

تحلیل مکانی اثر ویژگی‌های اقلیمی شهری بر کیفیت هوای داخلی ساختمان‌های انرژی صفر با استفاده از GIS، داده‌های سنجش از دور و مدل‌سازی در نرم‌افزار DesignBuilder مطالعه موردی: محله جانبازان، شهر سمنان

نوع مقاله: علمی پژوهشی

الناز مقصودی^۱، سعید کامیابی^{۲*}✉، محمدرضا زندمقدم^۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۷/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۹/۳۰

صفحه ۴۰ تا ۶۹

چکیده

گسترش شهرنشینی و توسعه ساختمان‌های متراکم در اقلیم‌های گرم و خشک ایران موجب افزایش مصرف انرژی و افت کیفیت هوای داخلی شده است. ساختمان‌های انرژی صفر به عنوان یکی از راهکارهای نوین در معماری پایدار، با هدف کاهش اتلاف انرژی و ارتقای کیفیت زیست‌محیطی طراحی می‌شوند. این پژوهش با هدف تحلیل اثر ویژگی‌های اقلیمی شهری بر کیفیت هوای داخلی ساختمان‌های انرژی صفر، از ترکیب مدل‌سازی عددی و تحلیل مکانی بهره گرفته است. در این مطالعه، داده‌های ماهواره‌ای Landsat ۸ و Sentinel-۵P برای استخراج دمای سطح زمی، تابش خورشیدی و غلظت آلاینده‌های $PM_{2.5}$ و NO_2 پردازش و در محیط GIS تلفیق شدند. سپس داده‌های اقلیمی و ساختمانی محله جانبازان شهر سمنان به نرم‌افزار DesignBuilder وارد گردید تا پارامترهای دما، رطوبت نسبی، نرخ تهویه و غلظت CO_2 در ساختمان‌های انرژی صفر شبیه‌سازی شود. نتایج نشان داد که در مناطق با دمای سطحی بالاتر و تراکم ساختمانی بیشتر، میانگین دمای داخلی و غلظت CO_2 افزایش یافته و تهویه طبیعی کاهش می‌یابد. همبستگی مثبت میان تابش خورشیدی و دمای داخلی نشان می‌دهد که ویژگی‌های اقلیمی شهری نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد حرارتی ساختمان‌های انرژی صفر دارند. ادغام داده‌های سنجش از دور، GIS و مدل‌سازی انرژی در DesignBuilder، رویکردی کارآمد برای برنامه‌ریزی اقلیم‌محور شهری و ارتقای کیفیت هوای داخلی در مناطق گرم و خشک فراهم می‌سازد.

واژگان کلیدی: سیستم اطلاعات جغرافیایی، سنجش از دور، کیفیت هوای داخلی ساختمان‌های انرژی صفر، نرم افزار دیزاین بیلدر، دمای سطح زمین

۱ گروه جغرافیا، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران Elnazmgd@gmail.com

۲ گروه جغرافیا، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران saeidkamyabi@gmail.com

۳ گروه جغرافیا، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران Dr.zandmoghadam@gmail.com

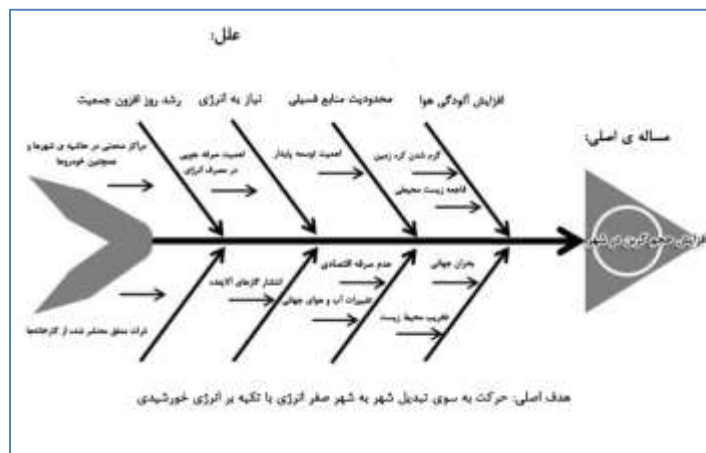
مقدمه

ساختمان‌های انرژی صفر^۴ به‌عنوان یکی از راهبردهای کلیدی توسعه پایدار، با هدف کاهش مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها طراحی می‌شوند. با این حال، عملکرد واقعی این ساختمان‌ها به‌شدت تحت تأثیر ویژگی‌های اقلیمی و محیطی پیرامون قرار دارد. در مناطق شهری، عواملی نظیر دما، رطوبت، باد، آلودگی هوا و جزیره گرمایی شهری می‌توانند کیفیت هوای داخلی^۵ ساختمان‌های انرژی صفر را تحت تأثیر قرار دهند. در این میان، سیستم اطلاعات جغرافیایی با فراهم کردن بستر تحلیل‌های مکانی، نقش مهمی در ارزیابی ارتباط بین اقلیم شهری و کیفیت هوای داخلی ایفا می‌کند. افزایش مصرف انرژی در بخش ساختمان، به‌ویژه در اقلیم‌های گرم و خشک ایران، یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی و اقتصادی دهه‌های اخیر است. رشد بی‌رویه شهرنشینی، کاهش تهویه طبیعی و طراحی‌های غیراقلیم‌محور، منجر به افزایش دمای محیط و افت کیفیت هوای داخلی ساختمان‌ها شده است. این در حالی است که ساختمان‌های انرژی صفر به‌عنوان نسل جدید سازه‌های پایدار، با بهره‌گیری از طراحی اقلیمی و فناوری‌های نوین، می‌توانند میزان مصرف انرژی را تا حد زیادی کاهش دهند و شرایط زیست‌پذیری داخلی را بهبود بخشند. کیفیت هوای داخلی یکی از شاخص‌های کلیدی پایداری ساختمان‌ها محسوب می‌شود و ارتباط مستقیم با سلامت، آسایش حرارتی و بهره‌وری ساکنان دارد. عواملی مانند دما، رطوبت، نرخ تهویه و غلظت آلاینده‌هایی نظیر CO₂ و PM_{2.5}، کیفیت هوای داخلی را تعیین می‌کنند. با این

حال، این پارامترها تحت تأثیر مستقیم شرایط اقلیمی بیرونی، از جمله تابش خورشید، دمای سطح زمین، و نوع بافت شهری قرار دارند. استفاده از فناوری‌های سنجش از دور^۶ و سیستم اطلاعات جغرافیایی^۷ امکان تحلیل فضایی اثرات اقلیم شهری بر عملکرد حرارتی و تهویه ساختمان‌ها را فراهم می‌کند. داده‌های ماهواره‌ای مانند لندست^۸ و سنتی نل^۹ قابلیت استخراج پارامترهایی نظیر دمای سطح زمین^{۱۰}، تابش خورشیدی و غلظت آلاینده‌های جوی را در مقیاس مکانی بالا دارند. تلفیق این داده‌ها با مدل‌سازی عددی در نرم‌افزار دیزاین بیلدر^{۱۱} مبتنی بر موتور انرژی پلاس^{۱۲}، این امکان را فراهم می‌کند تا کیفیت هوای داخلی در ساختمان‌های انرژی صفر در شرایط واقعی اقلیمی شبیه‌سازی و تحلیل شود. در این پژوهش، با هدف تحلیل مکانی اثر ویژگی‌های اقلیمی شهری بر کیفیت هوای داخلی، داده‌های سنجش از دور و جی آی اس با نتایج مدل‌سازی در دیزاین بیلدر تلفیق گردید. محدوده مورد مطالعه، محله جانبازان شهر سمنان است که به‌عنوان یکی از بافت‌های متراکم در اقلیم گرم و خشک ایران شناخته می‌شود. یافته‌های این پژوهش می‌تواند مبنایی برای طراحی اقلیم‌محور، بهینه‌سازی مصرف انرژی و ارتقای سلامت محیط‌های داخلی در مناطق مشابه فراهم کند

^۶ Remote Sensing
^۷ GIS
^۸ Landsat
^۹ Sentinel
^{۱۰} LST
^{۱۱} DesignBuilder
^{۱۲} EnergyPlus

^۴ Zero Energy Buildings
^۵ Indoor Air Quality – IAQ



شکل ۱- بیان مساله پژوهش به روش استخوان ماهی

منبع: نگا، نده ۱۴۰۴

۱- مبانی نظری

۱-۱- تعاریف (تعاریف نظری و عملیاتی متغیرها)

سیستم اطلاعات جغرافیایی

ابزاری برای جمع‌آوری، تحلیل و نمایش داده‌های مکانی که امکان تحلیل فضایی روابط بین متغیرهای اقلیمی و ساختمانی، را فراهم می‌کند. (عینی و همکاران، ۱۳۹۸)

نمایند، از این روی کیفیت هوای داخلی نیز همچون آسایش حرارتی اثر مستقیمی بر سلامت، میزان بهره‌وری و روحیه‌ی انسان‌ها دارد. (فتح زاده و همکاران، ۱۳۹۳). عوامل بسیاری در ایجاد یک محیط باکیفیت داخلی موثرند که یکی از آنها تهویه مناسب است. یکی از عوامل مهم در مشخص نمودن نرخ تهویه، میزان دی‌اکسیدکربن موجود در فضا است. (انصاری منش و همکاران، ۱۳۹۷).

سنجش از دور: فناوری جمع‌آوری اطلاعات از سطح زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای یا هوایی بدون تماس مستقیم، برای استخراج پارامترهایی مانند دما، تابش و آلودگی (رضایی و همکاران، ۱۳۹۱)

ساختمان کربن صفر: ساختمان های صفر انرژی ساختمان هایی هستند که برآیند سالانه تولید و مصرف انرژی در آنها صفر است این ساختمان ها عاری از گازکربنیک هستند زیرا در آن از سوخت های فسیلی استفاده نمی شوند (علی زاده و همکاران ۱۴۰۰)

کیفیت هوای داخلی: یکی از مهمترین نیازمندیهای محیطی انسان، تأمین شرایط آسایش حرارتی است. رایج ترین تعریف آسایش حرارتی، تعریف ارائه شده توسط استاندارد اشری است که آسایش حرارتی را به شرایط ذهنی بیانگر رضایت از محیط حرارتی، تعریف میکند همچنین محققان با انجام بررسی های جامع به این نتیجه رسیده اند که انسانها بین ۸۰ الی ۹۰ درصد زمان زندگی خود را در محیط های داخلی سپری می

نرم افزار دیزاین بیلدر: نرم افزار مدل سازی انرژی و تهویه ساختمان مبتنی بر موتور انرژی پلاس که برای تحلیل عملکرد حرارتی و کیفیت هوای داخلی استفاده می شود. (حسین زاده و همکاران، ۱۴۰۳)

دمای سطح زمین: شاخصی به دست آمده از تصاویر

ماهواره‌ای که دمای سطوح زمین و سازه‌ها را نشان می‌دهد و به‌طور مستقیم بر اقلیم شهری تأثیر دارد. (اصغری و همکاران، ۱۴۰۴)

۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش به‌صورت توصیفی-تحلیلی و در پنج گام اصلی انجام شده است:

۱- جمع‌آوری داده‌ها

داده‌های ماهواره‌ای:

تصاویر Landsat OLI/TIRS برای استخراج دمای سطح زمین^{۱۳} و تابش خورشیدی و داده‌های Sentinel-P TROPOMI برای آلاینده‌های NO₂ و PM_{2.5}.

