

ارزیابی اثر شاخص هندسی خیابان (جهت و H/W) بر جذب تابش خورشیدی مسکن شهری اقلیم سرد همدان

دکتر حجت قیاسوند*

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۲ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۴۰۰/۰۳/۰۹

چکیده

در اقلیم سرد، دسترسی ساختمان‌ها به نور خورشید بر اثر شاخص هندسه خیابان، برای کاهش بار گرمایشی، ضروری بوده و بر عملکرد حرارتی ساختمان‌ها مؤثر است. لذا هدف این مطالعه؛ ارائه نتایجی است که می‌تواند در طراحی بافت جدید شهرهای در حال توسعه، مورد استفاده قرار گیرد. روش پژوهش؛ کمی و در تحلیل یافته‌ها از روش‌های آماری استفاده شده است. این مطالعه در سه مرحله؛ (جهت، نسبت H/W و الگوی پیشنهادی) انجام شده است. استقرار شرقی-غربی ۱۷/۹ درصد جذب تابش بیشتر نسبت به جهات دیگر را دارد. میانگین جذب تابش در قطعات شمالی، بیشتر از جنوبی است و در خیابان‌ها با نسبت H/W پایین، میزان جذب تابش افزایش و یک همبستگی معکوس برقرار است. در الگوی پیشنهادی با افزایش عمق حیاط و ایجاد سایه‌بان افقی پنجره‌ها، برای قطعات شمالی و جنوبی افزایش ۲/۷ و ۲۵/۸ درصدی جذب تابش در زمستان و کاهش ۱۱/۷ و ۴/۹۴ درصدی جذب تابش در تابستان رخ می‌دهد.

واژه‌های کلیدی

شاخص H/W، جهت خیابان، جذب تابش خورشیدی، مسکن شهری همدان.

Email: hogh@malayeriau.ac.ir

** استادیار، گروه معماری، واحد ملایر، دانشگاه آزاد اسلامی، ملایر، ایران (مسئول مکاتبات).

۱-۱- مقدمه

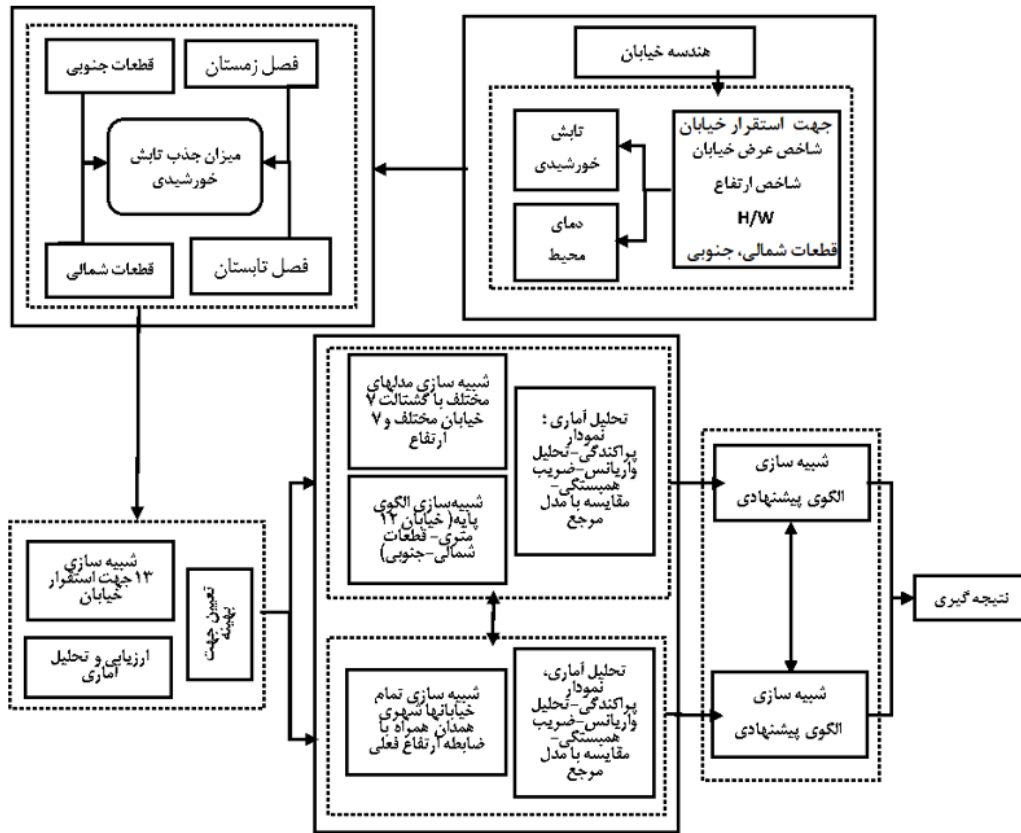
مکانیکی، بیش از سایر نیازهاست. طبق مطالعات پیشینه ضرورت بهره‌گیری حداکثری از انرژی گرمایی خورشیدی در این شهر لازم است. بنابراین مطالعه حاضر در پی پاسخگویی به این سؤالات است:

- جذب تابش خورشیدی در ساختمان‌ها برای هر یک از جهت‌های استقرار خیابان‌ها به چه میزان است؟ - تغییر شاخص هندسی خیابان H/W چه میزان بر جذب تابش خورشیدی در فصل تابستان و زمستان ساختمان‌های قطعات شمالی و جنوبی خیابان مؤثر است؟ - مناسب‌ترین شاخص هندسی خیابان از نظر حداکثر جذب تابش زمستانی و حداقل جذب تابش تابستانی در چه جهت و شاخص (H/W) برای هر یک از قطعات شهری است؟ - راهکار افزایش جذب تابش مستقیم زمستانی در قطعات جنوبی خیابان‌های شهر همدان کدام است؟ بنابراین شاخص هندسی خیابان (جهت و H/W)، متغیر مستقل و میزان جذب تابش خورشیدی، متغیر وابسته است. در شکل ۱ الگوریتم شبیه‌سازی^۲ و تحلیل آماری الگوی مفهومی پژوهش آمده است. در پی پاسخ به سؤالات فوق، مطالعه حاضر به شناسایی راهکارهای بهبود عملکرد بار گرمایی و سرمایشی ساختمان، در هر حداکثر رساندن جذب تابش خورشیدی در زمستان و کاهش جذب در تابستان، با تغییر در شاخص هندسی خیابان پرداخته است.

۱-۲- پیشینه پژوهش

مطالعات مختلفی بر روی مدل‌سازی هندسه شهر و تأثیر آن بر خرد اقلیم و در نهایت میزان مصرف انرژی انجام شده است (Mangan et al., 2021). Vallati et al., 2016., Georgakis & Santamouris, 2006., Aboelata, 2020). این مسئله خود مؤید آن است که خرد اقلیم ایجاد شده در فضاهای باز شهری متأثر از شرایط هندسه شهر است (کر میراد و همکاران، ۱۳۹۸). Stromann-Andersen & Sattrup, 2011). محققان و پژوهشگران در بررسی و تبیین شاخص‌های مؤثر بر دسترسی ساختمان‌ها به تابش مستقیم خورشیدی، متغیرهای مختلفی را با توجه به هدف پژوهش مورد بررسی قرار داده‌اند. برخی مطالعات در مقیاس خرد بر روی ورود انرژی خورشیدی به ساختمان‌ها از طریق پنجره‌ها (Bustaman et al., 2017; Chang et al., 2015; Martin et al., 2017; Xue et al., 2019; Dussault et al., 2012; Gugliermetti & Bellos et al., 2016; Buyak et al., 2017) و دیوارها (Bisegna 2007) و دیوارها (Mihai et al., 2017) انجام شده است. در مطالعات دیگری در مقیاس میانی (محلات و بلوک شهری)، تأثیر شاخص H/W بر متغیرهایی از جمله: جزیره گرمایی، سرعت باد و کیفیت هوا، آسایش حرارتی و دمای هوا، دسترسی خورشیدی و عملکرد حرارتی ساختمان‌ها بررسی شده است (موسوی و همکاران، ۱۳۹۷؛ خدکرمی و همکاران، ۱۳۹۹؛ علیجانی و همکاران، ۱۳۹۶؛ تابان و همکاران، ۱۳۹۲؛ ثناگردرانی و همکاران، ۱۳۹۹؛ Zhang et al., 2019; Zhout et al., 2016; Savvides et al., 2019; Li et al., 2020). در اکثر این مطالعات، اثر ترکیبی دمای هوای خارج و شدت انرژی خورشیدی دریافتی بر فضای داخل را با شبیه‌سازی و آزمایش‌های عددی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است (Huang & Li, 2017). بویاک و همکاران یک روش محاسباتی از میانگین دمای تابشی را برای محاسبه غیرمستقیم بارهای حرارتی ساختمان، با در نظر گرفتن جذب انرژی خورشیدی از طریق حجم ساختمانی ارائه داده‌اند (Buyak et al., 2017). میهای و همکاران از نرم‌افزار انرژی پلاس^۳ برای شبیه‌سازی تقاضای انرژی خانه استفاده کرده‌اند (Mihai et al., 2017). در مطالعه کانسریکا و همکاران تأثیر مثبت انرژی خورشیدی را بر گرمایش ساختمان بررسی کرده و مشخص کردند؛ دیوارها و پنجره‌ها، وقتی تابش خورشیدی را جذب می‌کنند، دمای سطح خارجی افزایش می‌یابد (Conceição & Lucio, 2019).

فراوان‌ترین منبع انرژی برای زمین، خورشید است. قسمت قابل‌توجهی از انرژی خورشیدی مانند؛ روشنایی روز و گرمایش طبیعی، از طریق پنجره‌ها در ساختمان مبادله می‌شود. یکی از اصلی‌ترین عواملی که می‌تواند تقاضای انرژی سرمایشی در تابستان را افزایش و انرژی گرمایشی را در زمستان کاهش دهد. مقدار جذب تابش مستقیم خورشیدی به ساختمان است. عوامل مختلفی از جمله؛ هندسی (نسبت ارتفاع ساختمان به عرض معیار H/W)، جهت و زاویه ارتفاع خورشید، آب و هوایی (دمای هوا، مقدار ابر و دمای زمین)، جغرافیایی (عرض و طول جغرافیایی ارتفاع از سطح دریا)، نجومی (فاصله زمین تا خورشید، زاویه میل خورشید) و زمانی (فصلی) بر میزان دریافت تابش خورشیدی در سطح زمین تأثیر گذاشته و از مقدار آن می‌کاهد (مجرد و همکاران، ۱۳۹۶، ۲۸). یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در سطح زمین بر میزان دریافت تابش خورشیدی هندسه شهر است. هندسه شهر، به‌ویژه آرایش فضایی خیابان‌ها و فضاهای باز شهری، (H/W) و جهت‌گیری که توسط محور طولی آن تعریف می‌شود (Lenga et al., 2020; Van Esch et al., 2012; Mingfang, 2002). میزان دریافت تابش خورشیدی در ساختمان‌ها را مشخص می‌کند. این شاخص‌ها به‌طور مستقیم بر جذب و انتشار تابش خورشید شهری مؤثر بوده و تأثیر قابل‌توجهی در تغییرات دما در خیابان و همچنین محیط اطراف دارند. بنابراین تغییرات در هندسه شهرها، می‌تواند در مقدار جذب تابش خورشیدی جداره‌های ساختمانی مؤثر باشد. لذا کاهش مصرف انرژی در شهرها تحت‌تأثیر برنامه‌ریزی و طراحی شهری است (Steemers, 2003). امروزه، اعتقاد بر این است که؛ استفاده کامل از انرژی خورشیدی، یکی از روش‌های مؤثر در کاهش مصرف انرژی گرمایشی ساختمان در زمستان است (Jingjing et al., 2020). لذا نسبت H/W از شاخص‌های مؤثر در دسترسی ساختمان‌ها به تابش مستقیم در بافت شهرها است. نسبت H/W یک دره خیابان شهری^۲ است که ارتباط ضابطه ارتفاع ساختمان را نسبت به عرض خیابان بیان می‌کند. دره خیابانی به فضایی گفته که؛ به‌وسیله دو ردیف ساختمان به‌طور موازی از یکدیگر جدا می‌شود. در صورتی که نسبت این شاخص هندسی در محدوده ۱ باشد، دره خیابان یکنواخت، و با نسبت کمتر از ۰/۵ دره خیابان کم‌عمق و با نسبت حدود ۲، دره خیابان عمیق را نشان می‌دهد (Ahmad et al., 2005). نتایج بررسی عددی H/W بیانگر این است که، در اقلیم سرد، برای دره‌های عمیق شهری عدد بالا (سایه ایجاد شده)، باعث کاهش دما در فضای باز بین ساختمان‌ها و جذب کمتر تابش شده، در نتیجه؛ مصرف انرژی گرمایشی ساختمان‌ها بیشتر از دره‌های با عمق کمتر است (Shi et al., 2020; Huang & Li, 2017; Mohajeri et al., 2019). در مقابل، دره‌های خیابانی یکنواخت، کم‌عمق و عریض، برای مناطق سردسیری که به دسترسی خورشیدی بیشتری نیاز دارند مناسب است. لذا کاهش نسبت H/W باعث افزایش دسترسی خورشید ساختمان‌ها و افزایش دما می‌گردد (Shishegar, 2013; Mohajeri et al., 2019). بنابراین، طراحی خیابان‌های شهری به روشی که بتواند از دسترسی خورشیدی در دره شهری استفاده کند، برای بهبود اقلیم شهری مناطق سردسیر، حیاتی است. اگر در دریافت تابش خورشیدی بر اثر هندسه H/W ، مانعی به وجود آید، میزان دریافت تابش خورشیدی به شدت کاهش یافته و مصرف انرژی گرمایشی، در فصل‌های سرد سال افزایش می‌یابد. با اینحال، مطالعات کمتری در ایران به بحث اثر شاخص H/W بر دسترسی نور خورشیدی در ساختمان‌ها و میزان جذب تابش پرداخته شده است. بنابراین، در این مطالعه به بررسی اثر شاخص هندسی خیابان (جهت و H/W) بر میزان دریافت انرژی خورشیدی، از طریق جداره‌های شفاف مسکن همدان پرداخته شده است. در شهر همدان در بیشتر مدت سال دما پایین‌تر از ۴ درجه‌ی سانتی‌گراد است و نیاز به گرمایش



شکل ۱. الگوریتم شبیه‌سازی و تحلیل آماری مدل مفهومی پژوهش.
Figure 1. Simulation algorithm and statistical analysis of research conceptual model.

است. در جدول ۱ شاخص‌ها و معیارهای هندسی خیابان، مؤثر بر جذب تابش خورشیدی آمده است.

روش پژوهش

با توجه به ماهیت کاربردی این مطالعه، نوع پژوهش را باید در حوزه پژوهش‌های توسعه‌ای و بازنگری ضوابط طرح تفصیلی در راستای برنامه‌ریزی شهرها دانست. روش کار کمی و بر اساس داده‌های عددی شبیه‌سازی جذب تابش خورشیدی است. جامعه آماری، قطعات و جنوبی در بافت میانی و جدید (الگوی متعارف خطی) با مساحت ۲۰۰ مترمربع در هر قطعه و سطح اشغال ۱۴۰ مترمربع است. با مشاهده میدانی و بررسی ضوابط شهرسازی همدان، مشخص گردید که؛ الگوی غالب استقرار سطح اشغال قطعات، در شمال است. به منظور استخراج ویژگی‌های پلان داخلی الگوی پایه پژوهش، طرح‌های معماری در معاونت معماری و شهرسازی شهرداری همدان مورد بررسی تطبیقی قرار گرفته و نوع چیدمان فضاهای مسکونی بدون نورگیری داخلی انتخاب گردید. لذا در مدل‌سازی از روش چندزون^۵ به جای تک‌زون^۶ در پلان‌ها استفاده شده است.^۷ بستر شبیه‌سازی الگوها در یک بلوک شهری ۶۳ قطعه‌ای (۳*۲۱) برای دقت بیشتر در اثر شاخص هندسی خیابان H/W است که ساختمان اصلی، قطعه میانی و ساختمان‌های دیگر، در اطراف آن قرار دارند (شکل ۲).

