، خاکی، و سادات ۱۳۹۴؛ دربان و جوادنی ۱۳۹۷؛ هیرمندی نیاسر ۱۳۹۵؛ ستاری و معتضدیان ۱۳۹۹	صرفه‌جویی در مصرف انرژی
ضرغامی، خاکی، و سادات ۱۳۹۴؛ هیرمندی نیاسر ۱۳۹۵؛ دربان و جوادنی ۱۳۹۷؛ ستاری و معتضدیان ۱۳۹۹؛ ارمغان و گرجی‌مهلبانی ۱۳۸۸: Akadiri, Chinyio, and Olomolaiye 2012	تأثیرپذیری از معماری بومی و اقلیم منطقه
ضرغامی، خاکی، و سادات ۱۳۹۴؛ ستاری و معتضدیان ۱۳۹۹	پاسخ درست به نیازهای عملکردی ساکنین
بیرانوند ۱۳۹۰؛ دربان و جوادنی ۱۳۹۷	جلوگیری از ایجاد آلودگی
بیرانوند ۱۳۹۰؛ ضرغامی، خاکی، و سادات ۱۳۹۴؛ تقی‌پور قصابی و میرزامحمدی ۱۳۹۸	استفاده از منابع تجدیدپذیر
بیرانوند ۱۳۹۰؛ تقی‌پور قصابی و میرزامحمدی ۱۳۹۸؛ ضرغامی، خاکی، و سادات ۱۳۹۴؛ هیرمندی نیاسر ۱۳۹۵	استفاده کمتر از انرژی‌های تجدیدناپذیر و آلوده‌کننده
اکرمی و علیپور ۱۳۹۴؛ پارچه‌باف مطلق و عالمی ۱۴۰۰	انعطاف‌پذیری و عمر طولانی
ضرغامی، خاکی، و سادات ۱۳۹۴؛ تقی‌پور قصابی و میرزامحمدی ۱۳۹۸	از بین بردن یا به حداقل رساندن مصرف مواد آلوده و سمی
دربان و جوادنی ۱۳۹۷؛ ستاری و معتضدیان ۱۳۹۹؛ تقی‌پور قصابی و میرزامحمدی ۱۳۹۸؛ ضرغامی، خاکی، و سادات ۱۳۹۴؛ ارمغان و گرجی‌مهلبانی ۱۳۸۸: Akadiri, Chinyio, and Olomolaiye 2012	استفاده از مصالح قابل بازیافت
ستاری و معتضدیان ۱۳۹۹؛ هیرمندی نیاسر ۱۳۹۵؛ دربان و جوادنی ۱۳۹۷	هماهنگی با سایت بنا

### ۲.۲. مصالح پایدار

مصرف بیش از حد و ناصحیح مصالح جدید موجب آسیب‌های زیست‌محیطی جبران‌ناپذیری شده است و از این پس با رواج مصالح صنعتی، این آسیب‌ها بیشتر و زیان‌آورتر خواهد شد (Zhou et al. 2009). انتخاب مصالح یکی از تصمیمات معمار در فرایند طراحی است که اگر به‌شکلی صحیح و با مطالعه صورت‌نگیرد، جبران خسارات آن دشوار خواهد بود. به‌منظور کاهش خطرات زیست‌محیطی ناشی از مصالح ساختمانی، بایستی چرخه حیات مصالح از زمان استخراج از طبیعت تا بازگشت دوباره به طبیعت و انرژی مصرفی در این چرخه بررسی شود (اکرمی و علیپور ۱۳۹۴). در بحث معماری پایدار، ویژگی‌هایی برای مصالح ساختمانی مطلوب برشمرده می‌شود که این عوامل را می‌توان

به صورت خلاصه، کاهش مصرف منابع و کاهش تولید ضایعات ذکر نمود و بایستی آن‌ها را در کل چرخه حیات مصالح در نظر گرفت (Gabriella, Janssen, and Hendriks 2002; Yagi and Halada 2001). با مطالعه روی منابع و اسناد تخصصی در این زمینه، شاخص‌هایی برای پایداری زیست‌محیطی مصالح در مراحل مختلف حیات آن‌ها، شامل استخراج و تولید، حمل و انبار، ساخت‌وساز، بهره‌برداری و در نهایت تخریب و بازیافت، استخراج شده که این شاخص‌ها در جدول ۲ منعکس شده‌اند.

جدول ۲: عوامل مؤثر در پایداری زیست‌محیطی مصالح (براساس مطالعه منابع)

مراحل فراوری مصالح	عوامل مؤثر در پایداری زیست‌محیطی مصالح	منابع
استخراج و تولید	کمترین میزان مصرف انرژی برای تولید	Zimmermann, Althaus, and Haas 2005; Calkins 2008; Wever 1997; Zhou and Yin 2009; ۱۳۸۲؛ کیم ۱۳۸۳؛ اکرمی و علیپور ۱۳۸۸
	استخراج حداقل مواد خام و مصرف کمترین منابع اولیه و آب	
	کمترین خطر استحصال برای محیط‌زیست	
حمل و انبار	عدم ایجاد مسمومیت و سرطان‌زایی	Calkins 2008؛ ۱۳۹۴؛ اکرمی و علیپور ۱۳۸۸؛ ویسه و دیگران ۱۳۸۸
	کوتاه‌ترین فاصله حمل‌ونقل و بی‌نیازی از انبار	
ساخت‌وساز	حداقل زمان ساخت	San-jose et al. 2007; Howarth and Hadfield 2006؛ اکرمی و علیپور ۱۳۹۴؛ ویسه و دیگران ۱۳۸۸
	کمترین هزینه تولید	
	نیاز نداشتن به ماشین‌آلات پیشرفته و فناوری ساخت دور از دسترس	
	عدم ایجاد سروصدا	
بهره‌برداری	استفاده نکردن از مواد شیمیایی در تولید	Godfaurd, Clements - Croome, and Jeronimidis 2004; Yagi and Halada 2001; Morel et al. 2001; Isik and Tulbentci 2008; Zimmermann, Althaus, and Haas 2005; Lyons 2014؛ قبادیان ۱۳۸۲؛ هادی، نصراللهی، و حسینی ۱۳۹۰؛ صادقی بی ۱۳۹۱
	دوام بالای مصالح در راستای افزایش طول عمر ساختمان	
	حداکثر تناسب مصالح انتخابی با بوم و آب‌وهوای محل	
تخریب و بازیافت	قابلیت تعمیرات در زمان بهره‌برداری	Gabriella, Janssen, and Hendriks 2002; Calkins 2008; Yagi and Halada 2001; Wever 1997; Howarth and Hadfield 2006
	کمترین ضریب انتقال حرارت و بی‌نیازی از عایق‌کاری حرارتی	
	حداکثر قابلیت بازگشت به طبیعت و امکان استفاده مجدد	
	دارای بیشترین منابع اولیه تجدیدپذیر	
	کمترین میزان ضایعات و پسماندها و حداقل ایجاد آلودگی در تولید و بازیافت	

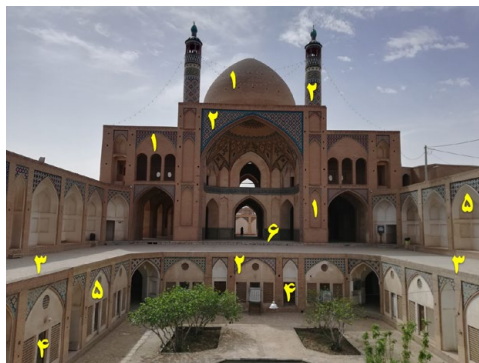
### ۳.۲. مصالح بومی شهر کاشان

این پژوهش ضمن بررسی معماری سنتی کاشان به وسیله مطالعه منابع مرتبط و همچنین مشاهدات میدانی روی تعدادی از بناهای تاریخی این شهر با تمرکز بر انواع مصالح به کار رفته در آن‌ها (تصویر ۱ و ۲ و ۳)، به استخراج مواد و مصالح بومی این منطقه که از گذشته در بناهای سنتی این شهر به کار برده می‌شده‌اند، پرداخته است. مصالح بومی یا به اصطلاح بوم‌آورد، شامل مصالح موجود یا قابل تهیه در روستا یا شهر یا مصالح وارد شده به روستا یا شهر از فاصله‌ای کوتاه می‌شود (ویسه و دیگران ۱۳۸۸)؛ در نتیجه برای استخراج مصالح بومی کاشان، نیازی به تمرکز بر بناهای یک دوره تاریخی مشخص و یا با کاربری واحد وجود ندارد و این مصالح حتی امروزه در روستاهای اطراف کاشان نیز به کار می‌روند. در ادامه ضمن معرفی و توضیحات مختصری درباره این مصالح، به ارزیابی تطابق شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی با مصالح مذکور پرداخته خواهد شد.





تصویر ۲: نمای داخلی خانه تاریخی عزیززادگان



تصویر ۱: نمای داخلی مسجد تاریخی آقابزرگ

- ۱ آجرچینی
- ۲ کاشی کاری
- ۳ خشت برای کفسازی
- ۴ چوب و فلز برای دربها
- ۵ نوعی ملات گچی
- ۶ ازاره سنگی
- ۷ ملات کاهگل



تصویر ۳: گشودگی محله سیقن

مصالح خاکی، یکی از قدیمی ترین و گسترده ترین مصالح ساختمانی مورد استفاده توسط بشر به ویژه در نواحی گرم و خشک بوده اند (درمحمدی و رحیم نیا ۱۳۹۶)؛ چراکه دارای خواص انتقال حرارتی بهینه برای گرمایش زمستانی و سرمایش تابستانی، دسترسی آسان و سازگاری با آب و هوای محیط و همچنین رنگ روشن برای جلوگیری از گرم شدن ساختمان هستند. ناگفته نماند مصالحی که رنگ روشن دارند، جذب حرارتی کمتری داشته و انرژی خورشید را منعکس می کنند (Calkins 2008). رایج ترین مصالح خاکی مورد استفاده در این مناطق شامل خشت، آجر و انواع ملات های گلی (مانند کاهگل، ساروج، شفته آهک، گچ خاک و...) هستند که دارای مراحل ساخت ساده و سریعی بوده و در گذشته، در محل ساخت بنا با استفاده از خاک حاصل از گودبرداری، توسط کارگران تولید می شده اند.

گچ و آهک، از معدن استخراج می شوند و معادن آنها چندان در دسترس نیستند؛ اما در صورتی که مانند فرایندی که در ساخت بناهای سنتی طی می شده است، این مصالح در کوره های ساده محلی فراوری شوند، می توان آنها را جزء مصالح بومی به شمار آورد. همچنین مصالح نباتی مانند چوب، کاه، الیاف گیاهی و... به علت صرف انرژی و تولید آلودگی اندک در تولید و فراوری سریع و ساده، از گذشته جزء مصالح بومی مورد استفاده حتی در اقلیم های خشک بوده اند و اصولاً در ساخت بناهای سنتی این مناطق، از چوب درختانی استفاده می شده که به میزان مطلوبی در آن اقلیم موجود بوده و از فواصل نزدیک قابل تهیه باشند. سنگ نیز از گذشته در ساخت بناهای این منطقه به صورت طبیعی، یا در صورت لزوم با اندکی تغییر شکل (به صورت سنگ قلوه یا سنگ لاشه) مورد استفاده قرار می گرفته و می تواند جزء مصالح بومی به شمار رود. اما برای تولید سنگ پلاک، انرژی فراوانی صرف شده و آلودگی و سروصدای زیادی ایجاد می شود و در این حالت جزء مصالح بومی به شمار نمی رود. هرچه از مصالح به صورت اولیه و کمتر فراوری شده استفاده شود، استخراج مواد خام کمتر و مصرف منابع کاهش می یابد (کیم ۱۳۸۲).

