

قابلیت سنجی اقلیمی به منظور احداث نیروگاه‌های برق خورشیدی در استان فارس به روش Fuzzy overlay و AHP با استفاده از GIS

علی اصغر عبداللهی^۱

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۰۷/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۰۶/۳۱

چکیده

انرژی‌های تجدیدپذیر شامل منابع متنوع و مختلفی بوده که از انرژی‌های طبیعی و قابل دسترس به وجود می‌آیند. ضرورت سالم نگهداشتن محیط زیست ضرورت استفاده از انرژی‌های پایدار بخصوص انرژی خورشیدی را برای احداث نیروگاه‌ها مشخص می‌نماید. گام اول برای توسعه استفاده از انرژی خورشیدی مکان‌یابی نواحی است که در آن انرژی خورشیدی در حد مطلوب و دیگر شرایط لازم احداث نیروگاه را دارا باشد. هدف تحقیق حاضر، قابلیت سنجی اقلیمی احداث نیروگاه‌های برق خورشیدی در استان فارس با روش Fuzzy overlay و AHP با استفاده از GIS می‌باشد. به منظور انجام تحقیق، لایه‌های مربوط به پارامترهای اقلیمی با استفاده از روش درونیابی به روش IDW در محیط نرم‌افزار ARCGIS تهیه و سپس با استفاده از روش AHP یک وزن درون لایه‌ای تعریف شد. بدین ترتیب که با استفاده از دستور Reclassify در محیط نرم افزار ARCGIS هر لایه به چندین کلاس طبقه‌بندی شده و هر طبقه با توجه به اهمیت آن وزندهی شد و نقشه مربوط به آن تهیه گردید. سپس برای بدست آوردن نقشه نهایی که نشان دهنده مناطق دارای قابلیت احداث نیروگاه خورشیدی می‌باشد، یک وزن بین لایه‌ای با توجه به اهمیت و اثرگذاری هر یک از لایه‌ها اعمال گردید. در نهایت با همپوشانی لایه‌های وزندهی شده با استفاده از دستور Fuzzy overlay، در قسمت Spatial Analyst، نقشه نهایی که نشان دهنده میزان قابلیت مناطق جهت احداث نیروگاه می‌باشد ایجاد شده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که بالاترین قابلیت احداث نیروگاه‌های برق خورشیدی در منطقه مورد مطالعه مربوط به شهرستان‌های نیریز، داراب و شرق شهرستان فسا می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: قابلیت‌سنجی اقلیمی، نیروگاه‌های برق خورشیدی، استان فارس، روش Fuzzy overlay، GIS

۱- مقدمه

امروزه مضرات و محدودیت‌های سوخت‌های فسیلی و بالا رفتن مصرف انرژی، تمایل به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و به ویژه انرژی خورشیدی را افزایش داده است؛ به گونه‌ای که در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ سرانه‌ی تولید انرژی جهانی ۱۰/۳ درصد افزایش یافته است (Zohoori, 2012: 850) و پیش بینی شده این افزایش در سال ۲۰۳۰ به بیش از ۶۷ درصد مقدار مصرفی در سال ۲۰۰۰ نیز برسد (Solangi et al, 2011: 2150). در میان انرژی‌های تجدیدپذیر و با توجه به پتانسیل کشور ایران، انرژی‌های خورشیدی به دلیل عدم تولید CO2 و سایر مواد زائد موجب حفظ منابع طبیعی و احیای اراضی، کاهش خطوط انتقال نیرو، افزایش استقلال منطقه‌ای در تأمین انرژی و افزایش سرعت برق دهی به مناطق روستایی شده و از هزینه کمتری برخوردار می‌باشد (Bahrami et al, 2013: 202). محل نیروگاه‌های خورشیدی یکی از فاکتورهای تأثیرگذار در میزان راندمان کاری آنها می‌باشد، که به علت پرهزینه بودن عملیات نصب، نگهداری و بهره‌برداری، بررسی اولویت مناطق از نظر شرایط محیطی، صنعتی، هواشناسی و اجتماعی مورد توجه قرار می‌گیرد (Gastli et al, 2010: 792).

مقادیر پتانسیل تابشی از جمله داده‌های تأثیرگذار در مکانیابی نیروگاه‌های خورشیدی می‌باشد و عموماً بیشترین وزن را در مکانیابی این نیروگاه‌ها به خود اختصاص می‌دهد (Sánchez-Lozano et al, 2013: 551; Janke, 2010: 2229).

انرژی‌های تجدیدپذیر شامل منابع متنوع و مختلفی بوده که از انرژی‌های طبیعی و قابل دسترس به وجود می‌آیند با توجه به اینکه این انرژی‌ها صورتی آرمانی ندارند اما استفاده از آنها موجب کاهش مصرف فرآورده‌های نفتی و اشتغال‌زایی شده و میزان آلاینده‌گی محیط زیست را نیز کاهش می‌دهد.

چشم‌انداز استفاده از این انرژی در کشور ایران نیز همانند سایر کشورهای توسعه یافته از اهمیت قابل توجهی برخوردار بوده به گونه‌ای که دولت در برنامه پنجم توسعه، برنامه‌ریزی لازم را صورت داده است. لذا با توجه به سیاست‌های جهانی توسعه این انرژی‌ها در کشور ما به

بخش اعظم انرژی مصرفی در جهان به وسیله سوخت‌های فسیلی تأمین می‌شود. احتراق سوخت‌های فسیلی باعث ورود حجم عظیمی از اکسیدهای سولفور و نیتروژن، مونواکسید کربن و دی اکسید کربن در جو می‌گردد (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۰).

افزایش مستمر در سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای و صعود قیمت مواد سوختی، نیروهای محرکه اصلی در پشت تلاش‌های مؤثرتر جهت استفاده از منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشند (کیسارین، ۲۰۰۷).

این مشکلات جهان را به استفاده از انرژی‌های جایگزین که اثرات مخرب زیست محیطی کمتری داشته و همچنین قابلیت تجدید داشته باشند سوق داده است. منظور از انرژی‌های جایگزین انرژی‌هایی است که برای تولیدشان از منابع بدون کربن استفاده می‌گردد؛ مانند انرژی خورشیدی، انرژی بادی، انرژی دریایی، زمین گرمایی، نیروگاه‌های آبی و غیره. در این میان انرژی خورشیدی یکی از مهمترین و پاک‌ترین انواع انرژی‌های تجدیدپذیر در دنیاست (حیبری، ۱۳۸۸).