الگوها با نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر^۸ ورژن (۴،۵،۰،۱۴۸)، مدل‌سازی شده و میزان جذب انرژی خورشیدی، به دست آمد. در روند شبیه‌سازی، عوامل مداخله‌گر

(Bourbia & Bouch-2008) بورتیا و بوچریا؛ تأثیر شاخص ارتفاع به عرض و دید به آسمان را بر دمای فضای باز شهری در الجزایر، بررسی کرده‌اند (-eriba, 2010). دلماسترو و همکارانش در مطالعه خود به رابطه بین توزیع ارتفاعی ساختمان‌ها، فاصله افقی بین ساختمان‌ها و درصد سطح اشغال با میزان جذب تابش خورشیدی پرداخته‌اند (Delmastro et al., 2015). در برخی از مطالعات جذب تابش خورشیدی توسط نمای ساختمان‌ها مورد بررسی قرار گرفته است (Martinez-Rubio et al., 2016 & Oh et al., 2018). منگن و همکارانش به بررسی اثر ارتفاع به عرض (H/W) و جهت خیابان، بر میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها، پرداخته‌اند (Mangan et al., 2021). آنچه در مطالعات تأکید شده، اهمیت شاخص هندسی (H/W) بر دسترسی ساختمان‌ها به تابش نور خورشید و تعیین میزان تابش رسیده به سطوح خیابان (نماها، سقف‌ها و زمین) و تغییرات دما است. بنابراین طبق مطالعات پیشینه شاخص هندسی خیابان می‌تواند بر میزان دسترسی به نور مستقیم خورشید در نتیجه عملکرد انرژی ساختمان‌ها، تأثیر بگذارد. شاخص‌های هندسی خیابان شامل دو بخش مشخصات خیابان (جهت استقرار خیابان و ضابطه ارتفاع ساختمان و عرض خیابان (W) و نسبت (H/W) و تفکیک موقعیت استقرار قطعات شهری (شمالی و جنوبی) است. شاخص هندسه خیابان دارای معیار (H/W) جهت سنجش تأثیر محیط فضای باز و خرد اقلیم بلوک‌های مؤثر همسایگی است. موقعیت استقرار سطح اشغال قطعات شهری دارای معیارهای میزان دسترسی نمای شهری بر تابش مستقیم خورشیدی و وجود هندسه حیاط (H/Wco) در قطعات جنوبی

جدول ۱. شاخص‌های هندسه خیابان، مؤثر بر جذب تابش خورشیدی قطعات مسکونی
Table 1. Indices of street geometry, affecting the solar radiation absorption of residential parts

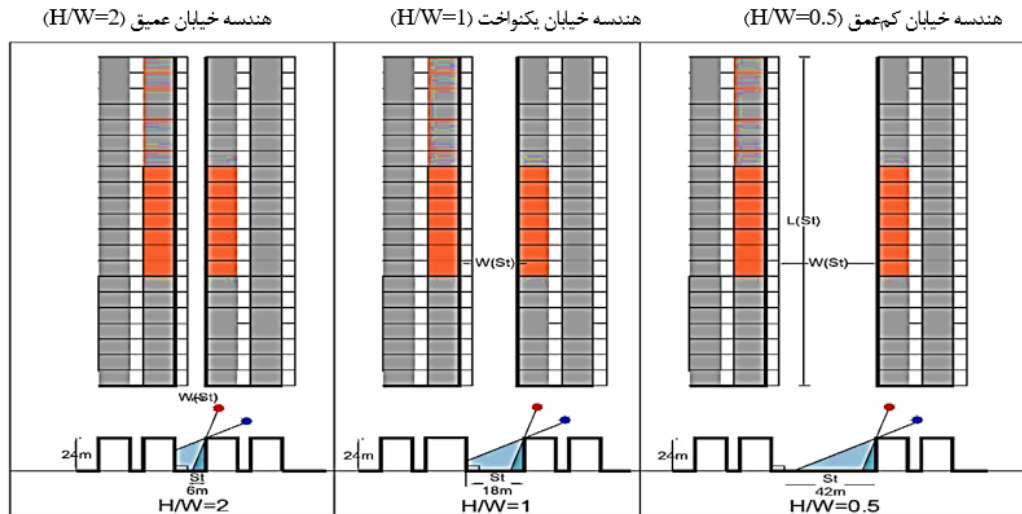
مقیاس	شاخص	تعریف شاخص	نام گذاری
مشخصات خیابان	جهت‌گیری معابر شهری	زاویه بین محور طول معابر شهری و جهت شرقی-غربی	O (E-W, 15, ... 180)
	ارتفاع ساختمان	ارتفاع ساختمان مجاور خیابان طبق ضوابط شهری	H
	عرض معبر شهری	عرض خیابان در بافت جدید شهر	W
	متغیر شاخص عرض	برابر است با ارتفاع ثابت بر عرضهای مختلف معابر شهری	$H_{(fix)}/W$
	متغیر شاخص ارتفاع	نسبت ارتفاع (متغیر) بر عرض معابر (ثابت) (تغییرات ارتفاع در معابر شهری)	$H/W_{(fix)}$
موقعیت استقرار قطعات مسکونی	الگوی سطح اشغال	مکان و مقدار سطح اشغال در قطعات مسکونی مجاور معابر شهری	Occ
	قطعات شمالی	استقرار سطح اشغال ساختمان در شمال قطعات شمالی خیابان	PB(N)
	قطعات جنوبی	استقرار سطح اشغال ساختمان در شمال قطعات جنوبی خیابان	PB(S)
	جبهه‌نمای قطعات شمالی	جبهه‌ی رو به جنوب در قطعات شمالی	F(N)
	جبهه‌نمای قطعات جنوبی	جبهه‌ی رو به شمال و جنوب در قطعات جنوبی دارای $(H/W)_{CO}$ حیاط	F(S),F(N)

ورژن ۵/۴ و برای مطالعات شبیه‌سازی جذب تابش خورشیدی از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر با موتور انرژی پلاس و در تجزیه و تحلیل داده‌ها از روش‌های تحلیل آماری؛ نمودار پراکندگی، ضریب همبستگی پیرسون^{۱۱} (رابطه دو به دو برای هر یک از متغیرهای مستقل؛ عرض معبر، ارتفاع ساختمان، نسبت H/W و جهت با متغیر وابسته؛ میزان جذب تابش خورشیدی) و برای بررسی وجود تفاوت در مقدار جذب تابش بین جبهه رو به شمال و جنوب از آزمون تی مستقل^{۱۲} (بررسی وجود تفاوت میانگین در بین دو گروه) و همچنین برای بررسی آماری تمام متغیرها در الگوها برای قطعات شمالی و جنوبی از آزمون تحلیل واریانس^{۱۳} در بین چندگروه و مقایسه با مدل مرجع و با استفاده از نرم‌افزار؛ اس پی اس اس^{۱۴} و اکسل^{۱۵} استفاده شده است. از مزیت‌های کلیدی نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر انجام محاسبات شبیه‌سازی میزان جذب تابش خورشیدی بر اثر پارامترهای مختلف محیطی و ساختمان‌ها، با توجه به تأثیرات سایه‌اندازی و انعکاس نور خورشید، از ساختمان‌های مجاور و احجام در همسایگی ساختمان اصلی (بلوک شهری) است که در قسمت؛ (Constructio Shades and Reflects) و همچنین بخش تنظیمات شبیه‌سازی (Solar) انجام می‌پذیرد. اعتبارسنجی مدل‌سازی نرم‌افزار با استفاده از؛ اندازه‌گیری داده‌های دمایی یک خیابان در کوی اعتمادیه همدان انجام شده که در بخش اعتبارسنجی شبیه‌سازی گزارش آن آمده است.

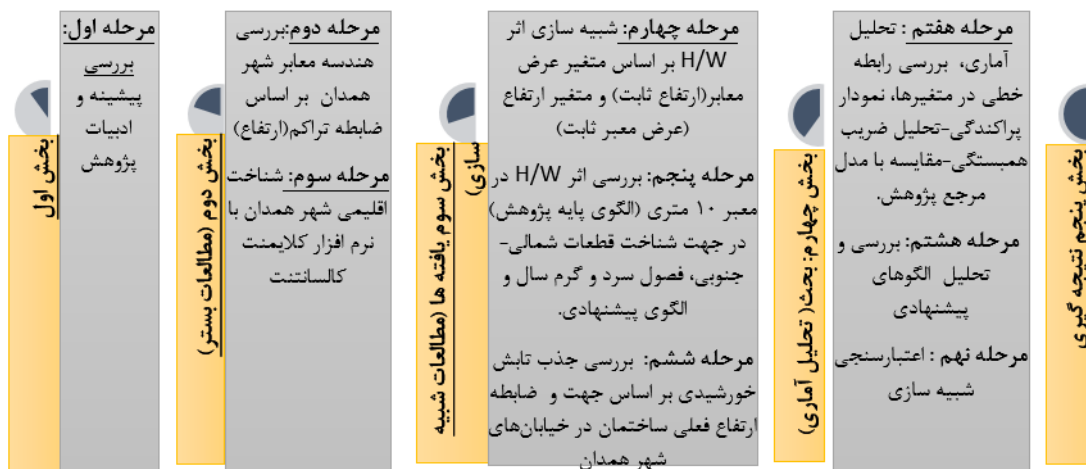
بررسی منطقه مورد مطالعه

شهر همدان مرکز استان همدان و در دامنه شمالی کوه الوند، قرار گرفته و شیب کلی آن از جنوب به شمال، با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۲ دقیقه شرقی، و عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۴۸ دقیقه شمالی است. بر اساس تحلیل خروجی نرم‌افزار کلایمنت‌کالسالنتنت، حدود ۳/۵ تا ۴/۵ ماه از سال، دما به زیر صفر می‌رسد و زمستان در این شهر ۴/۵ تا ۶ ماه به طول میانجامد و دما پایین‌تر از ۴ درجه‌ی سانتی‌گراد و نیاز به گرمایش مکانیکی، بیش از سایر نیازهاست. بنابراین ضرورت بهره‌گیری حداکثری از انرژی گرمایی خورشیدی در ۸ ماه از سال لازم است. در صورت بهره‌گیری کامل از انرژی خورشیدی، نیاز به گرمایش مکانیکی در ۳۶/۲ درصد از سال و در غیر این صورت، در حدود ۶۰ درصد از کل سال، وجود خواهد داشت. در

دیگر مانند نوع کاربری ساختمان، نحوه حضور افراد، مصالح ساختمانی، مشخصات سطح بازوها (۲۵٪ سطح دیوار) بعد از بررسی‌های میدانی و بر اساس وضع موجود بافت شهر همدان، در تمام مدل‌ها، یکسان وارد شده است. داده‌های اقلیمی همدان بر اساس داده‌های اندازه‌گیری شده سه‌ساعته سازمان هواشناسی برای دوره ۱۹۹۷-۲۰۱۷ شهر همدان (۲۱ سال) تهیه شده است. ابتدا تحلیل اقلیمی از وضعیت آب و هوا انجام پذیرفت که خلاصه نتایج در منطقه مورد مطالعه بیان می‌گردد، سپس شبیه‌سازی پژوهش در چهار بخش انجام شده است. در بخش اول با توجه به اینکه عمده خیابان‌های شهر همدان در بافت جدید، خیابان ۱۰ متری است، لذا ساختمان مجاور این خیابان، با ارتفاع ۶ طبقه به‌عنوان الگوی پایه در جهات مختلف (۱۳ جهت) مورد شبیه‌سازی انرژی قرار گرفت. با انتخاب جهت بهینه در الگوها، به بررسی اثر شاخص (H/W) در بخش دوم پرداخته شد. در این بخش برای پوشش انواع عرض خیابان‌های شهری (۶ الی ۳۶ متری) و تمام ضابطه ارتفاع ساختمان‌ها (۳ الی ۹ طبقه) و شناخت کلی اثر H/W بر جذب تابش خورشیدی، دو حالت در نظر گرفته شده است. اول بررسی اثر شاخص عرض معبر به‌صورت؛ ارتفاع ثابت و عرض خیابان متغیر از؛ ۶ متری الی ۳۶ متری (متغیر) (H/W) ثابت و دوم بررسی شاخص ارتفاع به‌صورت؛ عرض معبر ثابت و ارتفاع متغیر (ثابت) $H/W_{(متغیر)}$ ، در ارتفاع‌های مختلف (۳ الی ۹ طبقه) مورد شبیه‌سازی قرار گرفت. در بخش سوم، الگوی پایه پژوهش در بخش اول (ساختمان مجاور خیابان ۱۰ متری با ارتفاع ۶ طبقه)، برای بررسی شاخص هندسه خیابان‌ها (H/W و H و W) در قطعات شمالی و جنوبی برای فصول سرد و گرم سال انتخاب گردید. بر اساس نتایج این بخش، الگوی پیشنهادی مورد شبیه‌سازی قرار می‌گیرد. در مرحله آخر، ابتدا به بررسی اثر شاخص هندسی خیابان‌های همدان (H/W) و (W)، منطبق بر ضابطه ارتفاع فعلی بر میزان جذب تابش خورشیدی پرداخته و در نهایت، ارزیابی مدل پیشنهادی مرحله قبل، برای تمام خیابان‌های فعلی شهر همدان انجام می‌پذیرد و نتایج بر اساس استدلال منطقی بیان می‌گردد (شکل ۳). در بخش داده‌های هندسی خیابان‌ها، از نرم‌افزار آرک جی‌آی‌اس^{۱۶}، برای شناخت نوع و فراوانی و جهت خیابان‌ها در شهر همدان و برای شناخت شرایط دمایی بستر پژوهش و تحلیل اقلیمی شهر همدان، از نرم‌افزار کلایمنت‌کالسالنتنت^{۱۷}



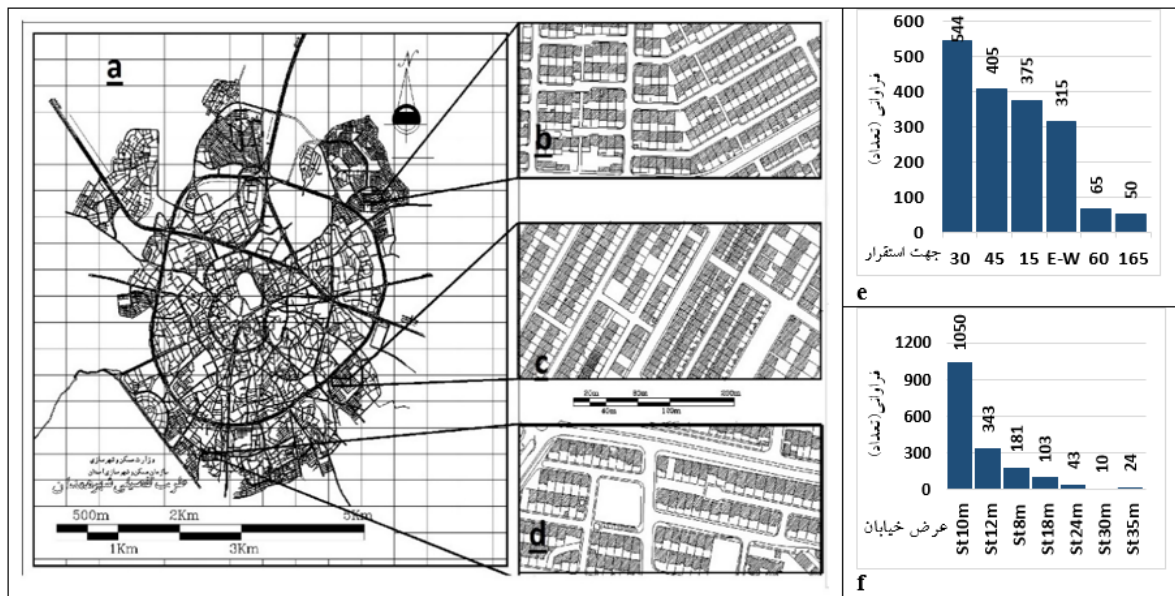
شکل ۲. معرفی مدل الگوی پژوهش برای سه هندسه دره شهری (عمیق-یکنواخت-کم عمق).
Figure 2. Introducing the research model for three urban geometries (deep-uniform-shallow).