فلزات با وجود اینکه در گذشته سازه اصلی ساختمان را تشکیل نمی‌داده‌اند، در برخی بخش‌های بناهای تاریخی مانند میخ‌ها و اتصالات مورد استفاده قرار می‌گرفتند که این موضوع نشان‌دهنده در دسترس بودن آن‌ها و با طی مسافت اندکی برای تأمین این مصالح در آن زمان است. در نتیجه لازم است در بررسی مصالح بومی کاشان، فلزات نیز مد نظر قرار گیرند. قدیمی‌ترین فلزی که ایرانیان باستان به آن دست یافتند، مس بوده است (زمرشیدی ۱۳۷۷؛ بزرگمهری و خدادادی ۱۳۸۹). به تدریج با کشف قلع و ترکیب آن با مس، آلیاژی با نام مفرغ پدید آمد و کمی بعد از این دوران، آهن شناخته شد و در حدود هزاره اول پیش از میلاد با تبدیل آهن به فولاد، صنعت آن به سرعت پیشرفت کرد (بزرگمهری و خدادادی ۱۳۸۹). این فلزات از گذشته برای ساخت اجزائی نظیر میخ، قفل و کلید، لولا، گل میخ، کوبه، دستگیره و... در ساخت بناها مورد استفاده بوده‌اند. با توجه به مطالب ذکر شده و با مطالعه منابع مرتبط، رایج‌ترین مصالح بوم‌آورد مورد استفاده در اقلیم گرم و خشک و در بناهای سنتی شهر کاشان استخراج شده و به همراه مواد تشکیل‌دهنده و شرح مختصری از شیوه تهیه و ساخت آن‌ها، در جدول زیر منعکس شده‌اند.

جدول ۳: مصالح بومی رایج در بناهای سنتی شهر کاشان

نوع مصالح	نام مصالح	منبع تهیه/ مواد تشکیل‌دهنده	شیوه تهیه/ شیوه ساخت (به اختصار)
مواد اولیه	رس	برداشت و انتقال به محل، الک کردن	برداشت و انتقال به محل
	خاک	زمین‌های اطراف محل احداث بنا	برداشت از بستر مناسب و انتقال به محل
	ماسه		
	شن	زمین‌های اطراف و تکه‌سنگ‌های درشت	شکستن و خرد کردن تکه سنگ‌ها، دانه‌بندی به وسیله الک‌های مخصوص
	سنگ	معدن سنگ	استخراج از معدن، برش به ابعاد مورد نیاز
	سنگ گچ	سنگ گچ موجود در طبیعت	پختن سنگ گچ در کوره، آسیاب کردن
	سنگ آهک	سنگ آهک موجود در طبیعت	پختن سنگ آهک در کوره، آب گرفتن به آهک پخته‌شده و زیرورو کردن آن، سرد کردن آهک شکفته‌شده
	مصالح نباتی	بافت گیاهی مناسب نزدیک محل احداث بنا	قطع درختان، حمل به محل مصرف، پوست کندن و خشک کردن چوب، برش زدن به ابعاد مورد نیاز
	فلز	معدن دارای فلز مورد نظر	استخراج از معدن، فراوری در کارخانه، تبدیل به اشکال و وسایل مورد نیاز، انتقال به محل ساخت بنا
	مواد ترکیبی	خشت	خاک+ آب
آجر		خاک رس+ آب	ترکیب مواد، ورز دادن، آخوره بستن، قالب زدن، پختن در کوره
کاشی		خاک رس+ آب+ افزودنی‌ها	ترکیب مواد، ورز دادن، آخوره بستن، قالب زدن، خشک کردن، پختن در کوره، لعاب دادن
کاهگل		خاک مناسب+ آب+ کاه	ترکیب مواد، آخوره بستن مواد، ورز دادن
ساروج		آهک شکفته+ خاکستر+ خاک رس+ ماسه بادی+ الیاف گیاهی+ آب+ افزودنی‌ها	ترکیب مواد، ورز دادن، آخوره بستن، کوبیدن
شفته‌آهک		مخلوط شن و ماسه و خاک+ آهک شکفته+ آب	ترکیب مواد، ورز دادن
گچ‌خاک		خاک رس+ گچ+ آب	ترکیب مواد، هم زدن
گل‌آهک		خمیر آهک شسته+ خاک رس+ آب	ترکیب مواد، آخوره بستن مواد، ورز دادن

با مطالعه روی منابع مختلف در حوزه مصالح‌شناسی، مصالح مورد استفاده در بناهای سنتی شامل مواد اولیه و تعدادی از مواد ترکیبی، به‌همراه شرح مختصری از شیوه ساخت آن‌ها در جدول بالا ذکر شدند. با دقت روی فرایند تولید و روش ساخت مواد ترکیبی، می‌توان دریافت که برای تولید این مواد، فرایند پیچیده‌ای روی مواد اولیه انجام نشده و ماهیت مواد اولیه تشکیل‌دهنده آن‌ها به‌طور قابل توجهی تغییر نمی‌کند. از آنجاکه در ساخت بناهای تاریخی شهر کاشان، غالباً از مواد خالص بدون تغییرات اساسی و یا مواد ترکیبی‌ای که مطابق جدول، با تغییرات جزئی روی مواد اولیه تولید شده‌اند استفاده می‌شود، در این پژوهش ارزیابی شاخص‌های پایداری با تمرکز بر مواد اولیه صورت می‌گیرد؛ زیرا با توجه به عدم ایجاد تغییرات اساسی در ماهیت شیمیایی این مواد و صرف انرژی محدود و زمان نسبتاً کوتاه طی مراحل ساخت و تولید، بررسی مواد اولیه تشکیل‌دهنده آن‌ها تا حدود زیادی بیانگر خواص و ویژگی‌های این مواد ترکیبی نیز می‌باشد و ضرورتی برای بررسی تک‌به‌تک این مصالح به‌صورت مجزا وجود ندارد.

### ۳. روش پژوهش

پژوهش حاضر به روش ترکیبی، با استفاده از تحلیل، استدلال منطقی و به‌کارگیری پرسش‌نامه برای استفاده از نظر خبرگان تهیه شده است که در آن با استفاده از مطالعات کتابخانه‌ای، اطلاعات مورد نیاز استخراج و توصیف شده و در ادامه به تحلیل این مطالب پرداخته شده است. در این راستا، به‌منظور تنظیم طیفی مناسب برای سنجش و مقایسه هریک از این مصالح از دیدگاه شاخص‌های ذکر شده برای پایداری زیست‌محیطی، طیف لیکرت با ۵ درجه خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، خوب و خیلی خوب به کار گرفته شد. مقیاس لیکرت که در اصل توسط رنسیس لیکرت در سال ۱۹۳۳ معرفی شد، به‌طور گسترده در حوزه‌های مختلف مانند اندازه‌گیری خواص قابل مشاهده در زمینه‌های علوم اجتماعی و انسانی، اثربخشی داروها در داروشناسی، ساختارهای پنهانی که مستقیماً قابل مشاهده نیستند و موارد دیگر، مورد استفاده قرار می‌گیرد (میراحمدی‌زاده و دیگران ۱۳۹۷). همچنین برخی کاربردهای این روش در حیطه معماری، نظیر رتبه‌بندی هشت راهکار پدافند غیرعامل در طراحی ساختمان‌های مسکونی (صفوی همای و دیگران ۱۳۹۶)، استخراج ارزش‌های معماری پل‌های تاریخی (کرجانی و دیگران ۱۴۰۲) و ارزیابی ۴۰ نمونه ساختمان بلندمرتبه مسکونی از منظر شاخص‌های معماری ایرانی-اسلامی (مقدم‌راد و سپهری مقدم ۱۳۹۹) در پژوهش‌های مختلف مشاهده می‌شوند. در بررسی برخی از شاخص‌های مذکور، امکان استخراج اطلاعات کمی وجود داشته که در این صورت، داده‌های عددی موجود، در این ۵ بازه تقسیم‌بندی شدند. برخی دیگر از شاخص‌ها به‌صورت کیفی قابل تحلیل و بررسی بوده که پس از ذکر اطلاعات به‌دست‌آمده در آن زمینه، امتیاز مناسب بین ۵ درجه مذکور به مصالح مورد نظر اختصاص داده شد. دسته سوم از این شاخص‌ها به‌گونه‌ای بودند که نه امکان استخراج داده‌های عددی را داشته و نه اطلاعات موثق کافی برای یک تحلیل کیفی قابل قبول برای آن‌ها در دسترس بود. در این حالت، پرسش‌نامه‌ای شامل اسامی مصالح مورد بررسی و شاخص‌های مورد نظر به‌همراه توضیحات لازم، تنظیم گردید و به‌صورت یک مصاحبه نیمه‌عمیق، توسط ۲۰ نفر متخصص معماری پاسخ داده شد. این ۲۰ نفر متخصص، از میان اساتید دانشگاهی رشته معماری که دارای تجربه فعالیت در این زمینه و مدارک کارشناسی‌ارشد و دکتری هستند، انتخاب شدند تا علاوه بر دانش آکادمیک کافی و جامع در ابعاد مختلف موضوع، تجربه فعالیت در پروژه‌های متعدد و آشنایی با انواع مصالح را نیز داشته باشند. با توجه به دانش بالای مصاحبه‌شوندگان، به‌جای طرح سؤالات کوتاه و جزئی، از سؤالات جامع‌تر استفاده شد و از متخصصان درخواست شد تا به هر کدام از مصالح مورد بررسی، امتیازی بین ۱ تا ۵ اختصاص دهند و تعیین کنند کدام مورد از جهت آن شاخص، شرایط مطلوب‌تری دارد که در نهایت، پاسخ‌های ارائه‌شده توسط این کارشناسان اغلب با یکدیگر هم‌راستا بودند و پاسخ‌های متضاد و متناقضی دیده نمی‌شد. همچنین با در نظر گرفتن قسمتی برای ارائه توضیحات اضافه متخصصان، از آن‌ها خواسته شد تا هرگونه اطلاعات جانبی را که در رابطه با هر شاخص دارند، در قسمت مربوطه داخل پرسش‌نامه درج کنند تا در فرایند تحلیل برای نگارندگان کمک‌کننده باشد. در ادامه، هریک از این روش‌ها حین تحلیل و بررسی شاخص مورد نظر و ارائه داده‌های موجود، به‌تفصیل بررسی خواهند شد.

#### ۴. یافته‌ها و تحلیل، ارزیابی مصالح از منظر پایداری زیست‌محیطی

براساس توضیحات ارائه شده از تعریف مصالح بومی کاشان و ویژگی‌های آن‌ها و با استفاده از جدول تهیه شده از انواع و مواد تشکیل دهنده این مصالح، با استناد بر شاخص‌های ذکر شده برای پایداری زیست‌محیطی در مصالح، به ارزیابی آن‌ها از دیدگاه پایداری زیست‌محیطی پرداخته و نتایج مطالعات پیشین مبنی بر پایدار بودن مصالح بومی، به‌طور اختصاصی برای شهر کاشان مورد مطالعه قرار می‌گیرد. با توجه به تعدد یافته‌های کلی و جزئی مستخرج از منابع در پژوهش حاضر، بیان یافته‌ها به تدریج و به‌صورت هم‌زمان با تحلیل آن‌ها صورت می‌گیرد و این روش، راه مناسب‌تری نسبت به جداسازی بخش یافته‌ها و تحلیل به نظر می‌رسد.

