Archive of SID



# خودسایه‌اندازی و بهره‌وری انرژی در الگوی معماری سرآمد، مورد مطالعاتی: فرم کلی ساختمان‌های میان‌مرتبه تهران*

محمدجواد مهدوی‌نژاد** - ساناز مسعودی‌تنکابنی***

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۱/۱۴
تاریخ پذیرش نهایی: ۹۴/۰۵/۳۱

## چکیده

میزان بالای مصرف انرژی برای سرمایش و گرمایش ساختمان، همواره از دغدغه‌های اساسی معماران در فرآیند طراحی معماری بوده است. مروری بر ادبیات موضوع و پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که یکی از این تدابیر مهم و اساسی در تحقق الگوی «معماری سرآمد»، به‌کارگیری مفهوم «خودسایه‌اندازی» در طراحی به معنای استفاده از راهکاری برای ایجاد سایه بر روی سطوح پیرامونی ساختمان است. براساس چارچوب مفهومی طراحی شده، فرم‌های خودسایه‌انداز برای آن‌که بتوانند به‌عنوان فرم بهینه به‌کار گرفته شوند، باید حداکثر انرژی تابشی ممکن را در زمستان و حداقل آن را در تابستان کسب نمایند. از این رو هدف از این پژوهش، تحلیل نقش خودسایه‌اندازی در کاهش مصرف انرژی ساختمان و تحلیل میزان تأثیر به‌کارگیری فرم‌های خودسایه‌انداز در بهبود عملکرد انرژی ساختمان‌های شهر تهران است. براساس روش تحقیق، راهبرد نیمه تجربی، روش توصیفی- تحلیلی، تکنیک شبیه‌سازی و تدبیر مقایسه نمونه‌ها برای پژوهش انتخاب شده است. با بهره‌گیری از ابزار یکی از نرم‌افزارهای تجاری موجود، شانزده نمونه از فرم‌های متداول ساختمان‌های میان‌مرتبه موجود در معماری معاصر جهان؛ با هدف دست‌یابی به فرم بهینه ساختمان در اقلیم تهران، مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه‌های اصلی در ماه‌های مختلف سال، از طریق شبیه‌سازی و تحلیل و مقایسه میزان جذب انرژی خورشیدی توسط مدل‌های ساخته شده، به‌صورت خاص مورد بررسی قرار گرفته و سپس شاخص‌های در نظر گرفته شده بر روی مدل‌های مورد نظر ارزیابی شد. دستاوردهای حاصل از مطالعات صورت گرفته نشان‌دهنده آن است که به‌کارگیری شیوه خودسایه‌اندازی و ایجاد سایه در سطوح پیرامونی ساختمان‌ها به‌واسطه کنترل انتقال حرارت به محیط داخلی ساختمان، تأثیر زیادی در بهینه‌سازی مصرف انرژی دارد.

**واژگان کلیدی:** خودسایه‌اندازی، بهره‌وری در مصرف انرژی، فرم بهینه ساختمان معماری معاصر ایران، معماری سرآمد.



* این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسنده دوم با عنوان «نقش خودسایه‌اندازی در کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها» است که با راهنمایی نویسنده اول در دانشگاه تربیت مدرس به انجام رسیده است.

** دانشیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران (نویسنده مسئول).
Email: Mahdavinejad@modares.ac.ir
*** کارشناسی ارشد فناوری معماری، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

www.SID.ir

Archive of SID



**مقدمه**

بخش عمده‌ای از مصرف انرژی کشور به بخش ساختمان مربوط است. بر این اساس تبیین استراتژی‌های بهره‌وری در بخش ساختمان به‌صورت کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها با بهره‌گیری از طراحی مناسب معماری و شناخت فرم بهینه بسیار مورد تأکید است (Heidari, 2009, p. 126). نیاز روانی انسان به روشنایی طبیعی و ارتباط مستقیم با طبیعت اهمیت توجه بیش از پیش به نور طبیعی را در معماری به اثبات رسانده است. سلامت بینایی منوط به وجود نور مناسب است (Mahdavinejad & Matoor, 2012, p. 32) در نتیجه هدف طراح به حداقل رساندن استفاده از نور مصنوعی است بدون آن‌که آسایش بصری را برهم زند. نور خورشید همواره برای ایجاد روشنایی طبیعی در ساختمان لازم است. عواملی همچون موقعیت جغرافیایی و جهت‌گیری و کشیدگی ساختمان، اندازه پنجره‌ها در جبهه‌های گوناگون، نوع و اندازه عناصر سایه‌انداز، نوع سقف، جانمایی و نحوه چیدمان فضاهای داخلی و غیره در آن اثرگذار می‌باشد (Javanroodi et al., 2018, p. 714). دمای هوای خارج و میزان تابش آفتاب دارای یک دوره تغییرات روزانه است (Kasraei et al., 2016). در طراحی احجام از هندسه و اشکالی استفاده می‌شود که نمای ساختمان دارای قابلیت خودسایه‌اندازی باشد. فرم هرم وارونه الگویی است که در این نوع طراحی مورد توجه است (Capeluto, 2003, p. 329). مروری بر ادبیات موضوع نشان می‌دهد که از سال ۱۹۹۴ توجه به خود سایه‌اندازی به‌عنوان یک اصل در طراحی انرژی کارا مطرح بوده است (Yezioro & Shaviv, 1994, p. 28) لیکن در اغلب موارد تنها بخش‌های شکلی موضوع براساس نرم‌افزارهای متداول محاسباتی مورد توجه قرار می‌گرفتند.

