



Operational Framework for form-energy Efficient Building Design with the Application of the 19th Topic (Case Study: Tehran High-scale Office Buildings)

ARTICLE INFO

Article Type Original Research

Author

Arash Mostafavi¹
Jamaledin Soheili^{2*}
Hafezeh Pour Dehghan³

How to cite this article

Mostafavi, Arash and Soheili, Jamaledin and Pour Dehghan, Hafezeh. Operational framework for form-energy efficient building design with the application of the 19th topic (Case study: Tehran high-scale office buildings). Urban Design Discourse. 2025; 6(1): 103-122.



doi.org/10.48311/UDD.6.1.103

¹ Ph.D., Department of Architecture, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

² Associated Professor, Department of Architecture, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

³ Assistant Professor, Department of Architecture, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

* Correspondence

Address: Associated Professor,
Department of Architecture, Qazvin
Branch, Islamic Azad University,
Qazvin, Iran
Email: j_soheili@yahoo.com

Article History

Received: 2024/07/8

Accepted: 2024/11/4

Revised date: 2024/10/27

ABSTRACT

Aims: The purpose of this research is to evaluate the performance of the form of large-scale office buildings in Tehran and to achieve an optimal shape of the form to provide annual thermal and visual comfort in accordance with the 4th edition of the 19th Topic.

Methods: This is an applied research of the theory-building type, which has investigated the relationship between form geometry and sDA, DGP and PMV variables in order to achieve the goals. The research method is descriptive-analytical, after extracting the library, the primary data has been validated in the field, and it has been modeled and simulated with DesignBuilder software and Honeybee plugin in Grasshopper. Also, the analysis of the data obtained from the simulation has been done with interpretation and comparison.

Findings: The rectangular form with two central courtyards has the best status in PMV index and the worst in terms of DGP. The proposed subspecies of the mentioned form with a ratio of core to shell of 2:1, while maintaining the conditions of PMV, was able to be placed in the standard mode from the point of view of sDA and DGP.

Conclusion: The form of most of these buildings is not suitable for providing thermal and visual comfort conditions according to the 19th topic. Designers can use the rectangular form with the suggested core-to-shell ratio of 2:1 to meet the requirements and obtain the EC category of this subject.

Keywords: Thermal comfort, Optical visual comfort, Building performance, Office building, Topic 19th.



چارچوب عملیاتی جهت طراحی ساختمان فرم - انرژی کارا: (نمونه موردی: ساختمان‌های اداری بزرگ مقیاس شهر تهران)*

چکیده

اطلاعات مقاله:

نوع مقاله: پژوهشی اصیل

نویسندگان:

آرش مصطفوی^۱

جمال‌الدین سهیلی^{۲*}

حافظه پوردهقان^۳

نحوه استناد به این مقاله:

مصطفوی، آرش و سهیلی، جمال‌الدین و پوردهقان، حافظه. چارچوب عملیاتی جهت طراحی ساختمان فرم - انرژی کارا: (نمونه موردی: ساختمان‌های اداری بزرگ مقیاس شهر تهران). گفتان طراحی شهری مروری بر ادبیات و نظریه‌های معاصر، ۶ (۱)، ۱۰۳-۱۲۲.

۱. دانش آموخته دکتری معماری، گروه معماری، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
۲. دانشیار، گروه معماری، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
۳. استادیار، گروه معماری، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران

* نویسنده مسئول:

دکتر جمال‌الدین سهیلی

نشانی: دانشیار، گروه معماری، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران
ایمیل: J_soheili@yahoo.com

تاریخ مقاله

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۴/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۸/۱۴

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۸/۶

اهداف: نور و شرایط حرارتی با اثر بر کیفیت فعالیت‌های ذهنی و فیزیکی نقش کلیدی در عملکرد کاربران ساختمان‌های اداری دارند. از آنجا که فرم نحوه مواجهه ساختمان با عوامل محیطی را تعریف می‌کند، می‌تواند با کمک به تامین روشنایی طبیعی و شرایط حرارتی مناسب، علاوه بر کاهش مصرف انرژی موجب ارتقاء بهره‌وری اداری در این بناها نیز گردد. ارزیابی عملکرد فرم ساختمان‌های اداری بزرگ مقیاس تهران و دستیابی به گونه شکلی بهینه فرم جهت تامین سالانه آسایش حرارتی و بصری‌نوری منطبق بر ویرایش چهارم مبحث نوزده (م.م.س) هدف این پژوهش است.

روش‌ها: این پژوهش کاربردی از نوع نظریه-ساخت بوده که در راستای دستیابی به اهداف، رابطه بین هندسه فرم و متغیرهای sDA، DGP و PMV را مورد بررسی قرار داده است. روش تحقیق توصیفی-تحلیلی بوده، داده‌های اولیه پس از استخراج کتابخانه‌ای به صورت میدانی صحت‌سنجی شده و با نرم‌افزارهای دیزاین‌بیلدر و پلاگین هانی‌پی در گرسه‌پایر مورد مدل‌سازی و شبیه‌سازی قرار گرفته‌اند. همچنین آنالیز داده‌های حاصل از شبیه‌سازی با تفسیر و مقایسه انجام شده است.

یافته‌ها: فرم مستطیل شکل با دو حیاط مرکزی دارای بهترین وضعیت در شاخص PMV و بدترین از نظر DGP می‌باشد. زیراگونه پیشنهادی از فرم مذکور با نسبت هسته‌به‌پوسته ۱:۲ با حفظ شرایط PMV توانست از منظر sDA و DGP نیز در حالت استاندارد قرار گیرد.

نتیجه‌گیری: فرم اغلب این بناها جهت تامین شرایط آسایش حرارتی و بصری‌نوری طبق مبحث نوزدهم مناسب نیست. طراحان می‌توانند از فرم مستطیل شکل با نسبت پیشنهادی هسته‌به‌پوسته ۱:۲ جهت تامین شرایط و کسب رده EC این مبحث استفاده نمایند.

واژه‌های کلیدی: آسایش حرارتی، آسایش بصری، عملکرد ساختمان، کاربری اداری، مبحث نوزده.

حق چاپ © ۲۰۲۵، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس. این مقاله با دسترسی آزاد تحت شرایط مجوز بین‌المللی Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 منتشر شده است که به اشتراک‌گذاری (کپی و توزیع مجدد مطالب در هر رسانه یا قالبی) و انطباق (بازترکیب، تغییر شکل و بازسازی بر اساس محتوا) را اجازه می‌دهد.

* این مقاله برگرفته از رساله دکتری نویسنده اول با عنوان "تحلیل نقش تایپولوژی فرم ساختمان بر شکل‌گیری رفتار مرتبط با انرژی (ERB) متاثر از تابش خورشیدی (نمونه موردی: ساختمان‌های اداری بزرگ مقیاس شهر تهران)" به راهنمایی نویسنده دوم و مشاوره نویسنده سوم است که در سال ۱۴۰۲ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین به اتمام رسیده است.

۱. مقدمه

توجه به نیازهای کارمندان و طراحی محیطهای کاری و دفاتر اداری براساس نیازها و خواسته کاربران آن باعث بالا رفتن سطح رضایت شغلی و بهبود بازده کاری و کاهش هزینه ها و در نتیجه افزایش سودآوری شرکتها و در کل باعث ایجاد روحیه کاری بهتر و احساس امنیت بیشتر و بازدهی بیشتر کارمندان میگردد. یکی از این نیازها آسایش است. یکی از مهمترین چالشها برای منابع انسانی در سازمانها نحوه و چگونگی بالا بردن بهره وری و میزان رضایت افراد از فضای کاری خویش است [۱]. ساختمان های اداری دولتی در شهرهای بزرگ مثل پایتخت سرمایه های زیادی را در خود جای داده اند و بعد از ساختمان های مسکونی، سالانه مقادیر قابل توجهی از مصرف انرژی کشور را به خود اختصاص میدهند [۲]. از طرف دیگر، تامین نور طبیعی یک عنصر مهم طراحی در فضاهای اداری است که کیفیت محیط داخلی و بهره وری کاربر را بهبود میبخشد، درحالی که انرژی مصرف شده توسط نور مصنوعی کاهش می یابد [۳]. همچنین حرارت دریافتی از خورشید در فصول سرد به شکل مؤثری کارآمد بوده و موجب کاهش بار حرارتی ساختمان می گردد اما در زمانی که ساختمان نیاز به سرمایش دارد، این عامل موجب بالا رفتن بار برودتی شده و مصرف انرژی را نیز افزایش می دهد. همچنین هنگام ورود نور به داخل بنا، امواج غیر مرئی تابشی خورشید که موجب ایجاد حرارت می گردند همراه با سیل امواج مرئی روشنایی بخش به فضای داخلی گسیل می شوند. این امواج با تابش به کاربران و سطوح داخلی موجب افزایش حرارت محیط شده و خروج کاربر از شرایط آسایش حرارتی و کاهش راندمان کاری وی را در پی خواهد داشت [۴]. بر اساس تحقیقات انجام شده، در این شرایط کاربر جهت احیای آسایش از دست رفته، اقدام به تعامل با سیستم های انرژی ساختمان از جمله سامانه های سرمایش، تهویه مطبوع و بازشوها که به "رفتار مرتبط با انرژی" شناخته می شود [۵]. کرده و تحقق کانسپت انرژی ساختمان را نیز با مشکل مواجه می نماید. جهت کنترل انرژی تابشی خورشید به داخل بنا از عوامل متعددی نظیر انواع ثابت و متحرک سایه بان های داخلی و خارجی، پوسته ها و همچنین گیاهان بهره برده می شود. فرم ساختمان نیز به عنوان یکی از سطوح تعریف کننده چگونگی مواجهه ساختمان با محیط پیرامون [۶]، نقشی مهم در ورود تابش خورشیدی به فضای داخلی دارد. فاز طراحی ساختمان اولین خط دفاعی در مقابل عوامل اقلیمی خارج بنا و بهترین زمان برای مدنظر قرار دادن راهبردهای پایدار است؛ چرا که حداقل نسبت به راهبردهایی که بعد از احداث ساختمان مدنظر قرار می گیرند، بسیار کم هزینه ترند. در واقع مبالغ صرفه جویی شده در درازمدت، به اجرای روش های طراحی اقلیمی به عنوان بهترین نوع سرمایه گذاری برای مالکان تأکید می کند

ضمن این که سبب بهبود شرایط آسایش در داخل ساختمان می شوند [۷]. در میان گونه شناسی ساختمان های مختلف شهرهای توسعه یافته و پردرآمد، ساختمان های اداری بزرگ مقیاس در همه جا حضور دارند، بخش بزرگی از کل منطقه را تشکیل می دهند و یکی از پرمصرف ترین ساختمان ها از لحاظ مصرف انرژی محسوب می شوند. [۸] با توجه به انطباق زمان کاری این بناها با حضور خورشید در آسمان، عدم دریافت مناسب هریک از دو مولفه حرارت خورشیدی و امواج مرئی، علاوه بر اینکه کاربر را از شرایط آسایش حرارتی و بصری خارج کرده و بهره وری اداری را کاهش می دهد، موجب افزایش مصرف انرژی نیز می گردد. بنابر این و با توجه به اهمیت ارتقاء بهره وری اداری و همچنین کاهش مصرف انرژی، ضروری است تا تایپولوژی مناسب فرم در ساختمان های اداری بزرگ مقیاس شهر تهران به عنوان یکی از پرمصرف ترین بخش ها که محل استقرار کارمندان متعدد است، بهینه گردد. این کار، علاوه بر اینکه موجب افزایش بهره وری اداری می گردد، از هدر رفت منابع ملی نیز جلوگیری می کند. از طرف دیگر، با توجه به الزام ویرایش چهارم مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان ایران جهت تامین آسایش حرارتی و نوری بصری در ساختمان ها، این مقاله سعی دارد با بررسی مولفه های ذکر شده در بناهای مذکور، مناسب ترین راه حل را در اختیار طراحان قرار دهد. در راستای دست یابی به این هدف، این سوالات مطرح می شوند: ۱- وضعیت شاخص های آسایش حرارتی (PMV) و آسایش بصری نوری (sDA-DGP) در گونه های مختلف فرم ساختمان های اداری بزرگ مقیاس شهر تهران چگونه است؟ ۲- کدام یک از گونه های فرم موجود بهترین عملکرد را در تامین سالانه آسایش حرارتی و بصری نوری بناهای مذکور دارد؟

