ISSN: 2538-3019, EISSN: 2676-4806
DOI: 10.30479/AT.2023.17342.1886
دوفصلنامهٔ اندیشهٔ معماری، نشریهٔ علمی، سال هفتم، شمارهٔ چهاردهم، پاییز و زمستان ۱۴۰۲، صص ۲۱۲-۲۳۳

کاهش مصرف انرژی از طریق بهینه‌سازی چیدمان بلوک‌ها در اقلیم گرم و مرطوب (مطالعه موردی جزیره کیش)

فائزه حسینی[۱]، هانیه صنایعیان[۲*]، مهدی خاکزند[۳]

تاریخ دریافت مقاله : ۱۴۰۱/۱۰/۱۴
تاریخ پذیرش مقاله : ۱۴۰۲/۰۴/۲۵

چکیده

بیان مساله: اولین قدم برای کاهش میزان مصرف انرژی در شهرها، توجه به جایگذاری و چیدمان درست ساختمان‌ها در مقیاسی بزرگ‌تر از مقیاس یک ساختمان می‌باشد چراکه بخش عمده‌ای از میزان مصرف انرژی شهری مربوط به ساختمان‌های مسکونی بوده و یکی از عوامل مهم موثر بر آن، نحوه چیدمان این ساختمان‌ها در محله‌ها می‌باشد. این در حالی است که اغلب پژوهش‌هایی که تاکنون در این حوزه انجام شده‌اند، میزان مصرف انرژی یا عملکرد حرارتی ساختمان‌ها را در مقیاس خرد بررسی نموده‌اند.

سوال تحقیق: رابطه سه پارامتر نسبت طول به عرض بلوک، جهت‌گیری بلوک و نسبت ارتفاع به فاصله جانبی بین بلوک‌ها با میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی در مقیاس یک واحد همسایگی در اقلیم گرم و مرطوب به چه صورت است؟

اهداف تحقیق: هدف این پژوهش دستیابی به بهینه‌ترین چیدمان‌های بلوک‌های ساختمانی که کمترین میزان مصرف انرژی را دارا می‌باشند در اقلیم گرم و مرطوب (نمونه موردی جزیره کیش) است که به دلیل شرایط خاص آب و هوایی و سرعت بالای توسعه و ساخت و ساز از موقعیت به خصوصی برخوردار می‌باشد.

روش تحقیق: برای انجام این پژوهش ابتدا با روش تحلیل محتوا، مهم‌ترین پارامترهای مربوط به چیدمان بلوک‌ها که در میزان مصرف انرژی تاثیرگذار هستند شناسایی شده و سپس با روش تحلیلی- محاسباتی و از طریق بهینه‌سازی چندپارامتری بوسیله الگوریتم ژنتیک، پارامترهای شناسایی شده با هدف به حداقل رساندن میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی، بهینه‌سازی گشته و به دنبال آن بهترین الگوهای چیدمان بلوک‌های مسکونی در یک واحد همسایگی که دارای کمترین میزان مصرف انرژی می‌باشند استخراج و مورد تحلیل و بررسی قرار خواهند گرفت. نرم افزارهای مورد استفاده در این پژوهش، نرم‌افزارهای شبیه‌سازی پارامتریک شامل راینو[۱] و گرسهاپر[۲] و پلاگین‌های لیدی باگ[۳] و هانی بی[۴] جهت محاسبه میزان مصرف انرژی کل سالیانه خواهد بود.

مهم‌ترین یافته‌ها و نتیجه‌گیری تحقیق: نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که از طریق بهینه‌سازی چیدمان بلوک‌ها می‌توان تا حدود ۳۷ درصد در میزان مصرف انرژی صرفه‌جویی نمود. همچنین طبق نتایج این پژوهش نسبت طول به عرض بنا تاثیرگذارترین پارامتر در میزان مصرف انرژی در این اقلیم بوده و بهینه‌ترین چیدمان بلوک‌ها نیز، چیدمان‌های پلکانی با جهت‌گیری به سمت شرق و چیدمان خطی با جهت‌گیری به سمت غرب می‌باشند.

کلمات کلیدی: بهینه‌سازی پارامتریک، چیدمان بلوک‌ها، شبیه‌سازی انرژی، مصرف انرژی، طراحی واحد همسایگی انرژی‌کارا

۱ دانشجوی کارشناسی ارشد معماری، گروه معماری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، ایمیل: faezehosseinii75@gmail.com
۲* استادیار گروه معماری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران (نویسنده مسئول)، ایمیل: sanayeayan@iust.ac.ir
۳ دانشیار گروه معماری، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران، ایمیل: mkhakzand@iust.ac.ir

۱- مقدمه

بیشترین مصرف انرژی شهری در ایران به ساختمان‌ها تعلق داشته و این بخش نزدیک به ۴۰ درصد مصرف انرژی را به خود اختصاص داده است (باقری و مفیدی شمیرانی، ۱۳۹۲: ۲) به طوریکه بیش از یک سوم مصرف انرژی کشور را تقاضای انرژی بخش خانگی تشکیل می‌دهد. بخش عمده پژوهش‌هایی که در این راستا و در جهت یافتن راهکارهایی برای کاهش مصرف انرژی در این بخش انجام شده‌اند، میزان مصرف انرژی یا رفتار حرارتی ساختمان‌ها را در سطح کلان (مقیاس شهری) یا در سطح خرد (مقیاس ساختمانی) بررسی نموده و کمتر پژوهشی میزان مصرف انرژی را در مقیاس میانی محله یا واحد همسایگی بررسی نموده‌است. یکی از مهم‌ترین عوامل برای بررسی عملکرد حرارتی ساختمان‌ها در این مقیاس، نحوه استقرار و چیدمان بلوک‌ها می‌باشد. شکل و موقعیت بلوک‌های شهری نه تنها بر اقلیم خرد بلکه بر عملکرد انرژی هر بلوک نیز تأثیر می گذارد. بنابراین، در نظر گرفتن ساختمان بدون مطالعه تأثیر محیط اطراف آن بی‌معنی است (Sanaieian et al, 2014:551). نحوه چیدمان بلوک‌ها تاثیر قابل توجهی بر رفتار حرارتی داخل و خارج ساختمان (Olgyay, 2015) دسترسی به نور خورشید (Ossen and Kui, 2009; Cheng et al., 2006) و تهویه طبیعی داخل و خارج (Mathews, 1987; Tsutsumi et al, 1992) ساختمان دارد. بنابراین در این پژوهش، ما این فاکتور مهم را مورد تحلیل و بررسی قرار داده و به بهینه‌ترین چیدمان برای یک واحد همسایگی دست پیدا خواهیم نمود. برای انجام این پژوهش، اقلیم گرم و مرطوب به عنوان بستر انتخاب گردید چراکه بخش قابل توجهی از مساحت کشور ایران را به خود اختصاص داده و از نظر اقلیمی در اغلب روزهای سال شرایط بالاتر از حد آسایش را تجربه می‌کند و به همین جهت ساختمان‌های این منطقه میزان انرژی قابل توجهی را برای دستیابی به شرایط آسایش مصرف می‌نمایند. این موضوع ضرورت یافتن راهکاری جهت تامین شرایط آسایش و کاهش مصرف انرژی در این منطقه و به خصوص در ساختمان‌های مسکونی که در۲۴ ساعت شبانه‌روز مورد استفاده قرار گرفته و انرژی زیادی مصرف می‌نمایند را نشان می‌دهد. بدین منظور جزیره کیش به دلیل توسعه و سرعت بالای ساخت و ساز در سال‌های اخیر به عنوان بستر پژوهش در این اقلیم انتخاب گردید تا گامی در جهت توسعه پایدار این جزیره برداشته شود. برای انجام این پژوهش ابتدا از طریق تحلیل محتوا و مطالعه اسناد معتبر، پارامترهای مربوط به چیدمان بلوک‌ها که در میزان مصرف انرژی تاثیرگذار هستند شناسایی شده و سپس از طریق بهینه‌سازی این پارامترها بوسیله الگوریتم ژنتیک نوشته شده در پلاگین‌های گرسهاپر و هانی بی، به بهینه‌ترین چیدمان‌ها از نظر مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی دست پیدا خواهیم نمود.

۲- پرسش‌های تحقیق

۱- رابطه سه پارامتر نسبت طول به عرض بلوک، جهت‌گیری بلوک و نسبت ارتفاع به فاصله جانبی بین بلوک‌ها با میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی در مقیاس یک واحد همسایگی در اقلیم گرم و مرطوب به چه صورت است؟

۲- بهینه‌ترین مدل‌های چیدمان بلوک‌های حاصل از موازنه سه پارامتر نسبت طول به عرض بلوک، جهت‌گیری بلوک و نسبت ارتفاع به فاصله جانبی بین بلوک‌ها که دارای کمترین میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی در اقلیم گرم و مرطوب می‌باشند به چه صورت هستند؟

۳- فرضیه تحقیق

نسبت طول به عرض بلوک، جهت‌گیری بلوک و نسبت ارتفاع به فواصل جانبی بین بلوک‌ها نه تنها در مقیاس یک تک بلوک بر میزان مصرف انرژی تأثیرگذار هستند بلکه در مقیاس یک واحد همسایگی و ترکیب بلوک‌ها در کنار هم نیز تأثیر چشم‌گیری بر میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی کل دارند.

