

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^{*۱}

nimaamani@iauc.ac.ir

مصطفی مقدس مشهد^۲

تاریخ پذیرش: ۹۷/۸/۲۳

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۳۰

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 و هوای سرد و خشک شهر مشهد در شمال شرق ایران است. برای شبیه سازی گرمایی، اطلاعات آب و هوایی (دمای هوا، ساعت آفتابی، باد، بارش و تابش ساعتی خورشید) منطقه مورد مطالعه از ایستگاه هواشناسی منطقه و پایگاه داده های آب و هوایی 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 در اقلیم 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، فتوولتائیک.

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

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

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

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, Wiley, Taylor & Francis 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 EcotectAnalysis, Pvsyst, Meteonorm 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 نرم افزار در تمامی مراحل ترسیم و تجزیه-تحلیل و شبیه سازی گرمایی استفاده می کنند و این خود احتمال خطا را افزایش می دهد. در این مطالعه با بررسی نقاط قوت و ضعف نرم افزارها، در هر مرحله یکی از قوی ترین نرم-افزارها به کار گرفته شده است. برای کاهش خطای ترسیم و حجم سازی از نرم افزار AutoCAD در مرحله ترسیم استفاده شده است. برای تجزیه و تحلیل داده های اقلیمی ابزار Weather tool در نرم افزار Ecotect به کار گرفته می شود. برای شبیه سازی و تحلیل دینامیکی گرمایی ساختمان از نرم-افزار DesignBuilder و برای طراحی و برآورد انرژی تجدیدپذیر استحصالی از نرم افزار Pvsyst استفاده می شود.

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 سهم 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 (۴، ۵). 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 در کاهش 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 می سازد 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 (۷، ۸). در آمریکا نیز به موجب قانون تصویب شده در سال ۲۰۰۷ به منظور حمایت از ایجاد

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

Table 1. Previous studies on zero energy building

سال انتشار	دست آوردهای مقاله	روش تحقیق	تمرکز مقاله	نویسندگان
۲۰۱۷	با اتخاذ راه حل های تکنولوژیکی قابل دسترس، تقاضای انرژی اولیه و انتشارات گاز CO ₂ مرتبط با ساختمان را تا ۴۰ درصد می توان کاهش داد.	- تبیین چارچوب هایی برای تدوین الزامات آئین نامه ای برای نیل به توسعه پایدار - استفاده از انرژی خورشیدی در سایت	ارزیابی انرژی و محیط زیستی و هزینه های مجموعه ای از استراتژی های طراحی غیرفعال، برای تکمیل یک ساختمان به هدف نزدیکی به ساختمان صفر انرژی	Beccali
۲۰۱۷	نتایج نشان می دهد ترکیب مناسب معیارهای صرفه جویی برای هر منطقه آب و هوایی می تواند موجب صرفه جویی در انرژی تا ۳۰ درصد شود.	بررسی تاثیر پوسته خارجی، بازشوها و سایه ها در انرژی مصرفی	نقش پوسته ای ساختمان در دستیابی به ساختمان های انرژی نزدیک به صفر (۲۰۱۷)	Charisi
۲۰۱۷	-تبدیل یک ساختمان مسکونی موجود به nZEB نتیجه نهایی این تحقیق است.	-تجزیه و تحلیل الگوهای مصرف ساختمان های مسکونی موجود و ارزیابی دلایل ناکارآمدی آنها	دستیابی به ساختمان های انرژی صفر خالص از ساختمان های موجود با استفاده از پانل های خورشیدی PV	Albadry et al.
۲۰۱۶	با گذشت دو سال از عملیاتی شدن پروژه، تحقق اهداف nZEB را مشروط به شرایط زیر کرد: - به روزرسانی اطلاعات شبیه سازی در فازهای مختلف طراحی و تدقیق آنها در نرم افزار	-شبیه سازی دینامیکی حرارتی با نرم افزار e-QUEST و تخمین انرژی مصرفی در فاز طراحی	اجرای عملیاتی ساختمان انرژی صفر خالص؛ مطالعه موردی ساختمانی اداری در تیانجین چین	Zhou et al.
۲۰۱۷	نتایج تحقیق نشان می دهد مشخصات شیمیایی و ترمودینامیکی مواد و مصالح برای افزایش بازدهی در نگهداشت بیشتر انرژی گرمایی مهمترین عوامل هستند.	ذکر ضرورت های کاهش مصرف انرژی و کربن در بخش ساختمان	پیشرفت در نگهداشت انرژی حرارتی مواد و برنامه های کاربردی آنها برای رسیدن به ساختمان های صفر انرژی: یک بررسی بحرانی	Lizana et al.
۲۰۱۵	نتیجه نشان می دهد که فناوری هوای خروجی هوای گرم و هوای تازه از طریق تونل و بازیافت انرژی می تواند بیش از ۷۲٪ بار تازه را کاهش دهد.	به کارگیری اصول ساختمان سبز نظیر تهویه مطبوع طبیعی، شیشه کم گسیل، بازیافت انرژی هوای خروجی و دیوار خورشیدی	شبیه سازی و مقایسه بار گرمایش و سرمایش بین یک ساختمان صفر انرژی و ساختمان مشابه در منطقه ی خیلی سرد	Li et al.
۲۰۱۷	آتریوم چهار طرفه مناسب ترین نوع آتریوم در نگهداشت انرژی در آب و هوای گرم و خشک شهر کرمان است و میزان تابش به آن و انتقال و جذب انرژی بیشتری را به همراه دارد.	مقایسه ی تطبیقی برای انتخاب مناسب ترین آتریوم در اقلیم گرم و خشک در راستای توسعه ی معماری پایدار	بهره وری انرژی با استفاده از شبیه سازی نرم افزاری اکوتکت در ساختمان مسکونی	Amani

