

## مروری بر معیارهای مکانی احداث نیروگاه‌های خورشیدی در ایران

حسین یوسفی\*<sup>۱</sup>، علیبخش کسائی<sup>۲</sup>، پریسا رنجبران<sup>۳</sup>، محمد هادی کتولی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> استادیار دانشکده علوم و فنون نوین - دانشگاه تهران  
hosseinyousefi@ut.ac.ir

<sup>۲</sup> دانشیار دانشکده علوم و فنون نوین - دانشگاه تهران  
akasa@ut.ac.ir

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی سیستم‌های انرژی - دانشکده علوم و فنون نوین - دانشگاه تهران  
parisa.ranjbaran@ut.ac.ir

<sup>۴</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر - دانشکده علوم و فنون نوین - دانشگاه تهران  
hadi.katoly@ut.ac.ir

(تاریخ دریافت آبان ۱۳۹۵، تاریخ تصویب اسفند ۱۳۹۵)

### چکیده

یکی از راه‌های رسیدن به توسعه همه جانبه اقتصادی و اجتماعی در دنیای امروز، وجود یک منبع تولید انرژی پایدار، مستمر و قابل اعتماد است. در میان انواع انرژی‌های تجدیدپذیر، انرژی خورشیدی به دلیل قابلیت تبدیل مستقیم به برق و حرارت، سادگی استفاده، امکان ذخیره‌سازی و بی‌پایان بودن آن بیش‌تر مورد توجه قرار گرفته‌است، به طوری که در چند دهه اخیر تحقیقات فراوانی در مورد سیستم‌های استفاده از انرژی خورشیدی در دنیا و ایران به انجام رسیده‌است. با توجه به پتانسیل ایران در زمینه انرژی خورشیدی و نیز نیاز کشور به انرژی‌های تجدیدپذیر، لازم است مکانیابی برای شناسایی مکان‌های مناسب برای استفاده از انرژی خورشیدی انجام گیرد. امروزه انجام پروژه‌های مکان‌یابی صنایع از اصول و روش‌های ارزیابی توان اکولوژیک و آمایش سرزمین است. انجام این پروژه‌ها مستلزم شناخت دقیق از تکنولوژی‌های موجود صنعتی و نیازمندی‌های محیطی دارد که در اصطلاح توازن نیاز و توان گفته می‌شود. در این مطالعه با بررسی مقالات متعدد چاپ شده و با نگرشی جدید در زمینه انواع مکان‌یابی‌های صنعتی و انرژی‌های تجدیدپذیر، معیارهای اصلی و کاربردی برای امکان‌سنجی و تعیین مکان بهینه استفاده از انرژی خورشید بررسی و برای کشور ایران بومی‌سازی و ارائه شده است تا محققین بتوانند بر اساس آن بهترین مکان‌ها را برای نصب انواع تجهیزات، تاسیسات و نیروگاه‌های خورشیدی استفاده نمایند تا هم سود بیشتری کسب نمایند و هم در کاهش آلودگی‌های زیست محیطی سهیم باشند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد مهم‌ترین معیارها برای این موضوع در ایران، ساعات آفتابی، ابرناکی، گرد و خاک، رطوبت نسبی، ارتفاع، نقشه پتانسیل خورشیدی، کاربری و نوع پوشش زمین، خطوط انتقال نیرو و جاده‌های دسترسی است.

**واژگان کلیدی:** انرژی خورشیدی، مکان‌یابی، معیارهای مکانی

\* نویسنده رابط

## ۱- مقدمه

گسترش روزافزون جمعیت و روند صنعتی شدن کشورهای جهان باعث استفاده بیش‌تر از منابع انرژی می‌شود. پیشرفت تمدن صنعتی بشر تا حدود زیادی بر پایه انرژی بنیان نهاده شده‌است و همچنان با پیشرفت بیشتر جوامع انسانی نیاز به انرژی رو به افزایش است. کشورهای جهان از یک طرف به دنبال منابع انرژی ارزان‌تر بوده و از طرف دیگر ملزم هستند تا تولیدات و فعالیت‌های خود را در چهارچوب‌های تعیین شده زیست محیطی به انجام رسانند. این امر اهمیت توجه به انرژی‌های تجدیدپذیر را بیشتر نشان می‌دهد. انرژی‌های مختلف دارای مزایا و معایبی از جنبه‌های مختلف هستند. انرژی‌های فسیلی که بسیار مورد استفاده است از یک طرف در حال اتمام بوده و از طرف دیگر به دلیل ایجاد آلودگی‌های زیست محیطی استفاده از آن چندان به نفع جوامع انسانی نمی‌باشد. مصرف انرژی الکتریکی به دلیل رشد جمعیت و بالا رفتن سرانه، توسعه بخش‌های صنعتی، کشاورزی و ... پیوسته در حال افزایش بوده و تامین انرژی الکتریکی مورد نیاز مصرف‌کنندگان مستلزم توسعه شبکه برق کشور همچنین احداث نیروگاه‌های تولید برق تجدیدپذیر می‌باشد.

تکنولوژی خورشیدی به دو دسته نیروگاهی و غیرنیروگاهی تقسیم می‌شود و دارای گستره وسیعی از سیستم‌ها می‌باشد. نیروگاه‌های خورشیدی نیروگاهایی هستند که منبع انرژی آن خورشید پاک و رایگان است. خورشید یک راکتور هسته‌ای طبیعی بسیار عظیم است که ماده در آن جا بر اثر همجوشی هسته‌ای به انرژی تبدیل می‌شود. در هر ثانیه حدود  $3/8 \times 10^{26}$  ژول انرژی به صورت تابش از سطح خورشید خارج می‌شود که با استفاده از فرمول هم‌ارزی جرم و انرژی ( $E = mc^2$ )، در هر ثانیه  $4/4 \times 10^9$  کیلوگرم از جرم خورشید به تابش تبدیل می‌شود. دمای داخلی خورشید حدود ۱۵ میلیون درجه سانتیگراد است [۱]. انرژی که بدین ترتیب به شکل نور مرئی، فرو سرخ و فرابنفش به ما می‌رسد حدود ۱۲۰ وات بر متر مربع است [۲]. با اندازه‌گیری شار خورشیدی تابشی در بالای جو زمین می‌توان قدرت دریافتی کل انرژی از خورشید را محاسبه کرد. این مقدار حدود  $1/8 \times 10^{11}$  مگاوات است [۱]. البته تمام این انرژی به سطح زمین نمی‌رسد مقداری از آن منعکس و بخشی جذب لایه‌های اتمسفر می‌شود. انرژی خورشیدی، می‌تواند بخشی از نیازهای جوامع را در بخش‌های صنعتی و شهری تامین نماید، چنانچه اگر تنها ۰/۱٪ از انرژی خورشید روی زمین را بتوان

به با حدود ۱۰٪ بازده انرژی الکتریکی تبدیل کرد، ۳۰۰۰ گیگاوات می‌توان تولید کرد که چهار برابر بیش‌تر از انرژی مصرفی سالیانه در مقیاس جهانی است [۳].

میزان تابش دریافتی در مکانی روی سطح زمین در طول دوره زمانی مشخص با توجه به ویژگی‌های مکانی، فضایی، دمایی و فاکتورهای هواشناسی، مانند پستی و بلندی، عرض جغرافیایی، ساعات آفتاب، رطوبت، بارش و دمای هوا، تغییر می‌کند. کشور ایران یکی از مناسب‌ترین کشورهای جهان از نظر میزان دریافت انرژی تابشی خورشیدی می‌باشد به طوری که بر اساس برآوردها ایران به طور متوسط بیش از ۲۹۰۰ ساعت آفتابی در سال دارد. به عبارت دیگر در اکثر نقاط کشور بیش از ۳۰۰ روز آفتابی داریم [۴]. بنابراین باید با توجه به پتانسیل موجود کشور، برنامه ریزی‌های لازم به منظور بهره‌برداری از این منبع انرژی صورت گیرد. توسعه سیستم‌های مختلف انرژی خورشیدی و استفاده بهینه از آن‌ها در کشور نیازمند در اختیار داشتن اطلاعات تابش خورشیدی قابل اعتماد می‌باشد. اطلاعات تابش خورشیدی کشور توسط اطلس تابش خورشیدی توسط سازمان انرژی‌های نو (سانا) تهیه و نتایج این اطلس می‌تواند پتانسیل واقعی کشور را در استفاده از انرژی خورشیدی مشخص کند.