داده‌های اقلیمی و زمینی:

داده‌های دما، باد، رطوبت و تابش از ایستگاه هواشناسی سمنان و نقشه‌های کاربری زمین و ساختمان‌ها از شهرداری.

داده‌های ساختمانی:

ویژگی‌های فیزیکی، مصالح، نوع پنجره، جهت ساختمان، و نرخ تهویه برای ساختمان‌های منتخب انرژی صفر در محله جانبازان.

۲- پردازش داده‌های سنجش از دور

پیش‌پردازش تصاویر (تصحیح هندسی و رادیومتریک) در نرم‌افزار ENVI
استخراج LST از باند حرارتی Landsat با روش Split-Window.

تهیه نقشه‌های تابش خورشید و آلودگی هوا و انتقال آن‌ها به محیط ArcGIS Pro

۳- تحلیل مکانی در GIS

ترکیب لایه‌های LST، تابش خورشیدی، آلودگی هوا، کاربری زمین و تراکم ساختمان.
تحلیل فضایی همبستگی بین متغیرهای اقلیمی و محل ساختمان‌های انرژی صفر.
تولید نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی اقلیمی محله جانبازان.

۴- مدل‌سازی عددی در DesignBuilder

وارد کردن داده‌های اقلیمی (EPW) و ویژگی‌های ساختمانی در نرم‌افزار DesignBuilder.
شبیه‌سازی پارامترهای دما، رطوبت، نرخ تهویه و غلظت CO₂ برای ساختمان‌های منتخب.
خروجی‌ها در قالب فایل‌های CSV و Raster به GIS منتقل شدند.

۵- تلفیق نتایج و تحلیل نهایی

هم‌پوشانی نتایج مدل‌سازی با نقشه‌های اقلیمی شهری در GIS

تحلیل آماری همبستگی میان شرایط بیرونی و پارامترهای کیفیت هوای داخلی.
تهیه نقشه‌های نهایی «کیفیت هوای داخلی ساختمان‌های انرژی صفر» در مقیاس محله‌ای.

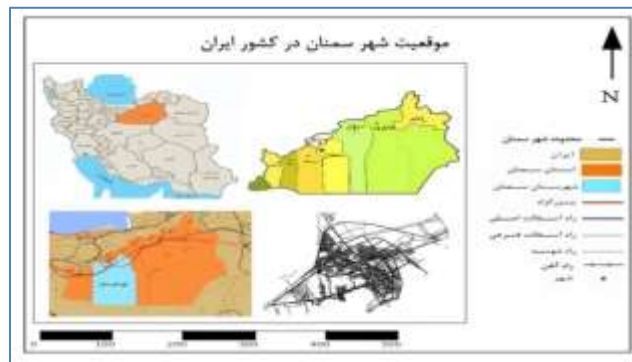
۳- تجزیه و تحلیل

۳-۱- معرفی محدوده مورد مطالعه

- اقلیم گرم و خشک کاملاً شاخص و قابل تعمیم به بسیاری از شهرهای کویری ایران،
- وجود داده‌های اقلیمی دقیق و در دسترس برای تحلیل و شبیه‌سازی انرژی،
- ترکیب متنوع بافت‌های شهری که امکان بررسی در مقیاس‌های مختلف را فراهم می‌کند،
- برخورداری از ظرفیت بالای توسعه‌ی انرژی خورشیدی و تجربه‌های اولیه در این زمینه.

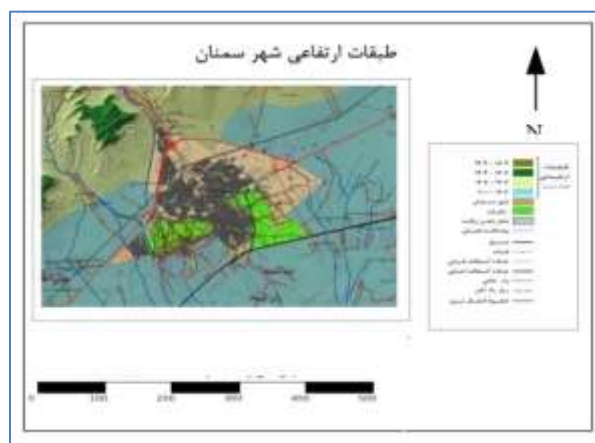
برای بررسی دقیق الگوهای مصرف انرژی و ارزیابی سناریوهای بهینه‌سازی، ترکیبی از داده‌های اقلیمی، کالبدی، ساختمانی و عملکردی مورد استفاده قرار گرفته است. این داده‌ها از منابع معتبر استخراج و در نرم‌افزارهای GIS و شبیه‌ساز انرژی به کار گرفته شده‌اند.

سمنان یکی از شهرهای ایران، مرکز استان سمنان و شهرستان سمنان است. این شهر در جنوب رشته کوه البرز و شمال دشت کویر مرکزی ایران، در مسیر جاده ابریشم و راه تهران به خراسان (رضوی) قرار گرفته است. این شهر در محدوده‌ای بین طول‌های جغرافیایی حدود ۵۳/۳۳ تا ۵۳/۴۶ درجه شرقی و ۳۵/۵ تا ۳۵/۶۲ درجه عرض شمالی قرار دارد. ارتفاع شهر در جنوبی‌ترین نقطه میدان راه آهن ۱۰۹۷ متر و در بالاترین منطقه شهری مرکز شهرک روزیه ۱۲۵۵ متر است. شهر سمنان به عنوان مرکز استان سمنان، در بخش مرکزی ایران و در ناحیه‌ای با اقلیم گرم و خشک واقع شده است. این شهر از جمله نقاطی است که با چالش‌های زیست‌محیطی مرتبط با کمبود منابع آب، تابش شدید آفتاب، و نوسانات شدید دمایی روز و شب مواجه است. انتخاب شهر سمنان به عنوان محدوده‌ی مورد مطالعه، به دلایل زیر صورت گرفته است:



نقشه ۱- موقعیت شهر سمنان در کشور ایران

منبع: سند توسعه شهرستان سمنان، ۱۳۹۶، تدوین: نگارنده ۱۴۰۴

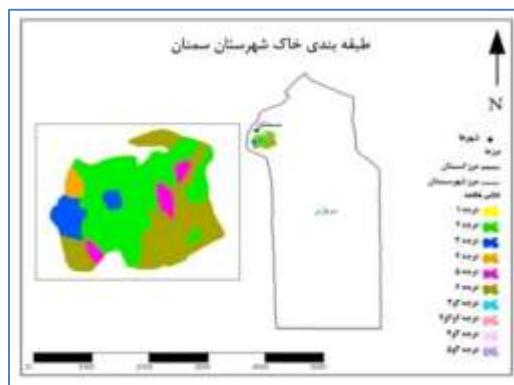


نقشه ۲- طبقات ارتفاعی شهر سمنان

منبع: طرح جامع شهر سمنان ۱۳۹۴، تدوین نهایی: نگارنده ۱۴۰۴

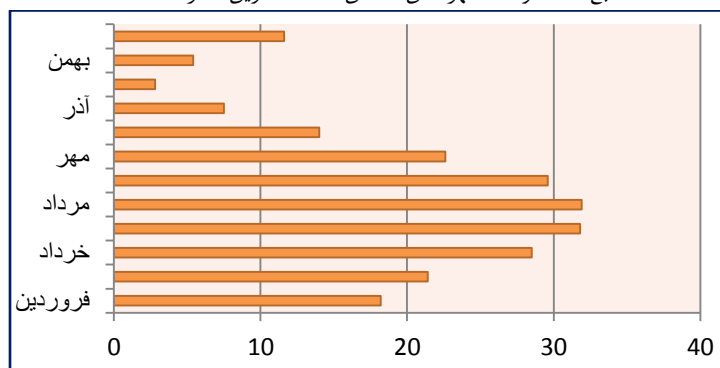
هموار و خشک با خاک‌های آبرفتی گسترش یافته‌اند. این ساختار فیزیوگرافی تأثیر مستقیم بر نوع کاربری اراضی، جهت‌گیری معابر و ساختمان‌ها و همچنین ظرفیت بهره‌گیری از انرژی‌های تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی خورشیدی داشته است. قرارگیری در این منطقه گذرگاهی، سمنان را به یکی از شهرهای دارای تنوع اقلیمی و زیست‌محیطی ویژه در مرکز ایران تبدیل کرده است.

فیزیوگرافی این منطقه ترکیبی از ارتفاعات کوه‌پایه‌ای در شمال، دشت‌های گسترده در مرکز و اراضی نیمه‌بیابانی در جنوب است که به‌وضوح در ساختار کالبدی و توسعه فضایی شهر قابل مشاهده است. چنین ویژگی فیزیوگرافی منجر به تنوع در خصوصیات زمین‌شناسی، شیب، زهکشی سطحی و همچنین تأثیرات اقلیمی شده است. در شمال شهر، دامنه‌های البرز با شیب‌های نسبتاً زیاد و در جنوب، دشت‌های



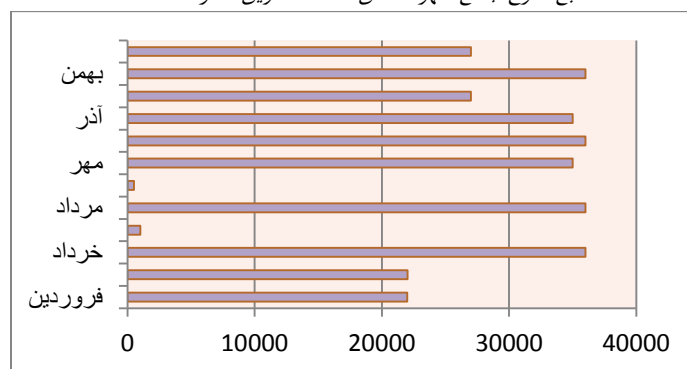
نقشه ۲- طبقه بندی خاک شهرستان سمنان

منبع: سند توسعه شهرستان سمنان، ۱۳۹۶، تدوین: نگارنده: ۱۴۰۴



نمودار ۱- متوسط درجه حرارت ماهانه شهر سمنان

منبع: طرح جامع شهر سمنان، ۱۳۹۴، تدوین: نگارنده: ۱۴۰۴



نمودار ۲- سرعت وزش باد در شهر سمنان بر حسب متر بر ثانیه

منبع: طرح جامع شهر سمنان، ۱۳۹۴، تدوین: نگارنده: ۱۴۰۴

ویژگی های خاک

رس، پهنه های آبرفتی دشت سمنان است. خاک این منطقه های عمیق و بافت سنگین تا خیلی سنگین است. از مشکلات این خاک ها فرسایش آبی و بادی و عمیق و

دانه بندی خاک محدوده ی مسکونی و باغات شهر سمنان و حومه ی آن در نیمه ی جنوبی و شرقی عمدتاً

سنگین بودن است و در بعضی موارد سیل‌گیر بودن اراضی و یا تجمع رسوبات ایجاد مزاحمت می‌کند و به زه‌کشی نیاز دارد.