<p>۲۰۱۴</p>	<p>انرژی خورشیدی غیرفعال، قابل استفاده ترین سیستم انرژی تجدیدپذیر در ساختمان‌های ایران است.</p>	<p>استفاده از نظر کارشناسان برای انتخاب سیستم انرژی تجدیدپذیر (تکنیک مصاحبه فردی) و اعتبار سنجی مقیاس‌ها با شبیه‌سازی انرژی Design Builder</p>	<p>عملکرد انرژی ساختمان: ارزیابی مقیاس‌های طراحی و ساخت‌وساز مربوط به بهره‌وری انرژی ساختمان در ایران</p>	<p>Heravi et al.</p>
<p>۲۰۱۵</p>	<p>پیشنهاد چهارچوبی برای آنالیز تعاریف و قراردادهای مختلف و وزن دادن به فاکتورهای رسیدن به ساختمان انرژی صفر.</p>	<p>- 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.</p>	<p>متعادل کردن انرژی‌های مختلف برای طراحی مجدد ساختمان‌های نزدیک به انرژی صفر مطالعه موردی یک ساختمان ایتالیایی</p>	<p>Cellura et al.</p>

روش تحقیق

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. جدول ۲ روند طراحی ساختمان صفر انرژی را نشان می دهد.

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 میحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، این واحد مسکونی در گروه ۲ قرار دارد به این معنی

جدول ۲- مراحل طراحی ساختمان صفرانرژی

Table 2. Design stages of zero energy building

<p>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.</p>	<p>متمدهای طراحی غیرفعال</p>	<p>طراحی ساختمان صفر انرژی ZEB</p>
<p>سلول‌های فتوولتائیک خورشیدی، توربین‌های بادی، پیل سوختی، آبگرمکن خورشیدی و پمپ‌های حرارتی.</p>	<p>متمدهای طراحی فعال و تکنولوژی‌های تجدیدپذیر</p>	

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

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.

