علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره پنج، مرداد ماه ۹۹

امکان سنجی ساخت ساختمان انرژی صفر در منطقه سرد و نیمه خشک ایران

(مطالعه موردی : شهر مشهد)

نیما امانی[1*]

nimaamani@iauc.ac.ir

مصطفی مقدس مشهد[2]

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۳۰ **تاریخ پذیرش:۹۷/۸/۲۳**

چکیده

زمینه و هدف: این مطالعه به امکان سنجی و طراحی ساختمان انرژی صفر در اقلیم سرد و نیمه خشک می پردازد. در این مطالعه با استفاده از سیستم ها و تکنیک های معماری غیرفعال خورشیدی برای استفاده حداکثری از انرژی های تجدیدپذیر، مقدار انرژی مصرفی کاهش داده می شود.

روش بررسی: مطالعه موردی یک ساختمان مسکونی یک طبقه به مساحت ۱۰۰ مترمربع با ۴ نفر ساکن در آب وهوای سرد و خشک شهر مشهد در شمال شرق ایران است. برای شبیه سازی گرمایی، اطلاعات آب وهوایی (دمای هوا، ساعت آفتابی، باد، بارش و تابش ساعتی خورشید) منطقه مورد مطالعه از ایستگاه هواشناسی منطقه و پایگاه داده های آب وهوایی نرم افزار Meteonorm تهیه شد. برای شبیه سازی و تحلیل گرمایی دینامیکی سازه، نرم افزار DesignBuilder به کار گرفته شده است.

یافته ها: نتایج این شبیه سازی کاهش ۳۰ درصدی مصرف انرژی سالانه ساختمان را با رعایت اصول طراحی غیرفعال (انتخاب جهت بهینه، دیوار ترامب، سایه بان، انتخاب عایق مناسب) از ۲۵۴۴/۳ KWh به ۱۷۷۶ KWh نشان می دهد. سپس با داشتن انرژی مورد نیاز سالانه، به طراحی سیستم فتوولتائیک خورشیدی با نرم افزار PVsyst پرداخته شد و انرژی استحصالی سالانه سیستم KWh ۲۶۲۹/۱ برآورد شده است.

بحث و نتیجه گیری: مقایسه تطبیقی مقادیر یاد شده با اعمال ضریب اطمینان ۱/۴، نشان می دهد ساخت ساختمان انرژی صفر دراقلیم سرد و خشک امکان پذیر است و برای نیل به ساخت پایدار و سازگار با محیط زیست، گامی موثر به حساب می آید.

واژه های کلیدی: مدیریت انرژی، ساختمان انرژی صفر، توسعه پایدار، انرژی پلاس، فئوولتائیک.

۱- گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، چالوس، ایران. *(مسوول مکاتبات)

۲- کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران.

J. Env. Sci. Tech., Vol 22, No.5, July, 2020

The Feasibility of Construction of Zero-Energy Building in the Cold and Semi-Arid Climate (Case Study: Mashhad)

Nima Amani [1]*

nimaamani@iauc.ac.ir

Mostafa Moghadas Mahshad [2]

Admission Date:November 14, 2018 Date Received: May 20, 2018

Abstract

Background and Objective: The objective of this study is to evaluate and design a zero energy building in cold and dry climates. In this study, energy consumption will be reduced by using of the solar-powered systems and techniques for the use of maximum energy from renewable sources.

Method: A residential building is evaluated as a case study. This building includes one floor with an area of 100 square meters with 4 people in cold and dry climate of Mashhad in the north east of Iran. For thermal simulation, weather information (temperature, air, sunshine, wind, rain, and sunlight) is obtained from the weather station and climate database and the Meteonorm software. Design Builder software is used to simulate and analyze the dynamic heat of the structure.

Findings: The results of this simulation show that 30% of the annual energy consumption of the building, taking into account the principles of inactive design (optimal selection, wall truss, shade, appropriate fitting) will be reduced from 2544.3 KWh to 1776 KWh. Subsequently, with the annual energy requirement, PVSyst software is designed to design a photovoltaic solar system with an annual energy of 2629.1 KWh.

Discussion and Conclusion: The comparative comparison of equation values by applying a 1.4 coefficient of confidence indicates that construction of zero-energy building is possible in a cold and dry climate and is created to achieve sustainable and environmentally sustainable.

Keywords: Energy Management, Zero Energy Building, Sustainable Development, Energy Plus, Photovoltaics.

1- Department of Civil Engineering, Chalous Branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran. * (Corresponding Author)

2- M.Sc., Department of Construction Management, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran.

