

# کنترل تاثیرات محیطی ساختمان به روش اندازه گیری و کاهش انرژی نهان واحد سطح در فاز ساخت

(نمونه موردی: ساختمان مسکونی ۷ طبقه در شمال تهران)

\*

Title of Article

## چکیده

اندازه گیری و کنترل تاثیرات محیطی ساختمان در دهه اخیر توجهات بسیاری را به خود جلب کرده است. علاوه بر انرژی مصرفی توسط یک ساختمان در طول دوره بهره برداری، مقادیر قابل توجهی از انرژی در فرآیند ساخت مورد استفاده قرار می گیرد که این انرژی را انرژی نهان<sup>۱</sup> ساخت نامیده اند. در این تحقیق تلاش می گردد تا با بررسی و اندازه گیری انواع انرژی های مصرفی در طول فرآیند ساخت، روشی کاربردی برای اندازه گیری عددی انرژی نهان واحد سطح تدوین نموده و با ارائه راهکارهایی عملی مقدار این عدد را تا حد ممکن کاهش دهیم.

برای این منظور، انرژی مصرفی در فرآیند ساخت را از حاصل جمع انرژی نهان مصالح ساختمانی، میزان انرژی مصرفی برای حمل مصالح و انرژی مصرفی ماشین آلات ساختمانی و میزان انرژی های فسیلی و الکتریکی مورد استفاده در مراحل ساخت در سایت ساختمانی پنج طبقه در تهران به مساحت کل ۱۴۰۰ متر مربع مورد اندازه گیری قرار دادیم.

از تقسیم جمع کل انرژی مصرفی در این ساختمان بر کل سطح قابل بهره برداری، مشخص گردید که انرژی نهان ساخت این ساختمان ۷۹۵/۱۹ گیگا ژول بر متر مربع است. این عدد شاخصی مناسب و دقیق برای مقایسه سهم انرژی مصالح، حمل و ساخت بوده و برآحتی امکان مقایسه سیستم های مختلف ساختمانی را ایجاد نمود.

با وجود اینکه تغییر در این عدد تنها حاصل انتخاب مصالح نبوده و بلکه مدیریت پروژه و ساخت و میزان انرژی مصرفی در سایت نیز بخشی از این انرژی نهان را به خود اختصاص خواهد داد. با مقایسه انرژی نهان واحد سطح ساختمان نمونه در یافتیم که با جایگزینی مصالح با سطح انرژی بالا با مصالحی با انرژی نهان کمتر می توان انرژی نهان واحد سطح این ساختمان را تا ۱/۶٪ مقدار اولیه کاهش داده و به ۱۲/۷۴ گیگا ژول بر متر مربع رساند.

اصغر محمد مرادی<sup>۱</sup>، سید باقر حسینی<sup>۲</sup>، حمید یزدانی<sup>۳</sup>

## ۱. مقدمه

برای تولید ساختمان نیز، مانند هر محصول صنعتی دیگری مقادیر مشخصی از انرژی مصرف می‌گردد. در اثر این فرآیند مقادیری از انرژی در صورت‌های مختلف و از منابع تجدید پذیر و یا تجدید ناپذیر مود استفاده قرار گرفته و در نتیجه انرژی‌های مصرفی در مراحل تولید در محصول پنهان شده و به این ترتیب هر محصول صنعتی میزان مشخصی از انرژی را در خود ذخیره دارد که این انرژی، انرژی نهان نامیده می‌شود. به این ترتیب هر محصول، بر اساس میزان انرژی مصرف شده برای تولید آن، تأثیری مشخص بر محیط زیست خواهد داشت. و با افزایش میزان انرژی نهان تولید هر محصول صنعتی، ضروریست تا کیفیت آن محصول نیز بگونه‌ای افزایش یابد تا کیفیت و کمیت بهره‌برداری از محصول، انرژی صرف شده برای تولید را جبران نماید.

شواهد حاصل از تحقیقات علمی تأیید کننده تغییرات اقلیمی و خطرات جدی حاصل از آنهاست. بر همین اساس تغییرات آب و هوایی، جدی‌ترین عامل تهدید کننده جوامع بشری بوده و حاصل رفتارهای نامناسب خود اوست. از سال ۱۹۷۰ میزان گازهای گلخانه‌ای متصاعد شده در جو زمین بخصوص حجم دی‌اکسید کربن بعنوان مهم‌ترین گاز گلخانه‌ای بشکل قابل توجهی افزایش یافته است. حجم دی‌اکسید کربن حاصل از مصرف سوخت‌های فسیلی و تولید سیمان بتنهایی دلیل ۷۵ درصد از افزایش تولید این گاز در جو زمین از قرن ۱۸ میلادی یا دوران پیش از دوران صنعتی تا کنون است. ساخت و بهره‌برداری ساختمان‌ها بعنوان عاملی مهم در تولید دی‌اکسید کربن یک چهارم کل تولید دی‌اکسید کربن جهان را تولید می‌نماید. (۱)

ساختمان‌ها به تنهایی ۴۰ درصد کل مصرف انرژی جهان را به خود اختصاص داده است. این انرژی در مرحله ساخت به صورت انرژی نهان و در فاز بهره‌برداری بصورت انرژی مصرفی ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. (۲)