## ۱. روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر با شناخت اهمیت به‌کارگیری شیوه خودسایه‌اندازی در بهینه‌سازی مصرف انرژی، از طریق مقایسه میزان دریافت انرژی تابشی در فرم‌های گوناگون انجام شده است. روش تحقیق توصیفی- تحلیلی بوده و به‌کارگیری نرم‌افزار شبیه‌ساز و تحلیلی برای این امر مناسب است. در ادامه به‌صورت مطالعه موردی ابتدا کشیدگی مناسب پلان و جهت‌گیری بهینه ساختمان در تهران مورد شناسایی قرار گرفته است. چند گونه فرم ساختمان بلندمرتبه در نرم‌افزار مناسب، ترسیم و با توجه به جهت‌گیری مناسب ساختمان در شهر تهران در نرم‌افزار اکوتکت[1] از لحاظ میزان دریافت انرژی مورد تحلیل قرار گرفتند. مقادیر دریافت انرژی هریک از فرم‌ها در طول سال محاسبه و با یکدیگر مقایسه شده و نتایج حاصل از آن ارائه می‌شود. از این طریق می‌توان به تأثیر به‌کارگیری شیوه خودسایه‌اندازی در کاهش مصرف انرژی پی برد.

از این رو با استناد به ضرورت طرح مسأله، تحلیل نقش خودسایه‌اندازی در کاهش مصرف انرژی ساختمان‌ها به‌عنوان هدف اصلی و همچنین به‌صورت بررسی نمونه تأثیر به‌کارگیری این شیوه در بهبود عملکرد انرژی ساختمان‌های تهران از طریق مقایسه میزان دریافت انرژی تابشی خورشید در مدل‌های ساخته شده می‌باشد. سؤالاتی که در رابطه با این موضوع مطرح می‌شود عبارت‌اند از:

۱. خود سایه‌اندازی چگونه بر کاهش مصرف انرژی در ساختمان مؤثر است؟

۲. کدام دسته از فرم‌های متداول ساختمان‌های شهر تهران، براساس شاخص‌های خودسایه‌اندازی تأثیر بیشتری در بهینه‌سازی مصرف انرژی دارند؟

در این پژوهش فرمی مناسب شناخته می‌شود که دارای بیشترین میزان جذب پرتو آفتاب در زمستان و کمترین این مقدار در تابستان باشد. برای این منظور یک ساختمان بلندمرتبه با حفظ صورت بهینه قرارگیری پلان در شهر تهران، از نظر میزان تابش دریافتی با سطح اشغال تقریبی ۷۰۰ مترمربع و ارتفاع ۱۸ طبقه در تهران فرض شده است. پیش از هرچیز جهت‌گیری بهینه اقلیمی در شهر تهران مورد توجه قرار گرفته و تمام تحلیل‌های بعدی براساس آن جهت‌گیری انجام شده است. سپس چند نمونه از فرم‌های ساختمان‌های بلندمرتبه شناسایی شده و همگی با فرض سطح زیربنای یکسان مدلسازی و در نرم افزار اکوتکت تحلیل خورشیدی شده و برای مدلسازی از نرم‌افزار راینو[2] استفاده شده است. در بخش تحلیل خورشیدی نرم افزار اکوتکت میزان دریافت انرژی تابشی در تمامی ساعات در طول سال برای هریک از احجام محاسبه شده و نتایج و اعداد به‌دست آمده، در نرم‌افزار اکسل به نمودارهای گرافیکی تبدیل و از آن‌ها برای نتیجه‌گیری استفاده شده است. همچنین تمامی تحلیل‌های انجام گرفته در این پژوهش برگرفته از اطلاعات آب و هوایی ایستگاه هواشناسی نمایشگاه بین‌المللی تهران می‌باشد (Kasmai, 2003, p. 244).

## ۲. پیشینه پژوهش

استفاده از سایه برای سرمایش ساختمان راهکاری جدید نیست و در طی قرن‌های متمادی بشر از آن استفاده کرده است. اولین الگوها با توجه به فرم خودسایه‌انداز درختان و شاخ و برگ آن‌ها بود. بنابراین استفاده از فرم مناسب ساخت و بهره‌گیری از عناصر معماری از گذشته بسیار مورد توجه می‌باشد. در معماری سنتی ایران سرمایش فضا از اهمیت بیشتری برخوردار بوده است؛ زیرا که قسمت وسیعی از کشورمان در اقلیم گرم واقع شده، معماران از راهکارها و عناصر



www.SID.ir

Archive of SID



معماری متعدد برای ایجاد آسایش حرارتی به صورت ایستا بهره برده‌اند (Bemanian, 2013, p. 43). «نور» یکی از مفاهیم کهن و ارزشمند در هنر و معماری سنتی ایرانی است؛ چنان‌که قرآن مجید خداوند سبحان را نور آسمان‌ها و زمین معرفی کرده است (Saadatjoo et al., 2018, p. 560). تمامی این موارد نشان از اهمیت نور در هنر و معماری اسلامی ایرانی دارد (Mahdavinejad, 2004, p. 58). با عنایت به شرایط خاص اقلیمی ایران، سایه و سایه‌اندازی از گذشته‌های دور همواره در کانون توجه معماران و طراحان بوده است. نگاهی به معماری و شهرسازی سنتی ایران نشان‌دهنده اهمیت سایه و پناه گرفتن از تابش مستقیم خورشید است (Fallahtafti & Mahdavinejad, 2015, p. 594). این‌چنین است که بناهای موجود در معماری سنتی ایران به سبب احترام به نور طبیعی و بهره‌گیری حداکثری از نور روز، دارای حکمت خوانده شده‌اند (Mahdavinejad, 2004, pp. 58-60). مروری بر آثار شاخص و تأثیرگذار معماری سنتی ایران مانند بازار و به‌خصوص بازارهای موجود در اقلیم گرم و خشک ایران (Pourjafar et al., 2014, pp. 11-14) نشان می‌دهد که سایه و سایه‌اندازی، یکی از مبانی مهم طراحی معماری و بخشی جدایی‌ناپذیر از فرآیند اجرای ساختمان‌ها بوده است.

