مطالعات پایداری و توسعه سکونتگاه‌های همساز با اقلیم/ دوره سوم، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۳، (پیاپی ۳). صص ۱۰۶-۹۲

ارزیابی پتانسیل‌های ایجاد ساختمان‌های صفر انرژی خورشیدی در شهر ادیمی

غلامعلی خمر [۱*]، رضا شیخی‌کبیر [۲]، بهزاد صاحب زاده [۳]

۱. دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

۳. عضو هیات علمی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۰۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۹ DOI: 10.22034/mpsh.2025.551562.1065

چکیده

در سال‌های اخیر، درک روند مصرف و تبیین روش‌هایی جهت بهینه‌سازی، موردتوجه پژوهشگران و مدیران انرژی در بخش مسکونی قرارگرفته است. بنا به گزارش سازمان انرژی‌های نو در ایران، بیش از ۳۰ درصد منابع مختلف انرژی کشور در ساختمان‌ها مصرف می‌شود. با توجه به اینکه نه‌تنها منابع نفتی از سرمایه‌های ارزشمند و حیاتی کشور می‌باشند که مصرف غیر بهینه آن‌ها زیان‌های جبران‌ناپذیری را ایجاد می‌کنند، بلکه استفاده بیش‌ازحد از آن‌ها باعث آلودگی محیط‌زیست نیز می‌شود، صاحب‌نظران و کارشناسان به دنبال منابعی هستند که به‌تدریج جایگزین سوخت‌های فسیلی شوند. ضرورت به حداقل رساندن استفاده از سوخت‌های فسیلی باعث شده تا در جهان، بعد از نسل ساختمان‌های سبز که از حداقل انرژی مصرفی برخوردار بودند، ساختمان‌های انرژی صفر و انرژی پلاس مطرح شوند چنان‌که بهره‌مندی از آن برای هر سازمان یا نهادی که از این سبک ساختمان‌سازی بهره‌مند شود، یک امتیاز محسوب می‌شود. از جمله ویژگی‌های این سامانه پیچیده آن است که از حداقل اتلاف انرژی برخوردارند، از نور خورشید در ساختمان استفاده نموده و تمامی انرژی موردنیاز ساختمان را از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌نمایند. هدف این پژوهش بررسی و ارزیابی پتانسیل‌های ایجاد ساختمان‌های صفر انرژی خورشیدی در شهر ادیمی می‌باشد و این پژوهش بر پایه ترکیبی از روش‌های توصیفی- تحلیلی و مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای، اسنادی و میدانی و جامعه آماری این پژوهش شهر ادیمی می‌باشد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از مدل تصمیم‌گیری SWARA و نرم‌افزار MATLAB و داده‌های سازمان هواشناسی برای شهر ادیمی انجام‌شده است. با توجه به نتایج تابش بسیار بالا (~۶.۵ kWh/m²/day) و ساعات آفتابی طولانی (~۳۰۰۰ ساعت/سال) نشان می‌دهد که انرژی خورشیدی گزینه اصلی برای ساختمان‌های صفر انرژی در شهر ادیمی است، اما به دلیل توزیع نامنظم باد در طول سال، انرژی بادی بیشتر به‌عنوان مکمل کاربرد دارد. همچنین مطابق نتایج حاصل از تکنیک سوارا از بین مولفه های موردمطالعه در مهم‌ترین اقدام در موفقیت ایجاد ساختمان‌های صفر انرژی در شهر ادیمی، رویکرد اقتصادی نسبت به دیگر اقدام‌ها موردمطالعه متأثر بوده است.

واژگان کلیدی: انرژی‌های نو، محیط‌زیست، ساختمان‌های مسکونی، شهر ادیمی.

* نویسنده مسئول: غلامعلی خمر Ah.khammar@uoz.ac.ir

مقدمه

با روی آوردن انسان به کشاورزی و بعد از آن شروع انقلاب صنعتی، بشر شروع به تخریب پوشش گیاهی و تبدیل جنگل‌ها به مزارع و سایت‌های شهری و مسکونی نموده است. استفاده از سوخت‌های فسیلی باعث کندشدن چرخه بازیافت گازهای کربن‌دار شده، و این پدیده منجر به نازک‌شدن لایه ازن و افزایش قطر لایه بازتابنده انرژی خورشیدی شده است. سال‌ها بی‌توجهی به روند تغییر چهره کره زمین و پخش انواع آلاینده‌ها در کره زمین و هوا ، باعث گرمایش زمین و پدیده وارونگی یا

اینورژن شده است (خرازی صنعت شتربان، ۱۴۰۱: ۱۹). امروزه نحوه درست استفاده از انرژی‌های موجود در جهان به دلایل مختلفی از جمله ارتباط امنیت انرژی و اقتصاد دولت‌ها و جوامع و محیط‌زیست ملی و فراملی کشورها که در این چندساله با تغییرات ملموس آب‌وهوا و اقلیم‌ها در نقاط مختلف زمین و اهمیت آن به‌صورت ملموس برای مردم جوامع مختلف روشن‌شده است و نیاز به توجه بیشتری نسبت به گذشته دارد (حسین زاده، ۱۴۰۱: ۲).

از این زمان در حوزه ساختمان چه در ساخت و چه در بهره‌برداری از آن با توجه به میزان بالای مصرف انرژی در آن‌ها، توجه به محیط‌زیست و تلاش در جهت طراحی ساختمان‌های اقلیمی (سبز) افزایش‌یافته است، در این میان دستیابی به یک راهکار مناسب، طراحی پایدار ، می‌تواند تا حدودی از این معضلات بکاهد. استفاده بهینه از انرژی و به‌کارگیری مصالح قابل بازیافت در ساخت بنا توجه به جنبه‌های بومی و فرهنگی محل از مفاهیم اصلی کاربرد اکولوژی در طراحی ساختمان است، که در مبانی معماری در دو دهه اخیر گسترش‌یافته است (حکیمی و همکاران، ۱۴۰۰: ۲۴۳). بنابراین ساختمان انرژی صفر که به‌صورت ساختمان انرژی صفر خالص (NZEB) شناخته می‌شود ساختمانی است با مصرف انرژی صفر به این معنی که انرژی موردنیاز در یک سال دقیقاً معادل میزان انرژی تجدیدپذیر ایجادشده در سایت است. این ساختمان‌ها باعث افزایش میزان گازهای گلخانه‌ای نمی‌شوند. هدف این ساختمان‌ها کاهش کربن آزادشده و کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی است. ساختمان بدون مصرف انرژی اصطلاحی می‌باشد که به‌صورت بهینه استفاده از تکنولوژی انرژی‌های تجدیدپذیر موجود در بازار را با تکنیک‌های ساخت‌وساز بهینه به‌صورت هنرمندانه‌ای ترکیب می‌کند (رزمی و داورزنی، ۱۳۹۷: ۶۴).

انرژی‌های تجدیدپذیر و همچنین انرژی هسته‌ای به‌عنوان انرژی‌های پاک به‌دوراز آلودگی زیست‌محیطی می‌توانند در کاهش انتشار گازهای آلاینده همچون دی‌اکسید کربن و دیگر گازهای گلخانه‌ای نقش مهمی ایفا کنند. بنابراین ضرورت سالم نگه‌داشتن محیط‌زیست، کاهش آلودگی هوا، محدودیت‌های برق‌رسانی و تأمین سوخت برای و روستاهای دورافتاده، استفاده از انرژی‌های نو مانند انرژی بادی، انرژی خورشیدی، هیدروژنی و غیره می‌توانند در هر اقتصادی جایگاه ویژه‌ای داشته (رحیمی و همکاران، ۱۴۰۳: ۲۳۸). امروزه امنیت قابلیت اطمینان و در دسترس بودن منابع انرژی امری ضروری در پایداری و توسعه‌ی اقتصادی جوامع می‌باشد. تغییرات اقلیمی، عدم امنیت حامل‌های انرژی (غالباً تجدید ناپذیر) و همچنین رشد مصرف انرژی، چالش‌های بسیاری را در حوزه‌ی انرژی و محیط‌زیست ایجاد نموده است. (رزمی و داورزنی، ۱۳۹۷: ۶۴). حفاظت از محیط‌زیست تنها وظیفه دولت و سازمان‌ها نیست، بلکه همه افراد می‌توانند به عواقب سنگین فعالیت‌های فعلی بر محیط‌زیست پی ببرند و تغییرات قابل‌توجهی را در راستای فراهم آوردن محیطی پایدار ایجاد کنند. یکی از مهم‌ترین جنبه‌هایی که افراد می‌توانند در صرفه‌جویی در محیط‌زیست و همچنین پول خود در آن سهیم باشند. پایدار کردن خانه‌های خود به‌خصوص در زمینه مصرف انرژی است (دعایی و همکاران، ۱۴۰۳: ۵۰). مسکن و انرژی منشأ اصلی و اساس زندگی انسان‌هاست منابع انرژی‌های سنتی سوخت‌های فسیلی و برق حاصل از شکافت هسته‌ای، عملاً بر چگونگی سیستم عرضه انرژی در جهان امروز تسلط دارند. ولی وابستگی شدید جوامع صنعتی به منابع انرژی فسیلی به‌خصوص و گاز و به‌کارگیری و مصرف بی‌رویه آن‌ها ممکن است منابع عظیمی را که طی قرون متمادی در لایه‌های زیرین زمین تشکیل‌شده است، تخلیه نماید (حکیمی و همکاران، ۱۴۰۰: ۲۴۳). یکی از منابع آلوده‌کننده مهم طبیعت گازهای ناشی از سوختن منابع فسیلی است که هم تولید و هم مصرف آن به دلیل پایین بودن فناوری تجهیزات تولید و مصرف همواره با آلودگی زیست‌محیطی همراه است ضرورت به حداقل‌رساندن استفاده از سوخت‌های فسیلی باعث شده تا در جهان، بعد از نسل ساختمان‌های سبز که از حداقل انرژی مصرفی برخوردار بودند. ساختمان-های انرژی صفر و انرژی‌پلاس مطرح شوند. چنان‌که بهره‌مندی از آن برای هر سازمان یا نهادی که از این سبک ساختمان‌سازی بهره‌مند شود یک امتیاز محسوب می‌شود ازجمله ویژگی‌های این سامانه پیچیده آن است که از حداقل اتلاف انرژی برخوردارند، از نور روز در ساختمان استفاده نموده و تمامی انرژی موردنیاز ساختمان را از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین می‌نمایند (مدی و

