



نسخه از دور

GIS ایران

سال هفتم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۴  
Vol.7, No. 4, Winter 2016

سنجش از دور و GIS ایران  
Iranian Remote Sensing & GIS

۲۷-۴۴



## پایش و پیش‌بینی وقوع طوفان‌های گردوغبار با استفاده از داده‌های دورکاوی، سیستم اطلاعات مکانی و داده‌های زمینی براساس بررسی تغییرات پوشش گیاهی و عناصر اقلیمی (مطالعه موردی: جنوب و جنوب‌شرق ایران)

احسان تمسکی<sup>۱</sup>، اسداله خورانی<sup>۲\*</sup>، علی درویشی بلورانی<sup>۳</sup>، احمد نوحه‌گر<sup>۴</sup>

۱. کارشناس ارشد بیابان‌زدایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

۲. دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس

۳. استادیار گروه سنجش از دور و GIS دانشکده جغرافیا و پژوهشکده بین‌المللی ژئوانفورماتیک دانشگاه تهران

۴. استاد دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۱/۲۳

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۱/۲۷

### چکیده

پدیده طوفان‌های گردوغبار از مهم‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی جهان امروز است که هر ساله خسارت‌های جبران‌ناپذیری را بر بخش‌های گوناگون، از جمله محیط‌زیست و سلامت انسان‌ها وارد می‌کند. هدف از این مطالعه پایش و پیش‌بینی وقوع طوفان‌های گردوغبار در جنوب و جنوب‌شرق ایران با استفاده از داده‌های سنجش از دور در تلفیق با اطلاعات ایستگاهی است. به این منظور، از ۹۲ تصویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس و نیز داده‌های سازمان هواشناسی ایران در ۱۸ ایستگاه همدیدی جنوب و جنوب‌شرق کشور طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۹ استفاده شد. در این مطالعه، روزهای گردوغباری با دو منشأ نزدیک و خارج از ایستگاه‌های همدیدی استخراج شد. پس از پایش سالیانه و ماهیانه طوفان‌ها، با استفاده از عناصر اقلیمی و شاخص NDVI برای پیش‌بینی طوفان‌های گردوغبار، با استفاده از مدل رگرسیون مکانی چندمتغیره اقدام شد. نتایج نشان می‌دهد که در اوایل هر سال میلادی وقوع طوفان‌ها افزایش و پس از ماه‌های ژوئن و ژوئیه سیر نزولی پیدا می‌کند. همچنین، گردوغبار با منشأ نزدیک ایستگاه باعث ایجاد بیشترین روزهای گردوغباری در منطقه است، به طوری که بیش از ۷۸ درصد از روزهای گردوغباری بر اثر وقوع این نوع گردوغبار ایجاد شده است. آزمون اعتبارسنجی روابط رگرسیونی نشان داد که این روابط فراوانی طوفان‌های گردوغبار را در ماه‌های گرم و پرغبار با دقت بالاتری پیش‌بینی می‌کنند. با توجه به اینکه عمده گردوغبار این منطقه با منشأ نزدیک ایستگاه‌هاست، می‌شود با اقدامات بیابان‌زدایی و مقابله با فرسایش بادی حجم قابل توجهی از این طوفان‌ها را کاهش داد.

**کلیدواژه‌ها:** طوفان‌های گردوغبار، عناصر اقلیمی، شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال‌شده، پایش، پیش‌بینی.

\* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: بندرعباس، کیلومتر ۹ جاده میناب، دانشگاه هرمزگان، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا، صندوق پستی: ۳۹۹۵. تلفن: ۰۹۱۲۴۸۰۳۲۴۲

