

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره شش، شهریور ۹۹

ارزیابی فنی و اقتصادی ساختمان تجاری انرژی خالص صفر در شهر اهواز

با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان

سید محمدامین موسوی سادات^۱

حسین محمدنژاد شورکایی^۲

h-mohamadnejad@srbiau.ac.ir

سودابه سلیمانی^۳

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۰۲

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۸/۰۱

چکیده

زمینه و هدف: گسترش مولدهای برق وابسته به انرژی باد و خورشید، موجب توسعه‌ی ساختمان‌های مجهز به منابع تجدیدپذیر شده‌است. طراحی ساختمان انرژی صفر از بعد فنی و اقتصادی هدف اصلی این مقاله است. در بعد فنی ظرفیت منابع تجدیدپذیر، نوع مصالح، محل و جهت ساخت، ارتفاع با توجه به نوع بارهای الکتریکی سرمایشی و گرمایشی تعیین می‌شود. در بعد اقتصادی، با کمک تحلیل هزینه‌ی فایده، به صرفه‌بودن احداث این گونه ساختمان‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

روش بررسی: در این مقاله در ابتدا میزان پتانسیل انرژی خورشیدی محاسبه می‌شود، در ادامه با توجه به مشخصات اقلیمی شهر اهواز میزان بار الکتریکی، گرمایشی و سرمایشی محاسبه می‌شود و با استفاده از مدل‌های نرم‌افزاری این داده‌ها صحت‌سنجی می‌شوند. با بررسی نرم‌افزاری و مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار AutoCAD و نرم‌افزار تحلیلی Design builder بهترین طرح فنی استخراج و برای انتخاب اندازه سیستم از نرم‌افزار System Advisor model (SAM) استفاده می‌شود و مدل نرم‌افزاری سیستم سرمایش خورشیدی با نرم‌افزار PISTACHE شبیه‌سازی می‌گردد و برای تحلیل اقتصادی از اندازه‌گیری ارزش خالص فعلی (NPW) و نرم‌افزار COMFAR استفاده می‌شود. چشم‌انداز در نظر گرفته شده برای طراحی ساختمان، ۲۰ ساله می‌باشد.

یافته‌ها: با استفاده از ارزیابی فنی به روش عددی و نرم‌افزاری انتخاب بهترین طرح فنی در ساختمان با کاربری تجاری با مساحت کل زمین ۱۵۰۰ متر مربع و زیر بنای ۴۶۰ متر مربع با تعداد ۱۵ واحد تجاری در دو طبقه بررسی شد که نتایج تحقیق نشان می‌دهد ساختمان با توجه به شرایط آب و هوایی در شهر اهواز ۱۵ درجه نسبت به جنوب طراحی و احداث شود تا بیش‌ترین تابش به سمت بام ساختمان در تابستان و همچنین بدنه‌ی ساختمان در زمستان را داشته باشیم. علاوه بر این با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان و متصل‌بودن ساختمان به

۱- کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق قدرت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه برق و کامپیوتر، تهران، ایران.

۲- استادیار، گروه برق و کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (مسئول مکاتبات).

۳- دانشیار، گروه برق و کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

برق شبکه‌ی سراسری مشخص گردید که مشکلات تامین بار در ساختمان به حداقل ممکن می‌رسد و ساختمان می‌تواند با شبکه داد و ستد داشته باشد به طوری که در تابستان باید از شبکه‌ی سراسری برق گرفت و در زمستان برق اضافی به شبکه تزریق گردد.

بحث و نتیجه‌گیری : در پایان با استفاده از تحلیل فنی نشان داده می‌شود که نیازهای حرارتی و برودتی ساختمان را می‌توان از انرژی خورشیدی با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان تامین کرد و همچنین با تحلیل اقتصادی نشان داده می‌شود که طراحی ساختمان انرژی صفر نسبت به حالت غیربهبوده‌ی ساختمان دارای سود خالص می‌باشد و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می‌باشد.

واژه‌های کلیدی : ساختمان تجاری، انرژی صفر، تجدیدپذیر، فتوولتائیک، ارزش فعلی

Technical and Economical Assessment of a Net Zero Energy Commercial Building Connected to the Network in Ahvaz, Considering Reliability Constraint

Mohammad Amin Musavi Sadat¹
Hossein Mohammadnejad Shourakayi^{*y}

h-mohamadnejad@srbiau.ac.ir

Soudabeh Soleimani^v

Accepted: 2017.05.23

Received: 2016.10.22

Abstract

Background and Objective: The expansion of wind and solar power generators has led to the development of buildings equipped with renewable sources. The main purpose of this article is to design a zero energy building from a technical and economic point of view. In the technical dimension, the capacity of renewable sources, type of materials, location and direction of construction, height are determined according to the type of electric cooling and heating charges. In the economic dimension, with the help of cost-benefit analysis, the cost-effectiveness of constructing such buildings is examined.

Methods: In this paper, first the amount of solar energy potential is calculated, then according to the climatic characteristics of Ahvaz city, the amount of electric, heating and cooling load is calculated and using software models, these data are correct. They are measured. By examining software and modeling using AutoCAD software and Design builder analytical software, the best technical design is extracted and System Advisor model (SAM) software is used to select the system size and the cooling system software model is used. The solar is simulated with PISTACHE software and the Net Present Value (NPV) measurement and COMFAR software are used for economic analysis. The landscape intended for the design of the building is 20 years old.

Finding: Using numerical and software technical evaluation, the selection of the best technical design in a commercial building with a total land area of 1500 square meters and 460 square meters of infrastructure with 15 commercial units on two floors was reviewed. The research results show that the building with Paying attention to the weather conditions in the city of Ahvaz, 15 degrees to the south should be designed and constructed so that we have the most radiation towards the roof of the building in summer and also the body of the building in winter. In addition, considering the reliability and connectivity of the building to the electricity of the national network, it was determined that the problems of load supply in the building are minimized and the building can trade with the network so that in summer, electricity must be supplied from the national grid and in winter, additional electricity must be injected into the grid.

1-M.Sc., Electrical Engineering, Department of Electrical and Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad university, Tehran, Iran

2-Assistant Professor, Department of Electrical and Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3-Associate Professor, Department of Electrical and Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Discussion and Conclusion: Finally, using technical analysis, it is shown that the thermal and refrigeration needs of the building can be met from solar energy with regard to reliability, and also economic analysis shows that the design of the building is zero energy compared to The non-optimal condition of the building has a net profit and is economically viable.