علی اکبری، ۱۳۹۴: ۱۱). یکی از چالش‌های اساسی در معماری معاصر ایران، فاصله‌گیری ناخودآگاه از اصول و راهکارهای معماری بومی و سنتی است. این انقطاع، که عمدتاً متأثر از به‌کارگیری گسترده و بدون برنامه‌ریزی فناوری‌ها و روش‌های معماری مدرن است، پیامدهای نامطلوبی در حوزه مصرف انرژی به همراه داشته است. برای نمونه، می‌توان به ناکارآمدی انرژی در ساختمان‌های نوین واقع در مناطق گرم و خشک کشور اشاره کرد که ناشی از بیتوجهی به طراحی اقلیمی است. در این راستا، بازیابی و بازتعریف اصول معماری هم‌ساز با طبیعت، به‌عنوان بنیان‌های معماری پایدار، امری ضروری به نظر می‌رسد. بر این اساس، احساس نیاز به بهینه‌سازی و کاهش مصرف انرژی در بخش ساختمان بیش از پیش نمایان شده است. در میان راهبردهای مختلف، مفهوم «ساختمان صفر انرژی» به‌عنوان راهکاری مؤثر برای کاهش ردپای کربن در حال تبدیل شدن به یک گفتمان جهانی است. دستیابی به این هدف، مستلزم تلفیق هوشمندانه فناوری‌های کارآمد با طراحی معماری، متناسب با ویژگی‌های خاص اقلیمی هر منطقه است تا سازگاری مطلوبی با محیط‌زیست ایجاد گردد.با در نظر گرفتن وضعیت کنونی مصرف انرژی در ایران و رشد فزاینده استفاده از سوخت‌های فسیلی که تبعات زیان‌باری را بر کشور تحمیل کرده است، این پژوهش بر آن است تا پتانسیل‌سنجی احداث ساختمان‌های صفر انرژی خورشیدی را در شهر ادیمی مورد ارزیابی قرار دهد.

پیشینه پژوهش

خمر و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که در بین شهرهای موردبررسی، سیستان ازنظر استقرار پنل‌های خورشیدی در زمینه‌ی تولید الکتریسیته (با فرض استقرار نیروگاه‌های ۱ کیلوواتی)، شهر محمدآباد با تولید انرژی سالانه ۱۶۴۴ کیلووات در سال در محیطی به وسعت ۶.۵ مترمربع، دارای وضعیت مناسب‌تری نسبت به بقیه شهرهاست که با فرض تورم ثابت ۰.۱ و نرخ خرید تضمینی هر کیلووات به مبلغ ۹۳۱۷ ریال از سوی وزارت نیرو درآمدی بالغ بر ۱۵ میلیون تومان در سال برای هر واحد را در پی دارد که طبیعتاً می‌تواند مبلغ قابل‌توجهی برای خانوارهای شهری باشد.

حسین‌زاده (۱۴۰۱) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که 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 هرچه بیشتر احساس می‌شود. ساختمان‌های انرژی صفر بهترین راه‌حل برای تعدیل مصرف انرژی در مسکن است.

خرازی صنعت‌شتربان (۱۴۰۱) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند 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 پانل-های فتوولتائیکی می‌توان به دو هدف اصلی که همان تحقّق ساختمان با آلایندگی صفر و انرژی صفر می‌باشد دست‌یافت.

یارمحمد و مهدی‌زاده سراج (۱۴۰۱) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که پرکاربردترین راه‌کارها به ترتیب مربوط به استفاده از صفحات فتوولتائیک، عایق‌کاری حرارتی جداره‌ها، استفاده از تهویه طبیعی، توجه به ابعاد و موقعیت پنجره‌ها، استفاده از نور روز، استفاده از مصالح با ظرفیت حرارتی مناسب، استفاده از گلخانه و آتریوم و استفاده از دیوار و بام سبز می‌باشد.

براتی و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که می‌توان با استفاده از مصالح و طراحی‌های غیرفعال ساختمان ازجمله شیشه‌های دوجداره و عایق‌کاری دیوارها، میزان مصرف انرژی ساختمان را کاهش داد.

عبادی و همکاران (۱۴۰۲) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که سناریوهای توسعه مزارع انرژی خورشیدی جهت تأمین انرژی، توسعه انرژی خورشیدی در محدوده صنایع، توسعه پنل‌های خورشیدی در سطح ادارات و سازمان‌ها، توسعه پنل‌های خورشیدی در سطح مناطق مسکونی بیشترین سازگاری و سناریوی ادامه استفاده از سوخت‌های فسیلی جهت تولید انرژی و توسعه و تأسیس نیروگاه‌های هسته‌ای در منطقه کمترین سازگاری را برای توسعه در سطح شهر اهواز دارند.

پسندیده و حیدری (۱۴۰۳) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که اثربخشی اهداف، سیاست‌ها و قوانین مصوب در حوزه تجدیدپذیر اندک شده است که نتیجه آن ظرفیت اندک نیروگاه‌های تجدیدپذیر، عدم تنوع مناسب سبد انرژی کشور، عدم

نقش‌آفرینی تجدیدپذیرها در تأمین امنیت عرضه انرژی کشور و نوعی بی‌اعتمادی اجتماعی نسبت به مشارکت در حوزه تجدیدپذیر است.

دعایی و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که کدام استراتژی‌ها یک خانه تک‌خانواری در مناطق گرم را به خانه انرژی صفر تبدیل می‌کند. مطالعات تجربی بسیار کمی برای آب‌وهوای گرم منتشرشده است.

رحیمی و همکاران (۱۴۰۳) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که وجود رابطه‌ی علی یک‌طرفه بین مصرف انرژی تجدیدپذیر و رشد اقتصادی نیز می‌باشد. همچنین در بلندمدت رابطه‌ی علی دوطرفه از رشد اقتصادی، به مصرف انرژی سوخت‌های فسیلی و مصرف انرژی تجدید پذیر و رابطه علی یک‌طرفه از رشد اقتصادی به مصرف انرژی هسته‌ای برقرار است.

یانگ و جیان[1] (۲۰۱۹) در مطالعه خود با عنوان مدل‌سازی انرژی ساختمان‌های شهری و طراحی شهری برای توسعه پایدار محله – چشم‌انداز چین، بیان می‌کنند برای طراحی محله‌های پایدار شهری باید عملکرد انرژی بهینه ساختمان‌ها هم بررسی شوند چرا که منابع مورداستفاده در محلات شهری متعلق به آیندگان نیز می‌باشد.

مبانی نظری

انرژی نو، یا صفر (تجدیدپذیر یا برگشت‌پذیر) به انواعی از انرژی می‌گویند که برخلاف انرژی‌های تجدید ناپذیر قابلیت بازگشت مجدد را دارد. افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی و بحث‌های زیست‌محیطی، از دیگر عوامل رویکرد جدید به‌سوی انرژی‌های تجدیدپذیر بوده است. بعلاوه، توسعه و گسترش فن‌آوری انرژی‌های نو، باعث کاهش قیمت و افزایش تقاضا گردیده است. انرژی‌های حاصل از باد، آب، خورشید و انرژی زمین‌گرمایی انرژی‌های کاملاً پاک هستند که هیچ‌گونه آلودگی برای محیط‌زیست ندارند .سوخت‌های زیستی، گاز طبیعی فشرده‌شده و انرژی اتمی در مراحل بعدی قرار دارند که هر یک عوارض جانبی نسبی خود رادارند (مهدی زاده و همکاران،۲:۱۳۹۴). ساختمان انرژی صفر، واژه‌ای است که یک ساختمان با مصرف سالانه انرژی صفر و تولید آلاینده‌های کربنی صفر را توصیف می‌کند. این ساختمان می‌تواند از شبکه تأمین انرژی جدا و مستقل باشد. بدین ترتیب انرژی به‌صورت محلی و از طریق ترکیبی از فن‌آوری‌های تولید انرژی‌های نو از قبیل خورشیدی و بادی تأمین می‌گردد (جوانشیر،۱:۱۳۹۴).

