

فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی  
سال سوم/ شماره ۹/ زمستان ۱۳۹۶/ صفحات ۱۷۹-۲۰۴

## شناسایی مناطق مستعد از لحاظ اقلیمی جهت احداث نیروگاه‌های خورشیدی در استان کرمانشاه با استفاده از مدل منطق فازی

**علیرضا موقری**

استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه ارومیه

(نویسنده مسئول)

a.movaghari@urmia.ac.ir

**حسن حیدری**

استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه ارومیه

h.heydari@urmia.ac.ir

این پژوهش با توجه به روند کاهشی منابع تجدیدناپذیر و لزوم استفاده از انرژی‌های جایگزین دارای اثرات مخرب زیست محیطی کمتر با هدف پهنه‌بندی و مکان‌یابی نقاط مستعد جهت استقرار نیروگاه خورشیدی با تکیه بر فراسنج‌های اقلیمی در استان کرمانشاه انجام شده است. ابتدا نقشه‌های مجموع ساعات آفتابی سالانه، تابش کل خورشیدی، تعداد روزهای ابری، 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 شدند. پس از استانداردسازی نقشه‌ها و تبدیل آنها به لایه‌های ارزشی در بازه ۰ تا ۱۰ از طریق دو روش ضرب فازی و گامای فازی ۰/۹ با هم تلفیق شدند و نتایج حاکی از این بود که مناطق جنوبی، جنوب‌غربی و همچنین غرب استان (اسلام‌آبادغرب و سرپل‌ذهاب) از استعداد بیشتری جهت احداث نیروگاه خورشیدی برخوردارند. با مقایسه دو روش فازی گاما و فازی محصول و تطبیق نقشه‌های خروجی از این دو مدل با نقشه‌های پارامترهای اقلیمی، این نتیجه حاصل شد که روش گامای فازی ۰/۹ از انعطاف، دقت و اطمینان بیشتری جهت تلفیق و پهنه‌بندی نقشه‌های متنوع برخوردار است.

**واژگان کلیدی:** مناطق مستعد، استان کرمانشاه، نیروگاه خورشیدی، منطق فازی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۸/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۶/۲۸

## ۱. مقدمه

بخش اعظم انرژی مصرفی در جهان به وسیله سوخت‌های فسیلی تامین می‌شود. احتراق سوخت‌های فسیلی باعث ورود حجم عظیمی از اکسیدهای سولفور و نیتروژن، منواکسیدکربن و دی‌اکسیدکربن در جو می‌گردد (اسفندیاری و همکاران، ۱۳۹۰). افزایش مستمر در سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای و صعود قیمت مواد سوختی، نیروهای محرکه اصلی در پس‌تلاش‌های موثرتر جهت استفاده از منابع مختلف انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشند (Kenisarin, 2007). این مشکلات جهان را به استفاده از انرژی‌های جایگزین که اثرات مخرب زیست‌محیطی کمتری و همچنین قابلیت تجدید داشته باشند، سوق داده است. منظور از انرژی‌های جایگزین، انرژی‌هایی است که برای تولید آنها از منابع بدون کربن استفاده می‌گردد مانند انرژی خورشیدی، انرژی بادی، انرژی دریایی، زمین‌گرمایی، نیروگاه‌های آبی. در این میان، انرژی خورشیدی یکی از مهمترین و پاکترین انواع انرژی‌های تجدیدپذیر در دنیاست (حیدری، 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 مسایل در استفاده از انرژی خورشیدی، تعیین محل استفاده از آن می‌باشد که تاثیر زیادی در کارایی تجهیزات و وسایل تولید برق خورشیدی دارد. لذا بهره‌گیری از پتانسیل‌های آب و هوایی می‌تواند اثرات مثبتی در صرفه‌جویی منابع انرژی داشته باشد. در این خصوص، شناسایی نواحی مستعد و مناسب که انرژی خورشیدی در آن در حد مناسبی بوده و بتواند جایگزین انرژی‌های فعلی شود از اهمیت زیادی برخوردار خواهد بود. این پژوهش با هدف مکان‌یابی و پهنه‌بندی نواحی مستعد جهت احداث نیروگاه‌های خورشیدی در استان کرمانشاه انجام شده است. از آنجا که این استان از ساعات آفتابی زیادی در طول سال برخوردار است، لزوم احداث نیروگاه‌های خورشیدی

برای استفاده هرچه بیشتر از این انرژی نو و پاک ضروری به نظر می‌رسد. تحقیقات زیادی در مورد پهنه‌بندی مکان‌ها جهت استفاده بهینه از انرژی خورشیدی صورت پذیرفته است و در تمام این تحقیقات کوشش شده تا با استفاده از روش‌ها و مدل‌های گوناگون به شناخت نواحی مستعد جهت احداث نیروگاه‌ها اقدام شود. پس از مرور پژوهش‌های انجام پذیرفته در این زمینه و آگاهی از نقاط قوت و ضعف مدل‌های بکار برده شده، تصمیم گرفته شد در این تحقیق از مدل منطق فازی استفاده گردد. زیرا نتایج بدست آمده از این مدل به نظر بسیاری از محققان دقیق‌تر بوده و به واقعیت نزدیکتر است. مجموعه‌های منطق فازی به عنوان نظریه‌ای ریاضی برای مدل‌سازی و صورت‌بندی ریاضی ابهام و عدم‌دقت موجود در فرآیندهای شناختی انسانی، ابزارهای بسیار کارآمد و مفیدی به شمار می‌رود. در تحلیل تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره، نظریه فازی معمول‌ترین روش برای بحث و بررسی عدم قطعیت‌ها شناخته شده است که برای برگرداندن طیف متنوع و گسترده‌ای از اطلاعات و داده‌های عینی، اطلاعات کمی، نظرات و قضاوت‌های ذهنی و یک زبان طبیعی برای توصیف اثرات محیط فراهم می‌آورد (صفاری و همکاران، ۱۳۹۴). این نظریه را که نخستین بار پروفسور لطفی زاده دانشمند ایرانی دانشگاه کالیفرنیا در سال ۱۹۶۵ مطرح کرد، حوزه‌های بسیاری از علوم مختلف به‌ویژه دانش برنامه‌ریزی شهری و شهرسازی را فرا گرفته است (امینی فسخودی، ۱۳۸۷). این مدل برای اولین بار در سال ۱۹۷۴ در اروپا برای تنظیم دستگاه تولید بخار در یک نیروگاه کاربرد علمی پیدا کرد و بعدها در تحقیقات و پژوهش‌های مختلف توسط محققان به کار گرفته شد.

این مقاله از ۵ بخش تشکیل شده است: در بخش اول ضمن ارائه مقدمه، به بیان مساله و اهداف پژوهش پرداخته می‌شود؛ بخش دوم، به پیشینه تحقیق و بخش سوم به داده‌ها و روش انجام پژوهش اختصاص می‌یابد؛ در بخش چهارم تحقیق، بحث و نتایج ارائه می‌شود و در بخش پنجم، نتیجه‌گیری مقاله آورده خواهد شد.

