Archive of SID

مقاله پژوهشی

رویکردهای انرژی مدار در معماری از دیدگاه انرژی نهفته

حمیدرضا منصوری[1*]، شاهین حیدری[2]

۱- دانشجوی دکتری معماری، پردیس بین الملل کیش، دانشگاه تهران، ایران

۲- استاد دانشکده معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۲۹، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۹)

چکیده

پیش بینی ۸/۹ میلیارد نفر رشد جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰، نیاز به انرژی و مصرف بیشتر ذخایر را به دنبال خواهد داشت. با رشد اقتصادی فعلی، منابع سوخت فسیلی تا انتهای قرن میلادی حاضر به پایان می‌رسد، چون انرژی نقشی اساسی در رشد و توسعه پایدارکشورها دارد، جهان با بحران انرژی روبرو خواهد شد. کشور ما از یک سو با پهنه گسترده و در حال توسعه اقلیم گرم و خشک روبرو است که نیاز به انرژی برودتی (تولید بار برودتی و نگهداری تجهیزات آن به‌مراتب گرانتر و با صرف انرژی بیشتری نسبت به بار حرارتی همراه است) زیادی داشته و از سوی دیگر با اقتصادی نفت‌پایه، در سال‌های آتی از ناحیه انرژی مورد تهدید خواهد بود. آمارها حاکی از مصرف ۵۰ تا ۶۰ درصد از انرژی در بخش معماری و شهرسازی هستند و انرژی کلی ساختمان، ترکیبی متغیر از انرژی نهفته و بهره‌برداری است، هدف مقاله تحلیل و بررسی دو بخش اصلی انرژی کلی ساختمان، یعنی انرژی بهره‌برداری و انرژی نهفته بوده تا بتوانیم با یافتن راهکارهایی مناسب از نگاه انرژی نهفته، مصرف انرژی کلی ساختمان را کاهش دهیم.

روش تحقیق، بررسی و مقایسه مقادیر انرژی بهره‌برداری و نهفته در دوره عمر ساختمان است، چون در کشور ما اندازه‌گیری دقیق مصرف انرژی نهفته در دوره عمر ساختمان، به دلیل فقدان اطلاعات دقیق از مراحل ساخت، مصالح و جزییات، حمل‌ونقل، تعمیر و نگهداری مقدور نیست؛ بنابراین از چند آزمایش انجام شده در کشورهای مختلف و بررسی نتایج آن‌ها برای میزان تاثیرگذاری انواع انرژی در انرژی کلی ساختمان استفاده شده‌است. نتایج حاصل بیانگر اهمیت طراحی اولیه معماری و استفاده از جزییات مناسب به‌همراه بهبود روش‌های ساخت، جهت افزاش عمر ساختمان است؛ که البته استفاده از مصالح با انرژی نهفته کمتر، بادوام و روش‌های تعمیر و نگهداری مدرن باعث این افزایش خواهد شد. همچنین مقایسه مصرف انرژی نهفته و بهره‌برداری نشان داد که افزایش انرژی نهفته ناشی از عایق‌بندی اضافی و ایجاد اینرسی حرارتی با افزایش ضخامت جداره‌ها و سقف در طول عمر ساختمان باعث کاهش انرژی کلی از طریق کاهش مصرف انرژی بهره‌برداری خواهد شد.

کلمات کلیدی : اقلیم گرم و خشک، انرژی کلی، انرژی بهره برداری، انرژی نهفته، باز استفاده

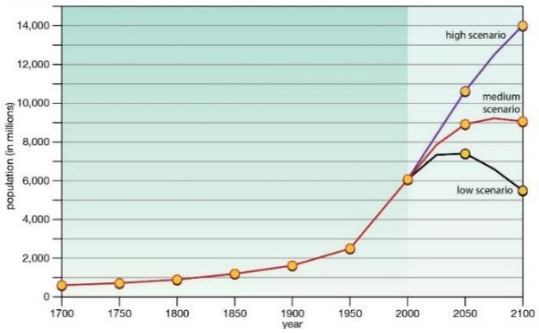
www.SID.ir

Email: architect_hrm@yahoo.com

Archive of SID

۱- مقدمه

اولین مولفه تاثیرگذار بر مصرف منابع انرژی، جمعیت است، افزایش جمعیت به خودی خود عاملی منفی نیست، مگر به واسطه آن، کیفیت مسائل زیست محیطی، اجتماعی، فرهنگی و کمیت‌های اقتصادی از مرزهای مجاز تجاوز کند (حیدری, ۱۳۹۴) شروع مشکل از اینجاست که جمعیت، تراز انرژی را بهم می‌زند، اداره امور اقتصادی و اجتماعی سازمان ملل[۱] در نمودار تصویر ۱ وضعیت رشد جمعیت جهان را تا سال ۲۱۰۰ ترسیم کرده و طبق آن جمعیت جهان تا سال ۲۰۵۰ حداقل به ۷/۳ میلیارد نفر، در نگره متوسط به۸/۹ میلیارد نفر و در نگره حداکثر به ۱۰/۷ میلیارد نفر بالغ می‌گردد. این در حالی است که بیشترین جمعیت جهان در کشورهای جهان سوم (فن‌آوری پایین با راندمان کم و استفاده از سوخت های تجدیدناپذیر) و کمترین آن درکشورهای توسعه‌یافته (فن‌آوری بالا و حرکت به سمت استفاده حداکثری از انرژی‌های تجدیدپذیر) زندگی خواهند کرد[۲] (Roaf & et al., 2004). جمیعت بیشتر نیاز به انرژی فسیلی و منابع بیشتر را بدنبال خواهد داشت.



تصویر ۱: نمودار برآورد جمعیت انسانی جهان از ۱۷۰۰ تا ۲۰۰۰، پیش بینی جمعیت تا ۲۱۰۰- (ماخذ (UNDES, 2004))

پیش‌بینی می‌شود که ذخائر شناسایی شده، بیش از نیم قرن دیگر دوام نیاورند (حیدری, ۱۳۹۴). بنابراین در آینده نزدیک راهی جز تغییر شیوه مصرف، صرفه‌جویی و روی‌آوردن به انرژی‌های تجدیدپذیر وجود ندارد. فاصله زیادی بین کشورهای پیشرفته و توسعه‌یافته در مقایسه با سایر کشورها در الگوی رشد جمعیت، مصرف انرژی، راندمان تولید در بخش‌های صنعتی و کشاورزی وجود دارد و در نقطه مقابل کشورهای پیشرفته حداکثر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و هسته‌ای را دارا هستند، درحالی‌که جهان‌سومی‌ها مصرف‌کننده عمده انرژی‌های فسیلی هستند. بخش زیادی از پهنه کشور ما دارای اقلیم گرم و خشک با نیاز روز افزون به بار برودتی در روز است. به‌دلیل راندمان پایین فن‌آوری، تولید انرژی الکتریکی جهت راه‌اندازی و استفاده از تجهیزات برودتی با حدود ۵۰ درصد اتلاف انرژی (به دلیل راندمان پایین فن‌آوری) همراه بوده و بسیار گران خواهد بود. از طرفی کشور ما در مرحله گذار بوده و شتابان به سوی توسعه پیش می‌رود و در بسیاری از موارد فرصت، توان، تفکر و درایت لازم برای ایجاد زیر ساخت لازم برای استفاده از انرژی‌های نو و تجدیدپذیر که از ضروریات توسعه پایدار هستند را نداشته است. از طرف دیگر امروز ما شاهد رشد الگوهای زندگی پرمصرف خصوصا از منظر انرژی در کشورمان هستیم، این روند مصرف با توجه به پیر شدن چاه‌های نفت، مشکلات حفاری، استخراج و سرمایه‌گذاری، دستیابی به منابع نفتی در آینده را برای ما با مشکلاتی لاینحل روبرو خواهد کرد. بنابراین ضروری است سیاست‌های ایران در زمینه انرژی بازبینی شده و سمت و سوی آنها تغییر کند. اگر روند استفاده از این منبع انرژی گران‌ارزش در همه زمینه‌های مصرف خانگی و صنعتی و تولید انرژی الکتریکی به شکل موجود ادامه یابد، راهی جز صرفه‌جویی، تعویض منابع انرژی از فسیلی به تجدیدپذیر و افزایش راندمان تولید کارخانه‌ها تا رسیدن به حداقل انرژی نهفته[۳]، مصالح قابل بازیافت و بازاستفاده[۴] معماری قابل جداسازی با رویکرد انرژی، افزایش عمر

www.SID.ir

Archive of SID

ساختمان، استفاده از مصالح با دوام، تعمیر و نگهداری و استفاده از سیستم کنترل هوشمند و بانک اطلاعات ساختمان پیش روی ما نیست.