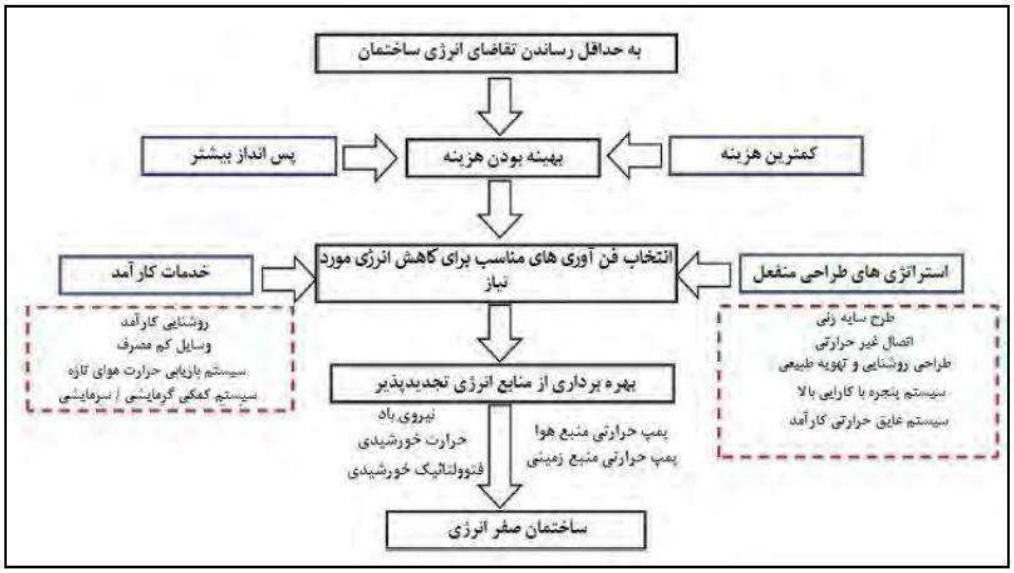
در سال‌های اخیر، درک روند مصرف و تبیین روش‌هایی جهت بهینه‌سازی، موردتوجه پژوهشگران و مدیران انرژی در بخش مسکونی قرارگرفته است. در این زمینه، سوان و آگورسال به‌مرور ادبیات فن‌های متفاوت استفاده‌شده در مدل‌سازی انرژی مصرفی بخش مسکونی پرداخته‌اند(Swan et. al, 2009:182).

یک ساختمان انرژی صفر می‌تواند به چند شکل تعریف شود که بسته به مرز و شاخصه‌های محل دارد، تعاریف متفاوتی می‌توانند بکار روند که بسته به اهداف پروژه و ارزش تیم طرح و مالک ساختمان می‌باشد، برای مثال، مالکین ساختمان معمولاً توجه زیادی به هزینه‌های انرژی‌دارند، سازمان‌هایی مثل DOE در ارتباط به انرژی ملی بوده و معمولاً علاقه‌مند به انرژی اولیه یا منبع هستند، یک طرح ساختمان ممکن است علاقه‌مند به مصرف انرژی در محل برای رفع نیازهای انرژی باشد؛ و سرانجام اینکه ما آن‌هایی که نگران آلودگی ناشی از نیروگاه‌های برق و سوختن سوخت‌های فسیلی هستند ممکن است علاقه‌مند به کاهش گازهای آلوده‌کننده باشند(محمودی زرندی و علی‌اکبری،۵:۱۳۹۳).

طبق گزارش‌ها بین سیالی چهل درصد از کل انرژی اولیه مورداستفاده در سراسر جهان در ساختمان‌ها استفاده می‌شود. این مصرف زیاد انرژی ممکن است به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم بر محیط‌زیست تأثیر بگذارد. همچنین باعث تغییرات اقلیمی، تخریب محیط‌زیست و افزایش آلودگی هوا می‌شود ازاین‌رو لازم است مصرف انرژی در ساختمان کاهش یابد و اقدامات لازم برای پایدارتر ساختن ساختمان‌ها ازنظر زیست‌محیطی انجام شود در سال‌های اخیر، مفاهیم ساختمان باانرژی صفر برای غلبه بر این

[1] Yang & Jian

مشکل توسعه‌یافته است. ساختمان انرژی صفر از منابع طبیعی انرژی برای تأمین انرژی موردنیاز ساختمان استفاده می‌کند (دعایی و همکاران، ۱۴۰۳: ۵۱). ساختمان‌های انرژی صفر اصطلاحی است که برای نسل جدید ساختمان‌هایی که مصرف سوخت و انرژی‌های فسیلی در آن‌ها وجود ندارد و یا بسیار محدود است در نظر گرفته‌شده است. در این ساختمان‌ها علاوه بر بهره‌گیری از راهکارهای غیرفعال و حفظ اصول بهینه انرژی، تمام و یا دست‌کم بخش زیادی از انرژی موردنیاز ساختمان‌ها در خود بنا از طریق سیستم‌های تعبیه‌شده در آن جهت بهره‌گیری از منابع تجدیدپذیر، تولید می‌شود (جان‌زاده و زندیه، ۱۳۹۵: ۱۰۷). یک ساختمان انرژی صفر (ZEB) بنا به تعریف، ساختمان مسکونی و یا تجاری با کاهش قابل‌توجه نیازهای انرژی از طریق رسیدن به سطح بهره‌وری بالا می‌باشد به‌گونه‌ای که می‌تواند توازن نیازهای انرژی خود را با به‌کارگیری فن‌آوری‌ها و انرژی‌های تجدید-پذیر به دست آورد . در اواخر قرن بیستم با به‌کارگیری این روش معماران به طراحی ساختمان‌های کم‌مصرف دست یافتند که نیازهای انرژی خود را تأمین و بدون آن‌که به شبکه انرژی وابسته باشد تا ۲۵W/m2 در طول سال نیز مازاد انرژی خود را به شبکه ارسال نمایند. تبیین این اهداف و نحوه تعریف آن‌ها برای فرآیند طراحی حیاتی است (مدی و علی‌اکبری، ۱۳۹۵: ۱۲). عبارت ساختمان انرژی صفر برای ساختمانی استفاده می‌شود که به‌طور ایده آل تکنولوژی انرژی‌های تجدیدپذیر در دسترس را به‌وسیله‌ی فنون ساختاری انرژی‌های تأثیرگذار به اشتراک می‌گذارد. در قلب مفهوم و تصور کلی ساختمان انرژی صفر، این ایده وجود دارد که ساختمان‌ها می‌توانند تمام نیازهای خود را به انرژی با یک روش کم‌هزینه با دسترسی محلی بدون آلایندگی و با منابع تجدیدپذیر برطرف نمایند. پیدا کردن ساختمانی که بتوان آن را اولین ساختمان انرژی صفر نامید بسیار مشکل است زیرا صفر انرژی تنها یک اسم جدید برای روند پیشرفت کاهش مصرف انرژی در ساختمان است. در یک ساختمان انرژی صفر هیچ‌گونه سوخت فسیلی مصرف نمی‌شود و مصرف انرژی سالانه آن با تولید سالانه‌اش برابری می‌کند (رزمی و داورزنی، ۱۳۹۷: ۶۵). با استفاده از مفهوم خانه‌های انرژی صفر، می‌توان شبکه توزیع را به‌عنوان یک منبع ذخیره برای انرژی تولیدی اضافی توسط منبع تجدیدپذیر تلقی نمود. این خانه‌ها مقدار زیادی انرژی با شبکه توزیع تبادل می‌کنند و با استفاده از این تبادل می‌توان به موازنه سالانه انرژی صفر دست‌یافت در سال‌های اخیر ساختمان‌های با مصرف و انرژی صفر به‌صورت گسترده‌ای در سراسر جهان در حال ساخت به‌کارگیری هستند. اتحادیه اروپا اعضای خود را موظف کرده است که از سال ۲۰۲۰ به بعد تمامی خانه-های جدید باید از نوع ساختمان‌های دارای مصرف انرژی صفر یا حداقل نزدیک به صفر باشند (جواهرده و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۴۴۳).



