Archive of SID

فصلنامه علمی-پژوهشی
نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی
سال یازدهم، شماره اول، زمستان ۱۳۹۷

شاخص‌های مؤثر بر مصرف انرژی الگوهای مسکن در مقیاس محله با تأکید بر کارآیی انرژی(نمونه موردی: شهر سنندج)

ایوب مرادخانی

دانشجوی دکتری معماری، گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

نیلوفر نیکقدم[۱]

استادیار گروه معماری، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

منصوره طاهباز

دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۲۱

چکیده

با توجه به اهمیت کارآیی انرژی در توسعه پایدار محله‌ای به مثابه یکی از معیارهای توسعه پایدار به لحاظ زیست محیطی و بوم شناختی این مقاله با هدف شناسایی و مقایسه تطبیقی شاخص‌های مؤثر بر کارآمدی مسکن و بافت شهری به لحاظ بهبود وضعیت بهره‌وری مصرف انرژی، بر اساس مقیاسی میانی تحت عنوان (محله) انجام شد. در این راستا در چارچوب روش تحقیق تحلیلی-توصیفی، نخست با مطالعات اسنادی به استخراج شاخص‌های مؤثر بر مصرف انرژی ساختمان‌ها با توجه به مقیاس محله و سپس به ریخت شناسی و کدبندی الگوهای مسکن و بافت شهر سنندج بر اساس شاخص‌های منتخب مدل مفهومی پژوهش پرداخته شد. سپس به مدل سازی و شبیه‌سازی مصرف انرژی کل(گرمایش، سرمایش و روشنایی) توسط نرم‌افزار Design Builder مبادرت ورزیده شد. تفسیر نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS و تحلیل واریانس چند متغیری و همچنین طبقه‌بندی Duncan حاکی از آن است که بین الگوهای غالب قرارگیری توده ساختمان، الگوی شبکه معابر و جهت‌گیری استقرار آن‌ها در مجموع ۷۲ مدل بر اساس تقسیم‌بندی بافت قدیمی، میانی و جدید محلات شهر سنندج از منظر انرژی مصرفی کل رابطه معنی‌داری وجود دارد. لذا کارآمدترین و ناکارآمدترین الگوی شناسایی‌شده به ترتیب به مدل‌های B5F3O1 و B4F2O2 اختصاص یافته است. الگوی توده‌های فشرده ساختمانی با اشتراک حداکثری جبهه‌ها در ارتباط با بلوک شهری، فضای باز میانی بلوک و جهت استقرار شرقی-غربی از لحاظ بهره‌وری انرژی متعلق به بافت‌های جدید و میانی، مطلوب شناخته شد. رویکرد مورد استفاده این پژوهش، در روند طراحی مجموعه‌های ساختمانی در مقیاس محله و برنامه‌ریزی‌های آتی شهری برای بهبود بهره‌وری انرژی و کاهش پیامدهای زیست محیطی در مناطق شهری کاربرد دارد.

واژگان کلیدی: کارایی انرژی، توسعه پایدار، محله پایدار، مصرف انرژی کل (سرمایش، گرمایش و روشنایی)، ریخت-گونه شناسی.

۱- (نویسنده مسئول) n_nikghadam@azad.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

توسعه پایدار، حالت تعادل و توازن میان ابعاد مختلف توسعه در سه اصل پایداری زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی است. تقویت ابعاد ملاحظات محیطی ازنقطه‌نظر انرژی، یکی از اهداف اساسی توسعه پایدار بشمار می‌آید. بنابراین پایداری انرژی در چارچوب توسعه پایدار قابل بررسی است. هدف از برنامه‌های انرژی پایدار، تولید و مصرف منابع انرژی به طریق منطقی است تا در دراز مدت، حیات انسان و تعادل اکولوژیکی میسر شود. طبق گزارش سازمان ملل، جمعیت جهان در سال ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ میلادی به ترتیب به ۸/۵ و ۹/۷ میلیارد نفر افزایش می-یابد که حدود ۶۶ درصد از این جمعیت در مناطق شهری زندگی می‌کنند. شهرها مصرف‌کننده بخش اعظم منابع انرژی و تولیدکننده حدود ۷۰ درصد دی‌اکسید کربن است(Vega-Azamar et al, 2013).

در همین راستا در چند دهه قبل رویکردهایی نظیر توسعه پایدار شهری[1]، نو شهرسازی[2]، شهر سلامت[3]، کارایی انرژی شهری[4]، شهر بدون کربن و اتومبیل[5] مطرح شد. در این میان ساختمان‌ها با تولید و انتشار گازهای گلخانه‌ای[6] در حدود ۳۰ تا ۴۰ درصد(Huovila et al, 2007)، به‌عنوان یک نهاده در سطح پایین محیط‌های ساخته‌شده که تحت تأثیر طرح‌ها و چارچوب‌هایی از نهاده‌ای بالاتر مانند محله، شهر و کشور قرار دارند، موردتوجه بوده است. به عبارتی ساختمان‌ها به‌عنوان رکن اساسی در فرآیند مصرف انرژی در حوزه شهری و انتشار گازهای گلخانه‌ای، در تعیین الگوهای مصرف انرژی مؤثر هستند. از این نظر توجه به مسائل مربوط به آب و هوا و انرژی در حوزه ساختمان و شهر در تحقیقات اخیر، حائز اهمیت بوده است. در ایران نیز علی‌رغم قوانین مصوب و برنامه‌ریزی‌های صورت گرفته و همچنین اهمیت اقتصاد مقاومتی حال حاضر، مصرف انرژی بیش از پنج برابر متوسط رشد مصرف در جهان است ساختمان‌های مسکونی ایران بزرگ‌ترین بخش از مصرف انرژی کشور را به خود اختصاص داده‌اند(Riazi & Hosseini, 2011)، اما کاهش مصرف انرژی در این بخش ساده‌تر و با سرمایه‌گذاری کم‌تری نسبت به بخش‌های دیگر قابل حصول است.

به طور کلی مطالعاتی در مقیاس‌های خرد، میانی و کلان باهدف کاهش مصرف انرژی با توجه به زمینه‌های شکل شهر و الگوهای طراحی آن، شامل تراکم ساختمانی، اختلاط کاربری‌ها، شبکه ارتباطی و حمل‌ونقل درون و برون شهری، توجه به بهره‌گیری منابع سازگار با محیط و تجدید پذیر، هماهنگی و تطبیق محیط مصنوع با محیط‌زیست، مکان‌یابی صحیح کاربری‌ها در تعیین سلسله مراتب و ویژگی‌های اقلیمی به صورت کلی انجام‌گرفته است(Van Wee, 2002: 259). با توجه به رشد قابل توجه آماری تحقیقات در حوزه پژوهش‌های تحلیل انرژی در مقیاس محله از سال ۲۰۱۰ میلادی، محله به‌عنوان مقیاسی میانی، شاخص ارزیابی مهمی برای تقاضای مصرف و تولید انرژی در بخش‌های مختلف بر اساس حامل‌های انرژی است که فرصت‌هایی را برای برنامه‌ریزی در راستای توسعه پایدار فراهم می‌کند (Koch et al, 2012: 537-527). با توجه به موارد مطرح شده، به نظر می‌رسد با شناخت شاخص‌های

[1] Sustainable Urban Development
[2] New urbanism
[3] Healthy City
[4] Energy - efficient City
[5] Zero- Co^2 City and Car- free Zone
[6] Greenhouse Gases

www.SID.ir

Archive of SID

مؤثر بر مصرف انرژی گونه‌های مسکن و الگوی بافت در مقیاس محله، می‌توان میزان کارایی انرژی را از نقطه نظر شاخص‌های کالبدی و محیطی تعیین نمود. نتایج و دستاوردهای این تحقیق، به روش‌شناسی ارزیابی میزان مصرف انرژی کل(گرمایش، سرمایش و روشنایی) مسکن در مقیاس محله می‌انجامد و همچنین امکان تحلیل و بازنگری توسط طراحان حوزه ساختمان، شهر و همچنین تصمیم‌گیری کلان مدیریت شهری با محوریت بهره‌وری انرژی[1] مسکن شهری سنندج را فراهم می‌آورد.

رویکرد نظری

کارایی انرژی در توسعه پایدار شهری به‌عنوان مؤلفه کلیدی مطرح است. منظور از این مؤلفه، درواقع مصرف بهینه و کارآمد انرژی باهدف کاهش رشد تقاضای انرژی و مصرف سوخت‌های فسیلی و همچنین افزایش عرضه انرژی پاک است. به عبارتی بازدهی انرژی، به تأمین سطوح یکسانی از خدمات انرژی با به‌کارگیری مقادیر کمتر انرژی اطلاق می‌شود. کارایی انرژی دارای مزایای بالقوه‌ای برای دولت و مصرف‌کنندگان مانند رشد اقتصادی، کاهش انتشار آلاینده‌های زیست محیطی و ضرورت رسیدگی به آن را نشان می‌دهد که می‌توان راهبردهای دستیابی به آن را در سه اصل؛ صرفه‌جویی در مصرف انرژی، کارآمدی انرژی و استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر در نظر گرفت(Vettorato, 2011: 97). انجمن برنامه‌ریزی آمریکا جهت دستیابی به مدل توسعه بر مبنای کارایی انرژی به مباحث فنی و برنامه-ریزی و طراحی شهری پرداخته است. این مدل، استفاده پایدار از منابع انرژی، فرم و کارکرد اکولوژیک اجتماع، مدیریت منابع اجتماع‌محور، بهینه‌سازی کاربری زمین، برابری اجتماعی و سرزندگی اقتصادی را به‌عنوان پنج اصل اساسی نیل به راهکارهای کارایی انرژی در مجموعه شهرها مطرح می‌کند. انرژی مصرفی گرمایش، سرمایش و روشنایی به‌عنوان معیارهای ارزیابی کارایی انرژی بکار می‌روند(Nasrollahi, 2013).