۲. ادبیات پژوهش

۱-۲. پیشینه تحقیق

ژانگ و همکاران در مقاله ای علمی با نام "تاثیر تایپولوژی بلوک های شهری بر پتانسیل خورشیدی و کارآمدی مصرف انرژی ساختمان در شهرهای گرمسیری با تراکم بالا" به این موضوع اشاره دارند که در شرایط یکسان برنامه ریزی و طراحی محیط، تفاوت در تایپولوژی بلوک های شهری می تواند منجر به افزایش ۲۰۰ درصدی پتانسیل برداشت انرژی خورشیدی شود [۶]. تیرماسین و زموری در تحقیقی تحت عنوان "تاثیرات تایپولوژی ساختمان بر مصرف انرژی در مناطق گرم و خشک" به این نتایج اشاره دارند که: جهت گیری و فشردگی در مصرف گرمایشی و سرمایشی انرژی در ساختمان نقش بالایی دارند [۹]. لی و لام در پژوهشی تحت عنوان "فاکتورهای بهره حرارت خورشیدی و راهکارهایی برای طراحی ساختمان در مناطق نیمه گرمسیری" به این موضوع اشاره می کنند که: سطوح رو به شمال عمدتاً بخش هایی پراکنده و کمتر از حد متوسط مقادیر تابش

خورشید را دریافت می‌کند، درحالی که سایر سطوح افقی و عمودی مقدار معینی از تابش مستقیم را دریافت کرده که از میانگین بالاتر است [۱۰]. طالب و همکاران در تحقیق "بهینه‌سازی فرم ساختمان جهت تابش ناخواسته خورشیدی" به این موضوع اشاره می‌کنند که میزان تابش خورشیدی ناخواسته به نمای ساختمان‌ها یکی از اصلی‌ترین عواملی است که موجب افزایش بار برودتی و به تبع آن افزایش نیاز به انرژی می‌گردد. علاوه بر این، فرم و محل قرارگیری ساختمان، میزان انرژی خورشیدی دریافتی را مشخص می‌کنند [۱۱]. شفیی و همکاران در پژوهشی با نام "فرم مناسب ساختمان بلند برای دریافت انرژی تابشی در تهران" به این نکته اشاره می‌کنند که با فرض جهت‌گیری بهینه و تعیین فرم مناسب، به دو صورت می‌توان در انرژی مصرفی ساختمان صرفه‌جویی کرد. از یک سو، با انتخاب فرمی که دریافت بالایی در فصل زمستان داشته باشد، می‌توان از انرژی حرارتی خورشید برای کاهش نیاز به انرژی گرمایی بالاتر بهره برد و از سوی دیگر، می‌توان از گردآورنده‌ها برای تامین بخشی از انرژی برق ساختمان استفاده کرد [۱۲]. کاتالینا و همکاران در پژوهش "مطالعه تاثیر فرم ساختمان بر میزان مصرف انرژی" به این موضوع اشاره می‌کنند که همبستگی بین ارزش‌هایی مانند شاخص‌ها و بارهای حرارتی شبیه‌سازی شده ساختمان‌ها با شکل‌های مختلف، جهت‌گیری، درصد سطح نورگذر و چگونگی توزیع آن قابل توجه می‌باشد [۱۳]. بینگ در پژوهش "راهنمای طراحی اکولوژیک" می‌نویسد: فرم و پکت ساختمان مهمترین پارامترهای اثرگذار بر اقلیم داخلی هستند. توسعه شکل ساختمان برای دستیابی به عملکرد انرژی بهتر ضروری است. تغییرات و دستکاری شکل ساختمان گرمای محاسبه شده برای بار برودتی را کاهش می‌دهد. در این حالت، رفتار مصرف انرژی نه تنها از جهت‌گیری ساختمان بلکه از فرم و نسبت حجم به سطح نیز اثر می‌پذیرد [۱۴]. سعادت‌جو و سلیقه در تحقیقی تحت عنوان "نقش الگوی چیدمان بلوک‌های مجتمع مسکونی بر جریان باد فضای باز و نور روز دریافتی ساختمان‌ها" به این موضوع اشاره می‌کنند که شکل و هندسه ساختمان، تراکم ساختمان، ارتفاع بناها، اختلاف ارتفاع ساختمان‌ها، الگوی چیدمان بلوک‌ها و تناسب فضای باز از مهم‌ترین فاکتورهایی است که می‌تواند علاوه بر جریان داخلی، الگوی جریان پیرامونی ساختمان‌ها در تراز عابری پیاپی را تحت تاثیر قرار دهد [۱۵]. وانگ و همکاران در تحقیقی تحت عنوان "بهینه‌سازی شکل کف طبقات جهت طراحی ساختمان سبز" می‌نویسند: با تغییر پارامترهای طراحی مانند شکل، جهت و پیکربندی پکت، یک ساختمان با کیفیت بالا طراحی می‌شود که می‌تواند ۴۰ درصد انرژی کمتری نسبت به یک ساختمان با کیفیت پایین مصرف کند [۱۶]. اوکیل در پژوهش خود با نام "در جستجوی فرم‌های شهری انرژی کارا: بلوک‌های مسکونی خورشیدی" به این موضوع اشاره می‌کند که آن بخش از انرژی خورشیدی که بر روی

منطقه‌ای از شهر فرود می‌آید، به وسیله ساختمان‌ها و یا توسط زمین بین آن‌ها دریافت می‌گردد. آن بخشی که به ساختمان‌ها می‌رسد توسط بام و نما جذب می‌گردد. بنابر این، بهترین شکل استفاده از انرژی خورشیدی بر اساس تایپ هر یک از این سطوح متفاوت است [۱۷]. ملک و طلائی در تحقیقی با عنوان "مطالعه تطبیقی نماهای متحرک ساختمان‌های اداری تهران بر اساس آسایش بصری ساکنین با شاخص (SDG)، (DGP)" به این موضوع اشاره دارند که: با توجه به میزان قابل توجه تابش نور در شهر تهران و ازدیاد ساختمان‌های اداری در آن به عنوان پایتخت، استفاده از نماهای شفاف در این ساختمان‌ها در سال‌های اخیر نیازمند پوسته‌ای است تا از خیرگی نور در فضای داخلی جلوگیری نماید و همچنین میزان مناسبی از نور روز را دریافت نماید، زیرا یکی از عوامل مهم اولویت قرار دادن کاربران ساختمان اداری در جهت ارتقا عملکرد آنها است [۱۸]. شفوی مقدم و همکاران در تحقیقی با عنوان "بررسی کارایی شاخص‌های نور روز در ارزیابی کیفیت آسایش بصری کاربران (مطالعه موردی: فضاهای آموزشی دانشکده‌های معماری شهر تهران)" به عنوان نتیجه به این موضوع اشاره دارند که: در میان شاخص‌های معمول مربوط به پیش‌بینی مقدار نور، بیشترین همبستگی با درجه رضایت کاربران مربوط به شاخص استاتیک $E_p > n \times$ بوده که میزان این همبستگی برای مقادیر ۱۰۰ تا ۳۰۰ لوکس به عنوان آستانه روشنایی مشابه بوده است. شاخص‌های (SDA)، (EP-LEED) با آستانه ۱۰۰ تا ۳۰۰ لوکس و UDI با شباهت زیادی از نظر میزان همبستگی با نظر کاربران در رتبه‌های بعدی جای می‌گیرند. همچنین در میان شاخص‌های خیرگی، sVD و $DGP_s > 0.45, 20\%$ و $ASE1000lx, 250h$ بهتر از سایر شاخص‌ها عمل کردند [۱۹]. جابری و غریب‌پور در مقاله‌ای با عنوان "ارزیابی تاثیر شکل و تناسب هندسی پلان، جهت‌گیری و ارتفاع طبقه، بر عملکرد نور روز ساختمان‌های بلند اداری شهر تهران" این گونه اشاره دارند که: بر اساس نتایج به دست آمده، مقادیر مربوط به شاخص $(sDA300/50\%)$ در فضاهای اداری با تغییر جهت‌گیری پلان، ۱ تا ۴/۵٪ نسبت به مدل پایه، ارتقا یافته است. همچنین، شاخص sDA با تعیین شکل هندسی مناسب پلان، تا بیش از ۱۰٪ بهبود یافته است [۲۰]. با توجه به پژوهش‌های انجام شده در این زمینه که خلاصه نتایج برخی از آن‌ها در جدول شماره (۱) قابل مشاهده است، می‌توان به اهمیت نقش فرم و شکل هندسی آن در ارتقا عملکرد انرژی ساختمان پی برد. با توجه به تاکید ویرایش جدید (چهارم) آئین‌نامه "صرفه‌جویی در مصرف انرژی" (م.م.س) در تامین آسایش حرارتی و بصری نوری، این پژوهش قصد دارد به عنوان نوآوری و در راستای دستیابی به گونه بهینه، به ارزیابی عملکرد گونه‌های فرم ساختمان‌های اداری بزرگ مقیاس شهر تهران در تامین آسایش حرارتی و بصری نوری سالانه، بر مبنای ویرایش چهارم مبحث ۱۹ (م.م.س) بپردازد.

جدول ۱. پیشینه پژوهش

پژوهشگر	عنوان	نتیجه
۱ Zhang & et al (2019)	تأثیر تایپولوژی بلوک‌های شهری بر پتانسیل خورشیدی و کارآمدی مصرف انرژی ساختمان در شهرهای گرمسیری با تراکم بالا	در شرایط یکسان برنامه‌ریزی و طراحی محیط، تفاوت در تایپولوژی بلوک‌های شهری می‌تواند منجر به افزایش ۲۰۰ درصدی پتانسیل برداشت انرژی خورشیدی شود
۲ Tibermacine & Zemmouri (2019)	تأثیرات تایپولوژی ساختمان بر مصرف انرژی در مناطق گرم و خشک	جهت‌گیری و فشردگی در مصرف گرمایشی و سرمایشی انرژی در ساختمان نقش بالایی دارند
۳ Li & Lam (2000)	فاکتورهای بهره‌رسان حرارت خورشیدی و راهکارهایی برای طراحی ساختمان در مناطق نیمه گرمسیری	بررسی میزان حرارت خورشیدی دریافتی توسط هر یک از سطوح
۴ Taleb & et al (2019)	بهینه‌سازی فرم ساختمان جهت تابش ناخواسته خورشیدی	میزان تابش خورشیدی ناخواسته به نمای ساختمان‌ها یکی از اصلی‌ترین عواملی است که موجب افزایش بار برودتی و به تبع آن افزایش نیاز به انرژی می‌گردد
۵ شغیعی و همکاران (۱۳۹۲)	فرم مناسب ساختمان بلند برای دریافت انرژی تابشی در تهران	با فرض جهت‌گیری بهینه و تعیین فرم مناسب، می‌توان در انرژی مصرفی ساختمان صرفه جویی کرد
۶ Catalina & et al (2011)	مطالعه تأثیر فرم ساختمان بر میزان مصرف انرژی	همبستگی بین ارزش‌هایی مانند شاخص‌ها و بارهای حرارتی شبیه‌سازی شده ساختمان‌ها با شکل‌های مختلف، جهت‌گیری، درصد سطح نورگذر و چگونگی توزیع آن قابل توجه می‌باشد
۷ (2006) Yeang	راهنمای طراحی اکولوژیک	فرم و پکت ساختمان مهمترین پارامترهای اثرگذار بر اقلیم داخلی هستند. تغییرات و دستکاری شکل ساختمان گرمای محاسبه شده برای بار برودتی را کاهش می‌دهد.
۸ سعادت‌جو و سلیقه (۱۴۰۰)	نقش الگوی چیدمان بلوک‌های مجتمع مسکونی بر جریان باد فضای باز و نور روز دریافتی ساختمان‌ها	شکل و هندسه ساختمان، تراکم ساختمان، ارتفاع بناها، اختلاف ارتفاع ساختمان‌ها، الگوی چیدمان بلوک‌ها و تناسب فضای باز از مهم‌ترین فاکتورهایی است که می‌تواند علاوه بر جریان داخلی، الگوی جریان پیرامونی ساختمان‌ها در تراز پیاده‌راحت تأثیر قرار دهد
۹ Wang & et al (2006)	بهینه‌سازی شکل کف طبقات جهت طراحی ساختمان سبز	با تغییر پارامترهای طراحی مانند شکل، جهت و پیکربندی پکت، یک ساختمان با کیفیت بالا طراحی می‌شود که می‌تواند ۴۰ درصد انرژی کمتری نسبت به یک ساختمان با کیفیت پایین مصرف کند
۱۰ Okeil (2004)	در جستجوی فرم‌های شهری انرژی کارا: بلوک‌های مسکونی خورشیدی	بهترین شکل استفاده از انرژی خورشیدی بر اساس تایپ هر یک از این سطوح متفاوت است
۱۱ ملک و طلالی (۱۴۰۱)	"مطالعه تطبیقی نماهای متحرک ساختمان‌های اداری تهران بر اساس آسایش بصری ساکنین با شاخص (sDG)، (DGP)"	استفاده از نماهای شفاف در این ساختمان‌ها در سال‌های اخیر نیازمند پوسترهای است تا از خیرگی نور در فضای داخلی جلوگیری نماید و همچنین میزان مناسبی از نور روز را دریافت نماید، زیرا یکی از عوامل مهم اولویت قرار دادن کاربران ساختمان اداری در جهت ارتقا عملکرد آنها است
۱۲ شفوی‌مقدم و همکاران (۱۳۹۸)	بررسی کارایی شاخص‌های نور روز در ارزیابی کیفیت آسایش بصری کاربران (مطالعه موردی: فضاهای آموزشی دانشکده‌های معماری شهر تهران)	در میان شاخص‌های خیرگی، $sDA > 0.45, 20\%$ و $ASE1000lx, 250h$ بهتر از سایر شاخص‌ها عمل کردند
۱۳ جباری و غریب‌پور (۱۴۰۲)	ارزیابی تأثیر شکل و تناسب هندسی پلان، جهت‌گیری و ارتفاع طبقه، بر عملکرد نور روز ساختمان‌های بلند اداری شهر تهران	مقادیر مربوط به شاخص (sDA300/50%) در فضاهای اداری با تغییر جهت‌گیری پلان، ۱ تا ۴٪ نسبت به مدل پایه، ارتقا یافته است. همچنین، شاخص sDA با تعیین شکل هندسی مناسب پلان، تا بیش از ۱۰٪ بهبود یافته است

