



## Multi-objective optimization of parametric form of native residential building based on comfort in hot and dry climate of Yazd city

### ARTICLE INFO

**Article Type**  
Analytic Study

### Authors

Mohammadmehdi Moulaii <sup>1\*</sup>  
Maryam Younesi <sup>2</sup>

### How to cite this article

Falaha

URL: <http://>

### ABSTRACT

**Aims:** Considering the share of about 35% of energy consumption by buildings, energy consumption management requires special attention from architects. Building form is one of the most influential parameters on energy consumption, and the Yazd city, as an example of an arid and warm climate, is the focus of this research. The purpose is to provide a solution to produce the optimal form of independent vernacular building as a basic policy in the conceptual design phase in Yazd city.

**Methods:** Using parametric modeling and energy simulation by suitable computer tools, multi-objective optimization of the building form was carried out considering two indicators of thermal and visual comfort by genetic algorithm for the arid and warm climate of Yazd city. Several subsurface area values were considered as input and the results were presented in four general forms: cube, L, U and O.

**Findings:** In this research, the optimal options were analyzed and compared, and a general model for the optimal form and orientation of the building was presented. The results of the research showed that the most optimal form, considering the thermal comfort index as a priority index for all the investigated areas, is a rectangular cube form with a shape factor of about 1.8 and a north-south orientation.

**Conclusion:** Using the form and optimal orientation of the building as a passive policy that is the basis for other active and passive policies can have an appropriate effect on creating comfort and reducing energy consumption in a combined manner.

**Keywords:** Multi-Objective optimization, Parametric form, Thermal comfort, Visual comfort, Genetic algorithm, Sustainable design, Arid and warm climate

### CITATION LINKS

1- Assistant Professor, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran,

2- Master's degree in digital technology architecture, Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran,

### \*Correspondence

Address: Department of Architecture, Faculty of Art and Architecture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran,

Email: [m.moulaii@basu.ac.ir](mailto:m.moulaii@basu.ac.ir)

### Article History

Received:

Accepted:

Published:

[1] Zou Y, Zhan Q, Xiang K. A comprehensive method for optimizing.....[2] Fang Y, Cho S. Design optimization of building geometry and.....[3] Binghui S, Wang J, Yao X, Shi X, Jin X, Zhou X. Multi-objective.....[4] Feng J, Luo X, Gao M, Abbas A, Xu Y, Pouramini.....[5] Hemsath T.L., Bandhosseini K.A. Sensitivity analysis.....[6] Ostergard T, Jensen R. L., Maagaard S. E. Building simulations.....[7] Wortmann T, Nannicini G. Introduction to Architectural Design.....[8] Jamalpour S., Arbaban A. The effect of climate on the formation...[9] Zarei M, Mirdehghan F. The role of the central courtyard pattern in....[10] Mohammed S A, Awad O A, Radhi A M. Optimization of energy.....[11] Konis K, Gamas A, Kensek K. Passive performance and building form: An.....[12] Gerber D J, Lin S H. Designing in complexity:..... [13] Motazedian F. Analysis of Optimum Window-to-Wall Ratio in Horizontally...[14] Stazi F., Naspi F., Ulpaini G., Di Perna C. Indoor air quality and thermal.....[15] Tang R., Wang S. Model predictive control for thermal energy.....[16] Ameer M., Kharbouch Y., Mimet A. Optimization of passive.....[17] Gou S., Nik V. M., Scartezzini J. L., Zhao Q., Li Z. Passive design.....[18] Shahbazi Y., Heydari M., Haghparast F. An early-stage design optimization.....[19] Lu S., Wang R., Zheng S. Passive Optimization Design Based on Particle....[20] Lucarelli C C, Carlo J C, Martinez A C P. Simulation-based optimization for an origami-....



## بهینه‌سازی چند هدفه فرم پارامتریک بنای مسکونی بومی بر پایه آسایش در اقلیم گرم و خشک شهر یزد

### اطلاعات مقاله چکیده

نوع مقاله: تحقیق بنیادی

نویسندگان

محمد مهدی مولایی\*<sup>۱</sup>  
مریم یونسی<sup>۲</sup>

**اهداف:** با توجه به سهم حدود ۳۵ درصدی مصرف انرژی توسط ساختمان‌ها، مدیریت مصرف انرژی توجه ویژه‌ای از سوی معماران خواستار است. فرم بنا یکی از تأثیرگذارترین پارامترها بر میزان مصرف انرژی است و شهر یزد به عنوان نمونه اقلیم گرم و خشک در جهان که دارای تابستان‌های گرم و طولانی است مورد توجه پژوهش حاضر است. هدف از این پژوهش ارائه راهکاری برای تولید فرم بهینه ساختمان بومی مستقل به عنوان سیاست پایه‌ای در فاز طراحی مفهومی در شهر یزد است.

**روش‌ها:** با استفاده از مدل‌سازی پارامتریک و شبیه‌سازی انرژی توسط ابزار رایانه‌ای مناسب، بهینه‌سازی چندهدفه فرم ساختمان با در نظر گرفتن دو شاخص آسایش حرارتی و آسایش بصری توسط الگوریتم ژنتیک برای اقلیم گرم و خشک شهر یزد انجام گرفت. چند مقدار مساحت زیربنا به عنوان ورودی در نظر گرفته شد و نتایج در قالب چهار نوع فرم کلی مکعب، U، L و O ارائه شد.

**یافته‌ها:** در این پژوهش گزینه‌های بهینه مورد تحلیل و مقایسه قرار گرفت و مدلی کلی برای فرم و جهتگیری بهینه ساختمان ارائه شد. نتایج پژوهش نشان داد که بهینه‌ترین فرم با در نظر گرفتن شاخص آسایش حرارتی به عنوان شاخص دارای اولویت برای تمامی مساحت‌های مورد بررسی، فرم مکعب مستطیل با فاکتور شکل حدود ۱/۸ و جهتگیری شمالی-جنوبی است.

**نتیجه‌گیری:** استفاده کردن از فرم و جهتگیری بهینه ساختمان به عنوان سیاست غیر فعال که پایه‌ای برای سیاست‌های فعال و غیر فعال دیگر است می‌تواند تأثیر مناسبی بر ایجاد آسایش و کاهش مصرف انرژی به صورت توأمان داشته باشد.

**کلیدواژه‌ها:** بهینه‌سازی چندهدفه، فرم پارامتریک، آسایش حرارتی، آسایش بصری، الگوریتم ژنتیک، طراحی پایدار، اقلیم گرم و خشک

۱. استادیار معماری، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران. (نویسنده مسئول)
۲. کارشناسی ارشد معماری فناوری گرایش دیجیتال، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران.

نویسنده مسئول \*

[m.moulaii@basu.ac.ir](mailto:m.moulaii@basu.ac.ir)

تاریخ مقاله

تاریخ دریافت:

تاریخ پذیرش:

تاریخ انتشار:

ارجاع دهی

URL: <http://>

در مراحل اولیه طراحی وجود دارد. علاوه بر این استفاده از روش‌های ارزیابی زیست‌محیطی به طور قابل توجهی افزایش یافته است [۶]. با در نظر گرفتن اقلیم و شرایط محیطی می‌توان عملکرد ساختمان را به لحاظ انرژی شبیه‌سازی کرده و با استفاده از ابزار بهینه‌سازی مناسب می‌توان فرمی که منجر به عملکرد بالای ساختمان به لحاظ انرژی می‌شود را بهینه‌یابی کرد. طراحی هندسه و فرم بنا می‌تواند یکی از تأثیرگذارترین پارامترها بر میزان مصرف انرژی ساختمان به حساب بیاید [۱]. با وجود طراحی پارامتریک، طراحان تعداد زیادی از انواع طراحی را بر اساس قوانین و پارامترهای صریح تولید می‌کنند. با استفاده از شبیه‌سازی نیز، طراحان انواع طراحی را از نظر معیارهای عملکرد کمی مانند استفاده از مصالح یا انرژی ارزیابی می‌کنند. در عمل یافتن بهترین انواع طراحی با توجه به چنین معیارهای عملکردی یک مسئله بهینه‌سازی است. در مباحث مربوط به معماری، بهینه‌سازی ریاضی در حال حاضر تنها در موارد نادری به کار برده می‌شود اما می‌توان انتظار داشت که کاربرد آن بر اساس در دسترس بودن روزافزون دانش و ابزار مربوطه رشد پیدا کند [۷]. با توجه به اهمیت آسایش مصرف‌کنندگان ساختمان و ارتباط قوی آن با مصرف انرژی، اثرات اقلیم بر طراحی دارای اهمیت است. شهر یزد به عنوان شهری تاریخی با اقلیم گرم و خشک که از دیرباز با مسأله آسایش مواجه بوده است مورد توجه پژوهش حاضر قرار دارد. منطقه یزد از بارزترین نمونه‌های معماری خاص اقلیم‌های گرم و خشک در جهان به حساب می‌آید. در قدیم تناسب آن با نیازها و شرایط اقلیمی - فرهنگی مردم منطقه، از ویژگی‌های معماری شهر یزد به شمار می‌آمده [۸]. ساختمان‌های مسکونی سنتی این شهر که دارای فرم راستگوشه بوده و فرمی درونگرا داشتند، اغلب دارای حیاط مرکزی بوده‌اند و پاسخگوی نیازهای اقلیمی منطقه بوده‌اند [۹]. با این وجود در معماری معاصر شهر یزد نوعی معماری جدید به وجود آمده که کاملاً با شرایط اقلیمی منطقه در تضاد است. خانه‌های ردیفی که از بتن، آهن و آجر ساخته شده‌اند با حیاط‌هایی که به علت کوتاه بودن دیوارهایشان، از یک سو قادر به ایجاد سایه مناسب نیستند و همچنین قادر نیستند از بنا، در مقابل وزش باد شدید و نور زیاد خورشید محافظت نمایند و شرایط نامساعدی برای ساکنین بوجود می‌آورند [۸]. با در نظر گرفتن این شرایط، پژوهش حاضر فرم ساختمان بومی در شهر یزد را مورد توجه قرار داده و جواب مناسبی برای فرم ساختمان مسکونی بومی منطقه ارایه می‌دهد.

### پیشینه

از جمله تحقیقاتی که در حوزه بهینه‌سازی فرم ساختمان صورت گرفته تحقیقی است انجام شده در سال ۲۰۲۰ که طراحی،

### مقدمه

ساختمان جزء ضروری زندگی بشر است زیرا ظرفی برای فعالیت‌های مختلف انسان به حساب می‌آید. با این وجود نمی‌توان تأثیر صنعت ساختمان‌سازی مدرن را بر اکوسیستم زمین نادیده گرفت. مردم ملزم به یافتن راه‌هایی برای به حداقل رساندن تأثیر منفی و به حداکثر رساندن مزایای ساختمان‌ها با در نظر گرفتن محدودیت‌ها و الزامات مختلف هستند [۱]. مسأله بحران انرژی سالهاست که هدف دانشمندان و اندیشمندان دنیاست و از آنجا که ساختمان‌ها یکی از بزرگترین مصرف‌کنندگان انرژی هستند، توجه به تصمیمات مرتبط با طراحی ضروری به نظر می‌رسد. مراحل اولیه طراحی و در صدر آن مرحله طراحی مفهومی ساختمان‌ها دوره‌ای است که اکثر تصمیمات طراحی ساختمان‌ها اتخاذ می‌شود و بیشترین پتانسیل برای دستیابی به طرح‌های با کارایی بالا در همین مرحله وجود دارد [۲]. مصرف انرژی در تمامی حوزه‌های مرتبط با ساختمان ۳۶ درصد از مصرف انرژی نهایی و ۳۹ درصد از انتشار دی‌اکسید کربن مرتبط با انرژی در سراسر جهان را تشکیل می‌دهد. بنابراین بهبود مصرف انرژی در بخش ساختمان با حفظ آسایش داخلی برای دستیابی به صرفه‌جویی در انرژی، کاهش آلودگی هوا و سازگاری با تغییرات آب و هوایی ضروری است [۳]. سیاست‌های فعال و غیرفعال به دنبال یک طرح مفهومی اولیه برای پروژه‌ها در بیشتر موارد در نظر گرفته می‌شوند بنابراین ترکیب کارآمد آنها در ساخت و ساز و افزایش اثربخشی آنها الزامی به نظر می‌رسد [۴]. در مرحله طراحی مفهومی می‌توان تصمیمات مرتبط با طراحی فرم را بگونه‌ای اتخاذ کرد که پایداری ساختمان به لحاظ انرژی با راهکارهای غیرفعال ممکن شود تا در مراحل بعدی و با تصمیم‌گیری در مورد راهکارهای فعال، انرژی مورد نیاز مصرفی به حداقل ممکن کاهش پیدا کند. همچنین اگر ساختمان به گونه‌ای طراحی شود که در دوره اوج مصرف انرژی با سیاست غیرفعال آسایش حرارتی بهتری فراهم کند، میزان مصرف انرژی در آن دوره کاهش یافته و منجر به کاهش مصرف انرژی سالیانه می‌شود. تحقیقات متعددی به بررسی اثرات فرم و هندسه بر میزان مصرف انرژی پرداخته‌اند. روشی که همست و باندحسینی [۵] ارایه کردند، ارزیابی فرم ساختمان برای مقایسه اثرات تغییرات هندسی و ملاحظات مصالح بر مصرف انرژی از طریق دو نوع تحلیل حساسیت را بررسی می‌کند. این تحقیق نشان می‌دهد که نسبت تغییرات هندسی فرم ساختمان به همان اندازه تغییر موارد مربوط به مصالح بر مصرف انرژی اثرگذار است.

امروزه با پیشرفت ابزارهای رایانه‌ای، هوش مصنوعی و الگوریتم‌های بهینه‌سازی امکانات وسیعی برای کمک به طراحان و تصمیم‌سازی

انرژی در ساختمان ارایه می‌دهد. با استفاده از این روش که یک روش فعال کنترلی بر پایه پیش‌بینی میزان تقاضای انرژی است، میزان مصرف انرژی ساختمان به طور مؤثر کاهش می‌یابد [۱۵]. همچنین در یکی از تحقیق‌های بررسی شده مربوط به سال ۲۰۲۰، مطالعه موزدی یک ساختمان مسکونی در کشور مراکش در جهت بهینه‌سازی عوامل مرتبط با استراتژی غیرفعال در کاهش مصرف انرژی صورت گرفت. در این پژوهش عایق حرارتی و جرم حرارتی بدنه ساختمان با استفاده از نمودار زیست اقلیمی منطقه به صورت چندهدفه بهینه‌سازی شد. بهینه‌سازی با استفاده از نمودار جبهه پارتو صورت گرفت [۱۶]. پژوهشی دیگر در سال ۲۰۱۷ انجام گرفت که هدف آن بهینه‌سازی طراحی غیرفعال ساختمان‌های مسکونی تازه‌ساخت در تابستان گرم و زمستان سرد چین برای بهبود آسایش حرارتی داخلی و در عین حال کاهش تقاضای انرژی ساختمان بود. در این راستا، این مقاله به بررسی عملکرد یک آپارتمان به عنوان نمونه موردی در شهر شانگهای می‌پردازد و راه حل‌های بهینه را با استفاده از یک رویکرد بهینه‌سازی توسعه یافته به نام الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی غیرمسلط، همراه با شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، به دست می‌آورد. در این پژوهش ۳۷ متغیر به لحاظ بهینه‌سازی مورد بررسی قرار می‌گیرند [۱۷]. در تحقیقی دیگر که در سال ۲۰۱۹ انجام شد، سیاست غیرفعال در طراحی مد نظر قرار گرفت و نور روز و عملکرد حرارتی یک ساختمان اداری با استفاده از یک مدل طراحی مبتنی بر پارامتریک شبیه‌سازی شده و پلاگین اکتاپوس (Octopus) که یک ابزار بهینه‌سازی مبتنی بر الگوریتم‌های ژنتیک توسعه یافته برای گرسه‌پر (Grasshopper) است، بهینه‌سازی می‌شود. هدف به دست آوردن نوع ترکیب و میزان سطح نورگیر در یک نمونه ساختمان اداری است [۱۸]. در پژوهشی دیگر که در سال ۲۰۱۷ انجام گرفت، متغیرهای شکل ساختمان، پوشش و سیستم سایه‌انداز با هدف کاهش مصرف انرژی و تأمین آسایش حرارتی مصرف‌کنندگان ساختمان روستایی در اقلیم گرم کشور چین بهینه‌سازی شدند. برای شبیه‌سازی موارد مرتبط با انرژی ساختمان از نرم‌افزار انرژی پلاس استفاده شد. همچنین برای بهینه‌سازی الگوریتم بهینه‌سازی ازدحام ذرات در نرم افزار ژن اپت (GenOpt) مورد استفاده قرار گرفت [۱۹].

#### اهداف پژوهش

در پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه بهینه‌سازی متغیرهای ساختمان با هدف توصیه سیاست‌های غیرفعال برای کاهش مصرف انرژی مقاله‌ای یافت نشد که فرم اولیه ساختمان را به همراه جهتگیری آن به طور کلی برای یک اقلیم معین با استفاده از الگوریتم جستجو در بین جواب‌های ممکن و نامحدود در بازه تعریف

شبیه‌سازی و ارزیابی عملکرد یک مدل بهینه برای سیستم‌های گرمایش، تهویه و تهویه مطبوع (HVAC) را با استفاده از الگوریتم کنترل هوشمند ارائه می‌کند. در این پژوهش برای بدست آوردن مقادیر بهینه و اولیه از روش آسایش Fanger و الگوریتم ژنتیک استفاده شده است [۱۰]. پژوهشی دیگر در سال ۲۰۱۶ با هدف نشان دادن کاربرد یک چارچوب جدید بهینه‌سازی عملکرد با سیاست غیرفعال برای بهبود کارایی ساختمان با در نظر گرفتن شاخص‌های روشنایی روز، کنترل خورشیدی، و استراتژی‌های تهویه طبیعی در مراحل اولیه طراحی پروژه‌های معماری است. که قادر به بهینه‌سازی هندسه ساختمان، جهت‌گیری ساختمان و سایر پارامترهای مرتبط با ساختمان در پاسخ به الزامات برنامه، مجاورت ساختمان‌های خاص سایت، و روشنایی روز مبتنی بر آب و هوا و کل معیارهای عملکرد مصرف انرژی ساختمان می باشد [۱۱]. تحقیقی دیگر نیز در سال ۲۰۲۱ برای بهینه‌سازی ویژگی‌های پوشش و شکل ساختمان، از یک تکنیک بهینه‌سازی - شبیه‌سازی استفاده کرده است. برای به دست آوردن بهترین مقادیر از همه متغیرهای مرتبط برای به حداقل رساندن مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی، یک بهینه‌ساز خاص به عنوان الگوریتم بهینه‌سازی در نظر گرفته است. همچنین برای شبیه‌سازی انرژی کل ساختمان از برنامه RIUSKA استفاده شده است. پارامترهای بهینه‌سازی عبارتند از مساحت و نوع پنجره‌ها، فونداسیون، عایق های دیوار و سقف، سطح نفوذ، جهت‌گیری و جرم حرارتی [۴]. پژوهش دیگری که در سال ۲۰۱۳ انجام گرفت، یک روش شبیه‌سازی طراحی جدید را بر اساس ترکیب یک ابزار نمونه اولیه (H.D.S. Beagle) ارائه می‌کند که مدل‌سازی پارامتریک را با بهینه‌سازی چند هدفه از طریق یک پلتفرم یکپارچه برای امکان‌سازی تکرار سریع و تحلیل مبادله در حوزه‌های طراحی، شدت مصرف انرژی ترکیب می‌کند [۱۲]. مطالعه ای دیگر در سال ۲۰۱۹ تغییرات تقاضای انرژی حرارتی سالانه و روشنایی مفید نور روز را برای تعیین نسبت بهینه پنجره به دیوار (WWR) یک کلاس درس ابتدایی شبیه‌سازی شده در تهران در دو جهت جنوب و شمال مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. نتایج این تحقیق نشان دادند نسبت پنجره به دیوار در محدوده ۲۵ تا ۳۵ درصد در نمای جنوبی بهترین عملکرد را برای بهینه نور روز و بارهای حرارتی دارند [۱۳]. مقاله‌ای دیگر در سال ۲۰۱۷ توسعه یک سیستم خودکار برای باز کردن پنجره‌ها را بر اساس همبستگی‌های آسایش حرارتی و کیفیت هوای داخلی ارائه می‌دهد [۱۴]. مقاله‌ای دیگر نیز در سال ۲۰۱۹ یک روش هوشمند برای بهینه‌سازی آسایش حرارتی بر اساس میزان پاسخ نسبت به تقاضای انرژی در راستای کاهش مصرف

۱. مدل سازی پارامتریک ساختمان و معین نمودن دامنه تغییرات متغیرها.

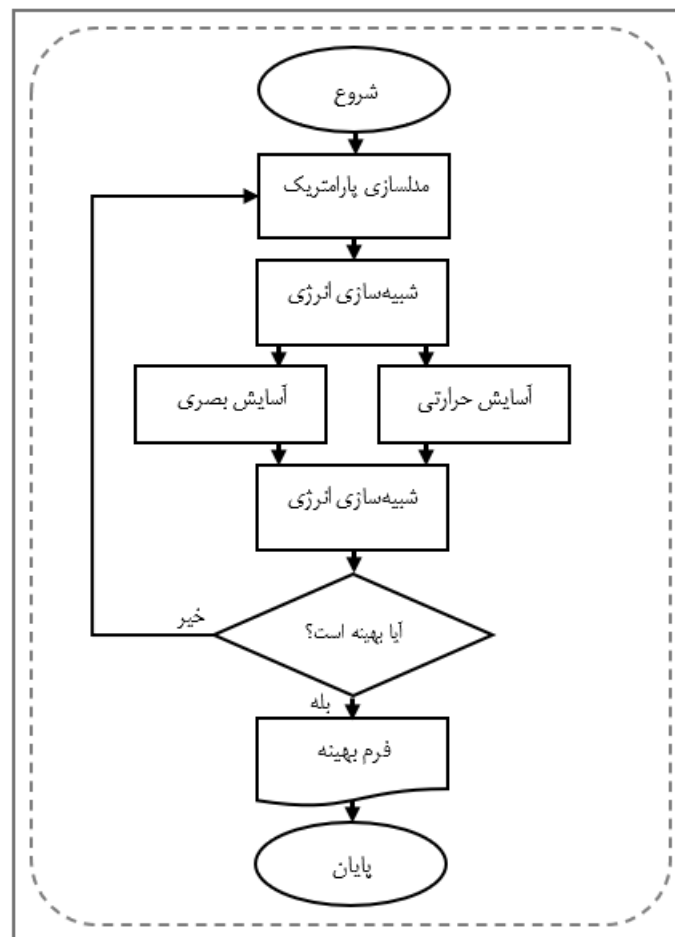
۲. شبیه سازی انرژی و شبیه سازی نور روز و انجام تنظیمات مرتبط با اقلیم و زمان و نوع بنا. در این مرحله دمای عملیاتی از بخش شبیه سازی انرژی ساختمان در حالت بدون تهویه مصنوعی بر اساس مدل آسایش حرارتی ادپتیو (Adaptive) و همچنین به دست آوردن مقدار (Useful Daylight Illuminance) (UDI) از بخش شبیه سازی نور روز به دست می آید. در پژوهش حاضر هدف به دست آوردن کمترین مقدار دمای عملیاتی میانگین در تابستان و بیشترین مقدار میانگین UDI در کل سال برای اقلیم یزد است.