Key words: Commercial Building, Zero Energy, Renewable, Photovoltaic, Actual Value

مقدمه

محدود بودن ذخایر سوخت‌های فسیلی و همچنین آلودگی‌های محیط زیستی ناشی از سوزاندن آن‌ها باعث گسترش مباحث مربوط به محیط زیست و انرژی شده است. از اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی، بحران انرژی و تخریب لایه ازن و گرم شدن کره زمین موجب اعمال قوانین برای کنترل مصرف انرژی را فراهم آورد. از آن زمان، مبحث توسعه و طراحی پایدار به عنوان یکی از مباحث مهم در طراحی ساختمان‌های انرژی صفر مطرح شد. احداث ساختمان انرژی صفر از نظر مصالح ساخت و زاویه قرارگیری ساختمان، ارتفاع و نوع سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی و مهم‌تر از همه بحث اقتصادی بودن آن، جنبه‌های مجهولی می‌باشد که در این مطالعه به بررسی دقیق آن پرداخته خواهد شد. بنا بر اطلاعات منتشر شده در ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۴، در کشور ما بیش‌ترین میزان مصرف انرژی به ترتیب در بخش‌های خانگی و تجاری، صنعت، حمل و نقل و کشاورزی است. بر اساس این آمار، مصرف انرژی در بخش خانگی و تجاری ۵۵/۴ درصد، حمل و نقل ۴۱ و کشاورزی ۶/۵ درصد بوده است. به عبارت دیگر، بیش‌ترین سهم مصرف انرژی به بخش خانگی و تجاری تعلق دارد و این در حالی است که در کشورهای توسعه‌یافته این بخش به مراتب سهم کم‌تری را نسبت به بخش صنعت به خود اختصاص می‌دهد (۱).

ارزش بالای انرژی، محدودیت در منابع اولیه انرژی‌های متداول و بالا رفتن مداوم مصرف انرژی در ساختمان، مهندسين را بر آن داشت که با استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر بخشی از انرژی مورد نیاز ساختمان شامل روشنایی، حرارتی و سرمایشی را تامین

کنند و رفته‌رفته این روند توسعه پیدا کرد که همه‌ی انرژی مورد نیاز ساختمان را بتوان از این منابع تامین کرد. از آنجایی که در این ساختمان‌ها هیچ‌گونه انرژی فسیلی مصرف نمی‌شود با نام "ساختمان انرژی صفر" شناخته می‌شوند (۲، ۳).

احداث ساختمان انرژی صفر از نظر نوع مصالح، محل و جهت ساخت، ارتفاع و نوع سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی و مهم‌تر از همه بحث اقتصادی بودن آن جنبه‌های مجهولی می‌باشد که در این مطالعه به بررسی دقیق آن پرداخته خواهد شد. بدین ترتیب با بررسی نرم‌افزاری و مدل‌سازی از طریق نرم‌افزار اتوکد، طرح اصلی ساختمان با موقیت فضاهای داخلی آن طراحی می‌گردد و با نرم‌افزار طراحی DesignBuilder، شناسایی و محاسبه بارهای حرارتی (گرمایش و سرمایش) ساختمان با توجه به شرایط آب و هوایی شهر اهواز انجام می‌گیرد. طراحی سیستم خورشیدی با در نظر گرفتن سیستم‌های پشتیبان، توسط نرم‌افزار Dispatch انجام گرفت و برای انتخاب اندازه‌ی سیستم از نرم‌افزار System Advisor Model (SAM) استفاده شده است که در آن انتخاب نوع صفحه‌ی خورشیدی، محل نصب ماژول‌ها، نوع اینوتر و غیره استفاده شده در ساختمان مشخص گردید. در پایان، با استفاده از ارزیابی اقتصادی به روش عددی ارزش خالص فعلی و نرم‌افزار COMFAR، طراحی بهینه‌ی ساختمان مورد بررسی قرار می‌گیرد که آیا این طراحی صرفه‌ی اقتصادی دارد یا خیر.

مشخصات ساختمان مورد مطالعه

طراحی پلان با فرض تجاری بودن ساختمان صورت گرفته است که خلاصه‌ای از مشخصات آن در جدول ۱ آورده شده است.

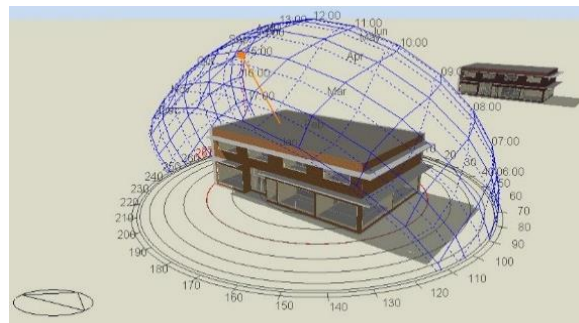
جدول ۱ - مشخصات تفکیکی فضاهای ساختمان

Table 1 – Denotative characteristic of dimensions of building

اطلاعات ساختمان	مقدار	واحد
مساحت فضای کنترل شده	۴۳۶	m ²
حجم ساختمان	۱۴۶۹	m ³
مساحت پوسته خارجی	۷۴۰	m ²
میانگین ضریب انتقال حرارت وزنی پوسته	۰/۳۳۶	W / m ² . °C

توضیحات یادشده در شکل ۱ نشان داده شده است که موقعیت خورشید را در روز ۱۵ جولای (تابستان) و در ساعت ۱۵ نشان می‌دهد.

استفاده از سایبان مناسب سبب سایه‌افکنی روی پنجره‌های جنوبی در تابستان خواهد گشت تا بار سرمایشی کاهش یابد.



شکل ۱ - موقعیت خورشید در یک ظهر تابستانی

Figure1 – Position of sun in a summer afternoon

جمله راهکارها برای استفاده حداکثری از روشنایی طبیعی بوده است. با در نظر گرفتن ضرایب هم‌زمانی، مجموع توان‌های سیستم روشنایی و دیگر تجهیزات بر حسب (W) به همراه مترای فضاهای ساختمان در جدول ۲ آمده است.