انتقال نور و تابش آفتاب به فضاهای داخلی همواره چالش‌های خاص خود را به همراه داشته است. مسأله اصلی بهینه‌سازی نیاز به نور برای بهره‌برداری روزانه و کنترل گرمای تولید شده در فصل تابستان است (Mahdavinejad et al., 2013, p. 42). همزمان اختلاف درجه حرارت حاصل از تابش آفتاب می‌تواند جریان طبیعی هوا را تسریع کند (Mahdavinejad & Javanroodi, 2012, p. 70). به عبارت دیگر نوعی باد موضعی یا محلی تولید نماید. مطالعات صورت گرفته در حوزه میزان درخشندگی آسمان تهران نشان‌دهنده آن است که تهران از شهرهایی است که نور حجم و شدت خورشید در آن قابل توجه است (Mahdavinejad et al., 2012, pp. 11-19). از این رو پرداختن به استفاده صحیح از انرژی خورشید، از اهمیت و ضرورت ویژه‌ای برخوردار است. نگاهی به آثار شاخص معماری معاصر ایران نشان‌دهنده آن است که در روزگار معاصر نیز توجه به دریافت صحیح و مناسب نور طبیعی روز از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است (Hadianpour et al., 2018, p. 571). به عبارت دیگر اغلب آثار ارزشمند معماری معاصر ایران نیز با تبعیت از سنت‌های موجود در معماری سنتی ایران، جایگاه ویژه‌ای برای بازی نور و سایه قائل بوده‌اند. مطالعات صورت گرفته نشان‌دهنده آن است که شکل کلی ساختمان نقش قابل توجهی بر رفتار حرارتی ساختمان و در نتیجه میزان سرمایش و گرمایش مورد نیاز در ساختمان دارد (Mahdavinejad & Javanroodi, 2014, pp. 37-40). در بسیاری از موارد، فرم کلی ساختمان تأثیر غیرمستقیم خود را بر رفتار حرارتی ساختمان، به شکل‌های متعددی به نمایش می‌گذارد (Mahdavinejad, 2014, pp. 36-40). عناصری از قبیل سقف، دیواره‌ها، مساحت و غیره بر این شرایط تا حد قابل ملاحظه‌ای تأثیر می‌گذارند. مطالعه بر روی تأثیر فرم کلی ساختمان بر میزان مصرف انرژی بر نقش فرم‌های منحنی و گنبدی شکل بر ارتقاء بهره‌وری در مصرف انرژی تأکید دارند (Mahdavinejad & Javanroodi, 2016). مطالعات صورت گرفته نشان می‌دهد که چالش جدی میان میزان دریافت انرژی و سایر فاکتورهای مربوط به آسایش قابل مشاهده و بازشناسی می‌باشد. از یک سو افزایش سطوح شفاف ساختمان موجب دریافت نور بهتر و همچنین چشم‌انداز بهتر است؛ از سوی دیگر با تولید گرما بار سرمایشی مورد نیاز ساختمان را افزایش می‌دهد.

## ۳. تحلیل شرایط اقلیمی نمونه مورد مطالعه

شهر تهران از لحاظ جغرافیایی در ۵۱ درجه ۱۹ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۳ دقیقه طول جغرافیایی و ۳۵ درجه و ۱۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است و براساس آمار ۱۸ ساله ایستگاه هواشناسی نمایشگاه بین المللی تهران، در ماه ژوئیه (۱۰ تیر تا ۱۰ مرداد) با دمای متوسط ۳۵/۷ درجه سلسیوس به‌عنوان گرم‌ترین ماه سال معرفی می‌شود.

در این مرحله، تعیین مقدار دریافت سطوح با جهت‌گیری متفاوت جغرافیایی در شهر تهران از اهمیت و ضرورت ویژه‌ای برخوردار است. برای تعیین جهت‌گیری مناسب در ابتدا باید میزان دریافت انرژی از طریق سطوح ساختمان با جهت‌گیری متفاوت جغرافیایی مشخص شود. به همین دلیل و از طریق مشخصات اقلیمی مربوط به شهر تهران که به‌صورت پیش فرض در ابزار آب و هوا نرم‌افزار اکوتکت تعریف شده، در فرآیند شبیه‌سازی استفاده می‌شود.

**جدول ۱: تعیین میزان دریافت انرژی خورشید و بررسی ساعاتی که سطوح از بیشترین تابش بهره‌مند می‌شوند.**

| موقعیت | بیشترین میزان دریافت Kwh/m۲ | کمترین میزان دریافت Kwh/m۲ | دوره زمانی |
|---|---|---|---|
| **دیوار جنوبی** | آبان (اکتبر)، ۶۵ | خرداد (ژوئن)، ۳۷ | از شهریور تا اسفند دریافت از طلوع آفتاب تا غروب |
| **دیوار غربی** | اردیبهشت (آوریل)، ۵۲ | آذر (دسامبر)، ۱۸ | از ساعت ۱ ظهر از سمت غرب |
| **دیوار شمالی** | تیر (ژوئن)، ۳۷ | آبان (اکتبر)، ۱۲ | از فروردین تا شهریور صبح زود یا هنگام غروب |