۳. اتصال متغیرهای بهینه سازی و شاخص های بهینه سازی به الگوریتم بهینه ساز جهت یافتن بهینه متغیرها به صورت دو هدفه. فرآیند دستیابی به طرح بهینه در شکل ۱ نشان داده شده است.

شده بهینه یابی کند. پژوهش حاضر با توصیه تعدادی جواب در مرحله طراحی مفهومی در منطقه گرم و خشک شهر یزد برای ساختمان های بومی مستقل می تواند کمکی برای طراحان در جهت تصمیم سازی در مراحل اولیه طراحی به حساب بیاید تا با اجرای این سیاست غیرفعال در کاهش مصرف انرژی و به عنوان پایه ای برای طراحی مفهومی، سیاست های غیرفعال دیگر نظیر میزان سطح نورگیر و بازشو و سایه بان و جرم حرارتی را بر این اساس مورد استفاده قرار دهند. شاخص های مورد توجه در این پژوهش، شاخص های آسایش حرارتی و آسایش بصری هستند و فرم اولیه ساختمان بومی با در نظر گرفتن این دو شاخص به صورت چندهدفه بهینه یابی می شود.

### روش پژوهش

به طور کلی طراحی سیستم بهینه سازی ساختمان مسکونی یک طبقه در سه مرحله انجام گرفت:



شکل ۱. فرآیند دستیابی به طرح بهینه

هستند. نحوه اجرا به این صورت است که یک فرم مکعب با مساحت سطح مقطع افقی معین و ثابت به عنوان ورودی برنامه و با طول و عرض متغیر (یک پارامتر: عرض سطح مقطع افقی مکعب با ثابت بودن مساحت قابل دستیابی است)، و ارتفاع ثابت به عنوان فرم پایه در نظر گرفته می‌شود و یک مکعب کوچکتر به عنوان فرم کم‌شونده از فرم پایه. مکعب کوچک‌تر نیز دارای متغیرهای طول و عرض سطح مقطع افقی و مکان متغیر (مختصات مرکز مکعب کوچک قابلیت جابجایی دارد. شکل ۳) نسبت به مکعب بزرگتر است. جهتگیری بنا نسبت به شمال جغرافیایی نیز با در نظر گرفتن متغیر میزان چرخش بنا حول مرکز به صورت پارامتریک اعمال می‌شود. به‌طور کلی فرم‌های O، U، L و مکعب (حالت بدون کم کردن مکعب کوچکتر از مکعب اصلی) با ابعاد و اندازه‌های متفاوت و نامحدود از این طریق با حفظ مساحت سطح مقطع افقی به عنوان ورودی ثابت قابل دستیابی است. مساحت‌های مورد بررسی و بهینه‌سازی قرار گرفته در این پژوهش ۴ مقدار مساحت: ۲۵۰، ۳۵۰، ۴۵۰ و ۶۵۰ متر مربع هستند. دلیل انتخاب این اعداد به عنوان مساحت زیربنا برای ورودی برنامه بررسی سایت املاک و مستغلات شهر یزد و عرضه و تقاضای ساختمان‌های مسکونی بومی و خانه‌باغ‌های واقع در شهر یزد بود که نشان می‌داد اکثریت واحدها (حدود ۸۰٪) دارای مساحت زیربنای مساوی یا بیشتر از ۲۵۰ متر مربع بوده و کمتر دارای مساحتی بالاتر از ۴۵۰-۵۰۰ متر مربع هستند. با این حال برای مقایسه بهتر و ارایه جامع‌تر مساحت ۶۵۰ متر مربع نیز مورد بررسی و بهینه‌سازی قرار گرفت. جدول ۱ نمونه‌هایی از فرم‌های قابل دستیابی در قالب ۴ مدل اصلی را نشان می‌دهد.

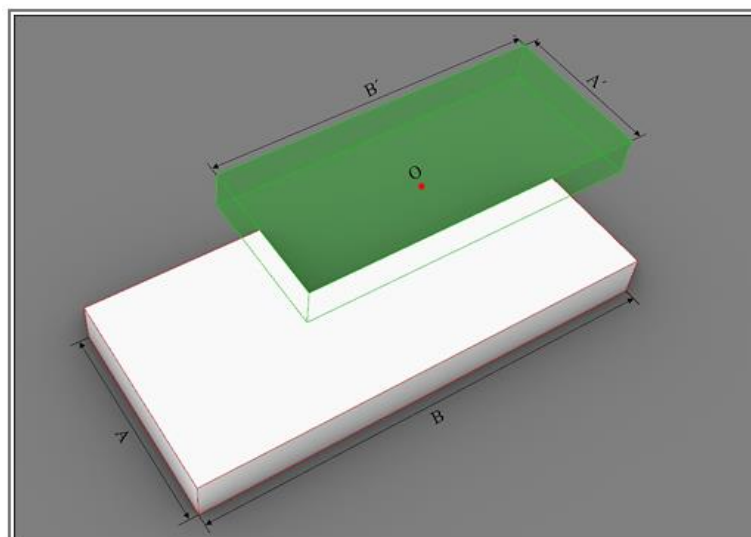
#### ۴-۱- مدل‌سازی پارامتریک

مدل‌سازی پارامتریک یک ابزار برای فرآیند طراحی خلاقانه است. تنوع راه‌حل‌های ارائه شده توسط این ابزار به ارزیابی چندین گزینه قبل از انتخاب یک راه‌حل قطعی کمک می‌کند. اگر مدل‌سازی پارامتریک با یک ابزار کمکی تصمیم‌گیری مانند الگوریتم‌های بهینه‌ساز ادغام شود می‌توان راه‌حل‌های مناسبی را به دست آورد [۲۰]. با استفاده از ابزار رایانه‌ای مناسب می‌توان طرح معماری را به صورت پارامتریک طراحی کرد. طرح حاضر با استفاده از نرم‌افزار گرسه‌پار که زیرمجموعه نرم‌افزار طراحی سه بعدی راینو است طراحی شده است. (شکل ۲)



شکل ۲. نرم‌افزار مورد استفاده در مدل‌سازی پارامتریک

در این پژوهش فرم‌هایی بر پایه مکعب به روش پارامتریک استخراج می‌شود. دلیل بررسی و استفاده فرم‌های با پایه مکعب این است که علاوه بر اینکه فرم مکعب و ترکیبات مختلف آن پر کاربردترین فرم‌ها در طراحی ساختمان در دنیا هستند [۲۱]. این نوع فرم‌ها در ساختمان‌های بومی شهر یزد یافت می‌شوند [۹] فرم‌های مورد نظر در این پژوهش، تمامی فرم‌هایی هستند که قابلیت به وجود آمدن از طریق جدا کردن مکعبی کوچکتر از یک مکعب بزرگتر را دارا



شکل ۳. نمونه فرم پارامتریک (A: عرض مکعب اصلی، B: طول مکعب اصلی، A': عرض مکعب کم‌شونده، B': طول مکعب کم‌شونده، O: مرکز پلان مکعب کم‌شونده)

جدول ۱. نمونه‌های انواع فرم کلی قابل دستیابی از طریق مدلسازی پارامتریک



داده‌های ASHRAI 90/1 2019-IECC 2021 استفاده شده است. شمای کلی بخش شبیه‌سازی پاکت انرژی ساختمان در شکل ۵ آورده شده است. خروجی این بخش به عنوان ورودی بخش‌های شبیه‌سازی آسایش حرارتی و آسایش بصری مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با توجه به اینکه داده‌های مرتبط با اقلیم یزد برای بخش شبیه‌سازی پژوهش حاضر ضروری است، لازم است در ارتباط با اقلیم انتخابی توضیحاتی در این بخش آورده شود.

#### اقلیم یزد:

استان یزد در مرکز کشور و در عرض جغرافیایی بین ۲۹ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۱ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۵۵ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۹ دقیقه شرقی قرار گرفته است. این استان از شمال با استان‌های اصفهان و از شرق به استان خراسان جنوبی، از جنوب با استان کرمان و از غرب به استان اصفهان و فارس منتهی می‌گردد [۲۷]. شهر یزد در ارتفاع ۱۲۲۰ متر از سطح دریا واقع گردیده و بر اساس روش تقسیم بندی اقلیمی، کوپن دارای اقلیم نوع BWSah می‌باشد [۲۸]. ویژگی اقلیم نوع B نشان کمی بارندگی سالیانه در مقایسه با نیازهای آبی گیاه است. در اقلیم نوع BW، میزان بارندگی سالیانه (سانتی متر) کمتر از معدل درجه حرارت سالیانه (سانتی گراد) می‌باشد. مفاهیم سایر علائم عبارتند از:

(S): قسمت اعظم بارندگی زمستانه بوده و بارندگی پرباران ترین ماه سال حداقل سه برابر ریزش‌های کم باران ترین ماه می‌باشد.  
(a): دمای متوسط گرم ترین هفته سال در طول روز بیش از ۳۵ درجه سانتی گراد می‌باشد.  
(h): دمای متوسط سالانه بالاتر از ۱۸ درجه سانتی گراد است. در تقسیم بندی دمارتن و بر اساس داده‌های اقلیمی دوره مورد مطالعه، شهر یزد دارای اقلیم خشک با شاخص کمتر از ۱۰ و زیر اشکوب خشک بیابانی می‌باشد.

برای اینکه فرم‌های غیر معمارانه از گزینه‌های مورد بررسی حذف شوند محدودیت‌های ذیل اعمال شدند:

نسبت طول به عرض بنا کمتر از ۰/۲۵ و بیشتر از ۴ برابر نباشد. (این نسبت برای عرض به طول نیز صادق است).  
فاصله بین دو دیوار خارجی از ۳ متر کمتر نباشد. (بر طبق آیین‌نامه نظام مهندسی عرض راهروها از ۱/۴ متر نباید کمتر باشد).  
ابعاد مکعب کم‌شونده از ۳ متر کمتر نباشد.  
ارتفاع فرم‌ها ثابت و برابر با ۳/۵ متر در نظر گرفته شدند.

در این راستا تعداد ورودی‌های متغیر (پارامترها) لازم برای هر دسته متفاوت بود از اینرو برنامه برای هر مدل به طور جداگانه اجرا می‌شود. جدول ۲ زیر پارامترهای مورد نیاز برای هر دسته را نشان می‌دهد. شمای کلی بخش مدلسازی پارامتریک به کمک نرم‌افزار گرسه‌پر در شکل ۴ نشان داده شده است.

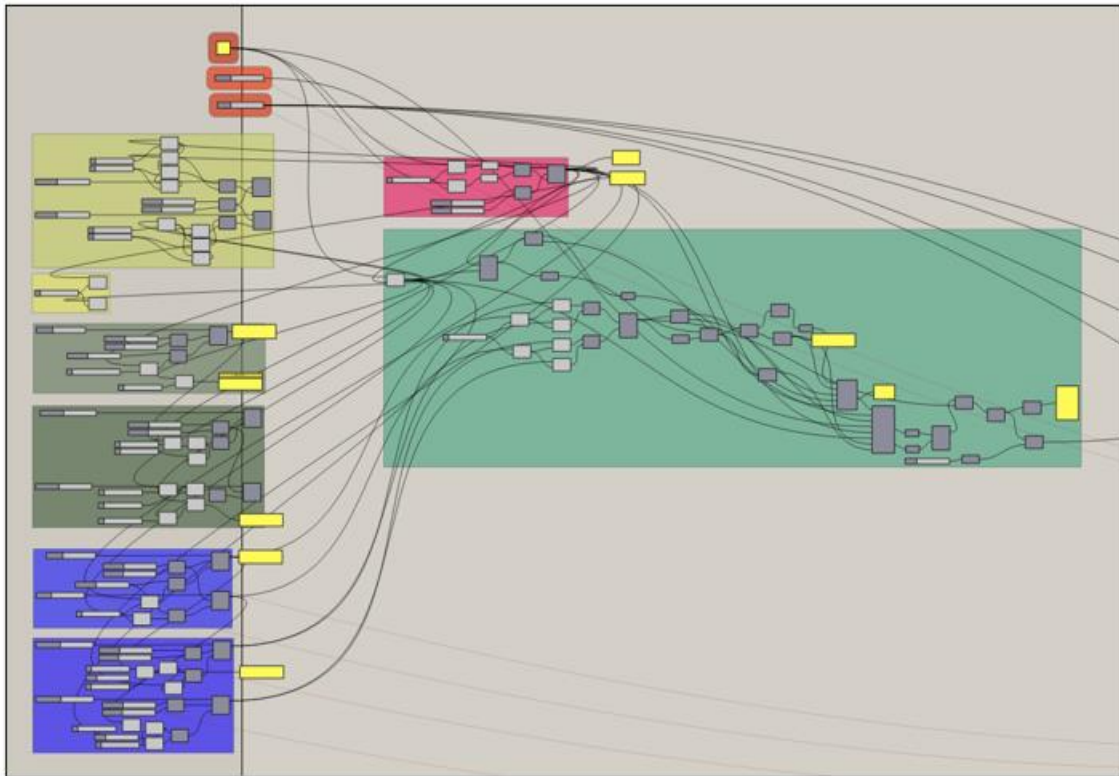
#### ۲-۴- شبیه‌سازی انرژی ساختمان:

انجام یک طراحی کارآمد برای به حداقل رساندن مصرف انرژی ساختمان نیازمند بیان کامل فرم ساختمان است [۲۲]. هندسه به عنوان یک عامل مهم و موثر بر مصرف انرژی ساختمان در نظر گرفته می‌شود در نتیجه با مدلسازی ساختمان و اجرای شبیه‌سازی انرژی روی فرم مورد نظر می‌توان میزان مصرف انرژی را در دوره‌های مختلف زمانی و بر اساس اقلیم سایت به دست آورد. متغیرهای مختلف مربوط به فرم ساختمان می‌تواند بر تقاضای گرمایش و سرمایش تأثیرگذار باشد. متغیرهای اساسی تر و مورد استفاده در تحقیق حاضر در جدول ذیل به اختصار توضیح داده شده‌اند:

در این پژوهش، شبیه‌سازی انرژی ساختمان با استفاده از پلاگین‌های هانی‌بی و لیدی‌باگ صورت گرفت که بعد از گرفتن ورودی فرم از بخش مدلسازی پارامتریک، در این مرحله تنظیمات مربوط به منطقه‌بندی، برنامه ساختمان، برنامه اقلیم و نوع بازشو انجام شد. برنامه ساختمان «آپارتمان» در نظر گرفته شد که نزدیک‌ترین حالت به بنای مسکونی مستقل است. در این پروژه از

جدول ۲. پارامترهای لازم برای هر دسته فرم

عرض مختصات مرکز پلان مکعب کم‌شونده	طول مختصات مرکز پلان مکعب کم‌شونده	عرض پلان مکعب کم‌شونده	طول پلان مکعب کم‌شونده	طول پلان مکعب اصلی	جهتگیری بنا	
-	-	-	-	✓	✓	فرم مکعب کامل
✓	✓	-	-	✓	✓	فرم L
✓	✓	✓	-	✓	✓	فرم U
✓	✓	✓	✓	✓	✓	فرم O



شکل ۴. شمای کلی بخش مدلسازی پارامتریک برنامه

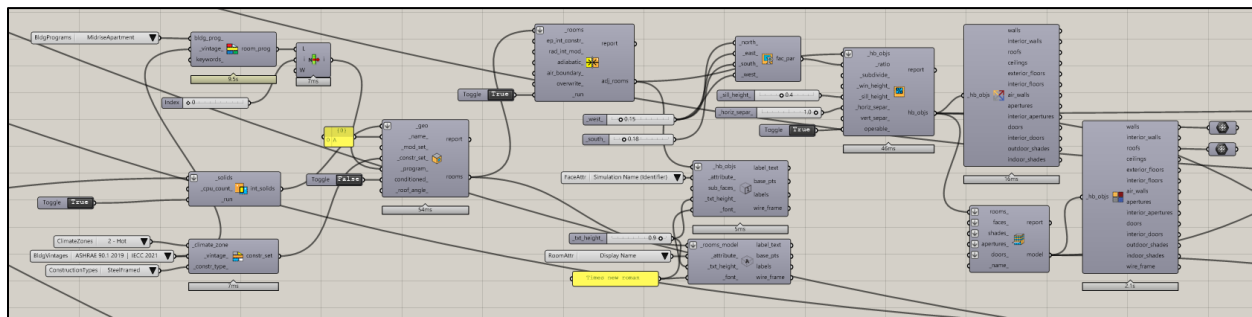
نمودارهای اقلیمی توضیح داده می‌شود. این اطلاعات از گزارش سالانه موجود در سایت اینترنتی اداره کل هواشناسی استان یزد ([yazdmet.ir](http://yazdmet.ir)) استخراج شده است.

با توجه به گزارش سالانه اداره کل هواشناسی استان یزد، بر مبنای طبقه‌بندی اقلیمی دوارتن شهر یزد دارای اقلیم خشک است. همچنین با در نظر گرفتن روش ایوانف نیز اقلیم یزد اقلیم صحرائی است. در زیر پارامترهای اقلیمی شهر یزد به همراه جداول و



جدول ۳. متغیرهای مربوط به فرم و شکل مورد استفاده در پژوهش

نام متغیر	تعریف	نمونه کاربرد در مقالات
شاخص فشردگی	نسبت بین حجم یک ساختمان و سطح بیرونی نمای ساختمان	بکوجه و همکاران [۲۳] تاثیر شاخص فشردگی بر رفتار حرارتی ساختمان در اقلیم گرم خشک و همچنین اهمیت در نظر گرفتن پارامترهای هندسی در مرحله طراحی ساخت و ساز را به دلیل تأثیر آنها در به حداقل رساندن مصرف انرژی و بهبود دمای داخلی مورد بررسی قرار دادند. نتایج شبیه سازی شده این مطالعات نشان داد که فشردگی بیشتر در ساختمان در اقلیم یاد شده می تواند منجر به آسایش حرارتی بیشتر داخل ساختمان شود. (نتیجه این تحقیق به عنوان یکی از عوامل صحت سنجی پروژه حاضر مورد استفاده قرار می گیرد.)
فاکتور شکل	نسبت طول ساختمان به عرض آن	اکسوی و اینالی [۲۴] بیان کردند که در نتیجه بهینه سازی جهت و شکل ساختمان می توان به صرفه جویی در انرژی تا ۳۶ درصد در بارهای گرمایشی دست یافت. مینگ فانگ [۲۵] همچنین تأثیر پارامترهای شکل ساختمان مانند طول، عمق و عرض ساختمان را بر دریافت تابش خورشیدی توسط یک ساختمان لوله ای مطالعه کرد. نتایج این تحقیق نشان داد که بهینه ترین جهت برای این نوع ساختمان جنوب است، زیرا ساختمان حداکثر تابش را در زمستان دریافت می کند و گرما را در تابستان کنترل می کند.
جهت گیری ساختمان	زاویه محور عرضی ساختمان نسبت به شمال جغرافیایی	فیضی و همکاران [۲۶] اثرات جهت گیری ساختمان بر کاهش انرژی برای چهار نوع مختلف ساختمان مسکونی واقع در تهران، ایران را بررسی کردند. آنها از نرم افزار اکوتکت (Ecotect) برای تجزیه و تحلیل رفتارهای ساختمان در چهار نوع اصلی استفاده کردند. نتیجه بر این شد که جهت گیری ساختمان یکی از مهمترین عوامل در تعیین حجم دریافتی انرژی خورشیدی است. آنها همچنین بیان کردند که بهترین جهت ساختمان در تهران وضعیتی است که ساختمان با زاویه ۰ درجه بین محور اصلی ساختمان و شمال جهت گیری کند.



شکل ۵. بخش شبیه سازی انرژی ساختمان

## پارامترهای اقلیمی:

جدول ۴ خلاصه وضعیت پارامترهای جوی ایستگاه هواشناسی فرودگاه یزد را به تفکیک ماه های سال در دوره آماری بین سال های ۱۳۶۰ تا ۱۳۹۸ نشان می دهد.

جدول ۴. خلاصه وضعیت پارامترهای جوی ایستگاه هواشناسی فرودگاه یزد

پارامتر ماه	میانگین دمای کمینه	میانگین دمای بیشینه	میانگین دما	میانگین مجموع بارش	میانگین رطوبت نسبی	تعداد روزهای یخبندان	تعداد روزهای بارانی	تیبخیر (میلیمتر)
فروردین	۱۱/۳	۲۴/۹	۱۸/۱	۱۰/۲	۳۱/۳	۰/۱	۴/۴	۲۴۸/۷
اردیبهشت	۱۶/۹	۳۱	۲۴	۳/۳	۲۵/۲	۰	۳/۳	۳۴۹/۵
خرداد	۲۲	۳۶/۷	۲۹/۴	۱/۳	۱۶/۶	۰	۰/۷	۴۶۲/۷
تیر	۲۵/۴	۴۰	۳۲/۷	۰/۱	۱۵/۲	۰	۰/۲	۵۱۸/۷
مرداد	۲۳/۷	۳۸/۹	۳۱/۳	۰/۱	۱۵/۱	۰	۰/۲	۴۸۴/۴
شهریور	۲۰/۲	۳۶/۱	۲۸/۱	۰	۱۵/۷	۰	۰/۱	۳۸۸/۷
مهر	۱۴/۷	۳۰/۱	۲۲/۴	۰/۸	۲۱/۹	۰	۰/۵	۲۵۴
آبان	۸/۴	۲۲/۹	۱۵/۶	۳/۳	۳۳/۹	۰/۳	۱/۹	۱۴۹/۶
آذر	۲/۷	۱۶/۱	۹/۴	۸/۵	۴۵/۴	۶/۳	۳/۸	۶۷
دی	۰/۵	۱۳/۵	۷/۰	۱۱/۱	۵۰/۱	۱۳/۴	۴/۲	۲۲
بهمن	۱/۷	۱۴/۸	۸/۳	۷/۷	۴۴/۹	۹/۸	۳/۸	۱۶/۳
اسفند	۵/۹	۱۹/۵	۱۲/۷	۷/۹	۳۵/۹	۲/۲	۳/۹	۱۱۹/۱

۵دما: در هواشناسی منظور از دمای هوای یک شهر یا یک منطقه، دمایی است که توسط دماسنج در یک پناهگاه هواشناسی (جعبه اسکرین) اندازه‌گیری می‌شود. (پناهگاه هواشناسی یا جعبه اسکرین محفظه‌ایست که در ارتفاع ۱/۲۵ تا ۲ متری از سطح زمین و در مسیر جریان مستقیم هوا و به دور از تابش مستقیم خورشید نصب می‌شود).