شکل ۳. مراحل انجام پژوهش
Figure 3. Steps of research.

در یک طرف آن‌ها، فضای باز شهری (پارک‌ها، زمینهای باز و ...) وجود دارد، برای تعیین کمی هندسه خیابان، نامناسب بوده لذا، هندسه دره‌های شهری را تشکیل نداده و در این مطالعه از بررسی آن‌ها صرف نظر شده است. برای هر یک از دره‌های خیابانی، اثر عوامل هندسی خیابان (جهت، عرض خیابان (W)، ارتفاع (H) و نسبت (H/W)) برای جذب تابش مستقیم خورشیدی در جداره شفاف ساختمان‌ها در هر دو طرف خیابان، مورد تحلیل قرار می‌گیرد. زاویه ۳۰ و ۴۵ درجه با ۳۱/۲ و ۲۳/۲ درصد بیشترین استقرار جهت خیابان را دارند. خیابان ۱۰ و ۱۲ متری به ترتیب با شاخص H/W در محدوده (۰/۹۸-۱/۱۸) و (۱/۰۵-۱/۲۳) و با فراوانی ۵۹/۸ و ۱۹/۵ درصد بیشترین عرض خیابان را دارند (شکل ۴). ارتفاع ساختمان‌ها طبق ضابطه شهرسازی همدان بین ۴ الی ۱۰ طبقه و شاخص هندسی خیابان‌ها در محدوده بین ۰/۳۱ الی ۱/۲۳ است.

فصل تابستان، سایه‌اندازی با ۳۱/۴ درصد نیز قابل توجه است. نیاز به سایه فقط در حدود ۴ ماه از سال از ساعت ۹ صبح تا ۵/۵ بعد از ظهر وجود دارد که طراحی صحیح سایه‌بان، به صورتی که مانع از نفوذ آفتاب در زمستان نشود و آفتاب تابستان را هم به خوبی کنترل کند، را نشان می‌دهد. از تحلیل نمودار محدوده دمای همدان مشخص گردید در سه فصل متوسط دما پایین‌تر از محدوده آسایش قرار گرفته است. با توجه به نتایج برآورد تابش در همدان کم‌ترین مقادیر تابش خورشیدی در منطقه برای ماه آوریل و بیشترین آن در ماه سپتامبر اتفاق می‌افتد. در این مطالعه از داده‌های هندسی ۱۷۵۴ دره خیابان بافت میانی و جدید همدان (شهرک‌ها و کوی‌ها) استفاده شده است. هر دره خیابان به بخشی از خیابان اشاره دارد که از یک تقاطع به محل بعدی تقاطع امتداد یافته است. همدان دارای ۶ شهرک و ۸ کوی مسکونی در بافت جدید و توسعه یافته خود است. خیابان‌های بسیار بزرگ و خیابان‌هایی که

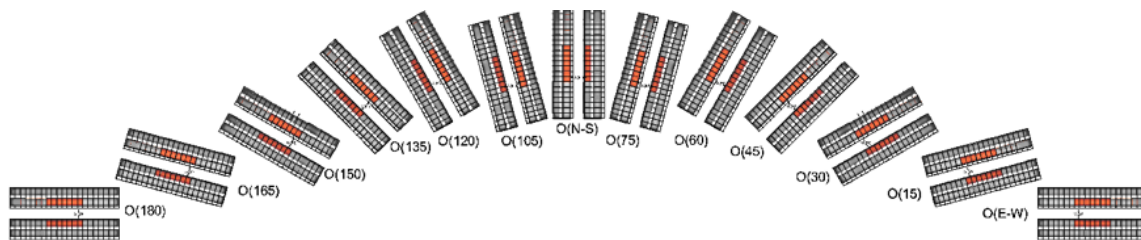


شکل ۴. a) شبکه خیابان طرح توسعه شهر همدان (۱۳۹۲) - b و c) نمونه زوایای، جهت استقرار خیابان‌ها - e) فراوانی زاویه استقرار خیابان - f) فراوانی عرض خیابان. Figure 4. a) Hamedan city development plan street network (2013) - b, c and d) sample Orientation for the location of streets - e) Abundance of street angle - f) Abundance of street width.

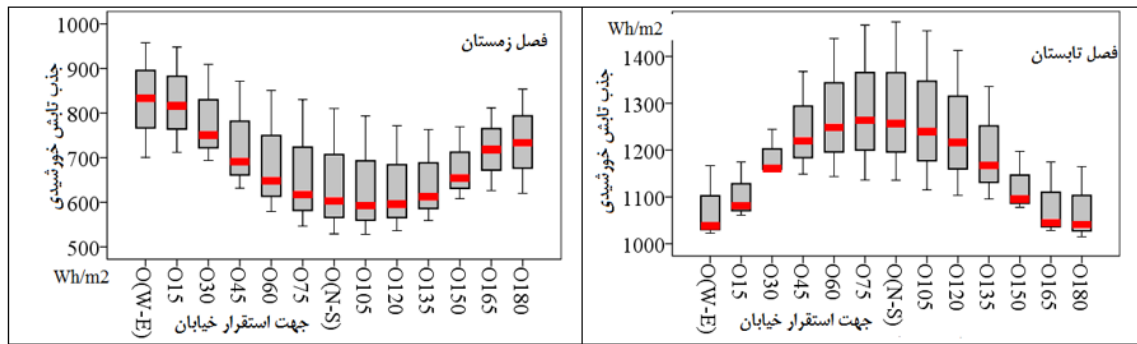
جذب تابش بیشتر و ۹/۴- کاهش جذب تابش در تابستان را دارد. از آنجا که جهت‌گیری خیابان به‌طور قابل توجهی بر الگوی روزانه جذب تابش مستقیم تأثیر می‌گذارد، خیابان‌های دارای جهت شرقی-غربی در کوتاه‌ترین روز زمستان (۲۱ دسامبر) دارای بیشترین جذب تابش خورشیدی ساعتی ($41/9 \text{ Wh/m}^2$) و در بلندترین روز تابستان (۲۱ ژانویه) دارای کمترین جذب تابش خورشیدی ساعتی ($52/23 \text{ Wh/m}^2$) نسبت به جهت دیگر است. نامناسب‌ترین جهت استقرار خیابان شمالی-جنوبی تا ۱۲۰ درجه است که در کوتاه‌ترین روز زمستان، به‌طور میانگین، کمترین جذب تابش خورشیدی ساعتی (30 Wh/m^2)، در بلندترین روز تابستان دارای میانگین بیشترین جذب تابش خورشیدی ساعتی ($88/2 \text{ Wh/m}^2$) را دارد. در بخش دوم، با تعیین جهت بهینه استقرار، شبیه‌سازی اثر H/W انجام می‌پذیرد. در این بخش دو حالت در نظر گرفته شده است. اول برای بررسی اثر شاخص عرض خیابان، ارتفاع ثابت و عرض خیابان متغیر (۶ الی ۳۶ متری) و سپس برای بررسی شاخص ارتفاع، عرض معبر ثابت و ارتفاع متغیر (۳ الی ۹ طبقه) در مدل‌سازی‌ها در نظر گرفته شد. همان‌طور که در شکل ۷ مشخص است، بین دامنه تغییرات $H_{\text{تابش}}/W_{\text{متغیر}}$ برای هر یک از ارتفاع‌های مختلف ساختمان و جذب تابش خورشیدی با افزایش میانگین شاخص (اثر افزایش ارتفاع)، میانگین جذب تابش کاهش می‌یابد و همچنین بین دامنه تغییرات (تابش)

یافته‌ها (مطالعات شبیه‌سازی جذب تابش خورشیدی قطعات مسکونی)

در ابتدا (بخش اول)، مدل الگوی پژوهش در جهات مختلف از استقرار شرقی-غربی^{۱۶} و هر ۱۵ درجه بر خلاف حرکت عقربه‌های ساعت مورد شبیه‌سازی جذب تابش خورشیدی قرار گرفت (شکل ۵). در هر تغییر جهت، میزان جذب تابش خورشیدی بر حسب (Wh/m^2) به‌صورت ماهانه به دست آمد. طبق شکل ۶، بیشترین جذب تابش در فصل زمستان (سه ماه)، جهت شرقی-غربی با مقدار (2491 Wh/m^2) و کمترین جذب برای جهت استقرار ۱۰۵ الی ۱۲۰ درجه با مقدار ($1903 - 1913 \text{ Wh/m}^2$) است. کمترین جذب تابش برای فصل تابستان جهت استقرار شرقی-غربی با مقدار (3227 Wh/m^2) و بیشترین جذب جهت استقرار شمالی-جنوبی با مقدار (3865 Wh/m^2) است. بنابراین؛ جهت شرقی-غربی بیشترین دامنه جذب تابش خورشیدی در زمستان و کمترین در تابستان را دارد. مدل مرجع برای تعیین جهت بهینه، با استفاده از نقشه مسیر حرکت خورشید در عرض جغرافیایی همدان و با منطبق کردن دمای مرز بین سایه و آفتاب؛ رو به جنوب با چرخش ۳۰ درجه نسبت به شرق است. در جدول ۲ میزان افزایش (+) و کاهش (-) جذب تابش در مقایسه جهات مختلف با مدل مرجع و جهت بهینه آمده است. طبق جدول، جهت شرقی-غربی در زمستان نسبت به مدل مرجع $+5/86$ درصد



شکل ۵. جهت خیابان‌ها در مدل‌سازی شبیه‌سازی. Figure 5. The orientation of the streets in the simulation modeling.



شکل ۶. نمودار جعبه‌ای دامنه تغییرات جذب تابش ماهانه فصل تابستان (راست) زمستان (چپ) در جهات مختلف استقرار خیابان‌ها.
Figure 6. Box diagram of the amplitude of changes in monthly radiation absorption in summer (right) winter (left) in different orientations of street placement.

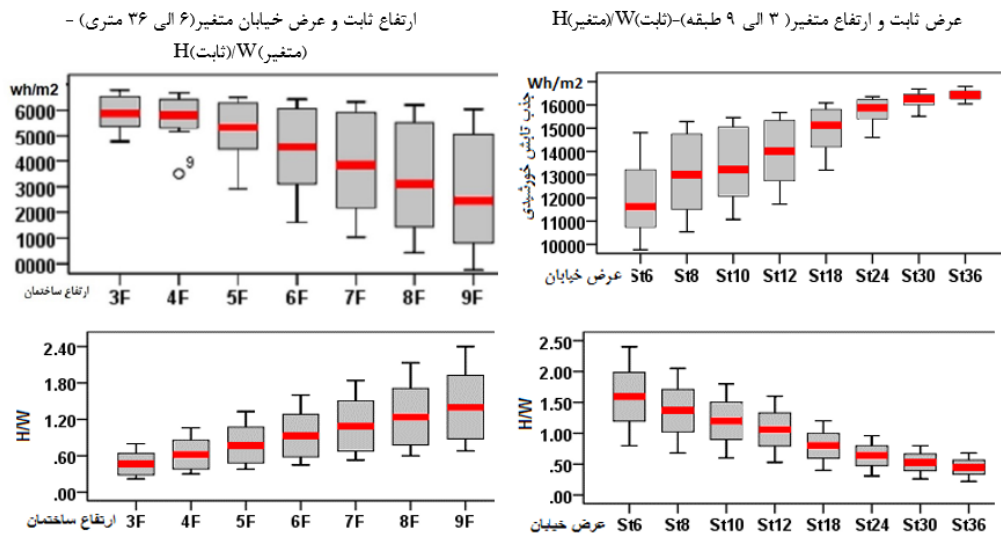
جدول ۲. مقایسه میزان جذب تابش خورشیدی ساختمان‌ها برای جهت‌های مختلف خیابان با مدل مرجع (جهت استقرار ۳۰ درجه) و جهت بهینه (E-W).
Table 2. Comparison of solar radiation absorption of buildings for different directions with the direction of the reference model (orientation (30 degrees) and optimal orientation (E-W)).

مدل مرجع	جهت خیابان	O180	O165	O150	O135	O120	O105	O75	O60	O45	O30	O15	O(W-E)
O(۳۰)	زمستان	-۶۲	-۸۴	-۱۳۱	-۱۷۷	-۱۹۳	-۱۸۱	-۱۵۳	-۱۱۶	-۶۷۵	مرجع	+۵۲۲	+۵۸۶
	تابستان	-۹۱	-۷۸	-۵۴	+۱	+۴/۷	+۶/۶	+۸/۵	+۷/۵	+۴/۸	مرجع	-۶/۶	-۹/۴
E-W	زمستان	-۱۱/۴	-۱۳/۵	-۱۸/۱	-۲۲/۳	-۲۳/۶	-۲۲/۲	-۲۰	-۱۶/۹	-۱۱/۹	-۵/۹	-۰/۶	مرجع
	تابستان	+۰/۱	+۰/۶	+۴/۵	+۱۱/۵	+۱۵/۷	+۱۸/۱	+۱۹/۹	+۱۸/۷	+۱۶/۶	+۱۰/۴	+۲/۸	مرجع

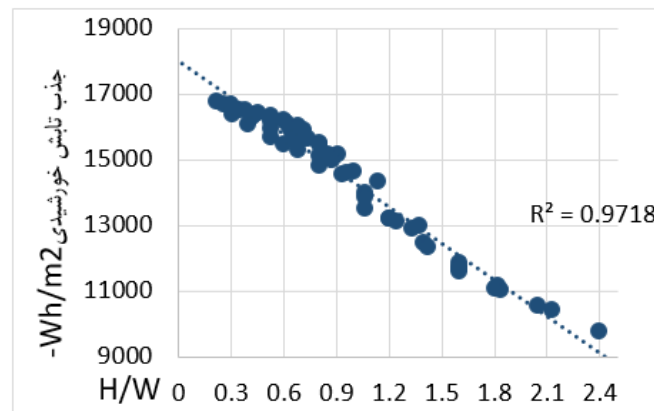
معبر ثابت) مورد بررسی قرار گرفت. طبق شکل ۹، در قطعات شمالی برای شاخص عرض خیابان و ارتفاع، دامنه تغییرات جذب تابش خورشیدی در دو فصل زمستان و پاییز بیشتر و در فصل بهار و تابستان بسیار کم است. لذا باتوجه به توزیع فضایی یکنواخت تابش خورشید در تابستان، اثر شاخص هندسی H/W در فصول سرد سال بیشتر از فصول گرم سال برای قطعات شمالی است. دامنه تغییرات جذب تابش خورشیدی در تمام شاخص‌های هندسی خیابان شهری (۶ الی ۳۵ متری) در ماه ژانویه بین $(1965 - 765)$ (Wh/m^2) و در ماه جولای بین $(1076 - 763)$ (Wh/m^2) متغیر است. که نشان‌دهنده اهمیت جذب تابش خورشیدی در فصل زمستان برای خیابان‌ها با عرض بیشتر (عدد کمتر) شاخص (H/W) است. علت این پدیده کاهش ارتفاع خورشید و افزایش تابش پراکنده در خیابان‌های عرضی است. برای قطعات جنوبی برعکس قطعات شمالی، بری هر دو شاخص، جذب تابش خورشیدی در تابستان بیشتر است علت این پدیده در سایه قرار گرفتن این قطعات در طول فصول سرد سال و افزایش ارتفاع خورشید و کاهش زاویه میل خورشید در تابستان برای دریافت بیشتر تابش خورشید داخل حیاط است (شکل ۱۰).

