



## The Effect of Dynamic Double Skin Façade on Energy Efficiency in Khayyam Administrative Building

### ARTICLE INFO

#### Article Type

Analytic Study

#### Authors

Sima Khayami11

Dr. Khosro Daneshjoo 2

#### How to cite this article

Khayami.S , Daneshjoo. K .The Effect of Dynamic Double Skin Façade on Energy Efficiency in Khayyam Administrative Building. 2022 June 22 ;12(2):110-137  
<https://doi.org/10.1001.1.23224991.1401.12.2.6.8>

1. Architecture Department, Art & Architecture Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2. Architecture Department, Art & Architecture Faculty, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

#### \*Correspondence

Address: Art and Architecture Faculty, Tarbiat Modares University, Jalal Al-Ahmad Highway, Tehran, Iran.

Email: khdaneshjoo@modares.ac.ir

Phone: 02182883753

#### Article History

Received: 2022/04/03

Accepted: 2022/06/09

ePublished: 2022/06/22

### ABSTRACT

**Aims:** The construction sector accounts for a large portion of the world's energy consumption; which in Iran, it's more than 40% of energy consumption. Office buildings have a relatively unfavorable energy consumption pattern due to impersonal ownership and lack of supervision and needs improvement. The aim of this research is to improve the energy performance of these buildings by using a dynamic double skin façade

**Methods:** In this research, first the dominant pattern of office buildings in Mashhad has been studied. Since the design is done in Mashhad, which is one of the religious centers of the country, and to create this feeling in users, the pattern used in its second skin is inspired by Islamic patterns of tiles and decorations of the holy shrine of Imam Reza (AS). After analyzing the energy performance of 5 selected patterns with Ladybug and Honeybee plugins, the most optimal pattern is used.

**Findings:** Daylight is one of the most influential parameters in the design of energy efficient buildings. To make the most of this parameter, it is necessary to create facades with maximum transparency. But these facades face challenges such as overheating. Therefore, it's important to control the amount of daylight entering.

**Conclusion:** In this research, an optimal solution to improve the energy performance of a 5-storey office building in Mashhad by using a dynamic double skin façade with the ability to control the daylight entrance is presented; which results reduction in building's energy consumption by approximately 130,000 kWh per year.

**Keywords:** Energy Consumption Optimization, Daylight Control, Double Skin Façade, Dynamic Shading Skin, Shading Skin, New Technologies, Persian Architecture

### CITATION LINKS

- [1] Ji R, Zheng Y, Zou Z, Wei S, Qu S. Climate Applicability Study of Building Envelopes Containing Phase Change Materials ... [2] Wang Y, Wei C. Design Optimization of Office Building Envelope Based on Quantum Genetic Algorithm for Energy Conservation... [3] Theodosiou T, Tsikaloudaki K, Tsoka S, Chastas P. Thermal Bridging Problems on Advance Cladding Systems and Smart Building Facades... [4] Ghaffarianhoseini A, Ghaffarianhoseini A, Berardi U, Tookey J, Hin Wa Li D, Kariminia S. Exploring the Advantages and Challenges of Double-Skin Facades (DSFs)... [5] Kim D, Cox S.J, Cho H, Yoon J. Comparative Investigation on Building Energy Performance of Double Skin Façade (DSF) with Interior or Exterior Slat Blinds... [6] Barbosa J, Lp K. Perspectives of Double Skin Facades for Naturally Ventilated Buildings... [7] Li Y, Darkwa J, Su W. Investigation on Thermal Performance of an Integrated Phase Change Material Blind System for Double Skin Façade Buildings... [8] Samadi S, Noorzai E, Beltrán L, Abbasi S. A Computational Approach for Achieving Optimum Daylight Inside Buildings through Automated Kinetic Shading Systems... [9] Choi H, Hong S, Choi A, Sung M. Toward the Accuracy of Prediction for Energy Savings Potential and System Performance Using the Daylight Responsive Dimming System... [10] Kirmat A, Krejcar O. Multi-objective Optimization at the Conceptual Design Phase of an Office Room through Evolutionary Computation... [11] Mahdaviyeh M.J, Mator S, Feyzmand ., Doroodgar A. Horizontal Distribution of Illuminance with Reference to Window Wall Ratio (WWR) in Office Buildings in Hot and Dry Climates, Case of Iran, Tehran... [12] Torcellini P, Pless S, Deru M, Crawley D. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. National Laboratory of the US Department of Energy... [13] Pilechiha P, Mahdaviyeh M.J, Pour Rahimian F, Carnemolla P, Seyedzadeh S. Multi-objective Optimization Framework for Designing Office Windows: Quality of View, Daylight and Energy Efficiency... [14] Nabil A, Mardaljevic J. Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm for Assessing Daylight in Buildings... [15] Kirmat A, Koyunbaba B.k, Chatzikonstantinou I, Sariliyildiz S. Review of Simulation Modeling for Shading Devices... [16] Wagdy A, Fathy F. A Parametric Approach for Achieving Optimum Daylighting Performance through Solar Screens in Desert Climates. [17] Johnsen K, Watkins R. Daylight in ... [18] Alawadhi E.M. Double Solar Screens for Window to Control Sunlight in Kuwait. Journal of Building and Environme.... [19] <https://architizer.com/idea/733016/> [20] <https://www.archdaily.com/> [21] <https://www.architonic.com/it/project/ernst-giselbrecht-partner-dynamic-facade-kiefer-technic-showroom/5100449> [22] [https://inhabitat.com/kiefer-technic-showroom-has-mind-blowing-dancing-facade/kiefer-technic\\_8/](https://inhabitat.com/kiefer-technic-showroom-has-mind-blowing-dancing-facade/kiefer-technic_8/) [23] <http://moremoreless.blogspot.com/2017/01/kiefer-technic-showroom-dynamic-facade.html> [24] <https://gatornin.netlify.app/kiefer-technic-...> [25] <http://arcdog.com/portfolio/sdu-university-of-...>

## تأثیر نمای دو پوسته متحرک در بهره‌وری مصرف انرژی در ساختمان اداری خیام

### مشهد

سیما خیامی<sup>1</sup>، دکتر خسرو دانشجو<sup>2\*</sup>

1- کارشناسی ارشد معماری، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

2- دکتری معماری؛ استادیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. (نویسنده مسئول)

### چکیده

**اهداف:** سهم زیادی از مصرف انرژی در جهان، متوجه بخش ساختمان است؛ که در ایران، بیش از 40٪ مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهد. ساختمانهای اداری به سبب مالکیت غیرشخصی و عدم وجود نظارت، الگوی مصرف انرژی نسبتاً نامطلوبی داشته و نیازمند اصلاحاتی هستند. هدف پژوهش بهبود عملکرد انرژی این ساختمانها با بکارگیری نمای دوپوسته متحرک است.

**ابزار و روش ها:** در این پژوهش، ابتدا به بررسی الگوی غالب ساختمانهای اداری شهر مشهد پرداخته شده است. از آنجا که طراحی در شهر مشهد که یکی از قطبهای مذهبی کشور است صورت میگیرد و بمنظور ایجاد این حس در کاربران، الگوی بکار رفته در پوسته دوم آن از نقوش اسلامی کاشی کاریها و تزئینات حرم مطهر امام رضا (ع) الهام گرفته شده است. پس از تحلیل عملکرد انرژی 5 الگوی انتخابی با افزونه های لیدی باگ و هانی بی، بهینه ترین الگو بکارگرفته شده است.

**یافته ها:** نور روز از تاثیرگذارترین پارامترها در طراحی ساختمانهای انرژی-کارآمد است. برای بهره گیری هرچه بیشتر از این پارامتر، نیاز است که نماهایی با حداکثر شفافیت ایجاد شود. اما این نماها با چالشهایی همچون گرم شدن بیش از حد در فصول گرم مواجه میشوند. بنابراین، نیاز است که میزان ورود نور روز کنترل شود.

**نتیجه گیری:** در این پژوهش راهکاری بهینه برای بهبود عملکرد انرژی ساختمانی اداری طراحی شده در 5 طبقه در مشهد با بکارگیری نمای دوپوسته متحرک با قابلیت کنترل ورود نور روز ارائه شده؛ که درنهایت این پوسته متحرک حدوداً 130 هزار کیلووات ساعت در سال، مصرف انرژی ساختمان را کاهش می‌دهد.

**کلمات کلیدی:** بهینه سازی مصرف انرژی، کنترل نور روز، نمای دوپوسته، پوسته متحرک، پوسته سایه انداز، فناوری های نوین، معماری ایرانی

### مقدمه

قیمت نفت و سوخت‌های فسیلی پی در پی در حال افزایش است، و همین مسئله میزان مصرف و چگونگی تولید انرژی را به یکی از چالش‌های اساسی برای کشورهای در حال توسعه تبدیل کرده است. در دهه‌های اخیر، میزان تقاضای انرژی جامعه ما به خصوص در بخش ساختمان به طور پیوسته در حال افزایش است. [1] مصرف انرژی ساختمان‌ها در کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه حدود 40٪ از کل انرژی مصرفی را تشکیل می‌دهد. [2] در دهه‌ی اخیر سرانه‌ی مصرف انرژی در ایران حدود پنج برابر سرانه‌ی جهانی آن است. افزایش پیوسته تقاضا برای ساختمان‌های انرژی کارآمد، توجه گسترده‌ای را به عملکردها و نقش‌های عناصر ساختمانی مختلف جلب کرده است. [3] پوسته‌ها، به‌عنوان اصلی‌ترین عنصر ساختمانی نقشی حیاتی در حفاظت از محیط‌های داخلی و کنترل تعاملات بین فضاهای داخلی و خارجی دارند. [4] معمولاً پوسته‌های ساختمانی را متشکل از سطوح قابل نفوذ و غیرقابل نفوذ در نظر می‌گیرند. [5] نماهای مرسوم می‌توانند منجر به تهویه طبیعی ضعیف، سطح پایین نور روز، عدم آسایش حرارتی، و افزایش مصرف انرژی شوند. این معایب غالباً در نماهای مدرن که دارای مقادیر قابل توجهی شیشه هستند، تشدید می‌شود. در اثر جذب حرارت خورشیدی بالا یا میزان قلیل توجهی از اتلاف حرارتی در شب یا اقلیم سرد، نماهای شیشه‌ای وسیع منجر به مصرف انرژی زیادی می‌شوند. [4] جذب حرارت خورشیدی از طریق شیشه‌ها، منجر به 50 درصد از بار سرمایشی ساختمان شده و بنابراین تأثیرات قابل توجهی بر بارهای حرارتی دارد. با در نظر گرفتن این نکته که 22 درصد از جذب و اتلاف گرما از طریق پوسته ساختمان صورت می‌گیرد، ضرورت بهره‌گیری از تکنولوژی‌های غیرفعال در پوسته‌های ساختمانی به منظور کاهش مصرف انرژی ساختمان روشن می‌شود. [5] "ساختمان غیرفعال" ساختمانی است که در آن محیط داخلی بجای استفاده از سیستم‌های سرمایش و گرمایش مکانیکی، با سازه و طراحی معماری ساختمان و اجزا آن کنترل می‌شود. در میان راهکارهای غیرفعال، نمای دوپوسته (DSF) اخیراً به یک

فناوری محبوب تبدیل شده است. تمایل به ترکیب نمای شفاف ساختمان‌های مدرن با بهره‌وری انرژی، منجر به استفاده از DSF ها شده است. [6,7]

مسئله روشنایی طبیعی در خود-کارآمد بودن ساختمان‌ها تاثیرگذار است؛ [8] چرا که روشنایی، 15٪ از انرژی مصرفی ساختمان‌ها در سراسر جهان را به خود اختصاص می‌دهد. [9] این مسئله به خصوص در حوزه ساختمان‌های اداری توجه بیشتری را می‌طلبد؛ چرا که مصرف انرژی برای روشنایی این بخش به تنهایی بین 20٪ تا 40٪ از کل انرژی مصرفی را شامل می‌شود. [10] در ایران، روشنایی مصنوعی 25٪ از مصرف برق در ساختمان‌های اداری را به خود اختصاص می‌دهد. مطالعات و ارزیابی‌های انجام شده نشان می‌دهد که در حدود 4800 میلیون کیلووات ساعت انرژی الکتریکی (معادل 2/5 درصد از کل انرژی مصرفی کشور) صرف تامین نیازهای ادارات دولتی می‌گردد. میزان این مصرف 100 تا 1000 کیلووات ساعت به ازاء هر فرد در مترمربع بسته به مکان قرارگیری اداره، ابعاد آن و تعداد و نوع تجهیزات مورد استفاده در آن متغیر است. [11]

نور روز یک منبع مهم انرژی تجدیدپذیر است که به سادگی در دسترس است و بعید است که در آینده پیش‌رو به پایان برسد. [12] علی‌رغم آنکه ایران در ساعات کاری از نور روز زیادی برخوردار است (مشهد به‌طور متوسط 8 ساعت در روز آفتابی است)، این سطح از مصرف برق نسبتاً بالا می‌ماند. در سایه‌ی آگاهی جهانی از اهمیت عملکرد پایدارتر و کارآمدتر ساختمان، لازم است که روش‌هایی برای به حداقل رساندن مصرف برق برای روشنایی از طریق بهترین تصمیمات طراحی ارائه شود. یک روش کارآمد استفاده موثرتر از نور روز طبیعی در فضاهای داخلی است. [13] بهره‌گیری از نور روز نقشی اساسی در روشنایی ساختمان دارد، و استفاده بهینه از آن می‌تواند مصرف انرژی کلی ساختمان را کاهش دهد. علاوه بر آن، وارد کردن نور روز به محیط داخلی تاثیر به سزایی در سلامتی و آسایش ساکنین دارد. [14-16] برای تامین نور مناسب سه عامل باید

همیشه مورد توجه قرار گیرند: کمیت و کیفیت نور و نحوه توزیع آن، نور روز لحظه به لحظه به لحاظ شدت و کیفیت متغیر است و میزان مطلوب یا قابل تحمل این تغییر بسته به کاربری خاص یک فضا است. [17]