www.SID.ir

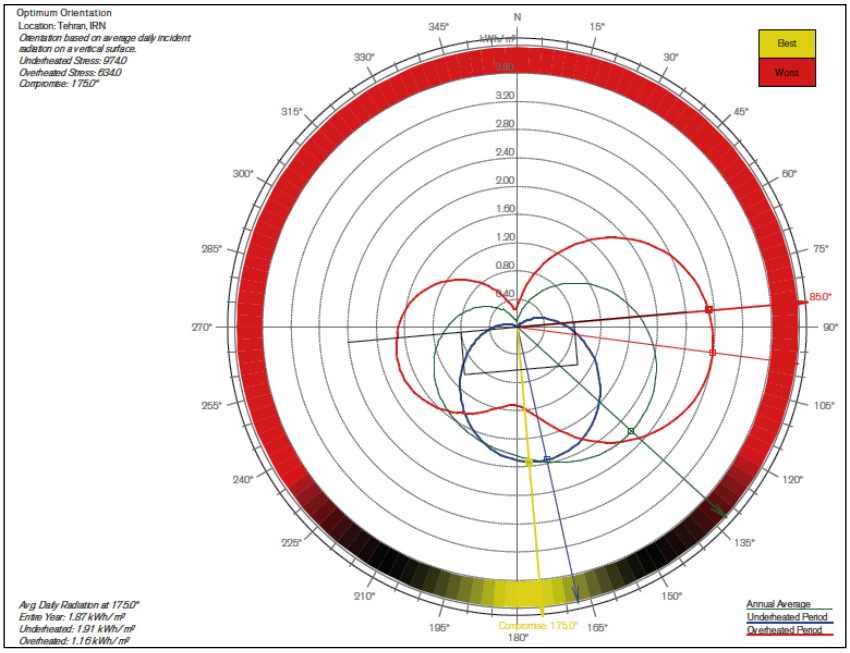
Archive of SID



| | | | |
|---|---|---|---|
| **دیوار شرقی** | خرداد (مه)، ۶۱ | آذر (نوامبر)، ۲۳ | از طلوع آفتاب تا ۱۲:۳۰ بعدازظهر پرتو دریافت می‌کند. |
| **دیوار جنوب شرقی** | خرداد (مه)، ۵۰ | آذر (نوامبر)، ۲۰ | در تابستان حداکثر پرتو بین ساعات ۸ تا ۹ صبح، در زمستان بین ساعات ۹ تا ۱۰ صبح |
| **دیوار جنوب غربی** | خرداد (مه)، ۴۱ | آذر ( نوامبر)، ۱۶ | در تابستان حداکثر پرتو بین ساعات ۳ تا ۴ بعدازظهر، در زمستان بین ساعات ۲ تا ۳ بعدازظهر |
| **سطوح افقی و بام‌ها** | تیرماه (ژوئن)، ۱۲ | آبان (اکتبر)، ۴ | در تابستان بیشترین، در زمستان بسیار کم |

بررسی جدول ۱ نشان می‌دهد که در فصل زمستان دیوارهای جنوبی حدود سه برابر دیوارهای شرقی یا غربی انرژی خورشیدی دریافت می‌کنند، در حالی‌که در تابستان مقدار کل انرژی تابیده شده به دیوارهای جنوبی و شمالی تقریباً یک دوم انرژی تابیده شده به دیوارهای شرقی و غربی است. بنابراین جهت استقرار ساختمان در تأمین شرایط آسایش فضاهای داخلی نقش تعیین‌کننده دارد و با مشخص شدن تأثیر تابش آفتاب در سطوح مختلف می‌توان تأثیر آن را بر فضاهای داخلی ساختمان مورد بررسی قرار داد. مطابق جدول بیشترین میزان دریافت انرژی تابشی متعلق به دیوار جنوبی با میزان ۶۵ کیلووات ساعت است و از شهریور تا اسفند ماه دیوار جنوبی از زمان طلوع تا غروب آفتاب پرتو دریافت می‌کند. همچنین کمترین میزان دریافت تابشی دیوار جنوبی در خرداد ماه است، یعنی زمانی‌که میزان دریافت کمتر برای ما به جهت پایین آوردن دمای فضاهای داخلی و بهره‌مندی از نور غیرمستقیم آفتاب مطلوب است. می‌توان نتیجه گرفت که دیوار جنوبی بیشترین میزان دریافت انرژی را در فصل سرما دارا است. با فرض جهت‌گیری بهینه و رسیدن به فرمی مناسب از لحاظ خودسایه‌اندازی می‌توان در مصرف انرژی ساختمان صرفه‌جویی کرد. براساس تحلیل در نرم‌افزار اکوتکت توسط ابزار آب و هوا بهترین جهت‌گیری در حدود ۵ درجه جنوب‌شرقی مطابق با شکل ۱ است.

**شکل ۱: جهت‌گیری بهینه بر مبنای تحلیل‌های نرم‌افزار اکوتکت برای ساختمان‌های شهر تهران**




## ۴. شبیه‌سازی و آزمون

برای دستیابی به فرمی مناسب از نظر صرفه‌جویی در مصرف انرژی، ۱۶ گونه ساختمان بلندمرتبه که دارای سطح زیربنای یکسان می‌باشند، در نرم‌افزار راینو نسخه ۴ مدل‌سازی شده‌اند. سپس برای تحلیل فرم‌ها، از جهت‌گیری بهینه مطابق شکل ۱ استفاده شده است و تمامی فرم‌ها در این راستا قرار گرفته‌اند. ۱۶ گونه فرم برای تحلیل خورشیدی به نرم‌افزار اکوتکت منتقل شده‌اند. برای تحلیل دقیق میزان تابش مستقیم دریافتی در بخش تحلیل خورشیدی در نرم‌افزار اکوتکت میزان انرژی تابشی دریافتی هریک از احجام برای تمامی ماه‌های سال مطابق شکل ۱ ترسیم شده است. جدول ۲ نمایانگر مقدار عددی میزان دریافت انرژی برای تمامی ۱۶ فرم است. همچنین در نمودارهای ۱ و ۲ میزان انرژی دریافتی برای فرم‌های مورد نظر در طول زمستان و تابستان به‌صورت نموداری بررسی شده‌اند (Shafiee, 2013, p. 56). البته لازم به



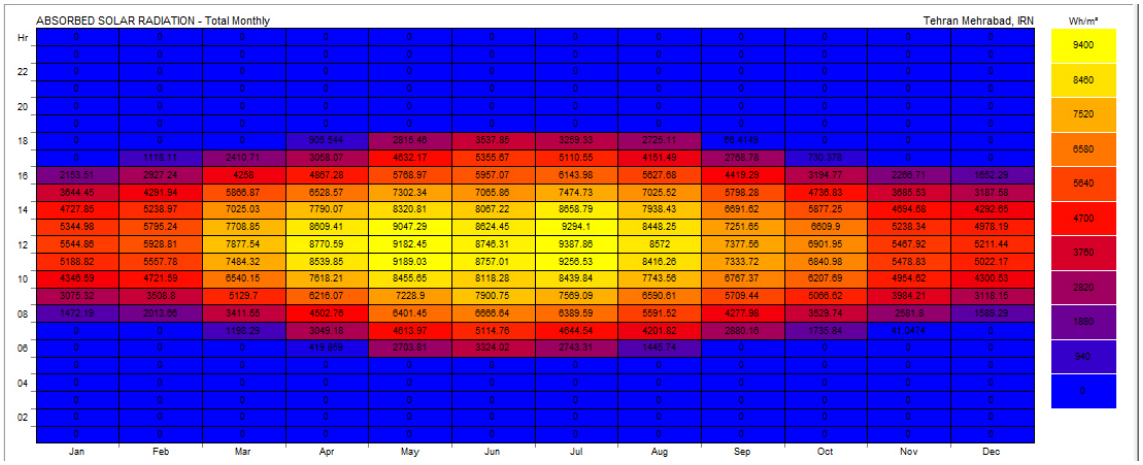
www.SID.ir

Archive of SID



ذکر است که براساس روش‌شناسی تدوین شده، شبیه‌سازی‌های صورت گرفته، مبنای به‌دست آوردن فرم بهینه توسط تحلیل فرم‌های مختلف خواهد بود.