به گمان بعضی، پنجاه درصد از مصرف انرژی جهانی و تا پنجاه و سه درصد از صدور گازهای گلخانه‌ای، مربوط به شهرسازی و معماری است (حیدری, ۱۳۹۳)؛ فلذا کاهش مصرف انرژی در این بخش از موثرترین عوامل بر توسعه پایدار کشور از طریق دستیابی به معماری پایدار خواهد بود. روش‌های کاهش مصرف دوران بهره‌برداری[۵] و جلوگیری از اتلاف انرژی در معماری بر همگان واضح است. اما در مورد انرژی نهفته هنوز زوایای تاریک و حرف‌های نگفته بسیار است، البته در مورد اندازه‌گیری مقدار آن در اجزاء مختلف ساختمان کارهای بسیاری انجام و جداولی ارائه شده و تقریبا ما امروز می‌توانیم میزان آن را در یک ساختمان محاسبه کنیم. اما هدف ما بحث در مورد رویکردهایی است که اول؛ میزان انرژی نهفته را از طریق ارتقاء روش‌های تولید و افزایش راندمان چرخه‌های تولید ساختمان کاهش داده و دوم؛ با یافتن راه‌کارهایی که باعث افزایش عمر ساختمان، باز استفاده و بازیافت مصالح پس از پایان عمر ساختمان خواهد بود، از یک سو میزان مصرف انرژی نهفته را کاهش و از سوی دیگر مقدار نهفته شده آن را در ساختمان برای مدت بیشتری حفظ کرده تا از این طریق از مصرف بیشتر انرژی در معماری جلوگیری کنیم .

۳- پرسش های تحقیق

۱- چگونه افزایش انرژی نهفته می‌تواند باعث کاهش انرژی کلی ساختمان شود؟

۲- اگر پاسخ پرسش نخست درست است، چگونه می‌توان انرژی نهفته در ساختمان را حفظ و کاهش داد؟

۳- چگونه نظام جاری معماری ایران می‌تواند قادر به تامین پایداری از منظر انرژی نهفته باشد؟

٤- پیشینه تحقیق

معماری در هر زیست‌بومی تابع قوانین فنی در حوزه علوم مهندسی و دانش معماری بوده و از استانداردها، شرایط اقتصادی، اجتماعی و محیطی که از آن‌ها می‌توان به عنوان داده‌های معماری نام برد، تبعیت می‌کند؛ تا بتواند در حین تامین کاربری، شرایط آسایش را در هر اقلیمی با تغییرات مولفه‌های حرارتی محیط مهیا کند. در نهایت تولیدات انسان‌ساخت در قالب معماری به تبادلی پایدار با طبیعت دست می‌یابند. چنان که قادر باشند منابع و ذخایر را از طبیعت به اندازه گرفته و پسماندهای ساختمانی را به شکلی به طبیعت بازگردانند که در این رابطه تعاملی آسیبی به محیط وارد نشود و این معماری امروز با عنوان **معماری پایدار**[۶] شناخته می‌شود. بسیاری از اسناد و مقالات در مورد اینکه معنای واقعی پایداری چیست کاملا سربسته و مبهم باقی مانده‌اند (Tingley, 2012). اصطلاح پایداری که به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد، هنوز فاقد یک معنی ثابت و یک چارچوب مشترک است (Kundak, 2009) . دیکشنری آکسفورد پایداری را " قابلیت پایدار ماندن" و در معنای دوم " صنایع ، توسعه و یا کشاورزی که از صدمه به منابع طبیعی" اجتناب کنند، تعریف می‌کند(Oxford English Dictionary, 2008) . پایداری در واقع شامل راه‌کارهایی است که فعالیت‌های انسان که در حوزه‌های گوناگون برای رسیدن به توسعه پایدار صورت می‌گیرد، به طریقی انجام گیرند که مانع تخریب منابع طبیعت شوند.

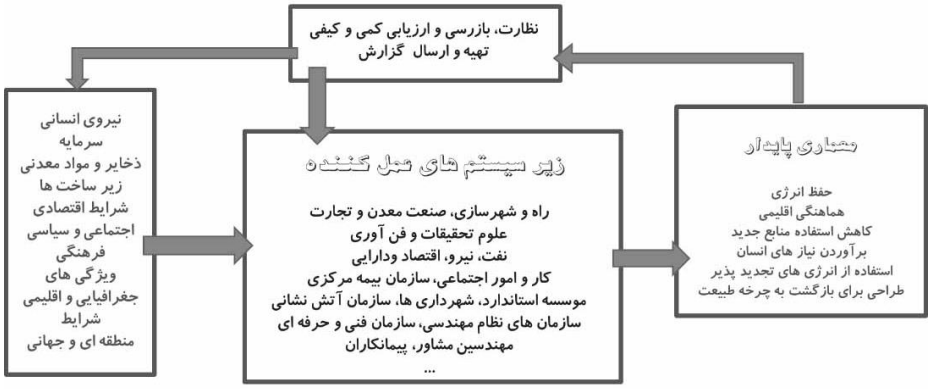
www.SID.ir

Archive of SID

به‌دنبال افزایش گرمایش جهانی و بروز تغییر اقلیم، متفکران و نظریه‌پردازان زیادی به دنبال یافتن راه‌حل‌های مختلف برآمدند که یکی از این راه‌حل‌های مطرح شده نظریه **توسعه پایدار**[۷] است (مضطرزاده & حجتی, ۱۳۹۴). تعاریف گوناگونی در خصوص معماری پایدار وجود دارد، در این بین، نظر نگارندگان این است که پایداری یک معماری زمانی تحقق می‌یابد که آنچه انسان می‌سازد در قالب معماری، با آنچه ساخته طبیعت است در قالب محیط زیست، به تعادل و تبادلی پایدار دست یابند. شبیه آنچه فرانک لوید رایت در معماری ارگانیکش بیان می‌کند، **هیچ خانه‌ای نباید روی تپه و یا چیز دیگری باشد. باید جزء تپه باشد. به تپه تعلق داشته باشد. تپه و خانه باید با هم زندگی و هریک دیگری را خوشبخت کند**[۸]. پیرنیا مردم‌واری؛ به معنای رعایت تناسب میان اندام‌های ساختمان با اندام‌های انسان، توجه به نیازهای افراد، پرهیز از بیهودگی؛ به معنی تلاش نکردن برای انجام کار بیهوده و خودبسندگی؛ یعنی تلاش برای تامین مصالح مورد نیاز از نزدیک‌ترین مکان را، از اصول مانای معماری ایران می‌داند و این موارد همان مواردی هستند که امروز دنیا با عناوینی چون پایداری به آن متوجه است (حیدری, ۱۳۹۳).

٤-١- نظام جامع معماری

نظام یا سیستم مجموعه‌ای از اجزای دارای برهم کنش‌اند که برای دستیابی به بعضی اهداف در یک محیط با هم کار می‌کنند (شوالب, ۱۳۹۱). معماری در واقع یک سیستم پیچیده و متشکل از زیر سیستم‌های گوناگون است و در جزییات آن اجزای بسیاری همانند یک سیستم با هم درگیر هستند، این سیستم که از آن می‌توان به نظام جامع معماری نام برد پیچیده، انعطاف پذیر و هوشمند بوده و اجزاء آن با روابطی دقیق با هم در تعامل هستند. جدای از اجزای داخلی معماری، عوامل خارجی از قبیل محیط، اقلیم، فرهنگ، اجتماع، سیاست و فن‌آوری از یک سو و از سوی دیگر سبک‌ها، سلایق و نیازهای کاربردی انسان به عنوان داده‌های این سیستم به شمار می‌آیند.



تصویر ۲: نمودار نظام جامع معماری (ماخذ: نگارندگان)

همانطور که در تصویر ۲ نشان داده شده ورودی سیستم جامع معماری از بخش‌های گوناگونی در سطوح مختلف تامین می‌شود و این سیستم باید ورودی‌های متفاوت و متنوع را که دائما در حال تغییر هستند دریافت، تجزیه و تحلیل کرده و چنان فرآوری کند که نتیجه نهایی تولید معماری پایدار باشد. استفاده معماری از علوم مختلف باعث ورود اطلاعات و مولفه‌های متفاوت و تاثیرگذار بر معماری خواهد شد. معماری بر خلاف بسیاری از دست ساخت‌های بشر که فارغ از محیط و بستر قرارگیری

www.SID.ir

Archive of SID

هستند، کاملا هویت وجودی خود را از اقلیم و محیط کسب کرده و بر مبنای داده‌های اقلیمی خاص شکل‌گرفته و در بستر سرزمینی به حیات خود ادامه می‌دهد. معماری یک پدیده است؛ برای زاده شدنش بذری لازم است و برای پرورانیدنش باید تغذیه شود. به هر کجا که زاده شود؛ به رنگ خاک و طعم آب همان‌جا در می‌آید و با گذر زمان، می‌میرد اگر دگرگون نشود و به تعالی نرسد (فلامکی, ۱۳۷۱). عوامل زیادی در محیط بر کیفیت، کمیت، فرم، روابط و کلیت معماری موثرند، از آن جمله می‌توان به فرم زمین و عوارض آن، ویژگی‌های اقلیمی و آب‌وهوایی، دید و منظر اشاره کرد. معماری بایستی آگاهانه و با شناخت نیازها و اهدافش به مطالعه محیط پرداخته و با رصدی عالمانه بستر مناسب خود را بیابد و چنان بر آن بنشیند که انگار از ازل آنجا بوده است (کسمایی, ۱۳۸۲).

