

بررسی مصرف انرژی نهفته در بافت های مسکونی

نمونه موردی: شهر شیراز

نرجس فروزان^۱، خلیل حاجیپور^۲، علی سلطانی^۳

چکیده

کاهش مصرف انرژی و به دنبال آن انتشارات گازهای گلخانه ای به منظور کاهش اثرات تغییر آب و هوای جهانی به یک ضرورت جهانی تبدیل شده است. محیط انسان ساخت مسئول حدوداً ۴۰ درصد از مصرف انرژی در کشور ایران می باشد و قسمت اعظم محیط انسان ساخت به کاربری مسکونی اختصاص دارد. انرژی مصرف شده در تولید و فرآوری مصالح ساختمانی و در فرآیندهای ساخت ساختمان، معمولاً با استفاده از انرژی نهفته اندازه گیری می شوند. به طور کلی انرژی نهفته یک ساختمان نسبتی بین ۱/۳ تا ۱/۵ کل انرژی مصرفی ساختمان در طول دوره حیاتش را تشکیل می دهد. انرژی نهفته از جمله پارامترهای اصلی در ارزیابی عملکرد زیست-محیطی ساختمان ها است و ارتقاء راندمان انرژی در بخش مسکونی مناطق شهری به بخش مهمی در دستیابی به توسعه پایدار تبدیل شده است. لذا این پژوهش با هدف اصلی بررسی پایداری الگوهای مسکن از منظر انرژی نهفته صورت گرفته است. بدین منظور الگوهای مسکن به هفت دسته کلی حیاط مرکزی، بافت فرسوده، ویلایی، ردیفی یک، دو و سه طبقه و آپارتمانی تقسیم بندی شده اند. به منظور محاسبه انرژی نهفته ابتدا انرژی ساختمان ها بر اساس نوع سازه و با کمک تحلیل واریانس محاسبه شدند. نتایج مطالعه در این زمینه نشان می دهد ساختمان های مسکونی با سازه آجر و چوب کمترین میزان مصرف سرانه انرژی نهفته را به خود اختصاص داده اند و پس از آن به ترتیب خانه های با سازه اسکلت بتنی آجر سفالی، اسکلت فلزی آجر سفالی، اسکلت بتنی آجری، آجر و آهن تیرچه بلوک بتنی قرار دارند و در آخر اسکلت فلزی آجری بیشترین میزان مصرف انرژی نهفته را دارا می باشند. در الگوهای مسکن، خانه های حیاط مرکزی با $3/6 \text{ GJ/m}^2$ دارای کمترین سرانه انرژی در بین سایر الگوها هستند و این اولویت بندی پس از آن به ترتیب عبارت است از: خانه های ردیفی یک طبقه، آپارتمانی، خانه های ردیفی دو طبقه، خانه های بافت فرسوده، خانه های ویلایی و در آخر خانه های ردیفی سه طبقه.

واژه های کلیدی: انرژی نهفته؛ الگوی مسکن؛ پایداری؛ میزان مصرف انرژی.

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۲/۰۵

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۳/۱۵

۴۲

شماره ۱-۶
بهار ۱۳۹۵
فصلنامه
علمی-پژوهشی

نقش
جهان

بررسی مصرف انرژی نهفته در بافت های مسکونی

۱. فوق لیسانس برنامه ریزی شهری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز؛ foroozan.nrgs@yahoo.com

۲. استادیار برنامه ریزی شهری و منطقهای، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز (نویسنده مسئول)؛ hajipoor@shirazu.ac.ir

۳. دانشیار برنامه ریزی و طراحی شهری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه شیراز؛ soltani@shirazu.ac.ir

* این مقاله از پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان «بررسی پایداری الگوی مسکن با تاکید بر میزان مصرف انرژی، نمونه موردی: شهر شیراز» استخراج شده که با همکاری و حمایت مالی سازمان بهره وری انرژی ایران (سایا) انجام شده است و نگارندگان بر خود لازم می دانند که از زحمات این سازمان تشکر و قدردانی نمایند.

۱. مقدمه

اصطلاح «توسعه پایدار» به دنبال بحران های زیست- محیطی حاصل از فعالیت های صنعتی در دهه ۱۹۶۰ میلادی، برای نخستین بار در گزارش کمیته جهانی محیط زیست و توسعه، با عنوان آینده مشترک ما به ریاست خانم برانتلند در سال ۱۹۸۷ مطرح شد (International Institute For Sustainable, 2010:6). پرواضح است که مفهوم پایداری، مفهومی چند بعدی با معانی متعدد است و یکی از موضوعات کلیدی مرتبط با پایداری و توسعه پایدار شهری، چگونگی کاهش مصرف انرژی^۱ و در نتیجه آن کاهش انتشار گازهای گلخانه ای است.^۲ (brun, 1987; Holloway & bunker, 2005:2; dtland مساله تغییرات آب و هوای جهانی و انتشار گازهای گلخانه ای و آسیب پذیری جوامع انسانی نسبت به این پدیده ها به شدت مطرح است (Un-Habitat, 2015:2; Un-Habitat & Unep, 2009; Habitat در توسعه های شهری یک فاکتور کلیدی در پایداری شهرها محسوب می شود (The Energy Sector, 2014:13; Mitchel, 2005:1; Management Assistance Program این امر خصوصاً در کشور ایران اهمیت به سزایی دارد چرا که درصد قابل توجهی از انتشار گازهای گلخانه ای را به خود اختصاص داده است؛ همچنین نرخ رشد این انتشارات در ایران نسبت به میانگین جهانی آن نیز بالاتر است. (CDIAC, 2013).

لازم به ذکر است که در حال حاضر ۲٪ سطح جهان را شهرها پوشانده اند (United, 2015; Gabarrel et al, 2015:308). در حالیکه ساکنین آن ها ۸۰-۶۰ درصد انرژی جهانی را مصرف می کنند (Grubler, 2012; OECD, 2010) و مسئول بیش از ۷۰ درصد از انتشارات گلخانه ای (GHG Protocol, 2015) هستند. از همین رو بسیاری از دولت ها در حال برنامه ریزی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای از تمامی بخش های اقتصادی خود و همچنین تعریف و اجرای راهکارهای مدیریت انرژی شهری هستند. (Ward, 2008:4622; Mohanty, 2012)

از جمله راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار، کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه ای که در دو دهه اخیر بیشتر مورد توجه محققان و سیاستمداران قرار گرفته، اصلاح فرم شهر می باشد. (The Energy, 2014:4) بر (Sector Management Assistance Programme) طبق گزارش سازمان ملل متحد، فرم شهر دارای تاثیر

مستقیم بر مصرف انرژی (و دستیابی به توسعه پایدار) می باشد (Un Habitat and UNEP, 2009:53) و بدین ترتیب اصطلاح «فرم پایدار شهری» مطرح شد.