در مورد روشنایی باید در نظر داشت که اکثر فضاها در طراحی معماری به گونه ای طراحی شده‌اند تا بتوانند از نور طبیعی استفاده حداکثری نمایند. استفاده از پنجره‌های زیاد با مشخصات حرارتی بالا در سمت جنوب ساختمان و طراحی صحیح آنها، چرخش ۱۵ درجه‌ای ساختمان به سمت غرب و موارد دیگر از

جدول ۲- مشخصات تفکیکی فضاهای ساختمان

Table 2 - Denotative characteristic of dimensions of building

فضا	مقدار (m ²)	توان کل (w)	فضا	مقدار (m ²)	توان کل (w)
فروشگاه ۰۱-	۲۰/۴۵	۲۷۲	فروشگاه ۱۳-	۱۳/۶۵	۲۲۷
فروشگاه ۰۲-	۱۴/۲	۲۲۷	فروشگاه ۱۴-	۱۳/۶۵	۲۲۷
فروشگاه ۰۳-	۲۹/۵	۳۰۹/۵	فروشگاه ۱۵-	۱۲	۲۱۴/۵
فروشگاه ۰۴-	۲۹/۵	۳۰۹/۵	راهرو طبقه همکف	۶۹/۷۵	۳۴۷
فروشگاه ۰۵-	۱۳/۶۵	۲۲۷	راهرو طبقه اول	۶۶/۶۵	۳۴۷
فروشگاه ۰۶-	۱۳/۶۵	۲۳۴/۵	سرویس طبقه همکف	۱۹/۳۵	۲۴۸
فروشگاه ۰۷-	۱۲	۲۳۴/۵	سرویس طبقه اول	۱۹/۳۵	۲۴۸
فروشگاه ۰۸-	۱۹/۳۵	۲۷۲	اطلاعات	۴	۲۱۰
فروشگاه ۰۹-	۱۳/۶۵	۲۳۴/۵	ورودی	۸/۸۵	۳۷/۵
فروشگاه ۱۰-	۱۳/۶۵	۲۲۷			
فروشگاه ۱۱-	۲۸/۸۳۵	۳۰۹/۵			
فروشگاه ۱۲-	۲۸/۳	۳۰۹/۵			

رایانه‌ها و سیستم‌های انرژی نو تنها در ساختمان‌هایی با مشخصات حرارتی مناسب اجرا می‌گردد (توجیه اقتصادی)، فرض می‌کنیم عایق‌کاری پوسته‌ی ساختمان، تعویض درب‌ها و پنجره‌ها و درزبندی برای این ساختمان انجام شده و مشخصات حرارتی بهینه است. همچنین تمامی تجهیزات الکتریکی مانند

از آنجایی که اجرای سیستم‌های انرژی نو تنها در ساختمان‌هایی با مشخصات حرارتی مناسب اجرا می‌گردد (توجیه اقتصادی)، فرض می‌کنیم عایق‌کاری پوسته‌ی ساختمان، تعویض درب‌ها و پنجره‌ها و درزبندی برای این ساختمان انجام شده و مشخصات حرارتی بهینه است. همچنین تمامی تجهیزات الکتریکی مانند

جدول ۳- مشخصات روشنایی و تجهیزات ساختمان

Table 3 - Characteristic of illustration and components of building

فضا	ضخامت (m)	ضریب هدایت حرارتی ($W / m^2 \cdot ^\circ C$)
نمای آجری (روشن)	۰/۱۰۵	۰/۸۴
ملات ماسه سیمان	۰/۰۲	۱/۱۵
پلی‌استایرن اکسترود	۰/۱۵	۰/۰۳۴
بتن	۰/۱	۰/۵۱
گچ و خاک	۰/۰۲۵	۰/۴

با توجه به مقادیر ارائه شده میزان ضریب انتقال حرارت سطحی ساختمان ۰/۲۰۳ و مقدار ضریب انتقال حرارت سطحی برای سقف ۰/۲۴ طراحی و محاسبه گشته است. این در حالی است که در صورت عدم استفاده از عایق، ضریب انتقال حرارت دیوار ۱/۵ و ضریب انتقال حرارت سقف ۲/۱۳ به دست می‌آید.

با توجه به مقادیر ارائه شده میزان ضریب انتقال حرارت سطحی ساختمان ۰/۲۰۳ و مقدار ضریب انتقال حرارت سطحی برای سقف ۰/۲۴ طراحی و محاسبه گشته است. این در حالی است که در صورت عدم استفاده از عایق، ضریب انتقال حرارت دیوار ۱/۵ و ضریب انتقال حرارت سقف ۲/۱۳ به دست می‌آید.

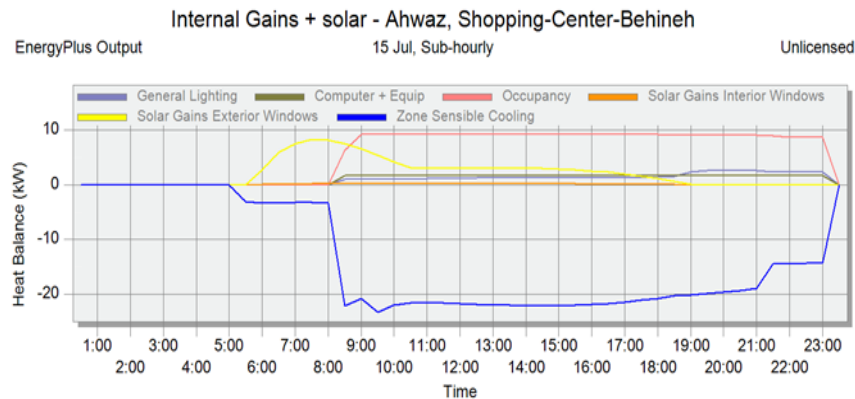
با توجه به مقادیر ارائه شده میزان ضریب انتقال حرارت سطحی ساختمان ۰/۲۰۳ و مقدار ضریب انتقال حرارت سطحی برای سقف ۰/۲۴ طراحی و محاسبه گشته است. این در حالی است که در صورت عدم استفاده از عایق، ضریب انتقال حرارت دیوار ۱/۵ و ضریب انتقال حرارت سقف ۲/۱۳ به دست می‌آید.

محاسبه‌ی بار طراحی و شبیه‌سازی مصرف بارهای حرارتی مورد نیاز هر کدام از فضاها توسط نرم‌افزارهای

با توجه به مقادیر ارائه شده میزان ضریب انتقال حرارت سطحی ساختمان ۰/۲۰۳ و مقدار ضریب انتقال حرارت سطحی برای سقف ۰/۲۴ طراحی و محاسبه گشته است. این در حالی است که در صورت عدم استفاده از عایق، ضریب انتقال حرارت دیوار ۱/۵ و ضریب انتقال حرارت سقف ۲/۱۳ به دست می‌آید.

