[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-03]

ارزیابی اثرات زیست محیطی ساختمان با استفاده از سامانه جای پای بوم شناختی

فرزین حق‌پرست *، مازیار آصفی **، سیدمهدی میرهاشمی ***

تاریخ دریافت مقاله: 1395/01/24
تاریخ پذیرش مقاله: 1395/10/18

چکیده

بدون استفاده از ابزارهای ارزیابی محیطی، وضع استاندارد و پایش محیطی امکان‌پذیر نیست و نمی‌توان پیامدهای فعالیت انسان را پیش بینی نمود. به‌همین دلیل امروزه رهیافت‌های ارزیابی محیطی نقش مهمی در طراحی و برنامه‌ریزی پروژه‌های بزرگ بازی می‌کنند. از میان این رهیافت‌ها، رهیافت جای پای بوم شناختی در حوزه‌های مختلف از جمله صنعت ساختمان مورد توجه قرار گرفته است. جای پای بوم شناختی تکمیل کننده روش‌هایی مانند چرخه حیات مواد و همین‌طور جای پای کربن است. این رهیافت می‌تواند نتایج چنین روش‌هایی را به شکل ملموس‌تر یعنی به‌صورت میزان زمین مولدی که در اختیار جوامع است، بیان کند.

جای پای بوم شناختی در این مقاله به‌عنوان ابزاری برای محاسبه اثرات زیست محیطی دو گونه ساختمان مسکونی (نمونه اول با اسکلت فلزی و نمونه دوم با پوشش طاق آجری) مورد استفاده قرار گرفته است. این دو گونه ساختمان، نماینده دو شیوه رایج ساخت در یکی از شهرهای متوسط کشور می‌باشند. هدف از این مقایسه بررسی ویژگی‌های مؤثر بر پیامدهای زیست محیطی مرحله ساخت و بهره‌برداری از ساختمان‌ها است. هدف ثانویه این تحقیق متراکم‌سازی شیوه محاسبات در روش جای پای بوم شناختی است به‌نحوی که ضمن حفظ دقت محاسبات تا حد امکان از اطلاعات داخلی که بر شیوه‌های ساختمانی موجود منطبق است استفاده شود. در پایان پس از بررسی مبانی نظریِ شیوه جای پای بوم شناختی، اثرات محیطی این دو نمونه محاسبه شده است.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد کل اثرات زیست محیطی نمونه اسکلت فلزی به میزان اندکی بیشتر از نمونه آجری می‌باشد اما اثرات زیست محیطی به ازای زیربنای ساختمان‌ها نشان از برتری قطعی نمونه اسکلت فلزی دارد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد برای استفاده از روش‌های بومی و سنتی باید با احتیاط اقدام نمود و زمینه‌ای را که یک ساختمان در آن شکل می‌گیرد در نظر گرفت، شرایطی که در صورت عدم تحقق آن، شیوه‌های سنتی چندان پر بازده نخواهند بود. همچنین نتایج این بررسی تا حدودی از افزایش تراکم سکونتگاه‌ها حمایت می‌کند.

واژگان کلیدی: ارزیابی اثرات محیطی، جای پای بوم شناختی، انرژی انباشته، شیوه ساختمان سازی، مسکن.

* دانشیار دانشکده معماری، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران. hagh@tabriziau.ac.ir
** دانشیار دانشکده معماری، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران.
*** پژوهشگر دوره دکترای معماری اسلامی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران.

این مقاله مستخرج از رساله دکترای با عنوان " مسکن با اثرات زیست محیطی کمتر (بررسی کیفی رفتار زیست محیطی بخشی از جامعه مسلمان ایران و ارتباط آن با اثرات زیست محیطی مسکن)" می باشد که با راهنمایی دکتر فرزین حق پرست و دکتر مازیار آصفی در دانشگاه هنر اسلامی تبریز انجام گرفته است.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-03]

مقدمه

بیانیه "آینده مشترک ما[1] "(WCED, 1987) ارزیابی اثرات محیطی را به همه کشورها توصیه می‌کند. در اصول پیشنهادی این بیانیه بر تعریف استاندارد محیطی و پایش محیطی تأکید شده و از کشورهای حاضر در کنفرانس خواسته شده است تا برای هر نوع توسعه یا پروژه بزرگ، ارزیابی اثرات محیطی را اجباری نمایند. پس از انتشار این بیانیه و برگزاری کنفرانس‌هایی مانند هابیتات[2] (UNCHS, 1996) محققان پیامد زیست محیطی فعالیت‌های انسانی را به نحو جدی‌تری مورد بررسی قرار دادند. به‌تبع آن کشورهای پیشرو برای کنترل شرایط زیست محیطی و اطمینان از نتایج و پیامدهای پروژه‌های مختلف، استفاده از ابزارهای ارزیابی زیست محیطی را در دستور کار خود قرار دادند. تاکنون تلاش زیادی برای توسعه این ابزارهای محیطی انجام شده است. قانون سیاست ملی محیطی[3] (NEPA) که از سال 1970 در امریکا اجرایی شده، اولین رویه و قانون در بخش ارزیابی اثرات محیطی در جهان محسوب می‌شود. بعدها اتحادیه اروپا در 1985 قوانینی برای ارزیابی اثرات محیطی تصویب نمود (IAIA, 1999). در ایران نیز مصوبات و قوانین مختلف مانند مصوبه شماره 138 شورای عالی حفاظت محیط زیست درمورد ارزیابی اثرات محیط‌زیست (مصوب 1373) و همچنین آیین‌نامه ارزیابی اثرات محیط‌زیستی مصوب شورای عالی حفاظت محیط‌زیست (مصوب 1376) به این موضوع پرداخته است (سازمان حفاظت محیط زیست 1393). همچنین در اکثر قانون‌های برنامه توسعه به مسئله ارزیابی اثرات محیطی پرداخته شده است و نهایتاً در قانون برنامه پنجم توسعه(مجلس شورای اسلامی، 1389)، تدوین مدل ملی شاخص‌های پایداری به‌عنوان مقدمه‌ای برای کنترل اثرات توسعه به شورای عالی حفاظت محیط زیست واگذار شده است. در سال 1394 نیز مقام معظم رهبری در راستای اجرای اصل 110 قانون اساسی (وظایف و اختیارات رهبری) سیاست‌های کلی محیط زیست را که پس از مشورت با مجمع تشخیص مصلحت نظام تعیین شده است به رؤسای قوا ابلاغ کردند(پایگاه اطلاع رسانی دفتر مقام معظم رهبری 1394). بخشی از بند پنجم این ابلاغیه بر اهمیت ارزیابی اثرات زیست محیطی تأکید دارد. در این بند بر پایش مستمر و کنترل منابع و عوامل آلاینده و همچنین به الزام به رعایت استانداردها و شاخص‌های زیست‌محیطی در قوانین و مقررات و برنامه‌های توسعه تأکید شده است. باوجود توجه اخیر به مسائل زیست محیطی هنوز هم بررسی و رهگیری نتایج زیست محیطی برای یک کارفرما یا محقق در کشور ایران کار ساده‌ای نیست. تنوع رویکردها و عدم هماهنگی آن‌ها با شرایط ایران از یک سو و کمبود اطلاعات پایه مورد نیاز باعث شده است تا امکان انتخاب و استفاده از روش‌های ارزیابی زیست محیطی محدود باشد.