H/W (متغیر) برای هر یک از خیابان‌های شهری و جذب تابش خورشیدی دیده شد که با کاهش میانگین شاخص (اثر عرض خیابان)، میانگین جذب تابش افزایش می‌یابد (شکل ۷). بنابراین همان‌طور که در شکل ۸ مشخص هست رابطه معکوسی بین شاخص H/W و جذب تابش خورشیدی وجود دارد. به عبارتی با کاهش شاخص H/W مقدار جذب تابش افزایش می‌یابد، به طوری که خیابان ۳۶ متری نسبت به خیابان ۶ متری با دامنه تغییرات ارتفاع ۳ الی ۹ طبقه با اختلاف جذب تابش خورشیدی $(462 Wh/m^2)$ و دارای ۴۱/۳۵ درصد افزایش جذب تابش است. در ادامه برای بررسی بیشتر اثر شاخص H/W بر جذب تابش خورشیدی در فصول سرد و گرم سال و تفکیک قطعات شمالی و جنوبی، الگوی پایه پژوهش (ساختمان ۶ طبقه) در خیابان ۱۰ متری (با توجه به فراوانی در بستر شهر همدان)، مورد شبیه‌سازی قرار گرفت.

الگوی پایه پژوهش، در دو بخش قطعات شمالی و جنوبی، در حالت‌های بدون شاخص خیابان و شاخص هندسی خیابان، تهیه و اثر شاخص هندسی (H/W) برای دو حالت شاخص عرض معبر (ارتفاع ثابت) و ارتفاع (عرض



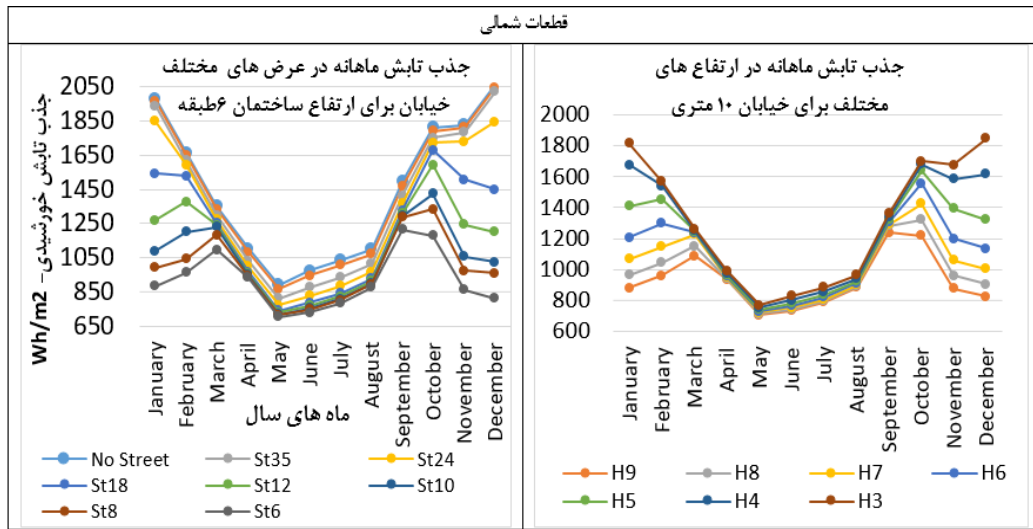
شکل ۷. نمودار جعبه‌ریز اول: میزان جذب تابش خورشیدی سالانه برای شاخص عرض خیابان؛ (متغیر)W/(ثابت)H - شاخص ارتفاع؛ (ثابت)W/(متغیر)H - ردیف دوم: دامنه تغییرات (H/W) برای شاخص ارتفاع و عرض خیابان.
 Figure 7. First row box diagram: Annual solar radiation absorption for street width index; W(Variable)/H(fixed) - height index; W(fixed)/H(Variable) - Second row: Amplitude of changes (H/W) for street height and width index.



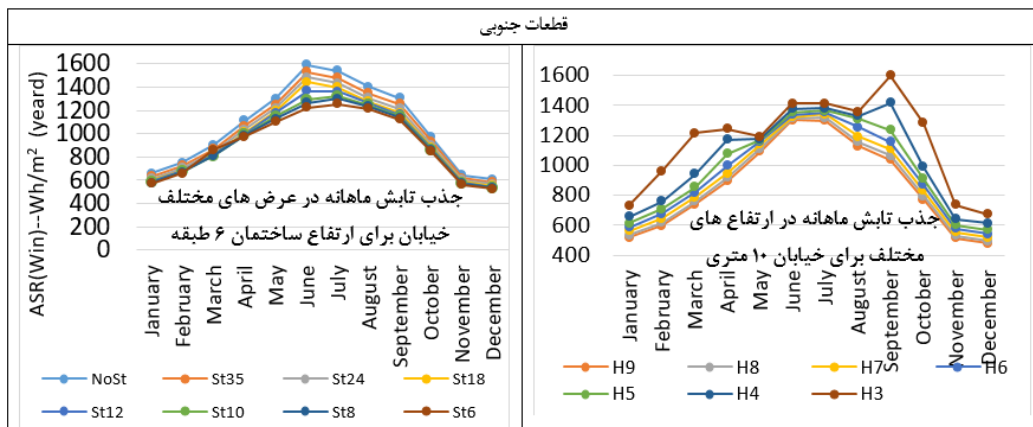
شکل ۸. نمودار خطی بین شاخص (H/W) و میزان جذب تابش خورشیدی بر اساس شاخص‌های ارتفاع و عرض خیابان.
 Figure 8. Line chart between the index (H/W) and the amount of solar radiation absorption based on the indicators of height and width of the street.

طبق نمودار جعبه شکل ۱۱، در قطعات شمالی، در حالت بدون همسایگی بیشترین دامنه تغییرات و میانگین جذب تابش خورشیدی در ماههای مختلف سال رخ می‌دهد ($M_{No(st)} = 1410 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$). از کوچه ۶ متری تا خیابان ۳۵ متری با افزایش عرض و کاهش شاخص هندسه (H/W) دامنه جذب تابش خورشیدی و میانگین آن‌ها بیشتر می‌شود. در کوچه ۶ متری بیش از ۵۰ درصد جذب مقدار تابش خورشیدی بین $750 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ و $935 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ و برای خیابان ۳۵ متری بین $1010 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ و $1780 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ در ساختمان‌ها قرار دارد. میانگین جذب در خیابان‌های ۶ الی ۷۵ متری دارای دامنه تغییرات $625 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ است. برای شاخص ارتفاع، با افزایش ارتفاع ساختمان در خیابان ۱۰ متری، دامنه جذب تابش خورشیدی ماهانه کاهش یافته و از ارتفاع ۳ طبقه با میانگین $1310/03 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ تا ارتفاع ۹ طبقه با میانگین $428/63 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ است که نسبت به تغییرات شاخص عرض خیابان $625 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ دارای کاهش ۳۱/۴۱ درصدی است. لذا اهمیت شاخص عرض معبر نسبت به ارتفاع ۴۵/۸۱ درصد برای قطعات شمالی بیشتر است.

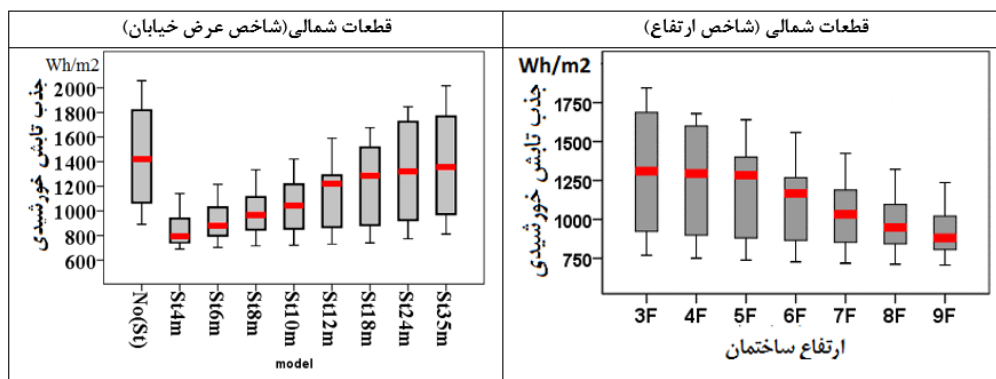
برای قطعات جنوبی (شکل ۱۲) در حالت بدون همسایگی بیشترین جذب تابش خورشیدی با میانگین $11850 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ به دلیل عدم سایه بر روی بدنه‌های ساختمان رخ می‌دهد. از کوچه ۶ متری تا خیابان ۳۵ متری با افزایش عرض و کاهش شاخص هندسه (H/W) دامنه جذب تابش خورشیدی با شیب کمی افزایش می‌یابد. به طوریکه میانگین آن در کوچه ۶ الی ۳۵ متری دارای دامنه تغییرات $154 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ است. برای شاخص ارتفاع، با افزایش ارتفاع ساختمان دامنه جذب تابش خورشیدی ماهانه کاهش یافته و از ارتفاع ۳ طبقه با میانگین $1310/03 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ تا ارتفاع ۹ طبقه با میانگین $428/63 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ است که نسبت به تغییرات شاخص عرض خیابان $625 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ دارای کاهش ۳۱/۴۱ درصدی است.



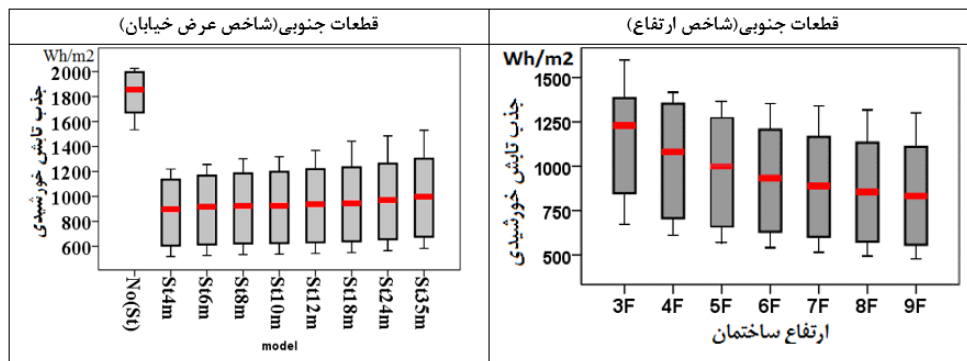
شکل ۹. نمودار میزان جذب تابش خورشیدی برای ماه‌های مختلف سال برای شاخص عرض خیابان و ارتفاع در قطعات شمالی.
Figure 9. Diagram of solar radiation absorption for different months of the year for the index of street width and height in the northern parts.



شکل ۱۰. نمودار میزان جذب تابش خورشیدی برای ماه‌های مختلف سال برای شاخص عرض خیابان و ارتفاع در قطعات جنوبی.
Figure 10. Diagram of solar radiation absorption for different months of the year for the street width and height index in the southern parts.



شکل ۱۱. دامنه تغییرات جذب تابش خورشیدی ماهانه شاخص ارتفاع (راست) و شاخص عرض خیابان (چپ) برای قطعات شمالی.
Figure 11. Range of changes of monthly solar radiation absorption height index (right) and street width index (left) for northern parts.



شکل ۱۲. دامنه تغییرات جذب تابش خورشیدی ماهانه شاخص ارتفاع(راست) و شاخص عرض خیابان(چپ) برای قطعات جنوبی. Figure 12. Range of changes in monthly solar radiation absorption height index (right) and street width index (left) for south-eastern parts.

در فصل تابستان در قطعات شمالی ($968 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$) و جنوبی ($1265 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$) است (شکل ۱۳). لذا قطعات شمالی نسبت به قطعات جنوبی با افزایش ۰/۹۱ درصدی جذب تابش در فصل سرد (زمستان) و کاهش ۲۳/۴۷ درصدی جذب تابش در فصل گرم (تابستان) عملکرد بسیار مناسب‌تری دارد. در بررسی اثر شاخص ارتفاع الگوی پایه پژوهش مشاهده گردید در شاخص‌های مختلف خیابان بر اثر تغییرات ارتفاع (الی/الی $1/8 = H/W$)، دامنه تغییرات جذب تابش خورشیدی ماهانه در سال برای قطعات شمالی متفاوت با قطعات جنوبی است به طوری که در قطعات شمالی حداقل ($706 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$) و حداکثر ($1844 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$) با اختلاف ($1138 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$) و میانه آن ($1106/77 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$) است. برای قطعات جنوبی حداقل ($478 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$) و حداکثر ($1599 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$) و با اختلاف ($1160/77 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$) و میانه آن ($967/11 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$) است. لذا میانگین جذب تابش خورشیدی در قطعات شمالی بیشتر از قطعات جنوبی است. همچنین میانگین جذب تابش خورشیدی ماهانه در فصل زمستان برای قطعات شمالی ($1261/01 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$) و جنوبی ($726/95 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$) در فصل تابستان در قطعات شمالی ($837/69 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$) و جنوبی ($1314/63 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$) است (شکل ۱۳). لذا قطعات شمالی نسبت به قطعات جنوبی با افزایش ۷۳/۴۶ درصدی جذب تابش در فصل سرد (زمستان) و کاهش ۳۶/۲۷ درصدی جذب تابش در فصل گرم (تابستان) عملکرد بسیار مناسب‌تری دارد.