## ۱- مقدمه

یکی از مهم‌ترین چالش‌های جهانی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک، طوفان‌های گردوغبار است. این پدیده مخرب زیست‌محیطی کشورهای منطقه غرب و جنوب‌غرب آسیا را تحت تأثیر زیانبار خود قرار داده است. با بررسی مطالعات انجام‌شده، بیشتر مطالعات در ارتباط با طوفان‌های گردوغبار در چند دسته زیر قرار می‌گیرد: برخی مطالعات با بیان اهمیت و چگونگی این پدیده، متغیرهای مؤثر در شکل‌گیری این پدیده را بررسی کرده‌اند. در واقع، فرسایش بادی زمانی به‌وجود می‌آید که سطح مشترکی بین باد و خاک حفاظت‌نشده پدید آمده باشد (احمدی، ۱۳۸۷). از ویژگی‌های مناطق خشک بادهای پی‌درپی و شدید است و پوشش گیاهی تنک در این مناطق نیز نمی‌تواند در جلوگیری از سرعت باد نقشی داشته باشد. بدین جهت، این بادهای با طوفان‌های ماسه‌ای همراه‌اند (احمدی، ۱۳۸۷؛ آذرنبوند و ملکیان، ۱۳۸۸؛ جعفری و طویلی، ۱۳۸۹). آثار این پدیده مخرب زیست‌محیطی بر محیط‌زیست و سلامت نیز در برخی مطالعات بررسی شده است. غبار اتمسفری مانع از نفوذ نور خورشید می‌شود و محصولات کشاورزی را تا ۳۰ درصد کاهش می‌دهد و منجر به افزایش شیوع بیماری‌ها مانند مننژیت، تب دره، آسم، بیماری‌های ویروسی صدمه به DNA سلول‌های پوست و ریه می‌شود (شاهسونی و همکاران، ۱۳۸۹؛ ۲۰۰۵) (Wellenius et al., 2006; Peters, 2006).

دسته‌ای از مطالعات به تحلیل مکانی و زمانی وقوع طوفان‌ها و برخی به بررسی سیستم‌های سینوپتیکی گردوغبار پرداخته‌اند. نتیجه بیشتر آنها افزایش وقوع طوفان‌ها را در سال‌های اخیر، به‌ویژه در مناطق غربی ایران، نشان می‌دهد. پرفشار آزور همراه با سیستم‌های مهاجر بادهای غربی مهم‌ترین عامل سینوپتیک تأثیرگذار در سیستم‌های گردوغبار منطقه غرب ایران به‌شمار می‌رود (رسولی و همکاران، ۱۳۸۹؛ ذوالفقاری و عابدزاده، ۱۳۸۴). منشأیابی پدیده گردوغبار و شناسایی مناطق برداشت با استفاده از

تصاویر ماهواره‌ای و استفاده از تونل باد و رسم گل‌غبار در برخی مطالعات (مانند: اختصاصی و همکاران، ۱۳۸۵؛ ایرانمنش و همکاران، ۱۳۸۴؛ خسروی، ۱۳۸۹)؛ (Schlesinger et al., 2006)، مورد توجه بوده است. این دسته از مطالعات نیز منابع اصلی گردوغبارهای ورودی به غرب ایران را معمولاً صحرای سوریه، عراق و صحرای شمال عربستان می‌دانند، درحالی‌که نقش صحرای بزرگ آفریقا در این میان بسیار ناچیز قلمداد می‌شود. مطالعاتی (همچون: زراسوندی و همکاران، ۱۳۹۰؛ Viana et al., 2005; Holms and Miller, 2004) نیز، هم‌زمان با پدیده گردوغبار به آنالیز ذرات پرداخته‌اند. دسته‌ای از مطالعات انجام‌شده ارتباط طوفان‌های گردوغبار را با دیگر عوامل بررسی کرده‌اند که در این زمینه، می‌شود به کارهای آکاتا و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۷) درمورد بررسی ارتباط بین افزایش سزیم ۱۳۷ با وقوع طوفان‌های گردوغباری آسیا اشاره کرد.

نوع و پوشش گیاهی نیز در شدت وقوع گردوغبار نقش مؤثری ایفا می‌کند. مطالعات سوان<sup>۲</sup> (۲۰۰۰) نشان می‌دهد که بیشترین وقوع طوفان‌های گردوغبار در مناطق بسیار خشک با زمین لخت با ۸۰-۶۰ روز در سال، مناطق با پوشش گیاهان بوته‌ای با ۳۰-۲۰ روز در سال و چمن‌زارها با ۴-۲ روز در سال صورت می‌گیرد. تا و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۵) به این نتیجه رسیدند که دو عامل تراکم و ساختار پوشش گیاهی نقشی اساسی در کنترل وقوع طوفان‌های گردوغبار دارد. لی و همکاران<sup>۴</sup> (۲۰۰۲) با بررسی آثار باد و پوشش سطح زمین در وقوع طوفان‌های گردوغبار در آسیا، در سال‌های ۲۰۰۶-۱۹۹۸، با استفاده از داده سنجش از دور به این نتیجه رسیدند که یکی از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر در وقوع طوفان‌های گردوغبار بادهای موسمی سالیانه و

1 Akata et al.

2 Xuan

3 Ta et al.

4 Li et al.

گیاهی با وقوع طوفان‌های گردوغبار و بررسی امکان ارائه مدل برای پیش‌بینی وقوع طوفان‌های گردوغبار.