۴- پیشینه تحقیق

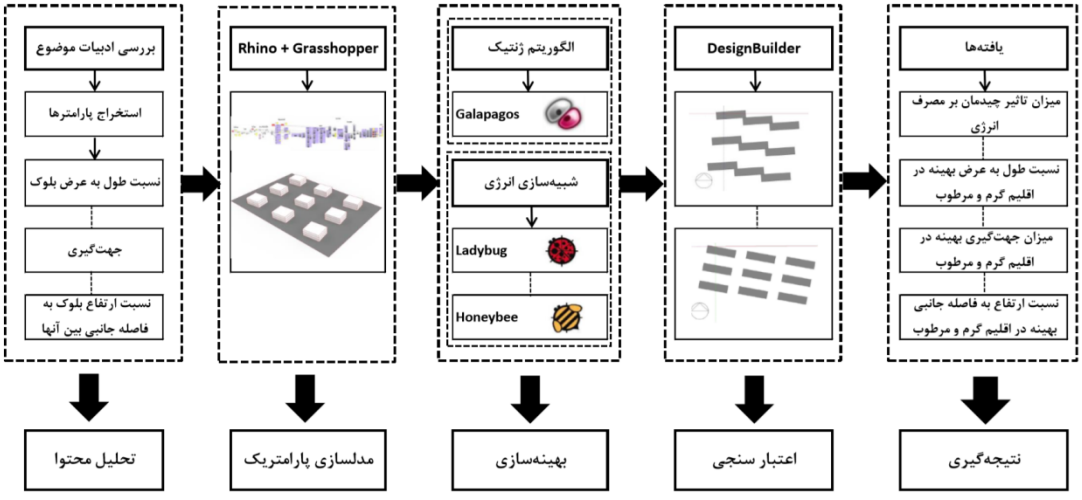
رابطه بین ساختمان‌ها و محیط اطراف آن‌ها برای معماران، مهندسان شهرسازی و هواشناسان همواره یک

چالش میان‌رشته‌ای بوده‌است (Berkovic et al, 2012:1173). در ابتدا، هواشناسان به تأثیر شهرنشینی بر تغییرات آب و هوایی علاقه‌مند بودند و برنامه‌ریزان شهری تأثیر مورفولوژی شهری را در استفاده از انرژی و آسایش حرارتی در ساختمان‌ها و محیط‌های شهری مطالعه نمودند (Blowers, 2013; Van Esch et al, 2012). معماران نیز انرژی و آسایش حرارتی را بیشتر در مقیاس ساختمان در نظر می‌گرفتند (Granadeiro et al, 2013; Van Esch et al, 2012). از دهه ۱۹۶۰، برنامه ریزان و معماران دریافتند که تمرکز بر روی ساختمان‌های فردی به تنهایی کافی نیست بلکه مهم است که تجزیه و تحلیل را به گروه‌های ساختمان یا بلوک‌های شهری گسترش دهند (Sanaieian et al, 2014:552). یکی از جنبه‌های مهم در برنامه‌ریزی بلوک‌های شهری، تأثیر شکل شهری بر استفاده از انرژی است، به همین سبب مطالعات زیادی در مقیاس محله انجام شده‌است (Perkins et al, 2009; Haapio, 2012). ارکویزو و همکاران درمقاله‌ای کاربرد بالقوه رابطه نزدیک بین چهار ویژگی مورفولوژیکی شهری و مصرف نهایی انرژی ساختمان بررسی کرده و نتایجی را به دست آوردند که برای تفسیر سایر نواحی شهر و ارائه قوانین کلی برای اقدامات بهره‌وری انرژی مفید است (Urquizo et al, 2017). رد و همکاران میزان تقاضای انرژی گرمایشی را در ارتباط با شاخص های تراکم، نسبت سطح به حجم، ارتفاع و سطح اشغال ساختمان در الگوهای مختلف ساختمانی در شهرهای پاریس، لندن، برلین و استانبول ارزیابی نموده‌اند (Rode et al, 2014). وارتولومایوس در مطالعه‌ای نتایج تجزیه و تحلیل پارامتری تأثیر فرم شهری شهر تسالونیکی با اقلیم مدیترانه‌ای را بر مصرف انرژی خانگی جهت گرمایش و سرمایش ارائه می‌دهد (Vartholomaios, 2017). ناتانیان و همکاران در مقاله‌ای گردش‌کار پارامتریک خودکار برای طراحی شهری مبتنی بر عملکرد در شرایط آب و هوایی و مدیترانه‌ای را معرفی نموده‌اند (Natanian et al, 2019). ژانگ و همکاران در مقاله‌ای نتایج تحقیق در مورد رابطه بین تیپولوژی بلوک‌های شهری و کارایی استفاده از انرژی ساختمان در شهر گرمسیری و متراکم سنگاپور را ارائه می‌دهند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تفاوت در نوع بلوک شهری می تواند منجر به ۲۵٪ کاهش شدت استفاده از انرژی خالص ساختمان گردد (Zhang et al, 2019). شریف در مقاله‌ای به بررسی تأثیر مورفولوژی شهری، به ویژه تنوع ارتفاع بر بار خنک‌کننده در شرایط آب و هوایی محلی امارات پرداخته‌است. نتایج نشان داد که جهت‌گیری مؤثرترین عامل در بار سرمایش بلوک شهری و مصرف انرژی است (Shareef 2021). شریف و آلتان در مطالعه دیگری به بررسی تأثیر پیکربندی سینوسی بلوک‌های شهری بر پارامترهای ریز اقلیم فضای باز و مصرف انرژی داخلی در شرایط آب و هوایی گرم امارات پرداختند. نتایج این مطالعه با ارائه یک پیکربندی بلوک شهری بهینه برای مناطق دارای آب و هوای گرم، به سیاست‌ها و مقررات برنامه‌ریزی شهری این مناطق کمک می‌کند (Shareef & Altan 2022). ابراهیم و همکاران در مقاله‌ای ارتفاع ساختمان، جهت گیری و فضاهای بین حیاط‌های بلوک‌ها را با استفاده از یک الگوریتم تکاملی در محیط طراحی پارامتریک گرسهاپر برای آب و هوای گرم و خشک قاهره بهینه‌سازی نمودند (Ibrahim et al. 2022). لنگ و همکاران در مطالعه‌ای تأثیر مورفولوژی شهری بر مصرف انرژی گرمایشی در اقلیم سرد را ارزیابی نمودند. طبق نتایج این پژوهش نسبت مساحت کف[5] مهمترین عامل در صرفه جویی در انرژی گرمایشی تا ۱۰.۸۲۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال می‌باشد (Leng et al, 2020). کوان در مطالعه‌ای عملکرد انرژی سناریوهای مختلف طراحی محله مسکونی را تحت مقررات منطقه‌بندی فعلی، با استفاده از روش طراحی پارامتریک و ابزارهای مدل‌سازی شبیه‌سازی در مطالعه موردی یک محله مسکونی فرضی در شانگهای بررسی نموده‌است (Quan, 2017). کوان و همکاران در مقاله‌ای دیگر به درک بهتر تاثیر بافت شهری بر مصرف انرژی ساختمان می‌پردازند. نتایج نشان می‌دهد که مصرف انرژی با تراکم قبل از یک نقطه عطف رابطه منفی دارد و سپس رابطه به مثبت تغییر می کند. همچنین با تراکم یکسان، نسبت پوشش ساختمان و گونه‌شناسی متفاوت می‌تواند منجر به تغییرات زیادی در مصرف انرژی شود (Quan et al, 2014). صنایعیان و

غرابی در مقاله‌ای اصلی‌ترین شاخص‌های موثر در مصرف انرژی ساختمان را از دیدگاه پژوهشگران مختلف را مرور کرده و همچنین مکان قرارگیری توده ساختمان در سایت در ۶ حالت کلی در اقلیم شهر تهران را بررسی نمودند (صنایعیان و غرابی، ۱۳۹۸). کوان و همکاران در مطالعه دیگری رابطه بین فرم شهری و عملکرد انرژی ساختمان را بر اساس مطالعه موردی نه محله شانگهای بررسی می‌کنند (Quan et al, 2016). با توجه به مرور ادبیات و مطالعه پژوهش‌های انجام شده تاکنون مشخص گردید که بسیاری از مطالعات پیشین در مقیاس بزرگ شهری انجام شده‌اند (Hadavi & Pasdarshahri, 2019; Pakzad & Salari, 2018; Urquizo et al, 2017). در حالیکه واحدهای همسایگی به عنوان واحدهای کوچکتر سازنده شهرها، نقش زیادی در مصرف انرژی کل شهر دارند و توجه به نحوه طراحی و ساخت آن‌ها از بسیاری از چالش‌ها و مشکلات محیطزیستی جلوگیری خواهد نمود. همچنین پارامتر محیطی بررسی شده در بسیاری از این پژوهش‌ها، دسترسی خورشیدی (Taleghani et al, 2013; Hachem-vermette, 2019)، تهویه (Lim & Ooka 2021; Hadavi & Pasdarshahri, 2019) اثر جزیره گرمایی (Xiaodong Xu et al, 2019; Allegrini et al, 2015; Alobaydi et al, 2016) و... بوده و تعداد کمتری از آن‌ها به بررسی میزان مصرف انرژی پرداخته‌اند. علاوه بر آن، از میان این پژوهش‌ها تعدادی به بررسی فرم بلوک‌های شهری یا پارامترهای فرمی آن‌ها پرداخته‌اند و نحوه و هندسه قرارگیری بلوک‌ها در کنار هم و در سایت را کمتر مورد بررسی قرار داده‌اند (Rode et al, 2014; Vartholomaios, 2017; Zhang et al, 2019). به همین دلیل از بین پارامترهای بررسی شده، سه پارامتر برای بررسی در این پژوهش طوری انتخاب شده‌اند که هم نماینده فرم و هم هندسه قرارگیری بلوک‌ها در سایت بوده و هم در پژوهش‌های مشابهی که تاکنون انجام شده‌اند به طور همزمان مورد بررسی قرار نگرفته باشند. خلاصه مهم‌ترین پارامترهای بررسی شده در پژوهش‌های اخیر در جدول ۸ ذکر شده‌است. مسئله بعدی روش انجام پژوهش‌های پیشین می‌باشد که بسیاری از آن‌ها از طریق تحلیل و بررسی نمونه‌های موردی موجود یا پیشنهاد چند مورفولوژی و چیدمان فرضی و تحلیل آن‌ها به بهترین مورفولوژی و چیدمان یا بهینه‌ترین مقدار پارامترها دست پیدا نمودند (Zhang et al, 2019; Vartholomaios, 2017; Leng et al, 2020). در حالیکه ممکن است بهترین چیدمان و بهینه‌ترین مقدار پارامترها و میزان تاثیرگذاری آن‌ها و به طور کلی بهترین جواب، خارج از نمونه‌های موجود و فرضی باشد. در این پژوهش ابتدا از طریق تحلیل محتوا و مطالعه اسناد معتبر، مهم‌ترین پارامترهای مربوط به چیدمان بلوک‌ها که در میزان مصرف انرژی تاثیرگذار هستند شناسایی گشته و سپس از طریق بهینه‌سازی این پارامترها بوسیله الگوریتم ژنتیک به بهینه‌ترین چیدمان بلوک‌ها از نظر مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی دست پیدا خواهیم نمود.