جهت بررسی رابطه بین شاخص هندسی، W (عرض خیابان)، ارتفاع (H) و H/W ، با میزان جذب تابش خورشید، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. یافته‌ها نشان می‌دهد بین شاخص هندسی H/W و شاخص ارتفاع (H) جذب تابش در قطعات شمالی و جنوبی برای تابستان و زمستان، رابطه همبستگی منفی (معکوس) و در شاخص عرض خیابان (W)، رابطه همبستگی مثبت (مستقیم) و با شدت بسیار زیاد برقرار است (جدول ۳). لذا شاخص (H/W) ، عرض خیابان (W) و ارتفاع ساختمان (H)، به شدت در جذب تابش مؤثر هستند. مقدار ضریب تعیین R^2 برای ارتباط خطی بین جذب تابش خورشیدی و شاخص (H/W) (تاب) برای فصل زمستان (سه ماه) در قطعات شمالی و جنوبی به ترتیب $R^2 = 0/97$ و $R^2 = 0/81$ و با اختلاف (2394 Wh/m^2) و (307 Wh/m^2) است، که اختلاف تغییرات در قطعات شمالی بسیار زیاد و در حدود ۷ برابر قطعات جنوبی است که نشان‌دهنده اثر شاخص H/W بر میزان جذب تابش قطعات شمالی نسبت به جنوبی است. دلیل این امر برای قطعات جنوبی، عدم دریافت مستقیم نور خورشید برای نمای شمالی ساختمان (داخل معبر) و قرار گرفتن نمای جنوبی (داخل حیاط) این قطعات در سایه (شاخص $H/W_{(CO)}$ داخل حیاط) و همچنین در مقابل، قرار گرفتن

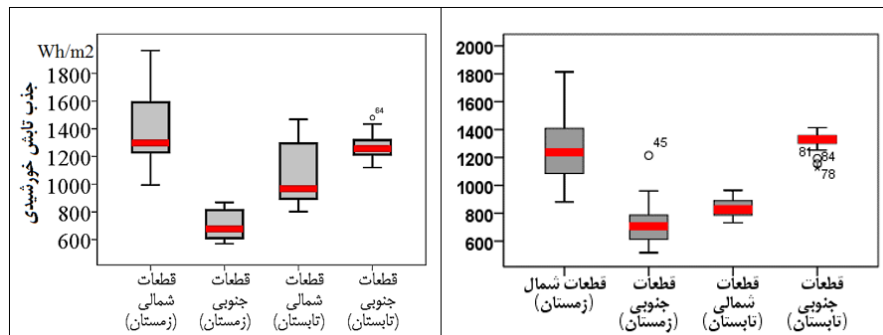
۳ طبقه با میانگین $1228/58 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ تا ارتفاع ۹ طبقه با میانگین $831/93 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ دارای دامنه تغییرات به مقدار $456/65 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ است که نسبت به تغییرات شاخص عرض خیابان $154 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ دارای افزایش ۱۹۶/۵۲ درصدی است. لذا اهمیت شاخص ارتفاع ساختمان نسبت به عرض خیابان در قطعات جنوبی حدود دو برابر بیشتر است (شکل ۱۲). شاخص ارتفاع در قطعات شمالی دارای دامنه تغییرات به مقدار $428/63 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ نسبت به قطعات جنوبی که دارای دامنه تغییرات به مقدار $456/65 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ است دارای کاهش ۶/۱۳ درصد است. لذا اثر شاخص ارتفاع برای هر دو قطعات یکسان است و تفاوت آماری مشاهده نمی‌گردد. شاخص عرض معبر در قطعات شمالی دارای دامنه تغییرات $625 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ نسبت به قطعات جنوبی که دارای دامنه تغییرات به مقدار $154 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$ است دارای افزایش ۳۰۵/۰۸ درصد است. بنابراین شاخص عرض معبر برای قطعات شمالی نسبت به قطعات جنوبی مؤثرتر است.

بمب

میزان جذب تابش ماهانه در زاویه‌های مختلف استقرار خیابان‌ها، با حداقل و حداکثر $(483 - 1146)$ و با اختلاف (683) است، که در مقایسه با اثر شاخص H/W با حداقل و حداکثر $(2045 - 527 \text{ (Wh/m}^2\text{)})$ و با اختلاف (1528) مشخص گردید؛ شاخص هندسی (H/W) به مقدار ۱۲۳ درصد تأثیر بیشتری بر جذب تابش نسبت به شاخص جهت داشته، و از اهمیت بیشتری در دسترسی ساختمان‌ها در جذب تابش مستقیم خورشید دارد. بنابراین در ادامه با انتخاب جهت بهینه (شرقی-غربی)، به تحلیل اثر شاخص H/W بر میزان جذب تابش ساختمان‌ها پرداخته شده است.

ارزیابی اثر شاخص H/W بر میزان جذب تابش خورشیدی (بین قطعات شمالی و جنوبی و فصل‌های سرد و گرم سال)

در شاخص عرض خیابان برای الگوی پایه پژوهش (الی/الی $1/6 = H/W$)، دامنه تغییرات جذب تابش خورشیدی ماهانه در سال برای قطعات شمالی متفاوت با قطعات جنوبی است به طوری که در قطعات شمالی حداقل ($716 \text{ (Wh/m}^2\text{)}$) و حداکثر $(2045 \text{ (Wh/m}^2\text{)})$ با اختلاف $(1329 \text{ (Wh/m}^2\text{)})$ و میانه آن $(1136 \text{ (Wh/m}^2\text{)})$ است. برای قطعات جنوبی حداقل $(527 \text{ (Wh/m}^2\text{)})$ و حداکثر $(1530 \text{ (Wh/m}^2\text{)})$ و با اختلاف $(1003 \text{ (Wh/m}^2\text{)})$ و میانه آن $(953 \text{ (Wh/m}^2\text{)})$ است، لذا میانگین جذب تابش خورشیدی در قطعات شمالی بیشتر از قطعات جنوبی است. همچنین میانگین جذب تابش خورشیدی ماهانه در فصل زمستان برای قطعات شمالی ($1297 \text{ (Wh/m}^2\text{)})$ و جنوبی ($678 \text{ (Wh/m}^2\text{)})$ و



شکل ۱۲. دامنه تغییرات جذب تابش خورشیدی ماهانه قطعات شمالی و جنوبی و فصل‌های تابستان و زمستان الگوی پایه پژوهش، در خیابان‌های مختلف راست شاخص ارتفاع-چپ شاخص عرض خیابان.

Figure 12. Range of changes in monthly solar radiation absorption in the northern and southern parts and summer and winter seasons of the basic research model, in different streets, right; height index-left; street width index.

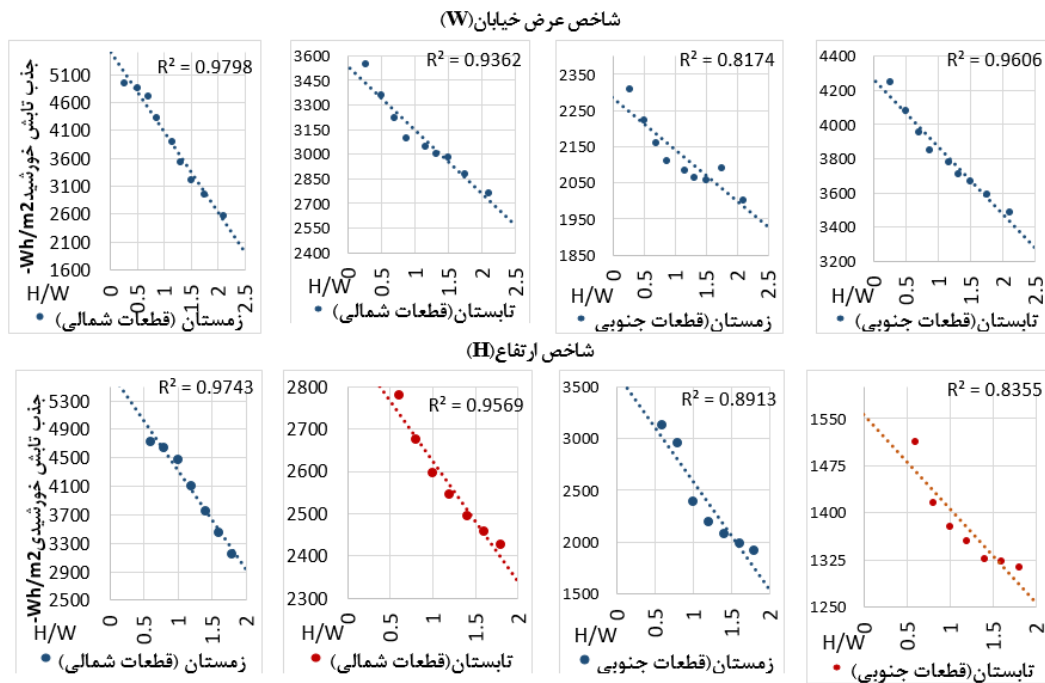
شمالی و جنوبی به ترتیب $R^2=0/97$ و $R^2=0/89$ و با اختلاف Wh/m^2 (۱۵۶۵) و Wh/m^2 (۱۲۰۵) است. به ازای افزایش هر ۰/۱ مقدار H/W (افزایش ارتفاع ساختمان)، برای فصل زمستان در قطعات شمالی مقدار (Wh/m^2) (۱۳۹/۴) و در قطعات جنوبی (Wh/m^2) (۱۰۴/۴) کاهش جذب تابش رخ میدهد $(Y=1395/4X+5713/7)$ و $(Y=-1044/1X+3632/4)$. برای فصل تابستان به ازای افزایش هر ۰/۱ مقدار H/W (افزایش ارتفاع ساختمان)، در قطعات شمالی مقدار (Wh/m^2) (۲۸/۴) و در قطعات جنوبی (Wh/m^2) (۱۴/۹) کاهش جذب تابش رخ میدهد $(Y=-284/4X+2908/5)$ و $(Y=-149/82X+1554/6)$ (شکل ۱۴). لذا تغییرات ارتفاع برای قطعات جنوبی در فصل زمستان مؤثرتر است لذا افزایش ارتفاع در پی تصمیم‌گیری مدیران شهری جهت افزایش تراکم بدن توجه به بحث دریافت تابش نور خورشید بسیار مهم است. در دره‌های هندسی کم عمق دمای تابشی بیشتر از دره‌های عمیق هست. کاهش شاخص H/W، میانگین دمای تابشی در تمام خیابان‌ها افزایش یافته و دمای گرم‌تری در سطح خیابان بر اثر تابش مستقیم خورشید به وجود می‌آید. عدد ضریب همبستگی در قطعات شمالی و جنوبی بین متغیر شاخص H/W و دمای تابشی به ترتیب $-0/96$ و $-0/97$ است که نشان‌دهنده رابطه معکوس و با شدت بسیار زیاد است. با رسم تابع خطی برای قطعات شمالی و جنوبی مشخص گردید با افزایش شاخص H/W میزان دمای تابش خورشید کاهش می‌یابد. بنابراین، بر اثر همسایگی و مجاورت، با افزایش عدد شاخص

نمای جنوبی قطعات شمالی، در معرض تابش مستقیم خورشید برای اکثر اوقات سرد سال است. لذا توجه به راهکار افزایش جذب تابش زمستانی در قطعات جنوبی الزامی است. به ازای کاهش هر ۰/۱ مقدار H/W (افزایش فاصله افقی بین ساختمان‌ها)، برای شاخص عرض معبر و ارتفاع به ترتیب در قطعات شمالی مقدار Wh/m^2 (۱۷۲) و (۱۳۹) و در قطعات جنوبی Wh/m^2 (۱۶) و Wh/m^2 (۱۰۴) افزایش جذب تابش در زمستان روی داده و رگرسیون خطی این نتیجه را در سطح بالاتر از ۰/۹۵ درصد، معنی‌دار برآورد می‌کند $(Y=-1440/1X+5509)$ و $(Y=-141/53X+2281/8)$. برای فصل تابستان، ضریب تعیین R^2 در قطعات شمالی و جنوبی به ترتیب $R^2=0/93$ و $R^2=0/96$ و با اختلاف Wh/m^2 (۷۸۲) و Wh/m^2 (۷۶۱) است. به ازای کاهش هر ۰/۱ مقدار H/W (افزایش فاصله افقی بین ساختمان‌ها)، در قطعات شمالی مقدار Wh/m^2 (۳۸/۸) و در قطعات جنوبی Wh/m^2 (۳۹/۵) افزایش جذب تابش رخ می‌دهد $(Y=-395/56X+4265/4)$ و $(Y=-388/96X+3538/7)$. با توجه به یکسان بودن تغییرات جذب تابش در تابستان برای هر دو قطعات شهری و عدم تفاوت معنی‌داری آماری، توجه به سایه‌سازها برای کاهش جذب تابش در فصل تابستان برای هر دو قطعات الزامی است (شکل ۱۴). مقدار ضریب تعیین R^2 برای ارتباط خطی بین جذب تابش خورشیدی و شاخص ارتفاع $(\frac{H}{W})_{(تابش)}$ برای فصل زمستان (سه ماه) در قطعات

جدول ۳. ضریب همبستگی پیرسون و تفسیر آن بین؛ متغیر مستقل H/W، H و W؛ متغیر وابسته میزان جذب تابش خورشید در قطعات شمالی و جنوبی برای فصل زمستان و تابستان. الگوی پایه پژوهش ساختمان ۶ طبقه مجاور خیابان ۱۰ متری

Table 3. Pearson correlation coefficient and its interpretation between; The independent variables H/W, W and H, with the dependent variable of the amount of solar radiation absorption in the northern and southern parts for winter and summer. Basic research model of a 6-storey building adjacent to a 10-meter street

رابطه و شدت	قطعات جنوبی		قطعات شمالی		متغیر وابسته (Wh/m^2)	متغیر مستقل
	تابستان	زمستان	تابستان	زمستان		
معکوس و بسیار زیاد	-۰/۹۸	-۰/۹	-۰/۹۶	-۰/۹۸	جذب تابش خورشید	H/W
مستقیم و بسیار زیاد	+۰/۹۲	+۰/۹۴	+۰/۹۳	+۰/۸۱	جذب تابش خورشید	W
معکوس و بسیار زیاد	-۰/۹۰	-۰/۸۵	-۰/۹۷	-۰/۹۷	جذب تابش خورشیدی	H

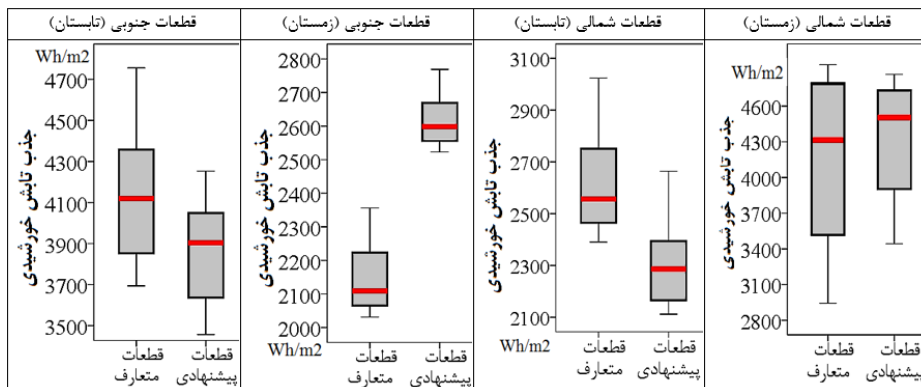


شکل ۱۴. نمودار خطی میزان جذب تابش در زمستان و تابستان برای قطعات جنوبی و شمالی برای شاخص عرض خیابان (ردیف اول) و شاخص ارتفاع (ردیف دوم) مدل پایه پژوهش (ساختمان ۶ طبقه)

Figure 14. Line chart of summer and winter radiation absorption for southern and northern parts for street width index (first row) and height index (second row) Basic research model (6-storey building)

مطالعه تغییر طول زمین قطعات از ۲۰ متر به ۲۴ متر بدون افزایش مقدار سطح اشغال (افزایش طول حیاط از ۶ متر به ۱۰ متر) و ایجاد سایه بان افقی در بالای جداره‌های شفاف نماهای جنوبی است. نتایج شبیه‌سازی الگوی پیشنهادی و مقایسه با الگوی متعارف در شکل ۱۵ آمده است. در قطعات شمالی الگوی پیشنهادی، برای فصل زمستان به‌طور میانگین افزایش جذب تابش (۳/۸۲+) و برای فصل تابستان کاهش (۱۲/۳-) نسبت به الگوی متعارف در تمام خیابان‌ها به وجود می‌آید. در قطعات جنوبی الگوی پیشنهادی، برای فصل زمستان به‌طور میانگین افزایش جذب تابش (۲۱/۴+) و برای فصل

هندسی (H/W) و قرارگیری ساختمان‌ها در سایه احجام بناهای مجاور و کاهش دمای تابشی، میزان جذب تابش خورشیدی کاهش می‌یابد. لذا در تعیین سیاست‌های نظام ارتفاعی و الگوهای مکان سطح اشغال در شهرهای اقلیم سرد، توجه به مسئله دستیابی ساختمان‌ها به نور مستقیم خورشیدی بسیار اهمیت دارد. بنابراین، توجه به جذب تابش خورشیدی در زمستان برای قطعات جنوبی و کاهش جذب در تابستان برای قطعات شمالی و جنوبی از اصول اساسی برای اقلیم سرد است، در نتیجه با توجه به تأثیر شاخص H/W و همچنین ساختار تقسیم‌بندی قطعات شهر همدان، پیشنهاد این



شکل ۱۵. دامنه تغییرات میزان جذب تابش خورشیدی قطعات شمالی و جنوبی الگوی پیشنهادی و متعارف پژوهش در زمستان و تابستان.