محله و توسعه پایدار

در سال‌های اخیر الگوهای توسعه شهری مختلفی در دستیابی به جوامع شهری پایدار و کاهش مصرف انرژی مطرح‌شده است. دانشکده اقتصاد و علوم سیاسی لندن[2] با همکاری موسسه تحقیقاتی انرژی اروپا[3] رابطه میان مورفولوژی شهری و کارایی انرژی را در سطوح کلان(پیکربندی فضایی شهر، ساختمان‌ها و فضای باز مرتبط)، مقیاس میانی (بلوک شهری و الگوی معابر) و مقیاس خرد (گونه شناسی پلاک‌ها. قطعات) مورد بررسی و تحلیل قرار داده‌اند. در این راستا طراحی شهری پایدار، توسعه نواحی شهری جدید را از طریق کاربرد استخوان‌بندی شهری صحیح، گونه‌های ساختمانی مناسب، توزیع فضایی مطلوب کاربری‌ها و استفاده از تراکم بهینه تعریف می‌کند. وراسیک و همکارانش در جمع بندی نتایج تحقیقات انجام شده در دانشگاه لیوبلیانا و موسسه شهری اسلوونی، گسترش حوزه مطالعات پایداری را در محیط‌های ساخته شده از مقیاس ساختمان به محله در جهت کاهش مصرف انرژی، به عنوان هدف کلیدی بسیاری از برنامه‌ها و روش‌های ارزیابی پایداری در تحلیل‌های شهری تعریف می-کنند(Verovsek et al, 2018). بر این اساس محله به عنوان یک مقیاس میانی تحلیلی، برای پر کردن شکاف میان

[1] Energy efficiency
[2] London School of Economics and Political Science(LSE)
[3] European Institute for Energy Research(EIFER)

www.SID.ir

Archive of SID

شهر و ساختمان‌ها، به عنوان ستون فقرات شهرها در نظر گرفته می‌شود. برای نیل به مفهوم پایداری در محله مسکونی، سه مؤلفه اجتماعی- فرهنگی، رفاه و سودآوری اقتصادی و زیست محیطی قابل طرح هستند. در مفهوم توسعه پایدار محله‌ای یکی از چالش برانگیزترین مباحث، بحث انرژی است. پژوهشگران، دهه ۱۹۶۰ میلادی را زمان آغاز نگرش معماران و طراحان شهری به ارزیابی انرژی(رفتار حرارتی ساختمان) در مقیاس محله و زمینه شهری می‌دانند، آن‌ها به این نتیجه رسیدند که سنجش و ارزیابی رفتار حرارتی ساختمان‌ها در سطح بلوک‌های شهری و ساختمان‌های گروهی بایستی با توجه به زمینه و هم‌جواری‌ها تحلیل گردد(Steemers, 2003: 1). در واقع میان مؤلفه‌های برنامه‌ریزی مسکن و مصرف انرژی در مقیاس محله، ارتباطی منطقی و معناداری وجود دارد که با تبیین صحیح رابطه می‌توان میزان مصرف انرژی را کاهش داد. به‌طورکلی مطالعات متعددی به سنجش و تحلیل مصرف انرژی بلوک‌های ساختمانی در مقیاس محله با توجه به یک یا چند شاخص مؤثر مربوط به مورفولوژی بافت شهری[۱]، شرایط اقلیمی(آب و هوایی)، تراکم[۲]، موقعیت استقرار و جهت‌گیری بلوک‌های شهری در دریافت (انرژی خورشید، سایه‌اندازی، سرعت و جهت جریان باد)، ابعاد و جهت‌گیری معابر، گونه پوشش گیاهی و تعداد درختان، توپوگرافی، مصالح و جنس جداره‌های (نور گذر و کدر) و همچنین رفتار و تعداد ساکنین می‌پردازند. با توجه به اینکه شکل و چیدمان آرایشی ترکیب بلوک‌های ساختمانی نه‌تنها بر میزان دریافت انرژی خورشیدی[۳] توسط سطوح ساختمان اثر می‌گذارد، بلکه خرد اقلیم شهری[۴] و جریان هوا را نیز در اطراف ساختمان‌ها دگرگون می‌کند(Haapio, 2012: 165-169). از این منظر تسری ارزیابی ساختمان در شرایط پایدار حرارتی (بدون توجه به هم‌جواری‌ها) به سایر موقعیت‌های مکانی قرارگیری بلوک‌های ساختمانی، از صحت داده‌ها و اعتبار نتایج می‌کاهد. بر اساس مدل تحلیلی یاماگوچی و همکاران، توجه به طراحی کارآمد ساختمان‌ها با توجه به شاخص‌های تأثیرگذار مصرف انرژی در مقیاس محله تا قرن ۲۱ میلادی، منجر به کاهش مقدار زیادی از انتشار CO2 در حدود ۶۰ تا ۹۰ درصد در شهرها می‌شود(Yamaguchi et al, 2007: 1-12).

شاخص‌های مؤثر بر رفتار حرارتی بلوک‌های ساختمانی در مقیاس محله

این بخش از پژوهش حاضر ضمن توجه به انتخاب مقیاسی فراتر از ساختمان تحت عنوان محله، گامی در راستای توسعه پایدار محله‌ای ازلحاظ زیست‌محیطی، به تدوین مدل شاخص‌های تأثیر گذار بر رفتار حرارتی و مصرف انرژی بلوک‌های شهری در ارتباط با معابر و فضاهای باز شهری می‌پردازد. هندسه شهری به عنوان یکی از شاخص-های مؤثر در رفتار حرارتی بلوک‌های ساختمانی، در میزان تابش خورشید و سایه اندازی[۵] بر روی جداره‌های خارجی ساختمان‌ها، خرد اقلیم و الگوی جریان باد در پیرامون ساختمان‌ها، مستقیماً در دمای داخل و خارج و همچنین مصرف انرژی تأثیرگذار است. مطالعات نایک و پرجپتی نشان می‌دهد که رفتار حرارتی ساختمان تحت تأثیر زمینه شهری که در آن قرار گرفته، شامل فاکتورهای آب‌وهوا، ویژگی‌های طراحی، عملکرد بنا و ساختار مصالح

[1] Urban Morphological Characteristics
[2] Density
[3] Solar Energy
[4] urban microclimate
[5] Surface shading

www.SID.ir

Archive of SID

است(Nayak & Prajapati, 2006: 3). استرومن و همکاران با تأکید بر درک جامع و دقیق از عوامل تأثیرگذار در بهینه‌سازی مصرف انرژی ساختمان با توجه به عوامل زمینه شهری، اذعان می‌دارند که شاخص‌های مؤثر بر ساختار معابر شهری، منجر به کاهش مصرف انرژی در حدود ۳۰ درصد در ساختمان‌های اداری و ۱۹ درصد در ساختمان-های مسکونی می‌شود(Strømann et al, 2011: 8). نتایج پژوهش تسایرایگاتی و تسایکلودکی نشان‌دهنده رابطه معنی‌داری بین سطوح شاخص‌های مورفولوژی شهری، شرایط آب و هوایی و میزان مصرف انرژی در بلوک‌های مسکونی شهرهای تسالونیکی و هراکلیون[1] واقع در یونان است. مؤثرترین شاخص‌های موردبررسی در پژوهش آن‌ها، نسبت سطح به حجم[2] بلوک شهری، نسبت ارتفاع ساختمان به عرض معابر[3]، مصالح و جنس جداره‌های خارجی (کدر و شفاف[4]) بر مصرف انرژی گرمایش و سرمایش است(Tsirigoti and Tsikaloudaki, 2018). طالقانی و همکاران با سنجش میزان انرژی گرمایشی و روشنایی طبق ساعات آسایش حرارتی تابستان در ۱۰۲ منطقه حرارتی بلوک‌های شهری واقع در هلند دریافتند، نسبت سطح به حجم و توده به فضا مهم‌ترین شاخص تأثیرگذار بر مصرف انرژی بلوک‌های ساختمانی منفرد، خطی و حیاط مرکزی است، همچنین مدل حیاط مرکزی را به‌عنوان کم‌ترین تقاضای بار گرمایشی و بیش‌ترین ساعات آسایش حرارتی در تابستان شناسایی کردند(Taleghani et al, 2013: 166). رتی و همکارانش معتقدند رفتار حرارتی ساختمان‌ها به پنج عامل اقلیم، شکل شهر، ساختمان‌ها، طراحی سیستم‌ها و رفتار کاربران یا استفاده‌کنندگان بستگی دارد. آن‌ها دریافتند، قرارگیری و استقرار توده ساختمانی در بافت نه‌تنها بر میزان دریافت انرژی خورشیدی ساختمان اثر می‌گذارد، بلکه خرد اقلیم و جریان هوا را نیز در اطراف ساختمان‌ها دگرگون می‌کند(Ratti et al, 2005: 762). وناسچ و همکاران در پژوهشی به تأثیر شاخص‌های عرض و جهت‌گیری خیابان[5]، در میزان تابش نور خورشید بر سطوح مختلف دره شهرها[6] و جداره‌های خارجی بلوک‌های شهری پرداختند. آن‌ها دریافتند که جهت‌گیری خیابان‌ها، درختان (تعداد، نوع و وضعیت قرارگیری)، اشکال سقف[7] در دریافت نور خورشید، مصالح جداره و پنجره‌ها (نسبت سطح شفاف به کدر) بلوک‌های ساختمان شهری در مصرف انرژی گرمایش و سرمایش تأثیرگذار هستند(Van Esch et al, 2012). رفیعیان و همکاران در پژوهشی به بررسی مؤلفه‌های مؤثر برنامه‌ریزی و طراحی شهری بر میزان مصرف انرژی در شهر و در نهایت با تمرکز بر بخش بلوک‌های ساختمانی، دستورالعمل‌هایی جهت کاهش مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی ارائه می‌دهند. سپس برای ۳۵ هکتار از اراضی شهر جدید هشتگرد، سه سناریوی پیشنهادی ارائه و در انتها نیز میزان مصرف انرژی سناریوهای مختلف را با توجه به شاخص‌های ارتفاع و تراکم بلوک‌ها، فرم پلان(ابعاد قطعه)، جهت‌گیری ساختمان‌ها ارزیابی و مقایسه می‌کنند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که با اعمال تغییر در فرم، تراکم، جهت‌گیری و ارتفاع بلوک‌های مسکونی، می‌توان حدود ۴۵ درصد از میزان مصرف انرژی ساختمان را کاهش داد. سالات ۹۶ بلوک

[1] Thessaloniki and Heraklion
[2] Surface area to Volume(S/V)
[3] Height/width ratio(H/W)
[4] Translucent or Transparent layer
[5] street Width and direction
[6] Urban Canyons
[7] roof shape

www.SID.ir

Archive of SID

مسکونی در پاریس و فرانسه را ازنظر برخی شاخص‌های زمینه شهری با تأکید بر مصرف انرژی گرمایشی در بلوک-های مسکونی مورد تحلیل و مقایسه قرار می‌دهد. نتایج تحقق نشان می‌دهد که شکل و تراکم شهری، بهبود کارایی تجهیزات، یافتن انرژی جایگزین و تغییر رفتار ساکنین[1] با بازاندیشی در نحوه مصرف انرژی در جهت بهینه سازی و اصلاح الگوی مصرف انرژی تأثیرگذار است(Salat, 2009: 598-609). سرعت و جهت جریان باد در اطراف ساختمان‌ها و لایه‌های مرزی شهری[2] به واسطه ویژگی‌های کالبدی استقرار توده‌های ساختمانی در مقیاس محله تأثیر مستقیمی بر مصرف انرژی، آسایش حرارتی (داخلی و خارجی) و همچنین تهویه و کیفیت هوا دارد. پریمرو و همکاران معتقدند که شاخص‌های نسبت سطح به حجم (S/V) و جهت‌گیری مناسب سطوح جداره‌های بلوک‌های ساختمانی نقش مهمی در بهره‌وری تابش خورشیدی در جهت مصرف انرژی ساختمان‌های اقلیم سرد و معتدل را دارند. نگویان‌وان و دی‌ترایر اهمیت ضریب فشار[3]، سرعت[4] و جهت جریان باد[5] را با توجه به محل استقرار و چیدمان، ارتفاع و هندسه بلوک‌های ساختمانی، عرض خیابان و سطح فضای سبز شهری را به‌عنوان شاخص‌های مؤثر بر مصرف انرژی بلوک‌های ساختمانی شهری در شهرهای متراکم شناسایی کردند(Nguyen Van & De Troyer, 2018). همچنین در بررسی تحقیقات متعددی فارغ از عوامل محیطی، نقش حیاتی رفتار ساکنین باعث کاهش مصرف انرژی در حدود ۶ تا ۲۵ درصد برای بلوک‌های مسکونی ارزیابی می‌شود. در ادامه با توجه به بررسی پژوهش‌های مرتبط با مصرف انرژی و رفتار حرارتی بلوک‌های ساختمانی در مقیاس محله، به استخراج شاخص‌های مؤثر مطالعاتی این حوزه در قالب جدول(۱) و مدل تحلیلی این شاخص‌ها با توجه به بلوک‌های شهری و فضاهای باز شهری در شکل(۱) پرداخته شده است.

