

## برنامه ریزی به سوی انرژی صفر شهری در شهرهای اقلیم گرم و خشک ایران (نمونه موردی: شهر سمنان با تأکید بر انرژی خورشیدی)

الناز مقصودی<sup>۱</sup>، سعید کامیابی<sup>۲\*</sup>، محمدرضا زند مقدم<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه ریزی شهری، گروه جغرافیا، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران. رایانامه: [Elnaz.maghsoodi@iau.ac.ir](mailto:Elnaz.maghsoodi@iau.ac.ir)

۲. نویسنده مسئول، استاد تمام گروه جغرافیا، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران. رایانامه: [S.kamyabi@iau.ir](mailto:S.kamyabi@iau.ir)

۳. دانشیار گروه جغرافیا، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی، سمنان، ایران. رایانامه: [Dr.zandmohadam@iau.ir](mailto:Dr.zandmohadam@iau.ir)

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۴/۰۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۲/۳۰

### چکیده

رشد روزافزون مصرف انرژی در شهرها و پیامدهای محیط زیستی ناشی از وابستگی به منابع فسیلی، ضرورت حرکت به سوی الگوهای پایدار شهری با مصرف انرژی نزدیک به صفر را افزایش داده است. هدف پژوهش حاضر، بررسی عوامل موثر بر کاهش مصرف انرژی فسیلی و دستیابی به عنوان شهر کربن صفر می باشد. روش تحقیق از نوع توصیفی تحلیلی بوده و از آنجایی که به بررسی همبستگی بین متغیرهای تحقیق می پردازد، ذیل پژوهش های همبستگی قرار می گیرد. همچنین پژوهش حاضر از نظر اجراء، کاربردی و از نظر زمانی جزء تحقیقات مقطعی و بر حسب مقدار جزء تحقیقات گسترده می باشد. نرم افزار Design Builder ابزاری محاسباتی است که برای مدل سازی و شبیه سازی مصرف انرژی ساختمان ها به کار می رود. این پژوهش بر روی یک ساختمان مسکونی به عنوان نمونه انجام شد و سپس تمامی پارامترهای موثر بر انرژی ساختمان مورد بررسی قرار گرفت و نتایج با استفاده از شبیه سازی نرم افزار Design Builder ارائه شد. میزان مصرف انرژی در ساختمان موردنظر معادل ۱۰۳/۶۱ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال برآورد گردید. پس از اعمال استراتژی های کاهش کربن در ساختمان موردنظر، بار دیگر انرژی ساختمان با استفاده از نرم افزار Design Builder محاسبه گردید. این بار میزان مصرف انرژی در ساختمان به ۵۶/۶۲ کیلووات ساعت بر مترمربع رسید. نتایج نشان داد انرژی مصرفی ۹۹/۴۶ کیلووات ساعت بر مترمربع معادل حدود ۵۴ درصد کاهش یافته است. بر مبنای یافته های تحقیق می توان عنوان کرد که شهر سمنان با داشتن تعداد روزهای آفتابی بالا در سال، پتانسیل کافی برای بهره وری از این انرژی را دارد. از مهمترین جنبه های نوآورانه و کاربردی تحقیق می توان گفت که این مطالعه به شکل حاضر برای اولین بار برای شهر سمنان انجام می شود و با اعمال نتایج می تواند عنوان ویژه ای را در زمینه انرژی های پاک به این شهر بدهد.

**کلیدواژه ها:** انرژی های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی، ساختمان انرژی صفر، شهر کربن صفر (انرژی صفر)

**استناد:** مقصودی، الناز؛ کامیابی، سعید و زند مقدم، محمدرضا (۱۴۰۴). برنامه ریزی به سوی انرژی صفر شهری در شهرهای اقلیم گرم و خشک ایران (نمونه موردی):

شهر سمنان با تأکید بر انرژی خورشیدی). *نشریه محیط زیست و توسعه*، ۱۶ (۳۱)، ۱۴۷-۱۶۲. <https://doi.org/10.22034/eiat.2025.251839>



نویسندگان. ©

ناشر: انجمن ارزیابی محیط زیست ایران.

## سرآغاز

در سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی به موضوع و مسئله‌ای نگران‌کننده در سطح جهانی، برای بقا و توسعه بشر تبدیل شده است. طبق گزارش‌های به‌دست آمده، گرم شدن کره زمین کماکان ادامه دارد. به‌همین دلیل، مسئله مورد مطالعه در ارتباط با تغییرات اقلیمی، نیازمند کاهش گازهای گلخانه‌ای و آگاهی از نحوه مصرف کربن، گزینه‌ای غیرقابل اجتناب است. (Kaoud et al.2024:228) از طرفی، شهرها به‌عنوان مراکز تجارت، صنعت و توسعه، حدوداً ۷۰ الی ۸۰ درصد از مجموع مصرف انرژی اولیه را در بر می‌گیرند. لذا سطوح شهری، بستری مناسب برای مطالعات تغییرات آب‌وهوا و ترویج توسعه شهرهای کم کربن به‌حساب می‌آیند. به‌همین دلیل، انتخاب یک رویکرد مناسب برای نیل به منابع جدید انرژی و منابع سازگار با محیط‌زیست، ضروری است (Kumar Sahu et al.2025:184). مصرف انرژی، یکی از معیارهای مناسب برای تعیین سطح توسعه و کیفیت زندگی در یک کشور است. بدیهی است که انرژی‌های تجدیدپذیر، با طبیعت و محیط‌زیست سازگارترند. تولید و تهیه آنها، آلودگی محیط‌زیستی محدودی دارد و چون تجدیدپذیرند، برایشان پایان نزدیکی وجود ندارد. از این‌رو، انرژی‌های تجدیدپذیر، با گذشت زمان سهم بیشتری در سامانه تامین انرژی جهان بر عهده می‌گیرند (Park et al.2025:3).

مسئله حایز اهمیت بحث پیرامون موضوع پایداری عرضه انرژی و امکان دسترسی طولانی مدت به منابع است که این موضوع به برنامه‌ریزی جامع انرژی نیاز دارد. شهر صفر انرژی، شهر پایدار و شهر صفر کربن، اصطلاحات نوینی در مدیریت انرژی شهرها هستند که امروزه مورد توجه بسیاری از کشورها قرار گرفته‌اند (Alex-Oke et al 20225:6). شهر سمنان با داشتن پتانسیل‌های مطلوب جهت به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر و علی‌الخصوص انرژی خورشیدی به عنوان یک انرژی پاک و نامحدود، ظرفیت ویژه‌ای برای رشد و پیشرفت و کسب عنوان شهر انرژی صفر یا شهر کم کربن را دارد. این در حالی است که تأمین انرژی موردنیاز برای شهرها در حال حاضر به یک بحران جهانی تبدیل شده است و برای گذر از این بحران به کار بردن تکنولوژی‌های جدید به منظور افزایش بازدهی نیروگاه‌های موجود و افزایش بهره‌وری شبکه توزیع انرژی شهری گامی مهم و ضروری است. گرمایش کره زمین و محدودیت انرژی‌های فسیلی یکی از نگرانی‌ها و معضلات امروز دولت‌ها است. استفاده بیشتر از انرژی‌های پاک و پایدار جهت کاهش آلودگی‌های محیط‌زیستی در مرحله اول و کاهش هزینه‌ها و افزایش درآمد در قدم‌های بعدی ضروری به نظر می‌رسد. در عصر حاضر، زندگی در شهرها با مشکلات فراوانی از جمله آلودگی هوا، تراکم، عبور و مرور وسایل نقلیه و بیماری‌های جسمی و روانی مواجه است. رشد بی‌رویه شهرهای بزرگ که به دنبال افزایش جمعیت و مهاجرت به آن شکل می‌گیرد، باعث تخریب محیط‌زیست شده و آلودگی محیط‌زیستی را برای شهروندان به وجود آورده است. با توجه به مطالب ذکر شده، ضروریست که مدیران شهری و مهندسين به راه‌حلهایی جهت کاهش میزان تولید و انتشار دی‌اکسیدکربن دست پیدا کنند. همچنان توانایی‌های بالقوه هر شهر کمتر مورد توجه قرار گرفته است. شهر سمنان به عنوان یک شهر صنعتی با مجموعه کارخانه‌های متفاوت در طولانی مدت در معرض آلودگی‌های ناشی از استفاده از انرژی‌های فسیلی قرار می‌گیرد. تمرکز بر انرژی‌های تجدیدپذیر به ویژه انرژی خورشیدی در این شهر حایز اهمیت بوده و از طرفی مسیر دستیابی به عنوان شهر انرژی صفر را تسهیل می‌نماید.

از طرفی در تبیین ضرورت بحث باید به این موضوع مهم اذعان داشت اساساً تحقق انرژی صفر شهری در کشور پیامدهای اثربخش بسیاری را به همراه خواهد داشت که برخی از مهمترین آنان عبارتند از:

کاهش هزینه‌ها؛ پروژه‌های مبتنی بر انرژی صفر نیاز به انرژی کمتری دارند و از این‌رو هزینه نگهداری و مصرف انرژی کاهش می‌یابد؛ ایمنی بیشتر؛ انرژی صفر با توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر و سیستم‌های هوشمند، ایمنی را افزایش می‌دهد؛ کاهش آلاینده‌ها؛ انرژی صفر با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و کاهش مصرف انرژی، آلاینده‌های محیط‌زیستی را به حداقل می‌رساند؛

توسعه پایدار؛ استفاده از انرژی صفر، گامی مهم در جهت توسعه پایدار و حفظ منابع طبیعی است؛

اقتصاد؛ افزایش از انرژی صفر و ایجاد شغل‌های جدید در این حوزه، اقتصاد را تقویت می‌کند؛

اجتماع؛ استفاده از انرژی صفر می‌تواند الگویی برای توسعه شهری پایدار و سازگار با محیط‌زیست باشند.