## ۲- مواد و روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

از نظر موقعیت جغرافیایی، منطقه مورد مطالعه با وسعتی معادل ۳۹۲۴۳۳ کیلومتر مربع، حدود یک چهارم از کشور را شامل می‌شود. این محدوده در جنوب و جنوب شرق ایران، بین ۲۵ تا ۳۹ درجه عرض شمالی و ۵۴ تا ۶۳ درجه طول شرقی قرار دارد (شکل ۱). گستردگی ویژه این منطقه از نظر طول و عرض جغرافیایی چشم‌اندازهای گوناگونی را پدید آورده و بر تفاوت‌های مکانی این پیکره ناهموار افزوده است.

### ۲-۲- داده‌های مورد استفاده

#### الف) داده‌های هواشناسی

در این تحقیق، جهت استخراج داده‌های اقلیمی از آمارهای سازمان هواشناسی ایران مربوط به هیجده ایستگاه سینوپتیکی در استان‌های هرمزگان، کرمان، سیستان و بلوچستان و خراسان جنوبی در دوره‌ای نه‌ساله (۲۰۰۹-۲۰۰۱) استفاده شده است. این داده‌ها شامل میانگین بارندگی (میلی‌متر)، میانگین رطوبت نسبی هوا (درصد)، میانگین سرعت باد (نات)، میانگین دمای هوا (درجه سانتی‌گراد)، فراوانی وقایع گردوغبار با کدهای شش، هفت، هشت و نه است.

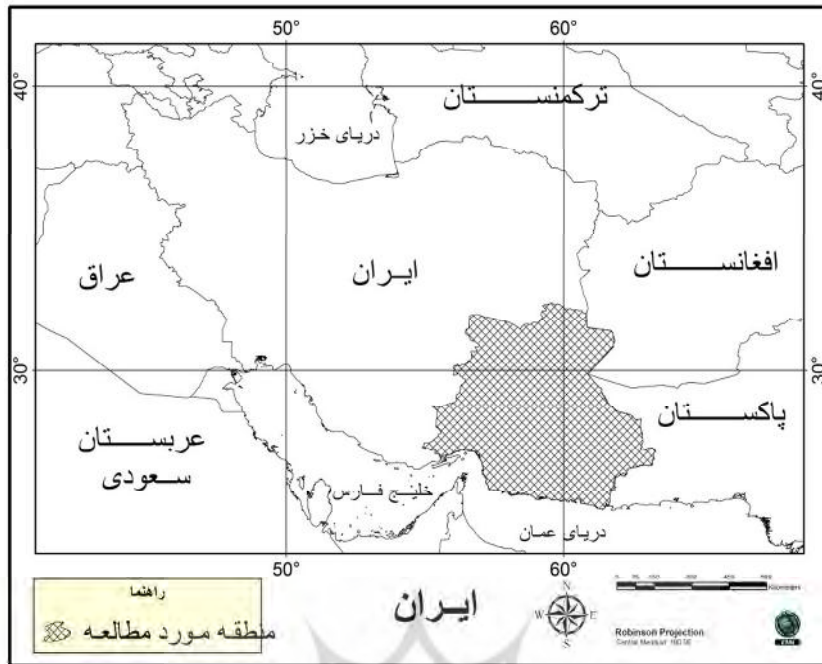
#### ب) داده‌های ماهواره‌ای

در این تحقیق از تصاویر سنجنده مودیس<sup>۳</sup> استفاده شده است. مودیس (اسپکترورادیومتر تصویربردار با قدرت تفکیک متوسط) سنجنده‌ای است که روی ماهواره ترا<sup>۴</sup> و آکوا<sup>۵</sup> قرار داده شده است. سنجنده مودیس ماهواره