٤-۲- انرژی نهفته

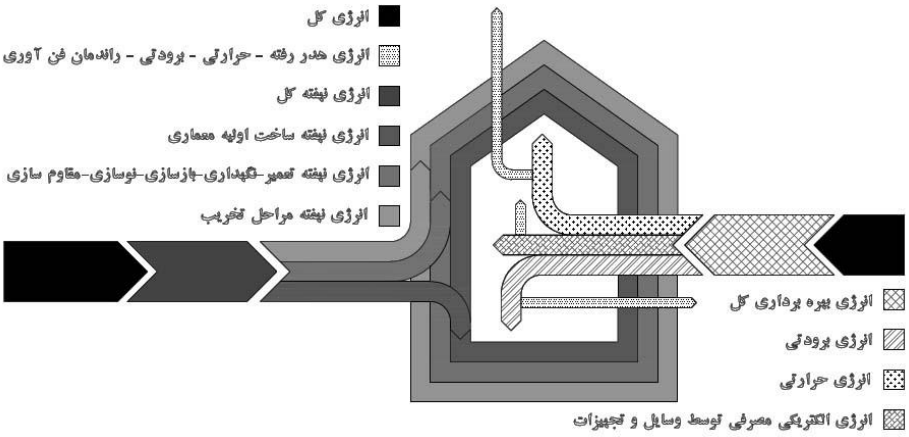
بروس هانن[۹] از دانشگاه ایلی نویز به رهبری یک تیم تحقیقاتی برای اولین بار در خصوص انرژی نهفته به تحقیق پرداخت، ایده اولیه پرداختن به چنین مفهومی از سال‌های منتهی به ۱۹۶۰ در ذهن او ایجاد شده بود، فعالیت‌های تحقیقاتی در این زمینه درنهایت در سال ۱۹۸۰ منجر به تاسیس مرکز تحقیقات فدرال برای صرفه جویی در انرژی و به‌دنبال آن در اغلب کشورها موسسات ویژه‌ای برای بحث انرژی تاسیس شد، در اولین قدم‌ها سعی بر تهیه جداولی از میزان انرژی مصرفی برای تولید مقدار مشخصی از مصالح شد و امروز این جداول برای اکثر مصالح مدرن موجود است. با داشتن این جداول و مقدار مصرف شده از هر مصالح در ساختمان می‌توان مقدار انرژی مصرفی را محاسبه کرد (Jackson, 2005). این انرژی نهفته، یا انرژی محاط شده[۱۰]، شامل ارزیابی، انرژی مورد نیاز برای استخراج مواد خام از طبیعت، به‌علاوه انرژی‌ای که برای مرحله اول و دوم فعالیت های ساخت برای تولید محصول نهایی مصرف می‌شود (Mumma, 1995). از منظر اقتصاد می‌توان گفت، انرژی نهفته به عنوان انرژی‌ای که درساخت، به‌علاوه تمام فرآیندهای بالادستی مصالح، از قبیل استخراج، فرآوری و تولید مصرف می‌شود به‌علاوه ملاحظات علم اقتصاد مشخص می‌شود (Langston & Langston, 2008)

٥- روش تحقیق

موضوع اصلی تحقیق در دهه ۱۹۵۰ میلادی مطالعات اقلیمی وسازه‌ای بود، درحالی‌که پهنه وسیع‌تر و متنوع‌تر تحقیق معماری، شامل مسائل اجتماعی-رفتاری، روش‌های طراحی و صرفه‌جویی در مصرف انرژی از دهه ۱۹۶۰ و اوایل ۱۹۷۰ میلادی شکل گرفت (Lara, 2001). بنابرین در این مقاله به حوزه انرژی و رویکردهای انرژی مدار پرداخته و با بررسی مدارک، مستندات درقالب کتب و مقالات از یک سو و استفاده از نتایج آزمایشات و اندازه‌گیری‌هایی‌که در نقاط مختلف جهان صورت گرفته (به دلیل فقدان اطلاعات داخلی در مورد میزان انرژی نهفته در طول عمر ساختمان) به عنوان مبنای کار استفاده شده است. معماری و شهرهای شکل گرفته از آن برای ادامه حیات و حفظ پایداری خود نیاز به انرژی دارند. امروز بیش از نیمی از پایداری کشورها به کاهش انرژی مصرفی در معماری وابسته است. مشخصه‌های معماری پایدار در نظام جامع معماری در شش محور تعریف شده که چهارگانه حفظ انرژی، هماهنگی اقلیمی، کاهش استفاده از منابع جدید، طراحی برای بازگشت به چرخه طبیعت بر انرژی معطوف است.

www.SID.ir

Archive of SID



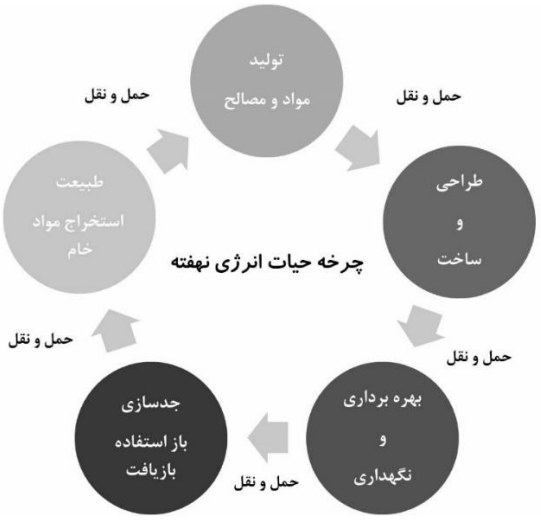
تصویر ۳ : دیاگرام انرژی کلی معماری و گردش آنها در مراحل مختلف چرخه عمر ساختمان (ماخذ: نگارندگان)

انرژی از جهات گوناگونی در دوره عمر معماری موثر است، همان‌طور که در دیاگرام تصویر ۳ نشان داده شده است، انرژی کلی ساختمان[11] متشکل از انرژی نهفته و بهره‌برداری است. انرژی لازم جهت تامین شرایط آسایش ساکنین با تولید بار حرارتی، برودتی و انرژی الکتریکی مورد نیاز برای به‌کارگیری لوازم و تجهیزات برقی انرژی دوران بهره‌برداری نامیده می‌شود. میزان انرژی مصرفی برای استخراج، فرآوری، حمل‌ونقل مواد و مصالح ساختمانی، ساخت و نصب و در آخر، انرژی مصرف شده جهت نگهداری، تعمیر، بازسازی و نوسازی انرژی نهفته نامیده می‌شود، که البته بیشتر در بین متخصصین شناخته شده است. پایان عمر ساختمان، تخریب و تولید آوارهای ساختمانی و دفن آنها نیز با مصرف انرژی همراه بوده و مانند اتلاف انرژی حرارتی و برودتی ازجداره‌ها و انرژی تلف شده در اثر راندمان ضعیف فن‌آوری در قالب انرژی هدر رفته[12] دسته‌بندی می‌شود. با توجه به موضوع بحث و زوایای پنهان در مورد انرژی نهفته، به تعریف دقیق آن پرداخته و سپس اهمیت آن را در کاهش انرژی کلی ساختمان اثبات خواهیم کرد.

انرژی نهفته یا تجسم یافته، مجموع انرژی مورد نیاز برای استخراج، تولید مصالح، تحویل (حمل و نقل) و نصب خواهد بود. (Jackson, 2005). کراوتر انرژی نهفته را به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم در نظر داشته و بیان می‌کند که مجموع انرژی مورد نیاز در خلق یک ساختمان، شامل انرژی مستقیم، که در فرآیند ساخت و نصب مصرف می‌شود، و انرژی غیرمستقیم، که برای تولید مصالح و اجزاء ساختمان لازم است (Crowther, 1999) . البته با نظر ترلور و همکاران که معتقدند انرژی نهفته انرژی‌ای است که برای تهیه یک محصول (بصورت مستقیم یا غیر مستقیم) در طی تمام فرآیند های بالا دستی لازم است (Treloar & et al., 2001) بسیار نزدیک است. تولید معماری در همه مراحل نیاز به حمل و نقل دارد که خود همان‌طور که دیاگرام تصویر ۴ نشان داده شده باعث مصرف انرژی در قالب انرژی نهفته خواهد شد.