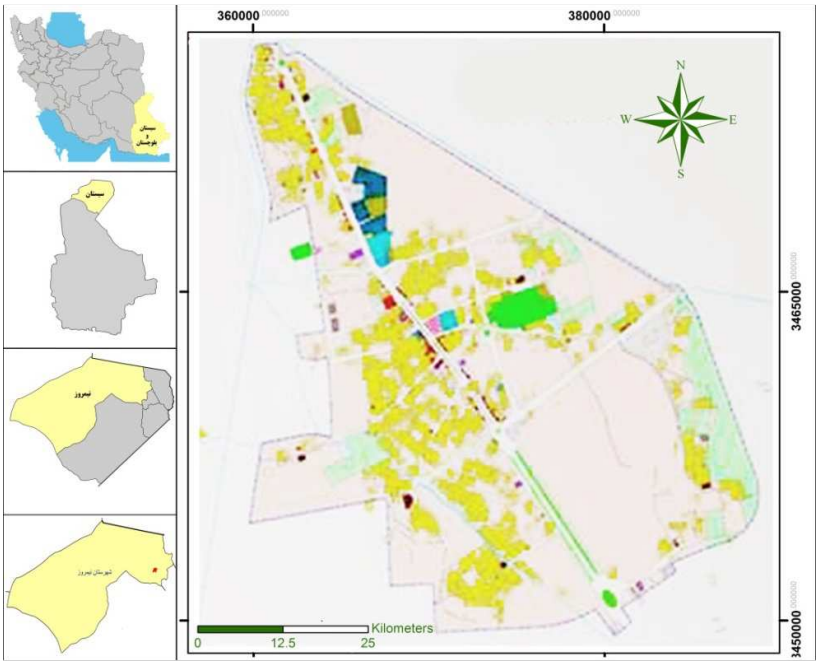
شکل(۱) : مفهوم طراحی ساختمان صفر انرژی (اصغری و همکاران، ۱۴۰۰: ۷۵۶).

انواع ساختمان‌های انرژی صفر برحسب میزان انرژی مصرفی و تولیدشان در طول یک سال دسته‌بندی می‌شوند که عبارتند از: ۱.ساختمان‌های انرژی مثبت (صفر) یا ZEB: این ساختمان‌ها انرژی تولیدی‌شان بیش از انرژی مصرفی‌شان در طول یک سال است. ۲. ساختمان‌های انرژی نزدیک به صفر یا near-ZEB : ساختمان‌هایی که انرژی مصرفی‌شان کمی بیشتر از انرژی تولیدی‌شان در طول یک سال است. ۳. ساختمان‌هایی با انرژی تبادلی صفر یا net-ZEB: ساختمان‌هایی که در آن میزان تولید انرژی سالانه برابر یا بیشتر از میزان مصرف آن است (براتی و همکاران، ۱۴۰۲: ۶۹). به‌طورکلی ساختمان‌های صفر انرژی را به دو دسته تقسیم‌بندی می‌کنند: ۱. خودکفا ۲. متصل. ساختمان‌های خودکفا نیاز به اتصال به شبکه انرژی خارجی ندارند و تمامی انرژی موردنیاز بنا از طریق منابع تجدیدپذیر موجود در سایت تأمین می‌شود ولی ساختمان‌های متصل عبارتند از ساختمان‌هایی که در یک دوره زمانی خاص مجموع انرژی دریافتی و تولیدی آن‌ها صفر است. این بدان معنی است که امکان دارد در بعضی زمان‌ها از شبکه خارجی انرژی دریافت کنند (جان‌زاده و زندیه، ۱۳۹۵: ۱۰۸).

امروزه تقاضای مصرف انرژی در جهان رو به افزایش بوده و با توجه به محدودیت در استفاده از سوخت‌های فسیلی برای تولید انرژی علاقه‌مندی در جهت یافتن منابع جایگزین انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارد. انرژی خورشیدی منحصربه‌فردترین منبع انرژی تجدیدپذیر در جهان است و منبع اصلی تمامی انرژی‌های موجود در زمین است و همچنین ازآنجایی‌که خورشید به‌عنوان یک منبع سرشار از انرژی و بی‌پایان محسوب می‌شود. هیچ‌گونه آلودگی برای محیط‌زیست ایجاد نمی‌کند. انرژی‌های تجدیدپذیر از مهم‌ترین منابع انرژی هر کشوری محسوب می‌شوند. این انرژی‌ها درعین‌حال که کمترین آلودگی زیست‌محیطی را ایجاد می‌کنند پایان‌ناپذیر بوده و نگرانی‌هایی که در مورد امکان اتمام سوخت‌های فسیلی در آینده‌ای نزدیک وجود دارد برای آن‌ها وجود نخواهد داشت (عبادی و همکاران، ۱۴۰۲: ۶۳). توسعه و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های اخیر به دلیل ماهیت سازگار با محیط‌زیست افزایش قابل‌توجهی در سراسر جهان داشته است (حیدری، ۱۴۰۰: ۱۶۶). انرژی‌های تجدیدپذیر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای را تسهیل و نقش کلیدی در انتقال انرژی ایفا می‌کنند اما استقرار آن‌ها چالش‌هایی را به همراه دارد (Grodsky, 2021). در اواسط قرن حاضر، انتظار می‌رود که استفاده از انرژی خورشیدی بیش از هر منبع انرژی دیگری در سراسر جهان افزایش یابد (Bergin, et al, 2017) انرژی خورشیدی ازنظر زیست‌محیطی پاک بی‌صدا، نامحدود و از منابع انرژی تجدیدپذیر است (حیدری، ۱۴۰۰: ۱۶۶). وجود رشته‌کوه‌های زاگرس و البرز مانع از نفوذ توده‌های مرطوب به مرکز ایران شده‌اند و دلیل خشک و نیمه خشک‌بودن بخش وسیعی از کشور هستند. از طرف دیگر مناطق کویری و بیابانی ایران به دلیل موقعیت جغرافیایی از لحاظ تابش خورشیدی وضعیت مطلوبی دارند. ایران در کمربند بیابانی جهان قرارگرفته و تقریباً سه‌چهارم آن مناطق خشک و نیمه‌خشک است. مساحت ایران ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومترمربع است که ۷۰ درصد آن کویر، کوه و تالاب تشکیل داده است (Zarei, et al, 2012) و باوجود حدود ۳۰۰روز آفتابی در سال جزء بهترین کشورهای جهان در زمینه پتانسیل انرژی خوشیدی است. امروزه یکی از بهترین راه‌های به‌کارگیری پنل های فتوولتائیک (خورشیدی) به‌منظور تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی است که هیچ‌گونه تهدیدی برای محیط‌زیست ندارد (رضائی‌مقدم و هاتفی اردکانی، ۱۳۹۵: ۱۳۳).

محدوده موردمطالعه

اَدیمی، شهری در بخش مرکزی شهرستان نیمروز در استان سیستان و بلوچستان ایران است. این شهر، مرکز شهرستان نیمروز است. این شهرستان از نظر مشخصات جغرافیایی بین نقاط ۳۰ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۰ درجه و ۳۱ دقیقه عرض شمالی و ۶۰ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۴۰ دقیقه طول شرقی واقع‌شده است. بر پایه سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵، جمعیت شهر ادیمی برابر با ۳.۶۱۳ نفر (۸۶۲ خانوار) بوده‌است(مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). همچنین از آنجایی که توسعه بافت جدید به تدریج صورت گرفته است، لذا دارای قدمت متغیر تا حدود ۵۰ سال می‌باشد. بافت جدید در دو جداره خیابان اصلی زابل به ادیمی تجمع نموده است و اغلب خدمات موجود در ادیمی نیز در این جداره ها متمرکز شده اند.



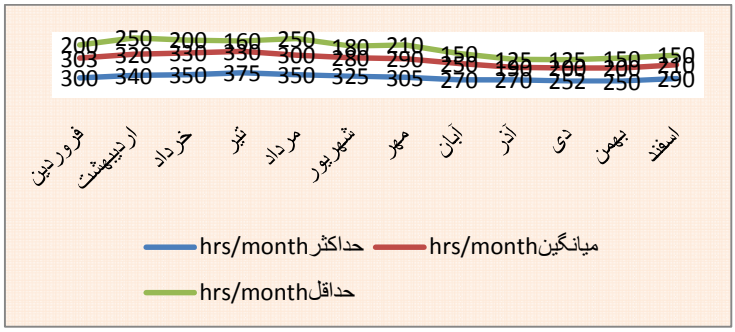
شکل(۲): موقعیت جغرافیایی شهر ادیمی

روش پژوهش

روش‌های پژوهش را می‌توان با توجه به دو ملاک تقسیم کرد؛ اول، هدف پژوهش و دوم نحوه گردآوری اطلاعات و داده‌ها. بر همین اساس پژوهش حاضر به لحاظ هدف از نوع تحقیقات کاربردی و به لحاظ ماهیت و روش از نوع تحقیقات توصیفی – تحلیلی است. جامعه آماری پژوهش شهر ادیمی می‌باشد. تجزیه‌وتحلیل داده‌ها با استفاده از مدل تصمیم‌گیری SWARA و نرم‌افزار MATLAB و HOMER و داده‌های سازمان هواشناسی برای شهر ادیمی انجام‌شده است.

یافته های پژوهش

شهر ادیمی در منطقه سیستان از نظر تابش آفتاب بسیار غنی است و به‌طور متوسط بیش از ۲۶۰ روز آفتابی در سال دارد. شکل (۳) نوسانات ماهانه ساعات آفتابی در منطقه سیستان و شهر ادیمی را نشان می‌دهد.