صنعت ساختمان بدلیل مصرف بالای منابع زمین، مواد خام و انرژی و همچنین تولید نخاله‌های منتهی مهم و تعیین کننده در محیط زیست دارد. این صنعت همچنین مصرف کننده مهم انرژی‌های تجدید پذیر و تجدید ناپذیر و تولید کننده مهم گازهای گلخانه‌ای و سایر پسماندهای جامد و گازی

است. به مرور با افزایش عوامل مخرب محیطی، میزان انرژی مصرفی ساختمان‌ها نیز افزایش یافت. به همین ترتیب اندازه‌گیری انرژی مورد نیاز برای ساخت و ساز و تولید مصالح نیز اهمیت بیشتری یافت. (۳)

صنعت ساختمان بین ۲۵ تا ۴۰ درصد کل انرژی مصرفی در بسیاری از کشورها را به خود اختصاص داده است. مطالعات مختلف نشان داده است که انرژی مصرفی ساختمان‌ها در فاز بهره‌برداری در یک بازه زمانی ۵۰ ساله ۸۵ تا ۹۵ درصد کل انرژی مصرفی ساختمان را بخود اختصاص داده است. مطالعات مرتبط با ساختمان‌های با میزان پایین انرژی بهره‌برداری نشان داده است که، انرژی نهان فاز ساخت ۴۰ تا ۶۰ درصد از کل انرژی مصرفی ساختمان را بخود اختصاص داده است. (۳)

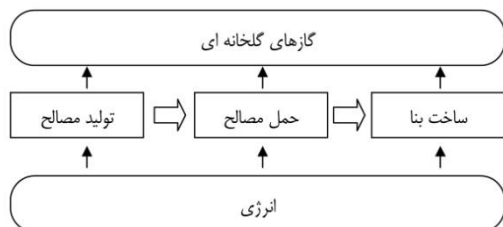
به همین دلیل در صورت کنترل میزان مصرف انرژی در بخش ساختمان و در نتیجه آن کاهش میزان تولید دی‌اکسید کربن حاصل از این بخش، می‌توان به شکل قابل توجهی به جلوگیری از افزایش دمای زمین کمک نمود.

## ۲. اهمیت موضوع

توجه به اندازه‌گیری و کنترل میزان انرژی مصرفی در جهان از دو منظر قابل توجه است. از یک سو ارتباط میان تولید گازهای گلخانه‌ای و میزان مصرف انرژی قابل توجه قرار دارد. به این ترتیب با کاهش میزان مصرف انرژی‌های فسیلی، میزان تولید دی‌اکسید کربن نیز کاهش یافته و سرعت افزایش دمای زمین کاهش خواهد یافت، پیمان بین المللی کیوتو را می‌توان مهمترین برنامه عملی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای با تمرکز بر کاهش میزان مصرف سوخت‌های فسیلی دانست. از سوی دیگر، کاهش میزان مصرف انرژی بخصوص انرژی‌های فسیلی و سایر منابع تجدید ناپذیر انرژی را می‌توان وظیفه تمامی نسل‌های بشر دانست. بدین ترتیب ضمن حفظ منابع محدود انرژی زمین می‌توان امکان بهره‌برداری نسل‌های آینده از این منابع را فراهم نمود. پیمان مونترال نیز یکی از مهمترین برنامه‌های بین‌المللی برای کاهش میزان مصرف انرژی در جهان است.

با توجه به لزوم توجه به اندازه‌گیری و کاهش میزان انرژی مصرفی، صنعت ساختمان را می‌توان بعنوان یکی از

از یک سو مصرف کننده انرژی و از سوی دیگر تولید کننده گازهای گلخانه ای هستند. (تصویر ۲)



تصویر ۲- سامانه مصرف انرژی و تولید گازهای گلخانه ای در فرآیند ساخت ساختمان (۴)