کشور ایران به دلیل قرارگیری در عرض‌های پایین قابلیت بیشتری جهت دریافت این انرژی دارد. برای بهره‌برداری از این انرژی خدادادی نیاز به احداث نیروگاه‌های خورشیدی می‌باشد. پنل‌های خورشیدی که در نیروگاه‌های خورشیدی به کار گرفته می‌شوند، مبدل انرژی تابشی خورشید به انرژی الکتریکی می‌باشند.

یکی از مهمترین مسائل در استفاده از انرژی خورشیدی تعیین محل استفاده از آن می‌باشد که تأثیر زیادی در کارایی تجهیزات و وسایل تولید برق خورشیدی دارد. لذا بهره‌گیری از پتانسیل‌های آب و هوایی می‌تواند اثرات مثبتی در صرفه جویی منابع انرژی داشته باشد. در این خصوص شناسایی نواحی مستعد و مناسب که در آن انرژی خورشیدی در حد مناسبی بوده و بتواند جایگزین انرژی‌های فعلی شود از اهمیت زیادی برخوردار خواهد بود.

و نواحی مناسب برای ایجاد مزارع خورشیدی و بادی را با استفاده از روش‌های مدل‌سازی چندمعیاره در سیستم اطلاعات جغرافیایی به دست آورد. دجوردجویک (۲۰۱۱) با هدف تجزیه و تحلیل و ارزیابی پتانسیل، وضعیت و چشم‌انداز انرژی خورشیدی فتوولتائیک در جمهوری صربستان، مطالعه‌ای را انجام داد.

در این مطالعه نقشه‌های تابش خورشیدی به کمک نرم افزار PVGIS تهیه شد. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که جمهوری صربستان پتانسیل بسیار زیادی برای استفاده از سیستم‌های فتوولتائیک متصل و مستقل از شبکه دارد. در زمینه مکانیابی پتانسیل سنجی انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران مطالعات مختلفی در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر صورت گرفته است.

اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیقی تحت عنوان "پتانسیل سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از GIS، به بررسی عوامل اقلیمی مؤثر در احداث انرژی خورشیدی پرداخته و با تلفیق آنها در محیط GIS مناطق مستعدتر در استان خوزستان را بررسی نموده است (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۰).

مقصودی (۱۳۸۵) در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان «مکانیابی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از روش‌های تحلیل چندگانه»، از روش تحلیل پوششی داده‌ها استفاده کرد. نتایج به دست آمده از این پژوهش، نشانگر پتانسیل بالای شهرهای یزد، شیراز و بیرجند، برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی بوده است (مقصودی، ۱۳۸۵).

حیدری و همکاران (۱۳۸۸) به مکانیابی ساخت نیروگاه خورشیدی در ایران پرداخته و استان کرمان را مناسب‌ترین مکان تشخیص دادند (حیدری، ۱۳۸۸).

خوش اخلاق و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیق خود تحت عنوان «مکانیابی نیروگاه خورشیدی با توجه به پارامترهای اقلیمی» استان اصفهان را جهت تأسیس نیروگاه خورشیدی مناسب دانسته‌اند.

در این پژوهش سعی شد تا با تأکید بر عوامل محلی

منظور حل مشکلات و ایجاد اشتغال اجتناب‌ناپذیر خواهد بود. بررسی‌های صورت گرفته در این رابطه حاکی از این بوده که توسعه استفاده از انرژی‌های نو می‌تواند نقش بسزایی در افزایش درجه امنیت سیستم انرژی کشور ایفا نماید.

تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه مکان‌گزینی احداث نیروگاه‌های خورشیدی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است. اما در بیشتر این پژوهش‌ها با توجه به محاسبات فیزیکی تابش خورشیدی به پتانسیل سنجی مناطق پرداخته شده است و تحقیقاتی که با تکیه بر عوامل اقلیمی به شناسایی مناطق مستعد پردازد کمتر انجام پذیرفته است. همچنین در تحقیقاتی که در زمینه مکانیابی صورت گرفته مدل‌های مختلفی بکار رفته که در ادامه برخی از پژوهش‌های داخلی و خارجی صورت گرفته در این زمینه آورده شده است: دیپو (۲۰۱۲) در کتاب خود تحت عنوان «نیروگاه‌های انرژی ژئوترمال» به اصول و روش‌های بهره برداری از انرژی‌های زمین گرمایی پرداخته است.

کنیزارین (۲۰۰۷) در پژوهش خود افزایش مستمر در سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای را دلیل جهت گیری به سمت استفاده از منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر می‌داند.

هنمن (۲۰۱۲) در مقاله خود تحت عنوان «ساخت فتوولتائیک یکپارچه جهت تولید انرژی خورشیدی» به معرفی روش‌های کارآمدتر جهت بهره‌برداری از انرژی خورشید توسط سلول‌های فتوولتائیک پرداخته است. میلر و لامبی (۲۰۱۲) به معرفی روش‌های بهره‌برداری انرژی خورشیدی در نیروگاه‌های خورشیدی در کشور هند پرداخته‌اند. فنگ (۲۰۱۲) در مقاله خود به اهمیت استفاده از انرژی خورشیدی برای خانواده‌های روستایی در فلات چینگ‌های و تبت برای انطباق با تغییرات آب و هوایی اشاره کرده است.

ژانک (۲۰۱۰) زمینه‌ای را شناسایی کرد که پتانسیل بالایی برای مزارع خورشیدی و بادی در کلرادو داشتند

برای تهیه نقشه پارامترهای اقلیمی، ابتدا لایه‌ی مربوط به هر پارامتر با استفاده از روش درونیابی به روش IDW در قسمت Geostatistical Analyst در محیط نرم افزار ArcGIS تهیه و سپس با استفاده از روش AHP یک وزن درون لایه‌ای تعریف شد.

(ارتفاع) و اقلیمی (فراسنج‌های اقلیمی) که بیشترین تأثیر را بر میزان تابش دریافتی یک مکان داراست، ابتدا به مکان‌گزینی و در نهایت پهنه‌بندی مناطق مستعد جهت استقرار تأسیسات تولید برق از انرژی خورشیدی اقدام گردد.

۲- منطقه مورد مطالعه

استان فارس در جنوب منطقه مرکزی ایران بین مدارهای ۲۷ درجه و ۰۲ دقیقه و ۳۱ درجه و ۴۲ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۴۲ دقیقه و ۵۵ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. استان فارس با وسعت ۱۲۳۹۴۶ کیلومتر مربع حدود ۷/۵ درصد وسعت کشور را با جمعیتی بالغ بر چهار میلیون نفر (حدود ۶٪) تحت پوشش دارد. آب و هوای استان فارس در نواحی گوناگون متفاوت است. در شمال و شمال غرب، بعلت کوهستانی بودن، زمستانی سرد و تابستانی معتدل دارد. در بخش مرکزی استان آب و هوا مدیترانه‌ای است. جنوب و جنوب خاوری زمستانی معتدل و تابستانی بسیار گرم دارد.