بررسی و جستجوی رویکردهای مختلف نشان می‌دهد شیوه‌های ارزیابی اثرات محیطی از دو جهت در حال رشد هستند، ابتدا ایجاد اطلاعات برای برنامه‌ریزی، مانند ارزیابی سلامت محیطی (EHIA) (Wathern, 1988, p. 4) و دیگری استفاده از مقیاس‌های واقعی‌تر مانند هزینه کربن. البته مدل‌های موضوعی و تفصیلی دیگری نیز وجود دارند که برای بخش ساختمان توسعه یافته‌اند، مانند «بریم» (BREEAM) که در آن‌ها از سایر روش‌های ارزیابی محیطی استفاده شده است، همچنین دارای سنجه‌هایی برای سنجش کیفیت فضای داخلی ساختمان هستند و از این بابت تفاوت‌هایی با سایر رهیافت‌های ارزیابی محیطی دارند.این رهیافت‌ها دیدگاهی کل نگر به

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-03]

پایداری دارند (Itard, Klunder 2007) و تا حدی جنبه تجویزی دارند.

با توجه به شرایط موجود، این تحقیق قصد دارد از میان شیوه‌های پایه ارزیابی زیست محیطی، شیوه جای پای بوم شناختی را مورد بررسی و استفاده قرار دهد. دلایل انتخاب این رهیافت، روشن و ملموس بودن مقیاس نتایج و فاکتورهای محیطی مورد سنجش می‌باشد. نتایجی که این شیوه تولید می‌کند لزوماً نیاز به تفسیر بیشتر ندارد و می‌توان آن‌را مستقیماً مورد مقایسه قرار داد و یا به عموم ارائه کرد. باوجود وضوح این شیوه، به‌دلیل نبود اطلاعات کافی در کشور و برای انطباق این روش با نیازهای حوزه ساختمان اقدام به بررسی و گزینش رویکردهای موجود در این شیوه شده است. این شیوه اثرات زیست محیطی توسعه (ساختمان یا هر پروژه دیگر) را در قالب منابع مصرفی زمین و با مقیاس هکتار جهانی بیان می‌کند.

در این تحقیق با استفاده از این شیوه، اثرات زیست محیطی ساخت و بهره‌برداری دو نمونه ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است. این ارزیابی در وهله اول نشان‌دهنده میزان اثرات محیطی ساخت ساختمان خواهد بود و در وهله دوم تأثیر انتخاب شیوه ساخت بر اثرات حین بهره‌برداری را نشان خواهد داد. با این نگاه می‌توان به نقطه بهینه‌ای در ایجاد هزینه‌های زیست محیطی در مرحله ساخت و بهره‌برداری یک ساختمان دست یافت.

مقایسه سایر تحقیقات نشان می‌دهد جای پای متوسط جهانی در سال 2007 برابر 2.7 هکتار به ازای نفر در سال بوده است. در این سال جای پای بوم شناختی متوسط ایران نیز برابر متوسط جهانی، 2.7 هکتار به ازای نفر بوده است (Global Footprint Network, 2007) همینطور جای پای بوم‌شناختی مسکن در سال 2010 برای کشورهای کرواسی 0.35، ایتالیا 0.34، یونان 0.31، فرانسه 0.30، اسپانیا 0.18، پرتقال 0.15 هکتار به ازای نفر بوده است (Network, Global Footprint 2015). محققان دیگری محاسبات جای پای بوم‌شناختی را برای ایران انجام داده‌اند. براساس محاسبات انجام شده جای پای متوسط ایران و تهران به ترتیب 1.98 و3.79 تعیین گردیده است. همچنین جای پای مسکن در این محاسبات به میزان 0.24 و 0.22 برای ایران و تهران تعیین شده است (حسین‌زاده دلیر، ساسان‌پور، 1385، ص97). به‌عنوان نمونه‌ای دیگر، جای پای مسکن در یکی از شهرهای بزرگ ایران یعنی رشت 0.7915 برآورد شده است (جمعه‌پور، حاتمی‌نژاد، شهانواز، 1392، ص201). این مقادیر بدون اعمال ضریب برابری تعیین شده‌اند.

مبانی نظری

از دهه 1990 تلاش چشمگیری برای توسعه روش‌های ارزیابی اثرات محیطی ساختمان انجام شده است (Suzuki & Oka, 1998, p. 33) که غالباً ادامه روش‌های توسعه یافته در اقتصاد و صنعت است (IAIA, 1999, pp. 1–2) و به‌همین دلیل می‌توان شباهتی ساختاری در اکثر آن‌ها مشاهده کرد. به عقیده میسراتنی و همکارانش (2007) می‌توان چهار مرحله کلی برای ارزیابی اثرات محیطی در نظر گرفت که به‌طور مشابهی در اکثر شیوه‌های ارزیابی قابل رویت است. طبقه‌بندی[4]، متمایز سازی[5]، وزن‌دهی[6] و ارزش‌گذاری [7] (Mithraratne, Vale, & Vale, 2007, p. 27). دو مرحله اول ضروری و دو مرحله دوم مکمل بوده و با هم انجام می‌شوند. طبقه‌بندی به معنای مرتبط نمودن فاکتورهای محیطی مورد سنجش به طبقه‌ای از آثار محیطی است. به‌طور مثال نسبت دادن دی اکسید کربن به گرمایش زمین؛ یک فاکتور می‌تواند چند اثر

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-03]

محیطی داشته باشد و بالعکس. متمایز سازی به ارزیابی تأثیر نسبی هر فاکتور محیطی مربوط است تا امکان تجمیع فاکتورهای مختلف در یک طبقه مشخص از اثرات محیطی میسر شود. به‌طور مثال بررسی‌ها نشان می‌دهد اثر بالقوه یک کیلوگرم متان در گرمایش زمین 21 برابر اثر احتمالی یک کیلوگرم دی اکسید کربن است. این واقعیت منجر به اختصاص فاکتور تأثیر21 برای متان در مقابل دی اکسید کربن می‌شود، اما وزن‌دهی و ارزش‌گذاری، چالش مهم و عامل تمایزِ روش‌های مختلف ارزیابی اثرات محیطی است. این بخش نوعی نتیجه گیری، استنباط یا تفسیری است از مقادیر اندازه گیری شده در قالب پیامدهای محیطی، در حالی که تمرکز آن بر یکسان نمودن و قابل درک نمودن آثار محیطی برای اذهان است .(Mithraratne et al. 2007) به‌طور مثال تعریف و تجمیع آثار محیطی تمام فاکتورهای اندازه گیری شده به‌صورت میزان هزینه لازم برای جبران اثرات محیطی آن (هزینه زیست محیطی) یا به‌صورت زمین لازم (جای پای بوم شناختی) .

در این تحقیق اثرات محیطی ساختمان با استفاده از مقیاس یا شیوه جای پای بوم شناختی مورد بررسی قرار خواهد گرفت، مقیاسی که ابزار و تکنیک‌های متنوعی برای پشتیبانی از آن توسعه یافته است. از نظر توسعه دهندگان این روش؛ "جای پای بوم شناختی[8] ابزاری محاسباتی است که منابع مورد نیاز برای مصرف و جذب ضایعات[9] را برای یک جمعیت و یا یک بخش اقتصادی در قالب میزان زمین مولد[10] مورد نیاز، برآورد می‌کند "(Wackernagel & Rees, 1996, p. 9) در این تعریف زمین مولد در قالب هکتار جهانی[11] بیان می‌شود. این واحد برابر با یک هکتار زمین مولد با توان تولید معادل متوسط جهانی است. فرض مهم در این تعریف این است که تولید متوسط جهانی در شرایط پایدار صورت می‌گیرد. همانطور که از این تعریف بر می‌آید تمام اثرات محیطی یک سیستم براساس این واحد بیان می‌گردد. فایده بیان اثرات محیطی با این مقیاس در این مسئله نهفته است که جوامع و افکار عمومی به‌راحتی خواهد پذیرفت که میزان زمین در دسترس برای آن‌ها محدود است. این محدودیت در قالب ظرفیت زیستی[12] و یا زمین مولدِ در دسترس بیان می‌شود. ظرفیت زیستی برابر است با زمین (خشکی یا دریا) موجود برای تأمین نیازهای مشخص، که بیانگر توانایی زیست کره برای تأمین مواد و جذب ضایعات است. این میزان برای محاسبات به‌صورت سالانه در نظر گرفته می‌شود(Holden, 2012, p. 6).

