

## ارزیابی و تحلیل، مؤلفه‌های استقرار کالبدی مؤثر بر عملکرد حرارتی مجتمع‌های مسکونی (مطالعه موردی: همدان)

حجت قیاسوند\*، محمدجواد ثقفی\*\*، حسین مدی\*\*\*

تاریخ دریافت مقاله: ۹۹/۶/۲۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۹/۹/۱۸

### چکیده

ارتقای عملکرد حرارتی مجتمع‌های مسکونی در آینده نزدیک، تبدیل به اصل مهمی در توسعه پایدار اقلیمی شهرها می‌شود؛ لذا این مطالعه باهدف بررسی مؤلفه‌ها و شاخص‌های هندسی استقرار کالبدی مؤثر بر عملکرد حرارتی، برای مرحله طراحی انجام پذیرفت. روش تحقیق، ترکیبی از روش‌های کیفی (توصیفی، تحلیلی و مشاهده‌ی میدانی) و کمی (داده‌های شبیه‌سازی انرژی) است. در تحلیل داده‌ها، از روش آماری؛ آزمون همبستگی، تحلیل واریانس، آزمون تفاوت میانگین و مقایسه با مدل مرجع بهره گرفته شده است. متغیر مستقل؛ مؤلفه‌های استقرار کالبدی (جهت قرارگیری، هم‌نشینی توده-فضا و ارتفاع) و متغیر وابسته (میزان مصرف انرژی سالانه) است. با شناسایی ۴ گونه اصلی و زیرگونه‌های آن‌ها، در نهایت ۱۵ گونه‌ی مجتمع‌های مسکونی در شهر همدان شبیه‌سازی انرژی انجام پذیرفت. یافته‌ها نشان می‌دهد که مؤلفه‌های استقرار کالبدی بر میزان مصرف انرژی به شدت تأثیرگذار است؛ به‌طوری‌که انتخاب جهت مناسب (شرقی - غربی) صرفه‌جویی مؤثری در اکثر الگوها بخصوص الگوی خطی دارد. تحلیل همبستگی بین شاخص‌های هندسی متأثر از شکل قرارگیری فرم توده -فضا و میزان مصرف انرژی، رابطه مستقیم و با شدت بسیار زیادی را نشان می‌دهد؛ بر این اساس، با مقایسه الگوها با مدل مرجع، الگوهای خطی با میانگین صرفه‌جویی انرژی ۱۳/۰۵٪ بهینه‌ترین و مجموعه الگوهای پراکنده با میانگین افزایش انرژی ۵/۸۶٪ ناکارآمدترین و الگوهای متمرکز و ترکیبی در میانه قرار دارد. تحلیل همبستگی بین متغیر ارتفاع (افزایش سطح هوای آزاد و H/W) و میزان مصرف انرژی نشان می‌دهد که؛ در ۲ الگو از ۶ الگوی مورد مطالعه، افزایش مصرف و در ۴ الگوی دیگر کاهش مصرف انرژی وجود دارد.

### واژگان کلیدی

مجتمع‌های مسکونی، مؤلفه‌های استقرار، انرژی، همدان

\* این مقاله بمستخرج از رساله دکتری حجت قیاسوند با عنوان «تعیین الگوی استقرار مسکن بر اساس تأثیر عوامل اقلیمی بر آسایش دمایی فضای داخل با رویکرد مدیریت انرژی (نمونه موردی همدان)» می‌باشد که در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین تحت راهنمایی دکتر محمدجواد ثقفی و مشاوره دکتر حسین مدی، در حال انجام است.

hogh@malayeriau.ac.ir

msaghafi@ut.ac.ir

medi@arc.ikiu.ac.ir

\*\* دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، واحد قزوین، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، ایران.

\*\*\* استاد گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، (نویسنده مسئول)

\*\*\*\* استادیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.

## مقدمه

از اواخر قرن بیستم یکی از بحرانی‌ترین دوره‌های زندگی بشر بر روی کره زمین، پدیدار گشت. بحرانی که با کاهش منابع انرژی، افزایش آلودگی هوا و مصرف بیشتر انرژی را به همراه داشت. بحرانی که با افزایش شهرنشینی و رشد شتابان آن و در نتیجه افزایش جمعیت شهرها و پیامدهای مختلف فرهنگی، اجتماعی، سیاسی و اقتصادی را ایجاد کرد؛ به‌طوری‌که جمعیت شهرنشینی از ۳۰٪ در سال ۱۹۵۰ به ۵۴٪ در سال ۲۰۱۴ رسید (Cohen, 2006) و انتظار می‌رود تا سال ۲۰۳۰ به ۶۰٪ (United Nations, 2011) و در سال ۲۰۵۰ به ۶۶٪ افزایش یابد. شهرها مصرف‌کننده بخش اعظم منابع انرژی هستند. به عبارتی دوسوم تقاضای جهانی انرژی و ۷۰٪ از انتشار  $CO_2$  مربوط به انرژی را تشکیل می‌دهند (Poponi et al., 2016). این شهرنشینی سریع و تغییرات متعاقب آن؛ در تراکم شهری، باعث افزایش مصرف انرژی در شهرها به دلیل تقاضای بخش ساختمان شده است. گرمایش، سرمایش و روشنایی، بیش از ۷۰٪ مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی و تجاری شهرها را به خود اختصاص داده است (Wu, et al., 2017). اگر این رشد بی‌سابقه‌ی شهری، از طریق سکونتگاه‌های غیررسمی، تراکم پراکنده و تصادفی رخ دهد، تبعات جهانی و محلی برای محیط‌زیست، اقتصاد و در نهایت کیفیت زندگی انسان‌ها است. در پی پاسخ به این چالش جهانی، دولت‌ها در تلاش جهت ایجاد مسکن، برای تأمین نیازهای اولیه انسان‌ها، برنامه‌های مختلفی را به اجرا گذاشتند که یکی از این موارد طرح‌های اجراشده مجموعه‌های مسکونی است. این مصرف انرژی ساختمان‌ها تنها از طریق مصالح و تأسیسات ساختمانی انجام نمی‌شود بلکه می‌توان با یک طراحی شهری و طراحی معماری متناسب با اقلیم مصرف انرژی ساختمان را کاهش داد (نصراللهی، ۱۳۹۲: ۱۵۰)؛ به عبارتی کاهش مصرف انرژی در شهرها به‌طور مستقیم تحت تأثیر برنامه‌ریزی و طراحی شهری است (8: steemers, 2003). با توجه به اینکه سیاست‌گذاری و تصمیم‌گیری در مراحل اولیه طراحی بیشترین تأثیر را با کمترین هزینه‌بر عملکرد حرارتی ساختمان‌ها دارد (Tseng, 2015). استفاده از تکنیک‌های شبیه‌سازی پارامتریک می‌تواند تیم طراحی را در مراحل اولیه طراحی هدایت کند (Samuelson et al., 2016). لذا هدف از این پژوهش توجه به یکی از موارد طراحی در مسکن شهری است که در قالب تأثیر مؤلفه‌های استقرار کالبدی مجتمع‌های مسکونی بر میزان مصرف انرژی مطرح می‌گردد؛ به عبارتی در چه شرایط استقرار کالبدی، عملکرد حرارتی مجتمع‌های مسکونی در جهت کاهش مصرف انرژی مؤثر است؟ برای رسیدن به پاسخ پرسش، بعد از گونه‌شناسی استقرار کالبدی مجتمع‌های مسکونی، مدل‌سازی و شبیه‌سازی (مدولار مدون منطبق بر واقعیت) صورت می‌گیرد که در پاسخ به سه پرسش تحقیق است:

پرسش اول: گونه‌های مختلف شکل‌گیری استقرار کالبدی مجتمع‌های مسکونی شهر همدان کدام است؟

پرسش دوم: تأثیر مؤلفه‌های مؤثر استقرار کالبدی گونه‌ها بر میزان مصرف انرژی چه مقدار است؟

پرسش سوم: بهترین الگوی سطح اشغال (توده و فضا) برای اقلیم سرد و نیمه‌خشک همدان کدام است؟

پاسخ‌گویی به پرسش اول، با توجه به بررسی ادبیات موضوع و بازدید میدانی از مجتمع‌های مسکونی شهر همدان انجام‌شده است. در پرسش دوم، تمام مؤلفه‌های مؤثر بر میزان مصرف انرژی، در گونه‌های مختلف استقرار کالبدی، با استفاده از شبیه‌سازی انرژی موردبررسی و تحلیل آماری قرار می‌گیرد و پاسخ به این پرسش می‌تواند کمک شایانی در طراحی مجتمع‌های مسکونی در آینده باشد. در پاسخ به پرسش سوم، با تحلیل آماری شاخص‌های هندسی مؤثر از مؤلفه سطح اشغال، الگوی بهینه تعیین می‌گردد؛ بنابراین مؤلفه‌های استقرار کالبدی، به‌عنوان متغیر مستقل و میزان مصرف انرژی، به‌عنوان متغیر وابسته است.



تصویر ۱- مراحل انجام تحقیق

با توجه به متغیرهای تحقیق که بر اساس داده‌های کیفی (توصیفی و تحلیل از گونه‌های مجتمع‌های مسکونی با مشاهده میدانی) و کمی (داده‌های شبیه‌سازی انرژی) صورت می‌پذیرد، از روش تحقیق آمیخته استفاده شده است. در تحلیل داده‌ها از تحلیل همبستگی و تحلیل واریانس و آزمون‌های تعقیبی برای تعیین رابطه بین متغیرها بهره گرفته و همچنین برای ارزیابی الگوها از روش مقایسه با مدل مرجع استفاده شده است. جامعه آماری تحقیق فوق مجتمع‌های مسکونی گسترده شهر همدان است. مراحل تحقیق طبق تصویر ۱، در پنج بخش اصلی و یازده مرحله است. در این پژوهش در بخش تحلیل اقلیمی شهر همدان از نرم‌افزار کلاiment کانسالتت<sup>۱</sup> و برای مطالعات شبیه‌سازی از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر<sup>۲</sup> نسخه ۶.1.6.008 با موتور انرژی پلاس<sup>۳</sup> و برای ترسیم نمودارها و تحلیل‌های آماری از نرم‌افزار اکسل<sup>۴</sup> و اس‌پی‌اس‌اس<sup>۵</sup> بهره گرفته شده است.

## مبانی نظری

**مفهوم اقلیم و طرح استقرار کالبدی در مجتمع‌های مسکونی:** کاربرد اقلیم در زندگی بشری در سال‌های اخیر موردتوجه محققان قرار گرفته است و عبارت است از؛ هوای غالب یک منطقه، در درازمدت (کالیانی و علیجانی، ۱۳۸۶: ۵). رویکرد طراحی اقلیمی به‌عنوان رویکردی از طراحی حائز اهمیت است که تلاش می‌کند به بهره‌گیری بیشتر از انرژی تجدیدپذیر، شرایط محیطی مناسبی را برای انسان ایجاد کند (کسمایی، ۱۳۸۴: ۱۳۱) و به پایداری اقلیمی دست یابد. یکی از اصول اساسی جهت دستیابی به پایداری اقلیمی از طریق کاهش مصرف انرژی، درک چگونگی تأثیر مؤلفه‌های طراحی معماری بر مصرف انرژی است. از آنجاکه ساختمان‌ها، ۴۰ درصد مصرف انرژی (شقایق، ۱۳۹۲: ۷۰) را بر عهده دارند. همین امر انرژی را به یک نقطه کانونی برای سیاست‌های مسکن پایدار و شهر پایدار تبدیل کرده است؛ بنابراین طراحان و برنامه‌ریزان شهری در ایجاد شهری بر پایه مصرف کم انرژی و در نتیجه کاهش انتشار کربن، نقش بسزایی دارند. با توجه به اینکه مسکن، بزرگ‌ترین یا حداقل یکی از بزرگ‌ترین بخش‌های تقاضای انرژی است (Heinonen, Seppo, 2014: 296)؛ لذا طراحی مجتمع‌های مسکونی، بخصوص در چگونگی استقرار کالبدی در سایت، قادر به تغییر میزان مصرف انرژی در شهرها (تقاضای انرژی گرمایشی، سرمایشی و الکتریسیته) است. استقرار واژه است که پارامترهای مختلف نظام شهری را شامل می‌گردد و از اصول اولیه طراحی مجتمع‌های مسکونی در سایت است. طراحی مجتمع‌های مسکونی، طراحی؛ جز و کل در مقیاس‌های مختلف؛ (کلان، میانی و خرد) است. مجموعه‌های مسکونی ایجاد محیطی از یک واحد مسکونی (دانه)، واحد همسایگی و محله است و ساختار کلی آن، فرایندی شهرسازی و معماری است (غفاری و نعمتی‌مهر، ۱۳۹۰، ۳۳-۳۵). شکل ساختمانی بلوک‌های مسکونی و چگونگی نظام کالبدی - فضایی آن در سایت، از ارکان اصلی استقرار کالبدی اقلیمی است. استقرار اقلیمی شامل؛ پارامترهای مختلف شهرسازی و معماری در بافت شهری و جهت هماهنگی با شرایط سایت و آب‌وهوا است که در نظام معماری و شهرسازی شهرها مورد استفاده قرار می‌گیرد و به‌طور عام شکل ساختمان را تشکیل می‌دهد. منظور از شکل ساختمان سطح اشغال، اندازه بنا، ارتفاع، تعداد طبقات، جهت و زاویه در زمین و پیکربندی کلی است (همان).

**رابطه‌ی بین شاخص‌های استقرار کالبدی و عملکرد حرارتی:** به‌طور کلی رابطه متقابل و تنگاتنگی بین ساختمان‌ها و محیط خارجی آن‌ها وجود دارد. هر بنا، وضعیت آب‌وهوایی اطراف خود را تغییر می‌دهد. هندسه و مقطع شهر، شکل، ارتفاع، اندازه بناها، جهت خیابان‌ها و ساختمان‌ها و سطح فضاهای باز همگی عواملی هستند که اقلیم خرد شهر را تعیین می‌کنند؛ بنابراین هر عنصر انسان‌ساخت شهری با توجه به تأثیراتی که بر فاکتورهای اقلیمی بر جا می‌گذارد، در اطراف و بالای خود اقلیم مصنوعی خاصی پدید می‌آورد که همواره با آن در ارتباط متقابل قرار می‌گیرد (بحرینی، ۱۳۷۷، ۱۵۶-۱۵۷). این فاکتورها شامل دمای هوا (دمای خشک و دمای مرطوب)، رطوبت نسبی، سرعت و جهت وزش باد و همچنین تابش خورشید (مستقیم و پراکنده) است که دارای بیشترین اهمیت در یک طراحی اقلیمی هستند (نصراللهی، ۱۳۹۲). در این مقیاس، تنظیمات شهرها بر دمای داخل و خارج از ساختمان تأثیر گذاشته و نشان‌دهنده تنیده شدن خرد اقلیم شهری و ساختمان‌ها است؛ به عبارتی خرد اقلیم شهری بر تقاضای انرژی ساختمان‌ها و همچنین ساختمان‌ها بر خرد اقلیم شهری تأثیر می‌گذارد (Coccolo, et al., 2018)؛ بنابراین، کالبد بلوک‌های ساختمانی (شکل ساختمان و شرایط استقرار و چیدمان در سایت) با توجه به تأثیراتی که بر فاکتورهای اقلیمی می‌گذارد، قادر به تغییر میزان مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی و روشنایی ساکنان است. با تبیین صحیح رابطه می‌توان مصرف انرژی را کاهش داد. در مطالعات مختلفی، تأثیر جزایر حرارتی ایجادشده بر اثر خصوصیات استقرار کالبدی ساختمان‌های شهری بر میزان مصرف انرژی موردبررسی قرار گرفته است (Kim, 2015). جزایر حرارتی گرمایشی<sup>۶</sup> و خنکی<sup>۷</sup> ایجادشده بر اثر هندسه شهر، تأثیر زیادی بر تقاضای انرژی شهر (Serrat, et al., 2006: Kikegawa, et al., 2006: kolokotroni et al., 2006) و کیفیت هوای شهر دارد (Serrat, et al., 2006)؛ بنابراین به نظر می‌رسد طراحی صحیح و استقرار مناسب ساختمان‌ها در سایت منجر به ایجاد جزایر حرارتی مناسب و افزایش دمای محیط در زمستان و کاهش دما در

تابستان بین بلوک‌ها می‌گردد. با توجه به اینکه شکل و چیدمان آرایشی ترکیب بلوک‌های ساختمانی نه تنها بر میزان دریافت انرژی خورشیدی توسط سطوح ساختمان اثر می‌گذارد، بلکه خرد اقلیم شهری و جریان هوا را نیز در اطراف ساختمان‌ها دگرگون می‌کند، از این منظر تسری ارزیابی ساختمان در شرایط پایدار حرارتی بدون توجه به هم‌جواری‌ها مناسب نیست (مرادخانی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۴۲). در مقیاس بلوک‌های مجتمع‌های مسکونی، هندسه معابر و ساختمان‌ها را می‌توان با نسبت ارتفاع به عرض ( $H/W$ )، تراکم (ارتفاع)، جهت‌گیری معابر و فرم توده و ساختمان توصیف کرد (Lai, Maing, M, 2017). محققان مختلفی بر همبستگی این سه پارامتر با تابش، سرعت باد و دمای هوا یا آسایش حرارتی تمرکز کرده‌اند؛ بنابراین تأثیرگذارترین مؤلفه‌های استقرار کالبدی که برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی، باید در نظر گرفته شود، عبارت‌اند از: (۱) جهت‌گیری ساختمان‌ها، (۲) فرم توده و فضا در سایت و (۳) ارتفاع (تراکم) که هر یک دارای شاخص‌های هندسی مختلفی هستند.

