

مقایسه و نمره‌دهی زیست‌محیطی، اقتصادی و سبک‌سازی سه سقف تیرچه با بلوک سفالی، سیمانی و یونولیتی از دیدگاه‌های ملی و بهره‌بردار

امیر اقبالی قاضی جهانی¹، رضا مکنون²

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

2- استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط‌زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

a_eghbali@aut.ac.ir

چکیده

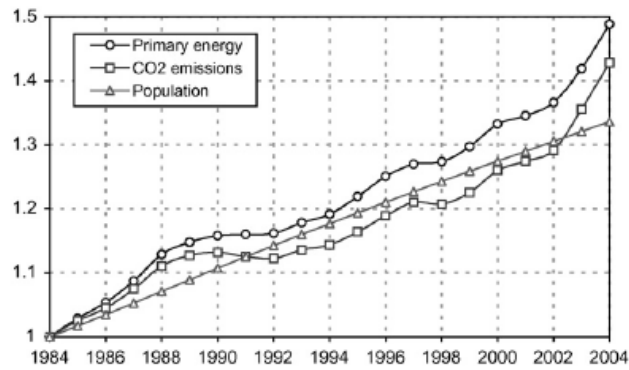
روند رو به رشد ساختمان‌سازی کشور و مصرف بالای انرژی در این بخش از یک سو و اهمیت موضوع محیط‌زیست و توسعه پایدار و بحث بهینه‌سازی مصرف انرژی به علت کاهش ذخایر انرژی و نقش اساسی مصالح ساختمانی در این زمینه از دیگر سو، ضرورت تامل بیش از پیش انتخاب مصالح ساختمانی مناسب را یادآور می‌شود. در این مطالعه با استفاده از روش ارزیابی چرخه عمر، سه نوع سقف تیرچه با بلوک سفالی، سیمانی و یونولیتی، از دیدگاه‌های ملی و بهره‌بردار و با استفاده از شاخص‌های محیط‌زیست، اقتصاد و سبک‌سازی نمره‌دهی شد. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از بلوک یونولیتی و سفالی در سقف‌های تیرچه بلوک به ترتیب در دیدگاه ملی و بهره‌بردار بهترین گزینه هستند.

کلمات کلیدی: سقف، محیط‌زیست، اقتصاد، سبک‌سازی، نمره‌دهی

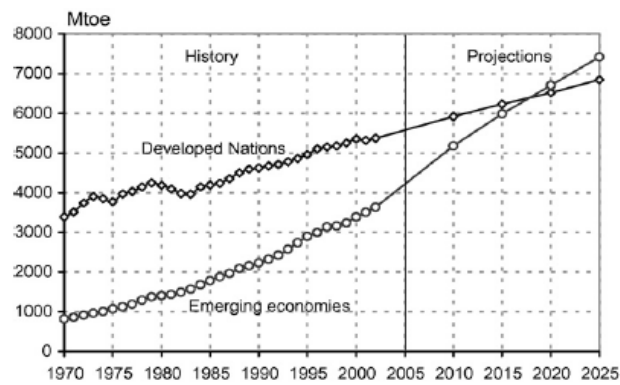
مقدمه

بنا و ساختمان از جمله فعالیت‌های مهم در کشورهای جهان و از جمله ایران است که بیش از یکصد فعالیت مختلف را در بر می‌گیرد. ساختمان‌سازی بطور قابل توجهی بر روی محیط زیست تاثیر می‌گذارد. با توجه به گزارشات سازمان Worldwatch، عملیات اجرایی و ساخت ساختمان 40% از سنگ، شن و کلوخ و ماسه را بطور متوسط در سطح جهان مصرف می‌کند [1]. همچنین 25% از چوبها و درختان دست نخورده و 40% از انرژی و 16% از آب مصرفی، در ساختمان‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ایالات متحده آمریکا تقریباً میزان تولید پسماندهای ساختمانی، با مقدار تولید پسماندهای شهری برابری می‌کند [2]. کارخانه‌های تولید مصالح ساختمانی و حمل و نقل آن‌ها، با مصرف انرژی مستقیماً بر روی گرم شدن جهانی هوا، بارانهای اسیدی و ایجاد مه دود فتوشیمیایی اثر می‌گذارند. مشکلات دفع پسماندها در نتیجه تخریب و بازسازی از مشکلات بعدی است. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که مصرف انرژی در جهان از سال‌های 2003 تا 2030، 71 درصد افزایش خواهد داشت [3] که با در نظر داشتن منابع ثابت انرژی، ضرورت بیشتر بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده انرژی (از جمله بخش ساختمان) و مراحل چرخه عمر آن‌ها بیش از پیش روشن خواهد شد. رشد بالای مصرف انرژی جهان، اثرات بالای زیست‌محیطی را در سال‌های اخیر در پی داشته است که تخریب لایه ازن، گرم شدن جهانی هوا، باران‌های اسیدی، تغییر در شرایط آب و هوایی و ... نمونه‌هایی از آن هستند. آژانس بین‌المللی انرژی آمار و اطلاعات خیره‌کننده‌ای منتشر کرده است که در طی سال‌های 1984 تا 2004 میلادی، مصرف انرژی در جهان و میزان انتشار گاز CO₂ به ترتیب 49% و 43% و با رشد متوسط 2% و 1/8% در سال افزایش داشته است (شکل 1). این تحقیق نشان می‌دهد که مصرف انرژی در کشورهای در حال توسعه (شامل آسیای جنوب‌شرقی، خاورمیانه، آمریکای جنوبی و خاورمیانه) دارای رشد متوسط 3/2% و در کشورهای توسعه‌یافته (شامل آمریکای شمالی، اروپا، ژاپن، استرالیا و نیوزلند) دارای رشد متوسط 1/1% است (شکل 2) [4]. رشد مصرف انرژی ایران در سال 1384 نسبت به سال 1383، برابر 4/2% است که بالاتر از همه مقادیر فوق است که در شکل 3 نشان داده شده است [5].