ریس و واکرناگل جای پای بوم شناختی (ازاین پس "جای پا")[13] یک جمعیت را شامل پنج دسته اصلی مصرف (و تولید ضایعات) در نظر گرفته‌اند. این دسته‌ها عبارتند از غذا، مسکن، حمل و نقل، کالاهای خریداری شده و خدمات مصرف شده (Wackernagel & Rees, 1996, pp. 66–68) این طبقه‌بندی و فهرست بعدها توسط سایر محققان توسعه یافته است. در این تحقیق جای پای مسکن یا به‌عبارتی ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است.

منابعی که هر یک از بخش‌های مصرف به خود اختصاص می‌دهند از منبع و نوع خاصی زمین تأمین می‌شود که طبقه‌بندی زمین مصرفی را ایجاد می‌نماید. سپس این طبقه‌بندی و طبقه‌بندی مصرف (که با هم دارای تناظر هستند) در یک ماتریس[14] قرار می‌گیرند. ماتریسی که امکان تبدیل هر نوع مصرف (بار اکولوژیک) به زمین متناظر با آن‌را فراهم می‌کند (Wackernagel & Rees, 1996, p. 77). برای برآورد بار اکولوژیک هر نوع مصرف یا کالا دو جریان کلی وجود دارد. می‌توان مصرف سالانه یک مورد مشخص

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-03]

را از تقسیم کل مصرف ملی(که با تجمیع آمار از منابع مختلف قابل تخمین است) بر تعداد مصرف کنندگان در آن کشور بدست آورد و راه دوم به این صورت است که مصرف همان مورد یا قلم را با بررسی و اندازه گیری جزء به جزء محصولات و خدماتی که به‌خود اختصاص داده است، محاسبه کرد (Wackernagel & Rees, 1996, p. 77) در شرایطی که موضوع تحقیق کوچک و خاص باشد و یا هدفِ مطالعه بررسی موردی باشد، لاجرم روش دوم انتخاب می‌شود، روشی که در این تحقیق نیز از آن استفاده شده است. در این حالت لازم است تمام رویدادها و کالاهای مورد استفاده طی زمان یا عمر یک محصول یا فعالیت (در اینجا ساختمان) را در نظر گرفت.

برای محاسبه جای پای یک ساختمان بررسی چندین مرحله (Teng & Wu, 2014, p. 161) ضروری است. آماده سازی و ساخت [15] (شامل تولید مصالح و عملیات اجرایی ساختمان)، بهره‌برداری (مصرف انرژی و تعمیرات حین استفاده)، تخریب و دفع [16] (شامل عملیات تخریب و دفع ضایعات) که در صورت بازیافت در تولید محصول برای چرخه بعدی محاسبه می‌شود. بخش‌های دیگری توسط سایر محققین به این مجموعه اضافه شده است از جمله خدمات شهری و پیامدهای آن مانند ایجاد راه‌ها [17] (Vale & Vale, 2009, p. 141) و انواع آلودگی (Xing, Xu, & Jun, 2008, p. 1189). این بخش‌ها معادل زیرساخت [18] در دیدگاه واکرناگل و ریس (1996) است. با این توضیح جای پای بوم شناختی ساختمان برابر است با:

رابطه 1

$$EF(building) = EF(preparation) + EF(construction) + EF(operation) + EF(demolition) + EF(urban\ shared\ land\text{-}Infrastructure)$$

که در این رابطه جای پای بوم شناختی ساختمان برابر است با مجموع جای پای بوم شناختی حاصل از آماده‌سازی، ساخت، بهره‌برداری، تخریب- بازیافت و بخشی از زیرساخت شهری.

طبیعی است خدمات و مصارف متعددی ذیل رابطه (1) قرار خواهند گرفت، رهگیری این مواد، فعالیت‌ها و پیامدهای احتمالی در ساختمان باید در چهار سطح (Solís-Guzmán, Marrero, & Ramírez-de-Arellano, 2013, p. 240) صورت پذیرد. این چهار سطح عبارتند از:

1- مصرف مستقیم: انرژی و موادی که مستقیماً در حین ساخت یا بهره‌برداری یا سایر مراحل مصرف می‌شود، مصالح ساختمانی، سوخت و الکتریسیته ماشین آلات، آب مصرفی.

2- مصرف غیر مستقیم: نیروی انسانی؛ مواد و فعالیت‌هایی مانند حمل و نقل که به‌واسطه حضور نیروی انسانی ایجاد می‌شود.

3- ضایعات تولیدی: در این بخش به‌طور سنتی میزان دی اکسید کربن بررسی می‌شود.

4- زمین مصرف شده (اشغال شده): هر نوع فعالیت اصلی و پشتیبانی کننده که زمینی را اشغال نماید.

نتیجه بررسی این چهار سطح، فهرستی از منابع مصرفی خواهد بود که در گام بعدی لازم است هر مورد از این فهرست، ذیل یکی از انواع زمین مولد قرار گیرد (برقراری تناظر میان بار اکولوژیک و زمین مولد در ماتریس مصرف). براساس دیدگاه بین و پارکر (2012 p. 27) هر مورد قلم از این فهرست به چند صورت ممکن به زمین متناظر تبدیل می‌شود. برخی از اقلام به‌طور مستقیم قابل تبدیل به زمین تولید کننده آن است مانند چوب مصرفی در ساختمان که به جنگل تولید کننده آن و یا زمین اشغال شده که (براساس کیفیت آن)

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-03]

به زمین مشابه تبدیل می‌شود. دسته دوم مواد تولیدی ثانویه مانند گوشت و کاغذ است که زمین اختصاص یافته به آن برابر زمین اختصاص یافته به تولید مواد اولیه با در نظر گرفتن ضریب تبدیل است، مانند میزان چوب مصرفی در تولید کاغذ. دسته سوم کالا و خدمات مصرفیِ تجاری هستند که طی یک فرایند پیچیده تولید شده و با پیش فرض‌های نظری می‌توان انرژی مصرف شده در فرایند تولید تا مصرف(بازیافت) آن‌را به زمین متناظر با آن تبدیل نمود (Monfreda, Wackernagel, & Deumling,2004, p. 237). حالت سوم معادل روش محاسبه انرژی انباشته[19] است. محاسبه انرژی انباشته به‌طور مستقل به‌عنوان یک روش ارزیابی اثرات محیطی توسعه یافته است و مقادیر ویژه آن برای بسیاری از محصولات تجاری توسط محققان محاسبه گردیده است. در محاسبات جای پای بوم شناختی برای تبدیل مقادیر انرژی به زمین از تئوری‌های مختلفی استفاده می‌شود که استفاده از شیوه "دی اکسید کربن انتشار یافته" برای محاسبه اثرات استفاده از سوخت‌های فسیلی متداول‌ترین روش است (Penela & Villasante, 2008, p. 1150).

مراحل مورد نظر بین و پارکر(2012) به معنای تقسیم مقادیر هر کالا یا مورد بر توان تولید زمین تأمین کننده آن است. این مفهوم همان توان تولید بیولوژیکی[20] است(Holden, 2012, p. 6). واحد توان تولید بیولوژیکی برابر است با تن برهکتار بر سال. البته در ماتریس مصرف براساس ارزش هر نوع از زمین مصرفی در مقایسه با ارزش متوسط همه زمین‌ها (هکتار جهانی) ضریبی در نظر گرفته می‌شود که ضریب معادل یا برابری[21] نام دارد (جدول شماره 1) این ضریب توان زیستی یک نوع از زمین مولد (مثلاً جنگلی) را با توان زیستی متوسط اراضی (گلوبال هکتار) مقایسه می‌کند. حاصل تقسیم بار اکولوژیک بر توان تولید زمین برابر است با زمین اختصاص یافته برای تأمین هر قلمِ مصرفی. بعد از اعمال ضریب برابری به این مقادیر می‌توان نتایج را با هم تجمیع نمود و جای پای کل را بدست آورد.