با توجه به آمار بلندمدت، میانگین دمای سردترین ماه سال، دی ماه، برابر با ۷/۶ درجه سلسیوس و میانگین دمای گرمترین ماه سال، تیر ماه، برابر با ۳۳/۲ درجه سلسیوس است. همچنین میانگین دمای کمینه و بیشینه ایستگاه یزد بترتیب ۱۳/۵ و ۲۷/۴ و میانگین دمای سالانه ۲۰/۵ درجه سلسیوس می‌باشد.

نمودار شکل ۷ نیز میانگین دمای بیشینه سالانه طی سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد. در این نمودار نیز مشاهده می‌شود میانگین بیشینه دما در طی این سالها رو به رشد بوده لیکن نرخ رشد این دما نسبت به نمودار مربوط به میانگین کمینه دما کمتر است.

تعداد روزهای یخبندان ایستگاه یزد به طور میانگین ۳۳ روز در سال است. فصل زمستان با ۲۶ روز و فصل پاییز با ۷ روز یخبندان، بیشترین روزهای یخبندان را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین ماه دی با میانگین ۱۳ روز در سال بیشترین تعداد روزهای همراه با یخبندان را دارا می‌باشد. میانگین مجموع ساعات آفتابی سالانه ایستگاه یزد ۳۴۱۸ ساعت است که بیشترین ساعات آفتابی در ماه مرداد با حدود ۳۶۰ ساعت و کمترین آن هم در آذر ماه با حدود

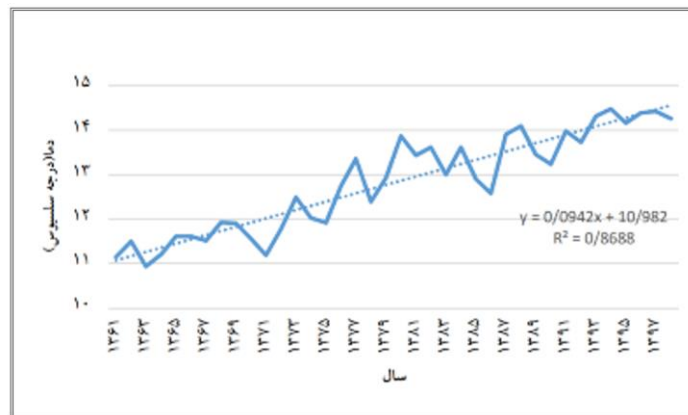
نمودار شکل ۸ پارامترهای پنج‌گانه دمای ایستگاه یزد در مقیاس ماهانه را نشان می‌دهد.

نمودار شکل ۹ نیز مجموع ساعات آفتابی ایستگاه یزد در مقیاس ماهانه را نشان می‌دهد.

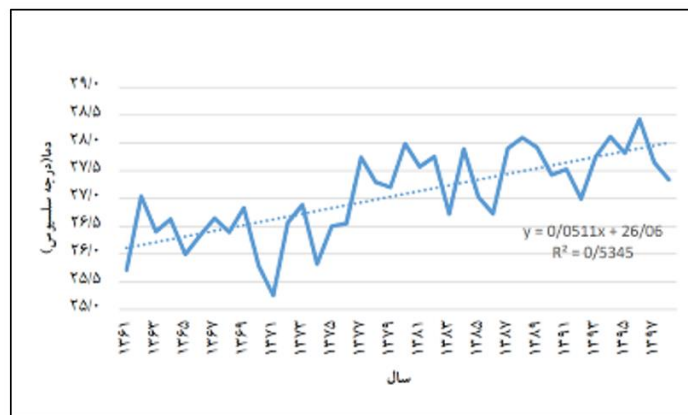
رطوبت نسبی: طبق تعریف واژه‌نامه انجمن هواشناسی آمریکا رطوبت نسبی، نسبت فشار بخار به فشار اشباع نسبت به آب است. رطوبت نسبی معمولاً بر حسب درصد بیان می‌شود و می‌تواند از طریق داده‌های سایکرومتری محاسبه شود. میانگین رطوبت نسبی سالانه ایستگاه یزد حدود ۲۹ درصد است، اما در ماه‌های گرم

ماه‌های دی و آذر به ترتیب با میانگین رطوبت نسبی و ۴۸ و ۴۶ درصد است. نمودار شکل ۱۰ میانگین رطوبت نسبی ایستگاه یزد در مقیاس سالانه بین سالهای ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۸ را نشان می‌دهد. نمودار شکل ۱۱ میانگین رطوبت نسبی ایستگاه یزد در مقیاس ماهانه را نشان می‌دهد.

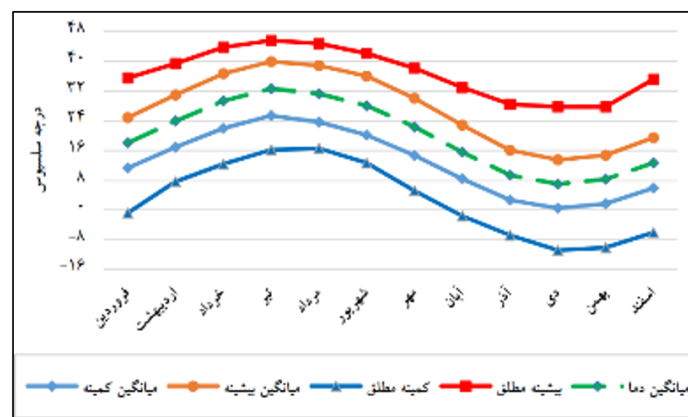
سال یعنی ماه‌های خرداد تا شهریور، رطوبت نسبی منطقه بسیار پایین می‌آید به طوری که ماه‌های تیر و مرداد با میانگین رطوبت نسبی ۱۵ درصد کم رطوبت‌ترین ماه‌های سال را دارا هستند. اما در ماه‌های سرد سال یعنی آذر تا بهمن نسبت به سایر ماه‌های سال میزان رطوبت نسبی بالاتر است. بالاترین رطوبت هم مربوط به



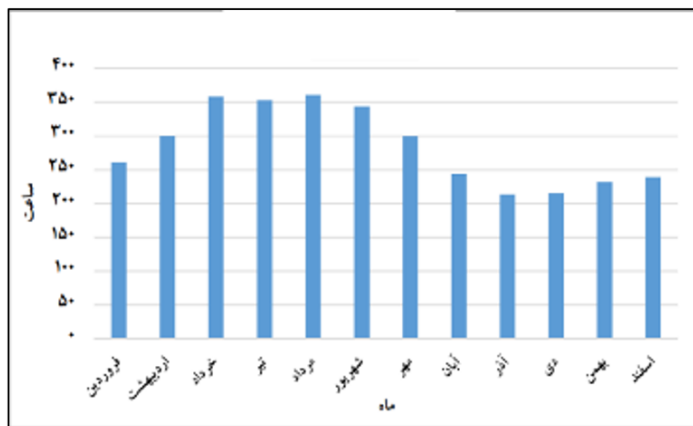
شکل ۶. میانگین دمای کمینه در بازه سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۸



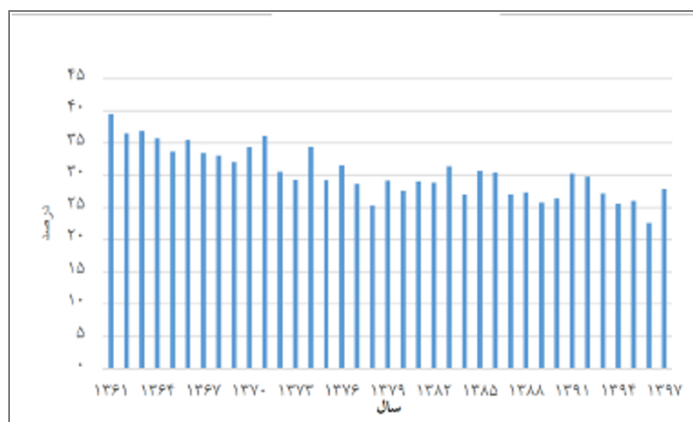
شکل ۷. میانگین دمای بیشینه در بازه سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۸



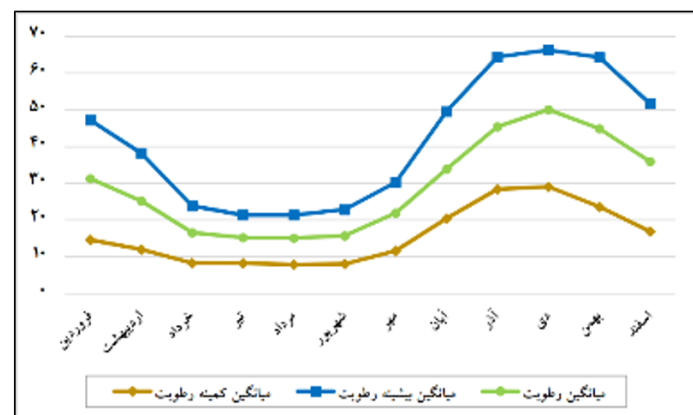
شکل ۸. پارامترهای ۵ گانه دمای ایستگاه یزد



شکل ۹. مجموع ساعات آفتابی ایستگاه یزد در مقیاس ماهانه



شکل ۱۰. میانگین رطوبت نسبی در مقیاس سالانه در بازه سال‌های ۱۳۶۱ تا ۱۳۹۸



شکل ۱۱. میانگین رطوبت نسبی ایستگاه یزد در مقیاس ماهانه

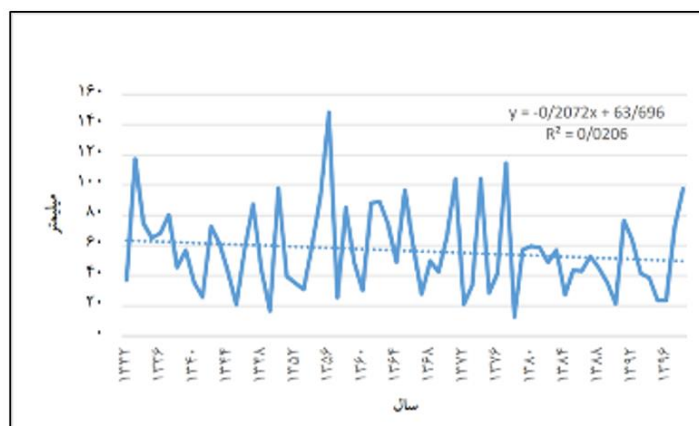
میانگین ۲۶/۷ میلی‌متر و پس از آن فصل‌های بهار و پاییز به ترتیب با میانگین بارش ۱۶/۳ و ۱۲/۵ میلی‌متر در مرتبه‌های بعدی قرار دارند و فصل تابستان هم با میانگین بارش ۰/۴ میلی‌متر کم‌بارش‌ترین فصل سال یا خشک‌ترین فصل است. میانگین مجموع بارش سالانه ایستگاه یزد ۵۶/۳ میلی‌متر می‌باشد. میانگین تعداد روزهای توام با بارندگی سالانه ایستگاه ۲۵ روز است که بیشترین

بارندگی: بارندگی به عنوان پیدایش ذرات آب، خواه مایع یا جامد و فروباریدن آن بر زمین تعریف می‌شود. بارش به کمک باران‌سنج و بر حسب میلی‌متر اندازه گرفته می‌شود. فصل بارش شهرستان یزد منطبق بر فصل سرد و اوایل بهار یعنی ماه‌های آذر تا فروردین است. پربارش‌ترین ماه‌های سال هم ماه‌های فروردین و دی با میانگین ۱۰ میلی‌متر هستند. از لحاظ فصلی هم فصل زمستان با

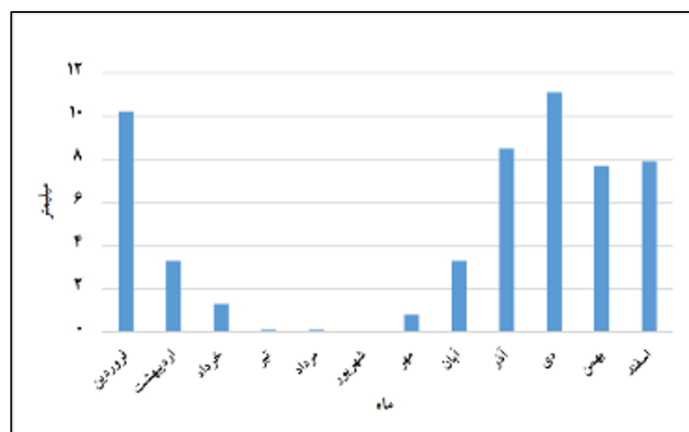
نمودار شکل ۱۴ بیشینه سرعت باد ایستگاه یزد را در مقیاس سالانه بین سال‌های ۱۳۶۱ و ۱۳۹۸ نشان می‌دهد. نمودار شکل ۱۵ نیز بیشینه سرعت باد ایستگاه یزد را در مقیاس ماهانه نشان می‌دهد. همچنین نمودار شکل ۱۶ توزیع فراوانی ایستگاه یزد بر اساس جهت وزش باد را بین سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۹ میلادی نشان می‌دهد. نمودار شکل ۱۷ نیز توزیع فراوانی باد ایستگاه یزد بر اساس سرعت وزش باد را بین سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۹ میلادی نشان می‌دهد. بر اساس تحقیق جهان‌بخش و اسماعیل‌پوردر سال ۱۳۸۳ [۲۸] در طراحی بازشوها در شهر یزد باید دقت شود که بازشوها بایستی کوچک بوده و کمتر از ۲۰٪ مساحت دیوار را شامل شوند. از این جهت در بخش شبیه‌سازی بازشوها، ۱۵٪ برای نسبت سطح پنجره به دیوار (تمامی دیوارهای خارجی) در نظر گرفته شد. همچنین نوع اقلیم انتخابی به عنوان یکی از تنظیمات بخش شبیه‌سازی انرژی برای اقلیم یزد، «گرم» در نظر گرفته شد. شکل ۱۸ مدلی از طرح ساختمان به عنوان ورودی شبیه‌ساز آسایش را نشان می‌دهد.

تعداد روزهای بارندگی ایستگاه مربوط به فصل زمستان و در حدود ۱۱ روز است. نمودار شکل ۱۲ مجموع بارش سالیانه ایستگاه یزد، بین سال‌های ۱۳۳۲ تا ۱۳۹۶ را نشان می‌دهد. نمودار شکل ۱۳ میانگین بارش ماهانه ایستگاه یزد را در طول سال نشان می‌دهد.

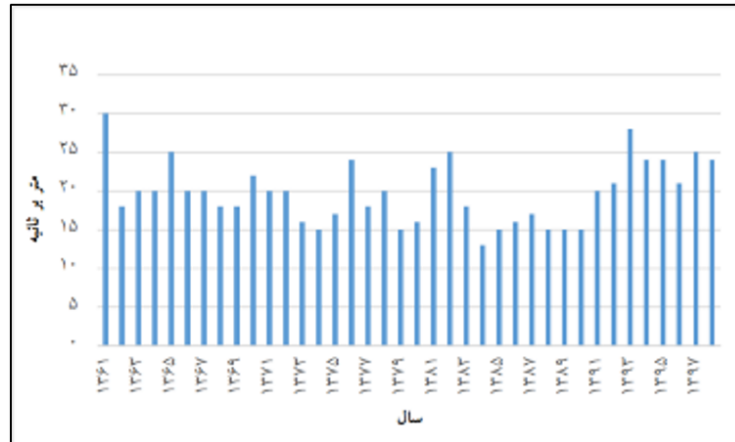
**باد:** باد به عنوان هوای در حال حرکت نسبت به سطح زمین تعریف می‌شود. از آنجا که اجزای عمودی حرکت جوی، به ویژه در نزدیکی سطح زمین، نسبتاً کوچک هستند، هواشناسان از این اصطلاح برای نشان دادن منحصرأ مولفه افقی باد استفاده می‌کنند. بادهای سطحی با بادسنج و بادنما اندازه‌گیری می‌شوند. بادهای فوقانی با سامانه‌هایی نظیر بالون خلبان، رادیسوند و یا تکنیک‌های ناوبری هواپیما اندازه‌گیری می‌شوند. جهت باد غالب ایستگاه یزد به ترتیب فراوانی، غربی، شمال غربی و جنوب شرقی است و میانگین سرعت باد سالانه یزد هم ۲/۴ متر بر ثانیه است.



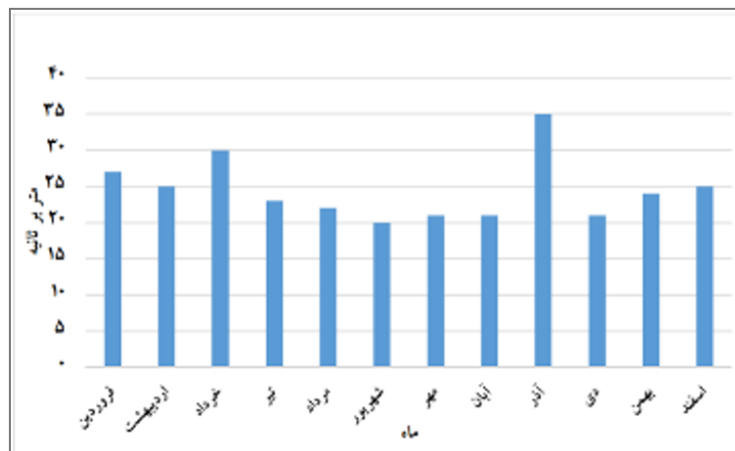
شکل ۱۲. مجموع بارش سالیانه ایستگاه یزد بین سالهای ۱۳۳۲ تا ۱۳۹۶



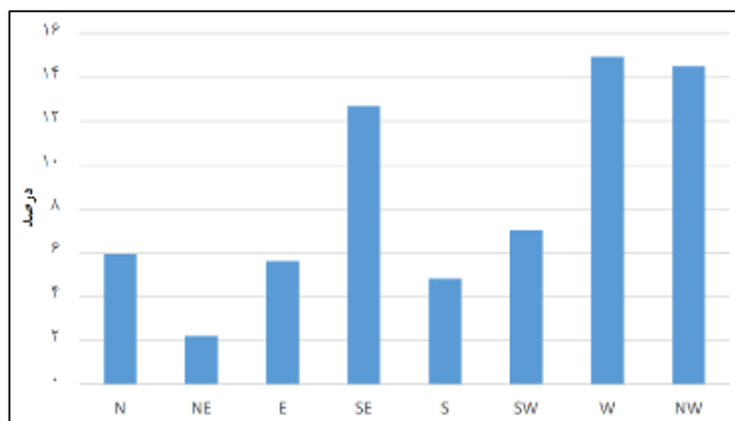
شکل ۱۳. میانگین بارش ماهانه ایستگاه یزد



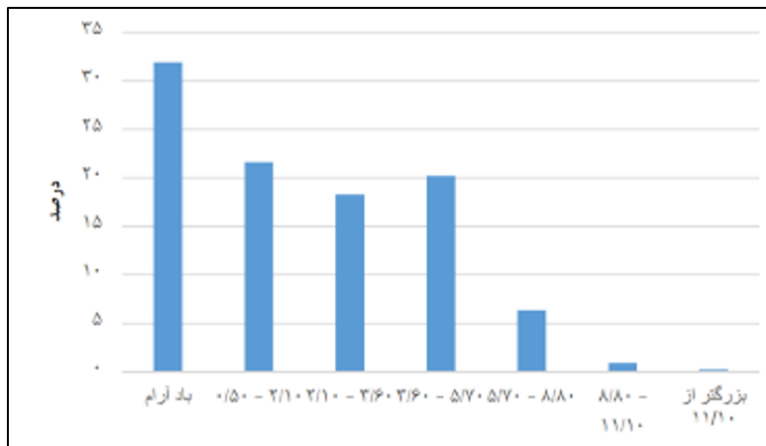
شکل ۱۴. بیشینه سرعت باد ایستگاه یزد در بازه سال‌های ۱۳۶۱ و ۱۳۹۸



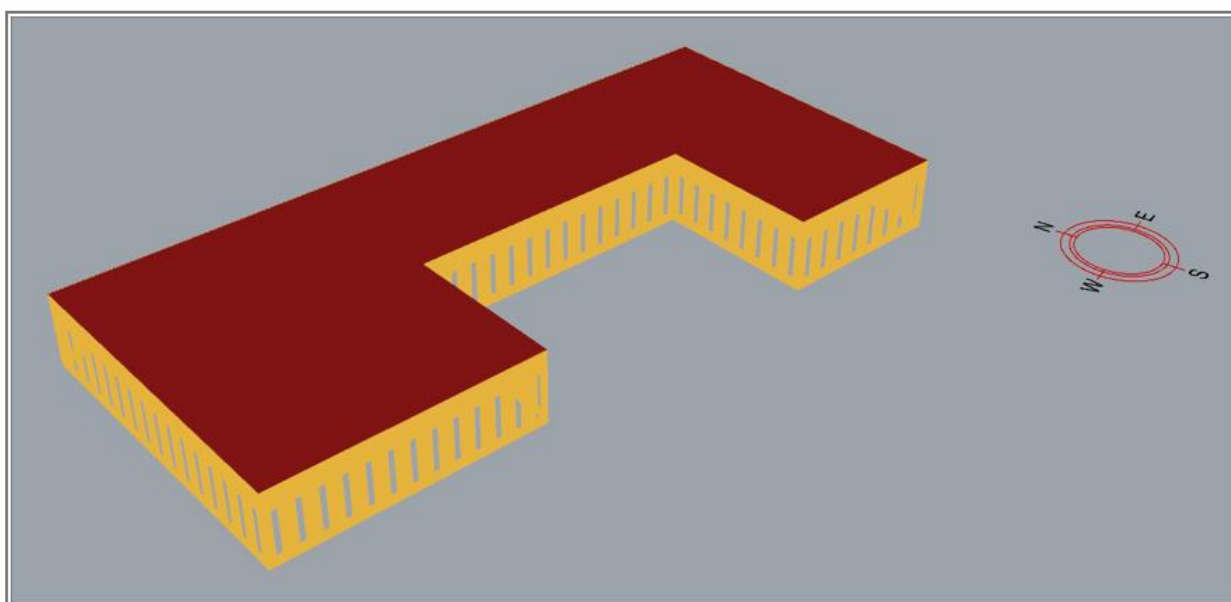
شکل ۱۵. بیشینه سرعت باد در مقیاس ماهانه



شکل ۱۶. توزیع فراوانی جهت باد ایستگاه یزد در بازه سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۹ میلادی



شکل ۱۷. توزیع فراوانی سرعت وزش باد ایستگاه بزد بین سال‌های ۱۹۶۰ تا ۲۰۱۹ میلادی



شکل ۱۸. نمونه‌ای از مدل ورودی به شبیه‌ساز آسایش حرارتی و آسایش بصری

دمایی تعریف شد که در آن فرد از نظر حرارتی خنثی یا "راحت" است. مطالعات آنها بر اساس کارهای آزمایشگاهی و میدانی بود که در آن افراد تحت شرایط مختلف از نظر حرارتی بررسی شدند. نتایج آزمایشات آنها با استفاده از تحلیل رگرسیون مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت. و مدلی به نام ادپتیو را برای بررسی میزان آسایش حرارتی داخل بنا طرح ریزی کردند. نتایج آزمایشات آنها با استفاده از تحلیل رگرسیون مورد تجزیه و تحلیل آماری قرار گرفت [۳۱].

