

نقش مصالح بومی در معماری پایدار از دیدگاه زیست محیطی

غلامرضا اکرمی *، لیلا علی پور **

1393/03/24

تاریخ دریافت مقاله:

1394/08/13

تاریخ پذیرش مقاله:

چکیده

امروزه افزایش ساخت و سازهای ساختمانی موجب تولید نخاله‌های فراوان شده است که در حاشیه شهرها انباشته شده و یکی از آلوده کننده‌ترین عوامل محیط زیست به‌شمار می‌آید. ساختمان‌های امروزی به‌ویژه در شهرها از مصالح جدید ساخته شده‌اند. برای تهیه مصالح جدید، انرژی زیادی صرف می‌شود. در جهت کاهش خطرات زیست محیطی ناشی از مصالح ساختمانی، بایستی چرخه حیات مصالح از زمان استخراج از طبیعت، تا بازگشت دوباره به طبیعت و انرژی مصرفی در این چرخه مورد بررسی قرار گیرد. مسئله این تحقیق؛ مشکلات زیست محیطی ساخت و ساز امروزی است که به دلیل استفاده نامناسب از مصالح جدید در ساختمان‌سازی پدید آمده است. در این پژوهش ویژگی‌های ممتاز مصالح بومی از نگاه زیست محیطی بررسی شده و استفاده از مصالح بومی به عنوان یک راهکار سالم و مفید و کم هزینه پیشنهاد می‌شود. فرایند تولید مصالح از استخراج تا بازگشت آن به طبیعت و تأثیر آن در آلودگی محیط زیست، اعم از مصالح جدید و مصالح بومی، مورد مطالعه و مقایسه قرار گرفته است. نمودار چرخه حیات مصالح، الگویی حاصل از دیگر نمودارها و جداول گوناگون زیست محیطی است که به صورت جامع تری، عوامل گوناگون در آن دیده شده است. هر مرحله از حیات مصالح در این الگو تشریح می‌شود. با بررسی و مقایسه مصالح بومی و مصالح جدید، مشخص می‌شود که مزایای استفاده از مصالح بومی به مراتب بیشتر است. عدم تخریب طبیعت در برداشت، کمترین آلودگی در تولید، پایین بودن مصرف انرژی در تولید، صرفه جویی در انرژی حمل و نقل، کاهش مصرف انرژی در بهره‌برداری، کاهش هزینه‌های تمام شده و از همه مهمتر بازگشت سریع به طبیعت و عدم تخریب محیط زیست از مزایای مصالح بومی به‌شمار می‌رود. البته به کارگیری مصالح بومی شرایط خاص خود را دارد.

واژگان کلیدی: مصالح بومی، معماری پایدار، چرخه حیات، محیط زیست.

* استادیار دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران و عضو هسته پژوهشی معماری روستایی دانشگاه شهید بهشتی.

** کارشناسی ارشد معماری، دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران و دانشجوی دکترای معماری، دانشگاه علم و صنعت.

leila.alipour@gmail.com

مقدمه

افزایش ساخت و سازهای ساختمانی در شهرها با تخریب ساختمان‌های نه‌چندان قدیمی، توأم است. ساختمان‌هایی که اغلب آن‌ها با مصالح غیر بومی و جدید مانند آجر سفال، سنگ پلاک، گچ، سیمان، فولاد و شیشه ساخته شده‌اند. این نوع مصالح بعد از تخریب به نخاله تبدیل شده و در حاشیه شهرها انباشته می‌شوند و باعث تخریب محیط‌زیست و به تبع آن آلودگی شهرها می‌گردند. در آینده نیز مصالح کاملاً صنعتی و شیمیایی از قبیل آلومینیوم، مواد پلاستیکی¹، قیر و مصالح ترکیبی مثل آزیست‌ها و ایرانیت‌ها (که در ساخت و سازهای جدید به کار می‌روند) به این نخاله‌ها افزوده می‌شود. مصرف بیش از حد و ناصحیح مصالح جدید موجب آسیب‌های زیست محیطی جبران ناپذیری شده است و از این پس با رواج مصالح صنعتی، این آسیب‌ها بیشتر و زیان‌آورتر خواهد شد. انرژی مصرفی برای تهیه مصالح جدید بسیار زیاد است. مصرف بالای انرژی در بخش ساختمان و چالش‌های زیست محیطی فراوان، بازبینی در روند ساخت و ساز در کشور را حیاتی می‌سازد. تصمیمات مؤثر و حیاتی معمولاً در فرایند طراحی ساختمان اتخاذ می‌شود. در زمان طراحی تصمیماتی گرفته می‌شود که تا پایان عمر ساختمان و حتی سال‌ها پس از تخریب آن، بر محیط‌زیست و طبیعت تأثیر می‌گذارد (Zhou, Yin, Hu, 2009). انتخاب مصالح یکی از تصمیمات معمار در فرایند طراحی است که اگر به شکلی صحیح و با مطالعه صورت نگیرد، جبران خسارات آن دشوار خواهد بود. اما عوامل فراوانی در هنگام طراحی، در انتخاب مصالح مورد نظر نقش دارند. در اینجا چند پرسش مطرح می‌شود؛ چه مصالحی برای محیط زیست زیانبارتر است

و چه عواملی در این انتخاب مؤثر است؟ تفاوت ساخت و ساز بومی و جدید از این نظر چیست؟ عوامل مؤثر زیست محیطی گوناگون در انواع پژوهش‌ها مورد بررسی قرار گرفته‌اند. اما الگوی جامعی که تمامی این عوامل در آن لحاظ شده باشد کمتر مورد توجه بوده است. در مواردی نیز این الگوها و جداول، بر موردی خاص تأکید می‌ورزند. در اینجا شناخت تأثیرات زیست محیطی هر مصالح ساختمانی با در نظر گرفتن کل چرخه حیات آن ماده مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد.

معماری پایدار

محور تمامی مباحث مرتبط با پایداری توجه به نسل‌های بعدی، آینده محیط‌زیست و حفاظت از محیط‌زیست جهانی بوده است. مهم‌ترین تعریفی که تاکنون از توسعه پایدار ارائه شده است مربوط به اجلاس ریو می‌باشد که بیان می‌کند: 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. اصول توسعه پایدار در ارتباط با پایداری زیست محیطی به طور خلاصه شامل توجه به استفاده از منابع تجدیدپذیر، استفاده کمتر از انرژی‌های تجدید ناپذیر و آلوده‌کننده، تأمین نیازهای پایه‌ای انسان و اجتماع و ایجاد محیطی سالم برای نسل‌های آینده، توجه به محیط‌زیست و کاهش آلودگی و نیز توجه به چرخه‌های زیست محیطی می‌باشد (بیرانوند، 1390).

تجلی توسعه پایدار در حوزه محیط ساخته شده، معماری پایدار نامیده می‌شود. آنچه که در این مقاله مورد توجه قرار گرفته است، رویکرد معماری پایدار نسبت به مسائل محیطی است؛ هرچند که جد کردن این موضوع از سایر جنبه‌های اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی، کاری دشوار است. از دیدگاه ریچارد راجرز

خام کمتر داشته باشد (کیم، 1382)، دوام و استحکام بالایی داشته باشد تا طول عمر ساختمان را افزایش دهد (Godfaurd, Janssen, Hendriks, 2005; Isik, 2008)، عدم ایجاد مسمومیت و سرطان‌زایی، جلوگیری از سروصدا، تولید کمتر ضایعات و پسماندها (Zhou, Yin, 2009; San-jose, Losada, Cuadrado, 2009; calkins, 2008). هزینه تهیه آن پایین باشد (ویسه، خدابنده، حکاکی فرد و طهماسبی، 1388) عدم ایجاد آلودگی در تولید و نیز در بازیافت (Howarth, Hadfield, 2006; Gabriella, Janssen, Hendriks, 2002). انتخاب صحیح مصالح متناسب با بوم در جهت کاهش مصرف انرژی در دوران بهره برداری از ساختمان (Morel, Mesbah, Oggero, 2001; Lyons, 2007; Zimmermann, Althaus, Haas, 2005)، قابل بازگشت به طبیعت و عدم تولید نخاله غیر قابل بازگشت به طبیعت (Powel, Craighill, 2001)، امکان استفاده مجدد (Calkins, 2008; Yagi, Halada, 2001; Wever, 1997)، فاصله حمل کوتاه (ویسه، خدابنده، حکاکی فرد، طهماسبی، 1388)؛ قابلیت تعمیرات در زمان بهره‌برداری (Yagi, Halada, 2001)، فناوری ساخت در دسترس و عدم نیاز به ماشین‌آلات پیشرفته (ویسه، خدابنده، حکاکی فرد و طهماسبی، 1388). عوامل فوق را که می‌توان به‌صورت خلاصه کاهش مصرف منابع و کاهش تولید ضایعات ذکر نمود و این عوامل را بایستی در کل چرخه حیات مصالح در نظر گرفت. (Gabriella, Janssen, Hendriks, 2002; yagi, Halada, 2001)

چرخه حیات مصالح

برای شناخت هر مصالح و تأثیرات زیست محیطی آن، باید کل چرخه حیات مصالح² را در نظر گرفت (Gabriella, Janssen, Hendriks, 2002; yagi, Halada, 2001). در تصویر شماره 1 این چرخه شامل

طراحی پایدار قصد دارد تا با نیازهای آینده رو به رو شود، بدون آنکه منابع طبیعی باقیمانده برای نسل آینده را از بین ببرد. در مورد ساختمان‌ها، طراحی پایدار به کارایی منابع، انرژی حداقل، انعطاف‌پذیری و عمر طولانی اشاره می‌کند. به‌نظر جونگ جین کیم سه اصل صرفه‌جویی در مصرف منابع، طراحی براساس چرخه حیات و طراحی انسانی مباحث معماری پایدار را شامل می‌شود (گرچی مهبلائی، 1389).

مصالح بومی

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، خدابنده، حکاکی فرد، طهماسبی، 1388). اصطلاح بوم‌آورد به معنی مصالحی که متعلق به محل و بوم خودشان هستند از زنده یاد استاد پیرنیا به‌جا مانده است. ایشان یکی از اصول معماری ایران را خودبسندگی دانسته و استفاده از مصالح بوم‌آورد را از مصادیق خودبسندگی می‌دانند (پیرنیا، 1387). در این مقاله مقصود از مصالح بومی تأکید بر بوم‌آورد بودن مصالح و استفاده از تکنولوژی بومی در تولید و استحصال این مصالح است.