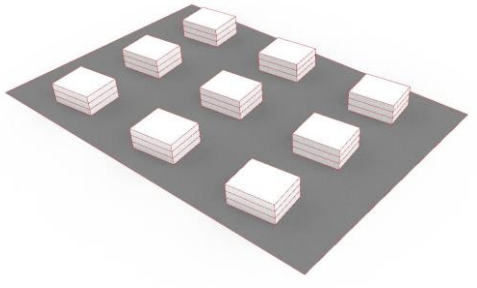
۵- روش تحقیق

این مطالعه بر روی یک فرآیند بهینه‌سازی به کمک رایانه و بوسیله نرم‌افزارهای راینو و گرسهاپر و پلاگین‌های طراحی پارامتریک مربوط به آن‌ها مانند لیدی باگ، هانی بی و گالاپاگوس[۶] تمرکز دارد. در این پژوهش با روش تحلیلی – محاسباتی و از طریق بهینه‌سازی چندپارامتری بوسیله الگوریتم ژنتیک، پارامترهای چیدمان منتخب با هدف به حداقل رساندن میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی، بهینه‌سازی گشته و به دنبال آن بهترین الگوهای چیدمان بلوک‌های مسکونی در یک واحد همسایگی که دارای کمترین میزان مصرف انرژی می‌باشند استخراج و مورد تحلیل و بررسی قرار خواهند گرفت. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده‌است، کار به ۵ مرحله اصلی تقسیم شد. ابتدا پس از مطالعه پژوهش‌های پیشین، سه پارامتر کلیدی که فرم و چیدمان کلی یک واحد همسایگی را شکل داده است و همچنین تأثیر قابل توجهی در میزان مصرف انرژی دارند و تاکنون در هیچ پژوهشی به طور همزمان مورد بررسی قرار نگرفتند، جهت بهینه‌سازی انتخاب گردیدند. این پارامترها شامل: الف- نسبت طول به عرض بلوک ب- جهت‌گیری بلوک‌ها ج- نسبت ارتفاع بلوک (ثابت) به فاصله آن از بلوک‌های جانبی (متغیر) می‌باشند.



شکل ۱- ساختار کلی و روش تحقیق پژوهش. (مأخذ: نگارندگان)

در مرحله دوم یک مدل مولد پارامتریک جهت تولید انواع سناریوهای طراحی ممکن برای یک واحد همسایگی مسکونی در نرم‌افزارهای راینو و گرسهاپر شبیه‌سازی گردید که شامل ساختمان‌هایی با مشخصات ساختاری و حرارتی یکسان می‌باشد (شکل۲). الگوریتم این مدل هندسی از پارامترهای ثابت استخراج شده از ضوابط طراحی سایت فرضی در نظر گرفته‌شده در جزیره کیش (جدول۱) و همچنین پارامترهای متغیر نام برده‌شده جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی تشکیل شده‌است (جدول۲). بنابراین با توجه به این پارامترهای ثابت و مساحت سایت فرضی، یک شبکه ۳×۳ از بلوک‌های مسکونی ۳ طبقه با سطح زیر بنای ۱۱۰۰ و سطح اشغال ۳۷۰ مترمربع طراحی و مدلسازی شده و مقدار طول و عرض بلوک‌ها، جهت‌گیری و فاصله جانبی بین بلوک‌ها نیز جهت بهینه‌سازی به صورت پارامترهای متغیر به الگوریتم اعمال گردیدند. در مرحله سوم، الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی پارامترهای چیدمان منتخب (متغیرهای مستقل) به مدل پارامتریک مولد اعمال شده و در مرحله چهارم چند نمونه از مدل‌های بهینه استخراج‌شده از الگوریتم ژنتیک در نرم افزار دیزاین بیلدر جهت اعتبارسنجی شبیه‌سازی گردید. در مرحله آخر نیز نتایج به‌دست آمده، تحلیل و جمع‌بندی گردیدند.



شکل ۲- مدل پارامتریک مولد در محیط گرسهاپر. (مأخذ: نگارندگان)

جدول ۱- پارامترهای ثابت اعمال شده به مدل پارامتریک مولد. (مأخذ: نگارندگان)

پارامترهای ورودی ثابت	مقدار اعمال شده
تعداد طبقات	۳ طبقه
سطح اشغال	۳۷۰ متر مربع برای هر بلوک
تراکم (نسبت زیربنای ساخته‌شده)	۵۰ درصد

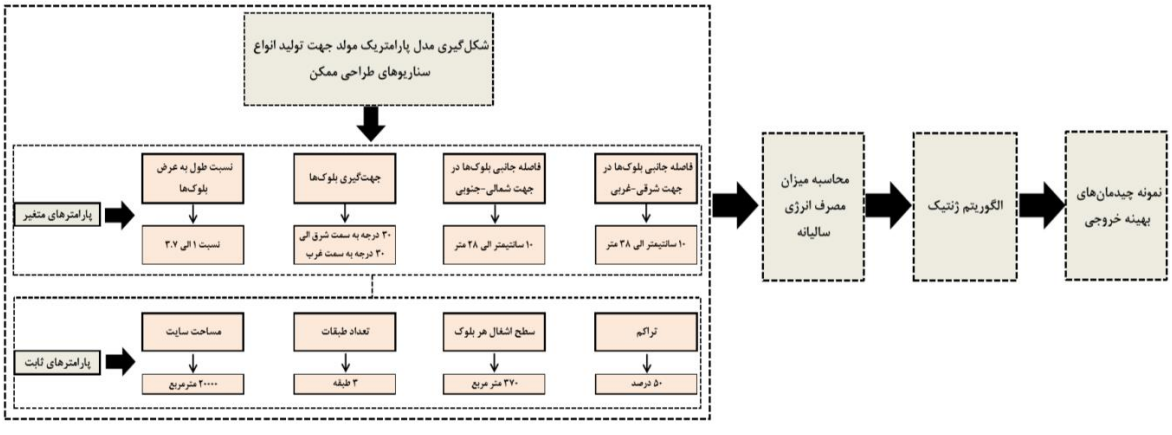
مساحت سایت	۲۰۰۰۰ متر مربع

۶- مبانی نظری

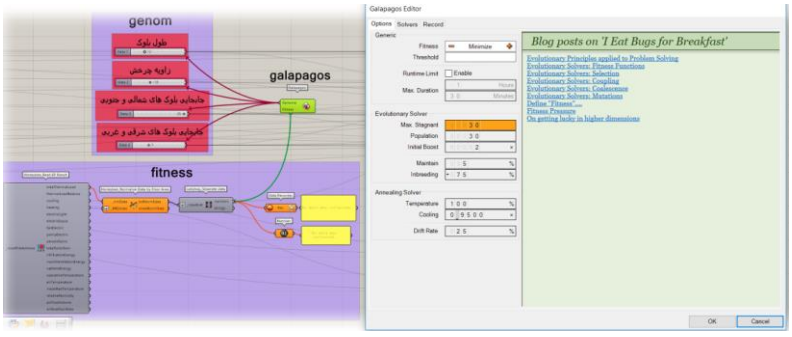
الگوریتم ژنتیک روشی برای جستجو و بهینه‌سازی است که از اصول ژنتیک و انتخاب طبیعت الهام گرفته شده‌است(Deb, 1999:295). ماژول گالاپاگوس ابزاری است که امکان فرآیند بهینه‌سازی را بوسیله الگوریتم ژنتیک در محیط گرسهاپر تولید کرده و در این پژوهش برای به حداقل رساندن میزان مصرف انرژی به عنوان هدف بهینه‌سازی استفاده می‌گردد. الگوریتم از طریق کنترل شرایط اساسی (ژن‌ها) به جستجوی محدوده ایده‌آلی از راه‌حل‌های امکان‌پذیر می‌پردازد و روند تأثیر ترکیب ژن بر نتیجه را با ترکیب مجدد ژن‌ها جستجو می‌کند و در نهایت بهترین راه‌حل را تعیین می‌کند. شکل ۳ خلاصه الگوریتم نوشته شده برای انجام این پژوهش را نشان می‌دهد. برای انجام این پژوهش، پارامترهای چیدمان منتخب که نسبت طول به عرض بلوک، جهت‌گیری و نسبت ارتفاع به فاصله جانبی بین بلوک‌ها می‌باشند به عنوان ژن‌ها (متغیرهای مستقل) و میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی کل سالیانه که از طریق پلاگین‌های لیدی باگ و هانی بی محاسبه می‌گردد به عنوان تابع هدف (متغیر وابسته) به گالاپاگوس اعمال گردید. تنظیمات و ورودی‌های اعمال شده به گالاپاگوس در شکل۴ نشان داده شده‌است.

جدول ۲- پارامترهای متغیر (متغیرهای مستقل) و بازه تغییر آن‌ها. (مأخذ: نگارندگان)

متغیرهای مستقل (ژنوم‌ها)	بازه تغییر
جهت‌گیری بلوک‌ها	۰-۳۰ درجه به سمت غرب و ۳۰-۰ درجه به سمت شرق
نسبت طول به عرض بلوک	۱/۷-۳
نسبت ارتفاع به فاصله شمالی- جنوبی بلوک‌ها	۰/۹۶-۳۳
نسبت ارتفاع به فاصله شرقی- غربی بلوک‌ها	۰/۲۵ -۹۶



شکل ۳: خلاصه الگوریتم نوشته شده در محیط گرسهاپر. (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۴: تنظیمات و ورودی‌های اعمال شده به گالاپاگوس. (مأخذ: نگارندگان)

۷- مطالعات و بررسی ها

۷-۱ متغیر وابسته

متغیر وابسته یا همان تابع هدف در این پژوهش مقدار مصرف انرژی سالانه بوده که به وسیله دو پلاگین لیدی باگ و هانی بی محاسبه می‌گردد. این دو پلاگین، گرسهاپر را به چندین مورد از موتورهای شبیه‌سازی فیزیکی معتبر، مانند انرژی پلاس[۷]، رادینس[۸]، دیسیم[۹] و اپن استدیو[10] برای شبیه‌سازی انرژی ساختمان، آسایش حرارتی، روشنایی روز و شبیه‌سازی روشنایی متصل می‌کند. موتور انرژی پلاس یک شبیه‌سازی دینامیکی حرارتی کامل سالانه را انجام داده و در نتیجه، مصرف سالانه انرژی برای گرمایش و سرمایش مدل به‌دست خواهدآمد. پیش‌فرض‌ها و تنظیمات اعمال شده به لیدی باگ و هانی بی برای محاسبه میزان مصرف انرژی در جدول ۳ ذکر شده‌است.

