

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره هشت، آبان ماه ۹۹

پهنه‌بندی تعداد روز طوفانی در کشور ایران با استفاده از

روش‌های زمین آماری و ریاضی

حسن فتحی زاد^۱

علی خانامانی^{۱*}

Khanamani@gmail.com

محمد زارع^۲

تاریخ پذیرش: ۹۷/۷/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۰/۴

چکیده

زمینه و هدف: تعداد روز طوفانی به وسیله عوامل گوناگونی مانند سرعت وزش باد، میزان بارش، رطوبت خاک و غیره قرار دارد. بررسی این شاخص در کشور می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های گوناگون مورد توجه قرار گیرد. هدف از انجام این تحقیق پهنه‌بندی تعداد روزهای طوفانی در کشور و انتخاب بهترین مدل بر اساس داده‌های ۱۵۰ ایستگاه هواشناسی در دوره آماری ۲۵ ساله ۲۰۱۰-۱۹۸۶ میلادی است. روش بررسی: بعد از تعیین ایستگاه‌ها با پراکندگی مناسب، داده‌های تعداد روز طوفانی در کشور ایران مربوط به دوره‌ی زمانی ۲۰۱۰-۱۹۸۶ در سال ۱۳۹۵ جمع‌آوری شد. به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از روش کلموگروف-اسمیرنوف استفاده گردید. جهت نشان دادن همبستگی مکانی بین داده‌های تعداد روز طوفانی از واریوگرام استفاده شد. واریوگرام گوسین با میزان همبستگی ۰/۹۶، بهترین همبستگی بین داده‌ها را مدل‌سازی نمود و برای درون‌یابی از روش کریجینگ استفاده گردید. سپس با استفاده از روش‌های مختلف زمین‌آماري و ریاضی، نقشه تعداد روزهای طوفانی در کشور ترسیم شد. به این منظور از روش‌های درون‌یابی ریاضی شامل روش عکس فاصله (IDW)، درون‌یاب چند جمله‌ای جهانی (GPI)، تابع شعاعی (RBF)، درون‌یاب موضعی (LPI) و روش زمین‌آماري کریجینگ استفاده شد. جهت انتخاب بهترین روش درون‌یابی از شاخص‌های آماری ریشه میانگین مربعات (RMS) و میزان همبستگی داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی-شده استفاده گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که پیش‌بینی روش کریجینگ شاخص (Kriging Indicator) دارای بیشترین میزان همبستگی با داده‌های مشاهداتی است ($R^2=0.74$). همپنین مناطق جنوب شرقی و جنوب غربی کشور دارای بیشترین میزان تعداد روز طوفانی در کشور می‌باشند.

۱- دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد. * (مسئول مکاتبات)

۲- دانشیار دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد.

بحث و نتیجه گیری: بالا بودن این شاخص در جنوب شرق ناشی از خشک شدن دریاچه هامون و وجود بادهای ۱۲۰ روزه‌ی سیستان و در جنوب غرب کشور ناشی از گرد و غبار ورودی از کشورهای عربی است. نوار شمالی کشور نیز دارای کمترین میزان شاخص تعداد روز طوفانی در کشور است.

واژه های کلیدی: ایران، کریجینگ، گرد و غبار، میان‌یابی، قابلیت دید.

Mapping of Dusty Stormy Days in Iran Using Geostatistical and Mathematical Methods

Hassan Fathizad ¹

Ali Khanamani ^{1*}

Khanamani@gmail.com

Mohammad Zare ²

Admission Date: October 17, 2018

Date Received: December 25, 2017

Abstract

Background and Objective: The number of stormy days is determined by various factors such as wind speed, rainfall, soil moisture and so on. The study of this index in the country can be considered in various plans. The purpose of this research is mapping of the number of dusty stormy days in Iran and selecting the best model based on the climatic data of 150 meteorological stations for the period of 25 years (1986-2010).

Method: Dust stormy days' data of the studied stations were analyzed using variogram curves to represents their spatial correlation. Gaussian variogram ($R^2=0.96$) shows the highest correlation between the data. Then, map of the number of dust stormy days in Iran were prepared using different geostatistical and mathematical methods. For this purpose, several mathematical interpolation methods including Inverse Distance Method (IDW), Global Polynomial Interpolation (GPI), Radial Basis Function (RBF), Local Polynomial Interpolation (LPI), and geostatistical method of Kriging were used. To select the best interpolation method among several geostatistical and mathematical methods, statistical indicators of Root Mean Square (RMS) and correlation coefficient between observed and predicted data were used.

Findings: Results show that the highest correlation between predicted and observed data ($R^2 = 0.74$) was found in kriging indicator method. The southeast and southwest of the country have the highest number of dust storm days.

Discussion and Conclusion: High number of dust stormy days in the southeast is resulting from drying of Hammon lakes and blowing of 120-day winds in Sistan plain, and entering of dust from Arabic countries form the direction of southwest. North part of the country has the lowest number of dust storm days.

Keywords: Iran, Kriging, Dust Storm, Interpolation, Visibility.

1- Ph.D., Combat Desertification, Department of Arid and Desert Regions Management, College of Natural Resources and Desert, Yazd University, Iran.* (Corresponding Author)

2- Associate Professor, Department of Arid and Desert Regions Management, College of Natural Resources and Desert, Yazd University, Iran.

مقدمه

خشك بودن شرایط آب و هوایی در بیشتر مناطق كشور، خشكسالی‌های زیادی نیز اتفاق می‌افتد. به طور کلی خشكسالی در نواحی جنوبی كشور، گستردگی جغرافیایی بیشتری دارد و هرچه از بخش‌های جنوبی و مرکزی كشور فاصله گرفته می‌شود، از شدت و فراوانی خشكسالی‌ها نیز كاسته می‌شود. ویژگی‌های خشكسالی ایران نشان می‌دهد كه به طور کلی بخش وسیعی از كشور از این پدیده در امان نبوده تاثیر این پدیده مخرب را تجربه می‌نماید. بخش‌های جنوبی، شرقی و مرکزی كشور به علت نوسانات زیاد در مقادیر بارندگی، آسیب پذیری بیشتری دارند. البته مطالعات نشان می‌دهد كه منابع اصلی گرد و غبارهای ورودی به غرب ایران، نواحی بیابانی نسبتاً نزدیک به این منطقه مثل بیابان سوریه، عراق و صحرای موجود در شمال شبه جزیره عربستان می‌باشد (۵ و ۶).

در زمان طوفان گرد و غبار، دید افقی بر حسب شدت پدیده در محدوده وسیعی (از ۱۰ تا ۱۰۰ متر و ۴ تا ۱۰ کیلومتر) تغییر می‌کند. شدت طوفان گرد و غبار به وسیله بقای آن و کاهش دید تعیین می‌گردد. بر حسب تداوم زمانی، این پدیده به دو نوع طوفان گرد و غبار کوتاه مدت (تا نیم ساعت) و طولانی مدت (تا چند ساعت و حتی یک شبانه روز) تقسیم می‌شود. الکتروسیسته جوی مربوط به طوفان گرد و غبار بر روی ارتباطات رادیویی تاثیر می‌گذارد (۷).

تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی در سطح یک منطقه و تبیین چگونگی توزیع فضایی و مکانی آن، جهت برآورد توزیع مکانی شاخص‌های اقلیمی ضروری است. برای برآورد و تخمین متغیرهایی از این دست روش‌های مختلفی وجود دارد. به عنوان نمونه می‌توان روش‌های کلاسیک، همچون تیسسن^۱ و میانگین حسابی را نام برد. همه این روش‌ها از نظر محاسبه‌ها، سریع و آسان می‌باشند. روش‌های مختلفی برای برآورد داده‌های مکانی وجود دارد كه از معمول‌ترین این روش‌ها می‌توان به میانگین حسابی، گرادیان و تیسسن اشاره نمود (۸ و ۹). ولی به دلایلی از جمله در نظر نگرفتن موقعیت، آرایش و همبستگی بین

امروزه، پدیده گرد و غبار به یکی از جدی‌ترین مسائل محیط‌زیستی پیش روی بشر تبدیل شده است. طوفان‌های گرد و غبار از پدیده‌های هواشناسی هستند كه معمولاً در مناطق خشك و نیمه‌خشك با بارش سالانه كمتر از ۲۵۰ میلی‌متر در مواقع وزش تند بادهایی با سرعت بیش از حد آستانه رخ می‌دهند. بروز این پدیده، متأثر از هر دو سیستم زمین و اتمسفر می‌باشد، به طوری كه دلایل اصلی وقوع آن سرعت زیاد باد، كمبود رطوبت و اراضی لخت بدون پوشش ذكر شده است (۱). این فرآیند در مناطق برداشت باعث ایجاد فرسایش خاك می‌شود و در نقاط دیگر متناسب با قدرت و سرعت باد باعث انباشت رسوبات می‌گردد. این طوفان‌ها با ذرات ۰/۱ تا ۰/۵ میلی‌متر (رس و سیلت) می‌توانند مسافت‌های طولانی (بیش از چندین هزار کیلومتر) را طی کنند. بیابان صحارا در آفریقا بزرگترین منبع تولیدکننده گرد و غبار در جهان است كه سالانه ۷۰۰ میلیون تن گرد و غبار را وارد اتمسفر می‌کند (۲). مراکز تولید گرد و غبار اغلب در مناطق خشك جهان قرار دارند. ارزیابی می‌شود كه انتشار گرد و غبار جهانی نزدیک ۱۰۰۰ تا ۳۰۰۰ تن در سال است و این میزان در بیابان صحرا حدود ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ تن در سال می‌باشد. بزرگ‌ترین و فعال‌ترین مراکز تولید گرد و غبار در جهان مناطقی هستند كه فعالیت‌های بشری در این مناطق محدود است (۳). این مراکز همچون كمربندی از غبار از سواحل شمال غربی آفریقا آغاز شده و ضمن عبور از خاورمیانه، آسیای مرکزی و جنوبی به چین می‌رسند. به عبارت دیگر، نیمکره جنوبی را می‌توان عاری از غبار دانست (۴).

در سال‌های اخیر، به دنبال تغییرات آب و هوایی و همچنین تخریب‌های گسترده محیط‌زیست ناشی از فعالیت‌های انسانی مانند سد سازی، این پدیده در خاورمیانه به صورت مشكلی جدی در آمده است. طوفان‌های گرد و غبار زیادی در مناطق بیابانی غرب خاورمیانه رخ داده و آسیب‌های زیادی را به ایران وارد کرده است. در ایران به جز مناطق محدودی از شمال و غرب كشور كه دارای اقلیمی مرطوب و نیمه مرطوب است، بقیه سطح كشور در رده سرزمین‌های خشك قرار دارد. علاوه بر

نواحی نیمه گرمسیر^۲ واقع است (شکل ۱).

روش تحقیق

برای پهنه‌بندی تعداد روز طوفانی در کشور ایران نیاز به داده‌های دراز مدت تعداد روز طوفانی که توسط ایستگاه‌های هواشناسی ثبت می‌شوند می‌باشد. برای این کار داده‌های ۱۵۰ ایستگاه موجود در کل کشور در دوره آماری ۲۵ ساله (۲۰۱۰-۱۹۸۶) در سال ۱۳۹۵ جمع‌آوری شد (شکل ۱). به منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از روش کلموگراف - اسمیرنوف^۳ استفاده شد. داده‌های تعداد روز طوفانی پس از نرمال‌سازی مورد استفاده قرار گرفت (جدول ۱). در مرحله بعد با استفاده از نرم افزار GS^+ جهت تعیین میزان همبستگی مکانی بین داده‌ها، انواع وایروگرام‌ها ترسیم و بررسی شدند. برای تعداد روز طوفانی در سطح ایران از روش‌های درون‌یابی IDW^4 ، GPI^5 ، RBF^6 و $Kriging LPI^7$ با توان‌های ۱، ۲ و ۳ در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.3 استفاده شد. از بهترین وایروگرام بدست آمده در جهت تهیه و ارزیابی انواع روش‌های کریجینگ استفاده شده است. جهت ترسیم نقشه پهنه‌بندی ابتدا مختصات ایستگاه‌های مطالعاتی وارد محیط نرم‌افزاری GIS گردیدند و از فایل نقطه‌ای آن‌ها که مبنی بر موقعیت ایستگاه‌ها و داده‌های تعداد روز طوفانی بود، خروجی گرفته شد. سپس با استفاده از روش‌های زمین آماری، مبادرت به میان‌یابی و تبدیل داده‌های نقطه‌ای به پهنه‌ای گردید و نقشه پهنه‌بندی تعداد روز طوفانی کشور برای کل دوره (۲۵ ساله) در محیط نرم‌افزاری GIS ترسیم شد. در ادامه جهت انتخاب بهترین مدل زمین - آماری از پارامترهای R^2 و RMS استفاده گردید. مراحل انجام تحقیق در شکل ۲ آورده شده است.

مشاهده‌ها، از دقت کافی برخوردار نیستند. البته روش‌های دیگری نیز وجود دارند که به دلیل در نظر گرفتن همبستگی و ساختار مکانی داده‌ها اهمیت زیادی دارند. ایرادهای روش‌های یاد شده، ضرورت بهره‌گیری از روش‌های زمین آماری را مطرح می‌کند. روش‌های زمین آماری به دلیل در نظر گرفتن همبستگی مکانی داده‌ها از اهمیت ویژه در بررسی‌های مربوط به توزیع مکانی داده‌های زمینی برخوردار می‌باشند و برآوردهای بهتری از پارامتر مورد بررسی در نقاط نمونه‌برداری نشده می‌دهند (۱۰).

یکی از روش‌هایی که امروزه جایگزین روش‌های مبتنی بر استفاده از شیوه‌های آمار کلاسیک (مانند رگرسیون، مربع معکوس وزنی فاصله و ...) شده، روش‌های زمین آماری است. امروزه از این روش‌ها برای درون‌یابی ایستگاه‌های بارندگی و سایر متغیرهای که وابستگی مکانی دارند استفاده می‌شود (۱۱) و (۱۲). محققان بسیاری به مقایسه و ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی پرداخته‌اند که نشان‌دهنده اهمیت موضوع در کاهش خطای ناشی از انتخاب روش است (۷، ۱۳، ۱۴، ۱۵).

هدف از انجام این مطالعه، پهنه‌بندی تعداد روزهای طوفانی در کشور بر اساس داده‌های ۱۵۰ ایستگاه هواشناسی در دوره آماری ۲۵ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۰) میلادی جهت رسیدن به یک دیدگاه کلی از وضعیت طوفان در کشور و استفاده در تصمیم‌گیری‌ها کلان با استفاده از ایستگاه‌های هواشناسی با پراکندگی مناسب و انتخاب بهترین مدل بر اساس روش‌های مختلف زمین آماری و ریاضی و تعیین بهترین روش در این زمینه می‌باشد.