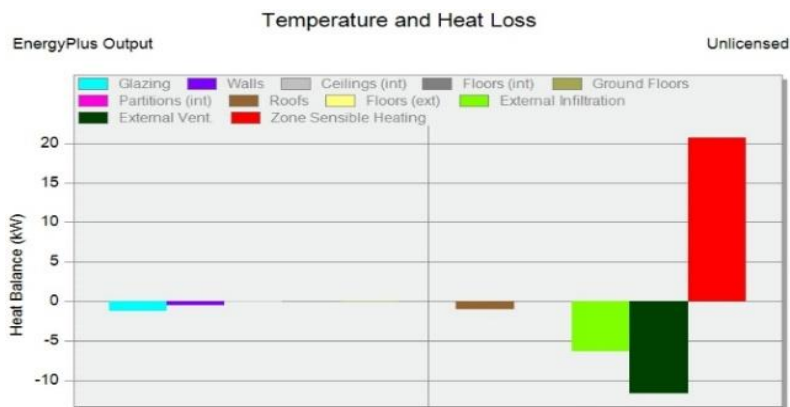
محاسبه‌ی بار طراحی و شبیه‌سازی مصرف

بارهای حرارتی مورد نیاز هر کدام از فضاها توسط نرم‌افزارهای



شکل ۲- بخش‌های مختلف بار سرمایشی ساختمان (تعادل حرارتی)

Figure 2 – The several sections of cooling load of building (the thermal balance)



شکل ۳- بخش‌های مختلف بار گرمایشی ساختمان (تعادل حرارتی)

Figure 3 – The several sections of heating load of building (the thermal balance)

کنار عدم کارکرد در شب) و پوسته بسیار بهینه‌ی ساختمان (حرارت تولیدی نفرتات و تجهیزات به واسطه‌ی عایق مناسب و جرم حرارتی در داخل فضا حفظ می‌گردد) نیاز گرمایش و آب گرم مصرفی دما بالا بسیار کم بوده و از آن چشم‌پوشی شده است.

دقت گردد در رابطه با شاخص سرمایش هنوز میزان راندمان تجهیز سرمایشی وارد نشده است. برای مثال اگر COP سیستم سرمایشی خود را $4/5$ ثابت در نظر بگیریم، شاخص مصرف برق سرمایش برابر با $38/5 \text{ kWh/m}^2$ به دست خواهد آمد. دقت گردد با توجه به اقلیم شهر اهواز، پوسته با مقاومت حرارتی بالا و کاربری ساختمان نیاز اندک سرمایشی در فصول سرد نیز محاسبه شده است که از آن‌ها صرف نظر شده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌گردد، بخش عمده‌ای از بار سرمایشی مربوط به تابش خورشید و بخش عمده بار گرمایشی مربوط به هوای مورد نیاز تهویه می‌باشد.

در ادامه مصارف انرژی چون سرمایشی، گرمایشی، آبگرم مصرفی، روشنایی و تجهیزات به صورت ساعتی، روزانه و ماهیانه در ساختمان شبیه‌سازی شده است. در جدول ۴ مقادیر بارهای سرمایشی (بدون در نظر گرفتن راندمان سیستم‌های تولید آن‌ها)، روشنایی و تجهیزات آورده شده است. در واقع جهت رسیدن به ساختمان انرژی صفر، نیاز است این مصارف در محل تامین گردند. دقت گردد با توجه به اقلیم گرم اهواز، نوع کاربری ساختمان (تولید بالای حرارت به واسطه‌ی تجهیزات و نفرتات در

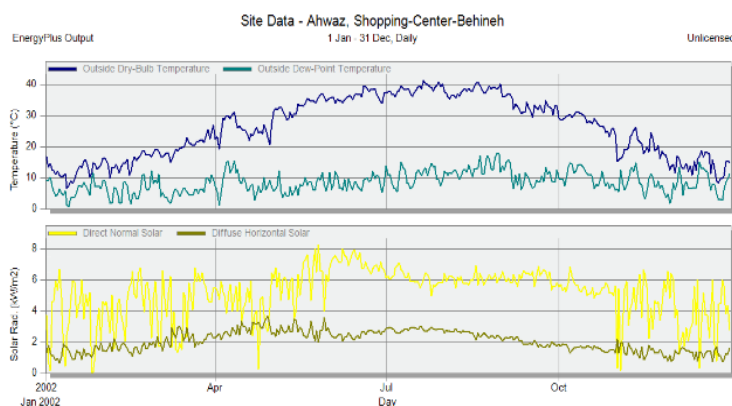
جدول ۴- بارهای ماهیانه‌ی سرمایش، روشنایی و تجهیزات در ساختمان

Table 4 – Monthly cooling loads, illustration loads and components in building

ماه	روشنایی (kwh)	تجهیزات برقی (kwh)	بار سرمایشی (kwh)	ماه	روشنایی (kwh)	تجهیزات برقی (kwh)	بار سرمایشی (kwh)
ژانویه	۳۰۰	۳۶۴	---	جولای	۳۵۲	۳۷۶	۱۳۴۳۵
فوریه	۳۴۵	۳۴۰	---	آگوست	۲۶۴	۳۷۶	۱۳۶۸۸
مارس	۲۶۵	۳۷۶	۳۲۵۲	سپتامبر	۲۵۶	۳۶۴	۱۰۵۲۶
آوریل	۳۳۶	۳۴۰	۵۷۱۳	اکتبر	۳۹۵	۳۷۶	۸۹۱۹
می	۳۶۷	۳۷۶	۹۷۱۴	نوامبر	۳۸۶	۳۶۴	۳۹۲۰
ژوئن	۳۳۵	۳۶۴	۱۱۲۲۱	دسامبر	۳۸۰	۳۵۲	---