## ۲. پیشینه تحقیق

در تحقیقات بسیاری از مدل منطق فازی برای شناسایی مناطق مناسب جهت استقرار صنایع مختلف یا فرآیندهای متنوع استفاده شده است. دادرسی سبزه‌واری (۱۳۷۸) در شناخت مناطق مستعد برای گسترش سیلاب مدل‌های مفهومی را به کار برد. نتایج نشان داد که مدل فازی با اپراتور جمع بهترین سازگاری را در مقایسه با سایر مدل‌ها برای شناسایی مناطق سیل‌خیز و مستعد برای مهار و گسترش سیلاب از خود نشان می‌دهد. اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۰) در تحقیق خود تحت عنوان پتانسیل‌سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی، شهرهای بهبهان، رامهرمز و باغ‌ملک در استان خوزستان را برای احداث این تاسیسات مستعد یافتند. گلی و همکاران (۱۳۸۵) در تبدیل روستا به شهر در منطقه تهران از منطق فازی استفاده کردند و ضرورت الگوهای خاص سکونتگاه‌های روستایی برای تبدیل به شهر را با این مدل مشخص کردند. حیدری و همکاران (۱۳۸۸) به مکان‌یابی ساخت نیروگاه خورشیدی در ایران پرداخته و استان کرمان را مناسب‌ترین مکان تشخیص دادند. خوش اخلاق و همکاران (۱۳۸۶) در تحقیق خود با عنوان مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با توجه به پارامترهای اقلیمی، استان اصفهان را جهت تاسیس نیروگاه خورشیدی مناسب دانسته‌اند.

حبیبی و همکاران (۱۳۸۷) عوامل سازه‌ای و ساختمانی موثر در آسیب‌پذیری بافت کهن شهری زنجان را با استفاده از GIS و منطق فازی معین کرده و نتیجه گرفتند که بخش اعظمی از منطقه در مقابل حوادث طبیعی ناپایدار بوده و لزوم نوسازی آن بشدت احساس می‌گردد. فاطمی و همکاران (۱۳۸۸) خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی در منطقه رودبار را بررسی کردند و نتیجه گرفتند که تنوع لیتولوژی و شرایط آب و هوایی و مورفولوژی از مهم‌ترین عوامل مستعدکننده این پدیده می‌باشد.

انصاری و همکاران (۱۳۸۸) از شاخص بارندگی و تبخیر و تعرق استاندارد شده بر اساس منطق فازی برای پایش خشک‌سالی استفاده کردند و ارائه شاخص فازی نشان داد که این شاخص به رغم

سادگی محاسبات، شاخص قابل اعتمادی می‌باشد. فلاح قاهره و همکاران (۱۳۸۷) از تکنیک منطق فازی و شبکه‌های عصبی برای پیش‌بینی بارش استفاده کردند. در این پژوهش، مدل فازی عملکرد بهتری داشته است. موقری و طاوسی (۱۳۹۲) در پژوهشی تحت عنوان امکان سنجی و پهنه‌بندی مکان‌های مستعد جهت استقرار پنل‌های خورشیدی با تکیه بر فراسنجهای اقلیمی در استان سیستان و بلوچستان، بهترین مکان برای بهره‌برداری از انرژی خورشیدی را شهرستان سراوان و سب سوران و پس از آن شهرهای خاش، ایرانشهر و بخش‌هایی از زهک و نیکشهر تشخیص دادند. احمدی و همکاران (۱۳۹۵) نیز در تحقیقی مشابه مناطق جنوبی و غربی استان ایلام را بهترین مکان‌های احداث نیروگاه خورشیدی تشخیص دادند. در پژوهشی دیگر (صادقی و همکاران، ۱۳۹۲) شهرستان سیرجان به عنوان مناسبترین مکان جهت احداث نیروگاه خورشیدی و شهرستان رفسنجان به عنوان مناسبترین مکان جهت احداث نیروگاه بادی شناسایی شد. حسین زاده و همکاران (۱۳۹۳) در مقاله‌ای تحت عنوان تحلیل تناسب مکانی به منظور احداث نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از GIS به روش AHP (نمونه موردی استان خوزستان)، با استفاده از عوامل نزدیکی به ایستگاه‌های توزیع برق، نزدیکی به مناطق مسکونی، نزدیکی به راه‌های منطقه و میزان ساعت آفتابی، ابرناکی و درجه حرارت منطقه و همچنین کاربری اراضی، شیب و جهت شیب به این نتیجه رسیدند که مناطق شرقی و جنوب‌شرقی استان خوزستان از شرایط بهتری برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی برخوردار است. بهشتی‌نیا و سدادی (۱۳۹۶) به شناسایی معیارهای کیفی و کمی برای احداث نیروگاه‌های با منابع تجدیدپذیر از منظر اقتصادی، زیست‌محیطی، اجتماعی و فنی پرداخته و با استفاده ترکیبی از ابزارهای منطق دیجیتال بهبود یافته و ویکور فازی، روشی برای وزندهی معیارها و اولویت‌بندی احداث نیروگاه‌های تولید برق ارائه دادند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که اولویت احداث با توجه به معیارهای تعیین شده، به ترتیب با نیروگاه‌های برق‌آبی، زمین‌گرمایی، بادی، زیست‌توده و فتوولتائیک است. گرجی و همکاران (۱۳۹۶) در پژوهشی به مکان‌یابی مناطق مستعد نیروگاه خورشیدی با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی

فازی تحت تاثیر پارامترهای اقلیمی در استان فارس پرداخته و نقشه مکانی مناطق مستعد را با توجه به وزن‌های بدست آمده به روش Fuzzy-AHP تهیه و در چهار کلاس (عالی، خوب، متوسط و ضعیف) طبقه‌بندی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که نواحی واقع در شمال و شمال شرقی استان دارای بیشترین استعداد می‌باشند و کمترین استعداد مربوط به نواحی جنوبی استان با مساحتی حدود ۰/۰۲۶ درصد می‌باشد. بیشترین مساحت استان از لحاظ پتانسیل نیروگاه خورشیدی در کلاس عالی می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که مناطق مستعد احداث نیروگاه در مناطق دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک سرد می‌باشد. این نواحی شامل مناطقی است که ایستگاه‌های آباده، اقلید، ایزدخواست، بوانات و صفاشهر در آن قرار دارند.

پاک طینت و همکاران (۲۰۱۴) به منظور شناسایی مکان‌های مناسب جهت احداث کارخانه آب شیرین کن خورشیدی از طریق طراحی سیستم‌های تصمیم‌گیری و منطق فازی، معیارها و شاخص‌ها را به وسیله تحلیل داده‌های قبلی، روش دلفی و ساختار درونی اندازه‌گیری‌ها و شاخص‌های تعیین شده با استفاده از تکنیک DEMATEL شناسایی کردند. سپس با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای (ANP) به شاخص‌ها وزن داده و توابع عضویت مناسب شاخص‌ها را با استفاده از منطق فازی تعریف نمودند. نتایج نشان داد از میان ۲۵۰ منطقه مطالعاتی، ۲۰ حوزه در کلاس اول قرار گرفته که در پنج استان قرار دارند. نتایج همچنین نشان داد در میان استان‌های ایران، یزد در منطقه‌ای بالاترین درصد کلاس اول و در رتبه اول قرار دارد. مقایسه نتایج بدست آمده با شرایط آب و هوایی ایران نیز نتایج را تایید کرد. یوسفی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیق خود تحت عنوان کاربرد منطق فازی و FTOPSIS جهت مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از GIS، پس از انتخاب پارامترهای مورد نیاز جهت مکان‌یابی، از منطق فازی به عنوان روشی جهت ارزش‌دهی به مناطق و تولید نقشه‌ها استفاده کردند و ۹ منطقه را به عنوان بهترین مکان‌ها برای احداث نیروگاه خورشیدی تعیین کردند که ۲۲ کیلومتر مساحت داشته و ۰,۱۵ درصد از کل مساحت استان را به خود اختصاص می‌داد. در انتها، با استفاده از روش Fuzzy

