

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۳۱

امکان‌سنجی استقرار پنل‌های خورشیدی در استان آذربایجان شرقی با ارزیابی تابش ورودی و پارامترهای اقلیمی

شهرام روستایی

استاد دانشکده جغرافیا و برنامه‌ریزی دانشگاه تبریز

مجتبی پیرنظر

دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور دانشگاه تبریز

آرش زند کریمی*

کارشناس ارشد سنجش از دور سازمان فضایی ایران

بختیار فیضی زاده

استادیار گروه سنجش از دور دانشگاه تبریز

ندا موسوی کجاباد

دانشجوی کارشناسی ارشد سنجش از دور دانشگاه تبریز

چکیده

سینوپتیک استان، نقشه رقمی ارتفاع و تصویر سنجنده‌ی OLI ماهواره‌ی Landsat8 سال ۲۰۱۴ منطقه می‌باشد که در قالب معیارهای اقلیمی، زیرساخت، عوامل فنی و فیزیکی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که سطح وسیعی از استان از لحاظ استقرار تجهیزات نیروگاه‌های خورشیدی در وضعیت بسیار خوبی قرار دارند و در بین بخش‌های مختلف استان، مناطق جنوب شرقی، مرکزی و شمال‌غربی بیشترین مطلوبیت را دارند. نتایج پژوهش حاضر برای شناسایی مناطق مستعد نصب پنل‌های خورشیدی از اهمیت بالایی برخوردار بوده و نقشه‌های تولید شده نیز برای سازمان‌های اجرایی (وزارت نیرو، اداره کل توزیع برق و ...) از ارزش کاربردی بالایی برخوردار هستند.

کلمات کلیدی: مکان‌یابی بهینه، پنل خورشیدی، تصمیم‌گیری چندمعیاره، آذربایجان شرقی

روند کاهش منابع تجدیدناپذیر یکی از مشکلات فزاینده موجود در بحث انرژی است؛ این مسئله بیانگر اهمیت استفاده از انرژی‌های جایگزین با اثرات مخرب زیست محیطی کمتر و قابلیت تجدیدپذیری است. استان آذربایجان شرقی با توجه به پتانسیل‌های بالای توپوکلیماتیک یکی از مناطق مناسب برای تولید برق از انرژی خورشیدی می‌باشد. در این مطالعه با توجه به توانایی مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDA) در یکپارچه‌سازی داده‌ها و انتخاب گزینه برتر از میان گزینه‌های مختلف از مدل تحلیل شبکه (ANP) جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شده است. در این راستا بعد از مشخص نمودن ضرایب هر کدام از لایه‌ها و تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و اعمال ضرایب حاصل از اجرای مدل، نقشه‌ی نهایی امکان‌سنجی استقرار پنل‌های خورشیدی در سطح استان آذربایجان شرقی تهیه شده است. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل پارامترهای اقلیمی در بازه ۲۸ ساله از ۱۳ ایستگاه

۱. مقدمه و مبانی نظری

انرژی یکی از عوامل اصلی و دخیل در رشد اقتصادی جوامع پیشرفته محسوب می‌شود. استفاده تجاری از انرژی شرط اساسی توسعه بوده و کشورهایی که بهره کمتری از آن دارند در زمره کشورهای فقیر محسوب می‌شوند. امروزه تقاضا برای انرژی الکتریکی در سراسر جهان رو به افزایش است و آمار نشان می‌دهد که از سال ۱۹۷۳ مصرف انرژی جهان همواره روند رو به رشدی داشته است (Kucuksari, 2014: 1603). با توجه به نیاز روز افزون جوامع بشری به انرژی الکتریکی، روش‌های مختلف و نوینی برای تولید این انرژی با حداقل آلودگی‌های زیست محیطی متداول شده است که انرژی خورشیدی یکی از این روش‌های نوین می‌باشد (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۰). این انرژی در مقایسه با سایر منابع انرژی یکی از مهم‌ترین، قابل دسترس‌ترین و از پاک‌ترین منابع محسوب شده و برای بهره‌برداری از آن نیاز به تکنولوژی پیشرفته و پرهزینه نیست (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۰: ۱).

هزینه تمام شده‌ی تولید یک کیلو وات ساعت برق، در انواع نیروگاه‌های فسیلی موجود در کشور در مقایسه با انرژی‌های خورشیدی بسیار بالا بوده علاوه بر آن هزینه‌های خارجی ناشی از آلاینده‌ها و ایجاد گازهای گلخانه‌ای را نیز بایستی به آن اضافه نمود (اکرامی و صادقی، ۱۳۸۵: ۴۶). در کشورهای اروپایی سرمایه گذاری‌های زیادی برای استفاده از انرژی خورشیدی صورت گرفته است ولی باید خاطر نشان نمود که کشور ایران با داشتن متوسط ۳۰۰ روز آفتابی در سال (تقریباً ۶ برابر کشورهای اروپایی) و زمان تابش ۱۰ تا ۱۴ ساعت در روز، از پتانسیل بالقوه‌ای در زمینه تولید برق از انرژی خورشیدی برخوردار می‌باشد (فرقانی و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۳) و سرمایه‌گذاری در این زمینه از لحاظ اقتصادی می‌تواند بسیار مشرثمر واقع شود.

امروزه بخش اعظم انرژی مصرفی در جهان به وسیله منابع تجدیدناپذیر تولید می‌شود (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۰: ۳) پنل‌های خورشیدی که در نیروگاه‌های خورشیدی بکار گرفته

می‌شوند، مبدل انرژی تابشی خورشید به انرژی الکتریکی می‌باشند. یکی از مهم‌ترین مسائل در استفاده از انرژی خورشیدی تعیین محل استقرار آن می‌باشد که تأثیر زیادی در کارایی تجهیزات و وسایل تولید برق خورشیدی دارد (موقری و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۹) و براساس ملاحظات جغرافیایی باید مقدار تابش مورد نیاز PV^۱ها (صفحه‌های خورشیدی فوتولتائیک) تامین گردد (Kucuksari, 2014: 1605). با لحاظ اهمیت عناصر تابش، ابرناکی و باد بدیهی است که بررسی فراسنج‌های آب و هوایی در مکان‌یابی صحیح پنل‌های خورشیدی دارای اهمیت زیادی است (Muneer et al, 2006: 560).

امروزه سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به عنوان تکنولوژی برتر و کارآمدی شناخته شده است که امکان انجام تحلیل‌های پیچیده با مجموعه داده‌های مختلف مکانی و غیرمکانی را همزمان فراهم می‌آورد (آل شیخ و همکاران، ۱۳۸۱: ۲۵). از طرفی در بسیاری از مسائل برنامه‌ریزی و مدیریت فضایی مرتبط بر جهان واقعی، تصمیم‌گیری چند معیاره فضایی مبتنی بر GIS مورد استفاده قرار می‌گیرد. ترکیب GIS و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM)^۲ به عنوان سیستم جامعی برای انجام تحلیل‌های مکانی و تصمیم‌گیری مکانی شناخته می‌شود که تکنولوژی کارآمدی را برای تجزیه و تحلیل‌های مکانی فراهم می‌آورد. در این راستا فنون مبتنی بر GIS نقش مهمی را در تحلیل مسائل مبتنی بر MCDA ایفاء نموده و قابلیت‌های منحصر بفردی را در مدیریت و تحلیل دامنه متنوعی از داده‌های فضایی مطرح در تصمیم‌گیری را فراهم می‌آورند. علاوه بر این، MCDA دامنه وسیعی از متدولوژی‌های مرتبط با آن نظیر تصمیم‌گیری چند هدفی و تصمیم‌گیری چند صفتی و مجموعه ارزشمندی از فنون و روش‌ها را برای نشان دادن الویت‌های تصمیم‌گیران و ترکیب آنها در مطالعات موردی مبتنی بر GIS به دست داده که در تبیین دامنه وسیعی از موقعیت‌های تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار می‌گیرد (اصغرپور، ۱۳۸۹: ۶۰).