**شکل ۲: نمودار ساعتی دریافت انرژی تابشی فرم ۱ در طول سال برگرفته از تحلیل در نرم‌افزار اکوتکت**




**جدول ۲: میزان دریافت انرژی تابشی برای ۱۶ فرم در طول یک سال بر حسب w/h**

| ماه‌های سال | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| بهمن | ۷۶۲۵۷۶۳۲ | ۶۳۳۸۶۴۷۶ | ۴۱۶۷۷۷۶۴ | ۱۲۹۷۱۶۳۷ | ۱۷۷۱۹۳۳۴ | ۱۲۹۸۰۸۱۶ | ۲۰۹۲۴۹۲۰۰ | ۱۸۴۵۵۶۵۹۲ |
| اسفند | ۸۵۹۲۲۳۵۲ | ۷۶۱۲۹۶۸۰ | ۴۵۴۲۸۳۲۴ | ۱۶۰۷۹۷۴۵ | ۲۱۹۲۰۴۲۴ | ۱۶۲۵۶۸۰۹ | ۲۲۶۶۲۳۳۶۰ | ۲۱۳۰۴۸۵۴۴ |
| فروردین | ۱۵۰۶۳۷۰۲۴ | ۱۴۳۵۶۰۰۰۰ | ۷۳۵۴۸۸۷۲ | ۳۱۶۶۱۲۸۴ | ۴۳۰۷۶۶۹۲ | ۳۲۳۱۱۱۳۰ | ۳۵۴۸۵۵۶۸۰ | ۳۸۸۶۳۰۳۰۴ |
| اردیبهشت | ۱۸۲۰۳۵۱۲۰ | ۱۸۱۹۵۳۲۹۶ | ۷۹۷۲۳۰۱۶ | ۴۳۸۵۱۴۶۸ | ۵۹۲۰۴۴۱۲ | ۴۳۹۴۵۷۰۰ | ۳۴۵۳۰۹۸۲۴ | ۴۷۰۰۳۱۹۰۴ |
| خرداد | ۲۶۸۶۹۱۲۹۶ | ۲۶۵۷۹۳۹۵۲ | ۱۲۰۴۴۰۳۲۰ | ۸۱۵۳۱۹۲۸ | ۱۰۹۳۸۱۸۶۴ | ۷۴۸۸۵۰۲۴ | ۳۹۹۲۳۷۱۵۲ | ۶۶۷۶۵۵۲۹۶ |
| تیر | ۲۹۰۸۱۷۴۴۰ | ۲۸۵۳۶۱۹۵۲ | ۱۳۳۹۸۵۷۶۸ | ۱۰۴۹۵۷۱۶۰ | ۱۳۹۶۹۳۵۲۰ | ۸۹۱۳۸۷۱۲ | ۳۹۵۰۸۶۵۹۲ | ۷۲۳۹۵۴۶۲۴ |
| مرداد | ۲۹۱۷۱۴۴۶۴ | ۲۸۷۵۲۶۲۰۸ | ۱۳۳۶۰۸۳۰۴ | ۹۴۸۱۴۷۸۴ | ۱۲۷۳۰۹۶۳۲ | ۸۵۲۵۹۸۱۶ | ۴۱۴۵۱۰۰۴۸ | ۷۲۶۱۵۲۱۲۸ |
| شهریور | ۲۴۵۸۸۲۰۳۲ | ۲۴۴۳۰۱۵۰۴ | ۱۰۸۶۹۵۲۶۴ | ۶۵۲۵۶۷۰۴ | ۸۷۹۸۰۳۷۶ | ۶۳۵۰۵۷۱۶ | ۴۲۶۷۸۸۷۶۸ | ۶۳۰۳۴۴۰۰۰ |
| مهر | ۱۹۶۷۳۵۳۱۲ | ۱۹۲۲۲۵۴۷۲ | ۸۹۸۱۵۷۶۰ | ۴۳۸۹۱۴۷۲ | ۵۹۵۰۷۵۸۸ | ۴۴۶۴۴۲۲۸ | ۴۲۶۰۹۲۸۰۰ | ۵۱۲۰۶۳۴۲۴ |
| آبان | ۱۶۴۴۷۹۲۶۴ | ۱۵۲۴۸۶۸۸۰ | ۸۶۵۷۶۹۷۶ | ۳۲۸۷۴۸۴۲ | ۴۴۸۰۵۱۱۶ | ۳۳۴۳۰۴۴۶ | ۴۲۲۲۱۳۹۵۲ | ۴۲۲۶۳۷۰۲۴ |
| آذر | ۹۴۲۷۵۶۴۸ | ۸۱۶۸۰۳۴۴ | ۵۱۵۳۱۴۰۰ | ۱۶۹۰۴۲۴۴ | ۲۳۱۰۱۴۳۴ | ۱۷۰۸۸۰۰۲ | ۲۶۳۲۰۷۰۸۸ | ۲۲۶۷۵۴۷۸۴ |
| دی | ۵۵۵۶۳۱۹۶ | ۴۵۱۵۱۲۶۸ | ۳۰۲۵۹۱۹۴ | ۹۱۴۱۲۸۰ | ۱۲۴۶۲۶۱۲ | ۹۰۹۲۵۷۱ | ۱۵۶۲۲۱۹۸۴ | ۱۳۲۶۰۱۷۴۴ |
| جمع | ۲۱۰۳۰۱۰۶۸۸ | ۲۰۱۹۵۵۶۸۶۴ | ۹۹۵۲۹۱۰۷۲ | ۵۵۳۹۳۶۵۷۶ | ۷۴۶۱۶۳۰۰۸ | ۵۲۲۵۳۸۹۷۶ | ۴۰۳۹۳۹۶۳۵۲ | ۵۳۰۸۴۳۰۸۴۸ |
| ماه‌های سال | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴ | ۱۵ | ۱۶ |
| بهمن | ۳۰۴۷۳۷۱۶ | ۳۲۳۷۵۳۱۰ | ۳۶۲۴۵۶۱۶ | ۱۴۲۱۸۸۲۴ | ۸۹۷۲۳۷۵۲ | ۲۷۲۵۸۴۰۰۰ | ۳۲۶۶۲۸۲۸۸ | ۱۲۸۶۷۴۸۸۰ |
| اسفند | ۳۳۸۴۸۸۲۸ | ۳۵۵۶۵۰۰۰ | ۳۹۹۸۸۵۲۰ | ۱۷۸۹۰۰۴۰ | ۱۰۵۴۱۶۱۳۶ | ۲۸۳۴۶۰۸۶۴ | ۳۳۸۷۵۳۶۶۴ | ۱۵۷۱۱۷۷۹۲ |
| فروردین | ۵۵۵۷۱۲۷۲ | ۵۷۶۶۳۸۱۲ | ۶۶۱۵۷۶۸۰ | ۳۶۲۳۵۲۳۲ | ۱۹۶۵۵۸۳۳۶ | ۴۳۴۰۷۰۴۳۲ | ۵۰۹۰۷۷۵۳۶ | ۳۰۰۹۶۲۵۹۲ |