ویژگی‌های مصالح پایدار

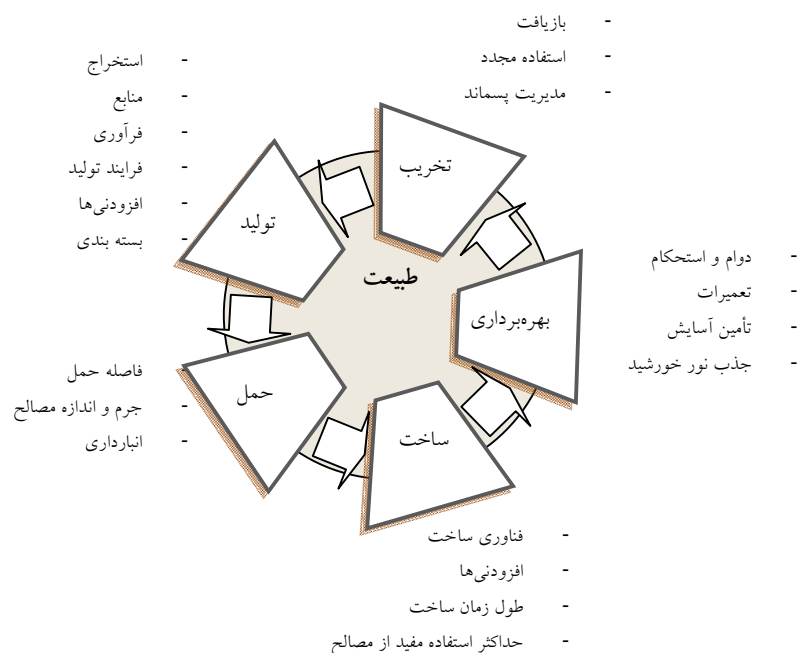
در بحث معماری پایدار ویژگی‌هایی برای مصالح ساختمانی مطلوب برشمرده می‌شود، از جمله مصرف انرژی و میزان آلودگی تولیدی آن کمینه باشد (Zimmermann, Althaus, Haas, 2005; Calkins, 2008). استحصال آن طبیعت را در معرض خطر قرار ندهد (Wever, 1997)، منابع اولیه آن تجدیدپذیر باشند (Wever, 1997)، منابع اولیه و آب و انرژی کمتری مصرف کنند (اکرمی، 1383؛ Calkins, 2008)، بدین ترتیب نیاز به استخراج مواد

استخراج، فرآوری (تولید)، حمل و نقل، انبارداری، به کارگیری (در ساختمان)، بهره برداری، تخریب و برگشت به طبیعت است. این نمودار حاصل ترکیب چندین نمودار در مطالعات سایر پژوهشگران است. آنچه از نگاه معماری پایدار در این چرخه مهم است، مصرف انرژی و میزان آلودگی است که برای محیط زیست انسان پدید می آید (Zimmermann, Althaus, Haas, 2005). کاهش مصرف انرژی، کاهش مصرف آب و سایر منابع از اهداف اصلی معماری پایدار است (اکرمی، 1383).

از این رو ضروری است خطرات زیست محیطی مصالح در تمام چرخه حیات بررسی شود. عدم ایجاد مسمومیت و سرطان زایی³، جلوگیری از سروصدا و ضایعات در هر مرحله، از اهمیت خاصی برخوردار است (Zhou, Yin, 2009; San-jose, Losada, Cuadrado, 2009). بحث کاهش مصرف انرژی و

به تبع آن کاهش هزینه ها، فقط مربوط به مراحل اولیه نیست، بلکه در تمام طول چرخه حیات مصالح و حتی در مرحله مدیریت پسماند مورد توجه است.

در تصویر شماره 1 طبیعت و محیط زیست در مرکز چرخه قرار دارد. تمام مصالح ساختمانی (یا مواد اولیه آن ها) به گونه ای از طبیعت استخراج می شوند. سپس مراحل تولید را طی کرده و به محل ساخت حمل می گردند. پس از ساخت و در زمان بهره برداری نیز ویژگی های مصالح در کاهش خطرات زیست محیطی می تواند مؤثر باشد. پس از پایان عمر ساختمان سرنوشت مصالح بسته به اینکه دوباره مورد استفاده قرار گیرند، به چرخه تولید برگردند و یا به طبیعت بازگردانده شوند، در کیفیت محیط زیست مؤثر است. در هر کدام از مراحل چرخه حیات مصالح، نکات خاصی وجود دارد که می بایست مورد توجه قرار گیرد.



ت 1. چرخه حیات مصالح، مأخذ: یافته های پژوهش.

تولید

تولید مصالح فرایندی دارد که قابل ملاحظه است. فرایند تولید همه مصالح یکسان نیست. ممکن است این فرایند طولانی و یا بسیار کوتاه باشد اما همه مصالح از طبیعت استحصال می‌شوند. استحصال بعضی مصالح مانند چوب، تجدیدپذیر است. این نوع مصالح قابل برگشت به طبیعت است. استحصال بعضی مصالح مانند آهن، طولانی و پیچیده است. این نوع مصالح معمولاً برگشت‌پذیر نیستند یا برگشت آن‌ها به طبیعت بسیار طولانی است. بعضی از مصالح در دسترس است ولی بعضی دیگر باید استخراج شود. خاک در دسترس‌ترین مصالح به‌شمار می‌رود. خاک مستقیماً از طبیعت استحصال⁴ می‌شود و خیلی سریع به طبیعت باز می‌گردد. مصالحی مثل آهک و گچ از معدن استخراج می‌شوند. معادن آن چندان در دسترس نیست. بعضی دیگر به‌صورت خالص و اولیه در طبیعت وجود ندارد و باید آن‌را در یک فرایند پیچیده تولید کرد مانند سیمان و فولاد. استحصال مصالح تجدیدپذیر (خاک) کمترین تخریب و آلودگی را برای طبیعت و محیط‌زیست به‌همراه دارد.

مراحل تولید

استخراج مصالح با ایجاد آلودگی و مصرف انرژی همراه است. استخراج، طبیعت را تخریب می‌کند و تخریب آن جبران‌ناپذیر است. در این مرحله طبیعت (محیط‌زیست) در معرض خطر نابودی واقع می‌شود (Wever, 1997). به‌عنوان مثال استخراج سنگ، کوه را نابود می‌کند. برای تولید سیمان و یا فلزات، قسمت زیادی از طبیعت و محیط‌زیست به سرعت تخریب می‌شود. به‌عنوان نمونه انفجارهای معدن گیوچال⁵ موجب نابودی و تخریب محیط زیست در منطقه علم کوه و تخت سلیمان شده و بستر رودخانه

سردآبرود را برای خیزش سیل و دیگر حوادث غیر مترقبه آماده ساخته است (سلاح‌ورزی، 1385).

منابع اولیه مصالح بایستی تجدیدپذیر باشند (Wever, 1997). به‌عبارت دیگر بهره‌برداری از منابع باید به طریقی انجام شود که امکان تجدید آن‌را باقی بگذارد. به‌عنوان مثال بهره‌برداری بی‌رویه از جنگل‌ها برای تولید چوب موجب تخریب سریع آن‌ها می‌شود.⁶ در صورتی که بهره‌برداری اصولی و با مطالعه انجام بگیرد، جنگل‌ها امکان باروری مجدد را خواهند یافت. با برنامه‌ریزی، مدیریت و سرمایه‌گذاری می‌توان چوب مورد نیاز ساختمان‌سازی را تولید کرد.⁷ تولید چوب آلوده کننده نیست، بلکه برای محیط‌زیست مفید و سازنده می‌باشد.

برخی از مصالح مانند چوب و خاک به شکل طبیعی (اولیه) مصرف می‌شوند و نیاز به فرآوری ندارند. بعضی مصالح تولیدشان با صرف انرژی و آلودگی فراوان همراه است. مثلاً سنگ را می‌توان به شکل طبیعی (همان‌گونه که در معماری بومی به‌کار می‌رود) و در صورت لزوم با اندکی تغییر شکل (مانند سنگ قلوه و سنگ لاشه) مصرف کرد. در حالی که برای تولید سنگ پلاک انرژی فراوان مصرف می‌شود. علاوه بر این تخریب و آلودگی هوا و محیط را همراه با سر و صدا به‌دنبال دارد.⁸ انرژی زیاد از جمله آب، برق و سوخت فسیلی برای برش آن مصرف می‌شود. از این رو هر چه از مصالح به‌صورت اولیه و کمتر فرآوری شده استفاده شود، استخراج مواد خام کمتر و مصرف منابع کاهش می‌یابد (کیم، 1382).

در تولید بسیاری از مصالح فرآوری شده، در زمان تولید ممکن است افزودنی‌های شیمیایی به آن اضافه شود. این‌گونه مواد (مثل مواد پلاستیکی) اغلب سمی بوده و خطرات زیست محیطی فراوانی به‌همراه دارند (Calkins, 2008).

از آنجا که دوام و استحکام مصالح موجب طول عمر ساختمان شده و دارای ارزش زیست محیطی می‌باشد، کیفیت تولید و مرغوبیت مصالح تولیدی مورد توجه قرار می‌گیرند (Godfard, Janssen, Hendriks, 2005). انتخاب مصالحی که مرغوب‌تر باشند، یک راهکار زیست محیطی محسوب می‌شود. بنابراین در زمان تولید می‌بایست در جهت بهینه‌سازی محصول و تولید مرغوب آن تلاش شود. البته ناگفته نماند که مرغوبیت در مصالح فرآوری شده هزینه‌ها را نیز چند برابر می‌کند. نکته اساسی دیگر که در این مرحله بایستی به آن توجه شود، تولید مصالح در ابعاد و اندازه‌هایی است که کمترین ضایعات را در زمان ساخت ساختمان داشته باشد (Calkins, 2008).

انواع تولید

تولید را می‌توان به دو شکل تولید انبوه (متمرکز) و تولید محلی (غیرمتمرکز) در نظر گرفت.

تولید محلی (بومی): مصالحی مانند آجر و خشت خام را می‌توان کاملاً به صورت محلی تولید کرد.⁹ این نوع تولید مصالح را تولید بومی (محلی) و نوع اول می‌نامیم. البته امروزه تولید آجر سفال به صورت کارخانه‌ای و متمرکز انجام می‌شود.

تولید منطقه‌ای: سیمان از آن نوع مصالحی است که در عین اینکه فرایند تولید طولانی و پیچیده دارد ولی می‌توان آن را در هر منطقه‌ای از کشور تولید کرد.¹⁰ این نوع تولید مصالح را تولید منطقه‌ای و نوع دوم می‌نامیم. **تولید ملی (کشوری):** فلزات از جمله محصولاتی هستند که به صورت متمرکز تولید می‌شوند. کارخانجات تولید فلزات، معدود و با فرایندی طولانی و پیچیده تولید می‌شود.¹¹ این نوع تولید مصالح را تولید کشوری (ملی) و نوع سوم می‌نامیم.