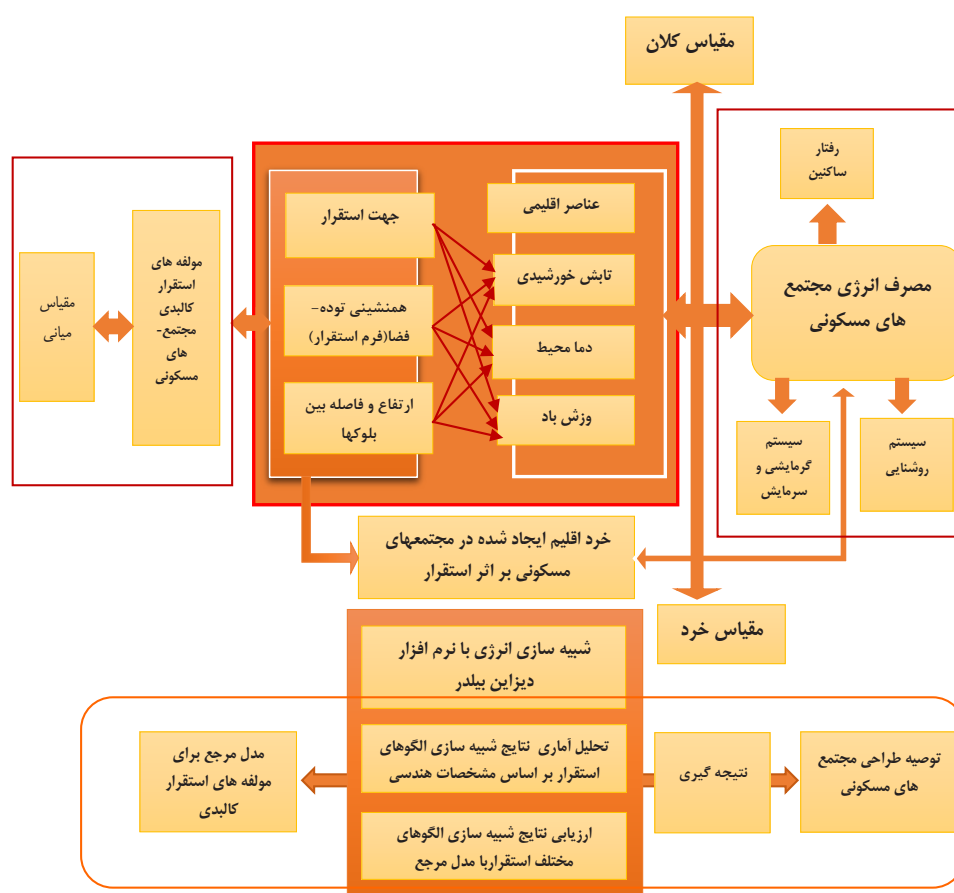
مطالعات مختلفی تأثیر متغیر مستقل؛ نسبت ارتفاع ( $H$ ) به عرض ( $W$ ) را بر متغیرهای وابسته از جمله آسایش حرارتی و دمای هوا (ثناگر و همکاران، ۱۳۹۹، منتظری و همکاران، ۱۳۹۷، احمدپور و همکاران، ۱۳۹۶، سیدالعسگری و همکاران، ۱۳۹۶، Algeciras, et al., 2018; Rodriguez, 2016; Chatzidimitriou & Yannas, 2017; Li et al., 2020) سرعت باد و کیفیت هوا (خداکرمی و همکاران، ۱۳۹۹، دلفانی و همکاران، ۱۳۹۷)، جزیره گرمایی شهری (علیچانی و همکاران، ۱۳۹۶، Targhia & Van Dessel, 2015) و عملکرد حرارتی ساختمان‌های شهری (تابان و همکاران، ۱۳۹۲، صنایعیان و غرابی، ۱۳۹۸، قدوسی و همکاران، ۱۳۹۷، Andreou, 2017; Vartholomaio et al., 2017; Hashem, Saviddes et al., 2019; Aboelata, 2020; Tsirigoti & Tsikaloudaki, 2018 2014; Javanrodi et al., 2018; Osorio et al., 2017; 2016) را بررسی کرده‌اند. آنچه در بیشتر مطالعات بر آن تأکید شده، اهمیت شاخص هندسی ( $H/W$ ) بر میزان دسترسی ساختمان‌ها به تابش نور خورشید و تعیین میزان تابش رسیده به سطوح خیابان (نماها، سقف‌ها و زمین) و تغییرات دما است. به عبارتی یکی از بالاترین ضریب همبستگی در تبیین عناصر هندسی مؤثر در میزان دریافت تابش نور خورشید، نسبت ( $H/W$ ) است. نتایج بیانگر این است که در دره‌های عمیق شهری (عدد بالا)، سایه ایجادشده باعث کاهش دما در فضای باز شهری می‌گردد. زمانی که نسبت ارتفاع ساختمان به عرض معبر افزایش می‌یابد، دمای هوا به‌خصوص در سطح زمین بین ساختمان‌ها، کاهش و محیط خنک‌تری به دست می‌آید.

جدول ۱- مؤلفه‌ها و شاخص‌های هندسی استقرار کالبدی مؤثر بر عملکرد حرارتی مجموعه‌های مسکونی

مؤلفه	شاخص	تعریف شاخص
جهت	جهت‌گیری محور طولی سطح اشغال	زاویه بین محور طولی سطح اشغال و محور شرقی- غربی در جهت مخالف حرکت عقربه‌های ساعت (با ضریب ۱۵ درجه‌ای).
	سطوح قرارگیری در مقابل تابش مستقیم	سطوحی که در قسمت جنوب جغرافیایی و در معرض تابش مستقیم قرار دارد.
	سطوح عمودی قرارگیری در سایه	سطوح شمالی بنا که همواره در سایه قرار دارد.
استقرار توده و فضا	خط دور سطح اشغال	محیط فرم توده در سطح اشغال.
	نسبت سطح به حجم کل	برابر است با نسبت سطح کل در معرض هوای آزاد به حجم ساختمان ( $S/V$ ).
	میزان سطوح عمودی	برابر است با مقدار سطح عمودی پوسته ساختمانی در معرض هوای آزاد.
تراکم (ارتفاع)	نسبت سطح پنجره	مجموع کل سطوح جداره شیشه پنجره در نمای ساختمان.
	$H/W(\text{fix})$	برابر است با نسبت ارتفاع تقسیم‌بر فاصله بین بلوک‌ها.
	نسبت سطح به حجم کل در ارتفاع‌های مختلف	برابر است با نسبت سطح کل به حجم ساختمان ( $S/V$ ) در ارتفاع‌های مختلف.
	نسبت سطح پنجره به سطح کل (ارتفاع‌های مختلف)	برابر است با نسبت سطح پنجره به کل سطح در معرض هوای آزاد.
	نسبت سطح کل به زیربنا	برابر است با نسبت سطح کل بلوک‌ها به زیربنای کل مجموعه مسکونی.
	نسبت ارتفاع به طول مجموعه بلوک‌ها	برابر است با نسبت ارتفاع به طول استقرار بلوک‌های مجموعه مسکونی در الگوها.
	نسبت ارتفاع به سطح سایت	برابر است با نسبت ارتفاع به مساحت سایت پلان در الگوها.

ساختمان‌های واقع در دره‌های عمیق شهری مصرف انرژی سرمایشی کمتری نسبت به دره‌های با عمق کمتر دارند. بدین‌سان همبستگی معکوس بین ارتفاع و مصرف انرژی سرمایشی شکل می‌گیرد (Huang, Li, 2017; Shia et al., 2020; Abdollah, 2015). این نسبت در حیات مرکزی بناهای سنتی مناطق گرم مشهود است (تابان و همکاران، ۱۳۹۲). در مقابل، دره‌های خیابانی یکنواخت، کم‌عمق و عریض، برای مناطق سردسیری که به دسترسی خورشیدی بیشتری در کل سال نیاز دارند مناسب است. نسبت ( $H/W$ ) بر مقدار انرژی خورشیدی به‌دست‌آمده توسط سطوح خیابان (نماها، سقف‌ها و زمین) تأثیر می‌گذارد. کاهش نسبت ( $H/W$ ) باعث افزایش دسترسی خورشید ساختمان‌ها

و افزایش دما می‌گردد (Mohajeri et al., 2019, Loughner et al., 2012; Shishegar, 2013). این پدیده در بافت‌های سنتی بیشتر موردتوجه بوده است. در پژوهشی برای اقلیم گرم و خشک مشاهده گردید نسبت (H/W) در بافت سنتی و ارگانیک شهرها، به دو گونه کاملاً متفاوت برقرار است. این شاخص با عدد پایین‌تر در تداخل فضایی قطعات شهری (حیاط مرکزی) با افزایش ضریب دید به آسمان و افزایش دسترسی به نور خورشید و کاهش تقاضای مصرف انرژی در فصول سرد و عدد بیشتر با ضریب دید به آسمان پایین‌تر در مسیرها و گذرهای درون بافت وجود دارد (چنگلوایی و همکاران، ۱۳۹۷)؛ لذا در بافت‌های شهری مدرن و معاصر، طراحی خیابان‌های شهری به روشی که بتواند از دسترسی خورشیدی در دره شهری استفاده کند، برای بهبود اقلیم شهری حیاتی است. این می‌تواند بر آب‌وهوا و مصرف انرژی ساختمان‌ها تأثیر بگذارد. این پدیده در تابستان با توجه به وجود فضای سبز و طراحی سایه‌بان تعدیل می‌گردد. به‌طور کلی برای دستیابی به یک ساختمان انرژی کارا، همه جنبه‌های ساختمانی بایستی لحاظ گردد (مرادخانی و همکاران، ۱۳۹۷: ۳۵۴). در جدول ۱ مؤلفه‌ها و شاخص‌های هندسی استقرار کالبدی مؤثر بر عملکرد حرارتی مجموعه‌های مسکونی و تصویر ۲ مدل مفهومی تحقیق آمده است.



تصویر ۲- مدل مفهومی تحقیق

### پیشینه تحقیق

به‌طور کلی مطالعاتی در مقیاس‌های خرد، میانی و کلان باهدف کاهش مصرف انرژی با توجه به زمینه‌های شکل شهر و الگوهای طراحی آن، شامل تراکم ساختمانی، بافت شهر، اختلاط کاربری‌ها، شبکه ارتباطی و حمل‌ونقل، توجه به بهره‌گیری منابع سازگار با محیط و تجدیدپذیر، هماهنگی و تطبیق محیط مصنوع با محیط‌زیست، مکان‌یابی صحیح کاربری‌ها در تعیین سلسله‌مراتب و ویژگی‌های اقلیمی، انجام گرفته است (Van Wee, 2002: 259). بر اساس مطالعات انجام‌شده، محققان و پژوهشگران در بررسی و تبیین شاخص‌های مؤثر بر عملکرد حرارتی بلوک‌های شهری، متغیرهای مختلفی را با توجه به هدف پژوهش موردبررسی قرار داده‌اند. این متغیرها در مقیاس خرد (تک بنا)، شامل شکل ساختمانی، مصالح جداره‌ها، بازشوها و جانمایی فضاها بر اساس چرخه خورشیدی، قابل‌تفکیک هستند (Asfour &



Alshawaf, 2015; Brandoni & Polonara, 2012; Ewing & Rong, 2008; Fitcher & Mills, 2013; Hargreaves et al., 2014; Robinson et al., 2017; Rodriguez Algecras et al, 2016; Rylatt et al., 2003; Steadman et al., 2014) میانی بیشتر مباحث به تراکم، جهت و ارتفاع بلوک ساختمانی شهری در محله پرداخته است (Yang et al., 2014; Marique & Reiter, 2014; Sosa et al., 2018; Dawodu & Cheshmehzangi, 2017; Guhathakurta & Williams, 2015; Quan et al., 2016; Robinson et al., 2007; Drouilles et al., 2017; Stephan et al., 2013; Hemsath, 2016). در مقیاس کلان، قطعات شهری، نوع تفکیک اراضی شهری، فضای باز و معابر و حمل و نقل مورد بررسی قرار گرفته است (Abdollah, 2015; Da Silva et al., 2007; Wiedenhof et al., 2013; Larson & Yezer, 2015). فرم شهری و انرژی در یک رابطه دوسویه تحت تأثیر ویژگی‌های اجتماعی، اقتصادی، جغرافیایی، تکنولوژی، کالبدی و سیاسی - مدیریتی شهرها هستند و شناسایی، اندازه‌گیری و تحلیل این رابطه در مقیاس‌های فضایی و زمانی مختلف از طریق مجموعه از متغیرها مانند: تراکم، نسبت ارتفاع به عرض خیابان‌ها، ارتفاع ساختمان‌ها، جهت، پوسته و جداره شفاف صورت می‌پذیرد (شجاع و همکاران، ۱۳۹۸: ۹۲)؛ بنابراین هر محقق با توجه به حوزه مورد نظر خود در زمینه مقیاس کالبدی-فضایی (کلان، میانی و خرد) انواع مصرف انرژی در ساختمان (گرمایشی، سرمایشی، روشنایی و تهویه) نوع زمینه تاریخی و معاصر (بافت سنتی و معاصر)، می‌تواند رویکرد، روش، ابزار و نرم‌افزار مرتبط را انتخاب نموده و در نهایت به تحلیل رابطه کالبد مورد نظر و انرژی در محدوده مورد مطالعه بپردازد. در جدول ۲، برخی از مطالعات پیشینه تحقیق آمده است.