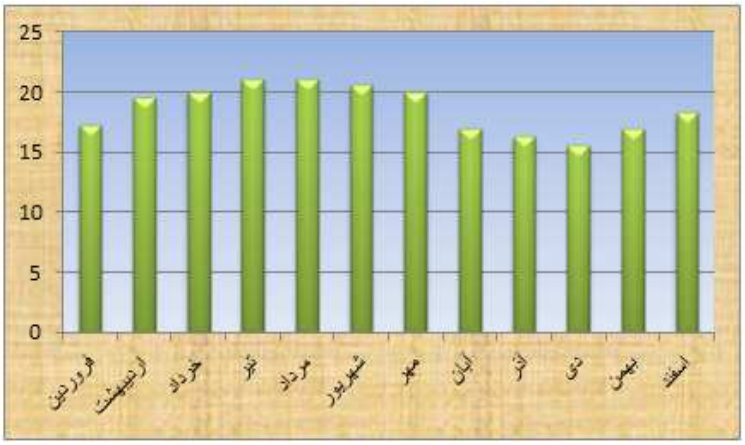


شکل(۳) نمودار تغییرات ماهانه ساعات آفتابی در منطقه سیستان و شهر ادیمی

جدول (۱) بررسی میانگین میزان ساعات آفتابی به تفکیک روز، ماه و سال در منطقه سیستان و شهر ادیمی

بررسی میانگین میزان ساعات آفتابی در سیستان به تفکیک روز، ماه و سال		
روزانه	ماهانه	سالانه
۸/۸	۲۶۴/۴	۳۲۱۶/۳

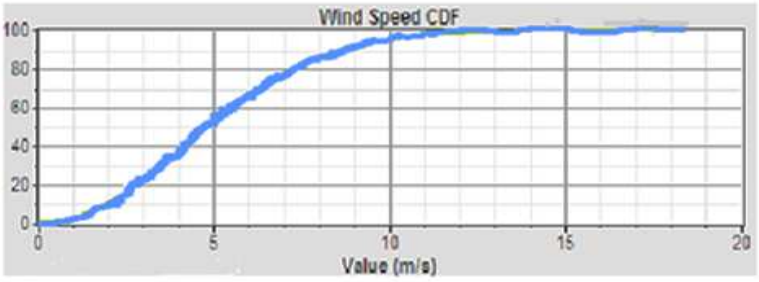
همچنین بررسی پارامترهای توصیفی انرژی باد و جریانات هوای که شهر ادیمی جزء مناطق فعال کشور محسوب می‌شود طوری که کمترین سرعت باد در این منطقه ۱/۵ m/s و متوسط سرعت باد ۸ m/s گزارش‌شده است؛ شکل (۴) سرعت ماهانه حداکثر باد m/s رانشان می‌دهد و شکل (۵) بیانگر سرعت و جهت باد غالب در منطقه است.



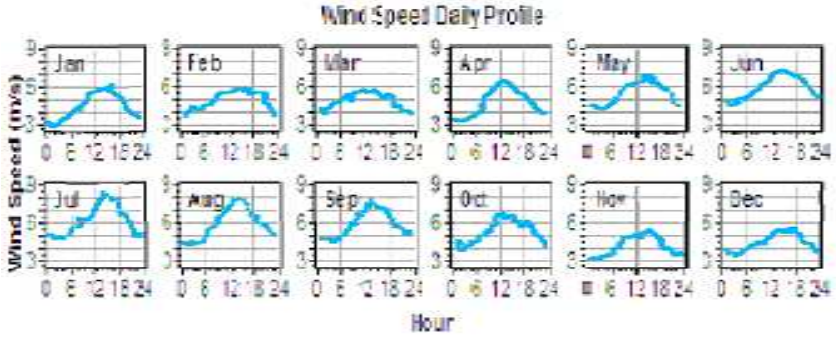
شکل(۴)حداکثر سرعت ماهانه باد m/s

شکل (۵) سرعت و جهت ماهانه باد غالب در منطقه سیستان و شهر ادیمی

بررسی شدت انرژی بادی با استفاده از نرم‌افزار HOMER در منطقه سیستان و شهر ادیمی را نشان می‌دهد و در ادامه شکل (۶) نمودار سرعت ماهانه باد را به‌عنوان توان ارزیابی یک سایت به نمایش می‌گذارد.

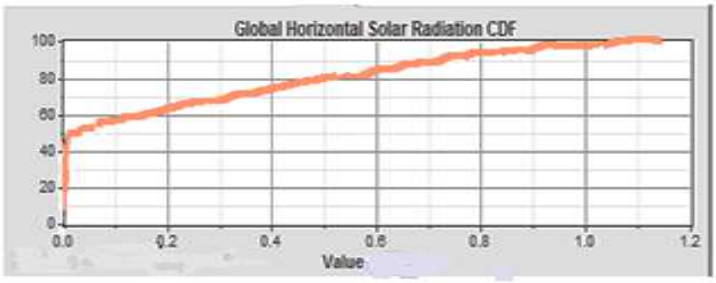


شکل(۶) توزیع فراوانی سرعت باد در سایت سیستان.

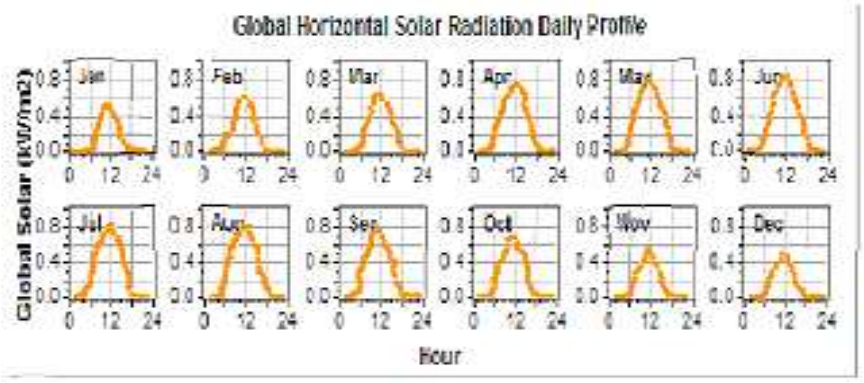


شکل(۷) سرعت ماهانه باد در سایت سیستان.

همچنین شکل (۸) توزیع فراوانی شدت تابش انرژی خورشیدی با استفاده از نرم‌افزار HOMER در شهر ادیمی در نرم‌افزار را نشان می‌دهد و شکل(۹) تابش خورشیدی متوسط ماهانه در ساعات روز را مشخص می‌کند.

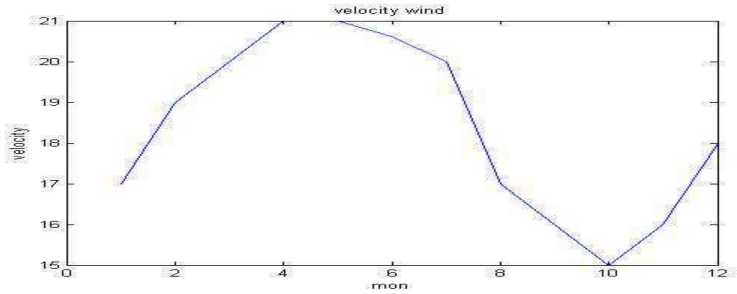


شکل(۸) توزیع فراوانی تابش خورشیدی در سایت سیستان

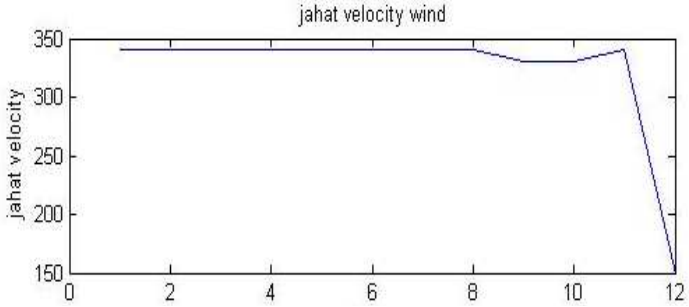


شکل(۹) تابش خورشیدی متوسط ماهانه در ساعات روز.