چگونگی و نوع تولید مصالح، بر مصرف انرژی تولید، انرژی حمل مواد اولیه و انرژی حمل محصول مؤثر است.

هزینه‌های حمل و نقل اولیه

مصالح بومی مثل خاک، سنگ محلی (سنگ قلوه و لاشه) و چوب به عنوان مصالح بومی کمترین هزینه حمل را دارند. ولی مصالحی که نیاز به فرآوری پیچیده و طولانی دارد مانند سیمان و آهن، حمل و نقل مواد اولیه آن هزینه زیادی را تحمیل می‌کند. برای تهیه سیمان، مواد اولیه باید با صرف انرژی از مسافت دور در سطح منطقه به کارخانه حمل شود. سپس سیمان تولید شده را با صرف انرژی مضاعف به مناطق مصرف حمل کرد. برای تولید فولاد، ابتدا باید سنگ آهن را در نقاط مختلف کشور کشف و استخراج کرد. سپس سنگ مورد نظر می‌بایست از محلی با فاصله چند صد کیلومتری با صرف انرژی زیاد به کارخانه حمل شود. سپس با طی مراحل بسیار پیچیده، صرف انرژی فوق العاده و در فرایندی طولانی و آلوده کننده به فولاد تبدیل گردد و برای مصرف، دوباره با صرف انرژی به سراسر کشور حمل و توزیع شود. بار کردن و خالی کردن مصالحی مثل آهن و فولاد نیز مستلزم مصرف انرژی است.¹² همچنین استفاده از آهن و فولاد نیاز به مصرف انرژی دارد.¹³ بنابراین مصالحی همچون فولاد فرایندی بسیار طولانی از استخراج تا مصرف دارند و در این فرایند انرژی زیادی را مصرف می‌کنند و به همین نسبت بسیار آلوده‌زا و پرهزینه محسوب می‌شوند (Howarth, Hadfield, 2006). مصالح منطقه‌ای کمتر از مصالح ملی انرژی بر هستند. هر چند از نظر آلودگی ممکن است تفاوتی با مصالح ملی نداشته باشند. کارخانه تولید سیمان تا کیلومترها اطراف خود را آلوده کرده و مزارع، جنگل و مراتع را از بین می‌برد. هیچ

بعضی از مصالح تا رسیدن به مرحله استفاده، چندین بار حمل و نقل می‌شوند.

فاصله حمل

انرژی مصرفی و آلودگی تولیدی در مراحل حمل با طولانی شدن مسیر حمل به شدت افزایش می‌یابد. هزینه حمل مصالح ساختمانی عموماً قسمت اعظم هزینه مصالح را در مصالح نوع دوم (مصالح منطقه‌ای) و نوع سوم (مصالح کشوری) در برمی‌گیرد (Davila, Chang, 2005). مصالحی که تولید آن‌ها به شکل متمرکز صورت می‌گیرد، بیشترین هزینه‌های حمل را در بر دارند (Wever, 1997). اما مصالحی مانند شن و ماسه که به شکل طبیعی (برداشت محلی) مصرف می‌شوند و می‌توانند از فاصله‌ای نزدیک به محل ساختمان حمل شوند، کمترین آلودگی و مصرف انرژی را دارند (Calkins, 2008).

وزن مصالح حمل شده

برخی مصالح مانند فولاد و سیمان علاوه بر فاصله حمل طولانی، به دلیل وزن زیاد، حمل مشکل‌تری داشته و مصرف انرژی و هزینه را بالا می‌برند.

انبارداری

انبارداری مصالح نیز از عوامل مؤثر زیست محیطی محسوب می‌شود. زیرا هم نیاز به صرف انرژی و هزینه حمل داشته و هم نیاز به ساخت انبار دارد. مصالح نوع دوم و سوم مثل سیمان و آهن حتماً باید به موقعیت‌های شهری حمل، انبار و سپس توزیع شود. لذا هزینه‌های حمل و انبارداری و توزیع آن‌ها بسیار گران است. از این رو بهره‌گیری از مصالح محلی و بومی آشکار می‌نماید که کمترین فشار را از لحاظ آلودگی و تخریب برای محیط‌زیست به همراه دارند. زیرا مصالح بومی فاصله حمل کوتاهی دارند و به راحتی در دسترس بوده و نیاز به حمل و نقل طولانی نداشته و به طبع ایجاد

موجود زنده‌ای در حوزه آلودگی کارخانه سیمان در مصونیت نیست¹⁴. اما در مقابل مصالح بومی کمترین مصرف انرژی را، هم در تولید و هم در حمل و نقل دارند. همچنین کمترین آلودگی را در تولید دارند. لذا به نسبت، در چرخه تولید تا مصرف، کمترین آلودگی را ایجاد می‌کنند.

هزینه‌های تولید

اغلب مصالحی که فرایند تولید آن‌ها طولانی و پیچیده است، مصالحی گران، با مصرف انرژی بالا و به طبع، آلاینده‌گی بیشتری نیز دارند (آلاینده‌گی نیز مستلزم هزینه است)¹⁵. این گونه مصالح به دلیل محدود بودن کارخانه‌های تولید، در حمل و نقل، مسافت بیشتری را طی می‌کنند. به عنوان نمونه می‌توان تیرآهن را نام برد که دارای پیچیدگی تولید است و به نسبت، مصالحی گران محسوب می‌شود.

بنابراین مصالحی که به شکل خام (طبیعی یا بدون فرآوری) مصرف می‌شوند به مراتب مصالحی سالم‌تر و زیست محیطی‌تر و در ضمن کم هزینه‌تر محسوب می‌شوند.

در پایان مرحله تولید، مصرف انرژی مربوط به بسته‌بندی مصالح جدید نیز از عوامل دخیل در افزایش مصرف انرژی هستند. ولی در مقابل موجب کاهش ضایعات مصالح و کاهش تخریب محیط‌زیست می‌شوند. اما هرچند بسته‌بندی برای جلوگیری از آسیب، آلودگی را کاهش می‌دهد؛ لیکن بسته‌بندی برای مصالح جدید امری ناگزیر و مستلزم هزینه است و قیمت مصالح را بالا می‌برد.

حمل و نقل

برای اینکه یک ساختمان ساخته شود لازم است مصالح از محل تولید به محل ساختمان حمل شوند. دو عامل مؤثر در حمل و نقل؛ فاصله و وزن مصالح است.

آلودگی کمتری می‌کنند. به همین نسبت هزینه کمتری نیز در بردارند.

ساخت

آنچه که تاکنون مطرح شد مربوط به مراحل تولید و مراحل قبل از به‌کارگیری و مصرف مصالح در ساختمان‌سازی است. اما در زمان ساخت هم مؤلفه‌های فراوانی در مورد کیفیت به‌کارگیری و مصرف مصالح وجود دارد. از جمله ایجاد آلودگی به شکل دی‌اکسیدکربن، سروصدا و گردوخاک، مصرف انرژی برای برپایی ساختمان و مصرف آب در زمان ساخت که برای مصالح مختلف می‌بایست مورد توجه قرار گیرند. امکان دسترسی به فناوری ساخت، نکته مهمی است که در انتخاب مصالح مؤثر است. ماشین آلات ساختمانی نیاز به مصرف انرژی دارند و با آلودگی و ایجاد صدا همراهند. آب نیز جزء منابع انرژی محسوب می‌شود و می‌بایست در مصرف آن صرفه‌جویی به‌عمل آید (Calkins, 2008).

صرفه‌جویی در مصرف مصالح به نوع طراحی بستگی دارد. از این‌رو نوع طراحی در میزان مصرف مصالح در طول زمان ساخت می‌تواند مؤثر باشد (Wever, 1997). به‌علاوه تناسب ابعاد فضا با اندازه مصالح موجب کاهش ضایعات می‌شود. طول دوره ساخت نیز مؤلفه مؤثری است. افزایش زمان ساخت، افزایش آلودگی و مصرف انرژی را به‌همراه دارد. بنابراین باید از مصالحی استفاده کرد که زمان ساخت را کوتاه‌تر کرده، فناوری آن‌ها در دسترس باشد و نیاز به ماشین‌آلات را به حداقل برساند، نیاز به مصرف آب کمی داشته باشد، ساخت آن ایجاد آلودگی و سرو صدا نکند، به افزودنی‌ها و مواد شیمیایی نیاز نداشته و کمترین خطر را برای سلامت انسان و محیط‌زیست به‌دنبال داشته باشد. امروزه با استفاده از اسکلت بتونی، طول دوره ساخت به مراتب افزایش یافته است. به این ترتیب

افزایش زمان ساخت در زمان استفاده از مصالح جدید موجب صرف انرژی زیاده‌تر و آلودگی بیشتر می‌شود.

مصالح گوناگون چسباننده‌های مختلفی دارند. به‌علاوه برخی از مصالح به رنگ، اندود و دیگر افزودنی‌ها نیاز دارند. چسباننده و ملات خاص هر مصالح، عاملی در بررسی تأثیرات زیست محیطی آن مصالح است (Ljungberg, 2007). مثلاً در ملات آجر، امروزه از سیمان استفاده می‌شود. در چوب که مصالحی طبیعی است ممکن است از رنگ و یا چسباننده‌های شیمیایی مضر استفاده شود. البته چسب چوب آلودگی کمتری دارد و در اتصالات چوب از پیچ و میخ هم می‌توان استفاده کرد که ساده و کم‌خطر است. روش‌های قدیمی کار را راحت‌تر و مناسب‌تر می‌کرده است.

در زمان ساخت می‌بایست بهترین بهره‌برداری را از مصالح به‌عمل آورد. به‌عبارت دیگر هر ماده‌ای باید در بهترین شکل و با بیشترین حد سودمندی استفاده شود (Calkins, 2008). در این زمینه فناوری اجراء، نیز بسیار دخیل است. انتخاب مصالحی که در زمان ساخت بیشترین شکل بهره‌برداری را دارند، موجب کاهش مصرف منابع می‌شود. به‌عنوان مثال استفاده از فولاد به شکل تیرآهن در سقف، حداکثر بهره‌برداری از این ماده مقاوم ساختمانی نیست¹⁶.