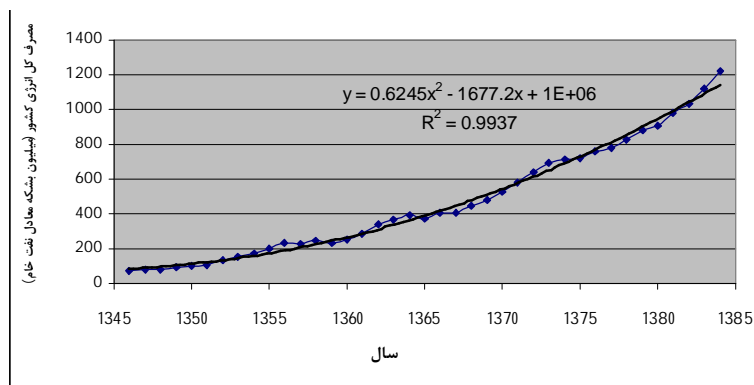
در کشور ما بر طبق آمارهای داده شده از سوی وزارت نیرو در سال 1380، بخش خانگی و اداری با مصرف در حدود 38 درصد از انرژی کل کشور در مقام اول مصرف انرژی قرار گرفته است که بیشتر به منظور گرمایش فضای داخلی استفاده شده است. این مصرف شامل 35/2% از محصولات مختلف نفتی، 53% از گاز طبیعی و 10/7% از انرژی الکتریکی است (جدول 1-1). ارزش انرژی مصرف شده در بخش خانگی در سال 1380 در حدود 5/5 میلیارد دلار بوده که پیش‌بینی می‌شود این مقدار تا سال 1400 به 157/6 میلیارد دلار خواهد رسید [6]. بنابراین، بخش ساختمانی نقش بیشتری را در مصرف انرژی کشور در سال‌های آینده خواهد داشت. آمار سال‌های اخیر نیز تایید کننده این موضوع است؛ چرا که مصرف بخش خانگی سال 1384، 40/24% از مصرف کل انرژی را به خود اختصاص داده است که در مقایسه با سال 1380 حدوداً 5 درصد افزایش داشته است. در شکل 4 نسبت مصرف انرژی بخش خانگی به مصرف انرژی کل کشور از سال 1347 تا 1384 آمده که رشد مصرف انرژی بخش خانگی را متذکر است [5].



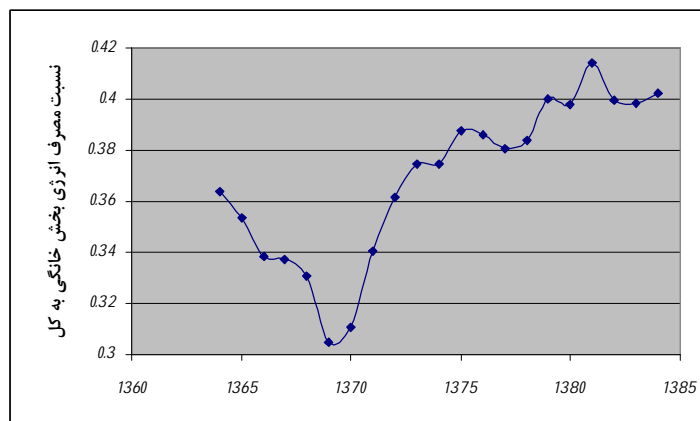
شکل 1 - مصرف انرژی، انتشار گاز CO₂ و جمعیت جهان (1994-2004) - سال 1984 به عنوان سال مبنای محاسبات انتخاب شده است. [4]



شکل 2 - مصرف انرژی در کشورهای توسعه یافته و کشورهای در حال توسعه (1994-2004) [4]



شکل 3- مصرف انرژی در کشور (1347-1384) [5]



شکل 4- رشد مصرف انرژی مصرفی بخش خاکی به مصرف انرژی کل [5]

مطالعات انجام شده در مورد مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی نشان می‌دهد که در حال حاضر مصرف انرژی به ازای هر مترمربع از ساختمان‌های مسکونی در کشور ایران معادل 30 مترمکعب گاز طبیعی است که در مقایسه با استانداردهای اروپا (5/5 مترمکعب گاز طبیعی به ازای هر مترمربع ساختمان در یک سال) رقم بسیار بالایی است [6].