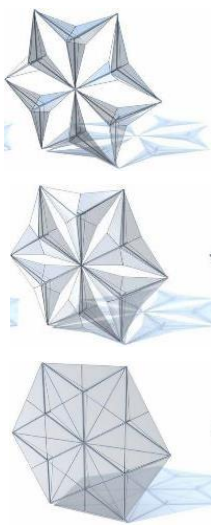
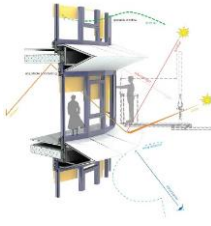
در سال‌های گذشته، محققان سعی بر این داشته‌اند که با استفاده از نور روز طبیعی به عنوان منبع اصلی انرژی ساختمان، وابستگی خود را به منابع انرژی غیرقابل تجدید انرژی کاهش دهند. بیشتر این مطالعات بر روی بهینه‌سازی نور روز داخل ساختمان‌ها تمرکز کرده‌اند. اگرچه، در متدهای آنها، به دلیل محدودیت‌های روش‌های تحقیق آنها، بالاترین حد کارایی ممکن میسر نبود. در رویکردهای خاص، اگرچه استراتژی‌های بهینه‌سازی نور روز به بهترین زاویه‌ی عناصر سایه انداز دست یافته‌اند، اما این سیستم را نمی‌توان به صورت سه بعدی حرکت داد، در نتیجه میزان بهینه و در دسترس نور در طول روز کاهش می‌یابد. در طراحی‌های بهینه، به حداقل رساندن مصرف انرژی هدف اصلی است. بر این اساس، بازشوهایی برای ورود نور خورشید به داخل فضا در نظر می‌گیرند و از این طریق با کاهش روشنایی الکتریکی، مصرف انرژی کاهش می‌یابد. [18] پژوهش‌های قبلی ضعف‌هایی داشتند، چرا که یک مدل‌سازی برای تامین نور روز بهینه در فضای داخلی نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد. در پژوهش حاضر، با طراحی یک پوسته‌ی دوم متحرک در جبهه‌ی جنوبی ساختمان اداری که قابلیت کنترل آن توسط ساکنین برای بهینه‌سازی ورود نور روز به داخل فضا وجود دارد، میزان روشنایی فضای داخلی توسط نور روز بهینه شده است. این سیستم متحرک که متشکل از اجزاء عملکردی مستقلی است، نه تنها به بهره‌گیری از نور روز کمک می‌کند، بلکه میزان نور روز را در کل فضا متعادل می‌کند و در عین حال از تابش مستقیم نور روز به داخل فضا جلوگیری می‌کند. این پوسته متحرک با کاهش نیاز به روشنایی مصنوعی و سرمایش (به لحاظ کاهش جذب نور خورشید) باعث صرفه جویی در مصرف انرژی می‌شود. این پژوهش با هدف طراحی یک پوسته‌ی

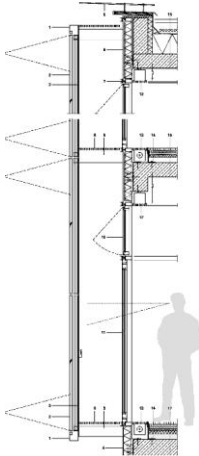
### مواد و روش‌ها

همانطور که اشاره شد، دغدغه‌ی اصلی این پژوهش ارائه راهکاری به منظور کاهش سطح مصرف سوخت‌های فسیلی، بهره‌گیری هرچه بیشتر از نور خورشید به عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر و بکارگیری روشی غیرفعال در طراحی پوسته‌ای متحرک در جهت بهبود روند مصرف انرژی ساختمان است. به این منظور ابتدا به بررسی پیشینه‌ای از پروژه‌های انجام شده در این حوزه پرداخته شده و اهداف و راهکارهای آنها مورد بررسی قرار گرفته است.

متحرک که حرکت و چرخش اجزاء آن به منظور بهینه‌سازی ورود نور روز به داخل قابل کنترل است، صورت گرفته است. در نتیجه یکی از در دسترس‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر، نور خورشید است که به صورت‌های مختلفی می‌تواند در کاهش روند مصرف انرژی تأثیر بسزایی داشته باشد. با این حال، این منبع انرژی می‌تواند در فصول گرم نتیجه عکس داشته و بار سرمایشی محیط را افزایش دهد. به این منظور با به کارگیری روشی که بتواند امکان بهره‌گیری از انرژی خورشیدی را در فصول سرد فراهم کرده و در عین حال از تأثیرات نامطلوب این منبع انرژی در فصول گرم جلوگیری کند، می‌تواند تأثیری دوچندان در بهبود روند مصرف انرژی داشته باشد.

جدول 1- نمونه پروژه‌های انجام شده در این حوزه و اهداف و راهکارهای آنها [نگارنده]

| نمونه                                                                                                                                                                                                                             | هدف                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | راهکار                                                                                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>برج البحر</p>  <p>منبع [19]</p>  <p>منبع [20]</p>    | <p>سازگاری با آب و هوای ابوظبی (شدیدا آفتابی، دمای بالای 100 درجه فارنهایت با درصد احتمال بارش 0٪)</p> <p>نمایی پاسخگو به نور خورشید و تغییر زوایای تابش در طول روزهای مختلف سال</p> <p>کاهش خیرگی</p> <p>کاهش 50 درصدی جذب حرارت خورشیدی</p> <p>کاهش نیاز ساختمان به انرژی برای تهویه مطبوع</p> <p>فیلتر کردن نور</p> <p>دید بهتر</p> <p>نیاز کمتری به نور مصنوعی</p> <p>شفافیت نما در شب [20]</p> | <p>سیستم سایه اندازی مشربیه با پانلهای متحرک [20]</p>  <p>منبع [20]</p> |
| <p>مجموعه اداری نمایشگاهی Kiefer Technic Showroom</p>   | <p>تغییر براساس شرایط محیط خارجی</p> <p>تأمین آسایش محیط داخلی</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <p>نمای متحرک سازگار با تغییرات شرایط محیط خارجی</p>  <p>منبع [23]</p>  |

|                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  <p>منبع [24]</p>                                             | <p>تغییر فضاهای شخصی به سلیقه کاربران</p> <hr/> <p>ارائه ی نماهای متفاوت در طول روز به عنوان یک مجسمه ی پویا</p> <hr/> <p>قابلیت کنترل توسط برنامه های بهینه سازی [20]</p>                                                            |  <p>منبع [20-22]</p>                                                   |
| <p>سیستم سایه انداز خورشیدی متحرک [20]</p>  <p>منبع [25]</p> | <p>پاسخگویی به تغییر شدت نور روز</p> <hr/> <p>سازگاری با شرایط آب و هوایی خاص</p> <hr/> <p>سازگاری با نیازهای کاربر</p> <hr/> <p>تامین نور روز بهینه</p> <hr/> <p>تامین شرایط آسایش داخلی</p> <hr/> <p>پویایی نما در طول روز [20]</p> | <p>پردیس دانشگاه دانمارک<br/>SDU Campus Kolding</p>  <p>منبع [25]</p> |

مطالعه‌ی نمونه‌ها نشان داد که بخش زیادی از تلاش‌ها در جهت کنترل بهینه‌ی ورود نور روز، تامین آسایش محیط داخلی و کاهش سطح مصرف انرژی صورت گرفته است. این رویکرد امکان بهره‌گیری از نما به دو صورت کاملاً شفاف و کاملاً صلب را فراهم کرده و در کنار ایجاد دید و منظر مناسب، پتانسیل‌های مناسبی در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی فراهم می‌سازد. علاوه بر آن، متحرک بودن عناصر نما، به آن پویایی بخشیده و به کاربران این اجازه را می‌دهد که براساس نیاز خود تغییراتی در آن ایجاد کرده و در عین حال ظاهری متفاوت در نما ایجاد کنند. همچنین با مجهز کردن این نماها به سنسورهایی حساس به نور خورشید و تنظیم حرکت آن‌ها براساس میزان نور خورشید، می‌توان گامی دوچندان در جهت بهبود روند مصرف انرژی برداشت. بدین ترتیب، در اکثر پروژه‌هایی این چنین، نقطه عطف پروژه کنترل ورود نور روز، هماهنگ سازی آن با نیازهای کاربر و

تنظیم عملکرد آنها در جهت کاهش مصرف انرژی می‌باشد. در این پژوهش، ابتدا با مطالعات میدانی به بررسی الگوی غالب ساختمان‌های اداری در شهر مشهد پرداخته شد و چهارچوبی به لحاظ تعداد طبقات، مصالح و جهت‌گیری برای طراحی پروژه بدست آمد. در این پروژه با هدف بهره‌گیری هرچه بیشتر از نور روز، از نمای تمام شیشه‌ای در جبهه‌های نورگیر استفاده شده که به منظور کنترل میزان نور روز ورودی در فصول مختلف، پوسته‌ای متحرک بر روی آن قرار می‌گیرد. از آنجا که این پروژه در شهر مشهد مقدس واقع شده است، از هندسه بکار رفته در گره چینی‌ها و تزئینات حرم مطهر امام رضا (ع) در طراحی پوسته استفاده شده است. از این میان 5 هندسه انتخاب شده و به لحاظ انرژی مورد بررسی و آنالیز قرار گرفتند و در نهایت بهینه‌ترین هندسه مورد استفاده قرار گرفت. در میان دوپوسته صفحاتی تاشو قرار گرفته اند که با حرکت پوسته، این صفحات باز و بسته شده و درصد تخلخل

بوده تا بتوان مقایسه‌ی بهتری از نتایج را پیش رو داشت. در نهایت بهینه‌ترین حالت آن برای پوسته در نظر گرفته شده و پروژه در دو حالت با پوسته و بدون پوسته مورد بررسی قرار گرفت تا تاثیر آن در مقیاس واقعی سنجیده شود. بنابراین این پژوهش در دسته‌ی پژوهش‌های کاربردی قرار می‌گیرد.

پوسته را در فصول مختلف تغییر می‌دهند. به‌منظور بهینه‌سازی هرچه بیشتر، درصد تخلخل این پوسته در حالت باز و بسته به کمک افزونه‌های لیدی باگ و هانی بی در نرم افزار راینو مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج آن در قالب جداول و نمودارها در طول یک سال ارائه شده است. این نتایج نشان دهنده‌ی مصرف انرژی در واحد کیلووات ساعت در سال

جدول 2. تصاویر بافت پروژه [نگارنده]

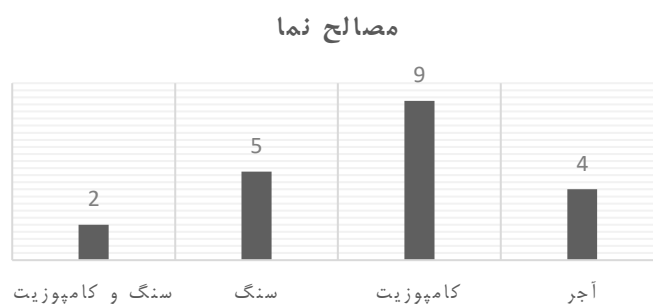


در جدول زیر جمع بندی نتایج بررسی بافت پروژه ارائه شده است:

جدول 3. جمع بندی نتایج بررسی بافت پروژه [نگارنده]

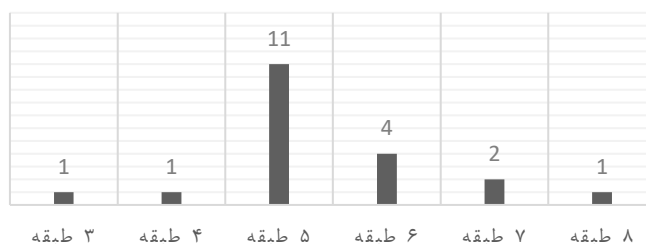
| تعداد طبقات | کشیدگی      | میزان چرخش      | جهت گیری              | مصالح نما      |
|-------------|-------------|-----------------|-----------------------|----------------|
| 7           | شرقی-غربی   | 30 به جنوب غربی | شمال غربی و شمال شرقی | سنگ و کامپوزیت |
| 6           | شرقی-غربی   | 40 به جنوب غربی | شمال غربی             | سنگ            |
| 3           | شرقی-غربی   | 40 به جنوب شرقی | شمال غربی و جنوب غربی | کامپوزیت       |
| 5           | شرقی-غربی   | 40 به جنوب غربی | شمال غربی و جنوب غربی | سنگ            |
| 5           | شمالی-جنوبی | 35 به جنوب شرقی | جنوب شرقی و جنوب غربی | کامپوزیت       |
| 5           | شمالی-جنوبی | 40 به جنوب شرقی | شمال غربی             | آجر            |
| 5           | شمالی-جنوبی | 40 به جنوب شرقی | شمال غربی             | آجر            |
| 7           | شرقی-غربی   | 40 به جنوب غربی | جنوب شرقی             | سنگ            |
| 6           | شمالی-جنوبی | 40 به جنوب شرقی | شمال غربی             | کامپوزیت       |
| 5           | شرقی-غربی   | 10 به جنوب شرقی | جنوبی و شرقی          | سنگ            |
| 5           | شمالی-جنوبی | 40 به جنوب شرقی | شمال غربی             | آجر            |
| 6           | شرقی-غربی   | 40 به جنوب غربی | جنوب شرقی             | سنگ            |
| 8           | شرقی-غربی   | 25 به جنوب غربی | جنوب شرقی و جنوب غربی | کامپوزیت       |
| 5           | شرقی-غربی   | 40 به جنوب غربی | جنوب غربی             | کامپوزیت       |
| 6           | شرقی-غربی   | 45 به جنوب شرقی | شمال شرقی و جنوب شرقی | کامپوزیت       |
| 5           | شرقی-غربی   | 40 به جنوب غربی | شمال شرقی و شمال غربی | آجر            |
| 5           | شمالی-جنوبی | 40 به جنوب شرقی | شمال غربی و جنوب غربی | کامپوزیت       |
| 5           | شرقی-غربی   | 40 به جنوب غربی | شمال شرقی             | کامپوزیت       |
| 5           | شرقی-غربی   | 40 به جنوب غربی | جنوب شرقی             | سنگ و کامپوزیت |
| 4           | شمالی-جنوبی | 12 به جنوب شرقی | شمال غربی             | کامپوزیت       |

نمودار 1. نمودار مصالح نمای بافت پروژه [نگارنده]



نمودار 2. نمودار تعداد طبقات ساختمانهای بافت پروژه [نگارنده]