یکی از مؤلفه‌هایی که بر حفظ محیط‌زیست اثرگذار است و هزینه را نیز کاهش می‌دهد، استفاده مجدد یا بازیافت مصالح است. اما در مرحله ساخت بایستی این نکته را مورد توجه قرار داد که مصالح ترکیبی دیگر قابل بازیافت و یا استفاده مجدد نیستند. امکان جدا کردن شن و سیمان پس از تخریب بتن وجود ندارد. یا سنگ‌های پلاک پس از تخریب خرد می‌شود و قابل استفاده نیستند و به‌لحاظ چسبندگی که با ملات دارد در طبیعت به‌صورت ضایعات باقی می‌مانند (Calkins, 2008).

مصالح مصرفی مرتبط است (Zimmermann, Althaus, 2005). بنابراین انتخاب صحیح مصالح متناسب با بوم موجب می‌شود که مصرف انرژی در طول عمر ساختمان کاهش یابد. رنگ مصالح نیز در جذب انرژی مؤثر است. از این رو مصالحی که رنگ روشن دارند جذب حرارتی کمتری داشته و انرژی خورشید را منعکس می‌کنند (Calkins, 2008). بنابراین از گرم شدن ساختمان و همچنین محیط اطراف جلوگیری می‌کنند. طول عمر ساختمان در زمان بهره‌برداری بستگی به استحکام و دوام مصالح مصرفی در مقابل تنش‌های وارده، رطوبت و شرایط محیطی دارد (Godfard, Clements Croome, Jeronimidis, 2005). کاهش طول عمر ساختمان‌ها موجب مصرف بیش از حد انرژی و ایجاد آلودگی می‌شود و تولید پسماندهای ساختمان را افزایش می‌دهد (Isik, 2008). دوام و طول عمر ساختمان بستگی به نوع مصالح، نوع فن‌آوری ساخت و همچنین شیوه ساخت بنا دارد. تعمیرات سهل و آسان هم می‌تواند به طول عمر بنا بیافزاید. انتخاب مصالح باید به گونه‌ای باشد که تعمیر آن‌را در زمان بهره‌برداری امکان پذیر و آسان سازد (Yagi, Halada, 2001). معمولاً مصالحی که با شرایط محیطی مطابقت دارند، تعمیر و نگهداری آن‌ها نیز آسان است. به عنوان مثال مصالح بومی (چوب) در نواحی مرطوب علاوه بر مقاومت در مقابل رطوبت، یک سازه چوبی را به راحتی با تعویض یکی از اعضا می‌توان تعمیر نمود. در حالی که تعمیر سازه بتنی تقریباً ممکن نیست یا بسیار سخت است.

تخریب

میزان تأثیر زیست محیطی مصالح مصرفی در زمان تخریب ساختمان تعیین می‌شود. عمل تخریب بایستی کمترین سروصدا و آلودگی را به همراه داشته باشد. به عنوان مثال آجر و سنگ برچیده می‌شوند، اما بتن با

به طور کلی فناوری ساختمان سازی بایستی کمترین خطر را برای سلامتی انسان و محیط زیست داشته باشد. انرژی و آب کمتری مصرف کند و آلودگی کمتری تولید کند. در نتیجه ضروری است، مصالحی مصرف شود که فناوری اجرای آن‌ها پاک باشد.

بهره‌برداری

نوع مصالح مصرفی باید به گونه‌ای باشد که در زمان بهره‌برداری حداکثر بهره‌وری را داشته باشد و کمترین صدمه را به آسایش انسان وارد آورد و مصرف انرژی آن به کمترین حد بهینه برسد. برای این منظور انتخاب مصالح باید با توجه به بوم مورد نظر و اقلیم منطقه، صورت گیرد. برای آسایش انسان، بایستی دما و رطوبت درون ساختمان تنظیم شود. امروزه تنظیم و ثابت نگهداشتن دمای داخل فضا با تاسیسات مکانیکی میسر است. لیکن مصرف انرژی برای تنظیم دما بستگی به جداره‌ها و بازشوها دارد. هرچه جداره و بازشو تبادل حرارت بیشتری داشته باشد، مصرف انرژی برای ثابت نگهداشتن دما بیشتر است. به عنوان نمونه هرچه جداره‌ها جرم حرارتی بالاتری داشته باشند، در اقلیم‌هایی مانند مناطق گرم و خشک و یا سرد کوهستانی موجب کاهش مصرف سوخت در ساختمان می‌شود (Morel, Mesbah, Oggero, 2001).

علاوه بر ضخامت دیوارها (جرم)، ضریب انتقال حرارتی¹⁷ مصالح جداره‌ها نیز عامل مهمی در کاهش مصرف انرژی است. در این مورد می‌توان فولاد را با چوب مقایسه کرد که هر دو برای تیرپوش سقف استفاده می‌شود. ضریب انتقال حرارتی فولاد بسیار بالا است و استفاده از این ماده موجب می‌شود که مصرف انرژی در ساختمان برای سرمایش و گرمایش افزایش یابد¹⁸ (Lyons, 2007). لذا انرژی مصرفی جهت سرمایش و گرمایش، روشنایی و غیره به طور مستقیم به

انفجار تخریب می‌شود. انرژی مصرفی، آلودگی هوا و تولید سر و صدای انفجار قابل مقایسه با هیچ نوع تخریب دیگری نیست! علاوه بر این مصالح پس از تخریب پسماندهای متفاوتی دارند. این پسماندها بسته به میزانی که در طبیعت باقی می‌مانند تأثیر مخرب بر محیط‌زیست و طبیعت می‌گذارند. برخی مصالح دورریزهای خطرناک محسوب می‌شوند. در مقابل برخی دیگر مجدداً قابل استفاده هستند. مصالحی مانند فلزات می‌توانند دوباره وارد چرخه تولید شوند. اما عمل بازیافت فلزات با صرف انرژی زیاد و ایجاد آلودگی همراه است (Gabriella, Janssen, Hendriks, 2002). اما مصالحی مانند آجر (به‌خصوص اگر با ملات گل کار شده باشد)؛ می‌تواند به‌همان شکل اولیه، دوباره مورد استفاده قرار گیرند که این امر کاهش تولید زباله و نیز کاهش مصرف منابع را در پی دارد (Calkins, 2008). بنابراین برای امکان قابلیت استفاده مجدد، بایستی مصالح در زمان تخریب دسته‌بندی شده و جدا شوند (عظمتی، 1387).

نباید پسماندهای ساختمان را رها کرد، بلکه باید برای استفاده مجدد از آن و یا بازگشت‌شان به طبیعت مدیریت لازم صورت گیرد. اما تمام مصالح قابل بازگشت به محیط طبیعی نیستند. بتن پس از تخریب نخاله‌های فراوان تولید کرده که دیگر قابل استفاده نیست و در طبیعت نیز تجزیه نمی‌شود (Powel, 2001). Craighill, 2001). متأسفانه تنها در تهران روزانه 40 هزار تن نخاله ساختمانی تولید می‌شود. تولید نخاله‌های ساختمانی 4 تا 5 برابر تولید زباله‌های خانگی است¹⁹ (بهشتی، 1384). حتی برخی از این مصالح دورریزهای خطرناک محسوب می‌شوند.

اگر پس از پایان عمر ساختمان، مصالح دوباره قابل استفاده باشند و یا به طبیعت بازگردانده شوند؛ چرخه

حیات مصالح کامل می‌شود. استفاده از مصالحی که دوباره به‌همان شکل اولیه قابل استفاده باشند، موجب کاهش مصرف منابع می‌شود (Yagi, Halada, 2001). تولید ضایعات تنها مربوط به مرحله تخریب ساختمان نیست بلکه در زمان تولید مصالح و یا اجرای ساختمان نیز باید میزان دورریز مواد به حداقل برسد (San-jose, Losada, Cuadrado, 2009).

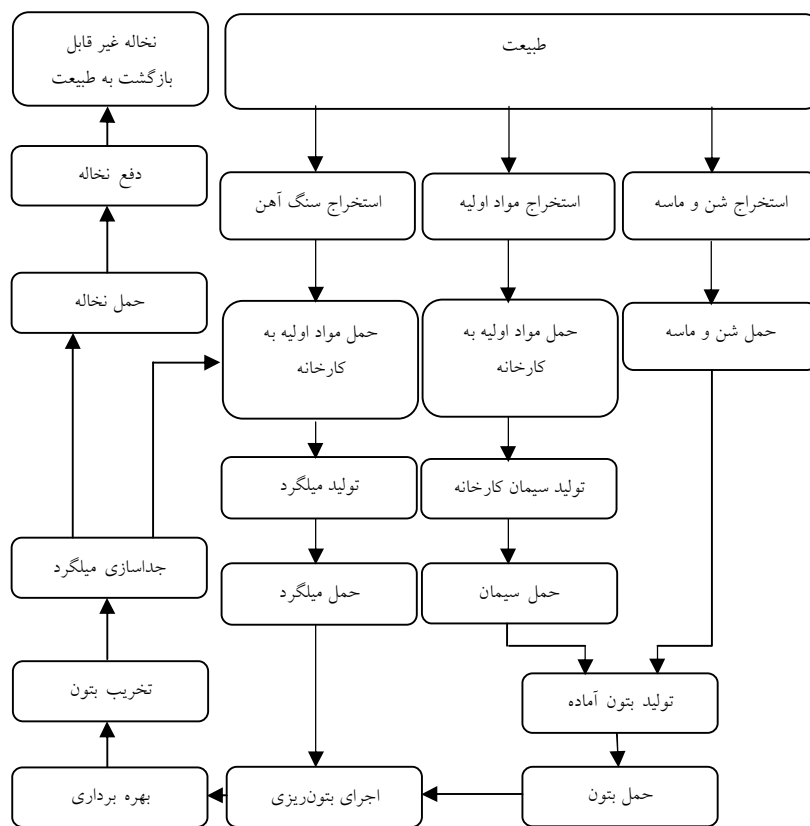
چرخه بتن

آنچه که در زمینه مؤلفه‌های زیست‌محیطی عاملی مؤثر ذکر شد، عواملی کلی هستند. اما می‌توان مؤلفه‌های مذکور را در هر منطقه با توجه به مصالح در دسترس، در محل مورد نظر بررسی کرد (zimmermann, Althaus, Haas, 2005). به این ترتیب اولین گام در انتخاب مصالح تهیه لیست مصالح موجود بومی است و سپس باید هر مصالح را در چرخه حیات آن از ابتدا تا انتها مورد بررسی قرار داد.