۲-۲. مبانی نظری

فرم انرژی کارا

رابطه بین فرم ساخته شده و اقلیم همواره موضوع پژوهش‌های گوناگونی بوده است. این پژوهش‌ها را می‌توان به سه گروه اصلی تقسیم‌بندی کرد. گروه اول بر روی مسائل آسایش حرارتی انسان به عنوان مبنایی جهت فرموله کردن طراحی ساختمان توسط استراتژی‌های غیرفعال تمرکز کرده‌اند. توجه گروه دوم به چگونگی دسترسی به خورشید به عنوان پیشنیازی برای استفاده از آن جهت رسیدن به مقاصد گرمایش غیرفعال خورشیدی و تامین نور روز معطوف است. و در نهایت هدف گروه سوم فهم چگونگی تاثیر شهرنشینی بر اقلیم‌شناسی شهر است. به نظر می‌رسد که تحقیقات جدیدتر نیز در چارچوب همین دسته‌بندی درحال ادامه مسیر هستند [۲۱]. یکی از رویکردهای کلیدی برای دستیابی به طراحی کم-انرژی، فرم بایی است. فرم ساختمان یکی از مهمترین قسمت‌های طراحی آن است که بر دریافت امواج تابشی، نور طبیعی و انتقال حرارت اثر می‌گذارد [۲۲]. "چه نوع از فرم‌های ساختمانی بهترین استفاده را از زمین می‌کنند؟" این یک سوال میلیون دلاری برای برنامه‌ریزان و معماران بود که در اواخر دهه ۱۹۶۰ در "مرکز مطالعات کاربری اراضی و شکل ساختمان" در کمبریج مورد بررسی قرار گرفت [۲۳]. ایده استفاده از بهترین شکل ساختمان با رویکرد زیست‌محیطی در دهه ۱۹۶۰ به وسیله معماران و طراحان شهری مطرح گردید. درحالی که معماران نیروهای موجود در طبیعت را که موجب شکل بخشیدن به ساختمان‌های ما می‌شوند را مورد مطالعه قرار می‌دادند، در ابتدا طراحان و برنامه‌ریزان شهری بیشترین توجه را به کاربری مطلوب زمین داشتند. از آن زمان به بعد و با افزایش نگرانی‌های زیست‌محیطی و کاهش منابع سوخت‌های فسیلی، توجه‌ها بیشتر به سمت تاثیر مورفولوژی شهری و فرم ساختمان بر مصرف انرژی در محیط ساخته‌شده معطوف شد. در این راستا، طراحان شهری عموماً بر محیط بیرونی ساختمان و معماران بر فضای داخلی آن متمرکز شدند [۲۴]. مطالعات انجام شده در زمینه رابطه بین فرم ساختمان و مصرف انرژی را می‌توان در دو دسته طبقه‌بندی کرد. اولی به مقایسه تاثیر فرم‌های مختلف ساختمانی بر مصرف انرژی و دومی با توسعه مدل‌های ساده و از طریق تحلیل‌های آماری به برآورد و پیش‌بینی مصرف انرژی فرم‌های گوناگون می‌پردازد. از زمان توسعه ابزارهای شبیه‌سازی انرژی، تاثیر شکل و فرم ساختمان بر عملکرد انرژی به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است [۲۵]. تحقیقات نشان داد در ساختمان‌های مختلف به علت نامتناسب بودن آن نسبت به شرایط اقلیمی، جهت تابش خورشید و سرمایش، اتلاف انرژی زیادی صورت می‌گیرد. تاثیر عصر ارتباطات و صنعتی شدن جوامع بر فضاهای معماری کاملاً مشهود است، و هر روز فرم‌ها و طرح‌های متفاوتی را در معماری

شاهد هستیم. طرح‌ها و فرم‌هایی که شاید با توجه به یک‌سری شرایط و ضوابط و یا بدون توجه به شرایط خاص و صرفاً به علت فرم‌های جالب توجه یا تقلید صرف ساخته می‌شوند [۲۶]. همچنین، تاثیر مستقیم عناصر اقلیمی در شکل‌گیری موجودات، واقعیت شناخته شده‌ای است. در تاریخ طبیعی، قانون عمومی این است که فقط انواع و گونه‌هایی می‌توانند به حیات خود ادامه دهند که بتوانند خود را با محیط وفق دهند. با مصالح بافت خود هماهنگ شوند و با تمام نیروهای داخلی و خارجی که با آن روبه‌رو هستند سازگار شوند. در نتیجه، شکل ساختمان نیز می‌تواند تاثیر زیادی در هماهنگ ساختن ساختمان با شرایط اقلیمی، همچنین در تعدیل انتقال شرایط بحرانی هوای خارج به داخل ساختمان داشته باشد. به عنوان مثال در ساختمان‌های قدیمی که معمولاً پنجره‌های کوچکی دارند و به همین دلیل می‌توان نفوذ بسیار کم آفتاب به داخل آن‌ها را نادیده انگاشت: بهترین فرم ساختمان، فرمی است که کمترین مقدار حرارت را در زمستان از دست بدهد و در تابستان نیز، کمترین مقدار حرارت را از آفتاب و محیط اطراف دریافت کند. از این منظر، پلان مربع بهترین فرم ساختمان محسوب می‌شود. زیرا با وجود بیشترین حجم، کمترین سطح خارجی را دارد [۲۷]. از یک سو فرم و شکل ساختمان باید با اثرات مطلوب و یا نامطلوب حرارتی محیط مطابقت داشته باشد. بر این اساس، برخی از اشکال و فرم‌ها نسبت به برخی دیگر در مناطق مختلف ترجیح داده می‌شوند. فرم ساختمان تاثیر مهمی بر روی اتلاف حرارت ساختمان‌ها دارد. از سوی دیگر، ضریب انتقال حرارت کلی، مقدار اتلاف حرارت از طریق پوسته ساختمان را تعیین می‌کند. بنابر این، اتلاف حرارت برای فرم‌های ساختمانی مختلف باید در رابطه ضریب انتقال حرارتی پوسته ساختمان تعیین شود [۲۸]. امروزه طراحی همساز با اقلیم به شیوه غیرفعال یکی از راهکارهای مؤثر در دسترسی به ساختمان‌های کم‌مصرف از نظر سوخت فسیلی و کاهش آلودگی محیط‌زیست، محسوب می‌شود. هدف و رویکرد اصلی در چنین شرایطی حداقل استفاده از سامانه‌های مکانیکی و کاهش مصرف انرژی برای گرمایش، سرمایش و بهره‌گیری حداکثری انرژی تابشی است. پوسته خارجی ساختمان‌ها امکان تبادل انرژی حرارتی فضای کنترل شده داخل را با فضای کنترل نشده خارج ایجاد می‌کند [۲۹]. طراحی فرم ساختمان و چیدمان فضایی آن که بر اساس داده‌های اقلیمی و در جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی، به عنوان پاسخ‌های غیرفعال شناخته می‌شود [۱۴].

آسایش حرارتی:

آسایش حرارتی توسط هنسن به عنوان "حالتی که در آن هیچ انگیزه‌ای برای اصلاح محیط توسط رفتار وجود ندارد" تعریف شده است. انجمن مهندسين گرمایش، تبريد و تهویه مطبوع آمریکا (ASHRAE) آن را به عنوان "شرایط ذهنی که در آن

رضایت از محیط حرارتی ابراز می شود" تعریف کرده است [۳۰]. آسایش حرارتی شریای از ادراک است که در آن محیط از لحاظ حرارتی رضایت بخش باشد. ترکیب مطلوبی از دمای هوا، رطوبت نسبی، حرکت هوا و متوسط دمای تابشی محدوده مشخصی را ارایه می کند که اکثر افراد در آن احساس آسایش می کنند که این محدوده را زون یا منطقه آسایش می نامند [۳۱]. آسایش حرارتی به عنوان شریای تعریف می شود که در آن ذهن از شرایط حرارتی محیط احساس رضایت کند و همچنین در ترکیبی از حرارت، جریان هوا، رطوبت، لباس پوشیدن و متابولیک ریت بدن سنجیده می شود. این نوع از آسایش امری فردی است اما به طور عمومی در بازه دمایی ۲۴-۲۰ درجه سلسیوس در نظر گرفته می شود [۳۲]. آسایش حرارتی به رضایت کلی، رفاه و عملکرد کمک می کند. آسایش یک پارامتر مهم در فرآیند طراحی ساختمان است زیرا انسان مدرن بیشتر روز را در داخل خانه می گذراند [۳۳]. بنابر این آسایش حرارتی انسان نتیجه تعادل انرژی بین سطح بدن و محیط زیست است که بر فیزیولوژی، روانشناسی و رفتار انسان اثرگذار هستند [۳۴].