## ۲. اندازه گیری میزان انرژی تولید ساختمان

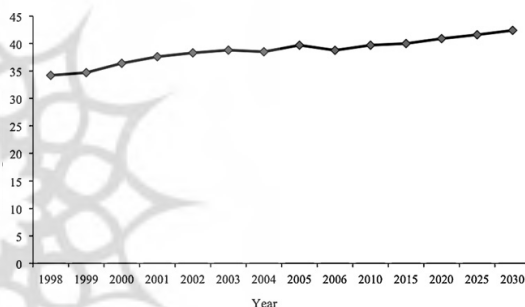
### به روش ارزیابی چرخه عمر

ارزیابی یک محصول در تمام چرخه عمر روشی است که در سال های اخیر برای ارزیابی، اندازه گیری و اصلاح محصولات ساخته دست انسان بخصوص در حوزه تولیدات صنعتی مورد استفاده قرار گرفته است. شاید بتوان نقطه آغاز شکل گیری این روش ارزیابی محصول را در سال ۱۹۹۷ یافت. در این سال موسسه بین المللی استانداردسازی ISO استانداردی را برای مدیریت زیست محیطی تولیدات صنعتی ارائه کرد. استاندارد ISO14040 نخستین قوانین و چهارچوب ها را برای کنترل تأثیرات مخرب زیست محیطی تولیدات صنعتی تصویر نمود. از دیدگاه این استاندارد برای کنترل تأثیرات مخرب محیطی می بایست عوامل تأثیرگذار مانند میزان انرژی مصرفی، هزینه، نیروی کار، میزان مصرف آب، میزان تولید گازهای گلخانه ای و سایر عوامل را از زمان استخراج مواد و فرآوری آنها تا زمان تولید محصول و پس از آن در طول عمر آن مورد اندازه گیری قرار داد. در پایان عمر، ممکن است محصول تخریب شود و یا بازیافت گردد. در انتها با جمع بندی این عوامل در تمام طول عمر یک محصول می توان میزان کارایی و بازدهی محیطی آنرا اندازه گیری و اصلاح نمود. در ارتباط با ارزیابی پایداری ساختمان همواره نیاز به ابزارهایی که توانایی بررسی ساختمان در تمام چرخه زندگی از تولید تا تخریب را داشته باشند احساس می شود. روش LCA ابزار مناسبی در اختیار قرار می دهد که به وسیله آن میتوان تأثیرات محیطی ساختمان را از زمان تولید تا تخریب مورد ارزیابی و اندازه گیری قرارداد. (۶۵)

برای ارزیابی چرخه عمر محصول به روش LCA می بایست مراحل مشخصی را دنبال نمود. فرآیند LCA را می

بزرگترین مصرف کنندگان انرژی و مهمترین تولید کننده دی اکسید کربن در جهان بررسی نمود. انرژی مصرفی ساختمان و دی اکسید کربن تولید شده توسط آنرا می توان در سه بخش جداگانه مورد بررسی قرار داد که با وجود جدایی ظاهری در واقع به شکل اجتناب ناپذیری با یکدیگر مرتبط هستند. این سه بخش شامل تولید، بهره برداری و تخریب ساختمان است. (۱)

صنعت ساختمان به همراه صنایع وابسته آن، یکی از مهمترین مصرف کننده های منابع تجدید پذیر و تجدید ناپذیر طبیعی است که تأثیرات مهمی بر محیط زیست زمین دارد. این صنعت دو پنجم مواد خام طبیعی مانند سنگ و مواد معدنی و یک چهارم چوبهای بکر، ۴۰ درصد کل انرژی جهان و ۱۶ درصد مصرف آب سالانه جهان را بخود اختصاص داده است. (۲)



تصویر ۱- نسبت انرژی فرآیند تولید به کل انرژی مصرفی بخش ساختمان در ایالات متحده (۲)

لنگستون معتقد است با وجود سادگی اندازه گیری انرژی مصرفی فاز بهره برداری ساختمان، اندازه گیری انرژی نهان ساختمان امری پیچیده و وقت گیر است. با وجود تحقیقات صورت گرفته روشی اثبات شده برای محاسبه دقیق انرژی نهان ساختمان وجود ندارد و علاوه بر این در فرآیند اندازه گیری انرژی نهان، واریانس های قابل توجهی در بسیاری از پارامترها وجود دارد. (۲)

میزان انرژی نهان ساخت با میزان دی اکسید کربن منتشر شده توسط آن رابطه مستقیم دارد. به این ترتیب مصالح با انرژی نهان بالا، میزان کربن بیشتری نسبت به مصالح با انرژی نهان پایین را در هوا متصاعد می نماید. به بیان ساده تر، فرآیند ساخت را می توان شامل بر سه بخش تولید مصالح، حمل و ساخت دانست. هر یک از این بخش ها

محصول در سه مرحله انجام می شود و در مرحله نهایی تفسیر یافته های حاصل از سه مرحله قبلی در دو بخش صورت می گیرد. در جدول زیر این چهار مرحله و بخش های جزئی تر آنها نشان داده شده اند. (۷ و ۸)

توان در چهار مرحله مختلف دسته بندی کرد: در مرحله اول هدف و روش تحقیق مشخص می گردد که خود دارای چهار بخش جزئی تر است. در مرحله دوم بررسی وضعیت موجود در دو مرحله صورت می گیرد. در مرحله سوم ارزیابی تأثیر

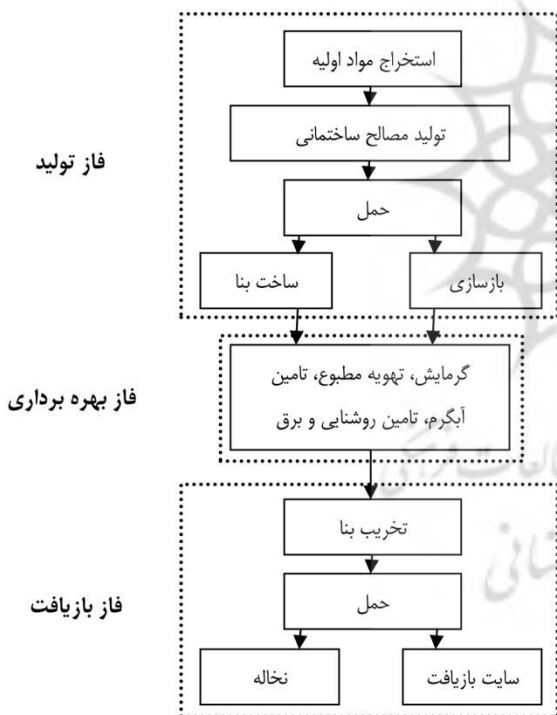
جدول ۱- ساختار بررسی استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ (۹)

