

بررسی تاثیر ریخت شناسی و چیدمان بلوک‌های مسکونی کوتاه مرتبه بر عملکرد حرارتی ساختمان؛ نمونه موردی: اقلیم سرد بجنورد*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۷

کد مقاله: ۴۰۷۰۶

گلناز شفیعی‌آبادی^{۱*}، فرزین حق‌پرست^۲

چکیده

ریخت ساختمان و چگونگی قرارگیری آن در واحد همسایگی بر عملکرد حرارتی درون بنا، تاثیرگذار خواهد بود. هدف از این مطالعه، بررسی تاثیر ریخت‌شناسی بلوک‌های مسکونی بر عملکرد حرارتی ساختمان می‌باشد که برای این منظور ابتدا یک ساختمان مسکونی در وضعیت موجود در شهر بجنورد در نرم‌افزار گرس‌هپر شبیه‌سازی شده و میزان مصرف انرژی آن بدست آمده است. سپس همان ساختمان در ۱۶ حالت دیگر از چینش‌های مختلف بلوک‌های ساختمانی، در ۳ حالت ارتفاعی مختلف و ۵ حالت متفاوت ابعاد پنجره قرار گرفته و مصرف انرژی آن محاسبه و با وضعیت موجود مقایسه شده است. مطابق با نتایج بدست آمده، مقدار بهبود شرایط از عدد ۱۶٪ تا ۴۸٪ متغیر بوده است. بیشترین مقدار کاهش حدود ۴۸٪ بوده که در سناریوهای ارتفاعی مختلف بدست آمده و غالباً در حالات سوم، نهم و دهم ایجاد شده است و اختلاف کمی بین نتایج ابعاد مختلف پنجره این حالات وجود دارد ولی به طور کلی پنجره‌های با ابعاد ۶۰٪ عملکرد بهتری داشته اند. و کمترین بهبود مصرف مربوط به حالت ۱۶ با بیشترین ابعاد پنجره می‌باشد که در همه حالات ارتفاعی با اختلاف بدترین عملکرد را داشته و مقدار بهبود عملکرد انرژی تنها وابسته به تبدیل فضای پیلوت به فضای بسته بوده است.

واژگان کلیدی: بلوک مسکونی، ریخت شناسی، عملکرد حرارتی

۱- کارشناس ارشد انرژی- معماری، دانشگاه هنر اسلامی تبریز (نویسنده مسئول)

g.shafiabadi@gmail.com

۲- استاد دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه هنر اسلامی تبریز

*- این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد گلناز شفیعی‌آبادی با عنوان تاثیر ریخت‌شناسی بلوک‌های شهری بر عملکرد حرارتی ساختمان‌های مسکونی و میزان کاهش مصرف انرژی در اقلیم سرد (بجنورد) که با راهنمایی دکتر فرزین حق‌پرست در دانشگاه هنر اسلامی تبریز به انجام رسیده است.

۱- مقدمه

رشد روزافزون جمعیت، وابستگی به انرژی‌های تجدیدناپذیر، افزایش رشد مصرف انرژی را در جهان به دنبال داشته است. به طوری که ۶۰-۸۰ درصد انرژی جهانی در شهرها به مصرف می‌رسد (مرتضایی و دیگران، ۱۳۹۶: ۴۲). طبق گزارش سازمان ملل، جمعیت جهان در سال ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ میلادی به ترتیب به ۸/۵ و ۹/۷ میلیارد نفر افزایش می‌یابد که حدود ۶۶ درصد از این جمعیت در مناطق شهری زندگی می‌کنند (مرادخانی و دیگران، ۱۳۹۷: ۳۴۰). شهرها مصرف‌کننده بخش اعظم منابع انرژی و مسئول تولید ۸۰ درصد از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی می‌باشند. به گونه‌ای که بخش عمده‌ای از انتشار این گازها تحت تاثیر شکل بافت شهری است (مرتضایی و دیگران، ۱۳۹۶: ۴۲). تمرکز اصلی بر عملکرد ساختمان به صورت منفرد و نادیده گرفتن اثر متقابل ساختمان و زمینه‌اش، از عوامل ایجاد بحران انرژی در شهرها است (حسینی و دیگران، ۱۴۰۰: ۱۵۴). بخش مسکن بزرگترین مصرف‌کننده انرژی در ایران است؛ بیش از ۴۰ درصد انرژی کشور در این بخش مصرف می‌شود (حسینی و دیگران، ۱۴۰۰: ۱۵۴). به طوری که بیش از یک سوم مصرف انرژی در کشور را تقاضای انرژی بخش خانگی تشکیل می‌دهد (مرتضایی و دیگران، ۱۳۹۶: ۴۲). همچنین پیش‌بینی می‌شود که تقاضای انرژی ساختمان‌ها در دهه‌های آینده در سراسر جهان به رشد خود ادامه دهد (Aali et al, 2017: 598).

ساختمان‌ها به عنوان بخش مهمی در پروسه مصرف انرژی در حوزه شهری و انتشار گازهای گلخانه‌ای، در تعیین الگوهای مصرف انرژی موثر هستند. از این لحاظ توجه به مسائل مربوط به آب‌وهوا و انرژی در حیطه ساختمان و شهر در پژوهش‌های اخیر، حائز اهمیت بوده است. در ایران نیز علیرغم قوانین موجود و برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته، مصرف انرژی بیش از پنج برابر متوسط رشد مصرف در جهان است (مرادخانی و دیگران، ۱۳۹۷: ۳۴۰).

با توجه به اینکه بیش از ۹۸ درصد مصرف انرژی ساختمان‌ها در ایران از سوخت‌های فسیلی تامین می‌گردد، این بخش یکی از منابع تولید آلودگی و سبب تغییرات آب‌وهوایی و مشکلات متعدد زیست محیطی می‌شود (مرتضایی و دیگران، ۱۳۹۶: ۴۲). این مهم شهرسازان و طراحان شهری را به مطالعه تاثیرات بافت شهرها بر مصرف انرژی سوق داده و معماران نیز رفتار حرارتی داخل بنا را مورد مطالعه قرار داده‌اند. از قرن ۱۹ میلادی، معماران و طراحان شهری به بررسی رابطه میان مصرف انرژی و شکل واحدهای همسایگی پرداختند. رابطه میان ساختمان‌ها و محیط اطرافشان یک چالش مشترک میان معماران، طراحان شهری و هواشناسان است. هواشناس‌ها به تاثیر شهرسازی بر تغییر اقلیم می‌پردازند، طراحان شهری به تاثیر شکل و شاکله شهری بر مصرف انرژی و آسایش حرارتی در محیط‌های شهری و بناها علاقه‌مند هستند و معماران به بررسی آسایش و مصرف انرژی در مقیاس بنا می‌پردازند (صنایعیان و دیگران، ۱۳۹۸: ۲۴).

