

قابلیت‌سنجی استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی در شهرهای مناطق خشک (مطالعه موردی: شهر سبزوار)

مهدی زنگنه^{۱*}، مجتبی حاجی‌شمسای^۲، محمد سلمانی‌مقدم^۳، جواد جمال‌آبادی^۴

۱. استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

۳. استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

۴. دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.

* نویسنده مسئول، Email: m.zanganeh@hsu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۱/ردیبهشت ۱۴۰۱

تاریخ پذیرش: ۰۹ مهر ۱۴۰۲

چکیده

مقدمه: با افزایش جمعیت جهان میزان مصرف انرژی افزایش یافته و اگر تولید انرژی در مسیر جدیدی قرار نگیرد، اثرات و عواقب جبران‌ناپذیری را منجر خواهد شد. امروزه بیشتر ممالک جهان از جمله کشور ایران به اهمیت و نقش انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله انرژی خورشیدی پی برده و بر آن تأکید نموده‌اند.

هدف: هدف از پژوهش حاضر قابلیت‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی در شهرهای مناطق خشک می‌باشد.

روش‌شناسی: پژوهش حاضر از نظر روش تحقیق، توصیفی-تحلیلی و از نظر روش گردآوری اطلاعات کتابخانه‌ای و میدانی است. پارمترهای مورد بررسی در پژوهش از نظر اقلیمی (بارندگی، ساعات آفتابی، تابش دریافتی، ابرناکی، درجه حرارت، گرد و غبار، یخبندان) و از نظر محیطی (ارتفاع، شیب و کاربری اراضی) می‌باشد. دوره زمانی بررسی پارمترهای اقلیمی ۱۵ ساله و از سال ۱۳۸۲ تا سال ۱۳۹۷ و در برگیرنده تمامی ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی از جمله ایستگاه سینوپتیک سبزوار به منظور پهنه‌بندی اقلیمی در محیط نرم‌افزاری GIS و سنجش توانایی اقلیمی و محیطی شهر سبزوار در احداث نیروگاه‌های خورشیدی می‌باشد. در این پژوهش برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم افزار کاربردی GIS و تکنیک سلسله مراتبی AHP استفاده گردیده است.

قلمرو جغرافیایی پژوهش: شهر سبزوار است.

یافته‌ها و بحث: نتایج این پهنه‌بندی نشان داد که شهر سبزوار از نظر اقلیمی دارای قابلیت بالا جهت احداث نیروگاه‌های خورشیدی می‌باشد. در ادامه جهت سنجش قابلیت محیطی شهر سبزوار سه لایه اطلاعاتی ارتفاع، کاربری زمین و شیب نیز در محیط نرم‌افزاری GIS مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد شهر سبزوار از نظر ارتفاع و کاربری زمین مستعد احداث نیروگاه خورشیدی نمی‌باشد و از میان این سه لایه اطلاعاتی تنها از نظر درصد شیب که کمتر از ۳ درصد بوده است دارای توانایی بسیار بالایی جهت احداث نیروگاه خورشیدی بوده است. **نتیجه‌گیری:** بنابراین شهر سبزوار از نظر پارمترهای اقلیمی دارای قابلیت بالا برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی و از نظر پارمترهای محیطی دارای قابلیت محدود می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: انرژی تجدیدپذیر، نیروگاه خورشیدی، قابلیت‌سنجی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، سبزوار.

مقدمه

بخش اعظم انرژی مصرفی در جهان به وسیله سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود که در دهه‌های اخیر با توجه به محدودیت‌های سوخت‌های فسیلی از قبیل افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی مسائل و مشکلات زیست‌محیطی ناشی از استفاده‌ی این سوخت‌ها و یا حتی رو به اتمام بودن سوخت‌های فسیلی و همچنین افزایش گازهای گلخانه‌ای از یکسو و محدودیت سوخت‌های اتمی از قبیل حوادث زیست‌محیطی در ارتباط با استفاده از سوخت‌های اتمی برای تولید برق و مسائل مربوط به دفع پسماندهای هسته‌ای از سوی دیگر، میل به استفاده و جایگزین کردن سیستم‌های انرژی تجدید پذیر که فاقد آلودگی‌های زیست‌محیطی هستند و محدودیت سوخت‌های فسیلی را ندارند، بسیار افزایش داده است (نجفی، ۱۳۹۶: ۵۶). به طور کلی افزایش در سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای و بالا رفتن قیمت مواد سوختی، نیروهای محرکه اصلی در پشت تلاش‌های مؤثرتر جهت استفاده از منابع مختلف انرژی‌های تجدید پذیر از جمله انرژی خورشیدی می‌باشد (Kenisarin, 2007: 1). در این زمینه کشورهای صنعتی دنیا پیشگام استفاده از انرژی‌های پاک و تجدید پذیر هستند. آلمان یکی از کشورهای پیشتاز در انرژی‌های تجدید پذیر است که برنامه دارد تا پایان سال ۲۰۲۰ میزان ۲۰ درصد از انرژی‌های مورد نیاز خود را از منابع انرژی‌های تجدید پذیر، از جمله انرژی‌های خورشیدی، انرژی‌های بادی و زمین‌گرمایی تأمین کند (ادهمی و همکاران، ۱۳۹۳: ۳). در ایران نیز به طبع تحولات جهانی در زمینه پیشرفت تکنولوژی و استفاده بیشتر از لوازم و تجهیزات الکتریکی و همچنین افزایش رشد جمعیت میزان مصرف انرژی الکتریکی نسبت به دهه‌های گذشته افزایش چشمگیری داشته است. بر اساس آمار شرکت توانیر ظرفیت تولید برق در سال ۱۳۵۷ حدود ۱۹۸۴۷ میلیون کیلووات ساعت بوده است و در سال ۱۳۹۵ این رقم به ۲۸۹۱۹۶ میلیون کیلووات ساعت رسیده است (توانیر، ۱۳۹۵). یعنی طی گذشت کمتر از چهار سال، تولید برق ایران در نیروگاه‌های مختلف از جمله نیروگاه‌های حرارتی و برق آبی به ۱۴ برابر افزایش یافته است که این افزایش تولید به طبع افزایش میزان مصرف برق بوده است. بخش قابل توجهی از انرژی الکتریکی مورد نیاز شهرها در ایران، در نیروگاه‌های حرارتی و نیروگاه‌های برق آبی تولید می‌شود و در این میان سهم نیروگاه‌های بادی یا خورشیدی (انرژی‌های تجدید پذیر) بسیار ناچیز است. عمده تولید انرژی در کشور توسط ۷۶ واحد نیروگاه حرارتی و ۳۴ واحد نیروگاه برق آبی وزارت نیرو و درصد کمی توسط نیروگاه‌های بخش خصوصی تأمین می‌گردد که سهم نیروگاه‌های خورشیدی در این میان کمتر از ۳ درصد است (وزارت نیرو، ۱۳۹۵). در این میان استان خراسان رضوی دارای هفت نیروگاه اصلی شامل نیروگاه مشهد از نوع حرارتی و توان ۳۷۶ مگاوات، نیروگاه فردوس از نوع گازی و توان ۹۵۴ مگاوات، نیروگاه طوس از نوع حرارتی و توان ۶۰۰ مگاوات، نیروگاه سرخس از نوع سیکل ترکیبی و توان ۴۸۴ مگاوات، نیروگاه شریعتی از نوع سیکل ترکیبی و توان ۵۰۰ مگاوات، نیروگاه خیام از نوع سیکل ترکیبی و توان ۱۱۱۰ مگاوات و نیروگاه بینالود از نوع بادی و توان ۲۸۰۲ مگاوات می‌باشد. (شمسائی، ۱۳۹۸: ۳) همان طور که آمار نشان می‌دهد هنوز هم بخش قابل توجهی از انرژی الکتریکی در ایران و در منطقه مورد مطالعه به واسطه سوخت‌های فسیلی تولید می‌شود و سهم انرژی‌های پاک و تجدید پذیر بسیار ناچیز است. این در حالی است که بسیاری از مناطق ایران از نظر شرایط اقلیمی و محیطی مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی و بادی می‌باشد. پژوهش حاضر نیز با اهمیت این موضوع به بررسی قابلیت اقلیمی و محیطی شهر سبزوار در احداث نیروگاه‌های خورشیدی پرداخته است.