جدول ۱- شاخص‌های مؤثر بر مصرف انرژی الگوهای مسکن در مقیاس محله (بررسی سوابق تحقیق)

پژوهشگر/ سال انتشار	حوزه مطالعاتی	مهم‌ترین شاخص‌های موردبررسی
رتی و همکاران (۲۰۰۳)	طراحی شهری	نسبت سطح به حجم (S/V)، ضریب دید آسمان (SVF)، میزان تراکم سایه، میزان توزیع نور روز.
کامپگنان (۲۰۰۴)	برنامه‌ریزی شهری، معماری	هندسه، چیدمان و آرایش ترکیبی بلوک شهری، جهت‌گیری، ارتفاع، شکل سقف، مصالح و جنس جداره بلوک‌های ساختمانی.
رتی و همکاران (۲۰۰۵)	برنامه‌ریزی شهری، طراحی شهری	نسبت سطح به حجم (S/V)، هندسه، ارتفاع، مصالح و جنس جداره بلوک‌های ساختمانی، کارایی سیستم‌ها، رفتار ساکنین.
سالات (۲۰۰۹)	برنامه‌ریزی شهری، طراحی شهری، معماری	فرم شهر، فناوری‌های ساخت، دوره ساخت، رفتار ساکنین، سیستم سرمایش و گرمایش، مصالح و جنس جداره ساختمان، اقلیم (آب‌وهوا).
هاچمن و همکاران (۲۰۱۱)	برنامه‌ریزی شهری، طراحی شهری	شکل سقف، میزان سایه‌اندازی، تراکم، جهت‌گیری در ترکیب بلوک‌های شهری.
بادی و همکاران (۲۰۱۱)	برنامه‌ریزی شهری، طراحی شهری	تراکم، هندسه و جهت‌گیری ساختمان، جهت باد، شکاف‌ها بین ساختمان‌های مجاور.
هاچمن و همکاران (۲۰۱۲)	برنامه‌ریزی شهری، طراحی شهری، معماری	جهت‌گیری، شکل ساختمان‌ها، ترکیب ساخت در یک ساخت گاه.
وان اسچ (۲۰۱۲)	طراحی شهری، معماری	عرض خیابان، جهت‌گیری خیابان، شکل سقف، مصالح و جنس جداره بلوک‌های ساختمانی، نوع مسکن، شرایط اقلیمی (آب‌وهوا).
یانک و همکاران (۲۰۱۲)	طراحی شهری، معماری	نسبت ارتفاع به عرض (H/W)، ضریب دید آسمان (SVF)، هندسه ساختمان، ارتفاع بلوک‌ها، جرم حرارتی و ضریب هدایت حرارت مصالح جداره‌های خارجی.
طالقانی و همکاران (۲۰۱۳)	طراحی شهری، معماری	نسبت سطح به حجم (S/V)، هندسه، نوع کاربری، ارتفاع، مصالح و جنس جداره‌های خارجی.
صنایعیان و همکاران (۲۰۱۴)	طراحی شهری، معماری	نسبت سطح به حجم (S/V)، نسبت ارتفاع به عرض (H/W)، تراکم، جهت‌گیری ساختمان و بلوک شهری.
والکان و همکاران (۲۰۱۸)	طراحی شهری، معماری	گونه ساختمان، ارتفاع، تراکم، سطح اشغال بلوک.
تسایرایگاتی و تسایکلودکی (۲۰۱۸)	برنامه‌ریزی شهری، طراحی شهری، معماری	نسبت سطح به حجم (S/V)، نسبت ارتفاع به عرض (H/W)، مصالح و جنس جداره بلوک‌های ساختمانی، شکل سقف، جداره خارجی شفاف (پنجره)، مصالح و جنس پوشش کف محوطه، ارتفاع، نسبت حجم ساخته‌شده به مساحت بلوک شهری (CP/PS).

[1] inhabitant behaviour
[2] Urban Canopy Layer (UCL)
[3] Wind Pressure
[4] Wind velocity
[5] Wind direction

www.SID.ir

Archive of SID

سوسا (۲۰۱۸)	برنامه‌ریزی شهری، طراحی شهری، معماری	نسبت سطح به حجم (S/V)، ضریب دید آسمان (SVF)، عرض خیابان، طول خیابان، جهت‌گیری خیابان، تعداد و گونه درختان.
مرلیر و همکاران (۲۰۱۸)	برنامه‌ریزی شهری، طراحی شهری،	نسبت ارتفاع به عرض (H/W)، نسبت طول به ارتفاع بلوک شهری (L/H)، سطح بلوک به فضای باز بین دو ساختمان (W/S)، جهت-گیری بلوک ساختمانی.
نگویان‌وان و دی‌ترایر (۲۰۱۸)	برنامه‌ریزی شهری، طراحی شهری،	ارتفاع بلوک‌های ساختمانی پیرامونی، عرض خیابان‌های منتهی به ساختمان (عمود و موازی)، فضای سبز سایت، هندسه (طول، عرض و ارتفاع) بلوک، سرعت، جهت و فشار جریان باد.

Source: Research findings, 2018

تعریف شاخص‌های مؤثر

با توجه به شناسایی شاخص‌های مؤثر بر رفتار حرارتی و مصرف انرژی در بلوک‌های ساختمانی شهری در مقیاس محله، تعاریف هر یک از این شاخص‌ها در قالب جداول (۲ و ۳) تنظیم شده است.

جدول ۲- تعاریف شاخص‌های مؤثر بر مصرف انرژی مسکن در مقیاس محله

تعریف شاخص	شاخص
زاویه قرارگیری بلوک ساختمانی نسبت به جهات جغرافیایی در زمینه شهری و نشان‌دهنده موقعیت پوسته حرارتی در معرض زاویه تابش، میزان سایه-اندازی و جریان هوا (Ali-Toudert & Mayer, 2007: 223).	جهت‌گیری
تعداد طبقات بلوک ساختمانی، نسبت سطح به حجم و به‌تبع آن میزان اتلاف انرژی را از طریق پوسته حرارتی ساختمان و درنتیجه مصرف گرمایش و سرمایش را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Wang et al, 2017: 989).	ارتفاع و تعداد طبقات
نشان‌دهنده میزان مساحت اجزای مختلف و کل پوسته حرارتی بلوک ساختمانی مؤثر بر دریافت انرژی تابشی و سایه بر مصرف گرمایش و سرمایش (DeKay & Brown, 2013).	نسبت سطح به حجم بلوک ساختمانی (S/V)
نحوه ترکیب و چیدمان توده ساختمانی مانند حیاط مرکزی، U شکل، L شکل و... (Hachem et al, 2013: 64-42).	فرم و هندسه[1]
نشان‌دهنده اشکال مختلف سطوح بالاترین سطح پوسته حرارتی بلوک ساختمانی در دریافت تابش و اتلاف انرژی در دوره گرمایش و سرمایش (Van Esch et al, 2012).	شکل سقف
مؤثر بر میزان مصرف انرژی با توجه به قابلیت انواع سیستم‌های گرمایش، سرمایش و تهویه مکانیکی (Majcen et al, 2015: 43).	سیستم‌های گرمایش، سرمایش
مصالح شفاف نشان‌دهنده ضریب انتقال حرارتی جداره‌های شفاف (شیشه) و قاب پنجره، ضریب عبور خورشیدی، ضریب عبور نور (Marino et al, 2017: 169). مصالح کدر بیانگر جرم حرارتی شامل (چگالی، ظرفیت حرارتی و ضریب هدایت حرارتی) و عامل مهم مؤثر بر مصرف انرژی گرمایش و سرمایش ساختمان (Anbouhi, 2016: 88).	مصالح و جنس جداره‌های شفاف (پنجره، نورگیر) و کدر
نشان‌دهنده میزان دریافت انرژی تابشی و همچنین روشنایی روز با توجه به مساحت و جهت قرارگیری در بلوک ساختمانی و همچنین نوع سایبان (افقی، عمودی و...) و عناصر سایه‌انداز آن (Emmanuel et al, 2007).	نسبت سطح پنجره به دیوار و وضعیت سایبان
نشان‌دهنده عوامل فیزیولوژیکی (سن و جنسیت)، عوامل روانی (دمای آسایش حرارتی)، عوامل اجتماعی (رفتار سیگار کشیدن در باز و بسته کردن پنجره و حضور در خانه)، عوامل زمینه‌ای (نوع مسکن، نوع فضای داخلی) و عوامل محیطی (دمای فضای باز، کیفیت هوای فضای باز و دمای داخلی) (Pothitou et al, 2016: 700-687).	رفتار ساکنین و کاربران

Source: Research findings, 2018

جدول ۳- تعاریف شاخص‌های معابر و فضای باز شهری[2] بر مصرف انرژی مسکن در مقیاس محله

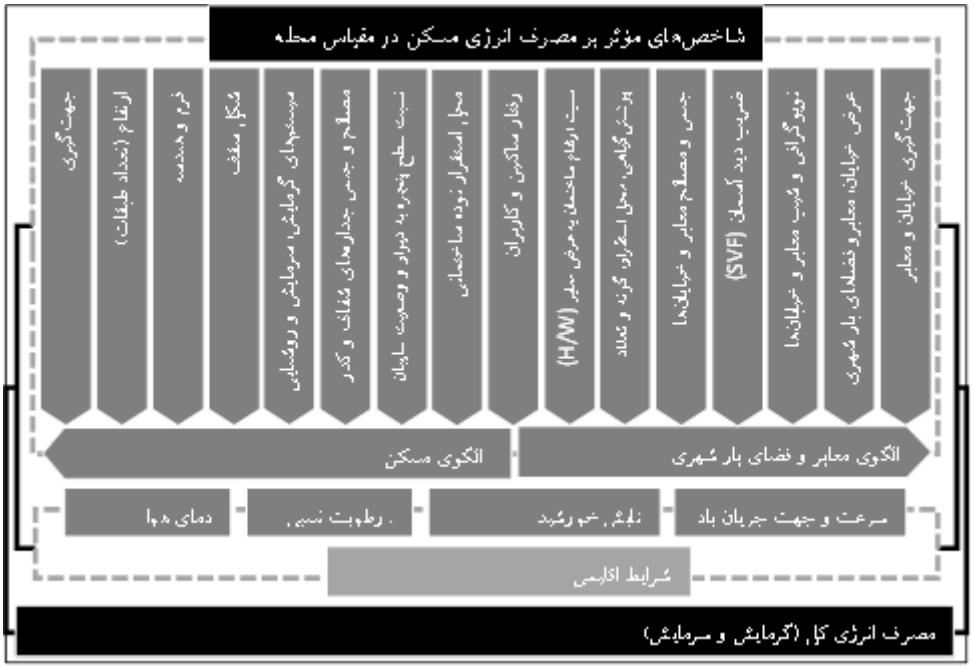
تعریف شاخص	شاخص
نشان‌دهنده میزان تابش دریافتی به سطوح عمودی و افقی در بلوک ساختمانی و معابر، سایه‌اندازی و جریان باد.	نسبت ارتفاع بلوک ساختمان به عرض خیابان (H/W)
نشان‌دهنده میزان سایه‌اندازی بر سطوح جداره بلوک ساختمانی، رفتار حرارتی و سرمایش تبخیری فضای باز شهری.	پوشش گیاهی، محل استقرار، گونه و تعداد درختان
نشان‌دهنده میزان گرمایش حاصل از سطوح (میزان جذب و بازتابش نور خورشید).	جنس و مصالح معابر و خیابان‌ها
بیانگر میزان انرژی تابش دریافتی از نیم‌کره آسمان به سطح زمین، دمای هوا (شکل‌گیری خرده اقلیم و جزایر گرمایی شهری[3]) فاکتور نمایانی آسمان به نسبت ارتفاع به عرض خیابان و نیز زاویه افقی خیابان بستگی دارد که از آن در جهت سنجش شدت گرمای ناحیه‌ای استفاده می‌شود	ضریب دید آسمان (SVF)
نشان‌دهنده میزان سایه‌اندازی، سرعت، جهت و فشار جریان باد، تهویه متفاوت درشیب‌های زیاد و مساحت متغیر جداره‌های در معرض تابش	توپوگرافی و شیب معابر و خیابان‌ها
بیانگر میزان سطح در معرض تابش و سایه‌اندازی	عرض خیابان، معابر و فضاهای باز شهری
نشان‌دهنده موقعیت الگوهای تحلیلی نسبت به زاویه تابش خورشید، جریان باد و تهویه	جهت‌گیری خیابان و معابر