از نظر سالات پارامترهای موثر بر سطح مصرف انرژی ساختمان‌ها، شامل اقلیم، مورفولوژی شهری^۱ (شکل شهر)، طراحی ساختمان، سیستم‌های گرمایشی و سرمایشی و رفتار ساکنان می‌باشد (Salat, 2009: 589). از میان پارامترهای بیان شده، در حوزه طراحی شهری، میزان مصرف انرژی اولیه ساختمان‌ها، با بعد ریخت‌شناسی هم‌پیوند است. اما با وجود اتفاق نظر اندیشمندان در خصوص محدودیت‌های کنونی توسعه و نقد شیوهی استفاده از منابع، عموماً چشم‌انداز روشنی از انرژی کارایی در بعد ریخت‌شناسی طراحی شهری به خصوص در زمینه بافت‌های مسکونی ارائه نشده است. پژوهش‌های مطرح شده در خصوص شهر و انرژی (کارایی) هر یک با نگاهی متفاوت به این موضوع می‌نگرند. به بیانی دیگر بخش اعظمی از مطالعاتی که تاکنون در زمینه بهینه‌سازی مصرف انرژی در حوزه شهرسازی انجام شده است، به بررسی اثرات شکل شهری بر مصرف سوخت حمل و نقل پرداخته‌اند و یا مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی و روشنایی را به طور همزمان در مقیاس‌های خرد ارزیابی نموده‌اند. از این‌رو پژوهش‌های اندکی در مقیاس میانی در حوزه طراحی شهری صورت گرفته است. این مسئله به طور غیرمستقیم اهمیت تحلیل عملکرد حرارتی ساختمان‌ها را در مقیاس‌های بالاتر برای محققان روشن می‌سازد. اگرچه تحقیقاتی نیز در مقیاس‌های فراتر مانند بلوک شهری در ارتباط با شاخص‌های ریخت‌شناسی انجام گرفته اما عمدتاً به ارزیابی خرد اقلیم شهری، دسترسی به انرژی خورشیدی، میزان تقاضای انرژی گرمایشی و سرمایشی با استفاده از مدل‌های ساده‌سازی شده یا فرضی پرداخته‌اند (مرتضایی و دیگران، ۱۳۹۶: ۴۲).

پارامترهای متعددی در معماری و طراحی شهری برای استفاده‌ی مناسب از انرژی‌های تجدیدپذیر باید در نظر گرفته شوند. واحدهای همسایگی با توجه به مشخصه‌هایی مانند جهت‌گیری و قطعه‌بندی سایت، تراکم داخل سایت و مورفولوژی بنا، می‌توانند به گونه‌ای طراحی شوند که بالاترین میزان بهره‌وری از انرژی‌های طبیعی را داشته باشند. (هانیه صنایعیان و دیگران، ۱۳۹۲: ۳۵). موقعیت قرارگیری واحدهای همسایگی نسبت به یکدیگر نقش موثری در میزان دسترسی هر واحد به انرژی خورشیدی دارد. جهت‌گیری و مکان قرارگیری هر واحد نسبت به واحدهای دیگر بر میزان دسترسی به نور خورشید و همچنین استفاده از الگوهای جریان هوا تاثیر می‌گذارد. چگونگی قرارگیری ساختمان درون سایت و الگوی استفاده از زمین، بر روی درجه حرارت خرد اقلیم ایجاد شده توسط بلوک‌های شهری نیز نقش به‌سزایی دارد (هانیه صنایعیان و دیگران، ۱۳۹۲: ۳۶).

با توجه به ضرورت بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش ساختمان، فواید بهینه‌سازی مصرف انرژی در بخش ساختمان را می‌توان در چهار بخش ۱- کمک به اقتصاد ملی، ۲- کمک به اقتصاد خانواده، ۳- کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش آلودگی‌های ناشی از آن و ۴- حفظ ذخایر سوخت‌های فسیلی برای نسل‌های آینده خلاصه نمود (ضرغامی و دیگران، ۱۳۹۴: ۶۴). در این مقاله با روشی ساختارمند به بررسی تاثیر ارتفاع بلوک‌ها، مکان قرارگیری توده ساختمان درون سایت، نحوه ترکیب توده و فضا، میزان درصد ابعاد پنجره و ایجاد حیاط شمالی کنترل نشده بر عملکرد حرارتی ساختمان و میزان مصرف انرژی درون ساختمان خواهیم پرداخت.

هدف از این مطالعه، بررسی تاثیر ویژگی‌های کالبدی بلوک‌های مسکونی و نحوه چیدمان واحدهای همسایگی بر عملکرد حرارتی و میزان مصرف انرژی ساختمان می‌باشد.

بر این اساس پژوهش حاضر به دنبال پاسخ به سوالات زیر است:

۱. فرم و نحوه ترکیب توده و فضا در بلوک‌ها چگونه بر عملکرد حرارتی درون بنا اثر می‌گذارد؟
۲. نحوه قرارگیری بلوک‌های ساختمانی درون سایت چگونه بر میزان مصرف انرژی در زمستان و تابستان تاثیر می‌گذارد؟
۳. مکان بهینه قرارگیری بلوک‌ها درون سایت از دیدگاه دسترسی به حداکثر نور خورشید کدام است؟