در راستای این موضوع نیز مطالعات متعددی در سطح جهانی به بررسی قابلیت‌های مناطق در بهره برداری از انرژی خورشیدی صورت گرفته است. برای نمونه عبدالهادی^۱ (۲۰۱۰) در پژوهشی با عنوان "ارزیابی فناوری‌های انرژی خورشیدی" به بررسی منابع انرژی خورشیدی پرداخته و بیان داشته که منابع امروزه منابع فسیلی غیر قابل اعتماد است و به علت گرانی آن و افزایش میزان تقاضا باید به سمت انرژی‌های خورشیدی در کوتاه‌مدت رو بیاوریم. در این پژوهش با استفاده از منطق فازی انبوهی از داده‌ها به مجموعه کوچکی که قابلیت تصمیم‌گیری در آن راحت‌تر است، تبدیل گردیده است. بر اساس نتایج به دست آمده در این پژوهش بر اساس منطق فازی فناوری‌های فتوولتائیک در

^۱ . Abdulhadi

آردن هزینه بیشتری نسبت به استخرهای خورشیدی دارند. اما این نیروگاه‌ها امتیاز بالاتری جهت تولید انرژی دارند. فناوری‌های فتوولتائیک در جهان رو به رشد هستند و به رغم هزینه بالای آن در حال گسترش هستند. استخرهای خورشیدی به رغم داشتن هزینه کمتر و ارزان‌تر بودن این انرژی از مزایای کمتری نسبت به نیروگاه‌های فتوولتائیک برخوردار هستند. جیسون رانکی^۱ (۲۰۱۰) در پژوهشی با عنوان "مدلسازی مزارع بادی و خورشیدی" و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم تصمیم‌گیری چند معیاره فازی به بررسی منابع باد و خورشید در ایالت کلرادو آمریکا پرداخته است. در این پژوهش با در نظر گرفتن معیارهای زیست‌محیطی، حمل و نقل، برنامه‌ریزی، مدیریت تلفات، جنگل‌ها، منابع آب و مناطق کشاورزی و مسکونی و با در نظر گرفتن خطرات طبیعی به بررسی عامل تعیین مناطق با پتانسیل بالای انرژی خورشیدی و باد و همچنین معرفی مناطق مناسب جهت احداث مزارع بادی و خورشیدی با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره پرداخته شده است. رادمی^۲ و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهشی با عنوان "نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی، انتخاب سایت و امکان‌سنجی" به مکان‌یابی نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی در غرب آفریقا پرداخته‌اند. در این پژوهش از سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های اقلیمی همچون ابرناکی، ساعات آفتابی، بارندگی و میزان انرژی خورشیدی دریافتی استفاده شده و نتایج نشان می‌دهد که در بررسی‌های انجام شده فقط ۶ درصد از مساحت منطقه از لحاظ همه معیارها مناسب هستند و برای منطقه غرب آفریقا دارای حدود ۲۱,۶۱ گیگاوات توان ظاهری جهت برق توسط تکنولوژی‌های شلجمی بشقابی هستند. در ضمن وضعیت زیست‌پذیری این نیروگاه‌ها از جهت اقتصادی در منطقه بررسی شده است که نتایج قابل قبولی به دست آمده است. پرپینا کاستلو^۳ و همکاران (۲۰۱۵) در پژوهشی با عنوان "ارزیابی پتانسیل منطقه‌ای برای تولید انرژی خورشیدی در اتحادیه اروپا" با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و پارامترهای تابش خورشیدی، شیب، کاربری اراضی و توزیع جمعیت، مناطق مستعد احداث نیروگاه خورشیدی را شناسایی و با استانداردهای اتحادیه اروپا مقایسه کرده‌اند. تجزیه و تحلیل‌های این پژوهش به شناسایی اختلافات بالقوه بین تخصیص بودجه و صحت واقعی منطقه برای انرژی خورشیدی منجر شده است. عادل عفت (۲۰۱۶) در پژوهشی با عنوان "تهیه نقشه‌های مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی" با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله‌مراتبی و همچنین کاربست داده میزان تابش خورشیدی و همچنین وجود زیرساخت‌ها و زمین‌شناسی به شناسایی مکان‌های مناسب احداث نیروگاه‌های خورشیدی در منطقه دریاچه ناصر اسوان مصر پرداخته و نتیجه‌گیری کرده است که ۲۰ درصد منطقه مورد مطالعه دارای توانایی مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی و دارای شرایط ایده آل در این زمینه می‌باشد. ال گارنی و آواستی^۴ (۲۰۱۷) در پژوهشی با عنوان "انتخاب مکان‌های نیروگاه‌های خورشیدی در عربستان سعودی" با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و تحلیل سلسله‌مراتبی و همچنین با کاربرد داده‌های اقلیمی همچون بارندگی و ساعات آفتابی و همچنین کاربرد داده‌های زمین‌شناسی و دسترسی به راه‌های ارتباطی به مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی در عربستان سعودی پرداخته و دریافته‌اند که مناسب‌ترین مناطق در عربستان سعودی برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی شمال و شمال غربی می‌باشد. در کشور ایران نیز مطالعات متعددی در این زمینه صورت گرفته است. برای نمونه خوش‌اخلاق و همکاران (۱۳۸۷) در پژوهشی با عنوان "مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با توجه به پارامترهای اقلیمی" به امکان‌سنجی استقرار نیروگاه‌های خورشیدی توسط روش‌های آماری با توجه به پارامترهای اقلیمی فراسنج‌های تابش، ابرناکی و باد طی دوره آماری ۳۳ ساله در مناطق خشک جنوب شرقی ایران پرداخته‌اند. نتایج پژوهش ایشان نشان می‌دهد که ایستگاه یزد به عنوان مناسب‌ترین مکان جغرافیایی جهت استقرار نیروگاه خورشیدی نسبت به ایستگاه‌های اطراف آن است. اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی با عنوان "پتانسیل سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی"، به پتانسیل سنجی استان خوزستان به لحاظ اقلیمی جهت یافتن منطقه یا مناطق مستعد و دارای