مطالعات متعدد رابطه بین فرم شهر و میزان مصرف انرژی عملکردی را مورد بررسی قرار داده اند، در حالیکه پژوهش های محدودی روی میزان مصرف انرژی نهفته صورت گرفته است. شیوه ساخت و ساز متأثر از جغرافیا، ارزش های فرهنگی و دسترس پذیری مواد خام است. ساختمان ها معمولاً دوره حیات بالایی را دارا می باشند، لذا تاثیر آن ها بر مردم و محیط زیست بلند مدت است و همین امر است که بخش ساختمان را به موضوعی مهم در دست یابی به توسعه پایدار بدل می کند. (Mohanty, 2012) بر طبق گزارش IPCC (2007) ساختمان ها در بین سایر بخش ها بیشترین پتانسیل را برای کاهش انتشارات گلخانه ای دارند (برآوردی در حدود ۲۹٪ تا سال ۲۰۳۰)؛ لذا ضروری است که طراحی ساختمان ها و روش های ساخت و ساز مورد تجدید نظر واقع شوند.

لازم به ذکر است که مطالعه انرژی نهفته در تجربیات جهانی نیز به دهه های اخیر بازمی گردد و در همین حوزه است که فقر مطالعاتی و پژوهشی در کشور ما مشهودتر می باشد. لذا این پژوهش در حکم مقدمه ای در این حوزه نوظهور می باشد که به بررسی پایداری انواع الگوهای سکونتی و توسعه مسکونی از منظر انرژی نهفته در کلان شهر شیراز می پردازد. می بایست به این نکته اشاره کرد که منظور از پایداری در این پژوهش، صرفه جویی در مصرف انرژی نهفته است.

با این تفاسیر سؤالات اصلی مطرح در این پژوهش را می توان در قالب موارد زیر بیان کرد.

- ۱- مصالح عمده ساختمانی مؤثر بر مصرف انرژی نهفته در الگوهای مختلف مسکن، کدامند؟
- ۲- انرژی برترین مصالح ساختمانی کدامند؟
- ۳- سرانه مصرف انرژی نهفته در الگوهای مختلف مسکن چقدر است؟
- ۴- آیا تفاوت معنی داری در میزان مصرف انرژی نهفته بین الگوهای مختلف مسکن وجود دارد؟

۲. انرژی نهفته

طبق نظر جونز (1998)، مصرف انرژی در ساختمان ها در ۵ فاز صورت می گیرد که عبارتند از: انرژی نهفته^۳، انرژی خاکستری^۴، انرژی القایی^۵، انرژی عملکردی^۶،

۴۳

شماره ۱-۶
بهار ۱۳۹۵
فصلنامه
علمی-پژوهشی

نقش
جهان

بررسی مصرف انرژی نهفته در بافت های مسکونی

انرژی تخریب/بازیافت^۷ (Pullen,2007;UNEP,2007). در این بین انرژی نهفته که حوزه تمرکز این مطالعه می باشد عبارت است از، انرژی مصرف شده توسط تمامی فرآیندهای مرتبط با تولید یک کالا مثل یک خانه است، از استخراج منابع طبیعی گرفته تا تحویل کالا. این انرژی بسته به انواع مختلف ساخت و ساز، طول زندگی پیش بینی شده برای ساختمان، مشخصه های کارایی-انرژی و شرایط آب و هوایی به شدت تغییر می کند (Hall,1983:82; Troy,holloway, Pullen &,2010:17;& Hinman Raymonnd در یک بررسی خردتر، دو نوع انرژی نهفته در یک ساختمان وجود دارد: انرژی نهفته اولیه^۸ و انرژی نهفته تکرار شونده^۹ (Hammond & Jones,2008).

انرژی نهفته اولیه در ساختمان ها نشان دهنده انرژی غیر قابل تجدید و مصرف شده در اکتساب مواد خام، روش ساخت، فرآوری و تولید، حمل به مکان مورد نظر و ساخت و ساز می باشد. انرژی نهفته اولیه خود دو جزء دارد:

انرژی مستقیم^{۱۰}، انرژی مصرفی برای حمل محصولات/مواد ساختمانی به مکان مورد نظر، و بعد ساخت و ساز ساختمان؛

انرژی غیر مستقیم^{۱۱}، انرژی مصرفی برای اکتساب، روش ساخت، فرآوری و تولید مصالح ساختمانی، شامل هر حمل و نقل مرتبط با این فعالیت ها. (Dixit, Cohen ;3734 .p,2012, Fernández-Solís, Lavy, & Culp Robbins, &,2011, pp. 166-167)

انرژی نهفته تکرار شونده در ساختمان ها نمایانگر انرژی غیر قابل تجدید مصرف شده برای نگهداری^{۱۲}، تعمیر^{۱۳}، نوسازی^{۱۴} یا جایگزینی مصالح، اجزای سیستم ها در طول چرخه حیات ساختمان می باشد (Cohen &,2011:166) (Robbins)

اهمیت انرژی نهفته به عنوان بخشی از کل انرژی مصرفی می تواند در مقیاس کلان اقتصاد ملی و مقیاس های کوچکتر مناطق شهری یا ساختمان های منفرد بررسی شود. به طور کلی انرژی نهفته یک ساختمان بر طبق مطالعات جهانی نسبتی حدود ۱/۳ تا ۱/۵ کل انرژی مصرفی ساختمان در طول دوره حیاتش را تشکیل می دهد، و همانطور که استانداردهای جهانی برای ساخت-وسازهای جدید به سمت «ساختمان های زیروانرژی (زیرو کربن)»^{۱۵} حرکت می کند، اهمیت انرژی نهفته نیز افزایش می یابد (Hamilton Maclaren,loveday &,2009:1011) (mourshed).^{۱۶}

عمدتاً انرژی نهفته به صورت مقدار انرژی تجدیدناپذیر در واحد مصالح ساختمانی، سازه یا سیستم محاسبه می شود (Canadian Architect,2013;Treloar,1998). این انرژی معمولاً به صورت مگاژول (MJ)، یا گیگاژول (GJ) در واحد وزن (کیلوگرم یا تن) یا مساحت (مترمربع) بیان می شود. (Haynes,2010:4) برای محاسبه این انرژی روش های مختلفی ارائه شده اند که هر کدام دارای مزایا و معایبی نیز می باشند؛ از میان این روش ها می توان به تحلیل آماری، تحلیل داده-ستانده، و تحلیل فرآیندی اشاره کرد (Crawford,;368 .p,2010, Hammond & Jones Fuller, Treloar, & Ilozor pp, 1998, Treloar ;93 .p,2002, 44-5)

۳. پیشینه تحقیق

علی رغم جست و جوی بسیار در تجارب داخلی، پژوهشی که بر روی انرژی نهفته مطالعه کرده باشد، یافت نشد. لذا در ادامه به ذکر پاره ای از نتایج پژوهش های جهانی در رابطه با محاسبه انرژی نهفته پرداخته شده است.