به‌عنوان نمونه بتن را مورد بررسی قرار می‌دهیم: در نمودار شماره 1 چرخه حیات بتن نشان داده شده است. ابتدا بایستی از معادن، با تخریب زیست‌بوم محل، ماده خام استخراج شود، پس از رسیدن به کارخانه، طی مراحل پیچیده و با ایجاد آلودگی فراوان، سیمان تولید می‌شود. حمل سیمان تولیدی و انبار آن با مصرف انرژی زیاد همراه است. در نهایت ترکیب آن با شن و ماسه نیاز به دستگاه‌های خاص خود و مصرف انرژی دارد. در مواردی از جمله در شهرهای بزرگ، بتن در کارگاه مربوطه ساخته و به محل ساختمان حمل می‌گردد. در این صورت قیمت تمام شده بتن گرانتر است. افزودنی‌های شیمیایی بتن و سیمان مؤلفه مخرب دیگری است (Isik, 2008). حمل بتن به محل کارگاه، پمپ بتن به محل مصرف، و بهره و نگهداری آن با صرف انرژی زیاد و هزینه‌های گزاف همراه است.

تجزیه و بازگشت به چرخه طبیعی نیستند و موجب تخریب محیط زیست و طبیعت می شوند (Powel, Craighill, 2001). ماشین آلات فراوانی در مراحل چرخه ساخت بتن از زمان استخراج از معدن تا دفع نخاله، مورد استفاده قرار می گیرند که علاوه بر افزایش هزینه ساخت موجب آسیب های زیست محیطی فراوان نیز می گردند.

همچنین صرف آب برای ساخت و نگهداری بتن زیانبار است. دقت و مراقبت از بتن برای رسیدن به مقاومت نهایی و مورد نظر، بسیار دشوار و مستلزم مهارت و هزینه است. میلگرد مصرفی نیز با طی مراحل مختلف تولید و حمل، به صرف انرژی فراوان برای رسیدن به پای کار نیاز دارد. پس از تخریب نیز این نوع مصالح (بتن) به نخاله های بی مصرف تبدیل شده، قابل



ن 1. چرخه حیات بتن، مأخذ: یافته های پژوهش.

مقایسه مصالح بومی با مصالح جدید

در جدول شماره 1، عوامل مؤثر در انتخاب مصالح مناسب زیست محیطی که در مورد چرخه حیات مصالح ذکر شد، نشان داده شده است. با توجه به جدول شماره 1 می توان ویژگی های مثبت

مصالح بومی را باز شناخت. یکی از مهمترین تفاوت های مصالح بومی و مصالح جدید در مرحله تولید است. تولید مصالح جدید با مصرف انرژی و آلودگی فراوان همراه است در حالی که اغلب مصالح

بومی تنها به یک فراوری ساده اولیه نیازمند می‌باشند. بسیاری از مصالح بومی از منابعی تجدیدپذیر تهیه می‌شوند. مصالحی مانند خاک، چوب و حتی مواد دور ریز مثل کاه، گالی، ساقه برنج که به شکل مؤثری در معماری بومی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

با وجود مقاومت و استحکام بالای مصالح جدید در مقایسه با مصالح بومی، ساختمان‌های امروزی عمر پایین‌تری دارند (Morel, Mesbah, Oggero, 2001). زیرا از این مصالح به شکل صحیح استفاده نمی‌شود و این ساختمان‌ها مانند گذشته قابل تعمیر نیستند!

ویژگی مصالح سازگار با محیط‌زیست	ویژگی مصالح سازگار با محیط‌زیست	
1. طول عمر بیشتر ساختمان (Morel, Mesbah, Oggero, 2001) 2. کاهش مصرف مصالح (کیم, 1382) 3. استحصال تجدیدپذیر (ویسه, خداینده, حکاکی فرد و طهماسبی, 1388) (Wever, 1997) 4. امکان استفاده به صورت خام و یا با فراوری اولیه (ویسه, خداینده, حکاکی فرد و طهماسبی, 1388) (Howarth, Hadfield, 2006) 5. عدم استفاده از مواد شیمیایی در تولید (Howarth, Hadfield, 2006)	1. تخریب محیط‌زیست در زمان استخراج و برهم زدن اکوسیستم محل 2. آلودگی فراوان در زمان استخراج ماده اولیه و تولید در کارخانه 3. مصرف بالای انرژی در تولید (Howarth, Hadfield, 2006) 4. ایجاد مسمومیت و یا سرطان‌زایی در تولید برخی از مصالح (Calkins, 2008) 5. نیاز به فناوری پیشرفته جهت تولید	استخراج و تولید
1. فاصله حمل کوتاه (ویسه, خداینده, حکاکی فرد, طهماسبی, 1388) (Calkins, 2006) 2. کاهش نیاز به انبار	1. مسیر طولانی حمل و مصرف انرژی و ایجاد آلودگی (ویسه, خداینده, حکاکی فرد و طهماسبی, 1388) 2. نیاز به انبار 3. چندین مرحله حمل تا رسیدن به محل استفاده 4. وزن بالا و نیاز به ماشین آلات فراوان جهت حمل (ویسه, خداینده, حکاکی فرد و طهماسبی, 1388)	حمل و انبار
1. فناوری ساخت ساده و در دسترس (ویسه, خداینده, حکاکی فرد و طهماسبی, 1388) (Howarth, Hadfield, 2006) 2. زمان ساخت کوتاه‌تر 3. عدم نیاز به ماشین‌آلات پیشرفته (Howarth, Hadfield, 2006) 4. عدم ایجاد سر و صدا و آلودگی 5. کاهش هزینه‌ها (ویسه, خداینده, حکاکی فرد و طهماسبی, 1388)	1. ایجاد سر و صدا و آلودگی در زمان ساخت 2. تولید ضایعات در حین ساخت (Calkins, 2006) 3. افزودنی‌های مضر و شیمیایی (Isik, 2008) 4. نیاز به ماشین‌آلات جهت ساخت و ساز و مصرف انرژی 5. عدم استفاده صحیح 6. عدم آشنایی افراد محلی با نحوه کاربرد مصالح (ویسه, خداینده, حکاکی فرد و طهماسبی, 1388) (صادق پی, 1391)	ساخت و ساز
1. ضریب انتقال حرارت پایین و عدم نیاز به عایق کاری حرارتی (هادی, نصرالهی, حسینی, 1390) (صادق پی, 1391) 2. قابلیت تعمیرات در حین بهره‌برداری (Yagi, Halada, 2001) 3. تطابق با آب و هوای محل (هادی, نصرالهی, حسینی, 1390) (قبادیان, 1382)	1. نیاز به عایق کاری حرارتی (Lyons, 2007) 2. نیاز به وسایل سرمایش و گرمایش (صادق پی, 1391) (Zimmermann, Althaus, Haas, 2005) 3. کاهش طول عمر ساختمان (Morel, Mesbah, Oggero, 2001)	بهره‌برداری
1. قابل برگشت به طبیعت 2. قابلیت استفاده مجدد (Calkins, 2008; Wever, 1997) 3. قابلیت بازیافت	1. عمل تخریب با صرف انرژی و ایجاد آلودگی و سروصدا 2. ایجاد پسماندهای خطرناک 3. عدم تجزیه در طبیعت و ایجاد نخاله (Powel, Craighill, 2001) 4. عدم امکان استفاده مجدد (Howarth, Hadfield, 2006) 5. بازیافت پرهزینه و با صرف انرژی (Gabriella, Janssen, Hendriks, 2002)	تخریب و بازیافت

ج 1. ویژگی‌های مثبت مصالح بومی و ویژگی‌های منفی مصالح جدید از دیدگاه زیست‌محیطی در چرخه حیات مصالح. مأخذ: یافته‌های پژوهش.

فوم²¹، امری کاملاً مغایر با قوانین زیست محیطی و آسایش و سلامت انسان است.

یکی از دلایل متفاوت بودن دما در مکان شهری و مکان روستایی استفاده از مصالح بومی و همگن در روستا و مصالح غیر بومی و ناهمگن در شهر است²². در مکان شهری کف آسفالت²³ خیابان‌ها و بدنه سنگی یا سیمانی ساختمان‌ها، جاذب شدید گرمای آفتاب هستند. توصیه‌های غلط آئین‌نامه‌های اجرایی، استفاده از مصالح جدید را رواج داده و موجب شده که ساختمان‌سازی در تمام بوم و مناطق ایران شکلی یکسان به خود بگیرد. برای فراهم کردن آسایش داخل ساختمان‌های جدید باید از وسایل مکانیکی سرمایشی، گرمایشی و تهویه استفاده شود تا بتوان دما و رطوبت را تنظیم کرد. استفاده از وسایل مکانیکی مستلزم صرف انرژی زیاد است. مصرف انرژی دمای محیط و آلودگی را افزایش می‌دهد. در این شرایط مصرف انرژی در زمان بهره‌برداری از ساختمان بسیار سرسام‌آور است و منابع مالی زیادی از دولت صرف فراهم کردن سوخت برای تأمین انرژی ساختمانی از نوع خانگی می‌شود.

این درحالی است که در معماری سنتی و بومی همه چیز در جهت کم مصرف کردن طراحی شده است. معماری سنتی و بومی با موقعیت خود از نظر جغرافیایی و اقلیمی منطبق است. کمترین انرژی را برای گرم شدن یا سرد شدن نیاز دارد. ساده است، مصالح آن در محل قابل تأمین است. نیاز به تخصص تکنولوژیکی ندارد. مصالح طبیعی است و پس از پایان عمر بنا به راحتی به طبیعت باز می‌گردد. در حالی که تخریب ساختمان‌های جدید نخاله غیر قابل تجزیه، خطرناک و آلوده تولید می‌کند. بعد از زلزله در شهرها، محوطه وسیعی از نخاله برجای می‌ماند. در شهر بم بعد از زلزله سال 1382، کنار جاده‌های منتهی به شهر بم تا

استفاده از مصالح بوم‌آورد سبب کاهش مصرف انرژی و تولید آلودگی در مرحله حمل می‌شود. درحالی که برای استفاده از فولاد ابتدا بایستی حمل مصالح خام و سپس حمل فولاد به ساختمان تا فاصله‌های چند صد کیلومتری محقق شود. چوب به راحتی در دسترس است. چوب ساختمانی برای دوام بیشتر نیاز به فرآوری دارد. اما انرژی مصرفی برای فرآوری چوب قابل مقایسه با انرژی مصرفی برای تولید فولاد یا بتن نیست. در زمان ساخت، انرژی مصرفی برای برش چوب به مراتب کمتر از انرژی لازم برای برش تیرآهن است. چوب با دست و اره دستی هم بریده می‌شود. اما برش تیرآهن نیاز به برش جوش دارد که انرژی زیادی را مصرف می‌کند و ضمناً نیاز به فن‌آوری پیچیده و تخصص دارد. در زمان بهره‌برداری، چوب عایقی حرارتی است در حالی که فولاد یک ماده انتقال‌دهنده سریع حرارت است و برای جلوگیری از تبادل حرارت نیاز به عایق کاری حرارتی دارد. پس از تخریب، چوب در صورت سالم بودن، به سادگی و به شکل کامل از ساختمان خارج می‌شود و می‌توان دوباره آن را مورد استفاده قرار داد. در صورت پوسیدگی برای مصارف سوخت استفاده می‌شود. یا می‌توان آن را در فرایند تولید صفحات چوبی مثل نئوپان به کار گرفت. در نهایت نیز به سادگی به چرخه طبیعت برمی‌گردد. فولاد نیز قابلیت بازیافت دارد. اما بازیافت آن با صرف انرژی فراوان، طول زمان و آلودگی محیط زیست همراه است.