سال	زمین کشاورزی	زمین ساخته شده	جنگل	زمین انرژی(جذب کربن)	منبع
1999	2.11	2.11	1.35	1.35	(Loh, 2002, p. 32)
2001	2.19	2.19	1.38	1.38	(Loh & Wackernagel, 2004, p. 36)
2003	2.21	2.21	1.34	1.34	(Hails, Loh, & Goldfinger, 2006, p. 38)

ج 1. ضریب معادل یا برابری انواع زمین مولد در سال معین[22].

این تحقیق دارای رویکردها و فرضیات خاص خود نیز می باشد که برای اطمینان از بهینه و عملی بودن محاسبات اتخاذ شده است. مهم‌ترین ویژگی این تحقیق استفاده گسترده از مقادیر انرژی انباشته است. معمولاً مقادیر انرژی انباشته به‌راحتی قابل محاسبه نیست و لازم است از مقادیر منتشر شده توسط تولید کنندگان یا سایر محققان استفاده نمود. در این صورت لازم است به مفهوم محدوده سیستمِ[23] تعریف شده در این اطلاعات توجه نمود. محدوده سیستم به این معناست که مقادیر ارائه شده شامل چه بازه‌ای از عمر محصول یا کالا است. در بهترین حالت این محدوده باید با محدوده مورد نظر در محاسبات جای پای بوم شناختی برابر باشد[24]. هرچند می‌توان از محدوده کوچک‌تری استفاده نمود، در این صورت لازم است اختلاف احتمالی (مثلاً تخریب و بازیافت) را در نظر گرفت. در این تحقیق تلاش شده است محدوده سیستم شامل تهیه مواد اولیه،

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-03]

تولیـــد، حمـــل، نصـــب و نهایتـــاً بازیافـــت مـــواد (Mithraratne et al. 2007, pp. 25–26) باشـد[25] تـا تمام محدوده مورد نظـر ایـن تحقیـق را پوشـش دهـد. مسئله دیگری که برای رفع خطا در نظر گرفته شده ایـن است که محصولات و کالاهای مشابه لزومـاً در شـرایط یکسان تولید نمی‌شوند به‌همین دلیل در صورت استفاده از مقادیر انرژی انباشته از منبعی متفاوت از منبع واقعی، لازم است به رفع اختلاف احتمالی اقدام نمـود. در ایـن تحقیق با توجه به اینکه از اطلاعات کشـورهایی غیـر از ایران استفاده شده است و اینکشورها دارای اسـتانداردها و تکنولوژی متفاوتی هستند بـا در نظـر گـرفتن نسـبت شدت انرژی کشـور ایـران و ایـن کشـورها نسـبت بـه اصلاح اطلاعات مربوط بـه انـرژی انباشـته اقـدام شـده است. عمر ساختمان‌های مورد مطالعه در این تحقیق 30 سال در نظر گرفته شده است و اثرات محیطی ساختمان بر این مقدار تقسیم می‌شود. در این مدت، هنـوز بیشـتر اجزای ساختمان نیـاز بـه تعمیـر و یـا تعـویض ندارنـد (Berge,2009) و به‌همـین دلیـل بـرای محاسـبه جـای پـای سـاختمان اثـرات محیطـی بهـره‌بـرداری بـدون هزینه‌های تعمیرات در نظر گرفته شده است. اطلاعـات سـاختمان‌هـای مـورد مطالعـه در بـازه‌ای هشـت سـاله جمع‌آوری شده اسـت، 1386 تـا 1393(2007 - 2014) و تلاش شده اسـت تـا سـایر آمـار و ارقـام در بـازه‌ای کوچک متمرکز باشند. همچنین در این تحقیق از مبلمان و برخی اقلام کوچک صـرف نظـر شـده اسـت کـه در بخش بعدی با جزییات بیشتر شرح داده می‌شود.

نمونه‌های مورد مطالعه

محاسبات برای دو ساختمان با ویژگـی‌هـای متفـاوت (جدول شماره 2) انجام شـده اسـت. سـاختمان اول بـا اسکلت فلزی و دو طبقه است که در سال 1383 ساخته شده و ساختمان دوم ساختمانی یک طبقه با دیوار بـاربر و کلاف بتنی است که به طرز جالبی سـقف آن از یـک طاق گهواره (بخشی از دایره) تشکیل شـده اسـت. ایـن ساختمان در سال 1364 ساخته شده است. نمونـه‌هـا در عرض جغرافیایی 37 درجه شمالی و ارتفـاع 1100 متـر از سطح دریا قرار گرفته‌اند.

	نوع سازه	پوشش سقف	نوع دیوارهای خارجی	مجموع نماهای آزاد بنا	نوع پنجره و درب	مساحت کل بازشوها	طبقات	مساحت زمین	زیر بنا	سال ساخت	تعداد ساکنین
ساختمان اول	فلزی	طاق ضربی	آجری CM 10	48 M^2	فلزی تک جداره	34 M^2	۲	84 M^2	185 M^2	۱۳۹۳	5 نفر
ساختمان دوم	اجری	طاق آجری	آجری CM 35	157 M^2	فلزی تک جداره	12 M^2	۱	145 M^2	60 M^2	۱۳٦٤	4 نفر

ج 2. ویژگی نمونه‌های مورد مطالعه (نگارنده).

بار اکولوژیکی نمونه‌های مورد مطالعه در چند بخـش محاسبه شده است که شامل (ساخت) انرژی انباشـته در مواد و مصالح مصرفی؛ (بهره‌برداری) انرژی مصـرفی در حین بهره‌برداری، آب مصرفی در حـین بهـره‌بـرداری و (زمین مصرف شده) زمین اشغال شده برای ساختمان و محوطه (فضای باز یا فضای سبز) می‌باشد. سپس هـر بخش از بار اکولوژیک براساس نوع زمین اختصاصـی و توان تولید اکولوژیـک هـر نـوع از زمـین بـه مسـاحت متناظر با آن بار تبدیل شده است. انواع زمـین مولـد در این تحقیق عبـارت اسـت از زمـین انـرژی (جـذب دی

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-03]

اکسید کربن)، جنگل‌های مرطوب مولد آب و زمین کشاورزی (معادل زمین اشغال شده).

اثرات محیطی ناشی از تأسیسات ساختمان به تبعیت از سولیز-گزمن و همکاران (2013 p. 242) به‌صورت سرانه 20 درصد براساس هزینه محاسبه شده است. همچنین از برخی تغییرات بعدی در نمونه دوم صرف نظر شده است. توان زیستی زمین اشغال شده برابر متوسط جهانی زمین‌های کشاورزی فرض شده است و از این جهت ضریبی برای اصلاح ارزش زمین اشغال شده در نظر گرفته نشده است. در تهیه فهرست اقلام مصرفی از مواد بازیافتی و ضایعاتی که در بخش‌های دیگر کاربرد دارند (مانند سفال شکسته و پر کننده‌های ضایعاتی) صرف نظر شده است. از برخی مواد که در اولین دوره بهره‌برداری ضروری نیستند مانند رنگ صرف نظر شده است. همچنین از مقدار جزئی برخی اقلام مصرفی مانند پیچ، میخ و الیاف گونی صرف نظر شده است. این تصمیمات با اطلاع از میزان و نحوه استفاده مواد در شیوه ساختمانی رایج در منطقه اتخاذ شده است.