جدول ۲- برخی از مطالعات پیشینه تحقیق

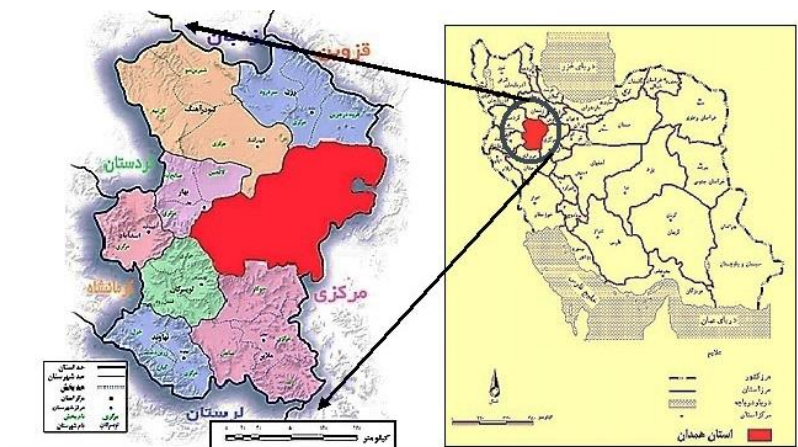
نویسندگان	عنوان پژوهش	متغیرهای بررسی	اقلیم/منطقه	سال	نتایج	عنوان مجله
Omar S. Asfour BV Ebtesam S. Alshawaf	Effect of housing density on energy efficiency of buildings located in hot climates	تراکم شهری (ارتفاع ساختمان‌های شهری)	گرم و مرطوب	۲۰۱۵	این مطالعه نشان داد که مسکن افقی فشرده می‌تواند از لحاظ بهره‌وری انرژی در مقیاسه با نمونه‌های عمودی عملکرد بهتری داشته باشد. در این زمینه، کاهش مصرف متوسط انرژی ۲۸ درصد را نشان می‌دهد.	Energy and buildings
Eirik Rescha, Rolf André Bohnea, Trond Kvamsdalb, Jardar Lohnea	Impact of urban density and building height on energy use in cities	تراکم و ارتفاع	-	۲۰۱۶	به نظر می‌رسد ساختار شهری بسیار متراکم تر و بلندتر برای کم از انرژی شهری بهینه است. نتایج نشان می‌دهد که ارتفاع مطلوب ساختمان در محدوده ۷-۲۷ طبقه وجود دارد.	Energy procedia
Kavan Javanroodia,b, Mohammadjava d Mahdaveinejada Vahid M. Nikb,	Impacts of urban morphology on reducing cooling load and increasing ventilation potential in hot-arid climate	تراکم شهری، فرم ساختمان شهری و الگوی شهری	ایران/تهران گرم و خشک	۲۰۱۸	مورفولوژی شهری تأثیر قابل‌توجهی در مصرف انرژی ساختمان‌ها دارد، درحالی‌که بار سرمایشی را کاهش می‌دهد و پتانسیل تهویه را بیش از ۱۰ تا ۱۵ درصد افزایش داده و راه‌حل‌های طراحی را برای معماران و طراحان شهری برای بهبود عملکرد انرژی بهتر ساختمان‌ها پیشنهاد می‌کند	Applide energy
Adrien Grosa, Emmanuel Bozonnetta, Christian Inarda,b, Marjorie Musyb,	Simulation tools to assess microclimate and building energy – A casestudy on the design of a new district	تراکم ساختمان، تأثیرات تابش خورشید، جریان هوا، درجه حرارت داخلی ساختمان	فرانسه/منطقه جدید آتلانتیک	۲۰۱۵	تجزیه و تحلیل مرجع و منطقه طراحی شده نشان می‌دهد با در نظر گرفتن (تراکم) در طراحی، تأثیرات مختلفی از جمله کاهش سرعت باد تا ۸۰٪ و تأثیر آن بر تابش خورشیدی ساختمان موجود در مجاورت موجود، با کاهش ۷٪ منجر می‌شود.	Energy and Buildings
Mohammad Taleghani, Martin Tenpierik, Andy van den Dobbelsteen, Richard de Dear	Energy use impact of and thermal comfort in different urban block types in the Netherlands	نسبت سطح به حجم، ارتفاع، گونه‌های مختلف بلوک شهری	معتدل / هلند	۲۰۱۳	اهمیت نسبت سطح به حجم در دستیابی به راندمان انرژی سالانه و راحتی حرارتی تابستان. با توجه به انواع مختلف بلوک‌های شهری با ارتفاعات ۱، ۲ و ۳ طبقه، مدل حیاط میانی کمترین میزان تقاضای انرژی را برای گرمایش و بیشترین تعداد ساعت آسایش حرارتی تابستان را دارد.	Energy and Buildings

Applide energy	۲۰۱۹	استوایی / سنگاپور	انواع بلوک‌های شهری، انرژی خورشیدی، تراکم و ارتفاع بلوک‌ها تولید انرژی برق با سلول‌های خورشید بر بام	Impact of urban block typology on building solar potential and energy use efficiency in tropical high-density city	Ji Zhanga, Le Xua, Veronika Shabunkoa, Stephen En Rong Tayb, Huixuan Suna, Stephen Siu Yu Lauc, Thomas Reindla
Applide energy	۲۰۱۸	ایالات متحده آمریکا	هندسه بلوک‌های شهری، زون بندی، شبیه‌سازی	Impacts of building geometry modeling methods on the simulation results of urban building energy models	Yixing Chen, Tianzhen Hong
Applide energy	۲۰۱۹	ژنو، سوئیس	جهت، عرض، طول، ضریب دید آسمان (SVF) و نسبت ابعاد نامتقارن	A solar-based sustainable urban design: The effects of city-scale streetcanyon geometry on solar access in Geneva, Switzerland	N. Mohajerier, Gudmundssonc, T. Kuncklera, G. Upadhyayd, D. Assoulinea, J.H Kämpfe, J.L. Scartezzinia
Energy and Buildings	۲۰۱۱	شمال اروپا	تراکم (ارتفاع)، هندسه شهری	The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains	Str'omann-Andersena P.A. Sattrupb
Energy and Buildings	۲۰۱۰	گرم و مرطوب	شکل فرم ساختمان‌ها و چیدمان در سایت - جزایر گرمایی شهری	A holistic approach to energy efficient building forms	Ahmad Okeil
پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی	۱۳۹۶	اصفهان	مصرف انرژی اولیه شاخص‌های اولیه شاخص‌های طرح چیدمان، مکان قرارگیری توده، فرم ساختمان، ارتفاع ساختمان، سطح معابر و فضاهای باز رابطه همبستگی قوی و بین مصرف انرژی اولیه و شاخص تناسبات بلوک، رابطه همبستگی متوسط وجود دارد. متداول ردیفی و الگوهای مربع شکل، به ترتیب کارآمدترین و ناکارآمدترین الگوی به شمار می‌آیند.	مصرف انرژی اولیه شاخص‌های اولیه شاخص‌های طرح چیدمان، مکان قرارگیری توده، فرم ساختمان، ارتفاع ساختمان، سطح معابر و فضاهای باز	گلناز مرتضای، محمود محمدی، فرشاد نصراللهی، محمود قلعه‌نویی

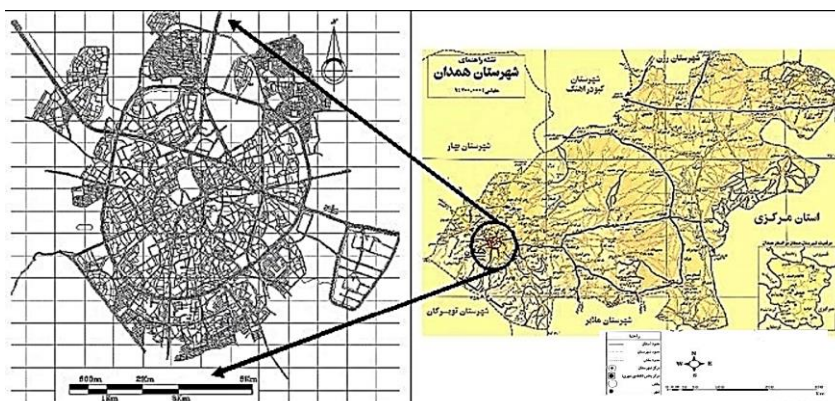
الگوی توده‌های فشرده ساختمانی با اشتراک حداکثری جبهه‌ها در ارتباط با بلوک شهری، فضای باز میانی بلوک و جهت استقرار شرقی- غربی از لحاظ بهره‌وری انرژی متعلق به بافت‌های جدید و میانی، مطلوب شناخته شد.	۱۳۹۷	سرد/ سنندج	توده ساختمانی، الگوی شبکه معاور و جهت‌گیری	شاخص‌های مؤثر بر مصرف انرژی الگوهای مسکن در مقیاس محله با تأکید بر کارایی انرژی (نمونه موردی: سنندج)	ایوب مرادخانی، نیلوفر نیک قدم، منصوره طاهباز
الگوی بهینه توده‌گذاری ساختمان‌های مسکونی به‌شدت تحت تأثیر عوامل مورفولوژی همچون هم‌جواری‌ها، فرم، ابعاد و الگوی ساختمان، الگوی بلوک‌بندی و نیز ساختار فضایی شبکه ارتباطی است که در این میان، نقش الگوی ساختمان و ساختار شبکه ارتباطی پررنگ‌تر است.	۱۳۹۷	اصفهان	فرم ساختمانی و بلوک شهری و میزان مصرف انرژی	تحلیل کارایی انرژی در مدل بافت شهری اقلیم گرم و خشک، نمونه موردی: شهر اصفهان	مریم فرخی، محمدسعید ایزدی، مهرداد کریمی مشاور

## معرفی محدوده مورد مطالعه

شهر همدان مرکز استان همدان (تصویر ۳) 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. ساختار قدیم شهر از گذشته به‌صورت متمرکز بوده و معاير اصلی به‌صورت همگرا و اغلب با جهت شرقی- غربی در شهر مشاهده می‌شوند. تا قبل از سال ۱۳۱۰ هجری شمسی شهر همدان از رشد بدون برنامه و طرح از پیش اندیشیده گسترش یافته است (محمدی، شمس، ۱۳۹۷: ۱۱۲-۱۱۳). در دوران معاصر شهر همدان با ایجاد طرح‌های جامع شهری و شهرک‌های جدید در اطراف شهر، دارای ساختار کالبدی فضایی جدیدی شده است. اولین طرح بر ساختار قدیم شهر در سال ۱۳۲۰ توسط کارل فریش<sup>۸</sup> انجام پذیرفت و با این طرح، جزء اولین شهرهایی است که طرحی شعاعی برای آن انتخاب گردید.



تصویر ۳- از راست به چپ: - موقعیت استان همدان نسبت به کشور (https://www.amar.org.ir)،  
موقعیت شهرستان همدان در استان (http://hr-vojdani01.blogfa.com, 2020)



تصویر ۴- از راست به چپ: موقعیت شهر همدان نسبت به شهرستان همدان  
http://www.hamedan.ir/Hamedan/Fa/Maps.asp, 2020  
نقشه خطی شهر همدان (مهندسین مشاور طرح و تدوین، ۱۳۸۵)



The figure consists of two panels. The left panel is a psychrometric chart for Hamadan, Iran, showing the cooling and dehumidification process. The right panel is a climate diagram for Hamadan, Iran, showing the temperature and humidity ratio over a 24-hour period.

**Psychrometric Chart (Left Panel):**

- Location:** Hamadan, IR, Iran
- Latitude/Longitude:** 34.87° South, 48.53° East
- Time Zone:** Time from Greenwich 3
- Elevation:** 1741 m
- ASHRAE Standard:** 55-2004 using PIPV
- Legend:**
  - CONVENT READER
  - 100% COMFORTABLE
  - 50% NOT COMFORTABLE
- Design Strategies (JANUARY through DECEMBER):**
  - 13.3% 1. Convert to 14.7° N
  - 18.1% 2. Sun Shading of Windows 10.7° N
  - 9.2% 3. High Thermal Mass (Heat) 10.7° N
  - 18.1% 4. High Thermal Mass (Heat) 10.7° N
  - 18.1% 5. Direct Evaporative Cooling 10.7° N
  - 18.1% 6. Two Stage Evaporative Cooling 10.7° N
  - 1.0% 7. Natural Ventilation Cooling 10.7° N
  - 1.0% 8. Fan Forced Ventilation Cooling 10.7° N
  - 22.0% 9. Natural Heat Gain 10.7° N
  - 16.1% 10. Passive Solar Direct Gain (Heat) 10.7° N
  - 23.0% 11. Passive Solar Direct Gain (Heat) 10.7° N
  - 4.1% 12. Wind Protection of Outdoor Space 10.7° N
  - 0.0% 13. Humidification (Cool) 10.7° N
  - 0.0% 14. Dehumidification (Cool) 10.7° N
  - 0.0% 15. Cooling and Dehumidification of outdoor 10.7° N
  - 36.0% 16. Heating and Humidification of outdoor 10.7° N
- Comfort Zones:**
  - Summer: cooling on right
  - Winter: heating on left
- Design Strategy:** Select on dropdown

**Climate Diagram (Right Panel):**

- Location:** Hamadan, IR, Iran
- Latitude/Longitude:** 34.87° South, 48.53° East
- Time Zone:** Time from Greenwich 3
- Elevation:** 1741 m
- Legend:**
  - 100% COMFORTABLE
  - 50% NOT COMFORTABLE
- Design Strategies (JANUARY through DECEMBER):**
  - 13.3% 1. Convert to 14.7° N
  - 18.1% 2. Sun Shading of Windows 10.7° N
  - 9.2% 3. High Thermal Mass (Heat) 10.7° N
  - 18.1% 4. High Thermal Mass (Heat) 10.7° N
  - 18.1% 5. Direct Evaporative Cooling 10.7° N
  - 18.1% 6. Two Stage Evaporative Cooling 10.7° N
  - 1.0% 7. Natural Ventilation Cooling 10.7° N
  - 1.0% 8. Fan Forced Ventilation Cooling 10.7° N
  - 22.0% 9. Natural Heat Gain 10.7° N
  - 16.1% 10. Passive Solar Direct Gain (Heat) 10.7° N
  - 23.0% 11. Passive Solar Direct Gain (Heat) 10.7° N
  - 4.1% 12. Wind Protection of Outdoor Space 10.7° N
  - 0.0% 13. Humidification (Cool) 10.7° N
  - 0.0% 14. Dehumidification (Cool) 10.7° N
  - 0.0% 15. Cooling and Dehumidification of outdoor 10.7° N
  - 36.0% 16. Heating and Humidification of outdoor 10.7° N
- Comfort Zones:**
  - Summer: cooling on right
  - Winter: heating on left
- Design Strategy:** Select on dropdown

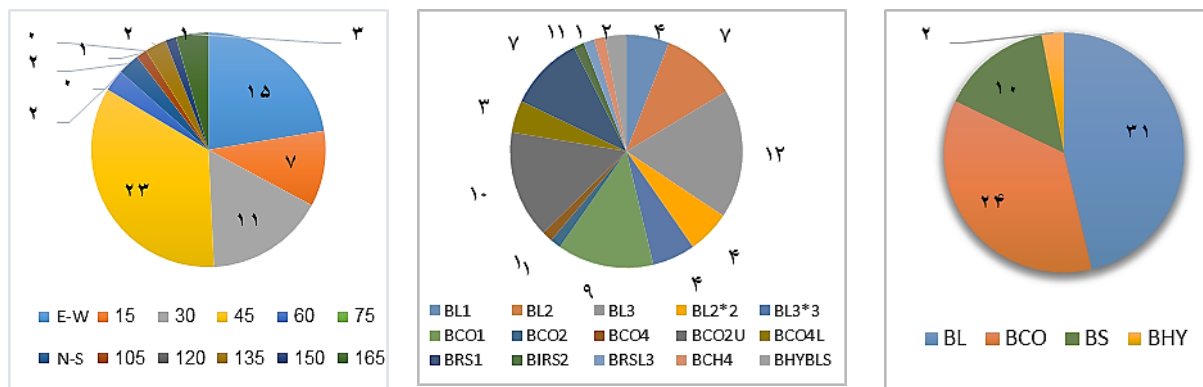
**گونه‌شناسی استقرار کالبدی مجتمع‌های مسکونی همدان:** تحول بنیادینی در گذر از مرحله طراحی مسکن تک خانوار، به ساخت مسکن با برنامه‌ریزی شرایط عمومی ساکنین، در غالب مجموعه‌های مسکونی رخ داده است. نتیجه این نوع برنامه‌ریزی، طیف وسیعی از مجموعه‌های مسکونی با تراکم کم تا مجتمع‌های مسکونی متراکم را شامل می‌شود (عینی‌فر و آقا لطیفی، ۱۳۹۱: ۲۱). مطابق تعریف مجتمع مسکونی، تعدادی بلوک ساختمانی است که می‌تواند شامل گونه‌های مختلف مسکن؛ تک خانواری، آپارتمان کوتاه و بلندمرتبه باشد. در این مجتمع‌ها بلوک‌های آپارتمانی در یک قطعه زمین قرار می‌گیرند. بلوک‌ها می‌توانند در اشکال مختلفی با یکدیگر ترکیب شوند و فضای باز در ارتباط معناداری با ساختمان‌ها قرار گیرد. ساخت‌وساز مجتمع‌های مسکونی در شهر همدان، همراه با موج ساخت مجتمع‌های مسکونی ایران در دهه پنجاه شمسی، با مجتمع مسکونی کاشانی آغاز شد و طی نیم‌قرن، به شکل گونه‌های مختلف توسط ارگانها و شرکت‌ها، طراحی و ساخته شده‌اند. به‌غیر از دو مجتمع برجی شکل، سایر مجتمع‌های مسکونی شهر همدان، از نوع گسترده در سطح هستند. مجتمع‌های مسکونی گسترده در سطح شهر همدان، دارای بلوک‌هایی با تعداد طبقات بین سه تا ده طبقه و ده طبقه می‌باشند. جمعیت این مجتمع‌های مسکونی بین ۵۰۰ نفر تا ۳۰۰۰ نفر برآورد شده است (جلالیان و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۴۲). گونه‌های مختلف مجموعه‌های مسکونی را بر اساس هم‌نشینی فضای باز و بسته به چهار گونه محیطی، خطی، منفرد و ترکیبی دسته‌بندی می‌کنند (Biddulph, 2007: 49-53). با استفاده از روش پیمایشی، مبنی بر مشاهده اسنادی و بازدید میدانی از ۶۸ مجتمع زیستی، ۴ گونه اصلی شناسایی و با زیرگونه‌ها، ۱۵ گونه مختلف با دیدگاه رابطه همسایگی و مجاورت بلوک‌ها، جهت مدل‌سازی تعیین گردید. در جدول ۳ انواع کدگذاری گونه‌ها استقرار و در تصویر ۶ نمونه از تصاویر انواع گونه‌های مجتمع‌های زیستی شهر همدان و در تصویر ۷ فراوانی استقرار گونه‌ها در تعداد و جهت جغرافیایی آمده است.

