فصلنامه علمی-پژوهشی
جغرافیا و برنامه‌ریزی منطقه‌ای
سال دوازدهم، شماره ۳، تابستان ۱۴۰۱
صص: ۴۸۳-۴۷۰

بررسی انرژی نهفته در ساختمان مبتنی بر توسعه پایدار در اقلیم شهر تهران

آرین مظفری نژاد

گروه معماری، واحد بین الملل کیش، دانشگاه ازاد اسلامی، جزیره کیش.ایران

سید مجید مفیدی شمیرانی[۱]

استادیار گروه معماری دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

ریما فیاض

دانشیار گروه فناوری و معماری دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر

تاریخ دریافت:۱۳۹۹/۱۱/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۲

چکیده

انرژی نهفته انرژی است که برای تولید و انتقال مصالح، ساخت، تعمیر و نگهداری و تخریب ساختمان مصرف میگردد .انرژی بهره برداری انرژی است که ساکنین در طول زمان بهره برداری از ساختمان مصرف مینمایند .طی تحقیقات گذشته مشخص شده که انرژی نهفتهٔ ساختمان در کشورهای در حال توسعه دو برابر کشورهای توسعه یافته است .هرچه بهینه سازی انرژی بهره برداری افزایش یابد، سهم انرژی نهفته از کل انرژی چرخه عمر افزایش خواهد یافت، لذا اهمیت بهینه سازی انرژی نهفته بیش از پیش هویدا میگردد.در این بین صنعت ساختمان بزرگترین مصرف کنندهٔ منابع طبیعی و ذخایر جهانی انرژی میباشد که موجب انتشار گاز دی اکسیدکربن و آلودگی محیط زیست میگردد. این پژوهش با هدف بهینه سازی انرژی نهفته ساختمان با در نظر گرفتن معماری ساختار سازه ای بنا انجام پذیرفته است. برای محاسبه انرژی نهفته اسکلت ساختمان، تاثیر عوامل مختلف مانند ابعاد مقطع اعضای سازه، مصالح مورد استفاده در بتن و نوع فولاد مصرفی مورد بررسی قرار گرفته است.سوال اساسی این پژوهش عبارت است از اینکه تاثیر هر یک از عناصر ساختار سازه‌ای بنا جهت بهینه سازی انرژی نهفته ساختمان چگونه و به چه میزان است؟ روش پژوهش به صورت توصیفی تحلیلی و با کمک نرم افزار ETABS انجام پذیرفت. نتایج پژوهش نشان میدهد با مقایسه انرژی نهفته در بام ها می توان نتیجه گرفت که بام کرومیت از سایر بام ها دارای انرژی نهفته کمتری می باشد.همچنین ساختمان بتنی نسبت به ساختمان فولادی دارای انرژی نهفته کمتر و مضرات زیست محیطی بسیار کمتری می باشد.

کلیدواژگان: ***انرژی نهفته، توسعه پایدار، ساختمان بتنی، ساختمان فلزی.***

[۱]. (نویسنده مسئول): majid_mofididshemirani1@yahoo.com

مقدمه

مصرف انرژی در سطح جهان به شکل روزافزونی در حال افزایش است.از بین رفتن منابع انرژی و آثار مخرب محیط زیست مانند گرم شدن زمین، تخریب لایه اوزون از چالش های جدی امروزه است که یکی از عوامل آن افزایش مصرف سوخت های فسیلی و در نتیجه آن تولید گاز دی اکسید کربن می‌باشد (Un-,2015;UN-Habitat, 2015:2Un-Habitat & Unep,2009;Habitat)حال در تولید گاز دی اکسید کربن بخش ساختمان در مقایسه با سایر بخش ها نقش قابل توجه‌تری دارد و با سهمی حدود ۴۰ درصد مصرف انرژی، بزرگترین مصرف کننده ی انرژی در کشورها به حساب می‌رود(Mohanty, 2012). با افزایش نگرانی ها درباره انتشار گازهای گلخانه ای در اثر فعالیت های انسانی، مفهوم کارآیی انرژی در ساختمان ها مطرح شد(Ononiwu,2016). بهبود کارآیی انرژی در ساختمان ها به کاهش تقاضای انرژی، ذخیره سازی منابع طبیعی محدود و کاهش تولید و نشر کربن منجر خواهد شد که این خود ، باعث اصلاح و بهبود عملکرد محیط زیستیِ کلی ساختمان میشود. برای برپایی و ساخت هر کدام از قسمت ها واجزای ساختمان از یک یا چند نوع انرژی استفاده میشود. منبع این انرژی استفاده شده برای پیشبرد سازه می تواند ، ذغال سنگ برای تولید و ساخت مصالح ساختمانی، روغن و سوخت در حمل و نقل یا ماشین آلات، و برق برای کار با وسایل اجرایی باشد. میتوان با افزایش کارآیی انرژی ساختمانان ها و جایگزینی مواد پر نشر کربن با مواد کم نشر کربن و جایگزینی فناوری استفاده کننده از منابع انرژی تجدید پذیر به جای سوخت فسیلی از مصرف سوخت های فسیلی در صنعت ساختمان کاست(Rawlinson,2007). مصرف انرژیهای فسیلی در عملیات ساختمانی که موجب چالش انتشار گازهای گلخانه ای گردیده از اهمیت ویژه ای در عصر کنونی برخوردار است. چالش اصلی برآمده از گازهای گلخانه ای، بویژه دی اکسید کربن، که جهان با ان روبروست "تغییراقلیم" است و لذا باید مصرف انرژی فسیلی را به حداقل ممکن تقلیل داد تا آسیب کمتری به زیست سپهر وارد سازد(Zeng and chini,2017). یکی از راه های کمتر آلوده کردن محیط زیست کاهش مصرف انرژی نهفته در ساختمان ها می‌باشد، در واقع واژه انرژی نهفته اولین مرتبه در سال ۱۹۷۰ میلادی در مقالات استفاده شده است.می توان گفت کل انرژی مورد نیاز برای تولید یک محصول به مجموع انرژی نهفته و انرژی فرآیند مربوط به تولید آن گفته می‌شود (Slesser,1978). در این بین آنچه امروزه در شهر تهران شاهد آن هستیم، عدم وجود شاخصه‌های روشن و شفاف درباره تاثیرات بهینه سازی انرژی نهفته در صنعت ساختمان, تاثیرات متقابل سازه و معماری و الزامات زیست محیطی آن است.