مدیریت سرزمین و استفاده بهینه از آن موضوع مهم دیگری است که امروزه به دلیل اهمیت منابع طبیعی و استفاده درست از آن‌ها مد نظر دولتمردان و متخصصان می‌باشد. اعتقاد بر این است که برای رسیدن به اهداف توسعه پایدار و منابع اقتصادی با کم‌ترین ریسک‌های زیست محیطی انتخاب مکان درست جهت احداث و ایجاد صنایع بسیار اهمیت دارد. تعیین مکان مناسب برای احداث نیروگاه، نیازمند شناسایی دقیق معیارهای فنی، اکولوژیکی و اقتصادی است که اکثر آنها ماهیت مکانی دارند. در اغلب پروژه‌های مکان‌یابی یا بررسی توان اکولوژیکی و برای ترکیب لایه‌های اطلاعاتی از نرم‌افزارهای مختلف سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده می‌شود. قابلیت سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS<sup>۱</sup> در ذخیره سازی، بازیابی، بهنگام سازی، پردازش، تجزیه و تحلیل و نمایش اطلاعات مکانی، استفاده از آن را به عنوان راه‌حلی مفید و کارآمد مطرح می‌نماید. هدف از نگارش این مقاله شناسایی شاخص‌های است که باید در ساخت نیروگاه‌های خورشیدی در ایران، با توجه به شرایط آب و هوایی و مکانی آن، باید در نظر گرفت. شناسایی عوامل مؤثر در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی و تعیین درجه اهمیت آن‌ها و استفاده از سامانه اطلاعات مکانی با استفاده از مقالات معتبر

<sup>۱</sup> Geographic Information System

منتشر شده در ژورنال‌های داخلی و خارجی صورت خواهد پذیرفت و دسته بندی شده ارائه خواهد گردید.

## ۲- پیشینه تحقیق

یوسفی و حافظ نیا (۱۳۹۵) [۵] در مقاله‌ای که با عنوان پتانسیل سنجی انرژی خورشیدی جهت تولید برق در کرانه‌های اقیانوسی جنوب شرق ایران که در همایش فرآوری پتانسیل های ژئوپولیتیکی توسعه در کرانه‌های اقیانوسی جنوب شرق ایران در تاریخ ۲۷ مهر ارائه نمودند، از روش فازی برای انتخاب مکان‌های مناسب برای استفاده تجهیزات خورشیدی استفاده کردند. تمامی داده‌ها در نرم افزارهای سیستم اطلاعات جغرافیایی آماده سازی و مورد پردازش قرار گرفتند. در نهایت، کل توان انرژی الکتریکی قابل استحصال از مکان‌های مناسب در منطقه محاسبه گردید که نشان از پتانسیل بالای کرانه‌های اقیانوسی جنوب شرق ایران در بهره‌مندی از انرژی‌های تجدیدپذیر است که می‌تواند موتور محرکی جهت توسعه صنعتی، اقتصادی و اجتماعی منطقه مکران باشد. در این تحقیق، معیارهای جدول ۱، جهت مشخص کردن میزان مطلوبیت اراضی محدوده مطالعاتی ارائه شده است؛ مناطق نامناسب، مناطقی هستند که در توابع فازی ارزش صفر خواهند داشت. مناطق خوب و خیلی خوب توسط توابع خطی و دوزنقه‌ای، بین مقدار صفر تا یک ارزش‌گذاری می‌شوند. احمدی و همکاران (۱۳۹۵) [۶]، در مطالعه‌ای 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)، محیط زیست (کاربری اراضی، رودخانه‌ها) و محیط انسانی (محدوده

مسکونی، راه‌ها) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل سلسله مراتبی در استان ایلام را تعیین کرده‌اند. در این تحقیق بر اساس نقش و اهمیت این فاکتورها آمار هر کدام از پارامترها در نرم‌افزار اکسل مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و نقشه هر کدام از معیارها در محیط GIS تهیه گردیده و وزن هر کدام از معیارها با روش فرآیند سلسله مراتبی AHP تعیین گردیده‌است. از محیط نرم‌افزار ArcGIS برای مدل‌سازی و تلفیق داده‌ها استفاده شده و نقشه احداث نیروگاه خورشیدی در چهار کلاس مختلف (ضعیف، متوسط، خوب و خیلی خوب) به دست آمده‌است. نتایج نشان داده‌است که پهنه‌هایی که در منطقه با توان خیلی خوب شناسایی شدند مساحتی حدود ۱۵۱۰۸۱۲۵۰۰ متر مربع را به خود اختصاص داده‌اند که مناطق جنوبی و غربی استان ایلام بهترین مکان‌ها جهت احداث نیروگاه خورشیدی هستند. نتایج همچنین نشان داده‌است که سیستم اطلاعات جغرافیایی به عنوان یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مدل انعطاف‌پذیری در مدل‌سازی داده‌های مکانی در انتخاب مکان مناسب نیروگاه خورشیدی است.

پیام شیخ آقایی (۱۳۹۳) [۷]، در پایان نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان امکان‌سنجی و پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با ملاحظات فنی اقتصادی و زیست محیطی در استان مرکزی، به بررسی استفاده از انرژی تجدیدپذیر خورشیدی و بهره برداری از آن با توجه به ملاحظات فنی، اقتصادی و زیست محیطی می‌پردازد. برای شناسایی مکان‌های مناسب از روش‌های معمول و رایج مکان‌یابی استفاده شده است که در جدول ۱ خلاصه شده، استفاده شده است:

جدول ۱- معیارهای مکانیابی نیروگاه خورشیدی برای تهیه نقشه‌های فازی [۵]

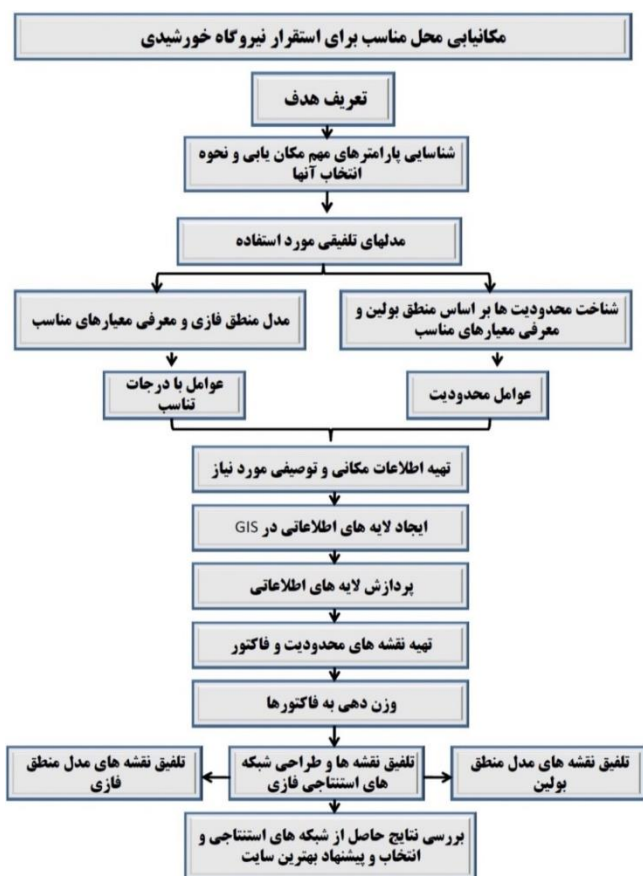
پارامترهای محدودیت	مناطق نامناسب	مناطق خوب	مناطق خیلی خوب	تابع
شیب زمین	بیشتر از ۱۰ درصد	بین ۳ تا ۱۰ درصد	کمتر از ۳ درصد	فازی - خطی
گسل‌های اصلی	کمتر از ۵۰۰ متر	بین ۵۰۰ متر تا ۱ کیلومتر	بیشتر از ۱ کیلومتر	فازی - خطی
ساحل دریا	کمتر از ۲ کیلومتر	بین ۲ تا ۵ کیلومتر	بیشتر از ۵ کیلومتر	فازی - خطی
مناطق شهری	کمتر از ۲ کیلومتر و بیشتر از ۴۵ کیلومتر	بیشتر از ۲۰ کیلومتر	بین ۲ تا ۲۰ کیلومتر	فازی - دوزنقه‌ای
مناطق روستایی	کمتر از ۵۰۰ متر و بیشتر از ۱۰ کیلومتر	بیشتر از ۷ کیلومتر	بین ۵۰۰ متر تا ۷ کیلومتر	فازی - دوزنقه‌ای
رودخانه‌های دائمی	کمتر از ۵۰۰ متر	بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر	بیشتر از ۲۰۰۰ متر	فازی - خطی
کاربری زمین (جنگل و فضای سبز، زمین‌های کشاورزی، تالاب‌ها)	کمتر از ۵۰۰ متر	بین ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر	بیشتر از ۲۰۰۰ متر	فازی - خطی