Source: Research findings, 2018

[1] building geometry and form
[2] Open Space
[3] Urban Heat Island

www.SID.ir

Archive of SID

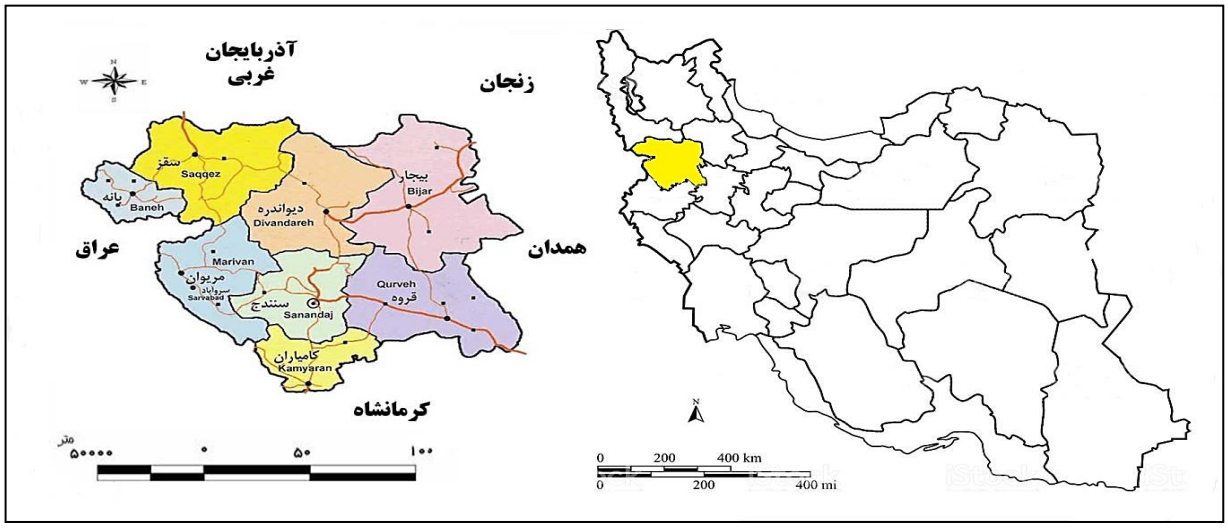


شکل ۱- مدل شاخص‌های مصرف انرژی مسکن شهری در مقیاس محله (الگوی مسکن، الگوی معابر- فضای باز شهری و شرایط اقلیمی)

Source: Research findings, 2018

محیط مورد مطالعه

سنندج با مساحت ۳۶۸۸/۶ هکتار در غرب ایران و در بخش جنوبی استان کردستان قرار دارد. مرکز استان کردستان در موقعیت جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۰ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۱۵ درجه طول غربی از نصف‌النهار تهران قرار دارد.



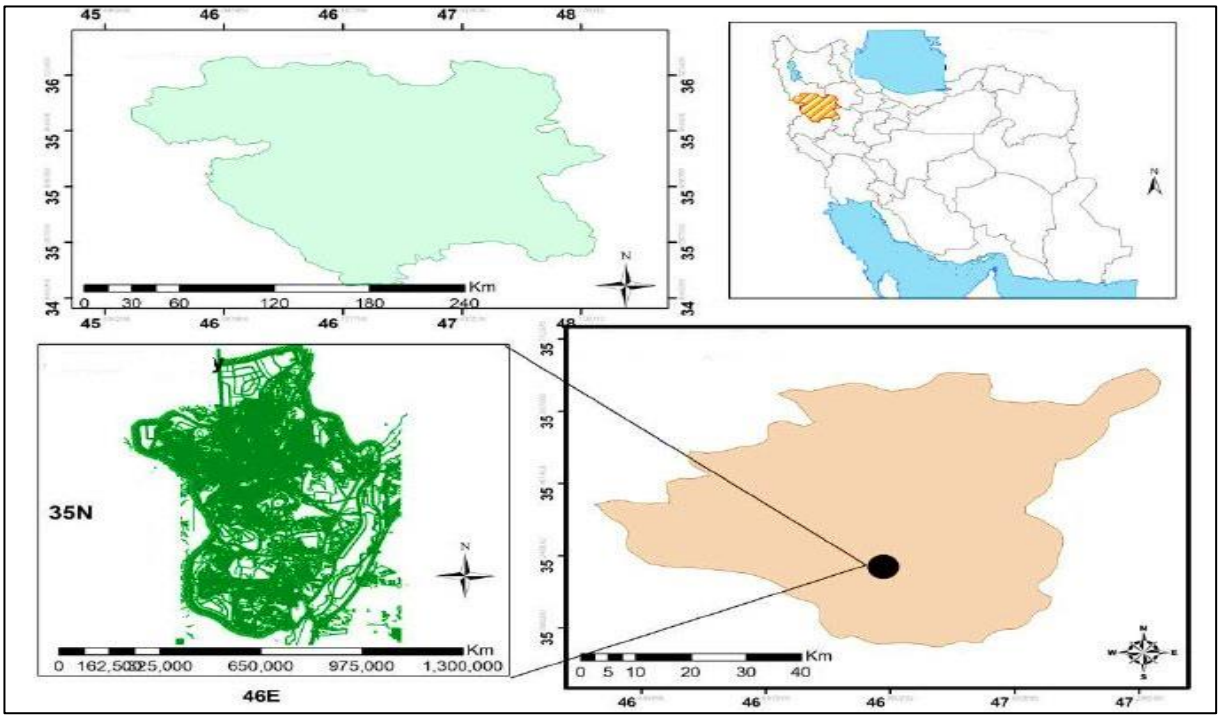
شکل ۲- موقعیت جغرافیایی شهر سنندج

Source: Research findings, 2018

جمعیت شهر سنندج در سال ۱۳۳۵ برابر با ۴۰۶۴۱ نفر با ۷۹۰۰ خانوار بوده است. زبان مردم سنندج کُردی سورانی اردلانی است. دین مردم شهرستان سنندج اسلام با مذهب سنّی(شافعی) است. متوسط ارتفاع شهر سنندج از سطح دریا معادل ۱۵۳۵ متر است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- موقعیت شهر سنندج در استان کردستان

Source: Research findings, 2018

در گروه‌بندی ساختمان‌ها از نظر نیاز به صرفه جویی انرژی در راهنمای مبحث نوزدهم مقررات ملی ساختمان ایران(۱۳۸۷)، شهر سنندج با سه منطقه شهری در اقلیم سرد کوهستانی با نیاز انرژی متوسط مطابق شکل(۲) است. مطابق جدول(۴) انواع بافت و ادوار شکل‌گیری محلات در توسعه شهر سنندج نشان داده شده است. تاکنون پژوهشی در راستای ریخت‌گونه شناسی توده ساختمانی و الگوی معابر در سنندج به‌منظور دستیابی به کارایی انرژی انجام نشده است. در این پژوهش با توجه به این تقسیم‌بندی و شرایط حاکم بر هر دوره تاریخی، از هر بافت و دوره تاریخی یکی از محله‌ها به عنوان نمونه موردی مطالعه مورد تحلیل قرار گرفت. با توجه به اینکه بخش عمده از محلات واقع در محدوده کالبدی شهر سنندج را سکونت گاه‌هایی تشکیل می‌دهند که به صورت غیررسمی شکل‌گرفته و فاقد طرح توسعه و الگوی مشخص در طراحی مسکن است، لذا در فرایند انتخاب الگوهای مسکن این‌گونه سکونت‌گاه‌ها لحاظ نگردیده است.

شهر سنندج از نظر طبیعی محصور بین تپه‌هایی در یک جام فضائی قرار گرفته است به‌طوری‌که کوه‌ها و تپه‌های- (آبیدر، کوچکه رش و توس نوذر(توس نوذر یک تپه کوچک در حاشیه شهر است) که ادامه سلسله جبال زاگرس هستند در اطراف این شهر کشیده شده‌اند و در پاره‌ای از نقاط از جمله جنوب غربی و شمال شرقی رشد و گسترش شهر را محدود کرده‌اند. بخش‌های زیادی از شهر سنندج بر روی تپه‌هایی واقع شده. وضعیت توپوگرافی شهر و کوه‌های اطراف آن باعث گردیده است که شهر به صورت طبیعی در یک دره نسبتاً مسطح محصور گردد و قطعاً شکل‌گیری در جهات دیگری گسترش پیدا کرده است و همچنین شکل‌گیری شبکه معابر و خیابان‌های اصلی و فرعی، کوچه‌ها و محلات بر حسب شیب زمین بوده و حتی بیشتر قسمت‌های شهر، ساختمان‌ها به صورت پله بندی

www.SID.ir

Archive of SID

و تراس بندی استقرار یافته و غیر از محلات نو ساز(چون اکثر شهرک‌های تازه ساخت اطراف شهر) اغلب کوچه‌ها باریک و پر پیچ و خم و پله‌ای است.