TOPSIS، گزینه‌های پیشنهادی اولویت‌بندی شده و بهترین مکان جهت احداث نیروگاه را شناسایی نمودند. صحراگرد و همکاران (۱۳۹۵) به منظور مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی حرارتی جهت تامین انرژی پایدار با استفاده از منطق فازی معیارهای ساعات آفتابی، شیب، فاصله از مناطق جمعیتی، فاصله از راه‌ها، فاصله از خطوط انتقال نیرو، کاربری اراضی و لایه محدودیت‌ها را تعیین و اطلاعات را به صورت لایه‌های اطلاعاتی به محیط نرم‌افزار Arc GIS10 معرفی نمودند. وزن معیارها با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی استخراج و به منظور تلفیق لایه‌ها از مدل فازی استفاده شد. بر اساس این روش، ۲۲۵۲۴/۱۱۵ کیلومترمربع از مساحت استان هرمزگان در طبقه خیلی خوب جهت احداث نیروگاه‌های خورشیدی حرارتی شناسایی گردید. اخلاقی فیض آثار و همکاران (۱۳۹۲) هزینه تراشده واحد انرژی الکتریکی نیروگاه گرمایش خورشیدی، نیروگاه فتوولتائیک و ترکیبی را با استفاده از مفاهیم فازی در مدل‌های اقتصادی فازی و با در نظر گرفتن عدم قطعیت در پیش‌بینی هزینه‌های مرتبط با آن برای ایران محاسبه و مقایسه نمودند. نتایج نشان داد نیروگاه فتوولتائیک در ایران نسبت به نیروگاه گرمایش خورشیدی از مزیت نسبی برخوردار است. فناوری ترکیبی از هر دو فناوری نیروگاه گرمایش خورشیدی و نیروگاه فتوولتائیک اقتصادی‌تر است که با توجه به اینکه در مرحله تحقیق و توسعه است، انتخاب آن با ریسک و حساسیت‌های بیشتری مواجه است. کنیزارین (۲۰۰۷) در پژوهش خود افزایش مستمر در سطح انتشار گازهای گلخانه‌ای را دلیل جهت‌گیری 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. از پژوهش‌های مشابه خارجی می‌توان به (hantula, 2010), (DiPippo, 2012), (Fang, 2012), (Miller, 2012), (Azizian et al, 2002), (petela, 2010) و (volshanic et al, 2010) اشاره نمود.

در این پژوهش، کوشش خواهد شد تا به پهنه‌بندی و مکان‌یابی نقاط مستعد جهت استقرار نیروگاه خورشیدی با تکیه بر فراسنج‌های اقلیمی در استان کرمانشاه اقدام گردد. نوآوری‌های این مقاله با سایر تحقیقات انجام‌شده را می‌توان مطالعه بر روی استان کرمانشاه و همچنین مقایسه دو روش Fuzzy Product و Gamma Fuzzy و تطبیق نقشه‌های خروجی از این دو مدل با نقشه‌های پارامترهای اقلیمی، جهت تعیین مدلی که بیشترین انعطاف، دقت و اطمینان را برای شناسایی مناطق مناسب داشته باشد، ذکر کرد.

### ۳.۳ داده‌ها و روش پژوهش

#### مدل منطق فازی

نظریه فازی شامل تمام نظریه‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کنند. برای مشخص شدن اعضای یک مجموعه می‌بایست تابع عضویت تعریف شود. به عبارت دیگر، یک مجموعه فازی مجموعه‌ای از عناصر با ویژگی‌های مشابه است که یک درجه مشخص از صفر تا یک دارند. صفر بدین معناست که هیچ عضویتی در آن مجموعه ندارد و یک یعنی به طور کامل عضو آن مجموعه است. در سال‌های اخیر نظریه مجموعه‌های فازی کارایی زیادی در تشخیص الگو پیدا نموده است زیرا به کمک مجموعه‌های فازی می‌توان عدم قطعیت موجود در تشخیص الگوها را مدل‌سازی نمود و تا حد ممکن به شیوه تشخیص انسانی نزدیک شد. فازی بودن مربوط به پدیده‌هایی است که تبیین آنها به طور قطعی ممکن نیست. عدم قطعیت در این حالت به وسیله تابع عضویت اعضا به مجموعه‌ای که ویژگی مورد نظر از طریق آن تعریف شده است، بیان می‌گردد.

#### عملگرهای فازی

ابزار کار مدل فازی با استفاده از عملگرهای مختلف صورت می‌گیرد. یکی از عملگرهای منطق فازی، عملگر ضرب جبری فازی (Fuzzy Product) می‌باشد که با استفاده از آن ترکیب لایه‌ها



صورت می‌گیرد. در این اپراتور، تمام لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب شده و در لایه خروجی اعداد به سمت صفر میل می‌کنند که این روند ناشی از ضرب چندین عدد کمتر از یک می‌باشد. در نتیجه، تعداد پیکسل کمتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد. (رابطه ۱)

$$\mu \text{ combination} = \prod_{i=1}^n \mu_i \quad (1)$$

در این رابطه،  $\mu_i$  بیانگر مقدار عضویت در نقشه فاکتور  $i$ ام است. با استفاده از این عملگر مقادیر عضویت فازی در نقشه خروجی کوچک شده و به سمت صفر میل می‌کنند. از این رو، ترکیب عوامل تاثیر نزولی خواهد داشت.

در عملگر جمع جبری فازی (Fuzzy Sum) نتیجه همیشه بزرگتر یا مساوی بزرگترین مقدار عضویت فازی در لایه می‌باشد. به همین دلیل، در نقشه خروجی بر خلاف عملگر ضرب جبری فازی، ارزش پیکسل به سمت یک میل می‌کند. در نتیجه، تعداد پیکسل بیشتری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد. فرمول مربوط به جمع فازی در زیر آورده شده است.

$$\mu \text{ combination} = 1 - (1 - \prod_{i=1}^n \mu_i) \quad (2)$$

در این رابطه، همانند رابطه (۱)،  $\mu_i$  بیانگر مقدار عضویت در نقشه فاکتور  $i$ ام است. با استفاده از این عملگر مقادیر عضویت فازی در نقشه خروجی بزرگ شده و به سمت یک گرایش پیدا می‌کنند. در نتیجه، ترکیب عوامل تاثیر صعودی خواهد داشت.

برای تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر ضرب فازی و حساسیت خیلی کم عملگر جمع فازی، عملگر دیگری به نام گامای فازی (Fuzzy Gamma) معرفی شده است که حد فاصل ضرب و جمع

جبری فازی می‌باشد. این عملگر بر حسب حاصل ضرب جبری فازی و حاصل جمع جبری فازی بر اساس رابطه زیر تعریف می‌شود. (رابطه ۳)

$$\mu \text{ combination} = (\text{Fuzzy Sum})^{\nu} \times (\text{Fuzzy Product})^{1-\nu} \quad (3)$$

در این رابطه، مقدار  $\nu$  عددی بین یک تا صفر می‌باشد. انتخاب صحیح و آگاهانه  $\nu$  بین صفر و یک، مقادیری را در خروجی به وجود می‌آورد که نشان‌دهنده سازگاری قابل انعطاف میان گرایش‌های کاهش ضرب فازی و گرایش‌های افزایشی جمع فازی می‌باشد.