¹ PhotoVoltaic

² Multi Criteria Decision Analysis

رامدی^۴ و همکاران (۲۰۱۱)، امکان‌سنجی و مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی را در غرب آفریقا با استفاده از تابش ورودی بررسی نموده‌اند. داوسون و اسچلیتر^۵ (۲۰۱۲)، در پژوهشی مکان‌های مناسب برای تمرکز انرژی خورشیدی در غرب استرالیا را مشخص کرده‌اند. در این پژوهش بر پایه‌ی توانایی‌های GIS و با تاکید بر تابش ورودی، مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه خورشیدی شناسایی شده است. پولو^۶ و همکاران (۲۰۱۵)، نیز در پژوهشی پتانسیل احداث نیروگاه و جذب انرژی خورشیدی را در کشور ویتنام با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و GIS بررسی نموده‌اند.

اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۰)، پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان را بررسی کرده‌اند. در این پژوهش پس از بررسی عوامل مؤثر بر انرژی خورشیدی (ابرناکی، روزهای گرد و خاک، رطوبت نسبی، ارتفاع و بارش سالانه) و تلفیق آنها در محیط GIS، مناطق مستعدتر در استان خوزستان شناسایی شدند. یوسفی و همکاران (۱۳۹۱)، در پژوهشی به بررسی کاربرد منطق فازی و FTOPSIS جهت مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از GIS در استان تهران پرداخته‌اند. در این مقاله با استفاده از منطق فازی، ارزش‌دهی معیارهای مؤثر در مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی صورت گرفته است و در نهایت ۹ منطقه جهت احداث آن انتخاب شده است. صادقی و همکاران (۱۳۹۲)، در مقاله‌ای به اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر مکان‌یابی نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر (انرژی خورشیدی و انرژی باد) استان کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (AHP، TOPSIS، SAW) پرداخته‌اند. موقری و طاوسی (۱۳۹۲)، در پژوهشی با عنوان امکان‌سنجی و پهنه‌بندی مکان‌های مستعد جهت استقرار پنل‌های خورشیدی با تکیه بر فراسنج‌های اقلیمی؛ مکان‌های مناسب جهت توسعه‌ی این منبع

تحقیق حاضر با هدف استفاده از قابلیت تحلیل‌های مکانی GIS و همچنین سیستم‌های تصمیم‌گیری مکانی MCDA، امکان-سنجی استقرار پنل‌های خورشیدی را در سطح استان آذربایجان شرقی مدنظر قرار داده است. با توجه به اینکه انتخاب محل‌های مناسب برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی مستلزم انجام مطالعاتی در زمینه‌های مختلف است و با توجه به آینده مطلوب برق خورشیدی در ایران (اشرف و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۸)؛ در این تحقیق از مدل‌های ترکیبی GIS و مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره جهت شناسایی مناطق مستعد استقرار پنل‌های خورشیدی استفاده شده است.

پیشینه تحقیق:

در زمینه پتانسیل‌سنجی انرژی‌های تجدیدپذیر مخصوصاً انرژی خورشیدی مطالعات مختلفی صورت گرفته است که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

فلوری^۱ (۲۰۰۹)، در مقاله‌ای پتانسیل انرژی خورشیدی متمرکز در آفریقای جنوبی را بررسی نموده است. در این مقاله با در نظر گرفتن معیارهای شیب، تراکم پوشش گیاهی، تابش دریافتی و وزن دادن به آنها مکان‌های مناسب جهت احداث نیروگاه خورشیدی در منطقه‌ی مورد مطالعه مشخص شده است. جانک^۲ (۲۰۱۰)، در پژوهشی با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چند معیاره به بررسی مناطق مناسب گسترش انرژی تجدیدپذیر بادی و خورشیدی در ایالت کلرادو آمریکا پرداخته است. آزوما^۳ و همکاران (۲۰۱۰)، نیز امکان توسعه‌ی نیروگاه‌های خورشیدی را در ساحل کشور بورکینافاسو بررسی نموده‌اند؛ در این پژوهش با توجه به مشکلات اقتصادی این کشور آفریقای در ایجاد شبکه‌ی متمرکز برق رسانی، پس از بررسی عوامل مؤثر در ایجاد نیروگاه‌های خورشیدی، مکان‌های مناسب برای توسعه‌ی آن تعیین شده است.

⁴ Ramde

⁵ Dawson & Schlyter

⁶ Polo

¹ Fluri

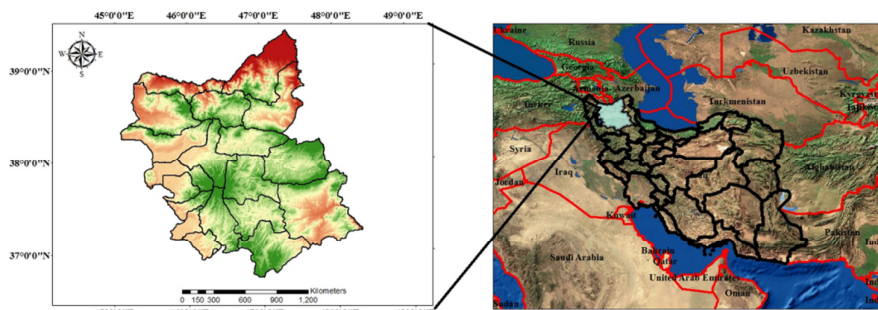
² Janke

³ Azoumah

منطقه مورد مطالعه:

استان آذربایجان شرقی با مساحت ۴۵۴۹۱ کیلومتر مربع بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین استان ناحیه‌ی شمال غربی ایران محسوب می‌شود. بر پایه‌ی سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۰، جمعیت این استان بالغ بر ۳.۷۲۴.۶۲۰ نفر بوده که حدوداً ۵ درصد از جمعیت کل ایران را به خود اختصاص داده است. با توجه به وجود واحدهای صنعتی متعدد در سطح آن که در حال حاضر از انرژی‌های تجدیدناپذیر استفاده می‌کنند، نیاز به امکان‌سنجی استقرار انرژی‌های جایگزین برای کاهش آلودگی و کاهش هزینه و ... در سطح آن ضروری می‌باشد.

در سطح استان سیستان و بلوچستان را با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی مشخص نموده‌اند. گندمکار و رحیمی (۱۳۹۳)، نیز با استفاده از GIS پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی را با بررسی پارامترهای اقلیمی در سطح استان اصفهان بررسی نموده‌اند. در این پژوهش 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، مکان‌های مناسب برای احداث نیروگاه مشخص شده است.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه‌ی مورد مطالعه

داده‌های GPS^۲ مدل گارمین با دقت ۳ متر، جهت برداشت نمونه‌های آموزشی و نقاط کنترل زمینی استفاده شده است. در فاز دوم پس از آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی نسبت به اجرای مدل تصمیم‌گیری اقدام شد. در این راستا با تشکیل شبکه در بین معیارها و زیرمعیارها، اهمیت هر کدام از آنها نسبت به هدف ارزیابی شده و با وارد نمودن آنها در نرم افزار Superdicion اولویت هر کدام از آنها بررسی شده و این مرحله نیز با به دست آوردن سوپر ماتریس حد و ضرایب اهمیت هر کدام از آنها پایان پذیرفت. در نهایت با اعمال ضرایب بر روی لایه‌هایی که در مرحله اول آماده شده‌اند، خروجی نهایی که امکان‌سنجی استقرار پل‌های خورشیدی در سطح استان آذربایجان شرقی می‌باشد، استخراج شد. شکل ۲ ساختار و فرآیند انجام پژوهش را نشان می‌دهد.