۲- پیشینه تحقیق

مطالعات متنوعی در خصوص ارتباط مورفولوژی شهری و بنا با میزان مصرف انرژی در اقلیم‌های مختلف صورت گرفته است. در پژوهشی، پیسلو و همکارانش از مقایسه‌ی عملکرد حرارتی ساختمان در پیکربندی مستقل و در سه بافت شهری مختلف با تراکم‌های متفاوت به این نتیجه رسیدند که ساختمان‌ها متقابلاً بر عملکرد حرارتی ساختمان‌های نزدیک تاثیر می‌گذارند و بیشتر نشان می‌دهند که این تاثیر با تراکم شهری مرتبط است (Pisello et al, 2013: 2008-2019). در پژوهش دیگری که توسط احمدیان و همکارانش در شهر لندن انجام شده، انرژی مورد نیاز ساختمان در قالب‌های پاپیون^۱، تراس^۲، حیاط مرکزی^۳ و تونل-حیاط مرکزی^۴ زمین محاسبه شده است. این مطالعه نشان می‌دهد که چگالی یکسان برای یک فرم ساخته شده را می‌توان با ترکیب‌های مختلف پارامترهای هندسی به دست آورد که مطمئناً بر عملکرد انرژی ساختمان‌ها تاثیر می‌گذارد. این می‌تواند توسط طراحان، برنامه‌ریزان و معماران برای شناسایی پربازده‌ترین شکل و تراکم ساخت‌وساز برای ارتقای شهرهای پایدارتر مورد استفاده قرار گیرد (Ahmadian et al, 2021: 1-13). رود و همکاران، میزان تقاضای انرژی گرمایشی را در ارتباط با شاخص‌های تراکم، نسبت سطح به حجم، ارتفاع و سطح اشغال ساختمان در الگوهای مختلف ساختمانی در شهرهای لندن، برلین، استانبول و پاریس ارزیابی کرده‌اند. نتایج این پژوهش بهره‌وری انرژی گرمایشی را از طریق ایجاد ساختمان متراکم، بلوک‌های فشرده یا ساختمان‌های بلندمرتبه قابل دستیابی می‌داند (Rode et al, 2014: 138-162). عالی و همکارانش با به کارگیری مدل سه‌بعدی سعی کردند که به مورفولوژی بهینه برای بلوک‌های مسکونی در مناطق شهری با بیشترین قرارگیری در معرض نور خورشید دست یابند. در میان سه سناریو مختلف در نظر گرفته شده برای بلوک‌های شهری، بلندترین ارتفاع و فضاهای بازتر سبک کارآمدتری برای فصل زمستان بوده و فضای باز و ارتفاع متوسط برای تابستان بهتر بوده است (Aali et al, 2017: 597-615). سونگ و همکارانش برای به دست آوردن درک بهتری از رابطه کمی بین عوامل موثر محیطی و مصرف انرژی گرمایشی ساختمان‌ها در مناطق خیلی سردسیر، اثرات پنج پارامتر مورفولوژیکی شهری (تراکم ساختمان، نسبت ابعاد، ارتفاع ساختمان، نسبت مساحت کف و ضریب شکل) و سه پارامتر آب‌وهوایی (دما، سرعت باد و رطوبت نسبی) را بر شدت مصرف انرژی گرمایشی (EUI) ساختمان‌های تجاری و مسکونی در یک منطقه خیلی سردسیر تجزیه و تحلیل کردند و به این نتیجه رسیدند که ارتفاع ساختمان، ضریب شکل، دما و سرعت باد تاثیر قابل توجهی بر شدت مصرف انرژی گرمایشی دارند و تاثیر آنها با نوع ساختمان متفاوت است (Song et al, 2020: 1-24). عبدلی‌ناصر و همکارانش با استفاده از شبیه‌سازی، به بررسی ابعاد مناسب برای پنجره‌ها نسبت به پوسته و شیشه مناسب برای پنجره‌ها جهت دستیابی به الگوی بهینه در راستای کاهش مصرف انرژی پرداختند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در یک ساختمان مسکونی کوتاه‌مرتبه با چرخش ۱۲ درجه به جنوب شرقی در تبریز، با کاهش نسبت مساحت پنجره به پوسته از ۵۰ درصد به ۲۰ درصد، اتلاف حرارت ۶۰،۳۴ درصد کاهش می‌یابد (Abdoli Naser, 2021: 327-336). هانیه صناعیان و دیگران، به واسطه پژوهش‌های پیشین، به مرور اثر شکل بلوک شهری بر رفتار حرارتی ساختمان‌ها پرداختند. آنها در نهایت به این نتیجه رسیدند که بررسی تاثیر واحدهای همسایگی بر رفتار حرارتی ساختمان بسیار دشوار است، زیرا بررسی تمامی پارامترهای دخیل به صورت همزمان امری مشکل است. به علت آن که تابش خورشید مهم‌ترین فاکتور قابل بررسی در رفتار حرارتی ساختمان است، بسیاری از تحقیقات در این زمینه بر تابش خورشیدی متمرکز شده‌اند (Sanaieian et al, 2014: 551-).

- 1 Pavilion
- 2 Teraace
- 3 Court
- 4 Tunnel-court built form

560). پژوهش دیگری در سال ۲۰۱۷ به بررسی تاثیر سه نوع فرم بلوک شهری بر مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی، در شهر مدیترانه‌ای تسالونیکي پرداخته است. نتایج حاکی از آن است که بین استراتژی‌های فشردگی شهری بالا و طراحی خورشیدی غیرفعال هم‌افزایی وجود دارد و این هم‌افزایی در تراکم‌های مختلف شهری قابل دستیابی است (Vartholomaos, 2017: 135-145). طالقانی و همکاران، برای مقایسه بین تقاضای سالانه انرژی گرمایشی و روشنایی و آسایش حرارتی، سه پیکره‌بندی مختلف بلوک شهری شامل ساختمان‌های ویلایی (منفرد)، شکل خطی و فرم حیاط مرکزی را در هلند مفروض قرار داده و از طریق شبیه‌سازی، اهمیت نسبت سطح به حجم را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که کاهش نسبت سطح به حجم می‌تواند منجر به راندمان انرژی بالا و آسایش حرارتی بهتری شود (Taleghani et al, 2013: 166-175).

۳- منطقه مورد مطالعه



شکل ۱- بستر شهر بجنورد (ماخذ: گوگل ارث، ۱۴۰۳)

محدوده مورد مطالعه، شهرستان بجنورد مرکز استان خراسان شمالی است. از لحاظ توپوگرافی، شهرستان بجنورد بر روی دشتی نسبتاً پهن‌آور بین کوه‌های آلا‌داغ در جنوب و غرب و کوه‌های کپه‌داغ (بابا موسی) در شمال و شرق واقع شده است. بنابراین مورفولوژی ظاهری دشت بجنورد با منظره‌ای مشابه یک کاسه یک دست و پر شده با پیرامون دیواره‌ای و محصور، و مرکزی مسطح و کم‌شیب نمایان می‌شود که شیب عمومی از اطراف به سمت مرکز دشت (شهر) است (شکل ۱).

نوع اقلیم سرد با آب‌وهوای قاره‌ای می‌باشد که دارای زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل و در بقیه فصول نسبتاً سرد است (الهی گل و دیگران، ۱۳۹۲) و دارای دمایی کمتر از ۱۵ درجه سانتیگراد در ۶ ماه از سال است (جدول ۱).

جدول ۱- میانگین ماهیانه دمای شهرستان بجنورد بر حسب سانتیگراد (ماخذ: داده‌های اقلیمی ایستگاه بجنورد

(۱۳۹۱-۱۴۰۱)

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
میانگین	۱۱٫۹۰	۱۷٫۲۱	۲۲٫۷۱	۲۵٫۸۸	۲۵٫۱۸	۲۲٫۰۲	۱۶٫۰۲	۹٫۵۲	۴٫۵۵	۲٫۸۱	۳٫۳۹	۷٫۴۷



شکل ۲- محدوده مورد مطالعه (مشخص شده با بیضی) در بافت فرسوده بجنورد (ماخذ: طرح تفصیلی بجنورد، ۱۳۸۴).

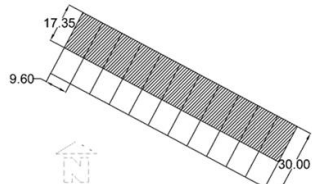
از لحاظ موقعیت جغرافیایی، شهر بجنورد بین طول جغرافیایی ۵۷ درجه و ۲۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۲۸ دقیقه گسترده شده و ارتفاع آن از سطح آب‌های آزاد ۱۰۷۰ متر است.

۳-۱- مشخصات مدل مورد مطالعه

در مطالعاتی که تاکنون بر روی این موضوع انجام شده است، فرم‌های مورد مطالعه به طور معمول به صورت فرضی و بدون در نظر گرفتن پلان داخلی ساختمان و به دور از واقعیت انتخاب گردیده‌اند. برای جلوگیری از این موضوع و قابل استفاده بودن نتایج، یکی از بلوک‌های شهر بجنورد به همراه پلان داخلی‌اش، در محدوده مورد مطالعه انتخاب گردید. در میان مناطق مختلف شهر بجنورد، منطقه ۱ به دلایل زیر گزینه مناسب تشخیص و بررسی شد: (شکل ۲)

- دارا بودن سابقه سکونت شهری طولانی و تثبیت ساختار شهری
- قرارگیری در مرکز شهر بجنورد
- بافت فرسوده منطقه و تمایل ساکنین آن برای بازسازی.

