

بررسی هندسه‌ی متعارف بلوک‌های شهری در میزان تقاضای انرژی گرمایشی و سرمایشی ساختمان‌های مسکونی در اقلیم سرد ایران؛ مطالعه موردی: شهر همدان

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۲/۲۸

کد مقاله: ۲۸۲۵۵

یاسر خوشبخت^۱، حسین مدی^۲، مریم آزموده^۳

چکیده

مصرف بالای انرژی در بخش ساختمان موجب آن شده است تا عوامل موثر بر این امر مورد مطالعه پژوهش‌های متعددی قرار گیرد. هندسه ساختمان یکی از مهمترین عوامل موثر در میزان مصرف انرژی در این بخش بسیار مهم است. هدف از این پژوهش بررسی میزان تقاضای انرژی گرمایشی و سرمایشی هندسه‌های متعارف بلوک‌های شهری در اقلیم سرد شهر همدان و چگونگی تاثیرگذاری فرم بر مصرف انرژی در این اقلیم است. روش تحقیق در این پژوهش بر پایه تحلیل و مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی رایانه‌ای است. در این پژوهش از نرم افزار دیزاین بیلدر (Design Builder) جهت شبیه‌سازی ساختمان‌های مذکور استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد هرچه میزان سطح به حجم در فرم ساختمان بیشتر باشد میزان تقاضای انرژی در بخش گرمایشی و سرمایشی ساختمان بیشتر می‌گردد. همچنین نحوه جهت گیری ساختمان به شدت بر میزان دریافت تابش‌های خورشید موثر بوده و در نتیجه جهت گیری شرقی-غربی علاوه بر دریافت تابش بهتر در زمستان و کاهش بار گرمایشی، در فصل تابستان نیز تابش‌های کمتری از سمت شرق و غرب دریافت نموده و موجب کاهش بار سرمایشی می‌گردد. از سوی دیگر به دلیل وزش باد غالب از سمت غرب در فرم‌هایی با کشیدگی شرقی-غربی تهویه بهتری صورت می‌گیرد که در نتیجه موجب کاهش بار سرمایشی در ساختمان می‌گردد.

واژگان کلیدی: هندسه بلوک‌های شهری، فرم ساختمان، مصرف انرژی، اقلیم سرد

۱- کارشناسی ارشد معماری و انرژی. دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره). قزوین. ایران (مسئول مکاتبات)
(yaserkhoshbakht.397@gmail.com)

۲- استادیار، عضو هیئت علمی گروه معماری دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره). قزوین. ایران

۳- استادیار، عضو هیئت علمی گروه معماری دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره). قزوین. ایران