پیشرفت تکنولوژی، افزایش تعداد کارخانه‌ها، تنوع مصالح ساختمانی جدید، استفاده از مواد شیمیایی، نه تنها موجب بالا رفتن کیفیت ساختمان و افزایش طول عمر آن نشده، بلکه تخریب فراوان زیست محیطی را نیز به همراه داشته است (Morel, Mesbah, Oggero, 2001). به کارگیری مصالح خطرناکی مانند ایرانیت²⁰ و

کیلومترها انباشته از نخاله‌های مصالح ساختمانی شده است. نخاله‌ها هم منظره بیرونی شهر را تخریب کرده و هم آلودگی‌های آن به‌وسیله جریان باد به شهر برمی‌گردد. درحالی‌که در روستاهایی که همچنان از مصالح بومی بهره می‌گیرند، بدون ایجاد زباله، خانه‌های جدید به سرعت در جای خویش برپا می‌شود. در این مورد نیز روستاهای بم مثال زدنی است. چرا که در روستاها تمام آوارهای ناشی از خانه‌های روستایی به مزارع برگشت و تنها ساختمان‌های دولتی روستایی به نخاله تبدیل شدند.

از آنجا که مصالح مصرفی نباید در هیچ کدام از مراحل ایجاد مسمومیت و آلودگی کنند، معماری بومی گرچه در مقایسه ظاهری، کیفیت معماری جدید را ندارد، لیکن از بسیاری جنبه‌ها به صلاح زیست انسان است و آسایش و آرامش انسان‌های بومی را فراهم می‌کند. مصالح بومی مانند سنگ قلوه، سنگ لاشه، چوب، خشت و حتی آجر را به‌صورتی که در معماری بومی به‌کار می‌روند، می‌توان پس از تخریب دوباره مورد استفاده قرار داد. این به معنی صرفه‌جویی، ارزان تمام شدن، آلوده نشدن محیط‌زیست و جلوگیری از تخریب طبیعت است. مصالح و ضخامت دیوارها در معماری قدیمی عایق صدا و حرارت است و آسایش و آرامش ساکنین را فراهم می‌کنند. دیوارهای ضخیم معماری گذشته، امروزه دیگر رواج ندارد و برای کاهش انتقال حرارت در دیوارهای نازک امروزی از عایق‌های حرارتی استفاده می‌شود. این مواد اغلب از مواد شیمیایی و مخرب محیط‌زیست محسوب می‌شوند، قابلیت احتراق بالایی داشته و ایجاد دود سمی می‌کنند. تولید آن‌ها نیز با ایجاد آلودگی فراوان همراه است. در هر منطقه از ایران، مصالحی وجود دارد که می‌تواند بهترین پاسخ را برای عوامل اقلیمی داشته باشد.

شاخه‌های نخل در نواحی گرم و مرطوب، تنه درختان در کرانه دریای خزر و خاک در فلات مرکزی همگی بهترین واکنش را در برابر شرایط اقلیمی آن ناحیه دارند (قبادیان، 1382).

معرفی تعدادی از مصالح بومی ایران

با توجه به اینکه کشور پهناور ایران دارای پهنه‌بندی اقلیمی متنوعی است، هر منطقه مصالح بومی خود را دارد. از آنجا که ایران داری چهار اقلیم اصلی است، هر اقلیم مصالح مربوط به خودش را دارد. به‌عنوان مثال در کرانه جنوبی دریای خزر، مصالح نباتی (درخت و چوب) به‌عنوان مصالح بومی در نظر گرفته می‌شود. در کرانه شمالی خلیج فارس و دریای عمان، حصیر و نخل و سنگ و گل؛ در نواحی کوهستانی و مرتفع فلات، سنگ، گل و چوب و کاهگل؛ در دشتهای فلات مرکزی، گل، خشت و آجر و در نواحی شمالی چوب و گالی به‌عنوان مصالح بومی معرفی می‌شوند (قبادیان، 1382).

در روش دیگری کشور ایران به 8 پهنه اقلیمی (با توجه به خرده اقلیم‌ها) تقسیم می‌شود و مصالح متداول برای هر کدام از این 8 پهنه مورد دسته‌بندی قرار می‌گیرد (ویسه، خدابنده، حکاکی‌فرد و طهماسبی، 1388). البته در هر شهر یا روستا با توجه به اقلیم خرد و مصالح در دسترس محیطی بایستی مصالح بومی را متناسب با همان نقطه انتخاب نمود. در ادامه تعدادی از مصالح بومی متداول در نقاط مختلف ایران معرفی می‌شوند.

چوب از درخت استحصال می‌شود. درختانی مثل کاج، بلوط، سپیدار میوه ندارند. محصول آن‌ها چوب است که از تنه درخت حاصل می‌شود. آن‌ها به‌راحتی قابل کاشت و تکثیرند و موقعی که به رشد کافی رسیدند، استحصال و از چوب آن‌ها استفاده می‌شود²⁴. پس از برداشت، می‌توان به جای درخت بریده شده

رها می‌کنند تا خوب خیس بخورد. سپس به آن کاه اضافه می‌کنند (برای اینکه خشت ترک نخورد) و آنرا بسیار لگد می‌کنند تا خوب ورز داده شود. آنگاه آنرا قالب زده و خشت را در آفتاب خشک می‌کنند. خشت خام پس از خشک شدن قابل استفاده است. بدین طریق خشت خام در محل و خیلی ساده و ارزان تولید می‌شود. ملات خشت خام گل است. در گذشته اغلب ساختمان‌ها با خشت خام ساخته می‌شدند.²⁹

آهک در طبیعت به صورت سنگ یافت می‌شود و باید آنرا استخراج کرد. سنگ آهک مستقیماً قابل استفاده نیست. سنگ آهک باید پس از استخراج به کوره حمل شده و پخته شود تا قابل استفاده گردد. در این صورت عیناً قابل برگشت به طبیعت نیست. استخراج، حمل به کوره، پخته شدن و حمل آن به پای کار مستلزم صرف انرژی است. از نظر صرف انرژی تا پای کار برسد نسبت به چوب و خاک انرژی بیشتری مصرف می‌کند. ولی فرآوری آن از سیمان به مراتب کوتاه‌تر و انرژی و هزینه کمتری مصرف می‌کند. برای پی و ملات دیوار به کار می‌رود. آهک در مکان‌های مرطوب بسیار کارایی دارد.

آجر: ماده اولیه آجر، خاک رس است. خاک رس در طبیعت یافت می‌شود. برای تولید آجر باید خاک رس را به گل تبدیل کرد، آنرا ورز داد، بعد قالب زده شود و سپس پخته شود. در گذشته معمولاً کوره آجرپزی را در جایی احداث می‌کردند که زمین رسی باشد.³⁰ بنابراین خاک نیاز به حمل ندارد. ولی امروز که تولید آجر نیز کارخانه‌ای شده است، برای قالب زدن، پختن و حمل آن به پای کار نیاز به صرف انرژی دارد. آجر مثل چوب و خاک و خشت، قابلیت برگشت سریع به طبیعت را ندارد ولی بعد از عمر ساختمان دوباره قابل استفاده است. از این نظر عمر طولانی دارد. در عین حال برگشت‌پذیری آن به طبیعت سریع‌تر و آسان‌تر از

درخت دیگری کاشت. بنابراین استحصال چوب، طبیعت را تخریب نمی‌کند. تولید آن طولانی است ولی با برنامه‌ریزی قابل تأمین است. نیاز به آب زیاد و آبیاری ندارد. انرژی لازم برای استحصال درخت نیز زیاد نیست. تبدیل چوب به اشکال و ابعاد مختلف به آسانی و به صورت محلی انجام پذیر است.²⁵ انرژی مصرفی در این مرحله زیاد نبوده و ضایعات آن قابل استفاده است.²⁶ و آلودگی نیز ندارد. چوب کمترین ضریب جذب حرارتی را در بین مصالح دارد. چوب در پایان عمر بهره‌وری خود به طبیعت برمی‌گردد²⁷ و هیچ آلودگی به دنبال ندارد.

خاک مستقیماً از طبیعت برداشت و در همه جا یافت می‌شود. فرآوری ندارد و بلافاصله قابل استفاده است. بنابراین کمترین انرژی را از موقع برداشت تا مصرف دارد. اگر لازم باشد، تنها برای حمل آن انرژی صرف می‌شود. قابل برگشت به طبیعت است و موجب تخریب طبیعت نمی‌شود. خاک بعد از چوب کمترین ضریب جذب حرارتی را دارد. در دشت‌های فلات ایران به دلیل کمیاب بودن چوب و سنگ، تنها مصالحی که به منظور امور ساختمانی در این مناطق به طور گسترده یافت می‌شود خاک است. طبق آمار در مناطق گرم و خشک کشور ساختمان‌های اجرا شده با مصالح خاکی به مراتب بیشتر از هر نوع ساختمان دیگری است. این مصالح در ساختمان سازی سنتی به صورت ساختمان‌های گلی، خشتی و آجری کاربرد دارد (قبادیان، 1382). خاک برای شفته آهک پی، اندود کاهگل، اندود غوره گل²⁸، گل گچ برای ملات دیوارچینی و سقف‌های قوسی و گنبدی، اندود دیوارهای داخلی و ساختن خشت خام و آجر استفاده می‌شود.

خشت خام از خاک بدست می‌آید. فرآوری خشت بسیار ساده است. خاک را با آب مخلوط کرده و آنرا

مصالحی مثل بتن و سیمان است. ضریب جذب حرارت آجر بعد از چوب و خاک، کمترین است. آجر برای دیوارچینی، سقف، فرش کف، پله، دست‌انداز و نمای ساختمان به کار می‌رود. در گذشته بعد از خشت و گل بیشترین مصرف را در ساختمان‌های بومی داشته است.