Figure 15. Range of changes in the amount of solar radiation absorption in the northern and southern parts of the proposed and conventional research model in summer and winter.

جدول ۴. مقایسه درصد میزان جذب تابش خورشیدی قطعات شمالی و جنوبی ساختمان ۶ طبقه الگوی پیشنهادی نسبت به الگوی متعارف پژوهش در شاخص عرض خیابان.

Table 4. Comparison of solar radiation absorption in the northern and southern parts of a 6-storey building The proposed model compared to the conventional research model in the street width index.

خیابان شهری	۶ متری	۸ متری	۱۰ متری	۱۲ متری	۱۸ متری	۲۴ متری	۳۰ متری	۳۵ متری	۷۵ متری	کل با هم
H/W	۱/۸۵	۱/۵۸	۱/۳۸	۱/۲۳	۰/۹۲۵	۰/۷۴	۰/۶۱	۰/۵۴	۰/۲۷	-
قطعات شمالی	تابستان	-۱۲/۴۷	-۱۲/۱۲	-۹/۹۱	-۱۰/۵۶	-۱۲/۳۴	-۱۲/۹۷	-۱۳/۴۷	-۱۱/۹	-۱۲/۳
	زمستان	+۱۷/۰۲	+۱۳/۸۲	+۱۰/۸۴	+۴/۳۲	+۴/۳۷	-۰/۷	-۱/۸	-۱/۶	+۳/۸۳
قطعات جنوبی	تابستان	-۱۰/۵۷	-۹/۹	-۷/۰۹	-۳/۹	-۵/۲۶	-۶/۶۱	-۵/۶	-۶/۴۱	-۶/۹۱
	زمستان	+۲۴/۲	+۲۳/۸۳	+۲۳/۷۷	+۲۳/۲۱	+۲۳/۲۳	+۲۲/۴۱	+۲۰/۰۶	+۱۶/۱۹	+۲۱/۴

تابش و شاخص H/W در خیابان‌های همدان، در فصل زمستان و تابستان به ترتیب (۰/۹۲) و (۰/۷۲)، در جهت معکوس به دست آمد. به عبارتی با افزایش شاخص H/W مقدار تابش دریافتی کاهش یافته و سطح دسترسی به تابش مستقیم نور خورشید کاهش می‌یابد. همچنین به ازای کاهش هر ۰/۱ مقدار H/W (افزایش فاصله افقی بین ساختمان‌ها)، مقدار ($1.29/3 \text{ Wh/m}^2$)، در زمستان و ($4.1/7 \text{ Wh/m}^2$) در تابستان افزایش جذب تابش روی داده است. برای قطعات جنوبی مقدار ضریب تعیین R^2 برای ارتباط خطی بین جذب تابش خورشیدی در خیابان‌های همدان در فصل زمستان و تابستان به ترتیب (۰/۴۲) و (۰/۶۷) با شدت متوسط و زیاد است که برای تابستان در جهت معکوس و زمستان مستقیم است همچنین به ازای کاهش هر ۰/۱ مقدار H/W (افزایش فاصله افقی بین ساختمان‌ها)، مقدار ($6.7/7 \text{ Wh/m}^2$) کاهش جذب تابش خورشیدی در زمستان و ($3.5/1 \text{ Wh/m}^2$) افزایش برای تابستان روی داده است (شکل ۱۶). بدین‌سان فصل زمستان برای قطعات جنوبی به دلیل قرارگیری در دو هندسه H/W خیابان و H/W داخل حیاط، برعکس قطعات شمالی است. جهت تعیین میزان درصد افزایش و کاهش جذب تابش خورشیدی بر اساس ضابطه ارتفاع طرح تفضیلی همدان، از مدل مرجع استفاده گردید. مدل مرجع برای انتخاب شاخص بهینه با استفاده از حداقل زاویه تابش در همدان ۳۰ درجه محاسبه گردید، که برای به دست آوردن حداکثر ارتفاع از ($\tan 30 = H/W$) استفاده شد. در این صورت نسبت $H/W = 0.53$ مدل مرجع است. نتایج در مقایسه با مدل مرجع نشان می‌دهد؛ در خیابانهای ۶ الی ۳۰ متری با توجه به دامنه تغییرات H/W در محدوده (۰/۶۲-۱/۲۳) کاهش جذب تابش خورشیدی و در خیابان ۳۵ الی ۷۵ متری با دامنه تغییرات H/W در محدوده (۰/۵۴-۰/۳۱) افزایش رخ می‌دهد. در مقایسه خیابان‌ها با همدیگر، بیشترین کاهش جذب تابش زمستان به میزان ۱۸/۶ درصد، در خیابان ۱۲ متری با فراوانی حدود ۱۹/۵ درصد خیابان‌ها است. و کمترین کاهش در خیابان ۳۰ متری با ارتفاع ۹ طبقه به میزان ۱/۱ درصد نسبت به خیابان ۳۵ متری است. خیابان‌های ۱۰ و ۱۲ متری با میزان فراوانی حدود ۷۹ درصد خیابان‌های بافت جدید (شهرک‌ها و کوی‌ها)، غیر بهینه‌ترین و خیابانهای ۳۵ و ۳۰ متری با حدود ۲ درصد بهینه‌ترین خیابان برای دسترسی به تابش خورشیدی در فصل زمستان همدان هستند (جدول ۷).

جهت افزایش جذب تابش در زمستان و کاهش جذب در تابستان، الگوی پیشنهادی مطرح شده از مرحله قبل برای تمام خیابان‌های فعلی شهر همدان پیاده گشت و مدال‌های قطعات شهری مجدد مورد شبیه‌سازی قرار گرفت.

تابستان کاهش (۶/۹۱-) نسبت به الگوی متعارف در تمام خیابان‌ها به وجود می‌آید (جدول ۴). بنابراین در الگوی پیشنهادی برای هر یک از خیابان‌ها در زمستان افزایش جذب تابش خورشیدی و در تابستان کاهش جذب تابش خورشیدی برای قطعات شمالی و جنوبی رخ می‌دهد. در جدول ۴ مقدار افزایش جذب تابش خورشیدی در زمستان و کاهش جذب در تابستان برای هر یک از شاخص هندسه H/W الگوی پیشنهادی در مقایسه با الگوی متعارف آمده است.

بررسی جذب تابش خورشیدی بر اساس جهت و ضابطه ارتفاع فعلی ساختمان در خیابان‌های شهر همدان

با بررسی جهت استقرار خیابانهای موجود در بافت جدید شهر همدان (جدول ۵)، مشخص گردید که جهت استقرار شرقی-غربی (E-W) با فراوانی ۳۱۵ عدد و با ۱۷/۹ درصد خیابانها، در استقرار بهینه جذب بیشتر تابش زمستانی و کاهش تابستانی قرار دارند. جهت (۱۵۰)، (۳۰ O) و (۴۵ O) به ترتیب ۲۱/۴، ۳۱/۲ و ۲۳/۲ درصد استقرار و هر یک با کاهش جذب تابش زمستانی به ترتیب با (۰/۶-)، (۵/۹-) و (۱۱/۹-) و افزایش جذب تابش در تابستان به مقدار (۲/۸+)، (۱۰/۴+) و (۱۶/۶+) نسبت به جهت بهینه شرقی-غربی (E-W) قرار دارند. بنابراین با در نظر نگرفتن تغییرات ناچیز زاویه (۱۵۰) در مجموع حدود ۴۰ درصد خیابان‌های بافت جدید همدان در جهت استقرار بهینه و ۶۰ درصد، در جهت استقرار غیربهینه قرار دارد.

بر اساس ضوابط ارتفاع ساختمان‌های شهر همدان، شاخص هندسه H/W در خیابان‌ها در محدوده ۱/۲۳ الی ۰/۳۱ قرار داشته و با افزایش عرض خیابان، مقدار آن کاهش یافته (همبستگی معکوس) و هندسه دره شهری در جهت دره‌های کم‌عمق هدایت می‌شود. جهت بررسی رابطه بین شاخص هندسی H/W و W با میزان جذب تابش، از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. طبق جدول ضریب همبستگی (جدول ۶)، یافته‌ها نشان می‌دهد بین شاخص هندسی H/W با جذب تابش در قطعات شمالی (تابستان و زمستان) و قطعات جنوبی (تابستان)، رابطه همبستگی منفی (معکوس) با شدت بسیار زیاد و زیاد وجود دارد این رابطه برای فصل زمستان در قطعات جنوبی، مستقیم و با شدت زیاد مشاهده گردید. برای شاخص W (عرض خیابان) با جذب تابش، در قطعات شمالی (تابستان و زمستان) و قطعات جنوبی (تابستان)، رابطه مستقیم و با شدت بسیار زیاد و زمستان قطعات جنوبی، معکوس و با شدت کم برقرار است.

برای قطعات شمالی مقدار ضریب تعیین R^2 برای ارتباط خطی بین جذب

جدول ۵. میزان فراوانی جهت استقرار خیابان در بافت جدید شهر همدان
Table 5. Frequency of streets in the new context of Hamadan

E-W	۱۵	۳۰	۴۵	۶۰	۱۶۵	زاویه نسبت به جهت شرقی-غربی (H/W)
۳۱۵	۳۷۵	۵۴۴	۴۰۵	۶۵	۵۰	فراوانی خیابان‌ها (تعداد)
٪ ۱۷/۹	٪ ۲۱/۴	٪ ۳۱/۲	٪ ۲۳	٪ ۳/۷	٪ ۲/۸	فراوانی (درصد)
-	-۰/۶	-۵/۹	-۱۱/۹	-۱۶/۹	-۱۸/۴	جذب تابش زمستانی نسبت به جهت بهینه (درصد)
-	+۲/۸	+۱۰/۴	+۱۶/۶	+۱۸/۷	+۴/۵	جذب تابش تابستانی نسبت به جهت بهینه (درصد)
✓	✓	-	-	-	-	جهت بهینه (٪ ۳۹/۳)
-	-	✓	✓	✓	✓	جهت غیر بهینه (٪ ۶۰/۷)

مؤثر هستند در الگوی پایه پژوهش ارتفاع ثابت (۶ طبقه) در عرض‌های مختلف معابر مورد بررسی قرار گرفت اما در بررسی شهر همدان خیابان‌های مختلف با ارتفاع‌های گوناگون مورد تحلیل قرار گرفته است. به نظر می‌رسد شاخص ارتفاع ساختمان (H) و تأثیر بر نسبت H/W برای قطعات جنوبی با توجه به وجود دو هندسه کاملاً متفاوت در خیابان و داخل حیاط و ایجاد جزیره حرارتی در فصل زمستان در جذب تابش انعکاسی مؤثر است. بنابراین طراحی خیابان برای دریافت تابش بیشتر زمستانی و کاهش جذب تابستانی یک چالش واقعی است که پیشنهاد می‌گردد در مطالعه دیگری ماتریس ارتفاع‌های مختلف در عرض‌های مختلف خیابان برای گونه‌های مختلف سطح اشغال قطعات شهری تشکیل و مورد بررسی قرار گیرد.

در مقایسه بین مطالعات مشابه با پژوهش فوق می‌توان بیان داشت که نتایج این مطالعه همسو با برخی از مطالعات پیشین در سطح جهان بوده است. سارالد و همکاران در مطالعه خود همسو با این مطالعه، متغیر فاصله بین ساختمان‌ها در شاخص H/W را یکی از مهم‌ترین شاخص‌ها در جذب تابش خورشیدی بیان کرده‌اند (Sarralde et al., 2015). همچنین لوگنر و همکاران، مهاجری و همکاران و ونایچ و همکاران در مطالعات خود بیان نموده‌اند که؛ دره‌های کم‌عمق باعث افزایش دسترسی ساختمان‌ها به تابش خورشید و مناسب مناطق سردسیری است که همسو با نتیجه این پژوهش است و بیانگر اهمیت فاصله بین ساختمان‌ها در اقلیم سرد است (ct)

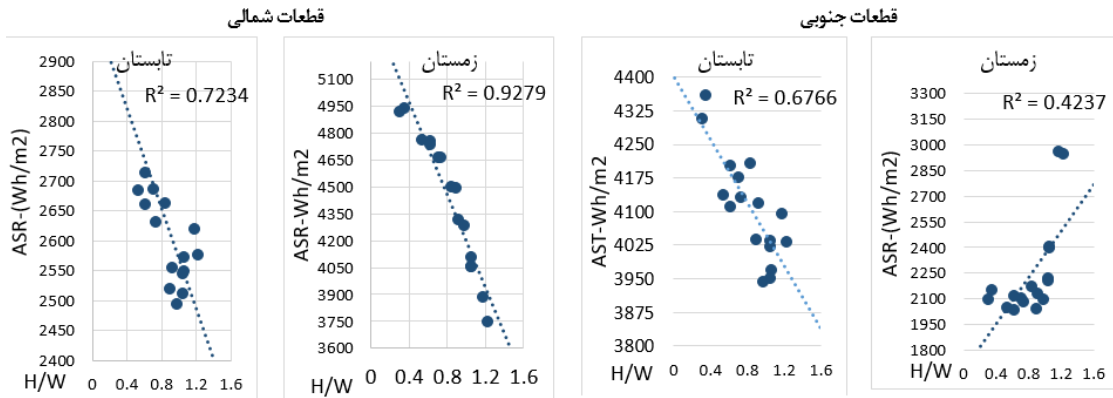
دامنه تغییرات جذب تابش در الگوی پیشنهادی و الگوهای شهر همدان در شکل ۱۷ آمده است. برای قطعات شمالی جذب تابش خورشیدی الگوی پیشنهادی در مقایسه با الگوی متعارف در فصل زمستان، افزایش (۲/۷+) درصدی و برای فصل تابستان، کاهش (۱۱/۶-) درصدی را دارد. برای قطعات جنوبی جذب تابش خورشیدی الگوی پیشنهادی برای فصل زمستان در مقایسه با الگوی متعارف افزایش (۲۵/۸+) درصدی و برای فصل تابستان کاهش (۴/۹۴-) درصدی را دارد. در جدول ۸ مقدار افزایش جذب تابش در زمستان و کاهش در تابستان الگوی پیشنهادی، برای هر یک از شاخص هندسه H/W در مقایسه با الگوی متعارف آمده است. بنابراین افزایش عمق حیاط برای جذب تابش بیشتر در قطعات جنوبی مؤثرتر بوده و تأثیر کمی بر قطعات شمالی داشته و همچنین ایجاد سایه‌بان افقی باعث کاهش جذب تابش خورشیدی بیشتر در قطعات شمالی نسبت به قطعات جنوبی شده و در نتیجه کاهش مصرف انرژی سرمایشی در تابستان را دارد. لذا پیشنهاد نهایی این مطالعه، افزایش عمق حیاط در قطعات جنوبی و ایجاد سایه‌بان افقی پنجره در قطعات شمالی و جنوبی برای نماهای رو به جنوب است.