##### ۴.۱. کمترین میزان مصرف انرژی برای تولید

انرژی صرف شده برای مصالح، شامل بخش‌های گوناگونی نظیر انرژی حین استخراج، انرژی زمان اجرا و یا حتی انرژی مصرفی برای تعمیر و نگهداری مصالح است؛ در این قسمت، انرژی مورد نیاز برای تولید مد نظر است. از میان مصالح مورد بررسی در این پژوهش، خاک، فقط نیازمند برداشت از بستر، حمل به محل ساخت و انجام فرایندهای بسیار ساده (مانند الک کردن) برای آماده‌سازی است که تنها انرژی لازم برای تولید آن، انرژی حمل و نقل بوده که برای تهیه تمامی مصالح مورد نیاز است. در نتیجه خاک با کمترین مصرف انرژی ممکن، در بازه خیلی خوب قرار می‌گیرد. مصالح سنگ، گچ، آهک و آهن همگی علاوه بر موارد ذکر شده، نیاز به استخراج از معدن نیز دارند که سنگ به دلیل اینکه صرفاً نیازمند استخراج و انجام مراحل نظیر شکستن و خرد کردن سنگ‌ها به ابعاد مورد نظر است، بعد از خاک، در بازه خوب قرار می‌گیرد. در تهیه چوب نیز تنها انرژی قابل توجه برای تولید، مربوط به مراحل نظیر قطع درختان، خشک کردن چوب‌ها در هوای آزاد و بریدن آن‌ها به ابعاد مورد نظر است که نیاز به صرف انرژی چندانی ندارد و می‌توان به‌طور حدودی آن را معادل انرژی مورد نیاز برای استخراج سنگ دانست و چوب را نیز در بازه خوب قرار داد. گچ، آهک و آهن نیاز به پخت در کوره و فراوری دارند. از میان انرژی‌های مصرفی برای تولید این مصالح، فقط بخش‌های محدودی مانند مرحله پخت در کوره امکان ارائه حدودی اطلاعات عددی دارد. اگر به سنگ گچ در حدود ۱۷۰ درجه حرارت بدهیم، ۱/۵ مولکول از آب تبلور خود را از دست داده و به گچ ساختمانی به فرمول  $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$  تبدیل می‌شود (کیاری ۱۳۷۵). همچنین اگر فشار یک اتمسفر باشد، سنگ آهک در حرارت ۸۹۴/۵ درجه می‌پزد (همان؛ حامی ۱۳۷۶). با توجه به شباهت حدودی مراحل فراوری گچ و آهک، براساس حرارت بالاتر مورد نیاز برای کوره پخت آهک، می‌توان گفت در مقایسه با گچ، نیاز به انرژی بیشتری برای تولید دارد و در نتیجه گچ در بازه متوسط و آهک در بازه ضعیف قرار می‌گیرند. آهن در گرمای ۱۵۳۰ درجه ذوب می‌شود (حامی ۱۳۷۶). دمای بالای مورد نیاز برای ذوب کردن آهن و همچنین انرژی لازم برای تهیه وسایل و اشکال فلزی مختلف در کارخانه، نشان می‌دهد که تولید آهن آلات در مقایسه با سایر مصالح مورد بررسی، نیاز به انرژی بیشتری دارد و در بازه خیلی ضعیف قرار می‌گیرد.

##### ۴.۲. استخراج حداقل مواد خام و مصرف کمترین منابع اولیه و آب

در مصالحی نظیر خاک و سنگ، تمام ماده استخراج شده استفاده می‌شود و دارای نخاله بسیار کمی است که می‌توان از آن صرف نظر کرد؛ در نتیجه نیاز به کمترین میزان استخراج مواد خام نسبت به مقدار مصالح مورد نیاز دارند. در تهیه خاک، حتی در صورت نیاز به الک کردن و تولید خاک رس، دانه‌های درشت‌تر باقی‌مانده بسته به دانه‌بندی و جنس آن‌ها، در بخش‌های دیگری از بنا مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین سنگ به دلیل نیاز به ابعاد مختلف آن در ساختمان، دارای نخاله بسیار کمی است که قطعات درشت‌تر به‌عنوان سنگ لاشه، قطعات کوچک‌تر به‌عنوان سنگ قلوه و سنگ‌های ریزتر (که طی فرایند خرد کردن سنگ‌های بزرگ تولید می‌شوند) به‌عنوان شن در قسمت‌های مختلف به کار می‌روند. همچنین این دو ماده برای آماده‌سازی به آب و یا مواد دیگری نیاز ندارند که با توجه به مطالب ذکر شده، می‌توان بازدهی آن‌ها را تقریباً ۱۰۰ درصد در نظر گرفت. در تولید مصالح نباتی، برای طی مراحل پوست‌کنند، خشک

کردن چوب و برش به ابعاد دلخواه، نیاز قابل توجهی به استفاده از آب وجود ندارد. قطعات بزرگ‌تر به‌عنوان تیرها و الوارهای بزرگ و قطعات کوچک‌تر در بخش‌های دیگری از بنا مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ با وجود این، به‌دلیل عدم امکان به‌کارگیری پوسته و برخی بخش‌های دیگر چوب در ساخت بنا (مگر به‌عنوان هیزم و ذغال)، از ۱۰۰ درصد مصالح استخراج‌شده در احداث ساختمان استفاده نمی‌گردد و برای تهیه میزان مشخصی چوب قابل استفاده در بنا، نیاز به قطع میزان بیشتری از چوب درختان است.

برای سنجش مصالحی مانند گچ، آهک و فلز، باید عیار سنگ خام آن‌ها و مقدار مصالح قابل مصرف پس از تولید بررسی شود. گچ ساختمانی باید با سنگ گچی پخته گردد که کمینه ۸۰٪ وزنش  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  باشد (حامی ۱۳۷۶): البته طی فرایند پخت، آب شیمیایی موجود در این ترکیب نیز تا حدود زیادی کاهش می‌یابد. با وجود نیاز به مقادیر مختلفی از آب برای تولید ملات‌های متشکل از گچ، در فرایند پخت گچ ساختمانی به مصرف آب احتیاجی نیست. برای بررسی آهن، درصد عیار در انواع سنگ‌ها متفاوت است. برای مثال سنگ آهن مغناطیسی  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  تا ۶۸٪، سنگ آهن سرخ (هماتیت)  $\text{O}_3\text{Fe}_2$  تا ۶۰٪ و سنگ آهن لیمویی تا قهوه‌ای  $\text{Limonite} = 2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  تا ۵۰٪ وزنش آهن دارد (همان). همچنین طی فرایند تولید اشکال گوناگون آهن، در مراحل مختلف آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در ارتباط با تولید آهک، اگر ۱۰۰ کیلوگرم سنگ آهک خالص را به کوره ببریم، ۵۶ کیلوگرم آهک به دست خواهد آمد (کباری ۱۳۷۵). در نتیجه درصد عیار سنگ آهک‌های غالب مورد استفاده را می‌توان ۵۶٪ در نظر گرفت. همچنین براساس شیوه ذکر شده برای تهیه آهک در جدول (۳)، آب یکی از منابع اصلی مورد نیاز در فرایند تولید آهک است. به‌طور کلی با توجه به مطالب گردآوری شده و تحلیل‌های عنوان شده، می‌توان خاک و سنگ را با بازدهی حدوداً ۱۰۰٪ در بازه خیلی خوب، مصالح نباتی را با بازدهی کمی پایین‌تر از ۱۰۰٪ در بازه خوب، گچ را با بازدهی ۸۰٪ در بازه متوسط، فلز را با میانگین بازدهی ۵۹٪ (میانگین ارقام ذکر شده برای انواع سنگ آهن) و نیاز به مصرف آب در بازه ضعیف و آهک را با بازدهی ۵۶٪ و نیاز مبرم به آب برای تولید، در بازه خیلی ضعیف قرار داد. شایان ذکر است این دسته‌بندی‌ها به‌صورت نسبی بوده و ابزاری برای مقایسه این مصالح با یکدیگر است.

#### ۳.۴. کمترین خطر استحصال برای محیط‌زیست

به‌علت وابستگی این شاخص به شیوه استحصال هریک از مصالح، ارزیابی آن با کمک پرسش‌نامه صورت گرفت. با جمع‌بندی نتایج پرسش‌نامه‌ها، خاک در بازه خیلی خوب، مصالح نباتی در بازه خوب، سنگ، گچ و آهک در بازه متوسط و فلز در بازه خیلی ضعیف قرار گرفتند که این نتایج، با توجه به روش تهیه هریک از این مصالح که پیش‌تر ذکر شد، متناسب به نظر می‌رسد؛ چراکه خاک، نیاز به طی فرایندی پیچیده برای تولید که موجب آسیب به محیط‌زیست شود نداشته و فقط از بستر مناسب به محل مصرف حمل می‌شود. مصالح نباتی نیز اگر با شیوه مناسب و به حداقل میزان مورد نیاز استخراج شده و بافت گیاهی منطقه را از بین نبرد، فرایند آماده‌سازی آن (شامل خشک کردن، بریدن و...) برای محیط‌زیست خطری ایجاد نمی‌کند. سنگ، گچ و آهک، همگی نیاز به استخراج از معدن داشته و شرایط یکسانی از جهت ارتباط با طبیعت دارند؛ زیرا سایر مراحل آماده‌سازی آن‌ها مانند پخت در کوره یا برش سنگ‌ها، محیط‌زیست را به خطر نمی‌اندازد و فقط در صورت استفاده از روش نامناسب برای استخراج از معدن، چنین خطری وجود دارد. اما فلزات به‌علت نیاز به فراوری در کارخانه، شرایط متفاوتی داشته و علاوه بر موارد مطرح شده در مورد استخراج سنگ از معدن و خطرات احتمالی آن، انجام فرایند تولید در کارخانه و ایجاد پسماندهای کارخانه‌ای می‌تواند موجب بروز خطراتی برای طبیعت شوند.

#### ۴.۴. عدم ایجاد مسمومیت و سرطان‌زایی

ایجاد مسمومیت و سرطان‌زایی حین استخراج و تولید مصالح، می‌تواند شامل ابعاد مختلفی نظیر انتشار گازهای سمی، آلوده‌سازی خاک، ایجاد مسمومیت در آب‌های زیرزمینی و مواردی از این قبیل شود. برخی روش‌های موجود برای استخراج سنگ معدن، مانند روش استفاده از پودرهای منبسط‌شونده و یا روش آتش‌کاری، می‌توانند باعث تولید گازهای سمی شوند (ابراهیم‌آبادی، علوی، و کهربای منفرد ۱۳۹۱) که این موضوع در رابطه با تمام مصالح مورد بررسی که

نیاز به استخراج از معدن دارند، یعنی سنگ، گچ، آهک و فلز، صدق می‌کند؛ در نتیجه خاک و مصالح نباتی به دلیل نیاز نداشتن به استخراج از معدن و داشتن مراحل فراوری ساده‌تر، شرایط بهتری نسبت به سایر موارد دارند. به علاوه اگر مصرف سوخت به عنوان یکی از عوامل تولید آلاینده‌ها و گاهی گازهای سمی در نظر گرفته شود، با توجه به اینکه گچ، آهک و فلز علاوه بر سوخت مورد نیاز برای حمل و نقل و استخراج، نیاز به پخت در کوره نیز دارند، نسبت به سنگ سوخت بیشتری برای تولید آن‌ها مصرف می‌شود. میزان انتشار آلاینده‌ها در هوا، به میزان سوخت مصرف شده بستگی دارد (لطفعلیان، بدرقی، و نقوی ۱۳۸۹)؛ در نتیجه سنگ در مقایسه با سه مورد مذکور، از شرایط بهتری در جهت عدم ایجاد مسمومیت برخوردار است. در بررسی فلزات نیز شایان ذکر است که فعالیت‌های معدن کاوی همچون استخراج و فراوری فلزات، موجب آلودگی خاک با فلزات سنگین و گسترش بیابان‌زایی می‌شود (رضائی‌پور باغدر و دیگران ۱۳۹۴؛ اکبری و دیگران ۱۳۹۵؛ سیستانی و دیگران ۱۳۹۶؛ Khashtabeh et al. 2020). فلزات سنگین از آلاینده‌های مهم معدنی محیطی هستند که در غلظت‌های خیلی کم نیز سمی‌اند و زمانی که غلظت مواد سمی از آستانه مشخصی تجاوز کند، حاصلخیزی یا توان تولید زمین ممکن است به صفر کاهش یابد (خشتابه و دیگران ۱۴۰۱)؛ در نتیجه استخراج و تولید فلز بیشتر از سایر مصالح مورد بررسی، منجر به ایجاد مسمومیت و سرطان‌زایی می‌شود.

در عین توجه به مطالب ذکر شده، برای بررسی همه‌جانبه این موضوع از ابعاد مختلف که به دلیل نیاز به انجام آزمایش‌های تخصصی در اینجا ممکن نیست، به کمک تهیه پرسش‌نامه، نظر متخصصان در این باره گردآوری شد که نتایج حاصل از پرسش‌نامه، کاملاً منطبق بر نتایج به دست آمده از اطلاعات ذکر شده است. در نهایت براساس نتیجه تحلیل‌های صورت گرفته و همچنین جمع‌بندی امتیازات پرسش‌نامه‌ها، خاک و مصالح نباتی در بازه خیلی خوب، سنگ در بازه خوب، گچ و آهک در بازه متوسط و فلز در بازه خیلی ضعیف قرار گرفتند.