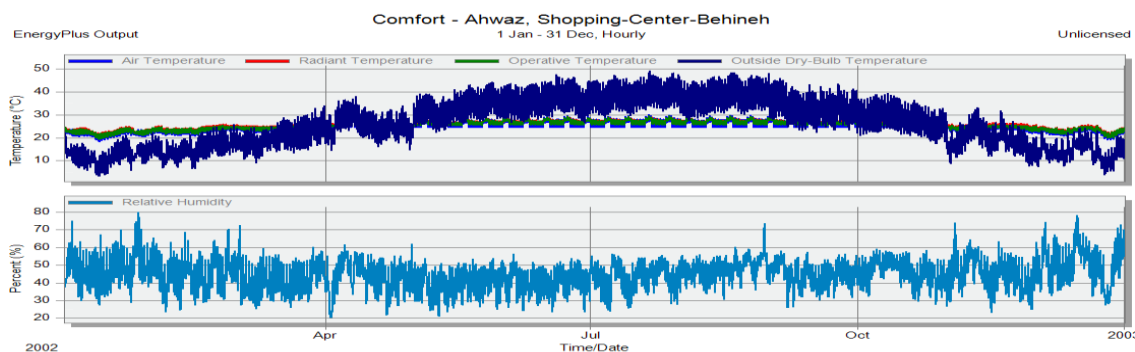
نفوذ هوا و تهویه، سوخت‌های مصرفی، شرایط آسایش حرارتی،
تولید دی‌اکسیدکربن و بارهای سیستم آورده شده است.

در شکل‌های ۴ تا ۹ نتایج شبیه‌سازی توسط در بازه‌های ساعتی،
روزانه و ساعتی و در رابطه با داده‌های سایت، داده‌های مربوط به



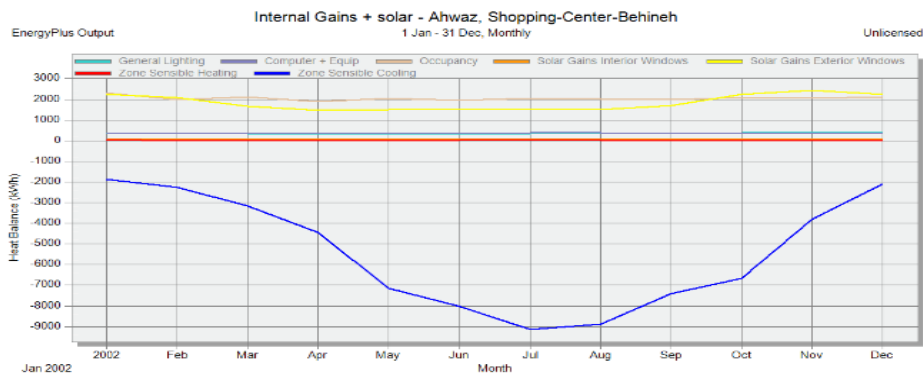
شکل ۴ - داده‌های روزانه سایت (دمای خشک، نقطه شبنم و تابش خورشید)

Figure 4- The daily data of site (Dry temperature, Dew point, Reflection of sun)



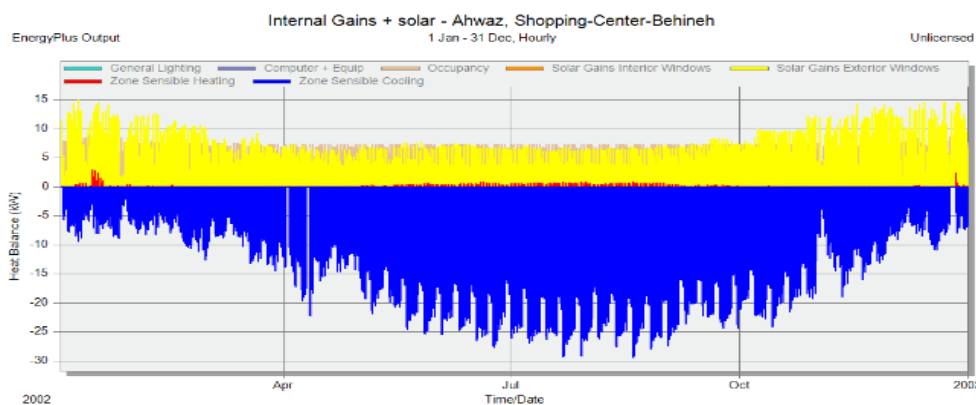
شکل ۵ - نتایج ساعتی مربوط به پارامترهای آسایش حرارتی در ساختمان (دما و رطوبت نسبی)

Figure 5- hourly results of thermal comfort parameters in building (Temperature and relative humidity)



شکل ۶- نتایج ماهیانه بارهای اکتسابی و خورشیدی

Figure 6- Monthly results of adventitious and solar loads



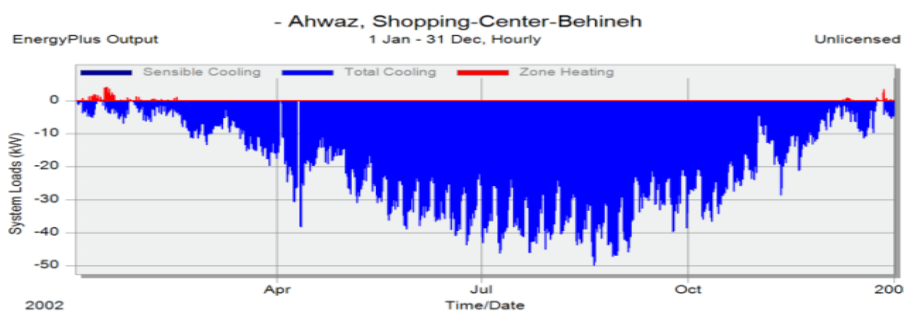
شکل ۷- نتایج ساعتی بارهای اکتسابی و خورشیدی

Figure 7- Hourly results of adventitious and solar loads

دفع حرارت) و بخش بهره‌وری (گرمایش، سرمایش و آب گرم مصرفی) می‌باشد. شبیه‌سازی این قسمت با استفاده از نرم‌افزار Pistache انجام شده است (۱۳). سیستم سرمایشی خورشیدی با کسر خورشیدی ۰.۵٪ طراحی شده است و چیلر جذبی مورد استفاده SAKURA SHL با ظرفیت ۲۰ kW و ضریب عملکرد ۰.۷۲ می‌باشد.