جدول ۳- تنظیمات اعمال شده به الگوریتم مصرف انرژی در هانی بی. (مأخذ: نگارندگان)

پارامتر	مقدار
نقطه تنظیم[11]	سرمایش: ۲۵درجه
	گرمایش: ۲۰ درجه
ضریب عملکرد[۱۲]	سیستم سرمایشی: ۱.۸
	سیستم گرمایشی: ۰.۸۵
مقاومت حرارتی مصالح	دیوارخارجی: ۲.۷۳
	بام: ۲.۷۰
	کف طبقه همکف: ۰.۴۴
	کف بین طبقات: ۰.۵۶
برنامه زمان‌بندی	سیستم سرمایشی: Apr-Nov: هر روز از ساعت ۱۰ الی ۲۱ Dec ،March: هر روز از ساعت ۱۱ الی ۱۶ Feb ،Jan: خاموش
	سیستم گرمایشی: روشن
	سیستم روشنایی: خاموش

۷-۲ متغیرهای مستقل

۷-۲-۱ نسبت طول به عرض بلوک

اولین قسمت الگوریتم مربوط به پارامتر نسبت طـول بـه عرض بلوک است. نسبت طول به عرض بلوک یکـی از

پارامترهای مهمی است که میزان کشیدگی ساختمان و همچنین نسبت سطح به حجم آن را تعیین می‌کند. برای بازه این متغیر، از نسبت ۱ که یک ساختمان مربع شکل با کمترین میزان نسبت سطح به حجم است تا نسبت ۳/۷ که با توجه به مساحت در نظر گرفته‌شده برای بلوک و محدودیت‌های معماری، نماینده بیشترین کشیدگی و بیشترین نسبت سطح به حجم در بلوک‌های شبیه‌سازی شده این پژوهش می‌باشد، در نظر گرفته شده‌است. نسبت‌های طول به عرض اعمال شده به الگوریتم در جدول ۴ نشان داده شده‌است.

۷-۲-۲ جهت‌گیری

دومین قسمت الگوریتم مربوط به پارامتر جهت‌گیری است. در این پژوهش، پارامتر جهت‌گیری برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر و به‌دلیل کاهش زمان محاسبات در بازه ۳۰ درجه زاویه به سمت شرق الی ۳۰ درجه زاویه به سمت غرب در نظر گرفته‌شد.

۷-۲-۳ نسبت ارتفاع به فواصل جانبی بین بلوک‌ها

این پارامتر سومین قسمت از الگوریتم نوشته شده می‌باشد. از آنجاکه طبق طرح جامع جزیره کیش، سایت فرضی تنها قابلیت ساختمان‌هایی با محدودیت ارتفاعی ۳ طبقه را داراست، برای بهینه‌سازی این پارامتر، ارتفاع ثابت و فواصل جانبی بین بلوک‌ها هم در جهت شمالی-جنوبی و هم در جهت شرقی- غربی متغیر در نظر گرفته‌شدند و به الگوریتم اعمال گردیدند. این پارامترها میزان فاصله بین بلوک‌ها و همچنین نحوه قرارگیری کلی آن‌ها در سایت مورد نظر را تعیین می‌کنند. با توجه به ابعاد سایت و بلوک‌ها بازه تغییر این ژنوم‌ها طوری در نظر گرفته‌شد که از کمترین فاصله (۱۰ سانتی‌متر) که عملا ساختمان‌ها متصل به یکدیگر هستند تا بیشترین فاصله امکان‌پذیر (۲۸ متر در جهت شمالی-جنوبی و ۳۸ متر در جهت شرقی-غربی) در سایت را پوشش دهند.

جدول ۴- نسبت‌های طول به عرض اعمال شده به الگوریتم مدل مولد (کشیدگی شرقی- غربی). (مأخذ: نگارندگان)

۱/۰۲	۱/۱۴	۱/۲۸	۱/۴۴	۱/۶۴	۱/۹	۲/۱۹	۲/۵۶	۳/۰۶	۳/۷

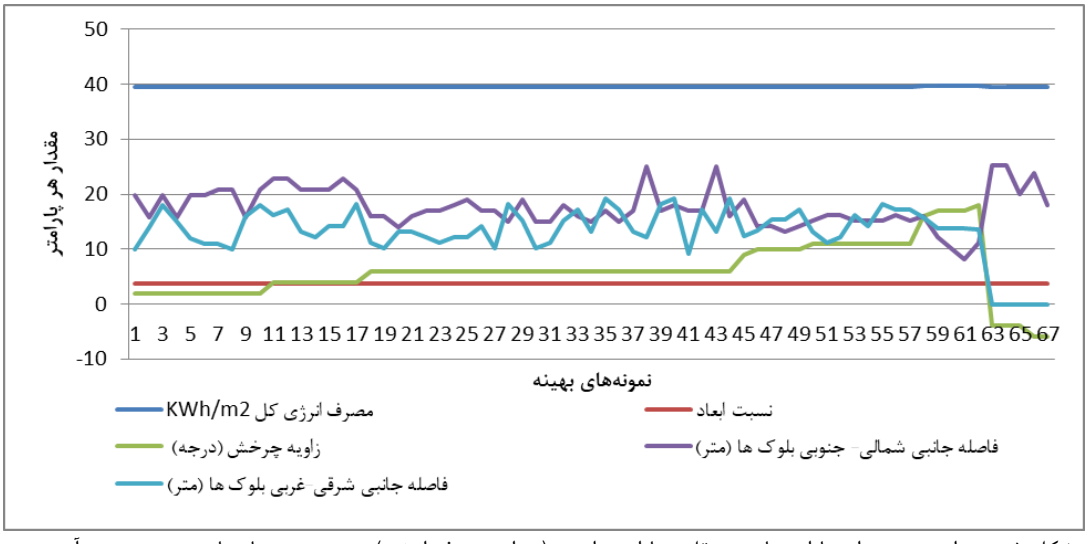
۷-۳ بستر پژوهش

با توجه به شرایط بالاتر از حد آسایش اقلیم گرم و مرطوب و مصرف بالای انرژی ساختمان‌های این منطقه جهت دستیابی به شرایط آسایش و ضرورت یافتن راهکارهایی برای کاهش مصرف انرژی این منطقه در سطح کلان، بستر پژوهش در این اقلیم و در یک سایت فرضی در جزیره کیش انتخاب گردید. از دلایل دیگر انتخاب جزیره کیش، علاوه بر اقلیم گرم و مرطوب آن می‌توان به سرعت بالای توسعه و ساخت و ساز این منطقه در سال‌های اخیر اشاره نمود. بنابراین بدیهی است که با یافتن راهکارهای مناسب جهت کاهش مصرف انرژی می‌توان ساخت و سازهای آینده این منطقه را بهبود بخشید و گامی مهم در جهت توسعه پایدار این جزیره برداشت.

۸- یافته‌های تحقیق

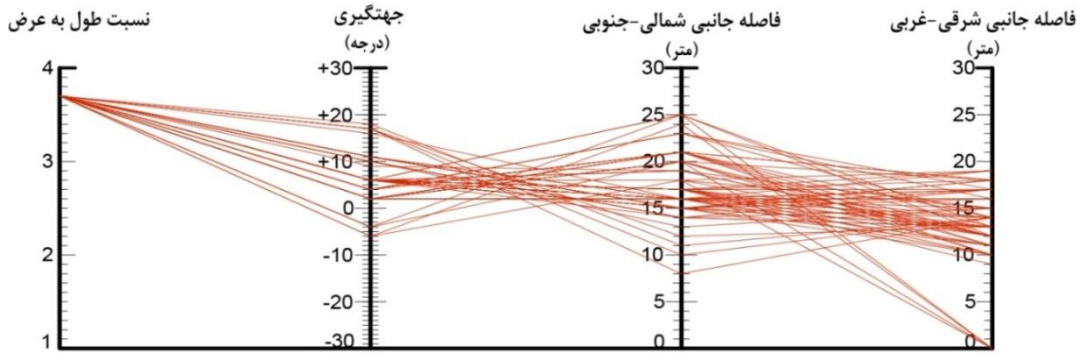
پس از اعمال الگوریتم ژنتیک، ۷۰۰ نمونه از چیدمان‌های مختلف بلوک‌ها در سایت مورد نظر شبیه‌سازی گردید و از بین این حالات ۶۶ نمونه از آن‌ها یعنی حدود ۹.۵ درصد حالات، مصرف انرژی کمتر از ۴۰ کیلووات ساعت بر متر مربع داشته‌اند که این مقدار

کمترین میزان مصرف انرژی محاسبه شده توسط الگوریتم بوده‌است. همچنین طبق این خروجی‌ها بدترین حالات چیدمان دارای ۶۲ کیلووات ساعت بر متر مربع مصرف انرژی بوده‌اند، بنابراین با بهینه‌سازی چیدمان بلوک‌های مسکونی می‌توان تا حدود ۳۷ درصد در میزان مصرف انرژی سرمایشی و گرمایشی صرفه‌جویی نمود. لازم به ذکر است که تقریبا کل مصرف انرژی محاسبه شده مربوط به مصرف انرژی سرمایشی بوده و میزان مصرف انرژی گرمایشی نزدیک به صفر بوده‌است. شکل ۵ نمودار روند تغییرات پارامترهای بهینه‌سازی شده را در نمونه چیدمان‌های بهینه به‌دست آمده که میزان مصرف انرژی سرمایشی آن‌ها حدود ۴۰ کیلووات ساعت بر متر مربع است را نشان می‌دهد. در این نمودار به خوبی مشخص است که بیشترین فراوانی جهت‌گیری در نمونه‌های بهینه مربوط به جهت‌گیری ۰ تا ۱۰ درجه غربی بوده و بیشترین فراوانی فاصله جانبی در بین نمونه‌های بهینه، فواصل بین ۱۰ تا ۲۰ متر بوده‌است. همچنین نسبت طول به عرض در همه نمونه‌های بهینه ثابت و ۳/۷ است.