۳- مواد و روش کار

جهت مطالعه منطقه از آمار و اطلاعات پایه‌ای زیر

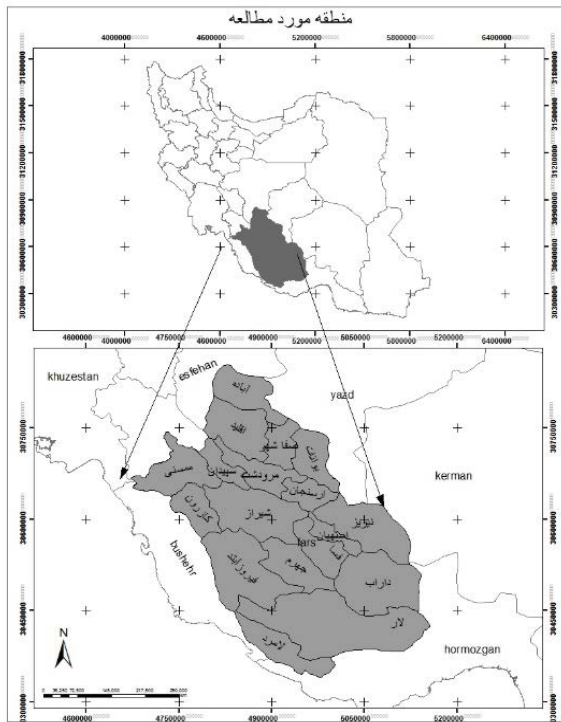
استفاده شد :

۱- نقشه توپوگرافی رقومی به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ از منطقه مورد مطالعه شده

۲- آمار ماهانه و سالانه پارامترهای اقلیمی از ایستگاه‌های سینوپتیک و ایستگاه‌های کلیماتولوژی منطقه از ۱۲ ایستگاه در دوره آماری ۳۰ ساله

۳- استفاده از نرم افزار Arc GIS

داده‌های مورد نیاز در این پژوهش از سایت سازمان هواشناسی برای مدت ۳۰ سال اخذ و وارد محیط Excel گردید و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند، در محیط نرم افزار Arc GIS موقعیت ایستگاه‌ها با توجه به مختصات جغرافیایی آنها به نقشه رقومی منطقه اضافه و پایگاه داده مربوطه تشکیل گردید.



نگاره ۱: محدوده مورد مطالعه

بدین ترتیب که با استفاده از دستور Reclassify در محیط نرم‌افزار ArcGIS هر لایه به چندین کلاس طبقه‌بندی شده و هر طبقه با توجه به اهمیت آن وزندهی شد و نقشه مربوط به آن تهیه گردید. سپس برای بدست آوردن نقشه نهایی که نشان دهنده مناطق پتانسیلی می‌باشد یک وزن بین لایه‌ای با توجه به اهمیت و اثرگذاری هر یک از لایه‌ها اعمال گردید. سپس با همپوشانی لایه‌های وزندهی شده با استفاده از دستور Fuzzy overlay در قسمت Spatial Analyst نقشه مناطق هم‌پتانسیل که نشان دهنده مناطق دارای پتانسیل بالا جهت احداث نیروگاه می‌باشد به دست آمد. اطلاعات آماری برخی از ایستگاه‌ها در جدول ۱ آمده است.

الف- ساعات آفتابی: ساعات آفتابی مهم‌ترین پارامتر

جدول ۱: اطلاعات هواشناسی مربوط به ایستگاه‌های استان فارس

| ایستگاه‌ها | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع | ساعات آفتابی | روزهای ابری | روزهای غبارآلود | رطوبت نسبی | بارندگی mm | تعداد روزهای همراه با بارش برف و برفابه |
|------------|---------------|---------------|--------|--------------|-------------|-----------------|------------|------------|---|
| شیراز | ۵۲ ۳۶ | ۲۹ ۳۲ | ۱۴۸۴ | ۳۳۵۸/۸ | ۳۵/۶ | ۶۴/۷ | ۴۱ | ۳۳۴/۷ | ۲/۵ |
| آباده | ۵۲ ۴۰ | ۳۱ ۱۱ | ۲۰۳۰ | ۳۳۷۷/۱ | ۲۵/۲ | ۲۰/۷ | ۳۴ | ۱۳۷ | ۷/۸ |
| داراب | ۵۴ ۱۷ | ۲۸ ۴۷ | ۱۰۹۸/۲ | ۳۴۹۳/۷ | ۲۷/۷ | ۶۶/۱ | ۳۶ | ۲۵۷/۴ | ۰ |
| فسا | ۵۳ ۴۱ | ۲۸ ۵۸ | ۱۲۸۸/۳ | ۳۳۸۱/۳ | ۲۶/۱ | ۲۱/۷ | ۳۹ | ۲۸۹/۹ | ۰/۶ |
| لامرد | ۵۳ ۰۷ | ۲۷ ۱۸ | ۴۱۱ | ۳۴۴۱/۲ | ۲۲/۲ | ۸۱/۸ | ۴۰ | ۲۳۷/۱ | ۰ |
| لار | ۵۴ ۱۷ | ۲۷ ۴۱ | ۷۹۲ | ۳۴۴۰/۹ | ۲۲/۵ | ۸۱/۸ | ۳۹ | ۲۰۵/۲ | ۰ |
| نیریز | ۵۴ ۲۰ | ۲۹ ۱۲ | ۱۶۳۲ | ۳۵۲۸/۳ | ۲۸ | ۴۱/۷ | ۳۵ | ۲۰۴/۹ | ۰/۸ |
| سددردزن | ۵۲ ۲۷ | ۳۰ ۱۱ | ۱۶۵۲ | ۳۲۲۹/۳ | ۲۹/۵ | ۱۶/۵ | ۴۱ | ۴۷۵/۳ | ۳/۶ |
| زرقان | ۵۲ ۴۳ | ۲۹ ۴۷ | ۱۵۹۶ | ۳۳۱۶/۹ | ۲۸/۶ | ۱۵/۵ | ۳۸ | ۳۲۵/۳ | ۲/۱ |
| اقلید | ۵۲ ۳۸ | ۳۰ ۵۴ | ۲۳۰۰ | ۳۳۴۹ | ۲۴/۴ | ۳/۹ | ۳۳ | ۳۱۵/۵ | ۱۱/۹ |
| صفاشهر | ۵۳ ۰۵ | ۳۰ ۳۵ | ۲۲۵۱ | ۳۲۸۴/۴ | ۲۱/۴ | ۲۷/۸ | ۳۴ | ۱۶۸/۱ | ۸/۶ |
| کازرون | ۵۱ ۳۹ | ۲۹ ۳۶ | ۸۴۰ | ۳۲۰۸ | ۲۹/۵ | ۷۱ | ۳۷ | ۲۹۱ | ۰/۴ |