فعالیت گردبادهای مغولستان است. زینگکوی و همکاران، ۲۰۰۶ نیز با بررسی ارتباط دما و طوفان‌های گردوغبار در چین، به این نتیجه رسیدند که در مناطقی با دمای بالاتر میزان تبخیر از سطح خاک افزایش می‌یابد و در نتیجه، خاک خشک‌تر و فراوانی طوفان‌های گردوغبار بیشتر می‌شود. ریجی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۹) نیز، با بررسی ارتباط بین وقوع طوفان‌های گردوغبار، پوشش گیاهی و رطوبت سطح خاک، بیان کردند طوفان گردوغبار زمانی اتفاق می‌افتد که شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده کمتر از ۰/۲، سرعت باد بیشتر یا مساوی هفت متر بر ثانیه و  $\theta r$  به‌منزله شاخص رطوبت سطحی خاک، کمتر از ۰/۲ باشد برای شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده بزرگ‌تر از ۰/۲، سرعت باد بیشتر از ۹ متر بر ثانیه یا مساوی با آن، و  $\theta r$  کمتر از ۰/۲ باشد. جلالی و همکاران (۱۳۹۱) نیز، با بررسی ارتباط بین عناصر اقلیمی و زمینی با وقوع طوفان‌های گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS، مدل‌هایی را برای پیش‌بینی طوفان‌های گردوغبار در استان خوزستان ارائه کردند.

با بررسی مطالعات انجام‌شده در ارتباط با طوفان‌های گردوغبار لزوم بررسی جامع در مورد عوامل تأثیرگذار در وقوع این پدیده مخرب زیست‌محیطی مشخص می‌شود. بیشتر کارهای انجام‌شده به بررسی‌های آماری و منشأیابی طوفان‌ها پرداخته‌اند و کمتر ارتباط بین طوفان‌های گردوغبار و عوامل مؤثر در وقوع آنها را با استفاده از روش رگرسیون مکانی بررسی کرده‌اند. هدف اصلی این تحقیق بررسی ارتباط بین وقوع طوفان‌های گردوغبار با تغییرات پوشش گیاهی و پارامترهای اقلیمی، با بهره‌گیری از آمارهای ایستگاه‌های هواشناسی سینوپتیکی و تکنیک‌های سنجش از دور در مناطق جنوب و جنوب شرق ایران است که بیشتر متأثر از فرسایش بادی‌اند. از دیگر اهداف این تحقیق، می‌شود به این موارد اشاره کرد: مطالعه روند وقوع طوفان‌های گردوغبار در منطقه، بررسی و تعیین ارتباط بین عناصر اقلیمی و پوشش

1. Reiji et al. 2. knots  
3. MODIS: Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer 4. Tera  
5. Aqua



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

میانگین‌گیری مقادیر نقاط معلوم در نزدیکی هر پیکسل تخمین زده می‌شود و مقادیری که به مرکز پیکسل نزدیک‌ترند، در تخمین مقدار نامعلوم وزن بیشتری دارند. با توجه به اینکه روش IDW برای مناطق با پستی و بلندی زیاد به کار می‌رود، از این روش برای درون‌یابی استفاده شد. این روش هنگامی که بیشترین کمترین میزان متغیر مورد نظر در محدوده مورد مطالعه موجود باشد، بسیار سودمند است (سنجری، ۱۳۹۱).

محاسبه وزن با استفاده از تابعی از معکوس فاصله انجام می‌شود.

$$Z^{\wedge}(X_0) = \sum_{i=1}^n z(x_i) \cdot d_i^{-r} / \sum_{i=1}^n d_i^{-r} \quad (1)$$

۱. شایان ذکر است برای هر سال دوازده تصویر از روزهای آخر ماه‌های میلادی انتخاب شد اما به دلیل اینکه در برخی سال‌های میلادی تصویری از منطقه در درگاه اینترنتی مورد نظر قرار داده نشده بود، تعداد تصاویر اندکی کاهش یافت.