با توجه به تفاوت نتایج نوع رابطه بین اثر (H/W) و (W) با جذب تابش، برای فصل زمستان در قطعات جنوبی خیابان‌های شهر همدان با مدل پایه پژوهش (خیابان ۱۰ متری با شاخص‌های مختلف) به نظر می‌رسد، علاوه بر شاخص H/W و عوامل و شاخص‌های دیگری در نتایج جذب تابش

جدول ۶. ضریب همبستگی پیرسون و تفسیر آن بین؛ متغیر مستقل H/W و W با متغیر وابسته میزان جذب تابش خورشید در قطعات شمالی و جنوبی برای فصل زمستان و تابستان معابر فعلی شهر همدان.

Table 6. Pearson correlation coefficient and its interpretation between; Independent variable H/W and W with dependent variable of solar radiation absorption in the northern and southern parts for winter and summer of the current roads of Hamadan.

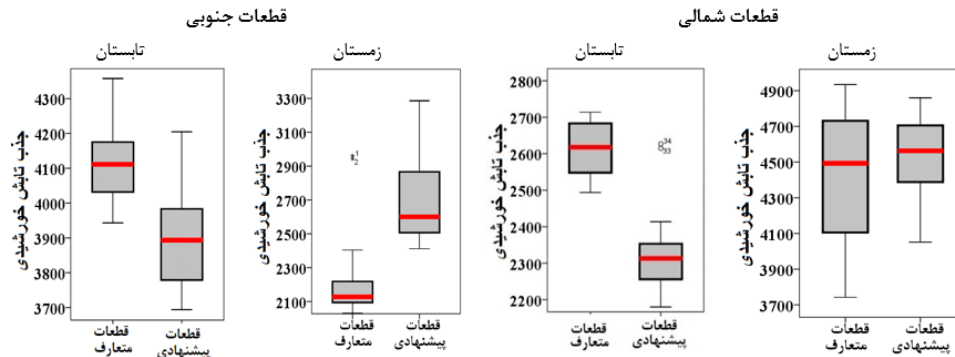
متغیر مستقل	متغیر وابسته (Wh/m2)	قطعات شمالی		قطعات جنوبی	
		رابطه و شدت تابستان	رابطه و شدت زمستان	رابطه و شدت تابستان	رابطه و شدت زمستان
H/W	جذب تابش	-۰/۸۵	معکوس و بسیار زیاد	+۰/۷۴	مستقیم و زیاد
W	جذب تابش	+۰/۹۶	مستقیم و زیاد	-۰/۳۵	معکوس و کم
H	جذب تابش	+۰/۵۵	مستقیم و متوسط	+۰/۷۵	مستقیم و زیاد



شکل ۱۶. میزان جذب تابش خورشیدی در ساختمان‌های مجاور خیابان‌های شهر همدان بر اساس ضابطه ارتفاع فعلی و شاخص هندسه (H/W).
Figure 16. Range of solar radiation absorption in buildings adjacent to the streets of Hamadan based on the current height criterion and geometry index (H/W).

جدول ۷. میزان فراوانی و تعیین بهینه و غیر بهینه خیابان‌های شهر همدان بر اساس عرض (W)
Table 7. Frequency and determination of optimal and non-optimal streets of Hamadan based on width

عرض خیابان (متر)	۸متری	۱۰متری	۱۲متری	۱۸متری	۲۴متری	۳۰متری	۳۵متری
فراوانی خیابان‌ها (تعداد)	۱۸۱	۱۰۵۰	۳۴۳	۱۰۳	۴۳	۱۰	۲۴
فراوانی (درصد)	٪ ۱۰/۳	٪ ۵۹/۸	٪ ۱۹/۵	٪ ۵/۹	٪ ۲/۵	٪ ۰/۶	٪ ۱/۴
خیابان بهینه افزایش جذب تابش زمستانی	-	-	-	-	-	✓	✓
خیابان غیر بهینه کاهش جذب تابش زمستانی	-	✓	✓	-	-	-	-



شکل ۱۷. دامنه تغییرات میزان جذب تابش خورشیدی قطع‌ات شمالی و جنوبی الگوی پیشنهادی و متعارف در خیابان‌های شهر همدان.
Figure 17. Range of changes in the amount of solar radiation absorption in the northern and southern parts of the proposed and conventional pattern in the streets of Hamadan.

شاخص در بافت معاصر و طبق ضوابط شهرسازی برای قطع‌ات شمالی و جنوبی انجام نشده است.

اعتبارسنجی شبیه‌سازی

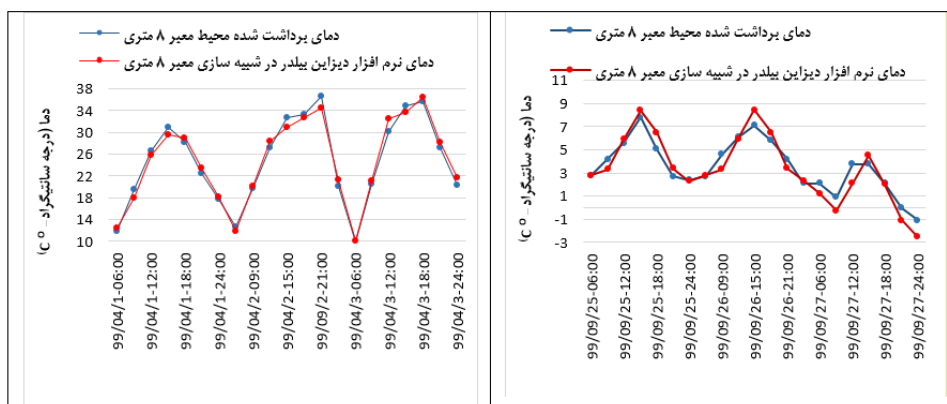
نرم‌افزار دیزاین بیلدر در مطالعات مختلفی استفاده شده و نتایج اعتبارسنجی آن، هم از طریق تجربی (اندازه‌گیری‌های میدانی) و هم مقایسه‌ای (مقایسه نتایج نرم‌افزارهای مختلف با همدیگر) قابل قبول ارزیابی شده است. یکی

al., 2012., Mohajeri et al., 2019., Van.Esch et al., 2012 (Loughner) در بیشتر مطالعات محققان ایرانی، اثر هندسه (H/W) بر آسایش حرارتی، جزیره حرارتی و کیفیت هوا پرداخته‌اند و به اثر شاخص هندسه خیابان (H/W) و جهت بر جذب تابش خورشیدی ساختمان کمتر پرداخته شده است. به‌عنوان مثال مهدیزاده سراج و همکاران به اثر خصوصیات بافت (جهت و الگوی سطح اشغال و ارتفاع) بر جذب تابش خورشیدی در بافت روستایی پرداخته‌اند (مهدیزاده سراج و همکاران، ۱۳۸۹)، ولی اثر این

جدول ۸. مقایسه میزان جذب تابش خورشیدی قطعات شمالی و جنوبی الگوی پیشنهادی و متعارف در تمام خیابان‌های شهر همدان.
Table 8. Comparison of solar radiation absorption in the northern and southern parts of the proposed and conventional model in all streets of Hamadan.

خیابان شهری	H/W	تابستان	زمستان	قطعات جنوبی	تابستان	زمستان	قطعات شمالی
خیابان ۶ متری	۱/۲۳	-۵/۵۸	+۱۶/۷۱	+	-۱۰/۰۹	+۴/۹	
خیابان ۸ متری	۱/۱۸	-۴/۳۳	+۱۷/۷۱	+	-۱۱/۱۲	+۱/۵	
خیابان ۸ متری	۱/۰۶	-۶/۱۷	+۱۸/۶۴	+	-۱۱/۱۸	+۸/۲۹	
خیابان ۱۰ متری	۱/۰۵۸	-۶/۰۹	+۲۰/۱۴	+	-۱۱/۱۸	+۴/۸	
خیابان ۱۰ متری	۱/۰۵	-۶/۴۵	+۱۸/۷۵	+	-۱۱/۱۸	+۸/۵	
خیابان ۱۲ متری	۱/۰۵	-۶/۳۲	+۲۰/۲۵	+	-۱۲/۷۳	+۶/۱۱	
خیابان ۱۲ متری	۰/۰۹۸۷	-۵/۶۸	+۲۰/۳۵	+	-۱۲/۵۳	+۸/۲۵	
خیابان ۱۸ متری	۰/۹۰	-۴/۵۸	+۲۰/۹۱	+	-۱۰/۰۴	+۶/۲۶	
خیابان ۱۸ متری	۰/۹۲۵	-۵/۴۶	+۲۳/۱۷	+	-۱۰/۵۲	+۴/۳۵	
خیابان ۲۴ متری	۰/۷۴	-۴/۴۷	+۲۳/۶۴	+	-۱۲/۰۵	+۲/۳	
خیابان ۲۴ متری	۰/۸۴	-۵/۳۴	+۲۳/۶۴	+	-۱۱/۷۵	+۰/۳۷	
خیابان ۳۰ متری	۰/۶۲	-۳/۷۲	+۲۹/۲۱	+	-۱۲/۷۴	+۰/۰	
خیابان ۳۰ متری	۰/۷۱۱	-۴/۴۵	+۲۳/۹۸	+	-۱۰/۵۳	-۰/۵۴	
خیابان ۳۵ متری	۰/۶۲	-۴/۶	+۲۹/۴۴	+	-۱۱/۰۵	-۰/۸۳	
خیابان ۳۵ متری	۰/۵۴	-۳/۶۷	+۳۶/۸۹	+	-۱۱/۱۰	-۰/۱۴	
خیابان ۷۵ متری	۰/۳۵	-۳/۵۱	+۳۵/۲۹	+	-۱۰/۰۶	-۱/۱	
خیابان ۷۵ متری	۰/۳۱	-۳/۰۶	+۳۵/۸۴	+	-۱۱/۷۷	-۱/۵	
کل خیابانها با هم	-	-۴/۹۴	+۲۵/۸	+	-۱۱/۱۶	+۲/۷	

جذب تابش (+) (-) کاهش و (+) افزایش



شکل ۱۸. اعتبار سنجی نرم افزار بر اساس دمای برداشت شده و نتایج خروجی شبیه سازی نرم افزار دیزاین بیلدر در معبر ۸ متری - سمت راست آخر آذرماه - سمت چپ اوایل تیرماه.

Figure 18. Validation of the software based on the harvested temperature and the simulation output results of the Design Builder software in an 8meter street - right at the end of December - left at the beginning of June).

از مزیت‌های اصلی نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر؛ انجام محاسبات شبیه‌سازی جذب تابش خورشیدی ساختمان اصلی با توجه به تأثیرات سایه‌اندازی و انعکاس نور خورشید از ساختمان‌های مجاور و احجام در همسایگی آن است که، تنظیمات در قسمت Constructio Shades and Reflects-Solar انجام می‌شود. از بخش Internal gains میزان جذب تابش خورشیدی به‌صورت؛ روزانه، ماهانه و سالانه به دست می‌آید در این مطالعه یک خیابان با عرض ۸ متر و با ساختمان‌های قطعات شمال و جنوبی ارتفاع ۴ طبقه در منطقه اعتمادیه همدان و شاخص هندسی (H/W=۰/۹) انتخاب و در روزهای ۱، ۲ و ۳ تیرماه و همچنین ۲۵، ۲۶ و ۲۷ آذرماه ۱۳۹۹ با استفاده از دیتالاکر^۱ سنجش دما و تحت شرایط استاندارد اقدام به برداشت و ثبت دمای هوا شد. دمای برداشت شده با دمای محاسبه‌شده در نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر در همان روز مورد مقایسه قرار گرفت. طبق شکل ۱۸، نتایج به‌دست‌آمده بیانگر روند مشابه بین دمای برداشت شده و دمای حاصل از شبیه‌سازی (با تفاوت قابل چشم‌پوشی بین ۰/۱ تا ۱/۶ درجه) است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه به بررسی اثر شاخص‌های هندسی فیاکان (جهت، H/W و W) بر دسترسی ساختمان‌ها به تابش مستقیم خورشیدی در مقیاس شهری پرداخته شده و نتایجی را ارائه می‌دهد که می‌تواند در طراحی محله‌های جدید و همچنین متراکم‌سازی محلات قدیمی در شهرهای در حال توسعه برای برنامه‌ریزان شهری مورد استفاده قرار گیرد. داده‌های مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل، از اندازه‌گیری ۱۷۵۳ دره خیابان در بافت جدید شهر همدان مشتمل بر ۶ جهت استقرار خیابان و ۷ خیابان با عرض‌های متفاوت در شهر همدان به‌دست آمده است. از آنجا که سطح خیابان‌های شهری در بافت جدید در حدود ۲۰ درصد را پوشش می‌دهد طراحی صحیح خیابان‌ها جهت دسترسی به تابش مستقیم نور خورشید می‌تواند یک مسئله اساسی برای طراحی شهری پایدار، مبتنی بر دریافت تابش خورشیدی، جهت اقلیم سرد همدان باشد. شهری که بیش از ۸ ماه از سال نیازمند انرژی گرمایشی در ساختمان‌ها است، بنابراین در این مطالعه در چندین مرحله تأثیر هندسه خیابان شهری بر میزان جذب تابش خورشیدی در قطعات شمالی و جنوبی بافت شهر همدان مورد بررسی قرار گرفت. مهم‌ترین نتایج این مطالعه به شرح زیر است:

- بهترین استقرار جهت خیابان برای افزایش جذب تابش خورشیدی در زمستان و کاهش جذب در تابستان، شرقی-غربی است. جهت شرقی-غربی در زمستان نسبت به مدل مرجع ۵/۸۶+ درصد جذب تابش بیشتر و ۹/۴- کاهش جذب تابش در تابستان را دارد. در حدود ۴۰ درصد خیابان‌های بافت جدید در جهت بهینه شرقی-غربی (E-W) و ۶۰ درصد در جهت غیر بهینه (۳۰O، ۴۵O و ۶۰O) قرار دارند.

- قطعات شمالی به دلیل قرارگیری در معرض تابش مستقیم خورشید، نسبت به قطعات جنوبی، جذب تابش خورشیدی بیشتری دارند، به طوری که حداکثر جذب تابش خورشیدی برای قطعات شمالی در فصول سرد سال است و در قطعات جنوبی کمترین جذب تابش زمستانی رخ می‌دهد. قطعات شمالی نسبت به قطعات جنوبی با افزایش ۰/۹۱ درصدی جذب تابش در فصل سرد (زمستان) و کاهش ۲۳/۴۷ درصدی جذب تابش در فصل گرم (تابستان) عملکرد بسیار مناسب‌تری دارد.