علیرضا موقری و تقی طاوسی (۱۳۹۲) [۸]، پژوهشی با هدف پهنه بندی و مکانیابی نقاط مستعد برای استقرار صفحات خورشیدی با تکیه بر فراسنج‌های اقلیمی در استان سیستان و بلوچستان انجام داده‌اند. در این تحقیق ابتدا لایه‌های مجموع 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 به عنوان مهم‌ترین عوامل اقلیمی موثر بر میزان تابش خورشیدی در محیط GIS تولید شده‌اند. در ادامه این لایه‌ها از طریق مدل همپوشانی وزنی با هم تلفیق شده و پهنه‌های مناسب جهت استقرار صفحات خورشیدی در استان سیستان و بلوچستان تهیه گردیده‌است.

حسنعلی فرجی سبکبار و همکاران (۱۳۹۲) [۹]، در پژوهشی مطالعه جامعی را در رابطه با شناسایی مناطق مستعد و با پتانسیل بالا برای احداث نیروگاه‌های فتوولتائیک در ایران ارائه کرده‌اند. برای انجام این پژوهش، در گام نخست پس از تعیین محدوده مورد بررسی، معیارهای مؤثر در پتانسیل‌سنجی به کمک مطالعات پیشین و روش دلفی استخراج شده‌است. در گام بعد، از روش دیتمل برای پیاده سازی ساختار شبکه و از مدل فرایند تحلیل شبکه‌ای نیز، برای وزن دهی معیارها استفاده شده‌است. در ادامه، روش فراابتکاری SAW-FIS برای تلفیق نتایج به کار گرفته شده و با دقت حدود 84 درصد، پتانسیل کلیه خشکی‌های ایران برای احداث مزارع فتوولتائیک مورد شناسایی قرار گرفته‌است.

یوسفی و همکاران (۱۳۹۱) [۱۰]، در تحقیقی که در نشریه انرژی ایران چاپ شده‌است با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره جهت انتخاب و اولویت‌بندی مکان‌های پیشنهادی و GIS به عنوان ابزاری قوی جهت پردازش داده‌ها، اطلاعات مفید و مورد نیاز را برای مدیریت بهینه منابع و امکانات جمع‌آوری کرده‌اند. در این راستا، پس از انتخاب پارامترهای مورد نیاز جهت مکانیابی، از منطق فازی به عنوان روشی جهت ارزش‌دهی به مناطق و تولید نقشه‌ها استفاده گردیده‌است. در انتها نیز توسط با

استفاده از روش Fuzzy TOPSIS گزینه‌های پیشنهادی اولویت‌بندی شده و بهترین مکان جهت احداث نیروگاه شناسایی گردیده‌است.



شکل ۱- خلاصه روش گردآوری، آماده سازی، و اجرای روش مطالعه [۷]

اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۰) [۱۱]، در پژوهشی که در همایش ژئوماتیک ارائه کرده‌اند، به پتانسیل‌سنجی استان خوزستان به لحاظ اقلیمی جهت یافتن منطقه یا مناطق مستعد و دارای 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 بهره برداری 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 یافت نهایتاً نقشه‌های مربوطه در محیط GIS تهیه و وزن دهی شده و با تلفیق نقشه‌های مذکور به روش وزنی، نقشه نهایی که نشان‌دهنده مناطق با پتانسیل مناسب جهت بهره‌برداری از انرژی

هدفه زنبور عسل (MBO) را ارائه شده‌است. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که روش ارائه شده موقعیت مطلوب مزرعه خورشیدی را با حداقل هزینه سوخت و آلودگی محیط‌زیست مشخص می‌کند.

رادمی و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۱۱) [۱۷]، در پژوهشی مکان‌یابی نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی را در غرب آفریقا انجام داده‌اند. نتیجه مقاله حاضر از ارزیابی پتانسیل نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی جهت تولید الکتریسیته در غرب آفریقا این است که در بررسی‌های انجام شده فقط ۱٪ از مساحت منطقه از لحاظ همه معیارها مناسب هستند و برای منطقه غرب آفریقا دارای حدود ۲۰،۱۶ گیگاوات توان ظاهری جهت برق توسط تکنولوژی‌های شلجمی بشقابی هستند. در ضمن باید وضعیت زیست پذیری این نیروگاه‌ها از جهت اقتصادی در منطقه بررسی شود.

عبدالهادی و رستم مملوک<sup>۵</sup> (۲۰۱۰) [۱۸]، در پژوهشی به بررسی منابع انرژی پرداخته و بیان داشته‌اند که منابع امروزه منابع فسیلی غیر قابل اعتماد است و به علت گرانی آن و افزایش میزان تقاضا باید به سمت انرژی‌های خورشیدی در کوتاه مدت رو بیاوریم. آنها با استفاده از منطق فازی انبوهی از داده‌ها را به مجموعه کوچکی که قابلیت تصمیم‌گیری در آن راحت‌تر است تبدیل کرده‌اند. بر اساس نتایج بدست آمده در این پژوهش بر اساس منطق فازی فناوری‌های فتوولتائیک 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<sup>۶</sup> (۲۰۱۰) [۱۹]، در مقاله‌ای که در مجله انرژی تجدیدپذیر<sup>۷</sup> به چاپ رسیده، با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم تصمیم‌گیری چند معیاره فازی به بررسی منابع باد و خورشید در ایالت کلرادو آمریکا پرداخته‌است. در این پژوهش با در نظر گرفتن معیارهای زیست محیطی، حمل و نقل،

خورشید است به دست آمده‌است. بر این اساس شهرهای بهبهان، رامهرمز و باغ ملک و منطقه کوچکی از شوشتر به عنوان مناطق مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی پیشنهاد شده‌است.

جهرمی و شعبانی‌نیا (۱۳۹۰) [۱۲]، در پژوهشی به مدل‌سازی و شناسایی نیروگاه خورشیدی شیراز پرداخته‌اند. در این مقاله نیروگاه خورشیدی معرفی و عملکرد سیکل روغن و مزرعه کلکتور آن تحلیل شده‌است. در سیکل روغن انرژی خورشیدی به انرژی گرمایی و سیکل بخار نیروگاه که بر مبنای بخار فوق اشباع می‌باشد، تولید برق می‌کند.

مقصودی (۱۳۸۵)، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از روش‌های تحلیل چندگانه از روش تحلیل پوشش داده‌ها استفاده کرد. نتایج این پژوهش نشان‌دهنده پتانسیل بالای شهرهای یزد، شیراز و بیرجند بوده‌است.

ابراهیمی قوام آبادی و فولادی دهقی (۱۳۸۲) [۱۳]، به بررسی کاربرد انرژی خورشیدی به عنوان یک انرژی تجدیدپذیر و سازگار با محیط‌زیست و نقش آن در پیش‌برد اهداف توسعه پایدار پرداخته‌اند. در این پژوهش محققان اعتقاد دارند که مصرف روز افزون منابع محدود سوخت‌های فسیلی و تأثیر مخرب آنها بر محیط‌زیست، توجه جهانیان را به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر معطوف ساخته‌است.