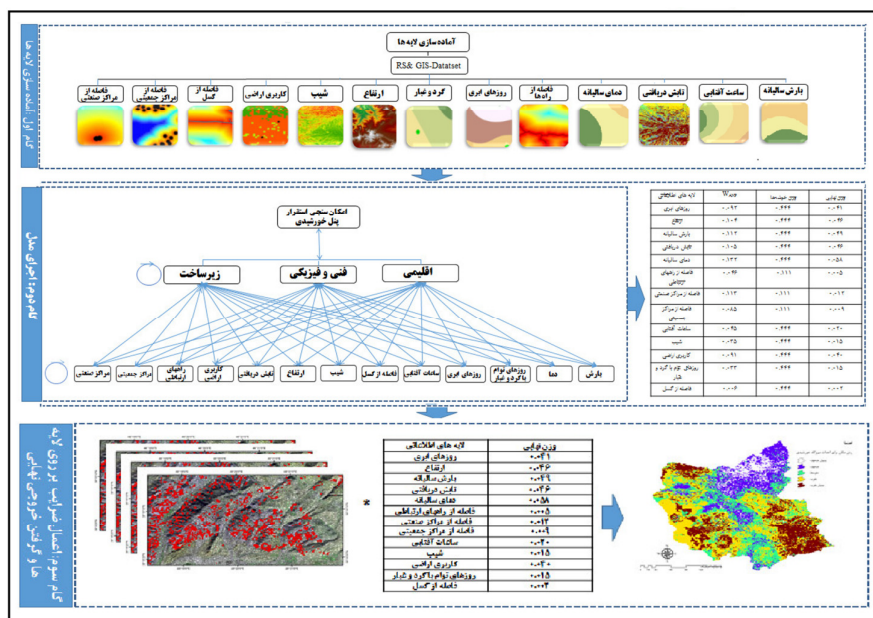
مواد و روش‌ها:

داده‌های مورد استفاده و روش پژوهش

با توجه به ماهیت تحقیق، در ابتدا نسبت به تعیین معیارها و فاکتورهای تاثیرگذار در امکان‌سنجی و مکانیابی پل‌های خورشیدی پرداخته شده است. در این راستا، از تصاویر سنجنده OLI ماهواره‌ی Landsat 8 سال ۲۰۱۴ جهت استخراج نقشه کاربری اراضی استان آذربایجان شرقی استفاده گردید. همچنین از داده‌های مدل رقومی ارتفاع (SRTM^۱) با دقت مکانی ۳۰ متر جهت بررسی سطوح ارتفاعی، وضعیت شیب، جهت شیب و تابش دریافتی استفاده شده است. پارامترهای اقلیمی تاثیرگذار نیز که شامل بارش، دما، رطوبت، روزهای توام با گرد و غبار، روزهای ابری، بارش و ساعات آفتابی می‌باشند، از داده‌های آماری ۱۳ ایستگاه سینوپتیک موجود در سطح استان در بازه (۲۰۱۴ - ۱۹۸۶) استخراج شده است. همچنین از

^۲ Global Position System

^۱ Shuttle Radar Topography Mission



شکل (۲): ساختار و فرآیند انجام پژوهش

تجزیه و تحلیل:

انتخاب معیارها و آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی:

عوامل موثر در استقرار پنل‌های خورشیدی شامل معیارهای اقلیمی، زیرساخت و فنی و فیزیکی و زیرمعیارهای مربوط به آنها بر اساس نظر کارشناسان و با توجه به تحقیقات و پژوهش‌های صورت گرفته‌ی پیشین انجام گرفته و سعی شده است تمامی پارامترهای موثر در مکان‌یابی پنل‌های خورشیدی در تصمیم‌گیری دخیل گردد. تحلیل هر کدام از این معیارها و زیرمعیارهای مرتبط در زیر آمده‌است.

معیارهای مربوط به شرایط اقلیمی:

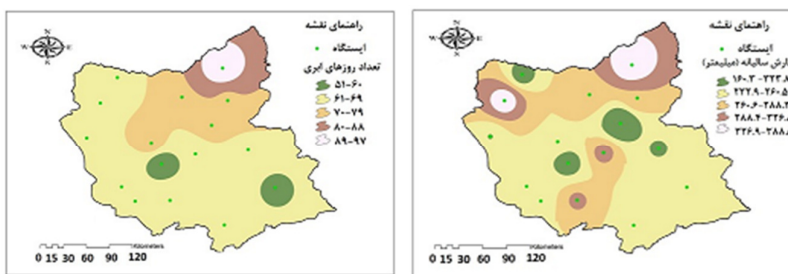
در استفاده از انرژی‌های خورشیدی از طریق نیروگاه‌های خورشیدی، فراسنج‌های آب و هوایی بسیار دخیل می‌باشند (Muneer et.al,2006: 556). از جمله مهمترین این عوامل می‌توان به میانگین بارش سالیانه، دما، ساعات آفتابی، روزهای توام با گرد و غبار و ابرناکی اشاره نمود.

بارش و تعداد روزهای ابری:

بارش و شرایط آن یکی از عوامل مهم در مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی است چرا که 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 و از طرف دیگر نشان‌دهنده وجود ذرات معلق در اتمسفر آن منطقه است که هر دو این عوامل بر روی استقرار پنل‌های خورشیدی اثر منفی دارند و به طور کلی بارش باران اثرات نامطلوبی را، از اشکالات فنی گرفته تا آلودگی سطح صفحات فتولتاییک را سبب می‌شود. اما مناطق با بارش بسیار کم نیز بدلیل فقر پوشش گیاهی و هم‌زیادی غبار آلودگی آن مناطق نیز مطلوب نمی‌باشد (حیدری، ۱۳۸۸: ۴۲). مهمترین عامل از نظر کنترل انرژی تابشی خورشید ابرناکی آسمان است. ابرها به طور متوسط ۲۱ درصد انرژی موج کوتاه خورشید را منعکس می‌کنند؛ در مواقعی که هوا آفتابی بوده و هیچ ابری در آسمان وجود ندارد، قسمت اعظم انرژی خورشید به زمین می‌رسد (علیچانی، ۱۳۸۳: ۴۸). در استان آذربایجان شرقی ۵۱ تا ۹۱ روز در سال ابری بوده که بیشترین تعداد روزهای ابری در شمال و شمال شرق استان حادث می‌شود. بارش ثبت شده استان نیز از ۱۶۰.۳ تا ۳۸۸.۵ میلی‌متر متغیر می‌باشد. محدوده‌های شمال شرق استان، مناطقی از شمال غرب و مرکز نیز بالاترین مقادیر بارش ثبت شده را دارند و به طور کلی به جز مناطق ذکر شده سایر مناطق استان از لحاظ بارش و تعداد روزهای ابری برای

استقرار پنل مناسب می‌باشند. شکل ۳ درون‌یابی بارش توزیع بارش سالیانه و روزهای ابری را در سطح استان آذربایجان شرقی نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که از روش درون‌یابی IDW برای درون‌یابی عوامل اقلیمی استفاده شده‌است.

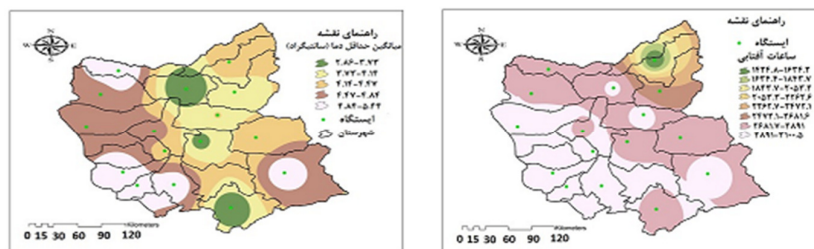


شکل (۳): توزیع عوامل اقلیمی (a): بارش سالیانه به میلیمتر، (b): تعداد روزهای ابری

موقعیت جغرافیایی و شرایط خاص توپوکلیماتیک هم از لحاظ دمایی و هم از لحاظ ساعات آفتابی وضعیت ایده‌آلی برای نصب پنل‌های خورشیدی دارا می‌باشد. ساعات آفتابی در استان در بازه‌ی ۱۴۲۴ تا ۳۱۰۰ بوده که با نزدیکی به بخش‌های شمالی از نسبت ساعت آفتابی کاسته می‌شود. میانگین حداقل دمای سالیانه ۲۸۸ تا ۵.۴۴ درجه سانتیگراد می‌باشد که در پراکنش آن عوارض محلی نقش اساسی را ایفا می‌کنند؛ بنابراین از لحاظ ساعات آفتابی و میانگین دمای سالیانه بیشتر نقاط استان از وضعیت مناسبی برخوردار است. شکل ۴ ساعات آفتابی و میانگین دمای سالیانه را نشان می‌دهد.