با افزایش نگرانی‌های زیست محیطی و تلاش برای کاهش سوخت‌های فسیلی، توجه جدی‌تر به تأثیر شکل‌شناسی شهری و هندسه ساختمان بر مصرف انرژی در محیط ساخته شده است (Blowers, 2013: 55; Fathy, 1986: 23; Givoni, 1969: 9; V. J. E. Gupta & form, 1987: 124; V. K. Gupta, 1984: 436; Martin, 2000: 311; Oke, 2002: 266; Steemers et al., 1997: 26; Van den Dobbelsteen, Thijssen, Colaleo, & Metz, 2007: 190; van Esch, Looman, & de Bruin-Hordijk, 2012: 179). شکل و هندسه ساختمان عامل مهمی است که می‌تواند بر افزایش و کاهش انرژی مورد نیاز برای گرم کردن و یا خنک کردن فضای اشغالی تأثیر بگذارد. شکل یک ساختمان علاوه بر هزینه‌های ساخت و ساز تأثیر مهمتری بر مصرف انرژی و به طور ضمنی بر هزینه‌ها ناشی از آن دارد (Catalina, 2011: 1726; Virgone, & Iordache). حدود نیمی (۵۰ درصد) از تفاوت مصرف انرژی جهت گرمایش در دو ساختمان مشابه به لحاظ سیستم‌های تأمین انرژی، به دلیل تفاوت در فرم معماری آن‌ها می‌باشد. از عوامل مرتبط با هندسه ساختمان نسبت سطح به حجم و جهت‌گیری مستقیماً بر میزان مصرف انرژی تأثیرگذار هستند (Kazanasmaz, Uygun, Akkurt, 2014: 40; Turhan, & Ekmen). دسترسی به تابش خورشید که به طور مستقیم از هندسه ساختمان تأثیر می‌پذیرد، می‌تواند موجب بهبود عملکرد حرارتی ساختمان شود. به طوری که با اقدامات متناسب طراحی و انتخاب هندسه مناسب می‌توان بخش زیادی از نیاز گرمایش و روشنایی ساختمان را از تابش خورشید تأمین نمود و نیاز به سوخت‌های فسیلی را کاهش داد. کنترل و تنظیم میزان تابش ورودی خورشید به فضای داخلی و حفظ و ذخیره آن تعیین می‌کند که تابش خورشید تا چه میزان می‌تواند بر کاهش تقاضای انرژی ساختمان تأثیرگذار باشد (Crosbie & Associates, 1998: 70; Goulding, Lewis, Steemers, Commission of the European Communities. Directorate-General for Science, & Development, 1992: 9; Hestnes, Hastings, Saxhof, & Agency, 2003: 4). در مطالعه‌ای استیمر و همکاران از میان طرح‌بندی‌های مختلف موجود، شش هندسه متعارف شهری را برای شهر لندن پیشنهاد کردند و میزان دریافت تابش خورشیدی، ظرفیت‌های ساخت میزان بهره‌گیری از روشنایی روز را بررسی نمودند. آنها به این نتیجه رسیدند که هندسه حیاط مرکزی از میان تمامی شکل‌ها بهترین عملکرد را دارد (Steemers et al., 1997). راتی و همکاران تحلیل‌های مشابهی را برای آب و هوای گرم مراکش انجام داد (Ratti, Raydan, & Steemers, 2003). اوکیل ساختاری به نام بلوک خورشیدی مسکونی (RSB) ایجاد کرد که در مطالعه‌ای دیگر با یک هندسه خطی و یک هندسه حیاط مرکزی مقایسه شد. بلوک خورشیدی مسکونی (RSB) منجر به ایجاد یک طرح محله‌ای با کارایی بالای انرژی و کاهش جزایر شهری از طریق افزایش جریان هوا بین ساختمان‌ها، ارتقاء عملکرد بام-های سبز و کاهش انرژی حمل و نقل برای آب و هوای گرم و مرطوب در عرض جغرافیایی 25° N شد (Okeil, 2004, 2010). یانگ و لی چهار عامل مختلف که بر محیط حرارتی بلوک شهری تأثیر می‌گذارند را در آب و هوای پکن مورد مطالعه قرار داد: هندسه (ارتفاع) بلوک، جرم حرارتی، هدایت حرارتی مصالح و بازتابش سطوح. آنها دریافتند که از میان این عوامل هندسه (ارتفاع) بلوک‌ها مهمترین عامل و میزان بازتابش سطوح کم اهمیت‌ترین است (Yang, Li, & Yang, 2012). طالقانی و همکاران در مطالعه‌ای به بررسی میزان آسایش حرارتی داخلی و مصرف انرژی در خانه منفرد بدون حیاط، خانه حیاط مرکزی، خانه با آتریوم و خانه‌ای دیگر با فضای آفتابگیر در روتردام پرداختند. نتایج نشان داد که یک خانه منفرد بدون حیاط در آب و هوای روتردام به دلیل کاهش سطوح خارجی از نظر مصرف انرژی دارای کارایی بالاتری نسبت به سایر موارد است. با این حال نتایج نشان داد که خانه با آتریوم و خانه با فضای آفتابگیر دارای بالاترین ساعات آسایش حرارتی در آب و هوای معتدل هلند هستند (Taleghani, Tenpierik, & Van den Dobbelsteen, 2012). طالقانی در مطالعه‌ای دیگر به بررسی میزان تقاضای سالانه انرژی گرمایش و روشنایی و آسایش حرارتی در تابستان در سه هندسه بلوک‌های شهری منفرد، خطی و حیاط مرکزی در هلند پرداخت. نتایج نشان داد بیشترین بار گرمایش به دلیل نسبت سطح به حجم بیشتر و اتلاف حرارتی بالاتر و کمترین بار روشنایی به دلیل دریافت نور از هر چهار طرف مربوط به ساختمان منفرد است. بار روشنایی در هندسه خطی و هندسه حیاط مرکزی مقداری نزدیک به یکدیگر دارد. هندسه حیاط مرکزی دارای بیشترین ساعات آسایش حرارتی است و کمترین میزان تقاضای انرژی گرمایشی را دارا است زیرا در آب و هوای معتدل هلند اتلاف حرارتی کمتری دارد (Taleghani, Tenpierik, van den Dobbelsteen, & de Dear, 2013). تا به حال مطالعات زیادی در مورد تأثیر هندسه ساختمان در افزایش تقاضای انرژی صورت گرفته اما در هیچ یک از مطالعات هندسه بهینه‌ای که در اقلیم سرد میزان تقاضای انرژی کمتری را در تمام طول سال داشته باشد مورد مطالعه قرار نگرفته است. بنابراین مطالعه در زمینه تدوین شیوه‌های طراحی کارآمد برای یافتن هندسه بهینه بلوک‌های شهری در اقلیم سرد که موجب کاهش تقاضای انرژی شود بیش از پیش ضروری می‌نماید. چنین مطالعاتی بر نقش مهم معماران و طراحان شهری در تأثیرگذاری بر میزان تقاضای انرژی بلوک‌های ساختمانی از همان مراحل اولیه طراحی را مورد تأکید قرار می‌دهد. تلفیق ملاحظات اقلیمی در برنامه‌ریزی و طراحی شهری می‌تواند به توسعه پایدار شهری کمک کند و از اثرات سوء ناشی از مصرف بی‌رویه انرژی در شهرها بکاهد.