جمیل و انیس<sup>۱</sup> (۲۰۱۶) [۱۴]، یک رویکرد برای شناسایی اندازه بهینه و محل SPV (فتوولتائیک خورشیدی) بر اساس MLDG (مکان‌های متعدد تولید پراکنده) در سیستم توزیع اولیه، با هدف کاهش تلفات توان و بهبود پروفیل ولتاژ ارائه نموده‌اند.

تاهری<sup>۲</sup> و همکاران (۲۰۱۵) [۱۵]، نتیجه ترکیب ابزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) در ارزیابی و شناسایی مکان مناسب جهت پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر را ارائه کرده‌اند.

فوتراتاناساک و میاتاکه<sup>۳</sup> (۲۰۱۳) [۱۶]، مقاله‌ای با هدف به حداقل رساندن سوخت و هزینه‌های انتشار کلی سیستم با در نظر گرفتن انرژی تابشی خورشید در هر منطقه ارائه کرده‌اند. در این مقاله محل مطلوب و اندازه مزرعه خورشیدی با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی چند

<sup>۴</sup> E.W. Ramde, Y. Azoumah, A. Rungundu و G. Tapsoba

<sup>۵</sup> Abdulhadi and Rustum Mamlook

<sup>۶</sup> Jason R. Janke

<sup>۷</sup> Renewable Energy

<sup>۱</sup> Majid Jamil and Ahmed Sharique Anees

<sup>۲</sup> Meryem Tahri

<sup>۳</sup> Prakornchai Phonrattanasak and Masafumi Miyatake

### ۲-۳- نیروگاه‌های سهموی خطی<sup>۳</sup>

نیروگاه‌های حرارتی خورشیدی از نوع سیستم کلکتور سهموی خطی شامل ردیف‌های موازی و طولانی از متمرکز کننده‌ها می‌باشند. بخش متمرکز کننده شامل سطوح انعکاسی سهموی است که از جنس آینه‌های شیشه‌ای تشکیل شده و روی یک ماده سازه نگهدارنده قرار می‌گیرند. دریافت کننده از لوله‌های جاذب با پوشش مخصوص تشکیل شده که بوسیله شیشه پیرکس پوشانده می‌شوند و در طول خط کانونی قرار می‌گیرند. بخش دریافت کننده در قسمت‌های انتهایی روی دو تکیه‌گاه، قرار گرفته‌اند که این مجموعه روی تیرک‌های اصلی سازه سوار است. سیستم ردیابی خورشید در این دستگاه‌ها تک محوره بوده و ردیابی خورشید از شرق به غرب انجام می‌گیرد. به‌گونه‌ای که پرتوهای خورشید در تمام مدت ردیابی بر روی لوله‌های جاذب منعکس شوند. یک سیال انتقال حرارت روغن با دمای حدود ۴۰۰ درجه سانتیگراد از میان لوله‌های جاذب در جریان می‌باشد و روغن داغ در مبدل‌های حرارتی آب را به بخار تبدیل و بخار سوپرهیت طی عبور از توربین ژنراتور، انرژی الکتریکی تولید می‌کند. این نوع نیروگاه‌ها با ذخیره حرارت قابلیت تولید برق را حتی در مواقعی که خورشید غروب نموده است را دارا هستند.

### ۳-۳- نیروگاه‌های دریافت کننده مرکزی<sup>۴</sup>

این سیستم شامل مجموعه‌ای از آینه‌هایی است (هلیوستات) که هر یک به طور جداگانه انرژی خورشید را متمرکز و به برج دریافت کننده مرکزی منتقل می‌کنند. انرژی توسط یک مبدل حرارتی که در روی یک برج نصب شده‌است و گیرنده نامیده می‌شود جذب می‌شود. در آنجا آب به بخار سوپرهیت تبدیل شده و این بخار توربین ژنراتور را که در پایین برج نصب شده به حرکت در آورده و تولید برق می‌نماید.



شکل ۳- نیروگاه دریافت کننده مرکزی

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 می‌پردازد.

### ۳- نیروگاه‌های خورشیدی

به طور کلی نیروگاه‌های خورشیدی به ۶ دسته تقسیم‌بندی می‌گردند [۲۰]:

#### ۱-۳- سیستم‌های فتوولتائیک<sup>۱</sup>

به پدیده‌ای که در اثر تابش نور و بدون استفاده از مکانیزم‌های محرک الکتریسیته تولید کند، پدیده فتوولتائیک و به هر سیستمی که از این پدیده استفاده کند، سیستم فتوولتائیک می‌گویند. سیستم‌های فتوولتائیک یکی از رایج‌ترین کاربردهای انرژی‌های نو می‌باشد و تاکنون سیستم‌های گوناگونی با ظرفیت‌های مختلف (۵/۰ وات تا چند مگا وات) در سراسر جهان نصب و راه‌اندازی شده‌است. با توجه به قابلیت اطمینان و عملکرد این سیستم‌ها هر روزه بر تعداد متقاضیان آن‌ها افزوده می‌شود. از سری و موازی کردن سلول‌های خورشیدی می‌توان به جریان و ولتاژ قابل قبولی دست یافت. در نتیجه به یک مجموعه از سلول‌های سری و موازی شده صفحه<sup>۲</sup> فتوولتائیک گفته می‌شود. امروزه این گونه سلول‌ها عموماً از سیلیسیوم تهیه می‌شود. سیلیسیوم مورد نیاز از شن و ماسه تهیه می‌شود که در مناطق کویری ایران به فراوانی یافت می‌شود.



شکل ۲- سیستم فتوولتائیک

<sup>۳</sup> Parabolic Trough  
<sup>۴</sup> Central Receiver Systems

<sup>۱</sup> Photovoltaic  
<sup>۲</sup> Panel



### ۳-۴- نیروگاه‌های بشقابک سهموی<sup>۱</sup>

پرتوهای خورشید تابیده شده بر روی سطح متمرکز کننده سهموی در کانون آن جمع می‌شود. برای این‌که چنین سیستمی پر بازده باشد لازم است که این گردآورنده همواره به‌طرف خورشید ردیابی شود و در نتیجه به یک مکانیسم ردیابی دو محوره نیاز دارد. در این سیستم، نور خورشید در یک نقطه کانونی متمرکز می‌شود و یک موتور استرلینگ انرژی حرارتی این تشعشع تمرکز یافته را به انرژی مکانیکی تبدیل می‌کند و به کمک یک آلترناتور از این انرژی مکانیکی، الکتریسیته تولید می‌گردد.

### ۳-۵- نیروگاه‌های دودکش خورشیدی<sup>۲</sup>

نیروگاه دودکش خورشیدی، یک نیروگاه خورشیدی است که از ترکیب کلکتورهای هوای خورشیدی و برج هدایت کننده هوا برای تولید جریان هادی القایی هوا استفاده می‌کند و این جریان هوا موجب چرخش توربین‌های پله‌ای فشار و در نهایت تولید برق توسط ژنراتور می‌شود.



شکل ۴- نیروگاه‌های دودکش خورشیدی

### ۳-۶- نیروگاه‌های کلکتورهای فرنل<sup>۳</sup>

در این گونه نیروگاه‌ها از کلکتور فرنل برای متمرکز کردن نور خورشید روی لوله گیرنده استفاده می‌شود. در این نیروگاه همانند نیروگاه‌های سهموی خطی، کلکتورها به صورت خطی و در جهت شمال جنوب نصب می‌شوند. کلکتورهای آن تعداد زیادی آینه تخت با پهنای کم و طول زیاد هستند که کنار هم دیگر قرار می‌گیرند. زاویه قرارگیری هر کدام از آینه‌ها به‌صورتی است که بازتاب نور

خورشید را روی بخش دریافت کننده متمرکز کنند. در بخش دریافت کننده یک بازتاب دهنده ثانویه از نوع جفت سهموی قرار دارد که بازتاب آینه‌ها را جمع آوری کرده و روی لوله گیرنده می‌تاباند. با گرم شدن لوله گیرنده سیال داخل آن گرم می‌شود. عملکرد نیروگاه‌های خورشیدی از این دست ممکن است به دو صورت باشد در سیستم‌های متداول سیال عامل داخل لوله گیرنده روغن است که پس از داغ شدن به مبدل‌های حرارتی منتقل شده و سپس موجب تولید بخار می‌شود. اما در نوع دیگر که نوع بخار مستقیم<sup>۴</sup> نامیده می‌شود طول کلکتورها بیش از یک صد متر می‌باشد. از یک طرف لوله دریافت کننده آب وارد شده و از طرف دیگر بخار خارج می‌شود و نیازی به سیستم‌های جانبی اضافی نیست.

