

## مدل‌سازی و پیش‌بینی گرد و غبار در غرب ایران

بهروز سبحانی\* - استاد گروه جغرافیای طبیعی، اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران  
وحید صفریان زنگیر - دانشجوی دکتری گروه جغرافیای طبیعی، اقلیم‌شناسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران  
سینا فیض‌اله‌زاده - دانشجوی دکتری گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۹

### چکیده

برای مدل‌سازی و پیش‌بینی پدیده مخاطره‌ای گرد و غبار در مناطق گردوغبارخیز ایران، نخست داده‌های گرد و غبار، دما، و رطوبت ۲۸ ایستگاه مناطق درگیر شدید با گرد و غبار در ایران در بازه زمانی ۲۹ ساله (۲۰۱۸-۱۹۹۰) اخذ شد. سپس، با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی ANFIS و RBF در نرم‌افزار MATLAB مدل‌سازی‌ها انجام گرفت. داده‌های گرد و غبار به دست آمده از پیش‌بینی با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندم‌تغیره TOPSIS و مناطق بیشتر درگیر با پدیده مخاطره‌ای گرد و غبار برای سال‌های آتی اولویت‌سنجی و مشخص شدند. براساس نتایج پژوهش، مقایسه دو مدل شبکه عصبی ANFIS و RBF در بهترین شرایط نشان داد که مقدار RMSE مدل ANFIS برابر با ۱۱۶۷ و مدل RBF برابر با ۲۱۹ است. بنابراین، قدرت دقت RBF در پیش‌بینی گرد و غبار در سال‌های شبیه‌سازی شده بیشتر است. براساس نتایج خروجی مدل شبکه عصبی - مصنوعی RBF در پیش‌بینی گرد و غبار برای سال‌های آتی ایستگاه‌های مورد مطالعه؛ در هر دو مقیاس میانگین و حداکثر فراوانی گرد و غبار، ایستگاه‌های غربی و جنوب غربی منطقه مورد پژوهش بیشتر در معرض گرد و غبار در سال‌های آینده قرار گرفتند. همچنین، در مدل TOPSIS، ایستگاه‌های آبادان، مسجد سلیمان، و اهواز به ترتیب با مقدار درصد (۱، ۰/۹۵، ۰/۸۱) در معرض گرد و غبار قرار گرفتند.

واژگان کلیدی: تحلیل آماری، شبیه‌سازی، مخاطره، مدل‌های RBF و ANFIS، مناطق گرد و غباری ایران.

### مقدمه

گرد و غبار در مناطق تحت سیطره خود، در هر جای دنیا، آثار مخاطره‌ای در بخش‌های مختلف زندگی موجودات زنده داشته است. همچنین، طوفان‌های گردوغباری در سال‌های اخیر روند رو به رشد داشته است (محمدخان، ۱۳۹۶: ۴۹۵). پدیده گردوغباری به دلیل خشک‌سالی‌های اخیر سبب بروز اثرهای نامطلوب زیستی و خسارات فراوان در زمینه کشاورزی، صنعتی، و حمل و نقل در استان‌های خوزستان و سایر استان‌های همجوار شده است (درویشی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱). امروزه، گرد و غبار یکی از پدیده‌های متداول و در ردیف بزرگ‌ترین مشکلات جوی محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است (حجازی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۰۸). آئروسول‌های معدنی گرد و غبار می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای بر آب و هوای زمین تأثیر بگذارد (ژئیوان و همکاران، ۲۰۱۹: ۳). فراوانی طوفان گرد و غبار در سلامت انسان و فعالیت‌های کشاورزی در آسیای میانه آثار مخربی برجای می‌گذارد (تیانگنگ و همکاران، ۲۰۱۹: ۱۶؛ سبحانی و صفریان‌زنگیر، ۲۰۱۹b). گرد و غبار نقش مهمی در توسعه اجتماعی و اقتصادی ایفا می‌کند، اما از سوی دیگر، چنین عرضه‌ای نیز می‌تواند تأثیر منفی در محیط زیست و جنگل داشته باشد (نارایان و همکاران، ۲۰۱۹: ۴). محققان دیگری هم در زمینه مخاطرات طبیعی پدیده گرد و غبار تحقیق کرده‌اند؛ از جمله:

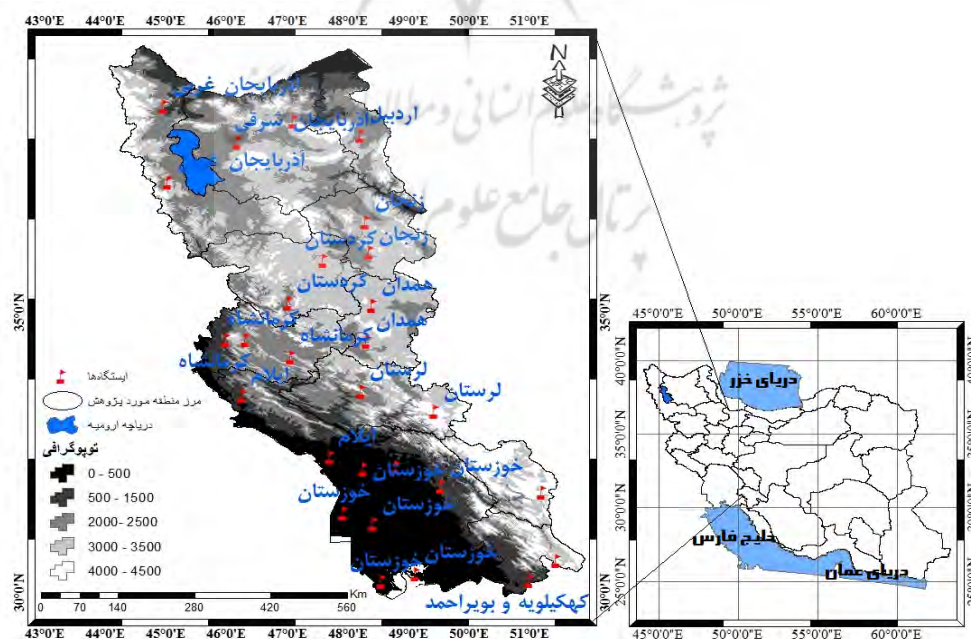
عمارلو و همکاران (۱۳۹۶)، گندمکار و همکاران (۱۳۹۶)، صحرایی و همکاران (۱۳۹۶)، صفریان زنگیر و همکاران (۱۳۹۷)، حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷)، زلسنا و همکاران (۲۰۱۷)، ویلام و همکاران (۲۰۱۷)، کیووس و همکاران (۲۰۱۷)، ارناس و همکاران (۲۰۱۷)، دنسیس و همکاران (۲۰۱۷)، ساهو و همکاران (۲۰۱۷)، جیشیا و همکاران (۲۰۱۷)، زیل هوفر و همکاران (۲۰۱۷)، شوچی و همکاران (۲۰۱۷)، لیو و همکاران (۲۰۱۷)، ونگ و همکاران (۲۰۱۷)، نبوی و همکاران (۲۰۱۷)، سبجانی و همکاران (۲۰۱۹c)، سبجانی و همکاران (۲۰۲۰b). همچنین، با توجه به اهمیت مخاطره‌ای گرد و غبار، که از سال‌های گذشته توجه بسیاری از پژوهشگران و محققان در زمینه بهره‌برداری و خسارات وارده از آن را به خود جلب کرده، در این پژوهش نیز به مدل‌سازی و پیش‌بینی گرد و غبار در غرب ایران پرداخته شده است؛ به مطالعاتی که در این زمینه انجام شده در ادامه اشاره می‌شود: کارگر و همکاران (۱۳۹۵) به شبیه‌سازی و تحلیل عددی طوفان گرد و غبار شدید شرق ایران اقدام کردند و به این یافته رسیدند که شکل‌گیری طوفان‌های منطقه سیستان به شدت از ویژگی‌های جغرافیای محلی، به‌ویژه توپوگرافی، متأثر می‌شود. نصیری و همکاران (۱۳۹۵) به بررسی تغییرات ارتفاع و ضخامت لایه مرزی در شرایط گرد و غباری شهر اهواز پرداختند. نتایج نشان داد گرد و غبار منشأ خارجی دارد و توسط سامانه‌های کم‌فشار و شرایط سینوپتیکی ناپایدار، که موجب افزایش ارتفاع لایه مرزی می‌شوند، وارد منطقه می‌شود. رفیعی و همکاران (۱۳۹۵) به تحلیل روند تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در ایران پرداختن. نتایج آزمون‌های آماری نشان داد که همه ایستگاه‌های مورد مطالعه دارای روند هستند. رایگانی و خیراندیش (۱۳۹۶) به بهره‌گیری از سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای با هدف اعتبارسنجی کانون‌های شناسایی‌شده تولید گرد و غبار در استان البرز پرداختند. براساس نتایج تحلیل، در جایی که فرکانس وقوع گرد و غبار بالا بود کاهش معنی‌دار درجه حرارت سطح زمین مشاهده شد. محمدخان (۱۳۹۶) به وضعیت و روند تغییرات طوفان‌های گردوغباری ایران در دوره زمانی ۱۳۶۴ الی ۱۳۸۴ پرداخت و به این یافته رسید که گرد و غبار با پارامترهای تخریب، دما، و بارش دارای همبستگی است، اما با ژئومورفولوژی و ارتفاع دارای همبستگی نیست. جلالی و همکاران (۱۳۹۶) به شناسایی منشأ و مناطق تحت تأثیر طوفان‌های گرد و غبار در جنوب غرب ایران با استفاده از تصاویر مادیس پرداختند. نتایج نشان داد استقرار طوفان‌های شدید و بسیار شدید حامل گرد و غبار در بین النهرین در فراوانی گرد و غبار جنوب و جنوب غرب ایران اثر دارد. ولی و روستایی (۱۳۹۶) به بررسی روند فرسایش بادی در ایران مرکزی با استفاده از شاخص طوفان گرد و غبار در پنجاه سال اخیر پرداختند و به این نتیجه رسیدند که طوفان‌های گردوغباری باعث تشدید فرسایش بادی در سال‌های اخیر شده است؛ به طوری که روند شاخص طوفان گرد و غبار در سی سال اخیر (۱۹۸۵-۲۰۱۴)، نسبت به بیست سال پیش از آن (۱۹۶۵-۱۹۸۵)، بیش از سه برابر افزایش داشته است. حسینی و رستمی (۱۳۹۷) به واکاوی و ردیابی پدیده گرد و غبار در جنوب و جنوب شرق ایران با استفاده از مدل Hysplit و اصول سنجش از دور اقدام کردند و به این یافته رسیدند که جریان‌های پرسرعت باد و در صورت کمبود رطوبت، هسته گرد و غبار بر روی منطقه مورد مطالعه شکل می‌گیرد. ویلیام و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیقی به تأثیر مسافت بر رنگ و اندازه گرد و غبار پرداختند و به این نتیجه رسیدند که مسافت طی‌شده بر اندازه و رنگ هر ذره گرد و غبار اثر می‌گذارد. ویی و همکاران (۲۰۱۸) به شبیه‌سازی رفتار گرد و غبار در نمونه‌برداری و فیلتر گرد و غبار در حلقه اولیه HTR-10 پرداختند و به این یافته رسیدند که برای فیلتر نمونه‌گیری افقی، ذرات کوچک‌تر گرد و غبار در معرض ابتلا به فیلتر اول قرار داشتند؛ درحالی که ذرات بزرگ‌تر گرد و غبار احتمال داشتند که در سطح پایین قرار گیرند. ژئیوان و همکاران (۲۰۱۹) به مدل‌سازی منابع گرد و غبار نیم‌کره شمالی و خروج گرد و غبار از شرق آسیا اقدام کردند و به این یافته رسیدند که ذرات گرد و غبار غلظت توده‌ای آئروسول را تحت تأثیر قرار می‌دهند. قطر ۵۶/۵ درصد در جنوب شرقی آسیا و ۷۵/۴ درصد در شمال شرقی آسیا مشاهده شد. تیانگنگ و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به حساسیت شبیه‌سازی طوفان گرد و غبار در آسیای میانه به طرح‌های گرد و غبار مختلف با