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر۴ : نمودار چرخه حیات انرژی نهفته (ماخذ: نگارندگان)

انرژی نهفته به دو ناحیه اصلی، یعنی انرژی نهفته اولیه و انرژی نهفته ثانویه تقسیم می‌شود. انرژی نهفته اولیه انرژی بازگشت‌ناپذیر مصرف‌شده، در فرآیند استخراج مواد خام تا ساخت بنا است. برای مثال، قاب فلزی یک پنجره انرژی نهفته اولیه ناشی از استخراج سنگ معدن، ذوب و فرآوری، انتقال فولاد به کارخانه تولید پنجره، تولید قاب پنجره و انتقال آن به محل پروژه را در بر خواهد داشت. انرژی نهفته اولیه متاثر از منابع و نوع مصالح ساختمان و طبیعت ساختمان است.

انرژی نهفته ثانویه، انرژی بازگشت‌ناپذیر مصرف‌شده برای نگهداری، تعمیر، بازیابی، بازسازی یا تعویض مصالح، اجزاء یا سیستم‌ها در دوره عمر ساختمان است. به‌طورمثال یک قاب پنجره که به اندازه کافی در مقابل زنگ زدگی حفاظت نشده، ممکن است که تعویض، یا رنگ شود. انرژی نهفته ثانویه متاثر از دوام و نگهداری مصالح ساختمان، سیستم ها و اجزاء نصب شده درساختمان و دوره عمر ساختمان است. در جدول ۱ اجزای متشکله انرژی کلی ساختمان به همراه تعاریف، حوزه مصرف و روش محاسبه نشان داده شده است.

جدول ۱: انواع انرژی در معماری، تعریف، حوزه مصرف و روش محاسبه (ماخذ: نگارندگان)

عنوان انرژی	تعریف و حوزه مصرف	روش محاسبه (Ramesha & et al., 2010)
انرژی نهفته	انرژی نهفته (تجسم یافته) عبارت است از مجموع انرژی مورد نیاز برای استخراج، تولید مصالح، تحویل (حمل و نقل) و نصب خواهد بود. (Jackson, 2005) که انرژی نهفته اولیه است.انرژی نهفته ثانویه انرژی بازگشت‌ناپذیر مصرف‌شده برای نگهداری، تعمیر، بازیابی، بازسازی یا تعویض مصالح، اجزاء یا سیستم ها در دوره عمر ساختمان است. انرژی نهفته به مراحل و روش‌های فرآوری مصالح وابسته است.	EE=∑miMi+Ec مقدار موادmi مقدار انرژی مواد در واحد سطح Mi انرژی مورد استفاده در محل برای ساخت Ec
انرژی بهره برداری	بیانگر تقاضای انرژی برای استفاده عادی از ساختمان است، و شامل انرژی گرمایش، جابجایی هوا، تهویه مطبوع، آب گرم خانگی، روشنایی و کارکرد لوازم برقی ساختمان اشد (Cabeza & et al., 2014). مصرف انرژی بهره‌برداری به جغرافیا، اقلیم،	EO=EOA*Lb انرژی عملیاتی در طول عمر ساختمانEO انرژی عملیاتی سالانه EOA طول عمر ساختمان Lb

www.SID.ir

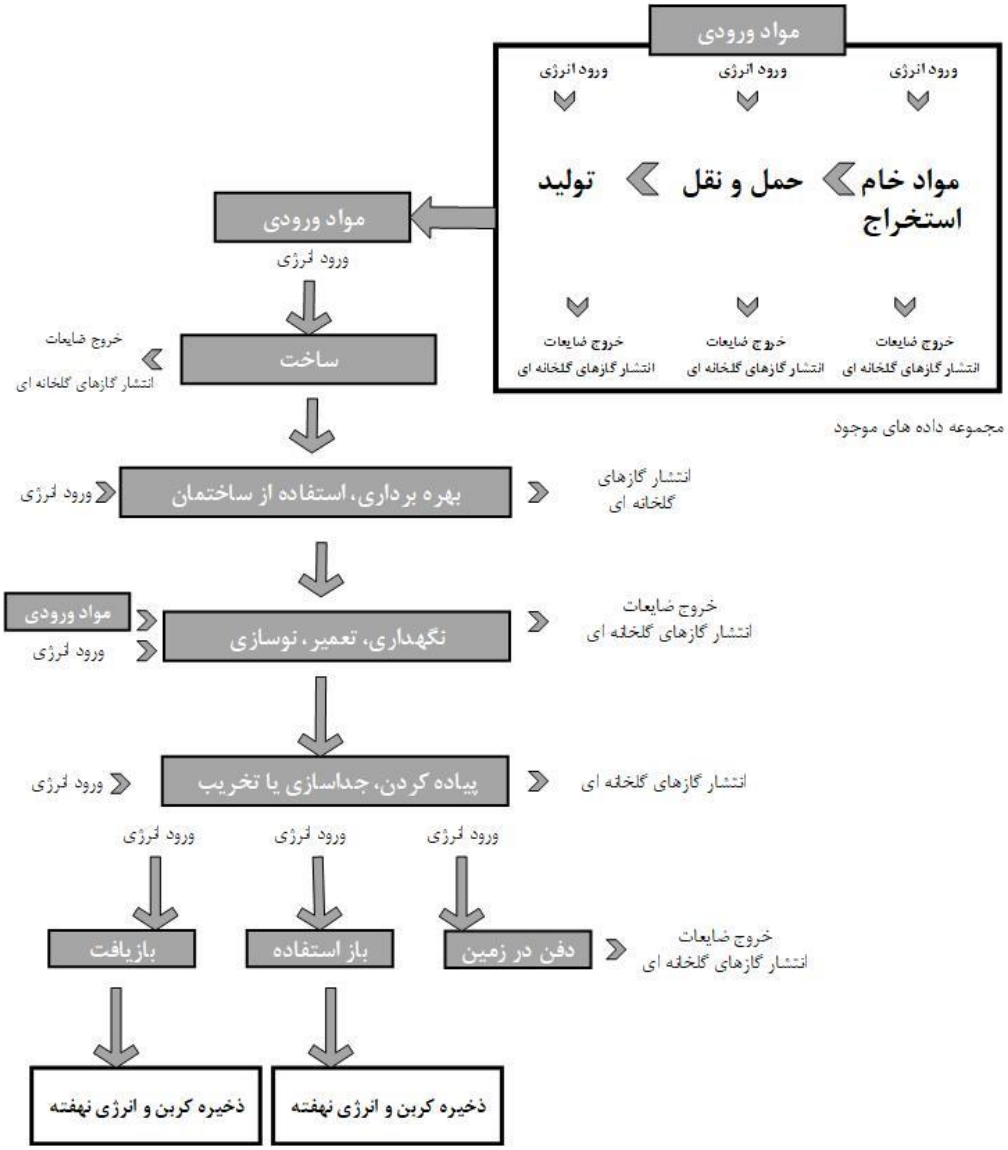
Archive of SID

	شرایط آب و هوایی، ویژگی های فیزیولوژیکی و رفتاری ساکنین، نوع و میزان پوشش،عایق بندی جداره ها و محدوده های آسایش بستگی دارد.	
انرژی تخریب	انرژی لازم در پایان عمر بهره‌برداری از ساختمان برای پیاده کردن اجزای ساختمان و دفع مواد آن در محل دفن زباله یا کارخانه بازیافت صرف می‌شود (Cabeza & et al., 2014).	ED=EDIS+Etd انرژی تخریب ED انرژی لازم برای پیاده کردن اجزای ساختمان EDIS انرژی مصرف شده برای حمل و نقل مواد Etd
انرژی حمل و نقل * روش محاسبه این قسمت توسط نگارنده انجام شده است	در تمام مراحل تولید معماری، عملیات حمل و نقل صورت می-گیرد که خود باعث مصرف انرژی در قالب انرژی نهفته خواهد بود	ET=D*Fkm*Fc انرژی تخریب ET D مسافت طی شده مصرف سوخت در هر کیلومتر (بسته به خودرو متغییر است) Fkm قیمت هر لیتر سوخت (متغییر با نوع سوخت و کشور) Fc
انرژی هدر رفته	در پایان عمر ساختمان تخریب و تولید آوار های ساختمانی و دفن آنها با مصرف انرژی همراه بوده و مانند اتلاف انرژی حرارتی و برودتی ازجداره ها و انرژی تلف شده در اثر راندمان ضعیف فن آوری و سیستم های حمل و نقل در قالب انرژی هدر رفته دسته بندی می‌شود.	* محاسبه میزان انرژی هدر رفته نیاز به اندازه گیری های دقیق و تجهیزات آزمایشگاهی و نمونه های دقیق ساخت فضای معماری در ابعاد آزمایشگاهی دارد WE
انرژی کل (انرژی چرخه عمر ساختمان)	انرژی چرخه عمر ساختمان، مجموع تمام انرژی‌هایی است که در چرخه عمر آن شامل بهره برداری، نهفته و هدر رفته مصرف می‌شود.	ELC=EE+EO+ED+ET+WE ELC انرژی کل (انرژی چرخه عمر)