### ۴- فرایند مکان‌یابی یا ارزیابی توان سرزمین

مکان‌یابی فعالیتی است که استعدادهای فضایی و غیرفضایی محدوده مطالعه شده را شناسایی می‌کند و امکان انتخاب مکان مناسب برای کاربری خاص را فراهم می‌آورد. هر مکان با توجه به شاخص‌های زیست‌محیطی، اجتماعی-اقتصادی و فنی دارای پتانسیل‌ها و توان‌هایی است. از طرف دیگر، هر کارکرد و کاربری نیاز به شرایط خاصی دارد. بنابراین، بسته به نوع کارکرد مورد نظر باید شاخص‌ها یا معیارهایی تعیین شوند تا توان مکان با توجه به آن بررسی شود. این شاخص‌ها و معیارها بسته به نوع کاربرد متفاوت هستند، اما همه آن‌ها در جهت انتخاب مکان مناسب همسو می‌شوند؛ استفاده از این شاخص‌ها نیاز به داشتن اطلاعات صحیح و کامل از مکان دارد و دستیابی به اطلاعات نیازمند تحقیقات گسترده و جامع است.

تئوری مکان‌یابی، عبارت است از مطالعه تأثیرات فضا بر روی سازمان فعالیت‌های اقتصادی، و بخشی از بدنه دانش مکان‌گزینی فعالیت‌های مختلف یا تخصیص منابع مختلف برای رسیدن به تعامل فضایی مطلوب است. در همین راستا، تئوری مکان‌گزینی صنعتی، کوشش می‌کند که براساس واقعیات موجود و عوامل اصلی مکان‌گزینی صنعتی، قوانین عمومی را ارائه دهد که ساختار موجود مکان‌گزینی فعالیت‌های صنعتی را تبیین کرده و یا مکان بهینه‌ی فعالیت یا واحد صنعتی را مشخص نماید. همچنین، تئوری

<sup>۱</sup> Parabolic Dish

<sup>۲</sup> Solar Chimney

<sup>۳</sup> Fresnel Collector

<sup>۴</sup> Direct steam

مکان‌گزینی صنعتی بر آن است که چگونگی ارتباط عوامل و متغیرهای مؤثر بر مکان‌گزینی صنایع را روشن کرده و به سؤال مربوط به بهترین محل استقرار فعالیت صنعتی در شرایط معین پاسخ دهد. بنابراین، در حالت کلی می‌توان گفت تئوری‌های مکانی بر آن است که چگونگی ارتباط عوامل و متغیرهای مؤثر بر مکان‌یابی را روشن نموده و به سؤال مربوط به بهترین محل استقرار فعالیت‌ها در شرایط معین پاسخ دهد که این امر از مکانی به مکان دیگر و کشوری به کشور دیگر می‌تواند متفاوت باشد [۲۱].

## ۵- ارزیابی توان اکولوژیک در ایران

بهره‌برداری بهینه و اصولی از منابع طبیعی سرزمین و سامان‌دهی کاربری اراضی بر اساس توان طبیعی (اکولوژیکی) آن، نقش مهمی در مدیریت محیط، جلوگیری از تخریب محیط‌زیست در راستای توسعه پایدار دارد. ارزیابی توان اکولوژیکی یکی از روش‌های تعیین کاربری‌های بهینه اراضی است که در آن ابتدا با تهیه نقشه یگان‌های زیست‌محیطی که از تلفیق نقشه‌های طبقات ارتفاعی، شیب، جهت شیب، خاک و پوشش گیاهی بدست می‌آید و سپس با تجزیه و تحلیل سیستمی عوامل پایدار و ناپایدار اکولوژیکی سرزمین، توان انواع کاربری‌ها، ارزیابی می‌گردد. با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی، نقشه یگان‌های زیست محیطی حوزه‌های آبخیز واحد‌ها تهیه و پس از تلفیق نقشه‌های لازم و بهنگام شدن آن‌ها با استفاده از مقایسه مدل‌های ریاضی، کاربری‌های کشاورزی، مرتعداری، جنگلداری، توسعه شهری و روستایی، تفرج متمرکز، تفرج گسترده، آبروی‌پروری و حفاظت با یگان‌های زیست‌محیطی، توان اکولوژیکی واحدهای مذکور ارزیابی و طبقه‌بندی می‌شوند. پس از ارزیابی توان اکولوژیکی کاربری‌ها، برای انتخاب بهترین گزینه‌ها در واحد سرزمین و سامان‌دهی کاربری‌ها، تعیین اولویت کاربری‌ها انجام می‌پذیرد و نقشه‌های طبقه‌بندی توان کاربری مختلف تهیه می‌گردد. چنانچه هدف تعیین مکان مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی باشد با مقایسه معیارها در کاربری‌ها، بهترین مکان‌ها انتخاب می‌شوند.

## ۶- ابزارهای مکان‌یابی

برای مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی نیاز به ابزارها و داده‌های گوناگونی می‌باشد. برای مثال از انواع نقشه‌ها مانند

نقشه توپوگرافی، آمارهای ماهانه و سالیانه اقلیمی و همچنین نرم افزار GIS برای انجام تحقیق استفاده می‌شود. داده‌ها و آمارهای مورد نیاز از سال‌نامه‌های آماری سازمان هواشناسی برای مدت ۳۰ سال اخذ می‌گردد. در محیط نرم افزار GIS موقعیت ایستگاه‌ها با توجه به مختصات جغرافیایی آن‌ها به نقشه توپوگرافی اضافه می‌شود و پایگاه داده مربوطه تشکیل می‌گردد. برای تهیه نقشه پارامترهای اقلیمی ابتدا لایه‌های مربوط به هر پارامتر با استفاده از روش درون‌یابی و سپس یک وزن درون لایه‌ای تعریف می‌شود. بدین ترتیب که هر لایه به چندین کلاس طبقه‌بندی شده و هر طبقه با توجه به اهمیت آن وزن‌دهی شده و نقشه فاکتور مربوط به آن نیز تهیه می‌شود. سپس برای به دست آوردن نقشه نهایی که نشان‌دهنده مناطق با پتانسیل می‌باشد، یک وزن بین لایه‌ای با توجه به اهمیت و اثرگذاری هر یک از لایه‌ها اعمال می‌گردد. سپس با تلفیق لایه‌های وزن‌دهی شده، نقشه مناطق هم پتانسیل که نشان‌دهنده مناطق دارای پتانسیل بالا جهت احداث نیروگاه می‌باشد به دست می‌آید.