از سویی دیگر مقوله اندازه گیری و محاسبه انرژی نهفته مصالح و تاثیر مستقیم آن بر میزان انرژی نهفته ساختمان مبحثی است که تا کنون در ایران مجال جدی برای پرداختن نیافته است .با توجه به اینکه طراحان و برنامه ریزان مهم ترین نقش را در برنامه ریزی و انتخاب مصالح وتعیین جزئیات اجرایی و روش های ساخت دارند ،تاثیرآنها در دوره طراحی و اجرا میتواند به صورت چشمگیری در کاهش مصرف انرژی نهفته مصالح موثر باشد .لذا پیگیری آن در کشور ایران در اقلیم گرم و خشک که پروسعت ترین مناطق از ایران را تشکیل می دهد حائز اهمیت می باشد و همچنین طراحان هم‌گام با مهندسین سازه در جهت تبیین اصول کلی طراحی سازه ساختمان ها می‌تواند خصوصیات نوآورانه‌ای به محیط دهد و نوآوری در طرح چنین بناهایی ایجاد نماید. هدف از انجام این پژوهش بهینه سازی انرژی نهفته ساختمان با در نظر گرفتن معماری ساختار سازه ای بنا می باشد. سوال اصلی تحقیق عبارت است از آن است که که میزان تاثیر گذاری معماری و نوع ساختار سازه بر انرژی نهفته بنا چه مقدار می‌باشد؟ فرضیه تحقیق

عبارت است از اینکه معماری سازه بنابر کاهش انرژی نهفته در تهران می‌توانند تاثیر قابل توجهی بگذارند. روش تحقیق عبارت است دو نوع ساختمان فولادی و بتنی در ارتفاع های گوناگون با ابعاد یکسان ۲۰*۱۵ متر مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. همچنین جهت رسیدن به الگوی سازه از شبیه سازی ان در برنامه ETABS استفاده خواهد شد. ساختمان های بتنی براساس آیین نامه(2005)ACI 318-05 و ساختمان های فولادی بر اساس آیین نامه AISC-LRFD (2005)طراحی خواهند شد. در طراحی قاب ها، معیارSCWB که معیار کنترل کننده طراحی ستون ها است، رعایت خواهد شد و ضریب رفتار و ضریب بزرگ نمایی تغییر شکل برای قاب ها براساسIBC 2006 برای قاب های خمشی ، برابر با ۸ در نظر گرفته شده است. همچنین در معرفی غیرخطی هندسی اعضای قاب اثرات $p-\Delta$ مربوط به اعضای ستون و نیز اثرات $P-\Delta$ مربوط به رفتار کلی قاب اعمال گردیده است. در این تحقیق، ستونها به صورت بتن مسلح و در چهار مدلسازی جداگانه با ارتفاع های ۲/۷۵، ۳، ۳/۲۵ و ۳/۵ در نظر گرفته شده اند.مساله اصلی پژوهش ایجاد ساز و کاری است که میزان انرژی نهفته ساختمان مورد در سازه های فلزی و بتنی مورد اندازه گیری دقیق قرارگرفته و اثرات مخرب آن به حداقل برسد.

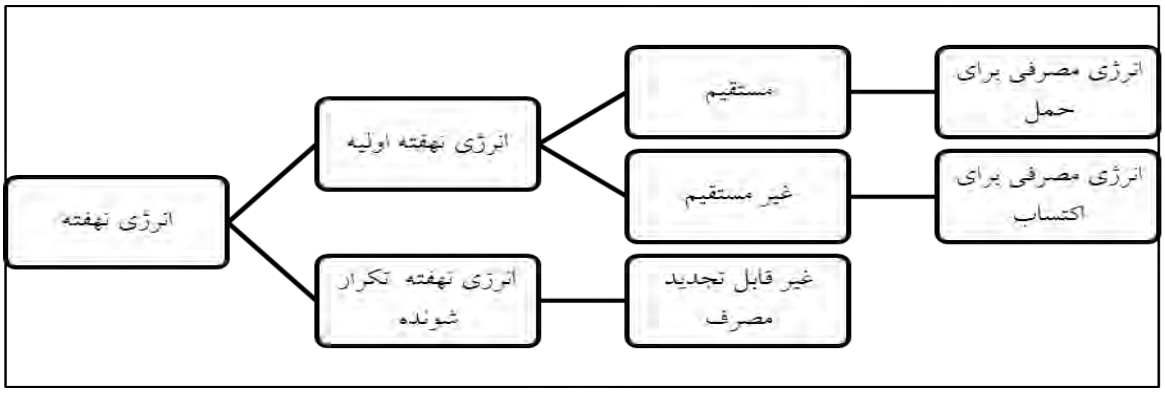
مبانی نظری

انرژی نهفته

در واقع انرژی نهفته بخش اصلی از انرژی کل تولیدی هر محصول بوده و مانند تمامی محصولات بخش ساختمان و ملحقات مهم آن نیز خارج از این تعاریف نیست. یکی از دانشمندان بیان می‌دارد انرژی نهفته انرژی است که برای تولید مصالح مصرف می‌شود. گانزالز بر این باورند که مواد و مصالح با انرژی نهفته بیشتر نتیجه فرآیندی هستند که طی آن انتشار گاز دی اکسید کربن بیشتر بوده است (Copiello,2017:27). مصالح با انرژی نهفته کمتر،دی اکسید کربن کمتری تولید می کنند(Banteli,2018).همچنین رابطه مستقیمی بین کاهش انرژی نهفته در ساختمان و کاهش مصرف سوخت های فسیلی که منجر به تولید دی اکسید کربن می‌گردد وجود دارد و این باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای خواهد شد (Copiello,2017:71) برطبق نظر رامش و دیگران انرژی نهفته، مجموع انرژی هایی است که در بازه عمر یک محصول ، از مرحله استخراج تا مرحله بازیافت، مصرف می شود. انرژی نهفته انرژی مصرف شده در تولید مصالحی است که در محصول مورد بررسی بکار رفته است(Ramesh,*etal*۲۰۱۰). کابزا و دیگران به نقل از اسلسر می گویند که مقوله انرژی نهفته" اولین بار در اواخر دهه ۱۹۷۰ میلادی برای اهداف متفاوتی مطرح شد، در مباحث تحلیل انرژی، انرژی ورودی به سیستم از مسیرهای مختلف با هم جمع می شوند تا انرژی نهفته کل یا الزامات انرژی زاید به دست بیاید.

مصالح ساختمانی،پایداری و تاثیرات زیست محیطی

مصالح تجدیدپذیر که تاثیر کمتری بر محیط زیست داشته و حاوی انرژی نهفته به مراتب کمتری در مقایسه با محصولات مشابه سنتی خود هستند جایگزین مناسبی برای آنها بوده و گزینه بسیار مناسبی برای مصالح صنعتی جدید می باشند(Offin,2010).