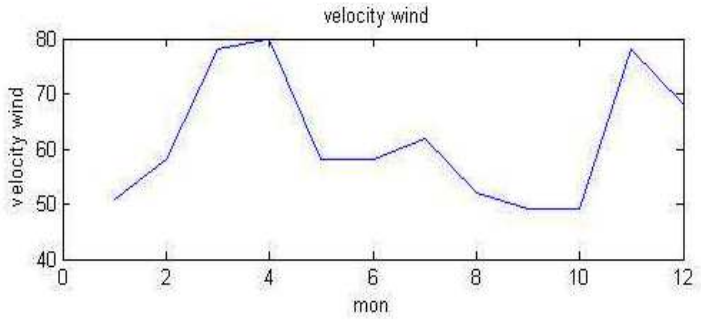
اطلاعات و داده‌های به‌دست‌آمده انرژی باد به نرم‌افزار MATLAB داده‌شده است و همان طور که در اشکال مشاهده می‌شود نشان‌دهنده پتانسیل بالای منطقه در به‌کارگیری این انرژی می‌باشد شکل (۱۰) دوبعدی سرعت وضعیت باد در دوازده ماه سال را نشان می‌دهد. شکل (۱۱) و شکل (۱۲) به ترتیب نمودارهای جهت و سرعت وزش باد را نمایان می‌سازند؛ که نتایج به‌دست‌آمده نشان می دهند که میانگین جهت وزش ۳۴۰ درجه و سرعت برحسب نات با میانگین ۸۰ می‌باشد.



شکل(۱۰)وضعیت باد منطقه سیستان و شهر ادیمی در دوازده ماه سال.

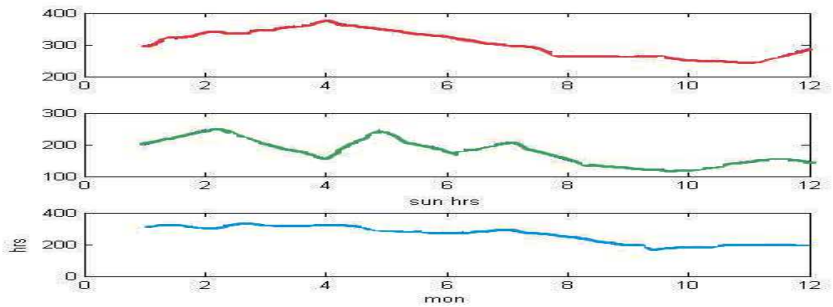


شکل(۱۱) جهت وزش باد در ماه‌های مختلف.

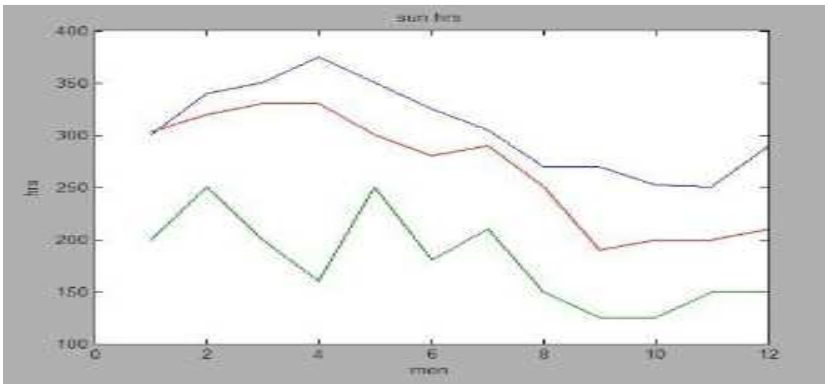


شکل (۱۲) سرعت وزش باد دردوازده ماه.

همچنین اطلاعات و داده‌های به‌دست‌آمده انرژی خورشیدی به نرم‌افزار MATLAB داده‌شده است که در شکل به‌دست‌آمده از شکل (۱۳) نوسانات ماهانه ساعات آفتابی را نمایش می‌دهد و مشخص می‌کند که بیشترین میزان انرژی در ماه تیر با ۳۷۵ ساعت آفتابی و کمترین میزان انرژی خورشیدی در دی‌ماه و آذرماه با ۱۲۵ساعت می‌باشد و طبق محاسبات میانگین تابش ماهانه خورشید ۲۶۴/۴ می‌باشد. در شکل زیر بدلیل درک بهتر مطلب از رنگ‌های روشن استفاده‌شده که خط قرمز حداکثر تابش خط سبز میانگین تابش و خط آبی حداقل تابش خورشیدی را در سال نشان می‌دهد. شکل (۱۴) مذکور را باحالتی نمایش می‌دهد که همه آیتم‌ها یکجا حضور دارند و تفاوت‌ها را بهتر نمایان می‌سازد.



شکل (۱۳) نوسانات ماهانه ساعات آفتابی در سال.



شکل (۱۴) سه خطه تغییرات تابش آفتاب در سال

با توجه به نتایج نرم افزارهای HOMER و MATLAB و داده های سازمان هواشناسی برای شهر ادیمی، که دارای آب وهوای گرم و خشک با تابش خورشیدی بالا و وزش بادهای فصلی (مانند بادهای ۱۲۰ روزه) است، شاخصهای ارزیابی پتانسیل خورشیدی و بادی به صورت جدول زیر ارائه می شود:

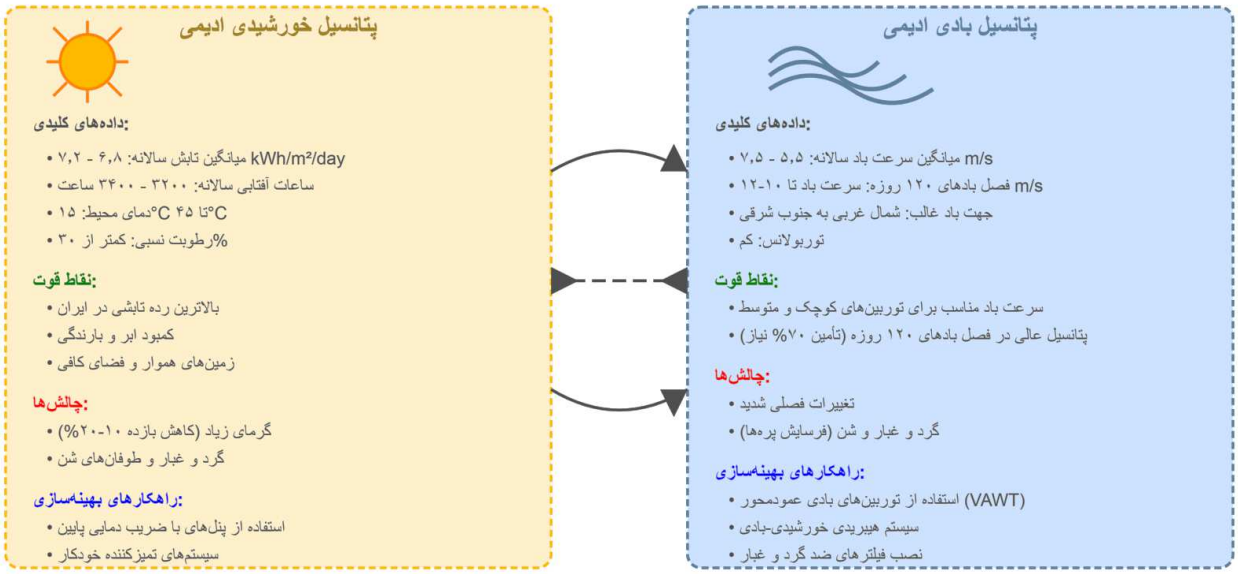
جدول (۲): شاخص‌های ارزیابی پتانسیل خورشیدی و بادی

شاخص	پتانسیل خورشیدی	پتانسیل بادی	توضیحات
میانگین تابش سالانه	~۶٫۵ kWh/m²/day	-	میزان بالای تابش، مناسب برای نیروگاههای خورشیدی
ساعات آفتابی سالانه	~۳۰۰۰ ساعت/سال	-	آفتاب فراوان در اکثر روزهای سال
سرعت متوسط باد	-	~۶-۸ m/s (در فصل بادهای ۱۲۰ روزه)	پتانسیل خوب برای توربینهای بادی کوچک
توزیع سرعت باد در سال	-	نامنظم (وابسته به فصل)	بادهای قوی در تابستان، ضعیف در سایر فصول
عدم وجود موانع (سایه/توربولانس)	کمبود ابر و سایه	مناطق باز، کمبود ساختمانهای بلند	محیط مناسب برای نصب پنل و توربین
قابلیت نصب در ساختمانها	مساحت کافی بامها	امکان نصب توربینهای کوچک	ساختمانهای کمتراکم، فضای نصب مناسب

جدول(۳): مقایسه پتانسیل های خورشیدی و بادی

معیار	انرژی خورشیدی	انرژی بادی	نتیجه
پایداری در طول سال	ثابت	فصلی	خورشیدی بهتر است
هزینه راه اندازی	متوسط	بالا	خورشیدی مقرون به صرفه تر
نیاز به نگهداری	کم	متوسط-زیاد	خورشیدی کم هزینه تر
تأثیر آب و هوا	گردوغبار/گرما	شن/تغییرات باد	هر دو نیاز به مدیریت دارند

با توجه به نتایج تابش بسیار بالا (~۶.۵ kWh/m²/day) و ساعات آفتابی طولانی (~۳۰۰۰ ساعت/سال) نشان میدهد که انرژی خورشیدی گزینه اصلی برای ساختمانهای صفر انرژی است، نصب پنل های فتوولتائیک روی پشت بام ها و فضاهای باز شهری مقرون به صرفه است. سرعت باد ~۶–۸ m/s در فصل بادهای ۱۲۰ روزه، امکان استفاده از توربین های بادی کوچک را فراهم می کند. اما به دلیل توزیع نامنظم باد در طول سال، انرژی بادی بیشتر به عنوان مکمل کاربرد دارد. بنابراین با توجه به نتایج که انرژی خورشیدی گزینه اصلی برای ساختمانهای صفر انرژی است.