۱- در پژوهشی نورمن و همکاران (2006:6) به مقایسه انرژی چرخه حیات (انرژی نهفته، عملکردی و حمل-ونقل) و انتشارات گلخانه ای دو گونه ساختمان مسکونی کوتاه مرتبه و بلند مرتبه در تورنتو، کانادا پرداخته و دریافتند که انرژی نهفته مصرفی آپارتمان در حدود یک گیگاژول از انرژی نهفته مصرفی ساختمان های کوتاه مرتبه بیشتر است. ولی هنگامی که این ارقام به ازای هر نفر نرمالیزه می شود، آپارتمان ها، نسبت به ساختمان مسکونی کوتاه مرتبه، کارایی انرژی بیشتری پیدا می کنند.

۲- در پژوهش دیگری که توسط رایت (2010:6) صورت گرفت، بین سه گونه مسکونی (آپارتمانی، ردیفی دو طبقه و خانه های مجزای یک طبقه) از نظر میزان انرژی نهفته و عملکردی در مسکن و حمل و نقل مقایسه ای صورت گرفت. نتیجه کلی حاصله بدین قرار بود که به صورت سرانه، انرژی نهفته واحدهای آپارتمانی از انرژی نهفته خانه های ردیفی بیشتر است و پس از این دو خانه های ویلایی قرار می گیرند.

۳- بنابر مطالعات محققین استرالیایی، میانگین انرژی مورد نیاز برای تولید یک خانه در کشور استرالیا حدوداً ۵ گیگاژول در مترمربع است که حدود ۰/۴۹ تن در متر مربع دی اکسید کربن تولید می کند. در ایرلند بنا به پژوهش دافی، میانگین مساحت واحدهای ساختمانی در سال ۲۰۰۴، ۱۱۲ مترمربع بوده که با استفاده از داده های استرالیا، ۵۶۰ گیگاژول انرژی نهفته برای ساخت آن لازم

است که ۵۵ تن دی اکسید کربن تولید می کند. با این تفاسیر و با در نظر گرفتن چرخه حیات ۱۰۰ ساله خواهیم داشت: ۵۵/۵۵ CO₂ / ۵/۶ MJ مصرف انرژی. (Duffy, 2009:3)

جدولی که در ادامه می آید، انرژی چرخه حیات الگوهای رایج سکونتی را در ویکتوریا، استرالیا نشان می دهد.

انرژی / مشخصات	دیواره آجری با بتن قالبی ^{۱۷}	دیواره آجری با کف چوبی ^{۱۸}	آجر خشتی روی بتن قالبی ^{۱۹}
ساخت خانه	۵۲۹	۴۳۵	۳۴۹
نگهداری خانه	۱۲۰	۱۲۰	۱۱۸
انرژی نهفته	۶۴۹	۵۵۵	۴۶۷
انرژی عملکردی	۱۴۱۱	۱۴۷۵	۲۴۹۳
کل انرژی چرخه حیات	۲۰۶۰	۲۰۳۰	۲۹۶۰

جدول شماره ۱: انرژی چرخه زندگی الگوهای رایج سکونتی در ویکتوریا، (Energy Impacts of Different House Types In) (2005, Victoria)

۴. مطالعه موردی کلان شهر شیراز

۴.۱. روش تحقیق

شهر شیراز به عنوان محدوده مورد مطالعه در این پژوهش در نظر گرفته شده است که جمعیتی بالغ بر ۱۳۴۰۰۷۶ نفر را دارا می باشد. برای تعیین حجم نمونه از روش فرمول کوکران استفاده شده است. با استفاده از این رابطه، حجم نمونه برابر با ۳۸۴ واحد مسکونی بدست می آید؛ ولی با توجه به صلاح دید کارشناسان اقدام به جمع آوری داده های مربوط به حدود ۶۰۰ واحد مسکونی در کلا شهر شیراز شد. لذا پایگاه داده این پژوهش متشکل از داده های مربوط به نوع الگوی سکونت، نوع سازه، مساحت قطعه، سطح اشغال، و داده های مرتبط با مصالح عمده مصرفی و میزان انرژی نهفته آن ها می شود.

پژوهش حاضر از نظر هدف تحقیق، جزء پژوهش های کاربردی به شمار می آید که در آن انرژی نهفته ساختمان - های واحدهای مسکونی با توجه به میانگین مصرف مصالح عمده و میزان انرژی نهفته این مصالح بر حسب گیگاژول (GJ) محاسبه شده است. در واقع با توجه به اینکه پژوهشی در کشور (چه در سطح ملی و چه در سطح محلی) وجود ندارد که به بررسی میزان مصالح ساختمانی بکار رفته در الگوهای مختلف سکونتی پرداخته باشد (و همچنین به دلیل اینکه در تجارب جهانی مطالعه شده در چنین مواردی عموماً با توجه به نوع سازه، راجع به

کمیت مصالح به کار رفته تصمیم گیری می شود) با توجه به گزارشات سازمان ملی زمین و مسکن و مرکز آمار ایران اقدام به جمع آوری اطلاعات راجع به نوع سازه و مصالح بکار رفته در آن ها شده است و سپس به کمک گزارش دانشگاه بٹ راجع به میزان انرژی ۲۰ و ۲۱ نهفته در مواد مختلف؛ میزان انرژی نهفته در الگوهای مختلف سکونت بر مبنای نوع سازه استخراج شده است. این اقدامات اکثراً در نرم افزار صفحه گسترده اکسل صورت گرفته و پس از استخراج انرژی نهفته با توجه به نوع سازه، در مراحل بعد میانگین انرژی نهفته بر مبنای نوع الگوی مسکن و سرانه آن به راحتی استخراج شده اند.