توجه به این آمار و ارقام اهمیت هر چه بیشتر بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان و بالطبع انتخاب مصالح ساختمانی مناسب و دوستدار محیط زیست را گوشزد خواهد کرد. انتخاب مناسب مصالح ساختمانی برای استفاده در سقف خارجی ساختمان‌ها، به عنوان یکی از اجزای مهم ساختمان که مسئول اتلاف در حدود 20% از انرژی ساختمان است، نقش مهمی در کاهش مصرف انرژی ساختمان، یارانه‌های دولتی، انتشار گازهای آلاینده و هزینه‌های بهره‌بردار خواهد داشت.

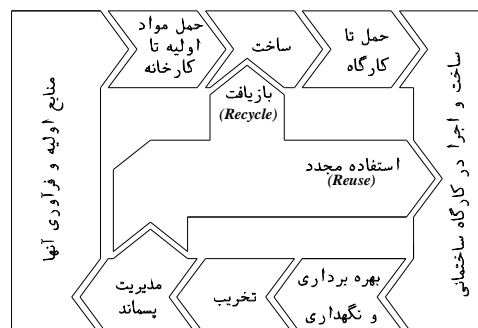
انتخاب محصولات ساختمانی بر مبنای اثرات کم اقتصادی بر روی محیط‌زیست، امری واضح و آشکار است. اما اینکه چگونه بتوان در تصمیم خود این اثرات را در طول چرخه عمر اعمال کرد، سوالی اساسی است. یک الگوی کامل می‌بایست از روشهای چند بعدی برای مدل کردن چرخه عمر استفاده کند. مثلاً هم بعد اقتصادی و هم بعد اثرات زیست محیطی را در طول چرخه عمر، در نظر بگیرد. چند بعدی بودن مدل و مراحل چرخه عمر امری ضروری به نظر می‌رسد. چرا که تصمیم‌گیری تنها بر روی یک مرحله و یا تنها یک بعد نمی‌تواند تصمیم درستی باشد. به عبارت دیگر می‌توان گفت یک مدل ارزیابی چرخه عمر چند بعدی، لازمه تصمیم‌گیری و ارزیابی درست می‌باشد [1].

اثرات زیست‌محیطی از جمله گرم شدن جهانی هوا، آلودگی آب‌ها و کاهش منابع طبیعی اثرات مهم اقتصادی بیرونی هستند. بنابراین هزینه واقعی مصالح ساختمانی چیزی جز آنست که در بازار خرید و فروش می‌شود. چرا که هزینه از بین بردن اثرات زیست‌محیطی فوق‌الذکر در بهای آنها در نظر گرفته نشده است. حتی اگر امروزه حکم و دستوری مبنی بر پرداخت هزینه به علت اثرات منفی زیست‌محیطی (آلودگی هوا - آب - خاک) وجود داشته باشد، تعیین هزینه پرداختی برای این اثرات به آسانی امکانپذیر نخواهد بود. چگونه می‌توان برای آب پاک و یا هوای پاک ارزشی تعیین کرد؟ و یا ارزش سلامتی انسان چقدر است؟ جوامع مختلف دهه‌های زیادی بر روی این سوالات بحث و مجادله کرده‌اند و اینطور که به نظر می‌رسد به تفاهمی نرسیده- اند [1].

از آنجا که نمی‌توان بر روی محیط‌زیست ارزشگذاری به وسیله پول انجام داد، لذا استفاده از روشی استنتاجی و منظم به نام ارزیابی چرخه عمر منطقی به نظر می‌رسد. به دلایل فوق در این مطالعه، از روش ارزیابی چرخه عمر، با توجه و راهنمایی‌های سازمان بین‌المللی استانداردها و استفاده از بخش ISO14040 که توصیه‌هایی برای ارزیابی چرخه عمر کرده است [7]، برای ارزشگذاری محیط‌زیست پاک و در نتیجه اثرات زیست‌محیطی استفاده شده است. اثرات اقتصادی ناشی از این اثرات زیست‌محیطی نیز جداگانه، با روش LCC که توسط ASTM² پیشنهاد شده است، انجام می‌شود. بعد از دو مرحله فوق (LCC, LCA) شاخص سوم سبک‌سازی که مستقیماً می‌تواند به عنوان اثر مثبت زیست‌محیطی حفظ منابع طبیعی نیز تلقی گردد، با استفاده از واحد وزن بر حسب کیلوگرم نمره‌دهی شده و نتایج حاصل از سه شاخص اقتصاد، محیط‌زیست و سبک‌سازی با استفاده از "آنالیز برای تصمیم‌گیری چندحالتی" (MADA³) که توسط ASTM ارائه شده است، آنالیز می‌گردند [8]. مراحل فوق در بخش‌های جداگانه توضیح داده می‌شوند.