## تعداد طبقات

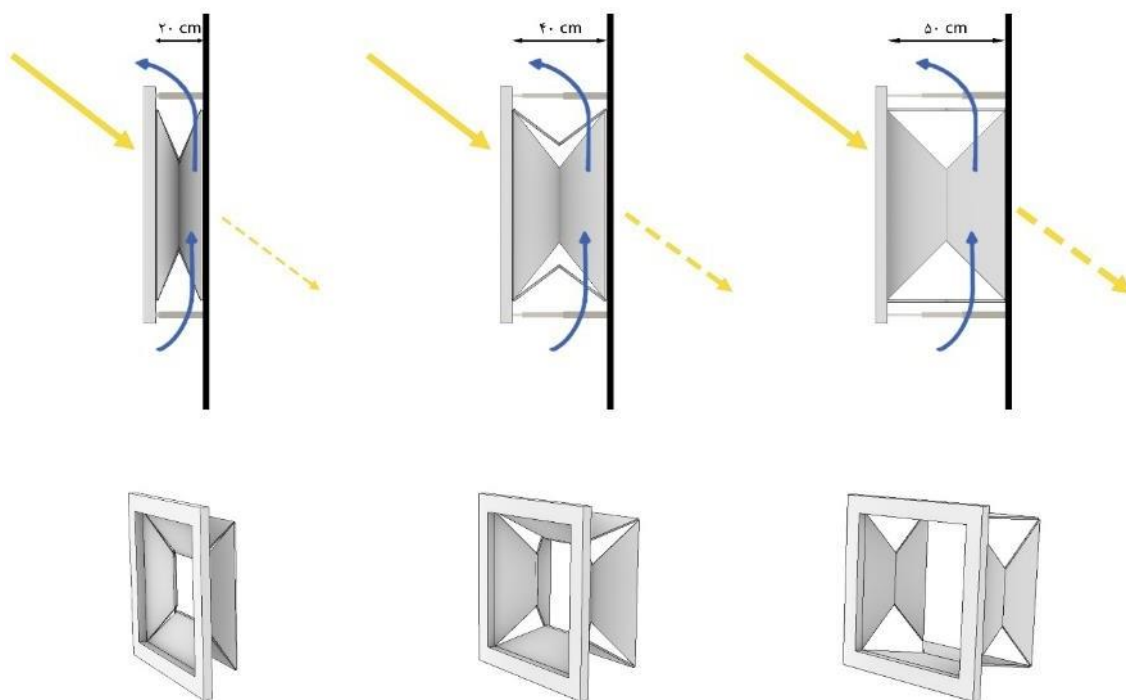


قرار گرفته و با حرکت پوسته باز و بسته می شوند و میزان ورود نور روز را کنترل می کنند. مطالعه پژوهش‌های پیشین در حوزه نماهای دوپوسته، نشان می‌دهد که به منظور برخورداری از تهویه طبیعی مناسب در فضای بین دو پوسته و همچنین با هدف جلوگیری از گرم شدن بیش از حد آن، فاصله ی دو پوسته باید 20 تا 60 سانتیمتر باشد. از این رو، در این طراحی حرکت پوسته به این صورت در نظر گرفته شده است که فاصله ی فضای بین دو پوسته به هنگام باز و بسته شدن بین 20 تا 60 سانتیمتر تغییر کند تا به لحاظ انرژی از عملکرد مطلوبی برخوردار باشد.

با بررسی نمودارها و جدول بالا، درمی‌یابیم که ساختمان‌های اداری واقع در بافت پروژه غالباً 5 طبقه بوده و با کشیدگی شرقی-غربی دارای جهت‌گیری 40 درجه به سمت جنوب می باشند. همچنین مصالح نما نیز اکثراً از کامپوزیت تشکیل شده است. بدین ترتیب این نتایج به عنوان داده‌هایی در مراحل بعدی مورد استفاده قرار می گیرند.

## طراحی الگوی پوسته

ایده ی اولیه طراحی پوسته، متشکل از پوسته‌ای باز و بسته شونده است که صفحاتی تاشونده در فضای بین دوپوسته



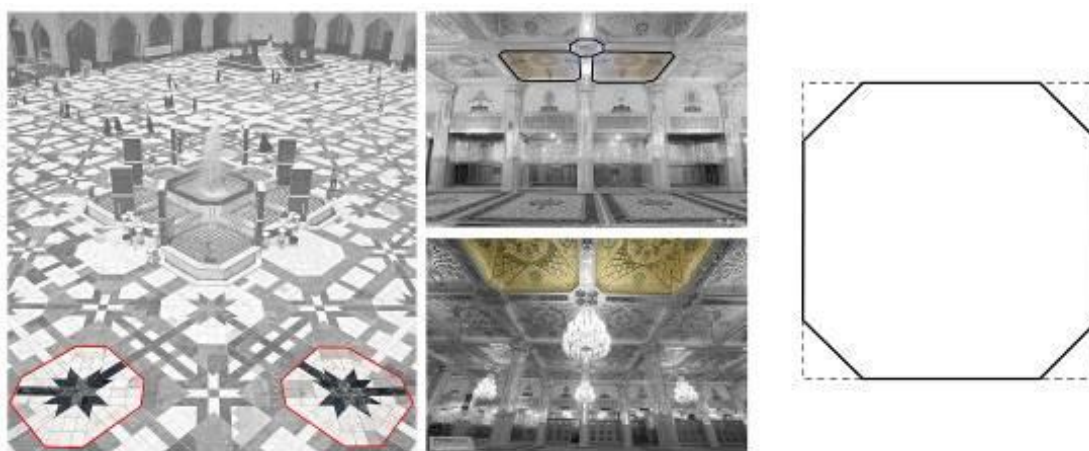
شکل 1. ایده ی اولیه طراحی پوسته [نگارنده]

امام رضا (ع) پرداخته و از میان آن‌ها 5 الگو انتخاب شده و توسط نرم افزارهای تحلیل انرژی مورد بررسی قرار خواهند گرفت. در ادامه به ارائه‌ی این هندسه‌ها پرداخته می‌شود:

حال این سوال پیش می‌آید که پوسته با چه هندسه‌ای متخلخل باشد؟ به این منظور، و با عنایت به این موضوع که این پروژه در شهر مشهد مقدس که یکی از قطب‌های مذهبی کشور است واقع شده و با هدف القای این حس به کاربران، برای تعیین هندسه‌ی تخلخل پوسته به بررسی الگوهای بکار رفته در گره چینی‌ها و تزئینات حرم مطهر

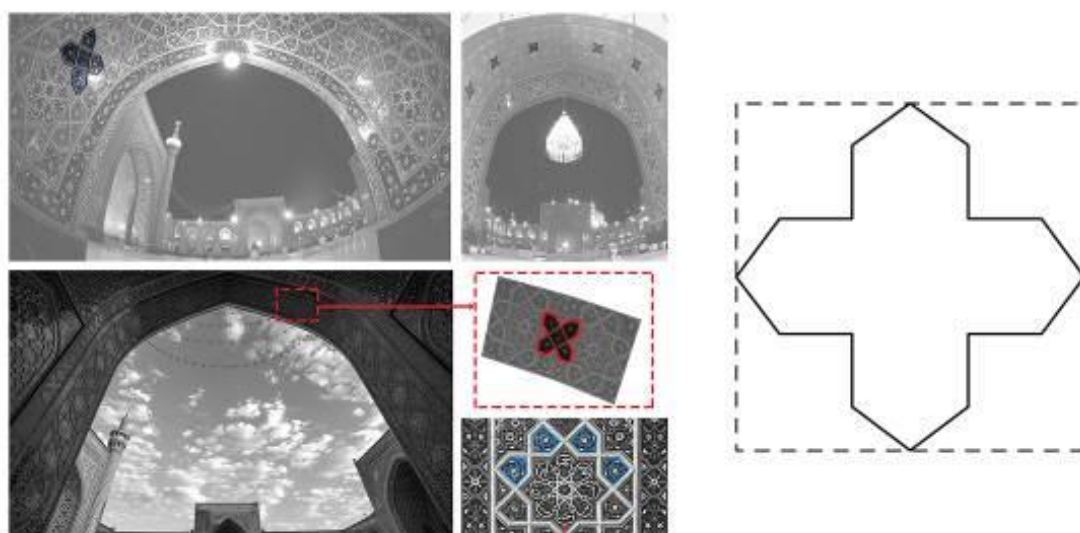
## 1. هندسه اول:

شکل 2. هندسه اول برگرفته از صحن حرم امام رضا و سقف [نگارنده]



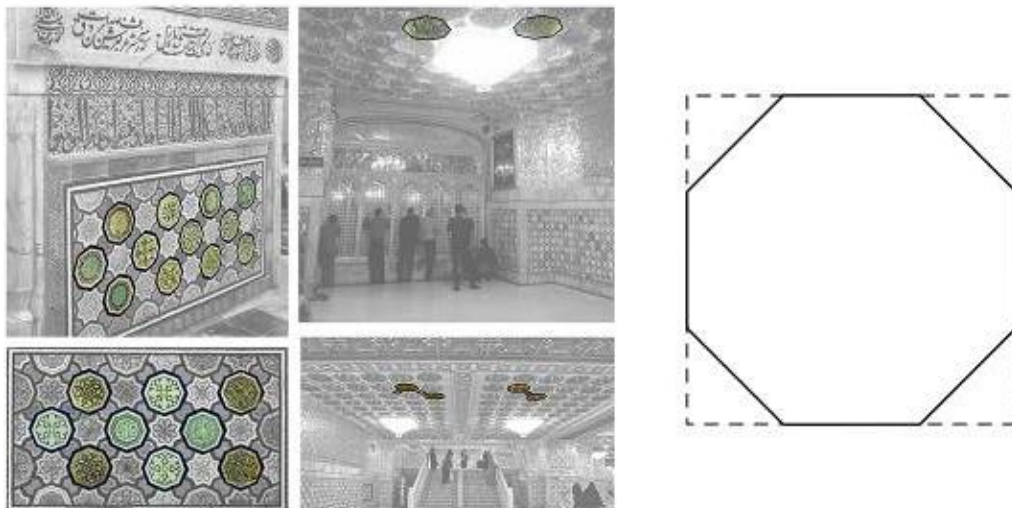
## 2. هندسه دوم:

شکل 3. هندسه دوم برگرفته از ایوان مسجد گوهرشاد [نگارنده]



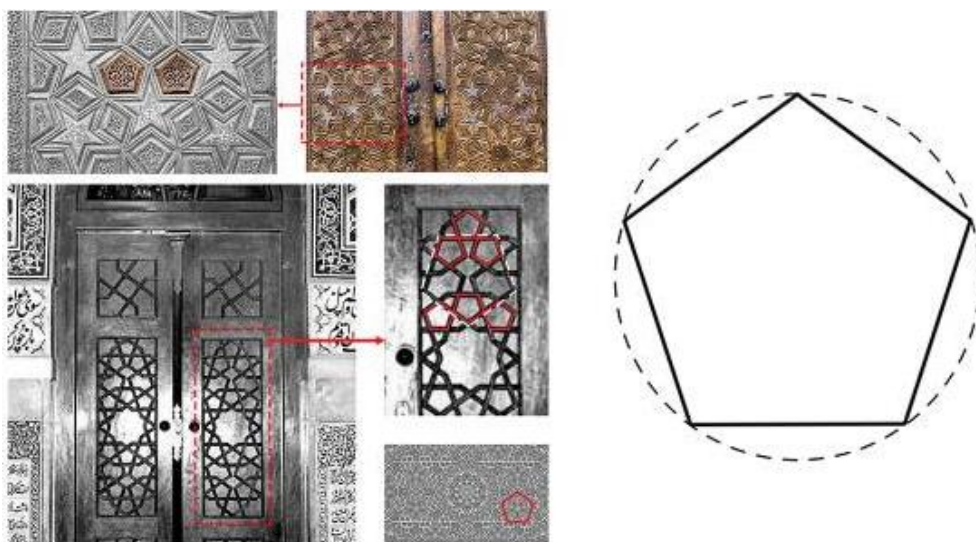
### 3. هندسه سوم:

شکل 4. هندسه سوم برگرفته از سقف و تزیینات ضریح امام رضا (ع) [نگارنده]



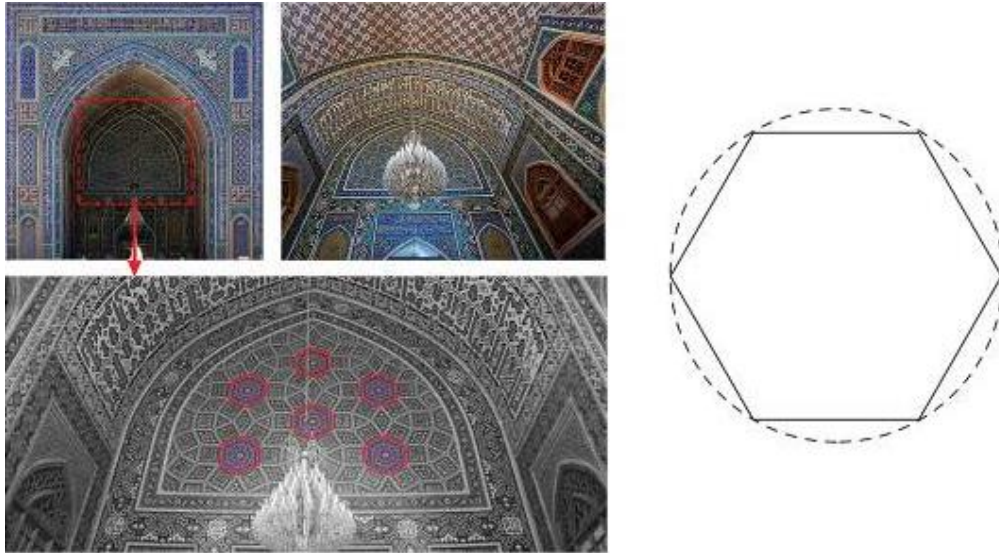
### 4. هندسه چهارم:

شکل 5. هندسه چهارم برگرفته از درب ایوان دارالسیاده (صحن گوهرشاد) [نگارنده]



## 5. هندسه پنجم:

شکل 6. هندسه پنجم برگرفته از ایوان دارالسیاده (صحن گوهرشاد) [نگارنده]