شکل ۵- نمودار روند تغییرات پارامترهای مستقل و پارامتر وابسته (میزان مصرف انرژی) در نمونه چیدمان‌های بهینه به‌دست آمده (نمونه چیدمان‌ها با مصرف انرژی کمتر از ۴۰ کیلووات ساعت بر مترمربع). (مأخذ: نگارندگان)

شکل ۶ نمودار رابطه بین پارامترهای مستقل را در نمونه چیدمان‌های بهینه به‌دست آمده که میزان مصرف انرژی آن‌ها حدود ۴۰ کیلووات ساعت بر متر مربع است را نشان می‌دهد. در این نمودار مشخص است که در نمونه‌هایی که میزان جهت‌گیری بیشتری به سمت غرب داشته‌اند (۱۶ تا ۱۸ درجه)، میزان فاصله جانبی شمالی- جنوبی کمتر شده (۸ تا ۱۲ متر) که نشان می‌دهد در این نمونه چیدمان‌ها، جهت‌گیری زیاد به سمت غرب با کاهش فاصله شمالی- جنوبی بین بلوک‌ها که موجب افزایش سایه‌اندازی خواهد شد جبران می‌گردد. همچنین در نمونه چیدمان‌هایی که به سمت شرق جهت‌گیری داشته‌اند، جانمایی بلوک‌ها شکل پلکانی (جدول۶) به خود گرفته و همجواری شرق و غرب بلوک‌ها آزاد گشته که در این نمودار این مقدار با عدد صفر نشان داده شده‌است.



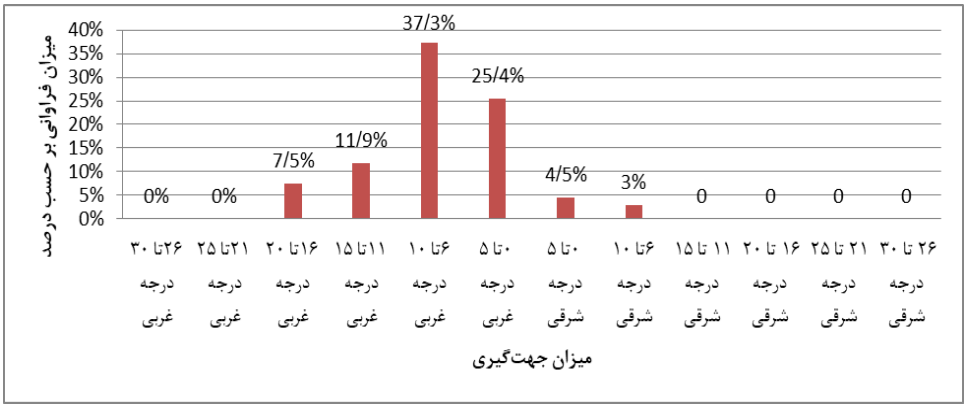
شکل ۶- نمودار رابطه بین متغیرهای مستقل در نمونه چیدمان‌های بهینه به‌دست آمده (نمونه چیدمان‌ها با مصرف انرژی کمتر از ۴۰ کیلووات ساعت بر مترمربع). (مأخذ: نگارندگان)

۸-۱ نسبت طول به عرض بلوک

تمامی نمونه‌چیدمان‌های بهینه خروجی الگوریتم دارای بیشترین نسبت طول به عرض ممکن یعنی ۳/۷ بوده‌اند. این مسئله به خوبی تاثیر کشیدگی زیاد بناها و به دنبال آن تاثیر نسبت سطح به حجم بیشتر بناها در اقلیم گرم و مرطوب را نشان می‌دهد. بنابراین بهینه‌ترین نسبت ابعاد طول به عرض برای چیدمان بلوک‌های مسکونی در این اقلیم، نسبت ۳/۷ بوده و در کل هرچه کشیدگی شرقی-غربی و نسبت سطح به حجم بنا بیشتر باشد بهتر است.

۸-۲ جهت‌گیری

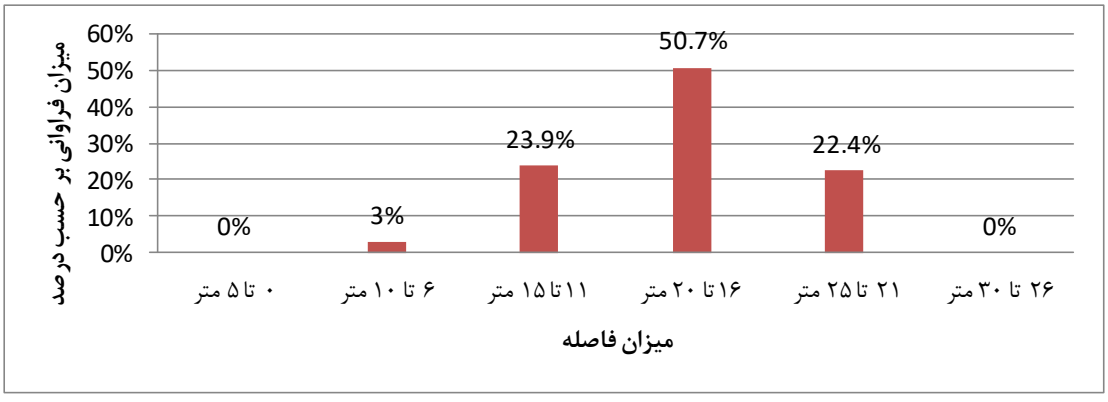
همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده‌است، از بین این چیدمان‌های بهینه بدست آمده، حدود ۲۵ درصد آن‌ها جهت‌گیری ۰ تا ۵ درجه به سمت غرب، ۳۷ درصد جهت‌گیری ۵ تا ۱۰ درجه به سمت غرب، ۱۲ درصد جهت‌گیری ۱۰ تا ۱۵ درجه به سمت غرب و ۷/۵ درصد جهت‌گیری ۱۵ تا ۲۰ درجه به‌سمت غرب داشته‌اند، همچنین ۴/۵ درصد آن‌ها جهت‌گیری ۰ تا ۵ درجه به سمت شرق و ۳ درصد جهت‌گیری ۵ تا ۱۰ درجه به سمت شرق داشته‌اند. بنابراین در اکثر چیدمان‌های بهینه، میزان جهت‌گیری به سمت غرب بوده و بهینه‌ترین میزان جهت‌گیری بین ۵ تا ۱۰ درجه به سمت غرب می‌باشد. طبق نتایج به‌دست‌آمده بیشترین میزان مجاز چرخش به سمت غرب ۱۸ درجه بوده و جهت‌گیری بیشتر از این مقدار در نمونه چیدمان‌های بهینه ثبت نشده‌است.



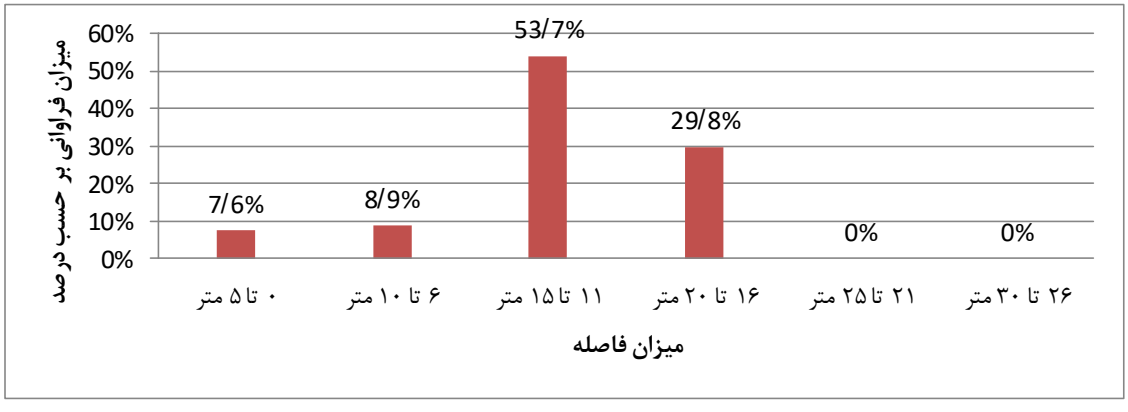
شکل ۷- درصد فراوانی جهت‌گیری‌ها در چیدمان‌های بهینه ثبت شده (نمونه چیدمان‌ها با مصرف انرژی کمتر از ۴۰ کیلووات ساعت بر مترمربع). (مأخذ: نگارندگان)

۳-۸ نسبت ارتفاع به فواصل جانبی بین بلوک‌ها

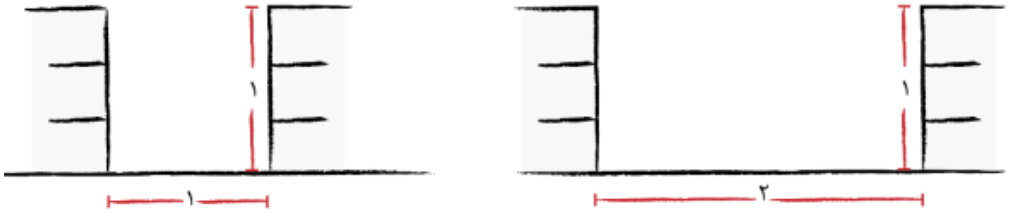
بیشترین فراوانی فاصله جانبی شمالی- جنوبی در بین نمونه‌های بهینه ثبت شده، متعلق به فواصل بین ۱۰ تا ۲۰ متر بوده‌است و فواصل ۰ تا ۵ متر و ۲۶ تا ۳۰ متر اصلا در نمونه‌های بهینه ثبت نشده و کمترین فراوانی را داشته‌اند (شکل۸). همچنین بیشترین فراوانی فاصله شرقی-غربی در نمونه‌های بهینه متعلق به فواصل ۱۱ الی ۱۵ متر و کمترین فراوانی متعلق به فواصل ۲۱ تا ۳۰ متر بوده‌است که اصلا در نمونه‌های بهینه ثبت نشده‌اند (شکل۹). نتایج این بخش نشان می‌دهد که با توجه به ارتفاع ثابت در نظر گرفته‌شده برای بلوک‌ها (۹/۶ متر)، به طور کلی بهینه‌ترین نسبت ارتفاع به فاصله جانبی بین بلوک‌ها در این اقلیم بین ۰/۵ الی ۱ بوده که در این بازه بیشترین فاصله شمالی- جنوبی تکرار شده در چیدمان‌های بهینه، متعلق به نسبت‌های نزدیک‌تر به ۰/۵ و بیشترین فاصله شرقی-غربی تکرار شده در چیدمان‌های بهینه، متعلق به نسبت‌های نزدیک‌تر به ۱ می‌باشند که این نتیجه اهمیت میزان سایه‌اندازی بیشتر را در جبهه‌های غربی و شرقی نشان می‌دهد. شکل ۱۰ نسبت‌های ارتفاع به فاصله جانبی ۰/۵ و ۱ را نشان می‌دهد.