در مجموع، استفاده از انرژی صفر در ایران می‌تواند به کاهش هزینه‌ها، افزایش ایمنی، کاهش آلاینده‌ها، آسایش ساکنین، توسعه پایدار، اقتصاد، و اجتماع کمک کند. مدیریت شهری باید با اتخاذ سیاست‌ها و برنامه‌های مناسب، نقش مهمی در نهادینه کردن ساختمان‌های انرژی صفر ایفا کند. بنابراین بحث و بررسی جامع پیرامون انرژی صفر شهری در کشور با توجه به ظرفیت‌های بالقوه در این زمینه ضروری است.

با این مقدمات، هدف اصلی این پژوهش استفاده از انرژی خورشیدی در برنامه‌ریزی‌های شهر سمنان به عنوان راهبردی جهت بهینه‌سازی مصرف انرژی و برنامه‌ریزی به سوی شهر انرژی صفر است و اهداف فرعی پژوهش شامل موارد زیر می‌گردد:

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر محیطی برای طراحی ساختمان‌های نزدیک به صفر انرژی، طراحی ساختمان خورشیدی، با رویکرد توسعه پایدار شهری و ارائه راهکارهای طراحی اقلیمی در جهت کاهش مصرف انرژی در شهر سمنان؛

ایجاد شهرهای انرژی صفر به معنای طراحی و ساختن شهرهایی است که تمام نیازهای انرژی خود را از منابع پاک و تجدیدپذیر تأمین کنند و همچنین کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای را هدف قرار دهند. این شهرها بر اساس مفاهیم معماری پایدار طراحی می‌شوند و از روش‌ها و تکنولوژی‌های نوین برای بهره‌برداری بهینه از انرژی استفاده می‌کنند.

### ادبیات نظری و پیشینه پژوهش

شکل‌گیری مفهوم پایداری و معنای آن در دهه ۱۹۷۰ حاصل توسعه منطقی و دانش نوینی نسبت به معضلات جهانی محیط‌زیست و توسعه است. تنها ساختمان‌ها و خانه‌ها یک ششم منابع آبی جهان را مصرف می‌کنند، یک چهارم چوب برداشت شده و دو پنجم سوخت‌های فسیلی و مواد تولید شده دنیا را نیز به خود اختصاص می‌دهند. همچنین، ساختمان‌ها نیمی از گازهای گلخانه‌ای دنیا را تولید می‌کنند. بر اساس آمارهای موجود، حجم ساخت و سازها در ۴۰ سال آینده، به دو برابر خواهد رسید (Talbot et al 2025:163).

ساختمان‌ها از طریق فرایندهای ساخت‌وساز، نصف مصرف انرژی جهان و نیز تولید یک سوم آلودگی هوا را به خود اختصاص می‌دهند. بنابراین، پایداری در زمینه ساختمان‌ها به مفهوم استفاده بهینه از منابع طبیعی، کاهش آلودگی محیطی و تولید پایدار می‌پردازد. این مفهوم شامل استفاده از مصالح ساختمانی معدنی و بیوسازگار، بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر و کارایی انرژی، طراحی سیستم‌های مکانیکی و الکتریکی بهینه و استفاده از فناوری‌های نوین می‌شود (Cellura et al. 2024:89). هدف از این مفهوم، ایجاد ساختمان‌هایی است که به‌طور هم‌زمان نیازهای انسانی را برآورده کنند و به محیط‌زیست و منابع طبیعی آسیب نرسانند. انرژی‌های تجدیدپذیر یا انرژی‌های پاک، منابع انرژی هستند که در طبیعت بی‌نهایت و یا به‌طور قابل تجدید تولید می‌شوند. این منابع شامل انرژی خورشیدی، باد، آب، گرمای زمین، انرژی بیوماس و انرژی هسته‌ای (در صورت استفاده از فناوری هسته‌ای امن) می‌شوند (Yeo et al. 2023:5). این منابع انرژی به دلیل عدم تمدید آنها و تولید آلاینده‌ها در استخراج و استفاده، به عنوان جایگزینی پاک و محیط‌زیست دوستانه برای سوخت‌های فسیلی مورد توجه قرار می‌گیرند. استفاده از این منابع انرژی تجدیدپذیر همچنین می‌تواند به کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و بهبود امنیت انرژی کشورها کمک کند (Hilmar Zeddies et al. 2025:203).

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مهمترین راه برای کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و کاهش آلودگی هواست. سلول‌های خورشیدی و توربین‌های بادی دو روش مهم برای تولید برق از انرژی خورشید و باد هستند. این منابع انرژی به دلیل برخورداری از مزایایی مانند عدم تولید آلاینده، تجدیدپذیر بودن و هزینه تولید پایین، جایگاه مهمی در تأمین نیازهای انرژی جهان دارند. همچنین، استفاده از سوخت‌های زیستی و انرژی آبی نیز از منابع انرژی تجدیدپذیر است که به دلیل قابلیت بازیافت و تأمین پایداری، جایگاه مهمی را در صنعت انرژی دارند. با توجه به این که مصرف انرژی در جهان رو به افزایش است، توسعه و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر می‌تواند به معضلات مربوط به تأمین انرژی و تغییرات اقلیمی کمک کند. به علاوه، در سال ۲۰۲۰، تقریباً ۸۰ درصد از تولید برق جهان توسط منابع تجدیدپذیر انجام شده است. این درصد به دلیل رشد سریع در نصب نیروگاه‌های خورشیدی و بادی در سراسر جهان افزایش یافته است (Gaurav et al. 2023:64). در حال حاضر، چین، آمریکا و اتحادیه اروپا از مهمترین سرمایه‌گذاران در انرژی‌های تجدیدپذیر هستند. این روند رشد در سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر نشان می‌دهد که جوامع جهانی به دنبال کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و کاهش اثرات زیان‌بار آنها بر محیط‌زیست هستند. همچنین،

این سرمایه‌گذاری‌ها از طریق ایجاد شغل و رونق اقتصادی نیز می‌تواند به توسعه پایدار کمک کند. با ادامه این روند، انتظار می‌رود که در آینده، انرژی‌های تجدیدپذیر بتوانند نقش مهمی در تأمین انرژی جهان ایفا کنند. هشدار برای محدود بودن منابع کره زمین در سال ۱۹۷۰ توسط «پچی» که یک بازرگان ایتالیایی و آقای «کینگوار» مدیر «او ای سی دی» که از تأثیرگذاران و تاسیس‌کنندگان سازمان «روم کلاب» بود بیان شد. آنها در یک گزارش به نام «محدودیت رشد» کمبود منابع انرژی را اعلام کردند و بیان داشتند که این کمبود و وابستگی دنیا به کاربرد سوخت‌های فسیلی به ویژه نفت، جهان را متحول خواهد کرد، نفتی که منبع اصلی رشد اقتصادی است و قیمت آن باعث واکنش و حساسیت‌ها در جامعه بین‌المللی گشته است (Huang et al. 202:91).

به طور کلی، مشکلات محیط‌زیست جهان در دهه ۱۹۹۰ به صورت بحران‌های جهانی و اجتناب ناپذیر مطرح گردید که بیشترین تأثیر را انرژی وابسته داشته و همچنین باعث تغییرات آب‌وهوا، آلودگی هوا و آب، کاهش ذخایر طبیعی و کاهش تنوع‌زیستی می‌شوند. افزایش غلظت دی‌اکسید کربن در جو زمین باعث افزایش اثر گلخانه‌ای و گرم شدن زمین می‌شود که این موضوع باعث تغییرات آب‌وهوایی، افزایش میزان بارش‌ها، ذوب یخچال‌ها و کاهش تنوع‌زیستی در مناطق مختلف جهان می‌شود (میلر، ۱۳۹۳: ۳۶). مشکلات دیگری که به انرژی وابسته هستند عبارتند از:

**آلودگی هوا:** استفاده از سوخت‌های فسیلی مانند نفت و ذغال‌سنگ منجر به آلودگی هوا و انتشار مواد آلاینده می‌شود که برای سلامتی انسان‌ها و حیوانات آسیب‌زا است؛

**کاهش ذخایر طبیعی:** استفاده بی‌رویه از منابع انرژی غیرقابل تجدیدپذیر مانند نفت و گاز طبیعی باعث کاهش ذخایر این منابع در طبیعت می‌شود و در نهایت به نابودی آنها منجر می‌شود؛

**تغییرات آب‌وهوا:** استفاده از سوخت‌های فسیلی باعث افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای و تغییر آب‌وهوا می‌شود که باعث بروز بحران‌های طبیعی مانند سیل، خشکسالی و طوفان می‌شود (Dabbous et al. 2024:93-96).

دلیل افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران در دوره ۱۴۰۰ تا ۱۴۲۰، کاهش سطح انباشت منابع فسیلی است. با توجه به مصرف رو به افزایش سوخت‌های فسیلی در جهان و خطر کمبود منابع، دولت‌ها و سازمان‌های بین‌المللی از سوخت‌های تجدیدپذیر برای تولید انرژی استفاده می‌کنند. این منابع شامل انرژی‌هایی مانند باد، آب، نور خورشید و بیوگاز است که برخلاف سوخت‌های فسیلی قابل تجدید هستند. در ایران نیز، دولت و سازمان‌های مربوطه به منظور کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و حفظ منابع طبیعی، سرمایه‌گذاری‌های قابل‌توجهی در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر انجام داده‌اند. به عنوان مثال، ساخت نیروگاه‌های برق خورشیدی و بادی در سراسر کشور و سرمایه‌گذاری در زمینه تولید بیوگاز و انرژی‌های دیگر از این دست است (تقی‌زاده انصاری، ۱۳۹۹: ۴۱-۴۲).