استفاده از مدل WRF-Chem اقدام کردند و به این یافته رسیدند که انتشار کل گرد و غبار از دوره چهارروزه در طرح Shao04، 11.9 Tg بود؛ یعنی ۲-۳ برابر بزرگ‌تر از آنچه در طرح‌های AFWA و GOCART به‌دست آمده است. نارایان و همکاران (۲۰۱۹) به ارزیابی گرد و غبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Landsat و Hyperion برای نظارت بر محیط زیست اقدام کردند و به این یافته رسیدند که بیشترین میزان گرد و غبار در نزدیکی شبکه حمل و نقل معدنی، اطراف معادن، حوضچه‌های معدنی، و مناطق معدنی متمرکز شده است. گویس و همکاران (۲۰۱۹) به مطالعه تغییرات طولانی‌مدت گرد و غبار در امارات متحده عربی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که جهت و سرعت باد در نفوذ گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه بیشتر مؤثر بوده و حدود ۹۰ درصد گرد و غبار از جهت جنوب غربی وارد منطقه مورد مطالعه شده است. لو و همکاران (۲۰۱۹) به مطالعه مدل‌سازی توزیع سه‌بعدی آئروسول‌های گرد و غبار در حوضه تاریم، شمال غرب چین، پرداختند و به این نتیجه رسیدند که توزیع آئروسول‌های گرد و غبار در لایه مرزی فوقانی در ارتفاع ۳-۵ کیلومتری با همگرایی جریان هوا بیشتر از لایه‌های دیگر است. با توجه به بررسی‌های انجام‌گرفته در مورد اهمیت گرد و غبار و مخاطرات حاصل از آن، می‌توان اذعان کرد که پارامتر گرد و غبار اهمیت بسیار زیادی در مخاطرات طبیعی و آب و هوای غرب ایران دارد. هدف از پژوهش حاضر مدل‌سازی، پیش‌بینی گرد و غبار در غرب ایران است.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت منطقه مورد مطالعه

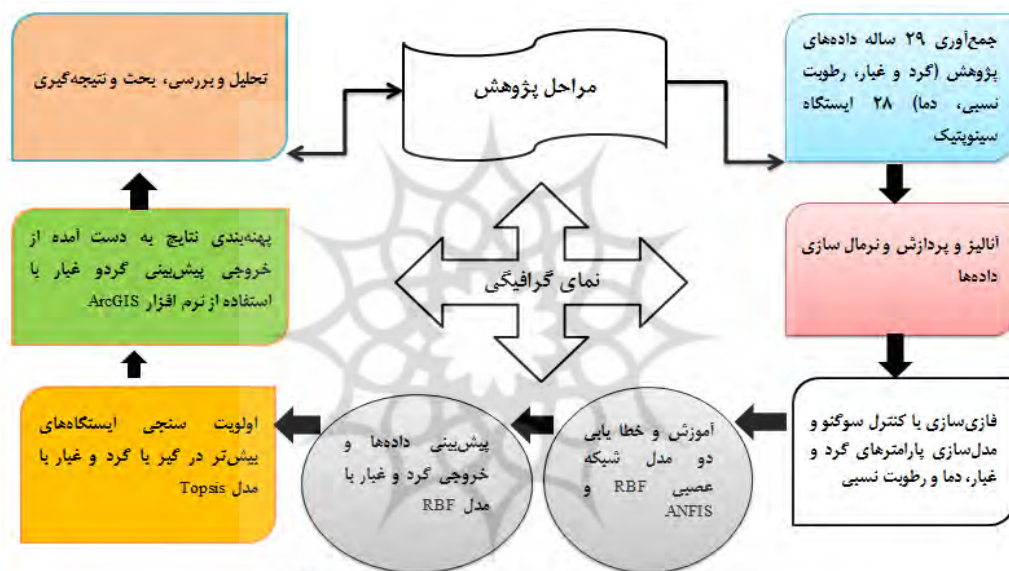
این پژوهش در مناطق غربی ایران انجام شد؛ این مناطق شامل دوازده استان است: آذربایجان شرقی و غربی، اردبیل، زنجان، همدان، کردستان، کرمانشاه، لرستان، ایلام، چهارمحال بختیاری، خوزستان، و کهگیلویه بویر احمد. هر دوازده استان به‌ویژه استان‌های جنوبی منطقه مورد مطالعه با پدیده گرد و غبار در سال‌های اخیر بیشتر درگیر بوده‌اند. در شکل ۱ و جدول ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و مشخصات ایستگاه‌های مورد مطالعه در مناطق غربی ایران ارائه شده است.



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی و توپوگرافی منطقه مورد مطالعه در سطح کشور

## روش تحقیق

در این پژوهش بعد از اخذ داده‌های ۲۹ ساله گرد و غبار، دما، و رطوبت نسبی برای ۲۸ ایستگاه مناطق گردوغبارخیز ایران، نخست داده‌ها آنالیز و سپس نرمال‌سازی شد. پس از نرمال‌سازی داده‌های گرد و غبار، دما، و رطوبت نسبی با استفاده از دو مدل نوین و کاربردی برای مدل‌سازی و پیش‌بینی در اقلیم‌شناسی از مدل‌های شبکه عصبی<sup>۱</sup> ANFIS و<sup>۲</sup> RBF استفاده شد. سپس، دو مدل یادشده برای پیش‌بینی دقیق برای آینده مقایسه و آموزش داده شد که در نهایت سطح اطمینان و دقت مدل RBF بیشتر از ANFIS به دست آمد؛ به همین دلیل از مدل شبکه عصبی RBF در پیش‌بینی گرد و غبار برای سال‌های آتی استفاده شد. در نهایت، با استفاده از مدل تصمیم‌گیری چندم‌تغیره<sup>۳</sup> TOPSIS، مناطقی که بیشتر با گرد و غبار درگیر بودند اولویت‌سنجی و مشخص شدند و با بهره‌گیری از نرم‌افزار ArcGIS داده‌های خروجی پهنه‌بندی شد (شکل ۲).

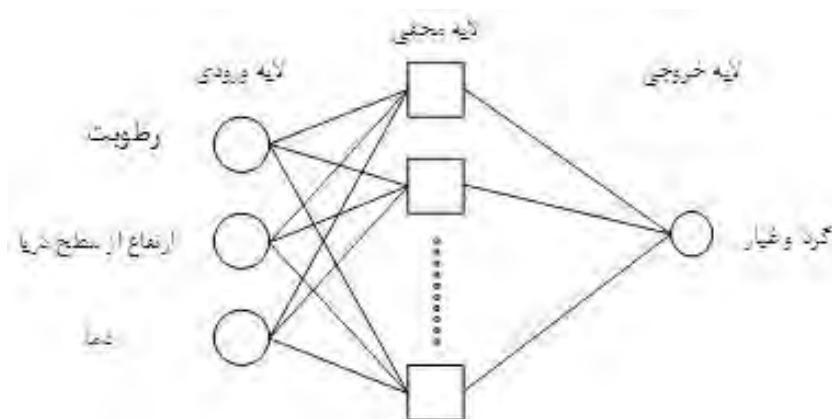


شکل ۲. نمای گرافیکی مراحل پژوهش

## مدل شبکه عصبی RBF

شبکه‌های عصبی با تابع پایه شعاعی به‌طور گسترده برای تخمین غیرپارامتریک توابع چندبُعدی از طریق مجموعه‌ای محدود از اطلاعات آموزشی به کار می‌روند. شبکه‌های عصبی شعاعی با آموزش سریع و فراگیر بسیار جالب و کارآمدند و به آن توجه خاصی شده است (هارتمن و همکاران، ۱۹۹۰؛ سبحانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ صفریان‌زنگیر و همکاران، ۱۳۹۸a). ژبروسی و یوگی و همچنین هارتمن و کپلر در سال ۱۹۹۰ میلادی اثبات کردند که شبکه‌هایی با تابع پایه شعاعی تقریب‌سازهای بسیار قدرتمندی هستند؛ به طوری که با داشتن تعداد نرون‌های کافی در لایه مخفی قادر به تقریب‌زنی هر تابع پیوسته و با هر درجه دقت‌اند. این شبکه‌ها اغلب با شبکه عصبی پسانتشار خطا مقایسه می‌شوند. معماری اصلی RBF متشکل از یک شبکه دولایه مانند شکل ۳ است (خانجانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ صفریان‌زنگیر و همکاران، ۱۳۹۸b).

1. Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System
2. Radial Basis Function
3. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution



شکل ۳. ساختار معماری مدل شبکه عصبی RBF

لایه پنهان یک انطباق غیرخطی مابین فضای ورودی و یک فضای معمولاً با بُعد بزرگ‌تر برقرار می‌کند و نقش مهمی در تبدیل الگوهای غیرخطی به الگوهای تفکیک‌پذیر خطی دارد. لایه خروجی جمع وزنی الگوهای خطی شده را همراه یک خروجی خطی تولید می‌کند (سبحانی و صفریان‌زنگییر، ۲۰۱۹a). ولی در صورتی که نیاز باشد طبقه‌بندی الگوها انجام شود، آن‌گاه یک محدودکننده سخت یا یک تابع سیگموئید را می‌توان بر روی عصب‌های خروجی قرار داد تا مقادیر خروجی ۰ یا ۱ تولید شود (خانجانی و همکاران، ۱۳۹۵). تابع لایه پنهان رابطه‌ای مطابق با رابطه ۱ دارد:

$$F(x) = \sum_{j=1}^p w_j \phi(\|x - u_j\|) \quad (1)$$

Wها وزن‌های مربوط به هر نرون و  $\|u_j\|$ ها مراکز ثقل تابع هر نرون‌اند. تابع معروف در شبکه‌های شعاعی تابع گوسی یا نمایی مانند رابطه ۲ است:

$$\phi(\|x - u_j\|) = e^{-\frac{\|x - u_j\|}{\sigma_j}} \quad (2)$$

در این رابطه  $\sigma_j$  فاکتور عرض کرنل  $\sigma_j$  است. شبکه عصبی با تابع شعاع مداری نیز مانند هر شبکه عصبی دیگر دو مدل عملکردی آموزش و مرجع دارد. در طی مدل آموزش، پارامترهای تعدیل‌پذیر شبکه که عبارت‌اند از  $\sigma_i$  و  $u_i$  و ماتریس وزن لایه خروجی  $W$  چنان تغییر می‌کند که خطای میانگین بین خروجی‌های شبکه در یک مجموعه آموزشی و مقادیر واقعی به حداقل برسد. در مدل مرجع، شبکه آموزش دیده با ارائه بردارهای ورودی جدید به شبکه، بردارهای خروجی را به دست می‌آورد (خانجانی و همکاران، ۱۳۹۵؛ سبحانی و همکاران، ۲۰۱۹a). شبکه عصبی در ورودی شامل  $M$  (بعد محاط) نرون خواهد بود و در لایه مخفی فضای حالت مفروض بازسازی خواهد شد. تعداد نرون‌های لایه پنهان با توجه به تعداد ورودی‌ها مشخص می‌شود. تابعی که برای لایه پنهان در نظر گرفته می‌شود تابع گوسی معرفی شده با رابطه ۱ است و برای نرم اقلیدسی از رابطه ۳ استفاده می‌شود.

$$\|x - u_j\| = \sqrt{\sum_{k=1}^p [x(k) - u_j(k)]^2} \quad (3)$$

که در این رابطه،  $p$  تعداد نقاط موجود در فضای حالت است. برای محاسبه مراکز ثقل از الگوریتم  $k$  میانگین استفاده شده است (هارتمن و همکاران، ۱۹۹۰؛ سبحانی و همکاران، ۲۰۱۹b). عرض کرنل‌ها نیز در راستای مینیمم کردن خطای میان خروجی شبکه آموزش دیده و مقادیر واقعی برابر ۳۰ به دست آمد. خروجی شبکه RBF مقدار فراوانی گرد و غبار خواهد بود. میانگین مربعات خطا،  $RMSE^1$  است. این معیار را می‌توان طبق رابطه ۴ محاسبه کرد. هر چه خطای  $RMSE$  پیش‌بینی کمتر باشد، عملکرد شبکه بهتر است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (4)$$

در این رابطه  $\hat{y}_i$  مقدار پیش‌بینی شده برای نمونه  $i$ ام و  $y_i$  مقدار واقعی آن نمونه است. یک معیار دیگر که برای ارزیابی عملکرد شبکه استفاده شده ضریب همبستگی است. این ضریب بیان‌کننده میزان همبستگی بین نتایج پیش‌بینی شده مدل و داده‌های واقعی است که براساس رابطه ۵ محاسبه می‌شود. بدیهی است هرچه مقدار آن به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده نزدیکی بیشتر مقادیر پیش‌بینی شده به مقادیر واقعی است.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (y - \bar{y})(\hat{y} - \bar{\hat{y}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (y - \bar{y})^2 \sum_{i=1}^N (\hat{y} - \bar{\hat{y}})^2}} \quad (5)$$

که در آن  $\hat{y}$  گرد و غبار پیش‌بینی شده و  $\bar{\hat{y}}$  میانگین مقادیر پیش‌بینی شده،  $y$  مقدار واقعی گرد و غبار و  $\bar{y}$  میانگین مقادیر واقعی هستند.

### مدل شبکه عصبی ANFIS

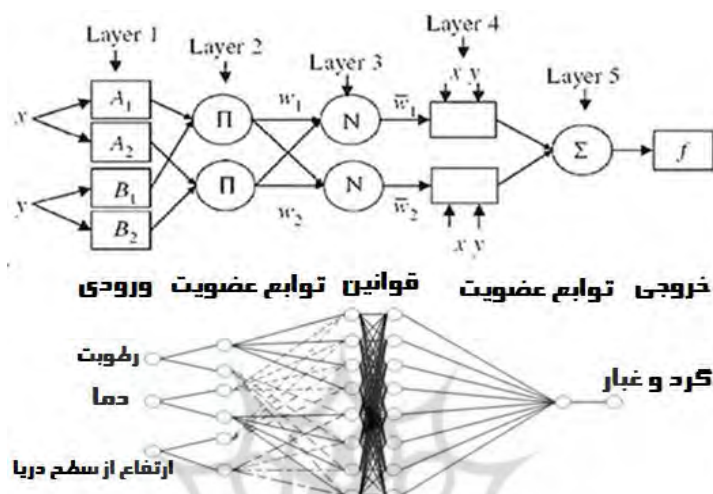
در این مرحله امکان مدل‌سازی و پیش‌بینی گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه با استفاده از مدل شبکه عصبی-فازی تطبیقی ANFIS بررسی می‌شود (انصاری، ۱۳۸۶؛ سبحانی و همکاران، ۲۰۱۸). در این پژوهش پدیده گرد و غبار به صورت سری زمانی به طول ۲۷۶ ماه ( $23 \times 12 = 276$ ) در دو مدل شبکه عصبی ANFIS و RBF در هر یک از ایستگاه‌ها در نظر گرفته شده است. در یک سری زمانی متشکل از  $n$  نمونه  $x_1, x_2, \dots, x_n$  مقدار آتی رابطه ۶ از مقدار قبلی خود است (اصغری اسکویی، ۱۳۸۱؛ صفریان‌زنگیر و همکاران، ۲۰۱۹).

$$x_k = f(x_{k-1}, x_{k-2}, \dots, x_{k-p}) \quad (6)$$

سیستم فازی یک سیستم مبتنی بر قواعد منطقی «شرط-نتیجه» است که با استفاده از مفهوم متغیرهای زبانی و روند تصمیم‌گیری فازی، فضای متغیرهای ورودی را بر فضای متغیرهای خروجی تصویر می‌کند. ترکیب سیستم‌های فازی که مبتنی بر قواعد منطقی بوده و روش شبکه‌های عصبی مصنوعی که توان استخراج دانش از اطلاعات عددی را دارند به ارائه سیستم استنتاج تطبیقی عصبی منجر شده است. در شکل ۴ یک سیستم فازی سوگنو با سه ورودی، یک خروجی، و دو قانون و سیستم ANFIS معادل آن ارائه شد. این سیستم دارای دو ورودی  $x$  و  $y$  و یک خروجی  $f$  است (احمدزاده و همکاران، ۱۳۸۹؛ صفریان‌زنگیر و سبحانی، ۲۰۲۰). در پایان میزان خطای مدل‌های حاصل با هم مقایسه

1. root-mean-square error

می‌شود و تابعی که کمترین میزان خطا را در کمترین زمان آموزش حاصل کند تابع عضویت برگزیده شد. اصولاً وارد کردن داده‌ها به صورت خام باعث کاهش سرعت و دقت شبکه‌ها می‌شود. از این رو، برای جلوگیری از اشباع زودهنگام نرون‌ها و یکسان‌سازی ارزش داده‌ها برای شبکه، بایستی ورودی‌ها در محدوده تابع سیگموئید (بین ۰ و ۱) قرار گیرد. این کار مانع کوچک شدن بیش از حد وزن‌ها می‌شود و از اشباع زودهنگام نرون‌ها جلوگیری می‌کند (کنارکوهی، ۱۳۸۹؛ سبحانی و صفریان‌زنگیر، ۲۰۲۰).



شکل ۴. ساختار مدل ANFIS

#### روش نزدیکی به حالت ایده‌آل (TOPSIS)

هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ روش TOPSIS را پیشنهاد کردند. در این روش  $m$  گزینه  $(A_1, A_2, \dots, A_m)$  با  $n$  شاخص  $(C_1, C_2, \dots, C_n)$  ارزیابی شد (سبحانی و صفریان‌زنگیر، ۱۳۹۸). حل این مسئله با این روش با طی گام‌های زیر انجام می‌گیرد (مکوندی و همکاران، ۱۳۹۱؛ نظم‌فر و علی‌بخشی، ۱۳۹۳؛ سبحانی و همکاران، ۲۰۲۰a):

۱. بی‌مقیاس‌سازی ماتریس تصمیم با استفاده از بی‌مقیاس‌سازی نرم (رابطه ۷):

$$r_{ij} = \frac{f_{ij}}{\sqrt{\sum_{j=1}^J f_{ij}^2}} \quad j = 1, \dots, J \quad i = 1, \dots, n \quad (7)$$

۲. تشکیل ماتریس بی‌مقیاس موزون  $(V_{ij})$  با ضرب ماتریس بی‌مقیاس شده  $(r_{ij})$  در ماتریس قطری وزن‌ها  $(W_i)$  (رابطه ۸):

$$v_{ij} = w_i \times r_{ij} \quad j = 1, \dots, J \quad i = 1, \dots, n \quad (8)$$

$W_i$  وزن شاخص  $i$ ام است، جمع اوزان شاخص‌ها برابر ۱ است.