#### ایجاد پایگاه داده

پس از مطالعات کتابخانه‌ای صورت گرفته، فراسنج‌های اقلیمی زیر برای مکان‌یابی و پهنه‌بندی مکان‌های مستعد جهت استقرار نیروگاه خورشیدی انتخاب گردیدند:

۱. مجموع ماهانه و سالانه ساعات آفتابی
۲. تعداد روزهای ابری در مقیاس ماهانه و سالانه
۳. تعداد روزهای بارانی در مقیاس ماهانه و سالانه
۴. تعداد روزهای توام با گرد و غبار در مقیاس ماهانه و سالانه
۵. رطوبت نسبی
۶. مجموع بارندگی سالانه
۷. تابش کل
۸. نقشه توپوگرافی رقومی شده از منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ جهت تولید مدل ارتفاعی رقومی داده‌های موردنیاز در این پژوهش شامل آمار ماهانه و سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک و کلیماتولوژیک منطقه، برای یک دوره آماری ۳۰ ساله از سازمان هواشناسی کشور دریافت گردید و در محیط نرم افزار Excel مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. سپس پایگاه داده‌ای متشکل از نام

ایستگاه‌ها، طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی، ارتفاع و میانگین سالانه بلندمدت ۷ فراسنج اقلیمی مذکور ایجاد شد. (جدول ۱)

جدول ۱. پایگاه داده ایجادشده جهت تولید لایه‌ها

ایستگاه	عرض	طول	رطوبت نسبی	ساعات آفتابی	روزهای گرد و غباری	روزهای ابری	بارش	روزهای بارانی	ارتفاع	تابش خورشیدی
کرمانشاه	۳۴/۳۵	۴۷/۱۵	۴۷	۲۹۰۷/۱	۲۸/۲۰	۵۹/۰۷	۴۴۵/۱۰	۷۷/۳۰	۱۳۱۸/۶۰	۱۷۱۰/۷۵
اسلام آباد	۳۴/۱۱	۴۶/۴۶	۵۰	۳۶۸/۲۰	۱۰/۹۰	۴۶/۲۰	۴۸۳/۶۰	۷۸/۱۰	۱۳۴۸/۸۰	۱۹۸۳/۱۴
کنتاور	۳۴/۵۰	۴۷/۹۸	۵۱	۳۰۴۱/۷۰	۱۴/۴۰	۴۸/۸۰	۴۰۰/۳۰	۷۸/۱۰	۱۴۶۸	۱۸۶۵/۲۲
روانسر	۳۴/۷۱	۴۶/۶۵	۴۵	۳۰۳۷	۱۳/۱۰	۵۳/۲۰	۵۲۴/۲۰	۷۹	۱۳۷۹/۷۰	۲۰۱۳/۳۶
سرارود	۳۴/۳۳	۴۷/۳۰	۴۳	۲۸۲۰/۴۰	۱۰	۵۹	۴۴۲/۳۰	۸۱/۶۰	۱۳۶۱/۷۰	۱۷۹۰/۲۱
سرپل ذهاب	۳۴/۴۵	۴۵/۸۶	۴۶	۳۰۱۵/۹۰	۱۶	۴۸/۳۰	۴۵۴/۱۰	۶۷	۵۴۵	۲۷۰۷/۷۰

ماخذ: یافته‌های تحقیق

### تولید لایه‌های رقومی

با استفاده از نقشه توپوگرافی رقومی شده منطقه، نقشه طبقات ارتفاعی استان در محیط نرم‌افزار Arc GIS تولید و موقعیت ایستگاه‌ها با توجه به مختصات جغرافیایی آنها به نقشه اضافه شد (شکل ۱). در ادامه، لایه مربوط به هر یک از ۸ فراسنج اقلیمی مجموع ساعات آفتابی سالانه، تعداد روزهای ابری در سال، تعداد روزهای بارانی در سال، تعداد روزهای گرد و غباری در سال، میانگین سالانه رطوبت نسبی، ارتفاع، مجموع بارندگی سالانه و تابش کل با استفاده از روش درون‌یابی و مدل‌های IDW و Kriging تهیه گردید.

### فازی‌سازی و تولید نقشه‌ها

پارامترهای موجود در مکان‌یابی تا حدود زیادی ماهیت فازی دارند. به عبارت دیگر، به هر یک از پیکسل‌ها در هر نقشه فاکتور مقداری بین صفر تا یک اختصاص داده می‌شود که بیانگر میزان مناسب بودن محل پیکسل از دیدگاه معیار مربوطه برای هدف موردنظر می‌باشد. اگر تمام پارامترهای پژوهش به صورت فازی با مقادیر عضویت صحیح تعریف شوند می‌توان برای تلفیق پارامترها از عملگرهای مناسب فازی استفاده نمود. نوع عملگر مورد استفاده نیز بستگی به نحوه تاثیرپذیری فاکتورها از یکدیگر و یا اثر نهایی عملگر روی مجموعه پارامترها دارد. در این تحقیق برای تولید نقشه‌های فازی از نرم‌افزار Arc GIS و برای فازی‌سازی نقشه‌ها از عملگر Fuzzy Mmembership استفاده گردید و نوع تابع عضویت خطی انتخاب شد. لایه خروجی از این مدل، لایه‌ای است که مقادیر لایه ورودی را به مقادیر بین صفر تا ۱ تبدیل نموده است، بدین صورت که مناطقی که دارای تناسبات بیشتری هستند دارای درجه عضویت ۱ یا نزدیک به آن و مناطقی که دارای ارزش کمتری هستند با درجه عضویت صفر یا نزدیک به آن مشخص می‌شود. پس از تشکیل نقشه‌های مربوط به هر یک از معیارهای تعیین‌شده در جدول ۱، مقادیر عضویت موجود در آنها به کمک عملگرهای فازی با یکدیگر ترکیب شدند. نقشه نهایی از ترکیب لایه‌های فوق با استفاده از عملگرهای Fuzzy Product و Gamma Fuzzy به دست آمد و سپس نسبت به مقایسه این دو مدل جهت تعیین بهترین و مطمئن‌ترین روش برای شناسایی مناطق مناسب اقدام گردید.

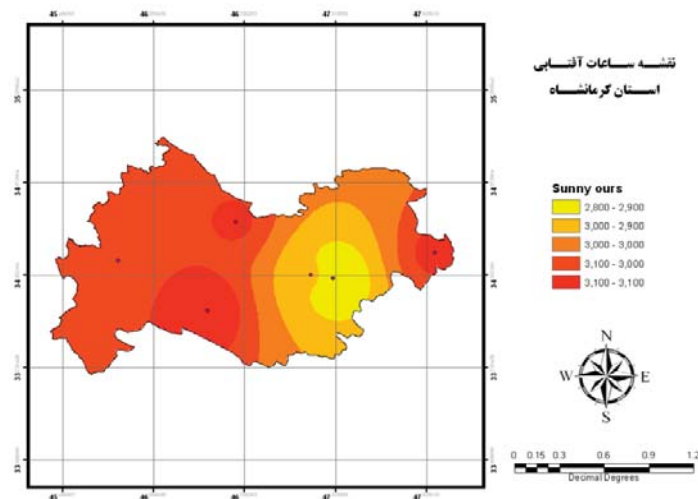
### ۴. بحث و نتایج

تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه مکان‌گزینی احداث نیروگاه‌های خورشیدی در داخل و خارج از کشور صورت گرفته است، اما در بیشتر آنها با توجه به محاسبات فیزیکی تابش خورشیدی، به پتانسیل سنجی مناطق پرداخته شده است و تحقیقات با تکیه بر عوامل اقلیمی برای شناسایی مناطق

مستعد کمتر انجام پذیرفته است. در این بخش، به بیان دلایل انتخاب ۸ پارامتر اقلیمی مذکور جهت شناسایی نواحی مستعد جهت استقرار نمایه‌های خورشیدی پرداخته می‌شود.