مبانی ارزیابی چرخه عمر و نمره دهی زیست محیطی مصالح ساختمانی

ارزیابی زیست‌محیطی چرخه عمر سیستمی جهت مدلسازی شرایط و اثرات زیست‌محیطی از زمان تولد تا دفن مصالح (آغاز تا پایان) را به وجود می‌آورد. چنین سیستمی باید بتواند تمامی اثرات را در طول عمر مدل کند. در بحث ساختمان این مراحل عبارتند از: فراوری مواد اولیه و خام، حمل مصالح خام از محل معدنکاری (یا محل فراوری) به کارخانه، تولید مصالح ساختمانی از مواد اولیه در کارخانه سازنده، حمل مصالح ساختمانی به کارگاه ساختمانی، نصب مصالح ساختمانی در ساختمان مورد نظر، استفاده و بکارگیری از مصالح ساختمانی در طول چرخه عمر، تخریب مصالح ساختمانی، مدیریت پسماندهای ساختمانی ناشی از تخریب (شکل 5).



شکل 5- مراحل مختلف چرخه عمر ساختمان

1 - Life Cycle Cost

2 - American Society for Testing & Materials

3- Multi attribute decision analysis

توانایی یک مدل ارزیابی زیست‌محیطی چرخه عمر بر جامع بودن آن استوار است. استراتژی‌ها و ادعاهای بسیاری از سیستم‌های ساختمان‌سازی سبز، بر ارزیابی زیست‌محیطی چرخه عمر قرار دارد. برای مثال ادعا در مورد یک محصول ساختمانی که تنها از نظر قابلیت بازیافت سبز تلقی می‌شود، نمی‌تواند ادعای درستی باشد و بالعکس. چرا که این ماده در مراحل دیگر چرخه عمر، از جمله زمان بهره‌برداری، امکان آزادسازی گازهای آلی را ممکن است با خود به همراه داشته باشد. بنابراین ELCA با عریض‌تر کردن بحث از یک یا چند مرحله به مراحل دیگر چرخه عمر و یا تغییر در محیط‌های بستری (آب و هوا و خاک) این مشکلات را برطرف می‌کند. می‌توان گفت مزیت ELCA، قدرت آن در آنالیز مراحل و محیط‌ها به منظور رسیدن به دقیق‌ترین ارزیابی اثرات زیست‌محیطی است.

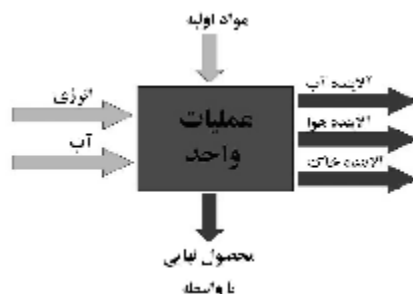
قبل از ورود به بحث ارزیابی، چند تعریف را که مبنای کار در بخش‌های بعدی خواهد بود، انجام می‌دهیم. عملیات واحد: به مجموعه فرآیندهایی که منتهی به یک هدف واحد می‌شود، عملیات واحد گفته می‌شود. جریان زیست محیطی: در هر بخش عملیات واحد، کلیه ورودی‌ها (انرژی، آب، مواد اولیه، ...) و خروجی‌ها (اثرات زیست‌محیطی)، جریانهای زیست-محیطی نامیده می‌شوند. روش LCA بطور معمول در 4 مرحله انجام می‌گیرد [7]:

تعیین هدف و میدان دید

هدف از LCA استفاده شده در این مطالعه، تعیین نمره‌های زیست‌محیطی برای سه نوع سقف تیرچه با بلوک سفالی، سیمانی و یونولیتی در طبقه آخر ساختمان است. این نتایج در اثر تلفیق با نمره‌های اقتصادی و سبک‌سازی به تصمیم‌گیران در انتخاب سقفها کمک خواهد کرد. مرحله تعیین میدان دید در هر LCA، محدوده‌ای را که هر یک از محصولات در آن قرار می‌گیرند، تعیین می‌کند. هر کارخانه سازنده هر یک از محصولات ساختمانی شامل یک سری عملیات واحد است. هر بخش به نوبه خود شامل جریان‌های زیست‌محیطی خواهد بود و حتی ممکن است که هر یک از عملیات‌های واحد به عملیات‌های واحد دیگری تقسیم شوند. لذا باید در ابتدا محدوده سیستم را تعیین کرد. در تعیین این محدوده عمدتاً از سه معیار استفاده شده است. وزن و انرژی دو معیار اساسی هستند. هزینه هم معیار سوم است که برای جلوگیری از حذف شدن فرآیندهای با هزینه بالا در نظر گرفته می‌شود. مجموعاً این معیارها یک نمایش قوی از واحدهای عملیاتی خواهد بود. با استفاده از این سه شاخص در ابتدا مصالح ساختمانی که تاثیر بالایی در ارزیابی چرخه عمر ساختمان دارند، انتخاب شدند که عبارتند از: سیمان، سنگدانه، آهن آلات، محصولات سفالی و فوم پلی استایرن. در دومین مرحله از تعیین محدوده باید جریانهای مهم و تاثیر گذار بر ارزیابی را که بین محصولات انتخاب شده وجود دارد، تعیین کرد. کمی کردن کلیه جریان‌ها در مرحله بعد ضروری به نظر نمی‌رسد؛ چرا که جریان‌های زیادی بین واحدها بوجود خواهد آمد که ارزیابی را دشوار می‌سازد و جریان‌هایی که در این مرحله حذف می‌شوند، در صورت عدم حذف، در مراحل بعدی تغییرات ناچیزی را در ارزیابی اعمال خواهند کرد. تعریف واحد مقایسه‌ای مرحله مهم دیگر در بخش تعیین محدوده دید در LCA است. اساس کار اینگونه است که مقداری از سطح سرویس در طول زمان مشخصی (مدت عمر متوسط ساختمان در ایران = 30 سال) بعنوان سطح مقایسه‌ای انتخاب می‌شود. در این مطالعه، این تابع مقایسه‌ای برای اکثر مصالح ساختمانی دارای بعد مساحت مقدار 1 مترمربع در طول 30 سال می‌باشد. در مورد مصالح با واحد حجم (بتن) نیز از واحد مترمکعب استفاده شده است.

آنالیز جریانها

این بخش مستلزم کمی کردن جریان بین واحدهای مختلف در مراحل چرخه عمر ساختمان است. این جریان‌ها شامل ورود آب و انرژی و مواد خام و خروج مواد (آلاینده‌ها) به آب و خاک و هوا می‌باشد. در شکل 6 حالت کلی از ورود و خروجی به یک مرحله از فرآیند نشان داده است.



شکل 6 - شماتیک کلی از ورود و خروج به یک مرحله از فرآیند [2]

از آنجا که هدف مطالعه در ارزیابی چرخه عمر بدست آوردن نتایج متوسط برای کشور است، با استفاده از نتایجی که برای صنایع جمع‌آوری شده بود، محصولات ساختمانی عمومی مدل شدند. برای به دست آوردن این اطلاعات از پروژه‌های انجام شده در سازمان‌هایی چون وزارت صنایع و معادن، سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت، معاونت امور انرژی در وزارت نیرو و مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن کمک گرفته شده است. در چندین مورد نیز

از تعیین استانداردهای مصرف انرژی در صنایع که توسط وزارت نیرو در سال 1384 تدوین شده بود، استفاده شده است. در مورد تخمین میزان آلاینده-های خروجی ناشی از مصرف انرژی نیز از متوسط آلاینده‌های کشور در بخش مورد نظر که در بخش محیط‌زیست ترازنامه انرژی کشور آمده، استفاده شده است.

ارزیابی اثرات زیست محیطی

روش‌های متفاوتی برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی فعالیت‌های مختلف در کنفرانس‌ها و همایش‌های بین‌المللی مطرح گردیده است. در ساده‌ترین روش‌ها نتایج جریان‌های به دست آمده در مرحله دوم ارزیابی چرخه عمر (Life Cycle Inventory) به عنوان معیاری در تصمیم‌گیری مرحله چهارم (نتیجه‌گیری) قرار می‌گیرد. این روش نمی‌تواند یک روش واقعی و کامل باشد. چرا که نمی‌توان اثرات یک خروجی با وزن مشخص را هم ارز اثرات خروجی دیگر با همان وزن دانست. مثلاً فرض اثرات برابر سرب و گاز دی‌اکسیدکربن بر روی محیط‌زیست نمونه‌ای از این نقص است [2]. در روشی دیگر که به روش حجم‌های بحرانی مشهور است، با استفاده از خروجی مرحله دوم ارزیابی و مقادیر استاندارد تعریف شده و تعریف توابعی به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی پرداخته می‌شود [9]. روش کمیابی اکولوژیکی روشی دیگر است که سازمان حفاظت محیط‌زیست سوئیس پیشنهاد کرده است. در این روش با تقسیم مقدار جریان به دست آمده در مرحله آنالیز جریان و تقسیم آن به ماکزیمم مقدار جریان در طول یک سال در یک منطقه ضریب اکولوژیکی و با جمع ضرایب اکولوژیکی جریان‌های مختلف، امتیاز اکولوژیکی به عنوان معیار ارزیابی زیست‌محیطی به دست می‌آید [10]. در برخی روش‌ها نیز با تکیه بر اقتصاد محیط‌زیست، به ارزیابی اثرات زیست‌محیطی پرداخته می‌شود. به عنوان مثال در روش اولویت‌های زیست‌محیطی که توسط انستیتو زیست‌محیطی سوئد ارائه شده است، حاصل تقسیم هزینه لازم جهت از بین بردن اثرات زیست‌محیطی یک محصول به قیمت خرید همان محصول به عنوان معیار اثرات زیست‌محیطی انتخاب می‌شود [11].