۳. تعیین راه‌حل ایده‌آل مثبت  $(A^*)$  و منفی  $(A^-)$  به صورت رابطه‌های ۹ و ۱۰.

$$A^* = \{v_1^*, \dots, v_n^*\} = \left\{ \left( \max_j v_{ij} \mid i \in I' \right), \left( \min_j v_{ij} \mid i \in I'' \right) \right\} \quad (9)$$



$$A^- = \{v_1^-, \dots, v_n^-\} = \left\{ \left( \min v_{ij} | i \in I' \right), \left( \max v_{ij} | i \in I'' \right) \right\} \quad (10)$$

۴. میزان فاصله هر گزینه تا ایده‌آل‌های مثبت و منفی تعیین می‌شود. فاصله هر گزینه تا ایده‌آل مثبت ( $D_j^*$ ) به صورت رابطه ۱۱:

$$D_j^* = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_j^*)^2} \quad , \quad j = 1, \dots, J \quad (11)$$

۵. فاصله هر گزینه تا ایده‌آل منفی ( $D_j^-$ ) به صورت رابطه ۱۲:

$$D_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad , \quad j = 1, \dots, J \quad (12)$$

۶. تعیین نزدیکی نسبی ( $C_j^*$ ) یک گزینه به راه‌حل ایده‌آل (رابطه ۱۳):

$$C_j^* = \frac{D_j^-}{D_j^* + D_j^-} \quad , \quad j = 1, \dots, J \quad (13)$$

۷. رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس نزدیکی نسبی ( $C_j^*$ )، گزینه‌ای که ( $C_j^*$ ) آن بزرگ‌تر باشد بهتر است.

## یافته‌های پژوهش

### مقایسه دو مدل شبکه عصبی ANFIS و RBF

با توجه به مقایسه‌های انجام گرفته در دو مدل شبکه عصبی ANFIS و RBF توانایی دو مدل یادشده برای پیش‌بینی گرد و غبار آموزش داده شد. نتایج به‌دست‌آمده از آموزش مدل شبکه عصبی ANFIS، در بهترین حالت مقدار RMSE برابر با ۱۱٫۶۷ و مقدار  $R^2$  برابر با ۰٫۵۸۷۹ به‌دست آمد (جدول ۱). اما نتایج به‌دست‌آمده از آموزش مدل شبکه عصبی RBF در بهترین حالت مقدار RMSE برابر با ۲٫۱۹ و مقدار  $R^2$  برابر با ۰٫۹۸۵۴ به‌دست آمد (جدول ۲). با مقایسه انجام گرفته دو مدل یادشده، در نهایت جدول ۳ حاصل شد که نشان‌دهنده عملکرد بهتر مدل شبکه عصبی RBF است (شکل ۵). طبق مدل‌سازی انجام گرفته و نتایج به‌دست‌آمده از مقایسه مدل‌ها، دقت و اطمینان مدل شبکه عصبی RBF برای پیش‌بینی تأیید شد که در شکل ۶ انحراف مقدار هدف نیز ارائه شد. سپس در ادامه برای پیش‌بینی از مدل شبکه عصبی RBF استفاده شد.

جدول ۱. نتایج آموزش گرد و غبار برای مدل ANFIS در مناطق گردوغبارخیز غرب ایران

RMSE	R2	Number of MFs	Type of output function	Type of MF	Model
۱۴٫۱۲	۰٫۴۰۳۶	۲ ۲ ۲	Linear	Trap	ANFIS
۱۱٫۶۷	۰٫۵۸۷۹	۳ ۳ ۳	Linear		
۱۴٫۸۱	۰٫۳۴۵۷	۲ ۲ ۲	Linear	Trim	
۱۳٫۴۵	۰٫۴۵۹۶	۳ ۳ ۳	Linear		
۱۴٫۴۲	۰٫۳۷۸۱	۲ ۲ ۲	Linear	Gbell	
۱۲٫۲۱	۰٫۵۵۰۶	۳ ۳ ۳	Linear		
۱۴٫۵۵	۰٫۳۶۷۹	۲ ۲ ۲	Linear	Gauss	
۱۱٫۷۹	۰٫۵۸۱۲	۳ ۳ ۳	Linear		

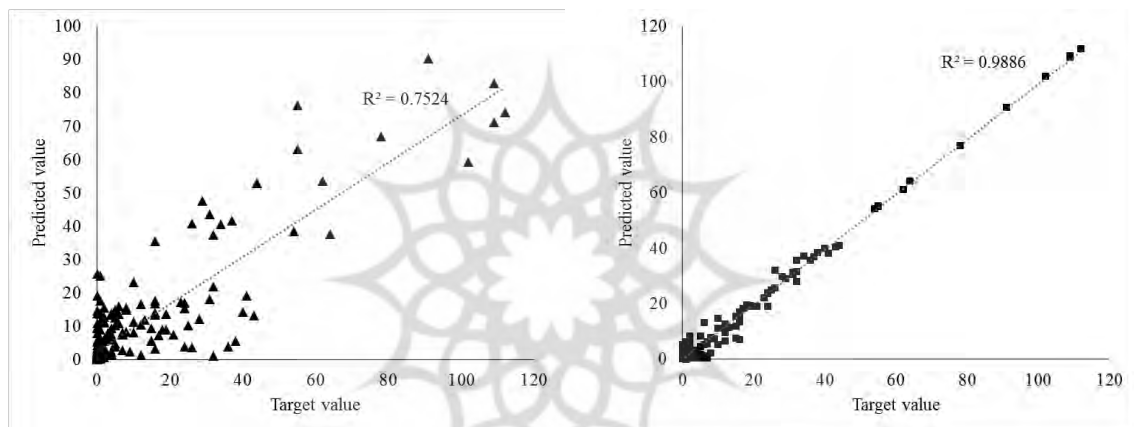


جدول ۲. نتایج آموزش گرد و غبار برای مدل RBF در مناطق گردوغبارخیز غرب ایران

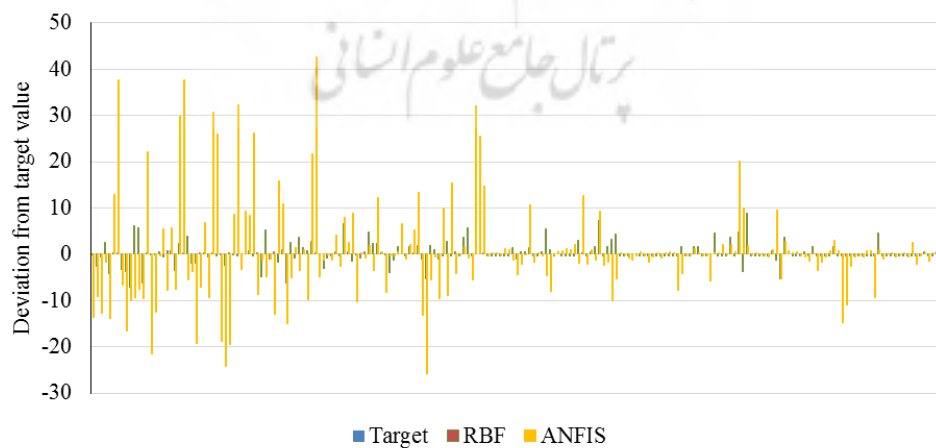
RMSE	R2	Number of neurons	Model
۹٫۲۱	۰٫۷۴۳۹	۱۰	RBF
۸٫۰۴	۰٫۸۰۴۴	۱۵	
۶٫۹۳	۰٫۸۵۵۳	۲۰	
۳٫۵۹	۰٫۹۶۱	۲۵	
۲٫۱۹	۰٫۹۸۵۴	۳۰	

جدول ۳. مقایسه نتایج آزمایش برای مدل‌های RBF و ANFIS

RMSE	R2	Model
۲٫۱۹	۰٫۹۸۵۴	The best RBF
۱۱٫۶۷	۰٫۵۸۷۹	The best ANFIS



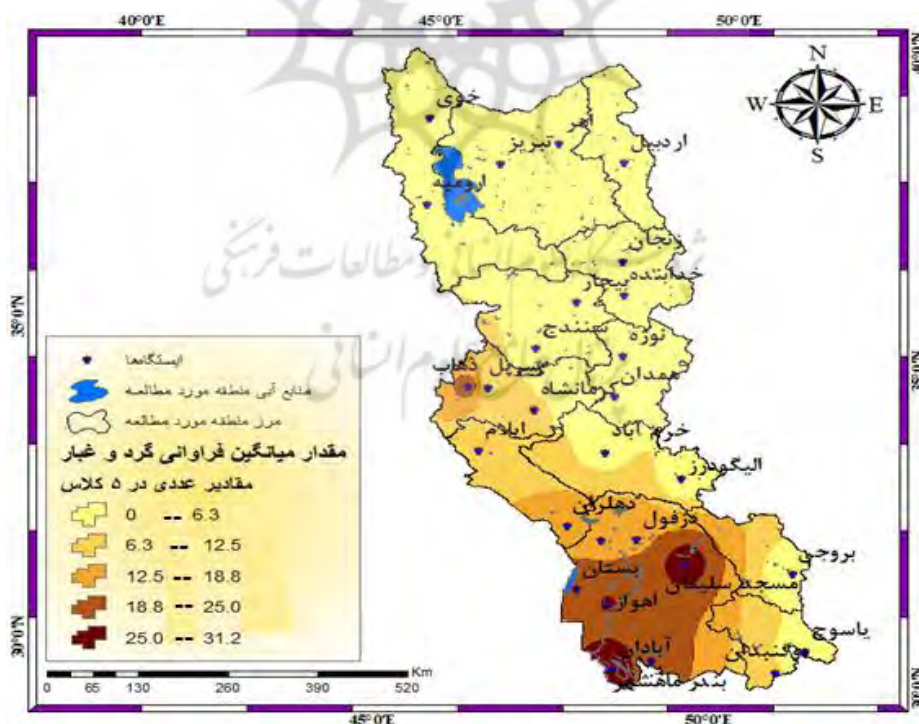
الف ب  
شکل ۵. نمودار دیاگرام برای آزمایش نتایج: الف) RBF؛ ب) ANFIS