جدول ۳- کدگذاری انواع گونه‌های استقرار شهر همدان

الگوهای خطی	تک خطی	دوخطی موازی	سه خطی موازی	خطی ۲×۲	خطی ۳×۳
کدگذاری	BL1	BL2	BL3	BL2*2	BL3*3
تصاویر شبیه‌سازی					
الگوهای متمرکز	تک حیاط میانی	دو حیاط میانی	چهار حیاط میانی	تک حیاط با ۴ بلوک L شکل	تک حیاط با دو بلوک U شکل
کدگذاری	BCO1	BCO2	BC4	BCL4	BCU2
تصاویر شبیه‌سازی					
الگوهای پراکنده، ترکیبی	منظم فرم ساده	نامنظم فرم ساده	منظم شطرنجی	منظم ال شکل	ترکیبی (پراکنده، خطی)
	BSR	BSIR	BSCH	BSRL	BHYBLS
تصاویر شبیه‌سازی					
توضیحات	الگوهای خطی (BL) - الگوی متمرکز (BCO) - الگوهای پراکنده (BSR) - الگوی پراکنده نامنظم (BSIR) - پراکنده منظم (BHYBLS) شطرنجی (BSCH) - پراکنده منظم ال شکل (BSRL) - الگوی ترکیبی خطی و پراکنده (BHYBLS)				


 تصویر ۶- نمونه تصاویر از ۱۵ گونه مختلف در شهر همدان <https://earth.google.com/web> (Google Earth, 2020)





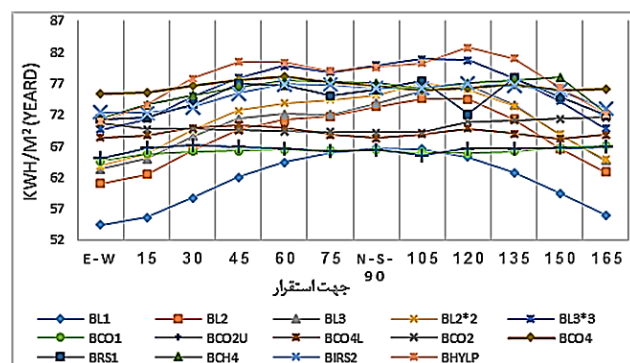
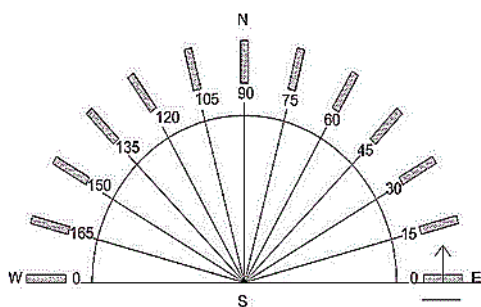
تصویر ۷- از راست به چپ- فراوانی ۴ الگوی اصلی استقرار-فراوانی ۱۵ گونه استقرار در همدان- فراوانی جهت استقرار الگوها

### یافته‌ها (مطالعات شبیه‌سازی)

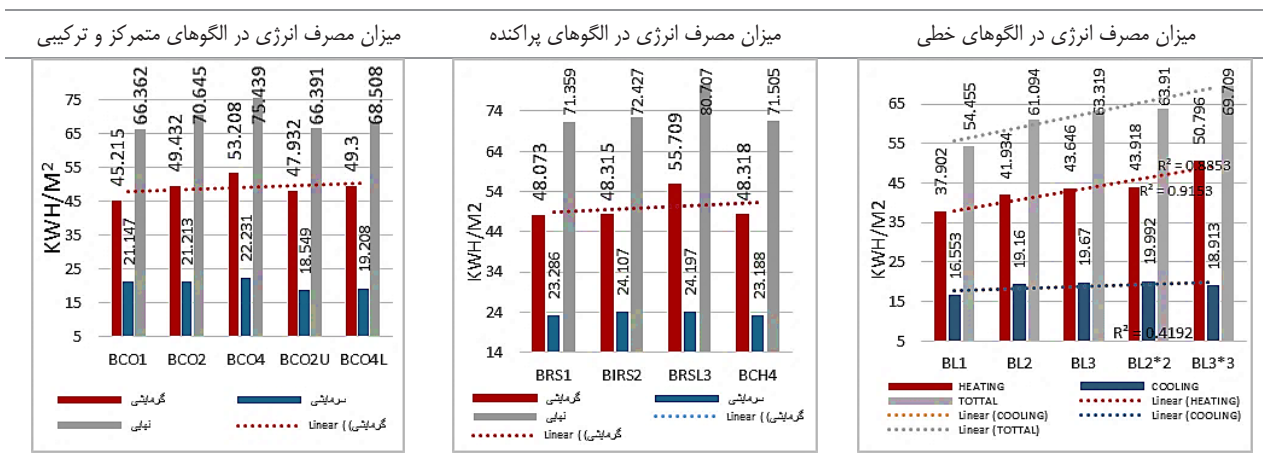
در این تحقیق، رابطه‌ای بین مؤلفه‌های استقرار کالبدی مجتمع‌های مسکونی و میزان مصرف انرژی بررسی شده است. با اعمال تغییراتی در یکسان‌سازی مدل‌های پیشنهادی، ۱۵ مدل جهت شبیه‌سازی انتخاب گردید. همه مدل‌ها از نظر میزان سطح اشغال، مشخصات مصالح (جدول ۴) و ساختار آن‌ها، سیستم‌های گرمایشی، سرمایشی و روشنایی، کاربری و تراکم اولیه، از شرایط یکسانی برخوردار هستند. بعد از مدل‌سازی الگوهای منتخب، شبیه‌سازی انرژی، با استفاده از نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر نسخه ۶.۱۶.۰۰۸، به عنوان ابزار اندازه‌گیری میزان مصرف انرژی انجام پذیرفت. دیزاین‌بیلدر، یکی از نرم‌افزارهای معتبر و به‌روز، در مدل‌سازی انرژی و بسیار قوی جهت ارزیابی عملکرد حرارتی ساختمان‌ها است (Asfour & Alshawaf, 2015). موتور شبیه‌ساز این نرم‌افزار انرژی پلاس است که توسط دپارتمان انرژی آمریکا مورد تأیید و اعتبارسنجی قرار گرفته است. این نرم‌افزار به عنوان یکی از معتبرترین نرم‌افزارهای مدل‌سازی انرژی، در مطالعات مختلفی مورد استفاده و اعتبارسنجی آن‌هم از طریق تجربی (مقایسه با اندازه‌گیری‌های میدانی) و هم مقایسه‌ای (مقایسه نتایج نرم‌افزارهای مختلف با همدیگر) انجام پذیرفته است؛ به طوری که اختلاف آن‌ها در حد بسیار اندک و نتایج قابل قبول ارزیابی شده است (زمانی و همکاران، ۱۳۹۶، زمردیان و تحصیلدوست، ۱۳۹۴، دشتی‌زاده و گرکانی، ۱۳۹۷، شهپازی و همکاران، ۱۳۹۸، ادیبی و زرغامی، ۱۳۹۵، Blancoa, et al., 2016, Ran and Tang, 2018, Rubise et al, 2018, Karimi et al, 2019). لذا اعتبارسنجی با این نرم‌افزار جهت پژوهش فوق محرز است. استانداردهای اعتبارسنجی نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر شامل ISO EN 12831, ASHRAE 140/BEDTEST, ISO EN 13790-15193, CIBSE TM33 (مصلحی و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۱). یکی از مزیت‌های کلیدی نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر انجام محاسبات شبیه‌سازی انرژی ساختمان‌های اصلی با توجه به تأثیرات سایه‌اندازی و انعکاس نور خورشید از ساختمان‌های مجاور و اشیاء در همسایگی ساختمان اصلی (بلوک شهری) است که در قسمت Constructio (Shades and Reflects) و همچنین بخش تنظیمات شبیه‌سازی (Solar) انجام می‌پذیرد. نرم‌افزار دیزاین‌بیلدر برای کشور ایران فقط شهرهای تهران، شیراز، یزد، تبریز و بندرعباس، دارای فایل آب‌وهوایی صحیح است (همان، ۳۲)؛ لذا با فراخوانی داده‌های اقلیمی شهر همدان با چهار پسوند: audit, stat, epw و ddy بر اساس داده‌های ایستگاه هواشناسی شهر همدان و ایجاد فایل جدیدی به نام Hamedan، در بانک اطلاعاتی نرم‌افزار، مدل‌ها آماده شبیه‌سازی گردید. با شبیه‌سازی مدل‌ها در حالت‌های مختلف مؤلفه‌های استقرار، مقدار مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی و بر اساس کیلو وات‌ساعت بر مترمربع<sup>۱۱</sup> در سال تعیین گردید. با شبیه‌سازی ۱۵ مدل پیشنهادی و تغییر جهت استقرار شرقی-غربی با ضریب ۱۵ درجه‌ای (فراوانی زاویه‌های مجتمع‌های مسکونی) در جهت عکس حرکت عقربه‌های ساعت در هر بار، مصرف انرژی محاسبه شد. در این مرحله با ۱۲ جهت مختلف و ۱۵ الگوی مختلف، در مجموع ۱۸۰ بار شبیه‌سازی انجام پذیرفت. همان‌طور که در تصویر ۸ مشخص است، در حالت کلی، با افزایش زاویه نسبت به استقرار جهت شرقی- غربی میزان مصرف انرژی هم افزایش می‌یابد. بیشترین میزان مصرف انرژی الگوها در جهت استقرار کالبدی بین زاویه ۹۰ تا ۱۲۰ درجه است و بعد از این زاویه کاهش مصرف انرژی رخ می‌دهد و همچنین در بعضی گونه‌ها، تغییرات انرژی ناچیز است. بیشترین تأثیر جهت در الگوهای خطی و ترکیبی مشهود است و الگوی پراکنده در رتبه بعدی قرار دارد و کمترین تأثیر در الگوهای متمرکز (حیات میانی) مشاهده شد.

Construction	لایه‌های جداره	$R = (m^2.k/w)$	$U = (w/m^2.k)$
extenal walls	نمای آجری + دیوار دوجداره با عایق پلی استایرن + اندود سفیدکاری داخلی	۲/۳۰	۰/۴۳۴
Semi- exposed walls	دیوار دوجداره با عایق پلی استایرن + اندود سفیدکاری داخلی (دیوار مجاور همسایگی)	۱/۰۰	۱/۰۰
Internal Partitins (in)	دیوار سفالی + دو طرف اندود سفیدکاری	۰/۷۵	۱/۳۳
Flat Roof	ایزوگام + بتن شیب بندی بام + عایق حرارتی (فوم) + بتن سازه سقف + اندود سفیدکاری (بام)	۳/۰۰	۰/۳۳۳
Semi-exposed floor	سرامیک کف + بتن کف سازی + بتن سازه سقف + عایق حرارتی (فوم) + اندود سفیدکاری (سقف پارکینگ)	۳/۰۰	۰/۳۳۳
Internal Floor (in)	سرامیک کف + بتن کف سازی + بتن سازه سقف + اندود سفیدکاری (سقف طبقات میانی)	۱/۰۰	۱/۰۰

جدول ۴- مشخصات مصالح جداره و سقف‌ها در مدل‌ها (Construction)



تصویر ۸- نمودار میزان مصرف انرژی در جهات مختلف استقرار الگوهای پانزده گانه

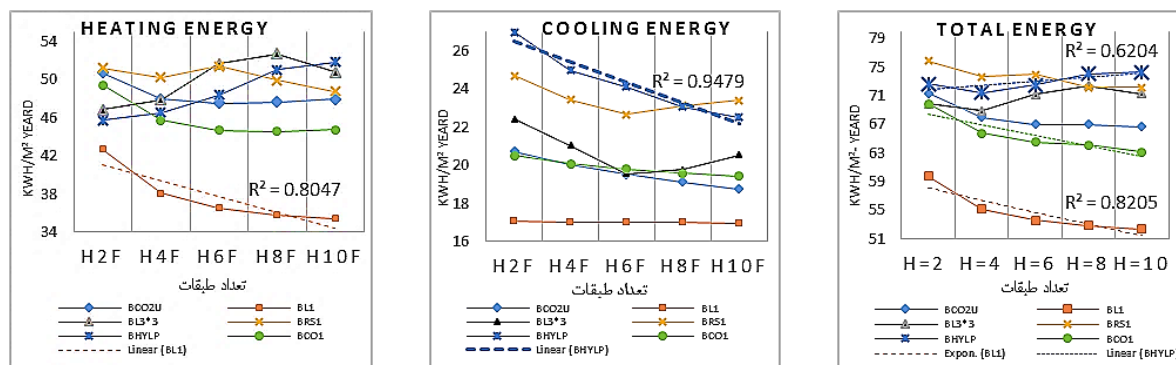


تصویر ۹- میزان مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی و نهایی سالانه تمام الگوها

برای بررسی و تعیین الگوی بهینه سطح اشغال (هم‌نشینی توده - فضا)، مدل‌ها، در جهت بهینه انتخاب شده مرحله‌ی قبل، مورد بررسی قرار گرفت. در بین الگوهای خطی، کمترین میزان مصرف انرژی برای الگوی مدل (BL1) با مصرف انرژی سالانه (۵۳/۶۴۴ kWh/m<sup>2</sup>) و بیشترین مصرف برای الگوی مدل (BL3) با مصرف انرژی سالانه (۷۵/۴۳۹ kWh/m<sup>2</sup>) است. در الگوهای پراکنده اشکال هندسی ساده به صورت مربع، مستطیل و پیچیده (ال شکل) و به دو حالت؛ منظم و نامنظم، با توجه به مشخصات ذکر شده، انتخاب شدند. در الگوهای

پراکنده، الگوی (BS1) با مصرف انرژی ( $71/350 \text{ kWh/m}^2$ ) بهینه‌ترین استقرار و الگوی (BSL3) با مصرف انرژی ( $80/77 \text{ kWh/m}^2$ ) ناکارآمدترین است. بیشترین میزان فراوانی الگوهای متمرکز در بافت تاریخی جولان قرار دارد، و بیشتر نمونه‌ها دارای تناسب مربع شکل و در مجموع، شامل چهار الگو است. بهینه‌ترین الگوی استقرار در این مدل فرم (BCO1) با مقدار مصرف انرژی سالانه ( $66/132 \text{ kWh/m}^2$ ) و نامناسب‌ترین الگو (BCO4) با مقدار مصرف انرژی سالانه ( $75/439 \text{ kWh/m}^2$ ) است (تصویر ۹).

برای بررسی مؤلفه‌های ارتفاع و شاخص‌های مرتبط با آن، ضریب دوطبقه برای مدل‌ها تعیین و در مجموع با انتخاب ۶ مدل بهینه و با در نظر گرفتن ۵ ارتفاع مختلف، ۳۰ شبیه‌سازی انرژی صورت گرفت. با توجه به تصویر ۱۰، با افزایش ارتفاع مصرف انرژی گرمایشی در الگوهای (BL1 و BCO1 و BCO2 و BRS1) کاهش و در الگوی (BHYLP و BL3\*3) افزایش می‌یابد. در تمام مدل‌ها با افزایش ارتفاع انرژی سرمایش کاهش یافته و در الگوی (BL1) تغییر بسیار ناچیز است. با بررسی انرژی نهایی سالانه در تمام الگوها با افزایش ارتفاع، مصرف انرژی نهایی کاهش می‌یابد. فقط در الگوی (BHYLP و BL3\*3) این رابطه با افزایش ارتفاع مصرف نهایی انرژی سالانه افزایش می‌یابد.