## انرژی خورشیدی

خورشید بزرگترین منبع انرژی در دنیا است. این انرژی، پاک، ارزان و برای ساکنان مناطق گرم و خشک اکثر اوقات در دسترس است. در اروپا، تابش خورشید در مقایسه با مناطق گرم و خشک کمتر است. این به این معنی است که تولید برق از طریق پنل‌های خورشیدی در اروپا کمتر می‌تواند صرفه اقتصادی داشته باشد. علاوه بر این، هزینه نصب و نگهداری پنل‌های خورشیدی نیز بالا است و این می‌تواند دلیلی دیگر برای استفاده کمتر از انرژی خورشیدی در اروپا باشد هر چند که تکنولوژی‌های تولید برق از خورشید در حال توسعه است و احتمالاً در آینده انرژی خورشیدی در اروپا نیز بیشتر استفاده خواهد شد. اهمیت این موضوع به حدی است که اتحادیه اروپا جهت توسعه استفاده از انرژی خورشیدی، بخش‌های بسیاری از صحرای آفریقا را به منظور قرار دادن تجهیزات جذب و تبدیل انرژی خورشیدی اجاره کرده است (واکر، ۱۳۹۷: ۹).

توجه به نحوه طراحی ساختمان برای استفاده بهینه از انرژی خورشیدی، مسأله قابل‌توجهی است. از جمله مزایای انرژی خورشیدی، قابلیت دسترسی برای عموم، عدم ایجاد آلودگی و سازگاری با محیط‌زیست است. به منظور استفاده بهینه از این انرژی می‌توان از سامانه‌های ایستا و پویا بهره برد. استفاده از انرژی خورشیدی در شهرها و مسکن‌ها می‌تواند به کاهش آلودگی هوا و انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند. تولید برق از منابع خورشیدی صفر انتشار کربن دی‌اکسید دارد و به تولید کمترین میزان آلاینده‌های هوا مانند سولفور دی‌اکسید و ذرات معلق کمک می‌کند. علاوه بر این، استفاده از انرژی خورشیدی در شهرها و مسکن‌ها می‌تواند به کاهش هزینه‌های انرژی وابسته به سوخت‌های فسیلی کمک کند. با

تولید برق از منابع خورشیدی، هزینه‌های مربوط به خرید سوخت‌ها و نگهداری و تعمیرات سیستم‌های تولید برق کاهش می‌یابد (Ziauddin et al. 2025:332).

استفاده از انرژی خورشیدی در شهرها و مسکن‌ها همچنین می‌تواند به ایجاد اشتغال و توسعه اقتصادی کمک کند. نصب و نگهداری سیستم‌های تولید برق خورشیدی نیاز به تخصص و نیروی کار متخصص دارد، که می‌تواند فرصت‌های شغلی جدید ایجاد کند. علاوه بر این، تولید برق خودمانی از منابع خورشیدی می‌تواند به کاهش وابستگی به واردات انرژی کمک کند و درآمدی پایدار برای کشور ایجاد کند. به طور کلی، استفاده از انرژی خورشیدی در شهرها و مسکن‌ها مزایای بسیاری از جمله حفاظت از محیط‌زیست، کاهش هزینه‌های انرژی، کاهش آلودگی هوا و ایجاد اشتغال و توسعه اقتصادی دارد. بنابراین، توسعه و استفاده از این فناوری مهم در راستای پایدارسازی شهرها و مسکن‌ها است (محمدخانی، ۱۴۰۱: ۶).

کلکتورهای خورشیدی که برای گرمایش خانه‌ها استفاده می‌شوند (کلکتورهای صفحه تخت) عموماً دارای یک یا چند پوشش شیشه‌ای هستند. می‌توان به جای شیشه از انواع پلاستیک و سایر مواد عبوردهنده نور نیز استفاده کرد. در زیر صفحه پوششی اکثر کلکتورها، یک صفحه دیگر به نام صفحه جذب‌کننده قرار دارد که اشعه‌های خورشیدی را جذب می‌کند. این صفحه جذب‌کننده عموماً از جنس مس، آلومینیوم، فولاد یا سایر مواد مناسب تشکیل شده و به وسیله ماده‌ای تیره (رنگ سیاه یا یکی از پوشش‌های انتخابی) روی آنها پوشانیده می‌شود تا سبب جذب بیشتر گرما شود و از انعکاس یا بازتاب گرما جلوگیری کند. صفحه جذب‌کننده معمولاً به سمت خورشید گرم می‌شود و حرارت را به آب یا سیال حامل گرما منتقل می‌کند. این سیال گرما را به یک مبدل حرارتی می‌فرستد که در آن گرما به هوا منتقل می‌شود و سپس هوا به داخل ساختمان منتقل می‌شود تا آن را گرم کند. با این حال، کلکتورهای خورشیدی نیز محدودیت‌هایی دارند. ظرفیت جذب و تولید گرما توسط کلکتورها به میزان تابش خورشید و شرایط جوی و محیطی بستگی دارد. همچنین، نیاز به فضای مناسب برای نصب کلکتورها و ذخیره‌سازی حرارت تولید شده نیز وجود دارد (زندى، ۱۴۰۰: ۵۱-۵۲).

ایرانیان باستان از آنچه که امروزه به آن طراحی «بیوکلیماتیک» یا «معماری سبز» می‌گویند، استفاده می‌کردند. آنها ساختمان‌هایی می‌ساختند که از یک سری روش‌ها برای بهره‌گیری از نور خورشید و کاهش مصرف انرژی استفاده می‌کردند. به عنوان مثال، در اتاق‌های نشیمن (یا همان اتاق‌های اصلی خانه)، پنجره‌ها را در جهتی قرار می‌دادند که در طول روز نور خورشید به اتاق بتابد. این نور، تا حد امکان در اتاق باقی می‌ماند و باعث گرم شدن فضا می‌شد. در طول روزهای گرم سال، آنها از سایه برداشت کرده و اتاق را در سایه قرار می‌دادند تا از گرمای زیاد خورشید جلوگیری کنند. همچنین، آنها از نرم و سبک بودن ساختمان‌ها استفاده می‌کردند تا در فصول گرم سال، هوا درون ساختمان خنک بماند (طهماسبی، ۱۴۰۳: ۶۴). این روش‌ها نشان می‌دهد که ایرانیان باستان در استفاده از انرژی خورشیدی برای کاهش مصرف چوب در گرم کردن خانه‌ها خلاقانه بودند و با در نظر گرفتن شرایط آب‌وهوایی منطقه، ساختمان‌هایی را طراحی می‌کردند که به صرفه و مناسب محیط‌زیست بودند. این روش، به عنوان طراحی ساختمان‌های سنتی ایرانی شناخته می‌شود که به خوبی از انرژی خورشیدی بهره می‌بردند. ساختمان‌های سبز به عنوان یک راه حل برای کاهش مصرف انرژی و حفظ محیط‌زیست مطرح می‌شوند. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، بادی و بیولوژیکی در ساختمان‌ها، به کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند (خلدانی، ۱۴۰۳: ۱۷۲).

در ساختمان‌های سبز، از تکنولوژی‌های پیشرفته برای بهینه‌سازی مصرف انرژی استفاده می‌شود. این تکنولوژی‌ها شامل سیستم‌های خنک‌کننده و گرم‌کننده هوا، سیستم‌های نورپردازی با کاهش مصرف انرژی، سیستم‌های تهویه مطبوع با بازیافت هوا و سیستم‌های تولید برق خورشیدی و بادی است (مجروحی، ۱۳۹۸: ۲۵). علاوه بر این، ساختمان‌های سبز از مواد ساختمانی با کارایی بالا و بازیافت‌پذیر استفاده می‌کنند. این مواد علاوه بر این که از منابع قابل تجدید استخراج می‌شوند، همچنین پس از دوره عمر ساختمان قابل بازیافت و استفاده مجدد هستند به‌طور کلی، ساختمان‌های سبز به عنوان یک رویکرد پایدار در طراحی و ساخت ساختمان‌ها مطرح می‌شوند. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و تکنولوژی‌های پیشرفته، همراه با استفاده از مواد بازیافت‌پذیر، می‌تواند به کاهش مصرف انرژی و حفظ محیط‌زیست کمک کند. برای رسیدن به این هدف، ساختمان‌های صفر انرژی از تکنولوژی‌هایی مانند سیستم‌های خورشیدی، تولید برق از باد، استفاده از چاه‌های گرمایی زمین و سیستم‌های بهینه‌سازی مصرف انرژی استفاده می‌کنند. همچنین، این ساختمان‌ها از عایق‌های حرارتی و سیستم‌های مدیریت انرژی پیشرفته استفاده می‌کنند تا از انتقال حرارت از دست بدهند و به حفظ دمای مطلوب در داخل ساختمان کمک کنند (Nindita et al. 2025:86).