ساعات آفتابی و دما:

ساعات آفتابی یکی از مهم‌ترین پارامتر اقلیمی است این پارامتر خود تحت تأثیر چند عامل مؤثر بر تابش از جمله مدت زمان تابش می‌باشد که خود معلول عرض جغرافیایی است که در پارامتر ساعات آفتابی به طور مستقیم اثرگذار است و دیگری میزان ابرناکی و غبار آلودگی شدید هوا که هر دو این عوامل با پارامتر ساعات آفتابی رابطه عکس دارند (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۰: ۳). پنل‌های خورشیدی در دمای پایین‌تر، برق بیشتری تولید می‌کنند. البته سیستم‌های PV در روزهای زمستانی کمتر از روزهای تابستانی انرژی تولید می‌کنند که علت آن نه برودت هوا، بلکه کاهش ساعات روز و پایین بودن زاویه تابش خورشید است. استان آذربایجان شرقی به دلیل



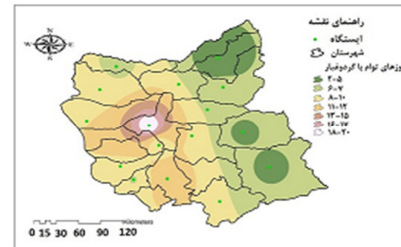
شکل (۴): توزیع عوامل اقلیمی (a): ساعات آفتابی، (b): میانگین دمای سالیانه به درجه سانتیگراد

موجب گرم شدن هوا گردند این ذرات ۱۵ درصد انرژی موج کوتاه خورشید را جذب می‌کنند (علیزاده و همکاران، ۱۳۷۹). علاوه بر جذب انرژی خورشیدی با پوشاندن سطح سلول‌های خورشیدی بازده تولید انرژی را کاهش می‌دهند. بنابراین

گرد و غبار:

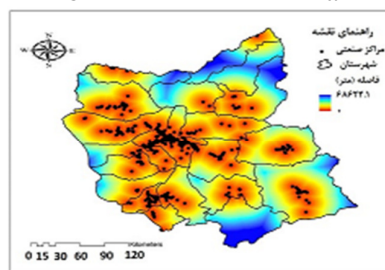
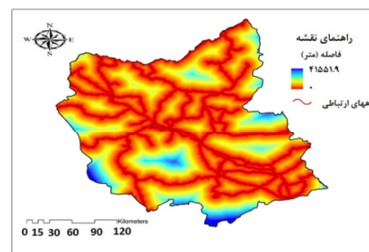
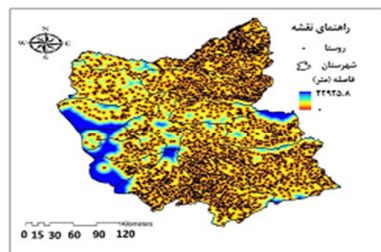
در حالت کلی دو اثر متضاد مواد معلق در هوا این است که این مواد با انعکاس پرتوهای خورشیدی به خارج از جو باعث سرد شدن زمین می‌شوند یا ممکن است با جذب انرژی خورشید

مناطق که کمترین روزهای همراه با توفان گرد و غبار را داشته باشند برای استقرار پنل‌های خورشیدی مناسب‌تر می‌باشند (موقری و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۰۷). منطقه‌ی مورد مطالعه در سطح غرب کمترین عارضه گرد و غبار را دارد به طوری که حداکثر ۲۰ روز و حداقل ۲ روز گزارش وقوع گرد و غبار در سطح استان شده‌است.



شکل (۵): توزیع عوامل اقلیمی؛ روزهای توام با گرد و غبار در سطح استان آذربایجان شرقی

معیارهای مربوط به شرایط زیرساخت:
فاصله از راه‌های ارتباطی، مراکز صنعتی و جمعیتی:
 در استفاده از انرژی خورشیدی توجه به زیرساخت‌ها بسیار حائز اهمیت است. از جمله مهمترین این عوامل می‌توان به فاصله از راه‌های ارتباطی، فاصله از مراکز صنعتی و جمعیتی اشاره نمود چون این مراکز هم به عنوان مسیرهای دسترسی برای نصب و تعمیر تجهیزات و هم به عنوان استفاده‌کنندگان از این انرژی می‌بایستی در اولویت قرار بگیرند. فاصله پیشنهادی از جاده‌های آسفالتی ۵۰۰ متر تا ۶ کیلومتر، از مراکز صنعتی حداقل ۱ و حداکثر ۳۰ کیلومتر و از مراکز جمعیتی ۲ تا ۲۰ کیلومتر می‌دهد (Aydin, 2009: 80)، یوسفی و همکاران، ۱۳۹۱: ۹). شکل ۶ توزیع زیرساخت‌های مورد نیاز برای پنل‌های خورشیدی را در سطح استان نشان می‌دهد.

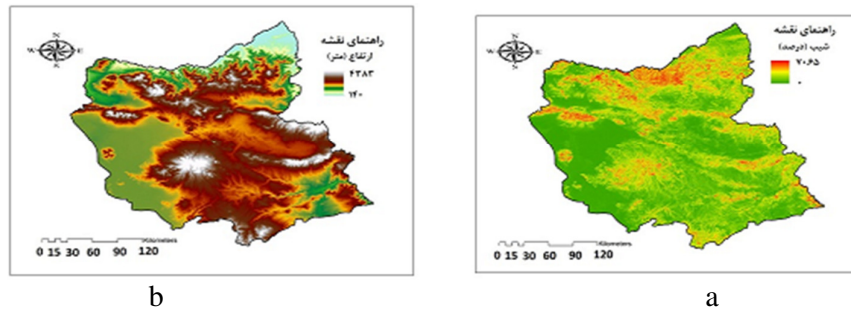


شکل (۶): توزیع زیرساخت‌ها (a): فاصله از راه‌های ارتباطی، (b): فاصله از مراکز جمعیتی (c): فاصله از مراکز صنعتی

می‌بایستی مسئله دسترسی هم مدنظر قرار گیرد. مناسب‌ترین شیب برای استقرار پنل کمتر از ۳٪ می‌باشد (Hang, 2008: 2508; Broesample et al, 2001: 8). همانطور که در شکل ۷ نیز نشان داده شده‌است، دامنه ارتفاعی در استان آذربایجان شرقی ۱۱۴۰ تا ۳۷۱۰ متر، همچنین کمترین و بیشترین شیب به ترتیب ۰ و ۷۰٪ می‌باشد.

معیارهای مربوط به شرایط فنی و فیزیکی: شیب و ارتفاع:

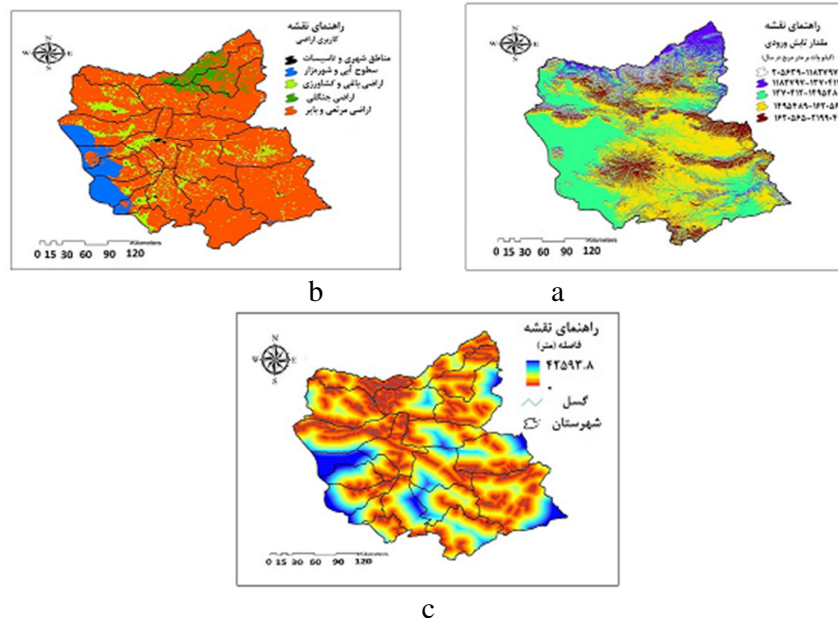
هرچه ارتفاع منطقه بیشتر باشد ترکیبات جو رقیق‌تر و ضخامت جو کمتر است و انرژی طول موج کوتاه خورشید ورودی بیشتر خواهد بود (علیجانی، ۱۳۸۳: ۵۵). در نتیجه مناطق مرتفع‌تر پتانسیل بیشتری را برای استقرار پنل دارا می‌باشند البته