تخمین محدوده آسایش (PMV)

مدل میانگین رای پیش بینی شده (PMV) آسایش حرارتی که در اواخر دهه ۱۹۶۰ توسط فنگر ابداع شده در سراسر جهان جهت ارزیابی آسایش حرارتی استفاده می شود [۳۳]. فانگر محدوده آسایش را بر اساس محاسبه میزان تبادل حرارت بین بدن انسان و محیط ارائه کرد. از آنجائی که این روش، بسیاری از معیارهای آسایش را در بر دارد روش کاملی به حساب می آید. [۳۵]. فنگر یک فرمول ریاضی مربوط به آسایش حرارتی را با شش پارامتر ایجاد کرد: دمای هوا، دمای تابش، رطوبت نسبی، سرعت باد، مقاومت حرارتی لباس و فعالیت (روابط ۶-۱). در حالی که محققان پیشین صدها عامل تأثیرگذار را پیشنهاد کردند، فانگر تنها عوامل اصلی را انتخاب کرد که شامل نه تنها عوامل محیطی فیزیکی، بلکه پارامترهای فیزیولوژیکی انسان نیز می شد. مطالعه آسایش حرارتی را از تحقیقات کیفی به تحقیقات کمی تغییر داد [۳۶]. فنگر با مرتبط دانستن احساس گرما با توان فرد و بر اساس نتایج تجربی به دست آمده از آزمایش، معیاری را به عنوان درجه احساس تعریف کرد. این معیار به عنوان ضریب PMV نمایه آسایش نامیده شده است که نشان دهنده متوسط احساس یکسان چندین نفر از یک شرایط محیطی است [۳۷].

$$PMV = (0.303e - 0.036M + 0.028)(M - W) - H - Ec - Crec - Erec$$

رابطه ۱. معادله PMV

$$E = 3.05 \cdot 10^{-3} (256 tsk - 3373 - Pa) + E_{sw}$$

رابطه ۲. معادله فنگر ۱

$$Ec = 3.05 \cdot 10^{-3} [5733 - 6.99 \times (M - W) - Pa] + 0.42 (M - W - 58.15)$$

رابطه ۳. معادله فنگر ۲

$$Crec = 0.0014 M (34 - Ta)$$

رابطه ۴. معادله فنگر ۳

$$Erec = 1.72 \times 10^{-5} M (5867 - Pa)$$

رابطه ۵. معادله فنگر ۴

$$H = Kcl = tsk - tcl / Icl$$

رابطه ۶. معادله فنگر ۵

[۳۷]

به منظور سنجش احساس حرارتی هفت درجه متفاوتی که سازمان ASHRAE ارائه کرده، توسط فنگر مورد استفاده قرار گرفته است (جدول ۲):

جدول ۲. احساس حرارتی فنگر

ردیف	احساس	شاخص
۱	بسیار گرم	+۳
۲	گرم	+۲
۳	کمی گرم	+۱
۴	متعادل	۰
۵	کمی سرد	-۱
۶	سرد	-۲
۷	بسیار سرد	-۳

تأمین آسایش کاربر در فضای داخلی ساختمان، دارای جنبه های مختلفی است که از مهمترین آنها می توان به آسایش بصری نوری اشاره کرد. فراهم کردن شرایط نوری به گونه ای که آسایش بصری کاربران تأمین شود و پیام های دیداری به وضوح از محیط دریافت شوند، متأثر از عوامل مختلفی است که مقدار نور و نحوه توزیع آن، انعکاس های آزردهنده، درجه خیرگی و دمای رنگ نور از جمله آنهاست [۱۹]. در سال های اخیر بهره گیری از نور روز به مثابه یک استراتژی طراحی برای کاهش مصرف انرژی روشنایی، بهبود آسایش بصری و بهره وری کاربران در فضا توسعه یافته است. نور طبیعی و ارتباط بصری با محیط خارج در فضاهای زیستی انسان، اعم از محیط کار، تفریح، تحصیل و ...، علاوه بر افزایش کارایی و بازدهی، موجب کاهش اضطراب، بهبود رفتار، و نیز حفظ و افزایش سلامتی می شود [۳۸]. در طی دهه های

۳. روش شناسی

۳-۱. روش تحقیق

این تحقیق کاربردی و از نوع Theory Building یا نظریه-ساخت بوده و هدف آن ایجاد و تعریف نظریه‌های کمک طراحی می‌باشد. روش تحقیق توصیفی-تحلیلی و از نوع کمی بوده و همچنین داده‌های حاصل از مدلسازی با استفاده از تفسیر و مقایسه مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. داده‌های گردآوری شده از نمونه‌ها که از میان جامعه آماری ساختمان‌های اداری بزرگ مقیاس تهران گردآوری شده توسط نرم افزار Design Builder و پلاگین Honey Bee در Grasshopper و بر اساس ضوابط ویرایش چهارم مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان مورد مدل‌سازی انرژی قرار گرفته و در انتها و در راستای دستیابی به فرم شکلی بهینه، خروجی‌های مرتبط با آسایش حرارتی و نور روز بر مبنای مقررات مذکور توصیف و تفسیر شده‌اند. جهت گردآوری داده‌های مرتبط با فرم نمونه‌ها به پایگاه اینترنتی Google Maps مراجعه شده و اعتبارسنجی این داده‌ها بر اساس بازدید میدانی شکل گرفته است. جامعه آماری برابر با ساختمان‌های اداری بزرگ مقیاس شهر تهران بوده و نمونه‌گیری به صورت نظام دار و بر مبنای رده‌بندی بناها مندرج در مبحث ۱۹ (م.م.س) انجام شده است. اطلاعات کتابخانه‌ای مورد نیاز پژوهش از کتب و مقالات مرتبط و با مراجعه به بانک‌های اطلاعات علمی معتبر نظیر Elsevier, Scopus, Science Direct, SID, Magiran و از این دست، با استفاده از ابزار فیش‌برداری مدون گشته و ثبت و ضبط داده‌ها با استفاده از کامپیوتر صورت گرفته است. نهایتاً خروجی‌های نرم‌افزارهای شبیه‌سازی با استفاده از تفسیر و مقایسه با استانداردهای مبحث ۱۹ (م.م.س) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. از طرف دیگر، مطالعات در مورد هندسه شهری غالباً بر گونه‌شناسی‌های فرضی استوار بوده است، زیرا اینگونه گونه‌شناسی‌ها امکان ساده‌سازی فرم‌های پیچیده و کنترل محیط فیزیکی را که موجب تولید نتایجی واضح می‌گردند را فراهم می‌کنند [۴۴]. یکی از رایج‌ترین زمینه‌های مطالعات گونه‌شناسی، پرداختن به فرم‌های کلی ساختمان است. هدف از این مطالعات آگاهی یافتن نسبت به گوناگونی‌های ممکن در فرم عمومی ساختمان‌ها است [۲۹]. ساختمان‌ها برای ساده‌سازی تحقیق معمولاً به گروه‌های مختلف طبقه‌بندی می‌شوند. چنین طبقه‌بندی معمولاً بر اساس پارامترهای مربوط به ساختمان، مانند مساحت طبقه است. به عنوان مثال، اگر مساحت ساختمان از ۱۰۰ متر مربع تا ۴۰۰ متر مربع باشد، می‌توان آن را با توجه به فواصل [۲۰۰، ۱۰۰]، [۳۰۰، ۲۰۰] و [۴۰۰، ۳۰۰]، به ترتیب با کلمات کوچک، متوسط و بزرگ جایگزین کرد. بر این اساس، تمام ساختمان‌ها به سه گروه طبقه‌بندی می‌شوند: ساختمان‌های کوچک، ساختمان‌های متوسط و ساختمان‌های بزرگ؛ و در پی

آخر، شاخص‌های زیادی برای اندازه‌گیری نور روز در داخل فضا معرفی شده که میتوان آن‌ها را به دو دسته تقسیم کرد: ۱- شاخص‌های ایستا و ۲- شاخص‌های پویا. شاخص‌های ایستا تحت شرایط بیرونی مشخص و ثابت (آسمان ابری یا بدون ابر)، میزان روشنایی طبیعی را در فضای داخلی بیان می‌کنند. شاخص‌های پویا (شاخص‌های مبتنی بر اقلیم) یک مدل پیشبینی نور روز هستند که کمیت‌های مختلف روشنایی را با در نظر گرفتن وضعیت آسمان و موقعیت خورشید، براساس داده‌های اقلیمی، شبیه‌سازی و ارزیابی می‌کنند [۳۸]. همچنین، تابش خیره کننده توسط انجمن مهندسی روشنایی آمریکای شمالی (IESNA) به این صورت تعریف شده است: احساس ایجاد شده توسط درخشندگی در میدان بینایی در حدی که بیشتر از درخشندگی است که چشم‌ها با آن سازگار شده‌اند تا باعث آزار، ناراحتی یا از دست دادن عملکرد بینایی و دید شود [۳۹]. خیرگی زمانی اتفاق می‌افتد که چشم‌ها با یک روشنایی مشخصی سازگار شده‌اند، سپس نور آزاردهنده، منحرف و گاهی اوقات خیره کننده در داخل میدان بصری ظاهر می‌شود. خیرگی یک پدیده پیچیده است و رویکردهای متفاوتی در ارزیابی آن برای محاسبه قابلیت‌های ایجاد ناراحتی به کار گرفته شده‌اند.

کفایت نور روز فضایی (Spatial Daylight Autonomy)

این معیار درصدی از فضا که بالای حد روشنایی نور روز حداقل (۳۰۰ لوکس) را برای درصد حداقل زمان سال (۵۰٪ زمان اشغال فضا) نشان می‌دهد [۴۰]. این شاخص به صورت $sDA_{300/50\%}$ تعریف می‌گردد [۴۱]. این شاخص که نخستین بار توسط لیزا هشنونگ مطرح شد، هر دو ویژگی فضایی و زمانی عملکرد نور روز را در نظر می‌گیرد و همچنین یک شاخص منطقه‌ای است [۴۲].

احتمال خیرگی ناراحت کننده (DGP)

این شاخص از جمله پرکاربردترین شاخص‌های استاتیک برای تشخیص درجه آزار دهنده‌گی خیرگی در یک لحظه مشخص و برای یک زاویه دید معین است و مقادیر بیش از ۰/۴۵ برای این شاخص، وقوع خیرگی غیرقابل تحمل برای بیننده را نشان می‌دهد [۱۹]. برای تعیین خیرگی، فرمول DGP، ایلومینانس عمودی چشم را با عناصر شاخصه‌های خیرگی موجود، ترکیب می‌کند. در مقایسه با شاخصه‌های خیرگی موجود، DGP همبستگی بسیار قوی‌ای را با واکنش کاربران درباره درک خیرگی نشان می‌دهد [۴۳].

با توجه به اشاره مبحث ۱۹ به پارامترهای ۶ گانه تشکیل دهنده شاخص آسایش حرارتی فنگر (PMV) و همچنین تصریح بر شاخص کفایت نور روز فضایی (sDA) و احتمال خیرگی ناراحت کننده (DGP) برای آسایش نوری بصری، پارامترهای مذکور در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

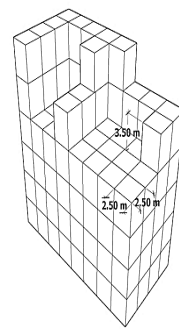
گرمایشی، سرمایشی، روشنایی، آب گرم مصرفی، تهویه و سایر تجهیزات مکانیکی و الکتریکی را به صورت دینامیک مدل سازی می کند و در نهایت مصرف سالانه، ماهانه و حتی روزانه ساختمان ها را در قالب جداول و نمودارها نمایش می دهد [۴۷]. این نرم افزار به خوبی جهت محاسبه میزان تابش مستقیم و پراکنده خورشید بر روی اجسام کالیبره شده است [۴۸]. همچنین در جهت مدل سازی شاخص احتمال خیرگی ناراحت کننده (DGP) از نرم افزار راینو، گرس هاپر به صورت الگوریتم های پارامتریک (شکل ۲) استفاده شده و در راستای بررسی شرایط محیطی به صورت سالانه، میانگین خیرگی فضای داخلی بر اساس شاخص مذکور توسط پلاگین هانی بی تحلیل و بررسی می شود. این شبیه سازی جهت طبقه پنجم (میانی) هر مدل، انجام گرفته است.

همچنین مدل سازی های نرم افزاری بر اساس حداقل الزامات عمومی ویرایش چهارم میحث نوزدهم (م.م.س) در رابطه با پوسته های نورگذر، غیرنورگذر و برنامه زمان بندی کاربری های اداری - با روش نیاز انرژی و در راستای دستیابی به رده انرژی منطبق بر مقررات ملی ساختمان (EC) (جدول ۳) و با استفاده از داده های اقلیمی ایستگاه مهرآباد شهر تهران انجام گرفته است. همچنین تنظیمات نرم افزارهای شبیه ساز در جدول شماره (۴) قابل مشاهده است.