کارایی مصالح بومی

از آنجا که مصالح مصرفی در ساختمان بسیار وابسته به نوع ساختمان و کارایی آن می‌باشند، سطح بکارگیری از مصالح بومی در ساختمان‌های مختلف متفاوت است. در ساختمان‌های بالاتر از دو طبقه ناگزیر از سازه اسکلت فولادی و یا بتنی استفاده می‌شود. ارزش بالای زمین در مناطق شهری، کاربرد دیوارهای قطور گذشته را غیر ممکن می‌سازند. البته مصالح بومی در بازسازی بافت‌های روستایی (طباطبایی، فاضلی، 1388؛ صادقی پی، 1391)، حفظ سیمای یکپارچه روستا (سرتیپی‌پور، 1388) و حل مشکل مسکن ارزان قیمت (ویسه، خدابنده، حکاکی‌فرد، طهماسبی، 1388) می‌تواند بیشترین استفاده را داشته باشد. در معماری جدید نیز آنجا که صحبت از معماری ارگانیک می‌شود، مصالح بومی کاربرد فراوان می‌یابد (صادقی پی، 1391). در معماری معمول شهرها، ساختمان‌هایی با اسکلت فولادی یا بتنی، کاربرد مصالح بومی در بسیاری قسمت‌ها مانند استفاده در دیوارهای پرکننده، نماسازی، دیوار محوطه و غیره امکان‌پذیر است. به هر جهت حفظ و احیای فناوری بومی و دانش استفاده از مصالح بوم‌آورد، با احیای فرهنگ استفاده از این مصالح، ابتدا در روستاها و سپس در شهرها، امکان‌پذیر است (زمرشیدی، 1385).

فناوری و تکنولوژی بومی

توصیه به استفاده مجدد از مصالح بومی نیازمند شناخت ماهیت مصالح و به‌کارگیری فناوری خلاقانه

دارد. گرچه مبحث فناوری مصالح بومی در محدوده مباحث این مقاله نمی‌گنجد، اما در این ارتباط در پژوهش‌های سایر محققین از جمله در کتب و مقالات استاد حسین زمرشیدی مانند مقاله آموزش اجرای ساختمان‌های سنتی با مصالح بنایی، پی و دیوار (زمرشیدی، 1385) و نیز در پژوهش‌های انجام شده در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن مانند مقاله ارائه روش‌های مناسب در استفاده از مصالح بوم‌آورد (ویسه و همکاران، 1388) به این مطلب پرداخته شده است و البته همچنان نیازمند پژوهش بیشتر است.

فناوری استفاده از مصالح بومی به‌صورت یک دانش بومی ارزان و پایدار در ایران وجود دارد. هنوز هم معماران سنتی در شهرها و روستاهای ایران به‌نحوه استفاده از خشت، چوب و سنگ آشنا هستند³¹. در صورتی که روند جایگزینی مصالح جدید با مصالح بومی همچنان ادامه یابد، علاوه بر تخریب محیط زیست، موجب از بین رفتن تدریجی دانش به‌کارگیری مصالح بومی می‌شود و تکنولوژی وارداتی جایگزین این دانش می‌گردد. در هر ناحیه، فناوری بومی در کاربرد مصالح بومی می‌تواند حفظ و احیا گردد و با دانش روز ترکیب شده و موجب ارتقای برخی از خواص مصالح بومی گردد.

نتیجه

در این پژوهش مسئله انتخاب مصالح مورد بررسی قرار گرفته است. کلیه عواملی که باید در انتخاب مصالح پایدار مورد نظر قرار گیرد، با توجه به چرخه حیات مصالح توصیف و تحلیل شده است. با شناخت عوامل زیست‌محیطی مؤثر و بررسی هر یک از عوامل تأثیرگذار، مشخص شده که استفاده از مصالح بومی هر منطقه در امر ساختمان‌سازی موجب کاهش خطرات

پرکننده صورت گیرد بلکه باید در حداقل ترین حالت مورد بهره‌برداری قرار گیرند. در این صورت تولید نخاله‌های فراوان در مرحله تخریب که موجب از بین رفتن محیط زیست می‌گردد، کاهش می‌یابد. بنابراین بایستی یک بازبینی کلی در مصالح مصرفی صورت گیرد و تا حد امکان از مصالحی با عوامل زیست محیطی بی‌خطر بهره برد. در این زمینه مصالح بومی هر محل می‌توانند بهترین گزینه‌ها باشند. البته بایستی در فناوری به‌کارگیری مجدد این مصالح و در جهت رفع ایرادات آن‌ها کوشید. این مصالح مصارف زیادی دارند مانند اینکه می‌توان در بازسازی ساختمان‌های زلزله‌زده و بهسازی بافت روستاها و نیز در معماری ارگانیک جدید جایگاه ممتازی داشته باشند.

پی‌نوشت

1. فایبرگلاس‌ها، پلگسی گلاس‌ها، پلی اتیلن‌ها و غیره که بازگشت آن‌ها به طبیعت صدها سال طول می‌کشد.

2. Life cycle assessment

3. مصرف اغلب مواد و مصالح شیمیایی و مصالح ترکیبی (ایرانیست و آزیست‌ها) آسیب‌های سرطانی را برای مصرف‌کنندگان به دنبال دارد.
4. استحصال در اینجا به معنی خواستن حاصل و برداشت مستقیم است.

5. علم‌کوه و تخت سلیمان جزء آثار ملی طبیعی که از مناطق چهارگانه محیط زیست هستند، محسوب می‌شود و معدن سنگ گیوچال که یکی از گران‌بهارترین معادن سنگ گرانیست ایران است، در نزدیکی این منطقه واقع شده است (سلاح‌ورزی، 1385).

6. جنگل نیز باید به‌صورت طبیعی استحصال و بهره‌برداری شود تا پایدار بماند. بنابراین اگر بهره‌برداری از جنگل صحیح صورت بگیرد و به‌جای هر اصله درخت که بریده می‌شود نهال دیگری کاشته شود، جنگل سالم می‌ماند و چوب کافی برای مصرف وجود خواهد داشت. در گذشته که روستاییان و بومیان خود از جنگل استفاده می‌کردند، به جنگل آسیب نمی‌رسید. زیرا روستاییان می‌دانستند چگونه درختان جنگل را استحصال کنند. لیکن از موقعی که سازمان جنگلبانی و

زیست محیطی ساخت و ساز می‌شود. امتیازات استفاده از مصالح بومی بدین صورت دسته‌بندی می‌شود:

- منبع مصالح بومی تجدیدپذیر است.
- استفاده از مصالح بومی غالباً به‌صورت خام و یا با فرآوری ساده صورت می‌گیرد بنابراین انرژی چندانی در مرحله تولید مصرف نمی‌کنند.
- به فناوری پیشرفته و احداث کارخانه برای تولید این مصالح نیاز نیست.
- در مرحله حمل، با توجه به فاصله کوتاه حمل، مصرف انرژی و نیز تولید آلودگی کمتری دارند.
- در مرحله ساخت و ساز، فناوری ساخت آن ساده و در دسترس است و نیاز به ماشین‌آلات پیشرفته ندارد.
- از نظر تولید سر و صدا و آلودگی و ضایعات در زمان ساخت در پایین‌ترین حد قرار دارد.

- در دوره بهره‌برداری با اقلیم محل انطباق دارد و در کاهش مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی نقش مؤثری دارند.

- امکان تعمیرات در حین بهره‌برداری را فراهم می‌نماید.
- در زمان تخریب ساختمان، مصالح بومی به طبیعت بازمی‌گردند و یا در سایر مصارف مورد استفاده قرار می‌گیرند و تولید نخاله ندارند یا بسیار مختصر است.

بنابراین با استفاده از مصالح بومی در مقایسه با روش‌های جدید ساخت، آسیب کمتری به محیط زیست وارد می‌شود و ساخت و ساز پایدارتری را به همراه دارد. استفاده از مصالح جدید و تقلید از کشورهای دیگر بدون شناخت و به‌کارگیری فناوری آن موجب مصرف بیش از حد انرژی و آلودگی فراوان می‌شود. گرچه استفاده از این مصالح به دلیل مقاومت بالا، امری اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد اما بایستی در حجم کمتر و به شکلی که بیشترین کارایی را داشته باشند صورت گیرد. استفاده از این مصالح مخرب نباید به شکل

محیط زیست مأمور حفاظت از جنگل‌ها شده است. دست روستاییان از جنگل کوتاه شده ولی کارخانه‌داران شهری، جنگل‌ها را بریده و از بین می‌برند. به‌طوری که در نیم قرن که از اصلاحات ارضی می‌گذرد حدود 80 میلیون هکتار از جنگل‌های ایران از بین رفته است!

7. در گذشته روستاییان همه نوع درخت، از جمله درخت سپیدار می‌کاشتند و خانه‌های خودشان را با چوب می‌ساختند. امروزه روستاییان از این کار بازداشتی شده و مصرف کننده آهن و سیمان شده‌اند.

8. کارگاه‌های سنگ‌بری تمام محیط اطراف خود را با گرد سنگ ناشی از برش سنگ آلوده می‌کنند و از لحاظ تنفسی بیماری‌زا هستند. صدای دستگاه‌های برش سنگ آلودگی صدا ایجاد می‌کند و پساب آن مزارع را از بین می‌برد.

9. آجر از دیر باز در ایران به‌صورت محلی تولید می‌شده و امروزه نیز تولید می‌شود و امکان توسعه آن وجود دارد.

10. در ایران سیمان به‌صورت منطقه‌ای تهیه می‌شود ولی هنوز بسیاری از مناطق ایران فاقد کارخانه سیمان هستند.

11. در هر کشوری معمولاً یکی دو کارخانه فولاد بیشتر وجود ندارد. در ایران مهمترین کارخانجات فلز و فولاد یکی کارخانه ذوب آهن اصفهان و دیگری فولاد اهواز می‌باشد. اما متأسفانه در چند سال اخیر سایر استان‌ها نیز در یک رقابت نابخردانه در صدد ایجاد کارخانه فولاد شده‌اند.

12. بار کردن و خالی کردن آهن و فولاد نیاز به بالابر و جرثقیل دارد و این دستگاه‌ها انرژی مصرف می‌کنند.

13. برای استفاده از آهن باید آن‌را برش داد و برای اتصال به یکدیگر باید آن‌ها را به هم جوش داد. برای حمل آن‌ها به ارتفاع باید از چرثقیل و تاورکین استفاده کرد و این به معنی صرف انرژی فراوان است.