#### ۴.۵. کوتاه‌ترین فاصله حمل و نقل و بی‌نیازی از انبار

نکته اساسی در بررسی این شاخص، فاصله محل تهیه این مصالح از محل ساخت پروژه و طول مسیر رفت و آمد است. با توجه به بومی بودن مصالح مورد بررسی، طبیعتاً این شاخص تا حدود قابل توجهی در تمامی آن‌ها برقرار بوده و در اینجا هدف، فقط مقایسه همین مصالح است. خاک به دلیل فراوانی بسیار، به ویژه در کاشان، و نیاز نداشتن به فرایند آماده‌سازی خاص، می‌تواند از فواصل نزدیک مستقیماً به محل ساخت بنا حمل شود. سنگ به جز حمل از معدن به محل ساخت بنا، نیاز به شکسته شدن به ابعاد مورد نیاز دارد که در همان محل قابل انجام است. اما مصالح دیگر از جمله گچ، آهک و فلز، پس از استخراج سنگ از معدن، نیازمند انجام فرایندهایی هستند که ضرورت حمل آن‌ها به مکان دیگری را ایجاد می‌کند و این موضوع باعث افزایش فواصل حمل و نقل آن‌ها می‌شود. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، گچ و آهک می‌توانند در کوره‌های محلی فراوری شوند؛ اما آهن باید علاوه بر طی مراحل فراوری و استخراج آهن از سنگ آهن، مراحل دیگری را به منظور ساخت وسایل و اشکال فلزی مورد نیاز (مانند میخ، دستگیره، کوبه و...) در کارخانه بگذرانند و حتی در صورت دور بودن کارخانه از محل ساخت بنا، چاره‌ای جز حمل این مصالح در این مسافت وجود ندارد. در بررسی مصالح نباتی، حتی در صورت استفاده از چوب درختان در دسترس و مختص همین اقلیم، بازهم انتقال چوب از محل قطع درختان که با توجه به پوشش گیاهی محدود کاشان ممکن است از محل پروژه دور باشد، اجتناب‌ناپذیر است. به علاوه چوب‌های مختص این منطقه نمی‌توانند به‌طور کامل پاسخ‌گوی نیاز تمام بخش‌های بنا باشند و برای برخی قسمت‌ها، احتیاج به حمل گونه‌های خاصی از چوب از مسافت‌های دورتر وجود دارد. همچنین با توجه به ضرورت خشک کردن چوب‌ها پیش از استفاده، نیاز به انبارسازی آن‌هاست که برای سایر مصالح مذکور چنین ضرورتی وجود ندارد.

در نتیجه براساس موارد ذکر شده، خاک با کوتاه‌ترین فاصله حمل و بی‌نیازی از انبار در بازه خیلی خوب، سنگ به دلیل انتقال مستقیم از معدن به محل پروژه در بازه خوب، گچ و آهک با توجه به استخراج از معدن و امکان فراوری در مکانی نزدیک به محل بنا در بازه متوسط، چوب به علت فراوانی نه‌چندان زیاد آن در اقلیم مذکور و نیاز به انبارسازی در بازه ضعیف و آهن با فاصله حمل زیاد و گذراندن مراحل ساخت و انبارسازی در کارخانه، در بازه خیلی ضعیف قرار می‌گیرد.

شایان ذکر است که تمامی مصالح ترکیبی ذکرشده در جدول (۳) یا در محل ساخت پروژه قابل تهیه بوده و یا به کمک کوره‌های محلی قابل ساخت هستند و نیازی به حمل در مسافتی مضاعف بر مواد اولیه خود ندارند.

#### ۴.۶. حداقل زمان ساخت

از بین مصالح مورد بررسی، سرعت دستیابی به خاک با توجه به فرایند ساده تهیه آن، صرفاً بستگی به زمان حمل آن از نزدیک‌ترین فاصله ممکن و سرعت کارگران در جابه‌جایی آن دارد. برای تهیه سنگ نیز به‌جز مسئله حمل از معدن، نیاز به شکستن سنگ‌ها به ابعاد لازم وجود دارد که زمان مورد نیاز برای این کار، با توجه به وابستگی آن به ابعاد مد نظر برای سنگ‌ها و همچنین سرعت و تعداد کارگران، قابل تعیین نیست؛ اما در تهیه گچ، به‌جز زمان لازم برای حمل و نقل و آسیاب کردن، زمان مشخصی برای پخت در کوره نیز مورد نیاز است. به‌طور کلی در کوره‌های اتوماتیک مدت زمان پخت، از هنگام ورود سنگ گچ به کوره تا خروج پودر گچ، حدود ۲ ساعت طول می‌کشد و در کوره‌های نیمه‌اتوماتیک، عمل پخت حداکثر در ۱۰ ساعت انجام می‌پذیرد (امام ۱۳۶۸). در مراحل تولید آهک نیز، سنگ آهک در کوره‌های چاهی (قدیمی‌ترین نوع کوره متداول در ایران) پس از حدود ۴۸ ساعت پخته می‌شود. همچنین فرایند هیدراته کردن آهک چه از روش تنگ گذاشتن و چه از روش خشک، به ۴۸ ساعت زمان نیاز دارد (کباری ۱۳۷۵) که پس از طی این دو مرحله و انجام فرایند سرند کردن، آهک قابل استفاده در ساختمان‌سازی به دست می‌آید. برای تهیه چوب پس از مراحل قطع درختان، حمل به محل مصرف و جداسازی پوست چوب، باید فرایند خشک کردن روی آن صورت پذیرد. خشک کردن چوب در هوای آزاد از ۴ تا ۱۲ ماه و گاهی ۲۴ ماه طول می‌کشد. اما خشک کردن چوب در کوره، بسته به جنس الوارها و درصد رطوبت مطلوب برای چوب نهایی، بین ۴ تا نهایتاً ۱۴ روز به طول می‌انجامد (همان). زمان لازم برای مراحل تولید فلزات به‌طور دقیق قابل عنوان نیست؛ اما با توجه به وجود مراحل استخراج سنگ از معدن، حمل به کارخانه، پخت در کوره برای جداسازی فلز خام از سنگ و همچنین ساخت وسایل فلزی با اشکال مختلف، می‌توان نتیجه گرفت که در مجموع تولید این فلزات زمان بیشتری نسبت به سایر مصالح به خود اختصاص می‌دهد. در مجموع، با توجه به نیاز همه مصالح به زمانی برای حمل و نقل و جابه‌جایی توسط کارگران، خاک که فقط به همین مراحل برای آماده‌سازی نیاز دارد، در بازه خیلی خوب قرار می‌گیرد. سنگ به‌علت حمل از مسافتی دورتر نسبت به خاک (حمل از معدن سنگ) و همچنین نیاز به فرایند خرد کردن سنگ‌ها، در بازه خوب واقع می‌شود. از میان گچ و آهک که علاوه بر حمل از معدن، نیاز به زمانی برای پخت در کوره و آماده‌سازی دارند، گچ به‌علت زمان پخت کوتاه‌تر در بازه متوسط و آهک در بازه ضعیف قرار می‌گیرد. فلز نیز با توجه به مراحل فراوری ذکرشده در کنار چوب با فرض انجام فرایند خشک کردن آن در هوای آزاد، هر دو در بازه خیلی ضعیف قرار خواهند گرفت.

با توجه به اینکه برای ساخت مصالح ترکیبی، به‌دلیل انجام فرایندی مضاعف روی مواد اولیه، ممکن است نیاز به صرف زمان بیشتری باشد، می‌توان یک بررسی اجمالی درباره این مصالح نیز انجام داد. در برخی از مراحل تهیه آن‌ها، زمان لازم به‌صورت حدودی قابل بیان است، اما بیشتر این مراحل دارای زمان مشخصی نیستند و بستگی به سرعت کارگران و سایر عوامل تأثیرگذار دارند. برای مثال در تهیه خشت، زمان مورد نیاز برای ترکیب و ورز دادن مواد و قالب زدن آن‌ها وابسته به سرعت و تعداد کارگران است. اما برای آخوره بستن مواد ترکیب‌شده، بین ۲۴ تا ۴۸ ساعت زمان لازم است تا آب در مولکول‌های خاک نفوذ کند (زمرشیدی ۱۳۷۷). همچنین برای خشک کردن خشت در هوای آزاد، بسته به آب‌وهوا و رطوبت منطقه، بین ۳ تا ۱۵ روز زمان مورد نیاز است (کباری ۱۳۷۵؛ حامی ۱۳۷۶). برای تهیه آجر نیز علاوه بر زمان لازم برای آخوره بستن مواد (مشابه خشت)، زمانی برای پخت آجر در کوره مورد نیاز است که بسته به نوع کوره مورد استفاده متفاوت است. در کوره هوفمان (متداول‌ترین نوع کوره آجرپزی در ایران) خشت طی ۳ تا ۴ روز پخته می‌شود و در کوره چاهی (قدیمی‌ترین کوره آجرپزی در ایران)، این فرایند ۶ تا ۷ روز به طول می‌انجامد (کباری ۱۳۷۵). برای تهیه کاشی نیز پس از ترکیب مواد، آخوره بستن و قالب‌بندی، پخت آن در دو مرحله انجام می‌شود: مرحله اول برای از بین بردن رطوبت قطعه و مرحله دوم مربوط به لعاب دادن روی کاشی است که هرکدام از این مراحل

حدود ۳ روز طول می‌کشند (همان). در تهیه ملات‌های مذکور نیز به‌جز ترکیب مواد، هم زدن، ورز دادن و کوبیدن که دارای زمان مشخصی نیستند، برخی از آن‌ها نیاز به زمانی برای آخوره بستن دارند. برای مثال، فرایند آخوره بستن ملات کاهگل به مدت ۲ تا ۳ روز، ملات ساروج به مدت ۴۸ ساعت و ملات گل‌آهک به مدت لازم برای خیس شدن کامل خاک، به طول می‌انجامد (زمرشیدی ۱۳۷۷). ملات‌های شفته‌آهک و گچ‌خاک نیاز به آخوره بستن و صرف زمان مشخصی برای عمل‌آوری ندارند.

براساس مطالب بیان‌شده و با یک محاسبه تقریبی می‌توان نتیجه گرفت که زمان ساخت این مصالح ترکیبی از زمان استخراج مواد اولیه تا انتها، در همان طیف ذکرشده برای مواد اولیه جای می‌گیرد؛ زیرا طولانی‌ترین فرایندها مربوط به چوب و فلز بودند که ماده اولیه هیچ‌یک از این مصالح نیستند و در ساخت این مصالح ترکیبی از مواد اولیه‌ای که زمان کمتری برای تولید احتیاج داشتند استفاده شده است؛ مانند خاک، گچ و آهک. برای مثال خشت، که از بین مصالح ترکیبی مورد بررسی بیشترین زمان ساخت را به خود اختصاص می‌دهد، از خاک تشکیل شده که زمان زیادی برای تهیه احتیاج ندارد و با توجه به ارقام بیان‌شده، به‌طور حدودی به دو هفته زمان برای تکمیل فرایند ساخت خشت نیاز است که این زمان در حدود زمان لازم برای تهیه فلز قرار می‌گیرد. به‌طور کلی، می‌توان نتیجه گرفت که زمان لازم برای تولید مصالح ترکیبی ذکرشده، به‌رغم لزوم انجام فرایند آماده‌سازی و عمل‌آوری، در بازه‌های فراتر از طیف حاصل برای مواد اولیه قرار نگرفته و حداکثر ذکرشده در این طیف، برای مصالح ترکیبی نیز صادق است.

#### ۷.۴. کمترین هزینه تولید

برای یافتن میزان کمی هزینه تولید مصالح مورد نظر، نیاز به استخراج ارقام تک‌به‌تک مراحل تولید آن‌ها شامل هزینه‌های مربوط به ماده اولیه، انرژی‌های مصرفی مانند برق و گاز، نگهداری از کارگاه یا کارخانه ساخت مصالح، دستمزد کارگران، وسایل حمل‌ونقل و موارد جزئی و کلی دیگری است که علاوه بر گستردگی و تعدد موارد مذکور، به‌علت متغیر بودن این هزینه‌ها در کارگاه‌ها و کارخانجات مختلف، استخراج این ارقام امری بسیار دشوار است. به‌علاوه میزان استفاده از هریک از این مصالح در ساخت بنا با توجه به کاربردهای مختلف آن‌ها، با یکدیگر متفاوت بوده و یافتن نسبت بین هزینه ساخت هر گرم از این مصالح با میزان مصرف آن در ساخت یک بنا، امری بسیار پیچیده است. در نتیجه نظر متخصصانی که تجربه کار حرفه‌ای داشته و با این ارقام سروکار دارند، به‌منظور مقایسه هزینه تولید مصالح مختلف می‌تواند بسیار کمک‌کننده باشد. درنهایت، ارزیابی این شاخص با کمک تهیه پرسش‌نامه امکان‌پذیر شد. با جمع‌بندی نتایج پرسش‌نامه‌ها، خاک در بازه خیلی خوب، گچ، آهک و مصالح نباتی در بازه متوسط و سنگ و فلز در بازه ضعیف قرار گرفتند.