روش مورد استفاده در این مطالعه جهت ارزیابی اثرات زیست محیطی "روش مشکلات زیست‌محیطی" است. این روش برای اولین بار در SETAC مطرح شد [12] و چهار مرحله عمده را در بر دارد [2]:

1. تعیین مشکلات زیست‌محیطی: به عنوان مثال تغییر در شرایط آب و هوایی، باران‌های اسیدی و ...
 2. دسته بندی کردن جریان‌هایی که در یک مشکل زیست‌محیطی مشخص شرکت دارند: مثلاً گازهای گلخانه‌ای از قبیل دی‌اکسیدکربن و متان، در گروه گرم شدن جهانی هوا طبقه‌بندی می‌شوند.
 3. وزن دهی: ماده‌ای به عنوان معیار گروه انتخاب می‌شود (مثلاً مقدار دی‌اکسیدکربن به عنوان معیار مشکل زیست‌محیطی گرم شدن جهانی هوا انتخاب می‌گردد) و به هریک از جریان‌هایی که در یک گروه مشکل زیست‌محیطی قرار می‌گیرند، با در نظر گرفتن اثر معادل جریان به اثر ماده معیار انتخاب شده، وزن مشخصی داده می‌شود.
 4. نرمال کردن اثرات زیست محیطی با استفاده از ضرایب نرمالسازی پیشنهاد شده توسط SETAC [13].
- این روش در مقیاسهای ملی و جهانی بسیار خوب و مناسب است. ولی در مقیاس‌های کوچک نمی‌تواند جوابهای معقول و درستی را بدهد. چون اعداد مورد استفاده جهت ارزیابی اثرات زیست‌محیطی، برای مقیاس کوچک مناسب نیستند.

ارزیابی اقتصادی و نمره دهی اقتصادی مصالح ساختمانی

محاسبه اثرات اقتصادی محصولات ساختمانی نسبت به محاسبه اثرات زیست محیطی راحت‌تر است. قیمت محصولات ساختمانی بصورت منتشره وجود دارد. بهترین روش برای محاسبه اثرات اقتصادی استفاده از LCC است. در این مطالعه از روش‌های توصیه شده ASTM جهت مدل کردن اثرات اقتصادی با استفاده از روش LCC، بهره گرفته است [2، 14].

کل هزینه‌ها با استفاده از رابطه 3-8 به سال مبدا تبدیل شده و باهم جمع می‌شوند تا نتیجه به عنوان معیار اقتصادی در نظر گرفته شود.

$$LCC_j = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+d)^t} \quad (1)$$

در رابطه فوق LCC_j : کل هزینه چرخه عمر، C_t : مجموع هزینه‌های مربوط به سال t ، N : تعداد سالهای زمان مطالعه و d : نرخ نزول ارزش پول است. لازم به ذکر است که در دیدگاه ملی هزینه‌ها با احتساب یارانه‌های پرداختی دولت به انرژی محاسبه خواهد شد؛ در صورتیکه در دیدگاه بهره‌بردار یارانه انرژی در نظر گرفته نمی‌شود.

وزن و نمره دهی سبک‌سازی مصالح ساختمانی

به منظور کمی نمودن شاخص سبک‌سازی، وزن مصالح ساختمانی با یکدیگر مقایسه خواهد شد و وزن هر نمونه از مصالح کاندیدای انتخاب، به عنوان نمره سبک‌سازی منظور می‌شود. طبیعی است که هر چه وزن مصالح پایین‌تر باشد، نشانگر بهتر بودن انتخاب و اولویت بالای آن است.

وزن دهی به شاخص ها

به منظور استفاده از نتایج شاخص ها در نتیجه گیری نهایی می بایست به هر کدام از شاخص های سه گانه (اقتصاد، محیط زیست و اقتصاد) ضریبی اختصاص داده شود. وزن شاخص اقتصادی برابر X فرض می شود. وزن شاخص محیط زیست در دیدگاه ملی با توجه پیشنهاد سازمان NIST برابر X در نظر گرفته می شود و در دیدگاه بهره بردار وزن شاخص صفر منظور می گردد.

در مورد وزن شاخص سبک سازی با علم به اینکه بزرگترین تاثیر سبک سازی یک ساختمان مربوط به مقاوم شدن سازه ساختمان است، می توان نسبت هزینه اجرای سازه ساختمان به کل هزینه تمام شده ساختمان را به عنوان معیاری جهت وزن دهی به شاخص سبک سازی تلقی کرد. به همین منظور، 2 ساختمان با اسکلت فولادی و 1 ساختمان با اسکلت بتنی و 1 ساختمان با اسکلت فولادی و بتنی (اسکلت فولادی و دیوارهای حائل بتنی) مورد بررسی قرار گرفتند. میانگین نسبت هزینه اسکلت به کل هزینه ساختمان در این 4 پروژه برابر 31/5% به دست آمد. پس می توان چنین ادعا کرد که با تعریف عدد X به عنوان وزن شاخص اقتصادی، وزن شاخص سبک سازی را می توان برابر $X_{Light} = 0.315X$ در نظر گرفت.