منبع: سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۴

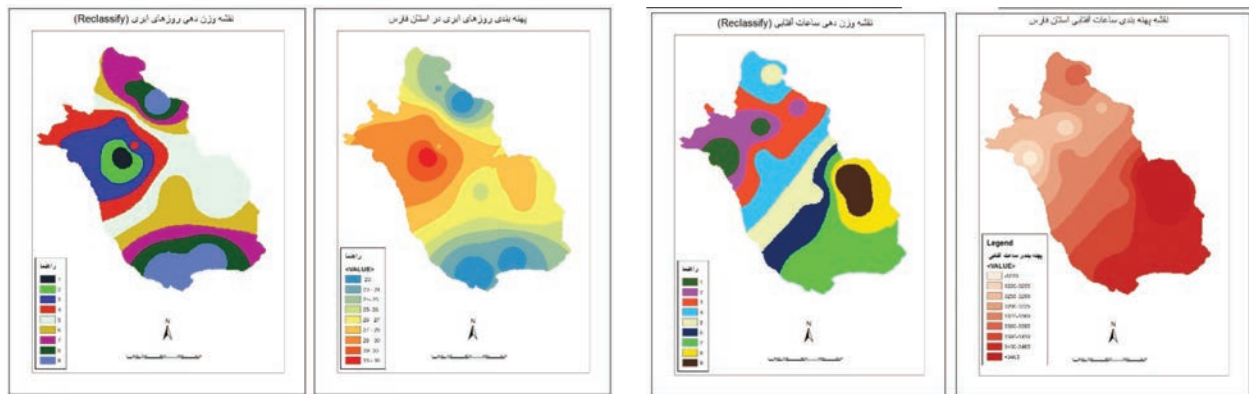
۲ و نقشه پهنه‌بندی ساعات آفتابی در نگاره ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: میزان ساعات آفتابی و وزن اعمال شده به آن

| وزن اعمال شده | مجموع ماهیانه ساعات آفتابی (ساعت در سال) |
|---------------|--|
| ۱ | زیر ۳۲۲۰ |
| ۲ | ۳۲۲۰-۳۲۵۵ |
| ۳ | ۳۲۵۵-۳۲۹۰ |
| ۴ | ۳۲۹۰-۳۳۲۵ |
| ۵ | ۳۳۲۵-۳۳۶۰ |
| ۶ | ۳۳۶۰-۳۳۹۵ |
| ۷ | ۳۳۹۵-۳۴۳۰ |
| ۸ | ۳۴۳۰-۳۴۶۵ |
| ۹ | بالاتر از ۳۴۶۵ |

اقلیمی است که نشان دهنده میزان انرژی دریافتی مناطق از خورشید می‌باشد. ساعات آفتابی مجموع ساعات آفتابی ماهانه یا سالانه یک منطقه است. این پارامتر خود تحت تأثیر چند عامل مؤثر بر تابش می‌باشد.

یکی از این عوامل، مدت زمان تابش که خود معلول عرض جغرافیایی می‌باشد و در پارامتر ساعات آفتابی به طور مستقیم اثر گذار است. دیگری میزان ابرناکی و غبار آلودگی شدید هوا است که هر دو این عوامل با پارامتر ساعات آفتابی رابطه عکس دارند. برای تهیه لایه ساعات آفتابی از مجموع ساعات آفتابی سالانه ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شد. متوسط واقعی ساعات آفتابی منطقه حدود ۳۳۶۷/۴۰۸ ساعت در سال می‌باشد که عدد قابل ملاحظه‌ای برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی است. وزن مربوط به پهنه بندی ساعات آفتابی در جدول شماره



نگاره (۳)

(الف): پهنه بندی روزهای ابرناکی

(ب): وزن اعمال شده به پهنه بندی روزهای ابرناکی

نگاره (۲)

(الف): پهنه بندی ساعات آفتابی

(ب): وزن اعمال شده به پهنه بندی ساعات آفتابی

ج- گرد و خاک: از ترکیبات مهم جوی، بویژه در حوالی سطح زمین ترکیبات غیرگازی و جامدی است که هواپیز نامیده می شود. هواپیزها شامل ذرات غبار به ابعاد مختلف، پس گازهای صنعتی، زایده های سوخت مانند دود و نیز ذراتی چون ذرات نمک اند. مقدار هواپیزها به شدت متغیر است و در ارتفاعات و نیز بعد از هر بارش رو به کاهش می گذارد (علیچانی، ۱۳۸۳).

در حالت کلی دو اثر متضاد مواد معلق در هوا این است که این مواد با انعکاس پرتوهای خورشیدی به خارج از جو باعث سرد شدن زمین می شوند. یا ممکن است با جذب انرژی خورشید موجب گرم شدن هوا گردند. هواپیزها درصد انرژی موج کوتاه خورشید را جذب می کنند (علی زاده و همکاران، ۱۳۷۹).

بنابراین مناطقی برای بهره برداری از انرژی خورشیدی حائز اهمیت اند که کمترین روزهای غبار آلودگی را در سال داشته باشند. جهت تهیه این لایه اطلاعاتی از تعداد روزهای گرد و خاک در سال استفاده شد. متوسط واقعی روزهای همراه با گردوغبار در منطقه مورد مطالعه حدود ۴۲/۷ روز در سال می باشد. وزن مربوط به پهنه بندی لایه روزهای گرد و خاک در جدول ۴ و نقشه مربوط به آن در نگاره شماره ۴ نشان داده شده است .