1. Jason R. Janke

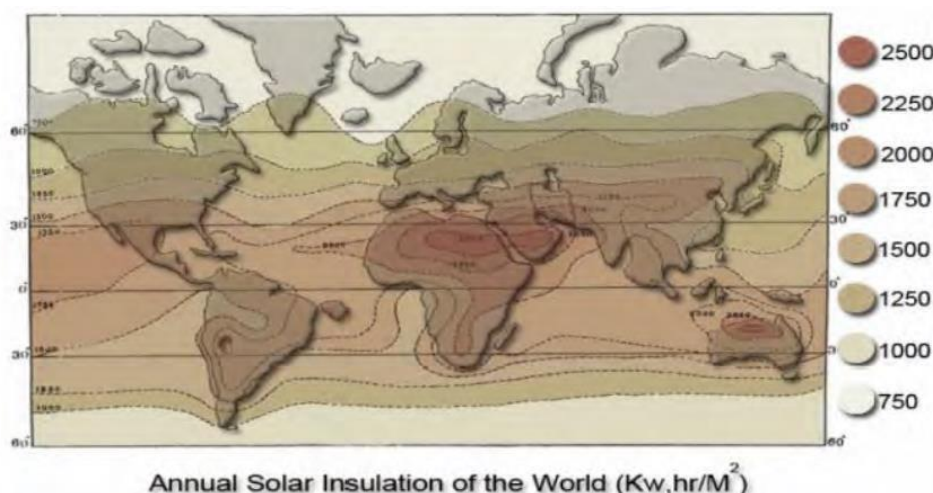
2. Ramde

3. Perpina Castillo

4. Al Garni & Awasthi

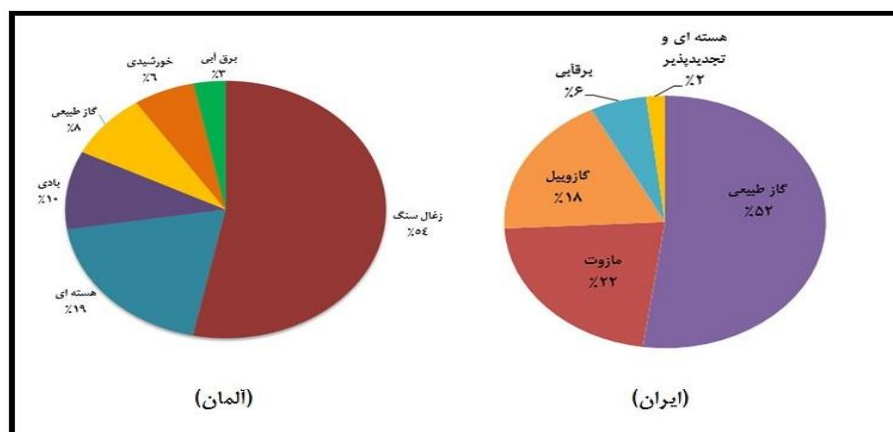
پتانسیل بالا برای احداث نیروگاه خورشیدی پرداخته‌اند. در این تحقیق در ابتدا به بررسی عوامل مؤثر بر انرژی خورشیدی پرداخته شده و با تلفیق آن‌ها در محیط GIS مناطق مستعدتر در استان خوزستان شناسایی شده‌اند. این هدف با تحلیل ساعات آفتابی به عنوان مهمترین پارامتر در بهره‌برداری از انرژی خورشیدی و پارامترهای مؤثر بر ساعات آفتابی شامل ابرناکی، روزهای گرد و خاک، رطوبت نسبی، ارتفاع و بارش سالانه، در محیط GIS تحقق یافته است. موقری و طاوسی (۱۳۹۲) در پژوهشی با عنوان "مکان‌سنجی و پهنه‌بندی مکان‌های مستعد جهت استقرار پنل‌های خورشیدی با تکیه بر فرا سنج‌های اقلیمی" به شناسایی مناطق مستعد در استان سیستان و بلوچستان بر اساس پارامترهای ساعات آفتابی سالانه، تعداد روزهای ابری در سال، تعداد روزهای بارانی، تعداد روزهای گرد و غباری، میانگین سالانه رطوبت نسبی، ارتفاع و مجموع بارندگی سالانه پرداخته‌اند. رحیمی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی با عنوان "پتانسیل سنجی استقرار نیروگاه‌های خورشیدی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل AHP و منطق فازی" پتانسیل شهرستان‌های استان سیستان و بلوچستان را به منظور احداث نیروگاه خورشیدی مورد سنجش قرار داده‌اند. در نتیجه این تحقیق شهرهای سراوان و نیک شهر برای احداث نیروگاه خورشیدی کاملاً مناسب ارزیابی گردیده‌اند. احمدی و همکاران (۱۳۹۵) در پژوهشی با عنوان "مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از داده‌های اقلیمی و سامانه اطلاعات مکانی" با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به شناسایی مناطق مستعد احداث نیروگاه خورشیدی در استان ایلام پرداخته‌اند. هدف از این تحقیق تعیین مکان مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی با توجه به معیار و گزینه‌های اقلیم (دما، تابش، بارش، ساعت آفتابی، تبخیر)، توپوگرافی (ارتفاع، شیب، جهت شیب، فاصله از گسل)، محیط‌زیست (کاربری اراضی، رودخانه‌ها) و محیط انسانی (محدوده مسکونی، راه‌ها) بوده است. گرجی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی با عنوان "مکان‌یابی مناطق مستعد نیروگاه خورشیدی تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی" با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به شناسایی مناطق مستعد احداث نیروگاه‌های خورشیدی در استان فارس پرداخته‌اند. برای این پژوهش از پارامترهای بارندگی، دما، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، ارتفاع، گرد و خاک و جهت شیب استفاده گردیده است. ناصحی و امیری (۱۳۹۷) در پژوهشی با عنوان "مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی در مناطق گرمسیری ساحلی با منطق فازی" با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مکان‌های مناسب احداث نیروگاه خورشیدی در استان هرمزگان را شناسایی کرده‌اند. در این تحقیق برای تعیین مکان‌های مناسب استقرار نیروگاه خورشیدی در استان هرمزگان از معیارهای شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از شهر، فاصله از جاده، پتانسیل خورشید، تعداد روزهای گرد و خاکی، رطوبت، ساعات آفتابی، تعداد روزهای ابری و لایه‌های محدودیت مناطق حفاظت شده، منابع آبی، تالاب‌ها و شهرها و جاده‌ها استفاده شده است.

تمام پژوهش فوق نشان می‌دهد که همانگونه که ذکر گردید اکثر مناطق جهان دارای قابلیت بالایی برای احداث نیروگاه های خورشیدی و استفاده از مزایای این انرژی تجدیدپذیر می باشند. کشور ایران نیز از این قاعده نه تنها مستثنی نبوده است بلکه نسبت به بسیاری از مناطق جهان دارای پتانسیل بیشتری می باشد. ایران یکی از کشورهای مناسب در جهت تابش خورشید، روزهای آفتابی، درجه حرارت مناسب در نقاط مختلف با تابش خوب و شبکه‌ای گسترده برق برای جابجایی تولید انرژی الکتریکی از خورشید است؛ زیرا در بین مدارهای ۲۲ تا ۴۰ درجه عرض شمالی قرار گرفته و میزان تابش خورشیدی آن بین ۱۸۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر متر مربع در سال تخمین زده شده است که بالاتر از میزان متوسط جهانی است (عامری و حسینی، ۱۳۹۳: ۳).



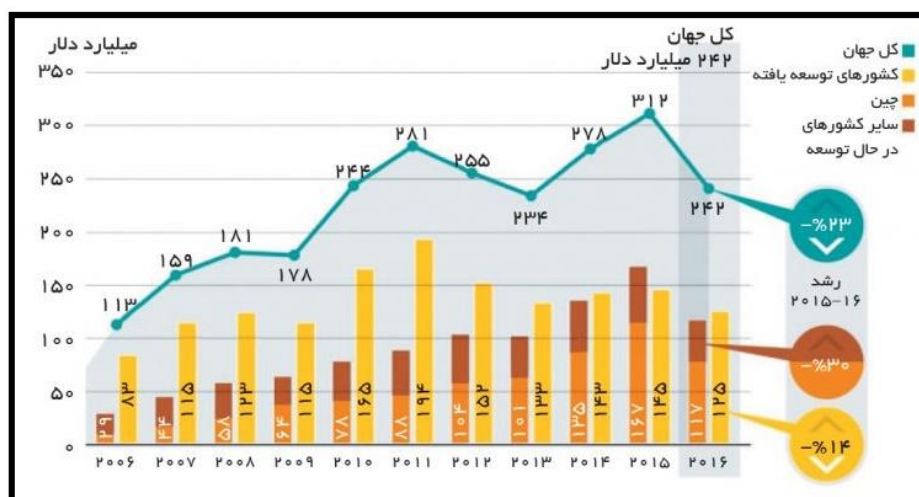
شکل ۱. پتانسیل انرژی خورشیدی کشور ایران در مقایسه با جهان (شیبانی، ۱۳۹۵: ۲۳)

با این وجود هر چند آمار سه سال اخیر نشان از رشد چشمگیر استفاده از انرژی های خورشیدی در کشور را دارد (بر اساس آمارهای موجود ۳ سال پیش تنها ۳ تولیدکننده و فعال داخلی در حوزه انرژی‌های نو در کشور وجود داشت؛ اما این آمار هم‌اکنون به ۴۹۰ تولیدکننده رسیده که در نوع خود بی‌سابقه است. همچنین ایران در سال‌های اخیر حمایت‌های بسیار خوبی برای توسعه این انرژی‌ها ازجمله خرید تضمینی برق به مدت ۲۰ سال از تولیدکنندگان تصویب کرده که در صورت استفاده از تکنولوژی داخلی، قیمت‌های خرید تضمینی تا ۵۰٪ بالاتر می‌رود) اما اگر به حقیقت ماجرا و پتانسیل‌های ایران در زمینه توسعه انرژی‌های نو نگاه کنیم، عمق شکاف ما با دنیای پیشرفته از این نظر بسیار محرز است. در واقع، ایران با دارا بودن بیش از ۳۰۰ روز آفتابی در سال از پتانسیل بسیار بالایی برای توسعه انرژی‌های خورشیدی برخوردار است اما هم‌اکنون تنها حدود ۵۴ مگاوات برق از این نعمت خدادادی تولید شود که البته قرار است در سال‌های آینده به میزان بیشتری افزایش پیدا کند. این در حالی است که کشوری چون آلمان با دارا بودن حدود ۱۵۰ روز آفتابی در سال، بیش از ۵۰ هزار مگاوات از برق تولیدی خود را از پنل‌های خورشیدی تأمین می‌کند (پژوهشگاه وزارت نیرو، ۱۳۹۸).



شکل ۲. مقایسه کشور ایران با آلمان در بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر (شرکت سولار، ۱۳۹۸)