شکل ۸- درصد فراوانی فواصل جانبی شمالی- جنوبی در چیدمان‌های بهینه ثبت شده (نمونه چیدمان‌ها با مصرف انرژی کمتر از ۴۰ کیلووات ساعت بر مترمربع). (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۹- درصد فراوانی فواصل جانبی شرقی-غربی در چیدمان‌های بهینه ثبت شده (نمونه چیدمان‌ها با مصرف انرژی کمتر از ۴۰ کیلووات ساعت بر مترمربع). (مأخذ: نگارندگان)

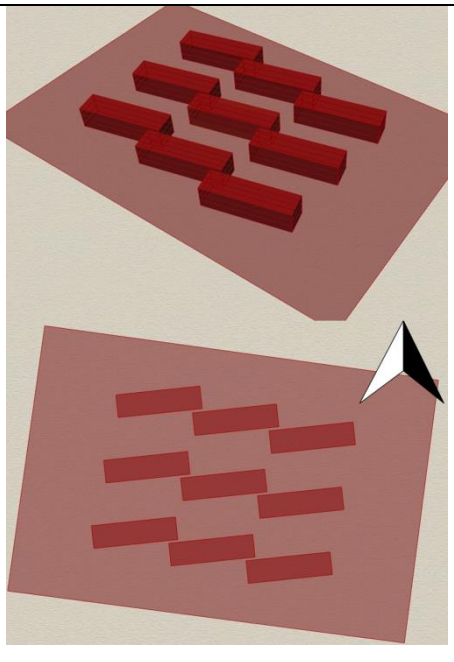
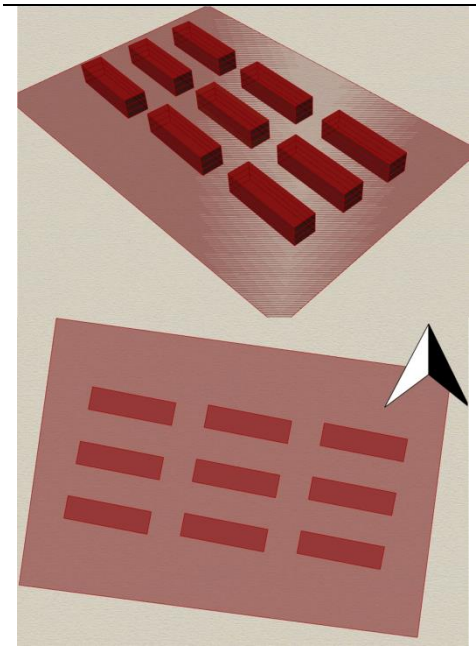


شکل ۱۰- به ترتیب از راست به چپ: نسبت ارتفاع به فاصله ۰/۵ و ۱. (مأخذ: نگارندگان)

۸-۴ فرم چیدمان‌های بهینه

۶۶ نمونه چیدمان بهینه خروجی از الگوریتم ژنتیک، از نظر فرم قرارگیری بلوک‌ها در کنار هم به دو دسته کلی تقسیم شدند (جدول۵) که شامل چیدمان پلکانی با جهت‌گیری به سمت شرق و چیدمان خطی با جهت‌گیری به سمت غرب می‌باشد. در چیدمان پلکانی از طریق جهت‌گیری مناسب بلوک‌ها که به سمت شرق می‌باشد و همچنین آرایش پلکانی بلوک‌ها که میزان نفوذ نور غرب را کاهش داده‌است میزان مصرف انرژی سرمایشی کاهش می‌یابد. در چیدمان خطی نیز جهت‌گیری به سمت غرب باعث سایه اندازی بلوک‌های جنوبی بر روی بلوک‌های قرارگرفته در پشت آن‌ها در هنگام غروب شده و نفوذ نور مزاحم غربی را به داخل سایت کاهش می‌دهد و از این طریق مصرف انرژی سرمایشی کل بلوک‌ها کاهش می‌یابد.

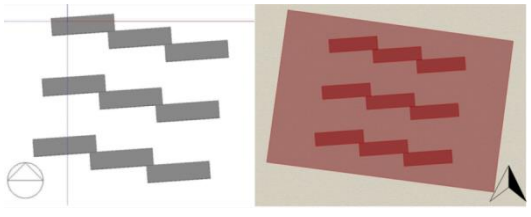
جدول ۵- جمع‌بندی چیدمان‌های بهینه و پارامترهای مربوط به آن‌ها. (مأخذ: نگارندگان)

چیدمان بهینه	چیدمان پلکانی	چیدمان خطی
تصویر		

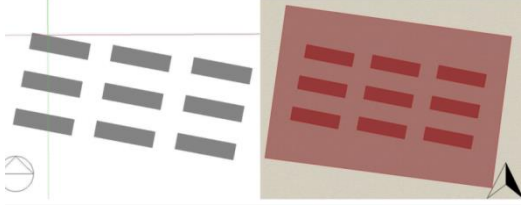
بازه نسبت طول به عرض	۳/۷	۳/۷
بازه جهت‌گیری	۶-۴ درجه به سمت شرق	۱۸-۲ درجه به سمت غرب
بازه فاصله جانبی شمالی- جنوبی	۲۵-۱۸ متر	۲۵- ۸ متر
بازه فاصله جانبی شرقی- غربی	—	۱۹- ۹ متر

۵-۸ اعتبارسنجی

در این مرحله جهت اعتبارسنجی نتایج، دو نمونه از چیدمان‌های بهینه به‌دست آمده از الگوریتم ژنتیک شامل چیدمان پلکانی (شکل۱۱) و چیدمان خطی (شکل۱۲) را در نرم‌افزار دیزاین بیلدر مدلسازی نموده و تنظیمات آن را مشابه تنظیمات الگوریتم انرژی هانی بی، به آن اعمال کردیم. طبق نتایج حاصل از اعتبارسنجی، نتایج در دو نرم‌افزار با اختلاف حدود ۱۱ کیلووات ساعت بر متر مربع در مصرف انرژی سرمایشی و حدود ۰/۲۵ کیلووات ساعت بر متر مربع در مصرف انرژی گرمایشی تفاوت دارند که این اختلاف به دلیل دقیق‌تر بودن جزئیات مربوط به سیستم‌های تاسیساتی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر می‌باشد که به دلیل ذات مقایسه‌ای بودن این پژوهش، این مقدار اختلاف، اخلالی در این مطالعه ایجاد نمی‌کند.



شکل ۱۱- به ترتیب از راست به چپ: چیدمان ۱ در نرم‌افزارهای گرسهاپر و دیزاین بیلدر. (مأخذ: نگارندگان)



شکل ۱۲- به ترتیب از راست به چپ: چیدمان ۲ در نرم‌افزارهای گرسهاپر و دیزاین بیلدر. (مأخذ: نگارندگان)

جدول ۶- مقایسه مصرف انرژی به‌دست آمده چیدمان ۱ در نرم‌افزارهای گرسهاپر و دیزاین بیلدر بر حسب kwh/m2. (مأخذ: نگارندگان)

چیدمان ۱	گرسهاپر	دیزاین بیلدر
مصرف انرژی کل	۳۹/۴۵	۵۰/۷۷
مصرف سیستم سرمایشی	۳۹/۴۵	۵۰/۵
مصرف سیستم گرمایشی	۰	۰/۲۷

جدول ۷- مقایسه مصرف انرژی به‌دست آمده چیدمان ۱ در نرم‌افزارهای گرسهاپر و دیزاین بیلدر بر حسب kwh/m2 (مأخذ: نگارندگان)

چیدمان ۲	گرسهاپر	دیزاین بیلدر
مصرف انرژی کل	۳۹/۴۹	۵۱/۹۸
مصرف سیستم سرمایشی	۳۹/۴۹	۵۱/۷۳
مصرف سیستم گرمایشی	۰	۰/۲۵