مراحل LCA	اقدامات اولیه
تعریف هدف و روش	تعریف واحد- تعریف محدوده سیستم- اطمینان از کیفیت داده ها- تعریف چرخه عمر
بررسی جزء به جزء	جمع آوری داده ها - اندازه گیری ورودی ها و خروجی ها
ارزیابی تأثیر	دسته بندی داده ها- تعیین موقعیت داده - تعیین صراتب اهمیت در ابعاد مختلف
تحلیل نتایج	جمع بندی اطلاعات - بازنگری

### ۳. انرژی نهان ساختمان

کروتر انرژی نهان را بعنوان کل انرژی مورد نیاز برای خلق یک ساختمان تعریف می کند. این انرژی شامل تمامی انرژی های مستقیم ساخت و مونتاژ و همچنین انرژی غیر مستقیم تولید مصالح و اجزاء ساختمان است. در تعریف دیگری که توسط بوستد و هنک ارائه شده است، انرژی نهان بعنوان انرژی مورد نیاز برای ساخت و ساز علاوه تمامی فرآیندهای مرتبط با تولید مصالح مانند حفاری، فرآوری، تولید، حمل و بر پا کردن ساختمان بیان شده است.

در تعریف دیگری که توسط افراد زیادی مانند بیرد ۱۹۹۴، ادوارد و استوارت ۱۹۹۴، هووارد و روبرت ۱۹۹۵، کور و کران ۱۹۹۶ تایید شده است انرژی نهان، بصورت انرژی مصرف شده برای استخراج و فرآوری مواد خام، حمل مواد اولیه، تولید مصالح ساختمانی و تمامی اجزاء ساختمان و تمامی انواع انرژی مصرف شده در طول تولید و تخریب ساختمان شرح داده شده است. (۲)



تصویر ۳- سامانه بخش بندی آنالیز انرژی چرخه عمر ساختمان (۱۰)

تنها بخش های فرآوری و ساخت مورد ارزیابی و اندازه گیری قرار خواهند گرفت.

**انرژی چرخه عمر = انرژی نهان تولید + انرژی بهره برداری + انرژی تخریب (۱۰)**

با توجه به تعاریف ارائه شده، انرژی نهان یک ساختمان را می توان از بصورت زیر بیان نمود:

### ۴. عوامل مؤثر در اندازه گیری انرژی نهان

همانطور که پیشتر گفته شد، چرخه عمر یک ساختمان شامل بخش هایی چون: طراحی، فرآوری مصالح، ساخت، بهره برداری، نگهداری، تعمیر، تخریب و بازیافت است. برای اندازه گیری انرژی نهان ساخت از کل چرخه عمر ساختمان

در سایت، از حاصلضرب حجم انرژی مصرفی در انرژی نهان واحد استفاده نموده ایم.

### واحد اندازه گیری:

به منظور همگن نمودن محاسبات مقادیر انرژی از گونه های مختلف نیاز به انتخاب واحدی یکسان در انجام تمامی محاسبات است تا بتوان مقادیر حاصله را با یکدیگر جمع نموده و یا از نظر عددی مقایسه نمود. به همین منظور واحد انرژی مورد استفاده در این تحقیق گیگا ژول (GJ) است و حاصل جمع انرژی ها را بر واحد سطح مفید ساختمان متر مربع ( $M^2$ ) تقسیم می نمایم تا میزان انرژی نهان واحد سطح را با واحد گیگا ژول بر متر مربع ( $GJ/M^2$ ) اندازه گیری نمایم.

### کیفیت داده ها:

به منظور اطمینان از قابل اطمینان بودن و دقت داده ها بخصوص در مورد مقادیر انرژی نهان مصالح و سوخت های فسیلی مصرفی از جداول مربوط به چندین استاندارد مختلف استفاده شده است و در صورت مواجهه با مقادیر مختلف در مورد یک مورد مشخص از میانگین اندازه ها و یا اندازه های نزدیک تر به تحقیق استفاده شده است. در صورتی که در این موارد، موقعیت جغرافیایی بخصوص عوامل محلی باعث تفاوت در اعداد شده باشد، عددی ملاک عمل خواهد بود که از نظر موقعیت محلی به مورد مطالعه نزدیک تر باشد. استفاده از مقادیر انرژی نهان مصالح و سوخت ها از منابع رسمی محلی، در صورت وجود و در دسترس بودن به افزایش دقت تحقیق کمک خواهد نمود. (۲)