خورشید یکی از میلیاردها ستاره تشکیل دهنده کهکشان راه شیری است. راه شیری یکی از میلیاردها کهکشان موجود در جهان محسوب می‌شود و این بدین معنی است که خورشید مکان بسیار ناچیزی را در جهان اشغال کرده است (مسعودیان، ۱۳۹۰: ۷۹). خورشید ستاره‌ای ۴/۶ میلیارد ساله با قطر $۱۰^۶ \times ۱/۳۹۲$ کیلومتر در مرکز منظومه شمسی می‌باشد. این ستاره که از پلاسمای داغ در یک میدان مغناطیسی قوی تشکیل شده در فاصله $۱۰^۸ \times ۴۹$ کیلومتری زمین قرار گرفته است. وزن خورشید در حدود $۱۰^{۳۳} \times ۲$ کیلوگرم بوده و لایه‌های بیرونی آن را ۷۳ درصد هیدروژن، ۲۵ درصد هلیوم و کمتر از ۲ درصد اکسیژن، کربن، نئون، نیتروژن، سیلیکن، منیزیم و گوگرد تشکیل می‌دهند. دما در سطح خورشید تقریباً ۵۶۰۰ درجه سانتی‌گراد و در مرکز آن در حدود $۱۰^۶ \times ۱۵$ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. روزانه در حدود ۲۵۰ میلیارد تن از جرم خورشید در اثر گداخت هسته‌ای به انرژی تبدیل می‌شود. از این گداخت $۱۰^{۲۳} - ۳/۸$ کیلووات انرژی ساطع می‌شود و بخش کوچکی از آن در حدود $۱۰^{۱۴} \times ۱۵$ کیلووات انرژی تابشی وارد اتمسفر زمین می‌شود. حدود ۳۴ درصد از این انرژی توسط اتمسفر زمین منعکس شده، در حدود ۴۲ درصد باعث گرم شدن زمین و اقیانوس‌ها و دریاها می‌شود و ۲۴ درصد باقی‌مانده در چرخه تولید باد، چرخه آب، جریان‌های دریایی و امواج فتوسنتز صرف می‌شود. تابش خورشید منشأ همه انرژی‌های دیگر به غیر از انرژی هسته‌ای و انرژی‌های تجدیدپذیر جزر و مد و زمین‌گرایی محسوب می‌گردد. تابش خورشید دو جز دارد: تابش پراکنده و مستقیم که مجموع این دو جزء به عنوان تابش جهانی شناخته شده است. در دسترس بودن انرژی خورشید در سطح زمین یکی از عوامل توجه به اجزای استفاده از سیستم‌های خورشیدی در تمامی کشورها است. (Rumbayan et.al, 2012: 1439). نیروگاه‌های خورشیدی نیروگاهایی هستند که منبع انرژی آن خورشید است. پنل‌های خورشیدی که در نیروگاه‌های خورشیدی بکار گرفته می‌شوند، مبدل انرژی تابشی خورشید به انرژی الکتریکی می‌باشند که از این طریق انرژی تابشی خورشید را به انرژی الکتریکی تبدیل و از آن برق تولید می‌کنند (موقری و طاوسی ۱۳۹۲: ۵۲). در استفاده از انرژی خورشیدی و ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی به منظور تولید برق شاخصه‌ها و مولفه‌های بسیاری تاثیر گذارند که در ادامه به بررسی این شاخصه و مولفه‌ها به منظور قابلیت سنجی استفاده از نیروگاه‌های خورشیدی در شهر سبزوار پرداخته شده است.



شکل ۳. سرمایه‌گذاری در سوخت‌های تجدیدپذیر (شرکت سولار، ۱۳۹۸: ۱)

روش‌شناسی

نوع تحقیق کاربردی و روش انجام آن توصیفی-استنباطی و تحلیلی-ترکیبی می‌باشد. تحقیق حاضر با توجه بیان مسئله ارائه شده سعی بر امکان‌سنجی توانایی شهر سبزوار در احداث نیروگاه‌های خورشیدی دارد. در این پژوهش جهت جمع‌آوری اطلاعات و داده‌های پژوهش از روش اسنادی و میدانی استفاده شده است. پارمترهای مورد بررسی در پژوهش از نظر اقلیمی (درجه حرارت، بارندگی، ساعات آفتابی، تابش دریافتی، ابرناکی، یخبندان، گرد و غبار، رطوبت نسبی) و از نظر محیطی (ارتفاع، شیب و کاربری اراضی) می‌باشد. دوره زمانی بررسی پارمترهای اقلیمی ۱۵ ساله و از سال ۱۳۸۲ تا سال ۱۳۹۷ و در برگیرنده تمامی ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی از جمله ایستگاه سینوپتیک سبزوار به منظور پهنه‌بندی اقلیمی در محیط نرم‌افزاری GIS و سنجش توانایی اقلیمی و محیطی شهر سبزوار در احداث نیروگاه‌های خورشیدی می‌باشد. در این راستا داده‌های موجود ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی طی دوره مورد نظر استخراج و سپس در محیط نرم‌افزاری GIS پهنه‌بندی و موقعیت شهر سبزوار در آن مشخص گردیده است. لازم به ذکر است انتخاب تمامی ایستگاه‌های سینوپتیک استان خراسان رضوی جهت دقت در پهنه‌بندی لایه‌های اطلاعاتی و کاهش سطح خطا در قابلیت‌سنجی انرژی خورشیدی در منطقه بوده است. همچنین علاوه بر پهنه‌بندی عوامل اقلیمی؛ در محیط GIS نقشه‌های ارتفاعی-رقومی، شیب و کاربری اراضی در سطح شهرستان سبزوار مورد بررسی و پهنه‌بندی گردیده است تا بر اساس شرایط محیطی نیز موقعیت شهر سبزوار از نظر مستعد و غیر مستعد بودن انرژی خورشیدی مشخص گردد. در نهایت با تلفیق لایه‌های اطلاعاتی از طریق اجرای تحلیل سلسله‌مراتبی AHP جهت وزن دهی لایه‌های اطلاعاتی از یک پانل ۱۵ نفره متخصصین در زمینه انرژی‌های خورشیدی (اساتید دانشگاهی و کارشناسان ارشد سازمانی) استفاده گردیده است و سپس بر حسب وزن‌های کسب شده لایه‌های اطلاعاتی در هم ادغام و دو نقشه نهایی شامل مناطق مستعد اقلیمی و محیطی ترسیم و موقعیت شهر سبزوار بر روی نقشه پهنه‌بندی مشخص گردیده است.

جدول ۱. مؤلفه‌ها و شاخص‌های جغرافیایی مورد استفاده در پژوهش

مؤلفه	شاخص	توضیحات
	درجه	بالا بودن میزان دمای محیط میزان انرژی دریافتی را افزایش می‌دهد. مناطق با درجه حرارت بالاتر مستعدتر برای
	حرارت	احداث نیروگاه خورشیدی می‌باشند.
	بارش	مناطق با بارش پایین تر مستعدتر از نظر احداث نیروگاه های خورشیدی و استفاده از پنل های خورشیدی می
		باشد.
	ساعات	هر چه ساعات آفتابی در منطقه بیشتر باشد، آن منطقه از نظر احداث نیروگاه خورشیدی و استفاده از پنل های
	آفتابی	خورشیدی مساعدتر است.
	تابش	تابش کلی یکی از مهمترین پارامترهای موثر بر ایجاد نیروگاه های خورشیدی می باشد. هر چه مقدار این پارامتر
	دریافتی	بیشتر باشد منطقه مساعدتر است.
	ابرناسی	بالا بودن میزان ابرناسی نشان از عدم قابلیت منطقه برای احداث نیروگاه های خورشیدی است.
	یخبندان	هر چه تعداد روزهای یخبندان در یک منطقه کمتر باشد، آن منطقه برای احداث نیروگاه خورشیدی مساعدتر
		است.
	گرد غبار	هر چه تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و غبار در یک منطقه کمتر باشد، آن منطقه برای احداث نیروگاه
		خورشیدی مساعدتر است.
	رطوبت	مناطق که دارای رطوبت نسبی پایین تری هستند از نظر احداث نیروگاه خورشیدی مساعدتر می باشند.
	نسبی	
	ارتفاع	ارتفاع یکی از مهمترین عامل های مکانیابی اسیت نیروگاه خورشیدی محسوب می گردد. مناطق مرتفع به دلیل
		دریافت انرژی خورشیدی بیشتر مساعدتر می باشند.
	کاربری	با توجه به اثرات زیست محیطی و بیولوژیکی احداث نیروگاه، بهترین مکان استقرار در مناطق بایر و اراضی
	اراضی	بلااستفاده است.
	شیب	مناطق دارای شیب ملایم تر از نظر مکانیابی برای احداث نیروگاه های خورشیدی مستعدتر می باشند.

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۸

یافته‌ها و بحث

همانگونه که اذعان گردید شناسایی قابلیت شهر سبزوار در مبحث احداث نیروگاه های خورشیدی بر اساس پارامترهای اقلیمی و محیطی صورت گرفته است. پهنه‌بندی پارامترهای اقلیمی و محیطی در محیط نرم‌افزاری GIS بر اساس ابزار Spatial analyst و دستور Inverse distance weighted صورت گرفته است. لازم به ذکر است پهنه‌بندی صورت گرفته با استفاده از دستور Reclassify در چهار پهنه دارای قابلیت محدود، دارای قابلیت متوسط، دارای قابلیت بالا و دارای قابلیت بسیار بالا دسته‌بندی گردیده است. که به تفکیک در ادامه به بررسی هر یک از این لایه های اطلاعاتی پرداخته می شود.

پارامتر درجه حرارت

بالا بودن دمای محیط (درجه حرارت) میزان انرژی دریافتی را افزایش و اتلاف انرژی را کاهش می‌دهد. این بدین معنا است که مناطق با درجه حرارت بالاتر برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی و استفاده از پنل های خورشیدی مناسب‌تر می‌باشند. بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته در محیط نرم‌افزاری GIS شهر سبزوار در پهنه استان از نظر این پارامتر در وضعیت قابلیت بالا قرار گرفته است. این بدین معنا است که شهر سبزوار از نظر پارامتر درجه حرارت دارای قابلیت بالا برای احداث نیروگاه خورشیدی می‌باشد.