### نقشه ساعات آفتابی

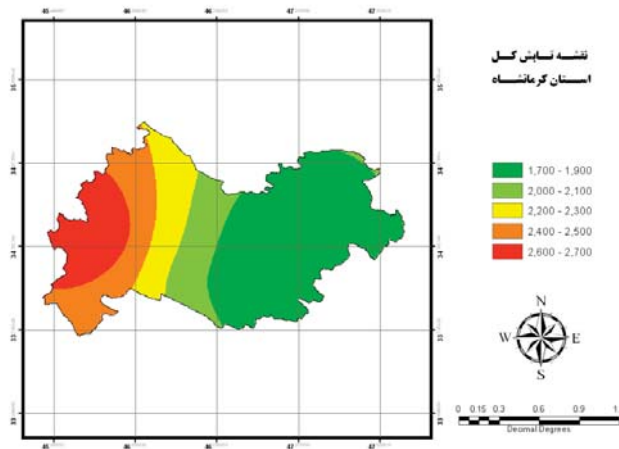
مجموع ساعات آفتابی ماهانه یا سالانه مهمترین فراعنصر اقلیمی است که میزان انرژی دریافتی از خورشید را نشان می‌دهد. عواملی چند بر میزان ساعات آفتابی تاثیر می‌گذارند که از جمله می‌توان به عرض جغرافیایی اشاره کرد که به طور مستقیم بر روی این فراعنصر اثرگذار است. برای تهیه نقشه ساعات آفتابی از میانگین مجموع ساعات آفتابی سالانه دوره ۳۰ ساله ایستگاه‌های منطقه استفاده شد. میانگین ساعات آفتابی استان ۲۹۸۱/۷۱ ساعت در سال می‌باشد که حاکی از استعداد زیاد جهت بهره‌برداری از انرژی خورشیدی می‌باشد. (شکل ۱)



شکل ۱. نقشه توزیع ساعات آفتابی در استان (ساعت در سال)

## نقشه تابش کل خورشیدی

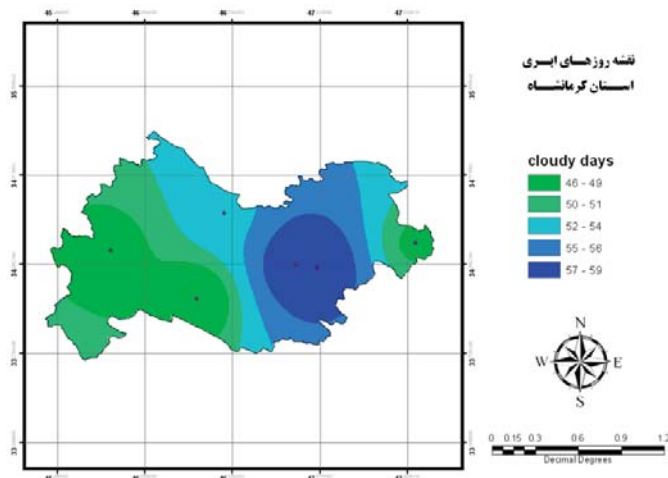
بیابان‌های بسیار خشک با پوشش ابری بسیار کم (ضریب شفافیت بالا) بیشترین میزان تابش خورشیدی را دریافت می‌کنند (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۱). ایران از نظر میزان دریافت تابش خورشیدی در شمار بهترین کشورها قرار دارد، زیرا در اکثر نقاط کشور به خاطر شرایط اقلیمی خشک و هوای صاف و بدون آب، میزان دریافت تابش نسبتاً بالاست. تابش کل خورشیدی از مهمترین فراسنج‌های اقلیمی جهت شناسایی مناطق مستعد جهت استقرار پنل‌های خورشیدی است. برای تهیه این نقشه از میانگین ۳۰ ساله داده‌های تابش خورشیدی ایستگاه‌های منطقه استفاده شده است (شکل ۲). میانگین تابش کل استان کرمانشاه ۲۰۱۱/۷۳ مگا ژول در ثانیه بر متر مربع در سال می‌باشد.



شکل ۲. نقشه توزیع تابش کل خورشیدی در استان (MJ/m<sup>2</sup>)

## نقشه تعداد روزهای ابری

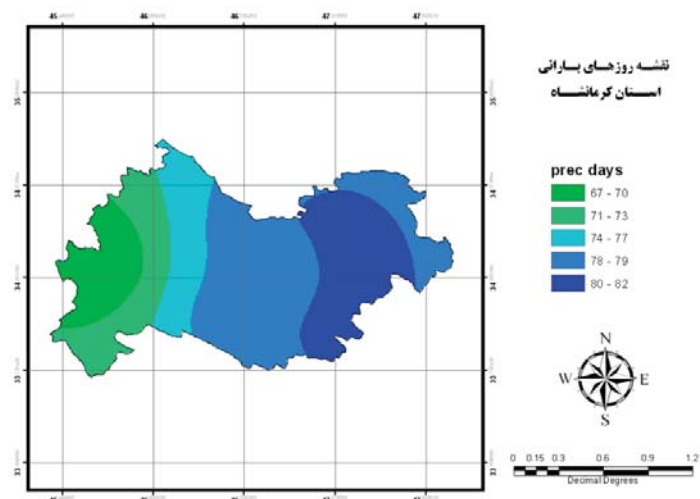
ابرها باعث کاهش تابش خورشید و در نهایت کاهش تابش موثر می‌شوند. ابرها به طور متوسط ۲۱ درصد انرژی طول کوتاه خورشید را برمی‌گردانند. در مواقعی که هوا آفتابی بوده و هیچ ابری در آسمان وجود ندارد، قسمت اعظم انرژی خورشید به زمین می‌رسد (کاوایی و علیجانی، ۱۳۸۳). از این رو مهمترین عامل کنترل انرژی تابشی خورشید ابرناکی آسمان می‌باشد. شکل (۳) نقشه تعداد روزهای ابری استان را نشان می‌دهد. میانگین تعداد روزهای ابری استان کرمانشاه ۵۲/۴۲ روز در سال می‌باشد.



شکل ۳. نقشه توزیع روزهای ابری استان (روز در سال)

## نقشه تعداد روزهای بارانی

روزهای بارانی هم از نظر اینکه مانعی جهت رسیدن تابش خورشیدی به زمین هستند و هم از نظر اثرات مخربی که باران بر روی تاسیسات نیروگاه‌های خورشیدی و همچنین کثیف شدن پنل‌ها دارد، عاملی منفی جهت استقرار پنل‌ها می‌باشد. بیشترین روز بارانی مربوط به ایستگاه سرارود با ۸۲ روز بارانی در سال و کمترین روز بارانی متعلق به ایستگاه سرپل‌ذهاب با ۶۷ روز بارانی در سال می‌باشد. شکل (۴) توزیع تعداد روزهای بارانی را در گستره استان نشان می‌دهد. میانگین تعداد روزهای بارانی استان کرمانشاه ۷۷ روز در سال می‌باشد.