جای پای مصالح مصرفی، با تعیین انرژی انباشته مخصوص مواد[26] و با استفاده از فهرست اقلام و مواد مصرف شده در ساختمان‌ها محاسبه شده است. انرژی انباشته در مواد، شامل انرژی مصرف شده به‌طور مستقیم و انرژی غیر مستقیم برای تهیه مواد خام، تولید و سایر اقدامات مربوط به آن محصول است. انرژی انباشته به‌طور سنتی شامل انرژی‌های نو مانند انرژی خورشیدی و نیروی انسانی نمی‌شود (Mithraratne et al. 2007, p. 35). اکثر مقادیر انرژی انباشته ویژه مواد از الکورن (2003) استخراج شده است. محدوده سیستم در داده‌های این منبع شامل تهیه مواد اولیه، تولید، حمل، نصب و بازیافت است (Mithraratne et al. 2007, p. 24) که با رهیافت جای پای بوم شناختی سازگار است. مقادیر به کیلو ژول بر کیلوگرم و برای کشور نیوزیلند ارائه شده‌اند. برای تصحیح مقادیر انرژی انباشته برای ایران از مقایسه شدت انرژی دو کشور استفاده شده است. شدت انرژی (براساس توان خرید برابر)[27] ایران و نیوزیلند در بین سال‌های 1997 تا 2004 نشان می‌دهد شدت انرژی ایران 1/0672برابر شدت انرژی نیوزیلند بوده است(EIA, 2014). هرچند تفاوت‌های دیگری مانند شیوه و ترکیب سوخت در حمل قابل بررسی است (Berge, 2009, p. 20). انرژی بهره‌برداری با بررسی صورت حساب(قبوض) چند ساله این دو واحد مسکونی تعیین شده است. با بررسی نحوه استفاده از این دو بنا طی سال‌های معین نسبت به حذف و تعدیل دوره‌های غیر معمول(مانند ایام خالی از سکنه) اقدام شده است. بهره‌برداری شامل گرمایش سرمایش، انرژی مصرفی تجهیزات، نورپردازی و پخت و پز و آب مصرفی است که به سه صورت الکتریسیته، گاز طبیعی و آب مصرفی بررسی شده است.

محاسبه جای پای بوم شناختی (یافته‌ها)

در ذیل روابط مورد استفاده برای محاسبه جای پای بوم شناختی بخش‌های مختلف ساختمان که عملاً در بررسی نمونه‌های موردی استفاده شده است تشریح می‌شود. مقادیر حاصل از این روابط پس از تجمیع، در ضریب برابری ضرب خواهند شد. از این رو برای نتایج این روابط عبارت "زمین اختصاص یافته" به‌کار می‌رود که پس از اعمال ضریب برابری به هکتار جهانی تبدیل و برابر جای پای زیست محیطیِ این مصارف خواهد بود.

زمین مصرف شده در چرخه حیاتِ مصالح ساختمانی (انرژی انباشته) به‌صورت رابطه 2 محاسبه شده است. این رابطه بیانگر زمین لازم برای جذب دی اکسید کربن ناشی از مصرف انرژی در چرخه حیات

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-03]

مواد و مصالح ساختمانی است. با توجه به محدوده سیستم در این محاسبات، زمین اختصاص‌یافته به این بخش معادل جای پای "ساخت" ساختمان است.

رابطه 2

$$\text{Land}_E(\text{Construction Materials}) = \sum_{i=1}^{n} \text{Qmr}_i . \text{Sei}_i . \text{Fin} / \text{Aen}$$

این رابطه به‌صورت مجموع زمین اختصاص یافته به انواع مواد مصرفی بیان می‌شود. این میزان برای هر ماده برابر است با مقدار ماده به کیلوگرم (Qmr) ضرب در شدت انرژی ویژه یا انرژی انباشته واحد هر ماده (Sei) به مگاژول بر کیلوگرم، ضرب در فاکتور اصلاحی براساس شدت انرژی ایران (Fin) تقسیم بر (Aen) توان یک هکتار زمین (جنگلی) برای جذب co2 انتشار یافته از مصرف انرژی فسیلی به گیگا ژول بر سال. البته برای بر آورد توان زیستی زمین در محاسبه انرژی چند رویکرد وجود دارد. در یک رویکرد توان تولید زمین برای تولید سوخت به‌صورت زیست توده یا حاصل از زیست توده (اتانول) به‌عنوان معیار در نظر گرفته می‌شود اما در رویکرد متداول‌تر، توان زمین در جذب دی اکسید کربن حاصل از مصرف سوخت ملاک عمل قرار می‌گیرد. در این تحقیق از رویکرد دی اکسید کربن استفاده شده است. یک هکتار زمین توان جذب دی اکسید کربن حاصل از مصرف 100 گیگا ژول انرژی فسیلی در سال را دارد(Wackernagel & Rees, 1996, p. 69).

زمین اختصاص یافته به بهره‌برداری عبارت است از مجموع زمین اختصاص یافته به انرژی مصرف شده و آب مصرفی در طول بهره‌برداری از ساختمان. زمین اختصاص یافته به انرژی مصرفی در بهره‌برداری (رابطه 3) عبارت است از مقدار گاز طبیعی مصرفی به متر مکعب بر سال (Qng) ضرب در ارزش سوختی گاز طبیعی (COMBng) برابر با 0/039 گیگا ژول بر متر مکعب(ASHRAE, 2009, pp. 28.5) به‌علاوه مصرف الکتریسیته مصرفی به گیگا ژول بر سال (Qel) و با ضریب برابری 3 در مقابل مصرف مستقیم سوخت، مجموعاً تقسیم بر توان یک هکتار زمین برای جذب co2 انتشار یافته ناشی از مصرف سوخت فسیلی (Aen) به گیگا ژول. از آنجا که مصرف انرژی به‌صورت الکتریسیته نیازمند تبدیل سایر صورت‌های اولیه انرژی است ضریب بازده (راندمان[28]) معادل 0.33 برای آن در نظر گرفته می‌شود . در این تحقیق فرض بر این است که تمام انواع انرژی از منابع فسیلی تأمین می‌شوند.

رابطه 3

$$\text{Land}_E\ (\text{Operation}) = [\text{Qng} .\text{COMBng}+3\text{Qel}] / \text{Aen}$$

بخش دوم بهره‌برداری به آب مصرفی اختصاص دارد. زمین اختصاص یافته به آب مصرفی برابر است با کمیت آب مصرفی در یک سال، تقسیم بر توان تولید یک هکتار زمین برای آب. جای پای آب در محاسبات اولیه روش جای پای بوم شناختی در نظر گرفته نشده است. اما محققان دیگری در تحقیقات خود با فرضیات متفاوتی جای پای آب را نیز محاسبه نموده‌اند. در این تحقیق از شیوه پیشنهادی سولیز-گوزمن و همکاران (2013, p. 243) استفاده شده است. این محققان با در نظر گرفتن توان تولید آب شرب برای زمین جنگلی مرطوب و با استفاده از مقدار پیشنهادی 1500 متر مکعب (Domenech, 2007) بر هکتار بر سال، زمین اختصاص یافته به تأمین آب را محاسبه نموده است. زمین اختصاص یافته به مصرف آب ((Landw برابر است با کمیت آب مصرفی ((Qwa به متر مکعب، بخش بر (Awa) توان یک هکتار زمین جنگلی برای تولید آب شرب تازه (رابطه 4).