پلاگین هانی‌بی و لیدی‌باگ نرم‌افزار گرسهاپر دارای کامپوننتی برای محاسبه میزان آسایش حرارتی بر اساس مدل ادپتیو است که با جایگذاری سنسورها در مدل و دریافت داده‌های آب و هوایی با اتصال به بخش شبیه‌سازی انرژی ساختمان می‌توان محاسبات مربوطه را انجام داد. در این پژوهش از این کامپوننت جهت به دست آوردن دمای عملکرد داخل بنا به عنوان شاخص بهینه‌سازی استفاده

#### ۳-۴- آسایش حرارتی:

تحقیقی که توسط اوروسا و اولیویرا در سال ۲۰۱۱ [۲۹] انجام گرفت نشان داد که در ساختمان‌هایی که صرفاً دارای تهویه طبیعی تنها مدل ادپتیو است که پیش‌بینی دقیقی از آسایش حرارتی ارائه می‌دهد. این در حالی است که برای ساختمان‌های دارای سرمایش و گرمایش و تهویه مطبوع (HVAC) شاخص (PMV Predicted Mean Vote) پیش‌بینی موفقی داشته است. بر اساس یافته‌های این تحقیق، با توجه به اینکه تنها تهویه طبیعی برای پژوهش حاضر در نظر گرفته شده است از مدل ادپتیو برای به دست آوردن شاخص آسایش حرارتی استفاده شد.

مدل ادپتیو: هامفریز و اولیسیمزدر سال ۱۹۹۸ [۳۰] خنثی بودن حرارتی بدن انسان را بررسی کردند. درجه حرارت خنثی به عنوان

ساختمان‌های با جهتگیری شمال غربی - جنوب شرقی نیز از نظر دریافت تابش خورشید دارای شرایط مناسبی بودند، اما تحت تأثیر بادهای شمال غربی و جنوب شرقی قرار داشتند. نتایج این تحقیق به عنوان یکی از عوامل صحت سنجی پروژه حاضر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بر طبق داده‌های آب و هوایی فرودگاه شهید صدوقی شهر یزد بر اساس ماه‌های میلادی، گرمترین هفته سال در شهر یزد از روز ۳م تا ۹م ماه ژوئیه و سردترین هفته سال از روز ۱۱م تا ۱۷م ماه ژانویه می‌باشد. بر اساس مطالعات اقلیمی صورت گرفته و با توجه به اینکه یک دوره بحرانی سال به لحاظ انرژی در گرمترین هفته سال است، طراحی بهینه بر اساس روزهای (۸ صبح تا ۶ عصر) گرم‌ترین هفته سال برای آسایش حرارتی شهر یزد صورت گرفت. شمای کلی بخش آسایش حرارتی تهیه شده در نرم افزار گرسپا در شکل ۱۹ زیر آورده شده است.

#### ۴-۴- آسایش بصری:

به طور کلی آسایش بصری به عنوان یک واکنش ذهنی به کمیت و کیفیت نور در هر فضای معین در یک زمان معین تعریف می‌شود. تعریفی کاملاً دقیق و پذیرفته شده از راحتی انسان وجود ندارد، اما معیارهای متعددی برای تعیین میزان استقبال کاربران از محیطها، اشیاء یا رابطها وجود دارد. نور کم و زیاد می‌تواند باعث ناراحتی بینایی شود [۳۲].

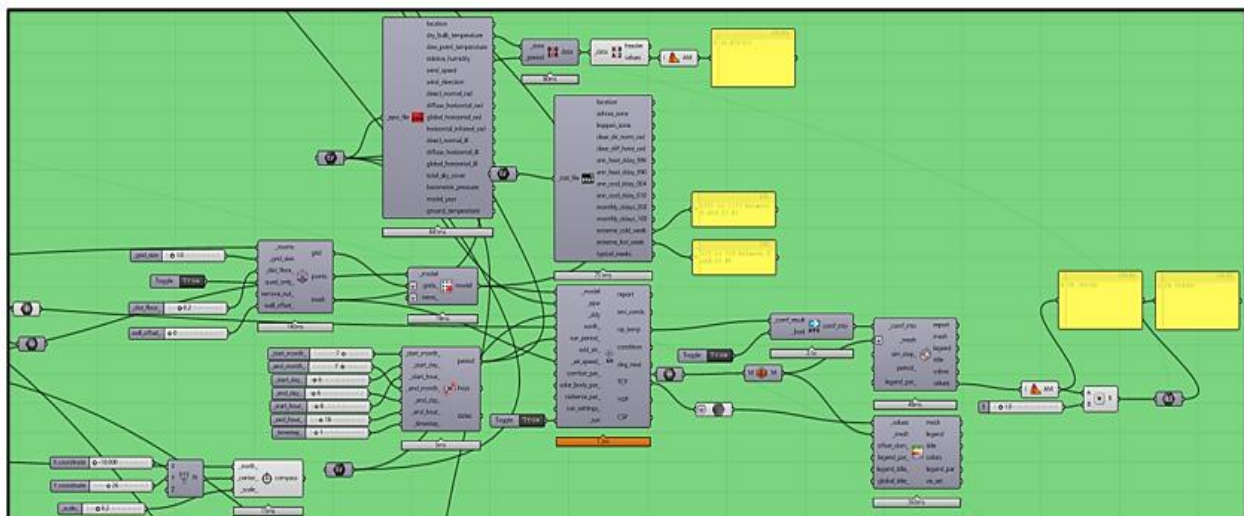
شده است. سنسورها روی یک شبکه با فواصل ۱ متر با فاصله ۲۰ سانتی‌متر از کف قرار گرفته‌اند.

**شرایط آسایش حرارتی در شهر یزد:** شرایط آسایش انسان در شهر یزد طبق پژوهش جهانبخش و اسماعیل‌پورد در سال ۱۳۸۳ [۲۸] به صورت زیر است:

در شب: در شهر یزد هوای شب‌های هفت ماه از سال ( سپتامبر تا نوامبر و فوریه تا مه ) قدری سرد بوده و شب‌های ماه‌های دسامبر و ژانویه کاملاً سرد است . فقط در هوای شب‌های سه ماه ژوئن، ژوئیه و اوت شرایط آسایش برقرار می‌باشد.

در روز: از ماه‌های دسامبر تا فوریه، هوای روزها قدری سرد بوده و در روزهای ماه‌های مارس و نوامبر هوا خنک می‌باشد. در طول روزهای ماه‌های آوریل و اکتبر، شرایط آسایش برقرار بوده و در ماه‌های مه و سپتامبر، روزها گرم می‌شوند. بدترین شرایط هوای روزانه مربوط به سه ماه ژوئن، ژوئیه و اوت است که هوا داغ می‌باشد.

در ارتباط با جهتگیری ساختمان‌ها در شهر یزد تحقیقی توسط فلاح‌پور [۲۷] در سال ۱۳۹۴ نشان داد که برای تأمین آسایش ساکنان، اکثر ساختمان‌ها در مجتمع‌های مسکونی واقع در شهر یزد دارای دو جهتگیری شمالی - جنوبی و شمال غربی - جنوب شرقی هستند. این تحقیق نشان داد ساختمان‌هایی که در جهت شمالی جنوبی واقع شده بودند، کمتر تحت تأثیر بادهای شدید فصل گرم و سرد قرار داشتند اما در فصل گرم تابش بالایی دریافت می‌کردند.



شکل ۱۹. بخش آسایش حرارتی برنامه



مدل سازی نور روز مبتنی بر آب و هوا هستند، یعنی امکان ارزیابی نور روز بر اساس داده های آب و هوای واقعی برای یک مکان معین را دارند. با این حال، فاکتور DA هیچ محدودیت بالایی از نظر سطوح روشنایی ندارد. در مقابل، UDI به عنوان درصدی (٪) تعریف می شود که نشان دهنده تعداد سالیانه ساعتی است که روشنایی ارائه شده توسط روشنایی روز در محدوده مفیدی قرار دارد که برای جلوگیری از احتمال ناراحتی بصری در نظر گرفته شده است [۳۳].

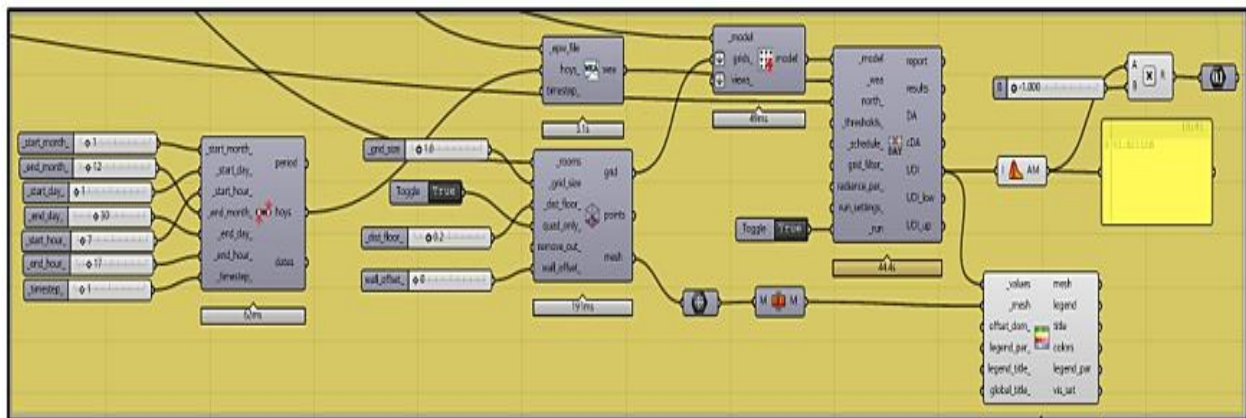
در این پژوهش از شاخص UDI برای بهینه سازی و یافتن بهینه فرم استفاده شده است. معیار زمانی در نظر گرفته شده کل روزهای سال از ساعت ۸ صبح تا ۶ عصر بوده است. این شاخص از طریق کامپوننت انوال دیلایت (Annual Daylight) واقع در پلاگین هانی بی ریدیانس (Radiance) با اتصال به خروجی بخش شبیه سازی انرژی ساختمان قابل دستیابی است. محدوده ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس به عنوان محدوده مفید نور روز در نظر گرفته شد. هدف پیشنهادی این شاخص برای بهره برداری مطلوب تر از نور روز جهت کاهش مصرف انرژی می باشد. شکل ۲۰ شمای کلی بخش آسایش بصری برنامه را نشان می دهد.

جدول ۵ نتایج میانگین دمای عملکرد و UDI به همراه گرافیک دمای دریافتی سنسورها در پلان برای ۱۰ نمونه تصادفی از فرم L پلان با پارامترهای متفاوت با در نظر گرفتن اقلیم شهر یزد و مساحت ۶۵۰ متر مربع را نشان می دهد. از مقادیر دمای عملیاتی و UDI میانگین به دست آمده در این نمونه های تصادفی برای مقایسه با حالت های مطلوب نمونه های بهینه استفاده می شود.

یکی از شاخص های مهم در ارتباط با آسایش بصری مصرف کنندگان ساختمان ها مقدار نور طبیعی در طول سال است. این معیار مرتبط با پتانسیل یک فضا یا ساختمان در تامین نور روز کافی برای ساکنین است. به طور معمول، با کفایت نور روز (DA: Daylight Autonomy) یا روشنایی مفید نور روز (UDI: Useful Daylight Illuminance) نشان داده می شود. از این معیارها می توان برای تجزیه و تحلیل و ارزیابی گزینه های مختلف طراحی استفاده کرد تا مشخص شود کدام طراحی بر اساس نور روز قابلیت استفاده بیشتری را در فضای داخلی فراهم می کند [۳۲].

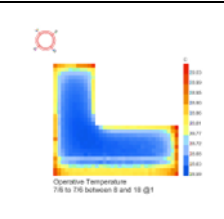
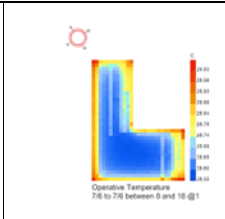
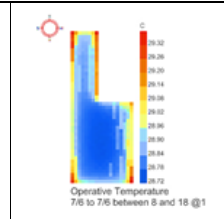
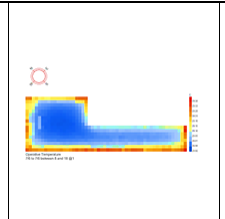
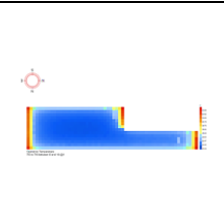
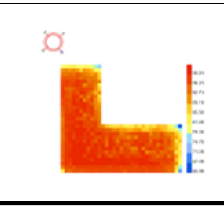
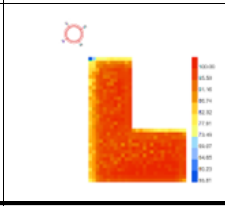
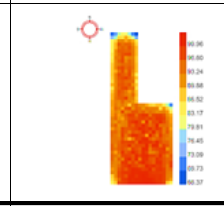
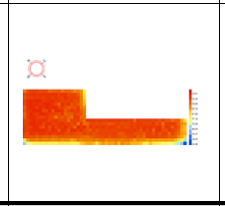
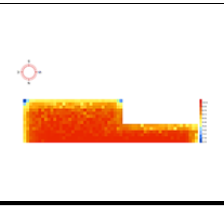
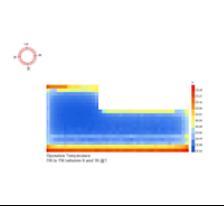
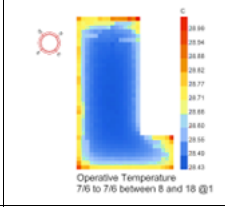
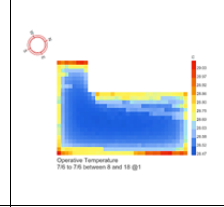
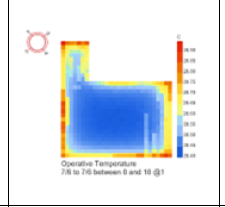
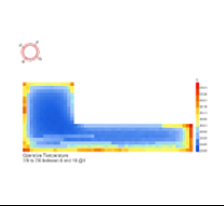
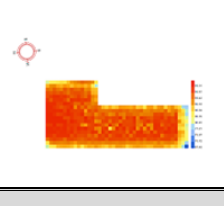
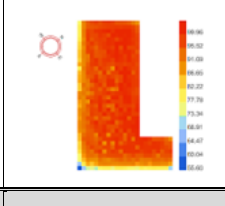
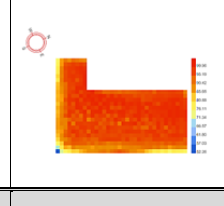
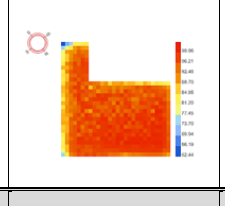
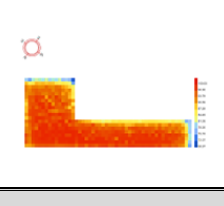
کفایت نور روز به عنوان درصدی از دوره عملکرد (یا تعداد ساعتی) تعریف می شود که سطح خاصی از نور در طول سال برآورده شود. روشنایی مفید نور روز (UDI) اصلاحی از کفایت نور روز است که توسط مردالژویک و نیبل (۲۰۰۵) طراحی شده است [۳۲]. این شاخص نسبتی از دوره اشغال در طول یک سال است که روشنایی افقی در یک نقطه مشخص، در محدوده معینی باشد. با در نظر گرفتن مقادیر حد پایین و حد بالای روشنایی، محدوده زمانی ارزیابی شده به سه قسمت تقسیم می شود: مدت زمانی که روشنایی ناشی از نور روز بسیار کم است (UDI<sub>Underlit</sub>)، مقدار مناسبی دارد (UDI<sub>Useful</sub>) و یا به قدری زیاد است (UDI<sub>Overlit</sub>) که منجر به نبود آسایش بصری می شود. مقادیر تعیین شده حد بالا و پایین برای این شاخص در منابع مختلف متفاوت است، اما عموماً مقدار ۳۰۰ تا ۳۰۰۰ لوکس با عنوان محدوده کفایت نور پیشنهاد می شود [۳۳].

DA و UDI دو مورد از متداول ترین معیارهای دینامیک برای ارزیابی تامین روشنایی روز هستند. هر دو معیار مبتنی بر منطق



شکل ۲۰. بخش آسایش بصری برنامه

جدول ۵. نتایج شبیه‌سازی برای ۱۰ نمونه تصادفی از فرم L با در نظر گرفتن اقلیم یزد و مساحت ۶۵۰ متر مربع

					دمای عملکردی
					UDI
حالت پنجم	حالت چهارم	حالت سوم	حالت دوم	حالت اول	مشخصات حالت
میانگین دمای عملکرد: ۲۸/۸ میانگین UDI: ۹۴/۲	میانگین دمای عملکرد: ۲۸/۸ میانگین UDI: ۹۳/۴	میانگین دمای عملکرد: ۲۸/۹ میانگین UDI: ۹۳/۳	میانگین دمای عملکرد: ۲۹/۱ میانگین UDI: ۹۲/۸	میانگین دمای عملکرد: ۲۸/۶ میانگین UDI: ۹۳/۷	حالت
					دمای عملکردی
					UDI
حالت دهم	حالت نهم	حالت هشتم	حالت هفتم	حالت ششم	مشخصات حالت
میانگین دمای عملکرد: ۲۸/۸ میانگین UDI: ۹۳/۸	میانگین دمای عملکرد: ۲۸/۵ میانگین UDI: ۹۳/۵	میانگین دمای عملکرد: ۲۸/۶ میانگین UDI: ۹۳/۵	میانگین دمای عملکرد: ۲۸/۶ میانگین UDI: ۹۴	میانگین دمای عملکرد: ۲۹/۱ میانگین UDI: ۹۳/۹	حالت

**پلاگین اکتاپوس:** اکتاپوس یک پلاگین گرسهپار است و جهت بهینه‌سازی به کار می‌رود. این پلاگین از الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی استفاده می‌کند و به کاربر اجازه می‌دهد تا بهینه‌سازی تک یا چند هدفه را اجرا کند. این پلاگین دارای یک گزینه برای انتخاب پارامترهای متنوع است که زمینه جستجوی راه‌حل‌ها را

### بهینه‌سازی

بهینه‌سازی برای ۴ فرم اصلی به صورت جداگانه با استفاده از الگوریتم ژنتیک انجام گرفت. در این راستا از پلاگین اکتاپوس وابسته به نرم‌افزار گرسهپار استفاده شد. در ذیل توضیحاتی در ارتباط با این پلاگین آورده شده است.

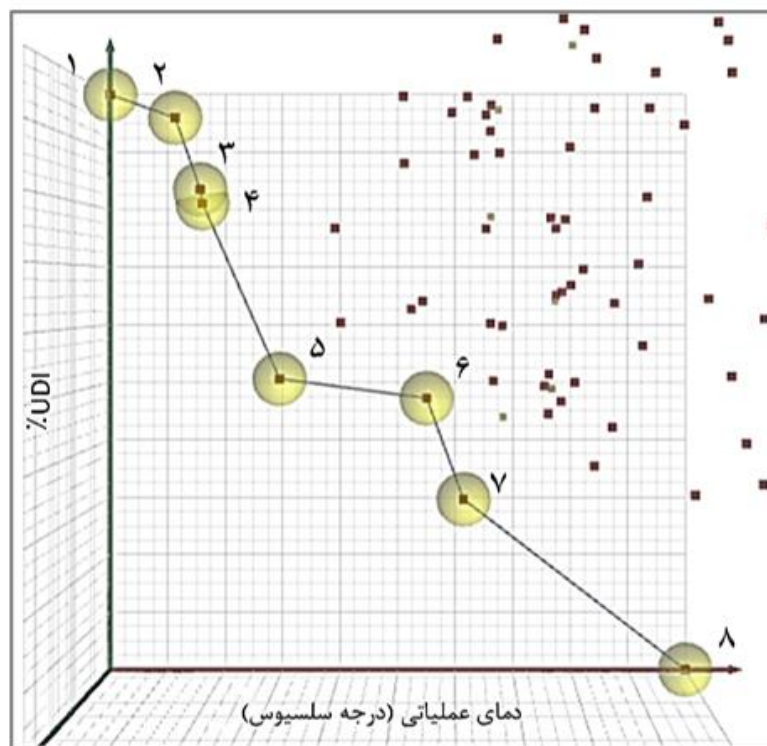
مساحت‌های مختلف زیربنا با در نظر گرفتن اقلیم گرم و خشک شهر یزد است. در پژوهش حاضر نقاط سر و انتهای نمودار پارتو بهینه‌سازی ۲ هدفه که به ترتیب نماینده کمینه دمای عملیاتی در طول گرم‌ترین هفته سال و بیشینه UDI در طول سال هستند را نشان می‌دهد. (شکل ۲۱)

تنظیماتی که برای استفاده از موتور بهینه‌سازی اکتاپوس به کار رفت شامل موارد زیر است:

- تعداد جمعیت اولیه ۸۵ عدد
- شرط اتمام بهینه‌سازی بیشینه تعداد نسل ۵ عدد
- ۵۰٪ انتخاب الیتها (Elitism)
- ۳۰٪ احتمال جهش (Mutation Probability)
- ۸۰٪ نرخ جهش (برای اطمینان از اینکه سطح وسیعی از جواب‌ها ارزیابی می‌شوند) (Mutation Rate)
- ۸۰٪ نرخ تقاطع (Crossover Rate)

افزایش می‌دهد و جدا از تعیین اندازه جمعیت برای هر نسل، کاربر را قادر می‌سازد تا حداکثر تعداد نسل را قبل از فرآیند بهینه‌سازی تنظیم کند. این موتور همچنین از قطع شدن بهینه‌سازی در صورت مواجهه با موارد غیرممکن جلوگیری می‌کند و هنگامی که به حداکثر زمان کار رسید به سراغ راه‌حل بعدی می‌رود [۲۰]. در نهایت موتور پس از برآورده شدن شروط پایان کار، گرافی از نقاط بهینه روی جبهه پارتو ارائه می‌دهد که می‌توان بسته به شرایط جواب مناسب را از میان این نقاط برگزید.