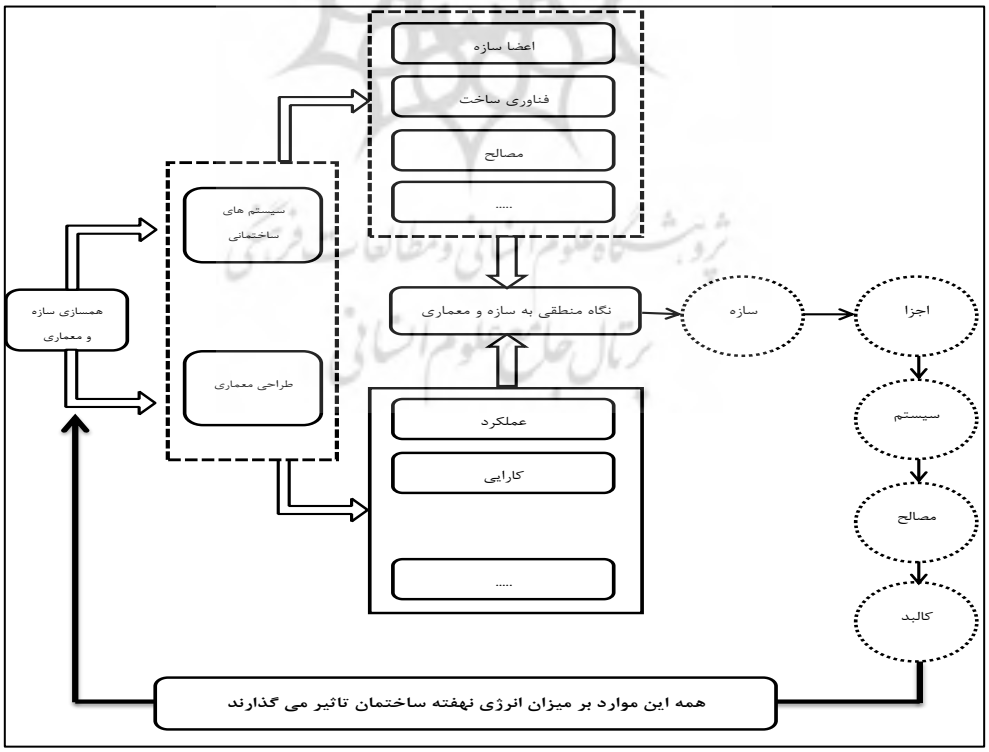


نمودار۱: انرژی نهفته و انواع آن

منبع:Hammond & Jones,2008

رابطه انرژی نهفته و انتشار کربن

دیربازیست که از سوخت های فسیلی به عنوان منبع اولیه تولید انرژی استفاده می شود. احتراق سوخت های فسیلی برای تولید انرژی منجر به انتشار گاز های گلخانه ای مانند ازون، دی نیتروژن منوکسید، متان، کلروفلور کربن و به ویژه کربن دی اکسید می شود(مفیدی شمیرانی و همکاران،۱۳۹٤).بنابراین افزایش انرژی نهفته به معنی افزایش میران رها شدن گارهای گلخانه ای در جو زمین است. نمونه گیری های انجام شده توسط دانشمندان از یخ های قطبی زمین نشان دادند که در حال حاضر کربن دی اکسید، ٤۰٪ بیشتر از قرن نوزدهم است. با اینکه بخشی از این پدیده می تواند طبیعی با دوره ای باشد، با این حال به دلیل این پدیده ناگوار ناچاریم به سمتی پیش برویم که کربن کمتری تولید کنیم (شایانفر و همکاران،۱۳۹۵).



نمودار۲: همسازی سازه و معماری در انرژی نهفته

دانش و آگاهی نسبی درباره انرژی نهفته مصالح ساختمانی نه تنها باعث افزایش رقابت برای استفاده از آن محصولات و توسعه مصالح با انرژی نهفته کمتر می شود، بلکه وجود این مصالح در صنایع و طراحی ها استفاده ی رویه از انرژی و پخشی کربن دی اکسید را می کاهد. در تولید اولیه، یک رابطه مشخص میان انرژی نهفته و ردپای کربن دی اکسید وجود دارد، و هم اینکه هر دو با استفاده از تحلیل ورودی /خروجی اندازه گیری می شوند . ردپای کربن اصطلاحی است که اشاره می کند به میزان کربن دی اکسیدی که توسط استفاده مستقیم و غیرمستقیم از منابع انرژی به جو زمین آزاد می شود(جلیلی صدر آباد،بلبلی،۱۳۹٦). کازا و دیگران (Cabeza,2013) انرژی نهفته را اینگونه تعریف می کند: انرژی ای است که در کارگاه تولید مصالح استفاده می شود تا ۱ کیلوگرم مصالح از سنگ معدنی با مواد خام به دست بیاید، البته به غیر از زیست سوخت ها (بیوفیول). همچنین ، ردپای کربن دی اکسید مجموع همه کربن منتشر شده بر واحد جرم مصالح قابل استفاده موجود در کارگاه است. در حمل و نقل و در بیشتر فرآیندهای صنعتی ،یک رابطه میان انتشار کربن دی اکسید به کیلوگرم (Kg) و مصرف انرژی به مگاژول (MJ) وجود دارد. همچنین در مورد پیشینه نظری می توان به ۲۰۱۵ ، Monteiro اشاره نمود که در مقاله ای به مقدار قابل توجه انرژی مصرف شده در کره زمین دلیل اصلی عدم دستیابی به توسعه پایدار است. ساختمانها مسئول بالاترین میزان مصرف انرژی در سراسر جهان ، نزدیک به ٤۰٪ هستند. تلاش های جدی در مورد کاهش انرژی عملیاتی ساختمان ها (گرمایش ، آب گرم ، تهویه ، برق) صورت گرفته است ، زیرا انرژی عملیاتی تاکنون بالاترین مؤلفه انرژی در یک چرخه عمر ساختمان است. با این حال ، با کاهش انرژی عملیاتی ، انرژی نهفته افزایش می یابد. یکی از عناصر ساختاری که مسئولیت مصرف انرژی بالاتر نهفته را بر عهده دارد سیستم سازه ساختمان است. همچنین ۲۰۱۵ ،Ezema در مقاله ای به بررسی پیامدهای زیست محیطی ساخت و ساز ساختمان های مسکونی در یک زمینه نیجریه با استفاده از انرژی نهفته به عنوان شاخص اندازه گیری با هدف شناسایی مناطقی که می توانند از استراتژی های نوآورانه بهره مند شوند ، پرداخته شده است. داده های اولیه تحقیق از تحقیقات پیمایشی که توسط مشاهده و مصاحبه تکمیل شده بود ، بدست آمد. برای برآورد انرژی نهفته ، چارچوب ارزیابی چرخه زندگی (LCA) و پروتکل های بین المللی انرژی برای مطالعه به تصویب رسید. این مطالعه نشان می دهد که فرصتهایی برای کاهش انرژی نهفته بیشتر در قاب ساختمان و دیوارها و همچنین در مؤلفه انرژی تکرار شده تجسم وجود دارد. در دیگر موارد برای دستیابی به کاهش قابل توجه در شدت انرژی نهفته ، جایگزینی مصالح ساختمانی معمولی با انرژی کم و با دوام و همچنین اتخاذ روشهای نوین ساختمانی توصیه می شود.همچنین ۲۰۱۷ ، A Lolli به تشریح یک روش برای توسعه یک ابزار تجزیه و تحلیل پارامتری پویا (PAT) برای ارزیابی جامع استفاده از انرژی عملیاتی ، انرژی نهفته و انتشار مواد نهفته در مراحل تولید و بهره برداری از یک ساختمان می پردازد.