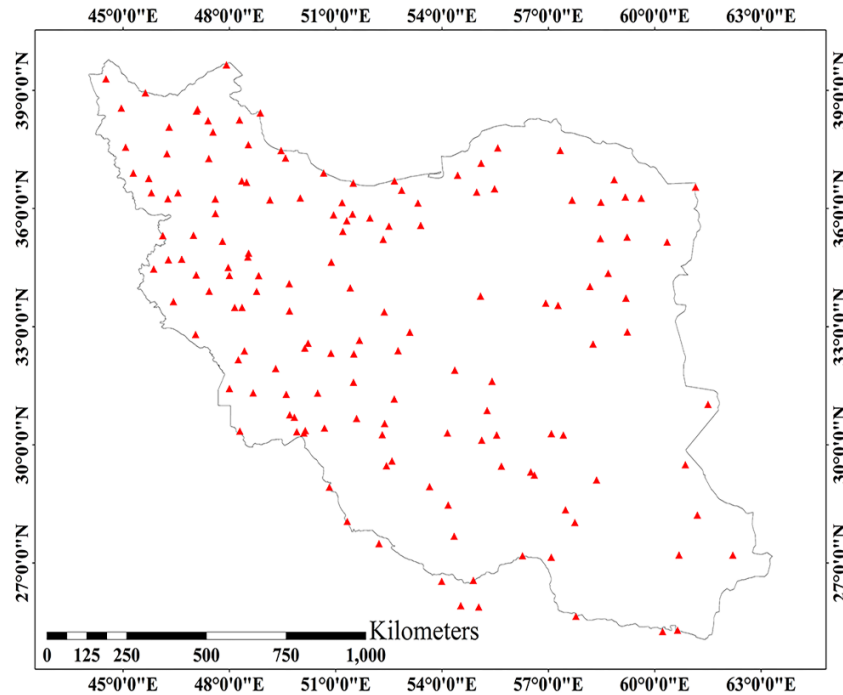
مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

کشور ایران با مساحت ۱۶۴۸۱۹۵ کیلومتر مربع بین عرض‌های ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی و طول ۴۴ تا ۶۳ درجه شرقی قرار گرفته است. بنابراین از نظر عرض جغرافیایی قسمت‌های جنوبی آن در نواحی گرمسیری^۱ و قسمت‌های شمالی آن در

1- Tropical

- 2- Subtropical
- 3- Kolmogorov-Smirnov
- 4- Inverse Distance Weighte
- 5- Global Polynomial Interpolation
- 6- Radial Basis Function
- 7- Local Polynomical Interpolation



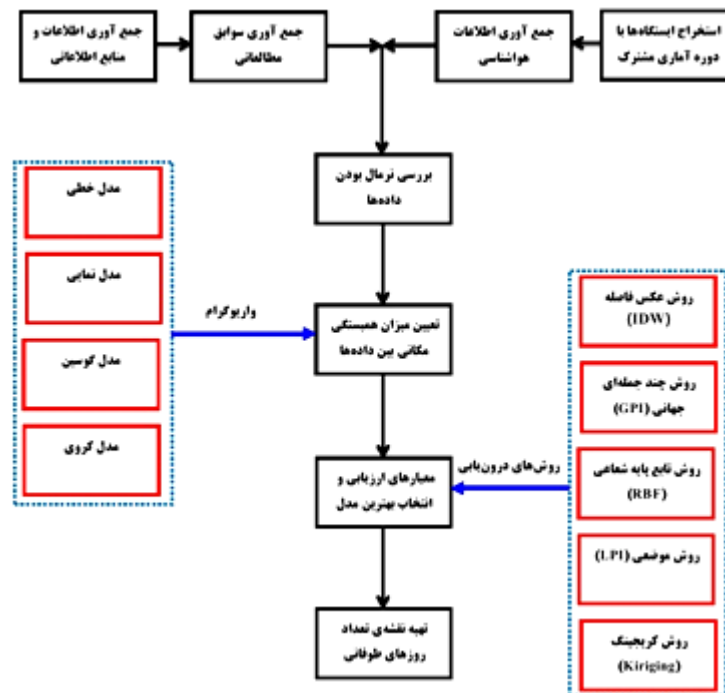
شکل ۱- ایستگاه‌های مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه

Figure 1. Stations used in the study area

جدول ۱- خصوصیات آماری داده‌های تعداد روزهای طوفانی در کشور

Table 1. Statistical Properties of Stormy Day in the Country

پارامتر	تعداد	میانگین	متوسط خطای استاندارد	انحراف از معیار	واریانس	چولگی	حداقل	حداکثر
مقدار	۱۵۰	۲۸/۹۷	۲/۵۹	۳۱/۷۹	۱۰۱۰/۹	۱/۹۰	۰	۱۶۷/۴۰



شکل ۲- مراحل انجام تحقیق

Figure 2. Research steps

طوفان گرد و غبار

پدیده فرسایش بادی در قالب دو فرآیند نمود دارد: فرآیند طوفان‌های گرد و غباری^۱ و طوفان شن^۲. در پدیده فرسایش بادی، ریزگردهای با قطر کمتر از ۲/۵ میکرومتر معمولاً به صورت عمودی و یا افقی در هوا منتشر شده و ریزگردهای درشت‌تر یا همان ماسه با حالت خزشی پیش می‌روند تا این‌که انرژی باد کاهش پیدا کرده و ذرات ریز بر روی زمین رسوب نموده و ریزگردهای درشت‌تر (ماسه) تپه‌های ماسه‌ای و یا به اصطلاح ریگزارها را به وجود می‌آورند. مفهوم گرد و خاک معادل ریزگردهای حاصل از پدیده فرسایش بادی است که در مناطق خشک به وجود می‌آیند و قطر آنها کوچکتر از ۱۷۷ میکرون می‌باشد. غبار^۳ میتواند در اثر آتش‌سوزی و یا فعالیت‌های انسانی به وجود بیاید. ریزگردها می‌توانند مسافت‌های بسیار طولانی را درنوردند و حتی از مرز قاره‌ها بگذرند. برخی تعاریف مرتبط با گرد و غبار به شرح زیر می‌باشد:

طوفان خاک: شرایط هوای غیرمعمول که همراه با بادهای شدید و هوای غبارآلود در ناحیه گسترده‌ای در سرزمین‌های خشک که ریزگردها به وفور یافت می‌شود، اتفاق می‌افتد و کیلومترها طول و ارتفاع دارد. وقوع طوفان خاک ارتباط نزدیکی با شرایط اقلیمی محلی مثل بارندگی، دما و همچنین ویژگی‌های سطح زمین مثل پوشش گیاهی، پوشش برف روی سطح زمین و بافت خاک دارد.

طوفان ماسه‌ای: باد شدیدی است که ذرات ماسه را در هوا حمل می‌کند و قطر ریزگردها در آن بین ۰/۰۸ تا ۱ میلی‌متر است و در ارتفاع کمتر از ۳ متری از سطح زمین به وجود می‌آید و حداکثر به ارتفاع ۴/۵ متر از سطح زمین می‌رسد.

طوفان گرد و خاک: بادی که مخصوص نواحی خشک و نیمه‌خشک بوده و بر اثر وزش آن، ابر متراکمی از گرد و غبار در فضا ایجاد شود. تراکم این ابر غبارآلود آنقدر زیاد است که جلوی دید را کاملاً گرفته و ارتفاع آن گاه تا ۳۰۰۰ متر می‌رسد. در چنین حالتی در هر کیلومتر مکعب هوا، حدود ۴۰۰۰ تن غبار وجود دارد.

رتبه‌بندی کدهای هواشناسی مربوط به پدیده‌های گرد و خاکی در جدول ۲ آورده شده است. کد ۰۰ به کم‌اهمیت‌ترین رخداد و کد ۹۹ به پراهمیت‌ترین رخداد هواشناسی از لحاظ بحران آب و هوایی اختصاص داده می‌شود. گاهی در طول یک دوره گزارش بیش از یک رخداد هواشناسی اتفاق می‌افتد که در این شرایط کارشناسان رخداد مهم‌تر که در رتبه‌بندی صورت گرفته توسط WMO بیشترین کد را به خود اختصاص داده است، گزارش می‌کنند (۱۶).