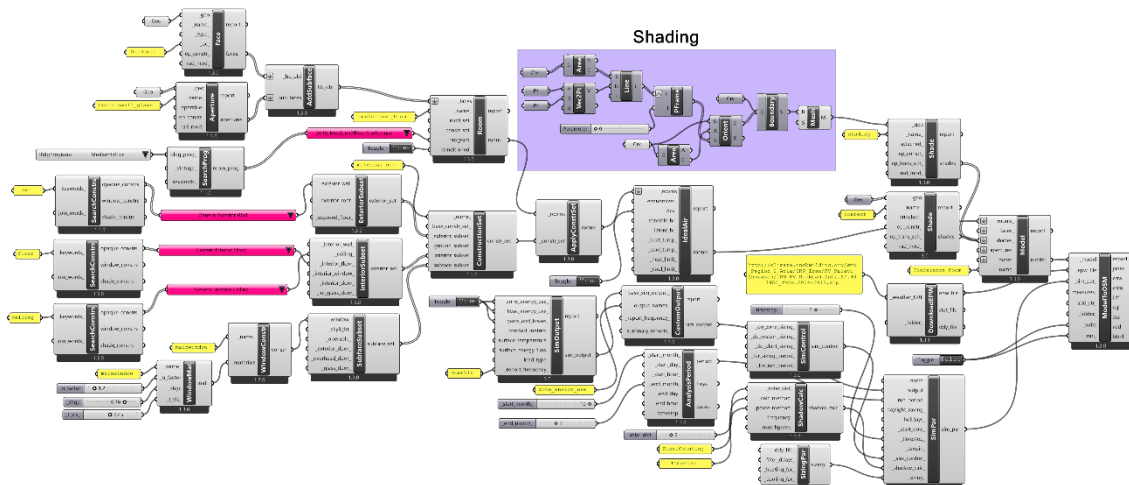


## یافته ها

در نهایت بهینه‌ترین هندسه انتخاب شده و در مراحل بهینه‌سازی بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد. الگوریتم آنالیز 5 هندسه در شکل 7 نشان داده شده است:

با مشخص شدن هندسه‌های تخلخل، به مدلسازی پوسته‌ای با آنها با درصد تخلخل برابر (50٪) پرداخته و هرکدام توسط افزونه‌های لیدی باگ و هانی بی به لحاظ انرژی آنالیز می‌شوند.

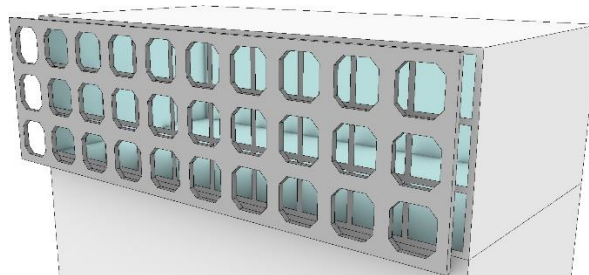
شکل 7. الگوریتم آنالیز انرژی پوسته با هندسه‌های مختلف [نگارنده]



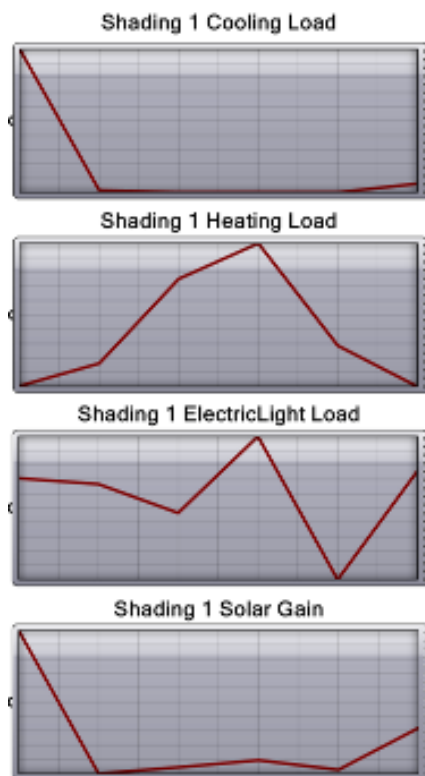
## آنالیز انرژی 5 هندسه ی تخلخل پوسته

1. آنالیز انرژی پوسته با هندسه ی اول (درصد تخلخل 50٪):

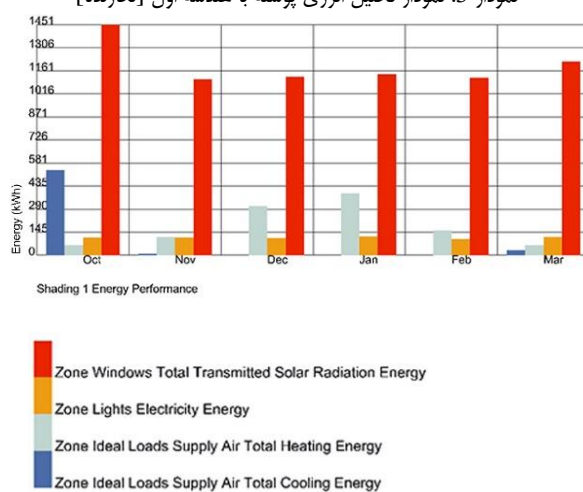
شکل 8. پوسته با هندسه ی اول [نگارنده]



شکل 9. گراف آنالیز انرژی پوسته با هندسه ی اول [نگارنده]



نمودار 3. نمودار تحلیل انرژی پوسته با هندسه اول [نگارنده]

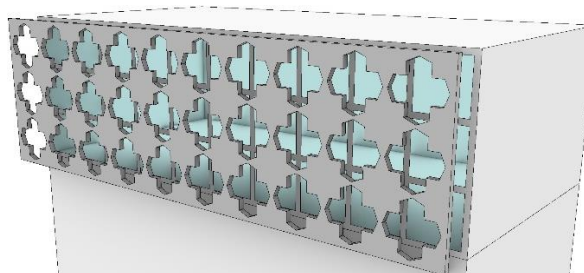


جدول 4. نتایج آنالیز انرژی پوسته با هندسه اول [نگارنده]

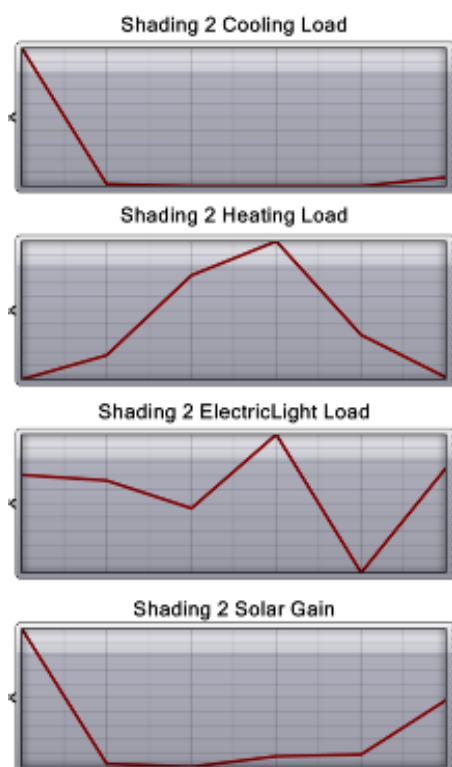
|          | Cooling<br>(kWh) | Heating<br>(kWh) | Total Thermal<br>Load (kWh) | Electric Light<br>(kWh) | Total Energy<br>Load (kWh) | Solar Gain<br>(kWh) |
|----------|------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|
| October  | 417.375223       | 74.581807        | 491.95703                   | 112.660928              | 604.617958                 | 958.790672          |
| November | 6.790435         | 145.313598       | 152.104033                  | 112.077593              | 264.181626                 | 713.053085          |
| December | 0.278326         | 380.177939       | 380.456265                  | 109.208945              | 489.66521                  | 707.578703          |
| January  | 0.433583         | 480.805871       | 481.239454                  | 116.8296                | 598.069054                 | 726.680824          |
| February | 0.402483         | 205.063776       | 205.466259                  | 102.573579              | 308.039838                 | 729.655292          |
| March    | 27.325185        | 80.616207        | 107.941392                  | 113.377617              | 221.319009                 | 826.388818          |
|          | 452.605235       | 1366.559198      | 1819.164433                 | 666.728262              | 2485.892695                | 4662.147394         |

## 2. آنالیز انرژی پوسته با هندسه ی دوم (درصد تخلخل 50٪):

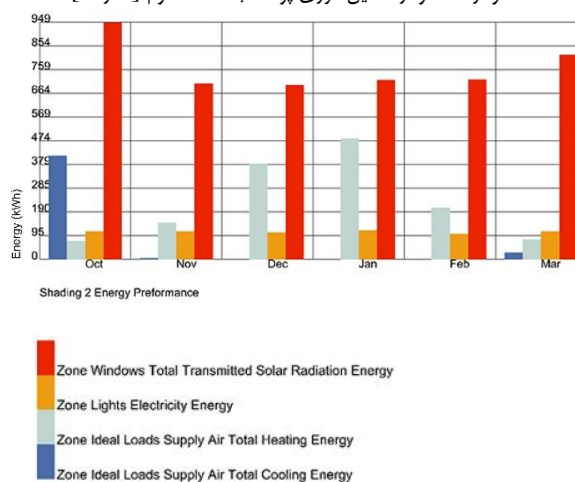
شکل 10. پوسته با هندسه ی دوم [نگارنده]



شکل 11. گراف آنالیز انرژی پوسته با هندسه دوم [نگارنده]



نمودار 4. نمودار تحلیل انرژی پوسته با هندسه دوم [نگارنده]

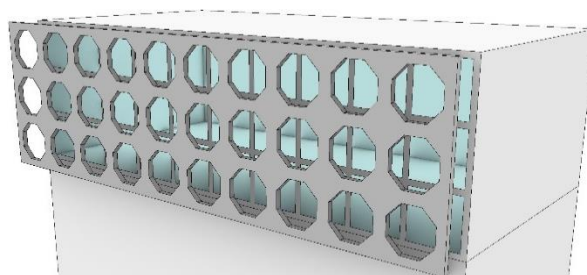


جدول 5. نتایج آنالیز انرژی پوسته با هندسه دوم [نگارنده]

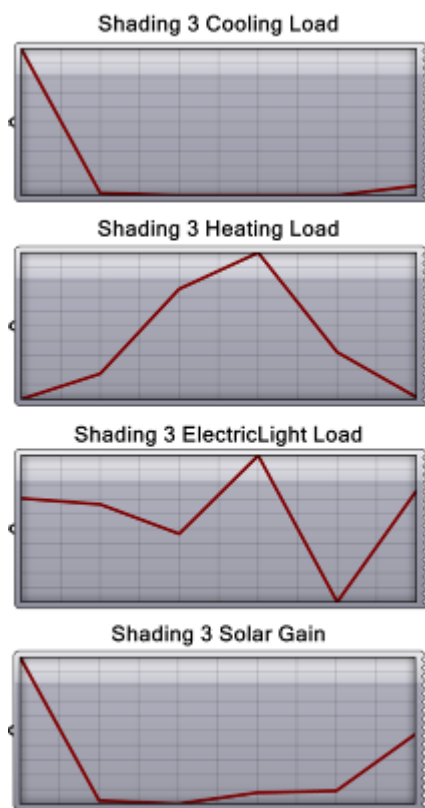
|          | Cooling<br>(kWh) | Heating<br>(kWh) | Total Thermal<br>Load (kWh) | Electric Light<br>(kWh) | Total Energy<br>Load (kWh) | Solar Gain<br>(kWh) |
|----------|------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|
| October  | 414.901943       | 74.783893        | 489.685836                  | 112.660928              | 602.346764                 | 948.609272          |
| November | 6.783195         | 146.280437       | 153.063632                  | 112.077593              | 265.141225                 | 704.617394          |
| December | 0.276409         | 383.017287       | 383.293696                  | 109.208945              | 492.502641                 | 698.922888          |
| January  | 0.430689         | 483.858704       | 484.289393                  | 116.8296                | 601.118993                 | 718.08324           |
| February | 0.397969         | 206.694061       | 207.09203                   | 102.573579              | 309.665609                 | 721.251032          |
| March    | 27.270714        | 80.882152        | 108.152866                  | 113.377617              | 221.530483                 | 819.457508          |
|          | 450.060918       | 1375.516535      | 1825.577453                 | 666.728262              | 2492.305715                | 4610.941334         |

### 3. آنالیز انرژی پوسته با هندسه‌ی سوم (درصد تخلخل 50٪):

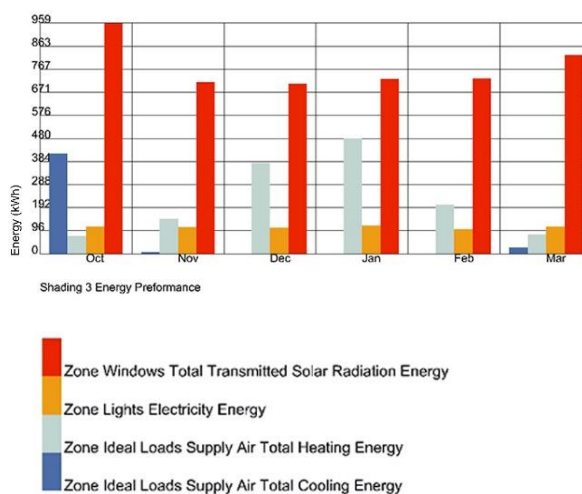
شکل 12. پوسته با هندسه‌ی سوم [نگارنده]



شکل 13. گراف آنالیز انرژی پوسته با هندسه سوم [نگارنده]



نمودار 5. نمودار تحلیل انرژی پوسته با هندسه سوم [نگارنده]