شکل (۷): توزیع عوامل فنی و فیزیکی (a): شیب به درصد، (b): ارتفاع به متر

که نیاز به انرژی برق بسیار زیاد می‌شود لازم و ضروری می‌باشد؛ حداقل فاصله‌ی پیشنهادی از گسل ۱ تا ۶ کیلومتر می‌باشد (jank,2010:2231). مقادیر تابش ورودی استان ۲۰۵۶۳۹ تا ۲۱۹۹۰۴۱ کیلو وات بر متر مربع در سال می‌باشد (شکل ۸، a) که نشان از این واقعیت است که بیشتر سطح استان وضعیت مناسبی از لحاظ تابش دریافتی دارد؛ کاربری‌های استان نیز در پنج طبقه تهیه شده‌اند که در اجرای مدل به کاربری‌هایی که بیشترین انرژی را دریافت نموده‌اند، وزن بیشتری اختصاص یافته‌است. شکل ۸، توزیع عوامل فوق را در سطح استان نشان می‌دهد.

تابش دریافتی، کاربری اراضی و فاصله از گسل:
ویژگی‌های سطح زمین یکی از مهمترین پارامترها موثر در انرژی دریافتی می‌باشد، این عامل به عرض جغرافیایی، زمان، شیب، جهت شیب و ارتفاع بستگی دارد. حداقل میزان تابش دریافتی برای استفاده اقتصادی از پنل ۵ کیلو وات ساعت بر متر مربع در ساعت بر متر مربع در روز پیشنهاد شده است-Chung (Ling,2009: 29; Broesmle et al,2001:6). کاربری اراضی نیز در بررسی محل مناسب برای استقرار پنل خورشیدی می‌بایستی مورد توجه قرار بگیرد (Azoumah,2010:1547) و حتی‌المکان در کاربری‌هایی مانند جنگل و ... که نور کمتری را دریافت می‌کنند، انتخاب نشوند. رعایت فاصله از گسل برای جلوگیری از آسیب رسیدن به پنل در زمان زلزله



شکل (۸): توزیع عوامل فنی و فیزیکی (a): تابش دریافتی، (b): کاربری اراضی (c) فاصله از گسل

شود، برای تعیین میزان سازگاری مقایسه‌ها از شاخص سازگاری وزن معیارها استفاده می‌شود که این شاخص با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$CR = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad \text{فرمول (۲):}$$

نکته اساسی در استفاده از این روش توجه به این نکته است که CR بایستی کمتر از ۰.۱ باشد. با توجه به هر معیار، مقایسه زوجی در دو مرحله (در سطح عناصر و مقایسه بین خوشه‌ها) انجام می‌شود که نتایج حاصل از مقایسه‌ها در سوپرماتریس وارد خواهد شد (Drobne and Lisec, 2009:463).

ج- تشکیل سوپرماتریس و تبدیل آن به سوپر ماتریس حد

برای دستیابی به اولویت‌های کلی در یک سیستم با تاثیرات متقابل، بردارهای اولویت داخلی (یعنی W محاسبه شده) در ستون‌های مناسب یک ماتریس وارد می‌شوند. در نتیجه یک سوپر ماتریس (در واقع یک ماتریس تقسیم بندی شده) که هر بخش از این ماتریس که بیانگر ارتباط بین خوشه در یک سیستم هست استخراج می‌شود. این ماتریس را سوپر ماتریس اولیه می‌نامند. در مرحله بعد سوپر ماتریس ناموزون از طریق ضرب مقادیر سوپر ماتریس ناموزون در ماتریس خوشه‌ای محاسبه می‌شود. سپس از طریق نرمالیزه کردن سوپر ماتریس موزون، سوپر ماتریس از نظر ستونی به حالت تصادفی تبدیل می‌شود. (Saaty, 1990). در نهایت در مرحله سوم سوپر ماتریس حد با به توان رساندن تمامی عناصر سوپر ماتریس موزون تا زمانی که واگرایی حاصل شود (از طریق تکرار) یا به عبارت دیگر تمامی عناصر سوپر ماتریس همانند هم شوند، محاسبه می‌شود (زبردست، ۱۳۸۸: ۸۶).

$$\lim_{k \rightarrow \infty} W^k \quad \text{فرمول (۳):}$$

د- انتخاب گزینه برتر

اگر سوپر ماتریس تشکیل شده در مرحله سوم، کل شبکه را در نظر گرفته باشد (لحاظ تمام گزینه‌ها در شبکه)، اولویت کلی گزینه‌ها از ستون مربوط به گزینه‌ها در سوپر ماتریس حد نرمالیزه شده، قابل محاسبه خواهد بود. اما اگر سوپر ماتریس،

اولویت بندی و تعیین وزن‌های معیار برای فاکتورهای در نظر گرفته شده:

تصمیم‌گیری چند شاخصه (MCDA) یکی از اساسی‌ترین سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری در عملیات‌های GIS می‌باشد (Jiang and Eastman, 2000: 175). قابلیت MCDA مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی در یکپارچه‌سازی اطلاعات یکی از مفیدترین روش برای برنامه‌ریزی و مدیریت فضایی را فراهم می‌سازد (Joerin et al. 2001:160; Chen Feizizadeh et al., 2014, Karnatak et al. 2007:415; et al., 2007:1323). فرآیند تحلیل شبکه‌ای، روشی جامع و قدرتمند برای تصمیم‌گیری دقیق می‌باشد که توسط توماس ال ساعتی در سال ۱۹۹۶ میلادی مطرح گردیده است. به دنبال محدودیت‌هایی AHP و عدم توانایی این رویکرد در لحاظ کردن وابستگی‌های بین معیارها و عوامل، رویکرد فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) معرفی گردید (داداش پور و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱۵). در این پژوهش با توجه به توانایی فرایند تحلیل شبکه (ANP) در تجزیه و تحلیل داده‌ها و انتخاب گزینه برتر از این روش استفاده شده است که به طور کلی شامل چهار مرحله زیر است (زبردست، ۱۳۸۸: ۸۴).

الف- ساخت مدل و تبدیل مسئله به یک ساختار شبکه‌ای:

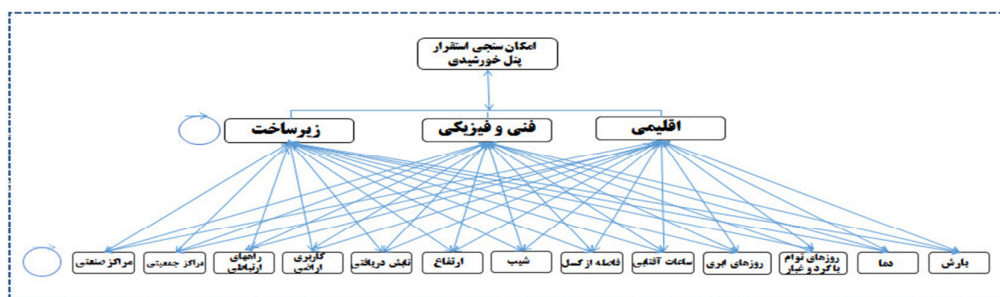
در فرایند تجزیه و تحلیل و پیاده سازی سیستم تصمیم‌گیری مکانی، مسئله باید به طور آشکار و روشن به یک سیستم منطقی، مثل شبکه تبدیل شود. این ساختار شبکه‌ای را می‌توان با استفاده از تحلیل سلسله مراتبی یا هر روش مناسب دیگری چون دلفی بدست آورد.