این مقاله با هدف بررسی تأثیر عملکرد هندسه بر میزان تقاضای انرژی گرمایشی و سرمایشی در طول سال از طریق تغییر نسبت ابعاد (H / W)، ضریب دید آسمان (SVF)، جهت‌گیری بلوک‌های شهری، چیدمان شهری و نسبت سطح به حجم، در اقلیم سرد و کوهستانی شهر همدان می‌پردازد. بدین منظور با یافتن هندسه‌های متعارف بلوک‌های شهری در شهر همدان به بررسی و مقایسه عملکرد هر یک در ایجاد شرایط حرارتی بهتر و تقاضای انرژی کمتر می‌پردازیم.

پرسش‌های مطرح شده در این پژوهش عبارتند از:

- کدام یک از ویژگی‌های هندسه بلوک‌های شهری در اقلیم سرد همدان می‌تواند بر میزان تقاضای انرژی در ساختمان تأثیر بیشتری داشته باشد؟
- ویژگی‌های هندسه بلوک‌های شهری چگونه بر میزان تقاضای انرژی در ساختمان تأثیر می‌گذارد؟
- کدام یک از اشکال متعارف بلوک‌های شهری، تقاضای سالانه انرژی کمتری دارد؟

به نظر می‌رسد هندسه‌ای که در فصل سرد زمستان بیشترین دریافت تابش خورشید و کمترین نفوذ بادهای سرد زمستانی را ایجاد نماید و در فصل تابستان نیز از سایه اندازی و تهویه پذیری با جریان باد بهره‌گیر می‌تواند کمترین میزان تقاضای انرژی را داشته باشد.

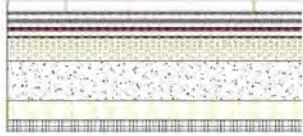

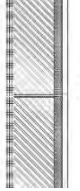

۲- روش تحقیق

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیر هندسه‌های متعارف بلوک‌های شهری بر میزان تقاضای انرژی در هر یک از آنها جهت یافتن هندسه بهینه در اقلیم سرد و کوهستانی همدان صورت گرفته است. جهت این امر هندسه‌های متعارف بلوک‌های شهری در شهر همدان مطابق با تصویر ۱ انتخاب شد تا مورد بررسی قرار گیرند. روش تحقیق در این پژوهش برپایه مقایسه و تحلیل نتایج حاصل از شبیه‌سازی رایانه‌ای یازده هندسه متعارف بلوک‌های شهری در شهر همدان است که با بهره‌گیری از ابزار شبیه‌سازی جهت بدست آوردن میزان تقاضای انرژی و با استفاده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر (Design Builder) صورت گرفته است. جزئیات و مصالح متعارف ساختمان‌ها و بلوک‌های شهری در شهر همدان مطابق با جدول ۱ برای تمامی اشکال به صورت یکسان در نرم افزار در نظر گرفته شده است.