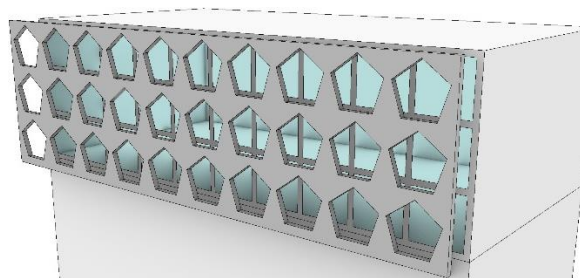


جدول 6. نتایج آنالیز انرژی پوسته با هندسه سوم [نگارنده]

|          | Cooling (kWh) | Heating (kWh) | Total Thermal Load (kWh) | Electric Light (kWh) | Total Energy Load (kWh) | Solar Gain (kWh) |
|----------|---------------|---------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|------------------|
| October  | 417.452859    | 74.55712      | 492.009979               | 112.660928           | 604.670907              | 959.248034       |
| November | 6.801567      | 145.290961    | 152.092528               | 112.077593           | 264.170121              | 713.410499       |
| December | 0.28033       | 380.226824    | 380.507154               | 109.208945           | 489.716099              | 707.958743       |
| January  | 0.435546      | 480.825401    | 481.260947               | 116.8296             | 598.090547              | 727.000047       |
| February | 0.403972      | 205.026208    | 205.43018                | 102.573579           | 308.003759              | 730.067929       |
| March    | 27.351622     | 80.532076     | 107.883698               | 113.377617           | 221.261315              | 827.062075       |
|          | 452.725896    | 1366.458589   | 1819.184486              | 666.728262           | 2485.912748             | 4664.747329      |

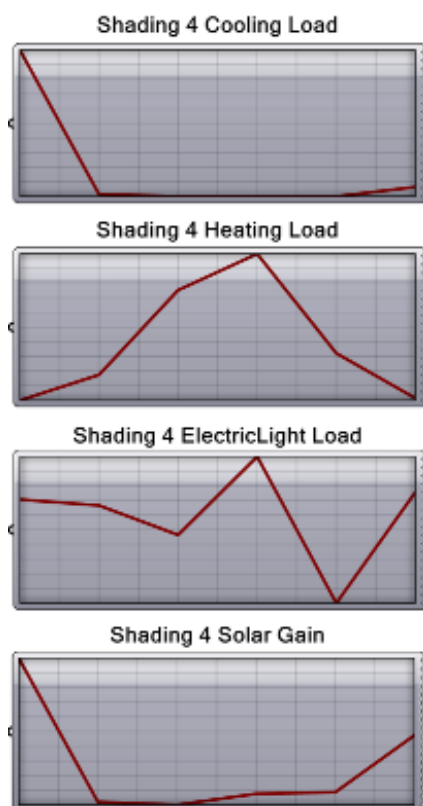
## 4. آنالیز انرژی پسته با هندسه چهارم (درصد تخلخل 50٪):

شکل 14. پسته با هندسه چهارم [نگارنده]

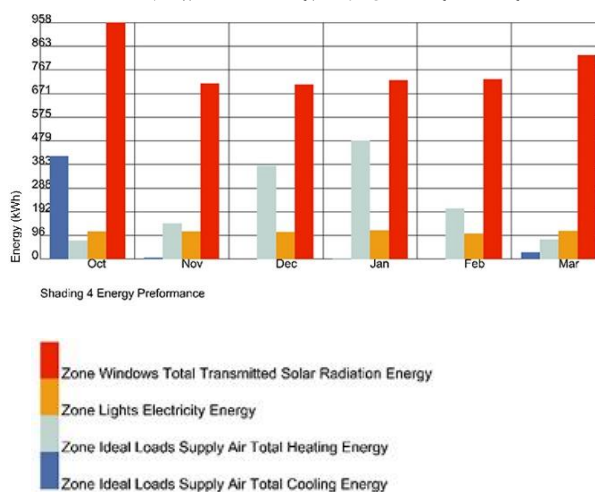


شکل 15. گراف آنالیز انرژی پسته با هندسه چهارم

[نگارنده]



نمودار 6. نمودار تحلیل انرژی پسته با هندسه چهارم [نگارنده]



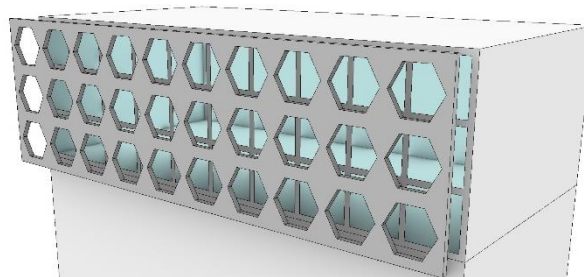
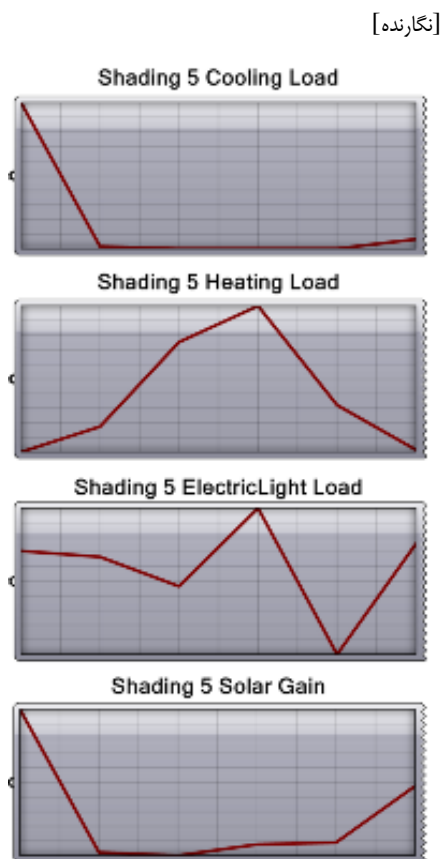
جدول 7. نتایج آنالیز انرژی پسته با هندسه چهارم [نگارنده]

|          | Cooling (kWh) | Heating (kWh) | Total Thermal Load (kWh) | Electric Light (kWh) | Total Energy Load (kWh) | Solar Gain (kWh) |
|----------|---------------|---------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|------------------|
| October  | 417.255597    | 74.576421     | 491.832018               | 112.660928           | 604.492946              | 958.478707       |
| November | 6.794514      | 145.430956    | 152.22547                | 112.077593           | 264.303063              | 712.314561       |
| December | 0.280046      | 380.441084    | 380.72113                | 109.208945           | 489.930075              | 707.380436       |
| January  | 0.435974      | 481.137816    | 481.57379                | 116.8296             | 598.40339               | 726.285243       |
| February | 0.402483      | 205.278993    | 205.681476               | 102.573579           | 308.255055              | 728.974232       |
| March    | 27.359219     | 80.567563     | 107.926782               | 113.377617           | 221.304399              | 826.468719       |
|          | 452.527834    | 1367.432834   | 1819.960666              | 666.728262           | 2486.688928             | 4659.901898      |

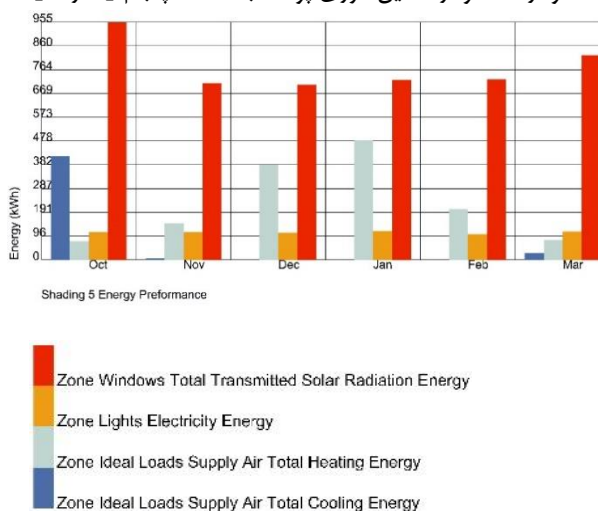
## 5. آنالیز انرژی پوسته با هندسه پنجم (درصد تخلخل 50٪):

شکل 17. گراف آنالیز انرژی پوسته با هندسه پنجم

شکل 16. پوسته با هندسه پنجم [نگارنده]



نمودار 7. نمودار تحلیل انرژی پوسته با هندسه پنجم [نگارنده]

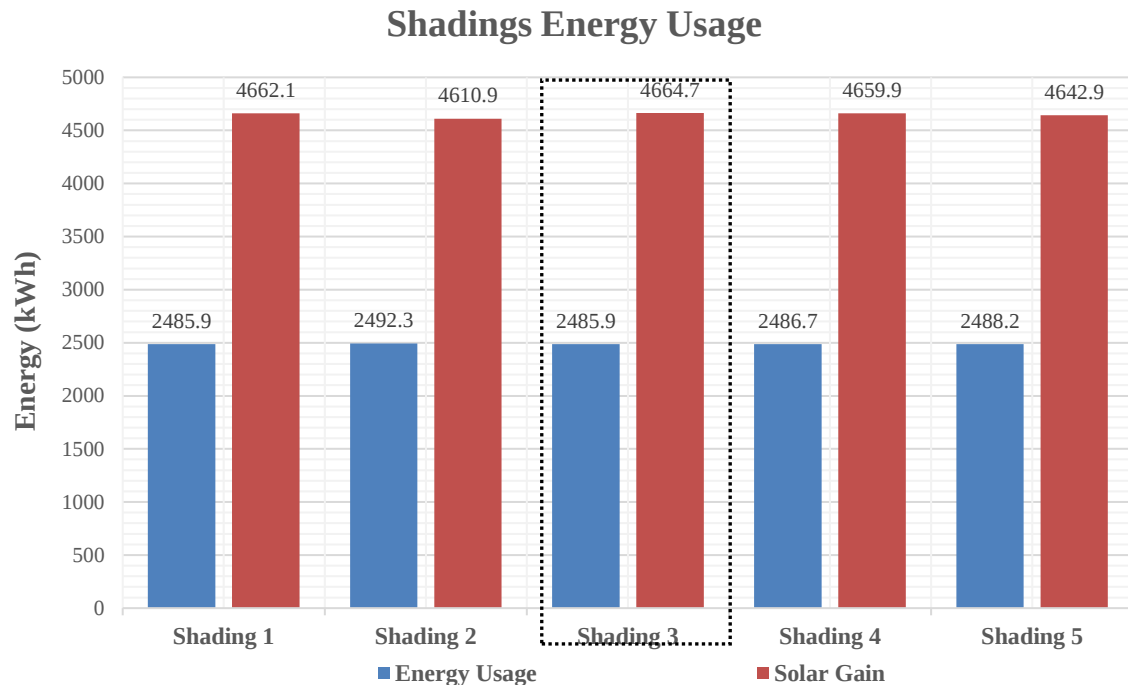


جدول 8. نتایج آنالیز انرژی پوسته با هندسه پنجم [نگارنده]

|          | Cooling<br>(kWh) | Heating<br>(kWh) | Total Thermal<br>Load (kWh) | Electric Light<br>(kWh) | Total Energy<br>Load (kWh) | Solar Gain<br>(kWh) |
|----------|------------------|------------------|-----------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------|
| October  | 416.429234       | 74.674068        | 491.103302                  | 112.660928              | 603.76423                  | 955.439129          |
| November | 6.775631         | 145.699443       | 152.475074                  | 112.077593              | 264.552667                 | 709.683818          |
| December | 0.27952          | 381.214038       | 381.493558                  | 109.208945              | 490.702503                 | 704.223527          |
| January  | 0.432493         | 481.947764       | 482.380257                  | 116.8296                | 599.209857                 | 723.330107          |
| February | 0.401914         | 205.627039       | 206.028953                  | 102.573579              | 308.602532                 | 726.589907          |
| March    | 27.287363        | 80.759023        | 108.046386                  | 113.377617              | 221.424003                 | 823.658242          |
|          | 451.606156       | 1369.921374      | 1821.52753                  | 666.728262              | 2488.255792                | 4642.924731         |

در نهایت جمع‌بندی نتیجه آنالیز انرژی پوسته با هندسه‌های تخلخل مختلف در نمودار 8 نشان داده شده است:

نمودار 8. نمودار تحلیل انرژی پوسته با هندسه‌های مختلف [نگارنده]



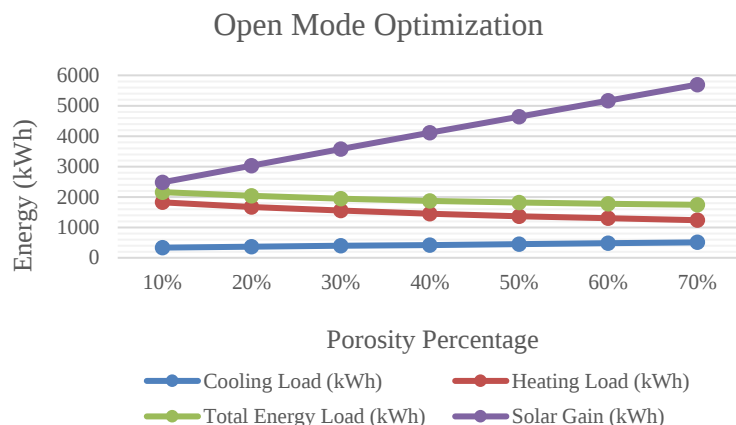
#### بهینه‌سازی درصد تخلخل پوسته در دو حالت باز و بسته

در این مرحله بهینه‌سازی پوسته با هندسه‌ی انتخابی در دو حالت باز و بسته صورت می‌گیرد که در حالت باز آنالیز انرژی در 6 ماه دوم سال (فصل سرد)، و در حالت بسته آنالیز انرژی در 6 ماه اول سال (فصل گرم) انجام می‌گیرد. روند انجام آنالیز به این صورت است که در هر دو حالت 7 درصد تخلخل مختلف (از بیشترین تا کمترین حالت ممکن) در نظر گرفته می‌شود و در نهایت در هر حالت بهینه‌ترین درصد تخلخل انتخاب می‌شود.

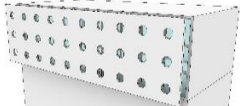
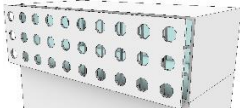
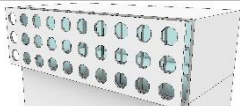
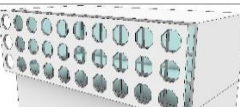
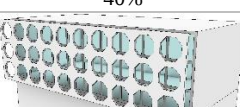
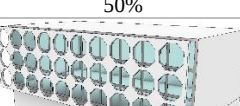
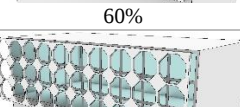
همان‌طور که در نمودار بالا مشاهده می‌شود، نتیجه آنالیز انرژی هندسه‌های مختلف بسیار به یکدیگر نزدیک بوده و تفاوت ناچیزی دارند. این مسئله بدین معناست که هندسه تخلخل تاثیر چندانی در روند بهینه‌سازی مصرف انرژی نداشته و درصد تخلخل به نسبت تاثیر بیشتری بر روی این موضوع دارد. بنابراین می‌توان از هر 5 هندسه به منظور طراحی پوسته بهره برد. با این وجود، در این مرحله بهینه‌ترین هندسه، که هندسه‌ی سوم می‌باشد انتخاب شده و در مرحله بعد به بهینه‌سازی درصد تخلخل پوسته با این هندسه در دو حالت باز و بسته پرداخته می‌شود.