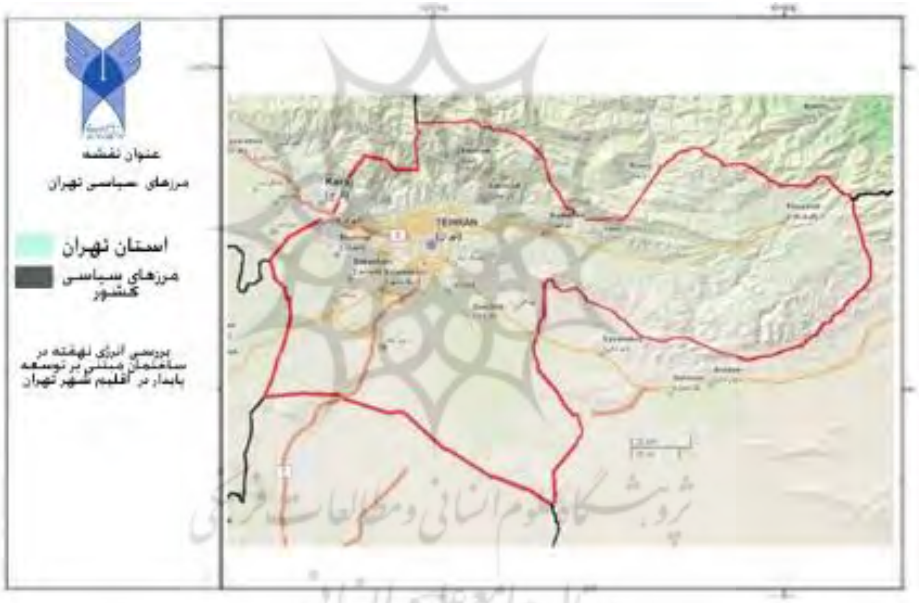
محدوده مورد مطالعه

استان تهران بین ۳۵/۱٤ تا ۳٦/۲۰ درجه عرض شمالی و ۵۰/۱۵ تا ۵۳/۰۸ درجه طول شرقی واقع شده است و مساحت آن ۱۸۸۱٤ کیلومتر مربع است. این استان دارای ۱۲ شهرستان و ۲۷ بخش است. از شمال به استان مازندران و گیلان از جنوب شرقی به استان قم و از جنوب غربی به استان مرکزی و از غرب به استان قزوین و از شرق به

استان سمنان محدود است .تهران در حد فاصل منطقه کوهستانی و دشت قرار دارد. سه عامل در اقلیم تهران نقش موثری دارد؛ رشته کوه البرز، بادهای مرطوب غربی و وسعت استان .

در شمال تهران، آب و هوا معتدل و کوهستانی و در نقاط کم ارتفاع نیمه خشک است . بارش معمولاً در زمستانها زیاد است فصل سرد از ماه آذر شروع می‌شود، اما در نقاط کوهستانی کمی زودتر آغاز می‌گردد همچنین فصول سرد سه یا چهار ماه طول می‌کشد . در اسفند ماه از سرمای هوا رفته‌رفته کاسته می‌شود و در اواخر فروردین هوا با سرعت بیشتری گرم می‌شود و در اوایل خرداد هوا نسبتاً گرم است .

به‌طور خلاصه می‌توان گفت: در نواحی مختلف استان تهران به علت موقعیت ویژه جغرافیایی، آب و هوای متفاوتی شکل گرفته‌است. سه عامل جغرافیایی در ساخت کلی اقلیم استان تهران نقش موثری دارند: کویر یا دشت کویر: مناطق خشک مانند دشت قزوین، کویر قم و مناطق خشک استان سمنان که مجاور استان تهران قرار دارند، از عوامل منفی تاثیر گذار بر هوای استان تهران هستند و موجب گرما و خشکی هوا، همراه با گرد و غبار می‌شوند. رشته کوه‌های البرز: این رشته کوه‌ها موجب تعدیل آب و هوا می‌شود. بادهای مرطوب و باران زای غربی: این بادها نقش موثری در تعدیل گرمای سوزان بخش کویری دارند، ولی تاثیر آن را خنثی نمی‌کنند (فروزان،۱۳۹۵).



نقشه۱.موقعیت ایستگاه های اقلیمی

منبع: نگارندگان، ۱۴۰۰

تحلیل یافته‌ها

تا کنون تمامی بررسی های انجام شده بر روی سطح مقطع بتن و فولاد و طرح اختلاط بتن انجام گرفته است و با توجه به اینکه مقدار انرژی نهفته فولاد غیر تجدید یافته در مقایسه با بتن بسیار بالا است بنابراین کنترل کننده مقدار انرژی نهفته، مقدار فولاد آن است. انرژی نهفته کل مطابق با رابطه زیر محاسبه شده و از ۵ رکن اصلی تشکیل می شود.

$$EE = EE_M + EE_T + EE_C + EE_R + DE$$

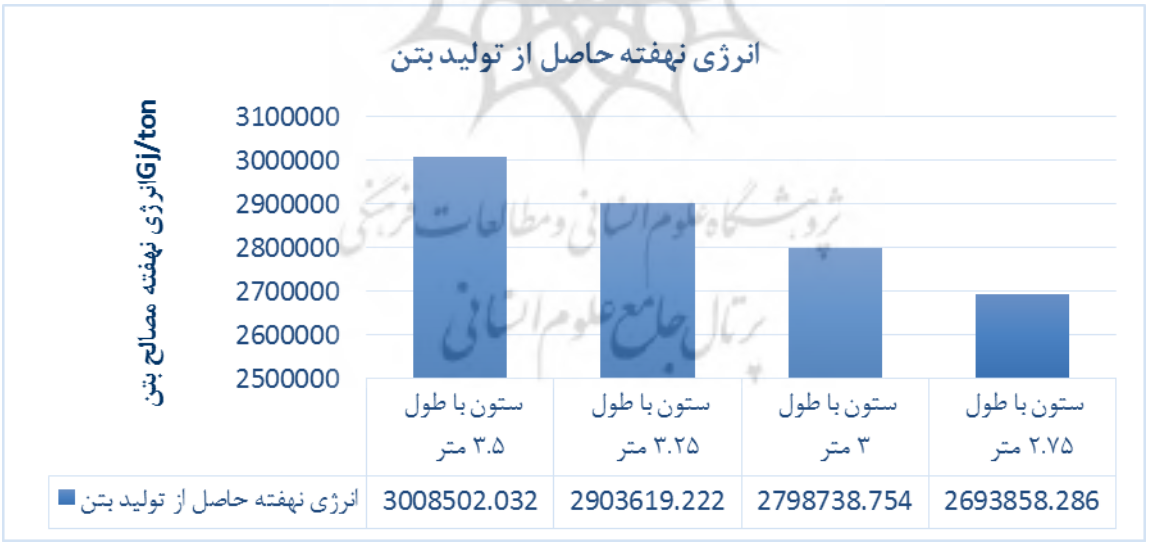
این موارد عبارت اند از EE انرژی نهفته کل، EE_M انرژی نهفته مواد، EE_T انرژی نهفته حمل و نقل، EE_Cانرژی نهفته ساخت، EE_R انرژی نهفته تعمیر و تعویض مصالح و DE انرژی نهفته تخریب.