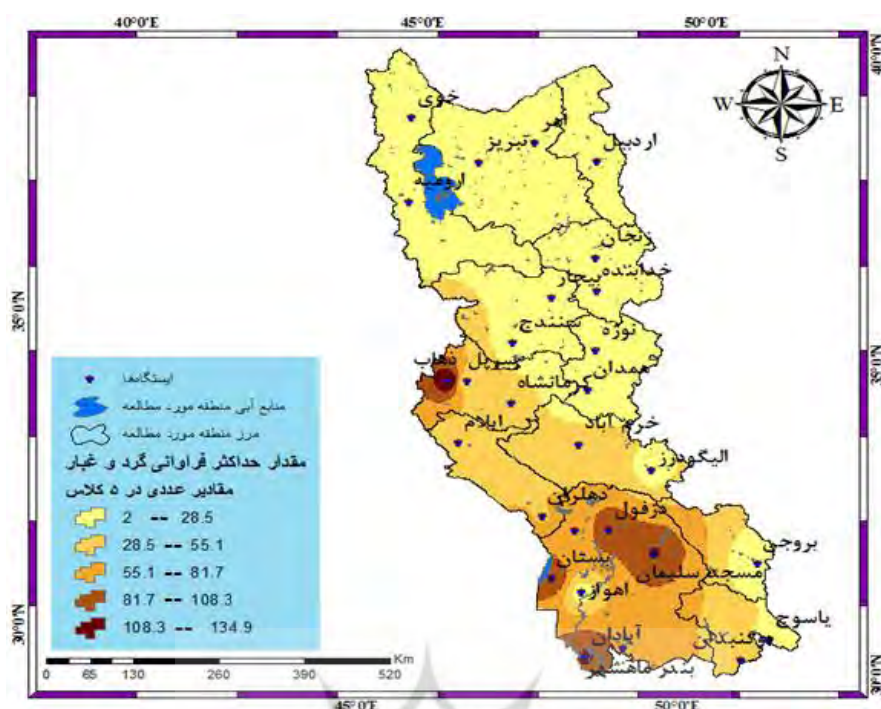
شکل ۶. انحراف از مقدار هدف برای مدل‌های RBF و ANFIS

## پیش‌بینی گرد و غبار براساس مدل شبکه عصبی RBF

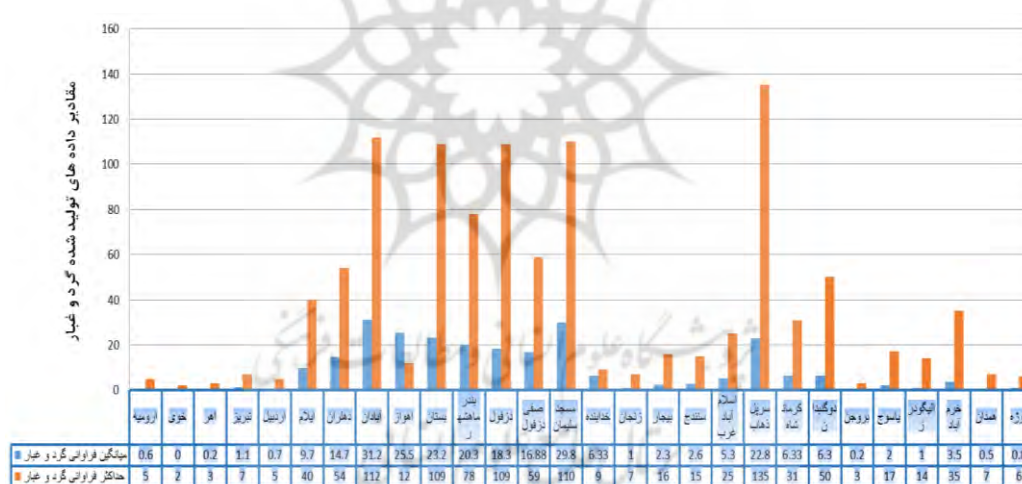
پس از صحت‌سنجی اعتبار مدل‌های شبکه عصبی در مدل‌سازی، مدل شبکه عصبی RBF دقت بیشتری را برای پیش‌بینی پدیده گرد و غبار نشان داد. داده‌های گرد و غبار در دو مقیاس میانگین و حداکثر گرد و غبار پیش‌بینی شد. در مقیاس میانگین فراوانی گرد و غبار ایستگاه‌های جنوبی و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه بیشترین تعداد روز گرد و غبار در سال برای آینده را به خود اختصاص دادند. ایستگاه‌های آبادان، مسجد سلیمان، و سرپل ذهاب به ترتیب با تعداد روزهای گردوغباری (۳۱/۳۰، ۳۰/۶۷، و ۱۳/۶۷) در سال بیشترین میانگین فراوانی گرد و غبار را شامل شدند. ایستگاه‌های شمالی و مرکزی منطقه مورد مطالعه کمترین تعداد روز گرد و غبار در سال را شامل شدند. تبریز، زنجان، و اردبیل به ترتیب با تعداد روز گرد و غبار در سال ۱/۱۶، ۱، و ۰/۷۰ را دربر گرفتند (شکل‌های ۷ و ۹). اما در مقیاس حداکثر فراوانی گرد و غبار در سال، ایستگاه‌های بروجن، خوی، و اهر در شمال و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه به ترتیب ۳، ۲، و ۳ (تعداد گرد و غبار روز در سال) روز کمترین مقدار گرد و غبار در سال را برای آینده به خود اختصاص دادند. ایستگاه‌های آبادان، مسجد سلیمان، و سرپل ذهاب به ترتیب با بیشترین تعداد روز گرد و غبار در سال، یعنی ۱۱۲، ۱۱۰، و ۱۳۵، را در جنوب غرب منطقه مورد مطالعه شامل شدند (شکل‌های ۸ و ۹). با توجه به مدل‌سازی‌های انجام گرفته براساس سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه گرد و غبار برای سال‌های آینده در مناطق گردوغبارخیز غرب ایران، جنوب غرب منطقه مورد مطالعه در هر دو سناریوی خوش‌بینانه و بدبینانه در سال‌های آینده پیش‌بینی، یعنی ۱۴ سال آینده تا سال ۲۰۳۱، بیشترین روزهای گرد و غباری در سال را نسبت به منطقه دیگر خواهد داشت. اما براساس سناریوهای شبیه‌سازی شده مناطق شمالی و غربی منطقه مورد مطالعه کمتر در معرض گرد و غبار قرار خواهد گرفت.



شکل ۷. نقشه میانگین فراوانی گرد و غبار در مناطق گردوغبارخیز غرب ایران در سال‌های شبیه‌سازی شده براساس مدل RBF



شکل ۸. نقشه حداکثر فراوانی گرد و غبار در مناطق گردوغبارخیز غرب ایران در سال‌های شبیه‌سازی شده براساس مدل RBF

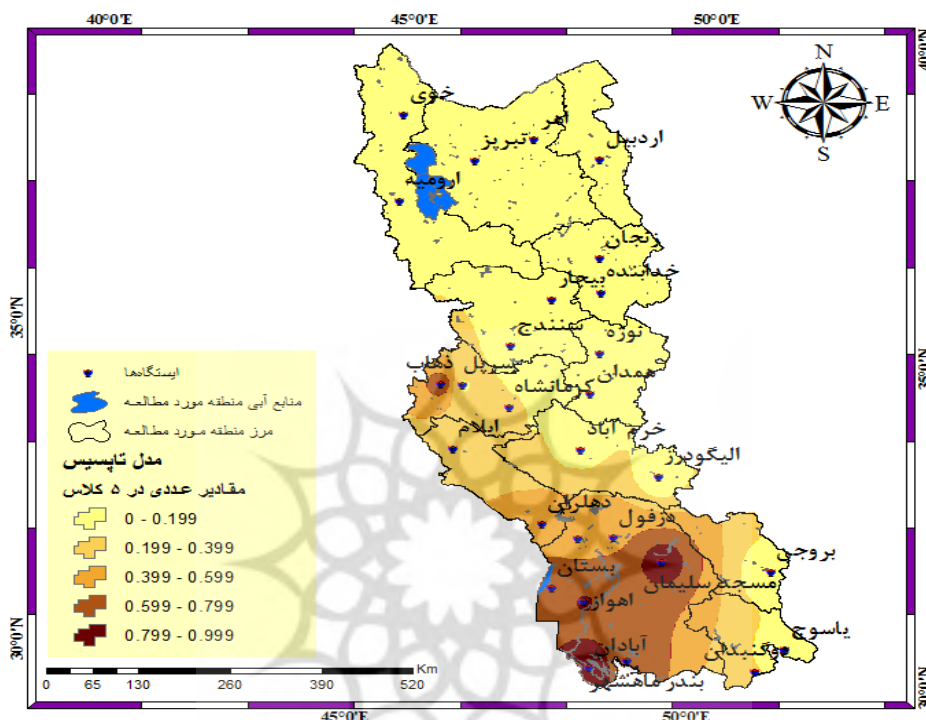


شکل ۹. نمودار میانگین و حداکثر گرد و غبار ایستگاه‌ها در سال‌های شبیه‌سازی شده براساس مدل RBF

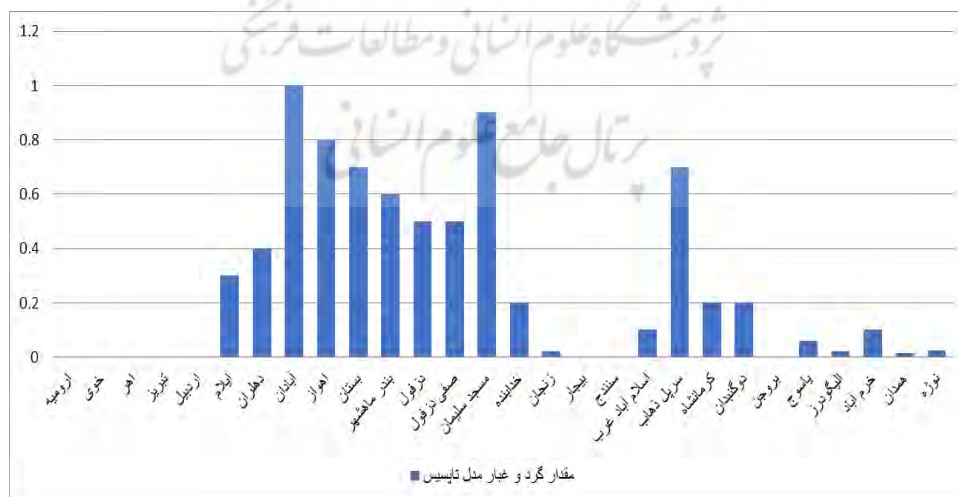
### پهنه‌بندی پدیده گرد و غبار در مناطق گردوغبارخیز غرب ایران با استفاده از TOPSIS