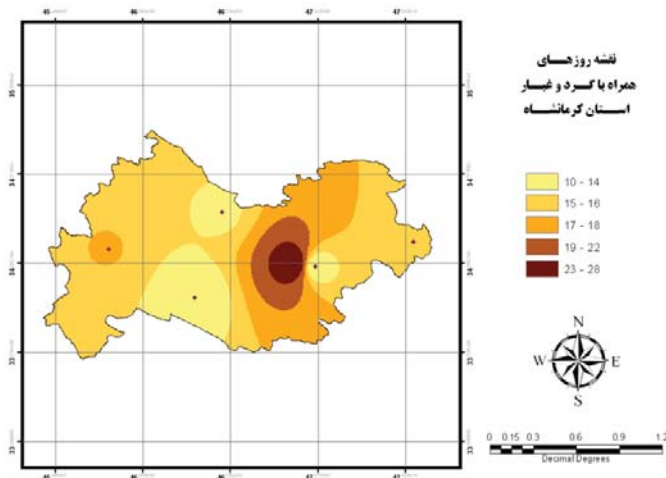


شکل ۴. نقشه توزیع روزهای بارانی در استان



## نقشه تعداد روزهای گرد و غباری

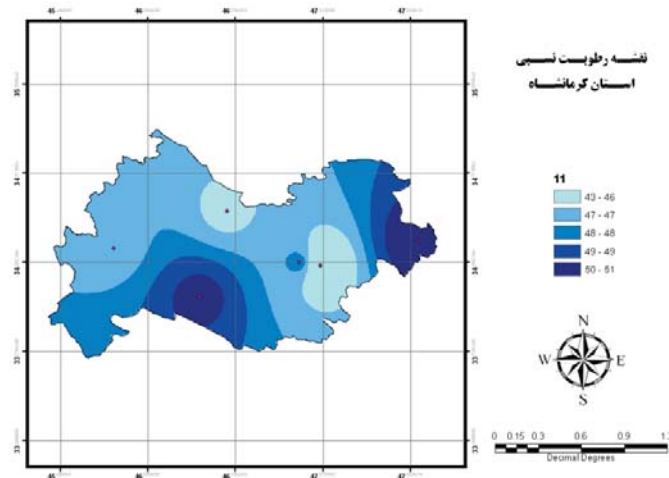
ذرات گرد و غبار یا هواویزها از ترکیبات مهم اتمسفر در نزدیکی سطح زمین می‌باشند. هواویزها باعث جذب تابش موثر و تابش برگشتی می‌شوند و افزایش آنها باعث کاهش مقدار تابش کوتاه خورشید می‌شود (علیجانی، ۱۳۸۳). بنابراین، مناطقی مناسب‌ترند که کمترین روزهای همراه با توفان گرد و غبار داشته باشند. شکل (۵) نقشه پراکنش تعداد روزهای گرد و غباری در سطح استان را نشان می‌دهد. بیشترین روزهای همراه با گرد و غبار متعلق به ایستگاه کرمانشاه با ۲۸ روز در سال و کمترین آن متعلق به ایستگاه سرارود با ۱۰ روز در سال می‌باشد.



شکل ۵. نقشه روزهای همراه با گرد و غبار در استان (روز در سال)

## نقشه رطوبت نسبی

در شرایط معمولی، میزان بخار آب جو در ماههای گرم از ۱/۳ در صد و در ماههای سرد از ۰/۴ درصد تجاوز نمی‌کند. حالت غالب رطوبت در جو بخار آب است. بخار آب جو در بیلان انرژی جو و زمین نقش عمده‌ای دارد و برای مثال، انرژی موج کوتاه خورشیدی را باز می‌تاباند و انرژی موج بلند زمینی را جذب می‌کند (علیچانی، ۱۳۸۳). بنابراین، مناطق با رطوبت نسبی بالا به دلیل بازتابان انرژی موج کوتاه خورشید برای احداث نیروگاه‌های خورشیدی مستعد نمی‌باشند. بیشترین رطوبت نسبی در استان متعلق به ایستگاه چابهار با میانگین سالانه ۵۱ درصد و کمترین رطوبت متعلق به ایستگاه سرارود به میزان ۴۳ درصد می‌باشد. در شکل (۶) لایه رطوبت نسبی استان را مشاهده می‌کنید.

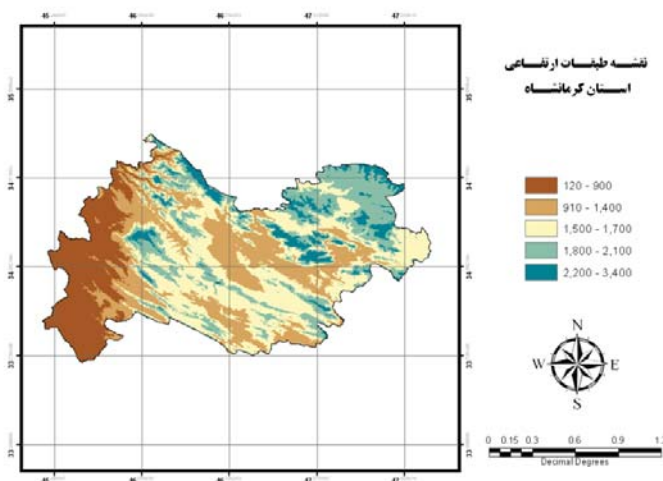


شکل ۶. نقشه رطوبت نسبی استان (درصد)

نقشه طبقات ارتفاعی

ارتفاع با ضخامت اتمسفر رابطه معکوس دارد، به این معنی که با افزایش ارتفاع از ضخامت جو کاسته می‌شود. از سوی دیگر، ضخامت بیشتر جو حاکی از غلظت بالاتر عناصر جذبی و انعکاسی می‌باشد. از آنجا که مواد درشت‌تر و غلیظ‌تر در طبقات پایین اتمسفر جمع می‌شوند، هرچه ارتفاع منطقه بیشتر باشد، ترکیبات جو رقیق‌تر و ضخامت جو کمتر است و انرژی طول موج کوتاه خورشید ورودی بیشتر خواهد بود (کاویانی و علیجانی، ۱۳۸۳). در نتیجه، مناطق مرتفع‌تر پتانسیل بیشتری جهت احداث نیروگاه‌های خورشیدی دارند. برای تولید نقشه ارتفاع، نقشه توپوگرافی رقومی شده منطقه با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تهیه و نقشه مدل ارتفاعی رقومی (DEM) برای پهنه استان ترسیم گردید.

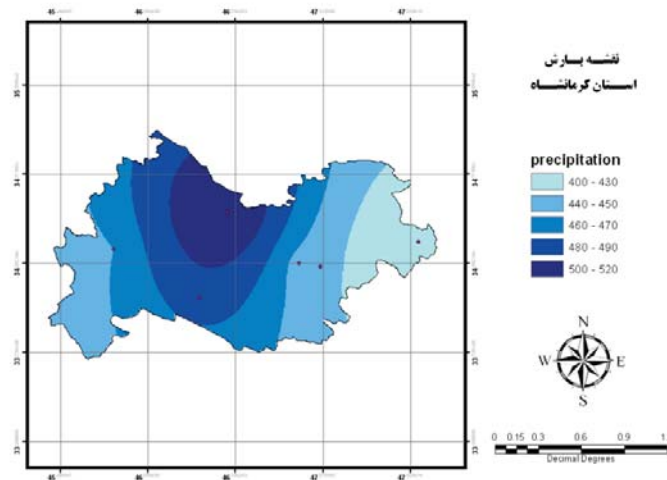
(شکل ۷)



شکل ۷. نقشه طبقات ارتفاعی استان (متر)