در جدول ۱مقایسه ای میان مقادیر انرژی نهفته حاصل از تولید بتن و میزان کاهش انرژی ٪ و همچنین مقایسه مقادیر انتشار کربن حاصل از تولید بتن و میزان کاهش انتشار کربن ٪ ارائه شده است. همانطور که در جدول .....مشاهده می شود با کاهش طول ستون ها از ۳/۵ به ۳/۲۵ انرژی نهفته حاصل از تولید بتن به میزان ۳/۵ درصد کاهش می یابد. همچنین با کاهش طول ستون ها از ۳/۵ به ۳ متر میزان انرژی نهفته حاصل از بتن در ساختمان بتنی حدود ۷ درصد کاهش می یابد. بیشترین میزان کاهش در انرژی نهفته حاصل از تولید بتن با کاهش ارتفاع ستون ها از ۳/۵ به ۲/۷۵ حاصل شده است و حدود ۱۰/۵ درصد می باشد.

جدول۱.مقایسه مقادیر انرژی نهفته حاصل از تولید بتن و میزان کاهش انرژی

	انرژی نهفته حاصل از تولید بتن	میزان کاهش انرژی ٪
ستون با طول ۳.۵ متر	3008502.032	1
ستون با طول ۳.۲۵ متر	2903619.222	3.486213684
ستون با طول ۳ متر	2798738.754	6.972349538
ستون با طول ۲.۷۵ متر	2693858.286	10.45848539

نمودار۳ نشان دهنده مقادیر انرژی نهفته حاصل از تولید بتن در ساختمان های مختلف می باشد. همانطور که دیده می شود با کاهش طول ستون ها در ساختمان مقادیر انرژی نهفته نیز کاهش می یابد. به طوری که بیشترین انرژی نهفته مربوط به ساختمان با ستون های ۳/۵ متری است که ۳ میلیون گیگاژول بر تن می باشد و کمترین مقدار مربوط به ساختمان دارای ستون به طول ۲/۷۵ متر است که ۲/۷ میلیون گیگاژول بر تن می باشد.



نمودار۳. مقایسه مقادیر انرژی نهفته حاصل از تولید بتن

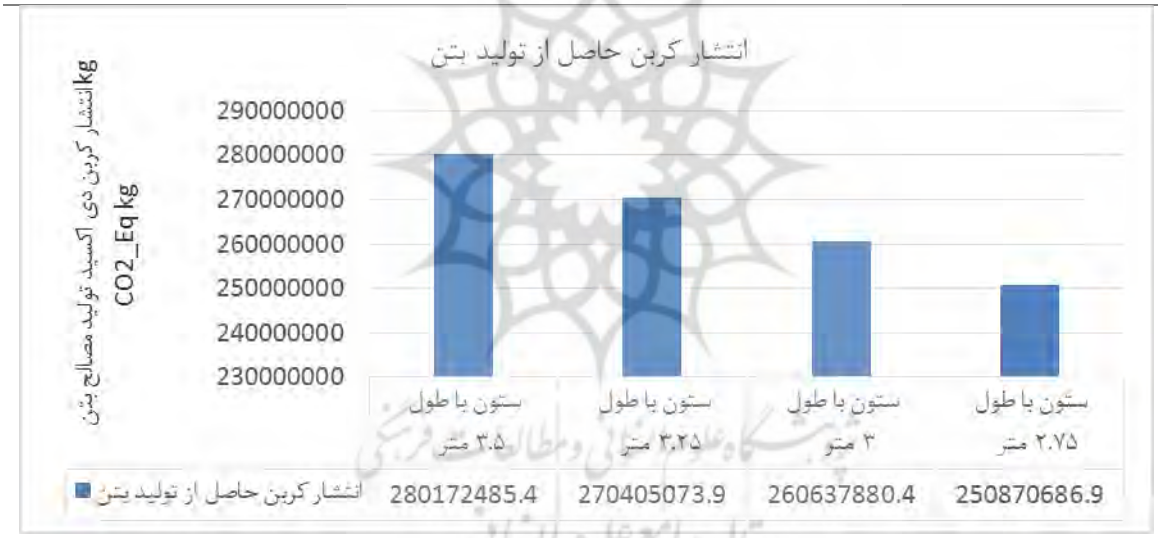
همانطور که در جدول۲ مشاهده می شود با کاهش طول ستون ها از ۳/۵ به ۳/۲۵ میزان انتشار کربن دی اکسید از تولید بتن به میزان ۳/۵ درصد کاهش می یابد. همچنین با کاهش طول ستون ها از ۳/۵ به ۳ متر میزان انتشار کربن دی اکسید حاصل از بتن در ساختمان بتنی حدود ۷ درصد کاهش می یابد. بیشترین میزان کاهش در انرژی نهفته حاصل از تولید بتن با کاهش ارتفاع ستون ها از ۳/۵ به ۲/۷۵ حاصل شده است و حدود ۱۰/۵ درصد می باشد.

نکته بسیار جالب به دست آمده این می باشد که درصد مقادیر کاهش انرژی نهفته و درصد مقادیر کاهش میزان انتشار کربن دی اکسید حاصل از مصالح بتن در ساختمان های بتنی با هم برابر است. این واقعیت منطقی به نظر می رسد زیرا میزان بتن کاهش یافته در هر حالت یکسان است که نسبت کاهش های یکسانی را نیز نتیجه می دهد.

نمودار٤ نشان دهنده مقادیر انرژی نهفته حاصل از تولید بتن در ساختمان های مختلف می باشد. همانطور که دیده می شود با کاهش طول ستون ها در ساختمان مقادیر انرژی نهفته نیز کاهش می یابد. به طوری که بیشترین انرژی نهفته مربوط به ساختمان با ستون های ۳/۵ متری است که ۲/۸ میلیون گیگاژول بر تن می باشد و کمترین مقدار مربوط به ساختمان دارای ستون به طول ۲/۷۵ متر است که ۲/۵ میلیون گیگاژول بر تن می باشد.

جدول ۲. مقایسه مقادیر انتشار کربن حاصل از تولید بتن و میزان کاهش انتشار کربن ٪

	انتشار کربن حاصل از تولید بتن	میزان کاهش انتشار کربن ٪
ستون با طول ۳.۵ متر	280172485.4	1
ستون با طول ۳.۲۵ متر	270405073.9	3.486213684
ستون با طول ۳ متر	260637880.4	6.972349538
ستون با طول ۲.۷۵ متر	250870686.9	10.45848539