همچنین به منظور مقایسه میانگین انرژی نهفته الگوهای مختلف از آزمون F (تحلیل واریانس یا ANOVA) در محیط برنامه IBM SPSS Statistics استفاده شده است. آنچه که باید مورد توجه قرار گیرد این است که آزمون F تنها معنی - داری تفاوت بین میانگین گروه ها را مورد بررسی قرار می - دهد اما مشخص نمی کند که این تفاوت ها در بین کدامیک از گروه های مورد بررسی وجود دارد. به همین دلیل برای اینکه بدانیم تفاوت های بدست آمده در بین کدامیک از طبقات وجود دارد (Kalantari, 1382) از آزمون های پسین (LSD) کمک گرفته شده است (Harrawat, 1993)

۵. تجزیه و تحلیل

در این مرحله از پژوهش پس از استخراج میزان مصرف مصالح عمده ساختمانی به تفکیک نوع سازه بنا در هر مترمربع زیربنا از گزارش «کاربرد، تولید و مصرف مصالح ساختمانی»، به سراغ گزارش های دانشگاه بٹ رفته و به کمک آن ها انرژی و کربن نهفته در مصالح ساختمانی مشخص شده است.

باید توجه داشت انرژی ای که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته و از داده های ICE گرفته شده است انرژی گهواره تا دروازه است. همچنین باید اشاره کرد که داده های مورد نیاز گزارش ICE برای برآورد انرژی و کربن نهفته مواد مختلف، عموماً از منابع بین المللی (میانگین - های اروپایی یا جهانی) گرفته شده است. (بنگرید به جدول شماره ۲: مصرف انواع مصالح ساختمانی در الگوهای متفاوت ساختمانی به ازاء هر مترمربع زیربنای کل - در بخش ضمائم)

جدول شماره سه مقدار انرژی نهفته مواد و مصالح عمده ساختمان سازی را نشان می دهد؛ این انرژی می تواند به صورت گهواره تا دروازه یا گهواره تا گور اندازه گیری شود.

انرژی نهفته (EE (MJ/kg	ماده / محصول	انرژی نهفته (EE (MJ/kg	ماده / محصول	
			انرژی نهفته	ماده / محصول
۱۵	شیشه	۳	آجر	
۲۵	آهن	۴۰.۵	سیمان	
۲۹.۲	میلگرد	۱۰	General	سرامیک
۴۵.۴	ورق	۱۲	Tiles and Cladding Panels	
۳۹	رایبتس	۳	General Simple Baked) (Products	سفال
۱	شن	۶۰.۵	Tile ^{۲۲}	
۰.۳	سنگریزه	۵.۳	۵.۳	آهک
۵۱	قبر	۰.۲۴	۰.۲۴	کاه/ پوشال
۱.۰۸	گچ	۰.۰۱	۰.۰۱	آب
۵۶.۷	ضد زنگ	۰.۰۸۱	۰.۰۸۱	ماسه
۳۵.۴	فولاد	۰.۴۵	۰.۴۵	خاک
		۷۰	General	رنگ
		۵۹	Waterborne Paint	
		۹۷	Solventborne Paint	

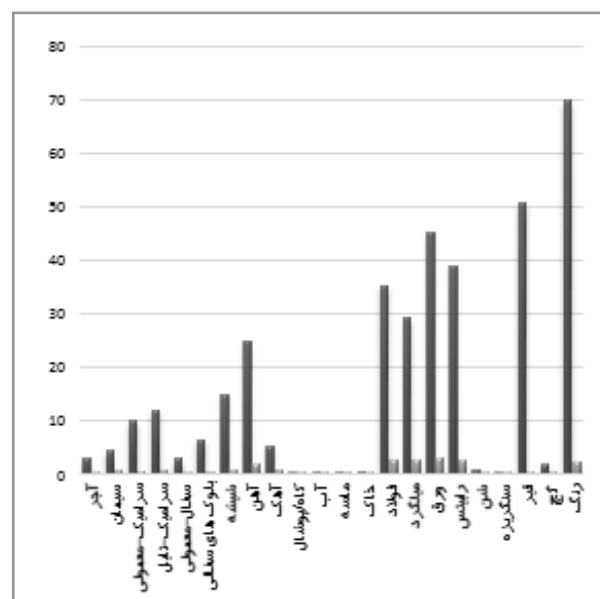
جدول شماره ۳: انرژی نهفته مواد و مصالح عمده ساختمان سازی، ماخذ: نگارندگان، برگرفته از (Hammond & Jones, 2008; Hammond G., Jones, Lowrie, & Tse, 2011)

این اعداد و ارقام به صورت گویا تر در نمودار شماره یک نشان داده شده است.

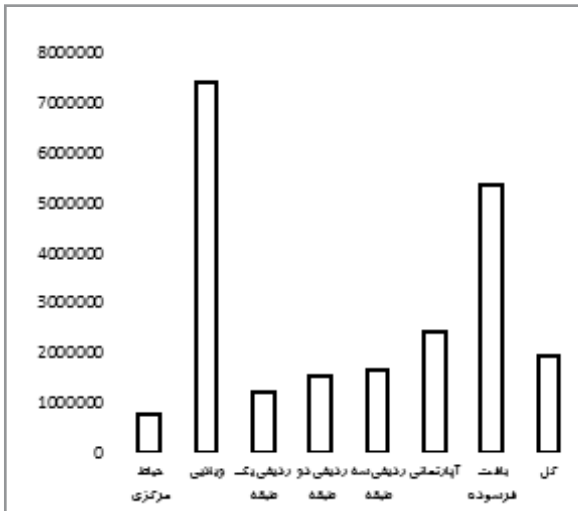
همانطور که از واحدهای جداول دو و سه نیز برداشت می شود، بعضی از داده های جدول شماره دو با واحد قالب یا مترمربع و یا مترمربع بیان شده اند، درحالی که داده های جدول شماره سه همگی انرژی را در واحد کیلوگرم نشان می دهند، لذا چگالی مصالحی که واحد آن ها به صورت قالب یا حجم بیان شده با کمک کتاب «مصالح

ماده / محصول	چگالی / وزن مخصوص	ماده / محصول	چگالی / وزن مخصوص
شیشه	۲.۵ gr/cm ^۳	آجر	۱.۰۸ gr/cm ^۳
رایبتس	۰.۷ kg/m ^۲	سرامیک	۴۵ kg/m ^۳
شن	۱۷۰۰ kg/m ^۳	ماسه	۱۵۵۰ kg/m ^۳