مقدمه

مطالعات انجام شده توسط سازمان بین المللی توسعه و همکاری اقتصادی OECD نشان می دهد که ساختمان ها ۵۰ درصد مواد خام دنیا را استفاده می کنند، در حالی که بسیاری از آن ها منابع تجدیدناپذیر می باشند. در واقع ساختمان ها عامل تولید بیش از ۴۶ درصد کل گازهای گلخانه ای تولید شده در سرتاسر جهان هستند (۱). طبق گزارش IPCC از زمان انقلاب صنعتی تا پایان قرن بیستم دمای کره زمین ۰/۵ درجه سانتی گراد افزایش یافته و غلظت لایه اوزون به طور متوسط در نقاط مختلف زمین ۲۰ درصد تقلیل یافته است (۲). در ایران، به عنوان یک کشور در حال توسعه، ساختمان های مسکونی در انتشار ۲۵٪ از کل تولید گازهای گلخانه ای کشور سهیم اند (۳). در گزارش روابط عمومی مرکز پژوهش های مجلس شورای اسلامی، دفتر مطالعات انرژی آمده است که ایران در رتبه یازدهم پرمصرف ترین کشورها از نظر مصرف انرژی قرار دارد (۵،۴). با توجه به این اطلاعات تلاش برای کاهش مصرف سوخت های فسیلی، ساخت ساختمان های بهینه از نظر مصرف انرژی و استفاده از منابع انرژی های تجدیدپذیر برای تولید انرژی، ضروری است. یکی از اقداماتی که در این راستا در برنامه های کلان کشورهای پیشرفته صورت می گیرد، تلاش جهت احداث ساختمان های انرژی صفر (ZEB) است که با کیفیت بالا درکاهش مصرف انرژی و سازگاری با محیط زیست، استانداردهای موجود در بررسی معماری پایدار نظیر LEED و BREEAM را در عمل اجرا کرده و با بکارگیری فناوری های کارآمد و به روز، زمینه را برای توسعه تکنولوژی و دانش فنی در این زمینه فراهم می کند (۶). دستورالعمل بهینه سازی انرژی در ساختمان ها (EPBD)، مصوب پارلمان و شورای اروپایی در ارتباط با بازده انرژی ساختمان، اتحادیه اروپا مشتمل بر ۲۸ کشور اروپایی را متعهد می‌سازد تا تمامی ساختمان های تجاری و مسکونی را به انرژی نزدیک به صفر در سال ۲۰۱۹ برای همه ساختمان های عمومی جدید و ۲۰۲۱ برای تمامی ساختمان های جدید برساند (۸،۷). در آمریکا نیز به موجب قانون تصویب شده در سال ۲۰۰۷ به منظور حمایت از ایجاد ساختمان هایی با مصرف خالص انرژی صفر، تا سال ۲۰۴۰ نیمی از ساختمان های تجاری و تا سال ۲۰۵۰ تمام ساختمان های تجاری آمریکا مصرف خالص انرژی آنها باید صفر باشد (۹). از این رو تحقیقات بیشتر با استفاده از تجزیه و تحلیل نرم افزاری به نظر می رسد در بهره وری انرژی و عملی کردن ساخت ساختمان های کارا با مصرف نزدیک به انرژی صفر، ضروری باشد. در جدول ۱ بررسی بر روی ساختمانهای صفر انرژی در پایگاههای علمی معتبری نظیر Sciencedirect، Taylor & Francis، Wiley و ASCE انجام شده است (۱۸-۱۰). با نگاهی جدول زیر می توان دریافت که هیچ تحقیقی در جهان برای بررسی و امکان سنجی و شبیه سازی ساختمان انرژی صفر در اقلیم سرد و نیمه خشک با استفاده از نرم افزارهای Meteonorm، PVsyst، EcotectAnalysis و DesignBuilder یافت نشد. در این مقاله، یک مطالعه موردی در فاز طراحی، برای انتخاب بهترین جهت ساخت و شبیه سازی کامپیوتری در منطقه سرد و نیمه خشک شهر مشهد با استفاده از نرم افزارهای ECOTECT و DesignBuilder با در نظر گرفتن تمامی چهارچوب های موردنیاز انتخاب شده است. برخی مطالعات برای بررسی بهره-وری انرژی از یک نرم‌افزار در تمامی مراحل ترسیم و تجزیه-تحلیل و شبیه‌سازی گرمایی استفاده می‌کنند و این خود احتمال خطا را افزایش می‌دهد. در این مطالعه با بررسی نقاط قوت و ضعف نرم‌افزارها، در هر مرحله یکی از قوی‌ترین نرم-افزارها به کار گرفته شده است. برای کاهش خطای ترسیم و حجم‌سازی از نرم‌افزار AutoCAD در مرحله ترسیم استفاده شده است. برای تجزیه و تحلیل داده‌های اقلیمی ابزار Weather tool در نرم‌افزار Ecotect به کار گرفته می‌شود. برای شبیه‌سازی و تحلیل دینامیکی گرمایی ساختمان از نرم-افزار DesignBuilder و برای طراحی و برآورد انرژی تجدیدپذیر استحصالی از نرم‌افزار PVsyst استفاده می‌شود.

جدول ۱- مطالعات پیشین در مورد ساختمان انرژی صفر (۱۰-۱۸)

Table 1. Previous studies on zero energy building

نویسندگان	تمرکز مقاله	روش تحقیق	دست‌آوردهای مقاله	سال انتشار
Beccali	ارزیابی انرژی و محیط زیستی و هزینه‌ای مجموعه ای از استراتژی-های طراحی غیرفعال، برای تکمیل یک ساختمان به هدف نزدیکی به ساختمان صفر انرژی	- تبیین چارچوب‌هایی برای تدوین الزامات آئین‌نامه‌ای برای نیل به توسعه پایدار - استفاده از انرژی خورشیدی در سایت	با اتخاذ راه حل های تکنولوژیکی قابل دسترس، تقاضای انرژی اولیه و انتشارات گازCO2 مرتبط با ساختمان را تا ۴۰ درصد می‌توان کاهش داد.	۲۰۱۷
Charisi	نقش پوسته‌ی ساختمان در دستیابی به ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر (۲۰۱۷)	بررسی تاثیر پوسته خارجی، بازشوها و سایه‌ها در انرژی مصرفی	نتایج نشان می دهد ترکیب مناسب معیارهای صرفه‌جویی برای هر منطقه آب و هوایی می تواند موجب صرفه جویی در انرژی تا ۳۰ درصد شود.	۲۰۱۷
Albadry et al.	دستیابی به ساختمان‌های انرژی صفر خالص از ساختمان‌های موجود با استفاده از پانل‌های خورشیدی PV	-تجزیه و تحلیل الگوهای مصرف ساختمان‌های مسکونی موجود و ارزیابی دلایل ناکارامدی آن‌ها	-تبدیل یک ساختمان مسکونی موجود به nZEB نتیجه نهایی این تحقیق است.	۲۰۱۷
Zhou et al.	اجرای عملیاتی ساختمان انرژی صفر خالص؛ مطالعه موردی ساختمانی اداری در تیانجین چین	-شبیه‌سازی دینامیکی حرارتی با نرم‌افزار e-QUEST و تخمین انرژی مصرفی در فاز طراحی	با گذشت دو سال از عملیاتی شدن پروژه، تحقق اهداف nZEB را مشروط به شرایط زیر کرد: - به روزرسانی اطلاعات شبیه‌سازی در فازهای مختلف طراحی و تدقیق آن‌ها در نرم‌افزار	۲۰۱۶
Lizana et al.	پیشرفت در نگهداشت انرژی حرارتی مواد و برنامه های کاربردی آنها برای رسیدن به ساختمان‌های صفر انرژی: یک بررسی بحرانی	ذکر ضرورت‌های کاهش مصرف انرژی و کربن در بخش ساختمان	نتایج تحقیق نشان می‌دهد مشخصات شیمیایی و ترمودینامیکی مواد و مصالح برای افزایش بازدهی در نگهداشت بیشتر انرژی گرمایی مهمترین عوامل هستند.	۲۰۱۷
Li et al.	شبیه سازی و مقایسه بار گرمایش و سرمایش بین یک ساختمان صفر انرژی و ساختمان مشابه در منطقه-ی خیلی سرد	به کارگیری اصول ساختمان سبز نظیر تهویه مطبوع طبیعی، شیشه کم گسیل، بازیافت انرژی هوای خروجی و دیوار خورشیدی	نتیجه نشان می دهد که فناوری هوای خروجی هوای گرم و هوای تازه از طریق تونل و بازیافت انرژی می‌تواند بیش از ۷۲٪ بار تازه را کاهش دهد.	۲۰۱۵
Amani	بهره‌وری انرژی با استفاده از شبیه-سازی نرم‌افزاری اکوتکت در ساختمان مسکونی	مقایسه‌ی تطبیقی برای انتخاب مناسب‌ترین آتریوم در اقلیم گرم و خشک در راستای توسعه‌ی معماری پایدار	آتریوم چهار طرفه مناسب‌ترین نوع آتریوم در نگهداشت انرژی در آب‌وهوای گرم و خشک شهر کرمان است و میزان تابش به آن و انتقال و جذب انرژی بیشتری را به همراه دارد.	۲۰۱۷