اولویت‌سنجی ایستگاه‌های درگیر با گرد و غبار در مناطق گردوغبارخیز غرب ایران با استفاده از مدل تاپسیس تحلیل و بررسی شد. نخست برای اجرای محاسبات و تجزیه و تحلیل داده‌های آماری، وزنی برای هر یک از پارامترهای مورد استفاده در نظر گرفته شد. سپس، میزان مطلوبیت و عدم مطلوبیت هر یک از ایستگاه‌های مورد مطالعه از نظر شاخص‌های اقلیمی بررسی و در نهایت گزینه مناسب از راه نزدیکی نسبی به میزان ایده‌آل انتخاب شد (سبحانی و صفریان زنگیر، ۱۳۹۷). نتایج اجرای مدل تاپسیس با استفاده از درجه اولویت معیارهای حاصل از روش آنتروپی حاکی از آن است که از نظر شدت گرد و غبار مکان‌های بیشتر و کمتر درگیر با گرد و غبار برای سال‌های آینده در مناطق

گردوغبارخیز غرب ایران به اولویت‌سنجی گرد و غبار ایستگاه‌های مورد مطالعه اقدام شد. سه ایستگاه آبادان، مسجد سلیمان، و اهواز به ترتیب با ۰/۹۵، ۰/۸۱ و ۰/۸۱ درصد در معرض بیشتر گرد و غبار برای سال‌های شبیه‌سازی شده قرار گرفتند و ایستگاه‌های شمالی منطقه مورد مطالعه شامل خوی، بروجن، و اهر به ترتیب با ۰/۱، ۰/۴، و ۰/۶ درصد شدت گرد و غبار را کمتر نشان داد (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). با توجه به مدل TOPSIS، جنوب غرب و غرب ایران برای سال‌های شبیه‌سازی شده بیشتر در معرض گرد و غبار قرار گرفتند.



شکل ۱۰. نقشه نهایی گرد و غبار سال‌های آبی مناطق گردوغبارخیز غرب ایران براساس مدل Topsis



شکل ۱۱. نمودار نهایی گرد و غبار ایستگاه‌ها در سال‌های شبیه‌سازی شده براساس مدل Topsis

## بحث و نتیجه‌گیری

مخاطرات طبیعی در مناطق مختلف کره زمین آثار زیان‌بار خود را همه‌ساله بر روی موجودات زنده و غیرزنده به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم نشان می‌دهد. یکی از این بلاهای طبیعی گرد و غبار در جنوب غرب آسیا به‌ویژه در کشور ایران است. توجه به این نوع مخاطرات طبیعی و شناسایی مناطق درگیر با آن موجب ارتقای کیفیت زندگی و افزایش سلامت موجودات زنده می‌شود. با توجه به مطالعات انجام‌گرفته در داخل و خارج از کشور، در زمینه مدلسازی و پیش‌بینی شناسایی مناطق مستعد گرد و غبار در سال‌های آتی- که بتواند دیدی کلی‌تر از آینده گرد و غبار را به ما نشان دهد- تحقیق یا پژوهشی که دقت و کفایت موضوع را دربر گرفته باشد وجود ندارد و اگر هم باشد، بسیار نادر است. هدف از پژوهش حاضر مدلسازی و پیش‌بینی پدیده مخاطره‌ای گرد و غبار در مناطق گردوغبارخیز غرب ایران بود؛ برای این کار از مقایسه و نتایج دو مدل جدید شبیه‌سازی در اقلیم‌شناسی یعنی مدل‌های شبکه عصبی ANFIS و RBF و مدل تصمیم‌گیری چندمتغیره TOPSIS استفاده شد. براساس نتایج پژوهش و براساس مقایسه دو مدل شبکه عصبی ANFIS و RBF، مدل RBF نسبت به مدل ANFIS دارای دقت بیشتری است. پس برای پیش‌بینی گرد و غبار برای سال‌های آینده از مدل RBF استفاده شد. براساس نتایج پیش‌بینی برای مناطق درگیر با گرد و غبار در دو مقیاس میانگین و حداکثر گرد و غبار براساس دو سناریوی تولیدشده خوش‌بینانه و بدبینانه، در هر دو سناریوی یادشده، مناطق غرب و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه، نسبت به مناطق دیگر آن، برای ۱۴ سال پیش‌بینی‌شده شدت گرد و غبار را بیشتر شامل شد. براساس سناریوی حداکثر فراوانی گرد و غبار ایستگاه‌های آبادان، مسجد سلیمان، و سرپل‌ذهاب بیشترین فراوانی گرد و غبار را برای سال‌های آینده نشان داد. نتایج به‌دست‌آمده از مدل تصمیم‌گیری چندمتغیره TOPSIS نشان داد که ایستگاه‌های شمالی و جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه شامل اهر، خوی، و بروجن به‌ترتیب با ۰/۶، ۰/۱، و ۰/۴ درصد شدت گرد و غبار را کمتر نشان داد. مدلسازی انجام‌گرفته در این پژوهش نوین است و اهمیت بسیار زیادی دارد. روش مورد استفاده در پژوهش حاضر در بیشتر مطالعات انجام‌گرفته روش مناسبی در امر پایش، آنالیز، و مقایسه معرفی شده است؛ از جمله مطالعات انجام‌گرفته در داخل کشور ایران: حسینی و رستمی (۱۳۹۷)؛ پژوهش واکاوی و ردیابی پدیده گرد و غبار در جنوب و جنوب شرق ایران با استفاده از مدل Hysplit و اصول سنجش از دور؛ حجازی‌زاده و همکاران (۱۳۹۷)؛ تحقیق پایش طوفان گرد و غبار در نیمه غربی ایران؛ صفریان زنگیر و همکاران (۱۳۹۷)؛ بررسی گرد و غبار و ارزیابی امکان پیش‌بینی آن در استان اردبیل با استفاده از مدل ANFIS. مطالعات انجام‌گرفته در خارج از کشور: ژئیوان و همکاران (۲۰۱۹)؛ مطالعه مدلسازی منابع گرد و غبار نیم‌کره شمالی و خروج گرد و غبار از شرق آسیا؛ تیانگنگ و همکاران (۲۰۱۹)؛ مطالعه حساسیت شبیه‌سازی طوفان گرد و غبار در آسیای میانه به طرح‌های گرد و غبار مختلف با استفاده از مدل WRF-Chem؛ لو و همکاران (۲۰۱۹)؛ مطالعه مدلسازی توزیع سه‌بعدی آئروسول‌های گرد و غبار در حوضه تاریم، شمال غربی چین؛ که همه این مطالعات دقت قابل قبول مدل را تأیید کردند. با این حال، با همه مقایسه‌های انجام‌گرفته مدل‌ها و شاخص‌های مختلف در تحقیق‌های یادشده، دو مدل شبکه عصبی ANFIS و RBF استفاده‌شده در پژوهش حاضر، یعنی شبیه‌سازی و پیش‌بینی پدیده مخاطره گرد و غبار در مناطق غرب ایران، کارایی قابل قبولی دارد.

## منابع

- احمدزاده، ک.؛ لطفی، م. و محمدی، ک. (۱۳۸۹). مقایسه سیستم‌های هوش مصنوعی در ANN و ANFIS در تخمین میزان تبخیر تفرق گیاه مرجع در مناطق بسیار خشک ایران، نشریه آب و خاک، ۴(۵): ۶۷۹-۶۸۹.
- اصغری اسکویی، م. (۱۳۸۱). کاربرد شبکه‌های عصبی در پیش‌بینی سری‌های زمانی. فصل‌نامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۱۲(۴): ۷۹-۹۹.
- انصاری، ح. داوری، ک. (۱۳۸۶). پهنه‌بندی دوره خشک با استفاده از شاخص بارندگی استاندارد شده در محیط GIS (مطالعه موردی: استان خراسان)، پژوهش‌های جغرافیایی، ۶۰(۳): ۷۹-۱۰۸.
- جلالی، ن.؛ ایران‌منش، ف. و داودی، م. (۱۳۹۶). شناسایی منشأ و مناطق تحت تأثیر طوفان‌های گرد و غبار در جنوب غرب ایران با استفاده از تصاویر مادیس، نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، ۹(۴): ۲۱۸-۳۳۱.
- حجازی‌زاده، ز.؛ طولابی‌نژاد، م.؛ زارعی، ز. و امرایی، ب. (۱۳۹۷). پایش طوفان گرد و غبار در نیمه غربی ایران، مطالعه موردی: طوفان گردوغباری ۱۶ تا ۱۹ ژوئن ۲۰۱۵، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۴(۸): ۱۰۷-۱۲۴.
- حسینی، ا. و رستمی، د. (۱۳۹۷). واکاوی و ردیابی پدیده گرد و غبار در جنوب و جنوب شرق ایران با استفاده از مدل Hysplit و اصول سنجش از دور، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۳(۹): ۱۰۳-۱۰۹.
- خانجانی، ط.؛ عطایی، م. و معلم پ. (۱۳۹۵). پیش‌بینی سرعت باد با شبکه عصبی RBF براساس نظریه آشوب، هوش محاسباتی در مهندسی برق، ۳(۵): ۸۷-۹۶.
- درویشی، ج.؛ عباس‌قلی، ف. و محمدی ع. (۱۳۹۶). کانی‌شناسی و ژئوشیمی رسوبی گردوغبارهای وارده به استان خوزستان، مخاطرات محیط طبیعی، ۱۴(۹): ۱-۱۶.
- رایگانی، ب. و خیراندیش، ز. (۱۳۹۶). بهره‌گیری از سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای به منظور اعتبارسنجی کانون‌های شناسایی شده تولید گرد و غبار استان البرز، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۴(۲): ۱-۱۸.
- رفیعی، ز.؛ یزدانی، م. و رحیمی، م. (۱۳۹۵). تحلیل روند تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در ایران، دو فصل‌نامه علمی- پژوهشی خشک بوم، ۲(۴): ۱۱-۲۳.
- سبحانی ب.؛ صفریان‌زنگیر و. (۱۳۹۸). واکاوی و پیش‌بینی پدیده گرد و غبار در جنوب غرب ایران، مخاطرات محیط طبیعی، ۸(۲): ۱۷۹-۱۹۸.
- سبحانی، ب. و صفریان‌زنگیر، و. (۱۳۹۷). بررسی و پیش‌بینی اثرات مخاطره‌های دمای فرین ماهانه بر روی محصولات باغی و کشاورزی در نوار شمالی ایران (استان‌های گلستان، گیلان، و مازندران)، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۴(۸): ۱۲۵-۱۴۴.
- سبحانی، ب.؛ جعفرزاده‌علی‌آباد، ل. و صفریان‌زنگیر، و. (۱۳۹۸). مدل‌سازی، تحلیل و پیش‌بینی پدیده خشکسالی در ایران، هیدروژئومورفولوژی، ۶(۲۱): ۱۸۱-۲۰۲.
- صحرائی، ج.؛ بهرامی، م. و محمدی، ن. (۱۳۹۶). ردیابی طوفان گرد و غبار (مطالعه موردی: خوزستان)، اولین همایش اندیشه‌ها و فناوری‌های نوین در علوم جغرافیا، ۱۱-۱۶.
- صفریان‌زنگیر، و.؛ زینالی، ب.؛ جعفری، ی. و جعفرزاده، ل. (۱۳۹۷). بررسی گرد و غبار و ارزیابی امکان پیش‌بینی آن در استان اردبیل با استفاده از مدل ANFIS، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۲(۷): ۱۲۵-۱۴۲.
- صفریان‌زنگیر، و.؛ سبحانی، ب. و اصغری، ص. (۱۳۹۸a). مدل‌سازی و پایش پدیده خشکسالی در جنوب غرب ایران با استفاده از شاخص جدید فازی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، ۵۱(۴): ۶۷۳-۶۹۲.
- صفریان‌زنگیر، و.؛ سبحانی، ب. و رضائی‌بنفشه، م. (۱۳۹۸b). مدل‌سازی و پایش پدیده خشکسالی در شمال غرب ایران، جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۸(۳۱): ۱-۱۳.