رابطه 4

$$\text{Land}_w\ (\text{Operation}) = \text{Qwa} / \text{Awa}$$

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-03]

زمین اختصاص یافته برای ساخت ساختمان به‌عنوان زمین اشغال شده [29] در جای پای بوم شناختی ساختمان در نظر گرفته می‌شود. مساحت محاسبه شده در این بخش معادل زمین کشاورزی (Monfreda et al. 2004, p. 238) در نظر گرفته می‌شود از آنجا که ارزش و توان زیستی زمین‌های کشاورزی در کشورهای مختلف یکسان نیست، ضریبی [30] (غیر از ضریب برابری) برای تعدیل آن اعمال می‌شود (Monfreda et al. 2004, p. 238) این ضریب همان ضریبی است که هنگام محاسبه ظرفیت زیستی کشورها برای زمین کشاورزی آن کشور اعمال می‌شود. البته در این تحقیق این ضریب "یک" در نظر گرفته شده است. زمین مصرف شده شامل زمین اشغال شده توسط ساختمان و محوطه اختصاصی بنا می‌باشد. زمین اختصاصیِ بنا به اشکال مختلف از جمله فضای سبز مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌همین دلیل برای باغچه‌های مولد (با امکان تولید محصول) جای پای منفی (Vale & Vale, 2009, p. 142) در نظر گرفته شده است، به این معنی که باغچه‌ها با تولیدات خود مقداری از اثرات محیطی را جبران می‌کنند. در این تحقیق با توجه به اثر مثبت فضای سبز، مساحت باغچه‌ها از زمین مصرف شده کسر شده است.

رابطه 5

$$Land_D\ (Degraded) = (Qln - Qgr) \cdot Fy$$

در این رابطه مساحت زمین اشغال شده توسط ساختمان (Qln) پس از کسر فضای سبز (Qgr)، در ضریب مقایسه‌ای توان تولید زمین ((Fy (متفاوت از ضریب برابری) ضرب می‌شود. محاسبه جای پای بوم شناختی و سایر اطلاعات نمونه‌های مورد مطالعه در جدول شماره 3 الی 5 درج گردیده است.

	انرژی انباشته ویژه مواد (شدت انرژی) MJ/kg		نمونه اول		نمونه دوم	
ماده ساختمانی	(Alcorn, 2003)	(Baird, Alcorn, & Phil Haslam, 1997)	مقادیر kg	انرژی انباشته	مقادیر kg	انرژی انباشته
فولاد	31.3		12391	387838/3	2055	64321/5
بتن بیش از 20 مگا پاسکال	1.2		62988	75585/6	80900	97080
بتن زیر 20 مگا پاسکال	9.		12100	10890	40800	36720
ملات سیمان		2	5926	118520	51917	103834
آلومینیوم	192		96	18432	0	0
اجر	2.7		60825	407527/5	68586	459526/2
خاک	0.07		14960	1047/2	9295	650/65
گچ	3.6		17028	61300/8	16263	58546/8
کاشی		2.5	4694	11734	630	1575
سنگ پلاک		0.79	1260	995/4	370	292/3
چوب	3		195	585	0	0
شیشه	15.9		880	13992	425	6757/5
قیر	2.4		450	1080	560	1344
مجموع MJ				1109529		830648

ج 3. مصالح مصرفی و انرژی انباشته.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-03]

	الکتریسیته		گاز طبیعی		آب شهری	
دوره بررسی	1386-90		1386-90		1390-93	
	KWH/y	GJ/y	M3/y	GJ/y	M3/y	KG/y
نمونه اول (دو طبقه)	2219/61	7/990604	4161/21	149/830538	209/84	209840
نمونه دوم	1178/79	4/243651	3052/74	109/918652	187/85	187850

ج 4. انرژی بهره‌برداری.

	نوع زمین اختصاص‌یافته / منابع مصرفی	توان تولید زمین	زمین انرژی	زمین تصاحب شده	زمین برای آب (جنگل)	مجموع
نمونه اول	انرژی انباشته در مصالح	100GJ/HY (Wackernagel & Rees, 1996)	3698/0			
	انرژی مصرف شده بهره‌برداری	100GJ/HY (Wackernagel & Rees, 1996)	1/5782			
	آب مصرف شده در بهره‌برداری	(Domenech, 2007) 1500m3/HY			0/1399	
	زمین اشغال شده	معادل زمین کشاورزی (Monfreda et al. 2004, p. 238)		0/0084		
	ضریب برابری (Loh, 2002, p. 32)		1/3500	2/1100	1/3500	
	مجموع		2/6299	0/0177	0/1889	2/5365
نمونه دوم	انرژی انباشته در مصالح	100GJ/HY (Wackernagel & Rees, 1996)	0/2955			
	انرژی مصرف شده بهره‌برداری	100GJ/HY (Wackernagel & Rees, 1996)	1/1416			
	آب مصرف شده در بهره‌برداری	(Domenech, 2007)$3m^3$/HY			0/1252	
	زمین اشغال شده	معادل زمین کشاورزی (Monfreda et al. 2004, p. 238)		0/0135		
	ضریب برابری (Loh, 2002, p. 32)		1/3500	2/1100	1/3500	
	مجموع		1/9401	0/0285	0/1691	2/1377

ج 5. ماتریس مصرف و زمین مورد نیاز.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-03]

نتیجه

نتایج این تحقیق را می‌توان معادل جای پای بوم شناختی مسکن برای ساکنین واحدهای مسکونی مورد مطالعه در نظر گرفت. اثرات محیطی (با فرض دوره یک ساله) ناشی از ساخت، بهره‌برداری و زمین تصاحب شده، برای ساختمان اول 2.84 و برای نمونه دوم برابر 2.14 هکتار جهانی می‌باشد. در ادامه نتایج با جزییات بیشتری مورد بررسی و بحث قرار می‌گیرد.

ویژگی‌های مؤثر سکونتگاه

همانطور که انتظار می‌رود ویژگی‌های مختلف یک سکونتگاه در میزان اثرات محیطی آن مؤثر هستند. برخی از این ویژگی‌ها را می‌توان در خود مسکن یافت، مانند شکل ساختمان، شیوه ساختمانی و حتی الگوی زندگی و برخی را باید در بیرون از آن جستجو کرد مانند نوع و نحوه تولید مصالح ساختمانی. دو نمونه بررسی شده در این تحقیق از هر دو جهت دارای تفاوت‌هایی اساسی هستند. ساختمان اول دارای اسکلتی فلزی است اما ساختمان دوم از سیستم طاق آجری، دیوار باربر و کلاف بتنی استفاده کرده است. یکی از این دو ساختمان دارای تراکم جمعیتی بسیار بالاتر از دیگری است، یعنی ساکنین این دو ساختمان مساحت متفاوتی را به خود اختصاص داده‌اند و در فضاهایی متفاوت با یکدیگر زندگی می‌کنند. بررسی حاضر نشان می‌دهد میزان جای پای بوم شناختی به ازای نفر، برای نمونه اول (اسکلت فلزی) 0.568 هکتار و برای نمونه دوم (گنبدی) 0.533 است. این میزان در حالی است که سرانه زیربنا به ازای نفر در نمونه فلزی 37 متر مربع و نمونه گنبدی 15 مترمربع است، یعنی باوجود اختصاص زیربنای بیشتر به ساکنین ساختمان فلزی، میزان اثرات محیطی چندان افزایش نیافته است. از طرفی زمین اشغال شده به ازای هر نفر در این نمونه‌ها به ترتیب 17 و 36 مترمربع است. یعنی نمونه اول باوجود اختصاص زمین کمتر، زیربنای بیشتری در اختیار ساکنین قرار داده است. البته کیفیت فضای این دو واحد مسکونی را نیز باید در نظر گرفت، یکی از مواردی که در نمونه اول باعث نارضایتی نسبی ساکنین شده است کاهش وزن ساختمان با کاستن از ضخامت دیوارهاست. این مسئله اگرچه باعث کاهش اثرات محیطیِ مرحله ساخت این ساختمان شده است اما کیفیت فضای مسکونی را کاهش داده است.