تصویر ۱۰- میزان مصرف انرژی گرمایشی (چپ)، سرمایشی (وسط) و نهایی (راست) الگوها در ارتفاع‌های مختلف

## بحث (تحلیل آماری)

برای بررسی تأثیر مؤلفه‌های استقرار بر میزان مصرف انرژی، داده‌های عددی شبیه‌سازی‌ها از مرحله قبل با استفاده از تحلیل‌های آماری و مقایسه با مدل مرجع مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. مدل مرجع برای بررسی مؤلفه جهت استقرار همان جهت استقرار بهینه مستخرج از روی نقشه مسیر حرکت خورشید در عرض جغرافیایی همدان با منطبق کردن دمای مرز بین سایه و آفتاب از تقویم نیاز اقلیمی شهر همدان است. با همپوشانی مطلوب نقاله سایه یاب و نمودار به‌دست‌آمده، مطلوب‌ترین جهت در همدان با توجه به گرمای تابشی دریافت شده توسط جداره‌ها، رو به جنوب با چرخش ۳۰ درجه نسبت به شرق است. مدل مرجع برای بررسی الگوی توده و فضا (سطح اشغال)، میزان فراوانی الگوها در شهر همدان است. همان‌طور که بیان گردید؛ الگوی خطی BL3\*3 بیشترین فراوانی (۱۵٪) و به‌عنوان الگوی مرجع، انتخاب گردید. مدل مرجع برای انتخاب ارتفاع 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  $H=0/53W$  و نسبت  $H/W=0/53$  مدل مرجع است (جدول ۶). تحلیل آماری در سه بخش و در بخش اول تحلیل نقش مؤلفه جهت استقرار در الگوها، مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به نمودار مصرف انرژی، کشیدگی در جهت شرقی-غربی کمترین مصرف انرژی و کشیدگی در جهت شمالی-جنوبی تا ۱۲۰ درجه، بیشترین مصرف انرژی سالانه را دارد. در جهت استقرارهای مختلف جغرافیایی، شاخص هندسی؛ مقدار سطح در معرض تابش مستقیم آفتاب تغییر کرده و بر میزان مصرف انرژی تأثیر می‌گذارد. در تمام الگوهای خطی و ترکیبی ضریب همبستگی نشان می‌دهد که با کاهش شاخص سطح نمای در معرض تابش مستقیم آفتاب میزان مصرف انرژی افزایش و نوع رابطه همبستگی معکوس و با شدت بسیار زیاد است. در این رابطه دیده شد که همزمان با کاهش این شاخص از جهت استقرار شرقی-غربی در عکس حرکت عقربه‌های ساعت تا جهت شمالی جنوبی میزان مصرف انرژی افزایش می‌یابد و در ادامه از جهت ۱۲۰ تا ۱۶۵ درجه با افزایش شاخص انرژی کاهش می‌یابد.

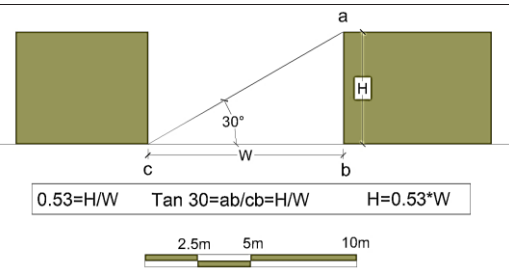
جدول ۵- تفسیر و نوع رابطه ضرایب همبستگی (میلر، ۱۳۸۰: ۲۹۹)

ضریب همبستگی	۰/۲-۰/۰	۰/۴-۰/۲	۰/۶-۰/۴	۰/۸-۰/۶	۱-۰/۸
تفسیر	فقدان رابطه یا ناچیز	کم (ضعیف)	متوسط	زیاد	بسیار زیاد
نوع رابطه	علامت (+): رابطه مستقیم و علامت (-): رابطه معکوس				

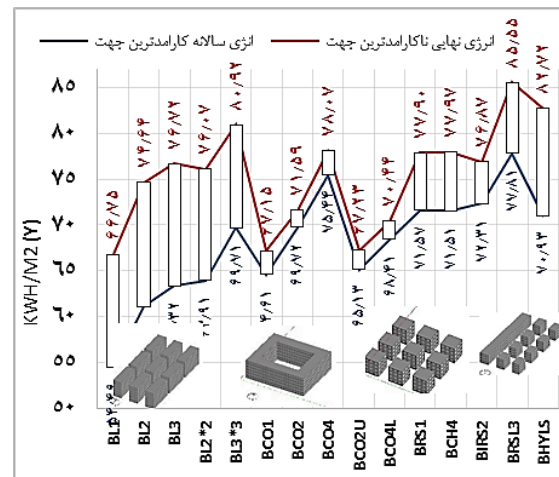
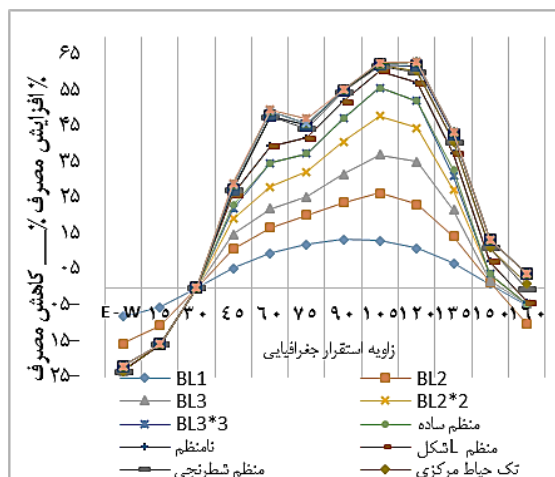


در رابطه با تحلیل واریانس که به منظور بررسی معنی داری وجود اختلاف، در بین میانگین‌های مصرف انرژی نهایی الگوها در جهات مختلف استقرار جغرافیایی، صورت می‌گیرد، می‌توان با سطح اطمینان ۹۹٪ در تمام الگوها بیان کرد که الگوهای مختلف مجموعه‌های مسکونی دارای میانگین متفاوتی در جهات مختلف جغرافیایی هستند ( $P < 0.01$  و  $F_{(14,165)} = 32.16$ )؛ به عبارتی تفاوت معنی داری در میزان مصرف انرژی وجود دارد. با توجه به نابرابری واریانس‌ها در الگوها، از آزمون تعقیبی جیمز هوئل برای تعیین تفاوت بین گروه‌ها استفاده شده است. این آزمون، نشان می‌دهد که الگوی تک‌خطی (BL1) میانگین متفاوتی در میزان مصرف انرژی نسبت به تمام الگوها به جز (BCO1 و BCO2U) و همچنین الگوی (BLS3) با تمام الگوها به جز الگوهای (BL3\*3-BHYBLP) دارد. ولی بین الگوهای دیگر تفاوت میانگین انرژی در بعضی از آن‌ها مشاهده شده است، نمودار میانگین مصرف انرژی در الگوهای مختلف نشان می‌دهد که الگوی (BL1) کمترین میزان مصرف انرژی ( $kWh/m^2$ ) و الگوی پراکنده (BIRSL)، بالاترین میانگین مصرف انرژی ( $M = 80.59 \text{ kWh/m}^2$ ) را دارد. با توجه به نمودار ۵ که بیان‌کننده کمترین و بیشترین مصرف انرژی در جهات مختلف در هر یک از الگوها است، مشخص شد که جهت در الگوهای خطی بیشترین تأثیر (اختلاف انرژی) و در الگوهای متمرکز کمترین تأثیر را داشته و الگوهای پراکنده و ترکیبی در رتبه میانی قرار دارد. از آنجا که شاخص اصلی برای مقایسه جهت‌گیری‌های مختلف، میزان صرفه‌جویی در انرژی مصرفی آن‌هاست، در این بخش میزان صرفه‌جویی در جهت‌گیری‌های مختلف، با مدل مرجع (جدول ۶) که جهت استقرار توصیه شده اقلیمی (جهت رو به جنوب و با چرخش سه درجه‌ای به سمت شرق) است مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته و در تصویر ۱۰، آمده است. اعداد منفی در جدول میزان صرفه‌جویی نسبت به جهت توصیه شده و اعداد مثبت میزان افزایش مصرف انرژی را نمایش می‌دهد؛ لذا، جهت شرقی-غربی، بیشترین صرفه‌جویی انرژی سالانه را در تمام الگوها دارد.

جدول ۶- معرفی مدل مرجع برای ارزیابی و تعیین میزان درصد کاهش و افزایش مصرف انرژی

مؤلفه‌های استقرار	توده و فضا (فرم استقرار هم‌نشینی)	جهت استقرار	ارتفاع و فاصله بین بلوک‌های ساختمانی (H/W)
مدل مرجع	الگوی خطی BL3*3	جنوب با چرخش ۳۰ درجه به سمت شرق	$H/W = 0.53$
منبع	فراوانی در شهر همدان	نقاله سایه‌یاب اقلیمی و نمودار	حداقل زاویه تابش در همدان ( $\tan 30^\circ$ )
تصاویر مدل مرجع			

جهت بررسی رابطه بین مشخصات هندسی متأثر از فرم توده - فضای الگوها (سطح اشغال) و میزان مصرف انرژی (جدول ۷)، از ضریب همبستگی پیرسون (جدول ۵) استفاده شد. یافته‌ها نشان می‌دهد بین مشخصات هندسی (نسبت سطح به حجم، سطح پنجره به سطح کل، خط محیط سطح اشغال در معرض هوای آزاد و سطح کل، سطح جداره عمودی و سطح پنجره) و انرژی مصرفی سالانه در هر یک از الگوها، رابطه همبستگی مثبت با شدت بسیار زیاد برقرار است؛ به عبارتی با افزایش مقدار مشخصات هندسی، میزان مصرف انرژی در الگوها افزایش می‌یابد؛ اما با بررسی رابطه بین مشخصات هندسی و مصرف انرژی در بین الگوها با همدیگر نتایج متفاوتی به دست آمد؛ به طوری که بین دو شاخص نسبت سطح به حجم و نسبت سطح پنجره به سطح کل، با میزان مصرف انرژی، همبستگی منفی و با شدت ناچیز و همچنین بین سطح جدار شیشه، خط محیط سطح اشغال و سطح جداره عمودی با میزان مصرف انرژی همبستگی مثبت و با شدت ناچیز برقرار است (جدول ۸). با توجه به نتایج متفاوت به دست آمده از کل الگوها با همدیگر، به نظر می‌رسد، علاوه بر مشخصات هندسی، ایجاد خرد اقلیم حاصل از ترکیب فضای باز و بسته در نتایج مؤثر است.



تصویر ۱۱- راست: میزان مصرف انرژی در جهت بهینه و غیر بهینه - چپ: ارزیابی مصرف انرژی جهات مختلف جغرافیایی با جهت مدل مرجع

جدول ۷- مشخصات هندسی متأثر از فرم توده-فضا در تمام الگوها و انرژی سالانه

الگوهای استقرار مجموعه‌های مسکونی														
ترکیبی	الگوهای پراکنده					الگوهای متمرکز					الگوهای خطی			
	BHYLP	BRS1	BCH4	BIRS2	BRLS3	BCO1	BCO2U	BCO2	BCO4L	BCO4	BL1	BL2	BL3	BL2*2
تعداد بلوکهای پیوسته (عدد)	۷	۹	۹	۹	۹	۱	۲	۱	۴	۱	۱	۲	۲	۴
خط محیطی سطح اشغال (متر طول)	۶۳۴	۲۸۰	۲۸۰	۲۸۰	۵۰۴	۴۲۰	۴۶۸	۴۸۴	۵۱۶	۵۵۲	۴۴۴	۴۶۸	۴۹۲	۵۱۶
مساحت جداره عمودی (مترمربع)	۹۵۱۰	۴۲۰۰	۴۲۰۰	۴۲۰۰	۷۵۶۰	۰۰۶۳	۷۰۲۰	۷۲۶۰	۷۷۴۰	۸۲۸۰	۶۶۶۰	۷۰۲۰	۷۳۸۰	۷۷۴۰
مقدار سطح در معرض هوا (مترمربع)	۱۲۰۳۰	۶۷۲۰	۶۷۲۰	۶۷۲۰	۱۰۰۸۰	۸۸۲۰	۹۵۴۰	۹۷۸۰	۱۰۲۶۰	۱۰۸۰۰	۹۱۸۰	۹۵۴۰	۹۹۰۰	۱۰۲۶۰
نسبت سطح به حجم (S/V)	۰/۳۱۷	۰/۱۷۷	۰/۱۷۷	۰/۱۷۷	۰/۲۰	۰/۲۳۳	۰/۲۵۲	۰/۲۵۸	۰/۲۷۱	۰/۲۸۵	۰/۲۴۲	۰/۲۵۲	۰/۲۶۱	۰/۲۷۱
سطح جداره شیشه (مترمربع)	۳۳۷۷	۱۰۵۰	۱۰۵۰	۱۰۵۰	۱۸۹۰	۱۵۷۵	۱۷۵۵	۱۸۱۵	۱۹۳۵	۲۰۷۰	۱۶۶۵	۱۷۵۵	۱۸۴۵	۱۹۲۵
نسبت پنجره به سطح کل (Sw/S)	۰/۱۹۷	۰/۱۵۶	۰/۱۵۶	۰/۱۵۶	۰/۱۸۷	۰/۱۷۸	۰/۱۸۳	۰/۱۸۵	۰/۱۸۸	۰/۱۹۱	۰/۱۸۱	۰/۱۸۳	۰/۱۸۶	۰/۱۸۸
مصرف انرژی (kWh/m <sup>2</sup> )	۷۲/۴۷	۷۱/۳۵	۷۱/۵۰	۷۲/۴۲	۸۰/۷۰	۶۶/۳۶	۶۶/۳۹	۷۰/۶۴	۶۸/۵۰	۷۵/۴۳	۵۴/۴۵	۶۱/۰۹	۶۳/۳۱	۶۳/۹۱

جدول ۸- ضریب همبستگی بین مشخصات هندسی متأثر از فرم توده-فضا و مقدار مصرف انرژی

متغیر مستقل	متغیر وابسته انرژی (kWh/m <sup>2</sup> )	خطی	متمركز	پراكنده	رابطه و شدت	تمام الگوها	رابطه و شدت
خط محیط سطح اشغال	مصرف انرژی سالانه	+۰/۹۰	+۰/۸۲	+۰/۹۹	مستقیم و بسیار زیاد	+۰/۰۱۷	مستقیم و ناچیز
سطح هوای آزاد	مصرف انرژی سالانه	+۰/۹۰	+۰/۸۲	+۰/۹۹	مستقیم و بسیار زیاد	+۰/۰۱۷	مستقیم و ناچیز
نسبت پنجره به سطح کل جداره	مصرف انرژی سالانه	+۰/۹۲	+۰/۸۱	+۰/۹۹	مستقیم و بسیار زیاد	-۰/۰۰۶	معکوس و ناچیز
سطح جداره عمودی	مصرف انرژی سالانه	+۰/۹۰	+۰/۸۲	+۰/۹۹	مستقیم و بسیار زیاد	+۰/۰۱۷	مستقیم و ناچیز
نسبت سطح به حجم	مصرف انرژی سالانه	+۰/۹۰	+۰/۸۲	+۰/۹۹	مستقیم و بسیار زیاد	-۰/۰۱۷	معکوس و ناچیز
سطح پنجره	مصرف انرژی سالانه	+۰/۹۳	+۰/۸۲	+۰/۹۹	مستقیم و بسیار زیاد	+۰/۰۴۴	مستقیم و متوسط

جهت تعیین الگوی بهینه با استفاده از تحلیل واریانس وجود تفاوت معنی داری در الگوها بررسی شد. در رابطه با تحلیل واریانس که به منظور بررسی معنی داری وجود اختلاف، در بین میانگین‌های زیرالگوهای مختلف استقرار مجموعه‌های مسکونی، صورت می‌گیرد به دلیل اینکه  $\text{sig} = 0.05$  و  $F_{(3,12)} = 5.85$  می‌توان با سطح اطمینان ۹۵٪ در تمام الگوها نتیجه گرفت که: میزان مصرف انرژی نهایی سالانه در تمام الگوها با همدیگر متفاوت است. آزمون تعقیبی جیمز هوئل نشان داد که الگوهای خطی، میانگین متفاوتی با الگوی پراکنده و ترکیبی دارند، ولی بین الگوهای دیگر تفاوت میانگینی مشاهده نگردید. نمودار میانگین مصرف انرژی نهایی در الگوها نشان می‌دهد که؛ الگوهای خطی کمترین میانگین مصرف انرژی نهایی ( $M = 62/49 \text{ kWh/m}^2$ ) و بهینه‌ترین مجموعه الگوها و الگوهای پراکنده با میانگین مصرف انرژی ( $M = 73/99 \text{ kWh/m}^2$ ) ناکارآمدترین مجموعه‌ی الگوها است. الگوهای متمركز و ترکیبی در میانه قرار دارد. نمودار مصرف انرژی بین تمام الگوهای ۱۵ گانه با همدیگر مشخص می‌کند که الگوی (BL1) با مصرف انرژی ( $54/45 \text{ kWh/m}^2$ ) کمترین مصرف انرژی سالانه و الگوی (BRS13) با مقدار ( $80/70 \text{ kWh/m}^2$ ) بیشترین مصرف انرژی سالانه را دارد. جهت بررسی میزان افزایش و کاهش مصرف انرژی بین الگوها از مدل مرجع استفاده شده است. مدل مرجع جهت ارزیابی تعیین توده و فضا (فرم سطح اشغال بهینه)، میزان فراوانی الگوها در شهر همدان الگوی خطی ( $BL3 \times 3$ ) است. نتایج این بررسی در جدول ۹ آمده است. نتایج مشخص می‌کند که الگوهای خطی صرفه‌جویی انرژی بیشتری نسبت به تمام الگوها دارند و الگوهای پراکنده، ترکیبی و الگوی متمركز (BCO2-BCO4) افزایش مصرف انرژی را دارا هستند. اعداد منفی نشان‌دهنده کاهش مصرف انرژی و اعداد مثبت نشان‌دهنده افزایش مصرف انرژی نسبت به مدل مرجع است.