تصویر ۱: هندسه‌های متعارف بلوک‌های شهری در شهر همدان

جدول شماره ۱: مشخصات جزئیات و مصالح متعارف در شهر همدان

نام	ساختار و جزئیات	لایه‌های تشکیل دهنده	ضخامت لایه‌ها (m)	ضریب هدایت حرارتی (W/m.k)	چگالی (Kg/m ³)	گرمای ویژه (Kj/kg.k)
بام		موزائیک	۰,۰۳	۱,۷۵	۲۰۰۰	۸۴۰
		ملات ماسه سیمان	۰,۰۴	۱,۷۵	۹۰۰	۹۰۰
		ایزوگام	۰,۰۰۴	۰,۱۸۶	۱۱۰۰	۸۵۰
		ملات ماسه سیمان	۰,۰۲	۱,۷۵	۹۰۰	۹۰۰
		پوکه	۰,۰۸	۰,۰۶	۱۶۰	۲۵۰۰
		بتن	۰,۱۰	۱,۷۵	۲۴۰۰	۹۰۰
		پلستوفوم	۰,۰۵	۰,۰۲۹	۵۰	۱۲۱۰
گچ و خاک	۰,۰۳	۰,۴۳	۱۲۰۰	۱۰۸۰		
سقف بین طبقات		سرامیک	۰,۰۱	۰,۸۴	۸۰۰	۱۹۰۰
		ملات ماسه سیمان	۰,۰۴	۱,۷۵	۹۰۰	۹۰۰
		بتن	۰,۱۰	۱,۷۵	۲۴۰۰	۹۰۰
		پلستوفوم	۰,۰۵	۰,۰۲۹	۵۰	۱۲۱۰
گچ و خاک	۰,۰۳	۰,۴۳	۱۲۰۰	۱۰۸۰		
دیوار خارجی		سنگ تراورتن	۰,۰۲	۲,۳	۲۵۰۰	۱۰۰۰
		ملات ماسه سیمان	۰,۰۳	۱,۷۵	۲۰۵۰	۹۰۰
		بلوک سفالی	۰,۱۵	۱,۰۱	۷۰۰	۱۰۰۰
		گچ و خاک	۰,۰۳	۰,۴۳	۱۲۰۰	۱۰۸۰
دیوار داخلی		گچ و خاک	۰,۰۳	۰,۴۳	۱۲۰۰	۱۰۸۰
		بلوک سفالی	۰,۱	۱,۰۱	۷۰۰	۱۰۰۰
		گچ و خاک	۰,۰۳	۰,۴۳	۱۲۰۰	۱۰۸۰

مطابق با جدول ۲، یازده هندسه متعارف بلوک‌های شهری منطبق با نمونه‌های موجود در شهر همدان با در نظر گرفتن مکعب‌هایی با طول، عرض و ارتفاع ۱۰ متر (سه طبقه) به صورت اشکال ساده شده بلوک‌های شهری شکل گرفته‌اند که در هریک از اشکال نحوه چیدمان و جهت‌گیری (Orientation)، نسبت سطح به حجم (S/V)، نسبت ارتفاع به عرض معبر (H/W) و در نتیجه میزان ضریب دید به آسمان (SVF)، کاملاً متفاوت است. بلوک شماره ۱ با هندسه‌ای به صورت حیاط مرکزی است که از بارزترین مشخصه‌های آن میزان سطح به حجم بسیار کم است. بلوک‌های شماره ۲ و ۳ با چیدمانی منفرد که با جهت‌گیری متفاوت از هم قرار دارند و دارای بیشترین نسبت سطح به حجم نسبت به سایر بلوک‌ها هستند. بلوک‌های شماره ۴ و ۵ با هندسه-ای خطی یکی از متداول‌ترین هندسه‌های شهری را تشکیل می‌دهند. بلوک‌های ۶ و ۷ که به صورت فرم‌هایی U شکل و متقارن نسبت به یکدیگر قرار گرفته‌اند و بلوک‌های ۸ و ۹ با فرم L شکل خود دارای بیشترین میزان عامل دیدی به آسمان هستند. در نهایت بلوک‌های ۱۰ و ۱۱ که به صورت فرم‌هایی U شکل و نامتقارن قرار دارند.

جدول شماره ۲: مشخصات هندسه بلوک‌های شهری مورد بررسی

شماره بلوک	چیدمان و ابعاد هندسه بلوک‌ها	ضریب دید به آسمان (SVF)	نسبت ارتفاع به عرض (H/W)	جهت گیری (Orientation)	نسبت سطح به حجم (S/V)
۱		۰/۵۸۲	۰,۵	-	۰,۳
۲		۰/۶۰۵	۱	شرقی-غربی	۱
۳		۰/۶۰۵	۱	شمالی-جنوبی	۱
۴		۰/۴۰۴	۱	شرقی-غربی	۰,۳۴
۵		۰/۴۰۴	۱	شمالی-جنوبی	۰,۳۴
۶		۰/۸۰۸	۰,۵	شرقی-غربی	۰,۳۳
۷		۰/۸۰۸	۰,۵	شمالی-جنوبی	۰,۳۳
۸		۰/۸۰۸	۰,۵	شرقی-غربی	۰,۳۳
۹		۰/۸۰۸	۰,۵	شمالی-جنوبی	۰,۳۳

شماره بلوک	چیدمان و ابعاد هندسه بلوکها	ضریب دید به آسمان (SVF)	نسبت ارتفاع به عرض (H/W)	جهت گیری (Orientation)	نسبت سطح به حجم (S/V)
۱۰		۰,۵۲۵	۱	شرقی-غربی	۰,۳۲۸
۱۱		۰,۵۰۵	۱	شمالی-جنوبی	۰,۳۲۸