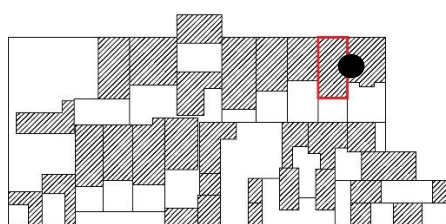
در محدوده مورد مطالعه، کشیدگی زمین شمالی-جنوبی با چرخش ۲۸ درجه، نسبت طول به عرض ۱/۳، مساحت ۲۸۸ مترمربع می‌باشد. ابعاد زمین ۹٫۶*۳۰ است که با توجه به میزان سطح اشغال مجاز (۶۰ درصد زمین) ابعاد ۹٫۶*۱۷٫۳۵ قابل ساخت است (شکل ۳).



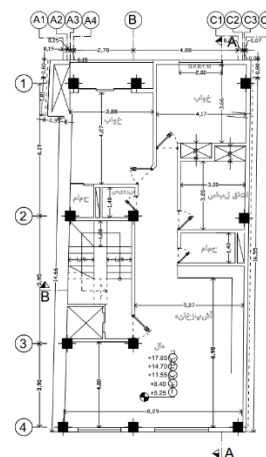
شکل ۳- قطعه‌بندی زمین در بافت مورد مطالعه

۴- روش پژوهش

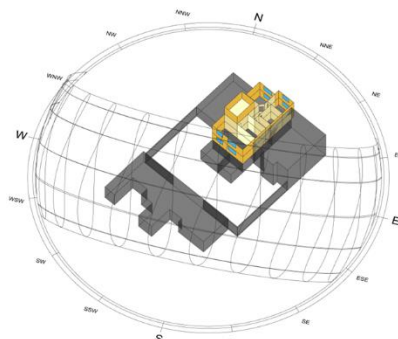
در این پژوهش هدف، بررسی میزان مصرف انرژی ساختمان در وضعیت موجود و مقایسه آن با حالت‌های پیشنهادی نگارنده می‌باشد تا حالت‌های بهینه حاصل شود. برای این منظور ابتدا یک ساختمان مسکونی ۲ طبقه (هر طبقه یک واحد سه خوابه) که روی پیلوت باز قرار دارد با پلان داخلی (شکل ۴) در بافت مورد مطالعه و بر اساس مجاورت‌ها و همسایگی‌های وضعیت موجود (همسایه شرقی، مسکونی ۳ طبقه و همسایه غربی، مسکونی ۱ طبقه) (شکل ۵)، در نرم‌افزار گرس‌هاپر^۱ شبیه‌سازی شده (شکل ۶) و میزان مصرف انرژی آن بدست آمده است. این ساختمان به‌عنوان یک ساختمان رایج در شهر بجنورد مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است.



شکل ۵- وضعیت موجود بافت مورد مطالعه
ساختمان مورد مطالعه با دایره مشخص شده
(است) (ماخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲)



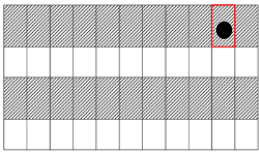
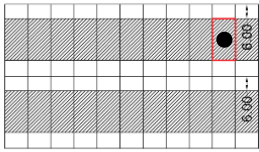
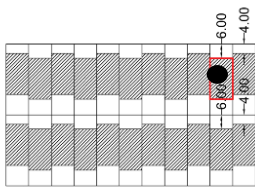
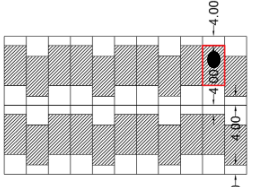
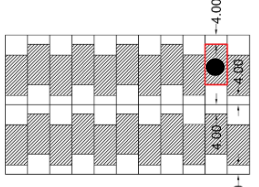
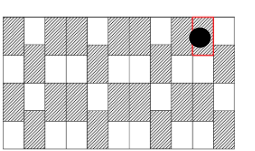
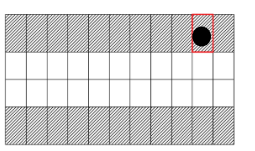
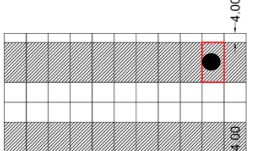
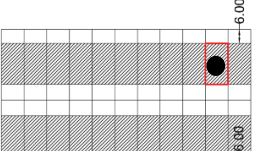
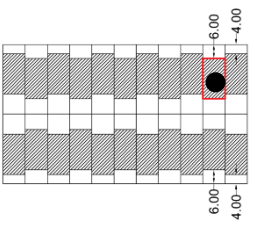
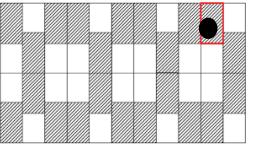
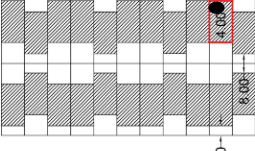
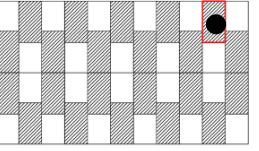
شکل ۴- پلان داخلی ساختمان مورد مطالعه
(ماخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲)



شکل ۶- مدل سه بعدی ساختمان موجود (ماخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲)

در مرحله بعدی، مکان قرارگیری توده‌ی ساختمان در بافت در ۴ حالت کلی و ۱۶ حالت جزئی بررسی شده و مقادیر مصرف انرژی ساختمان موجود در حالات متنوع دیگر بلوک‌های ساختمانی محاسبه و مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۲). در برخی از سناریوها یک حیاط داخلی به‌صورت کنترل‌نشده در ضلع شمالی ساختمان علاوه بر حیاط ضلع جنوبی ایجاد شده است که دارای عمق ۴ یا ۶ متر است. دلیل انتخاب نمای شمالی برای ایجاد حیاط کنترل‌نشده این است که ضلع جنوبی ساختمان تابش مستقیم خورشید را دریافت کرده و ایجاد فضای کنترل‌نشده در جبهه‌ی جنوبی توجیه انرژی ندارد. همچنین برای درک بهتر اثر ایجاد حیاط کنترل‌نشده در عملکرد انرژی ساختمان در برخی از بلوک‌های مورد بررسی این مورد قرار داده نشده است.