Heravi et al.	عملکرد انرژی ساختمان: ارزیابی مقیاس‌های طراحی و ساخت‌وساز مربوط به بهره‌وری انرژی ساختمان در ایران	استفاده ازنظر کارشناسان برای انتخاب سیستم انرژی تجدیدپذیر (تکنیک مصاحبه فردی) و اعتبار سنجی مقیاس‌ها با شبیه‌سازی انرژی Design Builder	انرژی خورشیدی غیرفعال، قابل استفاده ترین سیستم انرژی تجدیدپذیر در ساختمان‌های ایران است.	۲۰۱۴
Cellura et al.	متعادل کردن انرژی‌های مختلف برای طراحی مجدد ساختمان‌های نزدیک به انرژی صفر مطالعه موردی یک ساختمان ایتالیایی	- شبیه‌سازی ساختمان مورد مطالعه با نام "خانه برگ" به عنوان اولین ساختمان نزدیک به انرژی صفر در ایتالیا با استفاده از اطلاعات واقعی و کنترل شده-ی ساخت و کالیبره کردن آن‌ها.	پیشنهاد چهارچوبی برای آنالیز تعاریف و قراردادهای مختلف و وزن دادن به فاکتورهای رسیدن به ساختمان انرژی صفر.	۲۰۱۵

روش تحقیق

بخش ساختمان با مصرف بیش از ۴۰ درصد کل انرژی تولید شده در کشور بیش ترین میزان مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است (۱۹). بنابراین حمایت از استفاده انرژی های زیست محیطی و توسعه ساختمانهای سبز و صفرانرژی به یک فعالیت مهم در ایران تبدیل شده است. مطالعه موردی یک ساختمان مسکونی یک طبقه به مساحت ۱۰۰ مترمربع با ۴ نفر ساکن در آب وهوای سرد و خشک شهر مشهد در شمال شرق ایران است. از لحاظ استاندارد مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، این واحد مسکونی در گروه ۲ قرار دارد به این معنی که الزام آن به صرفه جویی در مصرف انرژی در حد متوسط بوده و بنابراین طراحی آن بصورت انرژی صفر توجیه پذیر است (۲۰). یک مطالعه موردی برای انتخاب بهترین جهت ساخت و شبیه سازی کامپیوتری در منطقه سرد و نیمه خشک با استفاده از نرم افزارهای ECOTECT و DesignBuilder با در نظر گرفتن تمامی چهارچوب های مورد نیاز انتخاب شده است. تحقیق حاضر در سال ۱۳۹۶ صورت گرفته است. جدول۲ روند طراحی ساختمان صفر انرژی را نشان می دهد.

جدول ۲- مراحل طراحی ساختمان صفرانرژی

Table 2. Design stages of zero energy building

طراحی ساختمان صفر انرژی ZEB	متدهای طراحی غیرفعال	انتخاب جهت مناسب، انتخاب عایق مناسب، موقعیت پنجره‌ها، دیوارها، ایوان‌ها، سایبان‌ها و درخت، استفاده از پنجره‌های دوجداره با شیشه‌ای با ضریب انتشار کم، دیوار ترومب، بام سبز و سایه‌بان.
	متدهای طراحی فعال و تکنولوژی‌های تجدیدپذیر	سلول‌های فتوولتائیک خورشیدی، توربین‌های بادی، پیل سوختی ، آبگرمکن خورشیدی و پمپ‌های حرارتی.

این مطالعه در چهار مرحله انجام گرفته است. مرحله‌ی اول شامل جمع‌آوری داده‌ها و تحلیل سایت در طول گرم‌ترین ماه تابستان و سردترین ماه زمستان در آب وهوای سرد و نیمه-خشک است. داده‌های جمع‌آوری شده در دو گروه قرار دارند. دسته اول مجموعه‌ای از اطلاعات دمایی سالانه و دسته‌ی دوم لیستی از معرفی اجزای ساختمان شامل مشخصات مصالح و جزئیات اجرایی آن‌هاست. این داده‌ها برای شبیه‌سازی کامپیوتری به منظور تحلیل گرمایی مدل، بررسی عملکرد انرژی

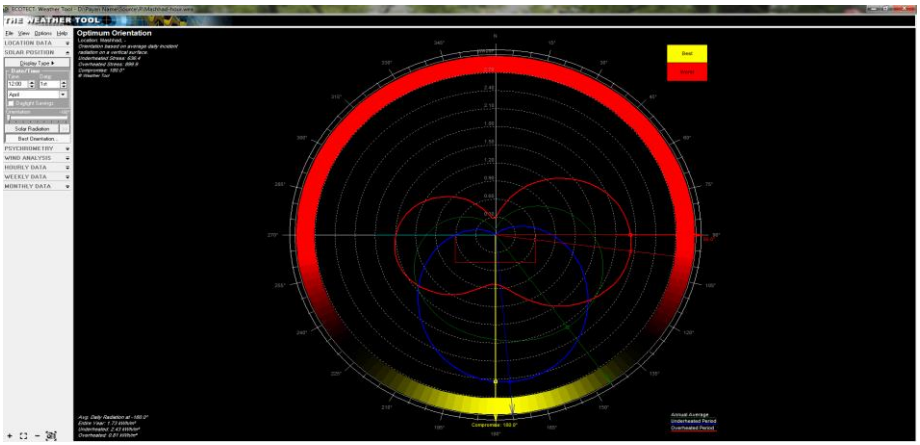
آن و طراحی سیستم فتوولتائیک مناسب در نرم‌افزارها، استفاده می‌شوند. مهم‌ترین اطلاعات تحلیل شده مربوط به جهت مناسب سازه برای استفاده حداکثری از خورشید، میزان انرژی موردنیاز سالانه ساختمان و میزان انرژی استحصالی از سیستم خورشیدی در آب‌وهوای سرد و نیمه‌خشک است. در مرحله دوم مدل کامپیوتری برای اعتبار بخشیدن به طراحی پیشنهادی با استفاده از داده‌های محاسبه شده، شبیه‌سازی می‌شوند. DesignBuilder یک نرم‌افزار گرافیکی شبیه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان است که حل مسئله آن توسط موتور قدرتمند "انرژی پلاس" انجام می‌شود. موتور شبیه‌سازی انرژی پلاس توسط بخش انرژی آمریکا در سال ۲۰۱۱ توسعه یافته و به عنوان یکی از معتبرترین نرم‌افزارهای مدل سازی انرژی شناخته شده است. اعتبار نرم‌افزار انرژی پلاس بر اساس استانداردهای Bestest و اشری۱۴ تایید شده است (۲۲،۲۱). نرم‌افزارهای شبیه‌سازی انرژی از قبیل eQuest، DesignBuilder و ECOTECT به طور گسترده‌ای برای مدل‌سازی عملکرد انرژی ساختمان‌ها استفاده می‌شوند (۲۳). برای طراحی سیستم انرژی تجدیدپذیر از نرم‌افزار PVsyst استفاده می‌شود. PVsyst نرم افزاری جامع و کاربردی در زمینه‌ی کار با سیستم‌های خورشیدی می‌باشد که شامل مجموعه ابزارهای لازم برای مطالعه و تحقیق، سایزبندی، شبیه-سازی و آنالیز داده‌های سیستم‌های PV است. این نرم‌افزار که به طور مستمر در دانشگاه ژنو سوئیس توسعه می‌یابد، از مهم-ترین و پرکاربردترین نرم‌افزارها در زمینه طراحی سیستم‌های خورشیدی می باشد. در مرحله سوم، 2 ساختمان یکی با رعایت اصول طراحی پایدار (دیوار ترامب، انتخاب جهت بهینه، سایه-بان، انتخاب عایق مناسب) و یک نمونه بدون این اصول، تحت شرایط مختلف برای مقایسه عملکرد انرژی و محیطی آن‌ها، طراحی و شبیه‌سازی می‌شوند. همچنین در این مرحله، سیستم سلول خورشیدی (فتوولتائیک) برای کسب هر چه بیشتر انرژی تجدیدپذیر طراحی می‌شود. در مرحله نهایی یک مقایسه تطبیقی برای مشخص کردن میزان کاهش انرژی با رعایت اصول طراحی پایدار، و همچنین امکان‌سنجی برای ساخت ساختمان انرژی صفر در اقلیم سرد و نیمه‌خشک انجام می‌شود.