۲-۱- اطلاعات آب و هوایی

شهر همدان ($35^{\circ}20' N$ و $48^{\circ}51' E$) واقع در نیمه غربی فلات ایران و دارای آب و هوای سرد و کوهستانی است. زمستان‌های سرد و یخبندان‌های طولانی به همراه بارش برف و وزش بادهای سرد و شدید و تابستان‌های نسبتاً خنک از ویژگی‌های اقلیمی این شهر است. فایل اطلاعات آب و هوایی (EPW) شهر همدان که نمایش دهنده میانگین ده ساله آمار اطلاعات اقلیمی ایستگاه هواشناسی فرودگاه همدان است استخراج گردید و به عنوان اطلاعات آب و هوایی اولیه در نرم‌افزار دیزاین بیلدر وارد شده است.

۲-۲- شبیه‌سازی میزان تقاضای انرژی با بهره‌گیری از نرم‌افزار دیزاین بیلدر (DesignBuilder)

۲-۲-۱- نرم‌افزار دیزاین بیلدر (Design Builder)

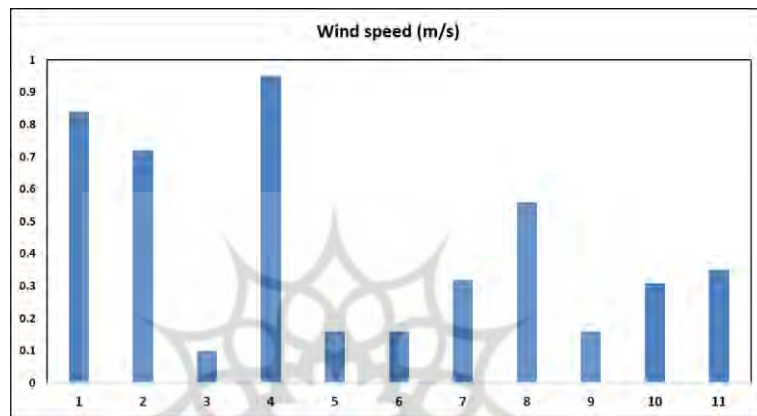
برای شبیه‌سازی میزان تقاضای انرژی در هر یک از هندسه‌های یاد شده از نرم‌افزار دیزاین بیلدر استفاده شده است. نرم‌افزار دیزاین بیلدر Design Builder قادر به شبیه‌سازی معماری ساختمان، سیستم‌های سرمایشی و گرمایشی، سیستم روشنایی و جریان‌های هوایی در درون و بیرون ساختمان است. لذا این نرم‌افزار قابلیت مدلسازی همه جانبه ی ساختمان را دارد. این نرم‌افزار بار گرمایشی و سرمایشی بنا و مصارف مختلف انرژی را بصورت دینامیک شبیه‌سازی می‌کند (DesignBuilder, 2020). موتور شبیه‌سازی این نرم‌افزار انرژی پلاس EnergyPlus بوده که توسط بخش انرژی آمریکا در سال ۲۰۱۱ توسعه یافته و به عنوان یکی از معتبرترین نرم‌افزارهای شناخته شده است (EnergyPlus, 2016). این نرم‌افزار همچنین قابلیت دریافت فایل‌های آب و هوایی خاص هر منطقه را دارد که تمامی خروجی نرم‌افزار بر پایه همان اطلاعات اقلیمی آن منطقه می‌باشد.

۲-۲-۲- تنظیمات و اطلاعات در نرم‌افزار دیزاین بیلدر

جهت مقایسه صحیح میزان تقاضای انرژی در هندسه‌های یاد شده تمامی شرایط و تنظیمات در نرم‌افزار دیزاین بیلدر مطابق با جدول ۳ برای تمامی شکل‌ها به صورت کاملاً یکسان در نظر گرفته شده است، تا تنها عامل تاثیرگذار بر میزان تقاضای انرژی، عوامل و متغیرهای هندسی باشند. جزئیات و مصالح متعارف شهر همدان مطابق با جدول ۱ برای تمامی اشکال به صورت یکسان در نرم‌افزار وارد شده است. میزان حضور افراد در منزل پنجاه درصد حضور از ساعت ۸ تا ۱۲ و صد درصد حضور در ساعات دیگر از شبانه روز در روزهای غیر تعطیل هفته و صد درصد حضور در روزهای تعطیل هفته در نظر گرفته شده است.