تحولات جمعیت

شهر سمنان با جمعیتی بالغ بر ۲۰۰ هزار نفر (سرشماری نفوس و مسکن، ۱۴۰۰) به‌عنوان مرکز استان سمنان یکی از شهرهای متوسط ایران محسوب می‌شود. جمعیت این شهر در دهه‌های اخیر روندی افزایشی داشته اما سرعت رشد جمعیت به نسبت سایر

کلان‌شهرها کمتر بوده است. در نهایت، تغییرات توزیع جمعیتی برحسب گروه‌های عمده سنی استان و شهر سمنان نشان‌دهنده روند گذار جمعیتی از یک جامعه جوان به یک جامعه میانه‌سال و سالمند است. این تحولات نیازمند تغییرات در سیاست‌های اجتماعی، بهداشتی و آموزشی برای سازگاری با نیازهای جدید جمعیتی استان است. تراکم جمعیتی در محلات مختلف سمنان متفاوت است و محله جانبازان یکی از مناطق پرتراکم این شهر به شمار می‌رود.



شکل ۲- ناپیوستگی‌ها بین ساختمان‌های قدیم و جدید در شهر سمنان
منبع: ۲۰۲۴ google earth imagery



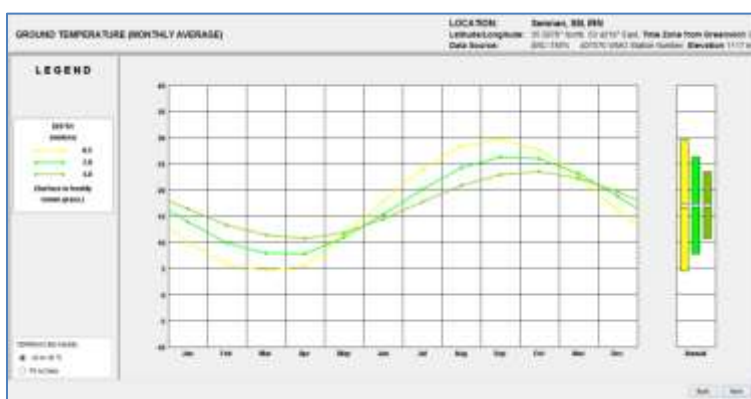
نمودار ۳- محدوده دمایی شهر سمنان
منبع: نرم افزار ۲۰۲۳ Climate consultant

از تحلیل این نمودار چنین برمی آید که تنها در ماه‌های مه تا سپتامبر، میانگین دمای ماهانه در محدوده آسایش تابستانی قرار دارد.

دما در تابستان‌ها از مرز آسایش عبور می‌کند که نشان‌دهنده نیاز به راهکارهایی برای کنترل گرمای بیش‌ازحد در طراحی ساختمان‌هاست.

در نیمه دوم پاییز، زمستان و اوایل بهار، شرایط دمایی نیازمند گرمایش فضا هستند.

این داده‌ها تأکید می‌کنند که طراحی ساختمان با رویکرد انرژی صفر در سمنان باید بر افزایش بهره‌وری در سرمایش تابستانی و گرمایش غیرفعال در زمستان متمرکز باشد.

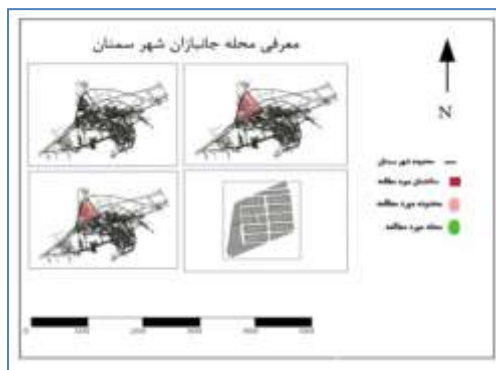


نمودار ۴- تحلیل دمای خاک شهر سمنان
منبع: نرم افزار ۲۰۲۳ Climate consultant

دمای خاک شهر سمنان در عمق ۲ تا ۴ متر دارای ثبات نسبی سالانه بین ۱۵ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد است. این ویژگی امکان استفاده از سیستم‌های گرمایش و سرمایش زمینی (مانند زمین‌گرمایی سطحی) را فراهم

می‌کند که می‌تواند مصرف انرژی ساختمان را در فصول سرد و گرم کاهش دهد. ثبات دما در عمق ۴ متر بویژه در تابستان و زمستان، پتانسیل مناسبی برای پیش‌گرمایش یا پیش‌سرمایش هوای ورودی دارد.

۳-۲- معرفی ساختمان مورد مطالعه در کوی جانبازان



نقشه ۳- معرفی محله جانبازان شهر سمنان
منبع: طرح جامع شهر سمنان ۱۳۹۴، تدوین: نگارنده ۱۴۰۴



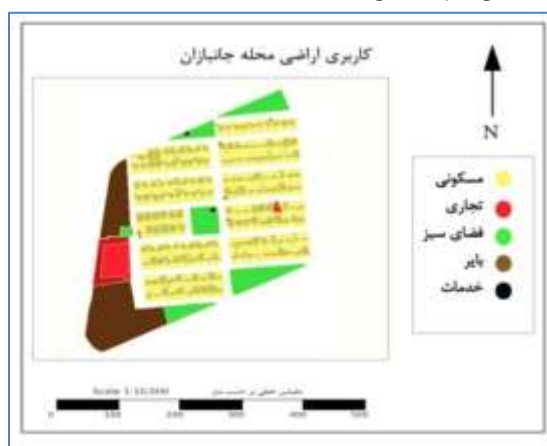
نقشه ۴- معرفی ساختمان مورد مطالعه
منبع: طرح جامع شهر سمنان ۱۳۹۴، تدوین: نگارنده ۱۴۰۴



شکل ۳- تصویر هوایی محله جانبازان
منبع: ۲۰۲۴ google earth imagery

شهرک جانبازان شهر سمنان، یکی از محله‌های نسبتاً نوساز در جنوب غربی شهر سمنان است که در اقلیم نیمه‌خشک و گرم واقع شده و با تابش آفتاب فراوان، بارندگی اندک و رطوبت پایین شناخته می‌شود. این شهرک دارای بافتی نسبتاً منظم و شطرنجی شکل است که به وضوح در تقسیم‌بندی قطعات زمین و شبکه معابر قابل مشاهده است. بافت شطرنجی نه تنها دسترسی مناسبی فراهم کرده، بلکه امکان جهت گیری

مطلوب ساختمان‌ها نسبت به آفتاب را نیز مهیا ساخته است. بنا به مطالعه میدانی نگارنده، میانگین طبقات ساختمان‌ها در این شهرک بین ۱ تا ۵ طبقه متغیر است و اغلب خانه‌ها به صورت ویلایی یا آپارتمان‌های کم‌ارتفاع طراحی شده‌اند. مصالح غالب در نما، آجر، سنگ و سیمان است که با شرایط اقلیمی منطقه سازگار بوده و به ایجاد هارمونی بصری در محله کمک کرده است.



نقشه ۵- کاربری اراضی محله جانبازان

منبع: طرح جامع شهر سمنان ۱۳۹۴، تدوین نهایی: نگارنده ۱۴۰۴

در راستای تحلیل دقیق‌تر بافت شهرک جانبازان سمنان، برداشت میدانی از محله مورد مطالعه صورت گرفت. هدف از این اقدام، شناسایی دقیق تعداد ساختمان‌ها، نوع و تعداد طبقات آن‌ها، و بررسی الگوی

استقرار بناها در بافت موجود بود. در این فرایند، با حضور مستقیم در محل و ثبت داده‌ها به صورت مشاهده عینی و مستندنگاری، اطلاعات کالبدی به روز و واقعی جمع‌آوری شد.

جدول ۱- طبقه بندی ساختمان‌ها در محله جانبازان منبع: برداشت میدانی نگارنده ۱۴۰۴

تعداد طبقات	تعداد ساختمان
۱	۱۴۵
۲	۵
۳	۱۲
۴	۱۰
۵	۹

۲۰۰۴ از نرم افزار Climate consultant برداشت و به نرم افزار دیزاین بیلدر معرفی شده اند.

لازم به ذکر است، اطلاعات اقلیمی شهر سمنان در قالب فایل های EPW بر اساس ASHRAE Standard ۵۵-



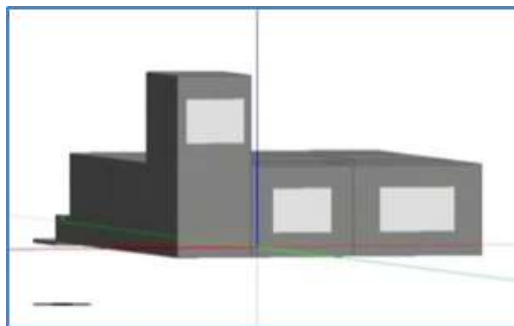
نقشه ۶- طبقه بندی ساختمان های محله جانبازان بر اساس تعداد طبقات

منبع: طرح جامع شهر سمنان ۱۳۹۴، تدوین نهایی: نگارنده ۱۴۰۴



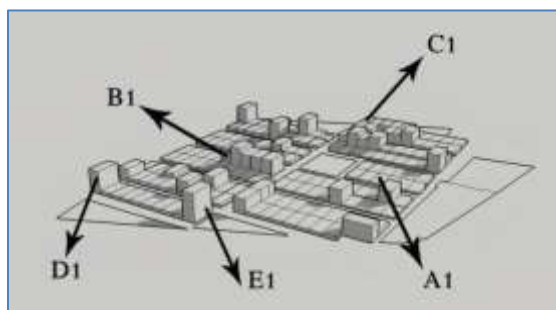
نقشه ۷- تحلیل اقلیمی محله جانبازان

منبع: طرح جامع شهر سمنان ۱۳۹۴، تدوین نهایی: نگارنده ۱۴۰۴



شکل ۴ - شبیه سازی ساختمان مورد مطالعه در محیط دیزاین بیلدر

منبع: نگارنده ۱۴۰۴



شکل ۵ - تفکیک ساختمان به منظور شبیه سازی انرژی

منبع: نگارنده ۱۴۰۴

سال است. با ضرب این عدد در مساحت کل ساختمان، مصرف کل سالانه انرژی ساختمان در سال محاسبه می‌شود که این میزان برابر است با:

$$128.28 \times 210 = 26938.6 \text{ kwh/year}$$

با محاسبات انجام گرفته توسط دیزاین بیلدر انتشار کربن در ساختمان در وضع موجود به شکل زیر است

محاسبه انرژی ساختمان در وضع موجود

با محاسبه‌ی صورت گرفته توسط نرم افزار دیزاین بیلدر، میزان مصرف انرژی در ساختمان مورد نظر به‌طور سالانه برابر با ۱۲۸/۲۸ کیلووات ساعت بر مترمربع در

این میزان مصرف نشان‌دهنده بار انرژی نسبتاً بالایی است که عمدتاً ناشی از اقلیم گرم و خشک منطقه، ضعف در عایق‌کاری ساختمان و وابستگی به سوخت‌های فسیلی (عمدتاً گاز طبیعی) برای گرمایش است.