از آن‌جا که منظور از ساختمان انرژی صفر، نوع متصل به شبکه آن است، چنانچه در چند روز ابری متوالی انرژی استحصالی کمتر از حد نیاز شود، ساختمان، انرژی خود را از شبکه سراسری برق تامین می‌کند و در روزهایی که سیستم مازاد انرژی داشت، این انرژی به شبکه تزریق شده و بنابراین امکان مقایسه انرژی سالانه مورد نیاز سازه و انرژی استحصالی سیستم انرژی تجدیدپذیر وجود دارد.

داده های آب و هوایی

شهر مشهد در ارتفاع ۹۹۰ متر از سطح دریا در عرض جغرافیایی ۳۶/۳ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۵۹/۶ درجه شرقی واقع شده است (GMT +3: 50). این شهر از لحاظ توپوگرافی متشکل از دو عارضه‌ی کوهستان و دشت است؛ بر طبق طبقه‌بندی‌های اقلیمی، مشهد در اقلیم سرد و نیمه‌خشک واقع شده است (۲۴). میانگین دمای سالانه مشهد ۱۵/۳ درجه سانتی گراد و مقدار بارش سالانه‌ی آن ۲۱۷/۳۸ میلی‌متر است. گرم‌ترین ماه سال تیر ماه با متوسط ۲۷/۴ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه، دی ماه با متوسط حدود ۳/۳ درجه سانتی گراد است (۲۵). داده‌های آب‌وهوایی ۱۲ سال مشهد (۲۰۱۴-۲۰۰۲) از ایستگاه هواشناسی منطقه مطابق با توصیه‌نامه آن ایستگاه به عنوان شاخص سالانه جمع‌آوری شده است. این مجموعه از اطلاعات آب وهوایی در مدل‌سازی گرمایی برای پیش‌بینی مصرف سالانه انرژی و جهت بهینه ساختمان در شرایط مختلف آب وهوایی استفاده شده است. این داده‌ها ضمن مقایسه با فایل خروجی از پایگاه داده‌ای نرم‌افزار Meteonorm در ابزار Weathertool از نرم‌افزار ECOTECT وارد شده و به صورت نتایج تحلیل‌شده نمایش داده شده است [۲۶]. این ابزار می‌تواند میزان دریافت تابش خورشیدی بر روی یک صفحه عمودی به مساحت یک متر مربع را در دوره‌ی گرم، سرد و تمام سال محاسبه کرده و مناسب‌ترین و نامناسب‌ترین جهات ساختمان را از نظر دریافت تابش به دست آورد. ماه‌های سرد سال برای شهر مشهد شامل دسامبر، ژانویه و فوریه، و ماه‌های گرم سال ژوئن، جولای و آگوست است. شکل ۱ نقاله‌ی خورشیدی را برای بررسی میزان تابش جهات مختلف قابل مشاهده است. طیف زرد نشان دهنده دامنه بهینه استقرار

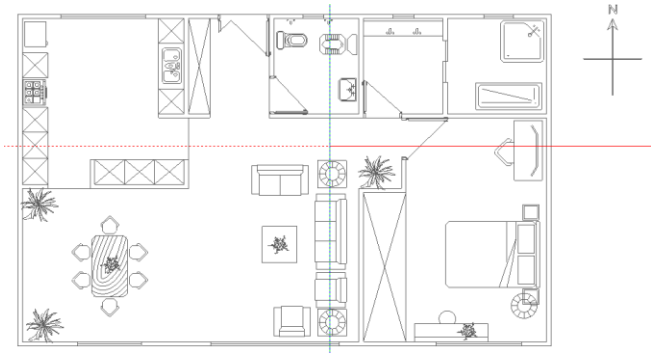
ساختمان و طیف قرمز نشان‌دهنده دامنه نامناسب استقرار ساختمان از نظر تابش خورشیدی است.



شکل ۱- نقاله خورشیدی مناسب‌ترین و نامناسب‌ترین جهات ساختمان

Figure 1. The most appropriate and inappropriate of solar conveyer of building directions

همچنین بادهای غالب شهر مشهد از جهت شرق به غرب می-باشد و بنابراین طول اضلاع ساختمان در جهت شرق به غرب تا حد ممکن باید کم باشد تا ساختمان در زمستان در معرض کم-ترین اثر بادهای نامطلوب قرار گیرد. پلان ساختمان در جهتی طراحی می‌شود که در تابستان در معرض بادهای خنک شمالی و در زمستان مصون از بادهای سرد باشد. پلان ساختمان برای استفاده حداکثری از گرمایش خورشیدی و روشنایی طبیعی دارای کشیدگی شرقی - غربی بوده و فضاهای پرکاربرد در ضلع جنوبی و فضاهای کم‌کاربرد در ضلع شمالی آن جای دارند (شکل ۲)



شکل ۲- پلان ساختمان مدل شده

Figure 2. Building plan

فایل اقلیمی یک ساعته برای شهر مشهد با فرمت epw بر اساس داده‌های اقلیمی سال‌های ۲۰۱۰ - ۱۹۹۱ با استفاده از پایگاه داده‌ی نرم‌افزار Meteonorm و بر اساس مشخصات جغرافیایی شهر مشهد در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول۳- مشخصات جغرافیایی مشهد

Table 3. Geographic profile of Mashhad

Latitude	36 degrees 30 minutes North
Longitude	60 degrees 95 minutes East
Altitude	meters 990
Time zone	GMT +3: 50

مشخصات مدل و داده‌های نرم‌افزاری

شبیه‌سازی برای یک ساختمان مسکونی به مساحت ۱۰۰ مترمربع و ارتفاع ۳ متر، انجام شده است (جدول ۴).