۶-۸ بحث

طبق نتایج پژوهش انجام شده، با افزایش نسبت طول به عرض بلوک که نشان‌دهنده نسبت سطح به حجم بلوک نیز می‌باشد در این اقلیم (گرم و مرطوب) میزان مصرف انرژی سرمایشی کاهش می‌یابد که این نتیجه مغایر با نتایج پژوهش انجام شده توسط ژو و همکاران در شهر بوستون بوده‌است که طبق نتیجه آن تغییر در تقاضای انرژی سرمایشی و گرمایشی همگی به صورت مجانبی با افزایش نسبت سطح به حجم افزایش می یابند (Xin Xu et al., 2020:6). این مغایرت می‌تواند به علت تفاوت در نوع این اقلیم‌ها می‌باشد چراکه پژوهش نام برده شده در اقلیم سرد انجام شده‌است. نتایج این مطالعه در رابطه با پارامتر جهت‌گیری، همسو با مطالعات وارتولومایوس که طبق آن جهت‌گیری جنوبی (جهت‌گیری ۰ درجه) حجم ساختمان، یکی از ویژگی‌های اشکال شهری کم‌انرژی می‌باشد (Vartholomaios, 2017:143) و همچنین نتایج شریف که نشان داد در شرایط آب و هوایی امارات جهتگیری شرقی- غربی (نمای اصلی ساختمان رو به جنوب) بهترین جهت برای به حداقل رساندن دمای هوای بیرون و مصرف انرژی داخلی است (Shareef, 2021:14)، می‌باشد. نکته مهم در رابطه با این پژوهش‌های نام برده شده این است که در آن‌ها پارامتر جهت‌گیری تنها در ۴ جهت اصلی یعنی ۰ درجه، ۴۵ درجه به سمت شرق و غرب و ۹۰ درجه مورد بررسی قرار داده شده‌است. اما این پارامتر در پژوهش انجام شده برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر در بازه ۳۰ درجه زاویه به سمت شرق الی ۳۰ درجه زاویه به سمت غرب بررسی شده‌است که طبق نتایج آن، جهت‌گیری کلی ساختمان‌ها به سمت جنوب بوده و دارای زاویه‌ای اندک نسبت به غرب و شرق می‌باشند. همچنین در این پژوهش تاثیر پارامتر نسبت ارتفاع به فاصله جانبی بین بلوک‌ها در هر دو جهت شمالی- جنوبی (فاصله ساختمان با همسایگی‌های شمالی و جنوبی) و شرقی- غربی (فاصله ساختمان با همسایگی‌های شرقی و غربی) بر میزان مصرف انرژی، در اقلیم گرم و مرطوب بررسی گردید. نتایج به دست آمده در این پژوهش که در آن نسبت بهینه بدست آمده نسبت‌های بین ۰/۵ و ۱ بوده‌است، تا حدودی همسو با پژوهش ژو و همکاران در بخش نسبت ارتفاع به عرض خیابان در شهر بوستون آمریکا می‌باشد که نشان می‌دهد افزایش نسبت ارتفاع به عرض خیابان ابتدا باعث افزایش مصرف انرژی سرمایشی شده اما پس از نزدیک شدن این نسبت به ۱،

مصرف انرژی شروع به کاهش یافتن می‌کنـد (Xin Xu et al., 2020:5).

۹- نتیجه تحقیق

با توجه به تاثیر غیر قابل انکار عوامل و شاخص‌هایی که در مقیاس‌های بالاتر از مقیاس یک ساختمان بر مصرف انرژی ساختمان‌ها تاثیر می‌گذارند و لزوم توجه به آن‌ها در مراحل اولیه طراحی، در این پژوهش با هدف یافتن بهینه‌ترین چیدمان‌های بلوک‌های مسکونی در اقلیم گرم و مرطوب ایران (نمونه موردی جزیره کیش)، سه پارامتر نسبت طول به عرض بلوک، جهت‌گیری بلوک و نسبت ارتفاع به فاصله جانبی بین بلوک‌ها را به‌وسیله نرم‌افزارهای شبیه‌سازی پارامتریک راینو و گرسهاپر و الگوریتم ژنتیک مورد بررسی قرار دادیم. طبق نتایج به‌دست آمده مشخص گردید که بهینه‌ترین چیدمان بلوک‌ها در این اقلیم شامل چیدمان پلکانی با جهت‌گیری به سمت شرق و چیدمان خطی با جهت‌گیری به سمت غرب می‌باشد. بنابراین طراحان هنگام طراحی در این مقیاس می‌توانند با توجه به شرایط و ضوابط معماری موجود یکی از این دو چیدمان کلی را برای طراحی انتخاب نموده و مقدار بهینه مربوط به هرکدام از پارامترهای بررسی شده را به آن چیدمان اعمال نمایند. بین پارامترهای بررسی شده نسبت طول به عرض بنا تاثیرگذارترین پارامتر در میزان مصرف انرژی بوده‌است. بنابراین لازم است هنگام طراحی در این اقلیم، این پارامتر نسبت به بقیه پارامترها در اولویت قرار گرفته و توجه زیادی به بهینه بودن مقدار آن گردد و تا حد ممکن میزان کشیدگی شرقی- غربی و نسبت سطح به حجم بنا افزایش داده‌شود. طبق نتایج بدست آمده از بررسی پارامتر جهت‌گیری بیشترین فراوانی این پارامتر در نمونه‌های بهینه متعلق به جهت‌گیری ۰ تا ۱۰ درجه غربی بوده‌است که این موضوع شرایط متفاوت طراحی یک محله یا واحد همسایگی را در مقایسه با یک تک‌بنای مستقل نشان می‌دهد، زیرا برخلاف اینکه برای طراحی یک بنای مستقل بهتر است جهت‌گیری بنا به سمت شرق بوده تا از نور مزاحم غرب در امان باشد، در طراحی چند بلوک به عنوان یک واحد همسایگی، جهت‌گیری رو به غرب میزان نفوذ نور غرب را به داخل سایت کاهش داده و سایه‌اندازی بلوک‌های جنوبی را بر روی بلوک‌هایی که در پشت آن‌ها قرار گرفته‌اند افزایش می‌دهد و این شرایط در مجموع میزان مصرف انرژی سرمایشی کل واحد همسایگی را کاهش خواهد داد. بنابراین بهتر است در هنگام طراحی در مقیاس بالا مانند طراحی یک محله یا واحد همسایگی، جهت‌گیری ساختمان‌ها اندکی به سمت غرب (حداکثر۱۸درجه) باشد. همچنین با توجه به نتایج بدست آمده مربوط به پارامتر نسبت ارتفاع به فاصله جانبی بین بلوک‌ها، بهتر است که در هنگام برنامه‌ریزی و طراحی یک واحد همسایگی یا محله، فاصله جانبی بین ساختمان‌ها و همسایگی‌های شمالی و جنوبی آن‌ها به گونه‌ای تنظیم گردد که نسبت ارتفاع به فاصله جانبی نزدیک به ۰/۵ و فاصله جانبی بین ساختمان‌ها و همسایگی‌های شرقی و غربی آن‌ها به گونه‌ای تنظیم گردد که نسبت ارتفاع به فاصله جانبی نزدیک به ۱ گردد.

۱۰-تشکر و قدردانی

با تشکر فراوان از اساتید گران‌قدرم سرکار خانم دکتر صنایعیان و جناب آقای دکتر خاکزند که با راهنمایی‌هایشان مرا در این راه، بسیار یاری نمودند.

۱۱-پی‌نوشت

[1] Rhino

[2] Grasshopper

[3] Ladybug

[4] Honeybee

[5] Floor Area Ratio

[6] Galapagos

[7] EnergyPlus TM

[8] Radiance

[9] DAYSIM

[10] OpenStudio

[11] Setpoint

[12] COP: Coefficient of performance

جدول ۸- خلاصه مهم‌ترین پارامترهای تاثیرگذار بر مصرف انرژی که در پژوهش‌های گوناگون مورد بررسی قرار گرفته‌اند. (مأخذ: نگارندگان)

عنوان پژوهش	سال	محقق	مهم‌ترین پارامترهای بررسی شده
Urban morphology and residential heat-energy demand	۲۰۱۴	Rode, Philipp و همکاران	گونه شناسی ساختمان،نسبت سطح اشغال ساختمان‌ها به سطح کل، پیکربندی ساختمان، تراکم ساختمان یا نسبت سطح طبقات (FAR)، نسبت سطح به حجم ساختمان (نمای خارجی+سقف/ حجم کلی ساختمان)، ارتفاع ساختمان ها
A parametric sensitivity analysis of the influence of urban form on domestic energy consumption for heating and cooling in a Mediterranean city	۲۰۱۷	Vartholomaios, Aristotelis	پارامترهای هندسی برای ۳ فرم غرفه، دال و بلوک شهری: تعداد طبقات، عرض فضای باز، جهت‌گیری، طول بلوک، فاصله جانبی بین ساختمان‌ها
A parametric approach to optimizing urban form, energy balance and environmental	۲۰۱۹	Natanian,Jonathan و همکاران	پارامترهای ساختمانی: نسبت پنجره به دیوار، ویژگی‌های شیشه، کاربری ساختمان

quality: The case of Mediterranean districts			پارامترهای شهری: نسبت سطح کف، فاصله بین ساختمان‌ها، جهت‌گیری شبکه شهری
Impact of urban block typology on building solar potential and energy use efficiency in tropical high-density city	۲۰۱۹	Zhang, Ji و همکاران	سطح اشغال ساختمان، نسبت فضای باز به سطح کل طبقات، نسبت مساحت به محیط، نسبت سطح به حجم ساختمان، نسبت مساحت سقف به طبقات، نسبت سطح سقف به سطوح نما، سطح اشغال پنل‌های خورشیدی، ضریب نمایش آسمان (skyEF)، ضریب دید به آسمان (SVF)
The impact of urban morphology and building's height diversity on energy consumption at urban scale. The case study of Dubai	۲۰۲۱	Shareef,Sundus	جهت‌گیری ساختمان‌ها و خیابان، تنوع ارتفاع ساختمان‌ها
Urban morphology and building heating energy consumption : Evidence from Harbin , a severe cold	۲۰۲۰	Hong Lenga, Xi و همکاران	بیشترین سطح اشغال ساختمان (BSC)، نسبت مساحت کف (FAR)، ارتفاع ساختمان (BH)، نسبت ارتفاع به عرض جاده (RHR)، سطح کل دیوار (WSA)، نسبت فضای سبز کمتر (GSR)
Energy efficient neighborhood design under residential zoning regulations in Shanghai	۲۰۱۷	Andri, I و همکاران	تراکم FAR، ارتفاع، چیدمان
An integrated model for quantifying the impacts of pavement albedo and urban morphology on building energy demand	۲۰۲۰	Xu, Xin و همکاران	ارتفاع ساختمان، نسبت ارتفاع به عرض خیابان، تراکم و طول ساختمان
Multi-objective optimisation of urban courtyard blocks in hot arid zones	۲۰۲۲	Ibrahim و همکاران	ارتفاع ساختمان، جهت گیری، حیاط بلوک‌ها
Computing Energy Performance of Building Density, Shape and Typology in Urban Context	۲۰۱۴	Steven Jige Quan, و همکاران	تراکم، شکل ساختمان، گونه شناسی (غرفه، دال افقی، دال عمودی، حیاط مرکزی)
Urban Form and Building Energy Performance in	۲۰۱۶	Jige, Steven و	فرم شهری به عنوان یک سیستم پیچیده شامل: هندسه،