ب- ابرناکی: از دیگر لایه های مورد استفاده در این پژوهش تعداد روزهای ابری در سال می باشد. مهم ترین عامل از نظر کنترل انرژی تابشی خورشید ابرناکی آسمان است . ابرها به طور متوسط ۲۱ درصد انرژی موج کوتاه خورشید را برمی گردانند. در مواقعی که هوا آفتابی بوده و هیچ ابری در آسمان وجود ندارد، قسمت اعظم انرژی خورشید به زمین می رسد (علیچانی، ۱۳۸۱، ۱۴). متوسط واقعی روزهای ابری در منطقه مورد مطالعه حدود ۲۶/۷ روز در سال می باشد. وزن مربوط به پهنه بندی روزهای ابری در جدول ۳ و نقشه مربوط به آن در نگاره ۳ نشان داده شده است.

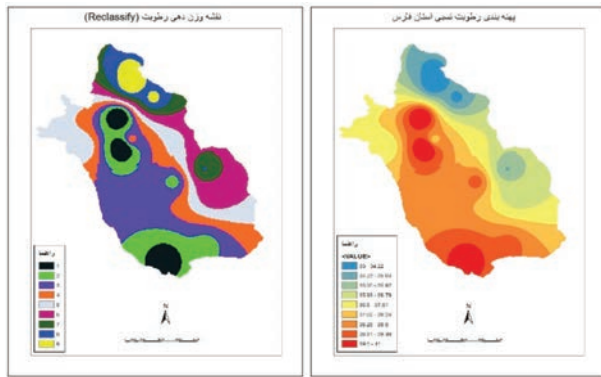
جدول ۳: میزان روزهای ابری در سال و وزن

اعمال شده به آن

| روزهای ابری در سال | وزن اعمال شده |
|--------------------|---------------|
| ۲۳- | ۹ |
| ۲۳-۲۴ | ۸ |
| ۲۴-۲۵ | ۷ |
| ۲۵-۲۶ | ۶ |
| ۲۶-۲۷ | ۵ |
| ۲۷-۲۸ | ۴ |
| ۲۸-۳۰ | ۳ |
| ۳۰-۳۳ | ۲ |
| ۳۳-۳۶ | ۱ |

همیشه به صورت درصد بیان می‌شود. رطوبت نسبی با تغییر درجه حرارت به طور معکوس کم و زیاد می‌شود (علیزاده و همکاران، ۱۳۷۹، ص ۱۲۴).

مناطق با رطوبت بالا به دلیل جذب انرژی کوتاه خورشید توسط بخار آب اتمسفر مستعد بهره‌برداری از انرژی خورشید نیستند. متوسط واقعی رطوبت نسبی منطقه مورد مطالعه حدود ۳۷/۲۵ می‌باشد. برای تهیه این لایه از میانگین رطوبت نسبی سالانه ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شد. وزن مربوط به پهنه بندی لایه رطوبت نسبی در جدول ۵ و نقشه مربوط به آن در نگاره ۵ نشان داده شده است.



نگاره (۵)

(الف): پهنه بندی میزان رطوبت نسبی

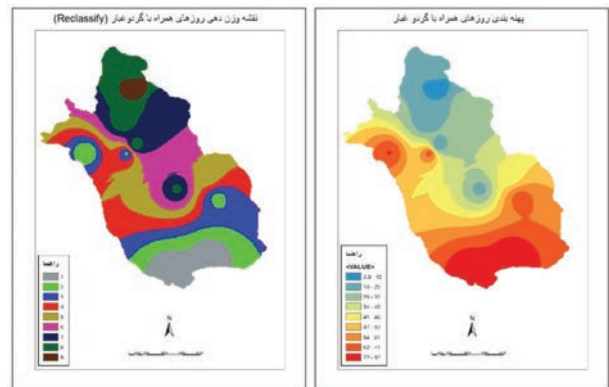
(ب): وزن اعمال شده به پهنه بندی میزان رطوبت نسبی

جدول ۵: میزان رطوبت نسبی و وزن اعمال شده به آن

| وزن اعمال شده | میزان رطوبت نسبی |
|---------------|------------------|
| ۹ | ۳۴/۲۲-۳۳ |
| ۸ | ۳۵/۰۴-۳۴/۲۳ |
| ۷ | ۳۵/۹۲-۳۵/۰۵ |
| ۶ | ۳۶/۷۹-۳۵/۹۳ |
| ۵ | ۳۷/۶۱-۳۶/۸۰ |
| ۴ | ۳۸/۲۴-۳۷/۶۲ |
| ۳ | ۳۸/۸-۳۸/۲۵ |
| ۲ | ۳۹/۴۹-۳۸/۸۱ |
| ۱ | ۴۱-۳۹/۵ |

جدول ۴: تعداد روزهای همراه با گردوغبار در سال و وزن اعمال شده به آن

| وزن اعمال شده | تعداد روزهای همراه با گردوغبار در سال |
|---------------|---------------------------------------|
| ۹ | ۳/۹-۱۵ |
| ۸ | ۱۶-۲۵ |
| ۷ | ۲۶-۳۳ |
| ۶ | ۳۴-۴۰ |
| ۵ | ۴۱-۴۶ |
| ۴ | ۴۷-۵۳ |
| ۳ | ۵۴-۶۱ |
| ۲ | ۶۲-۷۱ |
| ۱ | ۷۲-۸۲ |



نگاره (۴)

(الف): پهنه بندی روزهای همراه با گردوغبار

(ب): وزن اعمال شده به پهنه بندی روزهای همراه با گردوغبار

د- رطوبت نسبی: به مقدار آبی که در هوا وجود دارد رطوبت گفته می‌شود. در مقیاس جهانی، به طور متوسط یک درصد حجم اتمسفر را بخار آب تشکیل می‌دهد. اما عملاً ممکن است در یک مکان هوا فاقد بخار آب بوده و یا در نقطه‌ای دیگر تا ۴ درصد حجمی بخار آب وجود داشته باشد (علیزاده، ۲۸۳۱، ص ۲۷۱). بخار آب و دی اکسید کربن مهم‌ترین جذب کننده‌های انرژی تابشی در جو می‌باشند. معمولاً وقتی از رطوبت نام برده می‌شود، منظور رطوبت نسبی است، که عبارت است از نسبت مقدار بخار آب موجود در هوا به مقدار بخار آبی که اگر هوا در همان درجه حرارت می‌داشت به صورت اشباع بود. این نسبت

جدول ۶: میزان ارتفاع و وزن اعمال شده به آن

| وزن اعمال شده | میزان ارتفاع |
|---------------|--------------|
| ۱ | -۶۰۰ |
| ۲ | ۱۰۰۰-۶۰۰ |
| ۳ | ۱۴۰۰-۱۰۰۰ |
| ۴ | ۱۸۰۰-۱۴۰۰ |
| ۵ | ۲۲۰۰-۱۸۰۰ |
| ۶ | ۲۶۰۰-۲۲۰۰ |
| ۷ | ۳۰۰۰-۲۶۰۰ |
| ۸ | ۳۴۰۰-۳۰۰۰ |
| ۹ | ۳۸۰۰-۳۴۰۰ |

و- بارش: ریزش باران و برف را می‌توان مهم‌ترین عاملی دانست که به طور مستقیم در چرخه هیدرولوژی دخالت دارد. منظور از بارش کلیه نزولات جوی است که به سطح زمین وارد می‌شود (علیزاده، ۱۳۹۱، ص ۲۸۱).