جدول ۴- مشخصات مصالح المان‌ها در نرم‌افزار دیزاین بیلدر

Table 4. Specification of material elements in the DesignerBuilder software

المان‌ها	مشخصات مصالح	ضریب انتقال حرارت (kW/m2)
دیوارهای خارجی	100mm Brickwork outer + 79mm Extruded polystyrene + 100mm Concrete block	۰/۳۵
سقف	19mm Asphalt + 13mm fibreboard + 122mm Extruded polystyrene	۰/۲۵
کف	30mm Timber flooring + 70mm Floor screed + 100mm Cast concrete +59.6 mm Formaldehyde foam	۰/۴۶
پنجره‌ها	Tripple 3 layers + Argon 13mm (Window gas type)	۱/۶۳۵
در ورودی	35mm Wooden door	۲/۸۲۳

بر اساس استفاده مسکونی، تعداد چهار نفر به صورت تمام وقت در تمام روزهای سال در نظر گرفته شده است و امکان استفاده از نور طبیعی در جهت های شمال، جنوب و شرق فراهم است.

جدول ۵ داده‌های ورودی به نرم‌افزار DesignBuilder را نشان می‌دهد.

جدول ۵- داده‌های ورودی به نرم‌افزار دیزاین بیلدر

Table 5. Input data to DesignBuilder software

تعداد ساکن	4 نفر	ضریب عملکرد سیستم سرمایش.Cop	۰/۴۵
کاربری	مسکونی	ضریب عملکرد سیستم گرمایش Cop.	۰/۸۵
ابعاد ساختمان	۳*۱۲,۵*۸ متر	ضریب انتقال حرارت دیوار خارجی	۰/۳۵ kW/m2
کشیدگی پلان	شرقی - غربی	ضریب انتقال حرارت سقف	۰/۲۵ kW/m2
جهت ساختمان و پنل‌ها و کلکتور	جنوب	ضریب انتقال حرارت کف	۰/۴۶ kW/m2
نسبت مساحت پنجره به دیوار WWR	٪ ۲۰	ضریب انتقال حرارت پنجره	۱/۶۳۵ kW/m2
میزان روشنایی	۳۰۰ Lux	ضریب انتقال حرارت در	۲/۸۲۳ kW/m2
دمای تنظیم گرمایش	۲۰ °C	میزان نفوذ هوا	۱/۸ AC/H
دمای تنظیم سرمایش	۲۶ °C	دمای تنظیم آبگرمکن	۶۵ °C

برای بررسی و مقایسه میزان انرژی مصرفی سالانه‌ی ساختمان مدل‌سازی شده با ساختمانی که در آن اصول طراحی پایدار رعایت نشده است، روند شبیه‌سازی را مجددا در یک ساختمان مشابه از نظر تعداد ساکن و مساحت و نواحی گرمایی، بدون در نظر گرفتن زاویه مناسب و سایر اصول و سیستم‌های طراحی غیرفعال انجام گرفته است جدول (۶ و۷).

جدول ۶- مشخصات مصالح المان‌ها در نرم‌افزار دیزاین بیلدر برای ساختمان معمولی

Table 6. Specification of material elements in the DesignerBuilder software for usual building

المان‌ها	مشخصات مصالح	ضریب انتقال حرارت (**kW/m2**)
دیوارهای خارجی	100mm Brickwork outer + 200mm Concrete block	۱/۸۰
سقف	20mm Asphalt + 80mm Slab Concrete	۲/۲۵
کف	200mm Cast concrete	۲/۱۲
پنجره‌ها	Double 2layers + Argon 7mm (Window gas type)	۲/۴۱۲
در ورودی	35mm Wooden door	۲/۸۲۳

جدول ۷- داده‌های ورودی به نرم‌افزار دیزاین بیلدر برای ساختمان معمولی

Table 7. Input data to DesignBuilder software for usual building

تعداد ساکن	**4 نفر**	**ضریب عملکرد سیستم سرمایش Cop.**	**۰/۴۵**
کاربری	مسکونی	ضریب عملکرد سیستم گرمایش Cop.	۰/۸۵
ابعاد ساختمان	۳*۱۲,۵*۸ متر	ضریب انتقال حرارت دیوار خارجی	۱/۸۰ kW/m2
کشیدگی پلان	شمالی- جنوبی	ضریب انتقال حرارت سقف	۲/۲۵ kW/m2
جهت ساختمان و پنل‌ها و کلکتور	شمال شرقی	ضریب انتقال حرارت کف	۲/۱۲ kW/m2
نسبت مساحت پنجره به دیوار WWR	٪ ۳۰	ضریب انتقال حرارت پنجره	۲/۴۱۲ kW/m2
میزان روشنایی	۳۰۰ Lux	ضریب انتقال حرارت در	۲/۸۲۳ kW/m2
دمای تنظیم گرمایش	۲۰ °C	میزان نفوذ هوا	۱/۸ AC/H
دمای تنظیم سرمایش	۲۶ °C	دمای تنظیم آبگرمکن	۶۵ °C

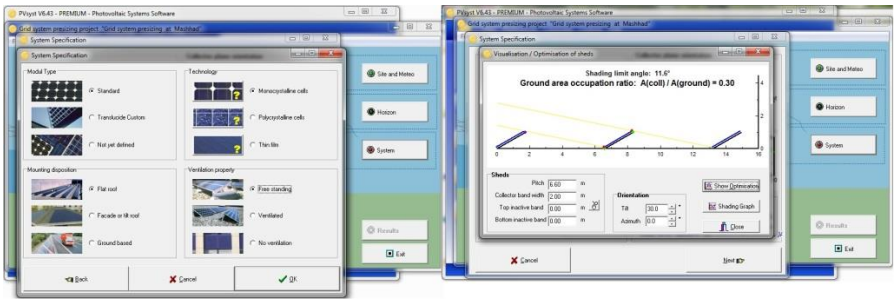
داده‌های ورودی به نرم افزار PVsyst برای طراحی سیستم فتوولتائیک خورشیدی مشخص شده است (جدول ۸). زاویه شیب بهینه برای پنل‌ها در مشهد ۳۰ درجه است (۲۷).