جدول ۲- مکان قرارگیری ساختمان موجود (ساختمان علامت گذاری شده) در بافت مورد مطالعه در ۱۶ حالت مختلف
چیدمان (ماخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲)

مدل تپیکال		
	حالت ۱	
	حالت ۲	
	حالت ۳	
	حالت ۴	
	حالت ۵	
	حالت ۶	
	حالت ۷	
	حالت ۸	
	حالت ۹	
	حالت ۱۰	
	حالت ۱۱	
	حالت ۱۲	
	حالت ۱۳	
	حالت ۱۴	
مدل خطی		
	حالت ۱۵	
	حالت ۱۶	
حیات مرکزی		

		حالت ۱۵	
			کامل برونگرا
		حالت ۱۶	

در مجموع ۱۶ سناریو مختلف در نظر گرفته شده است. حالات ۱، ۷، ۸، ۱۲، ۱۴ و ۱۶ دارای حیاط شمالی کنترل نشده نیستند و در حالت ۱۵ صرفاً برای ساختمان‌هایی که فاصله آن‌ها ۴ متر از ضلع شمالی است، حیاط کنترل نشده در نظر گرفته شده است و بقیه ساختمان‌ها بدون حیاط کنترل نشده در نظر گرفته شده‌اند.

در سایر سناریوها یک حیاط ۴ یا ۶ متری برای ساختمان مورد مطالعه و ساختمان‌های مجاور آن در نظر گرفته شده است. این حیاط کنترل نشده دارای نورگیری از سقف است که ۸۰٪ در نظر گرفته شده است. همچنین در جداره مشترک چانه‌پناه ساختمان با حیاط کنترل نشده دو بازو با نسبت ۷۰٪ مساحت پنجره به دیوار در نظر گرفته شده است تا با باز شدن آن‌ها از بیش گرمایش احتمالی فضا جلوگیری شود.

همان‌طور که در ساختمان‌های رایج قابل مشاهده است، پنجره‌های شمالی غالباً به صورت مشجر ساخته می‌شوند تا دید به داخل محدود گردد و همچنین از مزایای نورگیری نیز بتوان استفاده نمود. با توجه به این موضوع، ایده استفاده از یک حیاط کنترل نشده می‌تواند هم برای ایجاد اثر مثبت در مصرف انرژی ساختمان و عدم ایجاد شیشه‌های مشجر و داشتن دید به داخل بسیار مناسب باشد.

علاوه بر این برای بررسی تاثیر ابعاد پنجره بر مصرف انرژی ساختمان، ابعاد پنجره‌های اصلی ساختمان از مقدار ۲۰٪ تا ۶۰٪ با گام‌های ده درصدی در تمامی مدل‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

در مورد ترکیبات ارتفاعی مورد بررسی نیز، به دلیل بررسی ساختمان‌های کوتاه مرتبه در این پژوهش، با در نظرگیری یک پیلوت برای همه ساختمان‌ها، ارتفاع ساختمان‌ها به صورت یک و دو طبقه در نظر گرفته شده و سه سناریو تعریف شده است. در سناریو اول ساختمان‌های شمالی مجاور و ساختمان‌های جنوبی دوطبقه هستند. در سناریوی دوم ساختمان‌های جنوبی یک طبقه و شمالی مجاور دوطبقه و در سناریو سوم ساختمان‌های شمالی مجاور یک طبقه و ساختمان‌های جنوبی دوطبقه در نظر گرفته شده است. دلیل اینکه ارتفاع ساختمان‌ها یکسان لحاظ شده است، مربوط به طرح‌های توسعه شهری و طرح‌های تفصیلی است که غالباً ساختمان‌های هم ارتفاع در مجاور هم قرار می‌گیرند.

بنابراین به طور کلی در این پژوهش، تغییرات قرارگیری بلوک‌ها (نحوه چیدمان)، اضافه شدن حیاط کنترل نشده به ساختمان، تغییرات ابعاد پنجره‌ها و تغییرات ارتفاع ساختمان مورد بررسی قرار گرفته است.

لازم به ذکر است به منظور مقایسه و نشان دادن تاثیر این عوامل در عملکرد انرژی ساختمان، همه‌ی مدل‌ها سطح اشغال، تناسبات، مصالح و جهت‌گیری یکسان با وضع موجود دارند و ۶۰ درصد از سایت با ساختمان پوشیده شده است. همچنین مشخصات کاربری ساختمان یکسان و بر اساس پیوست پنجم مبحث نوزده (ویرایش چهارم) و همچنین مصالح نیز بر اساس حداقل‌های مورد اشاره در روش تجویزی مبحث نوزده مقررات ملی ساختمان در نظر گرفته شده است.

این مقادیر حداقل‌های مقاومت حرارتی (با عایق) در نظر گرفته شده برای ساختمان است که هر ساختمان ملزم به رعایت آن است (جدول ۳). بر اساس مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان عایق کاری ساختمان بیرونی در نظر گرفته شده همچنین برای سقف ساختمان نیز با در نظرگیری عایق بیرونی شبیه سازی انجام شده است. همچنین برای کف در تماس با هوا نیز عایق کاری سراسری در نظر گرفته شده است. همچنین قسمت پیلوت ساختمان موجود نیز به صورت فضای بسته تغییر داده شده است تا از اتلاف حرارتی پرهیز شود.

باید توجه نمود که در زمانی که پیلوت به صورت فضای بسته (پیلوت از سمتی که با فضای آزاد حیاط در ارتباط است با جداره و در شیشه‌ای بسته شده است) در نظر گرفته شده است، عایق در نظر گرفته شده برای کف در تماس با هوا حذف و یک کف تیرچه بلوک بتنی رایج در نظر گرفته شده است که مقاومت حرارتی به مراتب پایینی دارد.

برای جداره‌ها نیز، جداره‌های رایج ساختمانی کشور در نظر گرفته شده است که با در نظرگیری عایق حرارتی کافی، الزامات مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان تأمین شده است.

جدول ۳- ویژگی حرارتی اجزای پوسته ساختمان (ماخذ: مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۹)

اجزای ساختمان	دیوار خارجی	دیوار داخلی	سقف	کف در تماس با هوا
مقاومت حرارتی ($m^2.k/w$)	۰,۹	۰,۵۹	۱,۸	۱,۶

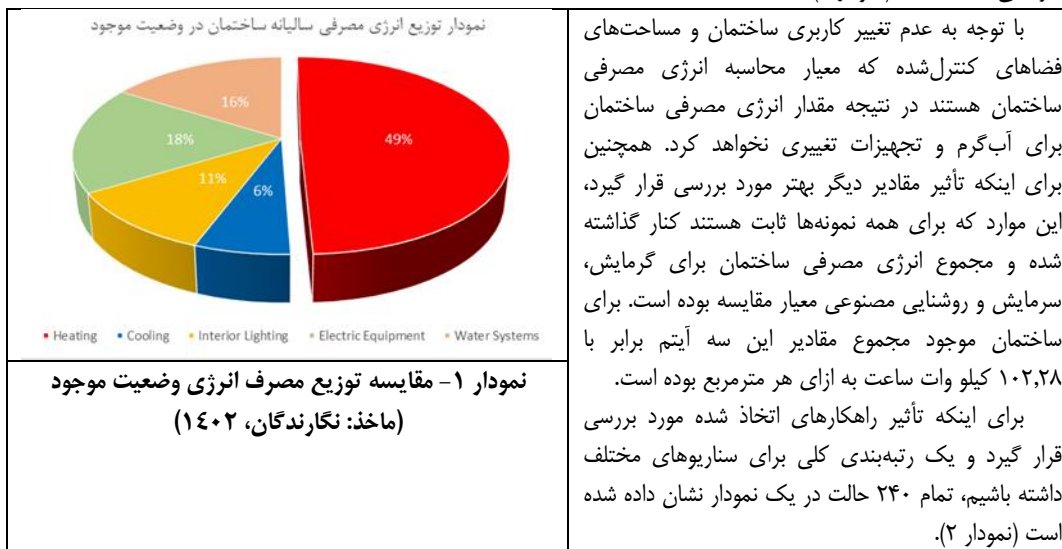
همچنین برای جداره‌های نورگذر نیز بر اساس پیوست ۹ مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، مقادیر زیر در نظر گرفته شده است (جدول ۴).