در این تحقیق از پلاگین اکتاپوس وابسته به گرسپا پر برای بهینه‌سازی فرم ساختمان مسکونی یک طبقه ویلایی استفاده شد. مقادیر میانگین دمای عملیاتی و میانگین UDI سالانه به عنوان آبجکتیوها (Objective) و پارامترهای طراحی توضیح داده شده در بخش پارامتریک در جدول ۲ به عنوان ژن‌ها (Gene) به برنامه متصل شدند تا بهینه متغیرهای ورودی بر اساس بهینه شاخص‌ها به صورت دو هدفه به دست آید. هدف کمینه کردن دمای عملیاتی و بیشینه کردن UDI برای فرم‌های ۴ گانه یاد شده برای



شکل ۲۱. نمونه‌ای از نمودار پارتو و نقاط سر و انتهای منحنی در پلاگین Octopus (نقطه شماره ۱: سر نمودار پارتو و کمینه دمای عملیاتی، نقطه شماره ۸: انتهای نمودار پارتو و کمینه UDI)

## نتایج

**فرم O:** جدول ۹ بهینه متغیرهای ورودی برنامه و مقادیر میانگین دمای عملیاتی و UDI برای جواب‌های پارتو (به تعداد ۱۱ عدد) با در نظر گرفتن فرم O را نشان می‌دهد.

نتایج برای مساحت زیربنای ۳۵۰ متر مربع:

**فرم مکعب کامل:** جدول ۱۰ بهینه متغیرهای ورودی برنامه و مقادیر میانگین دمای عملیاتی و UDI برای جواب‌های پارتو (به تعداد ۴ عدد) با در نظر گرفتن فرم مکعب کامل را نشان می‌دهد.

**فرم L:** جدول ۱۱ بهینه متغیرهای ورودی برنامه و مقادیر میانگین دمای عملیاتی و UDI برای جواب‌های پارتو (به تعداد ۸ عدد) با در نظر گرفتن فرم L را نشان می‌دهد.

**فرم U:** جدول ۱۲ بهینه متغیرهای ورودی برنامه و مقادیر میانگین دمای عملیاتی و UDI برای جواب‌های پارتو (به تعداد ۳ عدد) با در نظر گرفتن فرم U را نشان می‌دهد.

**فرم O:** جدول ۱۳ بهینه متغیرهای ورودی برنامه و مقادیر میانگین دمای عملیاتی و UDI برای جواب‌های پارتو (به تعداد ۵ عدد) با در نظر گرفتن فرم O را نشان می‌دهد.

نتایج بهینه‌سازی چندهدفه با هدف کمینه کردن متوسط دمای عملیاتی داخل بنا در گرمترین هفته سال در شهر یزد و بیشینه کردن UDI متوسط داخل بنا برای کل سال در شهر یزد برای ۴ مقدار مساحت زیربنای متفاوت (۲۵۰ مترمربع، ۳۵۰ مترمربع، ۴۵۰ مترمربع و ۶۵۰ مترمربع) در ذیل آورده شده است.

نتایج برای مساحت زیربنای ۲۵۰ متر مربع:

**فرم مکعب کامل:** جدول ۶ متغیرهای ورودی برنامه و مقادیر میانگین دمای عملیاتی و UDI برای جواب‌های پارتو (به تعداد ۶ عدد) با در نظر گرفتن فرم مکعب کامل را نشان می‌دهد.

**فرم L:** جدول ۷ بهینه متغیرهای ورودی برنامه و مقادیر میانگین دمای عملیاتی و UDI برای جواب‌های پارتو (به تعداد ۷ عدد) با در نظر گرفتن فرم L را نشان می‌دهد.

**فرم U:** جدول ۸ بهینه متغیرهای ورودی برنامه و مقادیر میانگین دمای عملیاتی و UDI برای جواب‌های پارتو (به تعداد ۴ عدد) با در نظر گرفتن فرم U را نشان می‌دهد.

جدول ۶. مقادیر بهینه‌یابی شده برای فرم مکعب کامل با در نظر گرفتن مساحت زیربنای ۲۵۰ مترمربع

شماره نقاط پارتو	دمای عملیاتی متوسط (°C)	UDI (درصد)	جهتگیری بنا (°) تا ۳۶۰ (درجه)	A (متر)	B (متر)
				۱	۲۹/۰۷۱
۲	۲۹/۰۸۲	۹۲/۸۸۷	۱۸۱	۱۹/۹۰	۱۲/۵۵
۳	۲۹/۰۸۴	۹۳/۰۳۷	۱۸۰/۷	۱۹/۹۱	۱۲/۵۴
۴	۲۹/۰۸۸	۹۳/۰۵۲	۱۷۸/۴	۱۹/۴۳	۱۲/۸۶
۵	۲۹/۰۸۹	۹۳/۱۱۵	۱۷۸/۲۱	۱۹/۳	۱۲/۹۴
۶	۲۹/۴۲۱	۹۳/۱۳۵	۲۲۷/۱۹	۱۳/۰۶	۱۹/۱۳

جدول ۷. مقادیر بهینه‌یابی شده برای فرم L با در نظر گرفتن مساحت زیربنای ۲۵۰ مترمربع

شماره نقاط پارتو	دمای عملیاتی متوسط (°C)	UDI (درصد)	جهتگیری بنا (°) تا ۳۶۰ (درجه)	A (متر)	B (متر)	C (متر)	D (متر)
				۱	۲۹/۱۵	۹۳/۲۳	۱۷۹/۷
۲	۲۹/۲	۹۳/۲۸	۱۷۹/۷	۱۳/۵۸	۱۳/۰۱	۳/۷۰	۷/۳۹
۳	۲۹/۲۲	۹۳/۳۹	۱۸۶/۲	۱۰/۶	۱۹/۶	۳/۴۱	۵/۸۴
۴	۲۹/۲۶	۹۳/۴۲	۱۸۶/۲	۹/۷۸	۲/۴۵	۳/۳۱	۶/۱۸
۵	۲۹/۳۶	۹۳/۴۷	۱۵۸/۱	۱۷/۱۳	۱۰/۹۱	۳/۴۸	۴/۶۰
۶	۲۹/۳۸	۹۳/۵۳	۱۸۶/۲	۱۷/۷۷	۸/۲۹	۳/۲۸	۷/۰۷
۷	۲۹/۵۶	۹۳/۶۲	۱۵۴/۲	۱۱/۲۸	۱۲/۵۸	۳/۲۴	۱۳/۴۲

جدول ۸. مقادیر بهینه‌یابی شده برای فرم U با در نظر گرفتن مساحت زیربنای ۲۵۰ مترمربع

شماره نقاط پارتو	دمای عملیاتی متوسط (°C)	UDI (درصد)	جهتگیری بنا (۰ تا ۳۶۰ درجه)	A (متر)	B (متر)	C (متر)	D (متر)	F (متر)	A
۱	۲۹/۴۲	۹۲/۱۰	۳۷۸/۲	۲۲/۰۹	۴/۴۷	۴/۴۱	۴/۷۳	۳/۰۵	B
۲	۲۹/۴۶	۹۲/۸۵	۱۷۹/۶	۹/۹۶	۱۶/۳۶	۳/۶۷	۳/۱۴	۶/۷۲	C
۳	۲۹/۵۱۵	۹۲/۷۵	۱۷۷/۸	۱۱/۹۷	۱۱/۱۵	۳/۸۱	۵/۵۹	۵/۹۱	D
۴	۲۹/۵۵	۹۲/۹۴	۱۷۳/۷	۱۴/۶۵	۳/۱۰	۴/۴۸	۳/۰۳	۱۱/۸۴	E

جدول ۹. مقادیر بهینه‌یابی شده برای فرم O با در نظر گرفتن مساحت زیربنای ۲۵۰ مترمربع

شماره نقاط پارتو	دمای عملیاتی متوسط (°C)	UDI (درصد)	جهتگیری بنا (۰ تا ۳۶۰ درجه)	A (متر)	B (متر)	C (متر)	D (متر)	A
۱	۲۹/۵۳۱	۹۱/۱۸۵	۲۶۱/۷۹۱	۲۲/۶۳	۱۱/۴۶	۳/۱۳	۳/۰۵	B
۲	۲۹/۵۳۴	۹۱/۴۶۷	۸۴/۶۹۲	۲۴/۶۲	۱۰/۵۷	۳/۳۶	۳/۰۶	C
۳	۲۹/۵۳۷	۹۱/۵۳۲	۸۴/۶۹۲	۲۴/۶۳	۱۰/۵۷	۳/۳۹	۳/۰۸	D
۴	۲۹/۵۳۸	۹۱/۶۴۴	۲۶۱/۷۹۱	۲۰/۸۹	۱۲/۴۲	۳/۱۱	۳/۰۸	A
۵	۲۹/۵۵۶	۹۱/۷۴۳	۱۷۹/۱۱۰	۱۰/۱۰	۲۵/۷۸	۳/۲۵	۳/۲۴	B
۶	۲۹/۵۶۱	۹۱/۷۴۹	۱۷۸/۶۵۴	۱۰/۱۰	۲۵/۸۰	۳/۲۶	۳/۲۴	C
۷	۲۹/۵۷۲	۹۱/۷۵۴	۳۷۲/۶۱۰	۲۲/۷۹	۱۱/۵۲	۴/۲۳	۳/۰۲	D
۸	۲۹/۵۷۹	۹۱/۹۶۸	۱۸۴/۷۶۱	۱۰/۱۰	۲۵/۸۴	۳/۲۳	۳/۴۵	A
۹	۲۹/۵۹۰	۹۱/۹۹۲	۳۷۲/۶۱۰	۲۲/۲۴	۱۱/۸۴	۴/۰۱	۳/۲۴	B
۱۰	۲۹/۵۹۳	۹۲/۳۴۹	۱۸۵/۱۴۱	۹/۹۹	۲۶/۲۳	۳/۱۳	۳/۸۶	C
۱۱	۲۹/۶۰۱	۹۲/۴۵۶	۱۸۵/۱۴۱	۹/۹۹	۲۶/۲۴	۳/۲۰	۳/۸۶	D

## نتایج برای مساحت زیربنای ۴۵۰ متر مربع:

فرم مکعب کامل: جدول ۱۴ بهینه متغیرهای ورودی برنامه و مقادیر میانگین دمای عملیاتی و UDI برای جواب‌های پارتو (به تعداد ۳ عدد) با در نظر گرفتن فرم مکعب کامل را نشان می‌دهد.

فرم L: جدول ۱۵ بهینه متغیرهای ورودی برنامه و مقادیر میانگین دمای عملیاتی و UDI برای جواب‌های پارتو (به تعداد ۱۱ عدد) با در نظر گرفتن فرم L را نشان می‌دهد.

فرم U: جدول ۱۶ بهینه متغیرهای ورودی برنامه و مقادیر میانگین دمای عملیاتی و UDI برای جواب‌های پارتو (به تعداد ۳ عدد) با در نظر گرفتن فرم U را نشان می‌دهد.

فرم O: جدول ۱۷ بهینه متغیرهای ورودی برنامه و مقادیر میانگین دمای عملیاتی و UDI برای جواب‌های پارتو (به تعداد ۴ عدد) با در نظر گرفتن فرم O را نشان می‌دهد.

## نتایج برای مساحت زیربنای ۶۵۰ متر مربع:

فرم مکعب کامل: جدول ۱۸ بهینه متغیرهای ورودی برنامه و مقادیر میانگین دمای عملیاتی و UDI برای جواب‌های پارتو (به تعداد ۱ عدد) با در نظر گرفتن فرم مکعب کامل را نشان می‌دهد.

فرم L: جدول ۱۹ بهینه متغیرهای ورودی برنامه و مقادیر میانگین دمای عملیاتی و UDI برای جواب‌های پارتو (به تعداد ۷ عدد) با در نظر گرفتن فرم L را نشان می‌دهد.

فرم U: جدول ۲۰ بهینه متغیرهای ورودی برنامه و مقادیر میانگین دمای عملیاتی و UDI برای جواب‌های پارتو (به تعداد ۴ عدد) با در نظر گرفتن فرم U را نشان می‌دهد.

فرم O: جدول ۲۱ بهینه متغیرهای ورودی برنامه و مقادیر میانگین دمای عملیاتی و UDI برای جواب‌های پارتو (به تعداد ۵ عدد) با در نظر گرفتن فرم O را نشان می‌دهد.

با در نظر گرفتن ۴ مدل فرم مکعب کامل، L، U و O نتایج بهینه نقاط سر و انتهای طیف پارتو که به ترتیب کمینه دمای عملیاتی و بیشینه UDI در بهینه‌سازی دو هدفه را به دست می‌دهند، برای این مساحت‌ها در جدول‌های ۲۲، ۲۴، ۲۶ و ۲۸ آورده شده است. همچنین در این جداول شاخص فشردگی و فاکتور شکل (صرفاً برای فرم مکعب کامل) نیز محاسبه شده و ارائه می‌شود. جدول‌های ۲۳، ۲۵، ۲۷ و ۲۹ نیز شکل فرم‌های بهینه به همراه نمودارهای گرافیکی دمای عملیاتی و UDI را نشان می‌دهد.

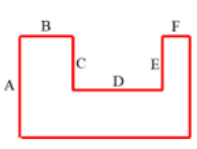
جدول ۱۰. مقادیر بهینه‌یابی شده برای فرم مکعب کامل با در نظر گرفتن مساحت زیربنای ۳۵۰ مترمربع

شماره نقاط پارتو	دمای عملیاتی متوسط (°C)	UDI (درصد)	جهتگیری بنا (۰ تا ۳۶۰ درجه)	A (متر)		B (متر)
				A	B	
۱	۲۸/۶۶	۹۳/۶۶	۱۸۲	۱۳/۸۲	۲۵/۳۱	
۲	۲۸/۶۷	۹۳/۸۲	۱۸۴	۱۴/۸۹	۲۳/۴۹	
۳	۲۸/۷۳	۹۳/۷۴	۱۸۸	۱۶/۳۵	۲۱/۴۰	
۴	۲۸/۹۴	۹۳/۸۷	۱۴۰	۱۷/۹۷	۱۹/۴۷	

جدول ۱۱. مقادیر بهینه‌یابی شده برای فرم L با در نظر گرفتن مساحت زیربنای ۳۵۰ مترمربع

شماره نقاط پارتو	دمای عملیاتی متوسط (°C)	UDI (درصد)	جهتگیری بنا (۰ تا ۳۶۰ درجه)	A (متر)				
				A	B	C	D	
۱	۲۸/۶۹	۹۳/۶۱	۱۷۸	۱۴/۷۷	۱۹/۲۸	۳/۳۶	۵/۷۰	
۲	۲۸/۷۰	۹۳/۶۵	۱۷۸	۱۵/۳۵	۲۰/۰۶	۴/۵۴	۳/۸۸	
۳	۲۸/۷۱	۹۳/۷۳	۱۸۲	۱۶/۹۰	۱۷/۸۸	۳/۲۷	۱۱/۴۹	
۴	۲۸/۷۱	۹۳/۸۵	۱۷۸	۱۶/۹۰	۱۷/۹۴	۳/۷۷	۳/۵۴	
۵	۲۸/۷۲	۹۳/۹۵	۱۷۹	۱۵/۰۰	۲۱/۰۱	۷/۰۰	۴/۳۳	
۶	۲۸/۷۵	۹۴/۰۸	۱۹۰	۱۴/۹۰	۱۵/۰۱	۳/۰۳	۱۰/۶۳	
۷	۲۸/۷۶	۹۴/۱۰	۱۹۱	۱۴/۹۰	۱۵/۰۰	۳/۰۲	۱۰/۶۳	
۸	۲۸/۸۱	۹۴/۴۳	۱۶۶	۱۵/۷۸	۸/۸۵	۳/۰۰	۱۶/۴۶	

جدول ۱۲. مقادیر بهینه‌یابی شده برای فرم U با در نظر گرفتن مساحت زیربنای ۳۵۰ مترمربع

شماره نقاط پارتو	دمای عملیاتی متوسط (°C)	UDI (درصد)	جهتگیری بنا (۰ تا ۳۶۰ درجه)	A (متر)					
				A	B	C	D	F	
۱	۲۸/۹۴	۹۳/۵۷	۱۸۰	۱۲/۸۰	۱۰/۳۴	۳/۶۶	۵/۷۱	۱۲/۸۹	
۲	۲۸/۹۶	۹۳/۸۱	۱۷۸	۱۲/۸۵	۹/۳۱	۳/۶۶	۶/۴۰	۱۳/۳۴	
۳	۲۹/۱۳	۹۴/۰۸	۱۶۵	۱۶/۰۶	۶/۶۳	۴/۲۰	۱۴/۷۶	۴/۲۴	

جدول ۱۳. مقادیر بهینه‌یابی شده برای فرم O با در نظر گرفتن مساحت زیربنای ۳۵۰ مترمربع

شماره نقاط پارتو	دمای عملیاتی متوسط (°C)	UDI (درصد)	جهتگیری بنا (۰ تا ۳۶۰ درجه)	A (متر)				
				A	B	C	D	
۱	۲۹/۰۲	۹۳/۰۱	۱۷۴	۱۳/۷۴	۲۶/۲۵	۳/۲۱	۳/۳۸	
۲	۲۹/۰۴	۹۳/۱۳	۱۸۲	۱۴/۸۵	۲۴/۳۶	۳/۳۶	۳/۵۸	
۳	۲۹/۰۸	۹۳/۲۲	۱۸۹	۱۶/۶۳	۲۱/۷۶	۳/۰۹	۳/۸۹	
۴	۲۹/۳۱	۹۳/۴۳	۱۵۱	۱۶/۴۲	۲۲/۲۴	۴/۰۲	۳/۷۹	
۵	۲۹/۳۲	۹۳/۵۸	۱۵۱	۱۸/۹۲	۱۹/۲۷	۴/۰۷	۳/۶۴	

جدول ۱۴. مقادیر بهینه‌یابی شده برای فرم مکعب کامل با در نظر گرفتن مساحت زیربنای ۴۵۰ مترمربع

شماره نقاط پارتو	دمای عملیاتی متوسط (°C)	UDI (درصد)	جهتگیری بنا (° تا ۰)	A (متر)	B (متر)
				۱	۲۸/۳۷
۲	۲۸/۳۸	۹۴/۰۴	۱۷۹/۰	۲۸/۹۳	۱۵/۵۵
۳	۲۸/۳۸	۹۴/۰۸	۱۸۳/۲	۲۸/۳۷	۱۵/۸۵



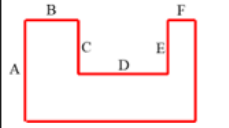
جدول ۱۵. مقادیر بهینه‌یابی شده برای فرم L با در نظر گرفتن مساحت زیربنای ۴۵۰ مترمربع

شماره نقاط پارتو	دمای عملیاتی متوسط (°C)	UDI (درصد)	جهتگیری بنا (° تا ۳۶۰ درجه)	A (متر)	B (متر)	C (متر)	D (متر)
				۱	۲۸/۴۳	۹۳/۸۸	۱۸۱/۲
۲	۲۸/۴۳	۹۳/۹۵	۱۸۱/۲	۱۶/۱۴	۲۲/۹۷	۳/۴۷	۶/۲۲
۳	۲۸/۴۳۲	۹۴/۰۶۴	۱۸۱/۲	۱۶/۱۴	۲۲/۹۷	۳/۴۳	۶/۲۲
۴	۲۸/۴۴۷	۹۴/۰۱	۱۸۶/۲	۱۶/۰۴	۲۳/۲۷	۳/۰۷	۵/۹۱
۵	۲۸/۴۵۸	۹۴/۰۵	۱۷۸/۵	۱۳/۸۴	۲۷/۴۵	۳/۳۱	۶/۶۲
۶	۲۸/۴۶۰	۹۴/۲۳۷	۱۶۸/۵	۱۸/۱۸	۲۰/۸۲	۳/۶۰	۴/۸۹
۷	۲۸/۴۹۸	۹۴/۲۳۲	۱۷۰/۸	۲۰/۹۵	۱۴/۲۱	۱۱/۸۳	۱۶/۷۰
۸	۲۸/۵۲۴	۹۴/۴۵۹	۱۷۸/۴	۱۶/۸۱	۱۱/۸۱	۳/۴۹	۱۸/۸۷
۹	۲۸/۵۳۸	۹۴/۵۴۷	۱۸۳/۹	۱۷/۸۲	۱۱/۰۱	۳/۸۰	۱۸/۰۸
۱۰	۲۸/۵۶۱	۹۴/۵۸۸	۱۶۵/۷	۱۷/۸۶	۱۰/۸۲	۳/۱۲	۱۷/۴۰



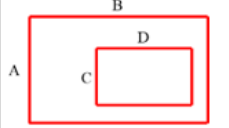
جدول ۱۶. مقادیر بهینه‌یابی شده برای فرم U با در نظر گرفتن مساحت زیربنای ۴۵۰ مترمربع

شماره نقاط پارتو	دمای عملیاتی متوسط (°C)	UDI (درصد)	جهتگیری بنا (° تا ۳۶۰ درجه)	A (متر)	B (متر)	C (متر)	D (متر)	F (متر)
				۱	۲۸/۵۷۵	۹۳/۷۹۷	۹۴/۷	۳۲/۲۰
۲	۲۸/۷۴۹	۹۳/۷۶۸	۱۶۷/۴	۱۷/۵۸	۹/۰۹	۳/۵۶	۱۲/۳۷	۶/۶۳
۳	۲۸/۸۱۶	۹۳/۹۲۴	۱۵۵/۰	۱۶/۴۹	۱۲/۷۲	۴/۰۸	۳/۹۳	۱۱/۵۸



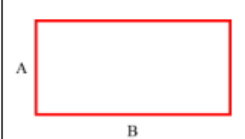
جدول ۱۷. مقادیر بهینه‌یابی شده برای فرم O با در نظر گرفتن مساحت زیربنای ۴۵۰ مترمربع

شماره نقاط پارتو	دمای عملیاتی متوسط (°C)	UDI (درصد)	جهتگیری بنا (° تا ۳۶۰ درجه)	A (متر)	B (متر)	C (متر)	D (متر)
				۱	۲۸/۶۶	۹۳/۵۱۷	۸۶/۴۲۱
۲	۲۸/۶۶۳	۹۳/۵۸	۹۲/۴۴۲	۲۹/۱۶	۱۵/۷۴	۳/۰۵	۳/۰۱
۳	۲۸/۶۹۷	۹۳/۶۳۶	۹۴/۳۸۸	۲۹/۲۲	۱۵/۷۸	۳/۶۹	۳
۴	۲۸/۶۹۹	۹۳/۷۲۳	۱۸۳/۶۶۱	۱۵/۷۴	۲۹/۳۴	۳/۵۹	۳/۳۵



جدول ۱۸. مقادیر بهینه‌یابی شده برای فرم مکعب کامل با در نظر گرفتن مساحت زیربنای ۶۵۰ مترمربع