### جمع آوری داده ها:

در انجام محاسبات انرژی نهان واحد سطح در این تحقیق نمونه ای موردی مورد استفاده قرار گرفته است. این ساختمان در منطقه شمال تهران قرار گرفته و دارای هفت طبقه شامل یک زیر زمین، طبقه همکف و پنج طبقه مسکونی است. مساحت هر طبقه از این ساختمان حدود ۲۰۰ متر مربع و مساحت کل آن ۱۴۰۰ متر مربع بوده و در سال ۱۳۸۹ بنا شده است. دلیل انتخاب این نمونه در انجام تحقیق حاضر، فراوانی ساختمان های مشابه در سطح شهر تهران در غالب ۷ طبقه با ۵ طبقه مسکونی است. از سوی دیگر موقعیت جغرافیایی این ساختمان معیار مناسب و قابل اعتمادی برای انرژی حمل می باشد. بعلاوه به دلیل ساخت بنا در سال ۱۳۸۹ اعداد و مقادیر مربوط به انرژی مصرفی بخصوص در محل سایت به روز بوده و بخصوص به دلیل ساخت این بنا پس از

### انرژی نهان ساختمان = انرژی نهان مصالح + انرژی

#### نهان حمل + انرژی مصرفی در سایت

برای محاسبه انرژی نهان کل یک ساختمان می بایست با دقت انرژی هر یک از اجزای تشکیل دهنده رابطه بالا را مورد بررسی قرار داد به این ترتیب:

#### انرژی نهان مصالح = انرژی حفاری + استخراج +

#### فرآوری + تولید مصالح

محاسبه دقیق انرژی نهان مصالح نیازمند در اختیار داشتن اطلاعات کامل و جزئیات بسیار زیادی از پروسه تولید، روش حفاری، فرآیند فرآوری و مکانیسم تولید مصالح در کارخانه است. به دلیل گستردگی و پیچیدگی موجود در محاسبه این مورد، در اغلب کشورهای توسعه یافته، تولید کنندگان ساختمان خود اطلاعات لازم در این زمینه را جمع آوری نموده و نتیجه حاصل را بر اساس انرژی نهان در واحد سطح، جرم و یا حجم ارائه می دهند. در این تحقیق نیز از معتبرترین منابع موجود در این زمینه استفاده شده است.

#### انرژی نهان حمل = انرژی نهان سوخت های

#### مصرفی توسط ماشین آلات حمل

فرآیند حمل مصالح ساختمانی از محل تولید تا سایت ساختمان یکی دیگر از موارد مورد نیاز در محاسبه انرژی نهان است. محاسبه مقدار عددی این انرژی نیازمند محاسبه دقیق جرم مصالح حمل شده و مسافت طی شده تا محل سایت ساختمان است. در این تحقیق حاصلضرب جرم حمل شده در مسافت حمل شده را بر اساس واحد تن کیلومتر محاسبه نموده ایم. پس از آن با استفاده از منابع معتبر مورد استفاده در تحقیقات مشابه، میزان گازوئیل مصرفی به ازای هر تن کیلو متر را در عدد فوق ضرب نموده ایم. عدد حاصل حجم گازوئیل مصرفی برای حمل را نشان می دهد. حاصلضرب حجم گازوئیل مصرفی در انرژی نهان واحد حجم گازوئیل میزان انرژی نهان حمل در یک ساختمان را مشخص می نماید.

#### انرژی مصرفی در سایت = برق مصرفی + گازوئیل

#### مصرفی ماشین آلات ساختمانی

در سایت هر ساختمان مقادیری از انرژی برای جابجایی، مونتاژ و استفاده از ماشین آلات ساختمانی مورد استفاده قرار می گیرد. این انرژی در غالب حاصل جمع انرژی نهان سوخت های فسیلی مصرف شده توسط ماشین آلات ساختمانی و انرژی برق مصرفی توسط ماشین آلات ساختمانی و همچنین گاز مصرفی در سایت قابل محاسبه است. برای بدست آوردن مقدار عددی انرژی نهان مصرفی

■ BUILDING ENVIRONMENTAL EFFECT CONTROL THROUGH ASSESSMENT AND IMPROVEMENT OF CONSTRUCTION EMBODIED ENERGY

حذف پارانه حامل های انرژی، رفتار مصرف کنندگان انرژی در این ساختمان با در نظر گرفتن قیمت جدید حامل های انرژی و صرفه جویی های صورت گرفته در آن بوده و به همین دلیل قابل تعمیم در موارد مشابه است. داده های مورد نیاز برای اندازه گیری انرژی نهان ساختمان را می توان به سه گروه زیر تقسیم بندی نمود.

جدول ۲- محاسبه انرژی نهان مصالح ساختمانی

انرژی نهان کل (GJ)	انرژی نهان واحد (KJ/Unit)	میزان ماده (Unit)	واحد اندازه گیری
7434.00	59	126000.00	kg
1606.00	7300	220.00	m3
1095416.00	2524	434000.00	kg
276.36	4200	65.80	m3
26.92	3200	6947.45	m3
6.88	2.5	2750.00	m2
262.40	3200	82.00	m3
17.10	4.5	3800.00	m2
16.72	4.4	3800.00	m2
384.42	32	12013.23	kg
9.80	35	280.00	m2
1.90	11.9	160.00	m2
28.72	35	820.61	kg
4.77	15.9	300.00	KG
489.60	9600	51.00	KG
308.00	70	4400.00	m2
1.01	7.2	140.00	m2
13.44	3200	4.20	m3
1106304.04	<b>انرژی نهان مصالح (GJ)</b>		

(۱۳۹۱ و ۱۴۰۱)