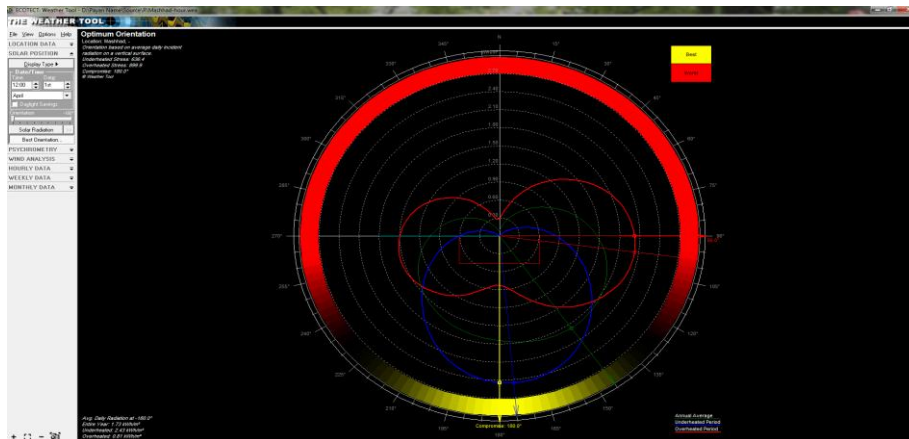
از آن جا که منظور از ساختمان انرژی صفر، نوع متصل به شبکه آن است، چنانچه در چند روز ابری متوالی انرژی استحصالی کمتر از حد نیاز شود، ساختمان، انرژی خود را از شبکه سراسری برق تامین می کند و در روزهایی که سیستم مازاد انرژی داشت، این انرژی به شبکه تزریق شده و بنابراین امکان مقایسه انرژی سالانه مورد نیاز سازه 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 (50: +3 GMT). این شهر از لحاظ توپوگرافی متشکل از دو عارضه کوهستان و دشت است؛ بر طبق طبقه بندی های اقلیمی، مشهد در اقلیم سرد و نیمه خشک واقع شده است (۲۴). میانگین دمای سالانه مشهد ۱۵/۳ درجه سانتی گراد و مقدار بارش سالانه آن ۲۱۷/۳۸ میلی متر است. گرم ترین ماه سال تیر ماه با متوسط ۲۷/۴ درجه سانتی گراد و سردترین ماه، دی ماه با متوسط حدود ۳/۳ درجه سانتی گراد است (۲۵). داده های آب و هوایی ۱۲ سال مشهد (۲۰۱۴-۲۰۰۲) از ایستگاه هواشناسی منطقه مطابق با توصیه نامه آن ایستگاه به عنوان شاخص سالانه جمع آوری شده است. این مجموعه از اطلاعات آب و هوایی در مدل سازی گرمایی برای پیش بینی مصرف سالانه انرژی و جهت بهینه ساختمان در شرایط مختلف آب و هوایی استفاده شده است. این داده ها ضمن مقایسه با فایل خروجی از پایگاه داده های نرم افزار Meteororm در ابزار Weathertool از نرم افزار ECOTECT وارد شده و به صورت نتایج تحلیل شده نمایش داده شده است [۲۶]. این ابزار می تواند میزان دریافت تابش خورشیدی بر روی یک صفحه عمودی به مساحت یک متر مربع را در دوره ی گرم، سرد و تمام سال محاسبه کرده و مناسب ترین و نامناسب ترین جهات ساختمان را از نظر دریافت تابش به دست آورد. ماه های سرد سال برای شهر مشهد شامل دسامبر، ژانویه و فوریه، و ماه های گرم سال ژوئن، جولای و آگوست است. شکل ۱ نقاله ی خورشیدی را برای بررسی میزان تابش جهات مختلف قابل مشاهده است. طیف زرد نشان دهنده دامنه بهینه استقرار