جدول شماره ۳: تنظیمات و اطلاعات اولیه در نرم افزار دیزاین بیلدر

Density (people/m ²)	0.0188		
Heating setpoint	21		
Heating set back	12		
Cooling setpoint	25		
Cooling set back	28		
Air Filtration rate (ac/h)	0.7		
External Windows	Glazing type	Duble Clear 3mm/13mm Air	
	Frame Construction	UPVC window frame	
HVAC Template	Fan-coil unit	Heated Fuel	Natural Gas
		Cooled Fuel	Electricity
Lighting	Off		



نمودار ۱: میزان سرعت جریان هوا در فضای مرکزی هر یک از هندسه مختلف بلوک‌های شهری

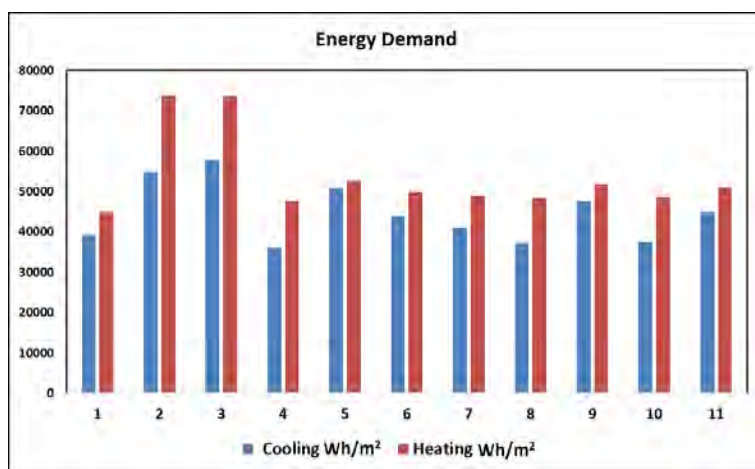
۳-۲- سنجش میزان تقاضای انرژی

نمودار ۲ میزان تقاضای سالانه انرژی در دو بخش سرمایش و گرمایش را بر حسب Wh/m² برای یازده هندسه متعارف بلوک‌های شهری در شهر همدان نمایش می‌دهد. در تنظیمات نرم‌افزار تجهیزات روشنایی خاموش در نظر گرفته شده است. بار روشنایی برای تمامی فرم‌ها برابر صفر است. مطابق با نمودار ۲، فرم ۳ و فرم ۲ دارای بیشترین میزان تقاضای انرژی در بخش گرمایش و سرمایش هستند. مهمترین عامل در ایجاد افزایش تقاضای انرژی این دو هندسه، دارا بودن نسبت سطح به حجم بالا نسبت به سایر فرم‌ها است که موجب اتلاف حرارتی بالا در ساختمان‌ها می‌گردد. فرم حیاط مرکزی (فرم ۱) دارای کمترین میزان بار گرمایشی در بین تمامی فرم‌ها است، کاهش اتلاف حرارتی در زمستان‌های سرد همدان به دلیل نسبت سطح به حجم پایین این هندسه مهمترین دلیل این امر است. فرم ۴، فرم ۱۰، فرم ۸ و فرم ۷ نیز به ترتیب پس از فرم ۱ دارای کمترین میزان بار گرمایشی هستند. از آنجائیکه نسبت سطح به حجم در هر یک از این شکل‌ها میزانی نزدیک به هم دارند مهمترین عامل در کاهش بار گرمایشی در آنها را می‌توان جهت‌گیری شرقی-غربی و دریافت حداکثر تابش حرارتی خورشید از جداره‌های جنوبی در فصل سرد زمستان دانست. فرم ۵، فرم ۹، فرم ۱۱ و فرم ۶ به ترتیب بیشترین بار گرمایشی را ثبت کرده‌اند که به دلیل جهت‌گیری شمالی-جنوبی این فرم‌ها کمترین میزان دریافت تابش خورشید در فصل سرد زمستان را دارند.