جدول ۴- مشخصات بازشوها (ماخذ: مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، ۱۳۹۹)

نوع	ضریب عبور نور مرئی پنجره	ضریب عبور خورشیدی	ضریب انتقال حرارت سطحی پنجره ($w/m^2.k$)	ضخامت شیشه (میلی‌متر)	گاز پرکننده (میلی‌متر)
دوجداره	۰,۵۶	۰,۵	۳,۱	۴	۱۰

۵- نتایج شبیه‌سازی

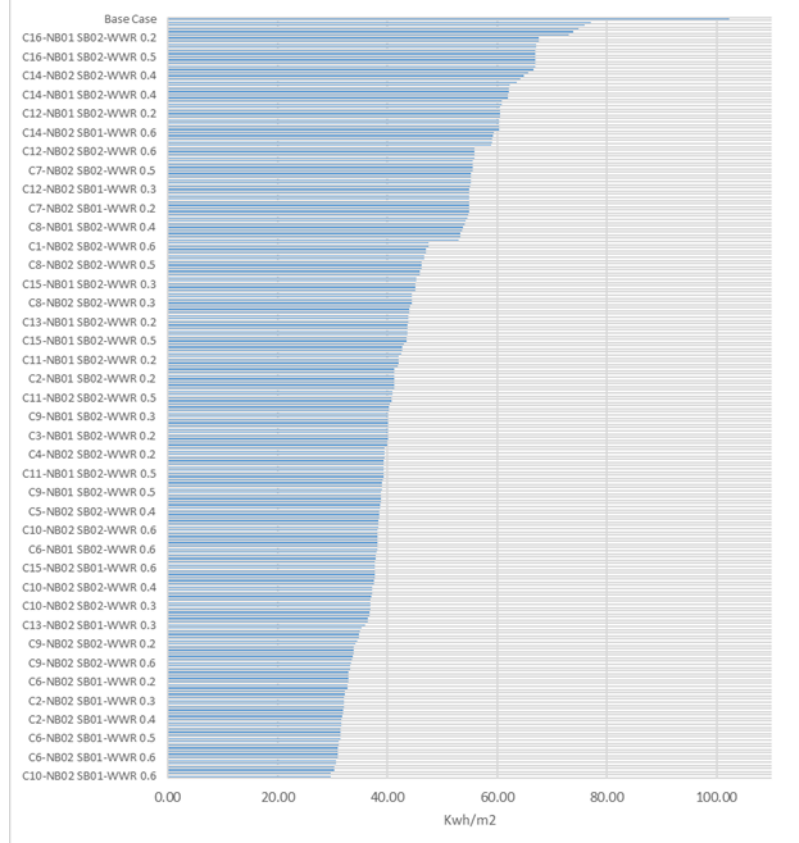
مطابق با نتایج به‌دست‌آمده از مقدار شدت انرژی مصرف ساختمان مجموعاً برابر با ۱۵۴,۳۶ کیلووات ساعت به‌ازای هر مترمربع بوده است. از این مقدار برای وضعیت موجود حدود ۴۹٪ برای گرمایش ساختمان بوده و حدود ۶٪ نیز برای سرمایش صرف شده است. که مقدار قابل توجهی در مقایسه با سایر عوامل نیست. با توجه به اهمیت و بالا بودن مقدار مصرف انرژی برای روشنایی مصنوعی، می‌توان از سیستم‌های روشنایی کاهنده استفاده نمود که به‌صورت خودکار با تأمین روشنایی کافی چنین شرایطی داشته باشند (نمودار ۱).



مطابق با نتایج به‌دست‌آمده مقدار بهبود شرایط از عدد ۱۶٪ تا ۴۸٪ متغیر بوده است. حداقل بهبود غالباً مربوط به تغییر وضعیت پیلوت باز به فضای بسته است. روی هم رفته حدود ۱۰۷ حالت وجود دارد که عملکرد حرارتی آن‌ها نزدیک به هم است و همه آن‌ها می‌توانند به‌عنوان یک انتخاب مطرح شوند اما به‌صورت کلی عملکرد حرارتی حالات برتر در ابعاد مختلف پنجره نزدیک به هم است.

در مرحله بعد نیز برای فهم بهتر نتایج، حالت مختلف از نظر ترکیبات ارتفاعی جداسازی و در سه نمودار مختلف نشان داده شده است.

مقایسه انرژی مصرفی ساختمان در تمام حالات



نمودار ۲- مقایسه مصرف انرژی همه حالات در مقایسه با حالت پایه (ماخذ: نگارنگان، ۱۴۰۲)

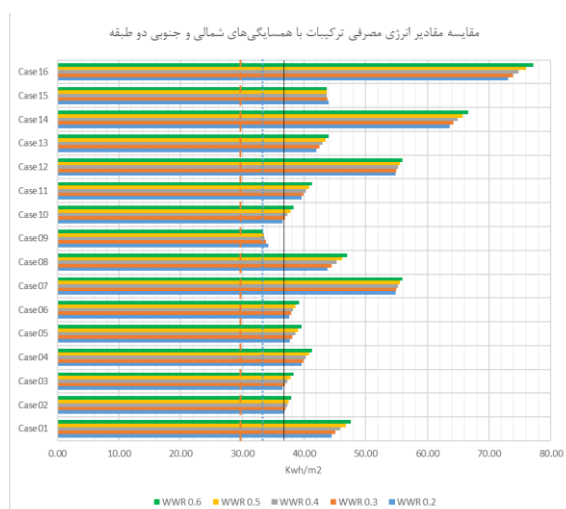
در نمودار زیر (نمودار ۳) مقادیر مصرف انرژی حالات با ابعاد پنجره‌های مختلف و همسایگی‌های دوطبقه مورد بررسی قرار گرفته است. سه خط عمودی در نمودارهای مشخص شده است که مربوط به حداقل انرژی مصرفی در حالات ارتفاعی دیگر است. خطچین برای ترکیبات ارتفاعی دوطبقه برای ساختمان‌های شمالی و جنوبی یک طبقه است. درحالی‌که خط نقطه‌چین برای ارتفاع‌های دوطبقه ساختمان‌های شمالی و جنوبی بوده و خط ممتد برای کمترین انرژی مصرفی برای همسایگی‌ها شمالی یک طبقه و همسایگی‌های جنوبی دوطبقه است.