جدول ۳- محاسبه انرژی نهان حمل و نقل

انرژی نهان کل (GJ)	انرژی نهان حمل (KJ/T.KM)	مقدار حمل (T.KM)	واحد اندازه گیری
38.22	2.275	16800	T.KM
38.22	<b>انرژی نهان حمل (GJ)</b>		



پروہشگاہ علوم انسانی و مطالعات فرہنگی  
پرتال جامع علوم انسانی



جدول ۴- محاسبه انرژی نهان مصرفی کارگاه

انرژی نهان کل (GJ)	انرژی نهان واحد (KJ/Unit)	میزان ماده (Unit)	واحد اندازه گیری
3240	3600	900	KWH
3053.16	2570	1188	LIT
6293.16	انرژی نهان مصرفی کارگاه (GJ)		

## ۵. آنالیز مقادیر انرژی در نمونه موردی

با محاسبه مقادیر انرژی نهان مصالح، حمل و انرژی مصرفی در سایت نمونه مورد مطالعه، می توان حاصل جمع عددی این سه مقدار را بعنوان انرژی نهان کل ساختمان مورد بررسی منظور نمود. با تقسیم این عدد بر کل مساحت قابل بهره برداری ساختمان می توان انرژی نهان واحد سطح این ساختمان را محاسبه نمود.

بر اساس جدول زیر مقدار انرژی نهان واحد سطح در این ساختمان برابر با ۷۵۹/۱۹ گیگا ژول بر متر مربع اندازه گیری شده است. مقادیر عددی جدول زیر را می توان بصورت نسبی با یکدیگر مقایسه نموده و تدابیر لازم برای اصلاح نسبت ها و کاهش سهم مصالح و افزایش سهم حمل و انرژی مصرفی سایت اتخاذ نمود. اما برای مشخص تر شدن سطح انرژی نهان در این ساختمان ضروری است تا نگاهی به تحقیقات صورت گرفته مشابه داشته باشیم و مقادیر انرژی نهان واحد سطح در آنها را با نمونه موردی این تحقیق مقایسه نماییم.

در مطالعات اخیر صورت گرفته درباره انرژی نهان واحد سطح ساختمان های مسکونی در بریتانیا، متوسط میزان انرژی نهان واحد سطح را در حدود ۵/۳ گیگا ژول بر متر مربع تعیین شده است. در تحقیق جدیدتر دیگری در این زمینه در بریتانیا مقدار مجاز انرژی نهان بر واحد سطح را در حدود ۳/۲۵ گیگا ژول بر متر مربع اعلام نموده اند. (۱) لذا با مقایسه عدد انرژی نهان واحد سطح در نمونه مورد مطالعه با اعداد مورد نظر در بریتانیا به تاوت معنادار و قابل توجهی پی می بریم. که در بخش های بعد با ارائه راه حل هایی به منظور کاهش مقدار انرژی نهان مشاهده می نمایم که با بکارگیری راهکارهایی عملی و ساده می توان این عدد را به میزان بسیار قابل توجهی کاهش داده و به سطح استاندارد بریتانیا نزدیک نمود.

جدول ۵- محاسبه انرژی نهان واحد سطح

نسبت به مقدار کل انرژی نهان (%)	انرژی نهان کل (GJ)
99.43%	1106304.04
0.00%	38.22
0.57%	6293.16
	1113265.42
	1400
	795.19



درب MDF	0.00%
چهارچوب درب	0.00%
شیشه	0.00%
پنجره UPVC	0.04%
رنگ	0.03%
آجر نما	0.00%
ملات	0.00%
حمل مصالح	0.00%
برق مصرفی کارگاه	0.29%
گازوئیل مصرفی کارگاه	0.27%

با مشخص شدن آجر بعنوان پر انرژی ترین عنصر در کل سیستم مصرف انرژی فرآیند ساخت و همچنین نامناسب ترین مصالح در میان تمامی مواد و مصالح ساختمانی مورد استفاده در نمونه مورد مطالعه، نخستین تصمیم در جهت کاهش انرژی نهان واحد سطح این ساختمان جایگزینی آجر با مصالح مناسب دیگری است. در صورتی که ماده جایگزین دارای وزن مخصوص و هم چنین انرژی نهان واد جرم کمتری نسبت به آجر باشد می توان انتظار داشت تا انرژی نهان مصالح و در نتیجه انرژی نهان کل ساختمان کاهش خواهد یافت و به همین ترتیب انرژی نهان واحد سطح نیز با کاهش روبرو خواهد شد.