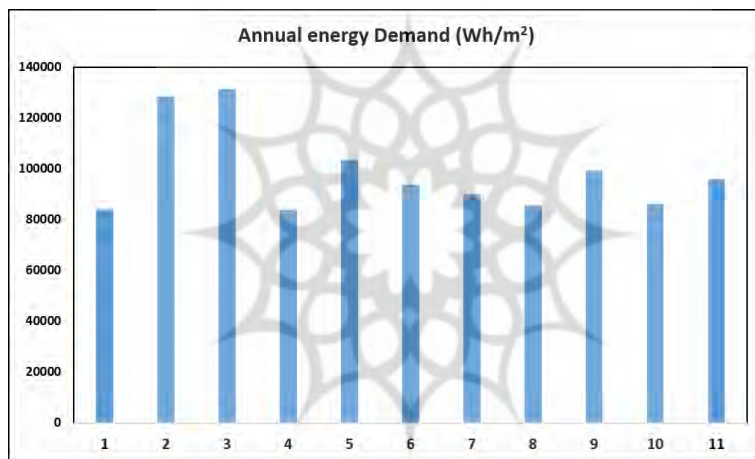
کمترین میزان بار سرمایشی در فرم ۴ و پس از آن در فرم ۱۰ و فرم ۸ ثبت شده است. با توجه به میزان سطح به حجم نزدیک به یکدیگر می‌توان دلیل کاهش بار سرمایشی در این فرم‌ها را سرعت جریان باد بیشتر و همچنین کاهش سطوح رو به شرق و رو به غرب نسبت به سایر فرم‌ها و در نتیجه دریافت تابش‌های کمتر در زمان طلوع و غروب خورشید عنوان کرد. بار سرمایشی بالاتر در فرم‌های دارای جهت‌گیری شمالی-جنوبی و فرم حیاط مرکزی که تهویه در آن‌ها صورت نمی‌گیرد و همچنین سطوح زیادی از این فرم‌ها رو به شرق و رو به غرب قرار دارند که میزان بالایی از تابش‌های مستقیم را در هنگام طلوع و غروب خورشید دریافت می‌کنند، ثبت شده است.

مطابق با نمودار ۳ در مجموع کمترین تقاضای سالانه انرژی (مجموع بار گرمایش و بار سرمایش) مربوط به فرم ۴ با میزان ۸۳,۷ kWh/m² سپس به ترتیب در فرم ۱ با میزان تقاضای انرژی ۸۴,۲ kWh/m²، فرم ۸ با مقدار ۸۵,۷ kWh/m² و فرم ۱۰

با میزان $86,1 \text{ kWh/m}^2$ است. بیشترین تقاضای سالانه انرژی به ترتیب در فرم ۳ با مقدار $131,3 \text{ kWh/m}^2$ و فرم ۲ با میزان تقاضای انرژی $128,5 \text{ kWh/m}^2$ و سپس فرم ۵ با $103,5 \text{ kWh/m}^2$ ، فرم ۹ با $99,4 \text{ kWh/m}^2$ ، فرم ۱۱ با $95,9 \text{ kWh/m}^2$ ، فرم ۶ با $93,6 \text{ kWh/m}^2$ و در نهایت فرم ۷ با $90,0 \text{ kWh/m}^2$ است.



نمودار ۲: میزان تقاضای سالانه انرژی در دو بخش سرمایش و گرمایش



نمودار ۳: میزان تقاضای سالانه انرژی در دو بخش سرمایش و گرمایش

۴- نتیجه گیری

هندسۀ ساختمان یکی از مهمترین عوامل تاثیرگذار بر میزان تقاضای انرژی ساختمان است. در این پژوهش با استفاده از ابزار شبیه‌سازی به بررسی و مقایسه میزان تقاضای انرژی در یازده هندسه متعارف بلوک‌های شهری در شهر همدان پرداختیم. نتایج نشان می‌دهند که مهمترین عوامل موثر در میزان تقاضای انرژی در بلوک‌های شهری میزان نسبت سطح به حجم، چگونگی جهت‌گیری و میزان سرعت جریان باد در آنها است. به طوری که فرم‌هایی که دارای نسبت سطح به حجم بالاتری هستند (بلوک‌های شماره ۲ و ۳)، به دلیل اتلاف بالای انرژی از جداره‌ها، میزان تقاضای بالاتری را در دو بخش سرمایش و گرمایش دارند. همچنین بلوک شماره ۱ با هندسه‌ای به صورت حیاط مرکزی که دارای کمترین میزان نسبت سطح به حجم نسبت به سایر فرم‌ها است کمترین مقدار بار گرمایشی را نیز دارد.

از سوی دیگر بلوک‌های با جهت‌گیری شرقی-غربی به دلیل سطوح بیشتر جنوبی و دریافت تابش بیشتر خورشید از سمت جنوب در فصل زمستان میزان بار گرمایش کمتری دارند (بلوک‌های شماره ۴، ۱۰، ۸ و ۷). همچنین این فرم‌ها در فصل تابستان نیز به دلیل سطوح کمتر رو به شرق و رو به غرب تابش‌های مستقیم خورشیدی کمتری را دریافت می‌نمایند و از بار سرمایشی کمتری برخوردار هستند. سرعت جریان باد نیز به طور موثری در کاهش بار سرمایشی تاثیرگذار است به طوری که در فرم‌هایی که سرعت جریان هوا بیشتر و تهویه بهتری صورت می‌گیرد بار سرمایشی به میزان قابل توجهی کمتر است.