Shanghai Neighborhoods		همکاران	مصالح، سیستم، رفتار ساکنین و پوشش زمین
Optimization of the mixture of building types in a neighborhood and their energy and environmental performance	۲۰۱۹	Hachem Vermette, Caroline Singh, Kuljeet	انواع ساختمان‌ها، تراکم آن‌ها، مساحت کف، نسبت انواع ساختمان‌های خاص به کل منطقه ساخته‌شده
Urban Morphology and the quest for zero carbon cities	۲۰۱۱	Salat, Serge Nowacki,Caroline	سازماندهی توده ساختمان (مساحت ساخته شده، FAR، همجواری ها، ارتفاع ساختمان، تراکم ...)، حجم غیرفعال، باز شدگی به سمت آسمان (انسداد، هدایت خورشیدی)، شبکه خیابان ها

۱۲-منابع فارسی و لاتین

- باقری، سارا ومفیدی شمیرانی، سید مجید. ۱۳۹۲. "از ساختمان های انرژی صفر تا ساختمان های انرژی مثبت." *دومین همایش ملی انرژی های نو و پاک*. همدان: شرکت هم اندیشان محیط زیست فردا https://civilica.com/doc/277150/
- صنایعیان، هانیه و غرابی، سیده فاطمه. ۱۳۹۸. "مروری بر پارامترهای فرمی بلوک‌های شهری تأثیرگذار بر مصرف انرژی و جذب انرژی خورشیدی،" *معماری و شهرسازی پایدار* ۷ (۲): ۲۳–۳۶. https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=509397
- Allegrini, Jonas, Viktor Dorer, and Jan Carmeliet. 2015. "Influence of Morphologies on the Microclimate in Urban Neighbourhoods." *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 144: 108–17. https://doi.org/10.1016/j.jweia.2015.03.024. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167610515000896
- Alobaydi, Dhirgham, Mohammed A. Bakarman, and Bushra Obeidat. 2016. "The Impact of Urban Form Configuration on the Urban Heat Island: The Case Study of Baghdad, Iraq." *Procedia Engineering* 145: 820–27. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.04.107. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705816301126
- Berkovic, Sigalit, Abraham Yezioro, and Arieh Bitan. 2012. "Study of Thermal Comfort in Courtyards in a Hot Arid Climate." *Solar Energy* 86 (5): 1173–86. https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.01.010. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X12000266?casa_token=MSYKAGQydH4AAAAA:8HzP
- Blowers, Andrew. 2013. *Planning for a Sustainable Environment*. Routledge. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=lzRdAgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Blowers,+Andrew.+2013.+
- Cheng, Vicky, Koen Steemers, Marylene Montavon, and Raphaël

https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0195925511000849
- Hachem-vermette, Caroline. 2019. "Mixed-Use Neighborhoods Layout Patterns : Impact on Solar Access and Resilience." *Sustainable Cities and Society* 51 (May): 101771. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101771. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670719312685
- Hadavi, Mohammad, and Hadi Pasdarshahri. 2019. "Jo Ur l P Re Of." *Sustainable Cities and Society*, 101887. https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101887. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670719316294
- Ibrahim, Yasser, Tristan Kershaw, Paul Shepherd, and Hesham Elkady. 2022. "Multi-Objective Optimisation of Urban Courtyard Blocks in Hot Arid Zones." *Solar Energy* 240: 104–20. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X22003553
- Leng, Hong, Xi Chen, Yanhong Ma, Nyuk Hien Wong, and Tingzhen Ming. 2020. "Urban Morphology and Building Heating Energy Consumption: Evidence from Harbin, a Severe Cold Region City." *Energy and Buildings* 224: 110143. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778819322534
- Lim, Jongyeon, and Ryozo Ooka. 2021. "A CFD-Based Optimization of Building Configuration for Urban Ventilation Potential." *Energies* 14 (5): 1447. https://www.mdpi.com/1996-1073/14/5/1447
- Mathews, E H. 1987. "Prediction of the Wind-Generated Pressure Distribution around Buildings." Compagnon. 2006a. "Urban Form, Density and Solar Potential." https://infoscience.epfl.ch/record/84787
- Deb, Kalyanmoy. 1999. "An Introduction to Genetic Algorithms" 24 (October): 293–315. https://link.springer.com/article/10.1007/BF02823145
- Esch, M. M.E. Van, R. H.J. Looman, and G. J. De Bruin-Hordijk. 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. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.11.042. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778811005883
- Granadeiro, Vasco, João R. Correia, Vítor M.S. Leal, and José P. Duarte. 2013. "Envelope-Related Energy Demand: A Design Indicator of Energy Performance for Residential Buildings in Early Design Stages." *Energy and Buildings* 61: 215–23. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.02.018. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778813000947
- Gupta, Vinod. 1987. "Thermal Efficiency of Building Clusters: An Index for Non Air-Conditioned Buildings in Hot Climates." *Energy and Urban Built Form* 133. https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.487.5756&rep=rep1&type=pdf
- Haapio, Appu. 2012. "Towards Sustainable Urban Communities." *Environmental Impact Assessment Review* 32 (1): 165–69. https://doi.org/10.1016/j.eiar.2011.08.002.

Housing and Urban Form: The Life Cycle Energy Consumption and Emissions of City Centre Apartments Compared with Suburban Dwellings." *Urban Policy and Research* 27 (4): 377–96. https://doi.org/10.1080/08111140903308859. https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/08111140903308859

- Quan, Steven Jige. 2017. "Energy Efficient Neighborhood Design under Residential Zoning Regulations in Shanghai." *Energy Procedia* 143: 865–72.https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610217365396
- Quan, Steven Jige, Athanassions Economou, Thomas Grasl, and Perry Pei-Ju Yang. 2014. "Computing Energy Performance of Building Density, Shape and Typology in Urban Context." *Energy Procedia* 61: 1602–5. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S187661021403210X
- Quan, Steven Jige, Jiang Wu, Yi Wang, Zhongming Shi, Tianren Yang, and Perry Pei-Ju Yang. 2016. "Urban Form and Building Energy Performance in Shanghai Neighborhoods." *Energy Procedia* 88: 126–32.
- https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610216300996
- Rode, Philipp, Christian Keim, Guido Robazza, Pablo Viejo, and James Schofield. 2014. "Cities and Energy: Urban Morphology and Residential Heat-Energy Demand." *Environment and Planning B: Planning and Design* 41 (1): 138–62. https://doi.org/10.1068/b39065.https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1068/b39065
- Sanaieian, Haniyeh, Martin *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 25 (2): 219–28. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0167610587900183
- Natanian, Jonathan, Or Aleksandrowicz, and Thomas Auer. 2019. "A Parametric Approach to Optimizing Urban Form, Energy Balance and Environmental Quality: The Case of Mediterranean Districts." *Applied Energy* 254 (November 2018): 113637. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113637. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261919313248
- Olgyay, Victor. 2015. *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism-New and Expanded Edition*. Princeton university press. https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=RRQ-CgAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=Olgyay,+Victor.+2015.+Design+with+Cli
- Ossen, Dilshan Remaz, and Lam Jiih Kui. 2009. *Urban Morphology to Minimize Solar Insolation on Out Door Urban Spaces in the Tropics*. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/4157329/dilshanremazossen2008_urbanmorphologytominimizesolar-
- Pakzad, Erfan, and Newsha Salari. 2018. "Measuring Sustainability of Urban Blocks: The Case of Dowlatabad, Kermanshah City." *Cities* 75 (January): 90–100. https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.01.005. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0264275117310454
- Perkins, Alan, Steve Hamnett, Stephen Pullen, Rocco Zito, and David Trebilcock. 2009. "Transport,

Wind Pressure on Regularly Aligned Buildings." *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 43 (1–3): 1799–1810.https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/016761059290592X

- Urquizo, Javier, Carlos Calderón, and Philip James. 2017. "Metrics of Urban Morphology and Their Impact on Energy Consumption: A Case Study in the United Kingdom." *Energy Research and Social Science* 32: 193–206. https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.03.011. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2214629617300804
- Vartholomaios, Aristotelis. 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: 135–45. https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.09.006. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670716303572
- Xu, Xiaodong, Chenhuan Yin, Wei Wang, Ning Xu, Tianzhen Hong, and Qi Li. 2019. "Revealing Urban Morphology and Outdoor Comfort through Genetic Algorithm-Driven Urban Block Design in Dry and Hot Regions of China."
- *Sustainability (Switzerland)* 11 (13). https://doi.org/10.3390/su11133683. https://www.mdpi.com/2071-1050/11/13/3683
- Xu, Xin, Hessam Azarijafari, Jeremy Gregory, Leslie Norford, and Randolph Kirchain. 2020. "Energy & Buildings An Integrated Model for Quantifying the Impacts of Pavement Alb e Do and Urban Morphology on

Tenpierik, Kees Van Den Linden, Fatemeh Mehdizadeh Seraj, and Seyed Majid Mofidi Shemrani. 2014. "Review of the Impact of Urban Block Form on Thermal Performance, Solar Access and Ventilation." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 38: 551–60. https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.06.007. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114004444?casa_token=A3rEjWzL6k0AAAAA:hjHseG

- Shareef, Sundus. 2021. "The Impact of Urban Morphology and Building's Height Diversity on Energy Consumption at Urban Scale. The Case Study of Dubai." *Building and Environment* 194 (February): 107675. https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2021.107675. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036013232100086X
- Shareef, Sundus, and Hasim Altan. 2022. "Urban Block Configuration and the Impact on Energy Consumption: A Case Study of Sinuous Morphology." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 163: 112507. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032122004117
- Taleghani, Mohammad, Martin Tenpierik, Andy Van Den Dobbelsteen, and Richard De Dear. 2013. "Energy Use Impact of and Thermal Comfort in Different Urban Block Types in the Netherlands." *Energy and Buildings* 67: 166–75. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.08.024. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778813005215
- Tsutsumi, J, T Katayama, and M Nishida. 1992. "Wind Tunnel Tests of

Solar Potential and Energy Use Efficiency in Tropical High-Density City.” *Applied Energy* 240 (February): 513–33. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.02.033. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261919303319

Building Energy Demand.” *Energy & Buildings* 211: 109759. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109759. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378778819332785

- Zhang, Ji, Le Xu, Veronika Shabunko, Stephen En Rong Tay, Huixuan Sun, Stephen Siu Yu Lau, and Thomas Reindl. 2019. “Impact of Urban Block Typology on Building

.

۱۳-چکیده تصویری