جدول ۴- انواع بافت و ادوار تاریخی توسعه شهر سنندج

محلات	تحول	دوره تاریخی	انواع بافت
میان قلعه، آقا زمان، قلعه‌چوارلان، جورآباد بالا و پایین، سرته‌پوله، چهار باغ، قطارچیان	محلات با هویت تاریخی	دوره صفویه و اواخر دوره قاجار	بافت قدیم (۱۰۴۶ تا ۱۱۳۲)
فیض‌آباد، بهارم است، استانداری، تازه‌آباد، صفری، کلکه‌جار، خسروآباد، شریف‌آباد، منازل مسکونی محدوده ژاندارمری و اطراف آن	محلات پیرامون بافت قدیم	اواخر دوره قاجار تا ۱۳۴۵	بافت میانی (۱۳۰۰ تا ۱۳۴۰)
شالمان، سعدی، بهاران، پیام	شهرک‌های جدید	معاصر	بافت جدید (۱۳۴۰ تاکنون)
قرادیان، دگایران، حاجی‌آباد، فرجه، قشلاق	روستاهایی که به شهرک‌های اقماری تبدیل‌شده‌اند		
تکیه و چمن، مبارک‌آباد، ظفریه	محلاتی که از تغییر کاربری باغات ایجاد شدند		
عباس‌آباد و کانی‌کوزله، تقتقان و گردی گرول، تپه اولیابگ، تپه شیخ محمدصادق، تپه اسلام‌آباد (شب‌بو)، تپه غفور	بافت‌های مسکونی نامتعارف		

Source: According to Irandost & Habibi, 2013: 163-146

روش تحقیق

با توجه به کاربردی بودن پژوهش حاضر از لحاظ هدف کلان تحقیق طبق روش مدل‌سازی و شبیه‌سازی (Mir Moghtadaei Meyer et al. 2017) جهت تجزیه‌وتحلیل اطلاعات از روش توصیفی-تحلیلی بهره گرفته شده است. در این راستا در دو گام متوالی پس از بررسی پژوهش‌های انجام شده و تجربیات مشابه، نخست به ریخت شناسی و کدبندی در پی تحلیل کمی الگوهای ساختاری توده و فضا از منظر کارایی انرژی با توجه به شاخص‌های شناسایی شده است. سپس تفسیر نتایج با استفاده از نرم‌افزار SPSS و تحلیل واریانس چند متغیری[1] و همچنین طبقه‌بندی Duncan انجام شد.

شکل ۳- مراحل اصلی پژوهش

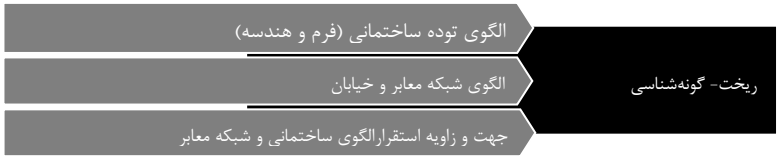
Source: Research findings, 2018

گام نخست: درک پیچیدگی‌های روابط کالبدی مقیاس‌های مختلف ساختمان‌ها، قطعات، بلوک‌های شهری و الگوهای شبکه معابر و خیابان که ساختار شهرها را می‌سازند، به دستیابی توسعه پایدار شهری می‌انجامد. بر این اساس مورفولوژی شهری و گونه شناسی ساختمان، پارامترهای اصلی برای ارزیابی عملکرد انرژی محیط ساخته شده هستند (Dascalaki et al, 2011: 3400). در این راستا با توجه به تقسیم‌بندی نوع بافت شهر سنندج و دوره تاریخی آن و همچنین شاخص‌های مشترک بین ساختمان و شهر شناسایی‌شده مصرف انرژی ساختمان در مقیاس محله، به ریخت‌شناسی و کدبندی بر اساس ویژگی‌های توده ساختمانی، الگوی معابر و همچنین جهت و زاویه استقرار بافت در مقیاس محله پرداخته شد.

[1] Multivariate Tests

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴- شاخص‌های اصلی موردبررسی پژوهش

Source: Research findings, 2018

گام دوم: این بخش از پژوهش به مدل‌سازی و شبیه‌سازی اختصاص‌یافته است، به این منظور متغیر وابسته میزان مصرف انرژی کل (گرمایشی، سرمایشی و روشنایی) و متغیر مستقل با توجه به شاخص‌های تحلیلی مطابق شکل (۴) در نظر گرفته شد. متغیرهای متعددی مانند داده‌های اقلیمی، برنامه حضور ساکنین، نسبت سطح جداره‌های شفاف (پنجره) به دیوار[1] و ملحقات آن مانند نوع سایبان، ارتفاع (طبقات)، مصالح، تعویض هوا[2] بر اساس وضع موجود در کلیه مدل‌ها یکسان در نظر گرفته شد. داده‌های اقلیمی مورداستفاده در شبیه‌سازی با توجه به ایستگاه هواشناسی سنندج تعیین شد. سپس از طریق نرم‌افزار (Design Builder) با توجه به مستندات اعتبار داده‌های نرم - افزار در پژوهش‌های پیشین[3]، نتایج شبیه سازی مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی تحلیل گردیدند. نرم افزار دیزاین بیلدر در معتبرترین دانشگاه‌های دنیا از جمله هاروارد تدریس می‌شود و در پژوهش‌های متعددی مورد استفاده و اعتبار سنجی قرار گرفته است (Rahman et al, 2010: 2994) و (Taleghani et al, 2014). موتور شبیه - سازی این نرم‌افزار انرژی پلاس بوده که توسط بخش انرژی آمریکا در سال ۲۰۱۱ میلادی توسعه یافته و بر اساس استانداردهای(BESTEST) و (ASHRAE 14) مورد تائید واقع شده است (ASHRAE, 2012). شبیه‌سازی این پژوهش در بازه زمانی سالیانه در نظر گرفته شده است. پس از مدل سازی و شبیه سازی به‌منظور تعیین میزان روابط معنی‌داری شاخص‌های مؤثر بر مصرف انرژی از آزمون‌های آماری اقدام بهره گرفته شد.

بحث و یافته‌ها

بر اساس گام نخست روش پژوهش، از هر نوع بافت شهری در ادوار تاریخی شکل‌گیری شهر سنندج، الگوهای غالب شناسایی و با اعمال تغییراتی ۶ الگو توده ساختمانی، ۳ الگوی شبکه معابر(پر و خالی) در ۴ جهت جغرافیایی مطابق اشکال(۵،۶،۷) شناسایی شد. مدل‌های ۷۲ گانه از ترکیب این الگوهای غالب ایجاد شدند.

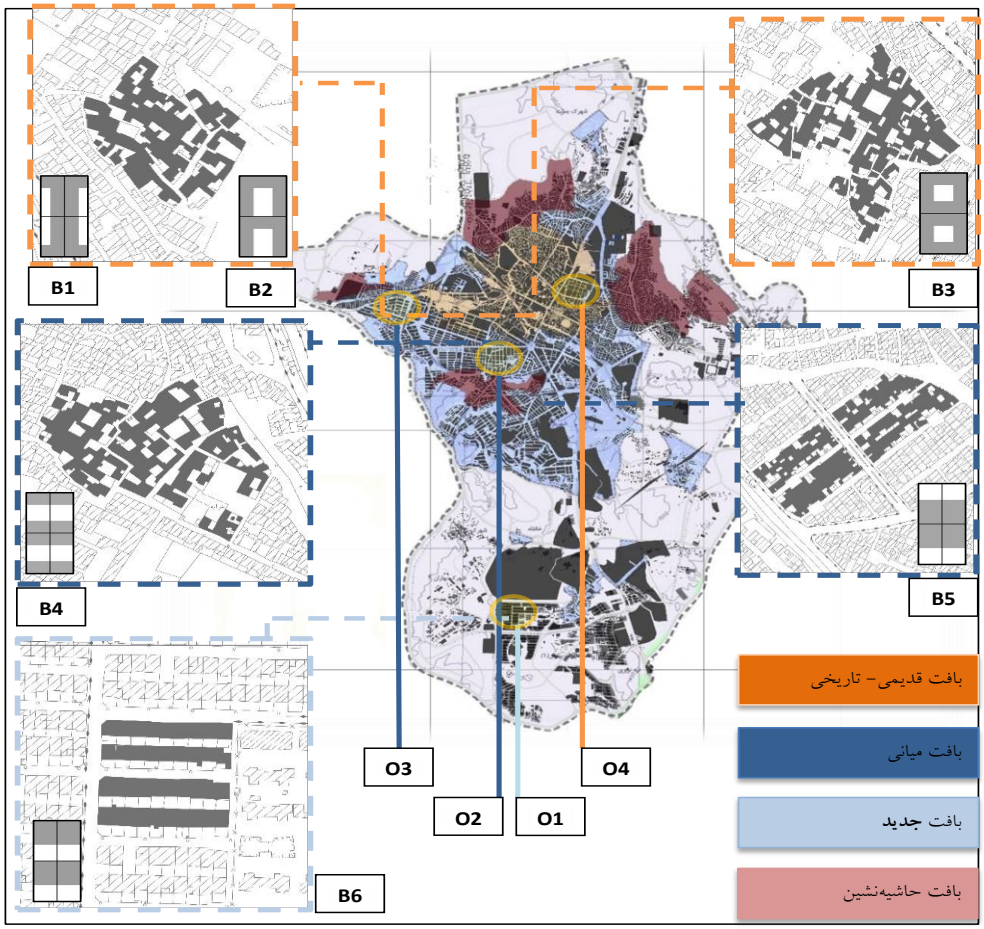
بر اساس گام دوم بخش روش پژوهش، نتایج نهایی برآورد انرژی کل(گرمایش، سرمایش و روشنایی) برای مدل‌های ۷۲ گانه به تفکیک در راستای شناخت الگوهای کارآمد و ناکارآمد به ازای کیلووات ساعت بر مترمربع در سال مطابق شکل (۹) نشان داده شده است. به این ترتیب بیشترین و کمترین میزان مصرف انرژی کل (گرمایش، سرمایش و روشنایی) به الگوهای B4F2O2 و B5F3O1 تعلق‌گرفته است. کارآمدترین مدل با کمترین میزان مصرف انرژی کل به الگوهای ردیفی و متراکم توده‌های ساختمانی در بافت و فضای باز میانی با کشیدگی شرقی- غربی هستند. ناکارآمدترین مدل با بیشترین مصرف انرژی کل به الگوهای ردیفی با میزان حداکثری توده ساختمانی در معرض هوا با کشیدگی شمالی-جنوبی تعلق‌گرفته است. به‌طور معمول مصرف انرژی در ماه‌های مختلف به‌واسطه شرایط آب و

[1] Window–Wall ratio in building facade
[2] Air exchange
[3] Design Builder SBEM Approval, Available in: http://designbuilder.co.uk

www.SID.ir

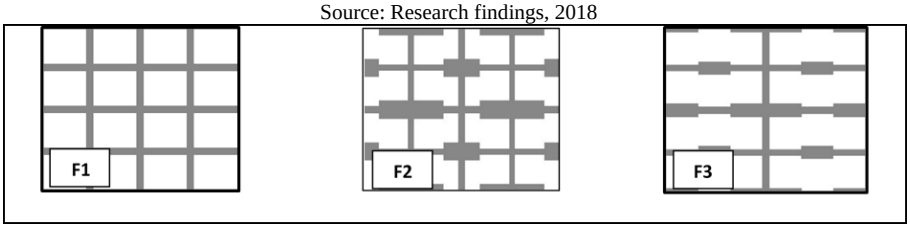
Archive of SID

هوایی متفاوت است. در جدول رتبه‌بندی (۸) به حداقل و حداکثر میزان مصرف انرژی گرمایشی، سرمایشی و روشنایی، به تفکیک اشاره‌شده است. این دسته‌بندی حاکی از تفاوت عملکرد مدل‌های تحلیلی در مصرف انرژی گرمایش، سرمایش و روشنایی است.