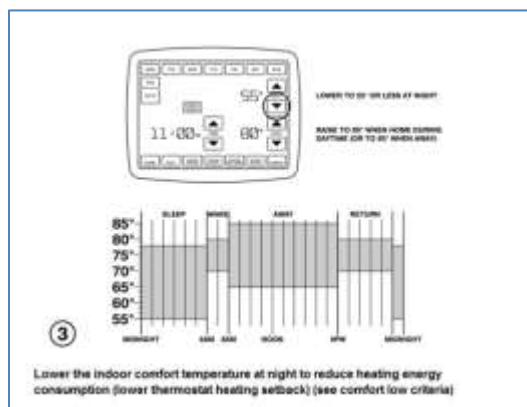
$$CO_2 \text{ total} = 4076.461646 + 3433.30362 = 7997.091 \text{ kgCO}_2/\text{year}$$

یکی از راهکارهای مؤثر برای کاهش مصرف انرژی گرمایشی، استفاده از ترموستات‌های قابل برنامه‌ریزی با امکان تنظیم دمای شبانه است. در این روش، دمای داخلی ساختمان در ساعات خواب شبانه به حدود ۱۳ درجه سانتی‌گراد (۵۵ درجه فارنهایت) کاهش یافته و در زمان حضور ساکنین در طول روز به حدود ۲۶ تا ۲۹ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد.

لذا در صورت عدم استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، این ساختمان سالانه حدود ۸ تن کربن دی‌اکسید منتشر می‌کند که برای یک واحد مسکونی رقم قابل‌توجهی است.

محاسبه انرژی ساختمان با بهینه‌سازی غیرفعال راهکارهای بهینه‌سازی غیر فعال خروجی از نرم افزار climate consultant

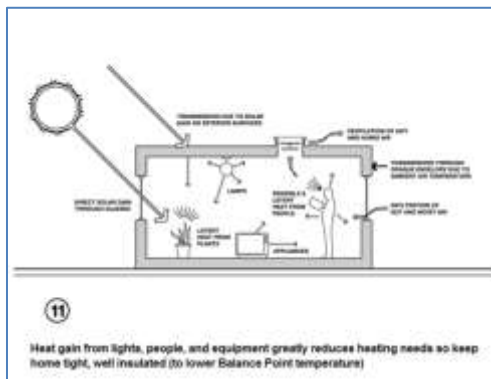
۱- کاهش مصرف انرژی گرمایشی در شب با تنظیم ترموستات



شکل ۵- تنظیم ترموستات برنامه پذیر در ساختمان، Climateconsultant ۲۰۲۳

محسوس ناشی از حضور افراد، روشنایی و تجهیزات برقی و حتی گیاهان می‌تواند دمای داخلی را تا حد زیادی افزایش دهد. در این راستا، عایق‌کاری مناسب جدارهای خارجی و جلوگیری از نفوذ هوای گرم یا مرطوب از محیط بیرون، موجب کاهش نقطه تعادل حرارتی شده و در نتیجه نیاز به سیستم‌های گرمایشی را به حداقل می‌رساند.

۲- نقش منابع داخلی حرارت و عایق‌کاری در کاهش مصرف انرژی گرمایی
علاوه بر استفاده از تجهیزات کنترلی مانند ترموستات، طراحی بهینه پوسته خارجی ساختمان و بهره‌گیری از منابع داخلی تولید گرما نقش مهمی در کاهش نیاز به انرژی گرمایشی ایفا می‌کند. کسب حرارت از منابعی نظیر نور خورشید از طریق پنجره‌ها، گرمای نهان و

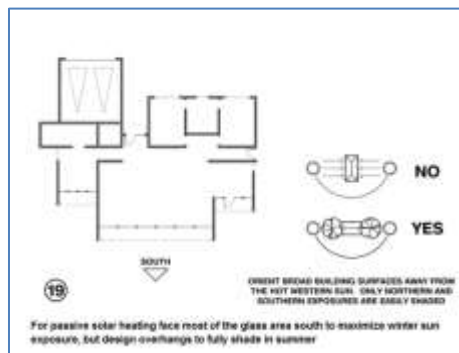


شکل ۶- نقش منابع داخلی حرارت و عایق کاری در کاهش مصرف انرژی گرمایی، ۲۰۲۳ climate consultant

می‌کند. از سوی دیگر، طراحی سایبان‌ها و پیش‌آمدگی‌ها به گونه‌ای که مانع ورود تابش مستقیم خورشید در تابستان شود، نقش مهمی در حفظ آسایش حرارتی و جلوگیری از افزایش بیش از حد دمای داخلی دارد. جهت‌گیری سطوح وسیع ساختمان به سمت شمال و جنوب، و پرهیز از مواجهه مستقیم با تابش شدید غربی، راهکاری مؤثر در کنترل بار حرارتی و بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان‌های مسکونی محسوب می‌شود.

۳- جهت گیری مناسب ساختمان برای بهره برداری از انرژی خورشیدی فعال

در طراحی اقلیمی، جهت‌گیری مناسب ساختمان یکی از عوامل کلیدی در بهره‌برداری مؤثر از انرژی خورشیدی به شمار می‌رود. با قرار دادن بیشترین سطح بازوها در جهت جنوب، امکان جذب حداکثری تابش خورشید در فصول سرد فراهم می‌شود و این موضوع به کاهش نیاز به سیستم‌های گرمایشی مصنوعی کمک



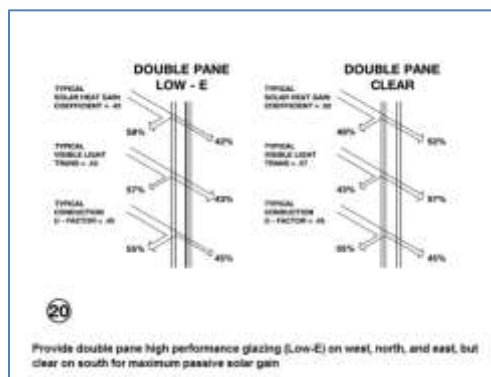
شکل ۷- جهت گیری مناسب ساختمان برای بهره برداری از انرژی خورشیدی فعال، ۲۰۲۳ climate consultant

برای بهره‌برداری مؤثر از گرمایش غیرفعال خورشیدی، انتخاب نوع مناسب شیشه در نماهای مختلف ساختمان

۴- استفاده بهینه از شیشه های دوجداره

شیشه‌های دوجداره شفاف به دلیل ضریب بالای عبور انرژی خورشیدی، منجر به افزایش جذب گرمای خورشید در زمستان و بهبود راندمان گرمایش غیرفعال خواهد شد. این راهکار موجب کاهش مصرف انرژی گرمایشی و افزایش آسایش حرارتی ساکنان در فصول سرد سال می‌گردد.

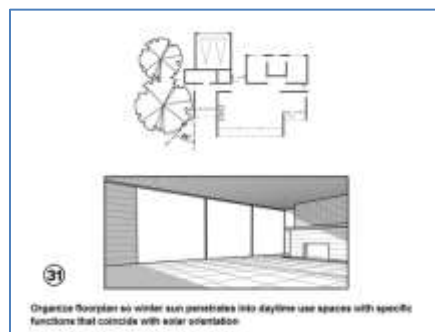
بسیار حائز اهمیت است. استفاده از شیشه‌های دوجداره با پوشش کم تابش در نماهای غربی، شرقی و شمالی موجب کاهش انتقال گرمای ناخواسته و بهبود عملکرد حرارتی ساختمان می‌شود. این نوع شیشه‌ها ضریب عبور حرارت پایین‌تر و توانایی محدودتری در عبور تابش خورشید دارند. در مقابل، برای نمای جنوبی، استفاده از



شکل ۸- جهت گیری مناسب ساختمان برای بهره برداری از انرژی خورشیدی فعال، ۲۰۲۳ climateconsultant

غذاخوری و آشپزخانه در معرض تابش زمستانی خورشید، می‌توان از گرمای طبیعی و نور روز بهره‌مند شد. این رویکرد نه تنها باعث کاهش نیاز به گرمایش مکانیکی در فصول سرد می‌شود، بلکه کیفیت روشنایی طبیعی و آسایش حرارتی را نیز در این فضاها افزایش می‌دهد.

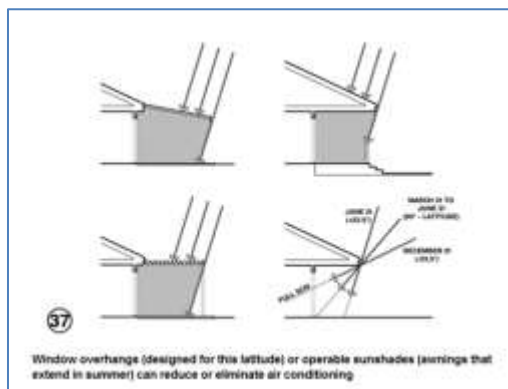
۵- سازماندهی پلان بر اساس تابش خورشید زمستانی در طراحی معماری همساز با اقلیم، سازماندهی فضاهای داخلی بر مبنای جهت‌گیری خورشید یکی از راهکارهای مؤثر در بهینه‌سازی مصرف انرژی به شمار می‌آید. با قرار دادن فضاهای پرکاربرد روزانه مانند نشیمن،



شکل ۹- سازماندهی پلان بر اساس تابش خورشید زمستانی، ۲۰۲۳ climateconsultant

در تابستان از ورود آفتاب داغ جلوگیری می شود
در زمستان آفتاب به راحتی وارد می شود
و در نتیجه، مصرف سیستم های سرمایشی مثل کولر
کاهش می یابد یا حتی حذف می گردد.

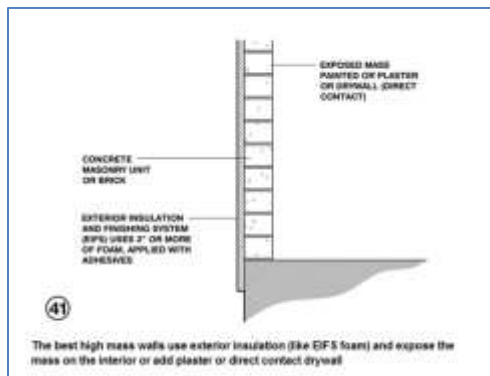
۶- طراحی اقلیمی پنجره ها و سایه بان ها
چنانچه سایه بان پنجره متناسب با عرض جغرافیایی
محل طراحی شود، یا از سایه بان های متحرک (مانند
سایه بان جمع شونده یا پرده خارجی) استفاده گردد:



شکل ۱۰- طراحی اقلیمی پنجره ها و سایه بان ها به منظور کاهش انرژی، ۲۰۲۳ climate consultant

۷- استفاده از دیوارهای جرم حرارتی بالا با عایق حرارتی

در این روش از بهترین دیوارهای با جرم حرارتی بالا از
عایق خارجی مثل فوم EIFS استفاده می کنند و جرم
(آجر یا بتن) را در داخل فضا در معرض قرار می دهند.