هدف اصلی از ساختمان‌های صفر انرژی، کاهش مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای است. با افزایش آگاهی عمومی در مورد اهمیت حفاظت از محیط‌زیست و تغییرات اقلیمی، ساختمان‌های صفر انرژی به عنوان یک راهکار پایدار و محیط‌زیستی در طراحی و ساخت ساختمان‌ها در حال رشد است. در ساختمان‌های انرژی صفر، علاوه بر اینکه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر اولویت دارد و میزان مصرف انرژی آنها نیز کم است، نوع مصالح به کار رفته در آن نیز از لحاظ محیط‌زیستی مورد بررسی قرار می‌گیرد (Zhu et al. 2025:577). هدف اصلی ساختمان‌های سبز، استفاده بهینه از منابع و کاهش تأثیر منفی ساختمان بر روی محیط‌زیست است. با این حال نمی‌توان این ساختمان‌ها را در همه زمینه‌ها از قبیل کاهش زباله و ضایعات و یا استفاده از مواد قابل بازگشت به طبیعت، سبز تلقی کرد. زیرا عوامل مختلفی مانند محدودیت‌های فنی، اقتصادی و همچنین عدم توانایی در تأمین منابع و مواد قابل بازگشت به طبیعت ممکن است مانع از انجام این عملیات شود (Kaitouni et al. 2025:403). به علاوه، ساختمان‌های صفر انرژی می‌توانند انرژی تولید شده را ذخیره کنند و در صورت نیاز به شبکه برق برگردانند. این ساختمان‌ها همچنین می‌توانند از طریق استفاده از سیستم‌های هوشمند، مصرف انرژی را کنترل و بهینه‌سازی کنند. هدف نهایی از ساختمان‌های صفر انرژی، رسیدن به صفر کربن و صفر انرژی در طول عمر ساختمان است. این ساختمان‌ها همچنین می‌توانند به کاهش آلودگی هوا و تأثیرات منفی بر محیط‌زیست کمک کنند. با توجه به اهمیت مسائل محیط‌زیست و تغییرات آب‌وهوایی، ساختمان‌های صفر انرژی به عنوان یک راه حل پایدار برای ساخت‌وسازهای آینده در نظر گرفته می‌شوند (Ramakrishna et al. 2023). این ساختمان‌ها با مصرف کمتر انرژی، کاهش هزینه‌های انرژی و بهبود کیفیت زندگی کاربران، به عنوان یک الگوی پایدار برای صنعت ساخت‌وساز عمل می‌کنند. برخی از ویژگی‌های ساختمان‌های سبز عبارتند از:

استفاده از سیستم‌های انرژی تجدیدپذیر مانند پنل‌های خورشیدی و توربین‌های بادی برای تأمین انرژی الکتریکی

استفاده از سیستم‌های هوشمند کنترل مصرف انرژی در ساختمان به منظور بهینه‌سازی مصرف انرژی

استفاده از جوشکاری‌های حرارتی و عایق‌های حرارتی مناسب در ساختمان‌ها برای کاهش نیاز به سیستم‌های گرمایش و سرمایش

استفاده از سیستم‌های جمع‌آوری و استفاده مجدد آب برای مصارف مختلف در ساختمان

استفاده از مصالح ساختمانی با عمر طولانی و بازیافت‌پذیر (Purcell et al. 2025:87-89).

شهر کربن صفر به معنای یک شهر یا منطقه است که تمامی انتشارات گازهای گلخانه‌ای خود را به صفر می‌رساند. این به معنای استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر، بهره‌برداری از حمل‌ونقل عمومی پایدار، استفاده از سیستم‌های حرارتی و سرمایشی با کارایی بالا و انجام اقدامات موثر در حفاظت از محیط‌زیست است. هدف اصلی ایجاد شهر کربن صفر، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و محافظت از محیط‌زیست است. برخی از شهرهای کربن صفر معروف شامل کپنهاگن در دانمارک، استکهلم در سوئد و فرانکفورت در آلمان هستند (Chen et al. 2025:376).



شکل ۱. سه رکن اساسی برنامه‌ریزی شهرهای سبز (کربن صفر) و ارتباط بین این سه عامل (منبع: چن و همکاران، ۲۰۲۵: ۳۷۹)

ردپای کربن به‌عنوان یک شاخص محیط‌زیستی مهم، نشان می‌دهد که چه مقدار گازهای گلخانه‌ای ناشی از یک فعالیت خاص در یک زمان و مکان خاص تولید می‌شود. این شاخص برای سنجش تأثیرات محیط‌زیستی فعالیت‌ها و تعیین سطح آلودگی محیط‌زیست بسیار مفید است. همچنین، ردپای کربن به‌عنوان یک ابزار مدیریتی استفاده می‌شود تا فعالیت‌ها و سیستم‌های مختلف را در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای هدایت کند (Li et al. 2025: 119-120). طراحی و برنامه‌ریزی شهری هوشمند کم‌کربن نیازمند درک کامل از این اجزا و شاخص‌ها است. برخی از اجزا و شاخص‌های تشکیل‌دهنده فرم شهری که در طراحی شهری هوشمند کم‌کربن باید مورد توجه قرار گیرند عبارتند از:

استفاده از نیروی کار محلی و افزایش اشتغال: طراحی شهری هوشمند کم‌کربن باید اقتصاد شهر را تقویت کند و به افزایش اشتغال و کیفیت زندگی مردم کمک نماید؛

استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر: استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر مانند انرژی خورشیدی، بادی و آبی برای تأمین نیازهای انرژی شهری از اهمیت بالایی برخوردار است. این انرژی‌ها برای تولید برق، گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها و حمل‌ونقل پایدار استفاده می‌شوند؛ حمل‌ونقل پایدار: طراحی شهری هوشمند کم‌کربن باید از حمل‌ونقل عمومی و پایدار مانند قطارهای برقی، اتوبوس‌های تمام الکتریک و دوچرخه‌های عمومی حمایت کند. همچنین توسعه مسیرهای پیاده‌روی و دوچرخه سواری به‌منظور کاهش استفاده از خودروهای شخصی نیز مورد توجه قرار می‌گیرد؛

ساختمان‌های هوشمند و انرژی مثبت: استفاده از سیستم‌های هوشمند برای کنترل مصرف انرژی در ساختمان‌ها و استفاده از منابع انرژی مثبت مانند سیستم‌های تولید برق خورشیدی و سیستم‌های تجمع و ذخیره انرژی برای افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش هزینه‌ها و آلودگی هوا بسیار مهم است؛

مدیریت پسماند: طراحی شهری هوشمند کم‌کربن باید روش‌هایی برای جمع‌آوری و بازیافت پسماند را در نظر بگیرد. این شامل جداسازی پسماندها، استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای بازیافت و استفاده مجدد مواد قابل بازیافت و تشویق مردم به مشارکت در جمع‌آوری پسماند است. با اجرای شهرسازی سبز، مسئولیت محیط‌زیست در شهرها به مراتب بیشتر می‌شود و مسئولان به شیوه‌های مسئولانه‌تری نسبت به محیط‌زیست روی می‌آورند. این رویکرد نه تنها به حفظ منابع طبیعی و کاهش آلودگی، بلکه به ایجاد یک زندگی پایدار و بهتر برای نسل‌های آینده کمک می‌کند (Duan et al. 2025: 111-114).

ماتیو کاهین در کتاب خود تعریف سبز بودن را به‌عنوان یک حس ذاتی توصیف می‌کند که در شهرهایی مانند پورتلند و ارگان وجود دارد و باعث کاهش آلودگی و بهبود کیفیت محیط زندگی می‌شود. او این حس را در مقابل شهرهایی مانند مکزیکو که تحت تأثیر آلودگی صنعتی قرار دارند و کیفیت محیط زندگی را تخریب می‌کند، تعریف می‌کند (Ahmed et al.2024:73). به‌طور خلاصه، با توجه به پتانسیل بالای ایران در تولید انرژی خورشیدی، استفاده از این منبع انرژی می‌تواند بهبود چشمگیری در زمینه تولید انرژی، حفاظت از محیط‌زیست و توسعه اقتصادی کشور داشته باشد. با توجه به پیشرفت‌های اخیر در فناوری‌های انرژی خورشیدی، استفاده گسترده از انرژی خورشیدی در ایران امیدوارکننده است (Nwadiaru et al.2024:27). بنابراین، بسیاری از سرمایه‌گذاران داخل و خارج کشور علاقمند هستند که در توسعه انرژی خورشیدی سرمایه‌گذاری کنند. با به‌کارگیری این اصول می‌توان امیدوار بود که در آینده اثری از آلودگی بیش از حد شهرها نباشد و دوباره شاهد محیط‌زیست پاک و اکوسیستم‌های پایدار منطقه گرم و خشک در کشور ایران باشیم.

— طاهر احمدی و همکاران (۱۴۰۲) در مقاله‌ای با عنوان: «بهینه‌سازی چند هدفه تقاضای انرژی ساختمان و طراحی ساختمان انرژی صفر خالص متناسب با شرایط اقلیمی (مطالعه موردی: شهر تهران) به این نتیجه دست یافتند که شرایط اقلیمی و انتخاب مناسب پارامترهای معماری در کاهش مصرف انرژی ساختمان بسیار مهم و حیاتی هستند. بر اساس نتایج، به‌کارگیری راهکارهای بهینه‌سازی انرژی در شهر تهران، منجر به کاهش ۲۵/۲۳ درصدی در مصرف انرژی می‌شود. علاوه بر این، پتانسیل قابل‌توجهی برای استفاده از سیستم فتوولتاییک در شهر تهران برای تامین انرژی مورد نیاز منازل وجود دارد.