آن و طراحی سیستم فتوولتائیک مناسب در نرم افزارها، استفاده می شوند. مهم ترین اطلاعات تحلیل شده مربوط به جهت مناسب سازه برای استفاده حداکثری از خورشید، میزان انرژی مورد نیاز سالانه ساختمان و میزان انرژی استحصالی از سیستم خورشیدی در آب و هوای سرد و نیمه خشک است. در مرحله دوم مدل کامپیوتری برای اعتبار بخشیدن به طراحی پیشنهادی با استفاده از داده های محاسبه شده، شبیه سازی می شوند. DesignBuilder یک نرم افزار گرافیکی شبیه سازی مصرف انرژی در ساختمان است که حل مسئله آن توسط موتور قدرتمند "انرژی پلاس" انجام می شود. موتور شبیه سازی انرژی پلاس توسط بخش انرژی آمریکا در سال ۲۰۱۱ توسعه یافته و به عنوان یکی از معتبرترین نرم افزارهای مدل سازی انرژی شناخته شده است. اعتبار نرم افزار انرژی پلاس بر اساس استانداردهای Bestest و اشرفی ۱۴ تایید شده است (۲۲،۲۱). نرم افزارهای شبیه سازی انرژی از قبیل eQuest، DesignBuilder و ECOTECT به طور گسترده ای برای مدل سازی عملکرد انرژی ساختمان ها استفاده می شوند (۲۳). برای طراحی سیستم انرژی تجدیدپذیر از نرم افزار PVsyst استفاده می شود. نرم افزار PVsyst جامع و کاربردی در زمینه ی کار با سیستم های خورشیدی می باشد که شامل مجموعه ابزارهای لازم برای مطالعه و تحقیق، سایز بندی، شبیه سازی و آنالیز داده های سیستم های PV است. این نرم افزار که به طور مستمر در دانشگاه ژنو سوئیس توسعه می یابد، از مهم ترین و پرکارترین نرم افزارها در زمینه طراحی سیستم های خورشیدی می باشد. در مرحله سوم، ۲ 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 آن ها، طراحی و شبیه سازی می شوند. همچنین در این مرحله، سیستم سلول خورشیدی (فتوولتائیک) برای کسب هر چه بیشتر انرژی تجدیدپذیر طراحی می شود. در مرحله نهایی یک مقایسه تطبیقی برای مشخص کردن میزان کاهش انرژی با رعایت اصول طراحی پایدار، و همچنین امکان سنجی برای ساخت ساختمان انرژی صفر در اقلیم سرد و نیمه خشک انجام می شود.

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

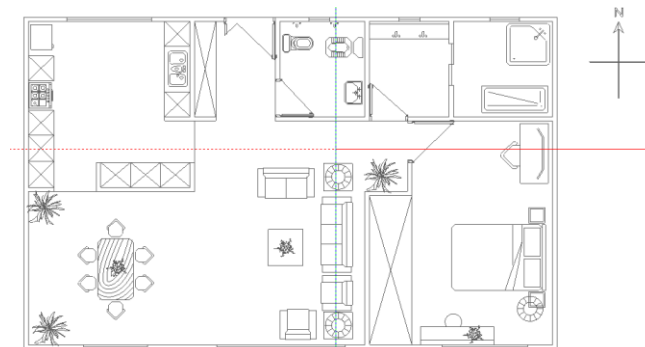


شکل ۱- نقاله خورشیدی مناسب‌ترین و نامناسب‌ترین جهات ساختمان

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

استفاده حداکثری از گرمایش خورشیدی و روشنایی طبیعی دارای کشیدگی شرقی - غربی بوده و فضاهای کاربرد در ضلع جنوبی و فضاهای کم‌کاربرد در ضلع شمالی آن جای دارند (شکل ۲)

همچنین بادهای غالب شهر مشهد از جهت شرق به غرب می‌باشد و بنابراین طول اضلاع ساختمان در جهت شرق به غرب تا حد ممکن باید کم باشد تا ساختمان در زمستان در معرض کم‌ترین 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



شکل ۲- پلان ساختمان مدل شده

Figure 2. Building plan

جدول ۳- 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

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.

مشخصات مدل و داده‌های نرم‌افزاری

شبه‌سازی 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

ضریب انتقال حرارت (kW/m ²)	مشخصات مصالح	المان‌ها
۰/۳۵	100mm Brickwork outer + 79mm Extruded polystyrene + 100mm Concrete block	دیوارهای خارجی
۰/۲۵	19mm Asphalt + 13mm fibreboard + 122mm Extruded polystyrene	سقف
۰/۴۶	30mm Timber flooring + 70mm Floor screed + 100mm Cast concrete + 59.6 mm Formaldehyde foam	کف
۱/۶۳۵	Tripple 3 layers + Argon 13mm (Window gas type)	پنجره‌ها
۲/۸۲۳	35mm Wooden door	در ورودی

جدول ۵ داده‌های ورودی به نرم‌افزار DesignBuilder را نشان می‌دهد.