پارامتر بارش

مناطق با بارش پایین‌تر مستعدتر از نظر احداث نیروگاه‌های خورشیدی و استفاده از پنل‌های خورشیدی می‌باشد. چرا که وجود بارش بالا در منطقه علاوه بر نشان دادن رطوبت زیاد، ابرناکی آسمان و غیره از نظر فنی نیز موجب تخریب پنل‌های خورشیدی می‌گردد. بر حسب پهنه‌بندی صورت گرفته در منطقه؛ شهر سبزوار از نظر پارامتر بارش در پهنه دارای قابلیت محدود واقع گردیده است. بر حسب داده‌های اقلیمی سازمان هواشناسی کشور ایستگاه سبزوار (۱۹,۷۸۱) پس از ایستگاه قوچان (۲۱,۸۷) در استان رضوی دارای بیشترین میانگین ماهیانه بارندگی در دوره آماری بوده است.

پارامتر ساعات آفتابی

هر چه ساعات آفتابی در منطقه بیشتر باشد، آن منطقه از نظر احداث نیروگاه خورشیدی و استفاده از پنل‌های خورشیدی در سطح ساختمان‌های شهری مساعدتر می‌باشد. بر حسب پهنه‌بندی صورت گرفته شهر سبزوار از نظر پارامتر اقلیمی ساعات آفتابی در پهنه دارای قابلیت بالا برای احداث نیروگاه خورشیدی و استفاده از پنل‌های خورشیدی در سطح شهر قرار گرفته است. میانگین ساعات آفتابی شهر سبزوار برابر با ۲۵۵,۶۷۸ و میانگین ساعات آفتابی استان خراسان رضوی طی دوره آماری برابر با ۲۵۰,۷۶ بوده است.

پارامتر تابش کلی

تابش کلی و یا میزان نور دریافتی یکی از مهمترین پارامترهای مؤثر بر ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی می‌باشد. هر چقدر این پارامتر بیشتر باشد منطقه از نظر احداث دارای توان بیشتری است. بر اساس پهنه‌بندی صورت گرفته شهر سبزوار از نظر این پارامتر در پهنه با قابلیت بالا واقع شده است. بر حسب داده‌های به دست آمده از سازمان هواشناسی کشور میانگین تابش کلی استان رضوی برابر با ۴۱۹۳۷,۹۴ و میزان تابش کلی ایستگاه سبزوار برابر با ۳۶۲۷۰,۸ بوده است.

پارامتر روزهای ابرناکی

بالا بودن میزان ابرناکی نشان از عدم قابلیت یک منطقه در احداث نیروگاه‌های خورشیدی دارد. علاوه بر این ابرناکی منجر به کاهش پارامتر تابش کلی یا میزان نور دریافتی می‌شود. بر حسب پهنه‌بندی صورت گرفته بر اساس این پارامتر شهر سبزوار در پهنه با قابلیت متوسط قرار گرفته است. متوسط ابرناکی استان خراسان رضوی بر حسب داده‌های اقلیمی سازمان هواشناسی کشور طی دوره آماری مورد مطالعه برابر با ۲,۲۷ روز در ماه و در ایستگاه سبزوار برابر با ۲,۴۸ روز در ماه بوده است.

پارامتر روزهای یخبندان

هر چه تعداد روزهای یخبندان در ماه و سال در یک منطقه کمتر باشد، آن منطقه از نظر احداث نیروگاه‌های خورشیدی و استفاده از پنل‌های خورشیدی مساعدتر می‌باشد. بر حسب پهنه‌بندی صورت گرفته شهر سبزوار با متوسط ۱,۶۸ روز یخبندان در ماه طی دوره آماری نسبت به میانگین ۴,۸۸ روز در کل استان خراسان رضوی در پهنه با قابلیت بسیار بالا قرار گرفته است.

پارامتر گرد و غبار

هر چه تعداد روزهای همراه با پدیده گرد و غبار در یک منطقه کمتر باشد، آن منطقه از نظر احداث نیروگاه‌های خورشیدی مستعدتر می‌باشد. بر حسب پهنه‌بندی صورت گرفته ایستگاه و شهر سبزوار از نظر این پارامتر اقلیمی در

پهنه با قابلیت متوسط از نظر احداث نیروگاه‌های خورشیدی قرار گرفته است. متوسط ماهانه روزهای گرد و غبار در این ایستگاه طی دوره آماری برابر با ۲,۷۳ و بعد از ایستگاه سرخس با میانگین ۴,۰۳ دارای بیشترین روزهای با پدیده گرد و غبار در استان خراسان رضوی بوده است. میانگین روزهای با پدیده گرد و غبار نیز در استان برابر با ۱,۳۱ روز در ماه می باشد.

پارامتر رطوبت نسبی

مناطق که دارای میزان رطوبت نسبی پایین تری هستند از نظر احداث نیروگاه‌های خورشیدی و استفاده از پنل های خورشیدی جهت تولید برق خانگی مستعدتر می باشند. بر حسب پهنه بندی صورت گرفته شهر سبزوار از نظر این پارامتر در پهنه با قابلیت بسیار بالا قرار گرفته است.

ارتفاع

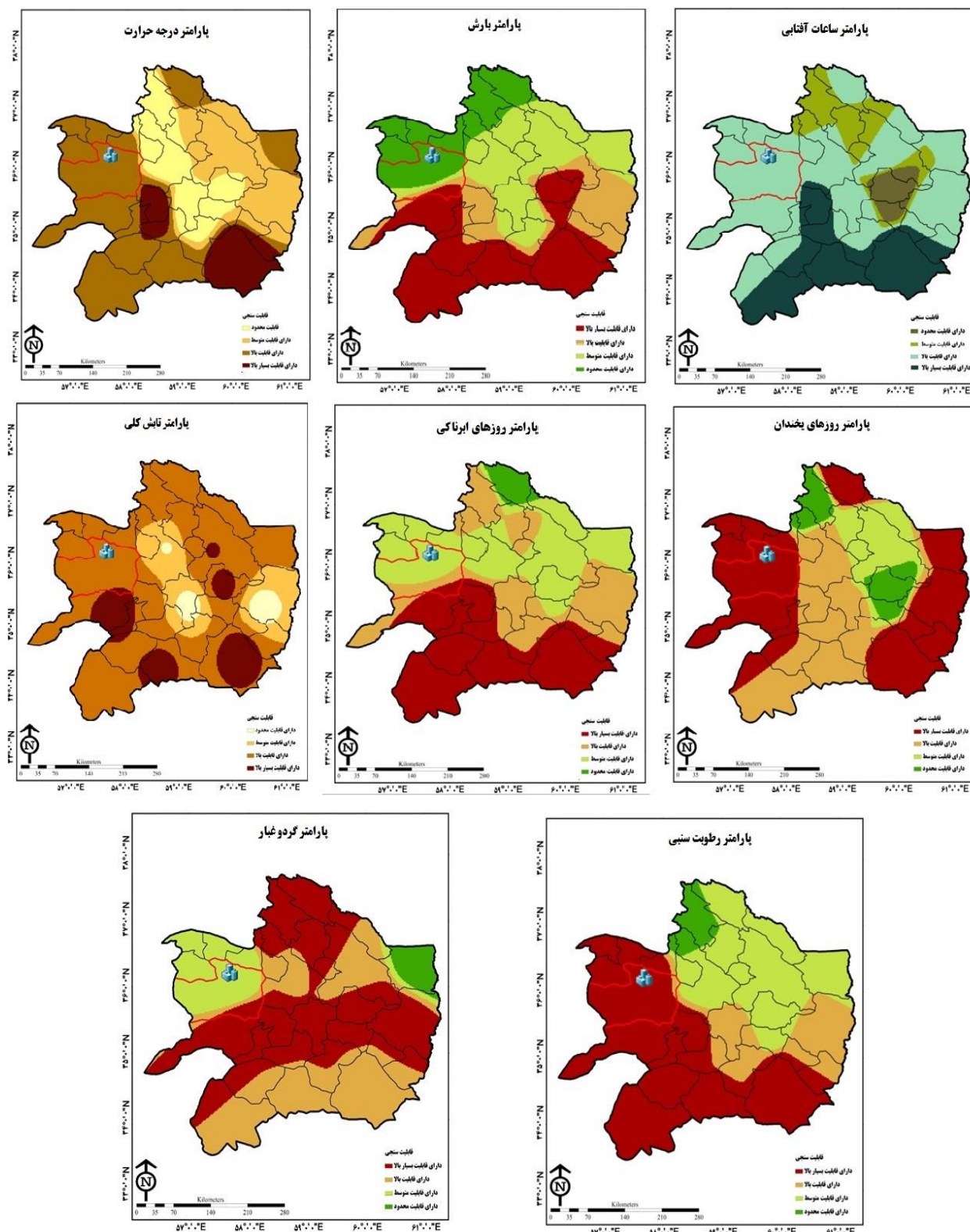
از میان عوامل محیطی و به عبارتی عوامل فیزیکی ارتفاع مهمترین عامل در مکانیابی سایت نیروگاه محسوب می گردد. مناطق مرتفع به دلیل دریافت انرژی زیاد دارای پتانسیل بالاتری نسبت به مناطق پست می باشند. لازم به ذکر است پهنه بندی قابلیت سنجی شهر سبزوار بر اساس نقشه رقومی - ارتفاعی شهرستان سبزوار ارائه شده است. بدین منظور ابتدا لایه رقومی - ارتفاعی به لایه رستری تبدیل و سپس کلاسیفای گردیده است. بر اساس پهنه بندی صورت گرفته شهر سبزوار در پهنه با قابلیت محدود قرار گرفته است.