۳-۳. اعتبارسنجی

از منظر اعتبارسنجی استفاده از این نرم افزارها نیز: حیدری و همکاران در مقاله علمی-پژوهشی تحت عنوان: اصول راهبردی طراحی فرم ساختمان مسکونی در بوشهر، مبتنی بر کاهش مصرف انرژی "با استفاده از این نرم افزار به بررسی فرم، شکل، هندسه و جزئیات ساختمان ها پرداخته و با تلفیق و تجمیع مدل های بهینه به تحلیل میزان کاهش مصرف انرژی پرداخته اند [۵۰]. صنایعیان و غرابی در مقاله علمی-پژوهشی با عنوان "مروری بر پارامترهای فرمی بلوک های شهری تأثیرگذار بر مصرف انرژی و جذب انرژی خورشیدی" به بررسی میزان مصرف انرژی ساختمان از نقطه نظر طراحی غیر فعال در مقیاس بلوک شهری و در مقیاس بنا پرداخته و با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر، اصلی ترین شاخص های مؤثر در مصرف انرژی ساختمان و پارامترهای فرمی تأثیر گذار بر جذب انرژی خورشیدی از دیدگاه پژوهشگران متعدد را مورد بررسی قرار داده اند [۵۱]. همچنین مداحی و توانایی در مقاله علمی-پژوهشی خود تحت عنوان "بهینه سازی عملکرد حرارتی جداره های خارجی یک ساختمان مسکونی میان مرتبه در اقلیم سرد و خشک با بهره گیری از نرم افزار شبیه ساز انرژی (نمونه موردی: شهر مشهد)" که در نشریه مهندسی مدیریت انرژی منتشر شده، با استفاده از نرم افزار دیزاین بیلدر به بررسی نحوه عملکرد حرارتی بلوک های سفالی، لیکا و AAC در جداره های آفتابگیر پرداخته اند

آن مطالعه بر روی هر گروه قابل انجام است [۴۵]. این پژوهش نیز در جهت ساده سازی از شکل هندسی کلی فرم بناها استفاده نموده و اشکال مستخرج را با استفاده از تکثیر و کنار هم قرار دادن مکعب هایی با طول و عرض ۲/۵ و ارتفاع ۳/۵ متر و به صورت مدولار باز ترسیم کرده است (شکل ۱). با توجه به تفاوت در مساحت ها و در راستای قرارگیری در دسته بزرگ مقیاس (از منظر میحث ۱۹)، ساختمان ها در ۱۰ طبقه مدل سازی شده اند. در ادامه و پس از شبیه سازی آسایش حرارتی و آسایش بصری نوری، فرم دارای عملکرد مناسب تر انتخاب شده و جهت ارتقاء عملکرد در چند نسبت ابعادی پیشنهادی مورد مدل سازی و شبیه سازی مجدد قرار گرفته است.



شکل ۱. روش مدل سازی مدولار

۳-۲. نرم افزارهای کامپیوتری

مدل سازی و شبیه سازی

نرم افزارهای شبیه ساز انرژی ساختمان، اساسا برای محاسبه و تعیین مصرف انرژی ساختمان در یک دوره مشخص و نیز تخمین پیک بارهای حرارتی سیستم های گرمایشی - سرمایشی و در نتیجه مطالعه کارایی انرژی ساختمان مورد استفاده قرار می گیرند. بدین ترتیب شبیه سازی می تواند از طریق مدل کردن راهبردهای مختلف، به کم شدن مصرف انرژی (قبل از ساخت آنها) کمک کند. در واقع روش دیگری غیر از این ابزار برای دستیابی به تکنیک های صرفه جویی انرژی در مرحله طراحی وجود ندارد. این تکنیک های معمارانه می توانند جهت، فرم ساختمان، نسبت بازشوها، سایه بان ها، تهویه طبیعی و غیره باشند [۷]. جهت مدل سازی کامپیوتری آسایش حرارتی (مدل فنگر) و شاخص کفایت نور روز فضایی (sDA) در این پژوهش از نرم افزار Design Builder V.6.0.1 استفاده شده است. این نرم افزار از موتور شبیه ساز انرژی پلاس بهره می برد [۴۶]. موتور انرژی پلاس توسط بخش انرژی آمریکا در سال ۲۰۱۱ توسعه یافته و بر اساس استانداردهای BESTEST و ASHRAE 14 مورد تایید واقع شده است. دیزاین بیلدر یکی از نرم افزارهای به روز و معتبر مدل سازی انرژی است که مصارف مختلف انرژی در ساختمان نظیر انرژی

مطالعه را توجیه پذیر می‌کند. نسخه چهارم مبحث ۱۹ (م.م.س)، ساختمان‌ها را با توجه به ۳ موضوع اصلی کاربری، شدت مصرف انرژی، و زیربنای خالص - تعداد طبقات رده‌بندی نموده و بر اساس این رده‌بندی، ساختمان‌های اداری بزرگ مقیاس شهر تهران در گروه "ب" قرار می‌گیرند. با توجه گستردگی شهر تهران، سعی شده تا تعداد ۱۰۰ بنای مشمول بند "ب" آئین نامه مذکور، به صورت نظام دار و از تمام مناطق ۲۲ گانه شهر تهران انتخاب و مورد مطالعه قرار گیرند. همچنین با توجه به حوزه اختیارات معماران و ابعاد ساختمان‌های مورد مطالعه، جهت پیش‌فرض‌های مدل‌سازی و تعیین استانداردهای هدف، از ضوابط روش "نیاز انرژی" مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان استفاده شده است. با توجه به این موضوع، سایر عوامل مؤثر در نتایج از جمله تاسیسات الکتریکی و مکانیکی در مدل‌سازی غیرفعال شده‌اند. همچنین با توجه به الزام این مبحث جهت کسب رده انرژی منطبق بر مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان (EC)، نتایج بر مبنای استاندارد این رده تفسیر گشته‌اند. از طرف دیگر، با توجه به تعدد در انواع و مؤلفه‌های اصلی و فرعی تشکیل دهنده فرم، در مرحله اول مؤلفه شکل هندسی و در مرحله دوم (بهینه‌سازی) مؤلفه فرعی نسبت ابعادی ردپای ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است. گونه‌های شکلی مورد نظر در راستای ساده‌سازی، پس از برداشت، توسط مکعب‌هایی با طول و عرض ۲/۵ و ارتفاع ۳/۵ متر به صورت مدولار مدل‌سازی شده و سپس جهت بررسی شاخص‌های SDA، PMV و DGP مورد شبیه‌سازی قرار گرفته‌اند.

۴. یافته‌ها

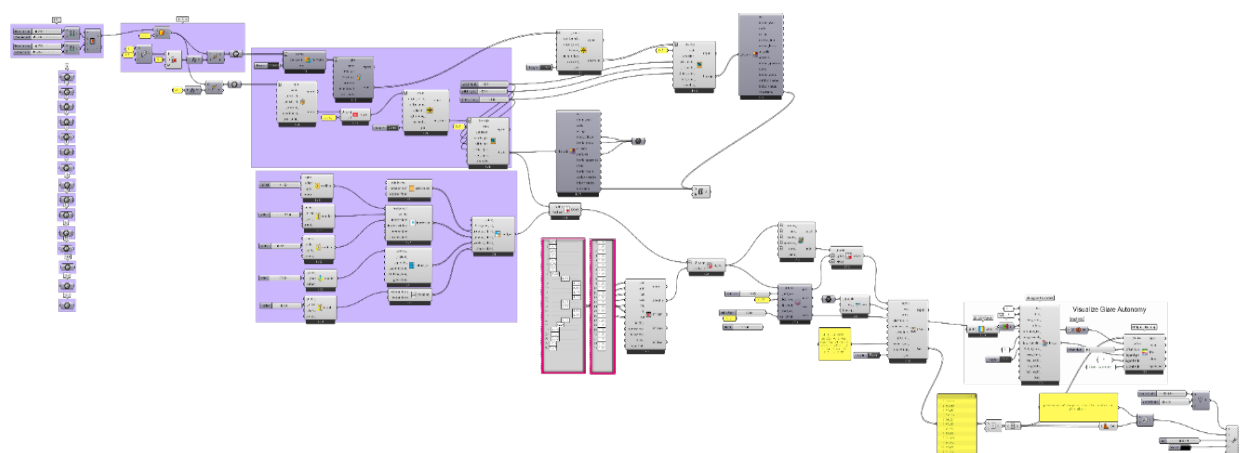
در ادامه و در جهت دسته‌بندی شکل هندسی فرم ساختمان‌های اداری بزرگ مقیاس شهر تهران، داده‌های ذیل حاصل شد (جدول ۵):

بر اساس جدول فوق، نمونه‌ها از منظر شکل کلی پلان (پاکت بنا) به ۱۴ دسته تقسیم شده و هر دسته با یکی از حروف

[۵۲]. همچنین صنیعیان و همکاران در پژوهشی تحت عنوان "تأثیر چگونگی هم‌جواری توده و فضا در بلوک‌های ساختمانی بر رفتار حرارتی درون بنا" با استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر، پس مطالعه میزان مصرف انرژی به ارزیابی میزان دسترسی به نور روز پرداخته‌اند [۵۳]. در پژوهشی دیگر، زارع مهذیه و همکاران در تحقیق خود تحت عنوان "بررسی کیفیت محیطی داخلی خانه‌های قاجاری شیراز با تأکید بر آسایش حرارتی و نور روز (نمونه موردی: خانه نعمتی)" با استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر به بررسی دقیق عناصر کیفیت محیطی داخلی، خصوصاً نور روز و آسایش حرارتی در این خانه‌ها و عوامل معماری تأثیرگذار بر عملکرد آن‌ها پرداخته‌اند [۵۴]. همچنین نشاط صفوی و همکاران در پژوهش خود با عنوان "بهینه‌یابی موقعیت بازشوها برای بهبود تهویه طبیعی، آسایش حرارتی و توزیع بهینه نور روز در شهر یزد" تأثیر مکان قرارگیری بازشوها بر چگونگی توزیع جریان هوای داخلی برای آسایش حرارتی کاربران و تهویه طبیعی و نیز چگونگی توزیع فاکتور نور روز در فضا و میزان pmv را در خانه نعمتی شیراز توسط نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر مورد بررسی قرار داده‌اند [۵۵].

۳-۴. جامعه آماری و نمونه موردی

شهر تهران به عنوان پایتخت کشور محل تجمع ساختمان‌های اصلی و مرکزی وزارت‌خانه‌ها، بانک‌ها، بیمه‌ها، و سایر نهادها از جمله مجتمع‌های قضائی و ساختمان‌های اداری نیروهای نظامی و غیره می‌باشد. با توجه به کاربری اداری این ساختمان‌ها و اینکه فعالیت در این کاربری‌ها در ساعات روز و در حضور تابش خورشیدی اتفاق می‌افتد، بدیهی است که عملکرد این بناهای بزرگ مقیاس در برابر تابش خورشیدی نقش زیادی در تعریف شرایط آسایش حرارتی و بصری نوری و به تبع آن بهره‌وری کاربران آن‌ها دارد. همچنین وجود پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی توسط بناهایی با فراوانی قابل توجه و مقیاس بالا، انتخاب این جامعه آماری جهت



شکل ۲. الگوریتم حل شاخص احتمال خیرگی ناراحت کننده نور روز (DGP)

جدول ۳. پارامترهای شبیه‌سازی

مقاومت حداقل لازم برای جدارهای خارجی ساختمان			ضریب انعکاس سطوح خارجی و داخلی برای شبیه‌سازی		
دیوار	۰/۵۰	خارجی	زمین	۰/۲	
	سطوح عمودی خارجی	۰/۳			
بام	۰/۷۰	داخلی	دیوار و سطوح عمودی	۰/۵	
	سقف	۰/۷			
کف در تماس با هوا	۰/۶۵	۰/۵	کف	۰/۲	
	مبلمان				
حداکثر نشت هوای مجاز تحت اختلاف ۵۰ پاسکال			پارامترهای بازتاب محیط		
EC	+ EC	** EC	ab	ad	dt
۳	۱/۵	۰/۷۵	۶	۱۰۰۰	۰

جدول ۴. جزئیات شبیه‌سازی

مدل‌سازی و شبیه‌سازی بر اساس حداقل الزامات عمومی نسخه چهارم مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان با روش نیاز انرژی و در راستای دستیابی به رده انرژی منطبق بر مقررات ملی ساختمان (EC) انجام شده است.				
Building (U-Values)	External Wall	Flat Roof	Window to Wall 40%	
	0.5	0.65	(Heigh: 1.5m - Sill: 1.1m - Spacing: 5m) 3.41	
Glazing	SHGc	Ligh Transition	Dubble Glazing Blue 6mm/6mm air with Divider	
		0.486	0.505	
Software	Name	Version	Simulation Engine	
	Design Builder	V6.1.0.6	Energy Plus: 8.9	
	Rhino-Grasshopper	7.0	Honey Bee 1.7	
Solar Radiation	Distribution	Shadow Calculation Method	Shadow Interval (Days)	Sky Diffuse Modeling Algorithm
	Full Exterior	Average Over Days in Frequency	20	Simple Sky Diffuse Modelling
Daylight	Simulation Type	Detail Template	Sky Method	Sky Model
	(General (Annual	Accurate	Standard Sky	CIE Clear Day
	Working Plane Height	Margin	Min Grid Size	Max Grid Size
	0.76m	0.5m	0.5m	0.5m

لاتین (از A تا N) نام گذاری شده اند.