جدول ۹- میزان درصد صرفه‌جویی انرژی در الگوهای مختلف استقرار (توده-فضا)، نسبت به مدل مرجع

الگوهای مختلف استقرار													
BHYLP	BCH4	BRLS3	BIRS2	BRS1	BCO2U	BCO4L	BCO4	BCO2	BCO1	BL2*2	BL3	BL2	BL1
+۱/۷۵	+۲/۵۸	+۱۴/۶۱	+۲/۹	+۲/۳۶	-۴/۷۴	-۱/۷۲	+۸/۲۲	+۱/۳۴	-۴/۷۰	-۸/۳۰	-۹/۷۰	-۱۲/۳۵	-۲۱/۸۷
-۷/۹۷	-۵/۱۰	+۳/۹۱	-۴/۷۴	-۵/۲۳	-۵/۵۱	-۲/۸۱	+۴/۹۰	-۲/۵۵	-۱۶/۷۸	+۳/۲۶	+۴/۹۰	-۱۷/۳۳	-۲۶/۸۷
-۲۸/۴۰	+۲۲/۶۲	+۳۲/۱۹	+۲۷/۴۷	+۲۳/۰۴	-۱/۹۲	-۱۱/۵۷	+۱۷/۵۵	+۱۲/۱۷	+۱۱/۸۲	+۵/۷۲	+۱۷/۵۵	+۲/۹۴	-۱۲/۴۷

صرفه‌جویی در انرژی (%)

با افزایش ارتفاع، مشخصات هندسی بلوک‌ها در الگوها تغییر کرده و خرد اقلیم خاص به وجود می‌آید. سه شاخص:  $H/W$  (fix)، نسبت سطح به حکم و نسبت سطح پنجره به سطح کل، به‌عنوان متغیر مستقل هندسه بلوک‌ها و همچنین شاخص‌های سطح کل بلوک‌ها به زیربنای استقرار، ارتفاع به سطح زمین، ارتفاع به طول سطح اشغال و ارتفاع به عرض سطح اشغال به‌عنوان متغیر هندسه استقرار در مقیاس محله با میزان مصرف انرژی، مورد تحلیل آماری همبستگی و تحلیل واریانس قرار گرفت. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده می‌توان بیان داشت که؛ بین دو شاخص مؤثر هندسی؛ افزایش ارتفاع ( $H/W$  و نسبت سطح پنجره به سطح کل) با میزان مصرف انرژی نهایی در الگوهای (BL1)، پراکنده منظم (BRS1) و متمرکز (BCO1, BCO2U) رابطه همبستگی معکوس و در شاخص نسبت سطح به حجم رابطه مستقیم و با شدت بسیار زیاد وجود دارد. به عبارتی با افزایش دو شاخص اول میزان مصرف انرژی کاهش و با افزایش شاخص سوم میزان مصرف انرژی افزایش می‌یابد.

جدول ۱۰- ضریب همبستگی بین مشخصات هندسی الگوها، متأثر از افزایش ارتفاع و مقدار مصرف انرژی

ضریب همبستگی و رابطه و تفسیر در الگوها و تمام الگوها با همدیگر													
متغیر مستقل		متغیر وابسته انرژی (kWh/m <sup>2</sup> )		BL1	BCO1	BCO2U	BRS1	رابطه و شدت	BL3*3	BHYLP	رابطه و شدت	تمام الگوها	رابطه و شدت
سطح کل به حجم (S/V)		مصرف انرژی سالانه		+۰/۹۵	+۰/۹۹	+۰/۹۹	+۰/۹۳	مستقیم و بسیار زیاد	-۰/۴۷	-۰/۴۹	معکوس متوسط	+۰/۴۸	مستقیم و متوسط
پنجره به سطح کل (Sw/S)		مصرف انرژی سالانه		-۰/۹۹	-۰/۹۸	-۰/۹۶	-۰/۹۰	معکوس و بسیار زیاد	+۰/۵۲	+۰/۵۶	معکوس متوسط	-۰/۰۰۷	معکوس و بسیار ناچیز
ارتفاع (H/W)		مصرف انرژی سالانه		-۰/۸۹	-۰/۹۰	-۰/۸۴	-۰/۹۱	معکوس و بسیار زیاد	+۰/۵۰	+۰/۷۸	مستقیم و متوسط - زیاد	-۰/۱۹	معکوس و بسیار ناچیز
سطح خارجی به زیربنا		مصرف انرژی سالانه		+۰/۹۹	+۰/۹۹	+۰/۹۹	+۰/۹۳	مستقیم و بسیار زیاد	-۰/۴۷	-۰/۴۸	معکوس متوسط	+۰/۵۱	مستقیم و متوسط
ارتفاع به عرض استقرار		مصرف انرژی سالانه		-۰/۸۹	-۰/۹۰	-۰/۸۵	-۰/۹۰	معکوس و بسیار زیاد	+۰/۵۰	+۰/۷۸	مستقیم و متوسط - زیاد	-۰/۴۸	معکوس و متوسط
ارتفاع به طول استقرار		مصرف انرژی سالانه		-۰/۹۰	-۰/۹۰	-۰/۸۴	-۰/۹۱	معکوس و بسیار زیاد	+۰/۵۰	+۰/۷۸	مستقیم متوسط - زیاد	+۰/۱۴	مستقیم و بسیار ناچیز
ارتفاع به سطح زمین		مصرف انرژی سالانه		-۰/۹۰	-۰/۹۲	-۰/۸۴	-۰/۴۹	بسیار زیاد- کم معکوس و	+۰/۹۷	+۰/۸۰	بسیار زیاد مستقیم و	+۰/۰۵	مستقیم و متوسط

هندسه ارتفاع در بلوک‌ها

هندسه حاصل از استقرار کالبدی در مقیاس محله

هندسه ارتفاع در بلوک‌ها

هندسه حاصل از استقرار کالبدی در مقیاس محله

این رابطه در الگوی (BL3\*3) و ترکیبی (BHYLP) برعکس و در دو شاخص اول، مستقیم و با شدت زیاد و در شاخص سوم، معکوس و با شدت متوسط برقرار است (جدول ۱۰). با sig به دست آمده از تحلیل واریانس، وجود تفاوت معنی داری در میانگین مصرف انرژی مشخص گردید. آزمون جیمز هونل نشان داد که؛ الگوی خطی (BL1) میانگین متفاوتی در میزان مصرف انرژی نهایی با تمام الگوهای دیگر دارد ولی بین الگوهای دیگر تفاوت میانگین در بعضی از آن‌ها مشاهده گردید، به این صورت که الگوهای متمرکز با پراکنده و ترکیبی تفاوت میانگین دارد. طبق نمودار میانگین مصرف انرژی نهایی، افزایش ارتفاع در الگوی خطی (BL1) کمترین مصرف انرژی ( $M = 54/71 \text{ kWh/m}^2$ ) و الگوی متمرکز (BCO1) با مصرف انرژی ( $M = 65/46 \text{ Kwh/m}^2$ ) در رده بعدی قرار دارد. الگوی پراکنده بیشترین میانگین مصرف انرژی ( $M = 73/53 \text{ kWh/m}^2$ ) را دارا هست. جهت تعیین میزان درصد صرفه جویی انرژی با افزایش ارتفاع، از مدل مرجع ارتفاع ( $H/W = 0/53$ ) استفاده شده است. جدول ۱۱ میزان صرفه جویی انرژی نسبت به مدل مرجع را نشان می‌دهد. اعداد منفی نشان دهنده کاهش مصرف انرژی و اعداد مثبت افزایش مصرف انرژی است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد با افزایش ارتفاع تا ۱۰ طبقه برای الگوی (BL1)  $12/35\%$ ، (BCO1)  $9/41\%$ ، (BCO2U)  $6/63\%$  و (BRS1)  $4/96\%$  صرفه جویی انرژی نهایی سالانه در هر مترمربع زیربنا اتفاق می‌افتد. در الگوی ترکیبی (BHYLP)  $12/25\%$  و (BL3\*3)  $2/81\%$  افزایش مصرف انرژی رخ می‌دهد.

جدول ۱۱- میزان صرفه جویی انرژی و افزایش مصرف انرژی در الگوها با افزایش ارتفاع

	انرژی نهایی سالانه				انرژی گرمایشی سالانه				انرژی سرمایشی سالانه			
	H=10	H=8	H=6	H=4	H=10	H=8	H=6	H=4	H=10	H=8	H=6	H=4
BL1	-11/65	-10/39	-7/76	-5/94	-9/79	-9/54	-7/52	-9/41	-12/35	-10/76	-14/38	-16/08
BCO1	-9/41	-7/74	-5/94	-4/20	-9/79	-9/54	-7/52	-9/41	-9/41	-7/74	-5/94	-4/20
BL3*3	+3/62	+1/83	-1/39	-11/97	+12/51	+10/37	+2/28	+2/81	+2/81	+1/83	-1/39	-11/97
BCO2	-6/62	-6/11	-4/79	-9/64	-6/10	-6/28	-5/4	-6/62	-6/62	-6/11	-4/79	-9/64
BHYLP	+12/25	-0/33	-1/66	-14/60	+11/60	+5/87	+1/76	+12/25	+12/25	-0/33	-1/66	-14/60
BRS1	-4/96	-2/53	-3/01	-5/38	-2/62	-0/25	-1/99	-4/96	-4/96	-2/53	-3/01	-5/38

میزان صرفه جویی در مصرف انرژی (%)

## نتیجه گیری

با افزایش جمعیت شهری و در نتیجه، گسترش کالبدی شهرها، برنامه ریزی و طراحی شهری وارد مرحله جدیدی از توسعه پایدار شهرها شد؛ به طوری که اهمیت طراحی انرژی کارا در جهت توسعه پایدار شهرها بخصوص در مسکن شهری از جمله مجموعه‌های مسکونی ضروری به نظر می‌رسد. یکی از اصول اساسی ضوابط توسعه پایدار اقلیمی، بررسی چگونگی استقرار کالبدی مجموعه‌های مسکونی در جهت ارتقای عملکرد حرارتی آن‌ها در شهرهاست؛ لذا در این پژوهش تأثیر مؤلفه‌ها و شاخص‌های استقرار کالبدی بر عملکرد حرارتی مجتمع‌های مسکونی در اقلیم سرد و نیمه خشک همدان مورد بررسی قرار گرفت. شهری که دارای اقلیم سرد و نیازمند دریافت انرژی خورشیدی در بیشتر اوقات سال در آن مشهود است. بدین سان مؤلفه‌های مؤثر بر عملکرد حرارتی استقرار کالبدی با توجه به مبانی نظری و مطالعات پیشینه تحقیق مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این بخش مشخص نمود، استقرار کالبدی مجتمع‌های مسکونی، با توجه به شرایط طراحی جامع و کامل این گونه از مسکن شهری، در مقیاس میانی



است و دارای مؤلفه‌های مؤثر (جهت، توده - فضا (فرم سطح اشغال) و ارتفاع (نسبت ارتفاع و فاصله بین بلوک‌ها) است. هر یک از مؤلفه‌ها دارای شاخص‌های هندسی مختلفی است که در میزان مصرف انرژی بسیار مؤثر می‌باشند. از آنجاکه شرایط اقلیمی به‌شدت بر عملکرد حرارتی مجموعه‌های مسکونی تأثیرگذار است، تأثیر شرایط اقلیم منطقه، همراه با مؤلفه‌های استقرار کالبدی، در میزان مصرف انرژی مجموعه‌های مسکونی مورد تحلیل قرار گرفت. به عبارتی عامل اقلیمی خورشیدی یکی از معیارهای اصلی، جهت تعیین نوع شاخص‌های هندسی مؤلفه‌های استقرار کالبدی در مجموعه‌های مسکونی است. برای رسیدن به این موضوع در پژوهش حاضر سه پرسش اصلی مطرح گردید: در پرسش اول، گونه شناسی استقرار کالبدی بر اساس مطالعات مبانی نظری و مطالعات زمینه‌ای و مشاهده میدانی در شهر همدان انجام پذیرفت و در نهایت ۱۵ گونه شامل، چهار گونه‌ی اصلی؛ خطی، متمرکز، پراکنده و ترکیبی و زیرمجموعه‌های آن‌ها در سه بافت قدیمی، میانی و شهرک‌ها و کوی‌ها جهت مدل‌سازی و شبیه‌سازی انرژی انتخاب گردید. در راستای سؤال دوم، تأثیر مؤلفه‌های استقرار و شاخص‌های آن بر عملکرد حرارتی مورد بررسی قرار گرفت. با شبیه‌سازی انرژی انواع گونه‌ها، به بررسی عملکرد حرارتی با تغییر متغیر مستقل (مؤلفه‌های استقرار کالبدی) پرداخته شد و متغیر وابسته (میزان مصرف انرژی)، در هر مرحله مشخص گردید. تمام مدل‌های ۱۵ گانه در این پژوهش دارای شرایط کاملاً یکسان و ثابت؛ از جمله میزان سطح اشغال، مصالح، تعریف سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی، داده‌های اقلیمی و دیگر موارد است. در این مرحله مؤلفه‌های استقرار ذکر شده و شاخص‌های هندسی آن با توجه به داده‌های عددی شبیه‌سازی انرژی با استفاده از تحلیل‌های آماری مورد بررسی قرار گرفت و مشخص گردید برخلاف جهت توصیه‌شده اقلیمی مدل مرجع، جهت بهینه، شرقی-غربی است و نامناسب‌ترین جهت استقرار، شمالی-جنوبی تا ۱۲۰ درجه است. طبق جدول ۱۲ بیشترین تأثیر جهت بر میزان مصرف انرژی مربوط به الگوی خطی و کمترین تأثیر مربوط به الگوی متمرکز است. با توجه به وجود بیشترین فراوانی الگوی استقرار خطی در شهر همدان (۴۲٪) و همچنین نقش مؤثر جهت بر میزان مصرف انرژی در این الگو، تعیین جهت استقرار مناسب از اولویت‌های اصلی طراحی الگوهای خطی محسوب می‌گردد.