ب- تشکیل ماتریس مقایسه زوجی و تعیین بردارهای اولویت

$$A w = \lambda_{\max} w \quad \text{فرمول (۱)}$$

A: ماتریس مقایسه زوجی معیارها، w: بردار ویژه (ضریب اهمیت)، λ_{\max} : بزرگترین مقدار ویژه عددی است. بعد از نرمال سازی می‌بایستی جمع هر ستون در ماتریس برابر یک

فقط بخشی از شبکه که وابستگی متقابل دارند را شامل شود و گزینه‌ها در سوپر ماتریس در نظر گرفته نشود، محاسبات تکمیلی جهت اولویت‌بندی کل گزینه‌ها نیاز خواهد بود. گزینه‌ای که بیشترین اولویت کلی را داشته‌باشد، به عنوان برترین گزینه برای موضوع مورد نظر شناخته می‌شود (زبردست، ۱۳۸۸: ۸۷). در این پژوهش پس از بررسی معیارها و زیرمعیارهای تاثیرگذار بر احداث پل‌های خورشیدی، اقدام به تشکیل شبکه شده (شکل ۹) و ماتریس مقایسه تشکیل شد، سپس بر اساس نظرات کارشناسی اقدام به اولویت‌بندی معیارهای لحاظ شده گردید. در نهایت با وارد نمودن ضرایب در نرم افزار Superdecision بردارهای ویژه به دست آمده‌اند؛ به ترتیب ساختار شبکه در شکل ۹ آمده است.



شکل (۹): برقراری رابطه‌ی شبکه‌ای بین هدف، معیارها و زیرمعیارها

در مرحله اول اهمیت هر کدام از معیارها نسبت به هدف به صورت متقابل سنجیده خواهد شد. برای درک وابستگی متقابل بین معیارهای اصلی، مقایسه دودویی بین معیارهای اصلی بر اساس مقیاس ۹ کمیتی ساعتی انجام می‌شود. با توجه به وابستگی متقابل بین معیارها، مقایسه دودویی هر کدام از آنها نسبت به یکدیگر صورت گرفته و در جداول ۱ تا ۷ ارائه شده است. لازم به ذکر است مقادیر ضریب ناسازگاری (CR)، با دقت صدم (۰.۰۰) آمده‌است.

جدول (۱): مقایسه زوجی معیارهای اصلی

عنوان خوشه	اقلیمی	زیرساخت	فنی و فیزیکی	بردار ویژه (W)
اقلیمی	۱	۲	۱	۰.۴
زیر ساخت		۱	۰.۲۵	۰.۲
فنی و فیزیکی			۱	۰.۴

$$CR = 0.00$$

جدول (۲): مقایسه زوجی معیارهای اصلی با توجه به وابستگی درونی آنها با عامل اقلیمی

معیار	عوامل زیر ساختی	عوامل فنی و فیزیکی	بردار ویژه (W)
عوامل زیر ساختی	۱	۰.۵	۰.۳۳۳
عوامل فنی و فیزیکی		۱	۰.۶۶۶

$$CR = 0.00$$

جدول (۳): مقایسه زوجی معیارهای اصلی با توجه به وابستگی درونی آنها با عامل فنی و فیزیکی

معیار	عوامل اقلیمی	عوامل زیر ساختی	بردار ویژه (W)
عوامل اقلیمی	۱	۲	۰.۶۶۶
عوامل زیر ساختی		۱	۰.۳۳۳

$$CR = 0.00$$

جدول (۴): مقایسه زوجی معیارهای اصلی با توجه به وابستگی درونی آنها با عامل زیر ساختی

معیار	عوامل اقلیمی	عوامل فنی و فیزیکی	بردار ویژه (W)
عوامل اقلیمی	۱	۱	۰.۵
عوامل فنی و فیزیکی		۱	۰.۵

$$CR = 0.00$$

با توجه به اینکه برخی عناصر درون خوشه‌ها معیار کنترل ماتریس مقایسه زوجی تشکیل شده و عناصر ماتریس دو به دو با هم مقایسه شده و وزن ماتریس محاسبه می شود و نتیجه وارد سوپر ماتریس اولیه می شود.

جدول (۵): مقایسه زوجی زیرمعیارهای مربوط به معیار عوامل اقلیمی

معیار	باران	آفتاب	دما	روزهای ابری	روزهای گردو خاکی	بردار ویژه (W)
باران	۱	۱	۱	۱	۱	۰.۲
آفتاب		۱	۱	۱	۱	۰.۲
دما			۱	۳	۱	۰.۲
روزهای ابری				۱	۱	۰.۲
روزهای گرد و خاک					۱	۰.۲

$$CR : 0.01$$

جدول (۶): مقایسه زوجی زیرمعیارهای مربوط به معیار عوامل زیر ساختی

معیار	مراکز صنعتی	جاده	جمعیت	بردار ویژه (w)
مراکز صنعتی	۱	۰.۵	۱	۰.۲۵
جاده		۱	۲	۰.۵
جمعیت			۱	۰.۲۵

$$CR: 0.00$$

جدول (۷): مقایسه زوجی زیرمعیارهای مربوط به معیار عوامل فنی و فیزیکی

معیار	گسل	شیب	ارتفاع	تابش دریافتی	کاربری	بردار ویژه (W)
گسل	۱	۰.۵	۰.۲۵	۰.۱۶	۱	۰.۰۷
شیب		۱	۰.۵	۰.۳۳	۱	۰.۱۲
ارتفاع			۱	۰.۵	۲	۰.۲۳
تابش دریافتی				۱	۶	۰.۴۶
کاربری					۱	۰.۰۹

$$CR: 0.01$$

بعد از بررسی روابط زیر معیارها، مقایسه زوجی بین زیر معیارها صورت گرفته و بردار ویژه آنها استخراج شد. در مرحله پایانی هر کدام از زیر معیارها به پنج طبقه تقسیم گردیده و وزن مناسب بر اساس اهمیت، به آنها تعلق گرفت. به شکلی که عاملی همانند شیب مقدار (مطلوب) در طبقه‌ی یک قرار گرفته و در عاملی همانند ارتفاع مقدار بیشینه (مطلوب) با قرار گرفتن در طبقه‌ی یک بیشترین وزن را خواهند گرفت.

پس از انجام مراحل فوق مقایسه زیر معیارها، سوپر ماتریس‌های ناموزون، موزون و حد، جهت محاسبه‌ی WANP (ضرایب اهمیت هر کدام از زیرمعیارها نسبت به هدف) استخراج می شود. در مرحله‌ی بعد WANP را در وزن خوشه‌ها ضرب نموده تا ضریب تاثیر هر یک از زیرمعیارها محاسبه شود (جدول ۱۰)، این اعداد در لایه‌ها ضرب گردیده و نقشه‌های نهایی استخراج شد.