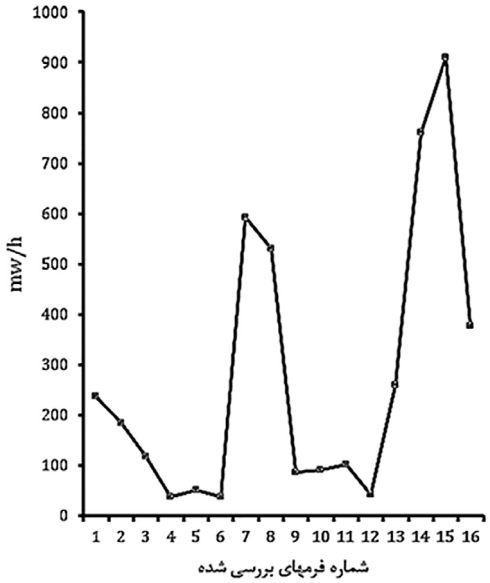
www.SID.ir

Archive of SID

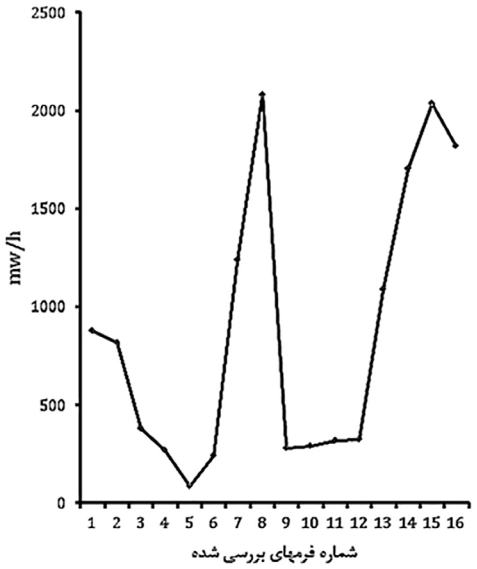


| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| اردیبهشت | ۶۳۳۳۳۷۳۲ | ۶۵۵۰۹۶۴۸ | ۷۴۹۷۷۱۴۴ | ۵۱۵۳۷۲۰۸ | ۲۴۴۷۳۷۷۴۴ | ۴۴۱۱۱۲۸۹۶ | ۵۲۴۲۲۴۱۶۰ | ۳۹۳۰۱۸۳۰۴ |
| خرداد | ۹۰۷۶۰۲۴۰ | ۹۳۹۷۴۱۴۴ | ۱۰۴۲۲۶۱۷۶ | ۱۰۰۲۱۱۸۵۶ | ۳۵۲۱۶۴۴۱۶ | ۵۴۷۵۵۱۵۵۲ | ۶۷۰۴۸۵۳۱۲ | ۵۸۸۸۴۷۱۰۴ |
| تیر | ۹۶۵۵۸۳۵۲ | ۱۰۰۱۵۸۴۸۰ | ۱۰۷۴۹۹۶۷۲ | ۱۲۴۵۷۰۱۵۲ | ۳۷۹۸۸۶۵۶۰ | ۵۶۵۱۹۸۹۱۲ | ۶۸۷۶۲۶۳۶۸ | ۶۴۱۰۷۸۴۶۴ |
| مرداد | ۹۷۳۴۸۶۵۶ | ۱۰۰۸۸۲۳۲۸ | ۱۰۹۶۲۳۷۹۲ | ۱۱۶۲۴۵۴۴۸ | ۳۸۱۸۵۹۶۸۰ | ۵۸۰۵۱۵۲۶۴ | ۶۹۶۹۰۲۷۲۰ | ۶۴۱۸۴۷۱۶۸ |
| شهریور | ۸۳۳۵۶۴۶۴ | ۸۶۱۳۵۳۵۲ | ۹۷۵۶۴۸۶۴ | ۷۹۵۱۸۹۰۴ | ۳۲۷۲۳۸۱۱۲ | ۵۵۵۳۹۱۲۳۲ | ۶۵۳۲۸۲۶۲۴ | ۵۲۹۷۹۲۰۰۰ |
| مهر | ۷۰۱۶۱۹۲۸ | ۷۲۶۸۰۸۲۴ | ۸۳۶۰۶۵۴۴ | ۵۰۹۰۷۲۴۰ | ۲۶۱۵۷۲۱۲۸ | ۵۳۰۶۳۳۷۶۰ | ۶۲۳۳۴۲۴۰۰ | ۴۰۷۳۶۱۸۵۶ |
| آبان | ۶۳۳۹۰۵۴۴ | ۶۷۰۰۷۲۹۲ | ۷۵۵۸۳۰۹۶ | ۳۷۱۴۲۷۲۰ | ۲۱۱۸۱۳۸۲۴ | ۵۱۷۴۲۸۸۳۲ | ۶۱۵۰۱۷۰۲۴ | ۳۱۵۸۲۲۸۱۶ |
| آذر | ۳۷۸۰۵۲۰۰ | ۴۰۲۴۶۹۸۰ | ۴۵۴۱۷۰۷۶ | ۱۸۶۸۶۴۶۸ | ۱۱۶۲۷۹۲۴۸ | ۳۳۴۶۷۸۵۹۲ | ۳۹۸۰۷۷۸۸۸ | ۱۶۵۶۶۶۰۱۶ |
| دی | ۲۲۴۳۰۳۲۴ | ۲۳۹۵۶۹۰۴ | ۲۶۶۷۰۵۴۶ | ۹۹۴۵۹۰۹ | ۶۴۶۴۱۸۱۶ | ۲۰۴۷۷۶۴۴۸ | ۲۴۵۰۳۶۸۶۴ | ۹۱۲۰۷۹۶۸ |
| جمع | ۷۴۵۰۳۹۲۹۶ | ۷۷۶۱۵۵۹۶۸ | ۸۶۷۵۶۰۷۰۴ | ۶۵۷۱۱۰۰۱۶ | ۲۷۳۱۸۹۱۷۵۲ | ۵۲۶۷۴۰۲۷۵۲ | ۶۲۸۸۴۵۴۶۵۶ | ۴۳۶۱۳۹۶۷۳۶ |