بنابراین مناطق با بارش بالا در طول سال از یک طرف حکایت از بالا بودن رطوبت منطقه دارد که خود مهم‌ترین عامل جذب تابش موج کوتاه می‌باشد. از طرف دیگر نشان دهنده وجود ذرات معلق بالا در اتمسفر آن نقطه است، که هم در جذب و هم در انعکاس تابش موج کوتاه نقش دارد و هر دو این عوامل بیانگر بالا بودن شمار روزهای ابری در منطقه می‌باشد.

بارش اثرات نامطلوبی، از اشکالات فنی گرفته تا کثیف شدن سطح صفحات فتوولتائیک را سبب می‌شود. به منظور بررسی بارش در منطقه مورد مطالعه از مجموع بارش باران و برف سالانه ایستگاه‌های هواشناسی بطور جداگانه استفاده شده است.

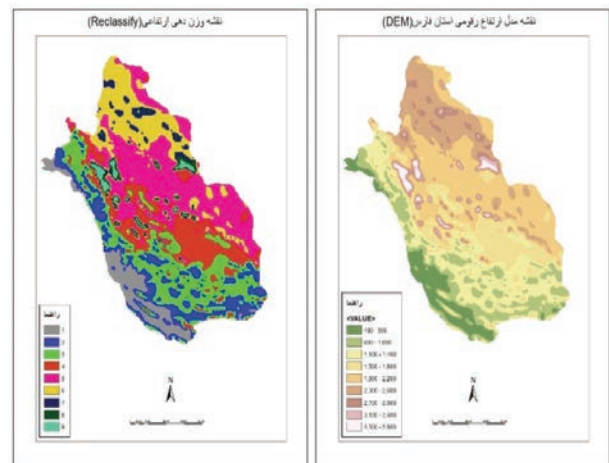
وزن مربوط به پهنه‌بندی لایه بارش باران و برف در جداول ۷ و نقشه‌های مربوط به آن در نگاره‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است.

ح- ارتفاع: هر قدر ارتفاع منطقه‌ای از سطح دریا کمتر باشد، ضخامت جو بیشتر می‌گردد. جو ضخیم از غلظت بیشتر ترکیبات و عوامل جذبی یا انعکاسی حکایت دارد. از آنجایی که مواد درشت‌تر و غلیظ‌تر در طبقات پایین جمع می‌شوند، جو بالای کوه‌ها رقیق‌تر بوده و ضخامت جو هم کمتر می‌باشد.

پس هر قدر ارتفاع منطقه بیشتر باشد ترکیبات جو رقیق‌تر و ضخامت جو کمتر است.

ضخامت و ترکیبات جو علاوه بر ورود انرژی موج کوتاه خورشید، انرژی موج بلند زمین را هم کنترل می‌کنند (علیزانی، ۱۳۸۳: ۲۰). بنابراین مناطق مرتفع بدلیل دریافت انرژی زیاد دارای پتانسیل بالاتری نسبت به مناطق پست می‌باشند.

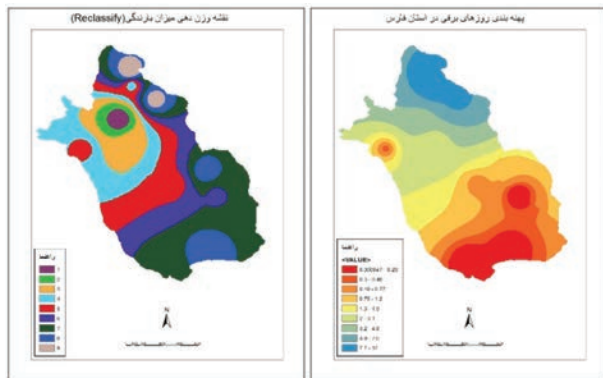
جهت تهیه این لایه اطلاعاتی از ارتفاع ایستگاه‌های هواشناسی و لایه توپوگرافی منطقه استفاده شد. برای این منظور لایه DEM منطقه ایجاد شده است. وزن مربوط به پهنه‌بندی لایه ارتفاع در جدول ۶ و نقشه مربوط به آن در نگاره ۶ نشان داده شده است.



نگاره (۶)

(الف): پهنه بندی ارتفاعی

(ب): وزن اعمال شده به پهنه بندی ارتفاعی



نگاره (۸)

(الف): پهنه بندی روزهای برفی

(ب): وزن اعمال شده به پهنه بندی روزهای برفی

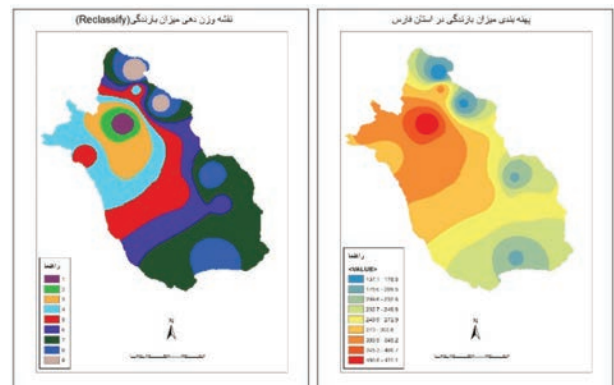
نحوه وزندهی به این لایه‌ها در جدول شماره ۸ ارائه شده است. نگاره‌های شماره ۹، لایه‌های وزنی تفکیکی و نگاره‌های شماره ۱۰، نقشه نهایی که ترکیبی از همپوشانی لایه‌های موزون و همچنین انتخاب مناطقی که دارای بالاترین قابلیت به منظور احداث نیروگاه‌های برق خورشیدی می‌باشد را نشان می‌دهند. همانطور که در نقشه‌های مذکور مشخص است، بالاترین قابلیت احداث نیروگاه‌های برق خورشیدی در منطقه مورد مطالعه مربوط به شهرستان نیریز، قسمت‌های عمده‌ای از داراب و شرق شهرستان فسا؛ و در مرحله بعد شهرستان‌های لار، قسمت‌های عمده‌ای از شهرستان لامرد و محدوده‌ای در مرز سه شهرستان صفاشهر، بوانات و تا حدود کمی شهرستان آباده می‌باشد.