نمودار٤. مقایسه مقادیر انتشار کربن حاصل از تولید بتن

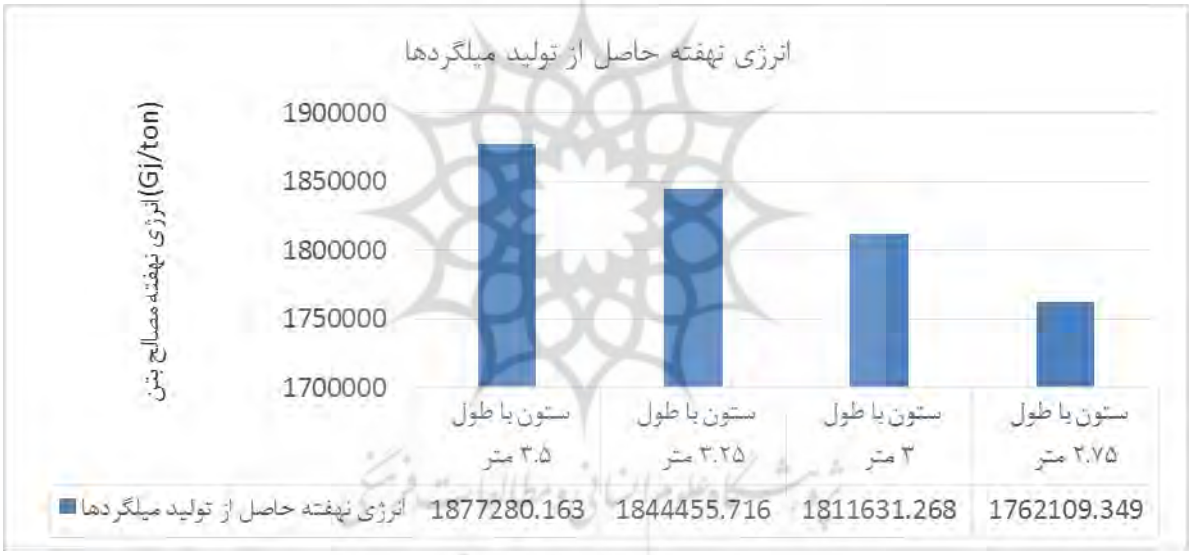
همانطور که در جدول۳مشاهده می شود با کاهش طول ستون ها از ۳/۵ به ۳/۲۵ انرژی نهفته حاصل از تولید میلگرد به میزان ۱/۷۵ درصد کاهش می یابد. همچنین با کاهش طول ستون ها از ۳/۵ به ۳ متر میزان انرژی نهفته حاصل از میلگرد در ساختمان بتنی حدود ۳/۵ درصد کاهش می یابد. بیشترین میزان کاهش در انرژی نهفته حاصل از تولید میلگرد با کاهش ارتفاع ستون ها از ۳/۵ به ۲/۷۵ حاصل شده است و حدود ٦/۱۳ درصد می باشد. همانطور که مشاهده می شود تاثیر درصد کاهش های انرژی نهفته مصالح میلگرد در اثر کاهش طول ستون کمتر از تاثیر انرژی نهفته بتن است به طوری که مقادیر کاهش انرژی نهفته حاصل از مصالح بتن حدود ۲ برابر بیشتر از مصالح میلگرد بود. این امر این نتیجه مهم را ارائه می دهد که کاهش بتن در ساختمان های بتنی از اهمیت بیشتری برخوردار است یعنی در ساختمان های بتنی بهتر است حجم مقاطع بتنی را کاهش داد و سعی کرد کاهش مقاطع را با میزان آرماتور

بیشتری جبران نمود. البته می بایست به الزامات مبحث نهم مقررات ملی و آبا نیز توجه نمود و معیارهای حداکثر آرماتور قابل استفاده در مقاطع بتنی را نیز ارضا نمود.

جدول۳. مقایسه مقادیر انرژی نهفته حاصل از تولید میلگرد و میزان کاهش انرژی ٪

میزان کاهش انرژی ٪	انرژی نهفته حاصل از تولید میلگردها	
1	1877280.163	ستون با طول ۳.۵ متر
1.748510835	1844455.716	ستون با طول ۳.۲۵ متر
3.497021669	1811631.268	ستون با طول ۳ متر
6.134982696	1762109.349	ستون با طول ۲.۷۵ متر

نمودار۵نشان دهنده مقادیر انرژی نهفته حاصل از تولید میلگرد در ساختمان های مختلف می باشد. همانطور که دیده می شود با کاهش طول ستون ها در ساختمان مقادیر انرژی نهفته نیز کاهش می یابد. به طوری که بیشترین انرژی نهفته مربوط به ساختمان با ستون های ۳/۵ متری است که ۱/۸ میلیون گیگاژول بر تن می باشد و کمترین مقدار مربوط به ساختمان دارای ستون به طول ۲/۷۵ متر است که ۱/۷ میلیون گیگاژول بر تن می باشد.



نمودار۵. مقایسه مقادیر انرژی نهفته حاصل از تولید میلگرد

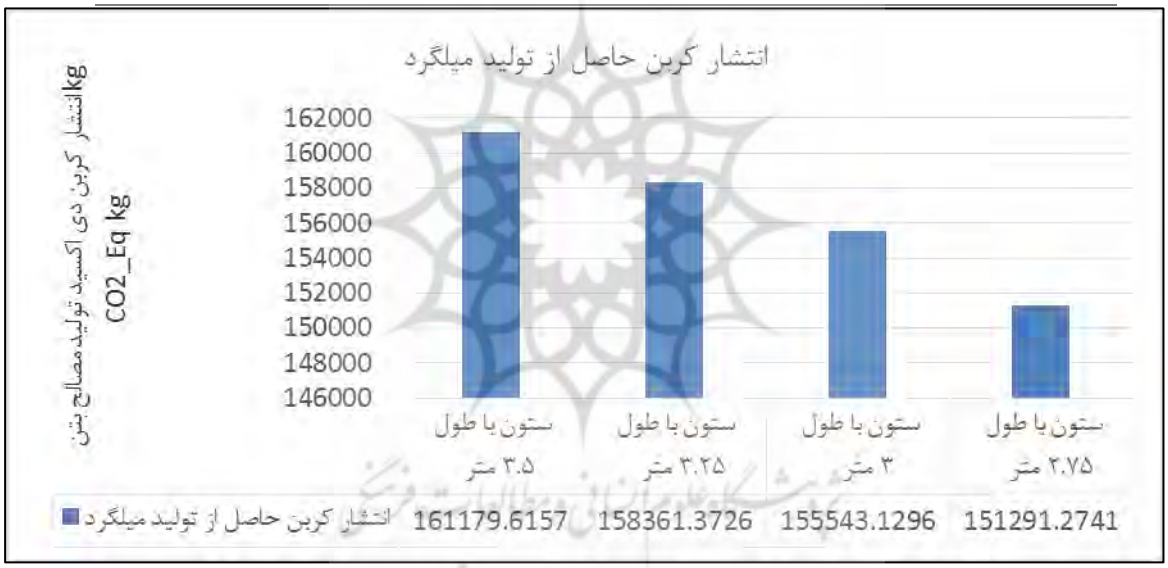
همانطور که در جدول ٤مشاهده می شود با کاهش طول ستون ها از ۳/۵ به ۳/۲۵ میزان انتشار کربن دی اکسید از تولید میلگرد به میزان ۳/۵ درصد کاهش می یابد. همچنین با کاهش طول ستون ها از ۳/۵ به ۳ متر میزان انتشار کربن دی اکسید حاصل از میلگرد در ساختمان بتنی حدود ۷ درصد کاهش می یابد. بیشترین میزان کاهش در انرژی نهفته حاصل از تولید میلگرد با کاهش ارتفاع ستون ها از ۳/۵ به ۲/۷۵ حاصل شده است و حدود ۱۰/۵ درصد می باشد. نکته بسیار جالب به دست آمده این می باشد که درصد مقادیر کاهش انرژی نهفته و درصد مقادیر کاهش میزان انتشار کربن دی اکسید حاصل از مصالح میلگرد در ساختمان های بتنی با هم برابر نمی باشد. به طوری که درصد کاهش میزان انتشار کربن حاصل از میلگردها با درصد کاهش انرژی نهفته و همچنین درصد کاهش میزان انتشار کربن حاصل از مصالح بتن برابر است ولی مقدار درصد های کاهش انرژی نهفته حاصل از مصالح میلکرد از

سایر درصد کاهش ها کمتر است. این امر نشان می دهد که برای کاهش انتشار کربن در ساختمان های بتنی کاهش میزان میلگرد گزینه مناسبی است.