شکل ۱۱- استفاده از دیوارهای جرم حرارتی بالا با عایق حرارتی به منظور کاهش انرژی، ۲۰۲۳ climateconsultant

به پناه گیری ساختمان در زمین و حیاط مرکزی محصور
با سایه و آب اشاره کرد.

از دیگر پیشنهادات این نرم افزار می توان به جهت
گیری رو به شمال، استفاده از پنکه سقفی، دیوار
مشبک، کولر تبخیری، مصالح با جرم حرارتی بالا، توجه

پس از کاربست راه کارها در ساختمان مورد نظر، به وسیله‌ی نرم‌افزار دیزاین بیلدر بار دیگر به محاسبه‌ی انرژی ساختمان پرداختیم. این بار میزان مصرف انرژی در ساختمان به ۷۰,۱۰ کیلووات ساعت مترمربع در سال رسید.

$$70.10 \times 210 = 14721.2 \text{ kwh/year}$$

$$2145.5 + 2378.5 = 4524.0 \text{ kg CO}_2/\text{year}$$

انتشار تولید کربن دی‌اکسید در ساختمان پس از کاربست راه کارها حدود ۴ تن در سال محاسبه می‌گردد که با کاهش حدود ۴ تن کربن دی‌اکسید روبرو هستیم که مقدار قابل توجهی است.

محاسبه انرژی ساختمان با نصب پنل خورشیدی ۵ کیلوواتی

با در نظر گرفتن یک سیستم خورشیدی با ظرفیت ۵ کیلووات بر بام ساختمان، و شرایط اقلیمی شهر سمنان، مقدار انرژی تولیدی توسط این سامانه خورشیدی، در طول سال حدود ۷۵۲۸ کیلووات ساعت در سال تخمین زده می‌شود. از آن جایی که مصرف سالانه پس از بهینه‌سازی برابر با ۱۴۷۲۱/۲ کیلووات ساعت در سال بود، با نصب سیستم خورشیدی، بار خالص مصرف انرژی به صورت زیر کاهش می‌یابد.

$$14721.2 - 7528 = 7193.2 \text{ kwh/year}$$

میزان انتشار کربن دی‌اکسید نیز پس از نصب پنل کاهش می‌یابد.

$$7193.2 \times 0.4 = 2877.28 \text{ kg/year}$$

در واقع میزان انتشار کربن دی‌اکسید به حدود ۲ تن در سال می‌رسد.

در این محاسبات با در نظر گرفتن یک سیستم خورشیدی با ظرفیت ۵ کیلووات بر بام ساختمان حدود پنجاه درصد از انرژی ساختمان کاهش می‌یابد، که میزان قانع کننده‌ای است اما چنانچه هدف از استفاده از پنل‌های خورشیدی کسب عنوان ساختمان انرژی صفر باشد این مقدار کفایت نمی‌کند.

در این محاسبات با در نظر گرفتن یک سیستم خورشیدی با ظرفیت ۵ کیلووات بر بام ساختمان حدود پنجاه درصد از انرژی ساختمان کاهش می‌یابد، که میزان قانع کننده‌ای است اما چنانچه هدف از استفاده از پنل‌های خورشیدی کسب عنوان ساختمان انرژی صفر باشد این مقدار کفایت نمی‌کند.

۱۴,۷۲۱ کیلووات ساعت در سال برآورد گردید. از سوی دیگر، بر مبنای داده‌های اقلیمی و تابش خورشیدی شهر سمنان، بازده میانگین سالانه هر کیلووات پنل خورشیدی معادل ۵۵۰,۱ کیلووات ساعت در سال در نظر گرفته شد که عددی دقیق بر اساس تابش سالانه در شهر سمنان است.

براساس تحلیل شبیه‌سازی انجام‌شده، میزان مصرف انرژی نهایی ساختمان پس از بهینه‌سازی برابر با

بنابراین، ظرفیت موردنیاز سیستم خورشیدی بدون
باتری و با فرض اتصال به شبکه به صورت زیر محاسبه

بازده سالانه هر کیلووات پنل / مصرف سالانه = ظرفیت مورد نیاز

$$= 14721 / 1550 \approx 9.5 \text{ kw}$$

در واقع در ساختمان مورد مطالعه‌ی ما برای کسب
عنوان ساختمان کربن صفر و برابری میزان انرژی
تولیدی و میزان انرژی مصرفی، ظرفیت مورد نیاز
سیستم خورشیدی برابر با ۹/۵ کیلووات است.

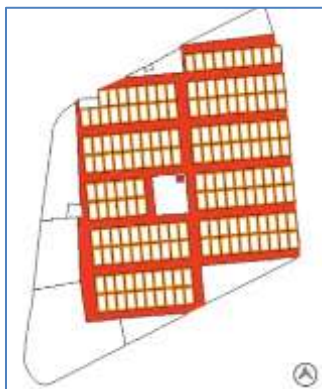


شکل ۱۲- فشردگی و تراکم بافت مسکونی در محله جانبازان

منبع: ۲۰۲۵ google earth imagery

وجود فضاهای سبز محدود و معابر نسبتاً گسترده (بلوار
گلستان، میدان‌ها، بزرگراه مجاور) همزمان چالش
(جزیره گرمایی، ترافیک عبوری) و فرصت (محورهای
سبز و مسیرهای خورشیدی/دوچرخه) فراهم می‌کند.

حضور کاربری‌های عمومی مانند مسجد و دبستان،
به عنوان «قطب‌های پراکنش تقاضا»، فرصت مناسبی
هستند برای پیاده‌سازی پیلوت‌های انرژی (بام، آموزش
و مشارکت اجتماعی).



نقشه ۸- جزیره حرارتی در محله جانبازان

منبع: طرح جامع شهر سمنان ۱۳۹۴، تدوین نهایی: نگارنده ۱۴۰۴

در محدوده محله شهری جانبازان که مشخصه آن استفاده غالب مسکونی و استفاده از مصالح با آلبیدوی پایین (مانند آسفالت تیره برای کف و آجر/سیمان/سنگ برای دیوارها) است، مناطقی با پتانسیل بالای تشکیل جزیره حرارتی شهری در معابر و فضاهای باز بین بلوک‌ها ساخته شده‌اند. خیابان‌های اصلی (مشخص شده با رنگ قرمز پررنگ) به دلیل سطح وسیع آسفالت تیره، بیشتر جذب و ذخیره انرژی خورشیدی می‌شود که باعث افزایش قابل توجه میزان سطح و هوای محیطی می‌شود. علاوه بر این، دیوارهای عمودی ساختمان‌ها (آجر، سیمان) در طول روز گرما را جذب کرده و در

شب به آرامی بازنشر می‌دهند که این امر را به اثر کانیون خیابانی همراه می‌دهند، در فضای کوچک‌تر بین بلوک‌ها (مشخص شده با رنگ نارنجی) باعث محصور شدن هوای گرم و کاهش وسایل منطقه برای خنک‌سازی می‌شود. برای حرکت به سمت هدف انرژی صفر شهری، لازم است راهکارهایی مانند استفاده از بام‌های خنک‌کننده و خورشیدی و جایگزینی آسفالت با سطوح دارای آلبیدوی بالا به عنوان بخشی از مقاومت‌های کاهش دما و تولید انرژی پایدار در نظر گرفته شود.

جدول ۲- محاسبه انرژی و کربن مصرفی ساختمان در سه سناریو

وضعیت	وضع موجود	بعد از بهینه‌سازی غیرفعال	بعد از بهینه‌سازی + نصب پنل خورشیدی	درصد کاهش
مصرف انرژی (kwh/year)	۲۶۹۳۸,۶	۱۴۷۲۱,۲	۷۱۹۳,۲	۷۳
انتشار (kg/year) CO ₂	۷۹۹۷,۰۹۱	۴۵۲۴,۰۳	۲۸۷۷,۲۸	۶۴

۴- نتیجه گیری و پیشنهادها

نتایج تحلیل داده‌های سنجش از دور و GIS

داده‌های ماهواره‌ای Landsat نشان داد که میانگین دمای سطح زمین در محله جانبازان بین ۳۴ تا ۴۸ درجه سانتی‌گراد متغیر است. بیشترین مقادیر دما در بخش‌های مرکزی و جنوبی محله، که تراکم ساختمانی بالا و فضای سبز کمتری دارند، مشاهده شد. نقشه‌های تابش خورشیدی نیز بیانگر آن است که بیش از ۷۵٪ سطح محله در معرض تابش مستقیم بیش از ۵٫۵ کیلووات ساعت بر متر مربع در روز قرار دارد.

بر اساس داده‌های Sentinel-۵P TROPOMI، غلظت آلاینده‌های NO_2 و $\text{PM}_{2.5}$ در بخش‌های پرتردد محله به ترتیب حدود ۲۵ تا ۳۵ میکروگرم بر مترمکعب و ۴۵ تا ۵۵ میکروگرم بر مترمکعب برآورد شد. این مقادیر بالاتر از حد مجاز توصیه‌شده توسط سازمان جهانی بهداشت است و نشان می‌دهد که کیفیت هوای بیرونی در این محدوده به‌شدت تحت تأثیر فعالیت‌های شهری است.

در محیط GIS، هم‌پوشانی لایه‌های دمای سطح زمین، تابش خورشیدی، تراکم ساختمانی و آلودگی هوا نشان داد که بین تراکم کالبدی و افزایش دمای سطح زمین رابطه‌ای مستقیم وجود دارد (ضریب همبستگی پیرسون $r = ۰٫۸۱$). این امر تأییدکننده‌ی پدیده‌ی «جزیره حرارتی شهری» در بافت متراکم محله جانبازان است.

نتایج شبیه‌سازی در نرم‌افزار DesignBuilder

در مرحله بعد، مدل‌های سه‌بعدی ساختمان‌های منتخب در نرم‌افزار DesignBuilder ساخته شد. داده‌های

اقلیمی از فایل EPW سمنان و ویژگی‌های ساختمانی (مصالح، پنجره‌ها، عایق‌بندی، جهت ساختمان) در نرم‌افزار وارد گردید. شبیه‌سازی‌ها در دوره تابستان (ماه‌های تیر و مرداد) انجام شد تا اثر شرایط حاد اقلیمی بر کیفیت هوای داخلی بررسی شود.

نتایج مدل‌سازی نشان داد:

میانگین دمای داخلی ساختمان‌های انرژی صفر در روزهای اوج گرما بین ۲۷ تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد متغیر بود.

ساختمان‌هایی با جهت‌گیری شرقی-غربی و پنجره‌های دو جداره تا ۲٫۵ درجه سانتی‌گراد دمای داخلی کمتری نسبت به ساختمان‌های شمالی-جنوبی داشتند.