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 جهت‌های شمال، جنوب و شرق فراهم است.

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/m ²
کشیدگی پلان	شرقی - غربی	ضریب انتقال حرارت سقف	۰/۲۵ kW/m ²
جهت ساختمان و پنل‌ها و کلکتور	جنوب	ضریب انتقال حرارت کف	۰/۴۶ kW/m ²
نسبت مساحت پنجره به دیوار WWR	۲۰٪	ضریب انتقال حرارت پنجره	۱/۶۳۵ kW/m ²
میزان روشنایی	۳۰۰ Lux	ضریب انتقال حرارت در	۲/۸۲۳ kW/m ²
دمای تنظیم گرمایش	۲۰ °C	میزان نفوذ هوا	۱/۸ AC/H
دمای تنظیم سرمایش	۲۶ °C	دمای تنظیم آبگرمکن	۶۵ °C

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 و ۷).

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 مجدداً در یک ساختمان

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

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

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*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 نرم‌افزار PVsyst برای طراحی سیستم فتوولتائیک خورشیدی مشخص شده است (جدول ۸). زاویه شیب بهینه برای پنل‌ها در مشهد ۳۰ درجه است (۲۷).

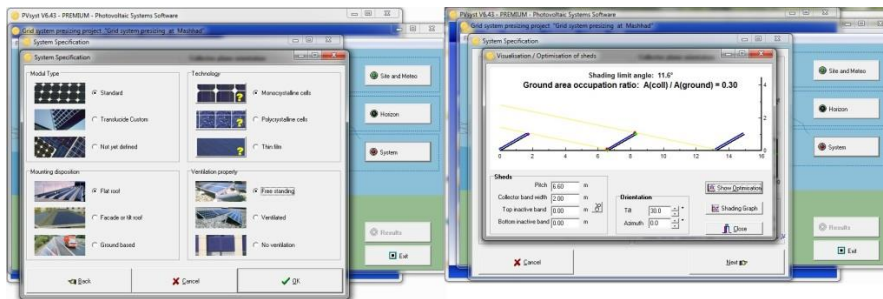
جدول ۸- داده‌های ورودی به نرم‌افزار PVsyst

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	۱۲ عدد	گام استقرار	۶,۶ متر
توان ارزیابی	۲۲۰ وات	زاویه‌ی شیب	۳۰° درجه

این اطلاعات شامل نوع سلول‌های خورشیدی، نوع آرایه سلول-های خورشیدی، نوع مازول خورشیدی، گام استقرار برای همپوشانی سایه، زاویه‌ی شیب پنل‌ها، عرض پنل‌ها، تعداد و توان اسمی پنل‌ها می‌باشد.

برای طراحی سیستم خورشیدی در PVsyst، ابتدا فایل اقلیمی با پسوند dat، خروجی از پایگاه داده نرم‌افزار Meteororm فراخوانی می‌شود. شکل ۳ اطلاعات ورودی برای طراحی سیستم فتوولتائیک در PVsyst را نشان می‌دهد.



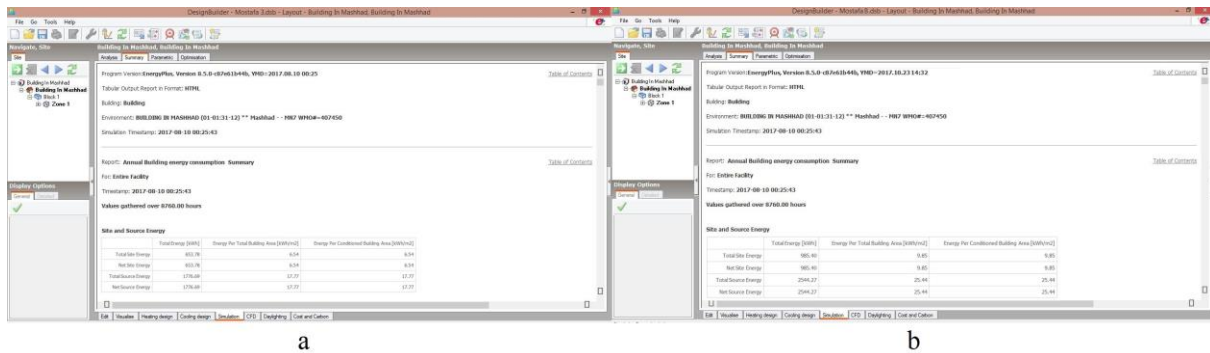
شکل ۳- اطلاعات ورودی برای طراحی سیستم فتوولتائیک در PVsyst