درک بهتر ورود انواع انرژی در محدوده عمر ساختمان، خروج ضایعات و انتشار گازهای گلخانه ای از نمودار تصویر ۵ که توسط تینگلی ارائه شده میسر است.

www.SID.ir

Archive of SID



تصویر ۵ : نمودار محدوده ها ی سیستم چرخه عمر ساختمان (ماخذ: (Tingley, 2012) – ترسیم و ترجمه نگارندگان)

٦- تحلیل و بررسی انرژی درمعماری

واضح است که ترکیبی متغیر از انرژی بهره‌برداری و نهفته شکل‌دهنده انرژی کل مصرفی در معماری است. طراحی بهینه مصرف انرژی کلی ساختمان نیاز به رویکردی موثر و هوشمندانه در تعیین سهم و کنترل این دو بخش دارد، که البته بایستی از مرحله طراحی در نظر گرفته شود، لذا با مقایسه میزان مصرف هر یک در یک دوره عمر منطقی ساختمان می‌توان به رویکردی مناسب در طراحی معماری انرژی‌گرا دست یافت تا انرژی را موثر و هوشمندانه مصرف کرده و انرژی کلی ساختمان را در دوره عمرش به حداقل برسانیم. انرژی نهفته با انرژی بهره‌برداری در ساختمان‌ها مقایسه شده و هرچه مقادیر مربوط به بهینه‌سازی انرژی بهره‌برداری افزایش پیدا کند، درصد انرژی نهفته کل افزایش پیدا خواهد کرد (شایانفر & دیگران, ۱۳۹۵). مصرف انرژی بهره‌برداری مرتبط به تامین آسایش حرارتی است. آسایش حرارتی با تعادل حرارتی بدن انسان مرتبط و تعادل حرارتی وابسته

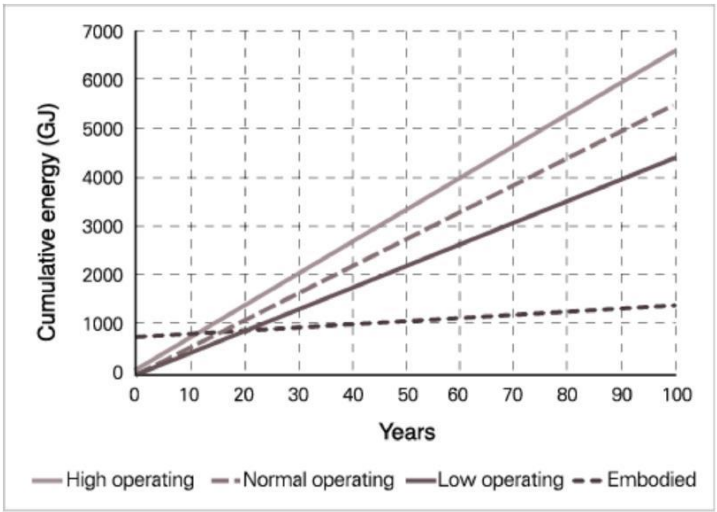
www.SID.ir

Archive of SID

به مسائل زیستی، روانی و محیطی است که با چگونگی انتقال حرارت بین انسان و محیط به عنوان مسئله‌ای پیچیده وابستگی دارد (حیدری, ۱۳۹۳). محتوای انرژی نهفته، یک‌بار در مرحله ساخت (جدا از تعمیر و نگهداری) که برخی اندیشمندان آن را انرژی نهفته اولیه نامیده‌اند مصرف می‌شود، درحالی‌که انرژی بهره‌برداری با گذشت زمان جمع می‌شود و در طول عمر ساختمان تحت تاثیر عوامل مختلف (نوع استفاده، تعداد ساکنین، فیزیولوژی ساکنین، تغییرات آب و هوایی، نوع پوشش، نوع فعالیت) قرار می‌گیرد. در این راستا زمان برابری انرژی در عمر ساختمان، بازاستفاده از مصالح، میزان انرژی نهفته در لایه‌های ساختمان، نوع مصالح، جزییات اجرایی و الگوهای ساختمانی نقش مهمی در تعیین رویکرد مناسب در خصوص انرژی ایفا می‌کنند.

الف- زمان برابری انرژی در دوره عمر ساختمان

مدت زمانی که انرژی بهره‌برداری با انرژی نهفته برابر می‌شوند بسیار مهم بوده و می‌تواند تعادل بین آنها را مشخص کند، بایستی توجه داشت که افزایش راندمان انرژی در دوره بهره‌برداری، که به‌طورمثال باعث کاهش انرژی حرارتی مورد نیاز می‌شود، به تنهایی نمی‌تواند به‌دلیل الزمات انرژی نهفته ناشی از افزایش انرژی نهفته عایق‌کاری اضافی، باعث کاهش مجموع انرژی ساختمان در دوره عمر آن شود. انرژی که نهفته شده در ترکیب انرژی ذخیره شده، از قبیل عایق‌بندی ساختمان، نیاز هست که در طول یک دوره منطقی باز پس گردد(England & Casler, 1995) .



تصویر ۶ : نمودار مقایسه تجمعی انرژی نهفته وانرژی بهره برداری (ماخذ: (Tucker, 2000))

با افزایش عمر ساختمان، انرژی بهره‌برداری افزایش یافته و انرژی نهفته اولیه ساختمان در مقایسه با آن ناچیز خواهد شد (Holtzhausen, 2007) ، تا همین اواخر تصور بر این بود که انرژی نهفته ساختمان در مقایسه با انرژی بهره‌برداری آن در دوره عمرش مقدار کمی است و غالبا تلاش‌ها در جهت کاهش انرژی بهره‌برداری از طریق بهبود راندمان حرارتی جداره‌ها بود. اما مطالعات انجام شده توسط موسسه تحقیقات علمی و صنعتی استرالیا نشان داد که همیشه این‌گونه نیست، انرژی نهفته می‌تواند معادل چندین سال انرژی بهره‌بردرای باشد. مثلا در یک خانه متوسط، هزار گیگا ژول انرژی در مواد و مصالح استفاده شده، به‌شکل انرژی نهفته وجود دارد که معادل ۱۵ سال انرژی بهره‌برداری مصرفی آن است. در دوره عمر ۱۰۰ سال، این انرژی نهفته معادل رقم قابل توجه ۱۰ درصد انرژی مصرفی است. دکتر سلوین تاکر بر اهمیت انرژی نهفته تاکید و در نمودار تصویر

www.SID.ir

Archive of SID

۶ با استفاده از انرژی مصرفی یک ساختمان اداری در سه بازه حداقل، میانه و حداکثر نشان داده که دوره عمر ساختمان زمان برابری انرژی مصرفی در دوره بهره‌برداری را با انرژی نهفته مشخص می‌کند، انرژی بهره‌برداری کم در دوره ۲۰ ساله، مصرف انرژی زیاد در دوره عمر ۱۰ ساله و انرژی متوسط در یک دوره عمر ۱۵ ساله با انرژی نهفته برابری می‌کند. این مسئله نشان‌گر اهمیت زمان برابری انرژی در دوره عمر ساختمان است. تاکر معتقد است انرژی نهفته یک ساختمان، مضربی قابل توجه از انرژی عملیاتی سالانه مصرفی است و برای صرفه جویی بیشتر در مصرف انرژی خانه‌های معمولی به انرژی نهفته بیشتری نیاز داریم.

ب- باز استفاده و بازیافت اجزای ساختمان

مجموع انرژی استفاده شده در یک خانه ویکتوریان[۱۳] معادل مقدار انرژی (به عبارت سوخت) است که یک ماشین بتواند با آن پنج بار دور زمین بچرخد، یا نصف فاصله بین ماه تا زمین را طی کند، نگهداری و استفاده مجدد از منابع ساختمان‌های موجود از ضایعات انرژی جلوگیری و منابع را بارور می‌کند (English Heritage, 2003). استفاده مجدد ازمواد ساختمان بخشی از انرژی لازم برای استخراج مجدد (انرژی نهفته) را صرفه‌جویی می‌کند، هنگام انتخاب اجزای استفاده شده یا مواد قابل بازیافت از یک ساختمان برای استفاده مجدد نقطه شروع، توجه به محتوای انرژی نهفته است. مناسب است که تمرکز در استفاده مجدد، از کالاها و مواد با انرژی نهفته بالاتر باشد، تا بیشترین تاثیر در صرفه‌جویی انرژی به‌دست آید (Gorgolewski & Morettin, 2009).