آنالیز انرژی پوسته با درصد تخلخل‌های مختلف در حالت باز (فصل سرد):

نمودار 9. نمودار تحلیل انرژی پوسته با درصد تخلخل‌های مختلف در حالت باز [نگارنده]



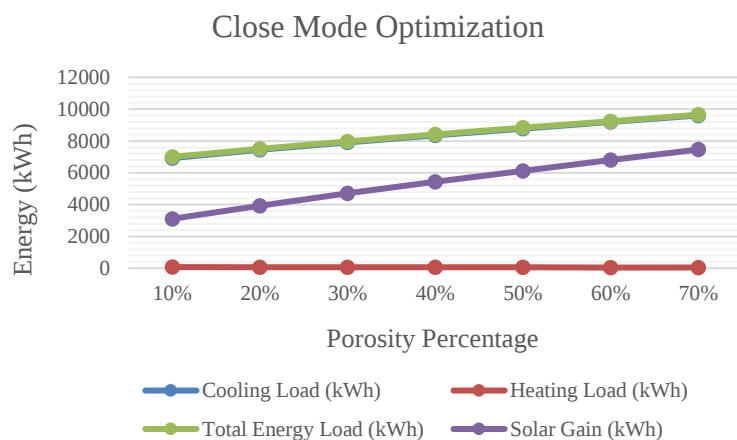
جدول 9. نتایج آنالیز انرژی پوسته با درصد تخلخل‌های مختلف در حالت باز [نگارنده]

| Porosity Percentage                                                                        | Cooling Load (kWh) | Heating Load (kWh) | Total Energy Load (kWh) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| <br>10%   | 334.95665          | 1824.51288         | 2159.46953              |
| <br>20% | 365.103321         | 1673.916327        | 2039.019648             |
| <br>30% | 394.158753         | 1552.840537        | 1946.99929              |
| <br>40% | 422.965158         | 1452.570332        | 1875.53549              |
| <br>50% | 451.597709         | 1369.52144         | 1821.119149             |
| <br>60% | 480.332547         | 1298.294568        | 1778.627115             |
| <br>70% | 507.718675         | 1236.033006        | 1743.751681             |

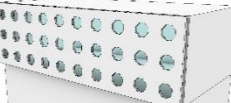
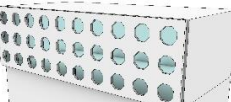
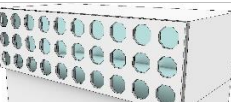
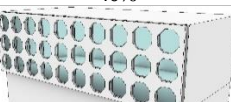
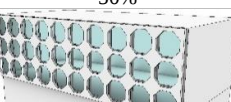
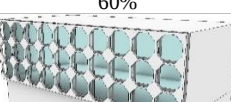
همانطور که در جدول و نمودار مشاهده می‌شود، در فصل سرد پوسته در حالت باز با درصد تخلخل 70٪، کمترین سطح مصرف انرژی و بیشترین سطح میزان جذب انرژی خورشیدی را داراست.

## 2. آنالیز انرژی پوسته با درصد تخلخل‌های مختلف در حالت بسته (فصل گرم):

نمودار 10. نمودار تحلیل انرژی پوسته با درصد تخلخل‌های مختلف در حالت بسته [نگارنده]



جدول 10. نتایج آنالیز انرژی پوسته با درصد تخلخل‌های مختلف در حالت بسته [نگارنده]

| Porosity Percentage                                                                        | Cooling Load (kWh) | Heating Load (kWh) | Total Energy Load (kWh) |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|-------------------------|
| <br>10%  | 6929.972898        | 75.225381          | 7005.198279             |
| <br>20% | 7443.083975        | 68.330479          | 7511.414454             |
| <br>30% | 7916.580767        | 63.119827          | 7979.700594             |
| <br>40% | 8363.352903        | 59.104333          | 8422.457236             |
| <br>50% | 8784.322687        | 55.66616           | 8839.988847             |
| <br>60% | 9198.060481        | 52.673572          | 9250.734053             |
| <br>70% | 9606.915393        | 50.043627          | 9656.95902              |

طراحی آن صورت می‌گیرد. در نهایت پس از طراحی پروژه، پوسته‌ی نهایی بر روی دو جبهه‌ی جنوبی آن قرار گرفته و تحلیل‌ها و آنالیزهای انرژی آن در دو حالت با پوسته و بدون پوسته انجام می‌گیرد و نتایج نهایی آن در قالب جداول و نمودار ارائه می‌گردد.

#### معرفی سایت پروژه

سایت طراحی پروژه در منطقه خیام شهر مشهد قرار گرفته و با ابعاد 38 در 54 متر، مساحت 2052 مترمربع را دارا می‌باشد. با تبعیت از شبکه‌ی شهری، این سایت با کشیدگی شرقی-غربی، 40 درجه به سمت جنوب چرخیده است که منطبق با شرایط مدنظر طراحی پروژه در مراحل پیشین است. بر اساس ضوابط و قوانین طراحی ساختمان‌های اداری در مشهد، پروژه بایستی 60٪ از زمین را اشغال کند؛ بنابراین این پروژه مساحتی در حدود 1230 مترمربع را اشغال می‌کند. همچنین این ضوابط طراحان را به قرار دادن پروژه در لبه‌ی شمالی سایت ملزم می‌کند. از آنجا که این زمین دارای چرخش است، دو جبهه‌ی آن در سمت شمال قرار می‌گیرد. بنابراین، پروژه از دو لبه‌ی شمال شرقی و غربی به سایت منطبق می‌شود. از طرفی در جبهه‌ی شمال شرقی همسایگی وجود داشته و از این جهت به منظور جلوگیری از سایه اندازی آنها به روی هم، می‌بایست هم تراز یکدیگر قرار گیرند.

همانطور که در جدول و نمودار مشاهده می‌شود، در فصل گرم پوسته در حالت بسته با درصد تخلخل 10٪، کمترین سطح مصرف انرژی و کمترین سطح میزان جذب حرارت خورشیدی را داراست.

#### یافته‌های حاصل از آنالیز انرژی پوسته با هندسه‌های

#### تخلخل مختلف

براساس تحلیل‌ها و آنالیزهای صورت گرفته، می‌توان گفت که نوع هندسه‌ی تخلخل پوسته تاثیر چندانی در روند عملکرد آن به لحاظ انرژی نداشته و پارامتر مهم در این خصوص میزان درصد تخلخل پوسته‌ی مدنظر است. همانگونه که پیش بینی می‌شد، به منظور بهبود عملکرد انرژی پوسته، در حالت باز که هدف دریافت حداکثری نور خورشید و کاهش بار گرمایشی است، بالاترین درصد تخلخل بهینه‌ترین عملکرد را داشته، و در مقابل در حالت بسته که با هدف کاهش سطح جذب انرژی خورشیدی و کاهش بار سرمایشی محیط صورت می‌گیرد، کمترین درصد تخلخل دارای بهینه‌ترین عملکرد به لحاظ انرژی می‌باشد.

#### قرارگیری پوسته بر روی پروژه مدنظر و انجام آنالیزهای

#### انرژی نهایی

پس از مشخص شدن هندسه‌ی بهینه‌ی تخلخل پوسته، به معرفی و بررسی سایت پروژه پیش رو پرداخته و سپس



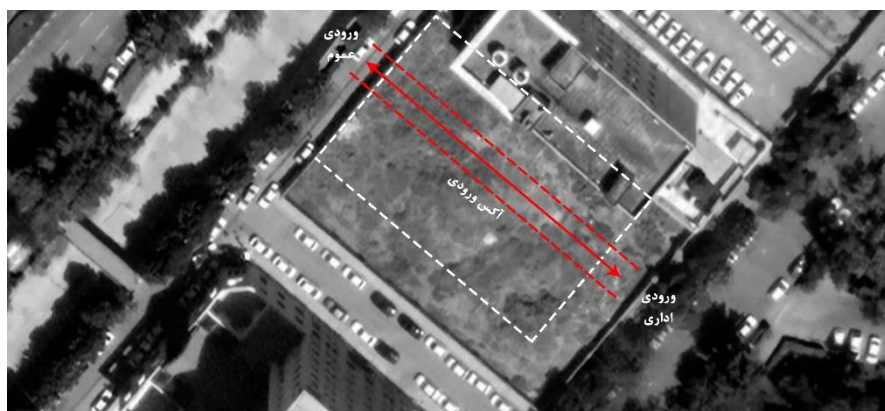
نمونه پروژه های انجام شده در این حوزه و اهداف و راهکارهای آنها [نگارنده]

دسترسی فرعی بوده و عموماً افراد با مقاصد اداری از آن عبور و مرور می‌کنند، دسترسی دارد.

این سایت از سمت شمال غربی به خیابان اصلی (خیام) دسترسی داشته و از جنوب شرقی به خیابان نوربخش که یک

از این رو، برای پروژه دو ورودی مجزا، که یکی صرفاً برای افراد اداری و دیگری برای عموم است، در نظر گرفته می‌شود.

شکل 19. تعیین ورودی‌های مجزا [نگارنده]



کرده تا به نوعی افراد به داخل پروژه دعوت شوند و همچنین یک پلازای شهری در مقابل آن ایجاد شود. از آنجا که این پروژه قرار است ساختمانی انرژی کارآمد باشد، سعی بر این است که شکستگی‌های زیادی در فرم آن ایجاد نشده و فرمی متراکم با مساحت خارجی کمتر باشد.

شکل 20. روند طراحی پروژه [نگارنده]

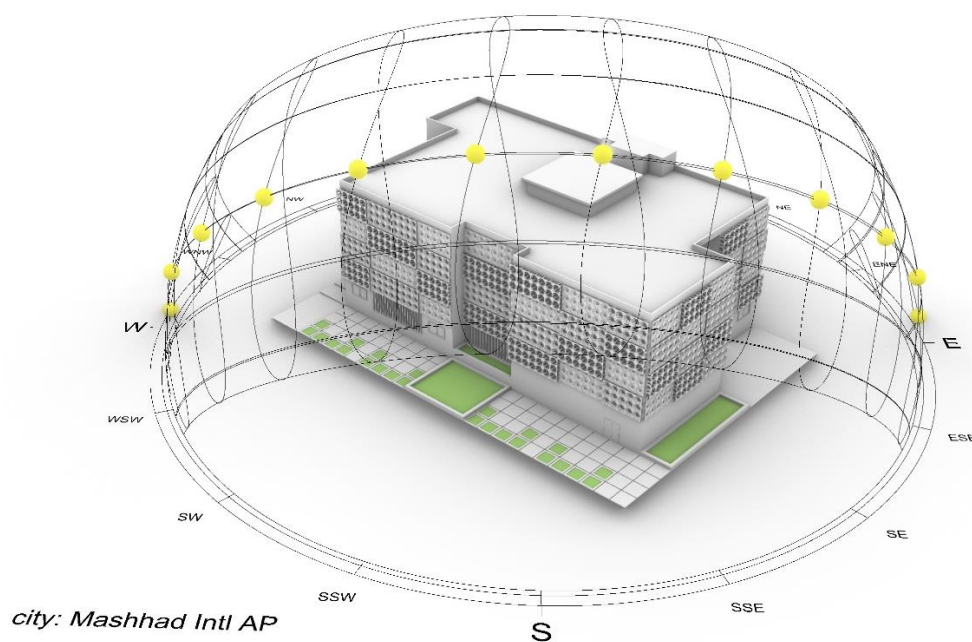


### آنالیز انرژی پروژه

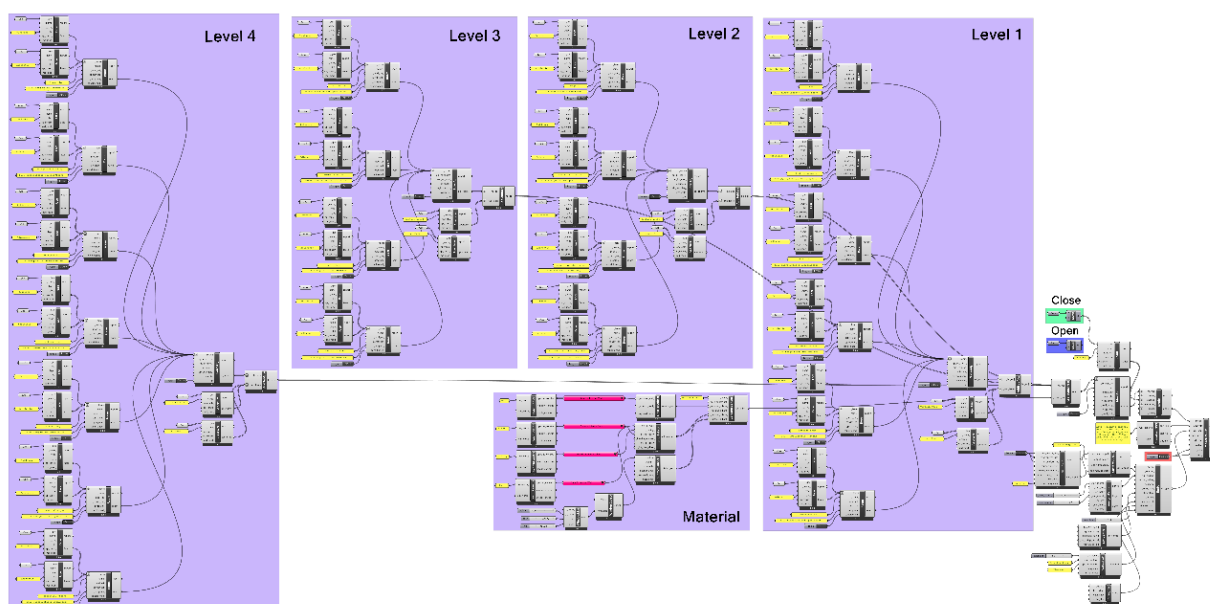
پوسته در حالت باز گرفته می‌شود. سپس در نهایت مجموع این دو آنالیز با تحلیل انرژی ساختمان در حالت بدون پوسته مقایسه و نتایج آن ارائه می‌شود. الگوریتم مدلسازی انرژی پروژه نیز در شکل 22 نشان داده شده است:

پس از قرار دادن پوسته‌ی مد نظر بر روی پروژه (شکل 21)، به تحلیل و آنالیز انرژی آن در دو حالت با پوسته و بدون پوسته پرداخته می‌شود. روند انجام کار به این صورت است که در صورت قرارگیری پوسته بر روی نما، آنالیز در 6 ماه اول سال با پوسته در حالت بسته، و در 6 ماه دوم سال با

شکل 21. قرارگیری پوسته بر روی پروژه [نگارنده]

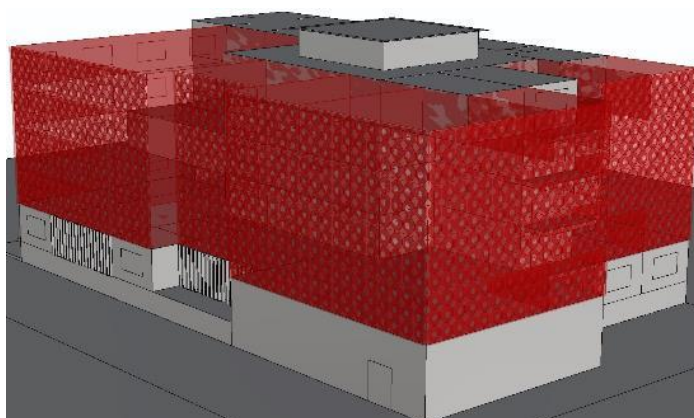


شکل 22. الگوریتم آنالیز انرژی پروژه [نگارنده]



# • آنالیز انرژی پروژه با پوسته در حالت بسته (فصل گرم)

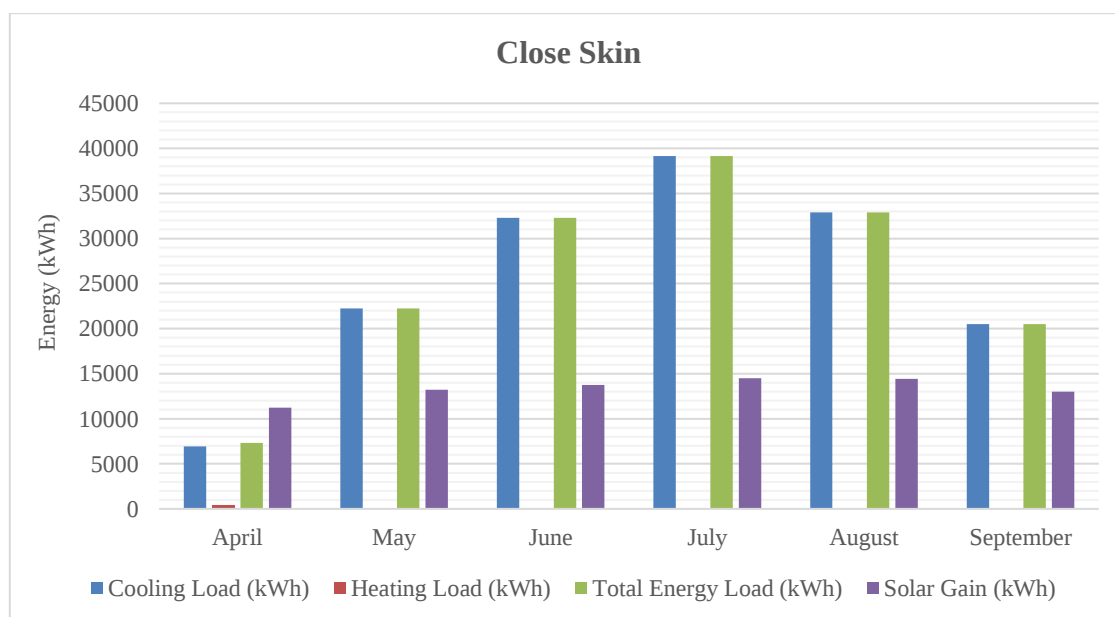
شکل 23. آنالیز انرژی پروژه با پوسته در حالت بسته [نگارنده]



جدول 11. نتایج آنالیز انرژی پروژه با پوسته در حالت بسته [نگارنده]

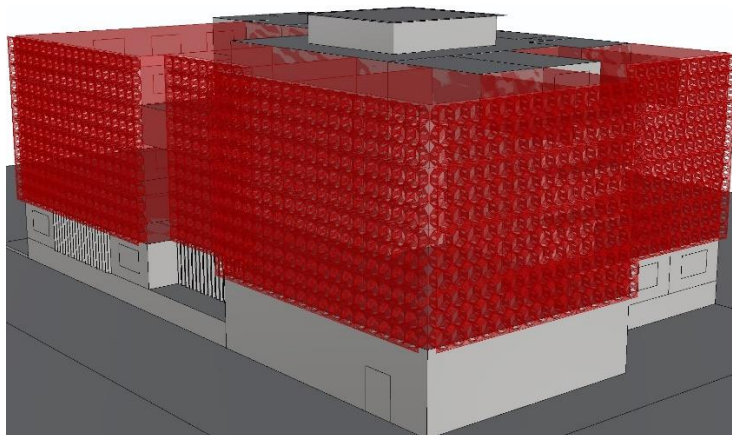
|              | Cooling Load (kWh) | Heating Load (kWh) | Total Energy Load (kWh) | Solar Gain (kWh)   |
|--------------|--------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| April        | 6936/450378        | 399/992461         | 7336/442839             | 11221/09539        |
| May          | 22234/11424        | 0                  | 22234/11424             | 13212/94779        |
| June         | 32286/10652        | 0                  | 32286/10652             | 13769/59187        |
| July         | 39134/02032        | 0                  | 39134/02032             | 14481/37258        |
| August       | 32904/36509        | 0                  | 32904/36509             | 14429/63028        |
| September    | 20494/11445        | 0                  | 20494/11445             | 12998/49381        |
| <b>Total</b> | <b>153989/171</b>  | <b>399/992461</b>  | <b>154389/1634</b>      | <b>80113/13172</b> |

نمودار 11. نمودار آنالیز انرژی پروژه با پوسته در حالت بسته [نگارنده]



## • آنالیز انرژی پروژه با پوسته در حالت باز (فصل سرد)

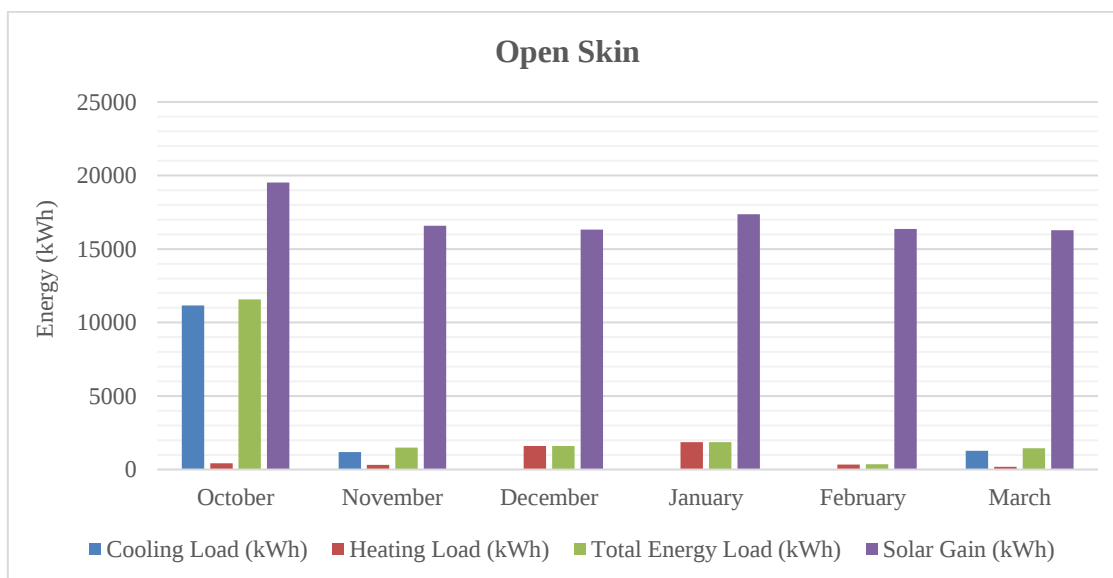
شکل 24. آنالیز انرژی پروژه با پوسته در حالت باز [نگارنده]



جدول 12. نتایج آنالیز انرژی پروژه با پوسته در حالت باز [نگارنده]

|              | Cooling Load (kWh) | Heating Load (kWh) | Total Energy Load (kWh) | Solar Gain (kWh)   |
|--------------|--------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| October      | 11151/85341        | 426/151782         | 11578/00519             | 19530/69295        |
| November     | 1186/658743        | 305/809926         | 1492/468669             | 16578/43382        |
| December     | 3/929614           | 1607/045224        | 1610/974838             | 16311/86395        |
| January      | 6/546994           | 1853/352266        | 1859/89926              | 17376/71284        |
| February     | 5/323234           | 344/873859         | 350/197093              | 16362/1561         |
| March        | 1265/062517        | 185/360037         | 1450/422554             | 16270/8045         |
| <b>Total</b> | <b>13619/37451</b> | <b>4722/593094</b> | <b>18341/9676</b>       | <b>102430/6642</b> |

نمودار 12. نمودار آنالیز انرژی پروژه با پوسته در حالت باز [نگارنده]

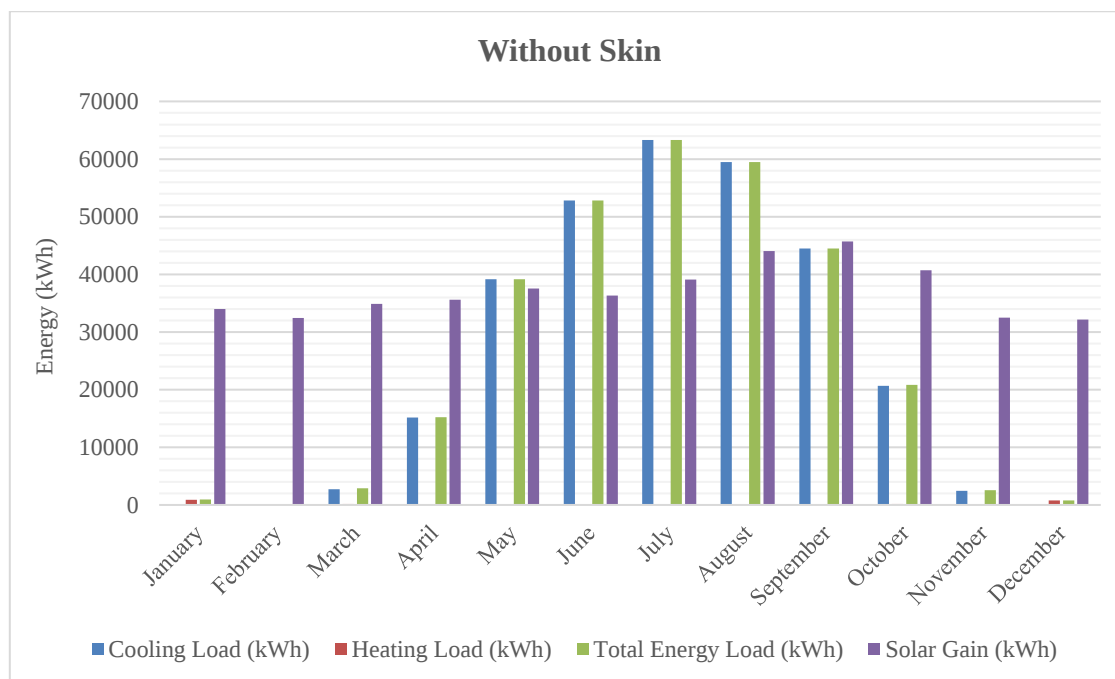


• آنالیز انرژی پروژه بدون پوسته

جدول 13. نتایج آنالیز انرژی پروژه بدون پوسته [نگارنده]

|              | Cooling Load (kWh) | Heating Load (kWh) | Total Energy Load (kWh) | Solar Gain (kWh)   |
|--------------|--------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| January      | 10/460713          | 915/255702         | 925/716415              | 34008/47162        |
| February     | 7/899668           | 47/241769          | 55/141437               | 32446/12977        |
| March        | 2723/476015        | 148/684198         | 2872/160213             | 34886/15564        |
| April        | 15187/86206        | 58/261564          | 15246/12362             | 35615/36117        |
| May          | 39180/57782        | 0                  | 39180/57782             | 37566/70781        |
| June         | 52796/36365        | 0                  | 52796/36365             | 36333/16802        |
| July         | 63327/8235         | 0                  | 63327/8235              | 39125/12731        |
| August       | 59497/4449         | 0                  | 59497/4449              | 44014/79846        |
| September    | 44485/59074        | 0                  | 44485/59074             | 45701/52221        |
| October      | 20646/42272        | 182/347799         | 20828/77052             | 40727/45189        |
| November     | 2446/630309        | 99/868272          | 2546/498581             | 32473/81667        |
| December     | 6/999889           | 803/945687         | 810/945576              | 32184/2705         |
| <b>Total</b> | <b>300317/552</b>  | <b>2255/604991</b> | <b>302573/157</b>       | <b>445082/9811</b> |

نمودار 13. نمودار آنالیز انرژی پروژه بدون پوسته [نگارنده]



عملکرد انرژی پروژه بوده و منجر به صرفه‌جویی در مصرف انرژی به میزان 130 هزار کیلووات ساعت در سال می‌شود:

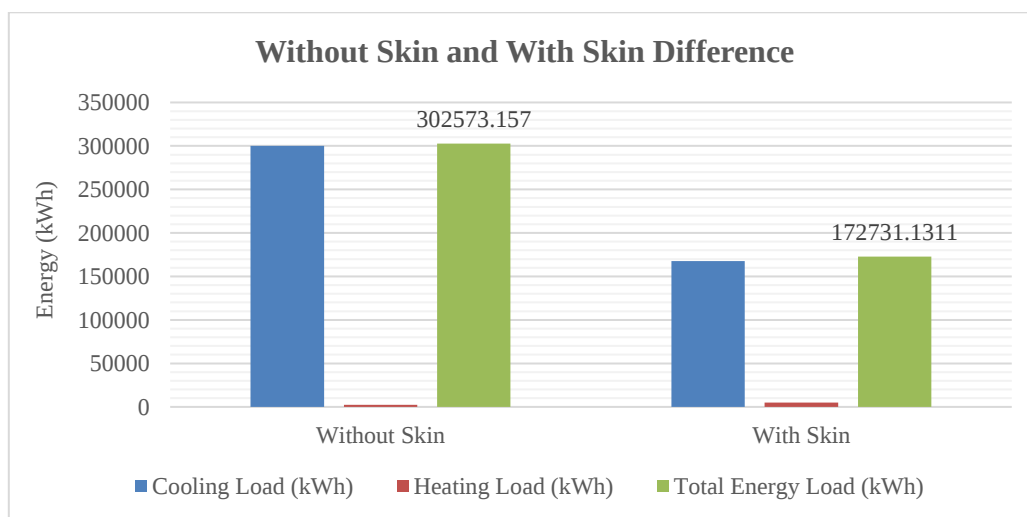
مقایسه عملکرد انرژی پروژه در دو حالت با پوسته و

بدون پوسته

همانطور که در نمودار زیر نشان داده شده است، بکارگیری

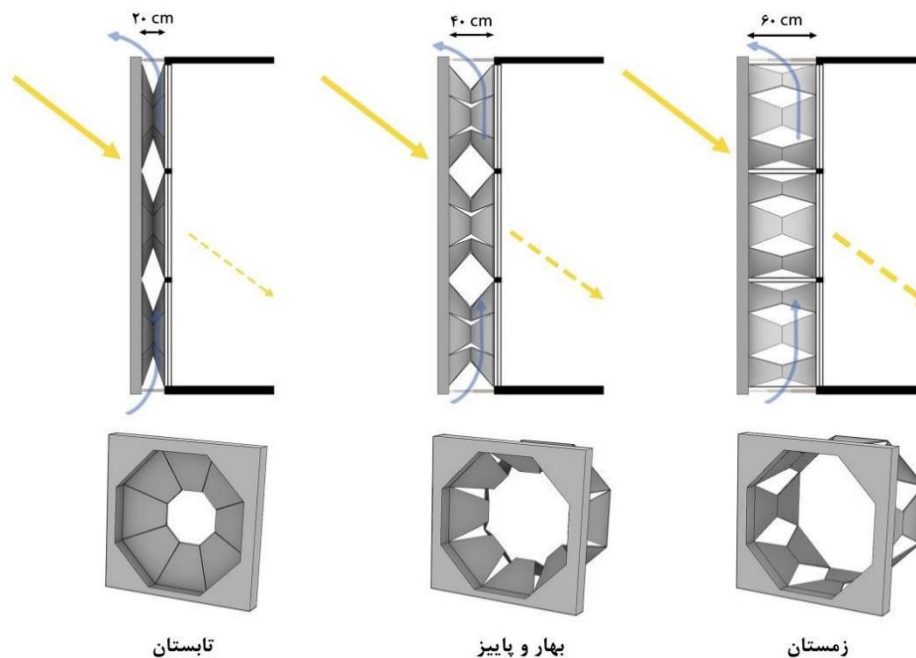
پوسته متحرک بر روی نما، گامی موثر در جهت بهبود

نمودار 14. نمودار مقایسه عملکرد انرژی پروژه در دو حالت با پوسته و بدون پوسته [نگارنده]



در شکل 25 هم تغییر فاصله بین دو پوسته و نحوه عملکرد آن در فصول مختلف نشان داده شده است:

شکل 24. دیاگرام تغییرات پوسته در فصول مختلف [نگارنده]



ساختمان 40٪ از این مصرف انرژی را به خود اختصاص

می‌دهد. در این بین ساختمان‌های اداری به لحاظ عدم

برخوردار از نظارت و مالکیت غیرشخصی آنها، الگوی

مصرف انرژی نامطلوبی داشته و توجه ویژه‌ای را می‌طلبند.

بحث و نتیجه‌گیری

افزایش روزافزون جمعیت و شهرنشینی در سراسر جهان،

بهره‌گیری بهینه از منابع انرژی و طراحی پایدار را به یک

دغدغه‌ی جهانی تبدیل کرده است. در ایران، بخش

به منظور بهینه‌سازی عملکرد انرژی ساختمان‌ها، راهکارهای غیرفعال فراوانی وجود دارد که یکی از آنها بهره‌گیری از منابع انرژی تجدیدپذیر در جهت تامین نیازهای انرژی است. یکی از در دسترس‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر، به خصوص در ایران، انرژی خورشیدی است. پوسته، به عنوان مرزی بین داخل و خارج ساختمان، جزئی است که بیشترین سطح تماس را با محیط خارجی و خورشید داشته؛ از این رو می‌تواند تاثیر به سزایی در عملکرد انرژی ساختمان داشته باشد. امروزه از تکنولوژی‌های مختلفی در جهت طراحی پوسته‌ها استفاده می‌شود که یکی از تاثیرگذارترین روش‌ها، بکارگیری نماهای دوپوسته و پوسته‌های سایه انداز است. مطالعات نشان می‌دهد که به منظور ایجاد تهویه مطلوب، نیاز است که فاصله دو پوسته حداقل 20 و حداکثر 60 سانتیمتر باشد. اساساً نور روز یکی از مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار در طراحی ساختمان‌های انرژی کارآمد است. به منظور بهره‌گیری هرچه بیشتر از این پارامتر، نیاز است که نماهایی با حداکثر شفافیت ایجاد شود. اما این نماها با چالش‌هایی همچون گرم شدن بیش از حد در فصول گرم مواجه می‌شوند. به منظور رفع این مشکل، نیاز است که میزان ورود نور روز در فصول گرم سال کنترل شود. در این پژوهش، پس از بررسی الگوی غالب ساختمان‌های اداری در شهر مشهد، ساختمانی اداری در 5 طبقه با نمایی دوپوسته که پوسته‌ی دوم آن متحرک بوده و امکان کنترل ورود نور روز با هدف بهینه‌سازی سطح مصرف انرژی را فراهم می‌سازد، طراحی شد. مکانیزم عملکرد پوسته به این صورت است که در فصول گرم با هدف سایه اندازی بیشتر، حرکت پوسته دوم منجر به کوچک شدن روزنه‌های ورود نور شده و فاصله دوپوسته به 20 سانتیمتر تغییر پیدا کرده و در فصول سرد به جهت نیاز بیشتر به نور و گرمایش خورشید با حرکت پوسته دوم روزنه‌های ورود نور بزرگتر شده و فاصله دو پوسته به 60 سانتیمتر تغییر پیدا می‌کند. با عنایت به این موضوع که طراحی در شهر مشهد مقدس که

یکی از قطب‌های مذهبی کشور است صورت می‌گیرد و همچنین به منظور ایجاد این حس در کاربران، الگوی بکار رفته در پوسته دوم آن از نقوش اسلامی کاشی‌کاری‌ها و تزئینات حرم مطهر امام رضا (ع) الهام گرفته شد. پس از تحلیل عملکرد انرژی 5 الگوی انتخاب شده به کمک افزونه‌های لیدی باگ و هانی بی، بهینه‌ترین الگو بکارگرفته شد و این پوسته متحرک به میزان 130 هزار کیلووات ساعت در سال مصرف انرژی را کاهش می‌دهد.

**تشکر و قدردانی:** موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

**تاییدیه‌های اخلاقی:** تمام اصول اخلاقی در زمینه‌ی چاپ و نشر این مقاله رعایت شده است.

**تعارض منافع:** موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

**سهم نویسندگان:** سیما خیامی (نویسنده اول)، نگارنده مقاله / پژوهشگر اصلی، تدوین محتوا با سهم (80٪)، خسرو دانشجو (نویسنده دوم)، روش شناس / مدیریت نتایج / پژوهشگر کمکی با سهم (20٪)

**منابع مالی:** موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

- Phase Change Material Blind System for Double Skin Façade Buildings. *Journal of Energy Procedia*. 2019 February; 158: 5116-5123.  
<https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.688>
8. Samadi S, Noorzai E, Beltrán L, Abbasi S. A Computational Approach for Achieving Optimum Daylight Inside Buildings through Automated Kinetic Shading Systems. *Journal of Frontiers of Architectural Research*. 2020 June 1; 9(2): 335 - 349.  
<https://doi.org/10.1016/j.foar.2019.10.004>
  9. J Choi H, Hong S, Choi A, Sung M. Toward the Accuracy of Prediction for Energy Savings Potential and System Performance Using the Daylight Responsive Dimming System. *Journal of Energy and Buildings*. 2016 December 1; 133: 271-280.  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.042>  
<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.042>
  10. Kirimtat A, Krejcar O. Multi-objective Optimization at the Conceptual Design Phase of an Office Room through Evolutionary Computation. In: Mouhoub M, Sadaoui S, Ait Mohamed O, Ali M (eds). *Recent Trends and Future Technology in Applied Intelligence*. IEA/AIE 2018. Lecture Notes in Computer Science. 2018 May 30; 10868: 679-684. Springer, Cham.  
[https://doi.org/10.1007/978-3-319-92058-0\\_65](https://doi.org/10.1007/978-3-319-92058-0_65)
  11. Mahdavinejad M.J, Mator S, Feyzmand ., Doroodgar A. Horizontal Distribution of Illuminance with Reference to Window Wall Ratio (WWR) in Office Buildings in Hot and Dry Climates, Case of Iran, Tehran. *Journal of Applied Mechanics and Materials*. 2011 October; 110-116: 72-76.  
<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.110-116.72>
  12. Torcellini P, Pless S, Deru M, Crawley D. Zero Energy Buildings: A Critical Look at the Definition. National Laboratory of the US Department of Energy. *Proceedings of the ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Buildings*, 14-18 August 2006, Pacific
  1. Ji R, Zheng Y, Zou Z, Wei S, Qu S. Climate Applicability Study of Building Envelopes Containing Phase Change Materials. *International Journal of Energy Research*. 2019 July 4; 43(13): 7397-7408.  
<https://doi.org/10.1002/er.4772>
  2. Wang Y, Wei C. Design Optimization of Office Building Envelope Based on Quantum Genetic Algorithm for Energy Conservation. *Journal of Building Engineering*. 2021 March; 35: 102048.  
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.102048>
  3. Theodosiou T, Tsikaloudaki K, Tsoka S, Chastas P. Thermal Bridging Problems on Advance Cladding Systems and Smart Building Facades. *Journal of Cleaner Production*. 2019 March 20; 214: 62-69.  
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.12.286>
  4. Ghaffarianhoseini A, Ghaffarianhoseini A, Berardi U, Tookey J, Hin Wa Li D, Kariminia S. Exploring the Advantages and Challenges of Double-Skin Facades (DSFs). *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016 July; 60: 1052-1065.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.130>
  5. Kim D, Cox S.J, Cho H, Yoon J. Comparative Investigation on Building Energy Performance of Double Skin Façade (DSF) with Interior or Exterior Slat Blinds. *Journal of Building Engineering*. 2018 November; 20: 411-423.  
<https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.08.012>
  6. Barbosa S, Lp K. Perspectives of Double Skin Facades for Naturally Ventilated Buildings: A Review. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014 December; 40: 1019-1029.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.192>
  7. Li Y, Darkwa J, Su W. Investigation on Thermal Performance of an Integrated

- <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.08.058>
19. <https://architizer.com/idea/733016/https://architizer.com/idea/733016/>
20. <https://www.archdaily.com/>
21. <https://www.architonic.com/it/project/ernst-giselbrecht-partner-dynamic-facade-kiefer-technic-showroom/5100449>
22. [https://inhabitat.com/kiefer-technic-showroom-has-mind-blowing-dancing-facade/kiefertechnic\\_8/](https://inhabitat.com/kiefer-technic-showroom-has-mind-blowing-dancing-facade/kiefertechnic_8/)
23. <http://moremorexless.blogspot.com/2017/01/kiefer-technic-showroom-dynamic-facade.html>
24. <https://gatornin.netlify.app/kiefer-technic-showroom-pdf.html>
25. <http://arcdog.com/portfolio/sdu-university-of-southern-denmark-campus-kolding/>
- Grove, California.  
[www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf](http://www.nrel.gov/docs/fy06osti/39833.pdf)
13. Pilechiha P, Mahdaviinejad M.J, Pour Rahimian F, Carnemolla P, Seyedzadeh S. Multi-objective Optimization Framework for Designing Office Windows: Quality of View, Daylight and Energy Efficiency. *Journal of Applied Energy*. 2020 March 1; 261: 114356.  
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114356>
14. Nabil A, Mardaljevic J. Useful Daylight Illuminance: A New Paradigm for Assessing Daylight in Buildings. *Journal of Lighting Research and Technology*. 2005 March 1; 37(1): 41-57.  
<https://doi.org/10.1191%2F1365782805li128oa>
15. Kirimtat A, Koyunbaba B.k, Chatzikonstantinou I, Sariliyildiz S. Review of Simulation Modeling for Shading Devices in Buildings. *Journal of Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2016 January; 53:23-49.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.08.020>
16. Wagdy A, Fathy F. A Parametric Approach for Achieving Optimum Daylighting Performance through Solar Screens in Desert Climates. *Journal of Building Engineering*. 2015 September 1; 3: 155-170.  
<https://doi.org/10.1016/j.job.2015.07.007>
17. Johnsen K, Watkins R. Daylight in Buildings: A Source Book on Daylighting Systems and Components. ECBCS Annex 29/SHC Task 21 Project Summary Report. 2010.  
[https://www.ieaebc.org/Data/publications/EBC\\_Annex\\_29\\_PSR.pdf](https://www.ieaebc.org/Data/publications/EBC_Annex_29_PSR.pdf)
18. Alawadhi E.M. Double Solar Screens for Window to Control Sunlight in Kuwait. *Journal of Building and Environment*. 2018 October 15; 144: 392-401.