کاربری اراضی

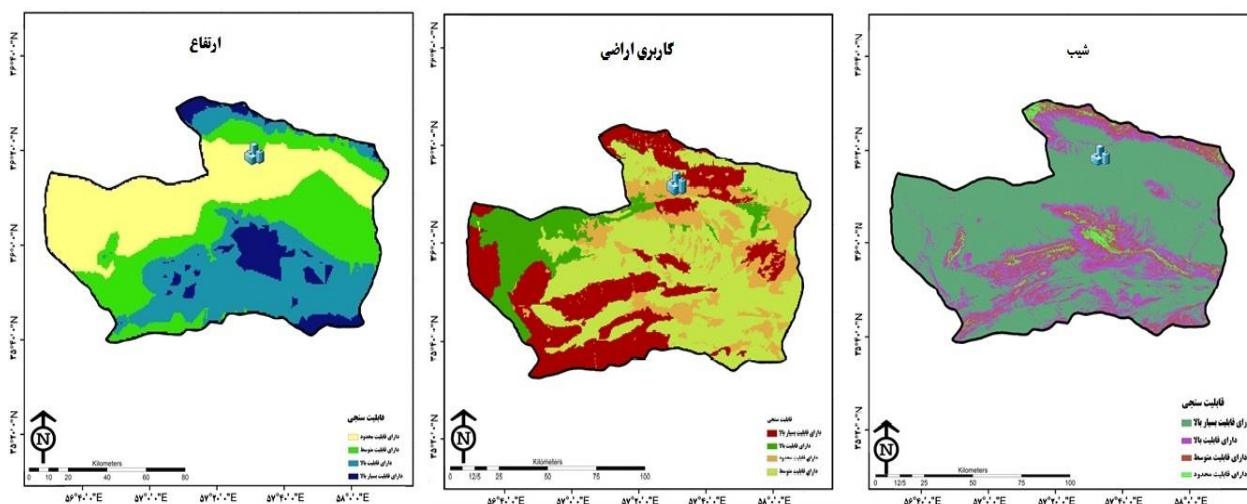
با توجه به اثرات زیست محیطی و بیولوژیکی احداث نیروگاه، بهترین مکان استقرار در مناطق بایر و اراضی بلااستفاده است. بر اساس پهنه بندی صورت گرفته شهر سبزوار از نظر کاربری اراضی در پهنه با قابلیت محدود قرار گرفته است. بهترین مکان برای احداث نیروگاه خورشیدی بر اساس پهنه بندی صورت گرفته قسمت جنوبی شهر سبزوار می باشد.

شیب

مناطق دارای شیب ملایم تر از نظر مکانیابی برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی مستعدتر می باشند. بهترین شیب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی شیب کمتر از ۳ درصد می باشد. بر اساس پهنه بندی صورت گرفته شهر سبزوار از نظر این پارامتر در پهنه با قابلیت بسیار بالا قرار گرفته است



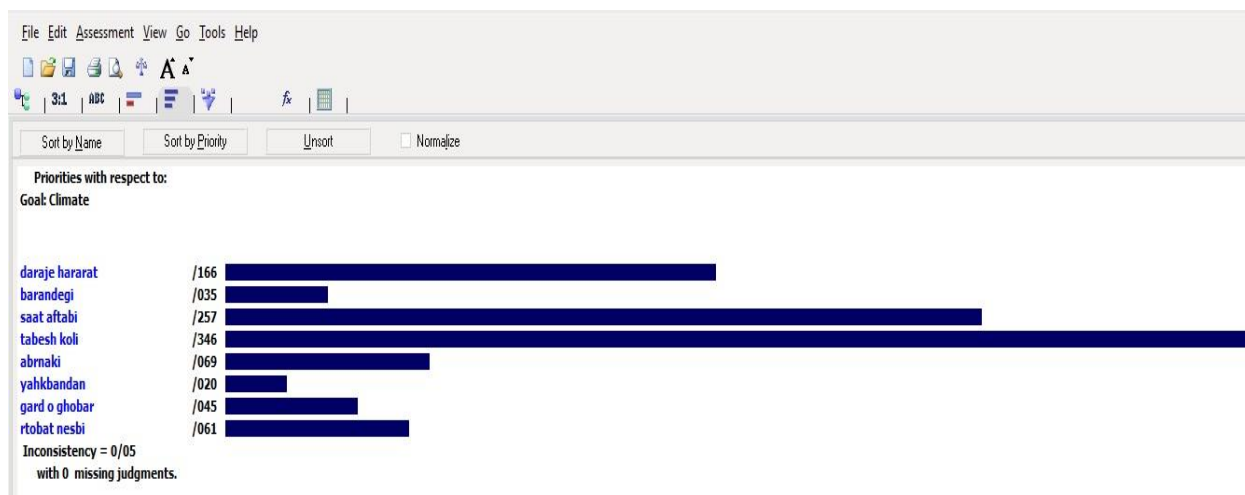
شکل ۴. پهنه بندی پارامترهای اقلیمی استان و جایگاه شهر سبزوار در پهنه ها



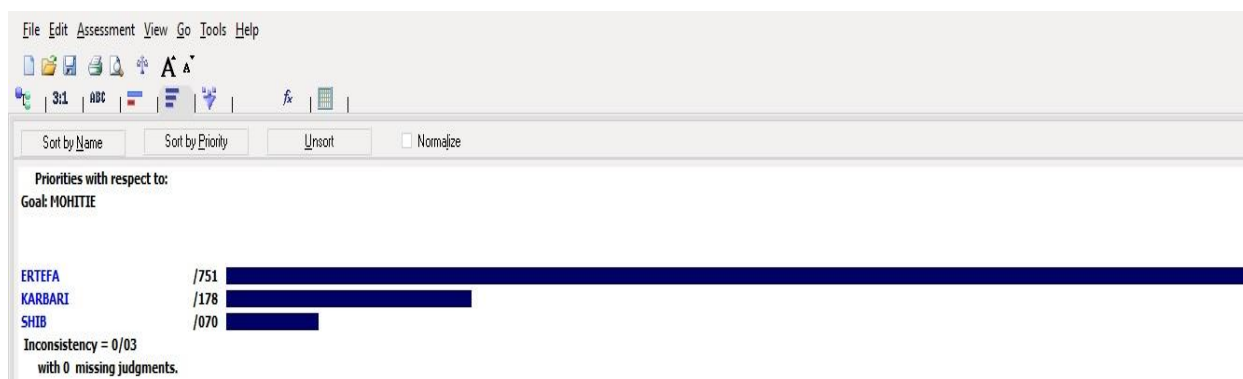
شکل ۵. پهنه بندی پارامترهای محیطی شهرستان و جایگاه شهر سبزوار در پهنه‌ها

سنجش قابلیت نیروگاه خورشیدی شهر سبزوار از نظر اقلیمی و محیطی

پس از بررسی قابلیت شهر سبزوار در پهنه استان از نظر پارامترهای اقلیمی به تفکیک، جهت تلفیق لایه‌های اطلاعاتی (۸ نقشه حاصل از پارامترهای اقلیمی) به منظور مشخص ساختن قابلیت شهر سبزوار در احداث نیروگاه‌های خورشیدی از نظر اقلیمی ضمن وزن دهی لایه‌ها توسط پانل ۱۵ نفره متخصصین از دستور OVERLAY در محیط نرم‌افزار GIS استفاده شده است. به منظور وزن دهی لایه اطلاعاتی نیز (پارامتر اقلیمی و محیطی) از نظام وزن دهی تحلیل سلسله مراتبی AHP استفاده گردیده است. بدین منظور پرسشنامه‌ای حاوی اطلاعات و روش انجام پژوهش و ۱۱ لایه اطلاعاتی مورد مطالعه در قالب تکنیک تحلیل سلسله مراتبی تنظیم و توسط پانل ۱۵ نفره متخصصین مورد ارزیابی قرار گرفت.