## ۷- انواع مکان‌یابی و تلفیق لایه‌ها

هدف از این بخش ارائه مدل‌های متداول در GIS است که نشان می‌دهد که چگونه می‌توان نقشه‌های فاکتور مختلف را در محیط GIS با هم تلفیق نمود. در حالت کلی یک مدل GIS را می‌توان به صورت فرآیند ترکیب یک سری نقشه‌های ورودی به کمک یک تابع به منظور تهیه یک نقشه خروجی فرض نمود. اصول محیط فیزیکی، زیست‌محیطی، فنی و اجتماعی اقتصادی حاکم بر موقعیت محل‌های دفن بهداشتی زائدات خانگی و صنعتی در بیشتر موارد پیچیده‌تر از آن است که بتوان از یک نظریه بیان شده به طور ریاضی برای مکان‌یابی آن‌ها استفاده نمود. در این قسمت تعدادی از مدل‌های تلفیق نقشه‌ها که برای اجراء در GIS مناسب هستند و در مکان‌یابی‌ها به کار گرفته شده‌اند، بررسی و مدل‌های مناسب جهت محل دفن زائدات صنعتی تعیین می‌گردد. به طور کلی این مدل‌ها متکی بر داده‌ها<sup>۱</sup> و یا متکی بر دانش کارشناسی<sup>۲</sup> می‌باشند. مدل‌های تلفیق نقشه عبارتند از:

<sup>۱</sup> data driven

<sup>۲</sup> knowledge driven



## ۷-۱- مدل منطق بولین<sup>۱</sup>

ساده‌ترین و شناخته شده ترین مدل GIS بر اساس عملیات منطقی بولین می‌باشد. در این روش نقشه‌های ورودی با استفاده از عملگرهای (AND, OR) اشتراک و اجتماع منطقی) ترکیب می‌شوند. نقشه خروجی به صورت نقشه باینری می‌باشد. به عبارت دیگر هر موقعیت از نقشه خروجی به صورت صفر و یک بیان می‌گردد. مزیت و امتیاز بولین سهولت و سادگی آن است و کلیه فاکتورها دارای یک ارزش هستند و در یک مرحله با هم ترکیب می‌شوند و مناطق انتخاب شده در نقشه خروجی را نمی‌توان بر اساس درجه قابلیت سازگاری مرتب نمود.

## ۷-۲- مدل وزن‌های نشانگر<sup>۲</sup>

روش وزن‌های نشانگر به ترکیب مجموعه داده‌ها از دیدگاه احتمالات می‌پردازد. در این روش مانند سایر روش‌های تلفیق نقشه، نقشه‌های فاکتور توسط مدل مفهومی و دانش کارشناسی تعیین می‌گردند. بعد از تعیین فاکتورها، با استفاده از محل‌های موفق موجود و روش‌های آماری که مبتنی بر قانون بیز می‌باشند، لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز (فاکتورها) وزندهی و نقشه‌های فاکتور موردنیاز تهیه می‌گردند.

## ۷-۳- مدل همپوشانی شاخص<sup>۳</sup>

در این روش به هر کلاس از هر نقشه یک وزن متفاوت منتسب می‌شود. این کار باعث می‌شود که سیستم وزن‌دار کردن قابل انعطاف‌تر باشد. در این روش به منظور تلفیق نقشه‌های فاکتور (نقشه‌های چند کلاسه) از رابطه (۱) استفاده می‌شود.

$$S_j = \frac{\sum W_i S_{ij}}{\sum W_i} \quad (1)$$

در این رابطه  $W_i$  وزن  $i$  امین نقشه،  $S_{ij}$  وزن  $j$  امین کلاس از  $i$  امین نقشه و  $S_j$  وزن  $j$  امین کلاس در نقشه خروجی می‌باشد. روش همپوشانی شاخص امکان ترکیب قابل انعطاف پذیرتر نقشه‌های فاکتور را در مقایسه با عملیات منطقی بولین فراهم می‌سازد [۲۲].

## ۷-۴- مدل منطق فازی<sup>۴</sup>

یک مجموعه فازی مجموعه‌ای است که درجات عضویت اعضاء آن می‌تواند به‌طور پیوسته از [۰ و ۱] اختیار شود این مجموعه به‌طور کامل توسط یک تابع عضویت که با  $\mu_A(X)$  نشان داده می‌شود مشخص می‌شود. تابعی که به هر عنصر از  $X$ ، یک عدد از بازه [۰ و ۱] به عنوان درجه عضویت آن عنصر در مجموعه فازی  $A$  نسبت می‌دهد. نزدیکی مقدار  $\mu_A(X)$  به عدد یک نشانگر تعلق بیشتر  $X$  به مجموعه فازی  $A$  و بالعکس نزدیکی آن به صفر نشان‌دهنده تعلق کمتر  $X$  به  $A$  است. بیان عضویت در مجموعه فازی به‌صورت درجات توابع عضویت<sup>۵</sup>، حساسیت به خطای لایه‌ها و اشتباهات کارشناسی در تعیین حدها را کم کرده و اثرات تغییر پارامترها را نیز در نظر می‌گیرد و از افت و از بین رفتن اطلاعات که در روش بولین وجود دارد، جلوگیری می‌کند [۲۳]. در مجموعه‌های فازی، هر عنصری عضو تمام مجموعه‌های عالم است و تنها درجه عضویت آن به مجموعه‌های مختلف فرق می‌کند. لذا برخلاف مجموعه‌های کلاسیک که درجه عضویت یک عنصر به یک مجموعه صفر یا یک است، در این حالت درجه عضویت می‌تواند هر عددی بین صفر و یک باشد.

توابع ریاضی مورد نیاز در فرآیند فازی کردن نقشه‌های مربوط به معیارها، در جدول ۲ آمده‌است. با استفاده از این روابط، درجه عضویت هر یک از پیکسل‌های محدوده‌های مورد مطالعه محاسبه می‌گردد. درجه عضویت، اهمیت نسبی هر یک از پیکسل‌های نقشه‌های رستری را بر مبنای آن پارامتر مشخص می‌کند.

## ۷-۵- مدل ترکیب خطی وزندار<sup>۶</sup>

این روش رایج‌ترین تکنیک در تحلیل ارزیابی و تصمیم‌گیری چند معیاره و مکانیابی‌ها است. این تکنیک روش ساده وزندهی جمع‌پذیر و روش امتیازدهی نیز نامیده می‌شود و بر مبنای مفهوم میانگین وزنی استوار است [۲۴]. در این روش پس از تعیین وزن‌های معیارها استاندارد شده، از طریق ضرب کردن وزنی نسبی در مقدار آن خصیصه یک مقدار نهایی بدست می‌آید. مقدار هر آلترناتیو ( $A_i$ ) را به وسیله رابطه زیر محاسبه می‌کنند.

<sup>۴</sup> Fuzzy Logic Models  
<sup>۵</sup> Membership Function  
<sup>۶</sup> Weighted Linear Combination

<sup>۱</sup> Boolean Logical Model  
<sup>۲</sup> Weight of Evidence Method  
<sup>۳</sup> Index Overlay Models

$$A_i = \sum W_j \cdot X_{ij} \quad (2)$$

در رابطه بالا  $X_{ij}$  مقدار  $i$  امین آلترناتیو در رابطه با  $j$  امین ج می باشد ( $i$  نماد آلترناتیو و  $j$  نماد خصیصه است)، و وزن  $j$  با نماد  $W_j$  نشان داده شده است، که یک وزن

استاندارد شده است. به طوری که مجموع وزن‌های تمام خصیصه‌ها با هم برابر یک شود. این وزن‌ها اهمیت نسبی هر معیار (خصیصه) را نشان می‌دهند.

$$\sum w_i = 1 \quad (3)$$

جدول ۲- روابط ریاضی توابع فازی در مکانیابی نیروگاه‌های خورشیدی [۵]

رابطه ریاضی	تابع
$\text{linear}(a, b) \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x < b \\ 1 & x \geq b \end{cases}$	خطی - صعودی
$\text{linear}(a, b) \begin{cases} 1 & x \leq a \\ \frac{x-b}{a-b} & a < x < b \\ 0 & x \geq b \end{cases}$	خطی - نزولی
$\text{Trapezoidal}(a, b, c, d) \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a} & a < x < b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c} & c < x < d \\ 0 & x \geq d \end{cases}$	ذوزنقه‌ای

می‌رسد تابش خورشید و انرژی دریافتی از آن مهم‌ترین معیار باشد اغلب به دلیل مقدار ثابت آن نقشه کاملاً ساده و با یک وزن وارد مدل می‌گردد. جدول ۴ نحوه کلاس‌بندی لایه‌ها و محدودیت‌های آن‌ها را نشان می‌دهد.

## ۸- معیارهای مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی

همان‌گونه که در قسمت‌های قبلی عنوان گردید پروژه‌ها و فعالیت‌های علمی زیادی در موضوع انتخاب مکان مناسب احداث انواع نیروگاه‌های خورشیدی در ایران و جهان انجام شده و مقالات متعددی به چاپ رسیده‌است. تلاش نگارندگان بر این بود تا با بررسی اغلب این آثار و مقایسه با شرایط اقلیمی و اکولوژیکی ایران به یک وحدت رویه در مورد اجرای این پروژه‌ها که اخیراً بعد از رفع تحریم‌ها در سال ۱۳۹۴ شتاب بیشتری گرفته‌اند در پیش بگیرند و مدل مفهومی کاملی را ارائه نمایند. حاصل این تلاش در جدول شماره یک خلاصه شده‌است. به عبارت دیگر جدول ۳ معیارهای اصلی مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی در ایران را نشان می‌دهد.