جدول ۸: وزن اعمال شده به شاخص‌ها

| وزن اعمال شده | شاخص‌های استفاده شده به منظور قابلیت احداث نیروگاه‌های برق خورشیدی |
|---------------|--|
| ۲۵ | مجموعه ساعات آفتابی سالانه |
| ۲۰ | تعداد روزهای ابری در سال |
| ۱۸ | تعداد روزهای همراه با گردوغبار در سال |
| ۱۵ | درصد رطوبت نسبی |
| ۱۲ | ارتفاع |
| ۱۰ | مجموع بارندگی سالانه |
| ۱۰ | تعداد روزهای برفی |

جدول ۷: میزان بارش باران و روزهای برفی و وزن اعمال شده به آنها

| وزن اعمال شده | میزان بارش mm | وزن اعمال شده | تعداد روزهای برفی و یا برفابه |
|---------------|---------------|---------------|-------------------------------|
| ۹ | -۱۷۸ | ۹ | -۰/۲۹ |
| ۸ | ۲۰۹/۵-۱۷۸ | ۸ | ۰/۴۸-۰/۳ |
| ۷ | ۲۳۲/۵-۲۰۹/۶ | ۷ | ۰/۷۷-۰/۴۹ |
| ۶ | ۲۴۹/۸-۲۳۲/۶ | ۶ | ۱/۲-۰/۷۸ |
| ۵ | ۲۷۲/۹-۲۴۹/۹ | ۵ | ۱/۹-۱/۳ |
| ۴ | ۳۰۳/۸-۲۷۳ | ۴ | ۳/۱-۲ |
| ۳ | ۳۴۵/۲-۳۰۳/۹ | ۳ | ۴/۸-۳/۲ |
| ۲ | ۴۰۰/۷-۳۴۵/۳ | ۲ | ۷/۶-۴/۹ |
| ۱ | ۴۷۵/۱-۴۰۰/۸ | ۱ | ۱۲-۷/۷ |



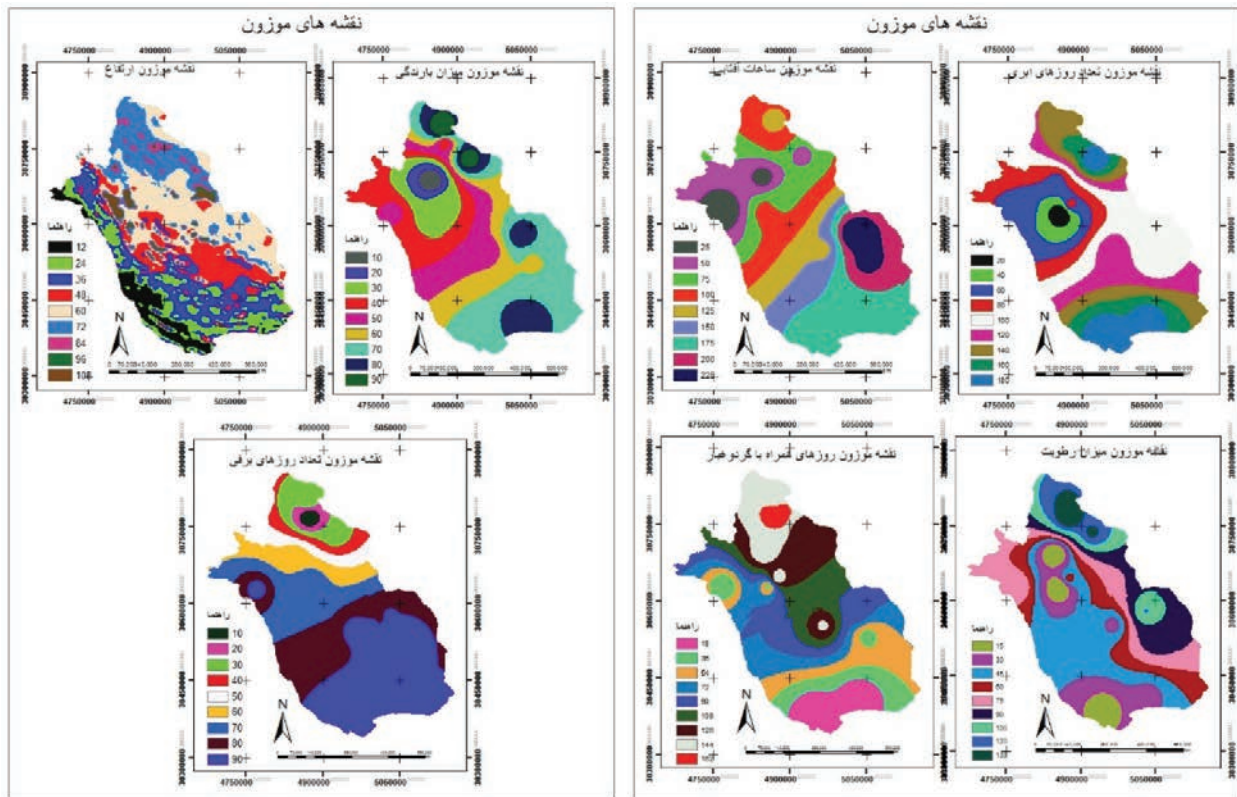
نگاره (۷)

(الف): پهنه بندی میزان بارندگی

(ب): وزن اعمال شده به پهنه بندی میزان بارندگی

۴- یافته‌های تحقیق

به منظور قابلیت سنجی اقلیمی احداث نیروگاه‌های برق خورشیدی در منطقه مورد مطالعه، لایه‌های بدست آمده در مرحله قبل، وزندهی شده‌اند. بدین منظور با استفاده از مدل AHP، وزن شاخص‌های مؤثر بدست آمده است. سپس با استفاده از دستور Raster calculator در نرم‌افزار ArcGIS، نقشه‌های وزنی تفکیکی بدست آمده و نهایتاً با استفاده از دستور Fuzzy overlay در همین نرم‌افزار نقشه نهایی که ترکیبی از همپوشانی لایه‌های موزون می‌باشد بدست آمده است.