کمترین مقدار ثبت شده در این حالت مربوط به حالت نهم و ابعاد پنجره ۶۰٪ است که مقدار انرژی ۳۳,۳۵ کیلووات ساعت به‌ازای هر مترمربع برای آن بدست آمده است.

بدترین سناریو برای حالت ۱۶ بدست آمده است که دور تا دور ساختمان از همسایه‌ها فاصله دارد. که در حالت ابعاد پنجره ۶۰٪ عملکرد انرژی نسبت به سایر ابعاد این حالت بدتر است. دلیل موضوع مربوط به غالب بودن پرت حرارتی است که تا حدودی با افزایش ابعاد پنجره بیشتر شده است.

لازم به یادآوری است که حالات ۱، ۷، ۸، ۱۲، ۱۴ و ۱۶ فاقد فضای حیاط کنترل نشده هستند و از این جمع همگی جز حالات با عملکرد ضعیف هستند.

بهترین حالات در این ترکیب ارتفاعی مربوط به حالت سوم و دهم است که اختلاف اندکی دارند. این مقدار برابر با ۲۹,۶۹ کیلو وات ساعت به‌ازای هر مترمربع دارد. مشخصاً با بهبود عملکرد انرژی و کاهش اتلاف حرارتی بیشتر شدن ابعاد پنجره و دریافت تابش خورشیدی بیشتر روی هم رفته عملکرد بهتری نسبت به ابعاد کوچکتر پنجره داشته است (نمودار ۴).



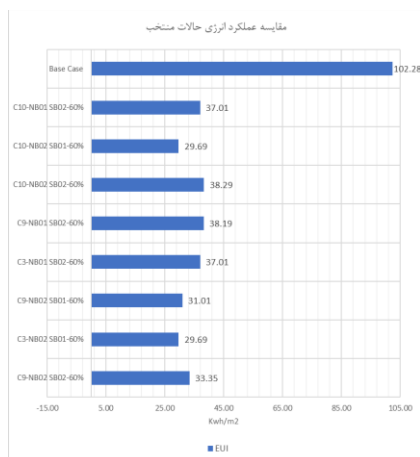
نمودار ۳- مقایسه مقادیر انرژی مصرفی ترکیبات با همسایگی‌های شمالی و جنوبی دوطبقه (ماخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲)



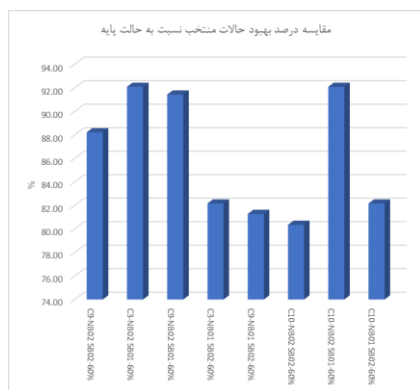
نمودار ۴- مقایسه مقادیر انرژی مصرفی ترکیبات با همسایگی‌های شمالی دوطبقه و جنوبی یک طبقه (ماخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲)



نمودار ۵- مقایسه مقادیر انرژی مصرفی ترکیبات با همسایگی‌های شمالی یک طبقه و جنوبی دوطبقه (ماخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲)



نمودار ۶- مقایسه عملکرد انرژی حالات منتخب (ماخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲)



نمودار ۷- مقایسه درصد بهبود حالات منتخب نسبت به حالت پایه (ماخذ: نگارندگان، ۱۴۰۲)

در حالت بعدی ساختمان‌های با همسایگی یک‌طبقه شمالی و جنوبی دوطبقه مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بهترین مقدار حاصل شده در این ترکیب برابر با ۳۷,۰۱ کیلو وات ساعت به‌ازای هر مترمربع بوده است. که در حالات سوم و دهم اتفاق افتاده است و همچنین ابعاد پنجره‌ها نیز ۶۰٪ بوده است. کماکان حالاتی که دارای حیاط شمالی کنترل‌نشده هستند عملکرد به مراتب بهتری از سایر حالات دارند (نمودار ۵). در ادامه حالات منتخب هر ترکیب ارتفاعی از نظر میزان مصرف انرژی (EUI) با حالت پایه مقایسه شده است. به این منظور حالات نهم، دهم و سوم با ابعاد پنجره ۶۰٪ مورد بررسی قرار گرفته است (نمودار ۶).

مطابق با نتایج به‌دست‌آمده مقدار انرژی مصرفی در حالت ۳ و ۱۰ با همسایگی شمالی ۲ طبقه و جنوبی ۱ طبقه بیشترین کاهش را داشته و به عدد ۲۹,۶۹ رسیده است.

در نمودار زیر (نمودار ۷) مقدار درصد کاهش انرژی مصرفی برای گرمایش ساختمان که مهم‌ترین عامل است نشان داده شده است.

همان‌طور که قابل‌مشاهده است بیشترین کاهش گرمایش در حالت سوم و دهم با ساختمان‌های شمالی دوطبقه و جنوبی یک‌طبقه و ابعاد پنجره ۶۰٪ بوده است. در این حالت عملکرد انرژی به حد قابل‌توجهی کم شده است و مصرف انرژی گرمایشی تا ۹۲٪ کاهش یافته است و کمترین مقادیر بهبود در حالات مختلف حدود ۸۱٪ بوده است که مربوط به ترکیب ساختمان‌های شمالی یک طبقه و جنوبی دوطبقه بوده است اما با این حال کماکان در رتبه‌های خوبی از عملکرد قرار دارد.

۶- نتیجه‌گیری

مطابق با نتایج به‌دست‌آمده از بررسی ۲۴۰ حالت، بیشترین مقدار کاهش انرژی حدود ۴۸٪ بوده است که در سناریوهای ارتفاعی مختلف بدست آمده است و غالباً در حالات سوم، نهم و دهم ایجاد شده است و اختلاف کمی بین نتایج ابعاد مختلف پنجره این حالات وجود دارد ولی به طور کلی پنجره‌های بزرگتر با ابعاد ۶۰٪ عملکرد بهتری داشته‌اند. کمترین بهبود مصرف انرژی مربوط به حالت ۱۶ با بیشترین ابعاد پنجره می‌باشد که در همه حالات ارتفاعی با اختلاف بدترین عملکرد را داشته است و مقدار بهبود عملکرد انرژی تنها وابسته به تبدیل فضای پیلوت به فضای بسته بوده است. مقدار این بهبود حدود ۱۶٪ است. بنابراین می‌توان گفت که اضافه شدن فضای پیلوت بسته می‌تواند حداقل ۱۶٪ عملکرد انرژی را بهبود دهد در صورتی که نیاز به عایق‌کاری کف طبقه اول نیز مرتفع می‌شود.