**نمودار ۱ : نمودار مقایسه میزان انرژی تابشی دریافتی در فصل زمستان برای تمامی فرم‌ها برحسب مگاوات بر ساعت**




**نمودار ۲ : نمودارمقایسه میزان انرژی تابشی دریافتی در فصل تابستان برای تمامی فرم‌ها برحسب مگاوات بر ساعت**






www.SID.ir

Archive of SID



در این پژوهش فرمی مناسب و بهینه شناخته می‌شود که بیشترین میزان دریافت انرژی تابشی را در زمستان و کم‌ترین میزان دریافت را در تابستان دارا باشد. با توجه به نمودار ۱ مقایسه میزان انرژی تابشی دریافتی در فصل زمستان، از میان ۱۶ فرم بررسی شده فرم‌های شماره ۷ و ۸ و ۱۴ و ۱۵ دارای بیشترین مقدار دریافت در زمستان هستند. مقایسه میزان دریافت انرژی در تابستان در نمودار ۲ در مورد فرم‌های ۷ و ۸ و ۱۴ و ۱۵ نشان‌دهنده آن است که در فرم شماره ۸ این مقدار بیشتر از فرم‌های دیگر است. در میان چهار فرم، فرم شماره ۷ کم‌ترین میزان دریافت انرژی را دارا است. اما این فرم نمی‌تواند فرم بهینه باشد، زیرا که میزان دریافت انرژی آن در زمستان کمتر است. بنابراین در این میان بهترین گزینه فرم شماره ۱۴ است. زیرا که مقدار دریافت انرژی آن در زمستان در برگیرنده میزانی قابل توجه است و در مقایسه با فرم شماره ۱۵ در تابستان نتیجه بهتری را نشان می‌دهد. در بررسی فرم شماره ۱۴ متوجه فرم خودسایه‌انداز آن یعنی دارا بودن دیواری شیبدار در ضلع جنوبی شده و این نکته بیانگر این است که نتاج حاصل از تحلیل نمودارها پاسخ مناسبی نسبت به فرضیه مطرح شده در ابتدای پژوهش می‌باشد.

## ۵. نتیجه‌گیری

دستاوردهای پژوهش نشان‌دهنده آن است که خودسایه‌اندازی به‌عنوان تدبیری در کانسپت معماری سرآمد، مانع از رسیدن تابش آفتاب بر سطوح پیرامونی و داخلی ساختمان شده است. بالعکس در فصل سرد که فضاهای ساختمان نیازمند دریافت و جذب انرژی هستند، تا حد امکان با این روش طراحی به توان نور خورشید را به فضاهای ساختمان هدایت کرد. بدین جهت با ایجاد سایه در فصل گرم سال که با توجه به اقلیم مورد نظر در این پژوهش اقلیم تهران در نظر گرفته شده است، می‌توان مانع از تبدیل نور به حرارت و همچنین انتقال حرارت در سطح مورد نظر شد. این عامل سبب کاهش بار سرمایشی ساختمان در طول دوره مورد نظر شده و بالطبع میزان مصرف انرژی برای خنک‌سازی بنا کاهش می‌یابد.

از بررسی نمودارهای حاصل از میزان دریافت انرژی توسط ۱۶ مدل ارائه شده در اقلیم تهران، می‌توان دریافت فرمی مناسب است که دارای بیشترین میزان دریافت انرژی در زمستان بوده و با استفاده از روش طراحی مناسب کمترین میزان دریافت انرژی را در تابستان داشته باشد. فرم شماره ۱۴ که در جبهه جنوبی خودسایه‌انداز است، مناسب‌ترین پاسخ را نسبت به آزمون فوق دارا بوده است. در این نوع طراحی کاهش نسبت مساحت قاعده به مساحت بام جزء لاینفک این الگوی طراحی می‌باشد. اما پیروی از این الگو باید بر مبنای شناخت و محاسبه اطلاعات اقلیمی منطقه مورد نظر همچون محاسبه زاویه تابش خورشید و جهت‌گیری مناسب ساختمان برای بهره‌گیری هرچه بیشتر بنا از نور خورشید در فصل سرد سال و ایجاد الگوی خودسایه‌اندازی بر مبنای تحلیل‌های صحیح در نظر گرفته شود. بنابراین استفاده از فرم هرم وارونه به شرط آن‌که زاویه شیب دیوار مناسب انتخاب شده و از به‌کارگیری دیوارهای مایل بدون به‌کارگیری شیوه تحلیلی صحیح خودداری شود، پیشنهاد می‌شود. از تحلیل‌ها می‌توان نتیجه گرفت که به‌کارگیری شیوه خودسایه‌اندازی به‌وسیله کنترل میزان جذب انرژی در طول سال، سبب کاهش بار سرمایشی و گرمایشی در ساختمان شده و بدین ترتیب بهبود کلی در عملکرد انرژی ساختمان را به‌وجود می‌آورد، که حاصل آن صرفه‌جویی در مصرف انرژی خواهد بود.