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

شبیه‌سازی نرم‌افزار

شبیه‌سازی با استفاده از ابزار DesignBuilder Results View 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).

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

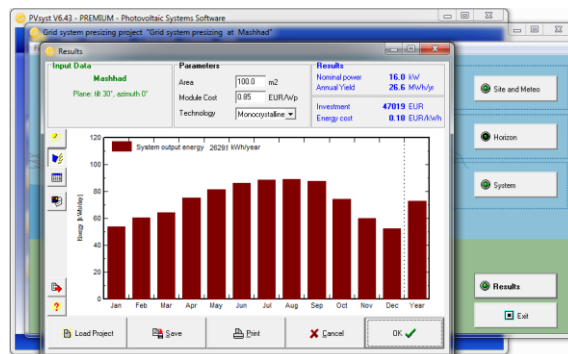


شکل ۴- نتایج شبیه‌سازی ساختمان در نرم‌افزار دیزاین بیلدر: گزارش انرژی سالانه مصرفی ساختمان (a) و بدون معماری غیر فعال (b)

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

مقدار انرژی مورد نیاز برای هر مترمربع برابر $2544/3 \text{ kWh}$ و مقدار انرژی مورد نیاز برای هر مترمربع از این ساختمان برابر $9/85 \text{ kWh/m}^2$ است (شکل 4b). محور افقی ماه‌های سال و محور عمودی مقدار متوسط انرژی استحصالی را برای هر ماه برحسب kWh/day می‌باشد (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 است $2629/1$ است (شکل 5).

مقدار انرژی مورد نیاز برای هر مترمربع از این ساختمان برابر $6/54 \text{ kWh/m}^2$ است و مجموع انرژی سالیانه مورد نیاز این ساختمان با در نظر گرفتن تجهیزات برقی شامل سیستم روشنایی LED، کامپیوتر، پمپ، چیلر و انواع تجهیزات معمول آشپزخانه و اداری، برای چهار نفر ساکن این ساختمان برابر با $1776/69 \text{ kWh/m}^2$ 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 تجهیزات برقی شامل سیستم روشنایی رشته‌ای، کامپیوتر، پمپ، چیلر و انواع تجهیزات معمول آشپزخانه و اداری، برای چهار نفر ساکن این ساختمان



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 سالانه 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

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

مقدار را از ۲۵۴۴/۳ kWh در سال به ۱۷۷۷ kWh در سال کاهش داد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، یک مطالعه موردی در فاز طراحی، برای انتخاب بهترین جهت ساخت و شبیه‌سازی کامپیوتری در منطقه سرد و نیمه خشک با استفاده از نرم‌افزارهای ECOTECH و DesignBuilder با در نظر گرفتن تمامی چهارچوب‌های 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 و هوای 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

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 مشهود امکان‌پذیر است، اگرچه نیاز به تحلیل اقتصادی دارد. در بخش قبل، تحلیل ECOTECH 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 ترمب، 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

- 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](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, Department 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.

نیمه‌خشک شهر مشهد، نرم‌افزار Meteororm 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, 1st. 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](http://www.ipcc.ch)
3. Eshraghi, J., Narjabadifam, N., Mirkhani., N., Khosroshahi, S. S., and Ashjaee., M., 2014. A comprehensive

- 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 Development 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.
 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. 9th 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 &

- 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)
- 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.climateemps.com/>
26. Sabet Dizavandi, L., 2017. Analysis and prediction of time variations of temperature and rainfall in Mashhad,