در این جدول هیچ اولویت بندی در مورد معیارهای مکانی صورت نپذیرفته‌است. اگرچه در عمل این موضوع باید صورت پذیرد ولی اولویت‌بندی‌ها در هر پروژه بسته به محل پروژه می‌تواند متفاوت باشد. مثلاً با این‌که به نظر

جدول ۳- معیارها و دلایل اهمیت آن‌ها در مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی در ایران

کلاس	زیر کلاس	معیار	متغیر در لایه	دلیل اهمیت	
عوامل فیزیکی	شکل زمین	ارتفاع	ارتفاع از سطح دریا	کاهش هزینه‌ها و امکان احداث	
		شیب	درصد شیب زمین		
عوامل فیزیکی	زمین شناسی و خاک شناسی	پایداری زمین	تیپ سنگ شناسی و خاک شناسی	تامین امنیت و کاهش هزینه‌های بازسازی و تعمیر و کاهش گرد و غبار	
		گسل و معدن	محل گسلها و معادن منطقه		
		شنزار	مناطق و تپه های شنی		
عوامل بیولوژیکی	پوشش گیاهی و کاربری زمین	جنگل	محل و اطلاعات توصیفی مناطق جنگلی، باغات و زمین‌های زراعی	افزایش میزان دریافت انرژی خورشیدی	
		باغ			
		زمین زراعی			
عوامل بیولوژیکی	محدوده‌های آبی	دریا، دریاچه و تالاب	اطلاعات توصیفی منابع آبی و شناسایی نقاط سیل خیز، رودخانه‌های اصلی و دائمی، محل باتلاق‌ها و مرداب‌ها	تامین امنیت سازه‌های نیروگاهی	
		مسیل			
		رودخانه			
		باتلاق و مرداب			
عوامل اقتصادی، اجتماعی	محدوده زیست‌محیطی	مناطق حفاظت شده	اطلاعات توصیفی مناطق ۴ گانه	حفاظت از محیط زیست طبیعی	
		محدوده‌های جمعیتی	محل و اطلاعات توصیفی شهرها و روستاها و مناطق مسکونی	افزایش امنیت و جلوگیری از مشکلات زیبا شناختی	
عوامل اقتصادی، اجتماعی	راه‌های ارتباطی	آزادراه و بزرگراه	اطلاعات توصیفی جاده‌های اصلی، فرعی و خطوط راه‌آهن	سهولت در دسترسی به محل و کاهش هزینه‌های حمل تجهیزات	
		راه‌های محلی			
		راه آهن			
عوامل فنی	انتقال نیرو	خطوط انتقال نیرو	اطلاعات توصیفی محل خطوط انتقال نیرو	کاهش هزینه‌های انتقال نیرو	
		پست برق	خطوط انتقال نیرو		
زیرساخت‌ها	تاسیسات خاص	میزان تابش دریافتی	میزان انرژی دریافتی از خورشید	افزایش راندمان دریافت انرژی	
		فرودگاه‌ها	محل و اطلاعات توصیفی فرودگاه آب بند، سد، پالایشگاه شهرکهای صنعتی و کارخانجات منطقه مورد مطالعه	تامین امنیت سازه و افزایش راندمان دریافت انرژی	
					آب‌بندها و سدها
					پالایشگاه‌ها و خطوط انتقال نفت و گاز
نیروگاه‌ها					

جدول ۴- مطلوبیت ها و محدودیت ها در مکانیابی نیروگاه‌های خورشیدی جهت تهیه نقشه محدودیت [۴]

پارامتر	نقشه محدودیت	مناطق نامناسب (کلاس ۰)	مناطق مناسب (کلاس ۱)	منبع
ارتفاع	نقشه محدودیت ارتفاع از سطح دریا (متر m)	$X > 2000$	$X < 2000$	۲۵
شیب	نقشه محدودیت درصد شیب منطقه (%)	$X > 10$	$X < 10$	۲۶
گسل اصلی	نقشه محدودیت فاصله از گسل اصلی (m)	$X < 1000$	$X > 1000$	۲۷
گسل فرعی	نقشه محدودیت فاصله از گسل فرعی (m)	$X < 500$	$X > 500$	۲۷
معادن فعال	نقشه محدودیت فاصله از معادن فعال (m)	$X < 1000$	$X > 1000$	۲۷
معادن متروکه	نقشه محدودیت فاصله از معادن متروکه (m)	$X < 500$	$X > 500$	۲۷
میزان دریافت انرژی خورشیدی	نقشه محدودیت انرژی دریافتی ( $kwh/m^2/day$ )	$X < 4/5$	$X > 4/5$	۲۶
مناطق جنگلی و کشاورزی	نقشه محدودیت مناطق جنگلی و کشاورزی	داخل منطقه	خارج از منطقه	۲۷
دریا، دریاچه و تالاب	نقشه محدودیت فاصله از منابع آبی (متر m)	$X < 1000$	$X > 1000$	۲۷، ۲۸
مسیل	نقشه محدودیت فاصله از نقاط سیل خیز (متر m)	$X < 1000$	$X > 1000$	۲۶، ۲۷
رودخانه‌های دائمی و فصلی	نقشه محدودیت فاصله از رودخانه ها (متر m)	$X < 500$	$X > 500$	۲۶، ۲۷
باتلاق و مرداب	نقشه محدودیت فاصله از باتلاق و مرداب (متر m)	$X < 1000$	$X > 1000$	۲۶، ۲۷
مناطق حفاظت شده	نقشه محدودیت فاصله از مناطق حفاظت شده (متر m)	$X < 2000$	$X > 2000$	۲۷
خطوط انتقال نیرو	نقشه محدودیت مسیر خطوط انتقال نیرو (m)	$X < 100$	$X > 100$	۲۷
حداقل فاصله از خطوط انتقال نفت و	نقشه محدودیت مسیر خطوط انتقال انتقال نفت و گاز (m)	$X > 500$	$X < 500$	۲۷
شن‌زار (ساحلی و غیر)	نقشه محدودیت شن‌زار رودخانه‌ای و خشکی	داخل محدوده	خارج محدوده	۲۷
محدوده شهر	نقشه محدودیت فاصله از حریم شهرها (متر m)	$X < 2000$	$X > 2000$	۲۷، ۲۸
محدوده روستا	نقشه محدودیت فاصله از حریم روستاها (متر m)	$X < 500$	$X > 500$	۲۷، ۲۸
آزادراه ها و بزرگراه ها	نقشه محدودیت فاصله از راههای اصلی (متر m)	$X < 2000$	$X > 2000$	۲۷، ۲۸
راه آسفالتی درجه ۲	نقشه محدودیت فاصله از راههای فرعی (متر m)	$X < 500$	$X > 500$	۲۷، ۲۸
راه درجه ۳	نقشه محدودیت فاصله از کوره راهها	$X < 100$	$X > 100$	۲۷، ۲۸
راه آهن	نقشه محدودیت فاصله از خطوط راه آهن (متر m)	$X < 250$	$X > 250$	۲۷، ۲۸
فرودگاه‌های محلی	نقشه محدودیت فاصله از فرودگاه‌های محلی (متر m)	$X < 2500$	$X > 2500$	۲۷، ۲۸
فرودگاه‌های نظامی	نقشه محدودیت فاصله از فرودگاه‌های نظامی (متر m)	$X < 1500$	$X > 1500$	۲۷، ۲۸
تاسیسات خاص	نقشه محدودیت بافر زیر ساخت‌ها	داخل منطقه	خارج از منطقه	۲۵، ۲۹

## ۹- نتیجه‌گیری

مسائل متعددی در زمینه مکان و تکنولوژی را در نظر گرفت. انتخاب مکان مناسب برای نصب و استفاده از این تکنولوژی‌ها یکی از مهم‌ترین مسائلی است که بایستی در مراحل اولیه پروژه بررسی شود. برای این منظور شناسایی معیارها و شاخص‌های موثر در مکان‌یابی و همچنین شناسایی محدودیت‌های مکانی از اهمیت بسیاری برخوردار است.