حدود ۱۰۷ حالت برتر وجود دارد که نتایج عملکرد انرژی آنها نزدیک به هم است و اختلاف کمتر از ۵ واحد دارند. با افزایش عملکرد ساختمان و کاهش اتلاف حرارتی، ابعاد پنجره‌ها اهمیت کمتری داشته است و هر ابعادی می‌تواند به‌عنوان یک انتخاب مناسب مطرح باشد. با این حال زمانی که حیاط کنترل‌نشده نداریم و اتلاف حرارتی زیاد است ابعاد پنجره‌های کوچکتر عملکرد بهتری دارند. روی هم رفته بهترین عملکرد در حالت ارتفاعی جنوبی یک‌طبقه و دوطبقه شمالی به وجود آمده است که نشان‌دهنده اهمیت موضوع نورگیری است؛ اما به همان اندازه، ساختمان‌های مجاور که از دیوارهای شرقی و غربی بنا در برابر پرت حرارتی حفاظت می‌کنند، اهمیت دارد. بنابراین با بررسی کلی نتایج می‌توان دریافت نمود که ایجاد همسایگی‌های مناسب و هم‌ارتفاع ساختمان موجود از اهمیت بالایی برخوردار است. با این حال هنوز هم می‌توان با استفاده از حیاط‌های کنترل‌نشده و تنظیم فاصله ساختمان‌های شمالی و جنوبی وضعیت بهتری فراهم نمود.

در مورد فضای کنترل‌نشده حیاط شمالی نیز که در برخی از حالات مورد استفاده قرار گرفته است، بهترین عملکرد در حضور این فضا است. در حالت کلی عدم وجود حیاط کنترل‌نشده، عملکرد انرژی را به شدت پایین آورده است؛ بنابراین مهم‌ترین عامل از بین عوامل مورد مطالعه وجود چنین فضایی است. در نهایت این تحقیق دامنه وسیعی از حالات ممکن برای بلوک‌های شهری را

بررسی نموده است که می‌تواند نقشه راه خوبی برای تصمیمات در مقیاس محلی و شهری باشد که معماران و شهرسازان مطابق با شرایط سایت‌ها و زمین بتوانند ترکیب‌های متنوعی انتخاب کنند که هم عملکرد شهر حفظ شود و هم عملکرد انرژی ساختمان‌ها کاهش یابد.

منابع

۱. الهی‌گل علی و تقی‌پوران علیرضا و کاظمی منا (۱۳۹۲)، «بررسی شرایط اقلیمی بجنورد جهت طراحی بهینه ساختمان اداری»، دومین همایش ملی اقلیم، ساختمان و بهینه‌سازی مصرف انرژی (بارویکرد توسعه پایدار).
۲. حسینی مصطفی و شکوهی محمود و نصراللهی فرشاد (۱۴۰۰)، «مطالعه تطبیقی ریخت‌شناسی بافت شهری بیرجند از منظر تقاضای انرژی»، فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات معماری ایران، شماره ۲۰، ص ۱۷۶-۱۵۳
۳. دفتر تدوین مقررات ملی ساختمان (۱۳۹۹)، «مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان (صرفه‌جویی در مصرف انرژی)»، چاپ دوم، ویرایش چهارم، تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
۴. صنایعیان هانیه و مفیدی شمیرانی سید مجید و مهدیزاده سراج فاطمه و نصراللهی فرشاد (۱۳۹۲)، «تاثیر چگونگی هم‌جواری توده و فضا در بلوک‌های ساختمانی بر رفتار حرارتی درون بنا (نمونه موردی: مسکن رایج در تهران)»، فصلنامه علمی - پژوهشی صفا، دوره ۲۳، ص ۳۵-۴۶
۵. ضرغامی اسماعیل و جهان‌بخش حیدر و طحانیان امیرحسین (۱۳۹۴)، «بررسی رابطه فرم ساختمان‌های مسکونی با میزان مصرف انرژی آنها در اقلیم گرم و خشک شهر سمنان»، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۸، شماره ۴، ص ۶۳-۷۶
۶. مرادخانی ایوب و نیکقدم نیلوفر و طاهباز منصوره (۱۳۹۷)، «شاخص‌های موثر بر مصرف انرژی الگوهای مسکن در مقیاس محله با تاکید بر کارایی انرژی (نمونه موردی: شهر سمنان)»، فصلنامه علمی پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، سال یازدهم، شماره ۱، ص ۳۳۹-۳۵۸
۷. مرتضایی گلناز و محمدی محمود و نصراللهی فرشاد و قلعه‌نویی محمود (۱۳۹۶)، «بررسی ریخت-گونه‌شناسانه بافت‌های مسکونی جدید در راستای بهینه‌سازی مصرف انرژی اولیه (مطالعه موردی: سپاهان‌شهر)»، فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات شهری، شماره ۲۴، ص ۵۴-۴۱
۸. مشاور پارت، مهندسین مشاور معمار و شهرساز (۱۳۸۴)، «طرح تفصیلی شهر بجنورد». سازمان مسکن و شهرسازی استان خراسان شمالی.
9. Aali, A., Haghparast, F., Maleki, A., Shakibamanesh, A., Ghobadi, P. (2017). OPTIMUM FORM AND PLACEMENT OF URBAN BLOCKS TO MAXIMIZE THE USE OF SOLAR ENERG – A CASE STUDY, OPTIMIZATION IN CIVIL ENGINEERING, 597-615
10. Abdoli Naser, S., Haghparast, F., Singery, M., Sattari Sarbangholi, H. (2021). Optimization of Thermal Performance of Windows in Intermediate Housing in Cold and Dry Climate of Tabriz, Iranian (Iranica) Journal of Energy and Environment, 327-336
11. Ahmadian, E., Sodagar, B., Bingham, C., Elnokaly, A., Mills, G. (2021). Effect of urban built form and density on building energy performance in temperate climates , Energy & Buildings 236,1-13
12. Laura Pisello, A., Eric Taylor, J., Cotana, F. (2013). SIMULATING THE EFFECT OF URBAN MORPHOLOGY ON INDOOR THERMAL BEHAVIOR: AN ITALIAN CASE STUDY, Proceedings of the Winter Simulation Conference, 2008- 2019
13. Rode, P., Keim, C., Robazza, G., Viejo, P., Schofield, J. (2014). Cities and energy: urban morphology and residential heat-energy demand, Cities and energy , 138-162
14. Salat, S. (2009). Energy loads, CO2 emissions and building stocks: morphology, typologies, energy systems and behavior. Building Research & Information 37, 598-609
15. Sanaieian, H., Tenpierik, M., Linden, K., Mehdizadeh Seraj, F., Mofidi Shemrani, M. (2014). Review of the impact of urban block form on thermal performance, solar access and ventilation , Renewable and Sustainable Energy Reviews 38 , 551-560
16. Song, S., Leng, H., Xu, H., Guo, R., Zhao, Y. (2020). Impact of Urban Morphology and Climate on Heating Energy Consumption of Buildings in Severe Cold Regions, Environmental research and public health, 1-24
17. Taleghani, M., Tenpierik, M., Dobbeltstein, A., Dear, R. (2013). Energy use impact of and thermal comfort in different urban block types in the Netherlands , Energy and Buildings 67 , 166-175
18. Vartholomaos, A . (2017). A parametric sensitivity analysis of the influence of urban form on domestic energy consumption for heating and cooling in a Mediterranean city , Sustainable Cities and Society 28, 135-14