-
- 1- Dust Storm
 - 2- Sand Storm
 - 3- Haze

جدول ۲- کدهای هواشناسی تعریف شده توسط سازمان جهانی هواشناسی WMO برای بیان پدیده گرد و غبار (۱۶)

Table 2. Meteorological codes defined by the WMO World Meteorological Organization for the expression of dust phenomena (Wali and Roostae, 2017)

توضیحات	نام علمی	کد هواشناسی
گرد و غبار معلق در هوا که مسافت زیادی را پوشانده است.	گرد و غبار معلق	۰۶
گرد و غبار یا ماسه‌ای که در محل ایستگاه بلند شده است	گرد و خاک	۰۷
گردبادهای تکامل یافته در خود ایستگاه یا اطراف آن	گردباد	۰۸
گرد و خاک در ساعت دیده‌بانی در اطراف ایستگاه وجود یا دارد در طی ساعت گذشته در خود ایستگاه وجود داشته است	طوفان	۰۹
طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است با دید افقی ۱۰۰۰-۲۰۰ متر	طوفان گرد و غبار یا ماسه ملایم	۳۰
طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است با دید افقی ۱۰۰۰-۲۰۰ متر	طوفان گرد و غبار یا ماسه ملایم	۳۱
طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است با دید افقی ۱۰۰۰-۲۰۰ متر	طوفان گرد و غبار یا ماسه ملایم	۳۲
طی ساعت گذشته از شدت طوفان کاسته شده است با دید افقی	طوفان گرد و غبار یا ماسه شدید	۳۳
طی ساعت گذشته شدت طوفان تغییری نکرده است با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر	طوفان گرد و غبار یا ماسه شدید	۳۴
طی ساعت گذشته بر شدت طوفان افزوده شده است با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر	طوفان گرد و غبار یا ماسه شدید	۳۵
طوفانهایی که در محل ایستگاه یا اطراف آن بلند شده‌اند با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر	طوفان گرد و غبار یا ماسه خیلی شدید با تندر	۹۸

درون‌یابی زمین‌آماري و ریاضی

آنالیز زمین‌آماري به بررسی پدیده‌های متغیر در زمان و مکان و تجزیه و تحلیل نقاط نمونه‌برداری شده با موقعیت‌های متفاوت به منظور تولید یک سطح پیوسته می‌پردازد (۱۹). آنالیزهای زمین‌آماري به دنبال راهی برای توصیف پیوستگی مکانی و همچنین جمع‌آوری ابزارهای آماری و قطعی و مدل نمودن این دسته از تغییرات هستند. فرض اساسی این روش تحلیل مکانی - آماری این است که مشاهدات نزدیک به هم نسبت به مشاهدات دور از هم همبستگی آماری بیشتری دارند. لازم به ذکر است، امکان دستیابی به نتایج صحیح و کارا از طریق این نوع آنالیزها، زمانی رخ می‌دهد که داده‌ها دارای توزیع نرمال و

زمین‌آمار براساس ساده‌ترین تعریف، در واقع یک روش درونیابی است که معیار مورد استفاده در آن برای درونیابی یا تخمین، کمینه شدن مقدار واریانس تخمین است (۱۶). درون-یابی در واقع برآورد میزان متغیر پیوسته مجهول براساس نمونه‌های معلوم در منطقه است (۱۷). تخمین زمین‌آماري یکی از دقیق‌ترین روش‌های تخمین است، چرا که عوامل زیادی نظیر فاصله نقاط، ناهمسانگردی، تغییرپذیری فضایی را مورد بررسی قرار می‌دهد. با این وجود، این روش حجم محاسبات بسیار بالایی دارد که باعث می‌شود در عملیات‌های بزرگ، زمان محاسبات افزایش یابد (۱۸).

$$\delta(h) = c_0 + c_1 \left[1 - \exp\left(-\frac{h}{a}\right)^2 \right] \quad (3)$$

مدل گوسین: معادله مدل گوسین از رابطه (۴) به دست می‌آید.

$$\gamma_{(h)} = c_0 + c(1 - e^{-\frac{n}{a}}) \quad (5)$$

مدل کروی: معادله مدل کروی از رابطه (۶) به دست می‌آید.

$$\text{for } 0 < h \leq a\gamma_{(h)} = c_0 + c \left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) \quad (6)$$

$$\text{for } h > a\gamma_{(h)} = c_0 + c$$

در این تحقیق، به منظور بررسی تعداد روزهای طوفانی از روش‌های درون‌یابی ریاضی شامل روش معکوس فاصله وزنی (IDW)، درون‌یاب چند جمله‌ای جهانی (GPI)، تابع شعاعی (RBF)، درون‌یاب موضعی (LPI) و روش زمین‌آماري شامل کریجینگ استفاده شد.

روش عکس فاصله (IDW)

روش معکوس فاصله یکی از روش‌هایی است که در مطالعات جغرافیایی به صورت متداول از آن استفاده می‌شود. فرض اصلی این روش بر آن است که با افزایش فاصله میزان تأثیر پارامترها در برآورد متغیر برای هر نقطه از سطح منطقه مورد مطالعه کاهش می‌یابد. در این روش به نقاط نزدیک به محل تخمین، وزن بیشتر و به نقاط دورتر، وزن کمتر اختصاص می‌یابد (۱۷). بیان آماری چنین رویکرد وزن‌دهی، عبارت از ریلی این روش به صورت رابطه (۷) می‌باشد:

$$Z_o = \frac{\sum_{i=1}^N z_i d_i^{-n}}{\sum_{i=1}^N d_i^{-n}} \quad (7)$$

که در آن:

d_i : عبارت از فاصله بین نقطه تخمین تا هر کدام از نمونه‌های

واقع در همسایگی آن.

Z_o : مقدار تخمین متغیر Z

Z_i : مقدار نمونه در نقطه i

d_i : فاصله نقطه مورد تخمین تا نقطه i

n : توان فاصله که تنظیم کننده وزن فاصله می‌باشد و بین ۰ تا

n تغییر می‌کند.

تا حد امکان ثابت بوده و میانگین و واریانس آنها در فضا متغیر نباشد (۲۰).

واریوگرام

واریوگرام یکی از مهم‌ترین مفاهیم زمین‌آمار است که اغلب تعاریف و مفاهیم دیگر زمین‌آماري بر اساس آن تبیین می‌گردند. برای تعیین میزان همبستگی مکانی یک متغیر در فواصل نمونه‌برداری شده و استخراج پارامترهای لازم در مراحل درون‌یابی از واریوگرام استفاده می‌شود (۱۱). واریوگرام اولین قدم برای مدل‌سازی ساختار مکانی به منظور استفاده در کریجینگ است. هدف اصلی از برقراری تابع نیم‌تغییرنما^۱ آن است که بتوان ساختار تغییرپذیری متغیر را نسبت به فاصله مکانی شناسایی نمود. واریوگرام با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (۲۱).

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_{i+h})]^2 \quad (1)$$

که در آن:

$\gamma(h)$: مقدار نیم‌تغییرنما برای جفت نقاطی که به فاصله h از هم قرار دارند. n : تعداد زوج نقاطی است که به فاصله h از یکدیگر قرار دارند. $z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر در نقطه x . $z(x_{i+h})$: مقدار مشاهده شده متغیری که به فاصله h از x قرار دارد.

در منحنی واریوگرام با افزایش فاصله (h) مقدار $\gamma(h)$ افزایش می‌یابد و این وضعیت تا فاصله معینی ادامه دارد که از آن پس مقدار آن ثابت می‌شود. در این تحقیق از انواع مدل‌های خطی، نمایی، گوسین و کروی استفاده می‌شود و در زیر به شرح آنها پرداخته شده است (۲۱).

مدل خطی: معادله مدل خطی از رابطه (۲) به دست می‌آید.

$$\text{for } 0 < h \leq a\gamma_{(h)} = c_0 + c \left\{ 1 - \frac{2}{N} \arccos\left(\frac{h}{a}\right) + \frac{ah}{\Pi a} \sqrt{1 - \frac{h^2}{a^2}} \right\} \quad (2)$$

$$\text{for } h > a\gamma_{(h)} = c_0 + c$$

مدل نمایی: معادله مدل نمایی از رابطه (۳) به دست می‌آید.