در انتها باید اضافه کرد اگر چه اثرات محیطی این دو ساختمان (به ازای ساکنین آن) به هم نزدیک است اما با توجه به زیربنای اختصاص یافته به هر یک از ساکنین می‌توان گفت نتایج تحقیق تا حدودی از ایده شهر فشرده در مقابل ایده شهر سبز(گسترده) حمایت می‌کند. علاوه بر این باید توجه نمود که تراکم ساختمانی می‌تواند باعث کاهش اتلاف حرارت در ساختمان‌ها شود و هزینه حمل و نقل شهری را نیز کاهش دهد (Wackernagel & Rees, 1996, p. 103).

شیوه ساخت

بررسی میزان جای پا به ازای زیربنای ساختمان، تأثیر شیوه ساخت را بیشتر روشن می‌کند. این میزان برای ساختمان اسکلت فلزی (نمونه اول) 0.015 هکتار و برای نمونه گنبدی 0.037 هکتار به ازای متر مربع زیربنا است. به این معنا که ساختمان فلزی می‌تواند با تأمین زیربنای برابر، آثار محیطی به‌مراتب کمتری از ساختمان گنبدی داشته باشد.

مصالح اصلی سازه در ساختمان اول فولاد و در ساختمان دوم آجر و مقدار کمی بتن است. در مورد ساختمان دوم انرژی انباشته در آجر (در سیستم باربر) و حجم زیاد آن، بخش عمده آثار زیست محیطی ساخت را ایجاد کرده است. به‌نظر می‌رسد انرژی مصرفی در

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-03]

پخت آجر (در مقابل بتن) تأثیر نسبتاً زیادی بر آثار محیطی این ماده داشته است.

نتایج نشان می‌دهد سازه می‌تواند بیشترین اثرات محیطی را در میان اجزای ساختمان داشته باشد. این سهم از اثرات محیطی صرفاً به خاطر حجم سازه نیست بلکه به این دلیل است که شدت انرژی در مصالح سازه غالباً بسیار زیاد است. در مورد ساختمانی با دیوارهای باربر این مساله بسیار تعیین کننده خواهد بود. انرژی مصرفی در آجر بیش از 2.5 برابر بتن است، البته شدت انرژی آن از فولاد کمتر است اما به‌علت مقاومت کم، نهایتاً اثرات محیطی بیشتری بجای می‌گذارد.

ماده اولیه آجر یعنی خشت خام دارای آثار محیطی بسیار اندک است اما برای رسیدن به ویژگی‌های لازم در ساختمان سازی، پخته می‌شود تا آجری با کیفیت بهبود یافته از نظر مکانیکی و نیز دوام بیشتر بدست آید، در حالی‌که سایر ویژگی‌های آن مانند هدایت حرارتی آن تغییر چندانی نمی‌کند، به‌همین دلیل استفاده از جایگزینی برای آجر که ضمن حفظ ویژگی‌های مثبت آجر انرژی کمتری برای تولید آن به‌کار رود یکی از راهکارهای بهبود اثرات محیطی خواهد بود. یکی از مواد جایگزین می‌تواند بتن تهیه شده با نسبت بالا از مواد شبه سیمانی طبیعی باشد. این مواد اگرچه برای کاربردهای سازه‌ای با احتیاط مصرف می‌شوند اما به‌دلیل دوام بالا و تحمل زیاد در مقابل انجماد و هوازدگی گزینه مناسبی برای استفاده در ساختمان هستند. بازیافت بتن به‌عنوان سنگ‌دانه برای بخش‌های کم اهمیت و زیرسازی‌ها (Lee, Park, & Lee, 2013, p. 101) نیز می‌تواند بخشی از آثار محیطی (از جمله آلودگی احتمالی) آن‌را در مقایسه با آجر جبران نماید.

تأثیر شیوه‌های بومی

بررسی اثرات محیطی ساختمان آجری نشان می‌دهد لزوما استفاده از شیوه‌های به‌ظاهر سنتی نتایج مثبت زیست محیطی را تضمین نمی‌کند و در این باره نیاز به تحقیقات بیشتری وجود دارد. از طرفی لازم است شرایط دیگری را که شیوه‌های سنتی در آن شکل گرفته‌اند بررسی کرد. به‌طور مثال یک تحقیق در مصر نشان می‌دهد فقط زمانی یک ساختمان سنتی آثار محیطی کمتری از یک ساختمان مشابه امروزی دارد که انرژی انباشته در مواد اولیه آن بسیار کمتر از همان نوع مصالح در ساختمان امروزی باشد (AbdelMonteleb, Hagishima, Abdel-Kader, & Hammad, 2013). مقادیر کمتر انرژی انباشته می‌تواند ناشی از ویژگی‌های دیگر یک ساختمان سنتی باشد، مانند استفاده از مواد اولیه محلی برای محصولات ساختمانی و سپس استفاده از محصولات بدون نیاز به حمل و نقل و یا خدمات تجاری و پشتیبانی دیگر. برای انجام محاسبات صحیح در این زمینه لازم است چرخه حیات مصالح بومی به‌طور مجزا محاسبه و اطلاعات لازم در مورد ویژگی‌های این مصالح تدوین شود.

سرمایه‌گذاری محیطی (یک راه حل)

نتایج نشان می‌دهد نسبت اثرات محیطی بهره‌برداری به اثرات محیطی ساخت برای نمونه اول 5.56 و برای نمونه دوم 6.40 است. برای معنادار کردن این ارقام باید عمر مفید ساختمان را نیز در نظر گرفت، با این وجود به‌نظر می‌رسد برای کاهش این نسبت می‌توان با

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-03]

سرمایه‌گذاری برای افزایش کیفیت ساخت، آثار محیطی دوره بهره‌برداری را کاهش داد. خصوصاً در نمونه اسکلت فلزی که دارای پل‌های حرارتی متعدد و دیوارهایی با ضخامت اندک است. در نتیجه بهتر است حتی با افزودن اثرات محیطی مرحله ساخت، به کاهش اثرات محیطی در دوره بهره‌برداری کمک شود. از طرفی این کار می‌تواند موجب بهبود کیفیت فضای ساختمان‌های مسکونی شود و همکاری مالکان و بهره‌برداران برای بهینه سازی ساختمان‌ها را افزایش دهد. این دیدگاه نوعی سرمایه‌گذاری زیست محیطی محسوب می‌شود، با این تفاوت که ملاک تصمیم‌گیری و تعیین نقطه بهینه سرمایه گذاری، اثرات محیطی خواهد بود و نه هزینه‌های مالی آن. طبیعی است یافتن نقطه بهینه برای این نوع سرمایه گذاری به تحقیقات بیشتری نیازمند است.

پی‌نوشت

1. Our Common Future
2. UN conference on human settlements, Habitat
3. The National Environmental Policy Act
4. Classification
5. Characterisation
6. Weighting
7. Valuation
8. Ecological footprint analysis
9. waste assimilation
10. Productive land area
11. Global hectare
12. biological capacity (biocapacity)

13. برخی محققان عبارت "ردیابی و اثرات بوم‌شناختی" را به‌عنوان معادل این واژه پیشنهاد کرده‌اند. اما نگاهی به منابع اولیه این روش نشان می‌دهد توسعه‌دهندگان این شیوه به‌دنبال ایجاد یک ارتباط نمادین با عبارت "جای پا" بوده‌اند.