— رضائی‌نسب و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی با هدف بررسی امکان دستیابی به ساختمان با مصرف انرژی خالص صفر با استفاده از سیستم‌های فتوولتاییک و در نظر گرفتن الزامات طرح‌های توسعه شهری به این نتیجه دست یافتند که بهینه‌سازی انرژی در ساختمان، مصرف انرژی را تا ۲۰ درصد کاهش می‌دهد. سلول‌های خورشیدی نصب‌شده روی پشت بام ۸۷/۲ درصد کل انرژی الکتریسیته تولید شده و سلول‌های خورشیدی نصب‌شده در نمای جنوبی ۱۲/۸ درصد کل انرژی تولید شده سیستم فتوولتاییک را تشکیل می‌دهد. همچنین با نصب سلول‌های خورشیدی روی سقف و نمای جنوبی ساختمان می‌توان تا ۸۸/۲ درصد انرژی مورد نیاز یک ساختمان سه طبقه را در محل مورد مطالعه تأمین کرد.

— حسین‌زاده (۱۴۰۱) در پژوهشی با عنوان: «بررسی اجرا و عملکرد معماری در ساختمان‌های انرژی صفر با هدف تولید انرژی پسیو» نتایج به‌دست آمده از این تحقیق ساختمان‌های انرژی صفر با چالش‌های پیش رو مانند دانش فنی، نیروی کارآمد و ورزیده و قوانین و آیین‌نامه‌های موجود مواجه می‌باشد. بر همین اساس لزوم کاهش مصرف انرژی و بهینه‌سازی آن هر چه بیشتر احساس می‌شود. ساختمان‌های انرژی صفر بهترین راه‌حل برای تعدیل مصرف انرژی در مسکن است. اما رسیدن به این هدف نیازهای زیربنایی و اساسی دارد که باید برآورده شود.

— خرازی صنعت شتربان (۱۴۰۱) در پژوهشی با عنوان: «ساختمان‌های انرژی صفر یا صفر کربن حرکتی در راستای معماری اکولوژیکی» به این نتیجه دست یافت که با طراحی مناسب ساختمان با توجه به پارامترهای اقلیمی و استفاده حداکثری از سیستم‌های سرمایش و گرمایش طبیعی، استفاده از سیستم‌های غیرفعال خورشیدی، توربین‌های بادی و پانل‌های فتوولتاییکی می‌توان به دو هدف اصلی که همان تحقق ساختمان با آلاینده‌گی صفر و انرژی صفر می‌باشد دست یافت.

— اصغری و همکاران (۱۴۰۰) در مقاله‌ای با عنوان: «بررسی نقش سیستم‌های غیرفعال خورشیدی در ساختمان‌های صفر انرژی شهری، جهت آسایش و کاهش مصرف انرژی (مطالعه موردی: ولیعصر شهر تبریز)» نشان دادند توزیع شدت روشنایی در میان مدل‌های (در جذب مستقیم) C، (در دیوار ترومب) G، (در گلخانه‌ای) L نسبت به سایر سناریوها به‌صورت مناسب‌تری بوده است. همچنین میزان مصرف انرژی در این سه مدل نهایی به ترتیب توانسته است تا ۱۰، ۴۰ و ۲۰ درصد کاهش یابد.

— کایتونی و همکاران (۲۰۲۵) در پژوهشی با عنوان: «ساختمان‌های شهری بدون کربن در عصر تغییرات اقلیمی، تحول دیجیتال و گذار انرژی: بررسی اجمالی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴» به این نتیجه دست یافتند که ساختمان‌ها اکنون نه تنها برای بهینه‌سازی مصرف انرژی و افزایش آسایش داخلی، بلکه برای به حداقل رساندن انتشار کربن چرخه عمر ساختمان و گنجاندن فعال منابع انرژی تجدیدپذیر، ضمن در نظر گرفتن بافت شهری خود، طراحی می‌شوند. این تکامل توسط الزامات نظارتی و قانونی سختگیرانه‌تر همراه با



توسعه فناوری‌های پیشرفته و ابزارهای دیجیتال هدایت می‌شود و ساختمان‌های شهری را قادر می‌سازد تا از مصرف‌کنندگان غیرفعال انرژی به مصرف‌کنندگان فعال و پایدار و تعاملی با شبکه تبدیل شوند. به‌عنوان بخشی از استقرار شبکه هوشمند، این تغییر ساختمان‌های شهری را قادر می‌سازد تا در چارچوب جوامع بدون انرژی، به روشی کاملاً متفاوت از امروز، به وضعیت انرژی خالص صفر یا حتی خالص مثبت دست یابند.

— لی و فنگ (۲۰۲۵) در پژوهشی با عنوان: «مسیرهای رسیدن به ساختمان‌های شهری با مصرف انرژی صفر خالص در کانادا: یک چارچوب جامع مبتنی بر GIS با استفاده از داده‌های باز» و بر اساس تجزیه و تحلیل مکانی انرژی، نابرابری‌های قابل‌توجهی را در مصرف انرژی در مناطق شهری و حومه نشان دادند. یافته‌های پژوهش همچنین نشان داد که برق‌رسانی و پذیرش انرژی خورشیدی در مناطق تجاری، همراه با مقاوم‌سازی هدفمند در مناطق مسکونی، می‌تواند مصرف انرژی را به‌طور قابل‌توجهی کاهش دهد.

— ژائو و همکاران (۲۰۲۵) در پژوهشی که با هدف بررسی تاثیر گرمایش جهانی بر عملکرد سالانه ساختمان‌های انرژی صفر صورت پذیرفت، نشان دادند که پیش‌بینی می‌شود کل تقاضای انرژی برای گرمایش و سرمایش فضا از سال ۲۰۲۱ تا ۲۱۰۰ به میزان ۲۴ درصد و ۳۸ درصد تحت سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 افزایش یابد که ناشی از گرمایش جهانی و اثر UHI است. برای اقلیم‌های بسیار گرم تحت سناریوی RCP4.5، انتظار می‌رود اوج تقاضای سرمایش و گرمایش ۳۳ درصد و ۶۶ درصد بیشتر از میانگین ۸۰ ساله باشد، در حالی که تحت سناریوی RCP8.5 به ترتیب به ۳۹ درصد و ۷۱ درصد افزایش می‌یابد.

— Ahmed Gondal (2024) در مقاله‌ای با عنوان: «دستگاه‌های انرژی بادی کم‌سرعت برای تسهیل ساختمان‌های با مصرف انرژی نزدیک به صفر در مناطق شهری پاکستان» به این نتیجه دست یافت که توربین‌های بادی میکرو، به‌ویژه توربین‌های بادی محور عمودی، یک راه‌حل امیدوارکننده برای دستیابی به ساختمان‌های با مصرف انرژی خالص صفر در مناطق شهری ارائه می‌دهند.

بررسی پیشینه پژوهش نشان داد طیف وسیعی از پژوهش‌ها با موضوع انرژی صفر شهری صورت پذیرفت، اما وجه نوآوری پژوهش حاضر در آن است که اولاً به این موضوع از منظر برنامه‌ریزی در شهرهای اقلیم گرم و خشک ایران همچون شهر سمنان توجه شده است و ثانیاً این موضوع از منظر انرژی‌های تجدیدپذیر و پاک همچون انرژی خورشیدی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

بررسی پیشینه پژوهش نشان داد اولاً پژوهشی موضوع انرژی صفر شهری در مناطق گرم و خشک ایران به‌ویژه شهر سمنان را مورد بحث و بررسی قرار نداده است و ثانیاً بحث و بررسی پیرامون برنامه‌ریزی به سوی انرژی صفر شهری در شهرهای اقلیم گرم و خشک ایران با تأکید بر انرژی خورشیدی نیز صورت نپذیرفته است. بر این اساس و نیز ضرورت موضوع انرژی صفر شهری در کشور با توجه به مناطق گرم و خشک و اهمیت بالای انرژی خورشیدی وجوه اصلی نوآوری پژوهش حاضر محسوب می‌شود.

## مواد و روش

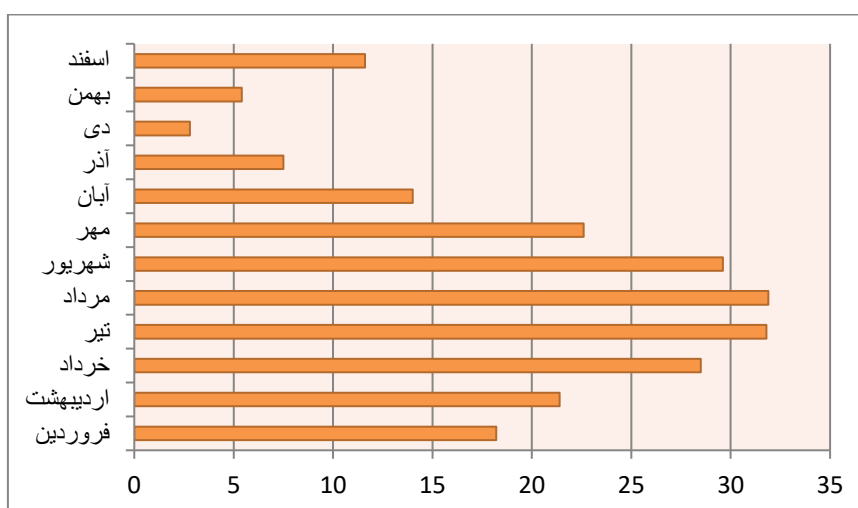
### منطقه مورد مطالعه

سمنان یکی از شهرهای ایران، مرکز استان سمنان و شهرستان سمنان است. این شهر در جنوب رشته کوه البرز و شمال دشت کویر در راه تهران به خراسان قرار گرفته است. شهر سمنان با مساحت ۱۱۰۱۷ کیلومترمربع و در دامنه جنوبی سلسله جبال البرز واقع گشته است. این شهر از شمال به شهرستان مهدیشهر، از شرق به شهرستان دامغان، از غرب به شهرستان سرخه و از جنوب به استان اصفهان محدود می‌گردد. شیب عمومی شهر: ۱ تا ۳ درصد است و جهت شیب عمومی شهر: جنوب شرقی می‌باشد.