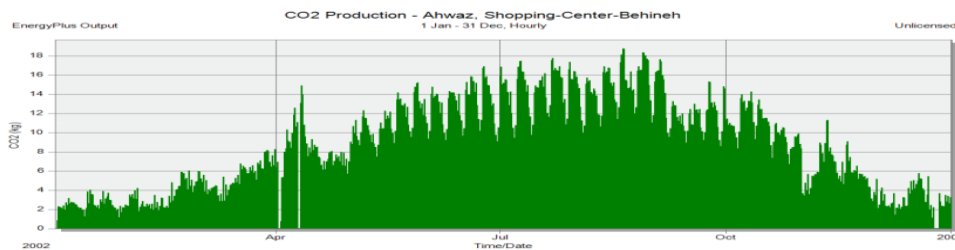
مدل‌سازی سیستم سرمایش خورشیدی

همان‌گونه که اشاره نمودیم، طراحی سیستم خورشیدی را با در نظر داشتن سیستم‌های پشتیبان یا کمکی انجام خواهیم داد. مدل کامل خورشیدی طراحی شده شامل مدارات تولید (کلکتورهای خورشیدی، گرمایش کمکی و سرمایش کمکی)، مدارات انتقال (مخزن ذخیره، چیلر جذبی و سیستم



شکل ۸- نتایج ساعتی تفکیکی بارهای سرمایشی و گرمایشی ساختمان

Figure 8 – The hourly and denotative of cooling and heating of building

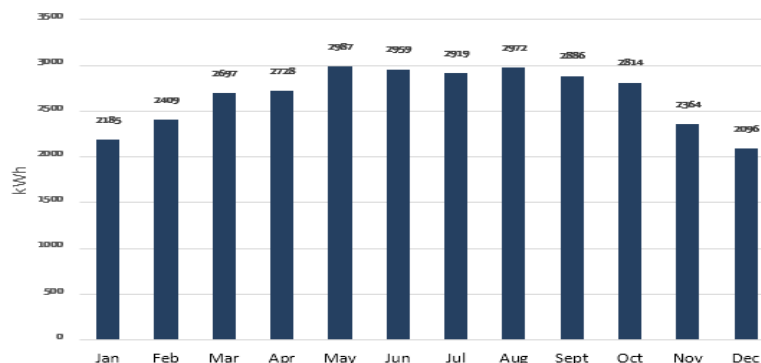
شکل ۹ - نتایج ساعتی تولید CO₂Figure 9- Hourly results of CO₂ production

خورشید در یک یا دو محور برای کسب حداکثر بازدهی وجود دارد اما بدلیل گران و پیچیده بودن این تجهیزات سازه نگهدارنده صفحات به صورت ثابت در نظر گرفته شد. برای این آرایه از یک عدد اینورتر ۱۸ کیلووات برای تبدیل برق مستقیم به متناوب با بازدهی ۹۵٪ استفاده می‌شود. بدین ترتیب مجموع ۱۲۴ متر مربع از صفحات باید برای تولید الکتریسیته مورد نیاز استفاده شود. این مساحت صفحات با احتساب فضای لازم بین صفحات قسمت عمده ای از سطح بام و در صورت نیاز محوطه ساختمان را خواهد پوشاند.

در شکل ۱۰ تولید انرژی خالص خروجی برای سیستم در هر ماه نمایش داده شده است. بدیهی است این نمودار در تطابق کامل با نمودار تابش افقی می‌باشد. بر طبق مدل سیستم در ماه‌های دسامبر، ژانویه و فوریه کمترین میزان تابش و تولید انرژی را خواهیم داشت.

در این مقاله برای انتخاب نوع ماژول مورد استفاده از موارد موجود در کشور با کیفیت بالا مدل LG250S1C-G2 از کارخانه سازنده LG با توان نامی ۲۵۰ وات برای استفاده در ساختمان انرژی صفر انتخاب شده است. این مدل ماژول از تک کریستال‌های سیلیکون ساخته شده است که ۱/۵۹۳ متر مربع مساحت دارد و از شصت سلول تشکیل شده است. بازدهی این صفحه خورشیدی به صورت نامی ۱۵/۷۱٪ می‌باشد. برای انتخاب اندازه‌ی سیستم با داشتن اطلاعات بار مصرفی به صورت ساعتی و استفاده از نرم‌افزار System Advisor Model یک آرایه شامل ۷۸ ماژول طراحی شده است تا توان نامی ۲۰ کیلووات را در زمان کارکرد استاندارد تولید کند (۱۴). انحراف زاویه‌ای مناسب برای ماژول‌ها پس از بررسی چند باره ۳۰ درجه انتخاب شده است.

اگرچه امکان تعبیه تجهیزات لازم بر روی ماژول‌ها برای تعقیب

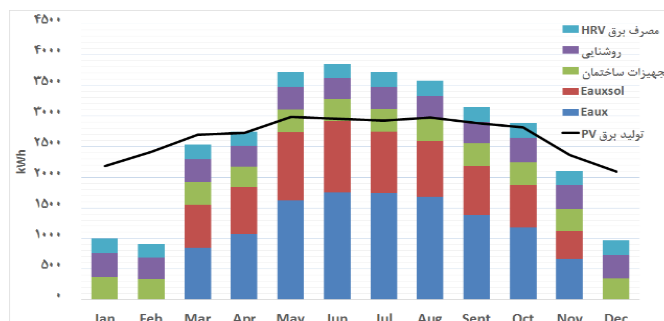


شکل ۱۰ - انرژی خالص خروجی ماهانه

Figure 10 – Monthly output pure energy

شده است. در این جدول E_{aux} و E_{auxsol} به ترتیب کل مصرف برق سیستم‌های سرمایشی و کل مصرف برق سیستم‌های خورشیدی می‌باشد.

در پایان بخش شبیه‌سازی طراحی ساختمان از دید فنی، خلاصه نتایج مربوط به تولید و مصرف انرژی در ساختمان در شکل ۱۱ آورده شده است. در این جدول مصارف جانبی سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی همچون پمپ‌ها و فن واحد HRV آورده



شکل ۱۱ - خلاصه نتایج مربوط به تولید و مصرف انرژی در ساختمان

Figure 11 – The summary results of production and consumption of energy in building

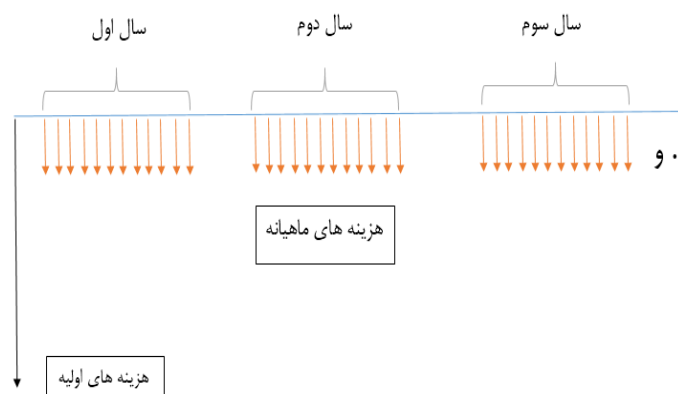
ارزیابی اقتصادی

اعلام شده توسط بانک مرکزی برای پروژه‌های عمرانی، ۱۲٪ در نظر می‌گیریم. برای محاسبه‌ی NPW با استفاده از دیگران نقدی، ابتدا هزینه‌های هر ماه را با نرخ تبدیل ۱٪ (۱۲٪/۱۲) به پایان سال می‌بریم و با جمع هزینه‌ها به یک هزینه‌ی واحد سالیانه می‌رسیم.