جدول ۸- داده‌های ورودی به نرم‌افزار PVsyst

Table 8. Input data to PVsyst software

نوع پنل‌ها	Monocrystalline	جریان مدار کوتاه	۵/۶۵ آمپر
عرض آرایه‌ی PV	۲ متر	ولتاژ مدار باز	۵۲/۳ ولت
توان اسمی پنل‌ها	۱۵ کیلووات	راندمان پنل	٪۱۷/۴۵
تعداد پنل‌ها	12 عدد	گام استقرار	۶٫۶ متر
توان ارزیابی	۲۲۰ وات	زاویه‌ی شیب	۳۰° درجه

برای طراحی سیستم خورشیدی در PVsyst، ابتدا فایل اقلیمی با پسوند dat، خروجی از پایگاه داده نرم‌افزار Meteonorm فراخوانی می‌شود. شکل ۳ اطلاعات ورودی برای طراحی سیستم فتوولتائیک در PVsyst را نشان می‌دهد. این اطلاعات شامل نوع سلول‌های خورشیدی، نوع آرایه سلول-های خورشیدی، نوع ماژول خورشیدی، گام استقرار برای همپوشانی سایه، زاویه‌ی شیب پنل‌ها، عرض پنل‌ها، تعداد و توان اسمی پنل‌ها می‌باشد.

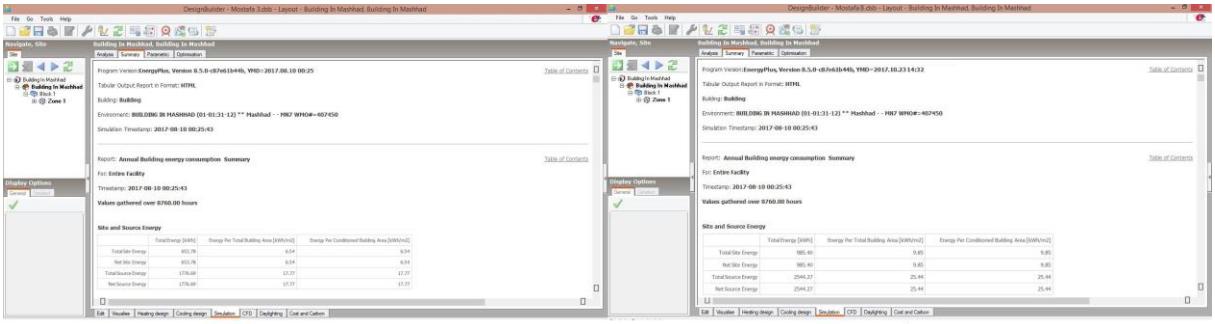


شکل ۳- اطلاعات ورودی برای طراحی سیستم فتوولتائیک در PVsyst

Figure 3. Input information for designing the photovoltaic system in PVsyst

شبیه‌سازی نرم‌افزار

در این مطالعه، شبیه‌سازی در نرم‌افزار DesignBuilder انجام شده است. این نرم‌افزار قادر به محاسبه انرژی مصرفی در بازه‌های زمانی کمتر از یک ساعت بوده و قادر است فضای یک ساختمان را که از چندین منطقه حرارتی، دمایی و با شرایط تهویه متفاوت تشکیل شده است، شبیه‌سازی نماید و از این رو برای محاسبه میزان انرژی مصرفی ساختمان مناسب است (۲۱). بنابراین DesignBuilder به عنوان نرم‌افزار شبیه‌سازی این تحقیق انتخاب شد. همچنین برای طراحی سیستم انرژی تجدیدپذیر از نرم‌افزار PVsyst استفاده شده است. نتایج شبیه‌سازی با استفاده از ابزار DesignBuilder Results Viewe در جداولی مشتمل بر میزان انرژی سالیانه‌ی مورد نیاز سازه، میزان انرژی مورد نیاز سازه در هر مترمربع، میزان مصرف کربن سازه در طول چرخه حیات سازه، میزان تولید سالیانه‌ی گازهای گلخانه‌ای، برآورد میزان بازیافت و پسماند سازه‌ای در دوره‌ی عمر مفید سازه در قالب یک فایل html تهیه شد. میزان انرژی مورد نیاز مدلی را که با رعایت اصول طراحی پایدار و معماری غیرفعال (انتخاب جهت بهینه، دیوار ترامب، سایه‌بان، انتخاب عایق مناسب) شبیه‌سازی شده است (شکل ۴a).

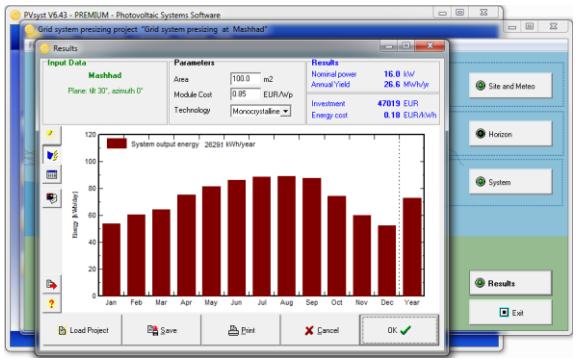


a b

شکل ۴- نتایج شبیه‌سازی ساختمان در نرم‌افزار دیزاین بیلدر: گزارش انرژی سالانه مصرفی ساختمان (a) و بدون معماری غیر فعال (b)

Figure 4. Simulation results in DesignBuilder: Annual report of building Energy Consumption (a); No deactivated architecture (b)

مقدار انرژی مورد نیاز برای هر مترمربع از این ساختمان برابر ۶/۵۴ kWh/m^2 است و مجموع انرژی سالیانه مورد نیاز این ساختمان با در نظر گرفتن تجهزات برقی شامل سیستم روشنایی LED، کامپیوتر، پمپ، چیلر و انواع تجهیزات معمول آشپزخانه و اداری، برای چهار نفر ساکن این ساختمان برابر با ۱۷۷۶/۶۹ kWh/m^2 است (شکل 4a).میزان انرژی مورد نیاز مدلی که بدون رعایت اصول طراحی پایدار و معماری غیرفعال (انتخاب جهت بهینه، دیوار ترامب، سایه‌بان، انتخاب عایق مناسب) شبیه‌سازی شده است (شکل 4b). انرژی سالیانه مورد نیاز یک ساختمان معمولی بدون رعایت اصول معماری غیرفعال، با در نظر گرفتن تجهزات برقی شامل سیستم روشنایی رشته‌ای، کامپیوتر، پمپ، چیلر و انواع تجهیزات معمول آشپزخانه و اداری، برای چهار نفر ساکن این ساختمان برابر ۲۵۴۴/۳ kWh و مقدار انرژی مورد نیاز برای هر مترمربع از این ساختمان برابر ۹/۸۵ kWh/m۲ است (شکل 4b). محور افقی ماه‌های سال و محور عمودی مقدار متوسط انرژی استحصالی را برای هر ماه برحسب kWh/day می باشد (شکل 5). مطابق این نمودار بیشترین انرژی در ماه‌های ژوئن، جولای، آگوست و سپتامبر و کم‌ترین مقدار آن در ماه‌های نوامبر، دسامبر، ژانویه و فوریه تولید می‌شود. مقایسه‌ی این میزان تولید انرژی با متوسط نیاز انرژی ماهانه نشان می‌دهد در ماههای جولای و آگوست مازاد انرژی داریم که به شبکه توزیع برق تزریق می‌شود و در ماه‌های دسامبر و ژانویه کمبود انرژی داریم که بایست از طریق شبکه توزیع برق، تامین شود. میزان انرژی استحصالی سالانه این سیستم خورشیدی kWh/year ۲۶۲۹/۱ است (شکل ۵).