#### ۸.۴. نیاز نداشتن به ماشین‌آلات پیشرفته و فناوری ساخت دور از دسترس

خاک ماده‌ای مقرون‌به‌صرفه است که در محل ساخت بنا یافت می‌شود و نیاز به فرایند ساخت پیچیده‌ای ندارد (Mahmoud and Rowaida 2019). در صورت نبود خاک مطلوب در سایت بنا نیز فقط لازم است خاک دارای کیفیت مورد نیاز به محل ساخت حمل شود و پس از الک شدن توسط کارگران، به خاکی با دانه‌بندی مطلوب تبدیل گردد؛ در نتیجه برای تهیه خاک، داشتن وسیله حمل‌ونقل که برای تهیه تمامی مصالح لازم است، کافی است. سنگ نیز یکی از مصالحی است که از عهد باستان تاکنون برای امر ساختمان‌سازی استفاده می‌شود (زمرشیدی ۱۳۷۷). برای تهیه سنگ در ابعاد مختلف صرفاً باید پس از استخراج از معدن و حمل به بنا، با وسایلی مانند سنگ‌خردکن آن را به ابعاد مطلوب تبدیل کرد. در تهیه گچ و آهک، علاوه بر انتقال سنگ آن‌ها از نزدیک‌ترین معادن، نیازمند پخت در کوره هستند که این فرایند می‌تواند در کوره‌های محلی و در دسترس انجام شود و ضرورتی برای انتقال سنگ گچ و آهک به کارخانه وجود ندارد. پس از پخته شدن نیز برای انجام مراحل محلی مانند آسیاب کردن و سرند کردن، تجهیزات ویژه‌ای مورد نیاز نیست؛ در نتیجه در تهیه گچ و آهک قابل استفاده در ساخت بناها، به‌جز وسیله حمل، کوره‌ای برای پخت سنگ‌ها و وسایل ساده‌ای برای فراوری نهایی، تجهیزات دیگری لازم نیست. برای استفاده از مصالح نباتی نیز پس از قطع درختان دارای چوب مورد نیاز، حمل به بنا، جدا کردن پوست و خشک کردن آن‌ها، باید به ابعاد مورد نیاز تقسیم



و برش زده شوند: از ابعاد تیرهای چوبی تا ذرات کاه. در تولید فلزات نیز علاوه بر مراحل استخراج، حمل و نقل و پخت در کوره، به دلیل ضرورت تولید وسایل فلزی در کارخانه، در مقایسه با سایر مصالح احتیاج بیشتری به ماشین آلات و فناوری ساخت پیشرفته وجود دارد.

در مجموع، خاک به دلایل مطرح شده در بازه خیلی خوب، سنگ به دلیل نیاز به اندکی تجهیزات بیشتر نسبت به خاک در بازه خوب، مصالح نباتی به علت احتیاج به تجهیزات قطع و برش درختان و خشک کردن آن‌ها در بازه متوسط، گچ و آهک به دلیل نیاز به استخراج از معدن و پخت در کوره و فراوری بعد از آن در بازه ضعیف و فلز با توجه به مسائل مطرح شده، در بازه خیلی ضعیف قرار می‌گیرند. با نگاهی اجمالی به مصالح ترکیبی و روش تهیه هر کدام از آن‌ها در جدول (۳)، می‌توان دریافت که هیچ کدام با انجام فرایند پیچیده‌ای روی مواد اولیه تولید نمی‌شوند و فقط نیاز به مراحل مانند ترکیب مواد، هم زدن، آخوره بستن، ورز دادن، کوبیدن، خشک کردن و یا در پیچیده‌ترین حالت نیاز به پخت در کوره دارند که هیچ‌یک از این مراحل، تجهیزات پیشرفته‌ای نیاز ندارند و در محل ساخت توسط کارگران قابل انجام هستند.

#### ۹.۴. عدم ایجاد سروصدا

اغلب این مصالح در حین ساخت و ساز، سروصدای چندانی ایجاد نمی‌کنند. مثلاً خاک از هنگام برداشت از محیط تا حمل به بنا و ترکیب با سایر مواد برای تولید مصالح ترکیبی، تولید صدا نمی‌کند که در بازه خیلی خوب قرار می‌گیرد. سنگ، گچ، آهک و فلز همگی برای استخراج از معدن تا حدودی سروصدا تولید می‌کنند. گچ و آهک در ادامه فرایند تولید و پخت در کوره تا ترکیب با سایر مواد برای ساخت ملات‌ها، سروصدایی ندارند که آن‌ها را در بازه خوب قرار می‌دهد. اما سنگ در حین شکستن و خرد شدن به ابعاد مورد نیاز، اندکی سروصدا دارد و در بازه متوسط قرار می‌گیرد. چوب نیز زمان بریدن درختان و همچنین حین اجرا در بنا به علت نیاز به کوبیدن میخ برای اتصال، آلودگی صوتی ایجاد می‌کند و می‌توان آن را در بازه ضعیف قرار داد. فلز علاوه بر صدای ناشی از استخراج، به علت نیاز به فراوری در کارخانه و تولید اشکال مختلف فلزی و همچنین اتصالات این اجزا در هنگام ساخت بنا، تولید آلودگی صوتی بیشتری دارد و در بازه خیلی ضعیف قرار می‌گیرد.

#### ۱۰.۴. استفاده نکردن از مواد شیمیایی در تولید

با توجه به مواد تشکیل دهنده و روش تهیه مصالح مورد نظر که در جدول (۳) ذکر شد، می‌توان دریافت که در تولید هیچ‌یک از این مصالح، از مواد شیمیایی استفاده نشده و همگی امتیاز کامل را در این زمینه به خود اختصاص می‌دهند.

#### ۱۱.۴. دوام بالای مصالح در راستای افزایش طول عمر ساختمان

دوام مصالح در راستای طول عمر ساختمان، دارای ابعاد متنوعی بوده و هریک از این مصالح در برابر عوامل مختلفی نظیر رطوبت، حرارت، فرسایش و موارد دیگر آسیب‌پذیرند. چوب علاوه بر خطر هجوم موربانه‌ها، پوسیدگی و فرسایش در زمان طولانی، در صورت وقوع آتش‌سوزی در بنا قابلیت اشتعال بالایی دارد و زود آسیب می‌بیند. فلز نیز با توجه به حساسیت بالا در برابر هوا و رطوبت، به مرور زمان دچار زنگ‌زدگی شده و کیفیت اولیه خود را از دست می‌دهد. ضعف اصلی گچ نیز رطوبت است و موجب خراب شدن شکل ظاهری آن و یا حتی در صورت زیاد بودن میزان رطوبت، باعث ایجاد تخریبات جدی در آن می‌شود. مصالح خاکی از دوام نسبتاً خوبی برخوردار بوده و اگر در معرض ضربات شدید یا مقدار نامتعارفی از رطوبت (مانند سیل) قرار نگیرند، می‌توانند طول عمر زیادی داشته باشند. سنگ و آهک نسبت به سایر مصالح مورد بررسی دارای بالاترین دوام بوده و زود دچار فرسایش نمی‌شوند و در برابر رطوبت نیز حساسیت بالایی ندارند. در طول تاریخ، ملات‌های آهکی در سازه‌های آبی و بخش‌هایی از ساختمان‌ها که در معرض رطوبت بوده، کاربرد گسترده‌ای داشته‌اند (حیدری، یونسی، و وطن‌خواه ۱۳۹۲)؛ در نتیجه با توجه به موارد ذکر شده، سنگ و آهک در بازه خیلی خوب، خاک در بازه خوب، گچ در بازه متوسط، فلز در بازه ضعیف و مصالح نباتی در بازه خیلی ضعیف قرار خواهند گرفت.

#### ۱۲.۴. حداکثر تناسب مصالح انتخابی با بوم و آب‌وهوای محل

از آنجاکه مصالح مورد بررسی در این پژوهش، مصالح بومی شهر کاشان هستند، همگی آن‌ها با بوم و آب‌وهوای این منطقه تناسب داشته و در این بخش امتیاز کامل را به خود اختصاص می‌دهند.

#### ۱۳.۴. قابلیت تعمیرات در زمان بهره‌برداری

امکان تعمیر مصالح در زمان بهره‌برداری از بنا، بستگی به نوع کاربرد ماده مورد نظر در ساختمان و محل مصرف آن داشته و روش‌های متنوعی برای این کار وجود دارد که نیازمند تجارب میدانی در این زمینه است؛ در نتیجه بهره‌مندی از نظر متخصصان به کمک پرسش‌نامه، می‌تواند روش مناسبی برای ارزیابی این شاخص باشد. در این راستا، با جمع‌بندی نتایج پرسش‌نامه‌ها، خاک در بازه خیلی خوب، گچ، آهک و فلز در بازه خوب و سنگ و مصالح نباتی در بازه متوسط قرار گرفتند.

#### ۱۴.۴. کمترین ضریب انتقال حرارت و بی‌نیاز از عایق کاری حرارتی

ضریب انتقال حرارتی، برای یک مصالح خاص برابر است با معکوس مقاومت حرارتی آن و مقاومت حرارتی، حاصل تقسیم ضخامت مصالح بر هدایت حرارتی آن‌هاست؛ در نتیجه ضریب انتقال حرارت با هدایت حرارتی نسبت مستقیم داشته و با در نظر گرفتن ضخامت یکسان برای مصالح مورد نظر، هرچه هدایت حرارتی بیشتر باشد، ضریب انتقال حرارت نیز بیشتر است. هدایت حرارتی برای خاک ۱/۲۸، خشت ۰/۷۵، سنگ مرمر ۲/۹، سنگ گرانیت ۳/۴۹، چوب سخت ۰/۱۲، گچ کاری ۰/۵۱، سنگ آهکی ۱/۵ و آهن ۱۲ w/m.k است (پوردیهیمی ۱۳۹۰). به علاوه هرچقدر ضریب انتقال حرارت و هدایت حرارتی کمتر باشند، طبیعتاً نیاز به عایق کاری حرارتی نیز کمتر است؛ در نتیجه با توجه به ارقام ذکر شده، چوب در بازه خیلی خوب، گچ و خاک در بازه خوب، آهک در بازه متوسط، سنگ در بازه ضعیف و آهن در بازه خیلی ضعیف قرار می‌گیرند. در هر دو حالت در نظر گرفتن خاک به صورت اولیه یا به صورت خشت و همچنین در مورد دو جنس مرمر و گرانیت برای سنگ، بازه‌های ذکر شده به همین صورت هستند و تغییری نمی‌کنند.