نمره های تلفیقی (اقتصادی، زیست محیطی و سبک سازی)

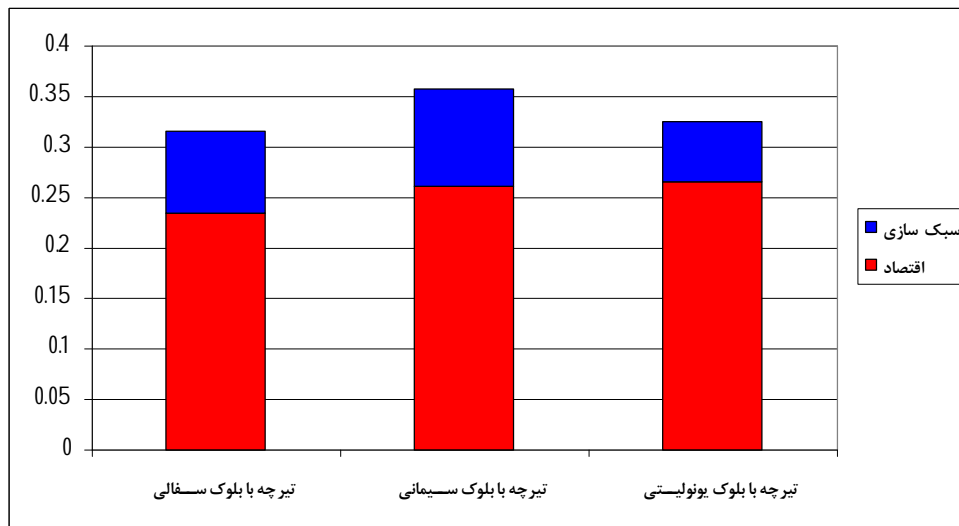
با استفاده از رابطه پیشنهادی ASTM در مورد تلفیق ابعاد مختلف (MADA) نمره کلی مصالح ساختمانی به دست می آید [8].

$$Score_j = \left[\left(EnvWt \times \frac{EnvScore_j}{\sum_{j=1}^n EnvScore_j} \right) + \left(EconWt \times \frac{LCC_j}{\sum_{j=1}^n LCC_j} \right) + \left(LightWt \times \frac{Light_j}{\sum_{j=1}^n Light_j} \right) \right] \times \frac{100}{X} \quad (2)$$

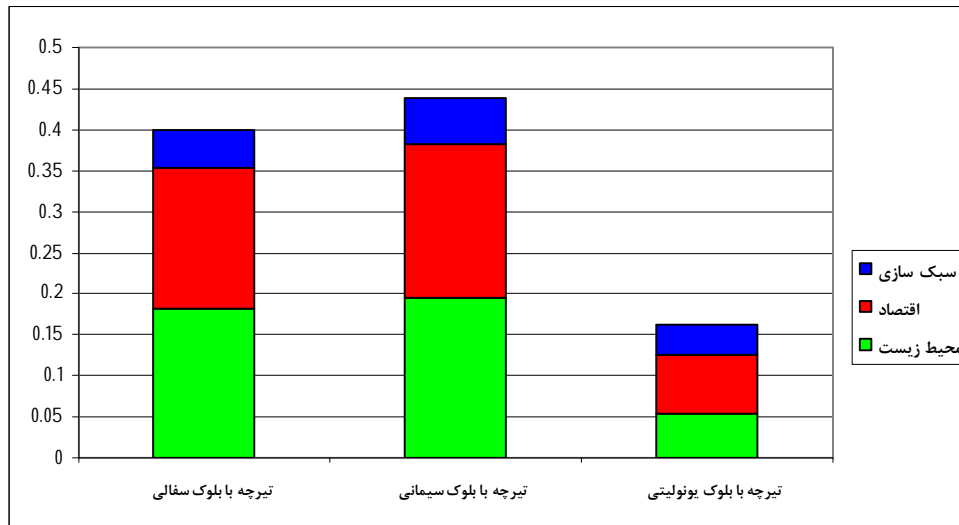
که در این رابطه $EnvWt$: وزن بعد زیست محیطی، $EconWt$: وزن بعد اقتصادی، $LightWt$: وزن بعد سبک سازی، n : تعداد مصالح کاندیدا، $EnvScore$: نمره زیست محیطی، LCC : نمره اقتصادی و $Light$: نمره سبک سازی مصالح ساختمانی است. بدیهی است که مصالحی که از رابطه بالا عدد کمتری نتیجه دهند، بهترین گزینه می باشند. چرا که این رابطه نشانگر اثرات منفی است.