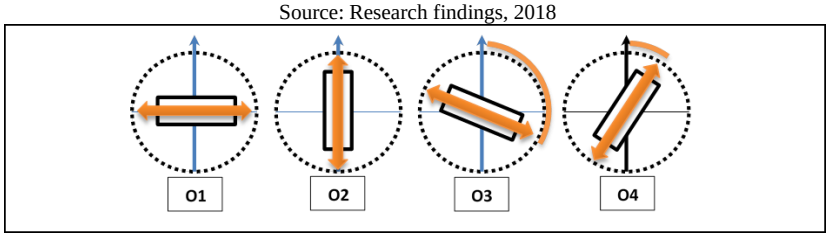
شکل ۵- ریخت‌گونه شناسی الگوهای غالب مسکن بر اساس بافت‌های شهری (B)، جهت استقرار و زاویه قرارگیری (O)

Source: Research findings, 2018



شکل ۶- الگوهای غالب شبکه معابر برگرفته از بافت شهری سنندج

Source: Research findings, 2018

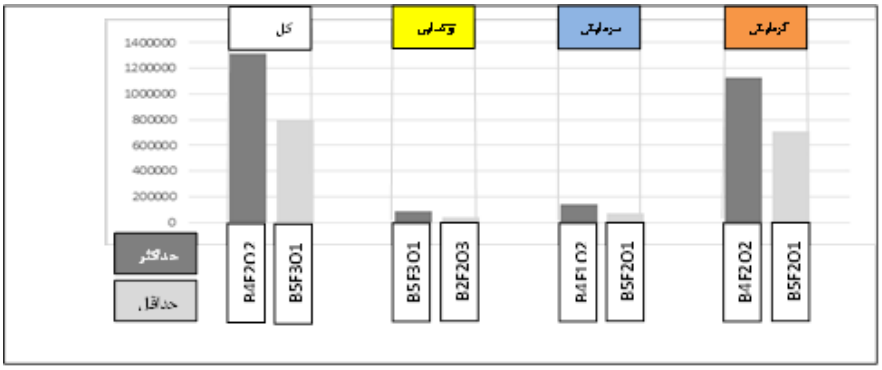


شکل ۷- جهت و زاویه غالب استقرار بافت و بلوک‌های ساختمانی شهر سنندج

Source: Research findings, 2018

www.SID.ir

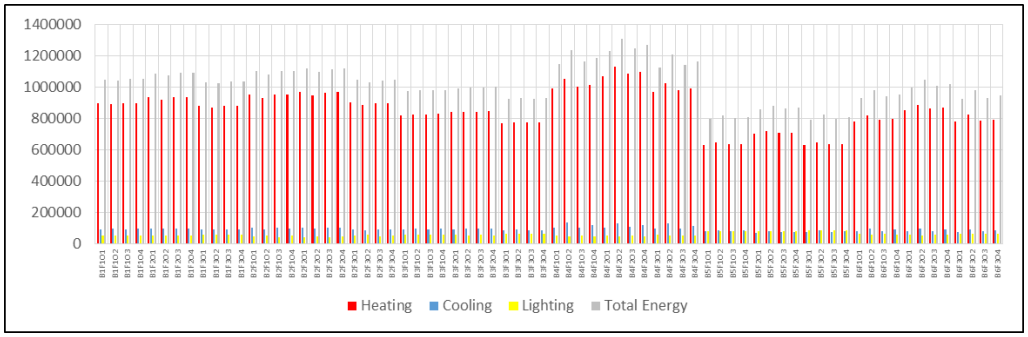
Archive of SID



شکل ۸- نتایج شبیه‌سازی حداکثر و حداقل مصرف انرژی کل (گرمایش، سرمایش و روشنایی) به ازای کیلووات ساعت بر مترمربع

Source: Research findings, 2018

بر این اساس ارزیابی عملکرد گرمایش، سرمایش و روشنایی به‌صورت مجزا یا ترکیبی از گرمایش و سرمایش معیار مناسبی برای شناسایی الگوهای کارآمد یا ناکارآمد از منظر انرژی کارایی به شمار نمی‌آیند. بیش‌ترین میزان مصرف انرژی کل توسط بخش گرمایش نسبت به بخش‌های دیگر به‌واسطه قرار گیری در اقلیم سرد کوهستانی، به مدل B4F2O2 و کم‌ترین به مدل B5F3O1 تعلق دارد. درنتیجه توجه بیشتر به این بخش از انرژی مطابق نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی، تأثیر مستقیمی بر انرژی کل مصرفی دارد. در ادامه با نگاهی دقیق‌تر به بررسی شاخص‌های مؤثر بر مصرف انرژی مدل‌های تحلیلی و ویژگی‌های آن پرداخته شده است.



شکل ۹- نتایج شبیه‌سازی مصرف انرژی کل (گرمایش، سرمایش و روشنایی) در مدل‌های ۷۲ گانه تحلیلی به ازای کیلووات ساعت بر متر مربع

Source: Research findings, 2018

نتایج حاصل از شبیه‌سازی انرژی و تحلیل بین شاخص‌های محل قرارگیری توده ساختمانی، طرح چیدمان معابر، جهت استقرار آن‌ها در مقیاس محله و میزان انرژی مصرفی بر اساس تحلیل آماری واریانس چندمتغیره، روابط معنی‌داری وجود دارد. به طوری که:

وضعیت قرارگیری توده ساختمانی و مصرف انرژی کل: با سطح ۰/۱ معنی‌داری، بیشترین و کم‌ترین میانگین به ترتیب به الگوهای B4 و B5 تعلق می‌گیرد.

جدول ۵- طبقه‌بندی Duncan، تحلیل واریانس چندمتغیری برای شناسایی بیش‌ترین و کم‌ترین میزان مصرف انرژی بر اساس شاخص محل قرارگیری توده ساختمانی

Building type	N	Subset					
		1	2	3	4	5	6
5	12	828847.79					
3	12		970609.37				
6	12			973025.37			
1	12				1058134.05		
2	12					1086731.65	
4	12						1204780.23
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000
							c. Alpha =.01.

Source: Research findings, 2018

www.SID.ir

Archive of SID

فرم ساختمان و نحوه قرارگیری آن در قطعه و فاصله میان ساختمان‌ها از عواملی به شمار می‌آیند که در میزان مصرف انرژی مؤثر هستند؛ بنابراین مصرف انرژی گرمایش و سرمایش توده‌های واقع در بلوک ساختمانی ردیفی به‌واسطه اشتراک بیشترین جبهه‌های آن دریک بلوک ساختمانی، کاهش می‌یابد. توده ساختمانی که دارای اشتراک کمتری در جبه‌های ساختمان هستند، به عبارتی مساحت حداکثری پوسته خارجی ساختمان با هوای آزاد به‌صورت برونگرا در ارتباط است و دارای شکستگی‌های بیشتر فرمی در حجم هستند، بیشترین مصرف انرژی گرمایش و سرمایش را به خود اختصاص می‌دهند، این در حالی است که مصرف انرژی روشنایی در این مدل‌ها به حداقل خود می‌رسد. الگوهای حیاط مرکزی(B3)، ردیفی یک‌طرف ساخت با حداقلی تماس توده ساختمانی در بلوک(B6)، دو (B1) و سه (B2) طرف ساخت به ترتیب رتبه‌های کمترین و بیشترین میزان مصرف انرژی را به خود اختصاص داده‌اند. این نکته قابل‌ذکر است؛ باوجوداینکه الگوهای بهینه توده ساختمانی در بافت‌های میانی و جدید شهر سنندج ازلحاظ مصرف انرژی مطلوب هستند، اما تأثیر متغیر عرض معابر را در بافت قدیمی نباید نادیده انگاشت.

الگوی شبکه معابر و مصرف انرژی کل: با سطح ۰/۱، بیشترین و کم‌ترین میانگین به ترتیب به طرح F2 و F3 تعلق می‌گیرد.

جدول ۶- طبقه‌بندی Duncan، تحلیل واریانس چند متغیری برای شناسایی بیش‌ترین و کم‌ترین میزان مصرف انرژی بر اساس شاخص شبکه معابر

Field	N	Subset		
		1	2	3
3	24	987948.6729		
1	24		1013023.4358	
2	24			1060092.1346
Sig.		1.000	1.000	1.000
				c. Alpha =.01.

Source: Research findings, 2018

با توجه به الگوهای شناسایی شده در بافت‌های متعدد شهر سنندج مطابق شکل(۶)، به نظر می‌رسد در اقلیم سرد کوهستانی بنا بر الگوهای مورداستفاده، هرچه توده‌های ساختمانی به هم نزدیک و فشرده باشند مصرف انرژی به حداقل خود می‌رسد، به عبارتی هرچه نسبت توده ساختمانی به معابر کمتر باشد از لحاظ مصرف انرژی گرمایش و سرمایش بهینه‌تر عمل می‌کند؛ بنابراین میزان استقلال جبهه‌های توده‌های ساختمانی واقع در شبکه معابر بر مصرف انرژی گرمایش و سرمایش تأثیر مستقیمی دارد. شبکه معابر الگوهای صلیبی که انتهای آن‌ها به توده ساختمانی ختم نمی‌شوند، شرایطی برای جریان بیشتر باد در اطراف بلوک‌های ساختمانی فراهم می‌آورد. این مسئله باعث اتلاف انرژی بیشتر می‌شود. الگوی شبکه معابر شطرنجی با حداقل فضای باز میانی که موجب بسته شدن یکی از معابر طولی یا عرضی می‌شود و جریان باد در محله را کاهش می‌دهد، در الگوی مصرف انرژی بهینه‌تر عمل می‌کند.

جهت و زاویه استقرار و مصرف انرژی: با سطح ۰/۱، بیشترین و کم‌ترین میانگین به ترتیب به الگوهای O2 و O1 تعلق می‌گیرد.

جدول ۷- طبقه‌بندی Duncan، تحلیل واریانس چند متغیری برای شناسایی بیش‌ترین و کم‌ترین میزان مصرف انرژی بر اساس شاخص جهت استقرار

Degree	N	Subset			
		1	2	3	4
1	18	1009205.4300			
3	18		1015347.8756		
4	18			1024020.4689	
2	18				1032845.2167
Sig.		1.000	1.000	1.000	1.000
					c. Alpha =.01.