ادیمی: منطقه با پتانسیل بالا برای تولید انرژی‌های تجدیدپذیر

شکل (۱۵): ارزیابی کلی پانسیل های انرژی شهر ادیمی

شکل (۱۶): نمونه پنل خورشیدی در شهر ادیمی

ارزیابی اقدامات در حوزه ایجاد ساختمانهای صفر انرژی بر اساس نظر کارشناسان در رویکردهای اقتصادی، مشارکتی، مدیریتی و دولتی، معماری و عمرانی مورد بررسی قرار گرفت که در سنجش کدام اقدام در موفقیت ایجاد ساختمان های صفر انرژی در شهر ادیمی با استفاده از روش SWARA، براین اساس، فرایند محاسبهٔ وزن عامل های موثر بر طبق فرمول‌های روش SWARA در جدول (۴) مشاهده می‌شود:

گام اول: مشخص کردن اهمیت نسبی (sj): ستون اول در جدول یادشده نشان دهندهٔ لیست معیارها به ترتیب اولویت(به طور نزولی) است

گام دوم: ضریب اهمیت که مطابق با فرمول Kj=Sj +1 محاسبه می شود.

گام سوم: محاسبه وزن اولیه با استفاده از فرمول wj=(X(j-1))/kj

و گام چهارم: محاسبه وزن نهائی که با استفاده از فرمول weight wj/ sigma wj محاسبه می شود.

با پیمودن گام‌های تکنیک سوارا، وزن نهایی مولفه های مدنظر در ستون آخر به نمایش درآمده است. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود اقدام در موفقیت ایجاد ساختمان های صفر انرژی در شهر ادیمی، رویکرد اقتصادی با وزن نهائی۰/۷۵۲ در رتبه اول، رویکرد مشارکتی با وزن ۰/۱۸۵ در رتبه دوم، رویکرد مدیریتی با وزن ۰/۰۴۶ در رتبه سوم، رویکردمعماری با وزن ۰/۰۱۳ در رتبه چهارم و نهایتاً رویکردعمرانی با وزن نهایی ۰/۰۰۴ در رتبه آخر قرار گرفت.

جدول(۴): وزن اقدامات در موفقیت ایجاد ساختمان های صفر انرژی در شهر ادیمی

اقدام	اهمیت نسبی	ضریب	وزن اولیه	وزن نهائی
اقتصادی	-	۱	۱	۰.۷۵۲
مشارکتی	۳.۰۵۸	۴.۰۵۸	۰.۲۴۶	۰.۱۸۵
مدیریتی و دولتی	۳.۰۰۱	۴.۰۰۱	۰.۰۶۲	۰.۰۴۶
معماری	۲.۵۵۲	۳.۵۵۲	۰.۰۱۷	۰.۰۱۳
عمرانی	۲.۵۰۴	۳.۵۰۴	۰.۰۰۵	۰.۰۰۴

مأخذ: یافته های پژوهش، ۱۴۰۴

بنابراین مطابق نتایج حاصل از تکنیک سوارا از بین مولفه های مورد مطالعه در مهمترین اقدام در موفقیت ایجاد ساختمان های صفر انرژی در شهر ادیمی، رویکرد اقتصادی نسبت به دیگر اقدام ها مورد مطالعه متاثر بوده است.

نتیجه‌گیری

شهر ادیمی با توجه به موقعیت جغرافیایی و شرایط اقلیمی خاص، از پتانسیل‌های قابل توجهی در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر، به ویژه انرژی خورشیدی و بادی برخوردار است. بر اساس داده‌های موجود، میانگین تابش سالانه خورشید در این منطقه بین ۶.۸ تا ۷.۲کیلووات‌ساعت بر متر مربع در روز است که جزو بالاترین مقادیر در ایران محسوب می‌شود. این میزان تابش، همراه با ساعات آفتابی بیش از ۳۲۰۰ ساعت در سال، شرایط ایده‌آلی را برای بهره‌برداری از سیستم‌های فتوولتائیک فراهم می‌کند. با این حال، چالش‌هایی نظیر دمای بالا و گردوغبار می‌تواند بر بازدهی پنل‌ها تأثیر منفی بگذارد، که با استفاده از فناوری‌های جدید مانند پنل‌های با ضریب دمایی پایین و سیستم‌های تمیزکننده خودکار می‌توان این اثرات را به حداقل رساند. از سوی دیگر، پتانسیل بادی ادیمی نیز به دلیل وجود بادهای ۱۲۰ روزه سیستان، قابل توجه است. میانگین سرعت باد در این منطقه بین ۵.۵ تا ۷.۵متر بر ثانیه است که در فصل تابستان به ۱۰ تا ۱۲ متر بر ثانیه می‌رسد. این سرعت باد برای نصب توربین‌های بادی کوچک و متوسط مناسب است، اما تغییرات فصلی و وجود گردوغبار می‌تواند چالش‌هایی را در زمینه نگهداری و بهره‌برداری ایجاد کند. استفاده از توربین‌های عمودمحور که مقاومت بیشتری در برابر شن و گردوغبار دارند، می‌تواند راهکار مناسبی برای غلبه بر این چالش‌ها باشد.

با توجه به تحلیل‌های انجام شده، انرژی خورشیدی به دلیل پایداری بیشتر و هزینه‌های راه‌اندازی و نگهداری پایین‌تر، گزینه اصلی برای تأمین انرژی ساختمان‌های صفر انرژی در ادیمی محسوب می‌شود. با این حال، بهره‌گیری از یک سیستم هیبریدی ترکیبی (خورشیدی-بادی) می‌تواند بهینه‌ترین راهکار باشد، چرا که این سیستم قادر است در فصل تابستان که سرعت باد به حداکثر می‌رسد، از انرژی بادی به عنوان مکمل استفاده کند. برای دستیابی به حداکثر بازدهی، پیشنهاد می‌شود که ۸۰٪ انرژی مورد نیاز از طریق سیستم‌های فتوولتائیک و ۲۰٪ باقی‌مانده از طریق توربین‌های بادی کوچک تأمین شود.

بررسی جامع شاخص‌های مؤثر در توسعه ساختمان‌های صفر انرژی در شهر ادیمی نشان می‌دهد که رویکرد اقتصادی با میانگین امتیاز ۷.۸۲ از ۹، مهم‌ترین عامل در موفقیت این پروژه‌ها محسوب می‌شود. شاخص‌هایی مانند صرفه‌جویی سالانه انرژی (۸.۶) و دوره بازگشت سرمایه (۸.۴) به وضوح بیانگر این امر هستند که توجیه‌پذیری مالی و جذابیت سرمایه‌گذاری، پیش‌نیاز اصلی برای گسترش این ساختمان‌هاست. در کنار این موارد، حمایت‌های دولتی و جذب سرمایه‌گذاری خصوصی نیز از ارکان

کلیدی در تسریع روند توسعه به شمار می‌روند. در رتبه‌های بعدی، رویکرد مشارکتی با میانگین ۷.۴۵ جای دارد که اهمیت همکاری بین ذینفعان شامل دولت، بخش خصوصی و جامعه محلی را برجسته می‌سازد. شاخص‌هایی مانند مشارکت ذینفعان (۸.۳) و کارگاه‌های آموزشی (۸.۱) نشان می‌دهند که آگاه‌سازی عمومی و شفافیت در اجرای پروژه‌ها می‌توانند نقش تعیین‌کننده‌ای در پذیرش اجتماعی این طرح‌ها داشته باشد. این یافته‌ها حاکی از آن است که موفقیت پروژه‌های صفر انرژی تنها به فناوری و طراحی محدود نبوده و نیازمند همراهی و حمایت فعالانه جامعه است. رویکرد مدیریتی (۷.۳۲)، معماری (۷.۱۵) و عمرانی (۶.۹۳) اگرچه امتیاز کمتری نسبت به دو رویکرد اول کسب کرده‌اند، اما شاخص‌های کلیدی در هر یک از این حوزه‌ها حاوی نکات حائز اهمیتی هستند. به عنوان مثال، برنامه مدیریت انرژی (۸.۵) در رویکرد مدیریتی، طراحی غیرفعال (۸.۷) در رویکرد معماری و کیفیت عایق‌کاری (۸.۳) در رویکرد عمرانی، همگی نشان‌دهنده این واقعیت هستند که ترکیب مدیریت هوشمند، طراحی بهینه و اجرای باکیفیت می‌تواند کارایی انرژی ساختمان‌ها را به حداکثر برساند. در نهایت، این تحلیل نشان می‌دهد که موفقیت پروژه‌های صفر انرژی در شهر ادیمی نیازمند نگرش سیستمی است که در آن تمامی ابعاد اقتصادی، اجتماعی، فنی و مدیریتی به صورت هماهنگ و مکمل یکدیگر عمل کنند.