- در دره‌های هندسی کم‌عمق، دمای تابشی بیشتر از دره‌های عمیق هست و با افزایش عددی شاخص (H/W) و به عبارتی با کاهش عرض خیابان، میزان جذب تابش مستقیم خورشیدی کمتر می‌شود. در قطعات جنوبی به دلیل وجود دره عمیق در حیاط، بیشتر سطح نمای جنوبی ساختمان در زمستان همواره در سایه احجام ساختمان‌ها قرار می‌گیرد و جذب کم تابش مستقیم

خورشیدی روی می‌دهد. در این حالت بیشترین جذب تابش، به‌صورت جذب انعکاسی و پراکندگی است. بنابراین توجه به افزایش عمق یاب در این قطعات جهت دریافت تابش مستقیم بیشتر، در الگوی پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفت، نتایج نشان داد؛ با افزایش عمق حیاط در قطعات جنوبی در الگوی پایه پژوهش (خیابان ۱۰ متری ارتفاع ساختمان ۶ طبقه) افزایش (۲۱/۴+) درصدی جذب تابش خورشیدی در زمستان انجام می‌گردد.

- از بین شاخص‌های اندازه‌گیری شده در این مطالعه، شاخص H/W بیشترین تأثیر را بر جذب تابش خورشیدی در ساختمان‌های مجاور خیابان‌ها دارد. این شاخص ۱۲۳ درصد، اثر بیشتری نسبت به شاخص جهت در جذب تابش داشته و از اهمیت بیشتری برخوردار است، لذا در تفکیک قطعات شهری برای بخش توسعه شهر، توجه به عرض معبر و ضابطه ارتفاع در جهت افزایش جذب تابش زمستانی بسیار ضروری است.

- با توجه به مشخص شدن اثر شاخص هندسی؛ جهت، عرض خیابان و نسبت H/W بر سطوح در معرض تابش خورشیدی و سایه و همچنین بر جذب تابش خورشید، اصلاح الگوی مکان سطح اشغال به سمت کاهش سطح سایه و افزایش سطح جداره در معرض تابش خورشیدی و فاصله افقی بین ساختمان‌ها (کاهش H/W) در قطعات شهری مناسب است.

- در شهر همدان خیابان ۱۲ متری با توجه به عدد بالای شاخص H/W نسبت به خیابان‌های دیگر دارای کمترین جذب تابش خورشیدی و خیابان‌های ۳۵ و ۷۵ متری دارای بیشترین جذب تابش در زمستان را دارد. لذا شبیه‌سازی الگوی پیشنهادی برای تمام شاخص هندسی خیابان‌های فعلی انجام پذیرفت. بنابراین با افزایش عمق حیاط به میزان ۴ متر در قطعات جنوبی، (۲۵/۸+) درصد افزایش جذب تابش خورشیدی در زمستان و همچنین با ایجاد سایه‌بان افقی در پنجره‌های ساختمان‌ها در تمام خیابان‌ها، کاهش جذب ۴/۹۴- و ۱۱/۶- درصد برای قطعات جنوبی و شمالی رخ می‌دهد.

همانطور که بیان شد؛ به‌طور کلی نتیجه به دست آمده، همسو با برخی از مطالعات پیشین در سطح جهان بوده است، به این صورت که، هر چه متغیر ارتفاع ساختمان‌ها کاهش و متغیر فاصله بین ساختمان‌ها افزایش یابد، به شکل معنی‌داری در تبیین جذب تابش خورشیدی مؤثر است. در این مطالعات بیان شده است که؛ دره‌های کم‌عمق باعث افزایش دسترسی ساختمان‌ها به تابش خورشید و مؤثر در کاهش مصرف انرژی گرمایشی در زمستان شده و مناسب مناطق سردسیری است که همسو با نتیجه این پژوهش است و بیانگر اهمیت فاصله بین ساختمان‌ها در اقلیم سرد است. وجه تمایز این مطالعه، نسبت به مطالعات دیگر، توجه به استقرار ردیف ساختمان‌ها در دو سوی معابر شهری به‌صورت جداگانه و بررسی و تحلیل جذب تابش در فصول گرم و سرد سال برای قطعات شمالی و جنوبی است که کمتر در مطالعات مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه فوق برای شهر همدان با ساختار استقرار الگوها و شرایط جغرافیایی و آب‌وهوایی خاص خود انجام شده است، در نتیجه برای شهرهایی با الگوهای استقرار متفاوت و ضوابط ارتفاع گوناگون و اقلیم متفاوت، اقدامات مشابه ممکن است نتایج مختلفی را داشته باشد. در نهایت پیشنهاد می‌گردد؛ اثر شاخص H/W بر جذب تابش خورشیدی با توجه به الگوهای مکانی مختلف سطح اشغال بافت‌های شهری در اقلیم‌های متفاوت مورد بررسی قرار گیرد. این نتایج به‌شدت بر ضوابط و مقررات شهرسازی مؤثر بوده و می‌تواند برنامه‌ریزان محیط شهری را در جهت رسیدن به شهرهای انرژی کارا در اقلیم سرد کمک کند.

پیشنهادات

1. Height to Width Ratio(H/W)
2. Urban Street Canyon(USC)
3. Simulation algorithm(S.AL)

- روستای چهرقان). مسکن و محیط روستا. ۳۸(۱۶۷)، ۱۹-۳۴.
9. Aboelata A. (2020). Vegetation in different street orientations of aspect ratio (H/W 1:1) to mitigate UHI and reduce buildings' energy in arid climate. *Building and Environment*, 172, 106712.
 10. Ahmad, K., Khare, M., & Chaudhry, K. K. (2005). Wind tunnel simulation studies on dispersion at urban street canyons and intersections a review. *Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 93, 697-717.
 11. Bellos, E., Tzivanidis, C., Zisopoulou, E., Mitsopoulos, G; & Antonopoulos, A.A. (2016). An innovative Trombe wall as a passive heating system for a building in Athens-A comparison with the conventional Trombe wall and the insulated wall. *Energy and Buildings*, 133, 754-769.
 12. Bourbia, F., & Boucheriba, F. (2010). Impact of street design on urban microclimate for semiarid climate (Constantine). *Renewable Energy*, 35(2), 343-347.
 13. Bustamante, W., Uribe, D., Vera, S., (2017). An integrated thermal and lighting simulation tool to support the design process of complex fenestration systems for office buildings. *Applide Energy*, 198, 36-48.
 14. Buyak, N.A., Deshko, V.I., & Sukhodub, I.O. (2017). Buildings energy use and human thermal comfort according to energy and exergy approach. *Energy and Buildings*, 146, 172-181.
 17. Chang, H., Liu, Y., Shen, J., Xang, C., He, S., Wan, Z., Jiang, M., Duan, C., & Shu, S. (2015). Experimental study on comprehensive utilization of solar energy and energy balance in an integrated solar house. *Energy Conversion and Management*. 105, 967-976.
 18. Conceicao, E.Z.E., & Lucio, M.M.J.R. (2008). Thermal study of school building in winter conditions. *Building and Environment*, 43(5), 782-792.
 19. Dussault, J.M., Gosselin, L., & Galstian, T. (2012). Integration of smart windows into building design for reduction of yearly overall energy consumption and peak loads. *Solar Energy*, 86(11), 3405-3416.
 20. Georgakis Ch., & Santamouris, M. (2006). Experimental

4. EergyPlus
5. Autozone
6. Onezone
7. جهت مطالعه بیشتر به مقاله ۲۰۱۸، Chen & Hong به آدرس (<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.02.073>) رجوع شود.
8. DesignBuilder
9. ArcGIS
10. Climate Consultant
11. Pearson's coefficient of correlation
12. Independent T Test
13. ANOVA
14. Spss
15. Excel
16. Eastern-Western (E-W)
17. Data Logger

فهرست مراجع

۱. تابان، محسن؛ پور جعفر، محمدرضا؛ بمانیان، محمدرضا؛ و حیدری، شاهین. (۱۳۹۲). تعیین الگوی بهینه حیاط مرکزی در مسکن سنتی دزفول با تکیه بر تحلیل سایه دریافتی سطوح مختلف حیاط. *فصلنامه نظر*. ۱۰(۲۷)، ۳۹-۴۸.
۲. ثناگردبانی، الهام؛ رفیعیان، مجتبی؛ حنایی، تکتیم؛ و منصفی پراپری، دانیال. (۱۳۹۹). کاهش تأثیرات جزایر حرارتی شهری بر سلامت انسان‌ها از طریق تغییرات فرم شهری در اقلیم گرم و خشک شهر مشهد، نمونه موردی: الگوی بافت شطرنجی محله شاهد و بافت ارگانیک محله پاچنار. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۲(۴)، ۳۸۷-۳۷۵.
۳. خداکریمی، جمال؛ نوری، شهلا؛ و منصور، رضا. (۱۳۹۹). تأثیر فرم هندسی ساختمان‌های بلند بر پراکنش ذرات معلق و آلودگی هوا در محیط پیرامون آن‌ها. *نقش جهان*. ۱۰(۳)، ۱۹۳-۲۰۳.
۴. علیجانی، بهلول؛ طولابی‌نژاد، میثم؛ و صیادی، فریبا. (۱۳۹۶). محاسبه شدت جزیره حرارتی بر اساس هندسه شهری مورد مطالعه: محله کوچه باغ شهر تبریز. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. ۴(۳)، ۹۹-۱۱۲.
۵. کرمی‌راد، سینا؛ بنازاده، بهاره؛ زارعی، هانی؛ و قزلباش، ابراهیم. (۱۳۹۸). ارزیابی و تحلیل آسایش حرارتی در حیاط خانه‌های تاریخی شهر شیراز در دوره قاجاریه. *پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران*. ۹(۲۰)، ۱۸۳-۲۰۲.
۷. موسوی، سیده حمیده؛ حافظی، محمدرضا؛ دلفانی، شهرام؛ و نعمتی‌مهر، مرجالسادات. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات الگوهای تراکم (حاصل از تغییرات سطح اشغال و ارتفاع ساختمان) بر جابه‌جایی هوای حوزه شهری. *صفه*. ۲۸(۲)، ۳۳-۴۶.
۸. مهدیزاده سراج، فاطمه؛ میرزائی، فهیمه؛ فیاض، ریما؛ و مفیدی شمیرانی، سیدمجید. (۱۳۸۹). اثر شاگله بافت بر میزان جذب تابش خورشیدی بنا در واحدهای همسایگی مناطق با اقلیم سرد (مطالعه موردی:

- investigation of air flow and temperature distribution in deep urban canyons for natural ventilation purposes. *Energy and Buildings*, 38(4), 367-376.
21. Gugliermetti, F., & Bisegna, F. (2007). Saving energy in residential buildings: the use of fully reversible windows. *Energy*, 32(7), 1235-1247.
22. Huang, K.T., & Li, Y.J. (2017). Impact of street canyon typology on building's peak cooling energy demand: a parametric analysis using orthogonal experiment. *Energy and Buildings*, 154, 448-464.
23. Jingjing A, Yan D., Guo, S., Gao, Y., Peng, J., & Hong, T. (2020). An improved method for direct incident solar radiation calculation from hourly solar insolation data in building energy simulation. *Energy & Buildings*, 227(15), 110425.
24. Leng, H., Chen, X., Ma, Y., Wong, N.H., & Ming, T. (2020). Urban morphology and building heating energy consumption: Evidence from Harbin, a severe cold region city. *Energy and Buildings*, 224, 110143.
25. Li, Z., Zhang, H., Wen, C.Y., Yang, A.S., & Juan, Y.H. (2020). Effects of height-asymmetric street canyon configurations on outdoor air temperature and air quality. *Building and Environment*, 183, 107195.
26. Loughner, C.P., Allen, D.J., Zhang, D.L., Pickering, K.E., Dickerson, R.R., & Landry, L. (2012). Roles of urban tree canopy and buildings in urban heat island effects: Paramterization and preliminary results. *Applied Meteorology and Climatology*, 51(10), 1775-1793.
27. Mangan S.D, Oral, G.K., Kocagil I.E., & Sozen I. (2021). The impact of urban form on building energy and cost efficiency in temperate-humid zones. *Building Engineering*, 33, 101626.
28. Martin, J.P.S., Garcia-Alegre, M.C., & Guinea, D. (2017). Reducing thermal energy demand in residential buildings under Spanish climatic conditions: qualitative control strategies for massive shutter positioning. *Building Simulation*. 10 (5), 643-661.
29. Martinez-Rubio, A., Sanz-Adan, F., Santamaria-Pena, J., & Martinez, A. (2016). Evaluating solar irradiance over facades in high building cities, based on LiDAR technology. *ApplEnergy*, 183, 133-147.
30. Mihai, M., Tanasiev, V., Dinca, C., Badea, A., & Vidu, R. (2017). Passive house analysis in terms of energy performance. *Energy and Buildings*, 144, 74-86.
31. Mingfang, T. (2002). Solar control for buildings. *Building and environment*, 37(7), 659-664.
32. Mohajeri, N., Upadhyay, G., Gudmundsson, A., Assouline, D., Kampf, J., & Scartezini J.L. (2016). Effects of urban compactness on solar energy potential. *Renewable Energy*, 93, 469-482.
33. Mohajeri N, Gudmundsson A, Kuncklera T, Upadhyayd, G, Assoulinea, D., Kampfe, J.H., & Scartezini, J.L. (2019). A solar-based sustainable urban design: The effects of city-scale street-canyon geometry on solar access in Geneva, Switzerland. *Applied Energy*, 240(15), 173-190.
34. Oh, J., Koo, Ch., Hong, T., & Cha S.H. (2018). An integrated model for estimating the technoeconomic performance of the distributed solar generation system on building façades: Focused on energy demand and supply. *Appl Energy*, 228(15), 1071-1090.
35. Sarralde J.J., Quinn D.J., Wiesmann, D., & Steemers K. (2015). Solar energy and urban morphology: Scenarios for increasing the renewable energy potential of neighbourhoods in London. *Renewable Energy*, 73, 10-17.
36. Vassiliades, C., Michael, A., & Kalogirou, S. (2019). Siting and building-massing considerations for the urban integration of active solar energy systems. *Renewable Energy*, 135, 963-974.
37. Shi, Zh, Hsieha, Sh, Fonseca, J.A.j.a, Schluetera,A. (2020). Street grids for efficient district cooling systems in high-density cities. *Sustainable Cities and Society*, P:1-14(102224).
38. Shishegar, Nstaran. (2013). Street Design and Urban Microclimate: Analyzing the Effects of Street Geometry and Orientation on Airflow and Solar Access in Urban Canyons. *Clean Energy Technologies*. 1(1), 52-56.
39. Steemers, K. (2003). Energy and the City: density, buildings and transport. *Energy and Buildings*, 35(1), 3-14.
40. Stromann-Andersen J., & Sattrup P.A. (2011).The urban

canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. *Energy and Buildings*, 43(8), 2011-2020.

41. Vallati, A., Grignaffini, S., Romagna, M., Mauri, L., & Colucci, C. (2016). Influence of street mcanyon's microclimate on the energy demand for space cooling and heating of buildings. *Energy Procedia*, 101, 941-947.

42. Van Esch, M.M.E., Looman, R.H.J., & De.Bruin-Hordijk, G.J. (2012). The effects of urban and building design parameters on solar access to the urban canyon and the potential for direct passive solar heating strategies. *Energy and Buildings*, 47, 189-

200.

43. Xue, P., Li, Q., Xie, J., Zhao, M., & Liu J. (2019). Optimization of window-to-wall ratio with sunshades in China low latitude region considering daylighting and energy saving requirements. *Applied Energy*, 233-234, 62-70.

44. Zhang, j., Xu, L., Shabunko, V., En.Rong.Tay, S., Sun, H., Siu.Yu.Lau, S., & Reindl, T. (2019). Impact of urban block typology on building solar potential and energy use efficiency in tropical high-density city. *Applied Energy*, 240 (15), 513-533.

COPYRIGHTS

©2022 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.