شماره نقاط پارتو	دمای عملیاتی متوسط (°C)	UDI (درصد)	جهتگیری بنا (° تا ۳۶۰ درجه)	A (متر)	B (متر)
				۱	۲۷/۹۹۵



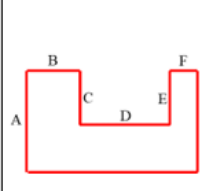
جدول ۱۹. مقادیر بهینه‌یابی شده برای فرم L با در نظر گرفتن مساحت زیربنای ۶۵۰ مترمربع

شماره نقاط پارتو	دمای عملیاتی متوسط (°C)	UDI (درصد)	جهتگیری بنا (° تا ۳۶۰ درجه)	A (متر)	B (متر)	C (متر)	D (متر)
				۱	۲۸/۰۲۰	۹۴/۲۷۳	۱۷۸/۵
۲	۲۸/۰۴۱	۹۴/۴۹۴	۱۷۹/۸	۱۶/۸۴	۳۵/۱۷	۳/۷۱	۴/۲۷
۳	۲۸/۰۵۸	۹۴/۵۱۴	۱۷۹/۹	۱۶/۹۰	۳۳/۱۳	۳/۸۸	۶/۸۹
۴	۲۸/۱۲۸	۹۴/۵۷۸	۱۶۶/۳	۲۳/۳۳	۱۷/۹۴	۴/۲۰	۱۲/۰۹
۵	۲۸/۱۳۵	۹۴/۷۱۷	۱۶۶/۳	۲۳/۴۰	۱۶/۹۹	۴/۲۰	۱۳/۱۴
۶	۲۸/۲۳۰	۹۴/۷۲۳	۱۹۳/۳	۱۷/۷۰	۲۰/۹۴	۴/۴۱	۲۱/۰۱
۷	۲۸/۲۹۱	۹۴/۷۸۰	۱۵۳/۱	۱۷/۰۴	۲۸/۷۱	۳/۱۹	۱۱/۵۹



جدول ۲۰. مقادیر بهینه‌یابی شده برای فرم U با در نظر گرفتن مساحت زیربنای ۶۵۰ مترمربع

شماره نقاط پارتو	دمای عملیاتی متوسط (°C)	UDI (درصد)	جهتگیری بنا (° تا ۳۶۰ درجه)	A (متر)	B (متر)	C (متر)	D (متر)	F (متر)
				۱	۲۸/۱۴۳	۹۴/۰۵۹	۲۷۳/۴	۳۲/۲۰
۲	۲۸/۲۳۲	۹۴/۱۶۰	۱۷۷/۱	۲۱/۰۰	۸/۷۸	۴/۲۰	۵/۳۸	۱۷/۸۵
۳	۲۸/۲۴۶	۹۴/۴۵۸	۱۷۸/۹	۱۶/۸۶	۲۱/۲۹	۴/۰۴	۶/۹۱	۱۱/۹۸
۴	۲۸/۴۵۱	۹۴/۶۳۶	۱۸۷/۵	۱۵/۵۲	۱۱/۲۱	۳/۵۸	۳۴/۷۸	۳/۹۰



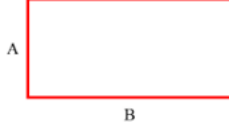
جدول ۲۱. مقادیر بهینه‌یابی شده برای فرم O با در نظر گرفتن مساحت زیربنای ۶۵۰ مترمربع

شماره نقاط پارتو	دمای عملیاتی متوسط (°C)	UDI (درصد)	جهتگیری بنا (° تا ۳۶۰ درجه)	A (متر)	B (متر)	C (متر)	D (متر)
				۱	۲۸/۳۰۲	۹۳/۸۹۴	۱۹۰/۸
۸	۲۸/۴۲۲	۹۳/۹۸۱	۱۶۵/۴	۱۸/۱۰	۳۷/۱۱	۵/۳۴	۴/۱۲
۹	۲۸/۴۲۳	۹۴/۰۰۸	۱۶۵/۴	۱۷/۸۳	۳۷/۶۶	۵/۲۷	۴/۱۴
۱۰	۲۸/۴۵۹	۹۴/۰۱۱	۱۶۵/۴	۱۷/۵۵	۳۸/۵۶	۴/۶۰	۵/۹۰
۱۱	۲۸/۵۲۷	۹۴/۱۵۸	۱۵۰	۱۷/۳۵	۳۸/۳۲	۳/۲۷	۴/۵۸

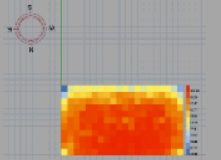
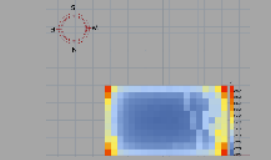
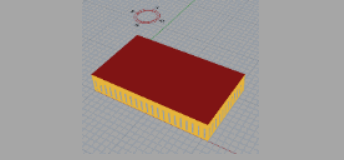
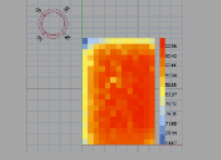
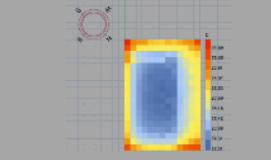
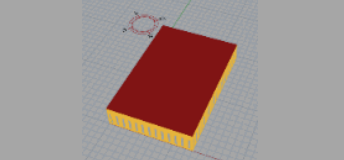
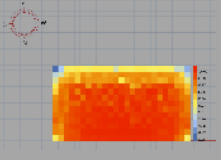
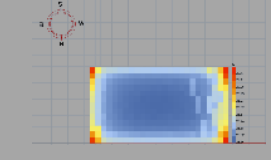
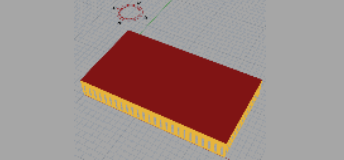
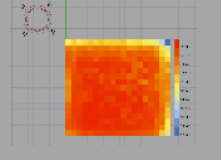
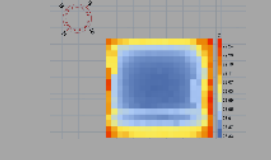
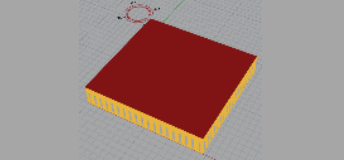
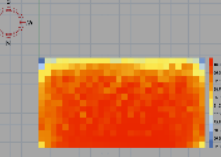
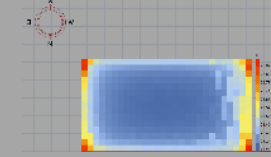
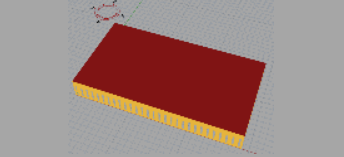




جدول ۲۲. نتایج بهینه‌سازی برای فرم مکعب کامل

		فرم مکعب کامل						
فاکتور شکل	شاخص فشردگی	B (متر)	A (متر)	جهتگیری بنا ( $0^\circ$ تا $360^\circ$ درجه)	UDI (درصد)	دمای عملیاتی متوسط ( $^\circ\text{C}$ )	نقاط پارتو	مساحت (متر مربع)
۱/۷۶۴	۳/۸۰۲	۲۰/۸۹	۱۱/۹۶	۱۷۸	۹۲/۸۶	۲۹/۰۷	سر	۲۵۰
۰/۶۸۲	۳/۸۸۰	۱۳/۰۶	۱۹/۱۳	۱۳۲/۸	۹۳/۱۳۵	۲۹/۴۲	انتها	
۱/۸۳۱	۴/۴۶۹	۲۵/۳۱	۱۳/۸۲	۱۷۸	۹۳/۶۶	۲۸/۶۶	سر	۳۵۰
۱/۰۸۳	۴/۶۷۲	۱۹/۴۷	۱۷/۹۷	۲۲۰	۹۳/۸۷	۲۸/۹۴	انتها	
۱/۸۵۱	۵/۰۶۱	۲۸/۸۶	۱۵/۵۹	۱۸۰/۳	۹۳/۹۲	۲۸/۳۷	سر	۴۵۰
۱/۷۸۹	۵/۰۸۴	۲۸/۳۷	۱۵/۸۵	۱۷۶/۸	۹۴/۰۸	۲۸/۳۸	انتها	
۱/۸۱۱	۶/۱۰۱	۳۴/۳۱	۱۸/۹۴	۱۷۹/۳	۹۴/۳۱۰	۳۷/۹۹۵	سر	۶۵۰
۱/۸۱۱	۶/۱۰۱	۳۴/۳۱	۱۸/۹۴	۱۷۹/۳	۹۴/۳۱۰	۳۷/۹۹۵	انتها	

جدول ۲۳. شکل فرم‌های بهینه مکعب کامل به همراه نمودارهای گرافیک

نمودار گرافیکی UDI	نمودار گرافیکی دمای عملیاتی	فرم بهینه	نقاط پارتو	مساحت
			سر	۲۵۰
			انتها	
			سر	۳۵۰
			انتها	
			سر	۴۵۰

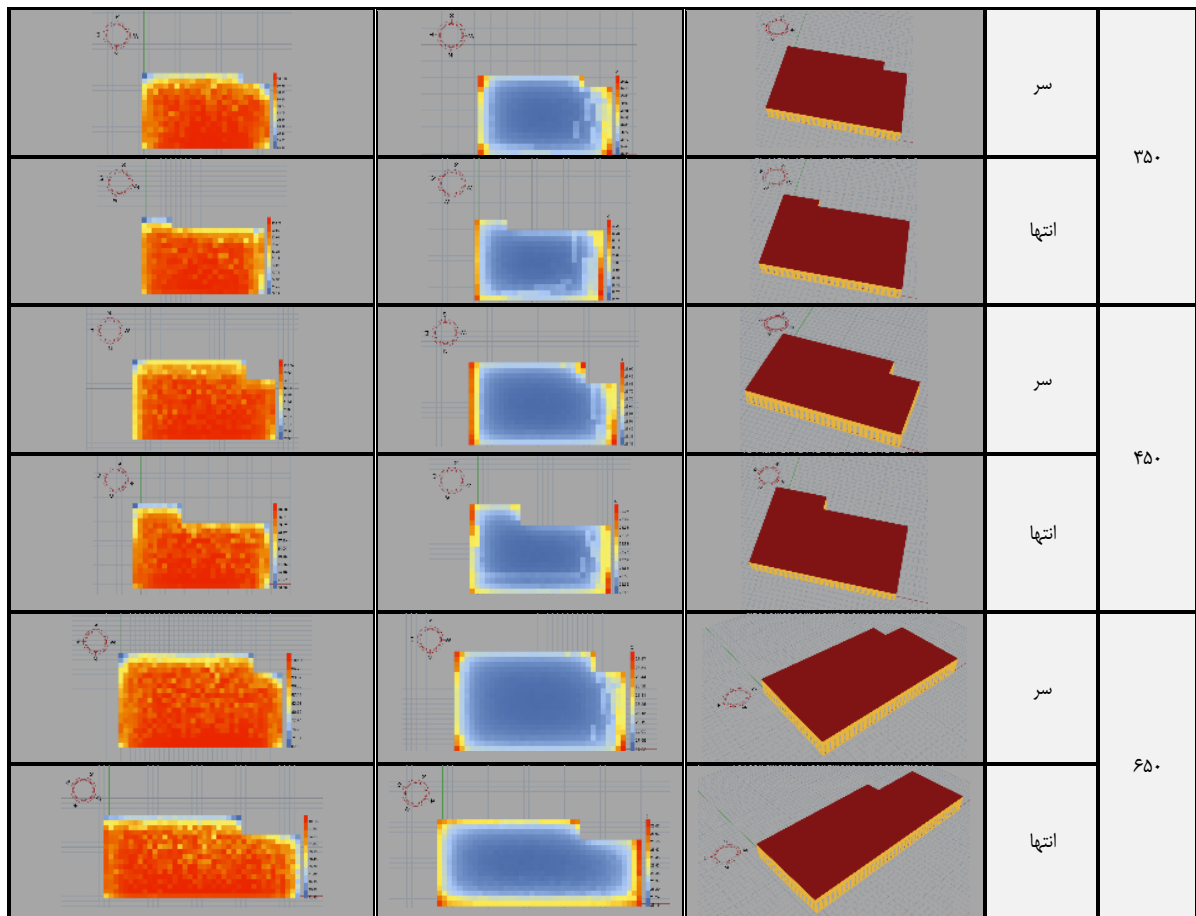
			انتها	۶۵۰
			سر	
			انتها	

جدول ۲۴. نتایج بهینه‌سازی برای فرم L

شاخص فشردگی		D (متر)	C (متر)	B (متر)	A (متر)	جهتگیری بنا (۰ تا ۳۶۰ درجه)	UDI (درصد)	دمای عملیاتی متوسط (°C)	نقاط پارتو	مساحت (متر مربع)
		فرم L								
۳/۶۸۱	۵/۳۷	۳/۷۱	۱۵/۸۴	۱۲/۷۱	۱۸۰/۳	۹۳/۳۳	۲۹/۱۵	سر	۲۵۰	
۳/۳۵۱	۱۳/۴۲	۳/۲۴	۱۲/۵۸	۱۱/۲۸	۲۰۵/۸	۹۳/۶۲	۲۹/۵۶	انتها		
۴/۴	۵/۷۰	۳/۳۶	۱۹/۲۸	۱۴/۷۷	۱۸۲	۹۳/۶۱	۲۸/۶۹	سر	۳۵۰	
۴/۲۵۹	۱۶/۴۶	۳/۰۰	۸/۸۵	۱۵/۷۸	۱۹۴	۹۴/۴۳	۲۸/۸۱	انتها		
۴/۹۷۲	۵/۹۵	۳/۴۲	۲۳/۰۹	۱۶/۱۹	۱۷۸/۸	۹۳/۸۸	۲۸/۴۳	سر	۴۵۰	
۴/۴۸۹	۱۷/۴۰	۳/۱۲	۱۰/۸۲	۱۷/۸۶	۱۹۴/۳	۹۴/۵۸۸	۲۸/۵۶۱	انتها		
۶/۰۴۵	۵/۲۵	۳/۹۶	۲۸/۸۲	۱۹/۶۸	۱۸۱/۵	۹۴/۳۷۳	۲۸/۰۲۰	سر	۶۵۰	
۵/۶۶۵	۱۱/۵۹	۳/۱۹	۲۸/۷۱	۱۷/۰۴	۲۰۶/۹	۹۴/۷۸۰	۲۸/۲۹۱	انتها		

جدول ۲۵. شکل فرم‌های بهینه L به همراه نمودارهای گرافیکی

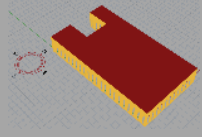
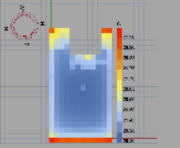
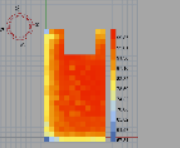
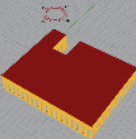
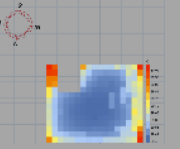
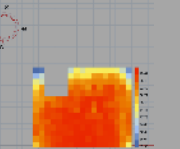
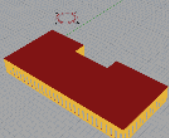
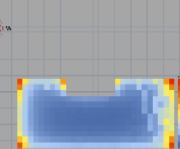
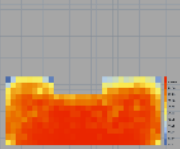
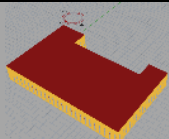
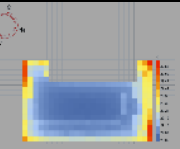
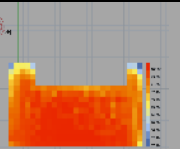
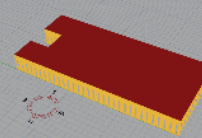
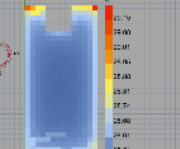
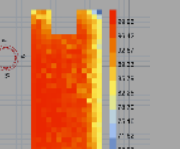
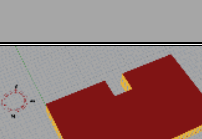
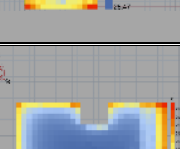
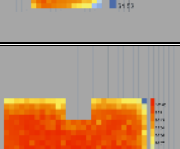
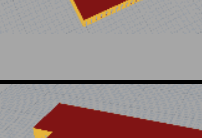
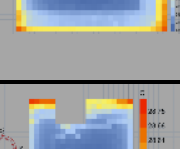
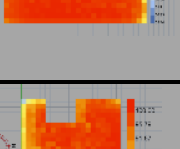
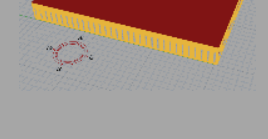
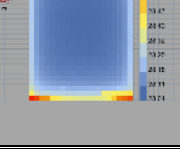
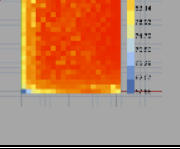
نمودار گرافیکی UDI	نمودار گرافیکی دمای عملیاتی	فرم بهینه	نقاط پارتو	مساحت
			سر	۲۵۰
			انتها	



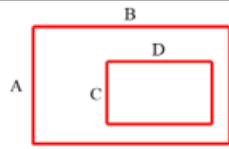
جدول ۲۶. نتایج بهینه‌سازی برای فرم U

شخص فشرده‌گی		فرم U						جهتگیری بنا (۰ تا ۳۶۰ درجه)		UDI (درصد)	دمای عملیاتی متوسط (°C)	نقاط پارتو	مساحت (متر مربع)
	F (متر)	E (متر)	D (متر)	C (متر)	B (متر)	A (متر)							
۳/۲۲۴	۳/۰۵	۴/۴۱	۴/۷۳	۴/۴۱	۴/۴۷	۲۲/۰۹	۸۱/۸	۹۲/۱۰	۲۹/۴۲	سر	۲۵۰		
۳/۳۶۸	۱۱/۸۴	۴/۴۸	۳/۰۳	۴/۴۸	۳/۱۰	۱۴/۶۵	۱۸۶/۳	۹۲/۹۴	۲۹/۵۵	انتها	۳۵۰		
۳/۸۵۱	۱۲/۸۹	۳/۶۶	۵/۷۱	۳/۶۶	۱۰/۳۴	۱۲/۸۰	۱۸۰	۹۳/۵۷	۲۸/۹۴	سر	۳۵۰		
۳/۸۱	۴/۲۴	۴/۲۰	۱۴/۷۶	۴/۲۰	۶/۶۳	۱۶/۰۶	۱۹۵	۹۴/۰۸	۲۹/۱۳	انتها	۴۵۰		
۴/۴۲۹	۵/۵۸	۴/۰۶	۴/۲۳	۴/۰۶	۴/۶۹	۳۲/۲۰	۲۶۵/۳	۹۳/۹۷	۲۸/۵۷۵	سر	۴۵۰		
۴/۶۰۷	۱۱/۵۸	۴/۰۸	۲/۹۳	۴/۰۸	۱۲/۲۲	۱۶/۴۹	۲۰۵	۹۳/۹۲۴	۲۸/۸۱۶	انتها	۶۵۰		
۵/۶۸۴	۹/۹۹	۴/۱۶	۴/۷۴	۴/۱۶	۶/۰۵	۳۲/۲۰	۸۶/۶	۹۴/۰۵۹	۲۸/۱۴۳	سر	۶۵۰		
۴/۷۱	۳/۹۰	۳/۵۸	۳۴/۷۸	۳/۵۸	۱۱/۲۱	۱۵/۵۲	۱۷۲/۵	۹۴/۶۳۶	۲۸/۴۵۱	انتها			

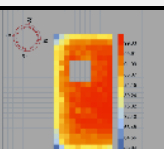
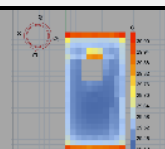
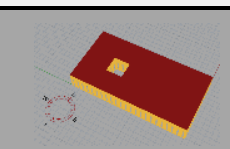
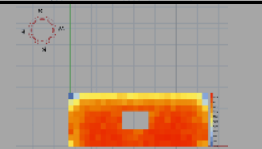
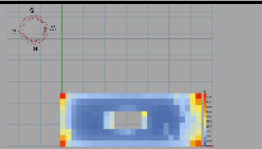
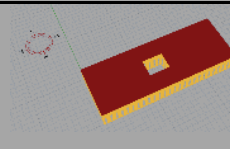
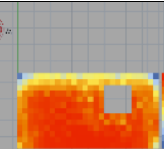
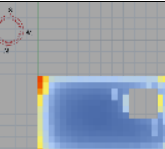
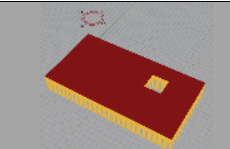
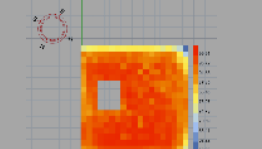
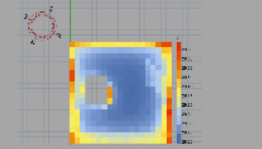
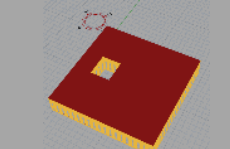
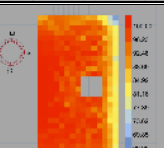
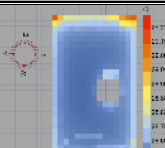
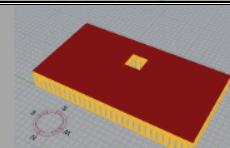
جدول ۲۷. شکل فرم‌های بهینه U به همراه نمودارهای گرافیکی

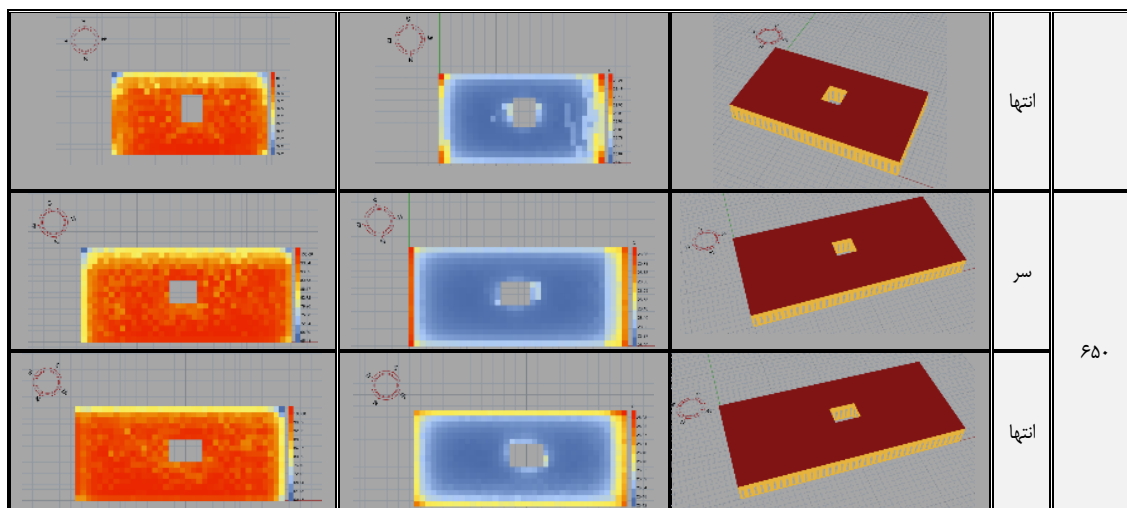
مساحت	نقاط پارتو	فرم بهینه	نمودار گرافیکی دمای عملیاتی	نمودار گرافیکی UDI
۲۵۰	سر			
	انتها			
۳۵۰	سر			
	انتها			
۴۵۰	سر			
	انتها			
۶۵۰	سر			
	انتها			