دستاوردهای پژوهش همچنین نشان دهنده آن است که خودسایه اندازی، نقش ممتازی در میزان مصرف انرژی ساختمان دارد. تغییر قابل توجه در میزان بار سرمایشی تابستان و بار سرمایشی زمستان، مهم‌ترین عامل تأثیر سایه و خودسایه‌اندازی در میزان و کیفیت بهره‌وری در مصرف انرژی ساختمان به‌شمار می‌رود. نمونه‌های مطالعاتی انتخاب شده از میان فرم کلی ساختمان‌های میان مرتبه شهر تهران نشان داد که عنایت به تأثیر سایه و خودسایه‌اندازی در شهر تهران از اهمیت و ضرورت ویژه‌ای برخوردار است. البته باید توجه داشت که برآیند دریافت انرژی تابشی لازم در فصل سرد و در امان ماندن از گرمای حاصل از ورود انرژی بخصوص ماوراء بنفش در فصل گرم سال، می‌تواند راهگشای استفاده بهینه از سایه و خودسایه‌اندازی در طراحی ساختمان‌های انرژی کارا باشد.

## پی‌نوشت

1. Ecotect
2. Rhinoceros



www.SID.ir

Archive of SID



## References


- Bemanian, M., & Pourjafar, M. (2014). Determining Optimal Courtyard Pattern in Dezful Traditional Houses. *Nazar*, 10(27), 37-46.
- Capeluto, I.G. (2003). Energy Performance of the Self-shading Building Envelope. *Energy and Buildings*, 35(3), 327–336.
- Fallahtafti, R., & Mahdavinejad, M. (2015). Optimisation of Building Shape and Orientation for Better Energy Efficient Architecture. *International Journal of Energy sSector Management*, 9(4), 593-618.
- Hadianpour, M., Mahdavinejad, M., Bemanian, M., & Nasrollahi, F. (2018). Seasonal Differences of Subjective Thermal Sensation and Neutral Temperature in an Outdoor Shaded Space in Tehran, Iran. *Sustainable Cities and Society,* 39, 751-764.
- Heidari, Sh. (2009). *Energy Planning in Iran with Attention to Building Sector*. University of Tehran Press, 93-129.
- Javanroodi, K., Mahdavinejad, M., & Nik, V.M. (2018). Impacts of Urban Morphology on Reducing Cooling Load and Increasing Ventilation Potential in Hot-arid Climate. *Applied Energy*, 231, 714-746.
- Kasmai, M. (2003). *Climate and Architecture*. Khak publication, Second edition.
- Kasraei, M.H., Nourian, Y., & Mahdavinejad, M. (2016). Girih for Domes: Analysis of Three Iranian Domes. *Nexus Network Journal*, 18(1), 311-321.
- Mahdavinejad, M. (2004). Wisdom of Islamic Architecture: Recognition of Iranian Islamic Architecture Principles. *HONAR-HA-YE-ZIBA Journal*, (19) 57-66.
- Mahdavinejad, M. (2014). Optimum Energy Efficient Architecture Based on Thermal Behaviour of Buildings' Roofs. *Naqshejahan*, 3(2), 35-42.
- Mahdavinejad, M., & Ghasempourabadi, M. (2012). *The Role of Form Compositions in Energy Consumption of High-rise Buildings; Case Study: Iran, Tehran*. Advanced Materials Research, 488-489, 175-181.
- Mahdavinejad, M., & Javanroodi, K. (2012). Comparative Analysis of Wind Flow in Yazi and Kermani Wind Towers. *HONAR-HA-YE-ZIBA Journal*, (48), 69-79.
- Mahdavinejad, M., & Javanroodi, K. (2014). Efficient Roof Shapes through Wind Flow and Indoor Temperature; Case Studies: Flat Roofs and Domed Roofs. *Armanshahr Architecture & Urban Development Journal*, 6(12), 55-68.
- Mahdavinejad, M., & Javanroodi, K. (2014). Natural Ventilation Performance of Ancient Wind Catchers, an Experimental and Analytical Study; Case Studies: One-sided, Two-sided and Four-sided Wind Catchers. *International Journal of Energy Technology and Policy*, 10(1), 36-60.
- Mahdavinejad, M., & Javanroodi, K. (2016). Impact of Roof Shape on Air Pressure, Wind Flow and Indoor Temperature of Residential Buildings. *International Journal of Sustainable Building Technology and Urban Development*, 7(2), 87-103.
- Mahdavinejad, M., & Matoor, S. (2012). The Quality of Light Openings in Iranian Domes. *Naqshejahan*, 2(2), 31-42.
- Mahdavinejad, M., Bemanian, M., & Matoor, S. (2013). Estimation Performance of Horizontal Light Pipes in Deep-Plan Buildings. *HONAR-HA-YE-ZIBA Journal*, 17(4), 41-48.
- Mahdavinejad, M., Matoor, S., & Fayaz, R. (2012). Vertical Illuminance Measurement for Clear Skies in Tehran. *Armanshahr Architecture & Urban Development Journal*, 4(8), 11-19.
- Pourjafar, M., Amini, M., Varzaneh, E. H., & Mahdavinejad, M. (2014). *Role of Bazaars as a Unifying Factor in Traditional Cities of Iran: The Isfahan Bazaar*. Front. Archit. Res., 3(1): 10-19.
- Saadatjoo, P., Mahdavinejad, M., & Zhang, G. (2018). A Study on Terraced Apartments and their Natural Ventilation Performance in Hot and Humid Regions. *Building Simulation*, 11(2), 359-372.
- Shafiee, M. (2013). Sustainable High-rise Office Building Design. *Journal of Iran Energy*, 16(4), 47-60.
- Yezioro, A., & Shaviv, E. (1994). Shading: A Design Tool for Analyzing Mutual Shading between Buildings. *Solar Energy*, 52(1), 27–37.




www.SID.ir