شکل ۶. وزن اختصاص یافته به هر یک از پارامترهای اقلیمی



شکل ۷. وزن اختصاص یافته به هر یک از پارامترهای محیطی

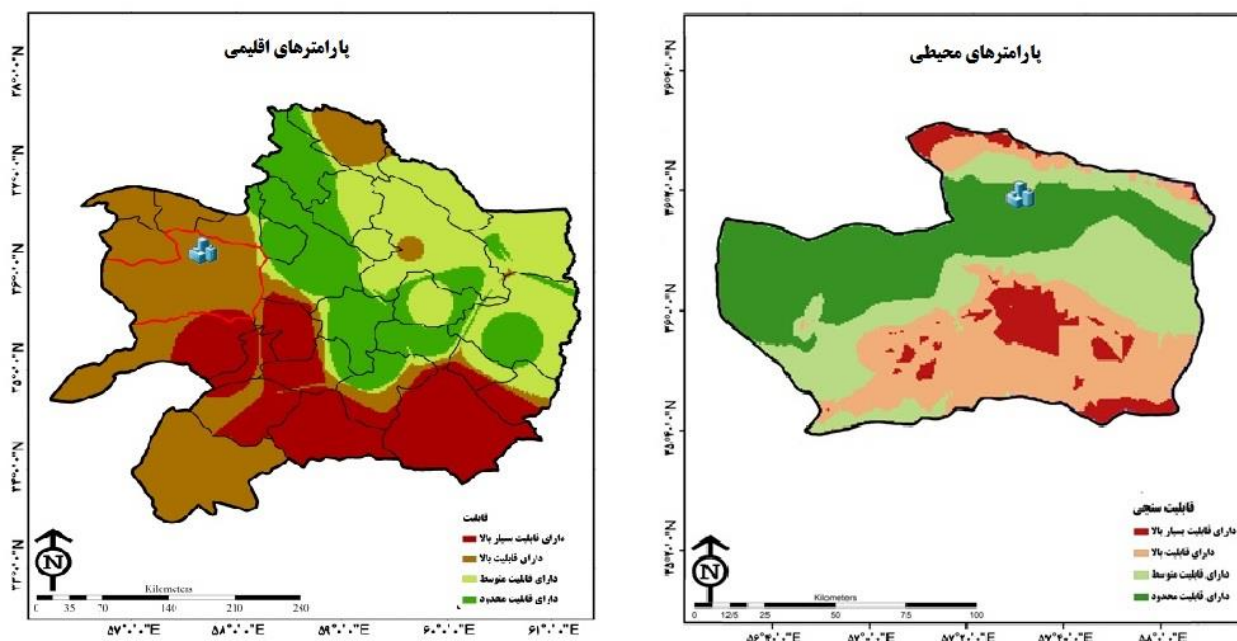
نتایج این تکنیک نشان می‌دهد که از ۸ لایه اطلاعاتی مربوط به پارامترهای اقلیمی تابش دریافتی با وزن ۰,۱۲۵۶، مهمترین پارامترهای اقلیمی در احداث نیروگاه‌های خورشیدی و قابلیت سنجی منطقه سبزوار در احداث نیروگاه خورشیدی بوده است. از پارامترهای محیطی نیز وزن سایر لایه‌های اطلاعاتی با توجه به رتبه حاصله در جدول (۲) آورده شده است.

جدول ۲. ۰۲/اوازن لایه‌های اطلاعاتی بر حسب تکنیک AHP

پارامترهای محیطی			پارامترهای اقلیمی		
رتبه	وزن	لایه‌ها	رتبه	وزن	لایه‌ها
۱	۰,۷۵۱	ارتفاع	۳	۰,۱۶۶	درجه حرارت
۲	۰,۱۷۸	کاربری اراضی	۷	۰,۰۳۵	بارندگی
۳	۰,۰۷۰	شیب	۲	۰,۲۵۷	ساعات آفتابی
			۱	۰,۳۴۶	تابش کلی
			۴	۰,۰۶۹	ابرنمایی
			۸	۰,۰۲۰	یخبندان
			۶	۰,۰۴۵	گرد و غبار
			۵	۰,۰۶۱	رطوبت نسبی

منبع: یافته‌های تحقیق، ۱۳۹۸

پس از وزن دهی لایه‌های اطلاعاتی به منظور ارائه نقشه نهایی، هر لایه اطلاعاتی با توجه به وزن اختصاص یافته در دیگر لایه‌ها ضرب گردیده و نقشه نهایی تحت عنوان نقشه قابلیت مناطق در احداث نیروگاه خورشیدی از نظر اقلیمی و محیطی استخراج گردیده است. بر اساس ۸ پارامتر اقلیمی شهر سبزوار در پهنه با قابلیت بالا واقع گردیده است که این موضوع نشان از توانایی بالای شهر سبزوار در احداث نیروگاه‌های خورشیدی و استفاده از پنل‌های خورشیدی از نظر اقلیمی دارد. بر اساس ۳ پارامتر محیطی شهر سبزوار در پهنه با قابلیت محدود قرار گرفته است. چرا که شهر سبزوار از نظر پارامتر ارتفاعی و کاربری اراضی برای احداث نیروگاه خورشیدی دارای ضعف بوده است که این دو پارامتر بیشترین اوزن را به خود از نظر جامعه متخصصین اختصاص داده بوده‌اند.



شکل ۱. قابلیت احداث نیروگاه خورشیدی در شهر سبزوار از نظر اقلیمی و محیطی

نتیجه گیری

در سال‌های اخیر بحران جهانی انرژی، محدودیت سوخت‌های فسیلی افزایش گازهای گلخانه‌ای و گرمای روزافزون کره زمین موجب شده که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیری به ویژه انرژی خورشیدی نه تنها در نیروگاه‌های بزرگ برای مصارف عمومی بلکه در خانه‌ها برای استفاده شخصی رواج یابد. انواع نیروگاه‌های انرژی خورشیدی طراحی، ساخت و راه‌اندازی شده که روزانه بیش از هزار کیلو وات برق از طریق پروژه‌های مختلف تولید می‌کند و همچنین سالانه بیش از یکصد نوع تجهیزات جدید انرژی خورشیدی اختراع می‌شود تا اینکه بازار جهانی این صنعت مهم را در اختیار خود به صورت انحصاری محفوظ نگه دارد و به مرور زمان اکثر مکان‌های مسکونی، تجاری، صنعتی و... از این انرژی برای برق و گرمای خود استفاده نمایند. کشور ایران به لحاظ میزان دریافت انرژی خورشیدی و متوسط ساعت آفتابی سالانه بیش از ۲۹۰۰ ساعت، یکی از کشورهای مناسب جهان است و انرژی خورشیدی در آینده سهم قابل توجهی از انرژی مصرفی کشور را به خود اختصاص خواهد داد. با توجه به اهمیت این موضوع در پژوهش حاضر با توجه به پارامترهای اقلیمی و محیطی به بررسی قابلیت شهر سبزوار جهت احداث نیروگاه‌های خورشیدی پرداخته شد. در این راستا جهت سنجش قابلیت اقلیمی شهر سبزوار، داده‌های اقلیمی ۸ پارامتر درجه حرارت، بارش، ساعات آفتابی، تابش دریافتی، یخبندان، ابرناکی، رطوبت نسبی، گرد و غبار طی یک دوره آماری ۱۵ سال از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۷ مرتبط با ۱۴ ایستگاه سینوپتیک استان خراسان رضوی از سازمان هواشناسی کشور جمع‌آوری و در محیط نرم‌افزاری GIS مورد پهنه‌بندی قرار گرفت. نتایج این پهنه‌بندی نشان داد که شهر سبزوار از نظر اقلیمی دارای قابلیت بالا جهت احداث نیروگاه‌های خورشیدی می‌باشد. در ادامه جهت سنجش قابلیت محیطی شهر سبزوار سه لایه اطلاعاتی ارتفاع، کاربری زمین و شیب نیز در محیط نرم‌افزاری GIS مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد شهر سبزوار از نظر ارتفاع و کاربری زمین مستعد احداث نیروگاه خورشیدی نمی‌باشد و از میان این سه لایه اطلاعاتی تنها از نظر درصد شیب که کمتر از ۳ درصد بوده است دارای توانایی بسیار بالایی جهت احداث نیروگاه خورشیدی بوده است. به طور کلی شهر سبزوار با توجه به ۱۱ پارامتر مورد بررسی علی‌الخصوص در زمینه پارامترهای اقلیمی مستعد احداث نیروگاه‌های خورشیدی می‌باشد و احداث نیروگاه می‌تواند علی‌رغم منافع اقتصادی از نظر زیست محیطی نیز منجر به پایداری