شکل ۵- نمودار تولید انرژی سیستم فتوولتائیک به تفکیک ماه در PVsyst

Figure 5. Energy production diagram of photovoltaic system by month in PVsyst

تحلیل مقایسه‌ای

نتایج تحلیل گرمایی ساختمان با رعایت اصول پایداری و بدون رعایت این اصول، و میزان انرژی استحصالی سالانه‌ی سیستم فتوولتائیک مشخص شده است (جدول ۹). یکی از دلایل اتلاف حرارت در ساختمان، رفتارها و عادات بعضا نادرست کاربران است. باز کردن پنجره برای بازیابی آسایش حرارتی به علت بیش‌گرمایش در فصل سرد و بالا رفتن رطوبت در فصل گرم و استفاده از روشنایی مصنوعی به رغم وجود روشنایی طبیعی کافی به علت طراحی نادرست فضا از این عادات می‌باشد. با توجه به کیفی بودن این رفتار و وجود خطاهای مدل‌سازی، یک ضریب اطمینان ۱/۴ برای بالا بردن امنیت انرژی در ساختمان مدل‌سازی شده در نظر گرفته شده است.

جدول ۹- مقایسه‌ی نتایج نرم‌افزارها

Table 9. Comparison of software results

انرژی	مجموع انرژی سالیانه
مقدار انرژی مورد نیاز ساختمان بدون رعایت اصول پایداری	۲۵۴۴/۳ kWh
مقدار انرژی مورد نیاز ساختمان با رعایت اصول پایداری	۱۷۷۷ kWh
مقدار انرژی مورد نیاز با ساختمان با احتساب ضریب اطمینان ۱/۴	۲۴۸۷/۸ kWh
میزان انرژی استحصالی سیستم فتوولتائیک	۲۶۲۹/۱ kWh

از آن‌جا که ساختمان انرژی صفر از نوع متصل به شبکه است، چنانچه در چند روز ابری متوالی انرژی استحصالی کمتر از حد نیاز شود، ساختمان انرژی خود را از شبکه سراسری برق تامین می‌کند و در روزهایی که سیستم مازاد انرژی داشت، این انرژی به شبکه تزریق می‌شود و بنابراین امکان مقایسه انرژی سالانه مورد نیاز سازه و انرژی استحصالی سیستم انرژی تجدیدپذیر وجود دارد؛ با توجه به این‌که میزان انرژی استحصالی سیستم فتوولتائیک ۲۶۲۹/۱ kWh بیشتر از انرژی مورد نیاز سازه با احتساب ضریب اطمینان ۲۴۸۷/۸ kWh است، می‌توان نتیجه گرفت ساخت ساختمان انرژی صفر در اقلیم سرد و نیمه‌خشک مشهد امکان‌پذیر است، اگرچه نیاز به تحلیل اقتصادی دارد. در بخش قبل، تحلیل ECOTECT جهت مناسب سازه در این منطقه را راستای شمال- جنوب به طرف جنوب مشخص کرد. رعایت اصول معماری پایدار و غیرفعال نظیر استفاده از دیوار ترامب، سایه‌بان و درختان سوزنی‌برگ در جبهه بادگیر پلان و انتخاب جهت بهینه سازه برای استفاده حداکثری از خورشید با توجه به بادهای اطراف آن، باعث کاهش حدود ۳۰٪ انرژی در ساختمان مورد مطالعه شد و این مقدار را از ۲۵۴۴/۳ kWh در سال به ۱۷۷۷ kWh در سال کاهش داد.

نتیجه گیری

در این پژوهش، یک مطالعه موردی در فاز طراحی، برای انتخاب بهترین جهت ساخت و شبیه سازی کامپیوتری در منطقه سرد و نیمه خشک با استفاده از نرم افزارهای ECOTECT و DesignBuilder با در نظر گرفتن تمامی چهارچوب های موردنیاز انتخاب شده است. در این مطالعه با بررسی نقاط قوت و ضعف نرم‌افزارها، در هر مرحله یکی از قوی‌ترین نرم‌افزارها به کار گرفته شده است. برای کاهش خطای ترسیم و حجم‌سازی از نرم‌افزار AutoCAD در مرحله ترسیم، و برای تجزیه و تحلیل داده‌های اقلیمی ابزار Weather tool در نرم‌افزار Ecotect به کار گرفته شده است. برای شبیه‌سازی و تحلیل دینامیکی گرمایی ساختمان از نرم‌افزار DesignBuilder و برای طراحی و برآورد انرژی تجدیدپذیر استحصالی از نرم‌افزار PVsyst استفاده شد. از آن‌جا که بسیاری از شهرهای ایران دارای آب وهوای سرد و نیمه‌خشک هستند، مقدار مصرف انرژی این مناطق قابل توجه است. در این مطالعه با هدف بررسی، امکان‌سنجی و شبیه‌سازی ساختمان انرژی صفر در اقلیم سرد و