احتمال خیرگی ناراحت کننده (DGP) به همراه تصاویر نقشه توزیع موارد مذکور در جدول شماره (۷) دسته‌بندی و ارائه شده است:

جهت یافتن گونه بهینه زیر مجموعه نمونه شکلی K، ۳ مدل پیشنهادی ارائه گردید. نتایج کمی شبیه سازی آسایش حرارتی بر مبنای شاخص PMV، تعداد ماه‌های آسایش و همچنین نسبت ابعادی فرم‌های مذکور در جدول شماره (۸) قابل مشاهده است.

مقادیر کمی و نمودارهای شاخص‌های کفایت نور روز فضایی

دسته‌بندی داده‌های کمی حاصل از شبیه سازی آسایش حرارتی فنگر مدل‌های ۱۴ گانه بر اساس نام‌گذاری، مقدار فراوانی، نمودار میانگین و سالانه شاخص PMV و همچنین تعداد ماه‌های قرار گیری در بازه مناسب آسایش ($PMV \leq +0.5$ و $-0.5 \leq PMV$) در جدول شماره (۶) قابل مشاهده است.

نتایج شبیه سازی شاخص‌های کفایت نور روز فضایی (sDA) و

جدول ۵. گونه های ۱۴ گانه

گونه	شکل	فراوانی	گونه	شکل	فراوانی
A		38	H		2
B		31	I		2
C		7	J		1
D		6	K		1
E		3	L		1
F		3	M		1
G		3	N		1

(sDA) و احتمال خیرگی ناراحت کننده (DGP) به همراه مدل ۳ بعدی فرم‌های پیشنهادی در جدول شماره (۹) ارائه شده است.

۵. بحث و نتیجه گیری

۵-۱. بحث در نتایج

این گونه‌های ۱۴ گانه از منظر مدل آسایش حرارتی فنجر (جدول ۶) و آسایش بصری نوری (جدول ۷) مورد مدلسازی قرار گرفته اند. بر اساس اطلاعات این جداول و استاندارد مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان (جدول ۱۰)، وضعیت گونه‌های شکلی مختلف از منظر شاخص‌های PMV، sDA و DGP به شرح ذیل است:

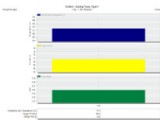
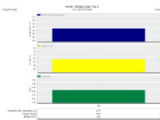
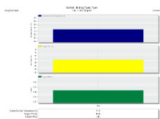
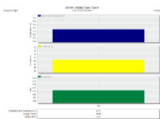
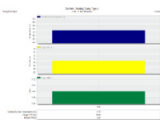
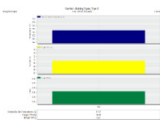
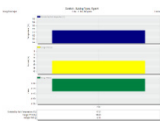
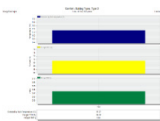
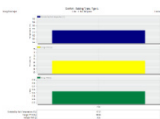
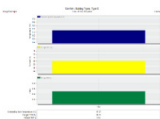
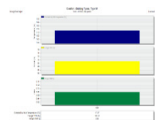
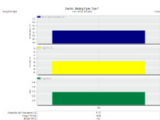
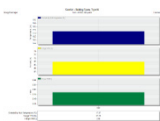
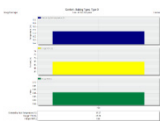
A: این گونه بیشترین فراوانی را با عدد ۳۸ به خود اختصاص داده است. شرایط محیط داخلی این گونه از ساختمان در ماه نوامبر با مقدار شاخص PMV برابر ۰/۵ در بازه آسایش حرارتی مقیاس فنجر قرار دارد. این گونه از فرم که از هندسه مستطیل شکل بهره می‌برد با تامین ۱۰۰ درصدی فاکتور sDA توان تامین روشنایی طبیعی مناسب را جهت ۱۰۰ درصد از مساحت خود در طول سال دارا بوده و با کسب شاخص DGP برابر ۲۷/۳۵ درصد توانسته در بازه "عدم وجود خیرگی" مبحث ۱۹ قرار گیرد.

B: این گونه از فرم با شکل هندسی مربع و با ۳۱ بار تکرار در رتبه دوم فراوانی قرار گرفته است. شرایط محیط داخلی این گونه از ساختمان در هیچ یک از ماه‌های سال در بازه آسایش حرارتی مقیاس فنجر قرار ندارد. این گونه شکلی با تامین ۱۰۰ درصدی فاکتور sDA توان تامین روشنایی طبیعی مناسب را جهت ۱۰۰ درصد از مساحت خود در طول سال دارا بوده و با کسب شاخص DGP برابر ۲۴/۲۸ درصد توانسته در بازه "عدم وجود خیرگی" مبحث ۱۹ قرار گیرد.

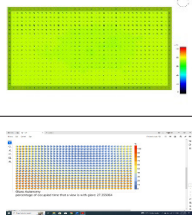
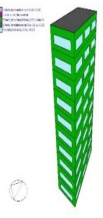
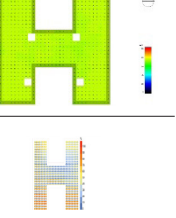
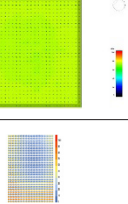
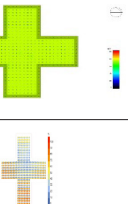
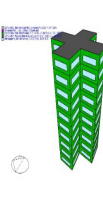
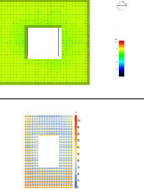
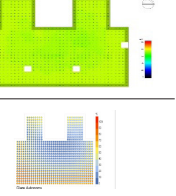
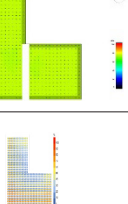
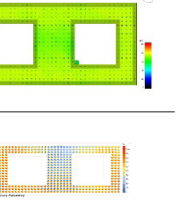
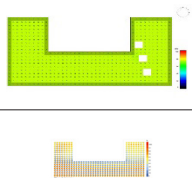
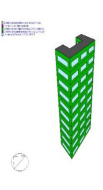
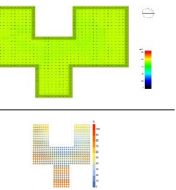
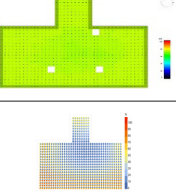
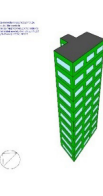
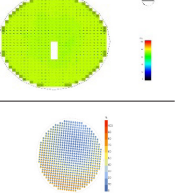
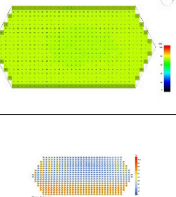
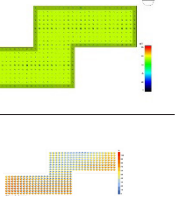
C: در میان نمونه‌ها این گونه دارای ۷ تکرار است. شاخص PMV فضای داخلی آن در ماه اکتبر با عدد ۰/۴۳ در محدوده آسایش قرار گرفته است. این گونه از فرم که از هندسه مربع شکل دارای حیاط مرکزی بهره می‌برد با تامین ۱۰۰ درصدی فاکتور sDA توان تامین روشنایی طبیعی مناسب را جهت ۱۰۰ درصد از مساحت خود در طول سال دارا بوده و با کسب شاخص DGP برابر ۳۱/۴۵ درصد توانسته در بازه "عدم وجود خیرگی" مبحث ۱۹ قرار گیرد.

D: شرایط محیط داخلی این گونه از ساختمان با فراوانی ۶ در هیچ یک از ماه‌های سال در بازه آسایش حرارتی مقیاس فنجر قرار ندارد. این گونه از فرم که از هندسه L شکل بهره می‌برد

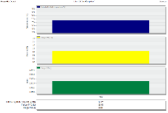
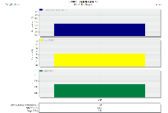
جدول ۶. نتایج شبیه‌سازی سالانه آسایش حرارتی فنجر در نمونه‌ها

تعداد ماه‌های در بازه	مقدار و نمودار میانگین سالانه شاخص PMV	تکرار	گونه	تعداد ماه‌های در بازه	مقدار و نمودار میانگین سالانه شاخص PMV	تکرار	گونه
1	 0.30	2	H	1	 0.63	38	A
0	 0.47	2	I	0	 0.70	31	B
0	 0.38	1	J	0	 0.25	7	C
2	 -0.11	1	K	0	 0.63	6	D
0	 0.35	1	L	0	 0.43	3	E
0	 0.68	1	M	0	 0.52	3	F
0	 0.49	1	N	0	 0.64	3	G

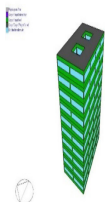
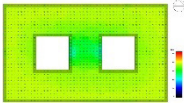
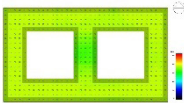
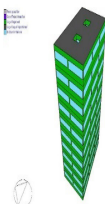
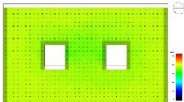
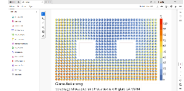
جدول ۷. نتایج شبیه‌سازی شاخص‌های نور روز و خیرگی در نمونه‌ها

گونه	نقشه توزیع نور روز (بالا) و خیرگی (پایین)	مقدار %	تصویر مدل	گونه	نقشه توزیع نور روز (بالا) و خیرگی (پایین)	مقدار %	تصویر مدل
A		۱۰۰ ۲۷/۳۵		H		۱۰۰ ۳۵/۰۰	
B		۱۰۰ ۲۴/۲۸		I		۱۰۰ ۳۸/۱۰	
C		۱۰۰ ۳۱/۴۵		J		۱۰۰ ۲۵/۳۴	
D		۱۰۰ ۳۱/۸۹		K		۱۰۰ ۴۵/۷۲	
E		۱۰۰ ۴۰/۷۶		L		۱۰۰ ۳۶/۶۹	
F		۱۰۰ ۲۶/۲۶		M		۱۰۰ ۲۴/۳۹	
G		۱۰۰ ۲۸/۴۷		N		۱۰۰ ۴۱/۹۶	

جدول ۸. نتایج شبیه‌سازی سالانه آسایش حرارتی فنر در مدل‌های پیشنهادی

نسبت عرض هسته به پوسته	تعداد ماه‌های دارای آسایش حرارتی ($pmv \leq +0.5 \geq -0.5$)	مقدار و نمودار میانگین سالانه شاخص PMV	گونه
۲:۱	2	 0.01	K1
۱:۱	2	 -0.15	K2
۱:۲	1	 0.19	K3

جدول ۹. نتایج شبیه‌سازی شاخص‌های نور روز و خیرگی در مدل‌های پیشنهادی

تصویر مدل	مقدار %	نقشه توزیع نور روز (بالا) و خیرگی (پایین)	گونه
	۱۰۰		K1
	۲۴/۲۸		
	۱۰۰		K2
	۵۳/۸۰		
	۱۰۰		K3
	۲۴/۷۳		

جدول ۱۰. مقادیر استاندارد شاخص ها بر اساس مبحث ۱۹

شاخص sDA برای رده های مختلف انرژی	
شاخص sDA	رده انرژی
$sDA > 55 \geq 75$	EC
$sDA > 75 \geq 85$	* EC
$sDA > 85 \geq 95$	** EC
مقادیر شاخص خیرگی DGP	
$DGP \geq 0.34$	عدم وجود خیرگی
$DGP > 0.34 \geq 0.38$	خیرگی قابل درک
$DGP > 0.38 \geq 0.45$	خیرگی آزاردهنده
$DGP > 0.45$	خیرگی غیر قابل تحمل

جدول ۱۱. شرایط آسایش حرارتی و بصری نوری نمونه ها بر اساس شاخص های PMV، DGP و sDA

گونه	PMV (Year)	PMV Months	% sDA	% DGP	گونه	PMV (Year)	PMV Months	% sDA	% DGP
A	0.63	1	100	27.35	H	0.30	1	100	35.00
B	0.70	0	100	24.28	I	0.47	0	100	38.10
C	0.25	0	100	31.45	J	0.38	0	100	25.34
D	0.63	0	100	31.89	K	-0.11	2	100	45.72
E	0.43	0	100	40.76	L	0.35	0	100	36.69
F	0.52	0	100	26.26	M	0.68	0	100	24.39
G	0.64	0	100	28.47	N	0.49	0	100	41.96

توان تامین روشنایی طبیعی مناسب را جهت ۱۰۰ درصد از مساحت خود در طول سال دارا بوده و با کسب شاخص DGP برابر ۲۶/۲۶ درصد توانسته در بازه "عدم وجود خیرگی" مبحث ۱۹ قرار گیرد.