- گردد. در نهایت با توجه به توانایی بالقوه شهر سبزوار در احداث نیروگاه‌های خورشیدی پیشنهادات زیر به منظور توسعه استفاده از انرژی خورشیدی در شهر سبزوار ارائه می‌گردد:
- ✓ فراهم آوردن زمینه آموزش فنی و حرفه‌ای در سطح شهر در ارتباط با انرژی خورشیدی در جهت اطلاع‌رسانی و آموزش؛ با توجه به اینکه ارزیابی این گویه توسط جامعه کارشناسان در سطح عدم معناداری قرار گرفته است. بنابراین پیشنهاد می‌گردد در این زمینه برنامه‌ریزی از سوی مدیران و مسئولین فنی و حرفه‌ای و شهری سبزوار صورت گیرد؛
 - ✓ مکانیابی سایت‌های مشخص با امکانات فنی جهت ایجاد نیروگاه خورشیدی در شهر؛ با توجه به اینکه ارزیابی این گویه در سطح شهر سبزوار معنادار نبوده است، بنابراین پیشنهاد می‌گردد از طریق مکانیابی سایت‌های مشخص و فراهم آوردن زیرساخت‌ها و زمینه فنی شرایط احداث نیروگاه‌های خورشیدی در شهر سبزوار مهیا گردد؛
 - ✓ فراهم آوری زمینه سرمایه‌گذاری خصوصی در ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی در سبزوار؛ با توجه به اینکه ارزیابی صورت گرفته نشان از عدم معناداری این گویه داشته است؛ بنابراین پیشنهاد می‌گردد از طریق اعطای سیاست‌های تشویقی همچون معافیت‌های مالیاتی یا ارائه رایگان زمین برای احداث نیروگاه از سرمایه‌گذاری خصوصی در این زمینه حمایت صورت گیرد؛
 - ✓ با توجه به قابلیت شهر سبزوار در احداث نیروگاه‌های خورشیدی و استفاده از انرژی خورشیدی و همچنین ارزیابی عدم معناداری تأکید بر راهبرد اقتصادی احداث نیروگاه‌ها و پنل‌های خورشیدی در اسناد توسعه شهرستان؛ بنابراین پیشنهاد می‌گردد در شورای برنامه‌ریزی شهرستان و همچنین اسناد توسعه آتی شهرستان بر جایگاه ویژه نیروگاه‌های خورشیدی و درآمدزایی از طریق پنل‌های خورشیدی تأکید گردد؛
 - ✓ با توجه به عدم معناداری گویه مرتبط با آگاهی مردم از منفعت اقتصادی شهروندان از احداث نیروگاه‌های خورشیدی و پنل‌های خورشیدی؛ پیشنهاد می‌گردد از طریق برگزاری نشست‌ها و دوره‌های اطلاع‌رسانی نسبت به افزایش آگاهی شهروندان از سوی مدیران برنامه‌ریزی صورت گیرد؛
 - ✓ با توجه به محدودیت محیطی (ارتفاع و کاربری) می‌توان با مکانیابی بهینه احداث نیروگاه‌های خورشیدی در فواصل معقول شهر سبزوار از سوی مدیران و مسئولین و همچنین شرکت‌های مشاوره‌ای بر این محدودیت فائق آمد؛
 - ✓ با توجه به اینکه ریسک‌پذیری در استفاده از پنل‌های خورشیدی و مزایایی آن در میان شهروندان پایین می‌باشد؛ بنابراین پیشنهاد می‌گردد در سازمان‌ها و ادارات موجود در شهر سبزوار استفاده از پنل‌های خورشیدی به منظور تبلیغ این فناوری، ترویج گردد. استفاده از پنل‌های خورشیدی در سطح ادارات و سازمان‌های شهر موجب اطمینان و اعتماد شهروندان از استفاده این فناوری می‌شود.

منابع

- احمدی، هدی، مرشدی، جعفر، عظیمی، فریده (۱۳۹۵)، مکانیابی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از داده‌های اقلیمی و سامانه اطلاعات مکانی (مطالعه موردی: استان ایلام)، مجله سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۷، شماره ۱، صص ۵۷-۴۱.
- ادهمی، محمد، کمالی، علیرضا، قنادیان، محمد، نجارنژاد، منصوره (۱۳۹۳)، بررسی سیاست‌های کشور آلمان در قبال انرژی‌های تجدیدپذیر و نقش حاکمیت دولت در توسعه این انرژی، ششمین همایش علمی انرژی‌های تجدیدپذیر، تهران، شرکت هم‌اندیشان انرژی کیمیا.
- اسفندیاری، علی، رنگزی، کاظم، صابری، عظیم، فتاحی، مهدی (۱۳۹۰)، پتانسیل سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از GIS، همایش ملی ژئوماتیک، سازمان نقشه‌برداری کشور، تهران، ایران.
- توانیر (۱۳۹۵) // صنعت برق ایران ۱۳۹۵ / www.tavanir.org.ir
- خوش‌اخلاق فرامرز، روشن غلامرضا و برنا رضا (۱۳۸۷)، مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با توجه به پارامترهای اقلیمی / پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی پرتال جامع علوم انسانی دوره هفدهم شماره ۶۷ صفحات ۷۵-۸۰.
- رحیمی محمد، پازند فاطمه و عبداللهی علی اصغر (۱۳۹۵)، پتانسیل سنجی استقرار نیروگاه‌های خورشیدی در استان سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل AHP و منطق فازی، جغرافیا و توسعه، شماره ۴۹.

- شرکت سولار (۱۳۹۸)، مقایسه ایران و جهان در استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، قابل دریافت از <https://mpn.solar/compare-using-energy/>
- شیبانی، علی (۱۳۹۵)، تحلیل تناسب مکانی نیروگاه خورشیدی با سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: خراسان رضوی)، گروه مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- عامری سیاهویی، حسین، حسینی اعظم، ش (۱۳۹۳)، چگونگی استفاده از انرژی خورشیدی برای تأمین نیازهای گرمایشی در اقلیم کوهستانی، دومین کنفرانس بین‌المللی ساختمان، معماری و گسترش شهری، تبریز.
- گرچی، مصطفی، خشنود مطلق، سجاد، عمرانی، حسین، هاشمی، مرتضی (۱۳۹۶)، مکان‌یابی مناطق مستعد نیروگاه خورشیدی تحت تأثیر پارامترهای اقلیمی (مطالعه موردی: استان فارس)، مجله سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۸، شماره ۱، صص ۸۴-۶۶.
- مسعودیان، ابوالفضل (۱۳۹۰)، آب و هوای ایران، چاپ اول، انتشارات شریعه توس.
- مهندسین مشاور پردازاز (۱۳۸۸)، طرح جامع شهر سبزوار، سازمان شهرداری‌های شهر سبزوار.
- موقری علیرضا و طاوسی تقی (۱۳۹۲)، امکان‌سنجی و پهنه‌بندی مکان‌های مستعد جهت استقرار پنل‌های خورشیدی با تکیه بر فراسنج‌های اقلیمی در استان سیستان و بلوچستان، مجله پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی سال یکم، شماره ۱، بهار، صص ۹۲.
- ناصری، سعیده، امیری، محمدجواد (۱۳۹۷)، مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی در مناطق گرمسیری ساحلی با منطق فازی (نمونه موردی: استان هرمزگان)، فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، انتشار آنلاین، قابل دریافت از سایت نشریه.
- نجفی بهروز (۱۳۹۶)، مطالعه و بررسی سیستم‌های فتوولتائیک برای تعیین مهمترین عوامل مؤثر در جایابی بهینه نیروگاه‌های خورشیدی در ایران، مجله نخبگان علوم و مهندسی، جلد ۲، شماره ۵.
- وزارت نیرو (۱۳۹۸)، تاریخچه انرژی خورشیدی، سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق.
- Abdulhadi and Rustum Mamlook, (2010). "Evaluation of Solar Electric Power Technologies in Jordan" Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, Jan. 2010, pp. 121 – 128.
- E.W. Ramde, Y. Azoumah, A. Rungundu, G. Tapsoba, (2011). "Solar Thermal Power Plants in West Africa: Site Selection and potential assessment", April 2011.
- Hassan Z. Al Garni, Anjali Awasthi (2017), Solar PV power plant site selection using a GIS-AHP based approach with application in Saudi Arabia, Applied Energy 206 (2017) 1225–1240.
- Jason R. Janke, (2010). "Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado", Renewable Energy.
- Kenisarin, M. (2007), Solar Energy Storage Using Phase Change Materials, PP. 1913-1965.
- Perpiña Castillo, Filipe Batista e Silva CarloLavallo (2015), An assessment of the regional potential for solar power generation in EU-28, Energy Policy, Volume 88, Pages 86-99.
- Rumbayan .Meita, Asifujiang Abudureyimu, Ken Nagasaka. (2012). Mapping of solar energy potential in Indonesia using artificial neural network and geographical informationsystem. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16, 1437-1449.