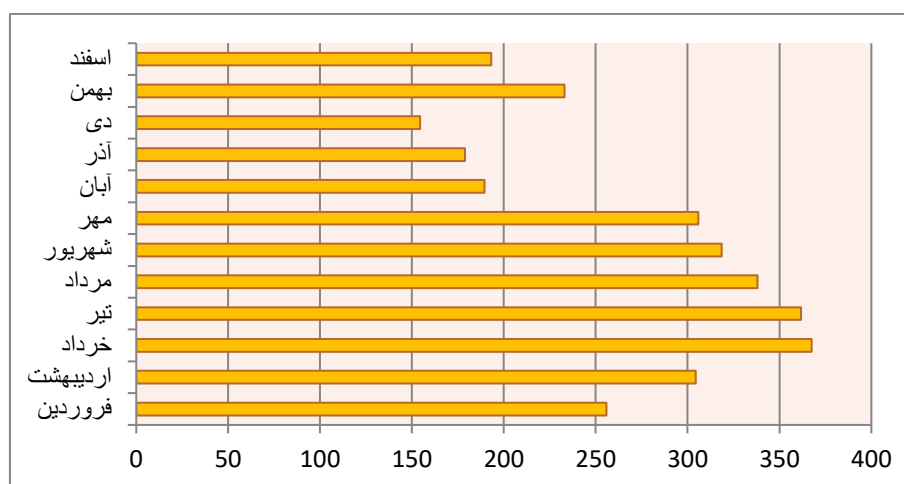
به‌طور کلی اقلیم شهر سمنان در گروه خشک و نیمه‌خشک و گرم قرار می‌گیرد و دارای ۳۲۵ روز آفتابی در سال است. سمنان تحت تاثیر جریان‌های هوایی گرم و خشک دشت کویر قرار دارد و دوری از دریا و جهت امتداد کوه‌ها و وزش باد نیز در آب و هوای شهر موثر است. میانگین ریزش‌های جوی سالانه ۸/۱۴۰ میلیمتر و بالاترین متوسط در تیر ماه (۵/۳۱ درجه سانتی‌گراد) و کمترین در دی ماه (۴ درجه سانتی‌گراد) می‌باشد.



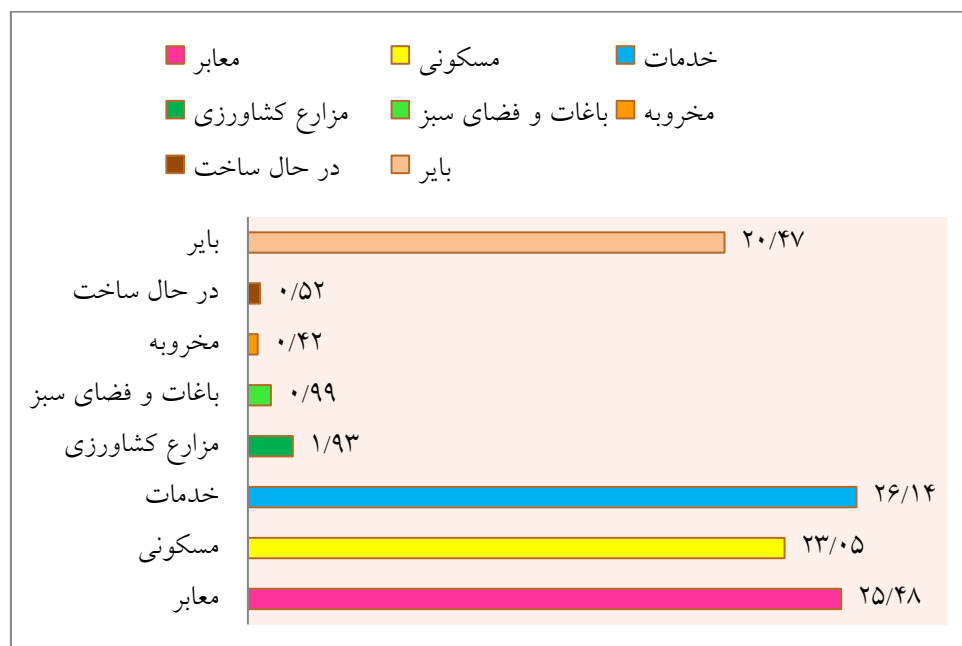
نقشه ۱. نقشه شهر سمنان



نمودار ۱. متوسط درجه حرارت ماهانه شهر سمنان برحسب سانی گراد (منبع: احتشام فر و همکاران، ۱۴۰۳: ۴).



نمودار ۲. ساعات آفتابی شهر سمنان (منبع: احتشام فر و همکاران، ۱۴۰۳: ۶).



نمودار ۳. درصد استفاده از اراضی شهر سمنان (منبع: احتشام‌فر و همکاران، ۱۴۰۳: ۴).

### روش پژوهش

این پژوهش به بررسی همبستگی بین متغیرهای تحقیق می‌پردازد و از نوع همبستگی است. نتایج این پژوهش می‌تواند برای استفاده‌کنندگان مفید و کاربردی باشد، بنابراین از نوع کاربردی است. این پژوهش از لحاظ اجرایی، تحقیقی-کاربردی و از لحاظ زمانی جزء تحقیقات مقطعی و با توجه به میزان، جزء تحقیقات پهنای می‌باشد. نرم‌افزار دیزاین بیلدر یک ابزار محاسباتی است که برای مدل‌سازی و شبیه‌سازی مصرف انرژی ساختمان‌ها استفاده می‌شود. این نرم‌افزار قادر است تا میزان مصرف انرژی ساختمان را بر اساس ویژگی‌های فیزیکی و ساختاری آن تخمین بزند. با استفاده از این نرم‌افزار، می‌توان عوامل مختلفی مانند سیستم‌های گرمایش و سرمایش، عایق‌ها، و نورپردازی را در نظر گرفت و تأثیر آنها بر مصرف انرژی را بررسی کرد. این ابزار امکان تغییرات در طراحی ساختمان و مقایسه میزان مصرف انرژی برای طرح‌های مختلف را فراهم می‌کند. جامعه آماری این پژوهش کلیه شهروندان سمنانی ساکن در شهر سمنان می‌باشند. همچنین در این تحقیق از یک ساختمان مسکونی به عنوان نمونه برای محاسبه مصرف انرژی استفاده شده است. در تحقیق حاضر که جامعه آن مجموع شهروندان شهر سمنان هستند، حجم نمونه بر اساس فرمول کوکران برابر با ۳۴۸ نفر است. پژوهش پیش رو به شیوه ترکیبی و با در نظر گرفتن آیین‌نامه استاندارد جهانی لید به عنوان مبنای ارزیابی، به بازنگری رده‌بندی شاخص‌های این آیین‌نامه بر اساس ویژگی‌های زیستی و بومی در شهر سمنان می‌پردازد.

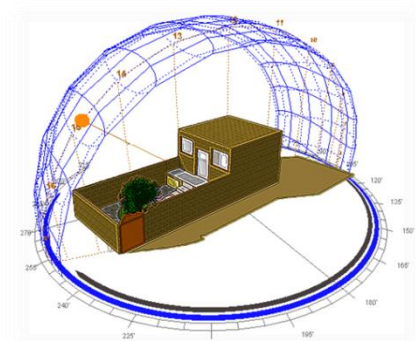
### یافته‌ها

در پژوهش حاضر یک ساختمان مسکونی به عنوان نمونه مورد مطالعه و سپس تمامی پارامترهای موثر در انرژی ساختمان در آن مورد بررسی قرار می‌گیرد و نتایج حاصل به وسیله شبیه‌سازی نرم‌افزار دیزاین بیلدر ارائه می‌شود. جهت دریافت چگونگی تأثیر هر پارامتر بر کاهش مصرف انرژی در فصل‌های گرم و سرد و محاسبه بار سرمایشی و گرمایشی ساختمان که مهمترین پارامتر در ساختمان صفر انرژی است موارد زیر بررسی می‌گردد. ساختمان مسکونی یک طبقه با یک خانوار دارای زیربنای ۲۶۰ مترمربع با ۳ اتاق خواب، یک هال نشیمن، آشپزخانه و سرویس بهداشتی. برای اطلاعات آب‌وهوایی از اطلاعات هواشناسی و موتور شبیه‌سازی انرژی پلاس استفاده شده است. در این قسمت به محاسبه میزان مصرف انرژی سالانه این ساختمان می‌پردازیم.

جدول ۱. محاسبه انرژی اولیه ساختمان انتخابی

| تعداد روز               | متر مکعب | واحد مصرف      | MJ  | انرژی     |
|-------------------------|----------|----------------|-----|-----------|
| گاز                     | ۷۲۶۴۴    | ۳۷/۶۸          | ۱۹  | ۳۶۵       |
| برق                     | ۲۴۳۳۳    |                | ۱۵۰ | ۳۶۵       |
|                         |          | m <sup>2</sup> | ۲۶۰ | A=        |
| MJ/m <sup>2</sup>       | ۳۷۲/۹۹   |                |     | E actual= |
| kwh/year/m <sup>2</sup> | ۱۰۳/۶۱   |                |     | معادل     |

با توجه به رابطه بالا و محاسبه صورت گرفته میزان مصرف انرژی در ساختمان موردنظر به طور سالانه برابر با ۱۰۳/۶۱ کیلووات ساعت مترمربع در سال است که این میزان فاصله فاحشی با میزان مطلوب انرژی و ساختمان‌های انرژی صفر دارد.