روش چند جمله‌ای جهانی (GPI)

روش چند جمله‌ای، یک مدل رگرسیونی چند متغیره بر اساس تمامی داده‌ها ایجاد می‌کند. این روش مدلی را بر نقاط نمونه- برداری برازش می‌کند که می‌تواند یک سطح چند جمله‌ای با توان ۱، ۲ و ۴ باشد. بهترین کاربرد این روش در سطوحی می‌باشد که در آن متغیر دارای تغییرات ملایم و تدریجی است (۱۹).

روش تابع پایه شعاعی (RBF)

روش تابع پایه شعاعی از جمله روش‌های درون‌یابی می‌باشد که در آن دامنه مقادیر تخمینی از حد مقادیر مشاهده شده فراتر می‌رود، یا تخمین از دامنه مشاهده خارج می‌شود و به عنوان یکی از روش‌های شبکه عصبی مصنوعی^۱ است. در این روش مقادیر برآورد شده به دامنه حداقل و حداکثر مقادیر مشاهده شده محدود نمی‌شود و ممکن است مقادیر تخمینی بیشتر از بیشینه مقادیر مشاهده شده و یا کمتر از کمینه مقادیر مشاهده شده نیز وجود داشته باشند (۱۴).

روش موضعی (LPI)

این روش یک دامنه کوتاه از تغییرات در داده‌های ورودی را در نظر می‌گیرد و با فواصل همسایگی در پنجره مشترک حساس است، بدین گونه که پنجره حرکت کرده و مقادیر سطحی در مرکز هر پنجره در هر نقطه به وسیله برازش یک چند ضلعی تخمین زده می‌شود. این روش انعطاف‌پذیری بالاتری نسبت به روش تخمین عام دارد. این دو روش هیچ فرضی برای داده‌ها نیاز ندارند (۱۴).

روش کریجینگ (Kriging)

یکی از روش‌های پیشرفته زمین آمار است که بر اساس تحلیل نیم تغییرنا استوار می‌باشد. نیم تغییرنا یکی از روش‌های محاسبه تغییرات مکانی است که هدف اصلی از برقرار کردن تابع آن، شناسایی ساختار تغییرپذیری متغیر نسبت به فاصله مکانی می‌باشد. کلید اساسی در کریجینگ نیم تغییرنا است

که در واقع بررسی همبستگی مکانی بین دو نقطه است. اما فرض بر آن است که مقادیر یک متغیر در فواصل نزدیک بیشترین شباهت را داشته و با افزایش فاصله از میزان همبستگی مقادیر آن متغیر کاسته می‌شود (۱۴). از مهمترین ویژگی‌های کریجینگ آن است که به ازای هر تخمینی خطای مرتبط با آن را نیز محاسبه می‌کند. در روش کلاسیک (مانند رگرسیون و معکوس وزنی فاصله) معمولاً این چنین نیست (۲۲). معادله کلی کریجینگ برای برآورد مقادیر یک متغیر به صورت رابطه (۸) بیان می‌شود.

$$Z^* = \sum_{i=1}^n w_i z(x_i) \quad (8)$$

که در آن:

Z^* : میزان داده برآورد شده. w_i مجموعه‌ای از وزن‌هاست، که به نحوی انتخاب می‌شوند تا Z_{xi}^* برآورد ناریب با حداقل خطا Z^* باشد (۱۴).

معیارهای ارزیابی و انتخاب بهترین مدل

بعد از انتخاب مدل واریوگرام و درونیایی انجام یافته توسط روش‌های مورد بررسی در این تحقیق، در ادامه صحت این درونیایی‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. روش‌های عمده‌ای که در بررسی صحت درونیایی استفاده می‌شود شامل صحت‌یابی (validation) و صحت‌یابی سرتاسری است (۱۱) که در روش اول یک منطقه تعلیمی (Training) و یک منطقه آزمایش انتخاب می‌شود. در ابتدا برای منطقه تعلیمی رابطه درونیایی به دست می‌آید، سپس برای منطقه آزمایش به کار می‌رود و میزان دقت برآورد محاسبه می‌گردد (۱۹). برخلاف آن در روش صحت‌یابی سرتاسری که در این تحقیق استفاده شده است بدین گونه عمل می‌شود که تمام داده‌ها در ایستگاه‌های شاخص حذف گردیده و سپس بر اساس مدل درونیایی تمامی داده‌های ایستگاه‌های شاخص برآورد می‌گردند که تفاوت بین مقدار واقعی و مقدار برآورد شده در ایستگاه‌های شاخص را خطای برآورد گویند. در این تحقیق از پارامترهای میزان مربع

که در روش‌های مختلف پهنه‌بندی دیده می‌شود، نوار شمالی کشور یعنی حاشیه‌ی دریای خزر، در کلاس صفر طوفان (کمتر از ۲ روز در سال) قرار می‌گیرد. تعداد روزهای طوفانی با حرکت از شمال به سمت جنوب، به تدریج افزایش یافته، به طوری که بیشترین مقدار در بخش‌های جنوب غربی و جنوب شرقی کشور مشاهده می‌گردد. جدول ۵، تعداد روز طوفانی در هر کلاس پهنه‌بندی را نشان می‌دهد.

همان‌طوری که در شکل ۵ مشاهده می‌گردد، هر یک از نقشه‌های تولید شده تفاوت قابل توجهی با دیگر نقشه‌ها دارد. البته پهنه‌بندی روش‌های کریجینگ شباهت زیادی با یکدیگر دارند، به جز روش کریجینگ شاخص که مقداری از ایران مرکزی را در کلاس‌های بسیار کم گرد و غبار طبقه‌بندی می‌کند که در واقع این روش با داشتن بالاترین همبستگی بین داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی، بیشترین دقت را دارد. در نتیجه بقیه روش‌های کریجینگ در این مطالعه طبقه‌بندی قابل قبولی را ارائه نمی‌دهند. البته روش‌های کریجینگ منفصل و ساده شباهت زیادی به طبقه‌بندی روش شاخص دارند.

بالا بودن تعداد روزهای طوفانی در جنوب غربی کشور به علت ورود گرد و غبار از عراق و دیگر کشورهای عربی به استان‌های خوزستان و ایلام است. این میزان در شهر اهواز ۷۰ روز طوفانی و در امیدیه و دزفول به ترتیب ۱۳۶ و ۱۰۹ روز طوفانی در سال (در حدود یک سوم سال) است. شهر بوشهر نیز در جنوب کشور با ۱۰۹ روز طوفانی وضعیت مناسبی ندارد.

بیشترین تعداد روز طوفانی مربوط به شهر زابل در جنوب شرقی کشور (۱۶۷ روز در سال یا به عبارتی نیمی از سال) است. بالا بودن این شاخص در شهر زابل به دلیل وجود بادهای ۱۲۰ روزه سیستان می‌باشد که عمدتاً از اواخر تابستان تا اوایل پاییز، مشکلات فراوانی را برای مردم این منطقه به وجود می‌آورد. شهر زاهدان با حدود ۲۰۰ کیلومتر فاصله به سمت جنوب، ۶۷ روز در سال دارای وضعیت طوفانی است. منطقه ایران مرکزی در وضعیت متعادلی قرار دارد و عمدتاً در کلاس ۵ و ۶ قرار می‌گیرد که معادل ۲۸-۱۸ و ۴۴-۲۸ روز طوفانی می‌باشد.

میانگین ریشه خطای باقی مانده^۱ و R^2 برای انتخاب بهترین روش درون‌یابی مورد استفاده قرار گرفت (رابطه ۹) (۱۱).

$$RMS = \frac{\sum (X - X_i)^2}{n} \quad (9)$$

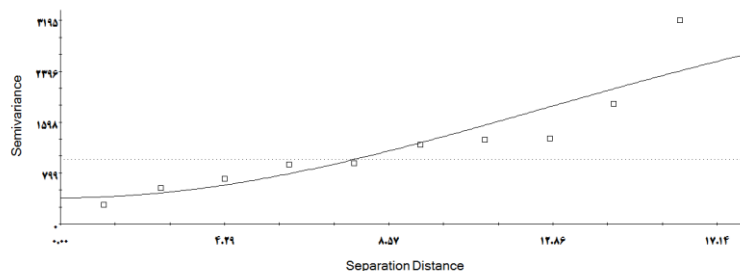
X : مقدار مشاهده شده، X_i : مقدار برآورد شده و n : تعداد داده‌ها است.