جدول (۸): محاسبه‌ی وزن نهایی شاخص‌ها

معیارها	لایه‌های اطلاعاتی	WANP	وزن خوشه‌ها	وزن نهایی	اولویت زیرمعیارها
اقلیمی	روزهای ابری	۰.۰۸۲	۰.۴	۰.۰۳۲	۴
	ساعات آفتابی	۰.۰۹۸	۰.۴	۰.۰۳۹	۳
	بارش سالیانه	۰.۰۷۵	۰.۴	۰.۰۳	۶
	روزهای توام با گرد و غبار	۰.۰۸۱	۰.۴	۰.۰۳۲	۴
	دمای سالیانه	۰.۰۷۹	۰.۴	۰.۰۳۱	۵
زیرساخت	فاصله از راههای ارتباطی	۰.۰۴۶	۰.۲	۰.۰۰۹	۱۱
	فاصله از مراکز صنعتی	۰.۱۱۳	۰.۲	۰.۰۲۲	۷
	فاصله از مراکز جمعیتی	۰.۰۸۵	۰.۲	۰.۰۱۷	۸
فنی و فیزیکی	ارتفاع	۰.۱۰۴	۰.۴	۰.۰۴۱	۲
	تابش دریافتی	۰.۱۵۵	۰.۴	۰.۰۶۲	۱
	شیب	۰.۰۳۵	۰.۴	۰.۰۱۴	۱۰
	کاربری اراضی	۰.۰۴۱	۰.۴	۰.۰۱۶	۹
	فاصله از گسل	۰.۰۰۶	۰.۴	۰.۰۰۲	۱۲

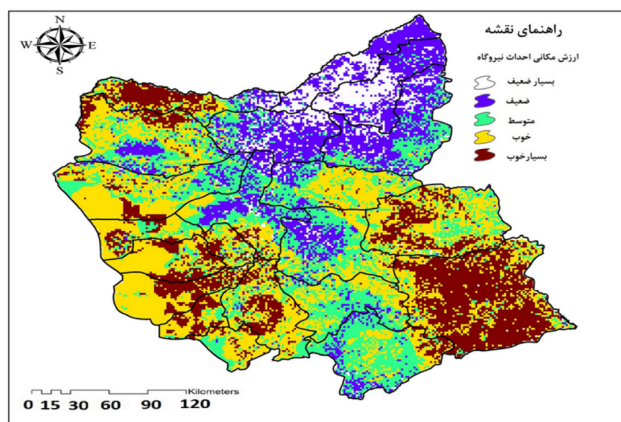
یافته‌های پژوهش

که پارامترهای تابش دریافتی، ارتفاع و ساعت آفتابی از اهمیت بیشتری در مکان‌یابی استقرار پنل‌های خورشیدی برخوردار هستند (جدول ۸). با نقشه امکان‌سنجی تهیه شده برای استان، منطقه مورد مطالعه به ۵ کلاس تقسیم‌بندی شده و نتایج نشان می‌دهد که ۴۸.۶۱٪ سطح استان دارای شرایط خوب و بسیار خوب می‌باشند که قسمت‌های جنوب شرقی، غربی و جنوب غربی استان به دلیل شرایط خاص توپوکلیماتیک بالاترین پتانسیل را برای استقرار پنل‌های خورشیدی دارا می‌باشند، همچنین قسمت‌های شمالی استان به دلیل وجود جنگل‌های ارسباران و تابش دریافتی کم دارای شرایط بسیار ضعیف برای استقرار انرژی جایگزین هستند. در کل همانطور که در شکل ۱۰ نیز مشاهده می‌شود سطح وسیعی از استان دارای شرایط بسیار خوب و خوب به لحاظ استقرار این تجهیزات می‌باشند و مسئولان امر می‌توانند از این انرژی به عنوان جایگزین انرژی فسیلی در سطح وسیع در استان برنامه‌ریزی نمایند. جدول ۹ مساحت هر کدام از طبقات را به تفکیک نشان می‌دهد.

پس از گردآوری داده‌ها، رقومی نمودن و بدست آوردن ضرایب اهمیت هر یک از معیارها و زیرمعیارها در نهایت همپوشانی لایه‌ها صورت می‌گیرد. توابع همپوشانی هنگامی که در لایه‌های رستر عمل می‌کند همانند توابع ریاضی می‌باشد، زیرا در لایه‌های رستر هر سلول دارای یک ارزش می‌باشد که هنگام همپوشانی در صورت استفاده از تابع جمع، ارزش سلول‌ها در موقعیت‌های یکسان با هم جمع زده می‌شود و لایه خروجی دارای جمع ارزش دو لایه است. در هم پوشانی‌های رستری با توجه به نوع عملگر می‌توان بسته به هدف، لایه‌ها را در هم ضرب، اجتماع (AND) و یا اشتراک (OR) آنها را گرفت. در این پروژه لایه‌های اطلاعاتی پس از اعمال ضرایب به دست آمده از مدل با استفاده از عملگر AND با هم ترکیب گردیده و در نهایت نقشه‌ی نهایی امکان‌سنجی استقرار پنل‌های خورشیدی در سطح استان آذربایجان شرقی استخراج شد (شکل ۱۰). نتایج حاصل از تحلیل نهایی حساسیت و اهمیت زیر معیارها نسبت به هدف نشان می‌دهد

جدول (۹): مساحت هر کدام از طبقات برای استقرار پنل‌های خورشیدی در سطح استان آذربایجان شرقی

ردیف	وضعیت	مساحت	درصد
۱	بسیار ضعیف	۳۵۰۲.۲۹	۷.۳۸
۲	ضعیف	۸۹۲۳.۲۸	۱۸.۸۲
۳	متوسط	۱۱۹۱۸.۴۸	۲۵.۱۳
۴	خوب	۱۴۸۸۶.۶۱	۳۱.۳۹
۵	بسیار خوب	۸۱۸۲.۲۷	۱۷.۲۵



شکل (۱۰): امکان‌سنجی استقرار پنل خورشیدی در سطح استان آذربایجان شرقی

نتیجه‌گیری:

صورت گرفت. در مطالعات قبلی که به صورت ترکیبی از مدل‌های مختلف صورت گرفته (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۰؛ موقری و طاوسی، ۱۳۹۲، صادقی و همکاران، Dawson & Schlyter, 2012) عموماً از مدل‌های وزنی ساده (OWA و SAW، AHP و ...) به عنوان مدل اصلی جهت انتخاب مناسب‌ترین مکان جهت استقرار پنل‌های خورشیدی استفاده نموده‌اند لذا با توجه به ضعف این مدل‌ها در استفاده نکردن از روابط بین معیارها و عوامل، در این پژوهش از روش تحلیل شبکه به دلیل قدرت بالا استفاده گردید، مقدار افزایش صحت در این روش تا حد زیادی به ایجاد شبکه و برقراری ارتباطات پیچیده بین و میان عناصر تصمیم بستگی دارد. همچنین در این تحقیق با مطالعه پیشینه‌ی پژوهش و استفاده از نظریات کارشناسی متخصصان امر، سعی شده است تمامی معیارهای تاثیرگذار در تعیین مکان مناسب جهت استقرار پنل‌های خورشیدی استفاده گردد که در سایر پژوهش‌ها کمتر مورد توجه قرار گرفته است و از تعداد

با توجه به رشد اقتصادی کشور، نیاز به انرژی در کشور با شیب تندی رو به افزایش است. توجه به استفاده از انرژی‌های نو از جمله انرژی خورشیدی برای تامین بخشی از انرژی الکتریکی مورد نیاز شهرها و روستاهای کشور جهت در رسیدن به اهدافی همچون تنوع بخشی سبد انرژی، استفاده از منابع انرژی بومی، کاهش اثرات زیست محیطی و در نهایت توسعه‌ی پایدار بخش انرژی ضروری است. از این رو مکان‌یابی این نیروگاه‌ها به عنوان مرحله‌ی مهمی از مراحل احداث نیروگاه‌های خورشیدی جهت تسریع در امر پیشرفت تولید برق از منبع خورشید در دستور کار این تحقیق قرار گرفت. در راستای این تحقیق و با توجه به اینکه این استان آذربایجان شرقی یکی از استان‌های صنعتی کشور بوده که با وجود شهرک‌های صنعتی فراوان و بزرگ نیازمند افزایش تولید انرژی الکتریکی است، با استفاده از مدل ANP امکان‌سنجی استقرار پنل‌های خورشیدی در سطح استان آذربایجان شرقی

۷- صادقی، زین العابدین؛ دلال‌باشی اصفهانی، زهرا؛ حری، حمیدرضا (۱۳۹۲)، اولویت‌بندی عوامل موثر بر مکان‌یابی نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر (انرژی خورشیدی و انرژی باد) استان کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره. مجله پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری انرژی سال یکم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۲، صص ۹۳-۱۱۰.

۸- علیزاده، امین؛ کمالی، غلامعلی؛ موسوی، فرهاد؛ موسوی بایگی، محمد (۱۳۷۹)، هوا و اقلیم‌شناسی، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، تعداد صفحه ۲۸۹.

۹- علیجانی، بهلول (۱۳۸۳)، آب و هوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور، تعداد صفحه ۲۲۲.