جدول ۲: میزان صرفه جویی در انرژی نهفته بدلیل استفاده مجدد از مصالح (ماخذ: (Menzies, 2011)- ترسیم نگارندگان)

مواد و مصالح	انرژی نهفته کیلو گرم/مگا ژول	کربن نهفته کیلو گرم/کیلوگرم دی اکسید منتشره
آلومینیوم (۱۰۰ درصد مواد خام)	۲۱۸	۱۲/۷۹
آلومینیوم (۳۳ بازیافتی)	۲۹	۱/۸۱
فولاد (۱۰۰ درصد مواد خام)	۳۵/۴	۲/۸۹
فولاد (۳۳ درصد بازیافتی)	۲۵/۳	۱/۹۵

پروفیل‌های آلومینیومی پنجره‌های موجود با توجه به انرژی نهفته زیادی که در تولید آلومینیوم صرف خواهد شد، همان‌طور که منزیس در جدول ۲ نشان داده حدود ۸۶ درصد برای آلومینیوم نسبت به ۲۸ درصد برای فولاد در انرژی نهفته صرفه‌جویی خواهند داشت، با انتخاب مصالح مناسب و باز استفاده از آنها می‌توان در مصرف بخش زیادی از انرژی نهفته صرفه‌جویی و از این طریق انرژی کلی ساختمان را کاهش داد.

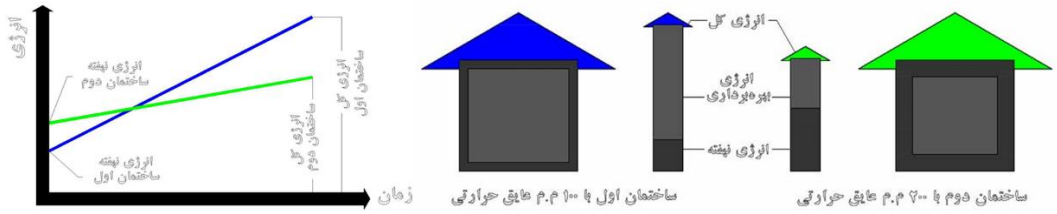
ج- کاهش انرژی کل با جزییات معماری

انرژی نهفته به ظاهر، هدر رفته و قابل بازگشت نیست و باید سعی کنیم مقدار آن را کم و برای مدت بیشتری حفظ کنیم. تحقیق و یافتن روش‌های تولید مواد و مصالح با مصرف انرژی نهفته کم، یک امکان جدید است. انتخاب دیگر، توسعه روش‌های جاری با راندمان بالا است، تغییر منابع انرژی مصرفی کارخانجات به انرژی‌های تجدید پذیر نیز باعث کاهش تولید کربن نهفته

www.SID.ir

Archive of SID

خواهد شد (Tingley, 2012) . رویکرد دیگر استفاده از روش‌های بازیافت و باز استفاده از مصالح به‌دست آمده از ساختمان‌های قدیمی، به‌جای تولید مجدد آنها از مواد خام استخراج شده است، بنابراین انرژی نهفته در ساختمان، کاهش و استفاده مجدد از مصالح اجازه حفظ کامل انرژی نهفته را می‌دهد. (Edmonds & Gorgolewski, Unknown Date) .



تصویر ۷: مقایسه تغییرات انواع انرژی در ساختمان با توجه به تغییردر میزان عایق حرارتی (ماخذ: (Menzies, 2011))

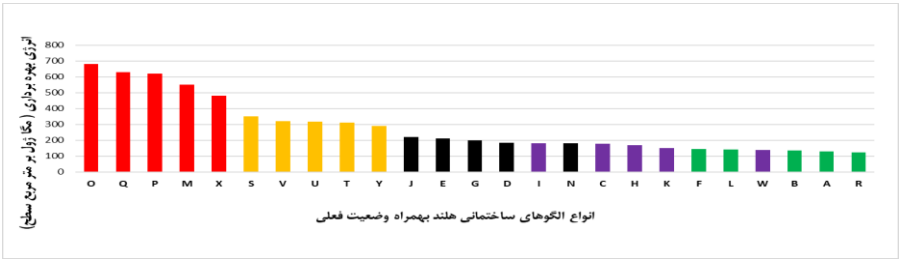
از آن‌جا که محتوای انرژی نهفته با تغییر جزییات متفاوت خواهد بود، در بسیاری از موارد این تفاوت چنان‌چه در جهت کاهش انرژی بهره‌برداری باشد قابل توجیه خواهد بود. مقایسه وضعیت چرخه انرژی دو ساختمان با جزییات معماری متفاوت از نظر عایق‌بندی در تصویر ۷ نمایش داده شده است، ساختمان اول عایق بندی کمتر، انرژی نهفته کمتر و انرژی بهره‌برداری بیشتری دارد، ساختمان دوم عایق بندی بیشتر، انرژی نهفته بیشتر و انرژی بهره برداری کمتری در دراز مدت خواهد داشت. در مقایسه دو ساختمان همان‌طور که در نمودار شکل ۷ به‌وضوح مشخص است انرژی کلی ساختمان دوم علی رغم افزایش انرژی نهفته آن به‌دلیل کاهش انرژی بهره برداری در دوره عمرش کاهش یافته است.

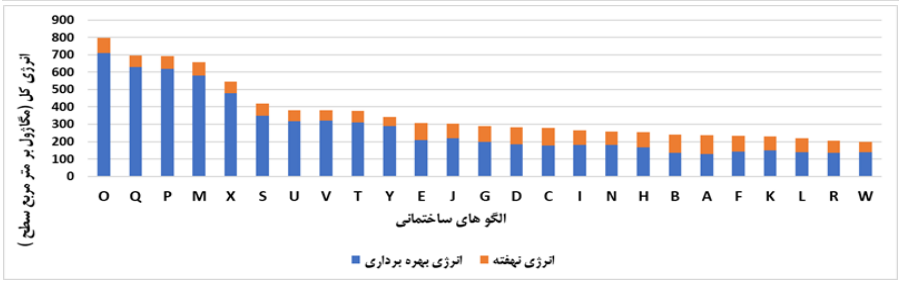
د- الگو های ساختمانی و انرژی

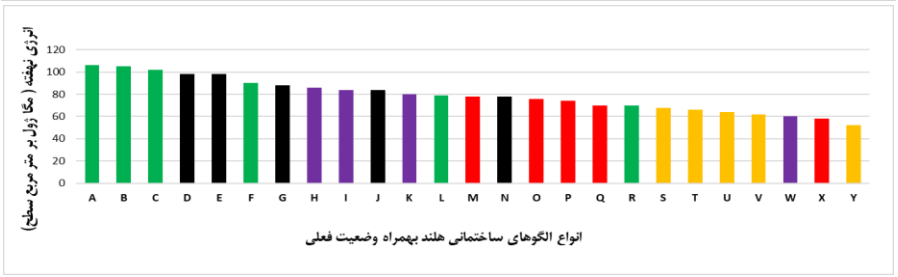
بحران انرژی و سوخت از یک سو و آلودگی‌های زیست محیطی و گرم شدن زمین از سوی دیگر، بشر را در شرایطی قرار داده است که هرگز پیش از این تجربه نکرده بود. دراین مسیر، طراحی مناسب ساختمان‌ها، به‌عنوان یکی از مهمترین مصرف‌کنندگان منابع انرژی و تولیدکنندگان گازهای گلخانه‌ای[۱۴]، می‌تواند گام موثری در زمینه بهبود وضع موجود باشد (حیدری, ۱۳۹۴). کوژاکووا و دیگران مطالعه‌ای در مورد انرژی نهفته، بهره‌برداری و کلی در خانه های مسکونی هلند با طراحی های متفاوت انجام داده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID







A	B	C	D	E	F	G	H	I	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y
تراس میانه پیشرفته جدید	نیمه جدای پیشرفته جدید	تراس انتهایی پیشرفته بازسازی شده	تراس میانی جدید	تراس انتهایی جدید	کاملا جدای پیشرفته جدید	نیمه جدای جدید	نیمه جدای پیشرفته بازسازی شده	کاملا جدای پیشرفته بازسازی شده	نیمه جدای جدید	نیمه جدای پیشرفته بازسازی شده	کاملا جدای پیشرفته بازسازی شده	کاملا جدای جدید	تراس میانی پیشرفته بازسازی شده	تراس انتهایی پیشرفته جدید	تراس میانه استاندارد	آپارتمان جدید	کاملا جدای استاندارد	نیمه جدای استاندارد	تراس انتهایی استاندارد	آپارتمان پیشرفته جدید	کاملا جدای بازسازی شده	تراس میانی بازسازی شده	نیمه متصل بازسازی شده	تراس انتهایی بازسازی شده	آپارتمان پیشرفته بازسازی شده	آپارتمان استاندارد	آپارتمان بازسازی شده