غلظت CO_2 داخلی در ساختمان‌هایی با تهویه مکانیکی فعال بین ۶۰۰ تا ۸۰۰ ppm و در ساختمان‌های با تهویه طبیعی کمتر از ۱۰۰۰ ppm باقی ماند، در حالی که در بافت‌های متراکم، این عدد به بیش از ۱۲۰۰ ppm رسید.

در ساعات اوج تابش (۱۲ تا ۱۵ ظهر)، میانگین دمای داخلی به‌طور مستقیم با شدت تابش خورشیدی همبستگی مثبت داشت. ($r = ۰٫۷۴$)

تلفیق نتایج مدل‌سازی و تحلیل مکانی

نتایج خروجی DesignBuilder به‌صورت داده‌های Raster به محیط ArcGIS Pro منتقل شد تا الگوهای فضایی کیفیت هوای داخلی در سطح محله تحلیل شود. نقشه‌های هم‌پوشانی نشان دادند که:

مناطق با دمای سطحی بالاتر از ۴۵ درجه و تراکم ساختمانی بیش از ۶۰٪ بیشترین افت کیفیت هوای داخلی را دارند.

ساختمان‌های انرژی صفر واقع در نواحی بازتر و دارای جهت‌گیری مناسب، تا ۲۰٪ تهویه طبیعی بهتری نسبت به ساختمان‌های مشابه در مرکز محله داشتند.

شاخص ترکیبی «پتانسیل تهویه و تابش که از ترکیب لایه‌های اقلیمی و مدل‌سازی به‌دست آمد، محدوده‌های جنوبی محله را به‌عنوان مناسب‌ترین نقاط برای توسعه ساختمان‌های انرژی صفر جدید معرفی کرد.

تحلیل

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که شرایط اقلیمی شهری نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد حرارتی و کیفیت هوای داخلی ساختمان‌های انرژی صفر دارد. هرچند این ساختمان‌ها از نظر طراحی و فناوری بهینه هستند، اما در بافت‌های متراکم و گرم، عملکردشان وابسته به موقعیت مکانی و ویژگی‌های اقلیمی محلی است.

به‌طور خاص، در مناطق با دمای سطح زمین بالا، تابش مستقیم زیاد و تهویه محدود، حتی ساختمان‌های انرژی صفر نیز در معرض افزایش دمای داخلی و غلظت CO₂ قرار می‌گیرند. این یافته با نتایج مطالعات مشابه در اقلیم‌های گرم خاورمیانه و شمال آفریقا هم‌خوانی دارد.

ادغام داده‌های سنجش از دور و مدل‌سازی عددی در محیط GIS، دیدگاه جدیدی در برنامه‌ریزی اقلیم‌محور شهری ارائه می‌دهد؛ به‌طوری که می‌توان قبل از احداث ساختمان‌های جدید، مناطق بهینه از نظر شرایط اقلیمی و تهویه طبیعی را شناسایی کرد.

در نهایت، نتایج این پژوهش نشان داد که رویکرد تلفیقی GIS، RS و DesignBuilder می‌تواند ابزاری

قدرتمند برای پایش، پیش‌بینی و بهینه‌سازی کیفیت هوای داخلی در ساختمان‌های انرژی صفر باشد و به تصمیم‌گیران شهری در توسعه پایدار کمک کند.

پیشنهادها

پژوهش حاضر با هدف تحلیل مکانی اثر ویژگی‌های اقلیمی شهری بر کیفیت هوای داخلی ساختمان‌های انرژی صفر، با استفاده از داده‌های سنجش از دور، مدل‌سازی در نرم‌افزار DesignBuilder و تحلیل‌های مکانی در GIS انجام شد. نتایج حاصل از مطالعه‌ی موردی محله جانبازان شهر سمنان نشان داد که شرایط اقلیمی شهری از جمله دمای سطح زمین، شدت تابش خورشیدی، تراکم ساختمانی و آلودگی هوا، تأثیر مستقیم و قابل توجهی بر عملکرد حرارتی و کیفیت هوای داخلی ساختمان‌ها دارد. تحلیل‌های مکانی بیانگر آن بود که در نواحی با تراکم بالا و سطوح آسفالتی بیشتر، دمای سطح زمین تا حدود ۴۸ درجه سانتی‌گراد افزایش می‌یابد که این امر باعث افت تهویه طبیعی و افزایش غلظت CO₂ داخلی در ساختمان‌های انرژی صفر می‌شود. در مقابل، ساختمان‌هایی با جهت‌گیری مناسب، استفاده از مصالح با ضریب هدایت حرارتی پایین و قرارگیری در نواحی بازتر، از کیفیت هوای داخلی مطلوب‌تر و پایداری برخوردار بودند.

ادغام مدل‌سازی عددی و داده‌های مکانی در این پژوهش نشان داد که ترکیب DesignBuilder، GIS و داده‌های سنجش از دور ابزاری کارآمد برای درک روابط پیچیده میان اقلیم شهری و کیفیت هوای داخلی است. این روش می‌تواند به‌عنوان چارچوبی عملی برای ارزیابی و بهینه‌سازی طراحی ساختمان‌های انرژی صفر در

مراحل پیش از ساخت مورد استفاده قرار گیرد. به طور کلی، نتایج تحقیق تأکید می کند که دستیابی به ساختمان های واقعاً انرژی صفر تنها با بهینه سازی فناوری ها ممکن نیست، بلکه نیازمند درک عمیق از شرایط اقلیمی شهری و تلفیق تحلیل های مکانی در فرآیند طراحی است.

برای برنامه ریزی شهری و طراحی ساختمان ها

در طراحی ساختمان های انرژی صفر در مناطق گرم و خشک، جهت گیری مناسب نسبت به تابش خورشید و الگوی باد محلی باید به عنوان پارامتر کلیدی در نظر گرفته شود.

استفاده از پوشش های بازتابنده، بام های سبز و فضاهای باز بین ساختمان ها می تواند دمای سطح زمین را کاهش و تهویه طبیعی را بهبود دهد.

برای سیاست گذاران و مدیریت شهری

استفاده از نقشه های GIS و داده های ماهواره ای به صورت دوره ای برای شناسایی نقاط بحرانی جزایر حرارتی شهری توصیه می شود. تدوین دستورالعمل های محلی برای طراحی اقلیم محور ساختمان های انرژی صفر در شهرهای گرم و خشک

داخلی و سلامت ساکنان نقش تعیین کننده ای ایفا کند. تحلیل مکانی اثر ویژگی های اقلیمی شهری بر کیفیت هوای داخلی ساختمان های انرژی صفر با استفاده از GIS نشان می دهد که:

- عملکرد زیست محیطی ZEB وابسته به بستر مکانی و اقلیمی است

ایران (مانند سمنان، یزد و کرمان).

برای تحقیقات آینده

پیشنهاد می شود در پژوهش های بعدی، مدل سازی کیفیت هوای داخلی در ساختمان های انرژی صفر با داده های واقعی حسگرهای محیطی ترکیب شود تا نتایج بهینه سازی دقیق تری حاصل گردد. بررسی اثر تغییر اقلیم بر عملکرد ساختمان های انرژی صفر در مقیاس بلندمدت می تواند مسیر جدیدی برای مطالعات آینده باشد.

پیشنهاد می شود تلفیق مدل سازی (دینامیک سیالات محاسباتی) با GIS برای شبیه سازی دقیق تر جریان هوا و تهویه طبیعی در مقیاس محله ای مورد استفاده قرار گیرد.

جمع بندی نهایی:

این پژوهش نشان داد که تحلیل مکانی در کنار مدل سازی انرژی، راهکاری نوین و مؤثر برای طراحی و مدیریت ساختمان های انرژی صفر در اقلیم های گرم و خشک است. به کارگیری ابزارهای GIS و داده های سنجش از دور می تواند نه تنها در کاهش مصرف انرژی، بلکه در بهبود کیفیت هوای

- GIS ابزاری کلیدی برای پیوند بین اقلیم شهری و سلامت ساختمان هاست
- توجه هم زمان به مقیاس شهری و ساختمانی برای دستیابی به پایداری واقعی ضروری است

منابع

- آرشیدز. (۲۰۲۲). طراحی ساختمان اداری انرژی صفر واحد HSE شرکت فولاد مبارکه اصفهان. بازیابی شده از <https://arshidez.com/projects>
- آغباشلو، م.، احمدی، م. (۱۴۰۱)، مفاهیم انرژی خالص صفر در ساختمان‌های مسکونی و مناطق شهری، چهارمین کنفرانس ملی مهندسی و مدیریت محیط زیست.
- آناریتا، ف. کامیابی، س. اقوامی، ف. (۱۴۰۳) به سوی انرژی صفر محیط شهری در اقلیم مدیترانه‌ای. نشر علمی و دانشگاهی دانشگاه آزاد اسلامی.
- آیت‌اللهی، س.، کاملی، س.، هدایت، ج. ملک‌زاده، ف. (۱۳۹۵)، بهینه سازی حرارتی دیوار ترومبی اتاق نشیمن خانه خورشیدی آیت اللهی و تأثیرات آن بر بار گرمایش. کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و منظر شهری ص (۱۰).
- احمدی، ا. اسماعیلیون، ف.، اسماعیلیون، آ. (۱۴۰۲). مدل سازی و بهینه‌سازی ساختمان‌های انرژی صفر. دانشگاه علم و صنعت ایران، مرکز انتشارات
- اصغری سراسکانرود، ص.، صادقی، ا.، سلیمانی، ح.، و اکبری، ن. (۱۴۰۴). بررسی تغییرات پوشش گیاهی و دمای سطح زمین در شهرستان رشت. نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۲۱، ۸۷-۱۰۴.
- امیری آده، پ. تیزقلم زنوزی، س. جاویدی‌نژاد، م. (۱۴۰۲)، اقلیم و انرژی در محیط‌های شهری در جهت کاهش مصرف انرژی (نمونه موردی ساختمان سعادت‌آباد). تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی ۲۳ (۶۹).
- امینی، ح. (۱۳۹۹)، تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر معماری در قالب طراحی مرکز تحقیقات انرژی‌های تجدیدپذیر در شهرهای شمالی ایران، ششمین همایش بین‌المللی مطالعات معماری و شهرسازی در جهان اسلام.
- بهمنی چاهستانی، ا.، فلاح، ف. (۱۳۹۹)، ساختمان‌های صفر انرژی و تأثیر آنها بر توسعه پایدار شهری، اولین کنفرانس ملی فناوری‌های نوین در مهندسی معماری و شهرسازی ایران.
- پور احمدی، م. (۱۳۹۰)، راهکارهای بازکارایی انواع بادگیرهای یزد بر اساس رابطه فضایی با بخش تابستان‌نشین، معماری اقلیم گرم و خشک، ۷-۱۸، (۱۱).
- حافظی‌فر، م.، هلالی اصل، ا. (۱۴۰۳)، تبیین مؤلفه‌های محلات شهری پایدار با رویکرد محلات کم‌کربن. ششمین کنفرانس بین‌المللی و هفتمین کنفرانس ملی عمران، معماری، هنر و طراحی شهری.
- حسین زاده، و.، مفیدی شمیرانی، م.، ناصری، غ. (۱۴۰۳). تجزیه و تحلیل رفتار حرارتی خانه های حیاط مرکزی دار یزد توسط دیزاین بیلدر. پژوهش های اقلیم شناسی ۵۷، ۷۹-۹۹.
- حسینی، م.، احمدی، س.، رضایی، ف. (۱۴۰۰)، مدل سازی شهرهای انرژی صفر با رویکرد توسعه پایدار. مهندسی انرژی، ۱۲ (۳)، ۶۰-۴۵.
- خرازی صنعت شتران، م. (۱۴۰۱). ساختمان های انرژی صفر یا صفر کربن: حرکتی در راستای معماری اکولوژیکی. معماری شناسی، ۲۳، ۱۸-۳۱.
- دالوند، پ.، طغیانی، ش.، دالوند، ن. (۱۳۹۳). بررسی تطبیقی ساختمان‌های صفر انرژی و معماری پایدار (نمونه موردی: خانه های مسکونی یزد)، چهارمین کنفرانس بین‌المللی توسعه پایدار و عمران شهری.
- رضائی نسب، س.، طایفی نصرآبادی، ع.، اسدی، س.، حاج سید تقی، س. ع. (۱۴۰۲)، بررسی امکان دستیابی به ساختمان با مصرف انرژی خالص صفر با استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک. مهندسی عمران، ۱، ۶۸-۵۱.
- زیاری، ک.، منصوری اطمینان، ا. (۱۴۰۳)، سنجش و تحلیل محلات شهری مشهد از منظر رهیافت محله کم‌کربن (مطالعه موردی: محله سعدی). ششمین کنفرانس بین‌المللی و هفتمین کنفرانس ملی عمران، معماری، هنر و طراحی شهری.