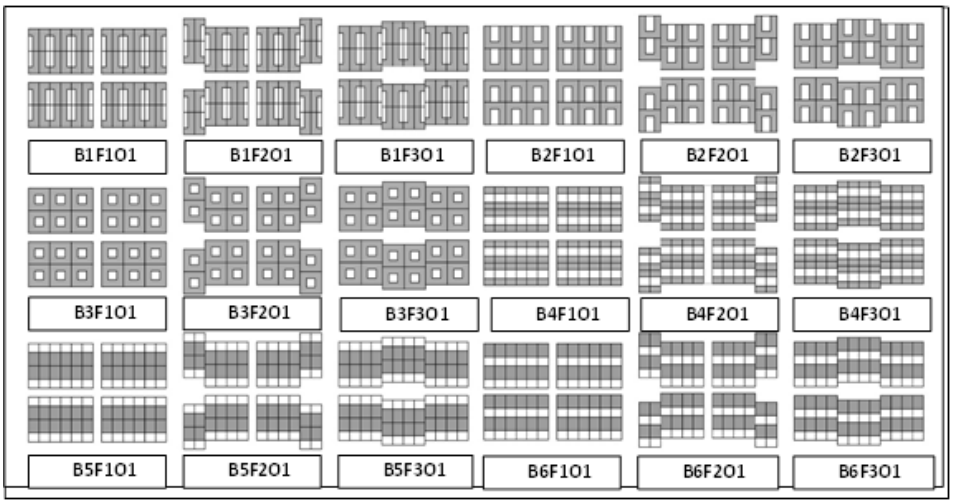
Source: Research findings, 2018

www.SID.ir

Archive of SID

تعیین جهت‌گیری مناسب کالبدی از لحاظ توده ساختمانی در مقیاس محله(بافت)، بیشترین نقش را در به حداقل رساندن مخاطرات اقلیمی و مصرف انرژی کل دارد. بر این اساس جهت گیری مناسب توده و بافت بر خرد اقلیم محلی متأثر از انرژی خورشیدی و جریان باد است. از میان جهات غالب شرقی- غربی(O1)، شمالی- جنوبی(O2)، ۲۰ درجه شمال غربی- جنوب غربی(O3) و ۴۰ درجه شمال شرقی- جنوب غربی (O4) شناسایی شده در شهر سنندج، کمترین مصرف انرژی الگوهای افقی(شرقی- غربی) مطلوب‌ترین جهت استقرار است. با دور شدن جهت-گیری از این جهت به سمت شمال و یا جنوب، میزان مصرف انرژی گرمایشی افزایش می‌یابد و در بدترین حالت ممکن الگوهایی که جهت استقرار آن‌ها شمالی- جنوبی است، اتفاق می‌افتد. الگوهایO3 و O4 به ترتیب اولویت قرار دارند. مصرف انرژی سرمایشی با جهت گیری شمالی- جنوبی کمترین میزان را دارا است. انرژی سرمایشی نسبت به جهت‌های مختلف به دلیل مسیر حرکت خورشید در طول روز و سال است. مصرف انرژی روشنایی همچنین نسبت به مصرف انرژی گرمایشی و سرمایشی متفاوت است. ازلحاظ روشنایی الگوی عمودی(شمالی- جنوبی) از وضعیت مطلوب‌تری برخوردار هستند. علی رغم آنکه بافت جدید شهر سنندج به‌طور حداکثری از الگوی افقی و الگوی تحت زاویه ۲۰ درجه در شبکه معابر و استقرار بافت محله بهره گرفته شده، اما بافت میانی اغلب از الگوی عمودی(شمالی- جنوبی) استفاده شده است.

شکل ۱۰- نمونه‌ای از مدل‌های (B5F1O1, B5F2O1, B5F3O1) در نرم‌افزار تحلیل انرژی دیزاین‌بیلدر. Source: Research findings, 2018



شکل ۱۱- ریخت گونه شناسی مدل‌های تحلیلی برای شبیه‌سازی مصرف انرژی در جهت استقرار (O1)، قابل ذکر است که این مدل‌ها در سه جهت دیگر شناسایی شده تغییر یافته و جمعاً ۷۲ شبیه‌سازی مصرف انرژی انجام گرفته است. Source: Research findings, 2018

نتیجه‌گیری

در سال‌های اخیر، افزایش نگرانی‌ها در خصوص تبعات زیست محیطی مصرف انرژی و گرم شدن کره زمین، اهمیت این موضوع را دوچندان نموده است از این رو در اکثر کشورهای صنعتی، اقدامات اساسی در زمینه اصلاح

www.SID.ir

Archive of SID

الگوی مصرف، با استفاده از ابزارهای مختلف از جمله تدوین مقررات و ضوابط، صورت گرفته است. در ایران، بخش ساختمان حدود ۴۰ درصد از کل مصرف انرژی را به خود اختصاص می‌دهد یکی از پرمصرف‌ترین بخش‌های تقاضای انرژی بخش خانگی است. به طوری که بیش از یک سوم مصرف انرژی در کشور را تقاضای انرژی بخش خانگی تشکیل می‌دهد. بخش خانگی به تنهایی بیشترین مصرف کننده نفت سفید بوده و حدود ۶/۹۴ درصد از کل مصرف این فرآورده مربوط به این بخش است. عوامل عمده مؤثر بر سطح مصرف انرژی ساختمان‌ها عبارت‌اند از اقلیم، مورفولوژی، طراحی ساختمان، سیستم بهره‌وری و رفتار ساکنین اغلب، این عوامل به هم مرتبط هستند. بیکر و استیمرز[1] در سال ۲۰۰۰ با امتیاز دهی به هریک از عوامل تأثیرگذار بر مصرف انرژی تخمین زده‌اند که عوامل ساخت و ساز فیزیکی شهری (مرفولوژی)، سیستم‌ها و رفتار ساکنین هرکدام به ترتیب اثری برابر با ۲ و ۲ و ۲/۵ بر میزان تقاضای انرژی دارند. ساختمان نه تنها با شرایط اقلیمی منطقه خود را تطبیق می‌دهد، بلکه ارتباط متقابلی با آن برقرار می‌کند. به طوری که بر اساس گفته ریچارد راجرز[2]، ساختمان‌ها مانند پرندگان هستند که در زمستان پرهای خود را پوش داده و خود را با شرایط جدید محیط وفق می‌دهند و بر اساس آن سوخت و سازشان را تنظیم می‌کنند. به طور کلی رابطه‌ی متقابل و تنگاتنگی بین ساختمان‌ها و محیط خارجی آن‌ها وجود دارد. هر بنا، وضعیت آب و هوایی اطراف خود را تغییر می‌دهد. هندسه و مقطع شهر، شکل، ارتفاع، اندازه بناها، جهت خیابان‌ها و ساختمان‌ها و سطح فضاهای باز، همگی عواملی هستند که اقلیم خرد شهر را تعیین می‌کنند، بنابراین، هر عنصر انسان ساخت شهری در اطراف و بالای خود اقلیم مصنوعی خاصی پدید می‌آورد که همواره با آن در ارتباط متقابل قرار می‌گیرد. رابطه متقابل و تنگاتنگی بین ساختمان‌ها و محیط خارجی آن‌ها وجود دارد.

شناسایی شاخص‌های مؤثر بر مصرف انرژی الگوهای مسکن در مقیاس میانی تحت عنوان محله و تدوین روابط تأثیرگذار هر کدام از شاخص‌ها امری بسیار پیچیده است. هر سلول شهری از دو بخش اصلی که توده و فضا نام دارد تشکیل شده است. توده‌های ساختمانی از فرم، ارتفاع، تراکم، مساحت و جهت‌گیری خاصی برخوردار هستند. چگونگی قرارگیری ساختمان‌ها در یک سایت، فاصله بین ساختمان و ارتفاع ساختمان‌ها و نسبت ابعادی (محصوریت) می‌تواند تأثیر عمده‌ای بر مصرف انرژی ساختمان داشته باشد. موقعیت ساختمان در سایت، فرم، جهت‌گیری و فاصله میان ساختمان‌ها از جمله عوامل مهمی هستند که در میزان دریافت تابش خورشیدی تأثیرگذار هستند. به عنوان مثال، در مناطق سرد، فرم فشرده (متراکم) منجر به افزایش میزان تقاضای انرژی گرمایشی می‌گردد، به این دلیل که ساختمان‌ها مانع دسترسی به انرژی خورشیدی می‌شوند؛ بنابراین برای به حداکثر رساندن میزان دریافت تابش خورشیدی، طراحی افقی و عمودی (دو بعدی و سه بعدی) ساختمان‌ها باید با دقت بیشتری صورت پذیرد. به طور کلی برای دستیابی به یک ساختمان انرژی کارا، همه جنبه‌های ساختمانی بایستی لحاظ گردد. در این میان مقیاس شهری نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یک فرم شهری مناسب، میزان دریافت انرژی تابشی جداره‌های یک مجموعه ساختمانی در زمان‌های مختلف را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این عامل از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر مصرف انرژی سرمایشی، گرمایشی و روشنایی ساختمان است. همچنین فرم شهری بر نحوه و میزان اثر

[1]. Steemers & Baker
[2]. Richard Rogers

www.SID.ir

Archive of SID

تهویه طبیعی در تابستان و محافظت از ساختمان در مقابل بادهای سرد در زمستان اثر می‌گذارد؛ بنابراین پارامترهایی نظیر تابش خورشیدی، جذب خورشیدی، نور روز و تهویه طبیعی به طور مستقیم تحت تأثیر مرفولوژی می‌باشند. یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار بر مصرف انرژی ساختمان الگوی قطعه‌بندی زمین است. الگوی قطعه‌بندی زمین با توجه به ابعاد و اندازه، مساحت، فرم، جهت‌گیری، نسبت سطح ساخته شده به فضای باز هر قطعه، نحوه استقرار ساختمان در قطعه و چگونگی اتصال فضاهای پر و خالی با سایر قطعات، تأثیراتی متفاوتی بر میزان مصرف انرژی ساختمان به همراه دارد. با توجه به این موضوع که هدف از طراحی شهری انرژی کارا در بافت‌های شهری به دست آوردن آسایش حرارتی در فضاهای داخلی (ساختمان) و کاهش تقاضا تأمین کنندگان انرژی مکانیکی با استفاده از افزایش امکان بهره‌وری از انرژی‌های طبیعی است، از این‌رو الگوی قطعه‌بندی زمین باید به‌گونه‌ای باشد که شرایط دسترسی به تابش خورشید و جریان باد را برای ساختمان‌ها با توجه به نوع اقلیم فراهم سازد.

الگوی شبکه معابر بافت نقش مهمی بر مصرف انرژی ساختمان‌ها دارند. معابر دارای الگوهای مختلفی است که با توجه به نوع فرم طول و عرض و جهت از یکدیگر متمایز می‌شوند هستند. در واقع تأثیر این شاخص بر مصرف سوخت در ساختمان، ناشی از ترکیب آن با ویژگی‌های ساختمان‌های هم‌جوار و فضاهای باز است. یکی از مهم‌ترین پارامترها جهت قرارگیری خیابان است که معمولاً عامل تعیین‌کننده در نحوه‌ی استقرار ساختمان‌ها است، به خصوص در قسمت‌هایی که ساختمان‌ها بخش اعظمی از زمین قابل ساخت را پوشش دهند.

مساحت و فرم فضاهای باز یا خالی در بافت‌های شهری از عوامل تأثیرگذار بر مصرف انرژی به شمار می‌رود. این فضاها یا به صورت حیاط‌های خصوصی و یا به صورت فضاهای باز عمومی در بافت‌های شهری وجود دارند که در واقع آرایش یا نحوه‌ی ترکیب آن‌ها با ساختمان‌ها و معابر بر مصرف سوخت ساختمان تأثیرگذار است. میزان مصرف انرژی ساختمان‌ها، با شاخص‌های مورفولوژی شهری هم پیوند است، این پیوند به گونه‌ای است که اعمال هر گونه تغییری در شاخص‌ها (به واسطه‌ی تأثیری که بر خرد اقلیم شهری به جای می‌گذارند)، تغییرات منفی یا مثبتی در میزان تقاضای انرژی بافت‌های شهری به همراه دارد. متأسفانه، طراحی شهری در ارتباط با چگونگی تعریف فرم کالبدی محله‌های شهری و بحث‌های مربوط به گرمایش زمین و تغییرات اقلیمی با نواقص و کاستی‌های چشمگیری ظاهر شده است. همان طور که گفته شد، نیمی از کل انرژی مصرفی، به شهرها و مناطق شهری تعلق دارد، از این‌رو، اجتناب از اشتباهات در مراحل اولیه طراحی شهری می‌تواند منجر به شکل‌گیری بیشتر شهرهای سازگار با محیط زیست شود؛ بنابراین به‌جرئت می‌توان گفت که تحقق طراحی شهری انرژی کارا در گرو، بازنگری شهرسازی معاصر و بررسی تأثیرات مثبت و منفی انواع بافت‌های شهری، همچنین تصمیم‌گیری صحیح در مورد ساختار شهری، از جمله الگوی قطعه‌بندی زمین، ویژگی‌های کالبدی ساختمان‌ها، شبکه معابر، فضاهای باز در ارتباط با مصرف انرژی ساختمان‌ها است.