سپس با توجه به نامحدود بودن عمر پروژه با استفاده از رابطه‌ی ارزش خالص فعلی آن‌ها را به دست می‌آوریم و با جمع آن با هزینه‌های اولیه به NPW می‌رسیم.

در این مقاله تا به حال به بررسی فنی طراحی یک ساختمان انرژی صفر پرداختیم. در این قسمت به این امر می‌پردازیم که آیا طرح پیشنهادی از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر می‌باشد یا خیر. برای مقایسه توجیه‌پذیری طراحی پیشنهادی از روش NPW یا روش ارزش خالص فعلی استفاده می‌کنیم (۱۵). یکی از ابزارهای مورد نیاز برای ارزیابی اقتصادی استفاده از دیگران نقدی می‌باشد که در شکل ۱۳ ترسیم شده است.

نرخ تنزیل در نظر گرفته شده برای پروژه را با توجه به نرخ رسمی



شکل ۱۲ - دیاگرام جریان نقدی

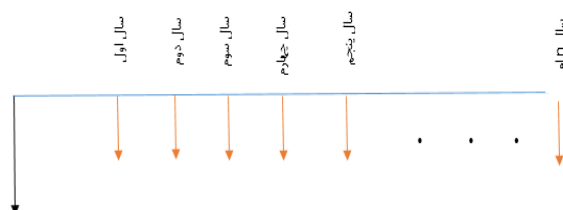
Figure 12 – Diagram of cash flow

برای محاسبه‌ی نرخ NPW، ابتدا با توجه به رابطه‌ی زیر نرخ هزینه مربوط به هر ماه را محاسبه می‌کنیم. که در جدول ۵ آمده است. پس دیاگرام جریان‌ات نقدی که در شکل ۱۲ آمده است به دیاگرام شکل ۱۳ تبدیل می‌شود.

جدول ۵- مقادیر مربوط به نرخ هزینه برای ماه‌های سال

Table 5 – The values of cost rate for months of a year

ماه	نرخ هزینه (\$)	ماه	نرخ هزینه (\$)
ژانویه	۴۹/۴۳۳	آگوست	۱۶۵/۱۹۱
فوریه	۴۴/۷۷۱	سپتامبر	۱۴۳/۸۲۰
مارس	۱۲۲/۹۷۱	اکتبر	۱۳۰/۷۰۰
آوریل	۱۳۲/۱۹۶	نوامبر	۹۴/۴۸۵
می	۱۷۷/۱۵۳	دسامبر	۴۳/۲۸۶
ژوئن	۱۸۱/۴۴۰	مجموع	۱۴۵۸/۸۷۶
جولای	۱۷۳/۴۲۹		



شکل ۱۳ - دیاگرام جریان نقدی جدید

Figure 13 – The new diagram of cash flow

در جدول ۶ ریز هزینه‌های لازم برای ساخت پروژه آورده شده است.

جدول ۶- ریز هزینه‌های مورد نیاز برای ساخت پروژه

Table 6 – Detail required costs for project

لیست هزینه‌ها	نرخ F (\$)
هزینه‌ی ساخت ساختمان تجاری	۳۷۶۴۱۱/۵۴۳
هزینه عایق‌کاری و تمهیدات صرفه‌جویی انرژی	۵۹۰۷/۱۵۱
لوازم اداری ساختمان	۹۹۹/۰۹۶
هزینه‌ی کلی سیستم خورشیدی طراحی‌شده	۵۲۶/۹۷۶
هزینه‌ی صفحه خورشیدی	۲۸۳۸/۱۴۳
لیست هزینه‌ها	نرخ F (\$)
هزینه‌ی اینورتر	۱۶۳/۱۱۱
هزینه‌ی دستگاه بازیافت انرژی انتخاب‌شده	۲۲۵/۸۴۶

با توجه به رابطه‌ی هزینه و اطلاعات جدول ۶ ارزش فعلی برابر است با:

$$P = \frac{A}{i} = \frac{1458.876}{0.12} = 12157.3$$

حال می‌توانیم NPW را حساب کنیم و آن را NPW1 نام‌گذاری می‌کنیم.

$$NPW_1 = \overbrace{-376411.543 - 999.096}^{\text{هزینه اولیه}} - 12157.304 = -389567.943$$

هزینه‌ی اینورتر و هزینه‌ی دستگاه بازیافت انرژی انتخاب‌شده را نیز در نظر می‌گیریم و همچنین به خاطر طراحی سیستم خورشیدی در سه ماه اول و دو ماه آخر سال مازاد تولید برق داریم که درآمدی از محل فروش آن به سازمان برق عایدمان می‌شود. با توجه به مبالغ موجود برای پرباری، میان‌باری و کم-باری ساختمان طراحی‌شده نرخ هزینه برابر با ۳۸/۵۱۷ دلار می‌باشد. ارزش فعلی برابر است با:

$$P = \frac{A}{i} = \frac{38.517}{0.12} = 320.975$$

لازم به ذکر است عدد منفی در نظر گرفته‌شده به خاطر ماهیت هزینه است و لازم به یادآوری است برای هزینه‌های اولیه فقط هزینه ساخت ساختمان انرژی و لوازم اداری ساختمان در نظر گرفته شده است. همانند مراحل بالا به محاسبه NPW ساختمان بهینه می‌پردازیم با این فرض که علاوه بر تفاوت در هزینه‌های اولیه با ساختمان قبلی که هزینه‌های دیگری هم‌چون هزینه کلی سیستم خورشیدی طراحی‌شده، هزینه صفحه‌ی خورشیدی،