شکل ۲. شبیه‌سازی ساختمان مورد مطالعه در نرم‌افزار دیزاین بیلدر و خروجی آن (منبع: یافته‌های پژوهش)

در گام بعدی تاثیر عوامل مختلف بر مصرف انرژی ساختمان بررسی می‌گردد تا مصرف انرژی ساختمان به حداقل برسد. تمهیداتی مانند شیشه‌های دو جداره، استفاده از پنل‌های خورشیدی و...

جدول ۲. محاسبه انرژی ساختمان انتخابی پس از اعمال راهکارها (منبع: یافته‌های پژوهش)

| تعداد روز               | متر مکعب | واحد مصرف      | MJ  | انرژی     |
|-------------------------|----------|----------------|-----|-----------|
| گاز                     | ۳۸۲۳۴    | ۳۷/۶۸          | ۱۰  | ۳۶۵       |
| برق                     | ۱۴۷۶۲    |                | ۹۱  | ۳۶۵       |
|                         |          | m <sup>2</sup> | ۲۶۰ | A=        |
| MJ/m <sup>2</sup>       | ۲۰۳/۸۳   |                |     | E actual= |
| kwh/year/m <sup>2</sup> | ۵۶/۶۲    |                |     | معادل     |

## بحث و نتیجه‌گیری

دهه‌های اخیر و با افزایش جمعیت جهان و نگرانی‌های ناشی از افزایش قابل توجه میزان مصرف سوخت‌های متعارف، ضرورت دسترسی پایدار و مطمئن به انرژی بیش از پیش آشکار شده است. سوخت‌های فسیلی منابع انرژی تجدیدناپذیر هستند که در زمانی نه‌چندان دور به پایان خواهند رسید. این منابع انرژی چالش‌هایی در سطح جهانی نظیر آلودگی محیط‌زیستی و انتشار گازهای گلخانه‌ای به همراه دارند. با توجه به احتمال بروز ناترازی‌های جدی انرژی در سال‌های آتی، تکیه بر انرژی‌های تجدیدپذیر برای رفع این محدودیت‌ها و کاستی‌ها ضروری به نظر می‌رسد. کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر در دنیای کنونی مورد توجه قرار گرفته و به سرعت، گسترش یافته است. میزان تابش انرژی خورشید در ایران بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع در سال تخمین زده می‌شود که بالاتر از متوسط جهانی آن

است. بر همین اساس نیز ایران از ظرفیت ویژه‌ای در این بخش برخوردار است. به دلیل پتانسیل بهره‌برداری از انرژی خورشیدی در کشور، قوانینی برای بهره‌برداری از این انرژی، طراحی شده است. با وجود این تاکنون از ظرفیت‌های این بخش به درستی و به اندازه کافی بهره گرفته نشده است. وعده‌های محقق‌نشده در این حوزه مانع جدی توسعه تجدیدپذیرها در کشور است. از طرفی واقعیت این است کشور ما با مشکلات جدی در زمینه آلودگی هوا روبه‌رو است. عواملی مانند آلودگی هوای خانگی، آلودگی هوای صنعتی، استفاده از سوخت‌های فسیلی و ترافیک غیرمتعارف در برخی شهرها و فعالیت‌های صنعتی نامناسب از عوامل اصلی آلودگی هوا در کشور هستند. این موضوع نشان می‌دهد که برای کاهش آلودگی هوا و پیشگیری از مرگ‌ومیر ناشی از آن، تلاش‌های جدی لازم است. یکی از رویکردهای اثربخش در این رابطه، تلاش برای تحقق انرژی صفر شهری است. اساساً انرژی صفر شهری به معنای برنامه‌ای است که در آن کل انرژی موردنیاز شهر از منابع تجدیدپذیر مانند خورشید، باد و آب تامین شود و در نتیجه، میزان انتشار کربن به شدت کاهش یابد. این مفهوم به شهر اجازه می‌دهد تا وابستگی خود را به سوخت‌های فسیلی کاهش دهد و به سمت یک اقتصاد سبز و پایدار حرکت کند.

بر این اساس، هدف پژوهش حاضر بحث و بررسی پیرامون برنامه‌ریزی به سوی انرژی صفر شهری در شهرهای اقلیم گرم و خشک ایران همچون شهر سمنان با تأکید بر انرژی خورشیدی بوده است. یافته‌های پژوهش نشان داد شهر سمنان با توجه به ساعات آفتابی بالا و قرار گرفتن در موقعیت جغرافیایی اقلیمی گرم و خشک و با داشتن بیشترین بهره از انرژی خورشیدی پتانسیل بالایی برای به‌کار بردن مولفه‌های ساختمان‌های صفر انرژی دارد. یافته‌های پژوهش همسو و همراستا با نتایج و یافته‌های پژوهش (طاهراحمدی و همکاران، ۱۴۰۲؛ رضائی‌نسب و همکاران، ۱۴۰۲؛ خرازی صنعت شتربان، ۱۴۰۱؛ کایتونی و همکاران، ۲۰۲۵ و ژائو و همکاران، ۲۰۲۵) قرار دارد اما همسویی چندانی با نتایج پژوهش (حسین‌زاده، ۱۴۰۱؛ اصغری و همکاران، ۱۴۰۰ و لی و فنگ، ۲۰۲۵) نداشته است.

نهایتاً با توجه به نتایج و یافته‌های پژوهش و در راستای نیل به شهر کربن صفر برای شهر سمنان پیشنهادات زیر قابل توجه است:

- شیشه دوجداره در ساختمان‌ها به همراه درزبندی و کاهش نفوذ
- استفاده از نمای دو پوسته
- جهت‌گیری ساختمان‌ها نسبت به رون کرمانی برای بهره‌مندی از نور و باد مطلوب
- ایجاد اختلاف ارتفاع در پشت بام در مسیر حرکت خورشید به‌منظور سایه‌اندازی در اوقات مختلف روز
- افزایش ارتفاع ساختمان به‌منظور کاهش یا افزایش ناگهانی دما
- استفاده از سایه‌بان‌های مناسب به‌منظور عدم ورود نور در تابستان
- حداکثر استفاده از مصالح ساختمانی تجدیدپذیر و بومی کویر و حداقل استفاده از مصالح ساختمانی با تمرکز انرژی غیر تجدیدپذیر، مثل فولاد، آجر، وینیل، آلومینیوم و عایق
- پس‌نگری و پرهیز از چیزهای غیرضروری برای افزایش کارایی و صرفه‌جویی هزینه
- جلب سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در راستای توسعه نوسازی ناوگان حمل‌ونقل عمومی و جایگاه‌های سوخت‌گیری می‌تواند از طریق انجام موارد زیر صورت پذیرد:
- ارائه تسهیلات مالی و مالیاتی: دولت می‌تواند تسهیلات مالی و مالیاتی به سرمایه‌گذاران خصوصی در این صنعت ارائه کند. این تسهیلات می‌تواند شامل تخفیف مالیاتی، اعطای وام با بهره کم و تسهیلات اعتباری باشد.
- پوشاندن محیط بیرونی بنا با فضای سبز و پوشش گیاهی مناسب جهت تعدیل دما و کاهش نوسانات دمایی
- استفاده از باغچه و حوض آب جهت برودت تبخیر

## منابع

احتشام‌فر، امیر علی؛ کرکه آبادی؛ زینب و کامیابی، سعید (۱۴۰۳). «تبیین فضای امنیت شهری با بهره‌گیری از شاخص‌های شهر هوشمند در شهر سمنان». *جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای*، ۲۳ (۲)، ۲۵-۱.

اصغری، علیرضا؛ ملکی گاوگانی؛ آید؛ ابراهیمی اصل، حسن و ستاری ساربان قلی، حسن (۱۴۰۰). «بررسی نقش سیستم‌های غیر فعال خورشیدی در ساختمان‌های صفر انرژی شهری، جهت آسایش و کاهش مصرف انرژی (مطالعه موردی: ولیعصر شهر تبریز)». *نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی*، ۷۷۱-۷۵۲، (۱) ۳۶.

تقی‌زاده انصاری، مصطفی (۱۳۹۹). *حقوق محیط‌زیست در ایران*. تهران: سمت.

حسین‌زاده، عباس (۱۴۰۱). «بررسی اجرا و عملکرد معماری در ساختمان‌های انرژی صفر با هدف تولید انرژی پسیو». *پژوهش‌های نوین بین رشته‌ای علوم پایه و فنی و مهندسی*، ۱(۱)، ۱-۱۰.

خرازی صنعت شتربان، میترا (۱۴۰۱). «ساختمان‌های انرژی صفر یا صفر کربن حرکتی در راستای معماری اکولوژیکی». *معماری شناسی*، ۸(۲۳)، ۱۸-۳۱.

خلدانی، آصف (۱۴۰۳). *تاریخ و فرهنگ باستانی ایران*. تهران: ققنوس.

رضائی‌نسب، سیدسجاد؛ طایفی نصرآبادی، عباسعلی؛ اسدی، سمیه و حاج سید تقی، سیدعلی (۱۴۰۲). «بررسی امکان دستیابی به ساختمان با مصرف انرژی

خالص صفر با استفاده از سیستم‌های فتوولتاییک و در نظر گرفتن الزامات طرح‌های توسعه شهری». *مهندسی عمران فردوسی*، ۳۶(۱)، ۵۱-۶۸.