میرسعیدی، م.، احمدی، ف.، سیدالحسینی، م.، و شبانی، ا. (۱۴۰۲). تحلیل نقش سازمان فضایی کلانشهرها در حمل و نقل کم کربن (مطالعه موردی: مشهد). پژوهشهای بوم شناسی شهری، ۳۳، ۱-۱۴.

میرمجیدی، ع.، و ارغان، ع. (۱۳۹۷). بررسی ساختمان های انرژی صفر و پایدار دنیا و مقایسه آنها با تنها ساختمان انرژی صفر ایران. هفتمین کنفرانس ملی معماری و مهندسی عمران.

هاشمی، ر. (۱۴۰۳). شهر کم کربن مبانی و اصول کاربردی در شهرهای ایران. سیزدهمین همایش بین المللی ایده های نوین در معماری، شهرسازی، جغرافیا و محیط زیست پایدار.

همتی، ر. (۱۴۰۰). استفاده از اصول معماری پایدار در مجتمع های چندکاربردی امارات. اولین کنفرانس عمران، شهرسازی، معماری و محیط زیست.

وزارت راه و شهرسازی. (۱۳۹۹). گزارش اطلس اقلیم ایران. سازمان هواشناسی کشور.

یازدانی، م.، رضایی، س.، و همکاران. (۲۰۲۲). اجرای طرح ساختمان انرژی صفر در منطقه های گرم و خشک در ایران (مطالعه موردی: یزد). فصلنامه پژوهش های انرژیهای تجدیدپذیر و معماری پایدار، ۴(۱)، ۳۲-۴۵.

یاوری، ا.، خوشاب، ف. (۱۴۰۲). راهنمای طراحی ساختمان های سبز و صفر انرژی با بهره گیری از ضوابط انجمن سبز لید، آموزشی تالیفی ارشدان

صمدی، آ.، مشیری، ش.، یوسفی زاده، ز. (۱۴۰۰). بررسی شیوه طراحی و ساخت ساختمان بر اساس معماری صفر کربن (مطالعه موردی شهر بندرعباس). اولین همایش ملی عمران، معماری، شهرسازی، محیط زیست و علوم مرتبط.

عابدینی، ا.، شکاری، ا. (۱۴۰۳). تحلیل عوامل مؤثر بر کم کربن سازی شهری در ایران (مطالعه موردی: شهر ارومیه)، جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۶۰-۲۴۱، ۸۷.

علی اکبری. پ (۱۴۰۲). آشنایی با ساختمان های صفر انرژی، آرمان شهر

عسکری، ر.، شفیعی، م.، چارراهی، ذ.، المدرسی، س.ع. و افزانده، س.م. (۲۰۲۰). بررسی وضعیت دسترسی به امکانات درمانی بیمارستانی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در شهر یزد سال ۱۳۹۸. مجله پژوهش سلامت جامعه، ۴، ۲۴۱-۲۵۵.

عینی، آ.، پورفتح الله، م.، و افلاکی، ا. (۱۴۰۴). یکپارچه سازی تکنیک های سنجش از راه دور در برنامه ریزی شهری برای کاهش تنش حرارتی: مرور بر روش ها با مطالعه موردی شهر رشت . همایش ملی شهر آینده، حکمرانی یکپارچه شهری.

کاسکوزانی، ص.، مشکینی، ا. (۱۴۰۳). سکونتگاه های پاک: الگوی برنامه ریزی مناطق مسکونی کم کربن (مطالعه موردی: شهر شفت). کنفرانس بین المللی معماری، شهرسازی، هنر، طراحی صنعتی، ساخت و فناوری

کامیابی، س. (۱۳۹۴). بررسی انطباق معماری شهرهای سمنان با شرایط زیست اقلیمی. جغرافیا ۳۲۳-۴۶ سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS

کسمایی، م. (۱۳۸۲). اقلیم و معماری (ویراست م. احمدی نژاد). اصفهان: نشر خاک.

مرادی، آ.، و چارهجو، ف. (۱۴۰۰). برنامه ریزی راهبردی توسعه پایدار شهری با رویکرد ویژه بر شهر کم کربن (مطالعه موردی: سنندج). پژوهش و برنامه ریزی شهری، ۱۲(۴۶)، ۱۱۱-۱۲۹.

ب- (منابع خارجی)

Andersen, C. E., Rasmussen, F. N., & Habert, G. (۲۰۲۱). Embodied GHG emissions of wooden buildings—Challenges of biogenic carbon accounting in current LCA methods. *Frontiers in Built Environment*, ۷, ۷۲۹۰۹۶. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2021.729096>

Anonymous. (۲۰۲۴). Job creation in a low carbon transition to renewables and energy efficiency: A review of international evidence. *Sustainability Science*, ۱۹, ۱۲۵-۱۵۰.

the Transition to a ۱۰۰% Renewable Energy Era (Lecture Notes in Energy, Vol. ۷۴, Chapter ۳). Springer, Cham.

https://doi.org/10.1007/978-3-03-04-738-4_3 ;

Duan, Z., & Kim, S. (۲۰۲۳).

Progress in research on net-zero-carbon cities: A literature review and knowledge framework. *Energies*, ۱۶(۱۷), ۶۲۷۹.

<https://doi.org/10.3390/en16176279>

Duffie, J. A., Beckman, W. A., & Blair, N. (۲۰۲۰). *Solar Engineering of Thermal Processes, Photovoltaics and Wind* (۵th ed.). John Wiley & Sons.

EnergySage. (۲۰۲۱, August ۱۶). EnergySage releases its thirteenth solar marketplace intel report™.

<https://www.energysage.com/press/energysage-marketplace-intel-report-۱۳/>

Ghorbani, B., Ameri, M., & Amidpour, M. (۲۰۱۹).

Introducing a hybrid renewable energy system for production of power and fresh water using parabolic solar collectors and LNG cold energy recovery. *Renewable Energy*, ۱۴۸, ۱۲۲۷–۱۲۴۳.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.10.063>

Gómez, R., & Patel, S. K. (۲۰۲۳). A Novel Renewable Smart Grid Model to Sustain Solar Power Generation.

Energies, ۱۶(۱۲), ۴۷۸۴. <https://doi.org/10.3390/en16124784>

González-González, G., Cerezo-Román, J., & Satamaria-Bonfil, G. (۲۰۲۳). Development of Methodology for the Evaluation of Solar Energy through Hybrid Models for the Energy Sector. *Engineering Proceedings*, ۳۹(۱), ۷۳.

<https://doi.org/10.3390/engproc2023039073>

Growe, A., & Freytag, T. (۲۰۱۹). Image and implementation of sustainable urban development: Showcase projects and other projects in Freiburg, Heidelberg and Tübingen, Germany. *Raumforschung und Raumordnung / Spatial Research and Planning*, ۷۷(۵), ۴۵۷–۴۷۴. <https://doi.org/10.24۷۸/rara-2019-0035>

He, Y., & Zhang, Z. (۲۰۲۲). Non-Renewable and Renewable Energies, and COVID-۱۹ Pandemic: Do They Matter for China's Environmental Sustainability? *Energies*, ۱۵(۱۹), ۷۱۴۳. <https://doi.org/10.3390/en15۱9۷۱۴۳>

Hoffmann, W., & Moritz, M. (۲۰۲۰). Sustainable urban development strategies: Lessons from Freiburg's green city

<https://doi.org/10.1007/s۱۱۶۲۵-0۲۳-۰۱۴۴۰-y>

Bertoldi, P., & Mosconi, R. (۲۰۲۰). Do energy efficiency policies save energy? A new approach based on energy policy indicators in the EU Member States. *Energy Policy*, ۱۳۹, ۱۱۱۳۲۰. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2020.111۳۲۰>

Miller, C., Arjunan, P., & Poolla, K. (۲۰۱۹). EnergyStar++: Towards more accurate and explanatory building energy benchmarking. *arXiv preprint arXiv:۱۹۱۰.۱۴۵۶۳*.

<https://arxiv.org/abs/۱۹۱۰.۱۴۵۶۳>

Chatterji, T. (۲۰۲۳). Researching the urban sustainability agenda in India: Where to start? In *A Research Agenda for Sustainable Cities and Communities* (pp. ۴۵–۶۶). Edward Elgar Publishing.

[https://doi.org/10.4۳۳۷/۹۷۸۱۸۰۰۳۷۲۰۳۰۰۰۰۱۱](https://doi.org/10.4۳۳۷/۹۷۸۱۸۰۰۳۷۲۰۳۰۰۰۱۱)

Chen et al., ۲۰۲۳

Chen, X., Zhou, C., Tian, Z., Mao, H., Luo, Y., Sun, D., Fan, J., Jiang, L., Deng, J., & Rosen, M. A. (۲۰۲۳).

Different photovoltaic power potential variations in East and West China. *Applied Energy*, ۳۵۱, ۱۲۱۸۴۶.

<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121۸۴۶>

Chiras, D. D. (۲۰۲۰). *Power from the sun: Achieving energy independence*. New Society Publishers.

Crawley, D. B., Hand, J. W., Kummert, M., & Griffith, B. T. (۲۰۰۸). Contrasting the capabilities of building energy performance simulation programs. *Building and Environment*, ۴۳(۴), ۶۶۱–۶۷۳.