14. Consumption – land-use matrix
15. Materialization or construction
16. Demolition and waste disposal
17. وال و وال (2009) ده درصد زمین بیشتر را در ازای راه‌ها منظور نموده‌اند که با توجه به اهداف تحقیق از آن صرف نظر شده است
18. Infrastructure
19. Embodied energy
20. Bioproductivity (biological productivity)
21. Equivalence factor
22. زمین ساخته شده معادل کشاورزی و زمین انرژی معادل اراضی جنگلی در نظر گرفته می‌شود.
23. System Boundary یا Inventory
24. باوجود برابر بودن بازه مورد نظر، اختلاف در نتایج محتمل است.
25. Cradle to Grave
26. Specific embodied energy of material; Energy Intensity
27. Total Primary Energy Consumption per Dollar of GDP, Btu per Year 2005 U.S. Dollars (Purchasing Power Parities)
28. راندمان کل نیروگاه‌های حرارتی کشور در سال 1391 براساس ترازنامه انرژی ایران 37 درصد بوده است بر همین اساس با در نظر گرفتن سایر تلفات و برای سادگی محاسبات ضریب 0.33 اعمال شده است.
29. Degraded Land
30. Yield Factor

فهرست منابع

- پایگاه اطلاع‌رسانی دفتر مقام معظم رهبری (1394)، ابلاغ سیاست‌های کلی محیط زیست. Available online at http://www.leader.ir/fa/content/13865/.../, checked on 12/24/2016.
- جمعه‌پور، م؛ حاتمی‌نژاد، ح؛ & شهانواز، س. (1392)، بررسی وضعیت توسعه پایدار شهرستان رشت با استفاده از روش جای پای اکولوژیک. پژوهش‌های جغرافیای انسانی (پژوهش‌های جغرافیایی) پاییز 1392; 45(3):191-208,
- حسین‌زاده دلیر، ک؛ & ساسان پور، ف. (1385)، روش جاپای اکولوژیکی (بوم شناختی) در پایداری کلان شهرها با نگرشی بر کلان شهر تهران. فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، (82), 83–101.
- سازمان حفاظت محیط زیست (1393)، ضرورت و اهداف ارزیابی اثرات محیط زیست.Available online at

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-03]

http://www.doe.ir/Portal/home/?news/196210/3742 .87/421579/.../, checked on 12/15/2015

- مجلس شورای اسلامی. (1389)، قانون برنامه پـنجم توسـعه جمهوری اسلامی ایران: مصوب 1389/11/10

- AbdelMonteleb, A. M. A. Hagishima, A. Abdel-Kader, M. & Hammad, H. (2013), Vernacular and Modern Building: Estimating the CO2 emissions from the building materials in Egypt: Conference on Building Simulaton Towards Sustainable & Green Life.

- Alcorn, A. (2003), Embodied Energy and CO2 Coefficients for NZ Building Materials: Centre for Building Performance Research, Victoria University of Wellington.

- ASHRAE. (2009), 2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI Version): (includes CD in dual Units), Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating & Air-Conditioning Engineers.

- Baird, G. Alcorn, A. & Phil Haslam, P. (1997), The energy embodied in building materials - updated New Zealand coefficients and their significance. IPENZ Transactions, 24(1/CE).

- Berge, B. (2009), The ecology of building materials (2nd ed). Amsterdam, Boston: Elsevier/Architectural Press.

- Bin, G. & Parker, P. (2012), Measuring buildings for sustainability: Comparing the initial and retrofit ecological footprint of a century home – The REEP House. Applied Energy, 93, 24–32.

- Domenech, Q. l. j. (2007), Huella Ecológica y Desarrollo Sostenible: (Ecological Footprint and Sustainable Development) [Ecological Footprint and Sustainable Development]. Madrid, Spain: AENOR.

- EIA. (2014), International Energy Statistics - EIA. Retrieved from http://www.eia.gov/cfapps/ipdbproject/iedindex3.cfm?tid=92&pid=47&aid=2&cid=regions&syid=1980&eyid=2011&unit=BTUPUSDP

- Ewing, b. Reed, A. Galli, A. Kitzes, J. & Wackernagel, M. (2010), CALCULATION METHODOLOGY FOR THE NATIONAL FOOTPRINT ACCOUNTS, 2010 EDITION.

- Global Footprint Network. (2007), ECOLOGICAL FOOTPRINT AND BIOCAPACITY, 2007.

- Global Footprint Network (2015): How can Mediterranean societies thrive in an era of decreasing resources? Global Footprint Network, Mediterranean Ecological Footprint Initiative. Available online at http://www.footprintnetwork.org/ar/index.php/GFN/page/mediterranean_initiative/, updated on 12/24/2016, checked on 12/24/2016.

- Hails, C. Loh, J. & Goldfinger, S. (2006), Living planet report. 2006. Switzerland: WWF-World Wide Fund for Nature.

- Holden, E. (2012), Ecological Footprint. In International Encyclopedia of Housing and Home (pp. 6–11). Elsevier.

- IAIA. (1999), What Is Impact Assessment? International Association for Impact Assessment. Retrieved from http://www.iaia.org/

- Itard, Laure; Klunder, Gerda (2007): Comparing environmental impacts of renovated housing stock with new construction. In Building Research & Information 35 (3), pp. 252–267. DOI: 10.1080/09613210601068161.

- Lee, S. Park, W. & Lee, H. (2013), Life cycle CO2 assessment method for concrete using CO2 balance and suggestion to decrease LCCO2 of concrete in South-Korean apartment. Energy and Buildings, 58, 93–102.

- Loh, J. (2002), Living planet report: 2002. Switzerland: WWF International.

- Loh, J. & Wackernagel, M. (2004), Living planet report: 2004. Gland, Switz.: WWF-World Wide Fund for Nature.

- Mithraratne, N. Vale, B. & Vale, R. (2007), Sustainable living: The role of whole life costs and values (1st ed). Amsterdam, Boston: Butterworth-Heinemann.

- Monfreda, C. Wackernagel, M. & Deumling, D. (2004), Establishing national natural capital accounts based on detailed Ecological Footprint and biological capacity assessments. Land Use Policy, 21(3), 231–246. doi:10.1016/j.landusepol.2003.10.009

- Penela, A. C. & Villasante, C. S. (2008), Applying physical input–output tables of energy to estimate the energy ecological footprint (EEF) of Galicia (NW Spain). Energy Policy, 36(3), 1148–1163.

- Solís-Guzmán, J. Marrero, M. & Ramírez-de-Arellano, A. (2013), Methodology for determining the ecological footprint of the construction of residential buildings in Andalusia (Spain). Ecological Indicators, 25, 239–249.

- Suzuki, M. & Oka, T. (1998), Estimation of life cycle energy consumption and CO2 emission of office buildings in Japan. Energy and Buildings, 28(1), 33–41. doi:10.1016/S0378-7788(98)00010-3.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-03]

- Teng, J. & Wu, X. (2014), Eco-footprint-based life-cycle eco-efficiency assessment of building projects. Ecological Indicators, 39, 160–168.
- UNCHS (Ed.) 1996. Istanbul declaration on Human settlement: Habitat II. UN Conference on Human Settlements.
- Vale, R. & Vale, B. (2009), Time to Eat the Dog: The Real Guide to Sustainable Living. London: hames & Hudson.
- Wackernagel, M. (1997), Ecological footprints of nations: How much nature do they use? how much nature do they have? Xalapa, Mexico, Costa Rica: Centre for Sustainability Studies; Earth Council.
- Wackernagel, M. Monfreda, C. Schulz, N. B. Erb, K.H. Haberl, H. & Krausmann, F. (2004), Calculating national and global ecological footprint time series: resolving conceptual challenges. Land Use Policy, 21(3), 271–278.
- Wackernagel, M. & Rees, W. E. (1996), Our ecological footprint: Reducing human impact on the earth. New catalyst bioregional series: no. 9. Gabriola Island, BC, Philadelphia, PA: New Society Publishers.
- WCED. (1987), Our Common Future: World Commission on Environment and Development. Oxford: Oxford University Press.
- Xing, S. Xu, Z. & Jun, G. (2008), Inventory analysis of LCA on steel- and concrete-construction office buildings. Energy and Buildings, 40(7), 1188–1193.

[Downloaded from jhre.ir on 2026-06-03]