تصویر ۸: نمودارهای انرژی نهفته، بهره برداری و کلی سالانه، الگوهای مسکونی هلند (ماخذ: (Koezjakova & et al., 2018) – ترسیم نگارندگان)

همان‌طور که در نمودارهای تصویر ۸ نشان داده شده است، مقدار مشخص انرژی نهفته سالانه از ۵۲ تا ۱۰۶ مگاژول بر متر مربع و انرژی بهره‌برداری از حداکثر ۶۸۲ مگاژول بر مترمربع سطح برای خانه های استاندارد[۱۵] و حداقل ۱۲۴ مگاژول بر مترمربع سطح برای خانه های جدید پیشرفته[۱۶] و مجموع انرژی استفاده شده شامل انرژی نهفته مصرفی به‌علاوه انرژی بهره‌برداری، متغیر بین ۱۹۳ تا ۷۵۸ مگا ژول بر مترمربع سطح برای انواع الگوها است.

۷- بحث

چهارگانه حفظ انرژی، هماهنگی اقلیمی، کاهش استفاده از منابع جدید، طراحی برای بازگشت به چرخه طبیعت که از مشخصه‌های نظام جامع معماری هستند همگی بر انرژی معطوف بوده و انرژی کلی ساختمان ترکیبی متغیر از انرژی بهره‌برداری و نهفته است. مدت زمانی که انرژی بهره‌برداری و انرژی نهفته با هم برابر می‌شوند بسیار مهم بوده و می‌تواند تعادل بین آنها

www.SID.ir

Archive of SID

را مشخص کند، نتایج به‌دست آمده توسط دکتر سلوین تاکر نشان داد انرژی نهفته یک ساختمان، مضربی قابل توجه از انرژی عملیاتی سالانه مصرفی خواهد بود و برای صرفه جویی بیشتر در مصرف انرژی خانه‌های معمولی به انرژی نهفته بیشتری نیاز داریم. همچنین در مقایسه دو ساختمان با ضخامت جدارهای متفاوت که توسط منزیس صورت گرفته مشخص شد که افزایش هوشمندانه انرژی نهفته در دوره منطقی عمر ساختمان باعث کاهش انرژی بهره‌برداری و درنهایت منجر به کاهش انرژی کلی ساختمان خواهد شد. از طرف دیگر برای کاهش انرژی نهفته باید هنگام انتخاب اجزای استفاده شده یا مواد قابل بازیافت به محتوای انرژی نهفته توجه و از موادی استفاده کنیم که حاوی انرژی نهفته کمتری باشند. تینگلی هم اشاره کرده که این به فرآیند تولید، جنس مواد و راندمان انرژی صنایع بستگی دارد. بنابراین با انتخاب مصالح مناسب و باز استفاده از آنها می‌توان در مصرف بخش زیادی از انرژی نهفته صرفه‌جویی کرد تا از این طریق بتوان انرژی کلی ساختمان را کاهش دهیم. همچنین در باز استفاده و باز یافت جهت کاهش انرژی نهفته بهترین انتخاب استفاده از قطعات و مصالحی است که انرژی نهفته بیشتری دارند.

کوژاکووا و همکارانش در اندازه‌گیری انرژی نهفته، بهره‌برداری و کلی الگوهای ساختمانی هلند نشان دادند که انرژی نهفته غالبا برای خانه‌های مدرن و پیشرفته حداکثر و برای خانه های بازسازی شده حداقل است. همچنین آپارتمان‌ها کمترین و خانه‌های دارای تراس متوسط، به‌دلیل مسلح بودن دیوارهایشان، بیشترین مقدار انرژی نهفته را دارا هستند. از نظر نوع ساختمان خانه‌های مستقل بیشترین و آپارتمان‌ها کمترین مصرف انرژی بهره برداری را دارند. همچنین مجموع انرژی استفاده شده شامل انرژی نهفته مصرفی به‌علاوه انرژی بهره برداری، متغیر بین ۱۹۳ تا ۷۵۸ مگا ژول بر مترمربع سطح برای انواع الگوها نشان داده شده است. میزان مصرف انرژی نهفته در خانه‌های استاندارد ۱۰ تا ۱۲ درصد است. این سهم برای خانه های مقاوم سازی شده ۱۵ تا ۱۸ درصد، برای خانه های جدید ۲۹ تا ۳۴ درصد، برای خانه های مقاوم سازی شده پیشرفته ۳۱ تا ۳۵ درصد و برای خانه های جدید پیشرفته ۳۱ تا ۴۶ درصد است. این به وضوح تاثیر الگو های متفاوت، استفاده بیشتر از مواد عایق و اهمیت روز افزون استفاده از انرژی نهفته را نشان می‌دهد. اما به معنای مطلق ما در مسکن جدید (پیشرفته) و مقاوم سازی شده شاهد کاهش شدیدی حدود ۶۳ تا ۶۶ درصد در کل مصرف انرژی در مقایسه با مسکن استاندارد بسته به نوع آن هستیم.

۸- نتیجه‌گیری

نظام جامع معماری با طراحی اولیه انرژی‌مدار و با طراحی الگوهای انعطاف پذیر، استفاده از مواد و مصالح با انرژی نهفته کمتر و با افزایش طول عمر ساختمان، به‌کارگیری جزییات مناسب با اتصالات خشک بازگشت‌پذیر و روش‌های ساخت مدرن قادر به ایجاد تعادل و توازن هوشمندانه بین سهم انرژی نهفته و بهره‌برداری خواهد بود. درنهایت سهم مناسب هر بخش از انرژی در دوره عمر منطقی ساختمان باعث کاهش مصرف انرژی کلی در معماری خواهد شد. راهکارهای مناسب جهت کاهش انرژی کلی ساختمان در دوره عمر آن از طریق کاهش و حفظ انرژی نهفته و افزایش عمر معماری به قرار ذیل است :

- طراحی از ابتدا با رویکرد انرژی، به‌کارگیری الگوهای معماری و سازه با طول عمر بسیار زیاد، منعطف، بازگشت‌پذیر، قابل تغییر و استفاده از مواد و مصالح با دوام با حداقل انرژی نهفته در مرحله تولید
- افزایش راندمان فن‌آوری کارخانجات تولیدی در جهت تولید با حداقل انرژی نهفته، افزایش راندمان ناوگان حمل و نقل، کاهش مسافت حمل و باز استفاده از اجزا و مصالح، نصب تاسیسات قابلیت دسترسی در دیوار، سقف و کف

www.SID.ir

Archive of SID

- ارتقای دانش و روش‌های جداسازی اجزای ساختمان به‌جای تخریب و استفاده از جزییات معماری مناسب و بازگشت-پذیر با استفاده از اتصالات خشک (پیچ و مهره و ...) بجای اتصالات تر (ملات، چسب و رزین)
- بازسازی، مقاوم سازی، نوسازی، تعمیر و نگهداری هوشمندانه و منظم در مقاطع لازم با هدف افزایش عمر ساختمان

۹- پی نوشت ها

[1] United Nations Department of Economic and Social Affairs

[۲] توضیحات داخل دو پرانتز توسط نویسندگان مقاله اضافه شده است.

[3] Embodied Energy (EE)

[4] Reuse

[5] Operational Energy (OE)

[6] Sustainable Architecture

[7] Sustainable Development

[8] Frank Lloyd Wright "No house should ever be on a hill or on anything. It should be of the hill. Belonging to it. Hill and house should live together each the happier for the other "

[9] Bruce Hannon, Jubilee Professor, University of Illinois at Uurbana-Champaign that developed Energy Use for Building Construction in the 1970s.

[10] Embedded Energy

[11] Building Overall Energy (BOE)

[12] Wasted Energy (WE) is energy that is not usefuly transferred or transformed

[۱۳] مکتب هنر ویکتوریایی یا هنر ویکتورین (Victorian Decorative Arts) در ۱۹۰۰-۱۸۲۰ در دوران ملکه ویکتوریا در انگلستان و آمریکا رواج داشت. این مکتب بر گرفته از خانواده سلطنتی و اشرافیت نیست، بلکه یک پاسخ در مقابل عوامل و بازتاب های زیباشناسانه اجتماع آن دوران بود. پیروان این مکتب اعتقاد داشتند که ارائه بسیار خوب موثر ازمواد و مصالح مختلف چشم و دید بصری را تقویت می‌کند.