کمترین تقاضای سالانه انرژی (مجموع بار گرمایش و بار سرمایش) مربوط به فرم ۴ با میزان ۸۳,۷ kWh/m² است. پس از آن فرم ۱ با ۰,۵۹ درصد، فرم ۸ با ۲,۳۸ درصد، فرم ۱۰ با ۲,۸ درصد، فرم ۷ با ۷,۵ درصد، فرم ۶ با ۱۱,۸۲ درصد، فرم ۱۱ با ۱۴,۵۷ درصد، فرم ۹ با ۱۸,۷۵ درصد، فرم ۵ با ۲۳,۶۵ درصد، فرم ۲ با ۵۳,۵۲ درصد و در نهایت فرم ۳ با ۵۶,۸۶ درصد افزایش میزان تقاضای انرژی سالانه نسبت به بهترین حالت (فرم ۴) قرار دارند.

منابع

1. Blowers, A. (2013). *Planning for a sustainable environment*: Routledge.
2. Catalina, T., Virgone, J., & Iordache, V. (2011). Study on the impact of the building form on the energy consumption. *Proceedings of Building Simulation 2011: 12th Conference of International Building Performance Simulation Association*.
3. Crosbie, M. J., & Associates, S. W. (1998). *The passive solar design and construction handbook*: Wiley.
4. DesignBuilder. (2020). <https://designbuilder.co.uk> . /
5. EnergyPlus, E. D. T. (2016). EnergyPlus™ Version 8.6 Documentation
6. Input Output Reference: The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output. *U.S. Department of Energy*.
doi:https://energyplus.net/sites/default/files/pdfs/pdfs_v8.3.0/InputOutputReference.pdf
7. Fathy, H. (1986). Natural energy and vernacular architecture .
8. Givoni, B. J. E. (1969). Man, climate and architecture .
9. Goulding, J. R., Lewis, J. O., Steemers, T. C., Commission of the European Communities. Directorate-General for Science, R., & Development. (1992). *Energy in Architecture: The European Passive Solar Handbook*: Batsford.
10. Gupta, V. J. E., & form, u. b. (1987). Thermal efficiency of building clusters: an index for non air-conditioned buildings in hot climates. 133 .
11. Gupta, V. K. (1984). Solar Radiation and Urban Design for Hot Climates. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 11(4), 435-454. doi:10.1068/b110435
12. Hestnes, A. G., Hastings, R., Saxhof, B., & Agency, I. E. (2003). *Solar Energy Houses: Strategies, Technologies, Examples*: James & James.
13. Kazanasmaz, T., Uygun, İ. E., Akkurt, G. G., Turhan, C., & Ekmen, K. E. (2014). On the relation between architectural considerations and heating energy performance of Turkish residential buildings in Izmir. *Energy and Buildings*, 72, 38-50. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.036>
14. Martin, L. (2000). The grid as generator. *Architectural Research Quarterly*, 4(4), 309-322. doi:10.1017/S135913550000403
15. Oke, T. R. (2002). *Boundary layer climates*: Routledge.
16. Okeil, A. (2004). *In search for energy efficient urban forms :The residential solar block*. Paper presented at the Proceedings of the 5th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings Proceedings, Toronto, ON, Canada.
17. Okeil, A. (2010). A holistic approach to energy efficient building forms. *Energy and Buildings*, 42(9), 1437-1444. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.03.013>
18. Ratti, C., Raydan, D., & Steemers, K. (2003). Building form and environmental performance: archetypes, analysis and an arid climate. *Energy and Buildings*, 35(1), 49-59. doi:[https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(02\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(02)00079-8)
19. Steemers, Baker, Crowther, Ratti, Dubiel, & Nikolopoulou. (1997). City texture and microclimate. In.
20. Taleghani, M., Tenpierik, M., & Van den Dobbelsteen, A. (2012). *The effect of different transitional spaces on thermal comfort and energy consumption of residential buildings*. Paper presented at the 7th Windsor Conference 2012: The changing context of comfort in an unpredictable world, Windsor, UK, 12-15 April 2012.

21. Taleghani, M., Tenpierik, M., van den Dobbelsteen, A., & de Dear, R. (2013). Energy use impact of and thermal comfort in different urban block types in the Netherlands. *Energy and Buildings*, 67, 166-175. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.024>
22. Van den Dobbelsteen, A., Thijssen, S., Colaleo, V., & Metz, T. (2007). *Ecology of the building geometry-environmental performance of different building shapes*. Paper presented at the Proceedings of the CIB World Building Congress.
23. 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. doi:<https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.042>
24. Yang, X., Li, Y., & Yang, L. (2012). Predicting and understanding temporal 3D exterior surface temperature distribution in an ideal courtyard. *Building and Environment*, 57, 38-48. doi:<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.03.022>