نتایج و بحث

در این تحقیق برای نشان دادن همبستگی مکانی بین داده تعداد روزهای طوفانی از ترسیم واریوگرام استفاده شد، نتایج حاصل از ترسیم واریوگرام‌های مختلف در جدول ۳ مشاهده می‌گردد. در ادامه واریوگرامی برای برازش بر داده‌ها استفاده شد که همبستگی مکانی بین داده‌ها را به صورت مطلوب‌تری از سایر واریوگرام‌ها نشان دهد. برای این امر از نسبت میان اثر قطعه‌ای و سقف واریوگرام استفاده گردید (C_0+C). اگر نسبت اثر قطعه‌ای بر سقف واریوگرام کمتر از ۰/۲۵ باشد، بین داده‌ها همبستگی مکانی قوی وجود دارد. اگر این نسبت بین ۰/۲۵ تا ۰/۷۵ باشد میزان همبستگی مکانی متوسط بوده و اگر بیش از ۰/۷۵ باشد همبستگی مکانی بین داده‌ها کم بوده یا همبستگی وجود ندارد (۲۳). به همین دلیل از این نسبت برای انتخاب بهترین واریوگرام استفاده گردید. با توجه به پارامترهای به دست آمده برای واریوگرام‌های برازش شده واریوگرام گوسین با میزان همبستگی ۰/۹۶ بهترین همبستگی بین داده‌ها را مدل کرده و برای درون‌یابی استفاده گردید (شکل ۳).

با توجه به جدول ۴ و شکل ۴، روش زمین‌آماری کریجینگ شاخص با همبستگی داده‌های پیش‌بینی شده به میزان ۰/۷۴ بالاترین دقت را نسبت به سایر روش‌های زمین‌آماری و ریاضی دارد. با توجه به تعداد بالای ایستگاه‌های موجود در منطقه و نحوه توزیع مناسب آنها، در اکثر روش‌ها پهنه‌بندی کاملی از منطقه تولید می‌شود.

شکل ۵، پهنه‌بندی طوفان در کشور را با استفاده از روش‌های مختلف زمین‌آماری و ریاضی نشان می‌دهد. برای هر روش نیز سه وضعیت توان ۱، ۲ و ۳ در نظر گرفته شده است. همان‌گونه



Gaussian model (Co = 410.0000; Co + C = 3930.0000; Ao = 17.70; r2 = 0.832; RSS = 1.035E+06)

شکل ۳- واریوگرام گوسین، به عنوان بهترین واریوگرام برازش داده شده به داده‌های تعداد روزهای طوفانی در کشور
Figure 3. Gaussian Virogram, as the best variogram fitted to the number of stormy days in the country

جدول ۳- پارامترهای تأثیر قطعه‌ای و سقف واریوگرام به دست آمده برای واریوگرام‌های برازش شده

Table 3. Segmental and Ceiling Effect Parameters of the Variogram Obtained for the Fitted Variograms

R ²	عامل فاصله Ao (km)	نسبت C /Co+C	اثر آستانه Co+C (mm ²)	اثر قطعه Co (mm ²)	نوع مدل
۰/۹۶	۷	۰/۷۴	۱۳۸۲	۳۵۳	گوسین
۰/۹۸	۱۴	۰/۸۵	۱۳۸۳	۱۹۵	کروی
۰/۹۵	۱۲	۰/۷۹	۱۴۵۳	۳۰۳	خطی
۰/۹۸	۱۲	۰/۹۲	۲۰۳۱	۱۵۸	نمایی

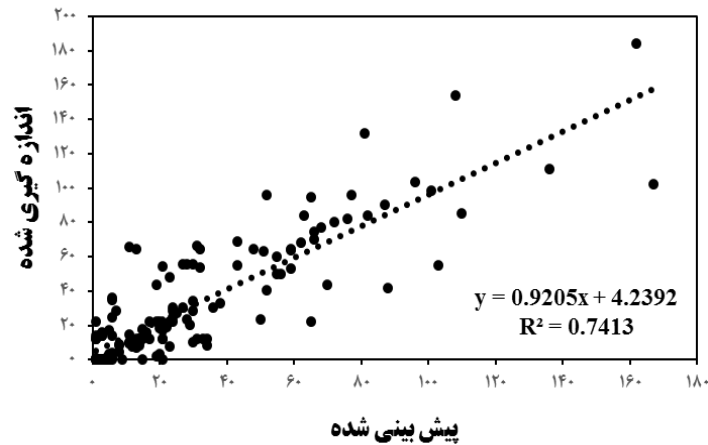
جدول ۴- میزان همبستگی داده‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده بر اساس روش‌های مختلف مورد استفاده در این تحقیق

Table 4. Correlation of observed and predicted data based on different methods used in this study

همبستگی (%)	RMS	روش میان‌یابی	همبستگی (%)	RMS	روش میان‌یابی
۵۲	۰/۴۲	معکوس فاصله وزنی ^۳	۵۹	۰/۳۹	میان‌یابی چند جمله‌ای ناحیه‌ای ^۱
۵۸	۰/۳۹	تابع پایه شعاعی ^۲	۵۸	۰/۳۹	میان‌یابی چند جمله‌ای ناحیه‌ای ^۲
۷۴	۰/۳۰	کریجینگ شاخص ^۳	۵۶	۰/۴۰	میان‌یابی چند جمله‌ای ناحیه‌ای ^۳
۵۹	۰/۳۸	کریجینگ معمولی ^۴	۳۴	۰/۴۹	میان‌یابی چند جمله‌ای جهانی ^۱
۵۶	۰/۴۰	کریجینگ ساده ^۶	۵۰	۰/۴۲	میان‌یابی چند جمله‌ای جهانی ^۲
۵۹	۰/۳۸	کریجینگ جهانی ^۷	۴۹	۰/۴۳	میان‌یابی چند جمله‌ای جهانی ^۳
۵۶	۰/۴۰	کریجینگ منفصل ^۸	۵۵	۰/۴۱	معکوس فاصله وزنی ^۱
			۵۴	۰/۴۱	معکوس فاصله وزنی ^۲

(توان‌های ۱، ۲ و ۳ در هر روش، بیانگر توان آن روش در نرم‌افزار Arc GIS 9.3 می‌باشد).

- 1- Local Polynomial Interpolation
- 2- Global Polynomial Interpolation
- 3- Inverse Distance Weighting
- 4- Radial Basis Function
- 5- Kriging Indicator
- 6- Kriging Ordinary
- 7- Kriging Simple
- 8- Kriging Universal
- 9- Kriging Disjunctive