نیمه‌خشک شهر مشهد، نرم‌افزار Meteonorm و ابزار Weathertool برای تجزیه و تحلیل داده‌های آب‌وهوایی منطقه مورد مطالعه به کار گرفته شده است. برای ترسیم و حجم‌سازی ساختمان مورد مطالعه از نرم‌افزارهای AutoCAD و ECOTECT، برای شبیه‌سازی گرمایی از نرم‌افزار DesignBuilder و برای طراحی سیستم انرژی تجدیدپذیر از نرم‌افزار PVsyst استفاده شده است. نتایج تحلیل‌های انجام شده با این مجموعه نرم‌افزار، انرژی مورد نیاز سالانه یک ساختمان مسکونی به مساحت 100 مترمربع و ارتفاع ۳ متر با ۴ نفر ساکن، که با رعایت اصول طراحی پایدار و معماری غیرفعال (دیوار ترامب، انتخاب جهت بهینه، سایه‌بان، انتخاب عایق مناسب) در آب‌وهوای سرد و نیمه‌خشک شبیه‌سازی شده را ۱۷۷۷ kWh نشان می‌دهد؛ به منظور چشم‌پوشی از خطاهای مدل‌سازی، با در نظر گرفتن ضریب اطمینان ۱/۴، این انرژی ۲۴۸۷/۸ kWh برآورد شده و متناسب با آن، سیستم انرژی تجدیدپذیر فتوولتائیک با ظرفیت تولید ۲۶۲۹/۱ kWh برای این ساختمان طراحی شده است. با مقایسه‌ی تطبیقی این اعداد می‌توان نتیجه گرفت ساخت ساختمان انرژی صفر در اقلیم سرد و نیمه‌خشک مشهد امکان‌پذیر است. رعایت اصول معماری پایدار و غیرفعال باعث کاهش حدود ۳۰٪ انرژی در ساختمان مورد مطالعه شد و این مقدار را از ۲۵۴۴/۳ kWh در سال به ۱۷۷۷ kWh در سال کاهش داد که برای رسیدن به ساخت پایدار و سازگار با محیط‌زیست، گامی موثر به حساب می‌آید.

Reference

1. Sadeghi, F.,2016. Green architecture and advanced materials and technologies, ۱st. Edition, Osman, A., Firs and Last Pub: Tehran. (In Persian)
2. IPCC., 2016. Intergovernmental Panel on Climate Change, see information in:Http:www.ipcc.ch
3. Eshraghi, J., Narjabadifam, N., Mirkhani., N., Khosroshahi, S. S., and Ashjaee., M., 2014. A comprehensive feasibility study of applying solar energy to design a zero energy building for a typical home in Tehran. Energy and Buildings, Vol. 72, pp.329-338.
4. GES., 2017. Global Energy Statistical Yearbook, see information in: www.https://yearbook.enerdata.net/electricity-domesticconsumption-data-by-region.html#wind-solar-shareelectricity-production.html.
5. Islamic Consultative Parliament Research Center. www.rc.majlis.ir .2017. (In Persian)
6. Wang, L., Gwilliam, J., and Jones, Ph., 2009. Case study of zero energy house design in UK, Journal of Energy and Building, Vol. 41, No.11, pp.1215-1222.
7. Arbabian, H., 2016. Optimize energy consumption in buildings. 3st. National Conference in Energy, Departmen of Built Environment, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran. (In Persian)
8. Osmani, M., and O'Reilly, A., Feasibility of zero carbon homes in England by A house builder's perspective," Building and Environment, Vol. 44, pp. 1924 -1917.
9. Ghobadian, V., and Feyz M. 2010. Environmental design theoretical and applied principles of energy use in building. Watson and Kent., 1st. Edition, University of Tehran Pub., Tehran. (In Persian)
10. Ferrari, S., and Beccali, M., 2017. Energy-environmental and cost assessment of a set of strategies for retrofitting a public building toward nearly zero-energy building target," Sustainable Cities and Society , Vol. 32, pp. 226-234.

11. Charisi, S., 2017. The role of the building envelope in achieving nearly-zero energy buildings (nZEBs). International Conference on Sustainable Synergies from Buildings to the Urban Scale, Procedia Environmental Sciences 38, pp.115 – 120.
12. Albadry, S., Tarabieh, Kh., and Sewilam, H., 2017. Achieving net zero-energy buildings through retrofitting existing residential buildings using PV panels, International Conference – Alternative and Renewable Energy Quest, AREQ, 1-3 February, Spain.
13. Zhou, Zh., Feng, L., Zhang, Sh., Wang, Ch., Chen, G., Du, T., Li, Y., and Zuo, J., 2016. The operational performance of net zero energy building: a study in China. Applied Energy, Vol. 177, PP. 716-728.
14. Lizana, J., Chacartegui, R., Barrios-Padura, A., and Valverde, J. M., 2017. Advances in thermal energy storage materials and their applications towards zero energy buildings: a critical review. Applied Energy, Vol. 203, pp. 2019-239.
15. Li, H., Zhang, R., Feng, G., Huang, K., and Cao, C., 2015. Simulation and comparison of heating and cooling load between a zero-energy building and a common building in severe cold region. ۹th International Symposium on Heating, Ventilation and Air Conditioning (ISHVAC) and the 3rd International Conference on Building Energy and Environment (COBEE).
16. Amani, N., 2017. Energy efficiency using the simulation software of atrium thermal environment in residential building: a case study. Advances in Building Energy Research, Taylor & Francis, https://doi.org/10.1080/17512549.2017.1354781
17. Heravi, G., and Qaemi, M., 2014. Energy performance of buildings: the evaluation of design and construction measures concerning building energy efficiency in Iran. J.Energy and Buildings, Vol. 75, pp. 456–464.
18. Cellura, M., Guarino, F., Longo, S., Mistretta, M., 2015. Different energy balances for the redesign of nearly net zero energy buildings: an Italian case study. Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 45, pp. 100-112.
19. Institute of Standards and Industrial Research of Iran, ISIRI-ISO, 2011. Energy Management Systems – Requirements With Guidance For Use. 1st. Edition, Identical with ISO 50001.
20. National Building Regulations of Iran, Section 19., 2010. Energy saving. Iran Developmetn Pub., Tehran. (In Persian)
21. Zomorodian, Z., and Tahsildoost, M., 2015. Validation of energy simulation software in building with experimental and comparative approach. Iranian Journal of Energy, Vol. 18, No.4. (In Persian)
22. Naghdalizadeh, Sh., and Heybati, M.R., 2015. The feasibility study of building design with zero energy consumption in Iran, 7th National Conference on Renewable and Efficient Energy, IRIB International Conference Center, Tehran. (In Persian)
23. Ham, Y., Golparvar-Fard, M., 2013. Epar: energy performance augmented reality models for identification of building energy performance deviations between actual measurements and simulation results.

Energy and Buildings, Vol.63, PP. 15–28.

24. Kasmaei, M., 2006. Climate and Architecture, Soil Pub., Tehran. pp.200-238. (In Persian)
25. Climate. 2016. Average weather of Iran, available at: http://www.iran.climatemps.com/
26. Sabet Dizavandi, L., 2017. Analysis and prediction of time variations of temperature and rainfall in Mashhad, MSc Thesis, Islamic Azad University, Science and Research Branch, Tehran. (In Persian)
27. Taheri, Z., Abbaspoor, M.H., Tabasizadeh, M., Abootorabi, H., 2013. Determine the slope and direction of installation of solar systems in Mashhad, 2st. National Conference on New and Clean Energy, Hamedan, Iran. (In Persian)