نمره سقف های تیرچه با بلوک سفالی، سیمانی و یونولیتی از دیدگاه های ملی و بهره بردار

با استفاده از روابط فوق نمره سه نوع سقف تیرچه با بلوک سفالی، سیمانی و یونولیتی در طبقه آخر ساختمانی در شهر تهران از دیدگاه های مختلف بهره بردار و ملی به ترتیب بصورت شکل های 7 و 8 خواهد بود. همانطور که مشخص است سقف تیرچه با بلوک سفالی در دیدگاه بهره بردار و سقف تیرچه با بلوک یونولیتی در دیدگاه ملی بهترین گزینه ها هستند.



شکل 7 - نمره تلفیقی سقف های مختلف از دیدگاه بهره بردار



شکل 8 - نمره تلفیقی سقف‌های مختلف از دیدگاه ملی

نتیجه‌گیری

انتخاب مصالح ساختمانی ارزان از سوی ساختمان‌سازان، بدون هیچ توجه به اثرات زیست‌محیطی، در صورتی که قانونی در جهت الزام آنان به پرداخت هزینه‌های مربوط به اثرات زیست‌محیطی وجود نداشته باشد، امری اجتناب‌ناپذیر است. پس می‌توان نتیجه گرفت که وجود الگوی اقتصادی-زیست-محیطی جهت انتخاب مصالح ساختمانی امری ضروری است.

استفاده از مصالح ساختمانی جدید با خواصی از جمله سبک‌بودن، قابلیت برگشت به چرخه عمر ساختمان از یکی از طرق بازیافت و یا استفاده مجدد و داشتن ضرایب انتقال حرارتی پایین، امروزه در صنعت ساختمان‌سازی سبز کشورهای پیشرفته غیر قابل اجتناب است. ایجاد تسهیلات از سوی دولت در جهت وارد کردن تکنولوژی‌های ساخت و اجرای این مصالح ساختمانی، گامی موثر در جهت ساختمان‌سازی سبز خواهد بود.

همانطور که از نتایج مشخص است، استفاده از سقف تیرچه با بلوک یونولیتی از دیدگاه بهره‌بردار منطقی به نظر نمی‌رسد. در صورتیکه در دیدگاه ملی بهترین نوع سقف از بین سه سقف کاندیداست. پس لازم به نظر می‌رسد در جهت تشویق ساختمان‌سازان به استفاده از این نوع سقف، دولت تسهیلاتی را اختصاص دهد تا دو دیدگاه ملی و بهره‌بردار بر هم منطبق گردند.

مراجع

1. D.M. Roodman , N. Lenssen, "A Building Revolution: How Ecology and Health Concerns are Transforming Construction", Worldwatch Paper 124, Worldwatch Institute, Washington, DC, March 1995.
2. Arden L. Bement, "BEES3.0 Technical Manual And User Guide, Building for Environmental and Economic Sustainability", National Institute of Standards & Technology, Technology Administration, U.S. Department of Commerce, October 2002.
3. Chris Scheuer, Gregory A. Keoleian, Peter Reppe, "Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications", Energy and Buildings, Vol. 35, p.p.1049-1064, 2003.
4. Luis Perez-Lombard, Jose Ortiz, Christine Pout, "A review on buildings energy consumption information", Energy and Buildings, Article in press, 2007.
- 5- دفتر برنامه‌ریزی کلان برق و انرژی؛ ترازنامه انرژی سال 1384، وزارت نیرو- معاونت امور برق و انرژی، تهران، 1385.
6. B. Farhanieh, S. Sattari, "Simulation of energy saving in Iranian buildings using integrative modelling for insulation", Renewable Energy, Vol 31, p.p. 417-425, 2006.
7. International Organization for Standardization (ISO), "Environmental Management-Life-Cycle Assessment-Principles and Framework", International Standard 14040, 1997
8. ASTM International, "Standard Practice for Applying the Analytic Hierarchy Process to Multiattribute Decision Analysis of Investments Related to Buildings and Building Systems", ASTM Designation E 1765-98, West Conshohocken, PA, 1998.
9. K. Habersatter, "Ecobalance of Packaging Materials - State of 1990", Swiss Federal Office of Environment, Forests, and Landscape, Bern, Switzerland, February 1991.
10. - BUWAL, "Methods for ecology assessment", Knappheit - Ökofaktoren 1997.

11. B. Steen," *A Systematic Approach to Environmental Priority Strategies in Product Development (EPS)*", Chalmers University, Göteborg 1999.
12. SETAC, "*Life-Cycle Impact Assessment: The State-of-the-Art*", J. Owens, 1997.
13. United States Environmental Protection Agency, "*Science Advisory Board, Toward Integrated Environmental Decision-Making*", EPA-SAB-EC-00-011, Washington, D.C., August 2000.
14. ASTM International, "*Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems*", ASTM Designation E 917-99, West Conshohocken, PA, 1999.