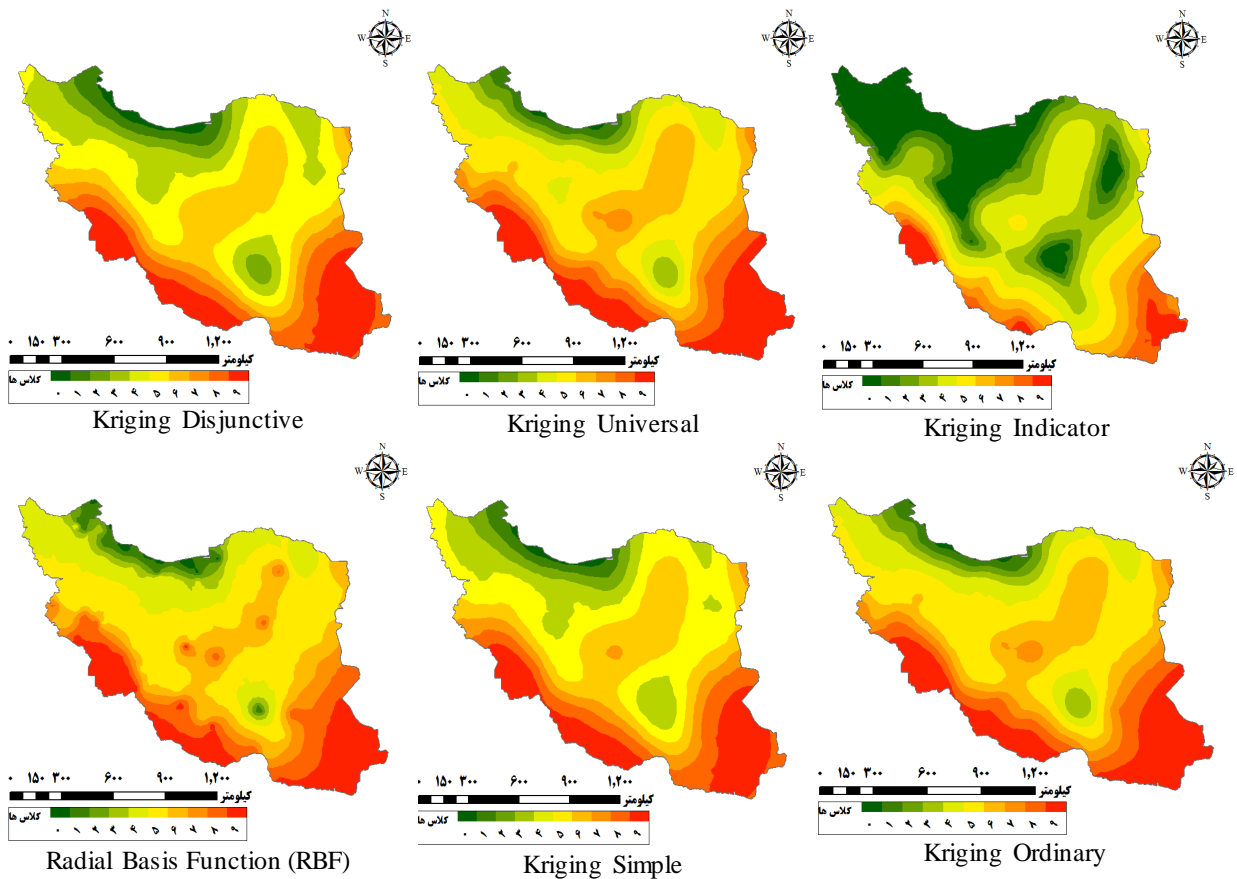


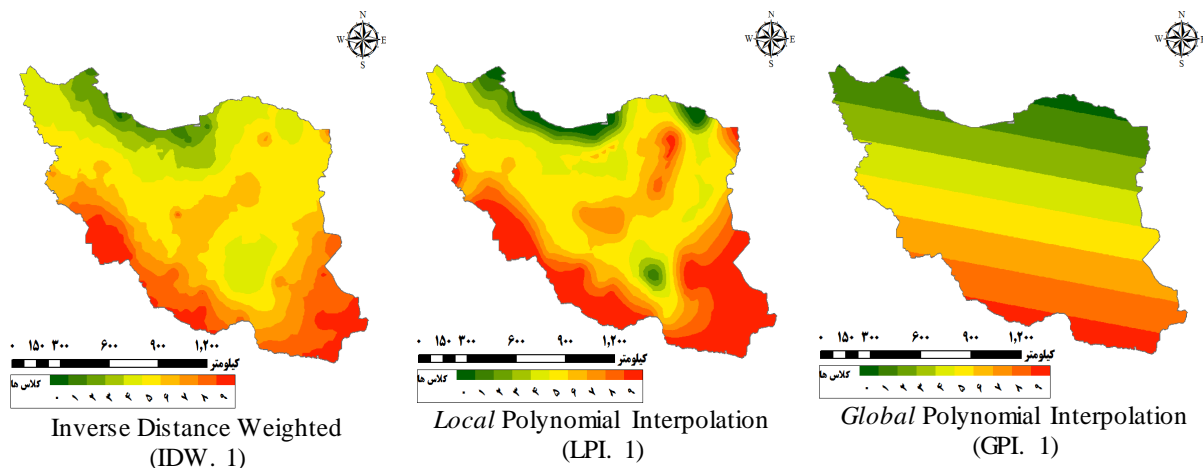
شکل ۴- نمودار مقادیر برآوردی و مشاهداتی در روش کریجینگ
Figure 4. Graph of estimated and observed values in kriging method

جدول ۵- کلاس‌های تعداد روزهای طوفانی در کشور

Table 5. Classes of Number of Stormy Days in the Country

کلاس	۰	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
تعداد روز طوفانی	۰ - ۲	۲ - ۴	۴ - ۷	۷ - ۱۱	۱۱ - ۱۸	۱۸ - ۲۸	۲۸ - ۴۴	۴۴ - ۶۹	۶۹ - ۱۰۷	۱۰۷ - ۱۶۷





شکل ۵- نقشه پهنه‌بندی طوفان در ایران بر اساس روش‌های مختلف زمین‌آماري و ریاضی

Figure 5. Storm zoning map of Iran based on different geostatistical and mathematical methods

نتیجه‌گیری

که وایروگرام گوسین، بهترین دقت را دارد و تغییرات تعداد روزهای طوفانی بیشتر از این مدل تبعیت می‌کند. با به کار گیری نسبت اثر قطعه‌ای بر سقف وایروگرام مشخص شد، وایروگرام گوسین با میزان همبستگی $0/96$ بهترین همبستگی بین داده‌ها را مدل کرده و برای درونیایی استفاده گردید. جهت انتخاب بهترین مدل زمین‌آماري از پارامترهای R^2 و RMSE استفاده شد. نتایج نشان داد که پیش‌بینی روش کریجینگ شاخص (Kriging Indicator) دارای بیشترین میزان همبستگی با داده‌های مشاهداتی است ($R^2=0.74$).

اقلیم ایران به مقدار زیادی تحت تاثیر رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس قرار دارد. رشته کوه البرز در نوار شمالی ایران، مقدار زیادی از بارش نوار شمالی را به سمت خود جذب کرده و شیب رو به شمال آن بارش زیادی را جذب می‌کند. اما مانع عبور جریان‌های شمالی به قسمت‌های میانی می‌گردد. در نتیجه در قسمت‌های مرکزی به تدریج بر میزان طوفان‌های گرد و غبار افزوده می‌گردد. شرق کشور از گذشته‌های دور از آب ورودی از کشور افغانستان حقا به داشته و از آن بهره می‌برده است، اما با ساخت سد در مسیر این آب، مقدار زیادی از دریاچه هامون خشک گردیده و رسوبات بستر دریاچه‌ها که عموماً از نظر دانه‌بندی، آستانه فرسایش بسیار پایینی دارند، به راحتی برداشت شده و مشکلات فراوانی را برای مردم منطقه به وجود می‌آورد. میزان گرد و غبار در غرب و جنوب غرب کشور نیز در کلاس-

مدیریت هوشمندانه مخاطرات طبیعی غیر منتظره، ترکیبی از علم و هنر و عمل است و برنامه‌ریزی ابزاری است که ما را از وضعیت موجود به وضعیت مطلوب می‌رساند. اولین قدم برای برنامه‌ریزی صحیح تبیین و شناخت وضعیت موجود است که نیاز به واقع‌بینی دارد تا خوشبینی. در حال حاضر برخی پدیده‌هایی که مخاطرات طبیعی نامیده می‌شوند، نتیجه عملکرد نادرست و ارتباط نامتعادل انسان با طبیعت است. وقوع طوفان گرد و خاک متأثر از عوامل طبیعی و انسان ساخت است که بخش انسانی آن عمدتاً نوعی واکنش به تغییر پوشش و کاربری اراضی است. استفاده از فن‌آوری‌های نوین مانند سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) روز به روز در حال افزایش است. استفاده از GIS در پهنه‌بندی مناطق وسیع، سرعت و دقت کار را بسیار بالا برده و دید خوبی از وضعیت شاخص مورد بررسی به ما می‌دهد. با پهنه‌بندی طوفان در سطح ملی، می‌توان وضعیت تعداد روزهای طوفانی را در کشور به خوبی پایش نمود و این امر به ما اجازه می‌دهد در مدیریت این پدیده ناگوار زیست‌محیطی بهتر عمل نماییم.