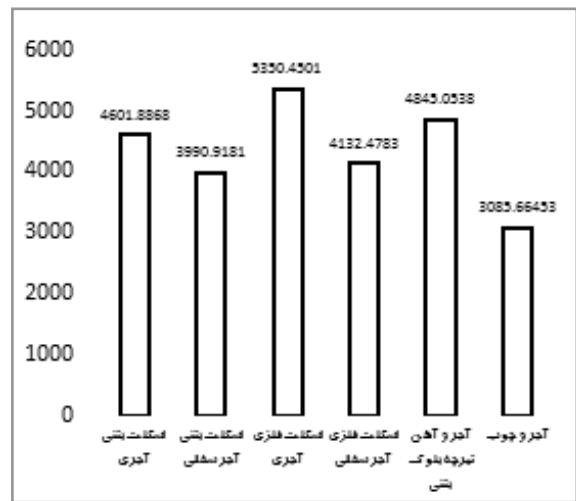
جدول شماره ۴: چگالی مصالح ساختمانی، ماخذ: نگارندگان، برگرفته از (Daneshian, 1392)



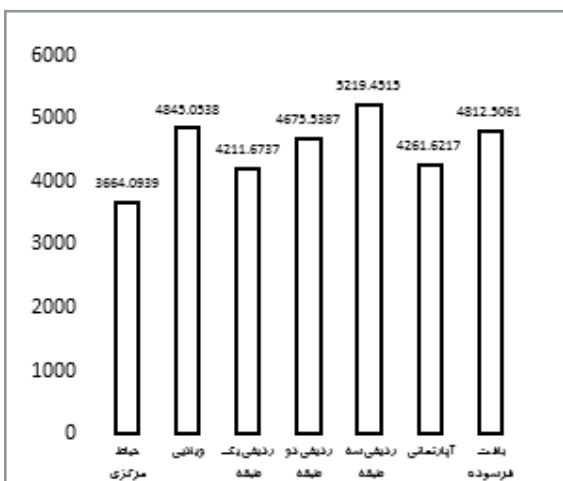
نمودار شماره ۱: انرژی و کربن نهفته در مواد و مصالح ساختمانی



نمودار شماره ۳: میانگین انرژی نهفته ساختمان ها به تفکیک الگوهای سکونتی (انرژی با واحد MJ/m^2 محاسبه شده است)



نمودار شماره ۲: سرانه انرژی نهفته ساختمان ها براساس نوع سازه (انرژی با واحد MJ/m^2 محاسبه شده است)



نمودار شماره ۴: سرانه انرژی نهفته به تفکیک الگوهای سکونت (واحد: MJ/m^2)

سرانه به بیشترین سرانه عبارت است از: خانه های حیاط مرکزی، خانه های ردیفی یک طبقه، آپارتمانی، خانه های ردیفی دو طبقه، خانه های بافت فرسوده، خانه های ویلایی و در آخر خانه های ردیفی سه طبقه^{۲۵}.

۶. بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش پس از مشخص ساختن مصالح عمده ساختمانی و انرژی نهفته آن ها چنین برداشت می شود که به ترتیب رنگ، قیر، ورق، رابیتس، فولاد، آهن، شیشه، سرامیک، آهک، سیمان و در آخر آجر و سفال انرژی برترین مصالح ساختمانی هستند. لازم به ذکر است که این مقایسه ها با توجه به مقادیر و داده های بین المللی محاسبه شده است و لزوم محلی کردن داده ها بسیار

ساختمانی» و منابع اینترنتی^{۲۳} به قرار جدول شماره چهار برداشت شده است:

در نهایت انرژی نهفته به ازای هر متر مربع زیربنای ساختمان (با توجه به نوع سازه های موجود در نمونه های مورد مطالعه) به قرار نمودار شماره ۲ می باشد.

همانطور که از شکل برمی آید بین انواع سازه های ساختمان در میزان سرانه انرژی نهفته اختلاف وجود دارد؛ به منظور اطمینان از وجود اختلاف و انجام مقایسات بین زیرگروه ها به تحلیل واریانس و آماره LSD پرداخته می شود که نشان دهنده وجود اختلاف معنی دار است. اولویت بندی ناشی از انجام این تحلیل از حداقل به حداکثر مصرف سرانه انرژی نهفته عبارت است از: سازه آجر و چوب، اسکلت بتنی آجر سفالی، اسکلت فلزی آجر سفالی، اسکلت بتنی آجر، آجر و آهن تیرچه بلوک بتنی و در آخر اسکلت فلزی آجر.

این نتیجه کاربردی و جالبی است ولی با توجه به هدف پژوهش که بررسی میزان مصرف انرژی براساس الگوهای مسکن است نتیجه گویا و روشنی نیست. لذا در مرحله بعد به محاسبه میانگین و سرانه انرژی نهفته به تفکیک الگوهای سکونت پرداخته شد (بنگرید به نمودارهای شماره سه و چهار).

در بررسی معنی داری اختلاف در سرانه مصرف انرژی نهفته الگوهای مختلف سکونتی^{۲۴} به کمک تحلیل واریانس، $0 = sig$ بدست آمد لذا در سطح اطمینان ۹۹٪ بین الگوهای مختلف تفاوت معنی دار وجود دارد.

با مراجعه به جدول آماره LSD مشاهده می شود که به طور کلی سرانه مصرف انرژی نهفته به ترتیب کمترین

واضح می باشد تا بتوان دیدی واضح تر و جامع تر از میزان انرژی نهفته مصالح مختلف در ایران بدست آورد.

محاسبات آماری بر روی میزان مصرف انرژی نهفته مشخص ساخت که بین الگوهای مسکن تفاوت معنی دارد در میزان انرژی نهفته وجود دارد. بدین ترتیب نتیجه اصلی پژوهش، یعنی سرانه مصرف انرژی نهفته در الگوهای مختلف مسکن که به وضوح در نمودار شماره چهار نشان داده شده است، بیان می دارد که الگوی حیاط مرکزی با سرانه انرژی نهفته $3,6 \text{ GJ/m}^2$ کاراترین نوع الگوی سکونتی شناخته شده است و خانه های ردیفی سه طبقه با دارای بودن سرانه انرژی نهفته $5,2 \text{ GJ/m}^2$ انرژی برترین نوع الگوی مسکن در شهر شیراز می باشند. ارقام و اطلاعات بدست آمده از بخش قبل را می توان با نمونه های تجارب جهانی مقایسه کرد ولی این مقایسه ها اولیه بوده و به عنوان مثال نوع سازه و مصالح ساخت و ساز در این دو نوع الگو در ایران و استرالیا را در نظر نمی گیرد.^{۲۶} نکته کلیدی دیگر که مقایسه های تطبیقی بین کشورها را دشوار می سازد این است که شرایط تولید مواد و مصالح ساختمانی^{۲۷} در ایران با سایر کشورها متفاوت است. با وجود اینکه تکنولوژی تولید و فرآوری بسیاری از مواد و مصالح ساختمانی در ایران و جهان مشابه است، کماکان ارائه داده های محلی درک درست تری از شرایط ایران ارائه می دهد.