نگاره (۹) : نقشه‌های موزون لایه‌های مورد استفاده

۵- نتیجه‌گیری

می‌باشد. روش استفاده شده در تحقیق حاضر از این جهت قابل اهمیت است که شاخص‌های مؤثر در مکان‌یابی ایستگاه‌های خورشیدی را بصورت همپوشانی لایه‌های موزون محاسبه می‌نماید. این روش با در نظر گرفتن اهمیت نسبی همه شاخص‌های مؤثر در لایه نهایی بدست می‌آید که می‌تواند نسبت به روش‌های دیگر از اعتبار بالاتری برخوردار باشد. بدین دلیل که این الگوریتم با استفاده از وزن‌های درجه‌ای این قدرت را به تصمیم‌گیر می‌دهد که عوامل مهمتری را که از نظر او مسأله را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهند با همان اهمیت در مسأله قرار دهد و در اثر این برتری، نتیجه حاصل از این روش دارای قدرت تفکیک بهتری می‌باشد. بر همین اساس، نتایج حاصل نشان می‌دهد که استان فارس دارای قابلیت بالایی از نظر انرژی برق خورشیدی می‌باشد که در منطقه مورد مطالعه شهرستان‌های نیریز، استهبان و فسا از این نظر شاخص تر و دارای قابلیت بالاتری می‌باشد. همچنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که

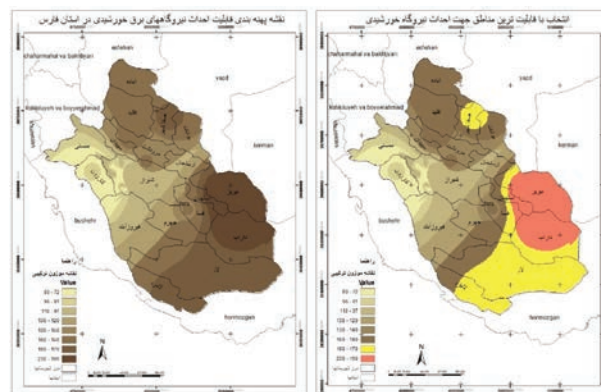
متأسفانه هنوز تفکر استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر بطور کامل و جامع در میان مسئولان و مردم نهادینه نشده است. از طرف دیگر منابع نفتی نیز با سرعت هر چه بیشتر مصرف و هدر داده می‌شود که علاوه بر آثار نامناسب در اقتصاد و توسعه کشور، محیط زیست را نیز با استخراج و اکتشاف و همچنین با مصرف نامناسب از سوخت تخریب نموده که توجه ویژه به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را در کشور می‌طلبد. از اینرو به منظور بهره‌برداری هر چه بهتر از این پتانسیل‌های طبیعی، مناطق مختلف کشور باید قابلیت‌سنجی شوند تا توان بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر بالاتر رود. از اینرو تحقیق حاضر در راستای این هدف در استان فارس انجام گرفته است.

استان فارس به دلیل شرایط ویژه توپوگرافیکی، دمایی و همچنین بهره‌گیری از ساعات آفتابی مناسب از جمله قطب‌های کشور در جهت بهره‌گیری از انرژی خورشیدی

انتشارات دانشگاه امام رضا.
 ۸- حیدری، مصطفی، ۱۳۸۸، مکانیابی نیروگاه‌های خورشیدی در ایران. نشریه مبدل گرمایی
 ۹- مقصودی، ۱۳۸۵، مکانیابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از روش‌های تحلیل چندگانه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، به راهنمایی دکتر سید فرید قادری، رشته مهندسی صنایع، دانشگاه تهران

- 10- Bahrami, M.; Abbaszadeh, P.; (2013), "An overview of renewable energies in Iran", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 24, p.p. 198-208,
 11- Djurdjevic, D. Z., (2011), *Perspectives and Assessments of Solar PV Power Engineering in the Republic of Serbia*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 15, No. 5, PP. 2431-2446.
 12-Janke, J. R., (2010), *Multi criteria GIS Modeling of Wind and Solar Farms in Colorado*, *Renewable Energy*, Vol. 35, No. 10, PP. 2228-2234.
 13- Ghastly A. and Y. Chalabi, (2010), *solar electricity prospects in Oman using GIS-based solar radiation maps*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, pp: 790-797.
 14-Kenizarin, M. (2007), *Solar Energy Storage Using Phase Change Materials*, PP. 1913-1965.
 15-Miller, A. L. (2012), *Utility Scale Solar Power Plants*, New Delhi: IFC.
 16-Sánchez-Lozano J.M., J. Terrell -Solano, P.L. Soto-Elvira and M. Socorro Garcia Cascades, (2013): *Geographical Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Making (MCDM) methods for the evaluation of solar farms locations: Case study in south-eastern Spain*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, pp: 544-556.
 17-Solangi K.H., M.R. Islam, R. Saidpur, N.A. Rahim and H. Fayez, (2011): *A review on global solar energy policy*. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, pp: 2149-2163.
 18-Zohoori M., (2012): *Exploiting Renewable Energy Sources in Iran*. *Interdisciplinary J. of Contemporary Research in Business*, 4, pp: 849-862.

مجموع وزن نسبی همه شاخص‌ها تأثیر بالاتری در مکان‌یابی داشته و تنها با اکتفا کردن به یک یا چند شاخص نمی‌توان مکان بهینه را تعیین نمود.



نگاره (۱۰)

(الف): انتخاب با قابلیت‌ترین مناطق جهت احداث

نیروگاه‌های برق خورشیدی در استان فارس

(ب): نقشه پهنه‌بندی قابلیت احداث نیروگاه‌های برق

خورشیدی در استان فارس

۶- منابع و مأخذ

- ۱- اسفندیاری، علی، ۱۳۹۰، پتانسیل سنجی نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از GIS، همایش ملی ژئوماتیک، تهران
 ۲- سالنامه‌های آماری سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۴.
 ۳- خوش‌اخلاق، روشن، برنا؛ فرامرز، غلامرضا، رضا؛ ۱۳۸۶، مکانیابی نیروگاه خورشیدی با توجه به پارامترهای اقلیمی، نشریه سپهر، شماره ۶۷.
 ۴- علیجانی، کاویانی؛ بهلول، محمد رضا؛ ۱۳۸۳، مبانی آب و هواشناسی، انتشارات سمت، تهران
 ۵- علیجانی، بهلول، ۱۳۸۳، آب و هوای ایران. انتشارات دانشگاه پیام نور.
 ۶- علیزاده، کمالی، موسوی، موسوی بایگی؛ امین، غلامعلی، فرهاد، محمد؛ ۱۳۷۹، هوا و اقلیم‌شناسی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.
 ۷- علیزاده، امین، ۱۳۸۶، اصول هیدرولوژی کاربردی