در این پژوهش، ۶ مدل درونیایی بر تعداد روزهای طوفانی کشور در دوره آماری ۲۵ ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۰) میلادی برازش داده شده و نتایج مورد ارزیابی قرار گرفت. برای نشان دادن همبستگی مکانی بین داده تعداد روزهای طوفانی از ترسیم وایروگرام استفاده گردید. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد

3. Squires, V. R., 2002. Mitigating and preventing sand-dust storms: problems and prospects. In Yang Youlin, Victor Squires & Lu Qi (Eds.), *Global Alarm: Dust and Sandstorms from the World's Drylands*, (pp. 15-73). New York: United Nations.
4. Zanganeh, M., 2014. Meteorology of Dust Storms in Iran, *Applied Meteorology Quarterly*, No. 1, pp 1-12. (In Persian)
5. Lamb, P. J., Leslie, L. M., Timmer, R., Speer, M. S., 2009. Multidecadal variability of Eastern Australian dust and Northern New Zealand sunshine: associations with Pacific climate system. *Journal of Geophysical Research*, [Atmos.] Vol 114, D09106. <http://dx.doi.org/10.1029/2008JD011184>.
6. Sajjadi, A., 2013. Environmental Impacts of Pollutions (Air Pollution, Sound Pollution, Dust), First National Conference on Environmental Engineering and Sustainable Development. (In Persian)
7. Farajzadeh Asl, M, and Alizadeh, Kh., 2011. Temporal and Spatial Analysis of Dust Storms in Iran, *Space Planning and Preparation*, No. 15, pp. 65-84. (In Persian)
8. Hosseini, E., Gallichand, J. and Caron, J., 1993. Comparison of several interpolators for smoothing hydraulic conductivity data in southwest Iran. *ASAE*, Vol 36: pp 1687-1693.
9. Corwin, D. L., Sorensen, M. and Rhoades, J. D., 1992. Using GIS to locate salinity on irrigated soils. Proc. 8th Conf. Computing in Civil Engineering in Conjunction with A/E/C system '92, TCCP/ASCE-Dallas, TX, June 7: pp 468-485.

های خیلی زیاد قرار می‌گیرد. این امر ناشی از گرد و غبار ورودی به کشور از کشورهای عربی می‌باشد که صدمات زیادی به سلامت مردم و جامعه گیاهی این مناطق وارد می‌سازد. لذا بایستی به فکر چاره‌ای جهت کاهش ورود گرد و غبار از مناطق برداشت در کشورهای عربی بود.

هر یک از نقشه‌های تولید شده در روش‌های مورد استفاده در این تحقیق با دیگر نقشه‌ها تفاوت‌های قابل توجهی دارد. در نتیجه در هنگام استفاده از روش‌های پهنه‌بندی نمی‌توان به یک یا چند روش اکتفا نمود. لذا بایستی به نتیجه مطالعات تعیین بهترین روش زمین‌آماری در پهنه‌بندی هر منطقه مراجعه نمود و در صورت موجود نبودن چنین داده‌ها و مطالعاتی، بایستی در هر تحقیق بهترین روش تعیین گردد که البته روش دوم تا حدودی وقت‌گیر است. از جمله موارد دیگر جهت بهبود درون‌یابی‌های انجام یافته، مقایسه تعداد بیشتری از مدل‌های واریوگرام‌های تجربی و انتخاب واریوگرامی که بهترین همبستگی را نشان دهد، می‌باشد (در این تحقیق از چهار مدل واریوگرام مختلف استفاده شده است). همچنین افزایش شمار ایستگاه‌های هواشناسی در سطح کشور، به گونه‌ای که بتواند تغییرات مکانی را کامل‌تر پوشش دهد، بالا بردن تراکم ایستگاه‌های هواشناسی، بویژه در مناطق با ارتفاع بالا، می‌تواند مقدار خطای پیش‌بینی را کاهش داده و نتایج دقیق‌تری به دست آورد.

Reference

1. Di, M., Lu, X., Sun, L., Wang, P., 2008. A Dust-Storm Process Dynamic Monitoring with Multi-Temporal MODIS Data. 21st, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol 37: pp 965-970.
2. Mattsson, J. O., Nihlén, T., 1996. The transport of Saharan dust to southern Europe: a scenario. *Journal of Arid Environments*, Vol 32: pp 111-119.

- Khuzestan Dust Peak Days, First International Congress on Dust Phenomena and its Impacts, pp 709-718. (In Persian)
16. Vali, A. and Roostae, F., 2017. A Survey of Wind Erosion Trends in Central Iran Using the Dust Storm Index in the Recent Fifty Years, *Journal of Water and Soil Science (Agricultural Science and Technology)*. pp 200-189 (In Persian).
 17. Hohn, M. E., 1998. *Geostatistics and petroleum geology*, Kluwer Academic Publisher, Netherlands.
 18. Lu, G. Y., Wong, D. W., 2008. An Adaptive Inverse-Distance Weighting Spatial Interpolation Technique. *Computers & Geosciences*, Vol 34: pp 1044-1055.
 19. Hirsche, K., Boerner, S., Kalkomey, C., Gastaldi, C., 1998. Avoiding pitfalls in geostatistical reservoir characterization: A survival guide: *The leading Edge*, Vol 17, pp 493-504.
 20. Johnston, K., Ver Hoef, J. M., Krivoruchko, K., Lucas, N., 2001. *Using Geostatistical Analyst*, Environmental Systems Research Institute, Inc (ESRI).
 21. Bohling, G., 2005. *Introduction to GeoStatistics and Variogram Analysis*, Assistant Scientist Kansas Geological Survey Ferro, V., Giordano, G. and Lovino, M. 1991. Isoerosivity and erosion risk map for Sicily. *Hydrology Sciences Journal*, Vol 36: pp 549-564.
 22. Hassani Pak, A. S., 2007. *Geostatistics*. Tehran University Press.
 23. Webster, R., Oliver, M. A., 2000. *Geostatistics for environmental scientists*. Wiley press, 271 pp.
 10. Karimiznar, M., Fakhirah, A., Feyznia, S., Rashki, A, and Mir-Soleiman, J., 2009. Evaluation of Some Geostatistical Methods for Estimating Wind Erosion Threshold Speed in Sistan Plain, Rangeland and Watershed Management (Iranian Natural Resources), No. 62. Pp 417-405. (In Persian)
 11. Shabani, A., Matinfar, H. R., Arekhi, S. and Rahimi, S., 2011. Modeling of Rainfall Erosion Factor Using Geostatistical Method (Case Study: Ilam Dam Watershed), *Remote Sensing and Geographic Information System in Natural Resources*, No. 2, pp. 66-55. (In Persian)
 12. Matinfar, H. R., Shabani, A. and Azizi Ghalati, S., 2010. Investigation of Spatial Changes of Some Soil Nutrients Using Geostatistical Methods (Case Study of Silakhor Plain), *Second National Conference on Agriculture and Sustainable Development (Opportunities and Challenges)*. (In Persian)
 13. Mahdian, M., 2002. *Determination of Optimization Interpolation Methods to Estimate Rainfall and Temperature in Arid, Semiarid and Humid Regions (IRAN)*. Project Report Soil Conservation and Watershed Management Research Institute.
 14. Mirmousavi, Sh., Mazidi, A., Khosravi Y., 2010. The determination of optimum geostatistics method for estimating precipitation distribution using GIS (case study of Esfahan province), *Geographic Space*, Vol 10: pp 105-120.(In Persian).
 15. Gohardost, A., Azimi, F. and Zohourian, M., 2011. *Synoptic Investigation and Analysis of*