همچنین این نکته باید در نظر گرفته شود که بعضی از الگوها یا مواد و مصالح ساختمانی دارای انرژی نهفته بیشتری هستند ولی در عوض دارای طول عمر بیشتری نیز می باشند، با محیط سازگاری بیشتری دارند و در طول فرآیند بازیافت درصد بیشتری از آن ها بازیافت می شود که باعث می شود به طور کلی نسبت به سایر الگوها و یا مواد و مصالح ساختمانی، کارایی انرژی بیشتری داشته و مقرون به صرفه تر باشند، چرا که در طول مدت حیات ساختمان، صرفه جویی بیشتری را در انرژی باعث می-شوند. لذا در آخر باید این نکته را نیز در نظر گرفت که بهترین روش برای ارزیابی انرژی در بخش مسکونی، استفاده از تکنیک تحلیل انرژی چرخه حیات است. در این تکنیک علاوه بر در نظر گرفتن انرژی نهفته اولیه و تکرار شونده، انرژی عملکردی، انرژی خاکستری، انرژی مورد نیاز برای بازیافت و تخریب و به طور خلاصه انرژی مصرفی در طول ۵ مرحله حیات یک ساختمان بر طبق نظر جونز، در نظر گرفته می شوند تا بهترین نوع مصالح و الگوهای سکونت مشخص شوند^{۲۸}. بدین منظور پژوهش های آتی می تواند ضمن استفاده از اطلاعات تفصیلی از

ابزارهای دیگری همچون Eco Calculator یا Energy Plus استفاده نموده و در جهت تدقیق و تعمیق یافته های این پژوهش کمک نماید.

۷. ضمایم

آجرو چوب	آجرو آهن		اسکلت فلزی				اسکلت بتنی		واحد	مصالح مورد مصرف
	طاق ضربی	تیرچه بلوک بتنی	طاق ضربی		تیرچه و بلوک بتنی		تیرچه بلوک بتنی			
			آجر	آجر	آجر سفالی	آجر	آجر سفالی	آجر		
۱ و ۲ طبقه	۱ و ۲ طبقه	۱ و ۲ طبقه	۳ و ۴ طبقه	۱ و ۲ طبقه	۵ طبقه به بالا	۱ تا ۴ طبقه	۵ طبقه به بالا	۳ و ۴ طبقه	کیلوگرم	سیمان
۱۶۳.۳	۱۷۴.۳	۲۱۷.۳۳	۱۱۷.۷۱	۱۳۶.۶	۱۱۴.۶۵	۱۳۱.۵۵	۱۴۸.۵	۱۳۶.۵۴	کیلوگرم	سیمان
۳۳۷.۵۸	۳۸۹.۵۸	۲۳۷.۵۸	۳۱۹.۲۸	۳۱۹.۲۸	۴۲.۱	۲۶۷.۵	۴۲.۱	۲۶۷.۵	قالب	آجر
-	-	-	-	-	۴۶.۶۵	-	۴۶.۶۵	-	قالب	آجر سفالی مجوف
-	-	-	-	-	۷.۸۶	۷.۸۶	۷.۸۶	۷.۸۶	قالب	بلوک سفالی سقفی
۰.۴۳	۰.۴۵	۰.۵۶۶	۰.۱۴۶	۰.۱۸۴	۰.۴۰۶	۰.۲۴۷	۰.۵۲۶	۰.۲۸۲	مترمکعب	شن
۰.۴۶۳	۰.۴۸	۰.۵۴۶	۰.۳۲۷	۰.۴۰۲	۰.۳۲۶	۰.۳۹۱	۰.۴۲۲	۰.۳۴۶	مترمکعب	ماسه
۶۴.۸۱	۷۷.۳۹	۶۴.۸۱	۷۷.۳۹	۷۷.۳۹	۴۷.۴۴	۴۵.۷۳	۴۷.۴۴	۴۵.۷۳	کیلوگرم	گچ
۲۶.۷	۲۶.۷	۳۱.۹۵	۸.۸۳	۸.۶۹۷	۹.۳۱	۱۷.۶۵	۴۴.۵۵	۴۰.۲۱۰	کیلوگرم	میلگرد
-	۱۴.۹	-	۴۵.۴۲	۴۸.۴۹	۳۴.۹۵	۳۶.۵	-	-	کیلوگرم	تیرآهن
-	۴.۷	-	۶.۹۸۱	۸.۷۹	۱۲.۰۴	۹.۲۷	-	-	کیلوگرم	ورق آهنی
-	۳.۲	-	۶.۰۱۱	۷.۵۷	۵.۰۳	۶.۱۴	۰.۷۰۸	۰.۷۰۸	کیلوگرم	نبشی آهنی
۰.۴۵۳	۰.۴۵۳	۰.۴۵۳	۰.۵۵۹	۰.۴۵۳	۰.۵۱۲	۰.۵۵۹	۰.۵۱۲	۰.۵۵۹	مترمکعب	کاشی دیوار
۰.۲۱۶	۰.۲۱۶	۰.۲۱۶	۰.۱۴	۰.۲۱۶	۰.۱۳	۰.۱۴	۰.۱۳	۰.۱۴	مترمکعب	سرامیک کف
۰.۷۳۶	۰.۷۳۶	۰.۷۳۶	۰.۹۵۱	۱.۱۸	۰.۷۹۲	۰.۹۵۱	۰.۷۹۲	۰.۹۵۱	مترمکعب	موزاییک سیمانی
۰.۱۵۸	۰.۱۵۸	۰.۱۵۸	۰.۱۳۶	۰.۱۵۸	۰.۱۳۲	۰.۱۳۶	۰.۱۳۲	۰.۱۳۶	مترمکعب	شیشه جام
۶.۵۷۵	۸.۰۳۳	۸.۰۳۳	۴.۷	۹.۹۵	۳.۴۹۳	۴.۷	۳.۴۹۳	۴.۷	کیلوگرم	قیر
۰.۵۲	۳.۴۱	۳.۴۱	۱.۹۸	۲.۳۱	۱.۴۸	۲.۳۱	۱.۸۶۹	۲.۲۶۹	مترمربع	چتایی
۰.۱۴۱	۰.۱۴۱	۰.۱۴۱	۰.۴۶	۰.۳۷۶	۰.۴۲۵	۰.۴۶	۰.۴۲۵	۰.۴۶	کیلوگرم	رنگ روغنی
۰.۵۵۸	۰.۵۵۸	۰.۵۵۸	۰.۲۱۳	۰.۲۹۱	۰.۱۸۹	۰.۲۱۳	۰.۱۸۹	۰.۲۱۳	کیلوگرم	رنگ پلاستیک
۰.۰۴	۰.۱۴	۰.۰۴	۰.۳۲۳	۰.۳۵۳	۰.۲۴۲	۰.۲۷۳	۰.۰۲۲	۰.۰۳۴	کیلوگرم	ضد زنگ
-	-	-	۰.۰۹۴	۰.۰۹۴	۰.۰۹۷	۰.۰۹۴	۰.۰۹۷	۰.۰۹۴	مترمربع	رایبتس