امروزه گسترش منابع انرژی‌های تجدیدپذیر امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است. انرژی خورشیدی از پاک‌ترین، قابل دسترس‌ترین و ارزان‌ترین انرژی‌های جهان است که استفاده از آن اثرات سوء زیست محیطی کمتری از خود بر جای می‌گذارد. برای بهره‌مندی از این منبع پاک بایستی

نقشه پتانسیل خورشیدی، کاربری و نوع پوشش زمین، فاصله از خطوط انتقال نیرو و جاده‌های دسترسی است. در نهایت کلاس بندی معیارها و دلایل اهمیت آن‌ها در جدول (۱) و محدودیت‌های مربوط به هر معیار و معرفی مناطق مطلوب در جدول (۲) آورده شده است. این اطلاعات به همراه اطلاعات دیگر در نقشه‌های رقومی وارد شده و سپس با استفاده از مدل‌های روی هم گذاری نقشه‌ها در محیط GIS مکان مناسب آن انتخاب می‌گردد.

در این مقاله با مطالعه تعدادی از مقالات ارائه شده در زمینه مکان‌یابی و بررسی معیارهای مکان‌یابی ارائه شده در این مقالات، شاخص‌های اصلی و کاربردی در انتخاب مکان مناسب جهت نصب سیستم‌های خورشیدی و همچنین محدودیت‌های آن‌ها شناسایی و برای کشور ایران بومی سازی و ارائه شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که مهم‌ترین معیارها برای این موضوع در ایران، ساعات آفتابی، ابرناکی، گرد و خاک، رطوبت نسبی، ارتفاع،

## مراجع

- [1] Williams, D. R. (2013). "Sun Fact Sheet". NASA Goddard Space Flight Center. Retrieved 12 August 2013. <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/sunfact.html>.
- [2] "Introduction to Solar Radiation". Newport Corporation. Archived from the original on Oct 29, 2013.
- [3] Smit, A. (2013), "The Climate Bonus: Co-benefits of Climate Policy", Oxon, Taylor & Francis Group LLC.
- [۴] مجید سلطان محمدی، (۱۳۹۱). "استفاده از تصمیم‌گیری‌های چند معیاره جهت مکان‌یابی مناطق مستعد استقرار نیروگاه خورشیدی توسط سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی.
- [۵] حسین یوسفی، حامد حافظ نیا و فاطمه راضی آستارایی، (۱۳۹۵). "پتانسیل سنجی انرژی خورشیدی جهت تولید برق در کرانه‌های اقیانوسی جنوب شرق ایران"، همایش فرآوری پتانسیل‌های ژئوپولیتیکی توسعه در کرانه‌های اقیانوسی جنوب شرق ایران، ۲۷ مهر ۱۳۹۵، تهران.
- [۶] هدی احمدی، جعفر مرشدی و فریده عظیمی، (۱۳۹۵). "مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از داده‌های اقلیمی و سامانه اطلاعات مکانی"، نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، بهار ۱۳۹۵.
- [۷] پیام شیخ‌آقایی، (۱۳۹۳). "امکان‌سنجی و پتانسیل سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با ملاحظات فنی اقتصادی و زیست‌محیطی در استان مرکزی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی انرژی، دانشگاه تهران.
- [۸] علیرضا موقری و تقی طاوسی، (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 ۱۳۹۲، صفحات ۹۹-۱۱۴.
- [۹] حسنعلی فرجی سبکبار، هادی پاک‌طینت مهدی‌آبادی، اشکان رحیمی‌کیان و غدیر عشورنژاد، (۱۳۹۲). "تناسب سنجی اراضی به منظور احداث مزارع فتوولتائیک به کمک تلفیق سیستم‌های جمع‌ساده‌وزنی و استنتاج فازی در ایران"، پژوهش‌های جغرافیایی طبیعی، سال ۴۵، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۲، صفحات ۴۵-۶۰.
- [۱۰] حسین یوسفی، یونس نورالهی، مجید سلطان محمدی و رضا ارجمندی، (۱۳۹۱). "کاربرد منطق فازی و FTOPSIS جهت مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از GIS"، نشریه انرژی ایران دوره پانزدهم زمستان ۱۳۹۱ شماره ۴.
- [۱۱] علی اسفندیاری، کاظم رنگزن، عظیم صابری و مهدی فتاحی مقدم نوقایی، (۱۳۹۰). "پتانسیل سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از GIS"، هجدهمین همایش و نمایشگاه ملی ژئوماتیک ۹۰ و گردهمایی کمیته II انجمن بین‌المللی ISPRS.
- [۱۲] حسین مهربان جهرمی و فریدون شعبانی‌نیا، (۱۳۸۵). "معرفی پارامترهای مؤثر در ارزیابی سیستم‌های عملیات از راه دور"، فصلنامه آموزش مهندسی ایران، شماره ۳۶، سال نهم، ص ۱۱۱-۱۳۲.
- [۱۳] لایلا ابرهیمی‌قوام‌آبادی و بهزاد فولادی دهقی، (۱۳۸۲). "کاربرد انرژی خورشیدی به عنوان یک انرژی تجدیدپذیر و سازگار با محیط زیست و نقش آن در پیشبرد اهداف توسعه پایدار"، سومین همایش بین‌المللی بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان.

- [14] M. Jamil and A. S. Anees, "Optimal sizing and location of SPV (solar photovoltaic) based MLDG (multiple location distributed generator) in distribution system for loss reduction, voltage profile improvement with economical benefits," *Energy*, vol. 103, pp. 231–239, 2016.
- [15] M. Tahri, M. Hakdaoui, and M. Maanan, "The evaluation of solar farm locations applying Geographic Information System and Multi-Criteria Decision-Making methods: Case study in southern Morocco," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 51, pp. 1354–1362, 2015.
- [16] P. Phonrattanasak, M. Miyatake, and O. Sakamoto, "Optimal location and sizing of solar farm on Japan east power system using multiobjective Bees algorithm," 2013 IEEE Energytech, *Energytech 2013*, no. 1, 2013.
- [17] E.W. Ramde, Y. Azoumah, A. Rungundu, G. Tapsoba, (2011). "Solar Thermal Power Plants in West Africa: Site Selection and potential assessment", April 2011.
- [18] 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.
- [19] Jason R. Janke, (2010). "Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado", *Renewable Energy*.
- [۲۰] سازمان انرژی های نو (سانا)، <http://www.sun.org.ir>.
- [۲۱] هوشنگ رستم پور، (۱۳۷۶). "مکان‌گزینی فعالیت های صنعتی و تجاری در ایران. پژوهش موردی بوشهر"، دانشگاه تربیت مدرس.
- [22] Bonham Carter, G. F., (1997), "Geographic Information System for Geoscientists: Modelling With GIS. Delta Printing Ltd"
- [۲۳] عباس علی محمدی، جزوه درس پایگاه داده‌های رقومی، ۱۳۷۸.
- [24] Malczewski J., (1999). "GIS and Multicriteria Decision Analysis". Willy and Sons.
- [۲۵] معاونت امور انرژی، دفتر برنامه ریزی، گروه مطالعات اقتصادی، ۱۳۷۴، بررسی اقتصادی نیروگاه های حرارتی خورشیدی در مقایسه با سایر نیروگاه ها در کشور.
- [۲۶] مجید مخدوم، چاپ هفتم ۱۳۸۵، شالوده آمایش سرزمین، انتشارات دانشگاه تهران
- [27] Janke. Jason R,( 2010), "Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado", *Renewable Energy* 35, 2228-2234.
- [28] Coase, R., (1994), "The Problem of Social Cost", *Reading in microeconomics*3, ch. 33, p.p. 484-518.
- [۲۹] معاونت امور برق و انرژی، ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷، دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی، وزارت نیرو جمهوری اسلامی ایران، چاپ بهمن ۱۳۸۹.