## نقشه میزان بارندگی سالانه

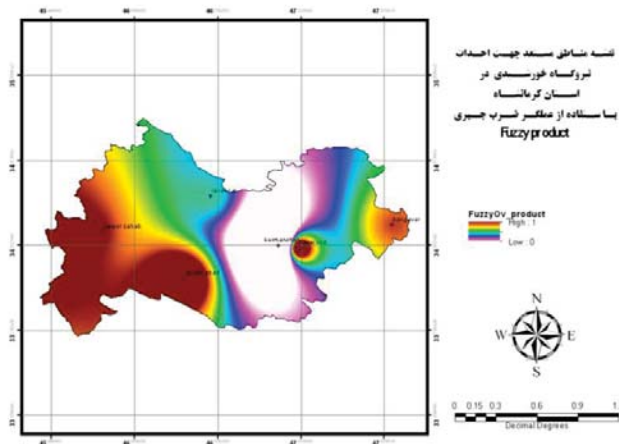
مناطق پرباران حکایت از بالا بودن رطوبت دارند که از عوامل مهم بازتاب انرژی طول موج کوتاه خورشید می‌باشد. از آنجا که برای تشکیل باران نیاز به هسته‌های متراکم می‌باشد، بارش زیاد همچنین نشان‌دهنده وجود ذرات معلق زیاد در جو می‌باشد که در جذب و انعکاس تابش موج کوتاه نقش دارد. از سوی دیگر، بارش باران سبب اثرات نامطلوبی، از اشکالات فنی گرفته تا کثیف شدن سطح صفحات فتوولتاییک، می‌شود (حیدری، ۱۳۸۳). میانگین بارش استان ۴۵۸/۲۶ میلیمتر می‌باشد که ایستگاه روانسر با ۵۲۴/۲ میلیمتر بیشترین میزان و ایستگاه کنگاور با ۴۰۰/۳ میلیمتر کمترین میزان بارش را به خود اختصاص داده است. (شکل ۸)



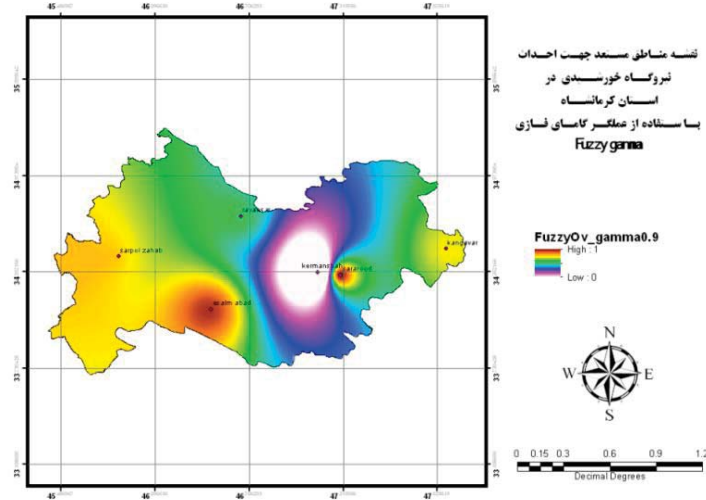
شکل ۸. نقشه توزیع بارش سالانه استان (میلیمتر)

## تلفیق نقشه‌ها با استفاده از مدل منطق فازی

در این مرحله، نقشه‌های تولید شده با استفاده از عملگر Fuzzy Membership به لایه‌های ارزشی در بازه ۰ تا ۱ تبدیل شد. برای لایه‌هایی که بالاترین ارزش ورودی آنها مطابق شرایط مطلوب بود از تابع Large Membership type و برای لایه‌هایی که بالاترین ارزش ورودی آنها مطابق شرایط نامطلوب بود از تابع Slow Membership type استفاده گردید تا ارزش‌های دودویی با توجه به تناسب مقادیر پیکسل‌ها توزیع گردد. لازم به ذکر است که هر لایه با توجه به بیشترین تناسب جهت استقرار نیروگاه خورشیدی عددی متمایل به ۱ و کمترین تناسب جهت حوادث نیروگاه عددی متمایل به صفر را به خود اختصاص داد. در ادامه، با استفاده از ابزار Fuzzy Overlay هشت نقشه تلفیق فوق به دو روش ضرب جبری (Fuzzy Product) و گامای فازی (Fuzzy Gamma) ۰/۹ تلفیق شدند. (شکل‌های ۹ و ۱۰)



شکل ۹. نقشه مناطق مستعد جهت احداث نیروگاه خورشیدی در استان کرمانشاه با استفاده از عملگر ضرب جبری



شکل ۱۰. نقشه مناطق مستعد جهت احداث نیروگاه خورشیدی در استان کرمانشاه با استفاده از عملگر گامای فازی

##### ۵. نتیجه‌گیری

نتایج نشان می‌دهد که با تلفیق نقشه‌های مجموع ساعات آفتابی سالانه، تابش کل خورشیدی، تعداد روزهای ابری در سال، تعداد روزهای بارانی در سال، تعداد روزهای گرد و غباری در سال، میانگین سالانه رطوبت نسبی، ارتفاع و مجموع بارندگی سالانه می‌توان به شناخت دقیقی از مناطق مناسب از لحاظ اقلیمی جهت احداث نیروگاه‌های خورشیدی دست یافت. همانگونه که در نقشه‌های تلفیقی با استفاده از مدل منطق فازی مشاهده می‌شود، مناطق جنوبی متمایل به جنوب غربی و همچنین غرب استان از استعداد بیشتری جهت استقرار نمایه‌های خورشیدی برخوردارند که دلیل این امر را می‌توان با مشاهده نقشه فراسنج‌های

اقلیمی یافت، زیرا نواحی مذکور از ساعات آفتابی و تابش خورشیدی بالاتر و همچنین روزهای گرد و غباری و بارانی کمتری برخوردارند. شهرستان‌های اسلام‌آباد غرب و سرپل‌ذهاب در این نواحی واقع شده‌اند.

در مقابل، مناطق وسیعی از مرکز استان از وضعیت بسیار نامطلوبی جهت احداث نیروگاه خورشیدی برخوردارند. شهرستان کرمانشاه در این ناحیه واقع شده که با مشاهده نقشه‌های فراسنج‌های اقلیمی مربوط به آن می‌توان ساعات آفتابی و تابش خورشیدی پایین و روزهای ابری و گرد و غباری و رطوبت نسبی بالا را دلیل این امر دانست.

نتایج همچنین نشان داد که عامل ارتفاع و رطوبت نسبی از تاثیر کمتری نسبت به سایر عوامل برخوردارند. با مقایسه دو روش Fuzzy Product و Gamma Fuzzy مشاهده می‌شود که روش ضرب فازی از حساسیت بیشتری برخوردار بوده و ارزش‌های بالا را به عدد ۱ و ارزش‌های پایین را به عدد صفر نزدیک کرده و از این رو، مناطق مساعد و نامساعد بیشتری را نمایش می‌دهد.

با تطبیق نقشه‌های خروجی از این دو مدل با نقشه‌های پارامترهای اقلیمی، این نتیجه حاصل شد که روش گامای فازی ۰/۹ از انعطاف، دقت و اطمینان بیشتری جهت تلفیق و پهنه‌بندی نقشه‌های متنوع برخوردار است.