#### ۱۵.۴. حداکثر قابلیت بازگشت به طبیعت و امکان استفاده مجدد

هریک از این مصالح، پس از استخراج از طبیعت، تحت فرایندهای مختلفی قرار می‌گیرند تا به شرایط مطلوب برای استفاده در ساختمان برسند. باید ویژگی‌ها و ترکیبات این مواد در حین استخراج و بعد از انجام این فرایندها با یکدیگر مقایسه شوند تا قابلیت بازگشت به طبیعت هر یک از آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد. خاک علاوه بر اینکه نیاز به طی مراحل خاصی برای آماده‌سازی ندارد، حتی برای تبدیل آن به خشت یا آجر، به جز کاه یا ماده دیگری ترکیب نمی‌شود و همچنان قابل بازگشت به طبیعت است. سنگ نیز طی استخراج از معدن و شکسته شدن، تحت هیچ فرایندی که ماهیت شیمیایی آن را تغییر دهد قرار نمی‌گیرد؛ در نتیجه خاک و سنگ از جهت قابلیت بازگشت به طبیعت و استفاده مجدد، در بازه خیلی خوب قرار می‌گیرند. چوب به‌رغم اینکه بدون ترکیب با مواد دیگر به کار برده می‌شود، برای استفاده در ساخت بنا باید به ابعاد مختلف برش زده شود و پس از اتصال با سایر اجزا، یکپارچگی و فرم اولیه خود را از دست می‌دهد و همچنین پس از مدتی ممکن است دچار پوسیدگی شود. اما بازهم قابلیت بازگشت به طبیعت و استفاده در کاربری دیگری را دارد و می‌توان آن را در بازه خوب جای داد. گچ‌پزی یعنی حرارت دادن به سنگ گچ آبدار به طوری که بتوانیم ۱/۵ مولکول از آب تبلور آن را تبخیر نماییم (کباری ۱۳۷۵) یعنی تبدیل سنگ گچ سولفات کلسیم ( $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) به گچ ساختمانی ( $\text{Ca SO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ ). پودر گچ ساختمانی اگر در مجاورت آب قرار گیرد، ۱/۵ مولکول دیگر آب جذب کرده و با ۲ مولکول آب تبلور سخت شده و به سنگ گچ تبدیل می‌گردد (هرچند این سختی مطابق سختی سنگ گچ اولیه نیست، به خوبی می‌تواند در مقابل نیروهای وارده مقاومت نماید) (همان). با وجود اینکه پس از تهیه انواع ملات‌های گچی به علت ضرورت ترکیب گچ با مواد مختلف، نمی‌توان به‌سادگی آن را از سایر ترکیبات جدا کرد، به این دلیل که گچ خالص را پس از فرایند پخت و آماده‌سازی می‌توان مجدداً به شکل اولیه آن بازگرداند، گچ می‌تواند در بازه متوسط جای گیرد. فلزات این قابلیت را دارند که بارها ذوب شده و برای ساخت وسایل فلزی جدید مورد استفاده قرار گیرند؛ در نتیجه

امکان استفاده مجدد را دارند؛ اما از آنجاکه پس از استخراج فلز از سنگ معدن، قابلیت بازگشت به حالت اولیه وجود نداشته و نمی‌توان فلزات را به بستر طبیعت برگرداند، این ماده در مقایسه با سایر مصالح مورد بررسی در طیف ضعیف قرار می‌گیرد. در تعریف فرایند پخت آهک، به گرفتن  $\text{CO}_2$  سنگ آهک به یاری گرما تا  $\text{CaO}$  به جا ماند، آهک‌پزی گفته می‌شود ( $\text{CaO} + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{حرارت}$ ) (حامی ۱۳۷۶؛ کباری ۱۳۷۵). هیدرات کلسیم در مجاورت آب و هوا،  $\text{CO}_2$  هوا را گرفته و دوباره به سنگ آهک تبدیل می‌شود (کباری ۱۳۷۵). اما طی این فرایند نمی‌تواند دقیقاً به ماهیت اولیه خود بازگردد، و ویژگی‌های آن با آهک تازه استخراج‌شده تفاوت دارد. براساس این موضوع و همچنین با توجه به اینکه آهک در ساخت بنا به‌طور خالص به کار نمی‌رود و باید با مواد دیگری ترکیب شود که جداسازی آن از مواد ترکیب‌شده امری بسیار دشوار است، از جهت قابلیت بازگشت به طبیعت در مقایسه با سایر مصالح مورد بررسی، در بازه خیلی ضعیف قرار خواهد گرفت.

#### ۴.۱۶. دارای بیشترین منابع اولیه تجدیدپذیر

از آنجاکه مصالح مورد بررسی، مواد اولیه تشکیل‌دهنده مصالح ترکیبی هستند و با توجه به اینکه در بررسی شاخص پیشین مشخص شد که همگی این مصالح به‌گونه‌ای تجدیدپذیر بوده و فقط در مقایسه با یکدیگر دارای میزان قابلیت متفاوتی در بازگشت به طبیعت هستند، در مورد این شاخص می‌توان گفت تمامی این مصالح امتیاز کامل را گرفته و تمام منابع اولیه آن‌ها تجدیدپذیر به شمار می‌روند.

#### ۴.۱۷. کمترین میزان ضایعات و پسماندها و حداقل ایجاد آلودگی در تولید و بازیافت

میزان ضایعات و پسماندها را از دو جهت می‌توان بررسی کرد: یکی ضایعات حین تولید مصالح و دیگری ضایعات و پسماندهای پس از بازیافت آن ماده. این دو زاویه در دو مورد از شاخص‌های پیشین بررسی شدند. در بررسی شاخصی که مرتبط با استخراج حداقل مواد خام بود، درصد مصالح مفیدی که از ماده اولیه آن قابل استخراج است، مورد مطالعه قرار گرفته و امتیازات لازم به آن‌ها اختصاص یافت. همچنین در بررسی قابلیت بازگشت به طبیعت و امکان استفاده مجدد از آن‌ها، به این نتیجه رسیدیم که تمامی این مصالح تا حدودی بازگشت‌پذیر بوده و فقط در مقایسه با یکدیگر، امتیازات متفاوتی دریافت کردند. با نگاهی به بررسی‌های صورت‌گرفته روی این دو شاخص و امتیازات آن‌ها، مشاهده می‌شود که مصالح مختلف از زاویه این دو شاخص، امتیازات یکسانی را به خود اختصاص داده‌اند؛ در نتیجه برای بررسی کلی ضایعات و پسماندها از زمان تولید تا بازیافت، با در نظر گرفتن دو شاخص ذکر شده پیشین، امتیازاتی مشابه آن‌ها به مصالح مورد نظر اختصاص داده خواهد شد.

#### ۵. جمع‌بندی امتیازات حاصل از ارزیابی مصالح

نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل ۱۷ شاخص مورد مطالعه، منجر به دسته‌بندی مصالح مورد نظر در ۵ بازه خیلی خوب، خوب، متوسط، ضعیف و خیلی ضعیف شد که در هر شاخص، قرارگیری مصالح در این ۵ بازه نسبت به سایر شاخص‌ها متفاوت بود. انجام این دسته‌بندی، در هر شاخص با روش‌های مختلفی شامل استفاده از اطلاعات دقیق گردآوری‌شده از منابع متعدد، به کار بردن اطلاعات اندک موجود در منابع در کنار تحلیل‌های نگارندگان، استفاده از اطلاعات اولیه ارائه‌شده در جدول ۳ و ماهیت هریک از این مصالح، انجام تحلیل‌های کیفی توسط نگارندگان و یا با کمک پرسش‌نامه، صورت پذیرفت که با توجه به عدم امکان انجام آزمایش‌های عملی برای ۱۷ شاخص در یک پژوهش واحد، بهترین راه بررسی آن‌ها مطابق راهکارهای ذکر شده است. در انتها به‌منظور سهولت در ارزیابی این مصالح و امکان مقایسه آن‌ها با یکدیگر، برای هریک از این طیف‌ها اعدادی در نظر گرفته شد که امکان جمع‌زدن نتایج وجود داشته باشد. بدین منظور، به طیف خیلی خوب تا خیلی ضعیف به ترتیب اعداد ۵ تا ۱ اختصاص داده شد. در جدول ۴، نتایج حاصل از تحلیل مصالح مذکور از زاویه ۱۷ شاخص مورد بررسی، به‌همراه امتیازات عددی هریک از آن‌ها ذکر شده و اعداد به‌دست‌آمده جمع‌بندی خواهند شد.

جدول ۴: جمع‌بندی نتایج حاصل از تحلیل شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی مصالح

مراحل فراوری مصالح	عوامل مؤثر در پایداری زیست‌محیطی مصالح	خاک	سنگ	گچ	آهک	مصالح نباتی	فلز
استخراج و تولید	کمترین میزان مصرف انرژی برای تولید	۵	۴	۳	۲	۴	۱
	استخراج حداقل مواد خام و مصرف کمترین منابع اولیه و آب	۵	۵	۳	۱	۴	۲
	کمترین خطر استحصال برای محیط‌زیست	۵	۳	۳	۳	۴	۱
	عدم ایجاد مسمومیت و سرطان‌زایی	۵	۴	۳	۳	۵	۱
	مجموع امتیازات این مرحله	۳۰	۱۶	۱۲	۹	۱۷	۵
حمل و انبار	کوتاه‌ترین فاصله حمل و نقل و بی‌نیاز از انبار	۵	۴	۳	۳	۲	۱
	حداقل زمان ساخت	۵	۴	۳	۲	۱	۱
	کمترین هزینه تولید	۵	۲	۳	۳	۳	۲
	نیاز نداشتن به ماشین‌آلات پیشرفته و فناوری ساخت دور از دسترس	۵	۴	۲	۲	۳	۱
	عدم ایجاد سروصدا	۵	۳	۴	۴	۲	۱
ساخت‌وساز	استفاده نکردن از مواد شیمیایی در تولید	۵	۵	۵	۵	۵	۵
	مجموع امتیازات این مرحله	۲۵	۱۸	۱۷	۱۶	۱۴	۱۰
	دوام بالای مصالح در راستای افزایش طول عمر ساختمان	۴	۵	۳	۵	۱	۲
	حداکثر تناسب مصالح انتخابی با بوم و آب‌وهوای محل	۵	۵	۵	۵	۵	۵
	قابلیت تعمیرات در زمان بهره‌برداری	۵	۳	۴	۴	۳	۴
بهره‌برداری	کمترین ضریب انتقال حرارت و بی‌نیاز از عایق‌کاری حرارتی	۴	۲	۴	۳	۵	۱
	مجموع امتیازات این مرحله	۱۸	۱۵	۱۶	۱۷	۱۴	۱۲
	حداکثر قابلیت بازگشت به طبیعت و امکان استفاده مجدد	۵	۵	۳	۱	۴	۲
	دارای بیشترین منابع اولیه تجدیدپذیر	۵	۵	۵	۵	۵	۵
	کمترین میزان ضایعات و پسماندها و حداقل ایجاد آلودگی در تولید و بازیافت	۵	۵	۳	۱	۴	۲
تخریب و بازیافت	مجموع امتیازات این مرحله	۱۵	۱۵	۱۱	۷	۱۳	۹
	مجموع امتیازات	۸۳	۶۸	۵۹	۵۲	۶۰	۳۷
	رتبه‌بندی حاصل از مجموع امتیازات	(۱) خیلی خوب	(۲) خوب	(۴) خوب	(۵) متوسط	(۳) خوب	(۶) ضعیف

در انتها با در نظر داشتن اینکه حداکثر مجموع امتیازات ممکن برای هر کدام از مصالح عدد ۸۵ (۱۷ مورد ۵ امتیازی) و حداقل آن عدد ۱۷ (۱۷ مورد ۱ امتیازی) بود، ۵ بازهٔ عددی مختلف برای تعیین جایگاه هریک از این مصالح تعیین شد؛ در نتیجه مصالح دارای مجموع امتیازات بین ۱۷ تا ۲۹ در بازهٔ خیلی ضعیف، ۳۰ تا ۴۳ در بازهٔ ضعیف، ۴۴ تا ۵۷ در بازهٔ متوسط، ۵۸ تا ۷۱ در بازهٔ خوب و ۷۲ تا ۸۵ در بازهٔ خیلی خوب قرار گرفتند. براساس این دسته‌بندی، خاک جایگاه خیلی خوب، سنگ و گچ و مصالح نباتی جایگاه خوب، آهک جایگاه متوسط و فلز جایگاه ضعیف را به خود اختصاص دادند. شایان ذکر است که حتی اگر اهمیت هریک از مراحل فراوری مصالح در موقعیت‌ها و شرایط مختلف، متفاوت باشد و نتوان ضریب اهمیت یکسانی برای تمامی آن‌ها در نظر گرفت، با جمع‌بندی امتیازات هریک از مراحل به‌طور جداگانه نیز نتایج تقریباً مشابهی حاصل می‌شود. در این راستا، می‌توان مشاهده کرد که در جمع‌بندی امتیازات هریک از مراحل، همانند مجموع امتیازات کلی، خاک دارای بالاترین امتیاز و فلز دارای پایین‌ترین امتیاز در مقایسه با سایر مصالح مورد بررسی است، به‌جز مرحلهٔ تخریب و بازیافت که آهک با اختلاف اندکی، امتیاز پایین‌تری نسبت به فلز را به خود اختصاص داده است؛ در نتیجه حتی در صورت تفاوت اهمیت هریک از مراحل در موقعیت‌های مختلف، بازهم نتایج نهایی حاصل مبنی بر اینکه از بین مصالح مورد بررسی، خاک مناسب‌ترین و فلز نامناسب‌ترین مورد از جهت پایداری هستند، برقرار خواهد بود.