جدول ۲۸. نتایج بهینه‌سازی برای فرم O

		فرم O									
شاخص قشردیگی	مختصات عرضی مرکز مکعب کوچک (متر)	مختصات طولی مرکز مکعب کوچک (متر)	D (متر)	C (متر)	B (متر)	A (متر)	جهتگیری بنا (۰ تا ۳۶۰ درجه)	UDI (درصد)	دمای عملیاتی متوسط (°C)	نقاط پارتو	مساحت (متر مربع)
۳/۱۰۱	۱۵/۶۷	۵/۳۷	۳/۰۵	۳/۱۳	۱۱/۴۶	۲۲/۶۳	۹۸/۲	۹۱/۱۸۵	۲۹/۵۳۱	سر	۲۵۰
۲/۸۸۵	۴/۸۶	۱۲/۰۹	۳/۸۶	۳/۲۰	۲۶/۲۴	۹/۹۹	۱۷۴/۸	۹۲/۴۵۶	۲۹/۶۰۱	انتها	۲۵۰
۳/۷۵۵	۸/۸۷	۱۸/۵۰	۳/۳۸	۳/۲۱	۲۶/۲۵	۱۳/۷۴	۱۸۶	۹۳/۰۱	۲۹/۰۲	سر	۳۵۰
۳/۸۱	۹/۶۲	۴/۹۸	۳/۶۴	۴/۰۷	۱۹/۲۷	۱۸/۹۲	۲۰۹	۹۳/۵۸	۲۹/۳۲	انتها	۳۵۰
۴/۴۱۹	۱۵/۰۷	۱۰/۶۶	۳	۳	۱۵/۷۴	۲۹/۱۵	۲۷۳/۶	۹۳/۵۱۷	۲۸/۶۶	سر	۴۵۰
۴/۳۲۳	۸/۶۵	۱۴/۸۲	۳/۳۵	۳/۵۹	۲۹/۳۴	۱۵/۷۴	۱۷۶/۳۴	۹۳/۷۲۳	۲۸/۶۹۹	انتها	۴۵۰
۵/۱۹۱	۹/۱۷	۱۸/۶۳	۳/۷۵	۳/۲۷	۳۸/۲۴	۱۷/۳۱	۱۶۹/۲	۹۳/۸۹۴	۲۸/۳۰۲	سر	۶۵۰
۵/۱۱۵	۹/۱۷	۲۰/۱۷	۴/۵۸	۳/۲۷	۳۸/۳۲	۱۷/۳۵	۲۱۰	۹۴/۱۵۸	۲۸/۵۲۷	انتها	۶۵۰

جدول ۲۹. شکل فرم‌های بهینه مکعب کامل به همراه نمودارهای گرافیکی

نمودار گرافیکی UDI	نمودار گرافیکی دمای عملیاتی	فرم بهینه	نقاط پارتو	مساحت
			سر	۲۵۰
			انتها	
			سر	۳۵۰
			انتها	
			سر	۴۵۰



در نمودار شکل ۲۳ شاخص فشردگی برای فرم‌های دارای بیشترین آسایش حرارتی برای هر دسته مساحت زیربنا بر اساس نوع فرم آورده شده است. مشاهده می‌شود که بیشترین مقدار شاخص فشردگی فرم برای هر دسته مساحت زیربنا مربوط به مکعب کامل است. پس از آن به ترتیب فرم‌های L، U، O دارای بیشترین شاخص فشردگی برای هر دسته مساحت زیربنا هستند. می‌توان مشاهده کرد که با افزایش مساحت زیربنا میزان شاخص فشردگی نیز افزایش می‌یابد. با مقایسه نمودار شکل ۲۳ و نمودار شکل ۲۲ می‌توان رابطه معناداری بین شاخص فشردگی و میزان آسایش حرارتی در شهر یزد پیدا کرد. هر چه مقدار شاخص فشردگی فرم ساختمان بیشتر باشد، میزان آسایش حرارتی بنا بیشتر است. این نتیجه پیش از این توسط بکوچه و همکاران در مرجع شماره [۲۳] ثابت شده که در اقلیم گرم و خشک میزان شاخص فشردگی فرم ساختمان با مقدار آسایش حرارتی آن رابطه مستقیم دارد. هرچه شاخص فشردگی فرم بیشتر باشد آسایش حرارتی ساختمان بیشتر است که این مسئله با نتایج پژوهش حاضر همخوانی دارد.

در نمودار شکل ۲۴ نیز میانگین شاخص فشردگی تمامی نقاط پارتو منتج از بهینه‌سازی برای هر دسته مساحت-فرم آورده شده است. این نمودار نیز نشان می‌دهد که میانگین شاخص فشردگی مربوط به تمامی نقاط پارتو برای هر دسته مساحت-فرم چه میزان است و بیشترین این عدد مربوط به فرم مکعب کامل برای هر مساحت زیربنای تعیین شده است. پس از آن به ترتیب فرم‌های L، U، O دارای بیشترین میانگین شاخص فشردگی برای هر دسته مساحت زیربنا هستند.

نمودار شکل ۲۵ بیشترین UDI منتج از بهینه‌سازی فرم‌های مختلف با در نظر گرفتن مساحت‌های مختلف زیربنا را نشان می‌دهد.

این نمودار نشان می‌دهد که بیشترین مقدار UDI به عنوان شاخص آسایش بصری پژوهش مربوط به فرم L برای هر دسته مساحت است. پس از آن برای مساحت ۲۵۰ متر مربع به ترتیب مکعب کامل، U و O بیشترین مقدار UDI را دارا هستند. برای مساحت ۳۵۰ متر مربع نیز پس از فرم L، به ترتیب فرم‌های U، مکعب کامل و O دارای بیشترین مقدار

## بحث پژوهش

همانطور که پیش از این ذکر شد دمای هوای محیط خارجی در طول روز گرم‌ترین هفته سال حدود ۳۵ درجه است. چند حالت نامطلوب (نه نامطلوب‌ترین) از فرم O در جدول ۴۵ آورده شده‌اند که مربوط به زیربنای ۶۵۰ متر مربع هستند.

با توجه به نتایج در فصل ۳ مشخص می‌شود که فرم‌های بهینه به دست آمده قابلیت کاهش دمای عملیاتی ساختمان را حدود ۲ تا ۳ درجه سانتی گراد دارا می‌باشند. همچنین این قابلیت را دارا هستند که حدود ۳-۴ درصد میزان نور مفید روز در کل سال را افزایش دهند.

پیش از بحث در ارتباط با نتایج لازم است ذکر شود که صحت نتایج به ۳ طریق اثبات شد: (۱) مقاله شماره [۲۳] بخش مراجع که کیفیت آن در تحلیل نتایج شهر یزد توضیح داده می‌شود. (۲) ذکر این مطلب که ۱۰ فرم تصادفی نوع L واقع در جدول ۵ که با مساحت ورودی ۶۵۰ مترمربع به دست آمده‌اند هیچ کدام دارای دمای عملیاتی کمتر و UDI بیشتر از نقاط بهینه پارتو به دست آمده از فرآیند بهینه‌سازی نبودند. (۳) نتایج مرجع شماره [۲۷] همین پژوهش است که در قسمت نتایج جهتگیری توضیح داده شده است. نمودار شکل ۲۲ کمترین دمای عملیاتی منتج از بهینه‌سازی فرم‌های مختلف با در نظر گرفتن مساحت‌های مختلف زیر بنا را نشان می‌دهد.

این نمودار نشان می‌دهد که کم‌ترین میزان دمای عملیاتی برای هر مساحت زیر بنا مربوط به فرم مکعب کامل است. پس از آن به ترتیب فرم‌های L، U، O دارای کم‌ترین میزان دمای عملیاتی برای هر دسته مساحت زیربنا هستند. همچنین با افزایش مساحت زیربنا میزان کمینه دمای عملیاتی ناشی از بهینه‌سازی کاهش می‌یابد و این برای تمامی انواع فرم در نظر گرفته شده صادق است. بنابراین می‌توان اینطور بیان کرد که آسایش حرارتی با افزایش مساحت زیربنا در خانه ویلایی یک طبقه افزایش می‌یابد و بهینه‌ترین فرم، فرم مکعب کامل است.

اساس بیشینه UDI برای هر دسته مساحت نشان می‌دهد. (منحنی خط‌چین طوسی) با توجه به اینکه مقدار فاکتور شکل بر اساس کمینه دمای عملیاتی تقریباً روند ثابتی را با افزایش مساحت زیر بنا طی می‌کند، می‌توان نتیجه گرفت که فرم مکعب کامل بهینه به لحاظ آسایش حرارتی بایستی دارای فاکتور شکل حدود ۱/۸ باشد. در ارتباط با فاکتور شکل بر اساس بیشینه UDI ارتباط معناداری بین مقدار مساحت زیر بنا با این مقادیر دریافت نمی‌شود.

از آنجایی که پیش از این ثابت شد که بهینه‌ترین فرم برای بالاترین میزان آسایش حرارتی در شهر یزد برای مساحت‌های مختلف فرم مکعب کامل است، می‌توان اعلام کرد که فرم مکعب کامل با میزان فاکتور شکل ۱/۸ بهینه‌ترین فرم به لحاظ آسایش حرارتی برای مساحت‌های زیر بنای مختلف تا ۶۵۰ متر مربع در اقلیم یزد است.

UDI هستند. برای مساحت ۴۵۰ متر مربع پس از فرم بهینه L به ترتیب مکعب کامل، U و O بیشترین مقدار UDI را دار هستند. برای مساحت ۶۵۰ متر مربع نیز پس از فرم بهینه L، به ترتیب فرم‌های U، مکعب کامل و O دارای بیشترین مقدار UDI هستند.

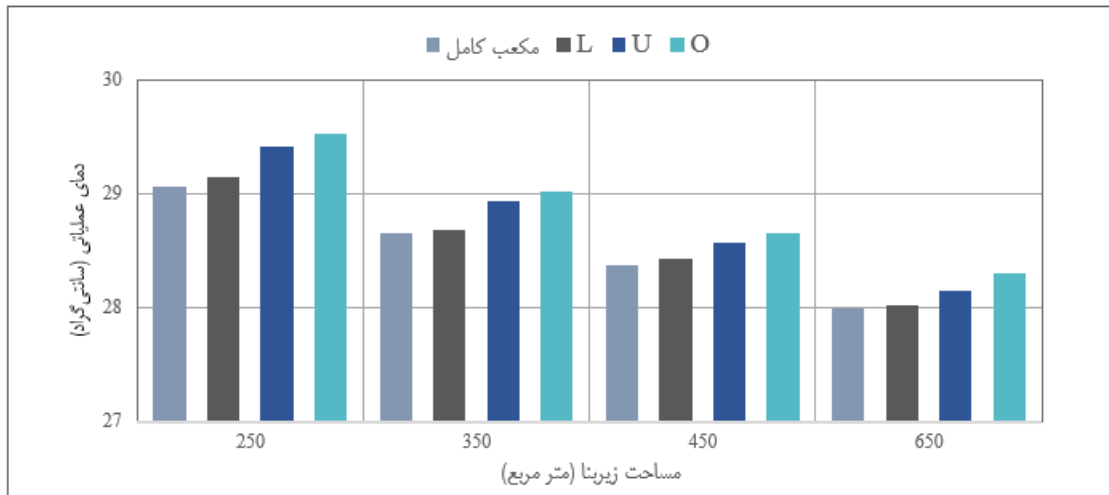
بایستی ذکر شود که بین بیشینه UDI و شاخص فشردگی فرم‌های بهینه رابطه معنی‌دار یافت نشد.

نمودار شکل ۲۶ میزان فاکتور شکل برای فرم‌های بهینه از هر دسته مساحت ورودی برنامه را نشان می‌دهد. از آنجا که مقدار فاکتور شکل از رابطه طول ساختمان نسبت به عرض آن به دست می‌آید، بدیهی است این شاخص فقط برای فرم مکعب کامل اعتبار دارد.

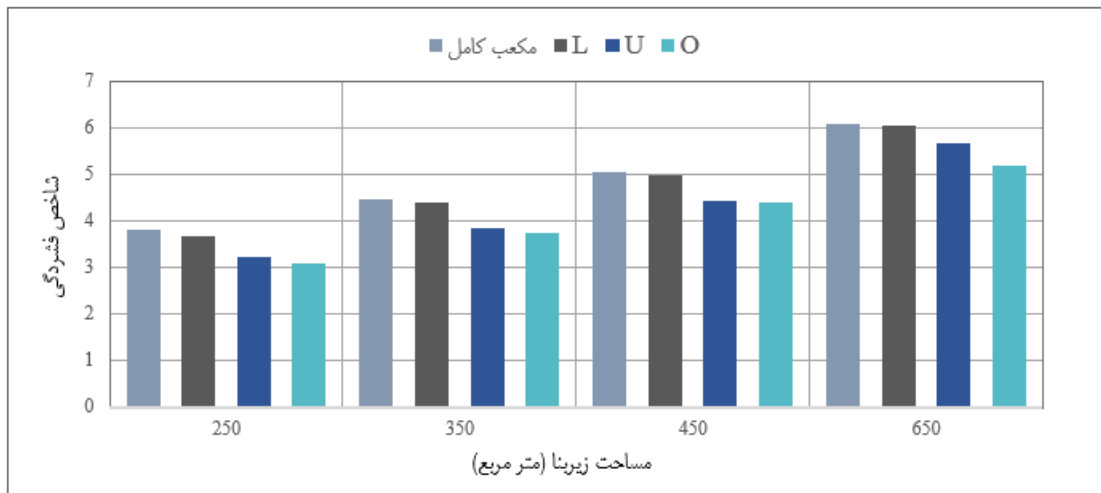
این نمودار دارای دو منحنی است که یکی تغییرات فاکتور شکل را برای فرم بهینه به لحاظ کمترین دمای عملیاتی برای هر مساحت ورودی نشان می‌دهد. (منحنی توپر سیاه) دیگری فاکتور شکل را برای فرم بهینه بر

جدول ۴۵. چند نمونه حالت نامطلوب از طراحی فرم در اقلیم یزد

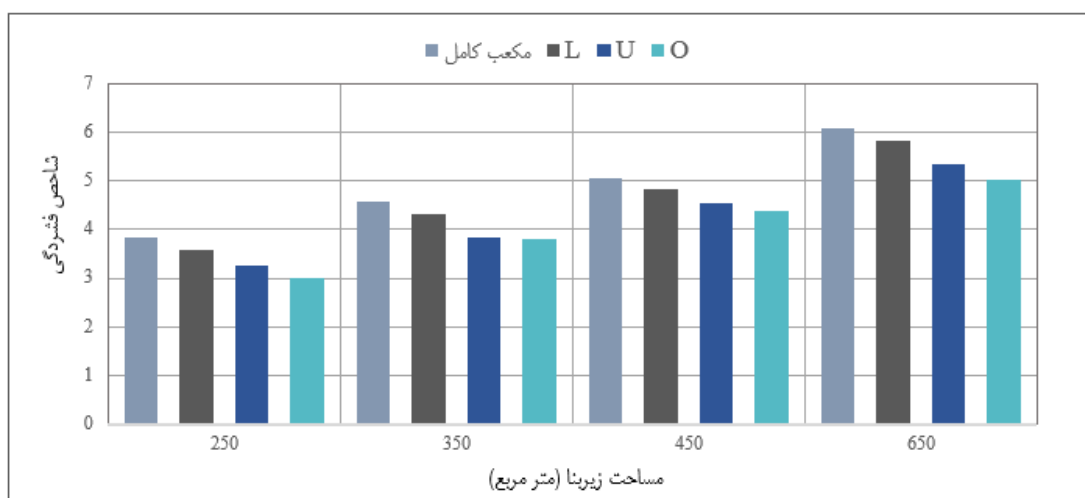
نمای از بالای فرم	دمای عملکردی	UDI	نمایش سه‌بعدی فرم	مشخصات حالت
				دمای عملیاتی: ۳۱ نور مفید روز: ۹۱/۵
				دمای عملیاتی: ۳۰/۴ نور مفید روز: ۹۱
				دمای عملیاتی: ۲۹/۱۴ نور مفید روز: ۹۱/۲



شکل ۲۲. کمینه دمای عملیاتی برای مساحت- فرم‌های مختلف به‌دست آمده از بهینه‌سازی دوهدفه شهر یزد

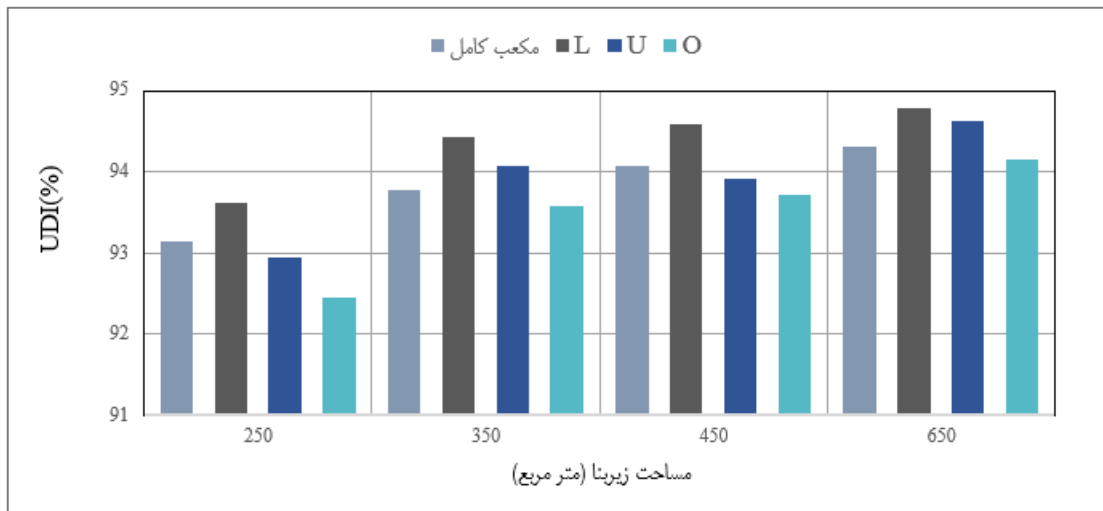


شکل ۲۳. شاخص فشردگی برای فرم‌های دارای بیشترین آسایش حرارتی برای هر دسته مساحت زیربنا بر اساس نوع فرم

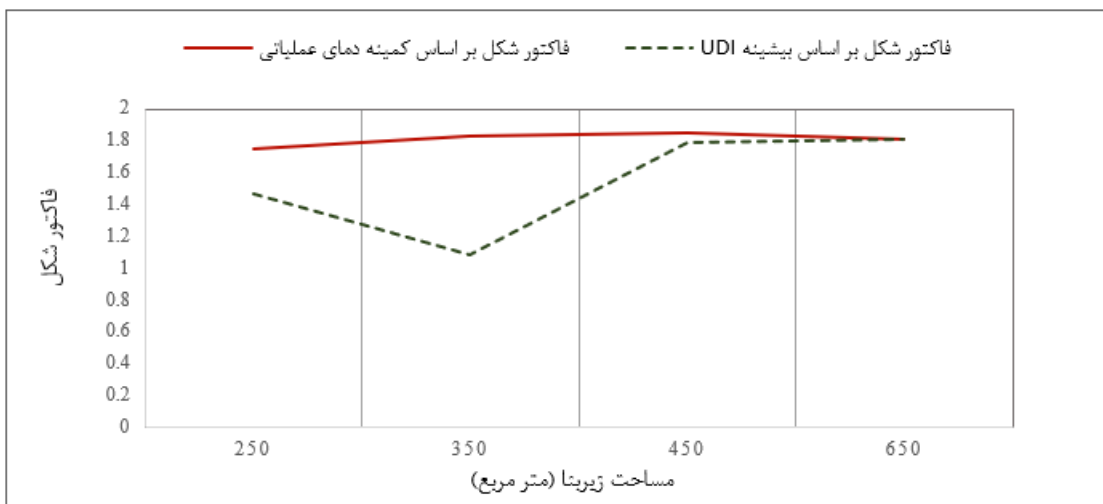


شکل ۲۴. میانگین شاخص فشردگی تمامی نقاط پارتو برای هر دسته مساحت-نوع فرم





شکل ۲۵. بیشترین UDI منتج از بهینه‌سازی فرم‌های مختلف با در نظر گرفتن مساحت‌های مختلف



شکل ۲۶. فاکتور شکل برای فرم‌های بهینه از هر دسته مساحت ورودی برنامه

بهینه‌سازی دوده‌ده (به غیر از سر و انتها که نمودارشان در شکل آورده شده) حدوداً بین دو منحنی قرار می‌گیرند. به این معنی که برای مساحت‌های ۲۵۰ و ۳۵۰ متر مربع جهت‌گیری بین ۱۸۰ (شمالی - جنوبی) تا ۲۲۰ درجه (شمال غربی - جنوب شرقی) مطلوب است. و برای مساحت‌های ۴۵۰ و ۶۵۰ متر مربع جهت‌گیری ۱۸۰ درجه یا صفر (شمالی - جنوبی) توصیه می‌شود. می‌توان مشاهده کرد که بهینه جهت ساختمان بر اساس شاخص آسایش بصری با تغییر مقدار مساحت ورودی، تغییر می‌کند.

لازم به ذکر است تحقیق شماره [۲۷] مرجع که توسط فلاح‌پور و همکاران در سال ۱۳۹۴ انجام گرفت و در بخش روش پژوهش به آن اشاره شد، تأیید کننده نتایج پژوهش حاضر می‌باشد. این تحقیق جهت‌گیری مطلوب ساختمان در اقلیم یزد را بین دو جهت شمالی- جنوبی و شمال غربی- جنوب شرقی اعلام کرده است.