زند، مجید. (۱۴۰۰). *انرژی خورشیدی*. تهران: دانش نگار.

طاهر احمدی، جواد؛ نورالهی، یونس و پناهی، مصطفی (۱۴۰۲). «بهینه سازی چند هدفه تقاضای انرژی ساختمان و طراحی ساختمان انرژی صفر خالص

متناسب با شرایط اقلیمی (مطالعه موردی: شهر تهران). *مهندسی مکانیک تبدیل انرژی*، ۱۰(۳)، ۵۵-۳۷.

طهماسبی، احسان (۱۴۰۳). *معماری کاخ در ایران باستان متأخر*. تهران: کسری.

مجروحی، جواد (۱۳۹۸). *مهندسی سبز*. تهران: فدک.

محمدخانی، میلاد (۱۴۰۱). *انرژی‌های پاک*. تهران: شهر قلم.

میلر، جی.تی (۱۳۹۳). *زیستن در محیط زیست*. ترجمه مجید مخدوم، تهران: دانشگاه تهران.

واکر، نیکو (۱۳۹۷). *زیستن در محیط زیست*. ترجمه بهرام معلمی، تهران: نردبان.

Ahmed, N., Ahmed Khan, N., & Ober, J. (2024). The role of carbon peaking targets in urban green economic transition: Insights from U.S. city-level climate action plans. *Journal of Global Transitions*, (7), 69-80.

Ahmed Gondal, I. (2024). Low-speed wind energy devices to facilitate nearly zero energy buildings in urban Pakistan. *Journal of Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy*, (316), 16-33.

Alex-Oke, T., Bamisile, O., Chima Ukwuoma, C., & Ado Tenebe, S. (2024). Renewable energy market in Africa: Opportunities, progress, challenges, and future prospects. *Journal of Energy Strategy Reviews*, (59), 224-246.

Dabbous, A., Aoun Barakat, K., & Woodside, A. (2024). How do configurations of the sharing economy, renewable energy, and financial development support/dampen nations' sustainable competitiveness? *Journal of Cleaner Production*, (511), 85-107.

Cellura, M., Quyen Luu, L., Guarino, F., & Longo, S. (2024). A review on life cycle assessment of concentrating solar energy technologies. *Journal of Renewable Energy*, (249), 83-105.

Chen, J., Jason Ren, Z., & Ramaswami, A. (2025). Methodology for identifying cost-effective food waste-resource circularity strategies toward zero-carbon cities: Linking valorization technologies with byproduct reutilization pathways. *Journal of Resources, Conservation and Recycling*, (219), 371-394.

Duan, H., Mu, T., & Yu, Q. (2025). City-level analysis of carbon reduction potential and decarbonization challenges in China. *Journal of Cities*, (158), 103-133.

Gaurav, A., Tyagi, A., Jha, S., & Kumar, B. (2024). Assessment using MCDM approach of renewable hybrid energy system with hydrogen production capability. *International Journal of Hydrogen Energy*, (137), 630-645.

Hilmar Zeddies, H., Parlasca, M., & Qaim, M. (2025). Agrivoltaics increases public acceptance of solar energy production on agricultural land. *Journal of Land Use Policy*, (156), 197-214.

Huang, X., & Wen, H. (2025). The constraining dynamics of political instability on renewable energy development: International evidence. *Journal of Renewable Energy*, (246), 147-166.

Kaitouni, S., Romani, Z., Jamil, A., & Ahachad, M. (2025). Zero carbon urban buildings (ZCUBs) in the era of climate change, digital transformation and energy transition: a scoping review from 2000 to 2024. *Journal of Building and Environment*, (280), 398-422.

- Kaoud, O., Elbassoussi, M., & Zubair, S. (2024). Optimizing hybrid renewable energy systems for urban sustainability: A case study of five Saudi Arabian cities. *Journal of Renewable Energy*, (248), 224-246.
- Kumar Sahu, A., & Mahalik, M. (2025). From policy to practice: The mediating role of innovation in renewable energy adoption in OECD nations. *Journal of Innovation and Green Development*, 4(3), 180-203.
- Li, Y., & Feng, H. (2025). Pathways to urban net zero energy buildings in Canada: A comprehensive GIS-based framework using open data. *Journal of Sustainable Cities and Society*, (122), 114-130.
- Nindita, V., Purwanto, P., & Windarta, J. (2025). Comparative analysis of green building software for energy efficiency in campus settings. *Journal of Green Technologies and Sustainability*, 3(3), 82-100.
- Nwadiaru, O., Bates, A., Goldstein, A., Cantor, J., Pineda Shokooh, K., & Harper, K. (2024). Imagining a future without fossil fuels: From mid-transition to net zero in a New England environmental justice city. *Journal of Applied Energy*, (389), 17-41.
- Park, J., Hwang, J., & Kim, D. (2025). Balancing the Scales of Renewable Energy 100%: Addressing Disparities in Sectoral Electricity Consumption. *Journal of Renewable Energy*, (124), 1-17.
- Purcell, L., O'Regan, H., McGookin, C., & Nyhan, M. (2025). Modelling urban carbon emissions for multiple sectors in high spatial resolution for achieving sustainable & net-zero cities. *Journal of Sustainable Cities and Society*, (126), 80-98.
- Ramakrishnan, J., Seshadri, K., Liu, T., Zhang, F., Yu, R., & Gou, Z. (2023). Explainable semi-supervised AI for green performance evaluation of airport buildings. *Journal of Building Engineering*, 79, 107788.
- Talbot, A., Hollander, H., & Bentzer, P. (2025). Greenhouse gas impact from medical emissions of halogenated anaesthetic agents: a sales-based estimate. *Journal of The Lancet Planetary Health*, 9(3), 158-181.
- Yeo, W. (2023). Employment differentiation for women and men in the off-grid solar energy sector in Côte d'Ivoire. *Journal of Energy for Sustainable Development*, (87), 1-19.
- Ziauddin, M., Alnaimat, F., & Mathew, B. (2025). A novel humidification and dehumidification desalination system powered by direct solar energy. *Journal of Case Studies in Thermal Engineering*, (72), 328-344.
- Zhao, Y., Ding, X., Fan, Y., Zhao, Y., Ge, J., & Carmeliet, J. (2025). Global warming likely compromises the annual performance of zero-energy buildings while the urban heat island effect exacerbates the impact. *Journal of Sustainable Cities and Society*, (126), 1-18.
- Zhu, Y., Xu, W., Luo, W., Yang, M., Chen, H., & Liu, Y. (2025). Application of hybrid machine learning algorithm in multi-objective optimization of green building energy efficiency. *Journal of Energy*, (316), 572-596.



## Planning Towards Zero Urban Energy in Hot and Dry Climate Cities in Iran; Case Study: Semnan with Emphasis on Solar Energy

Elnaz Maghsoudi,<sup>1</sup> Saeid Kamyabi,<sup>2\*</sup> MohammadReza Zandmoghadam<sup>3</sup>

1. PhD Candidate, Department of Geography, se.c, Islamic Azad University, Semnan, Iran. Email: [Elnaz.maghsoudi@iau.ir](mailto:Elnaz.maghsoudi@iau.ir)
2. Professor, Department of Geography, se.c, Islamic Azad University, Semnan, Iran. Email: [S.kamyabi@iau.ir](mailto:S.kamyabi@iau.ir)
3. Associate Professor, Department of Geography, se.c, Islamic Azad University, Semnan, Iran. Email: [Dr.zandmoghadam@iau.ir](mailto:Dr.zandmoghadam@iau.ir)

Received: 2025/05/20

Accepted: 2025/06/30

### Abstract

The increasing growth in energy consumption in cities and the environmental consequences arising from dependence on fossil resources have increased the necessity of moving toward sustainable urban patterns with nearly zero energy consumption. The aim of the present study is to investigate the factors affecting the reduction of fossil energy consumption and the achievement of the status of a zero-carbon city. The research method is descriptive-analytical and, since it examines the correlation between the research variables, it falls within the category of correlational studies. In terms of implementation, the present study is applied, while in terms of time, it is classified as a cross-sectional study and, based on its scope, as an extensive study. DesignBuilder software is a computational tool used for modeling and simulating the energy consumption of buildings. This research was conducted on a residential building as a case study. Subsequently, all parameters affecting the building's energy consumption were examined, and the results were presented using simulations performed with DesignBuilder software. The energy consumption of the building under consideration was estimated at 103.61 kilowatt-hours per square meter per year. After applying carbon-reduction strategies to the building, its energy consumption was recalculated using DesignBuilder software. This time, the building's energy consumption reached 56.62 kilowatt-hours per square meter. The results showed that the consumed energy decreased by 99.46 kilowatt-hours per square meter, equivalent to approximately 54 percent. Based on the research findings, it can be stated that Semnan City, with its high number of sunny days per year, has sufficient potential to utilize this energy. Among the most important innovative and practical aspects of the research is that this study is being conducted in its present form for the first time in Semnan City, and the implementation of its findings can grant the city a special status in the field of clean energy.

**Keywords:** Renewable energies, Solar energy, Zero-energy building, Zero-carbon city (Zero energy)

**Cite this article:** Maghsoudi, E., Kamyabi, S., & Zandmoghadam, M. R. (2025). Planning Towards Zero Urban Energy in Hot and Dry Climate Cities in Iran; Case Study: Semnan with Emphasis on Solar Energy. *Environment and Development Journal*, 16 (31), 147-162. <https://doi.org/10.22034/eiat.2025.251839>

© The Author(s).

**Publisher:** Iranian Association for Environmental Assessment



DOI: <https://doi.org/10.22034/eiat.2025.251839>