## نتیجه

معماری سنتی شهر کاشان، یک معماری فاخر و سرشار از تجارب ارزشمند بوده که یکی از مهم‌ترین ابعاد آن، مصالح به‌کاررفته در این بناها بوده است. پژوهش حاضر، با تکیه بر نتایج پژوهش‌های پیشین مبنی بر مزایای استفاده از مصالح بومی در بناهای هر منطقه و همچنین تأثیر آن بر پایداری این بناها، کوشید تا با تمرکز بر معماری سنتی کاشان و مصالح بومی این شهر، به بررسی کمی و کیفی هریک از این مصالح از جنبه شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی بپردازد. سپس سعی شد تا با امتیازدهی به هر کدام از این مصالح و مقایسه آن‌ها با یکدیگر، مصالحی که از جهت پایداری زیست‌محیطی نسبت به سایر آن‌ها وضعیت بهتری دارند مشخص شوند؛ که این موارد، وجه تمایز این پژوهش با مطالعات پیشین هستند. در این راستا ابتدا شاخص‌های پایداری زیست‌محیطی مصالح گردآوری شدند که در مجموع شامل ۱۷ مورد بوده و در ۵ دسته استخراج و تولید، حمل و انبار، ساخت‌وساز، بهره‌برداری و همچنین تخریب و بازیافت دسته‌بندی شدند. سپس از طریق مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای، به تهیه جدولی از مصالح به‌کاررفته در بناهای تاریخی شهر کاشان پرداخته شد که شامل دو گروه مواد اولیه و مواد ترکیبی هستند. مواد اولیه شامل خاک، سنگ، گچ، آهک، مصالح نباتی و فلز بوده و مواد ترکیبی حاصل ترکیب برخی از این مواد اولیه با یکدیگر و انجام فرایندهای مختلف روی آن‌ها برای آماده‌سازی هستند. سپس این مصالح از منظر ۱۷ شاخص گردآوری شده، مورد ارزیابی قرار گرفته و برای هریک از این شاخص‌ها امتیازات مناسب به مصالح مورد نظر اختصاص داده شد. این ارزیابی به سه روش مختلف صورت گرفت. برخی از شاخص‌ها از طریق جمع‌آوری اطلاعات کمی و عددی، برخی از آن‌ها از طریق تحلیل و اطلاعات کیفی و برخی از موارد نیز از طریق تهیه پرسش‌نامه از متخصصان معماری، ارزیابی شدند. در نهایت به هریک از این مصالح از منظر هر کدام از شاخص‌ها، امتیازی بین ۱ تا ۵ اختصاص یافت و در انتها با جمع‌آوری تمام امتیازات هریک از مصالح، امتیاز کلی آن مورد و جایگاه آن در مقایسه با سایر مصالح تبیین شد. جمع‌بندی امتیازات و تحلیل‌های صورت‌گرفته نشان می‌دهد که از میان مصالح بومی مورد نظر، خاک با بالاترین امتیاز، دارای مطلوب‌ترین حالت از منظر پایداری و بیشترین تأثیر مثبت روی پایداری زیست‌محیطی بنا بوده و فلز با کمترین امتیاز در مقایسه با سایر مصالح مورد بررسی، کمترین تأثیر را بر پایداری زیست‌محیطی ابنیه تاریخی این شهر داشته است. با دقت روی تحلیل‌های موجود و امتیازات جمع‌آوری شده، می‌توان دریافت که مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر امتیازات پایین فلز، فرایند ساخت و تولید پیچیده آن بوده که نیاز به طی مراحل فراوری در کارخانه دارد؛ برخلاف خاک که با ساده‌ترین روش تولید و بی‌نیاز بودن از انجام فرایندهای پیچیده برای آماده‌سازی، بالاترین امتیاز را به خود اختصاص داده است. در انتها، انجام پژوهش‌های آتی با نگاهی به مصالح رایج در بناهای معاصر کاشان و مقایسه آن‌ها با انواع مصالح بومی از بُعد پایداری زیست‌محیطی، برای انتخاب مناسب‌ترین مصالح برای ساخت بناهای مدرن این شهر توصیه می‌شود. در این راستا می‌توان برای سهولت و پیشبرد بهتر پژوهش آتی، مصالح مدرن را به‌جای مقایسه با تمام مصالح بومی، صرفاً با خاک و فلز مقایسه کرد که براساس پژوهش حاضر به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین میزان پایداری زیست‌محیطی در میان مصالح بومی این منطقه هستند.

## منابع

- ابراهیم‌آبادی، آرش، ایرج علوی، و سارا کهربای منفرد. ۱۳۹۱. انتخاب روش بهینه استخراج در معادن سنگ‌های ساختمانی ایران به روش TOPSIS فازی (مطالعه موردی: معدن سنگ گرانیت گزیک بیرجند). فصلنامه علمی پژوهشی زمین‌شناسی محیط‌زیست ۷ (۲۲): ۵۵-۷۰.
- ارمغان، مریم، و یوسف گرجی‌مهلبانی. ۱۳۸۸. ارزش‌های معماری بومی ایرانی در رابطه با رویکرد معماری پایدار. فصلنامه مسکن و محیط روستا ۲۸ (۱۲۶): ۲۰-۳۵.
- اکبری، مرتضی، مجید اونق، حمیدرضا عسگری، امیر سعدالدین، و حسن خسروی. ۱۳۹۵. ارزیابی ریسک فرسایش خاک براساس مدل کورین (مطالعه موردی: منطقه نیمه‌بیابانی غرب استان گلستان). مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان ۵ (۱۲): ۷۸-۶۳.

- اکرمی، غلامرضا. ۱۳۸۳. طراحی و بازسازی روستاهای بیم با نگاه توسعه پایدار. در مجموعه مقالات کارگاه تخصصی تدوین منشور توسعه پایدار بیم. تهران: مرکز مطالعات و تحقیقات معماری و شهرسازی وزارت مسکن و شهرسازی.
- اکرمی، غلامرضا، و لیلا علیپور. ۱۳۹۴. نقش مصالح بومی در معماری پایدار از دیدگاه زیست‌محیطی. مجله مسکن و محیط روستا ۳۵ (۱۵۶): ۴۸-۲۹.
- امام، تابع. ۱۳۶۸. گچ: دانستنی‌هایی درباره گچ. نشریه مسکن و محیط روستا، ش. ۲۱: ۲۶-۲۹.
- بزرگمهری، زهره، و آناهیتا خدادادی. ۱۳۸۹. *آموزه‌های ایرانی (شناخت، آسیب‌شناسی و مرمت)*. تهران: سروش دانش.
- بیرانوند، مسلم. ۱۳۹۰. بازشناسی معماری پایدار و جایگاه آن در دستیابی به اهداف توسعه پایدار. ماهنامه دانش نما، ش. ۱۹۶-۱۹۷: ۷۹-۷۲.
- پارچه‌باف مطلق، فاطمه، و بابک عالمی. ۱۴۰۰. بررسی و ارزیابی بازار تاریخی کاشان از منظر پایداری زیست‌محیطی. دوفصلنامه علمی کاشان‌شناسی ۱۴ (۱): ۵۶-۲۷.
- پوردیهیمی، شهرام. ۱۳۹۰. *زبان اقلیمی در طراحی محیطی پایدار*. تهران: دانشگاه شهید بهشتی.
- تقی‌پور قصابی، بهزاد، و احمد میرزاحمدی. ۱۳۹۸. بررسی طراحی معماری پایدار با رویکرد طراحی معماری بیونیک و ارتباط آن‌ها با یکدیگر. نشریه علمی تخصصی شبک ۵ (۴۶): ۱۹-۲۶.
- حامی، احمد. ۱۳۷۶. *مصالح ساختمان*. تهران: دانشگاه تهران.
- حیدری، داریوش، حامد یونسی، و غلامرضا وطن‌خواه. ۱۳۹۲. پژوهشی در ملات‌های آهکی تاریخی (ساروج): نمونه موردی: حمام شاهزاده‌ها در اصفهان. دوفصلنامه علمی پژوهشی مرمت و معماری ایران ۳ (۵): ۹۸-۸۳.
- خشتابه، ریحانه، مرتضی اکبری، آوا حیدری، و علی اصغر نجف‌پور. ۱۴۰۱. تأثیر استخراج سنگ آهن بر غلظت برخی از فلزات سنگین و پهنه‌بندی آلودگی خاک (مطالعه موردی: معدن سنگ آهن سنگان، خواف-ایران). نشریه آب و خاک ۳۷ (۱): ۹۴-۷۷.
- دربان، علی، و مریم جوادیانیا. ۱۳۹۷. معماری سبز گامی به سوی معماری پایدار. نشریه معماری‌شناسی ۱ (۵): ۶-۱.
- درمحمدی، منصوره، و رضا رحیم‌نیا. ۱۳۹۶. تثبیت مکانیکی خاک و تبیین جایگاه آن در مصالح بومی اقلیم گرم و خشک. نشریه معماری اقلیم گرم و خشک ۵ (۶): ۴۹-۲۹.
- رستمی، ژنیت، مهرداد جاویدی‌نژاد، و بهروز منصوری. ۱۳۹۸. هماهنگی تکنیک، مصالح و محیط‌زیست و کاربرد آن در زیبایی و عملکرد بناهای سنتی شهرهای کویری ایران. مجله مطالعات هنر اسلامی ۱۵ (۳۴): ۲۳۹-۲۱۵.
- رضائی‌پور باغدر، عبدالحسین، حسن وقارفر، حمیدرضا عظیم‌زاده، حمید غلامی، و یحیی اسماعیل‌پور. ۱۳۹۴. بررسی وضعیت آلودگی پساب ناشی از فراوری سنگ آهن در مناطق بیابانی (بررسی موردی: منطقه بافق). نشریه مدیریت بیابان ۳ (۵): ۲۵-۱۴.
- زرین، لیلا، منصوره طاهباز، و سید مجید مفیدی شمیرانی. ۱۴۰۰. اصول تطبیقی معماری پایدار بناهای مسکونی بومی در اقلیم‌های خشک ایران. نشریه مطالعات هنر اسلامی ۱۸ (۴۱): ۲۳۳-۲۳۳.
- زمرشیدی، حسین. ۱۳۷۷. *معماری ایران: مصالح‌شناسی سنتی*. تهران: زمرد.
- زهری، سارا، منصوره طاهباز، و ایرج اعتصام. ۱۳۹۵. تأثیر مصالح و روش‌های ساخت بومی بر کاهش مصرف انرژی در خانه‌های روستایی مناطق جلگه‌ای گیلان. مجله علوم و تکنولوژی محیط‌زیست ۲۲ (۱): ۸۹-۱۰۰.
- ستاری، حانیه، و فهیمه معتضدیان. ۱۳۹۹. تبیین اصول معماری پایدار، در جهت ارتقای نماهای طراحی‌شده ۵ سال اخیر در شهر تهران. نشریه معماری‌شناسی ۳ (۱۴): ۷-۱.
- سیستانی، نداء، مظاهر معین‌الدینی، نعمت‌اله خراسانی، امیرحسین حمیدیان، محمدصالح علی طالشی، و رخساره عظیمی یانچشمه. ۱۳۹۶. آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مجاور صنایع فولاد کرمان: ارزیابی غنای فلزی و درجه آلودگی. مجله سلامت و محیط‌زیست ۱۰ (۱): ۸۶-۷۵.
- صادقی پی، ناهید. ۱۳۹۱. تأملی در مصالح بوم آورد روستا. نشریه مسکن و محیط روستا ۳۱ (۱۳۹): ۳۲-۱۷.
- صفوی همای، سید محمدمهدی، سید بهشید حسینی، و علیرضا عندلیب. ۱۳۹۶. معماری پایدار دفاعی در طراحی منازل مسکونی. مجله سیاست دفاعی ۲۵ (۱۰۰): ۱۵۲-۱۳۱.