به همین منظور نمونه های مختلف را می توان بعنوان جایگزین آجر در دیوار های خارجی این ساختمان استفاده نمود. همانطور که گفته شد کاهش جرم مصالح جایگزین یکی از عوامل اصلی در کاهش انرژی نهان ساختمان است. لذا بهترین جایگزین آجر در این ساختمان مصالحی است که تا حد ممکن وزن مخصوص کمتری را دارا باشد. از میان گزینه های موجود، سیستم (Dry Wall) دیوار خشک را می توان بعنوان یکی از مناسب ترین جایگزین ها معرفی نمود اما بدلیل مسکونی بودن کاربری این ساختمان و همچنین عدم تمایل سازندگان به استفاده از این سیستم در ساختمان های کوچک مسکونی، و به دلیل واقعی و عملی تر بودن راه حل های پیشنهادی بلوک سیمانی بعنوان مصالح جایگزین مورد ارزیابی قرار گرفت. این ماده ساختمانی علاوه بر متداول و قابل پذیرش بودن از سوی سازندگان، هر دو مورد مورد

آنگونه که از مقادیر فوق مشخص گردید، بیشترین سهم از انرژی نهان ساختمان مورد بررسی مربوط به انرژی نهان مصالح بوده و حدود ۹۹/۴۳٪ از کل انرژی را بخود اختصاص داده است. بنابراین هر تصمیمی برای کاهش میزان انرژی نهان این ساختمان در اولویت اول می بایست در ارتباط با مصالح باشد. به همین منظور در اولین قدم ضروری است تا سهم هر یک از مصالح در کل انرژی نهان مصالح مشخص گردیده و با شناسایی مصالح پرانرژی تدابیر لازم برای کاهش انرژی نهان مربوط به آنها اتخاذ شود.

جدول زیر سهم انرژی نهان هر یک از مصالح را به نسبت انرژی کل مصالح نمایش داده است. آجر با فاصله بسیار قابل توجهی از سایر مصالح حدود ۹۰/۴۰٪ انرژی نهان کل ساختمان را بخود اختصاص داده است. بزرگی مقدار این عدد اهمیت توجه به این مصالح را نشان می دهد. سهم انرژی بالای آجر را می توان به دو دلیل روش تولید آجر و در نتیجه مقادیر بالای انرژی فسیلی که برای پخت آن استفاده می شود و به همچنین به دلیل وزن مخصوص نسبتا بالای آن توضیح داد. از سوی دیگر تفاوت قابل توجه انرژی نهان واحد سطح در این مدل با مطالعات صورت گرفته در بریتانیا را شاید بتوان در بکارگیری مصالح غیر بهینه مانند آجر جستجو نمود.

جدول ۶- نسبت انرژی نهان مصالح، حمل و ساخت به کل انرژی نهان

مورد در بر دارنده انرژی نهان	نسبت انرژی نهان به انرژی کل (%)
فولاد سازه	0.67%
بتن مسلح	0.14%
آجر	98.40%
بلوک سیمانی	0.08%
ملات	0.00%
سرامیک	0.00%
ملات	0.02%
اندود گچ و خاک	0.00%
اندود گچ	0.00%
میلگرد سقف کاذب	0.03%
رایبتس	0.00%

نظر برای مصالح جایگزین یعنی وزن مخصوص کمتر و انرژی فرآیند تولید کمتر را داراست.

جدول ۷- محاسبه انرژی نهان مصالح ساختمانی در مدل اصلاح شده

واحد اندازه گیری	میزان ماده (Unit)	انرژی نهان واحد (KJ/Unit)	انرژی نهان کل (GJ)
فولاد سازه	kg	59	7434.00
بتن مسلح	m <sup>3</sup>	7300	1606.00
آجر	kg	0	0
بلوک سیمانی	m <sup>3</sup>	4200	906360.00
ملات	m <sup>3</sup>	3200	11.05
سرامیک	m <sup>2</sup>	2.5	6.88
ملات	m <sup>3</sup>	3200	262.40
اندود گچ و خاک	m <sup>2</sup>	4.5	17.10
اندود گچ	m <sup>2</sup>	4.4	16.72
میلگرد سقف کاذب	kg	32	384.42
رایتس	m <sup>2</sup>	35	9.80
درب MDF	m <sup>2</sup>	11.9	1.90
چهارچوب درب	kg	35	28.72
شیشه	KG	15.9	4.77
پنجره UPVC	KG	9600	489.60
رنگ	m <sup>2</sup>	70	308.00
آجر نما	m <sup>2</sup>	7.2	1.01
ملات	m <sup>3</sup>	3200	13.44
انرژی نهان مصالح (GJ)			11502.17

جدول ۸- محاسبه تفکیکی انرژی نهان واحد سطح در مدل اصلاح شده

انرژی نهان کل (GJ)	نسبت به مقدار کل انرژی نهان (%)
انرژی مصالح	64.50%
انرژی حمل	0.21%
انرژی مصرفی سایت	35.29%
انرژی کل	
مساحت کل ساختمان (M <sup>2</sup> )	1400
انرژی نهان واحد سطح (GJ/M <sup>2</sup> )	12.74

## نتیجه گیری

پس از اصلاح مدل مورد مطالعه و جایگزینی آجر بعنوان اولویت اول مصرف کننده انرژی در مدل اول، محاسبات مربوط به اندازه گیری انرژی نهان بار دیگر با همان روش مورد استفاده در مدل اول انجام پذیرفت. در مدل اصلاح شده علاوه بر حذف آجر از مصالح تشکیل دهنده دیوارهای خارجی و جایگزینی آن توسط بلوک سفالی، میزان ملات مصرفی در چیدن دیوار

بلوک سیمانی نیز نسبت به دیوار آجری کمتر است که مقدار متناسب این کاهش نیز در حجم ملات مصرفی لحاظ گردیده است. عدد حاصل از محاسبات انجام گرفته، مقدار انرژی نهان واحد سطح در مدل اصلاح شده را در حدود ۱۲/۷۴ گیگا ژول بر متر مربع نشان می دهد. با مقایسه این عدد با انرژی نهان واحد سطح در مدل اول ملاحظه خواهد شد که عدد حاصل از مدل اول در حدود ۶۲ برابر مدل دوم است و همین تفاوت معنادار، اهمیت و ضرورت توجه به انرژی نهان واحد سطح را به شکل کامل نمایان می نماید.