G: گونه مذکور دارای هندسه شش گوشه کشیده بوده و ۳ مرتبه در نمونه ها تکرار شده است. شرایط محیط داخلی این گونه از ساختمان در هیچ یک از ماه های سال در بازه آسایش حرارتی مقیاس فنگر قرار ندارد. این گونه از فرم با تامین ۱۰۰ درصدی فاکتور sDA توان تامین روشنایی طبیعی مناسب را جهت ۱۰۰ درصد از مساحت خود در طول سال دارا بوده و با کسب شاخص DGP برابر ۲۸/۴۷ درصد توانسته در بازه "عدم وجود خیرگی" مبحث ۱۹ قرار گیرد.

H: در میان نمونه ها این گونه دارای ۲ تکرار است. شاخص PMV فضای داخلی آن در ماه اکتبر با عدد ۰/۴۵ در محدوده آسایش حرارتی مقیاس فنگر قرار گرفته است. این گونه از فرم که

با تامین ۱۰۰ درصدی فاکتور sDA توان تامین روشنایی طبیعی مناسب را جهت ۱۰۰ درصد از مساحت خود در طول سال دارا بوده و با کسب شاخص DGP برابر ۳۱/۸۹ درصد توانسته در بازه "عدم وجود خیرگی" مبحث ۱۹ قرار گیرد.

E: شرایط محیط داخلی این گونه از ساختمان با فراوانی ۳ در هیچ یک از ماه های سال در بازه آسایش حرارتی مقیاس فنگر قرار ندارد. این گونه از فرم که از هندسه U شکل بهره می برد با تامین ۱۰۰ درصدی فاکتور sDA توان تامین روشنایی طبیعی مناسب را جهت ۱۰۰ درصد از مساحت خود در طول سال دارا بوده و با کسب شاخص DGP برابر ۴۰/۷۶ درصد در بازه "خیرگی آزاردهنده" مبحث ۱۹ قرار می گیرد.

F: شرایط محیط داخلی این گونه از ساختمان با فراوانی ۳ در هیچ یک از ماه های سال در بازه آسایش حرارتی مقیاس فنگر قرار ندارد. این گونه از فرم با تامین ۱۰۰ درصدی فاکتور sDA

قرار ندارد. این گونه با تامین ۱۰۰ درصدی فاکتور sDA توان تامین روشنایی طبیعی مناسب را جهت ۱۰۰ درصد از مساحت خود در طول سال دارا بوده و با شاخص DGP برابر ۴۱/۹۶ درصد در بازه "خیرگی آزاردهنده" مبحث ۱۹ قرار گیرد.

از یک طرف، عملکرد نامناسب گونه K در تامین آسایش بصری (با توجه به شاخص DGP بالا) و همچنین تامین مناسب شرایط آسایش حرارتی نسبت به سایر گونه‌ها قابل مشاهده است. از طرف دیگر تفاوت قابل توجه و بالای هزینه‌های اقتصادی و زیست محیطی تامین بارهای سرمایشی و گرمایشی جهت ایجاد آسایش حرارتی نسبت به راه کارهای معمارانه رایگان جهت تامین آسایش بصری نوری در مرحله طراحی بنا موجب شده تا گونه شکلی K حفظ شده و اصلاح وضعیت شاخص DGP در این گونه مورد مطالعه قرار گیرد. در ادامه سعی شده تا جهت بهینه‌سازی این گونه شکلی و دستیابی به آسایش بصری نوری، به بررسی چند زیرگونه پیشنهادی با تناسب مختلف ابعادی اقدام گردد:

K1: شاخص PMV فضای داخلی آن در ۲ ماه اکتبر و می به ترتیب با اعداد ۰/۲۸ و ۰/۴۹ در محدوده آسایش حرارتی مقیاس فنگر قرار گرفته است. این زیرگونه از K با تامین ۱۰۰ درصدی فاکتور sDA توان تامین روشنایی طبیعی مناسب را جهت ۱۰۰ درصد از مساحت خود در طول سال دارا بوده و با کسب شاخص DGP برابر ۲۴/۲۸ درصد در توانسته در بازه "عدم وجود خیرگی" مبحث ۱۹ قرار گیرد.

K2: شاخص PMV فضای داخلی آن در ۲ ماه اکتبر و می به ترتیب با اعداد ۰/۱۲ و ۰/۳۰ در محدوده آسایش حرارتی مقیاس فنگر قرار گرفته است. این زیرگونه از K با تامین ۱۰۰ درصدی فاکتور sDA توان تامین روشنایی طبیعی مناسب را جهت ۱۰۰ درصد از مساحت خود در طول سال دارا بوده و با کسب شاخص DGP برابر ۵۳/۸۰ درصد در بازه "خیرگی غیرقابل تحمل" مبحث ۱۹ قرار می‌گیرد.

K3: شاخص PMV فضای داخلی آن تنها در ماه اکتبر و با عدد ۰/۴۳ در محدوده آسایش حرارتی مقیاس فنگر قرار گرفته است. این زیرگونه از K با تامین ۱۰۰ درصدی فاکتور sDA توان تامین روشنایی طبیعی مناسب را جهت ۱۰۰ درصد از مساحت خود در طول سال دارا بوده و با کسب شاخص DGP برابر ۲۴/۷۳ درصد در توانسته در بازه "عدم وجود خیرگی" مبحث ۱۹ قرار گیرد.

۵-۲. نتیجه‌گیری

شهر تهران به عنوان پایتخت ایران محل استقرار وزارتخانه‌ها، مجتمع‌های قضایی، ادارات کل، ساختمان‌های مرکزی بانک‌ها و بیمه‌ها و غیره با مقیاس بزرگ می‌باشد. بررسی جداول نشان می‌دهد، تایپولوژی فرم این ساختمان‌ها که دارای کاربری اداری

از هندسه H شکل بهره می‌برد با تامین ۱۰۰ درصدی فاکتور sDA توان تامین روشنایی طبیعی مناسب را جهت ۱۰۰ درصد از مساحت خود در طول سال دارا بوده و با کسب شاخص DGP برابر ۳۵/۰۰ درصد توانسته در بازه "خیرگی قابل درک" مبحث ۱۹ قرار گیرد.

I: شرایط محیط داخلی این گونه از ساختمان با فراوانی ۲ در هیچ یک از ماه‌های سال در بازه آسایش حرارتی مقیاس فنگر قرار ندارد. این گونه از فرم با شکل صلیبی با تامین ۱۰۰ درصدی فاکتور sDA توان تامین روشنایی طبیعی مناسب را جهت ۱۰۰ درصد از مساحت خود در طول سال دارا بوده و با کسب شاخص DGP برابر ۳۸/۱۰ درصد در بازه "خیرگی آزاردهنده" مبحث ۱۹ قرار می‌گیرد.

L: شرایط محیط داخلی این گونه از ساختمان با فراوانی ۱ در هیچ یک از ماه‌های سال در بازه آسایش حرارتی مقیاس فنگر قرار ندارد. این گونه شکلی با تامین ۱۰۰ درصدی فاکتور sDA توان تامین روشنایی طبیعی مناسب را جهت ۱۰۰ درصد از مساحت خود در طول سال دارا بوده و با کسب شاخص DGP برابر ۲۵/۳۴ درصد توانسته در بازه "عدم وجود خیرگی" مبحث ۱۹ قرار گیرد.

K: در میان نمونه‌ها این گونه دارای ۱ تکرار است. شاخص PMV فضای داخلی آن در ۲ ماه اکتبر و می به ترتیب با اعداد ۰/۱۷ و ۰/۳۳ در محدوده آسایش حرارتی مقیاس فنگر قرار گرفته است. این گونه از فرم با هندسه مستطیل شکل که دارای ۲ حیاط مرکزی می‌باشد، با تامین ۱۰۰ درصدی فاکتور sDA توان تامین روشنایی طبیعی مناسب را جهت ۱۰۰ درصد از مساحت خود در طول سال دارا بوده و با کسب شاخص DGP برابر ۴۵/۷۲ درصد در بازه "خیرگی غیرقابل تحمل" مبحث ۱۹ قرار گیرد.

M: شرایط محیط داخلی این گونه از ساختمان با فراوانی ۱ در هیچ یک از ماه‌های سال در بازه آسایش حرارتی مقیاس فنگر قرار ندارد. این گونه شکلی با تامین ۱۰۰ درصدی فاکتور sDA توان تامین روشنایی طبیعی مناسب را جهت ۱۰۰ درصد از مساحت خود در طول سال دارا بوده و با کسب شاخص DGP برابر ۳۶/۶۹ درصد توانسته در بازه "خیرگی قابل درک" مبحث ۱۹ قرار گیرد.

N: شرایط محیط داخلی این گونه از ساختمان با فراوانی ۱ در هیچ یک از ماه‌های سال در بازه آسایش حرارتی مقیاس فنگر

- Optimizing the form with the aim of achieving high-performance building in future cities (Case study: large-scale office buildings in Tehran). JFCV 2024; 5 (1): 23-43.
5. Hong, T., D'Oca, S., Taylor-Lange, S. C., Turner, W. J. N., Chen, Y., & Corgnati, S. P. (2015). An ontology to represent energy-related occupant behavior in buildings. Part II: Implementation of the DNAS framework using an XML schema. *Building and Environment*, 94, 196-205.
 6. Zhang, Ji., Xu, Le., Shabunko, Veronika., Tay, Stephen En Rong., Sun, Huixuan., Lau, Stephen Siu Yu & Reindl, Thomas. (2019). "Impact of urban block typology on building solar potential and energy use efficiency in tropical high-density city." *Applied Energy* 240: 513-533.
 7. Ansarimanesh, M., Nasrollahi, N., & Mahdavinnejad, M. J. (2019). Determination of the Optimal Orientation in the Cold Climate Administrative Buildings; Case Study: Kermanshah. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 12(27), 1-9.
 8. Won, Chung Yeon., No, Sang Tae., Alhadidi, Qamar. (2019). Factors Affecting Energy Performance of Large-Scale Office Buildings: Analysis of Benchmarking Data from New York City and Chicago. *Energies*, 12(24), 4783. MDPI AG.
 9. Tibermacine, I. and N. Zemmouri. (2017). "Effects of building typology on energy consumption in hot and arid regions." *Energy Procedia* 139: 664-669.
 10. Li, D. H. ., & Lam, J. C. (2000). Solar heat gain factors and the implications to building designs in subtropical regions. *Energy and Buildings*, 32(1), 47-55.
 11. Taleb, S., Yeretizian, A., Jabr, R. A., & Hajj, H. (2019). Optimization of building form to reduce incident solar radiation. *Journal of Building Engineering*, 101025.
 12. Shafiei, M., Fayaz, R., Heidari, S. (2014). The appropriate form of tall building for receiving solar energy in Tehran. *NECjournals* 16(4): 47-60.
 13. Catalina, Tiberiu., Virgone, Joseph., Iordache, Vlad. (2011). Study on the impact of the building form on the energy consumption. *Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association*, 1726-1729.
 14. Yeang, K. (2006). *EcoDesign : A manual for ecological design*. John Wiley & Sons.