- ضرغامی، اسماعیل، علی خاکی، و سیده اشرف سادات. ۱۳۹۴. بررسی تطبیقی معماری پایدار و مطابقت آن با معماری بومی خانه‌های سنتی در شهر ایرانی-اسلامی. *مجله معماری و شهرسازی پایدار* ۳ (۱): ۱۵-۳۰.
- قبادیان، وحید. ۱۳۸۲. *بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران*. تهران: دانشگاه تهران.
- کباری، سیاوش. ۱۳۷۵. *مصالح‌شناسی*. تهران: دانش و فن.
- کرجانی، شیدا، شبیم اکبری نامدار، مریم سینگری، و حسن ستاری ساربانقلی. ۱۴۰۲. اثرسنجی شاخص‌های ارزش‌های پنهان کالبدی معماری پل‌های تاریخی از دیدگاه طراحان و کاربران فضایی (نمونه‌های مطالعاتی: پل‌ها در مسیر زاینده‌رود از سرچشمه تا تالاب). *فصلنامه معمار شهر* ۲ (۷): ۸۹-۶۵.
- کیم، جین. ۱۳۸۲. واحد معماری پایدار: مقدمه‌ای بر طراحی پایدار. ترجمه نازلی دبیدیان و مروه فرهودی. *نشریه معماری ایران* ۴ (۱۴): ۲۸۶.
- لطفعلیان، مجید، نعیمه بدرقی، و حامد نقوی. ۱۳۸۹. بررسی میزان آلودگی منتشرشده در قطع هر مترمکعب چوب به‌وسیله اره‌موتوری (منطقه مورد مطالعه: جنگل‌های پایین‌بند صنایع چوب و کاغذ مازندران). *مجله انسان و محیط‌زیست* ۸ (۱): ۲۱-۲۷.
- مداحی، سید مهدی، محمدحسین عابدی، و اعظم صداقت‌مند. ۱۳۹۶. بهره‌گیری از مصالح بومی-سنتی به‌منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی حرارتی ساختمان؛ نمونه موردی: بافت مسکونی-تاریخی بیلند گناباد. *نشریه معماری سبز* ۳ (۷): ۲۰-۱.
- مقدم راد، فرهام، و منصور سپهری مقدم. ۱۳۹۹. ارزیابی بناهای بلندمرتبه مسکونی ایرانی از منظر معماری الگوگرا در معماری و شهرسازی ایرانی-اسلامی. *فصلنامه نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی* ۱۳ (۲): ۵۴۳-۵۵۷.
- میراحمدی‌زاده، علیرضا، حامد دلام، مژگان سیف، و ریحانه بهرامی. ۱۳۹۷. طراحی، ساخت و تجزیه و تحلیل داده‌های مقیاس لیکرت. *مجله آموزش و سلامت جامعه* ۵ (۳): ۶۳-۷۲.
- ویسه، سهراب، ناهید خدابنده، حمیدرضا حکاکی فرد، و فرهنگ طهماسبی. ۱۳۸۸. ارائه روش‌های مناسب در استفاده از مصالح بوم‌آورد. *نشریه مسکن و محیط روستا*، ش. ۱۲۶: ۱۹-۲.
- هادی، ابودر، ابودر نصراللهی، و سحر حسینی. ۱۳۹۰. بررسی نقش مصالح در مدیریت انرژی معماری بومی. *همایش ملی عمران، معماری، شهرسازی و مدیریت انرژی*.
- هیرمندی‌نیاسر، مرضیه. ۱۳۹۵. معماری و توسعه پایدار و رابطه آن با انسان و طبیعت. *ماهنامه شپاک* ۲ (۴): ۱۴۹-۱۵۵.
- Akadiri, Peter O., Ezekiel A. Chinyio, and Paul O. Olomolaiye. 2012. Design of a Sustainable Building: A Conceptual Framework for Implementing Sustainability in the Building Sector. *Buildings* 2 (2): 126152.
- Alrashed, Farajallah, Muhammad Asif, and Stas Burek. 2017. The Role of Vernacular Construction Techniques and Materials for Developing Zero - Energy Homes in Various Desert Climates. *Buildings* 7 (1): 119.
- Calkins, Meg. 2008. *Materials for Sustainable Sites: A Complete Guide to the Evaluation Selection and Use of Sustainable Construction Materials*. New Jersey: John Wiley & Sons.
- Dodo, Yakubu Aminu, Mohd Hamdan Ahmad, Mansir Dodo, Faizah Mohammed Bashir, and Suleiman Aliyu Shika. 2014. Lessons from Sukur Vernacular Architecture: A Building Material Perspective. *Journal of Advanced Materials Research* (935): 207210.
- Fang, Ying. 2014. Analysis of the Sustainable Construction Concept of the Vernacular Materials. *Journal of Advanced Materials Research* (893): 694697.
- Fernandes, Jorge Emanuel Pereira, Ricardo Mateus, and L. Bragança. 2014. The Potential of Vernacular Materials to the Sustainable Building Design. *Journal of Vernacular Heritage and Earthen Architecture: Contributions for Sustainable Development*: 623629.
- Flaiban, Vanessa. 2019. The Vernacular Roots Vernacular Architecture as a Leader to the New Sustainable

- Dwelling. *Journal of a Sustainable Global South* 3 (2): 612-.
- Gabriella, Ir, M.T. Janssen, and Ch.F. Hendriks. 2002. Sustainable Use of Recycled Materials in Building Construction. *Advances in building Technology* 2: 13991406-.
  - Godfaurd, John, Derek Clements - Croome, and George Jeronimidis. 2004. Sustainable Building Solution: A Review of Lessons from the Natural World. *Building and Environment* 40 (3): 319328-.
  - Howarth, George, Mark Hadfield. 2006. A Sustainable Product Design Model. *Materials and design* 27 (10): 11281133-.
  - Isik, Bilge, and Tugsad Tulbentci. 2008. Sustainable Housing in Island Conditions Using Alker - Gypsum - Stabilized Earth: A Case Study from Northern Cyprus. *Building and environment* 43 (9): 14261432-.
  - Khashtabeh, Rokhsareh, Morteza Akbari, Mahdi Kolahi, and Ali Talebanfard. 2020. Assessing the Effects of Desertification Control Projects Using Socio - Economic Indicators in the Arid Regions of Eastern Iran. *Journal of Environment, Development and Sustainability* 23 (7): 1045510469-.
  - Lyons, Arthur. 2014. *Materials for Architects and Builders*. London: Taylor and Francis group.
  - Mahmoud, Randa A., and Rowaida Rashed. 2019. Gentrification of Vernacular Materials as a Key towards Sustainable Built Environment. *Journal of Engineering and Applied Sciences*.
  - Morel, J.C., A. Mesbah, M. Oggero, p. Walker. 2001. Building Houses with Local Materials: Means to Draŝtically Reduce the Environmental Impact of Construction. *Building and Environment* 36 (10): 11191126-.
  - San - Jose, J.T., R. Losada, J. Cuadrado, and I. Garrucho. 2007. Approach to the Quantification of the Sustainable Value in Industrial Buildings. *Building and Environment* 42 (11): 39163923-.
  - Wever, H. 1997. Sustainable Building and the Use of Raw Materials in the Civil Engineering Sector. *Studies in Environmental Science* 71: 883886-.
  - Yagi, Koichi, and Kohmei Halada. 2001. Materials Development for a Sustainable Society. *Materials and Design* 22 (2): 143146-.
  - Zhou, Chang - Chun, Guo - Fu Yin, Xiao - Bing Hu. 2009. Multi Objective Optimization of Material Selection for Sustainable Products: Artificial Neural Networks and Genetic Algorithm Approach. *Materials and Design* 30 (4): 12091215-.
  - Zimmermann, M., H.J. Althaus, and A. Haas. 2005. Benchmarks for Sustainable Construction: A Contribution to Development a Standard. *Energy and Buildings* 37 (11): 11471157-.



## ■ Investigating the Role of Local Materials in the Traditional Buildings of Kashan from an Environmental Sustainability Perspective

---

### **Babak 'Alemi**

Associate Professor, Faculty of Architecture and Art, University of Kashan

### **Mehdi Momtahn**

Assistant Professor, Faculty of Architecture and Art, University of Kashan

### **Marzieh Naderi Qomi**

M.Sc. student, Faculty of Architecture and Art, University of Kashan

The traditional architecture of Kashan poses unique features in various aspects, one of which is the use of local materials. Due to the increasing importance of the debate on sustainability and the significant impact of materials on building sustainability, the role of local materials in the environmental sustainability of traditional buildings was investigated in this research. In this regard, first, by studying available references, the indicators showing the environmental impact of materials in different stages of their life cycle, including extraction and production, transportation and storage, construction, operation, demolition, and recycling were collected. Then, through field studies in the historical context of Kashan and library studies, the local building materials were identified and evaluated by the above indicators. Evaluation of each indicator was done with a different method such as collecting numerical data, qualitative analysis, or developing a questionnaire. Finally, based on data analysis using the Likert scale, materials were rated on a 1-5 scale for each indicator in order to perform a qualitative comparison between materials from the point of view of compliance with environmental sustainability indicators. The results of this research show that among the studied materials, including mud, stone, gypsum, lime, plant materials, and metals, mud is the most sustainable material with a score of 83 out of 85, and metals are the least sustainable with a score of 37 out of 85. Examination of existing analyses and the scores obtained shows that the most important factor contributing to the low score of metals is its complex manufacturing process and the need to go through processing stages in the factory, unlike soil, which requires the simplest production method without complex processes for preparation.

**Keywords:** sustainable architecture, traditional buildings of Kashan, local materials, environment, raw materials

# JIAS

Journal of Iranian Architecture Studies

University of Kashan

School of Architecture and Art

Vol. 24, Autumn 2023 and Winter 2024

E-ISSN: 2676-5020

# 24

- **Madrasas of Yazd in the Kakuyid and Atabakan Periods: Architecture and Function of Religious Schools Based on Historical Reports and Environmental Evidence**  
Zatollah Nikzad, Mojtaba Mehr-‘Ali Kord-bacheh
- **Dar-ul-Ihsan Mosque and Madrasa of Sanandaj: Original Design and Architectural Alterations**  
Kamyar Naqsh-bandi, Zahra Ahari, Hadi Safaei-pour
- **Question-Based Research: Interdisciplinary Studies in Architecture and the Humanities**  
Zahra Ahari, Hadi Nadimi, Parisa Rahim-zadeh, Maryam Heydar-khani, Fatemeh Tavanaei Marvi, Sahra ‘Aberi Zahed, Shiva Fallah Najm-abadi
- **Lur Women’s Way of Life and the Private and Social Domains of Historic Houses of Khorram-abad during the Qajar Period**  
Mozhgan Hadipour Moradi, Mas‘oud Nari Ghomi, Sanaz Rahravi Poodeh, Maryam Qasemi Sichani
- **From Nasserli to Ahvaz: Rereading the Experience of Modernity in an Iranian City during the Qajar Era**  
Rouhollah Mojtahed-zadeh, Kaveh Rostam-pour, Amin Maqsudi
- **Landscape Aesthetics Based on Descriptive Poems from the Ghaznavid Era (990-1042 AD)**  
Hamidreza Jayhani, Maryam Rezaiepour
- **Physical-Spatial Typology of Historical Mosques in Fars Province**  
Seyyed Mohammad-Hossein Zakeri, Seyyedeh Yasaman Deh-bozorgi, Zahra Gholami Ruyin-tan
- **Assessing the Potential of Natural Ventilation in Office Spaces in Terms of Climate and Interior Design in Province Centers**  
Parisa Rah-e-Haq, Zahra Sadat Zomorodian, Mohammad Tahsil-doost
- **Investigating the Role of Local Materials in the Traditional Buildings of Kashan from an Environmental Sustainability Perspective**  
Babak ‘Alemi, Mehdi Momtahan, Marzieh Naderi Qomi
- **Evaluation of Indicators for Urban Heritage Integrity Using Analytic Network Process (ANP)**  
Leila Moqimi, Pirouz Hanachi, Somayeh Fadai-nejad Bahram-jerdi
- **The Aesthetic of Modern Brickwork Facades of Residential Apartments in Tehran in the Last Two Decades from the Perspective of Critical Regionalism**  
Milad Habibi Lialestani, Mohammad-Reza Na‘eemi, Hassan-Ali Pour-mand, Reza Afhami
- **A challenge in the relation between Salam and Islam & its effective subjective role & conclusive principal tools from these in past, present & future of Islamic art & architecture**  
Mohammad Aliabadi