۱۰- فرقانی، علی؛ ساعدپناه، بیژن؛ آخوندی، علیرضا (۱۳۹۲). درآمدی بر تدوین نقشه‌ی راه نیروگاه خورشیدی در ایران. دوفصلنامه توسعه تکنولوژی صنعتی شماره بیست و یک. صص: ۸۷-۱۰۶.

۱۱- گندمکار، امیر؛ رحیمی، اعظم (۱۳۹۳) پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان اصفهان با استفاده از GIS. اولین کنفرانس بین‌المللی مهندسی محیط زیست. تهران، مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار.

۱۲- موقری، علیرضا؛ 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: صص ۹۹-۱۱۴.

۱۳- یوسفی، حسین؛ نورالهی، یونس؛ سلطان محمدی، مجید، ارجمندی، رضا (۱۳۹۱). کاربرد منطق فازی و FTOPSIS جهت مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از GIS (مطالعه موردی استان تهران). نشریه انرژی ایران، دوره ۱۵. شماره چهار. صص ۱-۲۴.

14- Azoumah, Y., Ramde. E.W., Tapsoba G., S. Thiam., (2010). Siting guidelines for concentrating solar power plants in the Sahel: Case study of Burkina Faso. Solar Energy, pp: 1545-1553.

15- Benghanem. M., (2011). Optimization of tilt angle for solar panel: Case study for Madinah,

معیارهای محدودتری بهره‌برده‌اند. نتایج حاصل از پژوهش نشان می‌دهد که سطح وسیعی از استان از لحاظ استقرار این ادوات در وضعیت بسیار خوب قرار دارند که قسمت‌های جنوب شرقی، غربی و شمال‌غربی بیشترین مطلوبیت را دارند. بر اساس نتایج بدست آمده پیشنهاد می‌شود که پژوهشگران از نتایج این تحقیق، در پژوهش‌های آتی از الگوریتم‌ها و عملگرهای مختلف فازی و همچنین در نظر گرفتن پارامترهای بیشتر، جهت رسیدن به دقت بالاتر در مکان‌یابی استفاده نمایند. نتایج این تحقیق برای سازمان‌های اجرایی (وزارت نیرو، سازمان توانیر استان آذربایجان شرقی و ...) به منظور برنامه‌ریزی و مدیریت منابع الکتریکی قابل استفاده خواهد بود.

منابع:

۱- اسفندیاری، علی؛ رنگرن، کاظم؛ صابری، عظیم؛ فتاحی‌مقدم، مهدی (۱۳۹۰). پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از GIS. همایش ژئوماتیک، اردیبهشت ۱۳۹۰.

۲- اشرف، محمدعلی؛ نورالهی، یونس؛ زمانی، محسن (۱۳۹۰). پتانسیل‌سنجی انرژی باد برق منطقه‌ای باختر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۴. شماره ۱: صص ۲-۲۲.

۳- اصغرپور، محمدجواد (۱۳۸۹)، تصمیم‌گیری‌های چند معیاره. چاپ هشتم. انتشارات دانشگاه تهران. تعداد صفحه ۳۹۸.

۴- اکرامی، عطیه؛ صادقی، مهدی (۱۳۸۵). ارزیابی اقتصادی توسعه نیروگاه‌های خورشیدی با توجه به ملاحظات زیست محیطی. علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره دهم، شماره دو، صص ۴۳-۵۰.

۵- حیدری، مصطفی (۱۳۸۸) مکان‌یابی ساخت نیروگاه‌های خورشیدی در ایران، نشریه مبدل گرمایی، شماره ۳۴. صص ۳۸-۴۹.

۶- داداش‌پور، هاشم؛ خدابخش، حمیدرضا؛ رفیعیان، مجتبی (۱۳۹۱). تحلیل فضایی و مکان‌یابی مراکز اسکان موقت با استفاده از تلفیق فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS). مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره اول، بهار ۱۳۹۱، صص ۱۳۱-۱۱۱.

- Geographical Information Sciences, Vol: 14, pp: 173–184.
- 27- Joerin. F., Theriault, M., and Musy, A., (2001). Using GIS and outranking multicriteria analysis for land use suitability assessment. *International Journal of Geographical Information Science*, Vol: 15, pp: 153–174.
- 28- Hang Q., Jun. Z., Xiao. Y., Junkui, C., (2008). Prospect of concentrating solar power in China—the sustainable future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol: 12 (9), pp: 2505–2514.
- 29- Karnatak. H.C., Saran. S., Bhatia. K., Roy. P. S., (2007). Multicriteria spatial decision analysis in web GIS environment. *Geoinformatica*, Vol:11, pp: 407–429.
- 30- Kucuksari. S., Amirreza Khaleghi. M., Hamidi. M., Zhang. Y., Szidarovszky. F., Bayraksan. Guzin., Son.Y.J (2014). An Integrated GIS, optimization and simulation framework for optimal PV size and location in campus area environment. *Applied Energy* 113, pp: 1601–1613.
- 31- Muneer. T., (2006), Discourses on solar radiation modeling. *Renewable and sustainable energy review*, Issue 4, pp: 551-602.
- 32- Nazli. Y. A., (2009). GIS Based Site Selection Approach For Wind And Solar Energy Systems: A Case Study From Western Turkey. A Thesis Submitted To The Graduated School Of Natural And Applied Sciences of Middle East Technical University, pp: 1-138.
- 33- Polo. J., Bernardos. A., Navarro. A.A., Fernandez-Peruchena, C.M., Ramírez. L., Guisado. M. V, Martínez. S (2015). Solar resources and power potential mapping in Vietnam using satellite-derived and GIS-based information. *Energy Conversion and Management*. pp: 348–358.
- 34- Ramde. E.W., Azoumah, Y., Rungundu. A., Tapsoba. G (2011). Solar Thermal Power Plants in West Africa: Site selection and potential assessment. *Journées Scientifiques Conference*. 4 – 8 Avril. Campus 2iE Ouagadougou.
- 35- Saaty. T. L., (1999). Fundamentals of the Analytic Network Process, *Proceedings of ISAHP 1999*, Kobe, Japan.
- Saudi Arabia *Applied Energy* 88, pp:1427–1433.
- 16-British Petrol Company. Statistical review of world energy; June 2011. <<http://www.bp.com/assets/bp>
- 17- Broesamle. H., Mannstein. H., Schillings. C., Trieb. F., (2001). Assessment of solar electricity potentials in North Africa based on satellite data and a geographic information system. *Solar Energy* 70 (1), pp: 1–12.
- 18- Chen, Y., Khan, S., and Paydar. Z., (2007). Irrigation intensification or extensification assessment using spatial modeling in GIS. *Modelling and Simulation Society of Australia and New Zealand*, pp: 1321–1327.
- 19- Chung-Ling, C.J., (2009). Concentrating Solar Thermal Power: A Viable Alternative in China's Energy Supply. Master's Thesis, Lauder Institute, China.
- 20- Dawson.L., Schlyter. P., (2012). Strategic scale site suitability for concentrated solar thermal power in Western Australia. *Energy Policy*. pp: 91–101.
- 21- Drobne. S., and A.Lisec, (2009). Multi-attribute decision analysis in GIS: weighted linear combination and ordered weighted averaging. *Informatica*, Vol 33, pp: 459–474.
- 22- Feizizadeh. B., Blaschke. T., (2014). An uncertainty and sensitivity analysis approach for GIS-based multicriteria landslide susceptibility mapping. *International Journal of Geographical Information Science*. Published online, pp: 1-29.
- 23- Fluri. T. P., (2009). The potential of concentrating solar power in South Africa. *Energy Policy*, Vol: 37, 5075–5080.
- 24- Janke. R. j (2010). Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado. *Renewable Energy*, pp: 2228-2234.
- 25- Jason, J. R., (2010). Multicriteria GIS modeling of wind and solar farms in Colorado, journal homepage: www.elsevier.com/locate/renene, *Renewable Energy*, Vol: 35, pp: 2228-2234.
- 26- Jiang. H., and Eastman J.R., (2000). Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of*