می‌باشند از منظر شکل هندسی غالباً در ۱۴ دسته قرار می‌گیرد. نحوه دریافت حرارت خورشیدی (SH) و امواج مرئی (sDA-DGP) توسط هر یک از این گونه‌ها با توجه به رفتار آن در برابر تابش خورشیدی متفاوت بوده و در جدول شماره (۱۱) قابل مشاهده است:

بر اساس این جدول گونه K با دارا بودن شکل هندسی مستطیل به همراه دارای ۲ حفره میانی از منظر شاخص آسایش حرارتی PMV بهترین و از منظر شاخص DGP به عنوان معیار خیرگی در آسایش بصری نوری دارای بدترین عملکرد می‌باشد. قابل ذکر است که اینگونه از منظر شاخص sDA دارای عملکردی مناسب است.

گونه پیشنهادی K1: با توجه به جدول شماره (۱۲) و بر اساس نسخه چهارم مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، این زیرگونه علی‌رغم اینکه ۱۰ ماه در بازه آسایش حرارتی مدل فنگر قرار ندارد، اما با تامین شرایط آسایش حرارتی در ۲ ماه دیگر سال، از یک طرف و همچنین دارا بودن پتانسیل ۱۰۰ درصدی تامین شاخص sDA و قرارگیری در بازه عدم خیرگی از منظر شاخص DGP، از طرف دیگر، دارای عملکردی مناسب است.

جدول ۱۲. شرایط آسایش حرارتی و بصری نوری مدل‌های پیشنهادی بر اساس شاخص‌های PMV، DGP و sDA

گونه	PMV (Year)	PMV Months	% sDA	% DGP
K1	0.01	2	100	24.28
K2	-0.15	2	100	53.80
K3	0.19	1	100	24.73

References

1. Haerizadeh, s.m.s., Ghomeishi, M. (2021). Effective environmental factors in the design of office buildings. *Shebak* (60): 73-82.
2. Mohammadi, A., Ayatollahi, S. M. H., & Mousavi, S. M. (2023). Improving Iranian National Standard (INS) Indices for building energy performance through comparing with LEED Standard: Case Study of Office Buildings in Tehran. *Journal of Architecture in Hot and Dry Climate*, 10(16), 113-129.
3. Jalaeian Ghane, N., & Aeni, S. (2023). Study the effect of the Second Facade and its geometry on daylight control in office spaces (modeling and Daylight analysis by Diva software). *Architectural Technologies Studies*, 4(2): 73-94.
4. Mostafavi A, Soheili J, Pour Dehghan H.

- Based on Solar Radiation in Tehran. *Journal of Studies of Human Settlements Plannings*. (15)4: 1175-1188.
26. Ahmadzadeh Sorkhkalaei M, kord Jamshidi M. (2019). Studying the influential factors in the formation of sustainable architecture with emphasis on the form of building (Case Study: Savadkouh city). *IJE*; 21 (4) :53-74.
 27. Kasmaei, M. (2016). *Climate and Architecture: (V8)*. Isfahan: Khak, 304 pp.
 28. Shiri T, Didehban M, Taban M. (2020). Effect of Form on Shading amount and heat Absorption in Domes of YAZD AB ANBARS. *Jria*; 7 (4) :75-92.
 29. Mokhtari, L., Mahdavinejad, M., Kariminia, S., Kianersi, M.. (2019). The Effect of General Form and Relative Compactness of Tehran Residential Buildings on Pollution Resulted from Heating in Winter Season. *Journal of Environmental Studies* 45(2): 253-268.
 30. Djongyang, N., Tchinda, R., & Njomo, D. (2010). Thermal comfort: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(9), 2626–2640.
 31. Haji Azimi, Ehsan, Khavaanin, Ali, Aghajani, Majid, Soleimanian, Ardalan. (2013). Calculation of thermal stress based on the WBGT index in the metal smelting industry. *Journal of Military Medicine*, 13(48): 59-64.
 32. Kasteren, Y. v., Champion, S., & Perimal-Lewis, L. (2019). Thermal comfort and physical activity in an office setting. Paper presented at the Proceedings of the Australasian Computer Science Week Multiconference, Sydney, NSW, Australia.
 33. Van Hoof, J. (2008). Forty years of Fanger's model of thermal comfort: comfort for all? *Indoor Air*, 18(3), 182–201.
 34. Fallah Ghalhari G, Mayvaneh F, Shakeri F. Evaluation of thermal comfort and human health using Universal Thermal Climate Index (UTCI) Case Study: Kurdistan province. *ijhe* 2015; 8 (3) :367-378
 35. Sadeghi Ravesh, Mohamadhasan, Tabatabaiea, S.Mahdi. (2009). Determining the range of thermal comfort in dry weather conditions (case study: Yazd city). *Hoviat E Shahr*, 3(4): 39.
 36. Zhao, Q., Lian, Z., & Lai, D. (2020). Thermal Comfort models and their developments: A review. *Energy and Built Environment*.
 15. Saadatjoo P, Saligheh E. (2021). The Role of Buildings Distribution Pattern on Outdoor Airflow and Received Daylight in Residential Complexes; Case study: Residential Complexes in Tehran. *Naqshejahan*; 11 (3) :67-92.
 16. Wang, W., Rivard, H., & Zmeureanu, R. (2006). Floor shape optimization for green building design. *Advanced Engineering Informatics*, 20(4), 363–378.
 17. Okeil, A. (2004). In search for energy efficient urban forms: the residential solar block. *Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings Proceedings*, Toronto, ON, Canada.
 18. Malek, A., & Talaei, A. (2023). A Comparative Study of Kinetic Facades of Office Buildings in Tehran Based on the Visual Comfort with (sDG) and (DGP) indices. *Architectural Technologies Studies*, 5(3): 85-102.
 19. Shafavi Moqaddam, N., Tahsil-doust, M., & Zomorodiyan, Z. (2022). Evaluating the Effectiveness of Daylight Performance Metrics in Predicting Visual Comfort Case Study: Educational Architecture Design Studios in Tehran. *Journal of Iranian Architecture Studies*, 8(16), 205-228.
 20. Jaberi, A., & Gharibpour, A. (2023). Evaluation of the shape plan, orientation, and ceiling height on daylight performance of tall office buildings in Tehran, Iran. *Journal of Architectural Thought*, 7(13).
 21. Okeil, A. (2010). "A holistic approach to energy efficient building forms." *Energy and Buildings* 42(9): 1437-1444.
 22. Jalali, Z., Noorzai, E., & Heidari, S. (2019). Design and optimization of form and façade of an office building using the genetic algorithm. *Science and Technology for the Built Environment*, 1–41.
 23. Ratti, C., et al. (2003). "Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate." *Energy and Buildings* 35(1): 49-59.
 24. Taleghani, M., et al. (2013). "Energy use impact of and thermal comfort in different urban block types in the Netherlands." *Energy and Buildings* 67: 166-175.
 25. Akbari, H., Ebrahimi, E. (2020). Climatic Design of Form, Aspect Ratio and Building's Orientation

- 100, 412-422.
47. Farrokhi, M., Izadi, M. S., & Karimi Moshaver, M. (2022). Analysis of Energy Efficiency of Urban Fabrics in the Hot and Dry Climates, Case Study: Isfahan. *Journal of Iranian Architecture Studies*, 7(13), 127-147.
 48. Blanco, J. M., Buruaga, A., Rojí, E., Cuadrado, J., Pelaz, B. (2016). Energy assessment and optimization of perforated metal sheet double skin façades through Design Builder; A case study in Spain. *Energy and Buildings*, 111, 326-336.
 49. Office of National Building Regulations (ONBR). (2020). Topic 19 energy saving. Tehran: Tose-eye Iran.
 50. Heydari, E., Mehdinezhad, J., Doulabi, P. (2022). Strategic Principles of Designing the form of a Residential Building in Bushehr Based on Reducing Energy Consumption. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 18(4), 345-361. doi: 10.48301/kssa.2022.306864.1761.
 51. Sanaieian, H., & Ghorabi, S. F. (2020). Review of the Impact of Urban Block Form on Energy Demand and Solar Access. *Journal of Sustainable Architecture and Urban Design*, 7(2), 23-36. doi: 10.22061/jsaud.2019.4753.1418.
 52. Madahi, S.M., Tavaniaee, F. (2019). Optimization of thermal performance of external walls of residential building in cold and dry climate by Utilizing the Energy Simulation Software (Case Study: Mashhad, Iran). *JOURNAL OF ENERGY MANAGEMENT*, 9(3), 108-121.
 53. Sanayeayan, H., Mehdizadeh Seraj, F., Nasrollahi, F., & Mofidi Shemirani, S. M. (2013). The Impact of Adjacencies on Interior Thermal Behavior. *Soffeh*, 23(4), 35-46.
 54. Zare Mohazzabieh, A., Heydari, S., & Shahcheraghi, Azadeh. (2020). Indoor Environmental Quality in Qajar Houses of Shiraz with an emphasis on Thermal Comfort and Daylighting (case study: Nemati House). *Journal of Architecture in Hot and Dry Climate*, 7(10), 269-291.
 55. Neshat Safavi, S.H., Zolfagharzadeh, H., Mafi, M., & Esfandiari, A. (2022). Optimization the Position of the Windows for Improved Natural Ventilation, Thermal Comfort and Daylight in Yazd City. *Karafan Quarterly Scientific Journal*, 18(4), 395-410.
 37. Najafi, S.M.A., Najafi, Najmeh. (2012). Investigation of thermal comfort using PMV and PPD methods. *Haft Hesar Journal of Environmental Studies*, 1(1): 61-70.
 38. Fadaii Ardestani, M. A., Nasser Mobaarak, H., Ayatollahi, M. R., & Zomorrodian, Z. S. (2018). The Assessment of Daylight and Glare in Classrooms Using Dynamic Indicators; the Case of SBU Faculty of Architecture and Urban Planning. *Soffeh*, 28(4), 25-40.
 39. Eble-Hankins, M. L., & Waters, C. E. (2005). VCP and UGR Glare Evaluation Systems: A Look Back and a Way Forward. *LEUKOS*, 1(2), 7-38.
 40. Mansouri kivaj, F., & Ziyabakhsh, N. (2023). Evaluation of the Role of Daylight in Promoting Freshness in High-rise Apartment Complexes; Case Study: Tehran City. *Journal of Space and Place Studies*, 1(3), 81-90.
 41. Amini Badr, F., Mokhtabad Amrei, M., & Majedi, H. (2020). Analysis of the Presence of Light in Rasteh and Charsooq of the Grand (Qeysarriyeh) Bazaar of Isfahan. *Journal of Iranian Architecture & Urbanism(JIAU)*, 11(1), 5-24.
 42. Mohammadi, F., Mofidi Shemirani, S. M., & Tahbaz, M. (2020). Evaluation and Analysis of the Efficiency of Dynamic Metrics Evaluating Daylight Performance (Daylight Autonomy and Useful Daylight Illuminance) through Sensitivity Analysis; Case Study: Elementary Classroom in Tehran. *Armanshahr Architecture & Urban Development*, 13(31), 145-156.
 43. Pourahmadi, M., Khanmohamadi, M., & Mozafar, F. (2021). Investigation the Performance of Glare Indices in Iran's Hot and Dry Climate. *Journal of Environmental Science and Technology*, 23(1), 41-52.
 44. Oh, M., & Kim, Y. (2019). Identifying urban geometric types as energy performance patterns. *Energy for Sustainable Development*, 48, 115-129.
 45. Yu, Z., Fung, B. C. M., Haghighat, F., Yoshino, H., & Morofsky, E. (2011). A systematic procedure to study the influence of occupant behavior on building energy consumption. *Energy and Buildings*, 43(6), 1409-1417.
 46. Daemei, A. B., Limaki, A. K., & Safari, H. (2016). Opening Performance Simulation in Natural Ventilation Using Design Builder (Case Study: A Residential Home in Rasht). *Energy Procedia*,