حال می‌توانیم NPW را حساب کنیم و آن را NPW2 نام‌گذاری می‌کنیم.

$$NPW_2 = -376411.543 - 999.096 - 526.976 - 2838.143 - 163.111 - 225.846 - 320.975 = -381485.69$$

حال برای مقایسه‌ی دو طراحی بهینه و غیربهینه بایستی مقدار سود خالص را حساب کنیم:

$$NPW_2 - NPW_1 = -381485.693 - (-389567.944) = 8082.251$$

پایان به محاسبه‌ی دوره‌ی بازگشت سرمایه می‌پردازیم که به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$n = \frac{\Delta P_{\text{initial cost}}}{\Delta A_{\text{yearly}}} = \frac{9651.191}{1458.876 - 38.517} = 6.79$$

با توجه به مثبت‌شدن مقدار خالص فایده‌مندی نتیجه می‌شود ساخت ساختمان دوم (بهینه) موجب کاهش هزینه می‌شود. در

بنابراین دوره‌ی بازگشت سرمایه ۶/۷۹ سال می‌باشد.

نتیجه گیری

استفاده از انرژی خورشیدی در طراحی ساختمان انرژی صفر، سبب کاهش مصرف انرژی می شود. با استفاده از نرم افزار AutoCAD و نرم افزار تحلیلی Design builder بهترین طرح فنی استخراج و برای انتخاب اندازه سیستم از نرم افزار System Advisor model (Sam) استفاده می شود و مدل نرم افزاری سیستم سرمایش خورشیدی با نرم افزار PISTACHE شبیه سازی می گردد، و برای تحلیل اقتصادی از روش ارزش گذاری فعلی استفاده می شود. مشخصات پوسته ساختمان نقش اساسی روی بارهای سرمایشی و گرمایشی ایفا می نمایند. به منظور محاسبه بار سرمایشی از نرم افزار دیزاین بیلدر استفاده شده است. میزان بیشینه بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان به ترتیب $46/6 \text{ kW}$ و $20/65 \text{ kW}$ بدست آمده است (برای ساختمان با پوسته غیربینه، این مقادیر به ترتیب $81/46 \text{ kW}$ و $33/5 \text{ kW}$ است) که برای تامین حدود ۴۰ درصد بارهای سرمایشی از چیلر جذبی با کلکتور خورشیدی لوله‌ی خلا استفاده شده است. کاهش میزان بارهای سرمایشی و گرمایشی به گونه‌ای که حد آسایش ساکنین نیز از بین نرود (در اینجا دمای ترموستات برای سرمایش و گرمایش به ترتیب ۲۵ و ۲۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شد)، سبب کاهش ساینز تجهیزات تولیدکننده سرما و گرما خواهد شد. از طرفی بکارگیری حداکثری روشنایی طبیعی، استفاده از سیستم بازیافت حرارت تهویه، استفاده از پنجره‌های پربازده، استفاده از سایبان، تجهیزات برقی پیراندمان و سبب کاهش چشمگیر مصرف انرژی در ساختمان شده است به گونه‌ای که کل مصرف (سرمایش، گرمایش، تجهیزات گازی و برقی، آبگرم مصرفی و روشنایی) در ساختمان 31141 کیلووات ساعت می باشد، در صورتی که تولید برق توسط پنل‌های فتوولتائیک 32017 کیلووات ساعت حاصل گردید. در پایان با استفاده از تحلیل اقتصادی به این نیز نشان داده شد که طراحی ساختمان انرژی صفر نسبت به حالت غیربینه‌ی ساختمان دارای سود خالص می باشد و از نظر اقتصادی مقرون به صرفه می باشد.

منابع

- Hosseini SE, Andwari AM, Wahid MA, Bagheri G. ,2013. A review on green energy potentials in Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews;vol.533,pp.27-34.
- Torcellini P, Pless S, Deru M, Crawley D, . 2006. Zero energy buildings: a critical look at the definition. National Renewable Energy Laboratory and Department of Energy, US
- Deng S, Wang R, .Dai Y2014. How to evaluate performance of net zero energy building—A literature research. Energy;vol.71,pp.1-16.
- Serag-Eldin M,. 2010. editor Thermal design of a modern, two floor, zero energy house in a desert compound. Thermal Issues in Emerging Technologies Theory and Applications (ThETA), 2010 3rd International Conference on.
- Moore T, Morrissey J., 2014. Lifecycle costing sensitivities for zero energy housing in Melbourne, Australia. Energy and Buildings.vol.79.pp.1-11.
- Lu Y, Wang S, Yan C, Huang Z.2017. Robust optimal design of renewable energy system in nearly/net zero energy buildings under uncertainties. Applied Energy. vol.87.pp.62-71.
- Saberbari E, Saboori H, editors.2014. Net-zero energy building implementation through a grid-connected home energy management system. Electrical Power Distribution Networks (EPDC), 2014 19th Conference on;
- Shen L, Pu X, Sun Y, Chen J.2016. A study on thermoelectric technology application in net zero energy buildings. Energy. vol.113. pp.9-24.

- building in DesignBuilder/EnergyPlus: custom versus default inputs. Proc Of 11th International IBPSA Conference, Glasgow.
13. Matiello P, de Melo AC, editors.2011. PiStache: implementing π -calculus in scala. Brazilian Symposium on Formal Methods.
 14. Blair N, Dobos A, Freeman J, Neises T, Wagner M, Ferguson T, et al.2014. System advisor model, sam 2014.1. 14: General description. Nat Renew Energy Lab, Denver, CO, USA, Tech Rep NREL/TP-6A20-61019.
 15. Pennisi G, Scandizzo PL.2006. Economic evaluation in an age of uncertainty. Evaluation. vol.12(1)pp.77-94.
 9. Bisegna F, Burattini C, Manganelli M, Martirano L, Mattoni B, Parise L, editors.2016. Adaptive control for lighting, shading and HVAC systems in near zero energy buildings. Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2016 IEEE 16th International Conference on.
 10. Zhang S, Zhuang Z, Hu Y, Yang B, Tan H. 2016. Applicability Study on a Hybrid Renewable Energy System for Net-Zero Energy House in Shanghai. Energy Procedia.vol.88.pp.768-74.
 11. Molenaar KR, Gransberg DD.2001. Design-builder selection for small highway projects. Journal of Management in Engineering. vol17(4).pp14-23.
 12. Wasilowski HA, Reinhart CF, editors.2009 Modelling an existing