14. به‌عنوان مثال کارخانه سیمان آبیک با بیش از 50 سال قدمت به‌دلیل تولید آلودگی بیش از حد استاندارد، برای سلامت مردم منطقه خطر آفرین شده است. استاندارد مجاز میزان غبار و ذرات 150 میلی گرم در هر متر مکعب است که این میزان در تولید کارخانه سیمان آبیک 500 میلی‌گرم در هر متر مکعب و بیش از سه برابر حد مجاز و نگران‌کننده است. سیمان آبیک تاکنون با پرداخت جرایم و عوارض به فعالیت خود ادامه داده است (پسندیده، 1388).

15. تولید انواع فلزات نه تنها محیط زیست را آلوده می‌کنند بلکه برای کارگران داخل کارخانه نیز آلوده‌زا هستند. لذا تولیدکنندگان برای مصونیت کارکنان و کارگران خود باید هزینه کنند.

16. فولاد در کشش بهینه عمل می‌کند اما استفاده از آن به‌عنوان تیرآهن، تنش خمشی در آن ایجاد می‌کند درحالی که فولاد در خمش بهینه نبوده و میزان مصرف فولاد افزایش می‌یابد.

17. Thermal conductivity

18. ضریب انتقال حرارتی چوب بین 0,04 تا 0,4 است. درحالی که ضریب انتقال حرارتی فولاد ضد زنگ بین 12 تا 45 است.

19. انباشت بیش از حد نخاله‌های ساختمانی در منطقه‌ای به نام گود آبعلی، کوهی از آوار ساختمانی و زباله ایجاد کرده که می‌تواند هر لحظه حادثه‌ای تلخ بیافریند. میزان خاک و نخاله دفع شده در تهران از سال 73 تا 82 در مجموع 97 میلیون و 102 هزار و 198 تن برآورد شده است که از این میزان تنها 6 میلیون و 787 هزار و 603 تن آن در سال 82 در گودهای اطراف تهران دفن شده است (بهشتی، 1384).

20. ایرانیت صفحه سیمانی است که به‌صورت ساده یا موجدار از ترکیب بتن و پشم شیشه ساخته می‌شوند و سرطان‌زا است.

21. فوم (یونولیت) گرچه در مقابل بلوک سیمانی یا سفالی بسیار سبک است و ساختمان را سبک می‌کند. ولی در زمان آتش‌سوزی بسیار سمی و خطرناک است. زیرا به سرعت آتش می‌گیرد و گازهای سمی متصاعد می‌کند و باعث خفگی می‌شود. عایق‌بندی آن نیز سخت و مستلزم هزینه زیاد است.

22. متأسفانه همگنی مصالح در روستاها نیز در حال تغییر است.

23. آسفالت مصالحی مسموم کننده و زیان‌آور است. باعث آلودگی تنفسی و گرمای زیاد در سطح خیابان‌های شهری می‌شود. متأسفانه این مواد سمی و بیماری‌زا در روی بام‌های ساختمان‌ها نیز استفاده می‌شود.

24. کشورهایی مثل روسیه، اوکراین، سوئد و فنلاند که در مناطق سردسیر واقع هستند. درخت کاج را به‌صورت جنگل‌های مصنوعی می‌کارند و چوب آن‌را پس از فرآوری به‌عنوان محصول صادر می‌کنند. این چوب در کشور ما به چوب روسی معروف است.

25. اغلب روستاییان چوب را خوب می‌شناسند. مهارت کار کردن با آن‌را دارند. کاشت و برداشت آن‌را به خوبی بلدند. در حال حاضر نیز در بسیاری از روستاها نجاری با وسایل جدید وجود دارد.

- شماره 127، صص 13-2.
- سلاح‌ورزی، بهار. (1385)، انفجارهای معدن سنگ گیوچال تخریب محیط زیست کلاردشت را به همراه دارد، روزنامه سرمایه، شماره 244، ص 16.
- صادقی پی، ناهید. (1391)، تأملی در مصالح بوم آورد روستا، مسکن و محیط روستا، شماره 139، صص 32-17.
- طباطبایی، سید هادی؛ فاضلی، سید هاشم، (1388)، مصالح و فناوری‌های نوین در صنعت ساختمان، اولین کنفرانس ملی مسکن و توسعه کالبدی روستا.
- عظمتی، حمیدرضا؛ باقری، محمد. (1387)، آموزش مفاهیم توسعه پایدار با طراحی معماری و منظر دانشگاه، مجله فناوری و آموزش؛ سال دوم، جلد 3، شماره 4، صص 292-282.
- قبادیان، وحید. (1382)، بررسی اقلیمی ابنیه سنتی ایران، دانشگاه تهران، تهران.
- کیم، جین. (1382)، واحد معماری پایدار: مقدمه ای بر طراحی پایدار، ترجمه نازلی دبیدیان و مروه فرهودی، معماری ایران، شماره 14، صص 28-6.
- گرجی مهبلانی، یوسف، (1389)، معماری پایدار و نقد آن در حوزه محیط زیست، انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران، شماره 1، صص 91-100.
- ویسه، سهراب؛ خدابنده، ناهید؛ حکاکی فرد، حمیدرضا؛ طهماسبی، فرهنگ. (1388)، ارائه روش‌های مناسب در استفاده از مصالح بوم آورد، مسکن و محیط روستا، شماره 126، صص 19-2.
- هادی، ابودر؛ نصرالهی، ابودر، حسینی، سحر. (1390)، بررسی نقش مصالح در مدیریت انرژی معماری بومی، همایش ملی عمران، معماری، شهرسازی و مدیریت انرژی.
- Calkins, M., (2008), Materials for sustainable sites: a complete guide to the evaluation selection and use of sustainable construction materials, John wiley & sons.
- Davila, E., Chang, N., (2005), sustainable pattern analysis of a publicly owned material recovery facility in a fast-growing urban setting under uncertainty, Journal of Environmental Management, volume 75, pp. 337-351.
- Gabriella, Ir, Janssen, M.T., Hendriks, Ch.F., (2002), Sustainable use of recycled materials in building construction, Advances in building Technology, volume 2, pp 1399-1406.

26. ضایعات چوب را می‌توان برای ساخت نئوپان و ام.دی.اف استفاده کرد.
27. می‌پوسد و جذب طبیعت می‌شود.
28. غوره‌گل برای آستر سقف‌های کاهگلی به کار می‌رود.
29. خشت خام بهترین مصالح از لحاظ سازگاری با طبیعت انسان است. (اکرمی، 1389)
30. زمین رسی قابل کشاورزی نیست. لذا برای ایجاد کوره آجرپزی و تولید آجر مناسب است.
31. نگارندگان مقاله از فناوری بومی در به کارگیری مصالح بومی با کمک معماران و امکانات محلی در بهسازی بافت چند روستا از جمله روستاهای فورگ و خور در خراسان جنوبی استفاده نمودند.

فهرست منابع

- اکرمی، غلامرضا. (1383)، طراحی و بازسازی روستاهای بم با نگاه توسعه پایدار، مجموعه مقالات کارگاه تخصصی تدوین منشور توسعه پایدار بم، انتشارات مرکز مطالعات و تحقیقات معماری و شهرسازی وزارت مسکن و شهرسازی، تهران.
- اکرمی، غلامرضا. (1389)، رمز و راز معماری روستایی، مجموعه مقالات کنفرانس بین‌المللی سکونتگاه‌های روستایی، اردیبهشت 89.
- بهشتی، آزاده. (1384)، گود آبعلی مدفن نخاله‌های ساختمانی است، روزنامه همشهری، 11 تیر 1384.
- بیرانوند، مسلم. (1390)، بازشناسی معماری پایدار و جایگاه آن در دستیابی به اهداف توسعه پایدار، ماهنامه دانش نما، شماره 196-197، صص 72-79.
- پسندیده، حسین. (1388)، سلامت مردم به طور جدی در خطر: احتمال تعطیلی کارخانه سیمان آبیگ، خبرگزاری مهر، 4 خرداد 1388.
- پیرینا، محمدکریم. (1387)، معماری ایرانی، تالیف و تدوین غلامحسین معماریان، انتشارات سروش دانش، تهران.
- زم‌رشیدی، حسین. (1385)، آموزش اجرای ساختمان‌های سنتی با مصالح بنایی: پی و دیوار، فناوری و آموزش، سال اول، شماره 2، صص 87-95.
- سرتیپی‌پور، محسن. (1388)، حفاظت و احیای میراث معماری روستایی: ضرورت راهکارها، مسکن و محیط روستا،

- Godfaurd, J., Clements-Croome, D., Jeronimidis, G., (2004), Sustainable building solution: a review of lessons from the natural world, building and environment, volume 40, pp. 319-328.
- Howarth, G., Hadfield, M., (2006), A sustainable product design model, Materials and design, volume 27, pp 1128-1133.
- Isik, B, tulbentci, T., (2008), Sustainable housing in island conditions using Alker-gypsum-stabilized earth: A case study from northern Cyprus, Building and environment, volume 43, pp. 1426-1432.
- Ljungberg, L.y., (2007), Materials selection and design for development of sustainable products, materials and design, volume28, pp 466-479.
- Lyons, A., (2007), Materials for architects and builders: Recyclad and ecological materials, Third edition, Elsevier pp. 330-337.
- Morel, J.C., Mesbah, A., Oggero, M., Walker, p., (2001), Building houses with local materials: means to drastically reduce the environmental impact of construction, Building and environment, volume 36, pp 1116-1126.
- Powel, J., Craighill, A., (2001), Introduction: the key to sustainability in the building sector, proc. of conf. Design of sustainable building policies 28-29 June, Elsevier: Paris, pp. 1-21.
- San-jose, J.T., Losada, R., Cuadrado, J., Garrucho,I., (2007), Approach to the quantification of the sustainable value in industrial buildings, building and environment, volume 42, pp. 3916-3923.
- Wever, H., (1997), Sustainable building and the use of raw materials in the civil engineering sector, Elsevier science B.V. pp.883-886.
- Yagi, k., Halada, K., (2001), Materials development for a sustainable society, materials and design 22, pp. 143-146.
- Zhou, Ch., Yin, G.F., Hu, X.B., (2009), Multi-objective optimization of material selection for sustainable products: Artificial neural networks and genetic algorithm approach, Materials and design, volume30, pp. 1209-1215.
- Zimmermann, M., Althaus, H., Haas, A., (2005), Benchmarks for sustainable construction: a contribution to development a standard, Energy and building, volume 37, pp. 1147-1157.