جدول ۱۲- میزان درصد صرفه‌جویی انرژی و افزایش انرژی در جهت بهینه و غیر بهینه در الگوهای چهارگانه نسبت به جهت استقرار مدل

مرجع - منبع: نگارندگان

الگوی خطی	الگوی متمرکز	الگوی پراکنده	الگوی ترکیبی
میزان کاهش مصرف انرژی در جهت بهینه (%)	-۷/۹۳	-۳/۲	-۸/۸۷
میزان افزایش مصرف انرژی در جهت غیر بهینه (%)	+۱۱/۰۶	+۰/۹۲	+۶/۲۸
اختلاف درصد انرژی	۱۸/۹۹	۳/۹۴	۷/۸۵

با توجه به بررسی شاخص جهت استقرار، در فراوانی مجموعه‌های مسکونی شهر همدان (جدول ۱۳)، می‌توان بیان داشت که مؤلفه جهت استقرار بهینه در حدود ۲۲٪ از مجموعه‌های مسکونی شهر همدان (E-W) در استقرار مطلوب و بهینه و در دیگر مجموعه‌های مسکونی شهر همدان جهت مناسب رعایت نشده و در وضعیت غیر بهینه قرار دارد. بیشترین استقرار در زاویه ۴۵ درجه و در حدود ۳۴٪ را شامل و در جهت نامطلوب است.

جدول ۱۳- میزان درصد صرفه‌جویی انرژی و افزایش انرژی در جهت بهینه و غیر بهینه در الگوهای مختلف استقرار (توده-فضا)

جهت استقرار جغرافیایی مجموعه‌های مسکونی شهر همدان											
زاویه نسبت به افق	۱۶۵	۱۵۰	۱۳۵	۱۲۰	۱۰۵	N-S	۷۵	۶۰	۴۵	۳۰	E-W
فراوانی مجموعه‌ها	۳	۱	۲	۰	۱	۲	۰	۲	۲۳	۱۱	۷
درصد فراوانی	۰/۴۵	۰/۱۵	۰/۰۳	۰	۰/۱۵	۰/۰۳	۰	۰/۰۳	۳۴٪	۱۶٪	۱۰٪
جهت بهینه	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	✓

با ارزیابی ضریب همبستگی شاخص‌های هندسی مؤثر از استقرار توده-فضا (فرم سطح اشغال) با میزان مصرف انرژی، مشخص گردید که هر چه مقدار شاخص‌ها خط محیط سطح اشغال، نسبت سطح به حجم و سطح پنجره به سطح کل کمتر باشد، مصرف انرژی کاهش یافته و در اولویت اول طراحی هستند. الگوهای خطی (BL1-BL2) در رتبه اول و الگوهای متمرکز (BCO1-BCO2U)، در رتبه دوم قرار گرفته و مشخص شد که الگوهای دارای سطوح بیشتر نسبت به حجم بلوک‌ها، الگوی مناسبی در مجموعه‌های مسکونی برای اقلیم سرد محسوب نمی‌گردد؛ بنابراین الگوهای به هم فشرده، با خط محیط سطح اشغال کمتر مناسب‌ترین الگوی توده و فضا در مجموعه‌های مسکونی است. در جدول ۱۴ میزان فراوانی الگوها آمده و در حدود ۴۲۶٪ از مجموعه‌های مسکونی شهر همدان دارای الگوی توده-فضا خطی (فرم سطح اشغال مطلوب) است.

جدول ۱۴- درصد فراوانی و اولویت‌بندی طراحی در الگوهای مختلف استقرار (توده-فضا)

الگوی استقرار توده - فضا	الگوی خطی	الگوی متمرکز تک‌حیاطی	الگوی پراکنده	الگوی ترکیبی
تعداد	۳۱	۲۴	۱۰	۲
درصد فراوانی	۴۲۶٪	۳۵۸٪	۱۴۹٪	۲۹٪
اولویت‌بندی طراحی بر اساس صرفه‌جویی انرژی	اول	دوم	نامناسب	نیازمند شبیه‌سازی

در نهایت نقش تراکم (ارتفاع و نسبت بهینه  $H/W$ ) در الگوهای منتخب، موردبررسی قرار گرفت. در بین الگوها طبق نمودارهای خروجی شبیه‌سازی انرژی، افزایش ارتفاع و شاخص‌های هندسی مؤثر آن، باعث کاهش مصرف انرژی سرمایشی می‌گردد. همان‌طور که در مطالعات پژوهشگران دیده شد که با افزایش  $H/W$ ، دمای هوا کاهش یافته و در نتیجه مصرف انرژی سرمایشی کاهش می‌یابد، بدین‌سان همبستگی معکوس بین ارتفاع و مصرف انرژی سرمایشی شکل می‌گیرد. به عبارتی با افزایش ارتفاع، دمای هوا کاهش یافته و مصرف انرژی کاهش می‌یابد. افزایش ارتفاع دارای نتایج متفاوتی در میزان مصرف انرژی گرمایشی و نهایی است. در تمام الگوها به‌جز الگوهای ترکیبی (BHYBPL) و خطی ( $BL3*3$ ) افزایش تراکم (ارتفاع) باعث کاهش مصرف انرژی نهایی می‌گردد. به عبارتی با افزایش نسبت  $H/W$  مقدار مصرف انرژی، کاهش یافته و یک نوع رابطه معکوس برقرار است. مطالعه متغیر ارتفاع در این پژوهش با توجه به وجود ارتفاع سه تا ده طبقه در شهر همدان، در این فاصله ارتفاعی بررسی شده است و جهت بررسی ارتفاع بیشتر بهتر است مطالعه دیگری انجام پذیرد. در نهایت در این مطالعه مشاهده گردید؛ شاخص‌های هندسی متفاوتی، در مؤلفه‌های استقرار مجموعه‌های مسکونی برقرار است که به شدت بر میزان مصرف انرژی تأثیر می‌گذارد؛ لذا لزوم توجه به آن‌ها در توسعه پایدار اقلیمی شهرها بسیار مؤثر هست.

**توصیه‌های کاربردی، جهت طراحان مجتمع‌های مسکونی:** مناسب‌ترین جهت استقرار با کمترین میزان مصرف انرژی شرقی-غربی و اولویت دوم، ۱۵ درجه‌ای است؛ لذا سعی شود، جهت استقرار جغرافیایی، بین این دو جهت باشد. در الگوهای خطی، جهت بهینه نقش بیشتری نسبت به دیگر الگوها دارد؛ لذا با توجه به فراوانی این الگو و همچنین کاهش چشمگیر میزان مصرف انرژی، جهت بهینه مشخص شده الزامی است.

- به‌هیچ‌عنوان جهت شمالی جنوبی تا ۱۲۰ درجه، انتخاب نگردد. - در انتخاب الگوی توده و فضا، اولویت اول، الگوهای خطی باشد، علاوه بر بحث صرفه‌جویی انرژی، چیدمان قرارگیری بلوک‌ها با اشکال ساده در کنار هم در این الگو مطرح است.

- الگوی حیاط مرکزی به‌صورت تک حیاطی با فضای باز اطراف خود، در رتبه دوم قرار دارد و به‌هیچ‌عنوان حیاط مرکزی چندگانه (۲ و ۴ و...) توصیه نمی‌گردد. استفاده از الگوهای پراکنده در انتخاب الگوی توده-فضا در اقلیم سرد مناسب نیست و نباید در طراحی برای اقلیم سرد استفاده گردد.

- مناسب‌ترین ارتفاع برای عمده الگوها ارتفاع ۸ الی ۱۰ طبقه است که در ارتفاع بیشتر همراه با کاهش شاخص‌های هندسی مؤثر، میزان مصرف انرژی کاهش می‌یابد، البته ارتفاع موردنظر باید در جهت بهینه استقرار، قرار گرفته باشد.

- با توجه به اینکه الگوی ترکیبی، به‌صورت یک مجموعه از الگوهای مختلف است و در این پژوهش یک نوع از آن، با توجه به وجود آن در شهر همدان، موردبررسی قرار گرفته، تصمیم‌گیری بهتر است از طریق، شبیه‌سازی انرژی در هنگام طراحی انجام پذیرد.

## پی‌نوشت‌ها

- |                |                           |
|----------------|---------------------------|
| 7- UCI         | 1- Climate Consultant 5.4 |
| 8- Karl Frisch | 2- Design builder         |
| 9- EPW         | 3- Energy plas            |
| 10- Sandia     | 4- Excel                  |
| 11- kWh/m2     | 5- Spss                   |
|                | 6- UHI                    |

## فهرست منابع

- احمدپور کلهرودی، ن.، پورجعفر، م.ر.، مهدوی‌نژاد، م.ج.، و یوسفیان، س. (۱۳۹۶). نقش و تأثیر عناصر طراحی در کیفیت آسایش حرارتی فضاهای باز شهری، بررسی موردی: طراحی پیاده راه طمق‌چاچی‌ها در کاشان. نامه معماری و شهرسازی، ۱۸، ۵۹-۷۹.
- ادیبی، ا.، ضرغامی، ا. (۱۳۹۵). ارزیابی عملکرد حرارتی بام سبز در پایداری و بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌های مسکونی در اقلیم گرم و خشک ایران. مجله معماری پایدار، ۴، ۷۵-۹۰.

- بحرینی، س. ح. (۱۳۷۷). فرایند طراحی شهری. چاپ اول، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- تابان، م.، پورجعفر، م. ر.، بمانیان، م.، و حیدری، ش. (۱۳۹۲). تعیین الگوی بهینه حیات مرکزی در مسکن سنتی دزفول با تکیه بر تحلیل سایه دریافتی سطوح مختلف حیات. فصلنامه علمی پژوهشی، مرکز پژوهشی هنر معماری و شهرسازی نظر، ۲۷، ۳۹-۴۸.
- ثناگر، ا.، رفیعیان، م.، حنایی، ت.، و منصفی پراپری، د. (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 پانچار. مجله علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۲، ۴، ۳۷۵-۳۸۷.
- جلالیان، س.، فرح، ح.، و ذاکر حقیقی، ک. (۱۳۹۶). واکاوی نقش حصار و دروازه در امنیت بخشی به مجتمع‌های مسکونی. نمونه موردی: مجتمع‌های مسکونی شهر همدان. مجله آرمان شهر، ۲۱، ۱۳۹-۱۴۸.
- چنگلویی، ی.، بهزادفر، م.، محمدی، م.، و سعیده زرابادی، ز. (۱۳۹۷). رویکردی عملیاتی در ارزیابی جریان‌های اصلی شکل پایدار شهر با تمرکز بر مدل شکل شهر بوم-کارا، مطالعه موردی: ریخت‌گونه‌های شهر اصفهان. مطالعات شهری، ۲۷، ۵۵-۶۴.
- خداکرمی، ج.، نوری، ش.، و منصوری، ر. (۱۳۹۹). تأثیر فرم هندسی ساختمان‌های بلند بر پراکنش ذرات معلق و آلودگی هوا در محیط پیرامون آن‌ها. مجله نقش جهان، ۱۰، ۳، ۱۹۴-۲۰۳.
- دشتی‌زاده، س.، گرکانی، ا. (۱۳۹۷). بررسی محدوده آسایش حرارتی خانه خشتی روستای لاسجرد استان سمنان. مجله مسکن و محیط روستا، ۱۶۳، ۴۷-۶۰.
- دلفانی، ش.، موسوی، س. ح.، نعمتی‌مهر، م.، و حافظی، م. ر. (۱۳۹۷). بررسی تغییرات الگوهای تراکم (حاصل از تغییرات سطح اشغال و ارتفاع ساختمان) بر جابه‌جایی هوای حوزه‌ی شهری. صفه، ۲۸، ۸۱، ۴۶-۳۳.
- زمانی، ز.، حیدری، ش.، و حناچی، پ. (۱۳۹۶). ایجاد حیات میانی در بلوک‌های شهری در راستای کاهش منابع انرژی، نمونه موردی: آپارتمان‌های مسکونی کوتاه مرتبه در تهران. هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، ۲۲، ۳، ۵-۱۴.
- زمریدیان، ز.، تحصیلدوست، م. (۱۳۹۴). اعتبار سنجی نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ساختمان: با رویکرد تجربی و مقایسه‌ی. مجله انرژی ایران، ۱۸، ۴، ۱۱۵-۱۳۲.
- سیدالعسگری، م.، پیمانراد، ا. ح.، و رجائی، ف. (۱۳۹۶). بررسی تأثیرات افزایش ارتفاع بر کیفیت هوای بلوک شهری، نمونه موردی: بلوک مسکونی شهری در مرکز شهر اصفهان. نشریه پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، ۸، ۲۹، ۱۷۹-۱۹۴.
- شجاع، س.، پورجعفر، م. ر.، و طیبیان، م. (۱۳۹۸). فرا تحلیل رابطه فرم شهر و انرژی: مروری بر رویکردها، روش‌ها، مقیاس‌ها و متغیرها. مجله دانش شهرسازی، ۳، ۱، ۸۵-۱۰۷.
- شقایق، م. (۱۳۹۲). مطالعه رفتار حرارتی مصالح رایج در دیوار، مطالعه موردی ساختمان‌های مسکونی شهر تهران. مجله هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی، ۱۸، ۱، ۶۹-۷۸.
- صنایعیان، ه.، و غرابی، س. ف. (۱۳۹۸). مروری بر پارامترهای فرمی بلوک‌های شهری تأثیرگذار بر مصرف انرژی و جذب انرژی خورشیدی. معماری و شهرسازی پایدار، ۲، ۷، ۲۳-۳۶.
- علیجانی، ب.، طولابی‌نژاد، م.، و صیادی، ف. (۱۳۹۶). محاسبه شدت جزیره حرارتی بر اساس هندسه شهری، مورد مطالعه: محله کوچه‌باغ شهر تبریز. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۴، ۳، ۹۹-۱۱۲.
- عینی‌فر، ع.، و آقا لطیفی، آ. (۱۳۹۰). مفهوم قلمرو در مجموعه‌های مسکونی مطالعه مقایسه‌ای دو مجموعه‌ی مسکونی در سطح و در ارتفاع در تهران. مجله هنرهای زیبا، معماری و شهرسازی، ۴۷، ۱۷-۲۸.
- غفاری، ع.، و نعمتی‌مهر، م. (۱۳۹۰). نقش طراحی شهری در آموزش مجموعه‌های مسکونی. مجله صفه، ۲۱، ۴، ۳۳-۴۴.
- فرخی، م.، کریمی مشاور، م.، و ایزدی، م. س. (۱۳۹۷). تحلیل کارایی انرژی در مدل‌های بافت شهری اقلیم گرم و خشک، نمونه موردی: شهر اصفهان. مجله مطالعات معماری ایران، ۱۳، ۱۲۷-۱۴۷.
- قدوسی، م.، دانشجو، خ.، مفیدی شمیرانی، س.، م. (۱۳۹۸). تبیین شاخص‌های هندسی بر رفتار حرارتی ساختمان‌های مسکونی در اقلیم گرم و خشک (موردی: یزد). نقش جهان، ۸، ۳، ۱۴۸-۱۴۳.
- کاویانی، م. ر.، علیجانی، ب. (۱۳۹۶). مبانی آب و هواشناسی. تهران: انتشارات سازمان سمت.