با توجه به یافته‌های پژوهش پیشنهادهای زیر ارائه می گردد:

- تدوین بسته‌های حمایتی ویژه: ارائه وام‌های کم‌بهره و معافیت‌های مالیاتی برای پروژه‌های صفر انرژی.
- برنامه‌های آموزشی محله‌محور: برگزاری کارگاه‌های رایگان در محلات برای آشنایی ساکنان با مزایای ساختمان‌های صفر انرژی.
- اجباری شدن استانداردهای ساختمان‌های سبز: الزام تمامی پروژه‌های جدید به رعایت مقررات انرژی‌کارایی.
- استفاده از مصالح بومی: بهره‌گیری از خاک و سنگ محلی برای کاهش هزینه‌ها و افزایش پایداری.
- طراحی متناسب با آب‌وهوا: توجه به جهت‌گیری بادهای غالب و سایه‌اندازی طبیعی در طرح‌ها.
- پنل‌های خورشیدی مشارکتی: ایجاد مزرعه خورشیدی محله‌ای برای تأمین بخشی از برق ساختمان‌ها.

منابع

اصغری، علیرضا؛ ابراهیمی اصل، حسن؛ ملکی گاوگانی، آیدا، ستاری ساربانقلی، حسن. (۱۴۰۰). بررسی نقش سیستم‌های غیر فعال خورشیدی در ساختمان‌های صفر انرژی شهری، جهت آسایش و کاهش مصرف انرژی (مطالعه موردی: ولیعصر شهرتبریز)، نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی، ۱۳(۲)، ۷۵۱ ـ ۷۷۱.

براتی، الناز؛ تشکر، سامان؛ شمس‌نیا، امیر. (۱۴۰۲). طراحی ساختمان انرژی صفر با استفاده از نرم افزار PVsyst و Energy Plus، پژوهش‌های سیاست‌گذاری وبرنامه‌ریزی انرژی، ۹ (۱) ، ۹۴-۶۴.

پسندیده، اشرف السادات؛جیدری، غلامرضا. (۱۴۰۳). تحلیل پارادایمی حکمرانی و سیاستگذاری انرژی های تجدیدپذیر در ایران. انرژی های تجدیدپذیر و نو. سال یازدهم، شماره اول، ۱۲۵-۱۳۸.

جان‌زاده، امیرحسین؛ زندیه، مهدی. (۱۳۹۵). امکان‌سنجی طراحی یک واحد همسایگی صفر انرژی در قزوین. پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی، ۲(۳)، ۱۰۳-۱۳۲.

جوانشیر، معصومه. (۱۳۹۴). ساختمان انرژی صفر،اولین همایش علمی پژوهشی افق های نوین در علوم جغرافیا و برنامه ریزی، معماری و شهرسازی ایران، تهران.

جواهرده، کورش؛ محمدی خواه، فاضل؛ محمودی مهر، جواد. (۱۳۹۹). تحلیل و بررسی یک سیستم جدید تولید همزمان انرژی توسط زیست‌توده به منظور بکارگیری در یک ساختمان با مصرف انرژی صفر، مهندسی مکانیک امیرکبیر، ۵۲(۶), ۱۴۴۳-۱۴۶۲.

حسین‌زاده، عباس. (۱۴۰۱). بررسی اجرا و عملکرد معماری در ساختمان های انرژی صفر با هدف تولید انرژی پسیو، پژوهش های نوین بین رشته ای علوم پایه و فنی و مهندسی، دوره ۱، شماره۱، ۱۴ ـ ۱.

حکیمی، مجتبی؛ کاظمینی، محمدجواد؛ تاج الدینی، عباس. (۱۴۰۰). مدیریت بهینه‌سازی مصرف انرژی با رویکرد ساختمان انرژی صفر با استفاده از روش فازی. مهندسی سازه و ساخت، ۸(۶)، ۲۴۱-۲۶۲.

حیدری، امیرحسین. (۱۴۰۰). تحلیل SWOT استفاده از انرژی خورشیدی در مناطق کویری و بیابانی ایران. سیستم‌های انرژی پایدار،۱(۲)، ۱۶۱-۱۷۳.

خرازی صنعت شتربان، میترا. (۱۴۰۱). ساختمان‌های انرژی صفر یا صفر کربن حرکتی در راستای معماری اکولوژیکی، معماری‌شناسی، ۵(۲۳)، ۱۸ ـ ۳۱.

خمر، غلامعلی؛ زینلی، سمانه؛ جهانتیغ، نبی؛ کیانی، اکبر. (۱۳۹۹). بررسی تطبیقی شهرهای شش‌گانه منطقه سیستان از لحاظ پتانسیل استفاده از انرژی خورشیدی. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۱۰، شماره۳۹.

دعایی، مرجان؛ خاکسارحقانی، محبوب؛ اسمعیلی، مهسا؛ کبیریان دهکردی، مریم . (۱۴۰۳). مطالعه تطبیقی خانه سنتی صالحی شیراز با خانه صفر انرژی بیتنا (خانه ما) در قطر از منظر بهینه‌سازی مصرف انرژی در اقلیم‌های گرم، طراحی و برنامه‌ریزی در معماری و شهرسازی، ۲(۱)، ۴۹ ـ ۶۴.

رحیمی، غلامعلی؛ اسکندری؛ هانیه، احمدی، محمدامین. (۱۴۰۳). بررسی و آزمون وجود رابطه علی بین متغیرهای مصرف سوخت‌های فسیلی، انرژی‌های پاک و رشد اقتصادی در منتخبی از کشورها، مطالعات اقتصاد انرژی، ۲۰ (۸۲) ، ۲۶۰-۲۳۷.

رزمی، حمیدرضا؛ داورزنی، حمید. (۱۳۹۷). بررسی معیارها و ملاحظات لازم در طراحی ساختمان با محوریت ایده انرژی صفر، رویکردهای پژوهشی در مهندسی عمران و معماری، ۳(۹)، ۶۳ ـ ۷۳.

رضائی‌مقدم، محمد حسین؛ هاتفی اردکانی، مهدی. (۱۳۹۵). ارزیابی تامین انرژی برای سیستم‌های فتوولتائیک بر مبنای تابع تحلیل‌گر انرژی خورشیدی (منطقه موردی: بزرگراه زنجان – تبریز)، آمایش فضا و ژئوماتیک، ۲۰ (۳)، ۱۵۵-۱۳۱.

عبادی، حسین؛ صفایی پور، مسعود؛ محمدی ده چشمه، مصطفی؛ سجادیان، ناهید. (۱۴۰۲). تدوین سناریوی توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در کلان شهر اهواز، چشم‌انداز شهرهای آینده، ۴ (۴)، ۵۹ ۷۹-.

محمودی زرندی، مهناز؛ علی اکبری، پریا. (۱۳۹۳). انرژی صفر در ساختمان zero energy building و راهکارهای رسیدن به آن، همایش ملی مهندسی عمران، معماری و مدیریت پایدار شهری، گرگان.

مدی، حسین؛ علی اکبری، پریا. (۱۳۹۴). رویکرد همه جانبه در طراحی ساختمان‌های انرژی صفر، انرژهای تجدیدپذیر و نو، ۲(۱)، ۱۱ ـ ۱۶.

مهدیزاده، بهاره؛ دادرس، حسن؛ سعیدی، سید مهدی؛ ظفری، فاطمه. (۱۳۹۴). انرژیهای نو در معماری،همایش ملی عمران و معماری با رویکردی بر توسعه پایدار، فومن.

یارمحمد، فاطمه؛ مهدی زاده سراج، فاطمه (۱۴۰۱). امکان‌سنجی استفاده از راهکارهای بهینه‌سازی پوسته ساختمان‌های اداری در مناطق معتدل ایران با بهره‌گیری از نمونه بناهای صفر انرژی اجرا شده در اقلیم‌های مشابه، معماری و شهرسازی ایران، ۱۳(۲۴)، ۱۷۵ ـ ۱۹۵.

Yang, F. & Jian, Z. (2019) Urban building energy modelling and urban design for sustainable neighborhood development-A China perspective, IOP Conf, Series: Earth and Environmental Science, Vol.329, pp.12-16.

Swan L.G., Ugursal V.I. (2009), Modeling of end- use energy consumption in the residential sector: A review of modeling techniques, Renewable and sustainable energy reviews, N.13, pp. 1819–1835.

Grodsky SM.(2021) Matching renewable energy and conservation targets for a sustainable future. One Earth. 2021;4(7):924-6..

Bergin MH, Ghoroi C, Dixit D, Schauer JJ, Shindell DT.(2017). Large reductions in solar energy production due to dust and particulate air pollution. Environmental Science & Technology Letters. 2017;4(8):339-44.

Zarei I, Zarei V, Noorozi M.(2012). Investigating the capabilities of the desert in the use of clean and new energies. The first national desert conference (sciences, techniques and sustainable development)2012. (Persian).