- عمارلو، ج.; جاوید، ح.; شکاریان، ر.; رضایی، ف. و وحدانی، ا. (۱۳۹۶). ذرات گرد و غبار و تأثیر آن بر کیفیت هوا، چهارمین کنفرانس بین‌المللی برنامه‌ریزی و مدیریت محیط زیست، ۳۶-۴۱.
- کارگر، ا.; جمالی، ج.; رنجبر، ع.; معین‌الدینی، م. و گشتاسب، ح. (۱۳۹۵). شبیه‌سازی و تحلیل عددی طوفان گرد و غبار شدید شرق ایران، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۴(۲): ۱۰۱-۱۱۹.
- کنارکوهی، ع.; سلیمان‌جاهی، ح.; فلاحی، ش.; ریاحی‌مدوار، ح. و مشکات، ز. (۱۳۸۹). استفاده از سیستم جدید هوشمند استنتاج فازی-عصبی تطابقی ANFIS برای پیش‌بینی قدرت سرطان‌زایی ویروس پاپیلوماهای انسانی، مجله علمی پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی اراک، ۴(۶): ۹۵-۱۰۵.
- گندمکار، ا.; فنایی، ر.; دانشور، ف.; کاردان، ح.; احدی‌نژاد، م. و رضایی، ن. (۱۳۹۶). بررسی و ارتباط‌سنجی روند سری‌های دمایی و روزهای همراه با گرد و غبار استان همدان. *جغرافیا*، ۵۳(۸): ۲۷۷-۲۹۳.
- محمدخان، ش. (۱۳۹۶). بررسی وضعیت و روند تغییرات طوفان‌های گردوغباری در ایران در دوره زمانی ۱۳۶۴ الی ۱۳۸۴، مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۳(۳): ۵۱۴-۴۹۵.
- مکوندی، ر.; مقصدلو کمالی، ب. و محمدفام، ا. (۱۳۹۱). بهره‌مندی از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره TOPSIS در ارزیابی پیامدهای محیط زیستی پالایشگاه‌های نفت (مطالعه موردی: پالایشگاه نفت فوق سنگین خوزستان)، پژوهش‌های محیط زیست، ۳(۴): ۷۷-۸۶.
- نصیری، ب.; زارعی، ز.; حلیمی، م. و رستمی، م. (۱۳۹۵). بررسی تغییرات ارتفاع و ضخامت لایه مرزی در شرایط گردوغباری شهر اهواز، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۲(۸): ۵۱-۶۴.
- نظم‌فر، ح. و علی‌بخشی، آ. (۱۳۹۳). سنجش نابرابری فضایی در برخورداری از شاخص‌های آموزشی با استفاده از روش تاپسیس (مطالعه موردی: استان خوزستان)، دو فصل‌نامه مطالعات برنامه‌ریزی آموزشی، ۳(۶): ۱۱۵-۱۳۴.
- ولی، ع. و روستایی، ف. (۱۳۹۶). بررسی روند فرسایش بادی در ایران مرکزی با استفاده از شاخص طوفان گرد و غبار در پنجاه سال اخیر، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، ۴(۶): ۱۸۹-۲۰۰.
- Ahmadzadeh Gheghighi Giz-Qavveh, M. and Mohammadi, K. (2010). Comparison of Artificial Intelligence Systems (ANN and ANFIS) in Estimating the Rate of Evapotranspiration of Reference Plants in Iran's High Drylands, *Water and Soil Journal*, 4(5): 689-679. [In Persian].
- Amarlou, J.; Javid, H.; Shagharian, R.; Rezaei, F. and Ondani, A. (2017). Dust particles and their impact on air quality, *Fourth International Conference on Environmental Planning and Management*, 36-41. [In Persian].
- Ansari, H. and Davar, K. (2007). Dry zone zoning using standardized rainfall index in GIS environment (Case study: Khorasan province), *Geographical research*, 60(3): 79-108. [In Persian].
- Arnas, C.; Celli, J.; Detemmerman, S.; Addab, G.; Couedel, Y.; Grisolia, L.; Lin, C.; Martin, Y.; Pardanaud, C. and Pierson, C. (2017). Characterization and origin of large size dust particles produced in the alcator C\_ mod tokamak, *Nuclear materials and energy*, 3(11): 12-19.
- Asghariaskoy, M. (2002). Application of Neural Networks in prediction of time series, *Journal of Economic Research*, 12(4): 79-99. [In Persian].
- Cuevas, E.; Plelaz, G.; Rodriguez, A.G.; Terradellas, S.; Basart, E.; Garcia, S.; Garcia, R.D. and Alonso, O.E. (2017). The pulsating nature of large scale Saharan dust transport, *Atmospheric environment*, 11(167): 586-602.
- Dansie, A.; Wigs, S.; Thomas G.; and Washington, D. (2017). Measurements of windblown dust characteristics and ocean fertilization potential, *Aeolian research*, 4(29): 30-41.



- Darwishi, C.; Abbasgoli, F. and Mohammadi, A. (2017). Mineralogy and sedimentary geochemistry of dust entering Khuzestan province, *Environmental hazards*, 14(9): 1-16. [In Persian].
- Ghouse, B.; Venkat, M.; Ratnama, K.; Niranjana, K.; Kishored, P. and Isabella, V. (2019). Long-term variation of dust episodes over the United Arab Emirates, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 7(187): 33-39. <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2019.03.006>
- Hartman, E.; Keeler, J.D. and Kowalski, J.M. (1990). Layered neural networks with Gaussian hidden units as universal approximations, *Neural Computation*, 8(2): 210-215.
- HejaziZadeh, Z.; Probbaynejad, M.; Zarei, Z. and Amani, B. (2018). Dust storm monitoring in the western part of Iran, Case study: Dust storm June 16-19, 2015, *Environmental spatial analysis publication*, 4(8): 107-124. [In Persian].
- Hosseini, A. and Rostami, D. (2018). Detection and tracing of dust phenomena in south and south-east of Iran using the Hysplit model and the principles of remote sensing, *Environmental spatial analysis of environmental hazards*, 3(9): 103-109. [In Persian].
- Jalali, N.; IranManshe, F. and Davoodi, M. (2017). Identification of the origin and areas affected by dust storms in southwestern Iran using the images of the mother, *Beheshir Engineering & Management Journal*, 9(4): 218-331. [In Persian].
- Jixia, H.; Zhang, Q.; Tan, J.; Yue, D. and Quansheng, G. (2017). Association between forestry ecological engineering and dust weather in Inner Mongolia, *Physics and chemistry of the earth*, 36(12): 14-27.
- Kanarkhui, A.S.; Sulayman-yeah, H.; Falahi, Sh.; Rhyamodavr, H. and Meskat, Z. (2010). Using the Intelligent Neuro-Fuzzy Inference Inventory (ANFIS) system to predict the human papillomavirus's cancer-causing potential, *Journal of Arak University of Medical Sciences*, 4(6): 95-105. [In Persian].
- Kandomkar, A.; Fanayi, R.; Daneshvar, F.M. and Rezaei, N. (2017). Investigation and connection of the process of temperature series and days with dust in Hamedan province, *Geography*, 53(8): 277-293. [In Persian].
- Karkar, A.; Jamali, C.; Ranjbar, A.; Mina al-Dini, M. and Goshtasb, H. (2017). Simulation and numerical analysis of the storm of severe dust in eastern Iran, *Environmental Spatial Spatial Analysis Journal*, 4(2): 101-119. [In Persian].
- Khanjani, T.; Atay, M. and Molam, P. (2016). Estimation of wind speed with RBF neural network based on chaos theory, *Computational intelligence in electrical engineering*, 3(5): 87-96. [In Persian].
- Liu, Z.; Dezhnev, W. and Gennady, M. (2017). Simulation of dust grain charging under tokamak plasma conditions, *Nuclear materials and energy*, 5(12): 530-535.
- Lu, M.; Xinghua, Y.; Tianliang, Z.; Qing, H.; Lua, H.; Ali, M.; Wen, H.; Fan, Y. and Chong, L. (2019). Modeling study on three dimensional distribution of dust aerosols during a dust storm over the Tarim Basin, Northwest China, *Atmospheric Research*, 2(218): 285-295. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2018.12.006>
- Makvandi, R.; Maghsudulli Kamali, B. and Mohammadfam, A. (2012). Utilization of TOPSIS Multivariate Decision Making Model for Assessing the Environmental Impact of Oil Refineries (Case Study: Khuzestan Extra Heavy Oil Refinery), *Environmental Research*, 3(4): 77-86. [In Persian].
- Mohammad Khan, Sh. (2017). The study of the status and trend of changes in dust storms in Iran during the period from 1985 to 2005. Irrigation and Watershed Management, *Iranian Journal of Natural Resources*, 2(3): 495-514. [In Persian].