انرژی مصرفی در ساختمان ها در حدود ۵۰٪ مصرف انرژی کل دنیا را به خود اختصاص داده است. از این مقدار نیز در حدود ۴۰ تا ۶۰٪ آن بر اساس مصالح و تکنولوژی ساخت مربوط به انرژی نهان تولید ساختمان است. این انرژی بصورت انرژی تولید، انرژی بهره برداری و انرژی تخریب قابل تسیم است. بر خلاف انرژی بهره برداری، محاسبه انرژی تولید ساختمان فرآیند دشوار و پیچیده است و شامل محاسبه انرژی نهان مصالح، انرژی حمل و انرژی مصرفی در سایت است. با اندازه گیری این موارد در مدل مورد مطالعه در این تحقیق، انرژی نهان واحد سطح آن در حدود ۷۹۵/۱۹ گیگا ژول بر متر مربع اندازه گیری گردید. در اندازه گیری انرژی نهان این ساختمان از روش چرخه عمر LCA و بر اساس استاندارد ایزو ۱۴۰۴۲ در اندازه گیری تأثیر محیطی محصولات صنعتی استفاده شد. با مروری بر نتایج بدست آمده از این محاسبات مشخص گردید که آجر بکار رفته در دیوارهای خارجی در حدود ۹۹٪ از کل انرژی نهان ساختمان را بخود اختصاص داده است. بنابر این با جایگزینی این ماده با بلوک های سیمانی و انجام مجدد محاسبات انرژی نهان واحد سطح ساختمان مورد مطالعه در مدل اصلاح شده به حدود ۱۲/۷۴ گیگا ژول بر متر مربع رسید. به این ترتیب مشخص گردید که با اصلاح صورت گرفته مقدار انرژی نهان ساختمان مورد تحقیق به حدود ۱/۶٪ مقدار اولیه کاهش یافته است. گرچه در مقایسه با مقادیر قابل قبول ارائه شده در تحقیقات مشابه در بریتانیا که عدد مجاز برای انرژی نهان واحد سطح را در بازه بین ۳/۲۵ تا ۵/۳ گیگا ژول بر متر مربع این عدد هنوز تفاوت قابل توجهی را از خود نشان می دهد، اما به این ترتیب مشخص گردید که توجه به انرژی نهان ساخت امری ضروری بوده و با انجام محاسبات صورت گرفته در این تحقیق در مورد تمامی ساختمان ها و الزامی شدن دستیابی به معیاری مشخص بعنوان استاندارد ملی که در ابتدا مقداری بزرگتر از مورا دمشابه در کشور های توسعه یافته خواهد بود می توان میزان انرژی نهان ساختمان ها را بشکل قابل توجهی کاهش داده و با کاهش سهم ۴۰ تا ۶۰ درصدی انرژی مصرفی در صنعت ساختمان که مربوط به فرآیند تولید ساختمان است، میزان کل انرژی کشور را تا حدود ۲۵٪ کاهش داد.

## فهرست منابع

- 1- Manish Kumar Dixit , José L. Fernández-Solís, Sarel Lavy, Charles H. Culp, Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review, Energy and Buildings 42 (2010) 1238–1247
- 2- J. Monahan, J.C. Powell, An embodied carbon and energy analysis of modern methods of construction in housing, Energy and Buildings 43 (2011) 179–188
- 3- A. Dimoudi, C. Tompa, Energy and environmental indicators related to construction of office buildings, Resources, Conservation and Recycling 53 (2008) 86–95
- 4- Hui Yan, Qiping Shen, Linda C.H. Fan , Yaowu Wang , Lei Zhang, Greenhouse gas emissions in building construction: A case study of One Peking in Hong Kong, Building and Environment 45 (2010) 949–955
- 5- Alisa, M. and Heasman, I. (2000), Concrete, Vol. 34, No. 1, Jan 2000, pp. 26.
- 6- Curran M, editor. Environmental life cycle assessment. New York: McGraw-Hill; 1996.

7- Chris W. Scheuer and Gregory A. Keoleian, Life Cycle Assessment Methods, U .S. Department Of Commerce, National Institute Of Standards And Technology, September 2002,p:14

8- Oscar Ortiz, Sustainability in the construction industry, Construction and building materials,23-2009,p:30-35

9- Erlandsson M, Borg M. Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services—today practice and development needs. Building and Environment 2003.

10- T. Ramesh, Ravi Prakash, K.K. Shukla, Life cycle energy analysis of buildings: An overview, Energy and Buildings 42 (2010) 1592–1600

11-Andrew H, Buchanan and Brian G. Honey, Energy and carbon dioxide implications of building construction, Energy and Buildings, 20 (1994) 205-217

12- 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 35 (2003) 1049–1064