نمودار٦نشان دهنده مقادیر انرژی نهفته حاصل از تولید میلگرد در ساختمان های مختلف می باشد. همانطور که دیده می شود با کاهش طول ستون ها در ساختمان مقادیر انرژی نهفته نیز کاهش می یابد. به طوری که بیشترین انرژی نهفته مربوط به ساختمان با ستون های ۳/۵ متری است که ۱/٦ میلیون گیگاژول بر تن می باشد و کمترین مقدار مربوط به ساختمان دارای ستون به طول ۲/۷۵ متر است که ۱/۵ میلیون گیگاژول بر تن می باشد.

جدول ۵.مقایسه مقادیر انتشار کربن حاصل از تولید میلگرد و میزان کاهش انتشار کربن ٪

میزان کاهش انتشار کربن ٪	انتشار کربن حاصل از تولید میلگرد	
1	161179.6157	با طول ۳.۵ متر ستون
3.486213684	158361.3726	با طول ۳.۲۵ متر ستون
6.972349538	155543.1296	با طول ۳ متر ستون
10.45848539	151291.2741	با طول ۲.۷۵ متر ستون



نمودار٦. مقایسه مقادیر انتشار کربن حاصل از تولید میلگرد

نتیجه گیری و دستاورد علمی پژوهشی

تحقیق حاضر منجر به نتایج ذیل در زمینه محاسبه مقادیر انرژی نهفته و میزان انتشار کربن در ساختمان های بتنی میگردد. بخشی از مهمترین نتایج به دست آمده به شرح ذیل گزارش می شود:

۱. با مقایسه انرژی نهفته در بام ها در جدول زیر می توان نتیجه گرفت که بام کرومیت از سایر بام ها دارای انرژی نهفته کمتری می باشد.
۲. ساختمان بتنی نسبت به ساختمان فولادی دارای انرژی نهفته کمتر و مضرات زیست محیطی بسیار کمتری می باشد.
۳. بهترین ارتفاع برای ستون ها در ساختمان بتنی، ارتفاع ۲/۷۵ متر می باشد، البته این ارتفاع می بایست با نیاز های معماری طرح مطابقت داده شود.

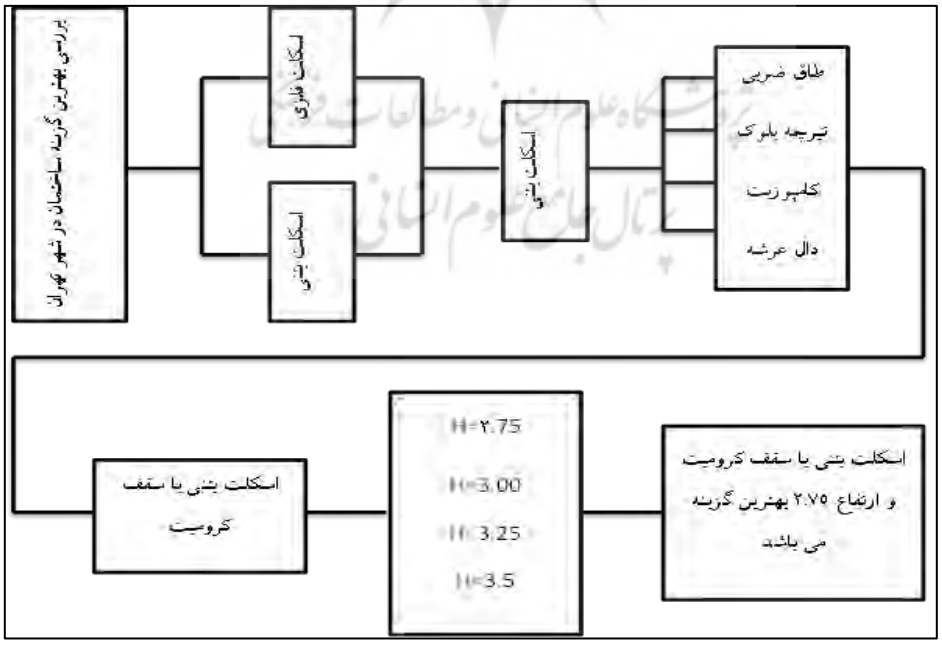
٤. به طور کلی میزان انتشار دی اکسید کربن حاصل از تولید بتن بسیار بالاتر از انرژی نهفته آن می باشد و بالعکس در مصالح فولادی (در این پژوهش میلگرد) میزان انرژی نهفته بسیار بالاتر از میزان انتشار دی اکسید کربن می باشد.

۵. به طوری که درصد کاهش میزان انتشار کربن حاصل از میلگردها با درصد کاهش انرژی نهفته و همچنین درصد کاهش میزان انتشار کربن حاصل از مصالح بتن برابر است ولی مقدار درصد های کاهش انرژی نهفته حاصل از مصالح میلکرد از سایر درصد کاهش ها کمتر است. این امر نشان می دهد که برای کاهش انتشار کربن در ساختمان های بتنی کاهش میزان میلگرد گزینه مناسبی است.

٦. کاهش بتن در ساختمان های بتنی از اهمیت بیشتری برخوردار است یعنی در ساختمان های بتنی بهتر است حجم مقاطع بتنی را کاهش داد و سعی کرد کاهش مقاطع را با میزان آرماتور بیشتری جبران نمود. البته می بایست به الزامات مبحث نهم مقررات ملی و آبا نیز توجه نمود و معیارهای حداکثر آرماتور قابل استفاده در مقاطع بتنی را نیز ارضا نمود.

۷. درصد مقادیر کاهش انرژی نهفته و درصد مقادیر کاهش میزان انتشار کربن دی اکسید حاصل از مصالح بتن در ساختمان های بتنی با هم برابر است. این واقعیت منطقی به نظر می رسد زیرا میزان بتن کاهش یافته در هر حالت یکسان است که نسبت کاهش های یکسانی را نیز نتیجه می دهد.

۸. با کاهش طول ستون ها میزان انرژی نهفته و انتشار کربن در ساختمان های بتنی کاهش یافت. بیشترین کاهش انرژی نهفته حاصل از تولید بتن ۱۰/۵ درصد، بیشترین کاهش انتشار کربن حاصل از تولید بتن ۱۰/۵ درصد، بیشترین کاهش انرژی نهفته حاصل از تولید میلگرد ٦/۱۳ درصد و بیشترین کاهش انتشار کربن حاصل از تولید بتن ۱۰/۵ درصد به دست آمد.