جدول شماره ۲: مصرف انواع مصالح ساختمانی در الگوهای متفاوت ساختمانی به ازاء هر مترمربع زیربنای کل، ماخذ: (Veise & Tahmesebi, 1390)

Henry, Elambo, J.H.M, Fabrice, & Blanche, ۲۰۱۴, p. 18.

Embodied Energy ۲.

Gray Energy = انرژی مصرفی برای حمل مصالح از محل تولید آن ها به مکان ساختمان سازی ۴.

Induced Energy = انرژی مصرفی در سایت ساخت و ساز ساختمان ۵.

پی نوشت

۱. مطالعات متعددی سه گروه مجزای مصرفی را به عنوان حوزه های اصلی مشکل معرفی می کنند: مسکن، حمل و نقل و غذا. این سه حوزه ۸۰٪ اثرات مستقیم و غیرمستقیم محیطی خانوارها را تشکیل می دهند (Holden & Norland, ۲۰۰۵, p. 2145).

۲. انرژی نهفته و دی اکسید کربن از جمله معیارهای برجسته در ارزیابی عملکرد محیطی ساختمان ها محسوب می شوند

فهرست منابع

- Brundtland, G. H. (1987). Our Common Future. oslo: World Commission on Environment and Development.
- Canadian Architect. (14 02 ,2013). Retrieved from Measures of Sustainability: http://www.canadianarchitect.com/asf/perspectives_sustainability/measure_of_sustainability/measure_of_sustainability_intro.htm
- CDIAC. (23 10 ,2013). CO2 emissions from Iran. Retrieved from Carbon Dioxide Information Analysis Center: <http://cdiac.ornl.gov/trends/emis/ira.html>
- Cohen, N., & Robbins, P. (2011). Green Cities: An A-to-Z Guide. SAGE Publications.
- Crawford, R. H., Fuller, R. J., Treloar, G. J., & Ilozor, B. D. (2002). Embodied Energy Analysis of the Refurbishment of a Small Detached building. Australia and New Zealand Architectural Science Association Conference, (pp. 100-93). Geelong.
- Daneshian, D. (1392). Building Materials. Shiraz: Payam e Nour University Press.
- Dixit, M. K., Fernández-Solís, J. L., Lavy, S., & Culp, C. H. (2012). Embodied Energy in Buildings: Need for a Measurement Protocol. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 3743-3730.
- Duffy, A. (2009). Land use Planning in Ireland: a Life Cycle Energy Analysis of Recent Residential Development in the Greater Dublin Area. International Journal of Life Cycle Assessment, 267-257.
- Energy Impacts of Different House Types In Victoria. (2005). Melbourne, Building Commission Victoria, Australia.
- Gabarrell, X., Rieradevall, J., Josa, A., Oliver-Solà, J., Manuel F, J., Mendoza, S.-D. D., . . . Sanyé-Mengual, E. (2015). Life Cycle Management Applied to Urban Fabric Planning. In G. Sonnemann, & M. Margni, Life

Operational Energy ۰۶

۰۷ Demolition /Recycling Energy = انرژی مصرف شده در تخریب یک ساختمان و بازیافت اجزای آن

۰۸ Initial embodied energy

۰۹ Recurring embodied energy

۰۱۰ Direct energy

۰۱۱ Indirect energy

۰۱۲ Maintain

۰۱۳ Repair

۰۱۴ Refurbish

۰۱۵ Zero energy /carbon buildings

ایده «ساختمان های زیرو انرژی» بر کارایی انرژی، صرفه جویی در انرژی و استفاده از انرژی های تجدیدپذیر تاکید می کند. یک ساختمان «زیرو انرژی» به ساختمانی گفته می شود که دارای عملکرد انرژی بالایی است و همان مقدار بسیار ناچیز انرژی مورد نیاز خود را باید از منابع تجدیدپذیر محلی تامین کند (Milutien, ۲۰۱۰, p. ۶۲; Marique, Penders, & Peiter, ۲۰۱۳; Torcellini, Pless, Deru, & Crawley; 2006).

۰۱۶. به عبارت دیگر با افزایش کارایی ساختمان ها از نظر انرژی در طول زمان، سهم نسبی انرژی نهفته از کل انرژی مصرفی در طول دوره حیات ساختمان، افزایش می یابد. (Dixit, Fernandez, Solis, Lavy, & Culp 2012, p. 3734).

۰۱۷ Brick veneer on concrete slab

۰۱۸ Brick veneer on timber floor

۰۱۹ Mud brick on concrete slab

۰۲۰ Inventory of carbon and energy (ICE) Version ۱,۶۵

۰۲۱ (The inventory of carbon and energy (ICE

۰۲۲ Structural clay tile = بلوک های سقفی

۰۲۳ <http://omransazeh.persianblog.ir/post/5/>

۰۲۴. لازم به ذکر است که میانگین انرژی نهفته به دلیل تاثیر مقدار مساحت در انرژی معیار مطلوبی نیست و بدین جهت مرجح است که از سرانه انرژی نهفته در محاسبات آنووا بهره گرفته شود.

۰۲۵. اگر اولویت بندی الگوهای مسکونی بر اساس میزان مصرف انرژی نهفته را نیز بخواهیم در نظر بگیریم از کمترین مصرف به بیشترین مصرف داریم: خانه های حیاط مرکزی، خانه های ردیفی (به ترتیب یک، دو و سه طبقه)، خانه های آپارتمانی، بافت فرسوده و در آخر خانه های ویلایی

۰۲۶. به عنوان مثال خانه سازی در استرالیا عمدتاً با روش صنعتی و با استفاده از بلوک های پیش ساخته صورت می گیرد و بسیاری از خانه ها در قالب و طرح های معماری مشابهی ساخته می شوند.