در این پژوهش شاخص‌های مشترک مشتمل بر الگوهای غالب قرارگیری توده ساختمان، معابر و خیابان‌ها و جهت-گیری مجموع الگوها در ۷۲ مدل بر اساس تقسیم‌بندی بافت قدیمی، میانی و جدید در ادوار شکل‌گیری محلات شهر سنندج برای ارزیابی کارایی انرژی مورد سنجش قرار گرفت. بر این اساس در تحلیل هم زمان انرژی کل-(گرمایش، سرمایش و روشنایی) بافت‌هایی با ترکیب ساختمان‌های پشت به پشت هم در قالب بلوک‌های ردیفی-

www.SID.ir

Archive of SID

(B5) با الگوی فضای باز میانی بلوک‌های ساختمانی(F3) و کشیدگی افقی(O1) در جهت شرقی- غربی، مصرف انرژی کمتری در شهر سنندج نسبت به سایر مدل‌های تحقیق را دارند. این ویژگی‌ها بیشتر در بافت‌های جدید و میانی بافت محلات عموماً جدید شهر سنندج استفاده شده است. پژوهش‌های پیشین نیز در اقلیم‌های سرد و معتدل الگوهای مشابه خصوصاً از جهت کشیدگی و زاویه قرارگیری بلوک‌های شهری و به تبع آن الگوی معابر و توده ساختمانی را مورد تأکید قرار داده‌اند. ناکارآمدترین مدل شناسایی‌شده در این تحقیق مربوط به الگوهایی هستند که توده ساختمانی به صورت پراکنده در قطعه و دارای بیشترین جبهه‌ها در معرض فضای باز قرار گرفته‌اند، جهت استقرار کشیدگی بلوک‌های این مدل‌ها عموماً شمالی- جنوبی هستند. نتایج تحلیل آماری مطابق جدول(۸) بین شاخص‌های مورد بررسی و مصرف انرژی کل رابطه معنی‌داری را نشان می‌دهد. از این‌رو توجه به یافته‌های اولیه از نتایج شاخص‌های تحلیلی در تعیین و تصمیم‌گیری طراحان و برنامه‌ریزان شهری در مراحل نخست طراحی، اجتناب‌ناپذیر و ضروری به نظر می‌رسد. از این نظر یافته‌های این مقاله در جهت انسجام طراحی شهری و معماری در چارچوب تحلیل مورفولوژی شهری در بحث انرژی با توجه به مقیاس محله حائز اهمیت است. در نهایت پیشنهاد می‌شود، راهبردهایی برای بهبود بهره‌وری انرژی در تدوین برنامه‌های بازسازی، طرح‌های توسعه شهرها و مقررات بخش ساختمان با رویکردهای مشابه این پژوهش به عنوان نقطه آغازین مطالعات اتخاذ گردد. علاوه بر مطالعات حوزه بهره‌وری انرژی که مورد تأکید پژوهش حاضر است، توجه به آسایش حرارتی در فضاهای باز شهری، حمل و نقل، برنامه‌ریزی کاربری در مقیاس کلان و همچنین تعیین نسبت‌های خرد شاخص‌ها مانند نسبت سطح به حجم، نسبت ارتفاع ساختمان به عرض معابر و غیره در جهت دستیابی به پایداری در مقیاس محله باوجود گستردگی و پیچیدگی آن، می‌تواند پایه‌های پایداری شهری را فراهم آورد.

جدول ۸- طبقه‌بندی مقادیر مصرف انرژی الگوهای کارآمد و ناکارآمد مدل‌های پژوهش و روابط معنی‌داری بر اساس تحلیل واریانس چند متغیره و آزمون طبقه-بندی Duncan شاخص‌های مورد بررسی

شاخص‌های موردبررسی	الگوهای مصرف بالا		الگوهای کم‌مصرف
محل قرارگیری توده ساختمانی و میزان مصرف انرژی کل**	B4	B3-B6-B1-B2	B5
طرح چیدمان معابر و میزان مصرف انرژی کل**	F2	F1	F3
جهت استقرار توده ساختمانی در مقیاس محله بر اساس چیدمان معابر و میزان مصرف انرژی کل**	O2	O3-O4	O1

** معنی‌دار در سطح ۱ درصد. **Source: Research findings, 2018**

References

Irandost, Kiyomars & Kiyomars Habibi(2013), Formation of the outlook of Sanandaj city, governorate of Kurdistan province(in persian).

Riazi, Mansoureh & Seyyed Mehdi Hosseini(2011), A Survey on Energy Production and Consumption Optimization Policies in the Construction Sector of Iran ", The First International Conference on Modern Approaches to Energy Conservation, Tehran, Amir Kabir University of Technology(in persian).

Adolphe, L. (2001a). Modelling the link between built environment and urban climate: towards simplified indicators of the city environment. In Seventh International IBPSA Conference (pp. 13-15).

Adolphe, L. (2001b). A simplified model of urban morphology: application to an analysis of the environmental performance of cities. Environment and planning B: planning and design, 28(2), 183-200.

Ali-Toudert, F. & Mayer, H. (2007). Thermal comfort in an east–west oriented street canyon in Freiburg (Germany) under hot summer conditions. Theoretical and Applied Climatology, 87(1-4), 223-237.

www.SID.ir

Archive of SID

Anbouhi, M. H. Farahza, N. & Ayatollahi, S. M. H. (2016). Analysis of Thermal Behavior of Materials in the Building Envelope Using Building Information Modeling (BIM)—A Case Study Approach. Open Journal of Energy Efficiency, 5(03), 88.

Dascalaki, E. G. Droutsa, K. G. Balaras, C. A. & Kontoyiannidis, S. (2011). Building typologies as a tool for assessing the energy performance of residential buildings–A case study for the Hellenic building stock. Energy and Buildings, 43(12), 3400-3409.

DeKay, M. & Brown, G. Z. (2013). Sun, wind, and light: architectural design strategies. John Wiley & Sons.

Emmanuel, R. Rosenlund, H. & Johansson, E. (2007). Urban shading—a design option for the tropics? A study in Colombo, Sri Lanka. International journal of climatology, 27(14), 1995-2004.

Haapio, A. (2012). Towards sustainable urban communities. Environmental Impact Assessment Review, 32(1), 165-169.

Hachem, C. Fazio, P. & Athienitis, A. (2013). Solar optimized residential neighborhoods: Evaluation and design methodology. Solar Energy, 95, 42-64.

Huovila, P. (2007). Buildings and climate change: status, challenges, and opportunities. UNEP/Earthprint.

Koch, A. Girard, S. & McKoen, K. (2012). Towards a neighbourhood scale for low-or zero-carbon building projects. Building Research & Information, 40(4), 527-537.

Majcen, D. Itard, L. & Visscher, H. (2015). Statistical model of the heating prediction gap in Dutch dwellings: Relative importance of building, household and behavioural characteristics. Energy and Buildings, 105, 43-59.

Marino, C. Nucara, A. & Pietrafesa, M. (2017). Does window-to-wall ratio have a significant effect on the energy consumption of buildings? A parametric analysis in Italian climate conditions. Journal of Building Engineering, 13, 169-183.

Nasrollahi, F. (2013). Green office buildings: low energy demand through architectural energy efficiency. Universitätsverlag der TU Berlin

Nayak, J. K. & Prajapati, J. A. (2006). Handbook on energy conscious buildings. Prepared under the interactive R & D project, (3/4), 03.

Nguyen Van, T. & De Troyer, F. (2018). New Surrogate Model for Wind Pressure Coefficients in a Schematic Urban Environment with a Regular Pattern. Atmosphere, 9(3), 113.

Pothitou, M. Kolios, A. J. Varga, L. & Gu, S. (2016). A framework for targeting household energy savings through habitual behavioural change. International Journal of Sustainable Energy, 35(7), 686-700.

Premrov, M. Žigart, M. & Leskovar, V. Ž. (2018). Influence of the building shape on the energy performance of timber-glass buildings located in warm climatic regions. Energy, 149, 496-504.

Rahman, M. M. Rasul, M. G. & Khan, M. M. K. (2010). Energy conservation measures in an institutional building in sub-tropical climate in Australia. Applied Energy, 87(10), 2994-3004.

Ratti, C. Baker, N. & Steemers, K. (2005). Energy consumption and urban texture. Energy and buildings, 37(7), 762-776.

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.

Salat, S. (2009). Energy loads, CO2 emissions and building stocks: morphologies, typologies, energy systems and behaviour. Building Research & Information, 37(5-6), 598-609.

Steemers, K. (2003). Cities, energy and comfort: a PLEA 2000 review. Energy & Buildings, 1(35), 1-2.

Strømann-Andersen, J. & Sattrup, P. A. (2011). The urban canyon and building energy use: Urban density versus daylight and passive solar gains. Energy and Buildings, 43(8).

Taleghani, M. Tenpierik, M. & van den Dobbelsteen, A. (2014). Energy performance and thermal comfort of courtyard/atrium dwellings in the Netherlands in the light of climate change. Renewable Energy, 63, 486-497.

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.

www.SID.ir

Archive of SID

Tsirigoti, D. & Tsikaloudaki, K. (2018). The Effect of Climate Conditions on the Relation between Energy Efficiency and Urban Form. Energies, 11(3), 582.

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.

Van Wee, B. (2002). Land use and transport: research and policy challenges. Journal of transport geography, 10(4), 259-271.

Vega-Azamar, R. E. Glaus, M. Hausler, R. Oropeza-García, N. A. & Romero-López, R. (2013). An emergy analysis for urban environmental sustainability assessment, the Island of Montreal, Canada. Landscape and Urban Planning, 118, 18-28.

Verovsek, S. Juvancic, M. & Zupancic, T. (2018). Widening the scope and scale of sustainability assessments in built environments: from passive house to active neighbourhood. Academic journal of interdisciplinary studies, 7(1), 129-135.

Vettorato, D. (2011). Bridging Urban Morphology and Energy Performance Analysis. In 47th ISOCARP Congress (pp. 1-12).

Wang, B. Cot, L. D. Adolphe, L. Geoffroy, S. & Sun, S. (2017). Cross indicator analysis between wind energy potential and urban morphology. Renewable Energy, 113, 989-1006.

Yamaguchi, Y. Shimoda, Y. & Mizuno, M. (2007). Transition to a sustainable urban energy system from a long-term perspective: Case study in a Japanese business district. Energy and Buildings, 39(1), 1-12.

www.SID.ir