نمودار٦.مدل مفهومی پژوهش

درمقایسه و اثبات کمی انرژی نهفته در دو سازه بتنی و فلزی از خروجی ETABS مقدار آهن مصرفی در اسکلت فلزی و آهن مصرفی در اسکلت بتنی و مقدار بتن مصرفی در اسکلت بتنی مورد محاسبه قرار گرفته و چون سقف ها (میزان مصرف بتن و میزان مصرف آهن) قبلاً محاسبه گردیده، در بخش محاسبه سقف ها به آن اشاره گردد.

بدون شک هر تحقیق که با هدفی خاص آغاز میشود در طی روند انجام، با مسائل گوناگونی روبرو است که دامنه فعالیت های صورت گرفته در آن تحقیق را محصور می کنند. در این پژوهش، عوامل مختلفی که در تعریف و پیشبرد مسائل مورد بررسی در این تحقیق دخالت داشتند، سبب شده است که این پژوهش در همین حد متوقف گردد. به طوری که در بررسی میزان انرژی نهفته و کربن منتشر شده که مورد بررسی قرار گرفتند، شاید بتوان آن را مقدمه ای برای یک فعالیت محققانه بسیار وسیع تر، جامع تر و کاربردی تر دانست. پس از طی این روند به نظر می رسد می توان در دو زمینه مجزا از هم این تحقیق را ادامه داد که ذیلاً به آنها پرداخته می شود:

۱. میزان انرژی نهفته سیستم های سازه ای مرکب شامل تیر فولادی و ستون بتنی، استفاده از میلگردهای کامپوزیت و یا دیگر مصالح مقام نوین با ساختمان های بتنی متداول مقایسه گردد.
۲. ارزیابی مصرف انرژی و انتشار کربن معادل در چرخه حیات جداره های خارجی متداول مسکن شهری، در جهت توسعه پایدار انرژی محاسبه گردد.
۳. انرژی نهفته و انتشارکربن در خود مصالح ساختمانی مورد بررسی قرار گیرد و سپس از نتایج آن در تالیف مقاله استفاده شود.
٤. تاثیر مصالح بر مصرف انرژی، کربن تولیدی و آسایش حرارتی در ساختمان اداری در اقلیمهای مختلف کشور ارزیابی شود.
۵. همانطور که می دانیم بیشترین معضلات آلودگی تولید دی اکسید کربن و انرژی نهفته در ساختمان های بتنی مربوط به بخش تولید سیمان است .پس با بررسی اثر استفاده از مواد جایگزین سیمان همچون پوزلان ها، خاکستر بادی، خاکستر لجن بر روی کاهش درصد انتشار کربن و انرژی نهفته بررسی شود.

منابع

۱. جلیلی صدرآباد، سمانه، بلبلی، شیوا(۱۳۹٦)، بررسی جایگاه مصالح در نمای شهری تهران بااستفاده از رویکرد توسعه پایدار شهری، شماره ۲-۷ ، فصلنامه علمی پژوهشی نقش جهان
۲. مفیدی شمیرانی، سید مجید(۱۳۹٤)، انرژی نهفته، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، پروژه درس اقلیم و معماری، مقطع دکتری، استاد راهنما: دکتر سید مجید مفیدی شمیرانی، دانشجویان به ترتیب فصول: کیومرث سیفی، محمدکاظم رضایی، زهره عطار عباسی، سیده محدثه شامخی
۳. شایانفر، محسنعلی، مفیدی شمیرانی، سید مجید، سید عبدالهی، سید احسان(۱۳۹۵)، مصالح ساختمانی با انرژی نهفته و کربن نهفته کم، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی، چهارمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری ومدیریت شهری، ۷و۸ بهمن ۹۵،

٤. فروزان، نرجس، حاجیپور، خلیل، سلطانی، علی(۱۳۹۵)، بررسی مصرف انرژی نهفته در بافت های مسکونی نمونه موردی: شهر شیراز،فصلنامه علمی پژوهشی نقش جهان، مقاله ٤، دوره ٦، شماره ۱، صص. ٤٢-٥٢.

5. Banteli, Amalia, Vicki Stevenson, and Gabriela Zapata Lancaster. "Building Information Modelling (BIM) application in relation to embodied energy and carbon (EEC) considerations during design: A practitioner perspective." (2018): 224-234.
6. Bolden J., Abu-Lebdeh T., Fini E,(2019). Utilization of recycled and waste materials in various construction applications. American Journal of Environmental Science 1098, no 31
7. Bonich, Zoran. And Topličić čurčić, Gordana. And Davidovich, Nebuchadnezzar. And Savich, Jelna. (2017). Structural damage to the environment. International Scientific Journal of Urban and Municipal Civil Engineering, 1090. Procedural Engineering 997 (1090) 499-491
8. Cabeza, L. F., Barreneche, C., Miró, L., Morera, J. M., Bartolí, E., & Fernández, A. I. (2013). Low carbon and low embodied energy materials in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *23*, 536-542.
9. Copiello, S., and P. Bonifaci. (2017)."THE RELATION BETWEEN BUILDING COSTS AND EMBODIED ENERGY: NEW INSIGHTS." International Journal for Housing Science & Its Applications 41.2.
10. D'Agostino, Delia, Danny Parker, and Paco Melià. (2020). "Environmental and economic data on energy efficiency measures for residential buildings." Data in brief 28: 104905.
11. Ding, G., (2004). The development of a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance for built projects and facilities. PhD Thesis, University of technology, Sydney.
12. Dissanayake, D. M. K. W., C. Jayasinghe, and M. T. R. Jayasinghe.(2017). "A comparative embodied energy analysis of a house with recycled expanded polystyrene (EPS) based foam concrete wall panels." Energy and Buildings 135: 85-94.
13. Dixit, Manish K. (2017). "Life cycle embodied energy analysis of residential buildings: A review of literature to investigate embodied energy parameters." Renewable and Sustainable Energy Reviews 79: 390-413.
14. Hammond, G. P., & Jones, C. I. (2008). Embodied energy and carbon in construction materials. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Energy*, *161*(2), 87-98
15. Mohanty, B. (2012). SUSTAINABLE URBAN ENERGY: A Sourcebook for Asia. Nairobi, Kenya: United Nations Human SettlementsProgramme (UN HABITAT).
16. Ononiwu, N. H., & Nwanya, S. (2016). Embodied Energy and Carbon footprints in Residential buildings. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science*, *3*(8).
17. Ramesh, T., Prakash, R., & Shukla, K. K. (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. Energy and buildings, 42(10), 1592-1600.
18. Tarabieh, Khaled, and Mirette Khorshed.(2019). "Optimizing Evaluation Methods for the Embodied Energy and Carbon Management of Existing Buildings in Egypt." Buildings 9.4: 90
19. UNEP. (2007). Buildings and Climate Change: status, challenges and opportunities. United Nations Environment Programme.
20. UN-HABITAT. (13 09 ,2015). climate change. Retrieved from The United Nations HumanSettlements Programme: http:// unhabitat.org/urban-themes/climatechange