<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.20۰۶.۱۰.۰۲۷>

Cugurullo, F. (۲۰۱۷). "Polyvalent adaptation": Design in a temporal context for uncertain, high-risk futures. *The Plan Journal*, ۲(۲), ۱۸۵–۲۰۹.

<https://doi.org/10.۱۵۲۷۴/tpj.20۱۷.۰۲.۰۲۰۲>

Dlamini, S., Tesfamichael, S. G., & Mokhele, T. (۲۰۲۱). Socio-demographic determinants of environmental attitudes, perceptions, place attachment, and environmentally responsible behaviour in Gauteng province, South Africa. *Scientific African*, ۱۲, e۰۰۷۷۲. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.202۱.e۰۰۷۷۲>

Droege, P. (۲۰۲۰). The Renewable City: The Future of Low-Carbon Living. In T. Sidki Uyar (Ed.), *Accelerating*

Rahman, M. F., Chowdhury, M., Marasamy, L., Mohammed, M. K. A., Haque, M. D., Ahmed, S. R. A., Irfan, A., Chaudhry, A. R., & Goumri-Said, S. (۲۰۲۴). Improving the efficiency of a CIGS solar cell to above ۳۱٪ with Sb₂Se₃ as a new BSF: a numerical simulation approach by SCAPS-۱D. RSC Advances, ۱۴(۳), ۱۹۲۴-۱۹۳۸. <https://doi.org/10.1039/D3RA07893K> ;

Ratti, C., & Raydan, D. (۲۰۲۰). Passive and active solar systems in eco-architecture and eco-urban planning. MDPI. <https://doi.org/10.3390/app12063095>

Razeghi, M., Saifoddin, A. A., Abdoos, M., Yousefi, H., Salaripour, H., Rostampour Gobnaki, M., Kalantari, M., & Gholizadeh, M. H. (۲۰۲۵). Evaluating the economic impact of solar energy on local industries in Semnan, Iran. Future Sustainability, ۳(۱), ۴۹-۵۸. <https://doi.org/10.1016/j.fususi.2025.01.004>

Rezaei Nasab, S. S., Tayefi Nasrabadi, A., Asadi, S., & Haj Seiyed Taghia, S. A. (۲۰۲۲). Investigating the probability of designing net-zero energy buildings with consideration of electric vehicles and renewable energy. Engineering, Construction and Architectural Management, ۲۹(۱۰), ۴۰۶۱-۴۰۸۷. <https://doi.org/10.1108/ECAM-05-2021-0448>

Seto, K. C., Churkina, G., Hsu, A., Keller, M., Newman, P. W. G., Qin, B., & Ramaswami, A. (۲۰۲۱). From low- to net-zero carbon cities: The next global agenda. Annual Review of Environment and Resources, ۴۶, ۳۷۷-۴۱۵. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-05-12-201131117>
Sharifi, A., Roosta, M., & Javadpoor, M. (۲۰۲۱). Urban form resilience: A comparative analysis of traditional, semi-planned, and planned neighborhoods in Shiraz, Iran. Urban Science, ۵(۱), ۱۸. <https://doi.org/10.3390/urbansci5010018>

Singh, S., & Kumar, V. (۲۰۲۴). Modelling the determinants for sustainable smart city through interpretive structure modelling and analytic hierarchy process. Computational Urban Science, ۴(۱۶). <https://doi.org/10.1007/s43762-024-00125-1>

Taylor, P. G., Abdalla, K., Quadrelli, R., & Vera, I. (۲۰۲۱). Better energy indicators for sustainable development. Nature Energy, ۶(۶), ۶۳۵-۶۳۷. <https://doi.org/10.1038/s41560-021-00794-2>

initiatives. Sustainability, ۱۲(۷), ۲۸۵۷. <https://doi.org/10.3390/su12072857>

International Renewable Energy Agency. (۲۰۲۳). Renewable energy statistics ۲۰۲۳. IRENA. Retrieved from <https://www.irena.org/Publications/2023/Jul/Renewable-energy-statistics-2023> ;

Jensen, S., & Sørensen, R. (۲۰۲۰). From science to sales: changing representations of zero emission housing. Buildings & Cities, ۱(۱), ۳۴۳-۳۵۸. <https://doi.org/10.5334/bc.343>

Joss, S. (۲۰۱۵). Sustainable cities: Governing for urban innovation. Sustainable Cities and Society, ۱۴, ۱-۱۰. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2014.07.001>

Kalogirou, S. A. (۲۰۲۲). Solar Thermal Energy: History. In S. Alexopoulos & S. A. Kalogirou (Eds.), Solar Thermal Energy (Encyclopedia of Sustainability Science and Technology Series). Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1422-8_1106 ;

Lund, P., et al. (۲۰۲۲). Concept of net zero energy buildings (NZE) - A literature review. Cleaner Engineering and Technology, ۱۱, ۱۰۰۵۸۲. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100582>

Masdar. (۲۰۲۱). Masdar Annual Sustainability Report ۲۰۲۱. <https://masdar.ae/en/thought-leader-reports/annual-sustainability-reports/2021>

Muñoz, E., & Navia, R. (۲۰۲۱). Circular economy in urban systems: How to measure the impact? Waste Management & Research, ۳۹(۲), ۱۳۳-۱۴۲. <https://doi.org/10.1016/j.wasres.2021.100582>

NenPower. (۲۰۲۴, May ۱۶). What's new in solar energy? NenPower. https://nenpower.com/blog/whats-new-in-solar-energy/?utm_source=chatgpt.com

Patel, S. K., Surve, J., Katkar, V., & Parmar, J. (۲۰۲۲). Optimization of metamaterial-based solar energy absorber for enhancing solar thermal energy conversion using artificial intelligence. Advanced Theory and Simulations, ۵(۸), ۲۲۰۰۱۳۹. <https://doi.org/10.1002/adts.202200139>

(۲۰۱۹). Evaluating energy efficiency potential in low-income households: A flexible and granular approach. *Energy Policy*, ۱۲۹, ۷۱۰-۷۳۷.

<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.01.054>

Wired. (۲۰۲۳, May ۱۹). To save downtowns, destroy them. Retrieved from <https://www.wired.com/story/plaintext-save-downtowns-destroy-them>

Zhang, Y., Li, J., & Wang, L. (۲۰۲۴). From urban design to energy sustainability: How urban morphology influences photovoltaic system performance. *Sustainability*, ۱۶(۱۶), ۷۱۹۳. <https://doi.org/10.3390/su16167193>

Zhao, Y., Li, M., Long, R., Liu, Z., & Liu, W. (۲۰۲۳). Techno-economic analysis of converting low-grade heat into electricity and hydrogen. *Carbon Neutrality*, ۲, ۱۹. <https://doi.org/10.1007/s43979-023-00059-3>

Torsellini, A., Plessis, G. de, & Salsi, P. (۲۰۰۶). Definition of Nearly Zero Energy Buildings (nZEB) and Their Technical Implementation. *Energy and Buildings*, ۳۳(۱۲), ۳۳۲-۳۴۱. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2006.08.006>

UN-Habitat. (۲۰۲۴). World Cities Report ۲۰۲۴: Cities and Climate Action. Nairobi: UN-Habitat. Retrieved from <https://unhabitat.org/world-cities-report-2024-cities-and-climate-action>

Wang, Z. H., Yang, H. L., Yang, Y. Q., Liu, D., Li, Z. H., Zhang, X. R., Zhang, Y. J., Shen, D., Chen, P. L., Song, W. Q., Wang, X. M., Wu, X. B., Yang, X. F., & Mao, C. (۲۰۲۰). Anxiety and depression among Chinese college students during the COVID-۱۹ pandemic: A large-scale cross-sectional study. *Journal of Affective Disorders*, ۲۷۶, ۱۱۷۳-۱۱۸۱. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2020.07.116>

Wilson, E. J.H., Harris, C. B., Robertson, J. J., & Agan, J.

Spatial Analysis of the Effect of Urban Climatic Characteristics on the Indoor Air Quality of Zero Energy Buildings Using GIS, Remote Sensing Data, and Modeling in DesignBuilder Software: A Case Study of Janbazan Neighborhood, Semnan City

Abstract

Achieving urban net-zero energy status has become a strategic goal for sustainable development, particularly in cities located within hot and dry climatic zones where energy demand for cooling is intense and natural resources are limited. This research investigates effective planning approaches for transitioning the city of Semnan, Iran, toward a net-zero energy urban model by emphasizing the potential of solar energy utilization. The study analyzes climatic characteristics, urban morphology, and energy consumption patterns in Semnan to identify opportunities for renewable energy integration and reduction of carbon footprint. Using GIS-based solar radiation analysis, building energy simulations, and spatial planning frameworks, the research evaluates available rooftop and urban land surfaces for photovoltaic and solar-thermal systems installation. Additionally, the study explores passive design strategies compatible with the local climate—such as advanced insulation, reflective materials, and optimized building orientation—to minimize overall energy demand. The results highlight that Semnan receives high solar insolation throughout the year, offering a robust foundation for decentralized clean energy generation. Implementing a coordinated policy framework combining technological innovation, community participation, and financial incentives can accelerate the city's progress toward net-zero objectives. Ultimately, the findings propose an integrative model of urban planning that aligns climatic responsiveness, renewable energy utilization, and sustainable development principles. This model can serve as a replicable blueprint for other hot and dry Iranian cities aspiring to achieve energy independence and resilience against climate change impacts. The expansion of urbanization and the development of dense buildings in Iran's hot and arid climates have led to increased energy consumption and reduced indoor air quality. Zero Energy Buildings (ZEBs) are considered an innovative solution in sustainable architecture, designed to reduce energy loss and enhance environmental quality. This research aims to analyze the effect of urban climatic characteristics on the indoor air quality of Zero Energy Buildings by combining numerical modeling and spatial analysis. In this study, Landsat 8 and Sentinel-2 satellite data were processed to extract Land Surface Temperature (LST), solar radiation, and the concentrations of NO_2 and $\text{PM}_{2.5}$ pollutants, which were then integrated within a GIS environment. Subsequently, the climatic and building data of the Janbazan neighborhood in Semnan city were input into the DesignBuilder software to simulate parameters such as temperature, relative humidity, ventilation rate, and CO_2 concentration. The results indicated that in areas with higher LST and greater building density, the average indoor temperature and CO_2 concentration increased, while natural ventilation decreased. A positive correlation between solar radiation and indoor temperature demonstrates that urban climatic features play a decisive role in the thermal performance of Zero Energy Buildings. The integration of remote sensing, GIS, and energy modeling in DesignBuilder provides an efficient approach for climate-driven urban planning and improving indoor air quality in hot and arid regions. The proposed framework not only enhances energy efficiency but also promotes socio-economic stability through local renewable energy industries and green job creation. By positioning Semnan as a pioneer in solar-based urban planning, this study paves the way for Iran's broader transition toward sustainable, climate-adaptive, and net-zero urban futures.

Keywords: Geographic Information System (GIS), Remote Sensing, Indoor Air Quality of Zero Energy Buildings, DesignBuilder Software, Land Surface Temperature (LST).