## منابع

- احمدی، هدی؛ مرشدی، جعفر و فریده عظیمی (۱۳۹۵)، "مکان‌یابی نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از داده‌های اقلیمی و سامانه اطلاعات مکانی (مطالعه موردی: استان ایلام)"، سال هفتم، شماره ۱، صص ۴۱-۵۷.
- اخلاقی فیض آثار، روزه؛ نوربخش، سید هادی و حامد شکوری گنجوی (۱۳۹۲)، "مقایسه اقتصادی فناوری تولید برق از نیروگاه‌های گرمایش خورشیدی، فتوولتائیک و ترکیبی با رویکرد فازی"، پژوهش‌های سیاست گذاری و برنامه‌ریزی انرژی، سال اول، شماره ۳، صص ۱۷۱-۱۳۷.
- اسفندیاری، علی (۱۳۹۰)، "پتانسیل سنجی احداث نیروگاه‌های خورشیدی با بررسی پارامترهای اقلیمی در استان خوزستان با استفاده از GIS"، همایش ملی ژئوماتیک، تهران.
- انصاری، حسین؛ داوری، کامران و سیدحسین ثنائی نژاد (۱۳۸۸)، "پایش خشکسالی با استفاده از شاخص بارندگی و تبخیر و تعرق استاندارد شده (SEPI) تو سعه یافته برا ساس منطق فازی"، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، شماره ۲۴(۱)، صص ۳۸-۵۲.
- بهشتی نیا، محمد علی و فاطیما سدادی (۱۳۹۶)، "اولویت‌بندی احداث نیروگاه‌های تجدیدپذیر با استفاده از تلفیق روش منطق دیجیتال بهبود یافته و ویکور فازی"، مهندسی و مدیریت انرژی، دوره ۷، شماره ۲، صص ۶۱-۵۲.
- حبیبی، کیومرث؛ مشکینی، ابوالفضل؛ رزقیان مقدم، احسان و پروانه زندی (۱۳۹۰)، "بررسی و ارزیابی میزان کارآمدی شبکه ارتباطی طرح‌های تیپ توسعه فیزیکی در بافتهای کهن شهری (مطالعه موردی: شهر زنجان)"، چهارمین همایش منطقه‌ای مدیریت ترافیک، تهران.
- ح سین زاده، مریم؛ خیرخواه زرکش، میرم سعود و عظیم صابری (۱۳۹۲)، "تحلیل تناسب مکانی به منظور احداث نیروگاه‌های خورشیدی با استفاده از GIS به روش AHP (نمونه موردی: استان خوزستان)"، سومین کنفرانس انرژی‌های تجدیدپذیر و تولید پراکنده ایران.
- حیدری، مهدی (۱۳۸۳)، "مکان‌یابی ساخت نیروگاه‌های خورشیدی در ایران"، نشریه نفت و انرژی، صص ۴۹-۳۸.
- خوش اخلاق، فرامرز (۱۳۸۶)، "مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با توجه به پارامترهای اقلیمی"، نشریه سپهر، صص ۸۰-۷۵.



**دادرس سبزواری، ابوالقاسم و محمد خسرو شاهی (۱۳۸۷)،** " شناخت مناطق مستعد برای گسترش سیلاب به روش کاربرد مدل‌های مفهومی (راهکاری برای مهار بیابان زایی) "، تحقیقات مرتع و بیابان ایران، شماره ۱۵، صص ۲۲۷-۲۴۱.

**صادقی، زین‌العابدین؛ دلال با شی اصفهانی، زهرا و حمیدرضا حری (۱۳۹۲)،** " اولویت بندی عوامل موثر بر مکان یابی نیروگاه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر (انرژی خورشیدی و انرژی باد) استان کرمان با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره "، فصلنامه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاستگذاری انرژی، سال یکم، شماره ۲، صص ۹۳-۱۱۰.

**صحراگرد، نصرالله؛ آریا نژاد، حیدر و محمد کمانگر (۱۳۹۵)،** " مکان یابی نیروگاه خورشیدی حرارتی جهت تامین انرژی پایدار با استفاده از منطق فازی "، نشریه انرژی ایران، دوره ۱۹، شماره ۱.

**صفاری، امیر؛ رعیتی شوازی، منیره؛ جان احمدی، مریم و لیلا شیرزاد ملایری (۱۳۹۴)،** "پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش با استفاده از مدل نسبت فراوانی و منطق فازی مطالعه موردی: بخش مرکزی شهرستان جم "، فصلنامه جغرافیای طبیعی، سال هشتم، شماره ۳۰، صص ۱۵-۳۰.

**فاطمی عقدا، سید محمود؛ غیومیان، جعفر؛ تشنه لب، محمد و عقیل اشقلی فراهانی (۱۳۸۵)،** " بررسی خطر زمین لغزش با استفاده از منطق فازی (مطالعه موردی منطقه رودبار) "، مجله علوم دانشگاه تهران، شماره ۳۱، صص ۴۳-۶۴.

**فلاح قاهری، غلامعباس؛ موسوی بایگی، سیدمحمد و مجید حبیبی نوخندان (۱۳۸۷)،** " پیش‌بینی بارش فصلی بر اساس الگوهای سینوپتیکی با استفاده از سیستم استنباط فازی-عصبی تطبیقی (ANFIS) "، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)، شماره ۶۶، صص ۱۳۹-۱۲۱.

**کاویانی، محمدرضا و بهلول علیجانی (۱۳۸۳)،** *مبانی آب و هواشناسی*، تهران: انتشارات سمت، چاپ دهم.

**گرچی، مصطفی؛ خشنود، سجاد؛ عمرانی، حسین و مرتضی‌هاشمی (۱۳۹۶)،** " مکان‌یابی مناطق مستعد نیروگاه خورشیدی تحت تاثیر پارامترهای اقلیمی با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (مطالعه موردی: استان فارس) "، سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۸، شماره ۱، صص ۶۶-۸۵.

**گلی، علی و علی عسگری (۱۳۸۵)،** " کاربرد منطق فازی در تبدیل روستا به شهر: استان تهران "، مجله مدرس علوم انسانی، شماره ۱۰، صص ۱۳۹-۱۵۸.

موقری، علیرضا و تقی طاووس (۱۳۹۲)، "امکان سنجی و پهنه بندی مکان‌های مستعد جهت استقرار پنل‌های خورشیدی با تکیه بر فراسنج‌های اقلیمی در استان سیستان و بلوچستان"، فصلنامه پژوهش‌های برنامه‌ریزی و سیاستگذاری انرژی، سال یکم، شماره ۱، صص ۹۹-۱۱۴.

یوسفی، حسین؛ نورالهی، یونس؛ سلطان محمدی، مجید و رضا ارجمندی (۱۳۹۱)، "کاربرد منطق فازی و fopsis جهت مکان‌یابی نیروگاه خورشیدی با استفاده از gis (مطالعه موردی استان تهران)"، انرژی ایران: ۱۵، ۴.

**DiPippo, R.** (2012), *Geothermal Power Plants*, Massachusetts: Butterworth Heinemann.

**Fang, Y. W.** (2012), "Solar Energy Storage Using Phase Change Materials", *Renewable Energy Focus*, pp.508-518.

**Henemann, A.** (2008), *BIPV: Built-in Solar Energy*, *Renewable Energy Focus*, pp. 14-19.

**Kenisarin, M.** (2007), *Solar Energy Storage Using Phase Change Materials*, 1913-1965.

**Miller, A. L.** (2012), *Utiliti Scale Solar Power Plants*. NEW Delhi: IFC

**Paktinat, Hadi; Faraji, Hasan Ali and Ashkan Rahimi Kian** (2014), "Solar Desalination Plant Site Suitability Through Composing Decision-making Systems and Fuzzy Logic in Iran (using the desert areas approach)", Volume 19, Issue 2, pp. 111-119.

**Petela, Richard.** (2003), *"Energy of Undiluted Thermal Radiation"*, *Solar Energy*, Volume 74, Issue 6, pp. 469-488.