۰۲۷. منظور از تفاوت در این زمینه عمدتاً تفاوت در شیوه و تکنولوژی های تولید انرژی، تولید مصالح ساختمانی، ساخت منزل و سایر تفاوت های کلیدی در این زمینه است.

۰۲۸. لازم به ذکر است که بر طبق ادبیات تحقیق، میزان انرژی نهفته بر میزان مصرف انرژی عملکردی ساختمان، تاثیرگذار است.



شماره ۱-۶
بهار ۱۳۹۵
فصلنامه
علمی-پژوهشی

نقش
جهان

بررسی مصرف انرژی نهفته در بافت های مسکونی

- Holden, E., & Norland, I. T. (2005). three challenges for the compact city as a sustainable urban form: household consumption of energy and transport in eight residential areas in the Greater oslo Region. urban studies, 2166-2145.
- Holloway, D., & Bunker, R. (2005). Planning, Housing and energy use. National Housing Conference- Building for Diversity. Perth.
- Hui, S. C. (2001). Low energy building design in high density urban cities. Renewable Energy, 640-624.
- International Institute for Sustainable Development. (2010). Sustainable Development: From Brundtland to Rio 2012. New York: United Nations Headquarters.
- Kalantari, K. (1382). Data processing and analysis in socio-economic research. Tehran: Sharif Publication.
- Marique, A.-F., Penders, M., & Peiter, S. (2013). From Zero Energy Building to Zero Energy Neighbourhood. 29th Conference, Sustainable Architecture for a Renewable Future. Munich, Germany.
- Milutienè, E. (2010). House Embodied Energy and Zero Energy Building Concept. Environmental Research, Engineering and Management, 71-62.
- Mitchell, G. (2005). Urban development, form and energy use in buildings: A review for the SoLUTIONS project. Solutions and EPSRC.
- Mohanty, B. (2012). SUSTAINABLE URBAN ENERGY: A Sourcebook for Asia. Nairobi, Kenya: United Nations Human Settlements Programme (UN HABITAT).
- OECD. (2010). Cities and Green Growth-key points. Retrieved from OECD: <http://www.oecd.org/urban/roundtable/45327138.pdf>
- Pullen, S. (2007). Embodied Energy of Residential Areas. Adelaide: University of Adelaide.
- Cycle Management (pp. 317-307). Springer Netherlands.
- GHG Protocol. (14 01 ,2015). GHG Protocol for Cities . Retrieved from Greenhouse Gas Protocol: <http://www.ghgprotocol.org/city-accounting>
- Grubler, A. (2012). Urban Energy Systems. In G. W. Team, Global Energy Assessment (GEA) Toward a Sustainable Future (pp. 1400-1307). Cambridge University Press.
- Hall, C. W., & Hinman, G. W. (1983). Dictionary of energy. New York: M. Dekker.
- Hamilton-MacLaren, F., Loveday, D., & Mourshed, M. (2009). The calculation of embodied energy in new build UK housing. Procs 25th Annual ARCOM Conference, 9-7 September (pp. 1020-1011). Nottingham: Association of Researchers in Construction Management.
- Hammond, G. P., & Jones, C. I. (2010). Embodied Carbon: The Concealed Impact of Residential Construction. In I. Dincer, A. Hepbasli, A. Midilli, & H. T. Karakoc, Global Warming: Engineering Solutions (pp. -367 384). Springer US.
- Hammond, G., & Jones, C. (2008). INVENTORY OF CARBON & ENERGY (ICE). Bath: University of Bath.
- Hammond, G., Jones, C., Lowrie, F., & Tse, P. (2011). Embodied Carbon: The Inventory of Carbon and Energy (ICE). Berkshire: BSRIA.
- Harraway, J. (1993). Introductory statistical Methods. University of Otago Press.
- Haynes, R. (2010). Embodied Energy Calculations within Life Cycle Analysis of Residential Buildings. Australia.
- Henry, A. F., Elambo, N. G., J.H.M, T., Fabrice, O. E., & Blanche, M. M. (2014). Embodied Energy and CO2 Analysis of Mud-brick and Cement-block Houses. AIMS's Energy, -18 40.

- Ward, I. C. (2008). What are the energy and power consumption patterns of different types of built environment? Energy policy, 4629-4622.
- Wright, K. (2010). The Relationship Between Housing Density and Built-Form Energy Use. Environment Design Guide, 8-1.

- The Energy Sector Management Assistance Program. (2014). Planning Energy Efficient and Livable Cities; MAYORAL GUIDANCE NOTE 6#. Washington: The World Bank.
- Torcellini, P., Pless, S., Deru, M., & Crawley, D. (2006). Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. Innovation for Our Energy Future. California: National Renewable Energy Laboratory.
- Treloar, G. J. (1998). A Comprehensive Embodied Energy Analysis Framework. Faculty of Science and Technology, Deakin University.
- Troy, P., Holloway, D., Pullen, S., & Raymond, B. (2010). Embodied and Operational Energy Consumption in the City. Urban Policy and Research, 44-9.
- UNEP. (2007). Buildings and Climate Change: status, challenges and opportunities. United Nations Environment Programme.
- UN-HABITAT. (2015). Cities & Climate Change: An Introduction. The United Nations Human Settlements Programme.
- UN-HABITAT. (13 09 ,2015). climate change. Retrieved from The United Nations Human Settlements Programme: <http://unhabitat.org/urban-themes/climate-change/>
- UN-HABITAT and UNEP. (2009). Sustainable Urban Energy Planning: A handbook for cities and towns in developing countries. Nairobi: ICLEI – Local Governments for Sustainability, UN-HABITAT and UNEP.
- United Nations Environment Programme. (08 09 ,2015). Urban Environment Unit; Urban Biodiversity. Retrieved from United Nations Environment Programme: http://www.unep.org/urban_environment/issues/biodiversity.asp
- Veise, S., & Tahmesebi, F. (1390). Production, Usage and Consumption of Building Materials. Tehran: National Organization of Land and Housing.



شماره ۱-۶
بهار ۱۳۹۵
فصلنامه
علمی-پژوهشی

**نقش
جهان**

پژوهش‌های مسکونی
مصرف انرژی نهفته در بافت‌های مسکونی