[14] GHG, Green House Gases (main examples include carbon dioxide, methane, nitrous oxide and water vapour)

[15] In the standard vintage, the building materials gypsum, clay brick and sand cement play an important role. When gypsum is present in the vintage (standard, retrofit and advanced retrofit) this material is a large contributor to the embodied energy use.

[16] The advanced new vintage has the highest specific embod- ied energy use (MJ/(m 2 ·a)) relative to the others. PUR is incor- porated in the roof and used as door insulation (which none of the other vintages have). The floor is insulated with XPS (with a EEI of 3.28 GJ/m 3)

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

حیدری, ش. (۱۳۹۳). سازگاری حرارتی در معماری نخستین قدم در صرفه جویی مصرف انرژی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

حیدری, ش. (۱۳۹۴). برنامه ریزی و مدیریت منابع انرژی با نگاهی به معماری. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

حیدری, ش. (۱۳۹۵). در آمدی بر روش تحقیق در معماری. تهران: کتاب فکر نو.

شایانفر, م., & دیگران. (۱۳۹۵). مصالح ساختمانی با انرژی نهفته و کربن نهفته کم. (س. مفیدی شمیرانی, & س. سید عبداللهی, تدوین کنندگان) چهارمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری.

شوالب, ک. (۱۳۹۱). مدیریت پروژهبا رویکردی بر پروژه های فناوری اطلاعات. (م. گلابچی, مترجم) تهران: انتشارات دانشگاه تهران.

فلامکی, م. (۱۳۷۱). شکل گیری معماری در تجارب ایران و غرب. تهران: نشر فضا.

کسمایی, م. (۱۳۸۲). اقلیم و معماری. اصفهان: نشر خاک.

گاردنر, ه. (۱۳۹۱). هنر در گذر زمان. تهران: موسسه انتشارات نگاه.

مضطرزاده, ح., & حجتی, و. (۱۳۹۴). معیارهای ساختار محلات شهری پایدار با تکیه بر اقلیم گرم و خشک ایران. تهران: آذرخش.

Cabeza, L., & et al. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. (L. Rincóna, V. Vilariño, G. Péreza G, & A. Castella A., Eds.) *Renewable and Sustainable Energy Reviews*(29), 394-4166.

Crowther, P. (1999). Design for disassembly to recover embodied energy. *16th Annual Conference on Passive and Low Energy architecture.* Melboourne/Brisbane/Carins, Australia.

Edmonds, J., & Gorgolewski, M. (Unknown Date). Steel Component Design For Deconstruction. Retrieved July 21, 2010, from http;//johnjing.co.nz/green_web/papers/2.pdf

England, R., & Casler, S. (1995). Fossil Fuel Use and Sustainable Development: Evidence from U.S. *Advances in the Economics of Energy and Resources, 44*, 21-44.

English Heritage. (2003). *Heritage Counts 2003: the economic value of the historic environment.* Swindon: English Heritage. Retrieved March 2011, from http://hc.english-heritage.org.uk/content/pub/SUMMARY-03.pdf

Gorgolewski, M., & Morettin, L. (2009). The Process of Designing with Reused Building Components . *Lifecycle Design of Building, Systems and Materials, CIB Report 323* (pp. 105-109). Enschede, The netherlands 12-15 June 2009: CiB Publication .

Holtzhausen, H. J. (2007). Embodied Energy and its impact on Architectural Decisions. *WIT Transaction on Ecology and the Environment*(102).

Jackson, M. (2005). Embodied Energy and Historic Preservation : A Needed Reassessment. *APT* ۷۰, *Bulletin, Journal of Preservation Technology*, *36*(4), 47-52.

www.SID.ir

Archive of SID

Koezjakova, A., & et al. (2018). The relationship between operational energy demand and embodied energy in Dutch residential buildings. *Energy & Buildings, 165*, 233–245.

Kundak, S. (2009). When Disasters hit Sustainability. *A/Z ITU Journal of Faculty of Architecture*, AZ-08.

Langston, Y. L., & Langston, Y. L. (2008). Reliability of building embodied energy modeling modeling: an analysis of 30 Mebourne case studies. *Construction Management and Economics*(26(2)), 147-160.

Lara, F. (2001). *Popular Modernism : An Analaysis of the Acceptance of Modern Architecture in 1950sBrazil (PH.D. diss, university of Michigan).* University of Michigan.

Menzies, G. (2011). *Embodied energy considerations for existing buildings.* Historic Scotland, Longmore House, Salisbury Place, Edinburgh EH9 1SH, Historic Scotland Technical Paper 13, Heriot-Watt University. © Crown copyright 2011.

Mumma, T. (1995). Reducing the Embodied Energy of Buildings. *Home Energy Magazine Online, January/Fabruary 1995*.

Oxford English Dictionary. (2008). Retrieved May 8, 2010, from http://www.askoxford.com/concise_oed/sustainable?view=uk

Ramesha, T., & et al. (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. (R. Prakasha, & K. Shuklab, Eds.) *Energy and Buildings*(42), 1592–1600.

Roaf, S., & et al. (2004). *Closing the Loop: Benchmarks for Sustainable Buildings.* London: RIBA Publications.

Tingley, D. D. (2012). *Design for Deconstruction An Appraisal: Thesis submitted in partial of the degree in Doctor of Philosophy.* The University Of Sheffield.

Treloar, G. T., & et al. (2001). Using national input output data for embodied energy analysis of individual residential buildings. (G. D. Holt, & P. E. Love, Eds.) *Construction Management and Economics*(19(1)), 49-61.

Tucker, S. (2000). Embodied Energy. Retrieved from http://www.dbce.csiro.au/ind-serv/brochures/embodied/embodied.htm

UNDES. (2004). *world population Graph of the world's estimated human population from 1700 until 2000, with population projections extending until 2100.* United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population 2004. Encyclopædia Britannica, Inc. Retrieved from https://www.britannica.com/science/population-biology-and-anthropology

www.SID.ir

Archive of SID

Journal of Architecture in hot and dry climate
Architecture in Hot and Dry Climate Vol .9, No .13, Spring & Summer 2021

Original Research Article

Energy-Oriented Approaches in Architecture from Embodied Energy Perspective

Hamidreza Mansouri[1*], Shahin Heidary[2]
1- PhD Student in Architecture, Kish International Campus, University of Tehran, Iran
2- Professor, Faculty of Architecture, College of fine Arts, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

A population of 8.9 billion up to 2050 will need more energy and resources. The economic growth accelerates fossil fuel exhaustion by the end of this century. Energy has an important role in sustainable development; therefore, the world will encounter energy crisis. In our country, vast expanse of hot dry climate is extending and so is the need of energy for cooling systems (cooling consumes more energy than heating). On the other hand, sustainability of an Oil-dependant economy will be threatened by energy crisis. Surveys reveal that 50 to 60 percent of energy consumption and also carbon and construction waste production is related to architecture and urban design. Since the total energy of the building is a combination of embodied energy and operational energy this essay aims to analyze these factors to find the best method for energy use reduction. Measurement of the embodied energy is not possible in Iran, owing to not having access to accurate information about the process of construction, material, details, transportation, repairs and maintenance. Therefore, some experiments of other countries were studied and their results were used in this research. Results of this research show the importance of initial design, effective details and improvement of construction methods which can increase the durability of a building. Durable materials with less embodied energy and modern repair and maintenance methods can lead us to this goal. Furthermore, comparing embodied energy with operational energy showed that an increase in the first one, by means of extra insulation, making thermal inertia by increasing width of walls and ceilings will reduce operational energy and as well total energy use. A comprehensive system of architecture is able to make a wise balance between embodied energy and operational energy through energy-based initial design, designing flexible patterns, using materials with less embodied energy, increasing lifespan of the building, using proper details with reversible dry connections, and modern construction methods. Finally, a proper portion of energy in normal lifespan of a building will lead to reduction of total energy in architecture. Strategies recommended to reduce total energy of the building during its lifespan through decreasing and conserving embodied energy are as follows:

- Initial design with energy saving approach, using long-lasting reversible, flexible, changeable construction and architecture patterns, and using durable materials with least embodied energy in production phase.
- Improving technology efficiency of factories produce materials with least embodied energy, increasing the efficiency of the transportation system, decreasing carrying distance and reusing materials, installation of accessible facilities in the walls, ceilings and floor.
- Improving the knowledge and methods used for splitting the components instead of demolition and using reversible proper construction details by means of dry connections (bolts and nuts) instead of wet connections (mortar, glue and resin).
- Regular wise reconstruction, retrofitting, renovation, repair, maintenance when necessary to increase lifespan of the building.

Keywords: Hot dry climate, Energy consumption, Operational energy, Embodied energy, Reuse

Email: mansouri.reza@ut.ac.ir

www.SID.ir