- Nabavi, O.; Leopold, H. and Cyrus, S. (2017). Sensitivity of WRF\_ chem predictions to dust source function specification in west asia, *Aeolian research*, 14(24): 115-131.
- Najafi, B. and Faizollahzadeh, S. (2018). Application of ANFIS, ANN, and logistic methods in estimating biogas production from spent mushroom compost (SMC). *Resources, Conservation & Recycling*, 14(133): 169-78, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.02.025>.
- Narayan, K.; Khanindra, P.; Abhisek, C.; Subodh, K.; Chowdary, V.M.; Satiprasad, C.P.; Singh, S. and Samrat, B. (2019). Assessment of foliar dust using Hyperion and Landsat satellite imagery for mine environmental monitoring in an open cast iron ore mining areas, *Journal of Cleaner Production*. 4(19): 30-33. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.01.305>
- Nasiri, B.; Zarei, Z.; Halimi, M. and Rostami, M. (2016). Investigating changes in the height and thickness of the boundary layer in dusty conditions in Ahvaz city, *Environmental Spatial Spatial Analysis Journal*, 2(8): 51-64. [In Persian].
- Nazmifar, H. and Causality, A. (2014). Measurement of Spatial Inequality in Using Educational Indices Using Topsis Method (Case Study: Khordestan Province), *Two Chapters of Educational Planning Studies*, 3(11): 115-134. [In Persian].
- Rafiei, Z.; Yazdani, M. and Rahimi, M. (2016). The trend analysis of the number of days with dust in Iran, *Two Quarterly Journal of Research and Development of Boom*, 2(4): 11-23. [In Persian].
- Raighani, B. and Kheyrandish, Z. (2017). Utilization of satellite data time series to validate the identified sources of dust production in Alborz province, *Environmental spatial analysis*, 4(2): 1-18. [In Persian].
- Safarian Zengir, V.; Zeinali, B.; Jafari, Y. and Jafarzadeh, L. (2018). Dust analysis and assessment of its prediction in Ardabil province using ANFIS model, *Environmental spatial analysis*, 2(7): 125-142. [In Persian].
- Safarianzangir, V.; Sobhani B. and Rezaeibanafsheh, M. (2019b). Modeling and monitoring of drought phenomenon in northwestern Iran, *geography and environmental hazards*, 8 (31): 1-13. [In Persian].
- Safarianzangir, V; Sobhani B. and Asghari, S. (2019a). modeling and monitoring of drought phenomenon in southwestern Iran using the new fuzzy index, *Natural Geographical Research*, 51 (4): 673-692. [In Persian].
- Safarianzengir, V.; Sobhani, B. (2020). Simulation and Analysis of Natural Hazard Phenomenon, Drought in Southwest of the Caspian Sea, IRAN, *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*, Vol. 15, No. 1, p. 127 - 136; DOI:10.26471/cjees/2020/015/115
- Safarianzengir, V; Sobhani, B. and Asghari, S. (2019). Modeling and Monitoring of Drought for forecasting it, to Reduce Natural hazards Atmosphere in western and north western part of Iran, Iran. *Air Qual Atmos Health* (2019) doi:10.1007/s11869-019-00776-8
- Sahrai, C.; Bahrami, M. and Mohammadi, N. (2017). Dust storm tracking (Khuzestan case study). *The First Contemporary Thoughts and Technologies in Geography*, 11-16. [In Persian].
- Sahu, O.; Dubasi, R.; Nigus, G.; Addis, E. and Firomsa, T. (2017). Sorption of phenol from synthetic aqueous solution by activated saw dust, *Biochemistry and biophysics reports*, 8(12): 46-53.
- Shoji, M.; Kawamura, G.; Smirnov, R.; Pigarov, A.; Tanaka, Y.; Masuzaki, S. and Uesugi, Y. (2017). Simulation of impurity transport in the peripheral plasma due to the emission of dust in long pulse discharges on the large helical device, *Nuclear materials and energy*, 14(12): 779-785.
- Sobhani B.; Safarianzangir V. (2019). Analysis and forecasting of dust phenomenon in southwestern Iran, *hazards of natural environment*, 8 (22): 179-198. [In Persian].

- Sobhani, B. and Safarianzengir, V. (2018). Investigating and predicting the risk of monthly rainfed exposure to horticultural and agricultural products in the northern strip of Iran (Golestan, Gilan and Mazandaran provinces, *Environmental spatial analysis*, 4(8): 125-144. [In Persian].
- Sobhani, B., Jafarzadehaliabad, L. and Safarianzengir, V. (2020a). Investigating the effects of drought on the environment in northwestern province of Iran, Ardabil, using combined indices, Iran. *Model. Earth Syst. Environ.* (2020). <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00733-w>
- Sobhani, B., Safarianzengir, V. (2020). Evaluation and zoning of environmental climatic parameters for tourism feasibility in northwestern Iran, located on the western border of Turkey, *Modeling Earth Systems and Environment*, (2020). <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00712-1>
- Sobhani, B.; Jafarzadehalialiabad, L. and Safarianzengir, V. (2019). Modeling, Analysis and Forecasting of Drought Phenomenon in Iran, *Hydrogeomorphology*, 6 (21): 181-202. [In Persian].
- Sobhani, B.; Safarianzengir V. and Kianian, M.K. (2019a). Drought monitoring in the Lake Urmia basin in Iran. *Arabian Journal of Geosciences* 12:448. <https://doi.org/10.1007/s12517-019-4571-1>
- Sobhani, B.; Safarianzengir V. and Kianian, M.K. (2019b). Modeling, Monitoring and Prediction of Drought in Iran. *Iranian (Iranica) Journal of Energy and Environment* 10: 216 - 224. doi: 10.5829/ijee.2019.10.03.09
- Sobhani, B.; Safarianzengir, V. (2019a). Modeling, monitoring and forecasting of drought in south and southwestern Iran, Iran. *Modeling Earth Systems and Environment* 5: <https://doi.org/10.1007/s40808-019-00655-2>
- Sobhani, B.; Safarianzengir, V. (2019b). Investigation hazard effect of monthly ferrin temperature on agricultural products in north bar of Iran. *Iraqi Journal of Agricultural Sciences*. 50 (1): 320-330
- Sobhani, B.; Safarianzengir, V. and Kianian, MK. (2018). Potentiometric Mapping for Wind Turbine Power Plant Installation guilan province in Iran. *J. Appl. Sci. Environ. Manage* 22: 1363 –1368. <https://dx.doi.org/10.4314/jasem.v22i8.36>
- Sobhani, B.; Safarianzengir, V. and Miridizaj, F. (2019c). Feasibility study of potato cultivating of Ardabil province in Iran based on VIKOR model. *Revue Agriculture*. 10 (2): 92 – 102.
- Sobhani, B.; Safarianzengir, V. and Yazdani, M.H. (2020b) Modelling, evaluation and simulation of drought in Iran, *southwest Asia. J Earth Syst Sci* 129, 100 (2020). <https://doi.org/10.1007/s12040-020-1355-7>
- Tiangang, Y.; Siyu, C.; Jianping, H.; Xiaorui, Z.; Yuan, L.; Xiaojun, M. and Guolon, Z. (2019). Sensitivity of simulating a dust storm over Central Asia to different dust schemes using the WRF-Chem model, *Atmospheric Environment*. 15(207): 16-29. <https://Doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.03.014>.
- Vali, Ah. and Rural, F. (2017). The study of the trend of wind erosion in central Iran using the dust storm index in the last fifty years, *Journal of Soil and Water Sciences (Science and Technology of Agriculture and Natural Resources)*, 4(6): 189-200. [In Persian].
- Wang, Z.; Xiaole, P.; Itsushi, U.; Jie, L.; Zifa, W.; Xueshun, C.; Pingping, F.; Ting, Y.; Hiroshi, K.; Atsushi, S.; Nobuo, S. and Shigekazu, Y. (2017). Significant impacts of heterogeneous reactions on the chemical composition and mixing state of dust particles, *Atmospheric environment*, 3(159): 83-91.
- Wei, P.; Qi, S.; Feng, X. and Yueyuan, J. (2018). Simulations of the dust behavior in the sampling and dust filters in the primary loop of HTR-10, *Nuclear Engineering and Design*, 9(302): 112-121. <https://Doi.org/10.1016/j.nucengdes.2018.09.036>.

- Willame, Y.; Vandaele, A.C.; Depiesse, C.; Lefevre, F.; Letocart, V.; Gillotay, D. and Montmessin, F. (2017). Retrieving cloud dust and ozone abundances in the martion atmosphere SPICAM/UV nadir spectra, *Planetary and space science*, 7(142): 9-225.
- William, G.; Tobin, M.; David, J. and Zach, U. (2018). Trajectory measurements for individual dust particles on the colorado dust Accelerator. *Nuclear Inst. and Methods in Physics Research*, 10(908): 269-276. <https://Doi.org/10.1016/j.nima.2018.08.075>.
- Zalesna, E.; Grzonka, J.; Rubel, M.; Carrasco, A.; Widdowson, V.; Baron, A.; Ciupinski, G. and Contributors, L. (2017). Studies of dust from JET with the ITER like wall: composition and internal structure, *Nuclear materials and energy*, 8(12): 582-587.
- Zhiyuan, H.; Jianping, H.; Chun, Z.; Jiangrong, B.; Qinjian, J.; Yun, Q.; Ruby, L.; Taichen, F.; Siyu, C. and Jianmin, M. (2019). Modeling the contributions of Northern Hemisphere dust sources to dust outflow from East Asia. *Atmospheric Environment*, 6(14): 1352-2310. <https://Doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.01.022>
- Zielhofer, C.; Hans, S.; William, F.; Birgit, S.; Elisabeth, D.; Michael, S.; Kerstin, S.; Bemhard, W.; Steffen, M. and Abdeslam, M. (2017). millennial scale fluctuations in Saharan dust supply across the decline of the African humid period, *Quaternary science reviews*, 4(171): 119-135.