- کسمایی، م. (۱۳۸۴). اقلیم و معماری. انتشارات خاک، چاپ سوم.
- محمدی، م. ع.، شمس، م. (۱۳۹۶). تحلیلی بر نابرابری فضایی-کالبدی و تأثیر آن بر نارضایتندی ساکنان مطالعه‌ی موردی: سکونتگاه‌های غیررسمی شهر همدان (کوی ولیعصر). مجله نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، ۱۰، ۱، ۱۰۹-۱۲۴.
- مرادخانی، ا.، نیکقدم، ن.، و طاهباز، م. (۱۳۹۷). شاخص‌های مؤثر بر مصرف انرژی الگوهای مسکن در مقیاس محله با تأکید بر کارایی انرژی (نمونه موردی: شهر سنندج). فصلنامه علمی پژوهشی، نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، ۱۱، ۱، ۳۳۹-۳۵۸.
- مرتضایی، گ.، محمدی، م.، نصراللهی، ف.، قلعه‌نویی، م. (۱۳۹۶). چارچوب تحلیلی ریخت-گونه‌شناسی بافت‌های شهری از منظر کارایی انرژی: مطالعه موردی سپاهان شهر. فصلنامه پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، ۳، ۴، ۱۴۷-۱۷۷.
- مصلحی، ح.، عبداللهی ریزی، ر.، ذوالفقاری، ع.، و ابراهیمی، پ. (۱۳۹۸). طراحی و محاسبه بار تأسیسات مکانیکی در Design Builder. چاپ سوم، انتشارات نوآور.
- منتظری، م.، جهانشاهلو، ل.، و ماجدی، ح. (۱۳۹۷). تأثیر مؤلفه‌های فرم کالبدی شهری بر آسایش حرارتی فضاها با شهر، مطالعه‌ی موردی: اراضی پشت سیلو شهر یزد. مجله مطالعات محیطی هفت حصار، ۲۳، ۶، ۴۹-۶۶.
- مهندسین مشاور طرح و تدوین. (۱۳۸۵). طرح تفصیلی همدان. وزارت مسکن و شهرسازی استان همدان.
- میلر، د. ج. (۱۳۸۰). راهنمای سنجش در تحقیقات اجتماعی. ترجمه هوشنگ نایی، نشر نی.
- نصراللهی، ف. (۱۳۹۲). ساختمان‌های اداری انرژی کارا، بهره‌وری انرژی با طراحی معماری. انتشارات دانشگاه هنر، اصفهان.
- Abdallah, A. S. H. (2015). The Influence of Urban Geometry on Thermal Comfort and Energy Consumption in Residential Building of Hot Arid Climate, Assiut, Egypt. Procedia Engineering, 121, 158-166.
- 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.
- Algeciras, J., Tablada, A., Yeras, M., Paz, G., Matzarakis, A. (2018). Influence of aspect ratio and orientation on large courtyard thermal conditions in the historical center of Camagüey- Cuba. Renewable Energy. Vol. 125. P. 840-856.
- Andreou, E. (2014). The effect of urban layout, street geometry and orientation on shading conditions in urban canyons in the Mediterranean. Renewable Energy, 63, 587-596.
- Asfou. O. S., Alshawaf E. S. (2015). Effect of housing density on energy efficiency of buildings located in hot climates. Energy and Buildings, 91, 131-138.
- Biddulph, M., (2007). Introduction to Residential Layout. Amsterdam, First edition. 241.
- Blanco, Jesus. M., Aiert Buruagaa, Eduardo Roje Cuadrado, Belinda Pelaz. (2016). Energy assessment and optimization of perforated metal sheet double skin fac, ades through Design Builder; A case study in Spain, Energy and Buildings. 111, 326-336.
- Brandoni, C., Polonara, F. (2012). The role of municipal energy planning in the regional energy-planning process. Energy, 48, 1, 323-338.
- Chatzidimitriou, A., & Yannas, S. (2016). Microclimate design for open spaces: Ranking urban design effects on pedestrian thermal comfort in summer, 26, 27-47.
- Chen Y., & Hong T. (2018). Impacts of building geometry modeling methods on the simulation results of urban building energy model. Applied energy. 215: 717-735.
- Coccolo S, Kampf J, Mauree D, Scartezzini J-L. (2018). Cooling potential of greening in the urban environment, a step further towards practice. Sustain Cities, 38, 543-59.
- Cohen, B. (2006). Urbanization in developing countries: Current trends, future projections, and key challenges for sustainability. Technology in Society 28, 63-80.
- Da Silva, A. N. R., Costa, G. C. F., & Brondino, N. C. M. (2007). Urban sprawl and energy use for transportation in the largest Brazilian cities. Energy for Sustainable Development, 11, 3, 44-50.
- Dawodu, A., Cheshmehzangi, A. (2017). Impact of Floor Area Ratio (FAR) on Energy Consumption at Meso Scale in China: Case Study of Ningbo. Energy Procedia, 105, 3449-3455.
- Drouilles, J., Lufkin, S., Rey, E. (2017). Energy transition potential in peri-urban dwellings: Assessment of theoretical scenarios in the Swiss context. Energy and Buildings, 148, 379-390.
- Ewing, R., Rong, F. (2008). The impact of urban form on U.S. residential energy use. Housing Policy Debate, 19, 1, 1-30.
- Fletcher, J. A., Mills, G. (2013). The role of urban form as an energy management parameter. Energy Policy, 53, 218-228.

- Gros A, Bozonnet B Inard Musy M. (2015). Simulation tools to assess microclimate and building energy—A case study on the design of a new district. *EnergyandBuildings*. 1-11
- Guhathakurta, S., Williams, E. (2015). Impact of Urban Form on Energy Use in Central City and Suburban Neighborhoods: Lessons from the Phoenix Metropolitan Region. *Energy Procedia*, 75: 2928-2933.
- Hachem C. (2016). Impact of neighbourhood design on energy performance and GHG emissions. *Appl Energy*, 177, P:422-434.
- Hargreaves, A., Cheng, V., Deshmukh, S., Leach, M., Steemers, K. (2017). Forecasting how residential urban form affects the regional carbon savings and costs of retrofitting and decentralized energy supply. *Applied Energy*, 186: 549-561.
- Heinonen J, Seppo J. (2014). Residential energy consumption patterns and the overall housing energy requirements of urban and rural households in Finland. *Energy and Buildings*.; 76: 295-303.
- Hemsath, T. L. (2016). Housing orientation's effect on energy use in suburban developments. *Energy and Buildings*, 122: 98-106.
- 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*, Volume 154, p 448-464.
- Javanroodi, K., Mahdavenejad, M., Nik V. A. (2018). Impacts of urban morphology on reducing cooling load and increasing ventilation potential in hot-arid climate. *Applide Energy* (231):714-746.
- Karimi MS, Fazelpour F, Rosen MA, Shams M. (2019). Comparative study of solar-powered underfloor heating system performance in distinctive climates. *RenewEnergy*. 130:524-35.
- Kikegawa, y., Genchi, y., Kondo, h., Hananki, K. (2006). Impacts of city-block-scale countermeasures against urban heat-island phenomena upon a building's energy-consumption for air-conditioning. *Applied Energy*, Volume 83, 6, 649-668.
- Kim, J. S. (2015). The Effect of the Cheonggyecheon Restoration Project on the Mitigation of Urban Heat Island, *J. Korea Plan. Assoc*, 50, 139–154 .
- Kolokotroni, M., Giannitsaris, I., & Watkins, R. (2006). The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies. *Solar Energy*, 80, 4, 383-392.
- Lai, a, M., Maing, M., & Ng, E. ( 2017). Observational studies of mean radiant temperature across different outdoor spaces under shaded conditions in densely built environment, *Building and Environment*, 114: 397–409
- Larson, W., Yezer, A. (2015). The energy implications of city size and density. *Urban Economics*, 90, 35-49.
- Li, ZH., Zhang, HM., Wen, C.U., 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.
- Loughner, C., Allen, D., Zhang, D., Pickering, K., Dickerson, R., & Landry, L. (2012). Roles of urban tree canopy and buildings in urban heat island effects: Paramterization and preliminary results. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51. 1775-1793.
- Marique, A. F., & Reiter, S. (2014). A simplified framework to assess the feasibility of zero-energy at the neighbourhood/community scale. *Energy and Buildings*, 82, 114-122.
- Mohajeri, A., Gudmundsson, T., Kunckler, G. Upadhyay, D., Assouline, J.H., & Kämpfe, J.L. Scartezini. (2019). A solar-based sustainable urban design: The effects of city-scale street-canyon geometry on solar access in Geneva, Switzerland. *Applied Energy*, 240, 173-190.
- Okeil, A. (2010). A holistic approach to energy efficient building forms. *Energy and Buildings*, 42 :1437–1444.
- Osorio, B., McCullen, N., Walker, I and Coley, D. (2017). Integrating the energy costs of urban transport and buildings. *Sustainable Cities and Society*, 32, 669-681.
- Poponi, D., Bryant, T., Burnard, K., Cazzola, P., Dulac, J., & Pales, AF. (2016). Energy technology perspectives: towards sustainable urban energy systems (executive summary). Paris, France: International Energy Agency; 201
- Quan, S. J., Wu, J., Wang, Y., Shi, Z., Yang, T., & Yang, P. P.-J. (2016). Urban Form and Building Energy Performance in Shanghai Neighborhoods. *Energy Procedia*, 88, 126-132.
- Ran, J., & Tang, M. (2018). Passive cooling of the green roofs combined with night-time ventilation and walls insulation in hot and humid regions. *Sustain Cities Soc*, 38, 466- 75.
- Resch, E., Bohne, R A., Trond Kvamsdal, T., & Lohne J. (2016). Impact of urban density and building height on energy use in cities. *Energy Procedia*, 96, 800 – 814
- Robinson, C., Dilkina, B., Hubbs, J., Zhang, W., Guhathakurta, S., Brown, M. A., & Pendyala, R. M. (2017). Machine learning approaches for estimating commercial building energy consumption. *Applied Energy*, 208, 889-904.



- Robinson, D., Campbell, N., Gaiser, W., Kabel, K., Le-Mouel, A., Morel, N., Stone, A. (2007). SUNtool – A new modelling paradigm for simulating and optimising urban sustainability. *Solar Energy*, 81, 9, 1196-1211.
- Rodriguez Algecras, J., Lourdes, G., Consuegra, C., & Matzaraki, A. (2016). Spatial-temporal study on the effects of urban street configurations on human thermal comfort in the world heritage city of Camagüey-Cuba. *Building and Environment*, 101, 85-101.
- Rubeis, T., Nardi, I., Ambrosini D., & Paoletti, D. (2018). Is a selfsufficient building energy efficient? Lesson learned from a case study in Mediterranean climate. *Apply Energy*, 218, 131-45.
- Rylatt, R.M., Gadsden, S.J., & Lomas, K.J. (2003). Methods of predicting urban domestic energy demand with reduced datasets: a review and a new GIS-based approach. *Building Services Engineering Research and Technology*, 24, 93-102.
- Samuelson, H., Claussnitzer, S., Goyal, A., Chen, Y., & Romo-Castillo, A. (2016). Parametric energy simulation in early design: High-rise residential buildings in urban contexts. *Building and Environment*, 101, 19–31.
- Sarrat, C., Lemonsu, A., Masson, V., & Guedalia, D. (2006). Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution. *Atmos Environment*. 40, 10, 1743–58.
- Savvides, A, Vassiliades, C, Michael, A., & Kalogirou, S. (2019) .Siting and building-massing considerations for the urban integration of active solar energy systems, *Renewable Energy*, Volume 135, Pages 963-974.
- Shia, Zh., Hsieha, Sh., Fonseca, J.Aj.a., & Schluetera, A. (2020). Street grids for efficient district cooling systems in high-density cities, *Sustainable Cities and Society*, 1-14, 102224.
- Shishegar, Nstaran. (2013). Street Design and Urban Microclimate: Analyzing the Effects of Street Geometry and Orientation on Airflow and Solar Access in Urban Canyons, *Journal of Clean Energy Technologies*, 1, 1, 52-56
- Sosa, M. B., Correa, E. N., & Cantón, M. A. (2018). Neighborhood designs for low-density social housing energy efficiency: Case study of an arid city in Argentina. *Energy and Buildings*, 168, 137-146.
- Steadman, P., Hamilton, I., & Evans, S. (2014). Energy and urban built form: an empirical and statistical approach. *Building Research & Information*, 42, 1, 17-31.
- Steemers, K. (2003). Energy and the city: density, buildings and transport. *Energy and Buildings*, 35, 3-14.
- Stephan, A., Crawford, R. H., & de Myttenaere, K. (2013). Multi-scale life cycle energy analysis of a low-density suburban neighbourhood in Melbourne, Australia. *Building and Environment*, Volume, 68, p 35-49.
- Strømman-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.
- Taleghani, M., Tenpierik, M., Dobbiesteen, A D., & Dear R. (2013). Energy use impact of and thermal comfort in different urban block types in the Netherlands. *Energy and Buildings*, 67, 166–175.
- Targhi, M., & Van Dessel, S. (2015). Potential Contribution of Urban Developments to Outdoor Thermal Comfort Conditions: The Influence of Urban Geometry and Form in Worcester, Massachusetts, USA. *Procedia Engineering*, 118, 1153-1161.
- Tseng, E. (2015). Computational Framework for parametric modeling and architecture-energy assessment of building floor plans. Master of Science University of Maryland.
- Tsigirigoti, D., Tsikaloudaki, K. (2018). The Effect of Climate Conditions on the Relation between Energy Efficiency and Urban Form, *Energies*, 11, 3, 1-29.
- United Nations. (2011). World urbanization prospects the 2011 revision. New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs/Population Division. Retrieved from .
- Van Wee, B. (2002). Land use and transport: research and policy challenges. *Journal of transport*.
- Vartholomaios, A. (2017). A parametric sensitivity analysis of the influence of urban form on domestic energy consumption for heating and cooling in aMediterranean city, *Sustainable Cities and Society*, 28, 135-145.
- Wiedenhofer, D., Lenzen, M., & Steinberger, J. K. (2013). Energy requirements of consumption: Urban form, climatic and socio-economic factors, rebounds and their policy implications. *Energy Policy*, 63, 696-707.
- Wu Y, Krishnan P, Yu LE, & Zhang, M. (2017). Using lightweight cement composite and photocatalytic coating to reduce cooling energy consumption of buildings. *Constr Build Mater*, 145, 555–64
- Yan, S.X., Fan, C.X., Guo, F., Wu, N., Zhang, L., Dong, H., Yan, S., Fan, C.(2014). Assessing the effects of landscape design parameters on intra-urban air temperature variability: the case of Beijing, China, *Build. Environ*. Volume, 76, p 44–53.
- Zhang, Ji., Le, Xu., Shabunko, V., Stephen En Rong Tay, Huixuan Sun, Stephen Siu Yu Lau, Thomas Reindl. (2019). Impact of urban block typology on building solar potential and energy use efficiency in tropical high-density city. *Journal of Applide Energy*, 240, 513–53.

## Evaluation and analyzing physical location components influencing on the thermal performance of residential complexes (Case study: Hamedan)

*Hojjat Ghiasvand, Ph.D. student of Architecture, Department of Architecture, Faculty Architecture and urban planning, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran.*

*Mohamad Javad Saghafi, Professor of Architecture, Faculty of Art and Architecture, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.*

*Hossein Medi, Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Planning, imam khomeini International University, Qazvin, Iran.*

### Extended abstract

**Introduction:** Increase in urban population and development of cities has led urban planning and designing into a new stage of sustainable development so that the importance of effective energy design to develop cities sustainably, especially in urban housing, seems vital. One of the main principles of sustainable climate development is to examine how residential buildings are suited to enhance their thermal performance in cities. Therefore, this study aims to examine the components and geometrical indices of physical location influencing thermal performance in the design stage in the Cold semi-arid climate of Hamedan. The factors influencing the thermal performance of physical location regarding theoretical foundations and the literature were investigated. The physical location of residential complexes has different influencing factors for saving energy, such as the direction of the buildings, the form of mass-space at the site, and the height (density) with various geometrical characteristics.

**Methodology:** The research method combines qualitative (descriptive, analytical, and field observation) and quantitative (energy simulation data) methods. Data analysis was conducted using statistical methods, correlation test, ANOVA, T-test, and comparison with the reference model. The independent variable is physical location components (direction, mass-space, and height), and the dependent variable is annual energy consumption.

**Results:** 15 residential buildings were coded and simulated by identifying four main groups and their subgroups in Hamedan. The findings revealed that physical location components influence energy consumption intensely. Choosing the proper direction can save a significant amount of energy in most patterns, mostly linear patterns. Correlation analysis among geometrical indices influenced by mass-space and energy consumption indicates a direct and intense relationship. The fewer amounts of indices, including the window-to-gross area, the ratio of area-to-mass, the, and occupation level line are, the more energy is saved. Then they are regarded as the main priority of designing. Increase in height and its influencing geometrical indices leads to a decrease in cooling energy consumption and has different results in the consumption of heating energy and the total energy.

**Conclusion:** The most optimal physical location is west-east orientation, and the least suitable one is north-south to 120 degrees. Dense patterns with fewer occupation level lines are the most suitable mass-space pattern in residential complexes. By comparing the patterns with the reference model, linear patterns with an average of 13.05% energy saving are optimal. Sparse patterns are the most inefficient, with an average of 5.86% saving, and dense and combined patterns have moderate energy saving. Patterns with the most area to the volume of blocks are not considered suitable in a cold climate for residential complexes. Correlation analysis between height (increase in surface-area-to-volume ratio and H/W) and energy consumption shows that among the six patterns being investigated, there is an increase in consumption in 2 patterns, and in the other six patterns, there is a noticeable decrease in energy consumption.

**Keywords:** residential complexes, location components, energy, Hamedan

Corresponding Author's. Email: msaghafi@ut.ac.ir