مسأله دیگری که در اینجا بررسی می‌شود همسو بودن دو تابع هدف آسایش بصری و آسایش حرارتی در بهینه‌سازی با در نظر گرفتن اقلیم یزد

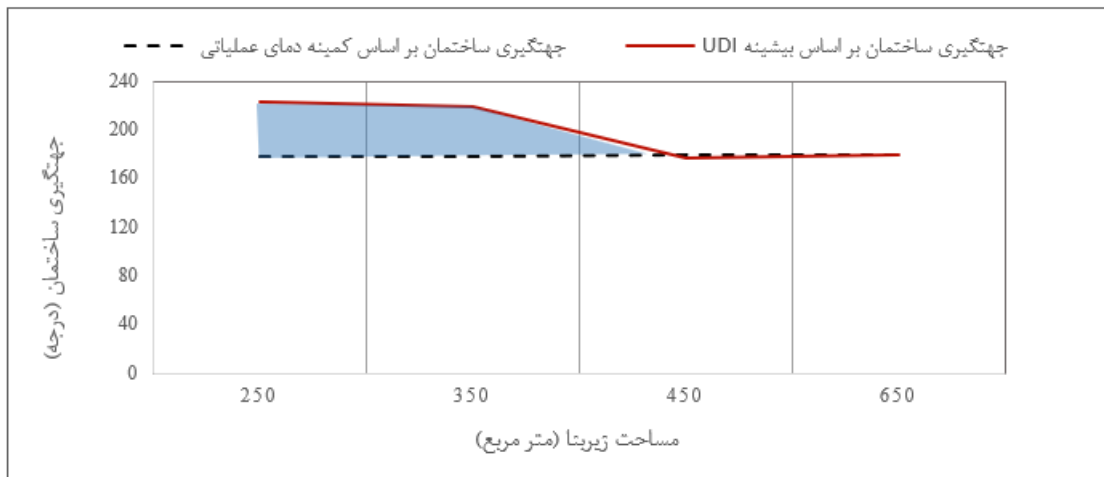
در ارتباط با جهت‌گیری ساختمان در شهر یزد نمودار شکل ۲۷ مشاهده شود. برای مسیله جهت‌گیری بنا نیز صرفاً از فرم مکعب کامل برای درک جهت‌گیری استفاده می‌شود. ورودی مقدار جهت‌گیری برای باقی فرم‌ها روی تنوع فرم‌ها در گزینه‌های مربوط به بهینه‌یابی تأثیرگذار است (فرم‌ها متقارن نیستند). جهت‌گیری بهینه فرم مکعب کامل بر اساس کمیته دمای عملیاتی (منحنی توپر سیاه) و بیشینه UDI (منحنی خط‌چین طوسی) در این نمودار آورده شده است. جهت‌گیری ساختمان منتج از بهینه‌سازی دو هدفه که کمیته دمای عملیاتی را نتیجه می‌دهد با افزایش مقدار مساحت مقطع طولی که به عنوان ورودی برنامه اعمال می‌شود، تقریباً ثابت است. یعنی با در نظر گرفتن بهینه آسایش حرارتی گرم‌ترین هفته سال می‌توان نتیجه گرفت که برای مساحت‌های تا ۶۵۰ متر مربع جهت بهینه ساختمان مستقل از میزان مساحت است. می‌توان دریافت که بهینه‌ترین جهت‌گیری برای ساختمان در شهر یزد برای داشتن بیشترین میزان آسایش حرارتی حدود ۰ یا ۱۸۰ درجه است (ساختمان متقارن است). قابل ذکر است جهت‌گیری‌های بهینه باقی نقاط پارتو ناشی از

محدوده کوچک را می‌دهند. حتی در حالت مکعب کامل مساحت زیربنای ۶۵۰ متر نتیجه بهینه‌سازی یک نقطه بود به این معنا که دو هدف در یک نقطه به توافق رسیدند. این اتفاق به این معناست که در اقلیم یزد دو هدف انتخابی دارای فاکتورهایی هستند که آن‌ها را یکسو می‌کند. به طور مثال یکی از عوامل کاهش نور مفید روز در طی سال ناشی از تابشی است که باعث کاهش آسایش حرارتی در طی گرم‌ترین هفته سال می‌شود.

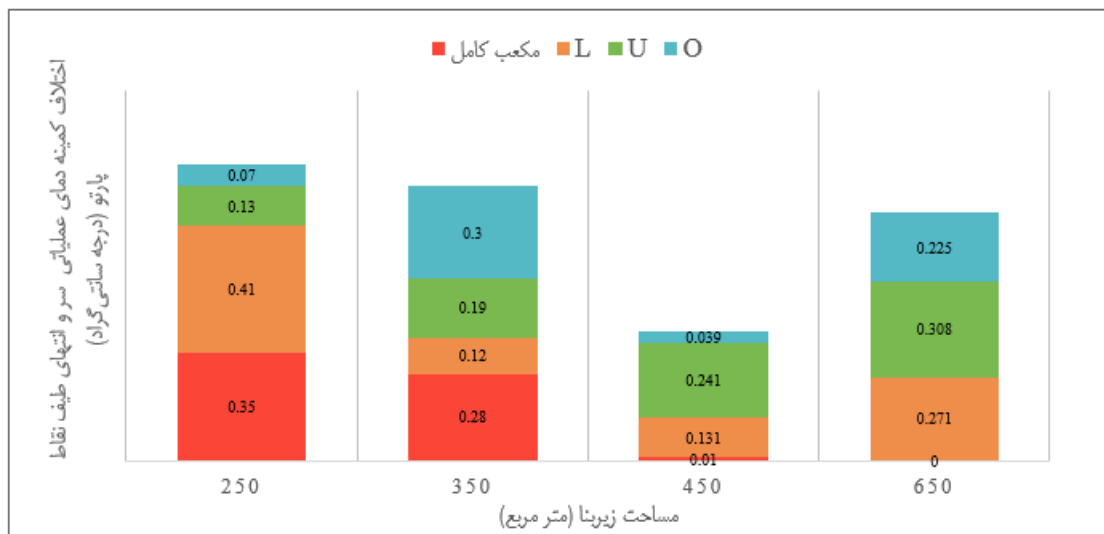
۷

است. در نمودارهای شکل ۲۸ و شکل ۲۹ میزان اختلاف بهینه‌های سر و انتهای پارتو به ترتیب برای دمای عملیاتی و UDI با در نظر گرفتن دسته‌های مساحت-فرم آورده شده است.

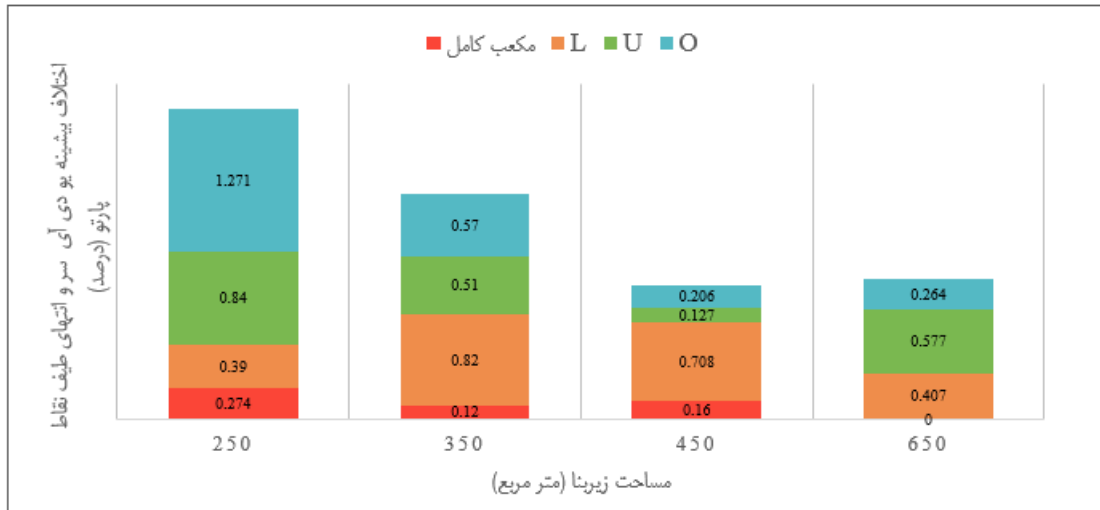
با توجه به نمودار شکل ۲۸ بیشترین میزان اختلاف برای دمای عملیاتی حدود ۰/۳ درجه است که عدد بسیار کمی است. همچنین با توجه به نمودار شکل ۲۹ نیز بیشترین اختلاف حدود ۱/۲ درصد است. نوع نمودارهای نتیجه بهینه‌سازی برای دسته مساحت-فرم‌های مختلف که در بخش ۴-۱ آورده شده‌اند نیز نشان از همگرایی نقاط پارتو به سمت یک



شکل ۲۷. نمودار بهینه جهتگیری ساختمان در شهر یزد



شکل ۲۸. اختلاف دمای عملیاتی نقاط بهینه منحنی پارتو در ابتدا و انتهای منحنی



شکل ۲۹. اختلاف UDI نقاط بهینه منحنی پارتو در ابتدا و انتهای منحنی

هر مساحت- فرم (از انواع فرم‌های ۴ گانه مکعب کامل، U، L و O) به صورت جبهه پارتو در نتایج بهینه‌سازی ارائه شد و با توجه به چند هدفه بودن مساله، برای هر مساله طیفی از نقاط بهینه شناسایی شد لیکن در این پژوهش نقاط سر و انتهای منحنی پارتو مورد توجه قرار گرفتند و تحلیل نتایج بر پایه این داده‌ها صورت گرفت.

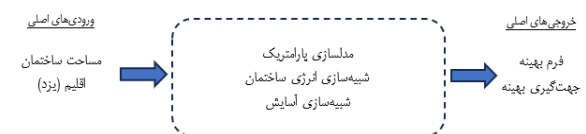
جهت صحت‌سنجی نتایج بهینه‌سازی، فرم‌های بهینه با نمونه‌های تصادفی از یک اقلیم- مساحت - نوع فرم معین مورد مقایسه قرار گرفت. همچنین از نتایج سایر فعالیت‌های پژوهشی (دو مقاله) برای تصدیق نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر استفاده شد که در نهایت منجر به تأیید خروجی‌ها شدند.

نتایج بهینه‌سازی چندهدفه برای شهر یزد نشان داد که بهینه‌ترین فرم برای دستیابی بالاترین آسایش حرارتی فصل گرم (با اهمیت بیشتر دادن به آسایش حرارتی نسبت به آسایش بصری)، فرم مکعب کامل با فاکتور شکل ۱/۸ و جهتگیری ۰ درجه می‌باشد. همچنین بهینه‌ترین فرم برای دستیابی به آسایش بصری (با اهمیت بیشتر دادن به آسایش بصری) فرم L با ابعاد داده شده در جدول‌های نتایج بخش ۳ مقاله است. به طور کلی جهتگیری بین ۱۸۰ (شمالی - جنوبی) تا ۲۲۰ درجه (شمال غربی - جنوب شرقی) برای ساختمان‌های بومی منطقه یزد مطلوب به حساب می‌آید. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش مساحت زیربنای ساختمان در شهر یزد، آسایش ساکنان به لحاظ بصری و حرارتی در فصل گرم افزایش می‌یابد.

لازم به ذکر است تمامی راه‌حل‌های ارائه شده در جدول‌های نتایج در بخش ۵ مقاله حاضر به لحاظ بهینه‌سازی دو هدفه آسایش حرارتی فصل گرم و آسایش بصری مطلوب بوده و قابل استفاده برای طراحان هستند. پیشنهاد می‌شود بهینه‌سازی فرم برای فصل سرد سال در شهر یزد نیز مورد پژوهش قرار بگیرد.

## نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر لزوم توجه به بحث مصرف انرژی توسط معماران و طراحان ساختمان‌ها را مورد بحث و بررسی قرار داد. با توجه به گسترش فناوری‌های مرتبط با شبیه‌سازی و مدلسازی ساختمان، استفاده کاربردی از این ابزارها جهت طراحی بهینه در راستای کاهش مصرف انرژی با افزایش آسایش مصرف کنندگان، مورد توجه بوده است. در همین راستا و با در نظر گرفتن ضرورت نگاه بهینه در طراحی، این تحقیق برپایه کاهش مصرف انرژی و بهینه‌سازی فرم در اقلیم یزد که پیشتر در تاریخ معماری شهر یزد مورد توجه بوده است انجام شده و با نگاهی غیر فعالانه جواب‌های بهینه‌ای برای فرم ساختمان با هدف آسایش ساکنان در حالت تهویه طبیعی ارائه می‌دهد که می‌تواند به عنوان اساسی برای ساختمان‌های بومی در اقلیم گرم و خشک یزد مورد استفاده طراحانی که به کاهش مصرف انرژی در مراحل اولیه طراحی اهمیت می‌دهند، قرار بگیرد. با استفاده کردن از این طرح در مرحله طراحی مفهومی، پاسخ‌های بهینه در زمینه راه‌حل‌های غیر فعال و فعال دیگر را نیز با یک پایه درست می‌توان یافت و در نهایت نتیجه به دست آوردن یک ساختمان بهینه ایده‌آل در شهر یزد است. فرآیندی که منجر به دستیابی فرم بهینه در طی برنامه این تحقیق شد به صورت شکل ۳۰ آورده شده است.



شکل ۳۰. فرآیند برنامه طراحی شده

شاخص‌های انتخابی جهت بهینه‌سازی در پژوهش حاضر، آسایش حرارتی فصل گرم و آسایش بصری در نظر گرفته شد. نتایج به دست آمده برای

**تشکر و قدردانی:** این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده دوم و به راهنمایی نویسنده اول تحت عنوان «طراحی و بهینه‌سازی فرم واحدهای مسکونی واقع در مجتمع مسکونی در اقلیم گرم و خشک (شهر یزد) با استفاده از هوش مصنوعی» در دانشگاه بوعلی‌سینا انجام گرفته است.

**تأییدیه‌های اخلاقی:** تمام اصول اخلاقی در زمینه چاپ و نشر این مقاله رعایت شده است.

**تعارض منافع:** وجود تعارض منافع بین عوامل شرکت‌کننده در تولید مقاله توسط نویسندگان گزارش نشده است.

**سه‌م نویسندگان:** نویسنده دوم (مریم یونسی) به عنوان پژوهشگر و نگارنده اصلی مقاله، ایده‌پرداز و فعال در تدوین محتوا و مطالعات کتابخانه‌ای و انجام مدل‌سازی و شبیه‌سازی‌ها و تحلیل داده‌ها دارای سهم ۵۰٪ و نویسنده اول (محمد مهدی مولایی)، استاد راهنما، فعالیت در کنترل و مدیریت روند مطالعات و پژوهش و اصلاح نگارش و مشارکت در تحلیل داده‌ها و نتایج دارای سهم ۵۰٪ هستند.

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

## References

- Zou Y, Zhan Q, Xiang K. A comprehensive method for optimizing the design of a regular architectural space to improve building performance. *Energy Reports*, 2021 Nov; 7:981-996.  
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.01.097>
- Fang Y, Cho S. Design optimization of building geometry and fenestration for daylighting and energy performance. *Solar Energy*, 2019 Oct; 191: 7-18.  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.solener.2019.08.039>
- Binghui S, Wang J, Yao X, Shi X, Jin X, Zhou X. Multi-objective optimization design of a complex building based on an artificial neural network and performance evaluation of algorithms. *Advanced Engineering Informatics*, 2019 Apr; 40: 93-109.  
<https://doi.org/10.1016/j.aei.2019.03.006>
- Feng J, Luo X, Gao M, Abbas A, Xu Y, Pouramini S. Minimization of energy consumption by building shape optimization using an improved Manta-Ray Foraging Optimization algorithm. *Energy Reports*, 2021 Nov; 7: 1068-1078.  
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2021.02.028>
- Hemsath T.L., Bandhosseini K.A. Sensitivity analysis evaluating basic building geometry's effect on energy use. *Renewable Energy*, 2015 Apr; 76:526-538.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.044>
- Ostergard T, Jensen R. L., Maagaard S. E. Building simulations supporting decision making in early design – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2016 Aug; 61: 187-201.  
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.045>
- Wortmann T, Nannicini G. *Introduction to Architectural Design Optimization. In City Networks – Planning for Health and Sustainability. Springer International Publishing*; 2017.  
[http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-65338-9\\_14](http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-65338-9_14)
- Jamalpour S., Arbaban A. The effect of climate on the formation of the architecture of Yazd houses. *National Conference on Native Iranian Architecture and Urban Planning*. 2016 March. [Persian] Available at: <https://civilica.com/doc/544758>
- Zarei M, Mirdehghan F. The role of the central courtyard pattern in adjusting the harsh conditions of the hot and dry climate of Yazd region. *Irani Islamic Shahr Journal*. 2015;6(23):5-18. [Persian] Available at: <https://www.sid.ir/paper/177438/fa>
- Mohammed S A, Awad O A, Radhi A M. Optimization of energy consumption and thermal comfort for intelligent building management system using genetic algorithm. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 2020 Dec; 20(3): 1613-1625.  
<http://dx.doi.org/10.11591/ijeecs.v20.i3.pp1613-1625>
- Konis K, Gamas A, Kensek K. Passive performance and building form: An optimization framework for early-stage design support. *Solar Energy*. 2016 Feb; 125: 161-179.  
<https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.12.020>
- Gerber D J, Lin S H. Designing in complexity: Simulation, integration, and multidisciplinary design optimization for architecture. *SIMULATION*. 2013 Aug; 90(8).  
<https://doi.org/10.1177/0037549713482027>
- Motazedian F. Analysis of Optimum Window-to-Wall Ratio in Horizontally Expanded and Vertically Expanded Windows in Tehran, Iran. *International Journal of*

- Architectural Engineering & Urban Planning*. 2019 June; 29(1): 61-68. Available at: <https://ijaup.iust.ac.ir/article-1-428-en.pdf>
14. Stazi F., Naspì F., Ulpaini G., Di Perna C. Indoor air quality and thermal comfort optimization in classrooms developing an automatic system for windows opening and closing. *Energy and Buildings*. 2017 Jan; 139: 732-746. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.017>
  15. Tang R., Wang S. Model predictive control for thermal energy storage and thermal comfort optimization of building demand response in smart grids. *Applied Energy*. 2019 May; 242: 873-882. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.03.038>
  16. Ameer M., Kharbouch Y., Mimet A. Optimization of passive design features for a naturally ventilated residential building according to the bioclimatic architecture concept and considering the northern Morocco climate. *Building Simulation*. 2020 Jan; 13(3): 677-689. <http://dx.doi.org/10.1007/s12273-019-0593-6>
  17. Gou S., Nik V. M., Scartezzini J. L., Zhao Q., Li Z. Passive design optimization of newly-built residential buildings in Shanghai for improving indoor thermal comfort while reducing building energy demand. *Energy and Buildings*. 2017 Oct; 169: 484-506. <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.09.095>
  18. Shahbazi Y., Heydari M., Haghparast F. An early-stage design optimization for office buildings' facade providing high-energy performance and daylight. *Indoor and Built Environment*. 2019 Apr; 28(10): 1-18. <http://dx.doi.org/10.1177/1420326X19840761>
  19. Lu S., Wang R., Zheng S. Passive Optimization Design Based on Particle Swarm Optimization in Rural Buildings of the Hot Summer and Warm Winter Zone of China. *Sustainability*. 2017 Dec; 9(12): 1-30. <https://doi.org/10.3390/su9122288>
  20. Lucarelli C C, Carlo J C, Martinez A C P. Simulation-based optimization for an origami-shaped canopy. *PARC Pesquisa em Arquitetura e Construcao*. 2020 Aug; 11(0): 1-20. <http://dx.doi.org/10.20396/parc.v11i0.8658250>
  21. Steadman P. Why are most buildings rectangular? *Architectural Research Quarterly*. 2006 June; 10(2): 119-130. <http://dx.doi.org/10.1017/S1359135506000200>
  22. Omrani H., Marsono A. K. Optimization of Building Energy Performance through Hybridization Design Strategies. *British Journal of Applied Science & Technology*. 2015 Jan; 13(1): 1-16. <http://dx.doi.org/10.9734/BJAST/2016/23116>
  23. Bekkouche S.M.A., Benouaz T., Cherier M.K., Hamdani M., Yaiche M.R., Benamrane N. Influence of the compactness index to increase the internal temperature of a building in saharan climate. *Energy and Buildings*. 2013 Aug; 66: 678-687. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.077>
  24. Aksoy U.T., Inalli M. Impacts of some building passive design parameters on heating demand for a cold region. *Building and Environment*. 2006. Dec; 41(12): 1742-1754. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.07.011>
  25. Mingfang T. Solar control for buildings. *Building and Environment*. 2002 July; 37(7): 659-664. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00063-4](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00063-4)
  26. Faizi F., Noorani M., Ghaedi A., Mahdavejadd M. Design an optimum pattern of orientation in residential complexes by analyzing the level of energy consumption (case study: Maskan mehr complexes, Tehran, Iran). *Procedia Engineering*. 2011 Dec; 21: 1179-1187. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.2128>
  27. Fallahpour M. Investigating the location of residential complexes in Yazd city according to the climatic parameters of wind and solar radiation. *The first annual conference of architecture, urban planning & urban management*. 2015 Dec. [Persian] Available at: <https://www.sid.ir/FileServer/SF/3691394H01104>
  28. Jahanbakhsh S., Esmaelpour N. Basics of climatic design of residential units in Yazd city (thermal and lighting basics). *The Geographical Quarterly of the Land*. 2004.

29. [Persian] Available at: <https://sid.ir/paper/454406/fa>
30. Orosa J.A. and Oliveira A.C. A new thermal comfort approach comparing adaptive and PMV models. *Renewable Energy*. 2011 Mar; 36(3): 951-956. <http://dx.doi.org/10.1016/j.renene.2010.09.013>
31. Humphreys M.A. and Nicol J.F. Understanding the Adaptive Approach to Thermal Comfort, *ASHRAE Transactions*. 1998 Jan;104(1): 991-1004. Available at: <https://cir.nii.ac.jp/crid/1573387449932570752>
32. Saberi O, Saneii P, Javanbakht A. Thermal Comfort in Architecture. *Engineering, Environmental Science*. 2006. Available at: <https://www.academia.edu/40447340/Thermal Comfort in Architecture>
33. Rana D.S., Malhotra R., Kumar D. and Aghi G. Guidelines for optimum visual comfort derived from key performance parameters. *The Energy and Resources Institute*. 2021. Available at: <https://www.teriin.org/sites/default/files/2021-11/Guidelines-for-Visual-Comfort.pdf>
34. Shafavi Moghaddam N., Zomorodian Z. S., Tahsildoost M. Ability of daylight Indicators in estimating adequate lighting in space based on user assessments Case study: Architecture design studios in Tehran. *Soffeh*. 2019 Sep; 29(3): 37-56. [Persian] Available at: [https://soffeh.sbu.ac.ir/article\\_100480.html](https://soffeh.sbu.ac.ir/article_100480.html)
35. Lakhdari K., Sriti L. and Painter B. Parametric optimization of daylight, thermal and energy performance of middle school classrooms, case of hot and dry regions. *Building and Environment*. 2021 July; 204(2):108173. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.108173>