2. <http://rapidfire.sci.gsfc.nasa.gov/cgi-bin/imagery/realtime.cgi>

3. IDW: Inverse Distance Wighted

4. Pixel

ترا، هر دوروز یکبار از تمام سطح زمین تصویربرداری می‌کند و داده‌هایی در ۳۶ باند طیفی برداشت می‌کند. این داده‌ها، همراه با داده‌هایی که به وسیله مودیس دوم (روی ماهواره آکوا قرار داده شده)، آگاهی ما را از حرکات و تغییرات جهانی و همچنین فرایندهایی که بر سطح زمین، اقیانوس‌ها و سطوح پایینی جو به وقوع می‌پیوندند، بهبود بخشیده است. مرکز سنجش از دور ایران، روزانه دو تصویر از سنجنده مودیس بین ساعت ۱۳-۹ اخذ می‌کند (جلالی، ۱۳۹۰؛ سی آیچو کو و همکاران، ۲۰۰۴، ۱۰). در این تحقیق ۹۲ تصویر<sup>۱</sup> مربوط به سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۹ با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر که از درگاه اینترنتی مربوطه<sup>۲</sup> استخراج شد، به کار رفت.

### ۳- روش تحقیق

در این تحقیق با توجه به داده‌های ایستگاهی، عملیات درون‌یابی با استفاده از درون‌یابی به روش عکس فاصله<sup>۳</sup> انجام گرفت و داده‌های اقلیمی به صورت رستری تهیه شدند. در این روش مقادیر پیکسل‌های<sup>۴</sup> مجهول با

## ۴- نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی هشت ساله طوفان‌های گردوغبار با منشأ خارج از ایستگاه در منطقه جنوب و جنوب شرق ایران نشان می‌دهد که فراوانی این طوفان‌ها در ایستگاه‌های چابهار، بندرعباس، خاش، زاهدان، سراوان، میناب و میانه جیرفت از سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۹ افزایش یافته است. وقوع این طوفان‌ها در ایستگاه‌های ایرانشهر، بم، نهبندان و کهنوج کاهش یافته است. در ایستگاه‌های کنارک، بافت، جاسک، زابل، زهک و کرمان تغییر چشمگیری در فراوانی وقوع این طوفان‌ها مشاهده نمی‌شود (شکل ۳).

بررسی میانگین هشت ساله وقوع طوفان‌های گردوغبار با منشأ خارج از ایستگاه‌های همدیدی در منطقه جنوب و جنوب شرق ایران نشان می‌دهد که ایستگاه‌های عمده دارای این نوع گردوغبار شامل ایستگاه‌های زاهدان، کنارک، بم و چابهار است که به ترتیب دارای ۷۹، ۵۱، ۲۹ و ۲۸ روز گردوغباری با منشأ خارج از ایستگاه بوده‌اند. ایستگاه‌های زهک، بافت و جاسک نیز به ترتیب با صفر، یک و یک روز در سال، دارای کمترین روزهای گردوغباری با منشأ خارج از ایستگاه بوده‌اند. بیشترین میانگین سالانه این نوع گردوغبار مربوط به ایستگاه زاهدان است که به‌طور میانگین، سالانه دارای ۷۹ روز گردوغباری با منشأ خارج از ایستگاه است و کمترین آن نیز مربوط به ایستگاه زهک است که تقریباً هیچ روزی با گردوغبار با منشأ خارجی در آن مشاهده نمی‌شود. بعد از ایستگاه زاهدان، ایستگاه‌های واقع بر خط ساحلی، با وجود رطوبت نسبی بالا، معمولاً جزء ایستگاه‌های اصلی دارای این نوع گردوغبارند. این نشان می‌دهد که این ایستگاه‌ها در مسیر حرکت طوفان‌های با منشأ خارجی قرار گرفته‌اند. در ایستگاه‌های نواحی غربی منطقه مورد مطالعه که بارش بیشتر، پوشش گیاهی مناسب و شرایط اقلیمی متفاوت تری دارند، وقوع طوفان‌های گردوغبار کاهش یافته است (شکل‌های ۳ و ۴).

مقدار  $r$  می‌تواند به‌منزله ضریب کنترل بر وزن نقاط داده‌ای واقع در فواصل متفاوت از نقطه مجهول مورد استفاده قرار گیرد. افزایش مقدار  $r$  به کاهش وزن نقاط داده‌ای دور از نقطه مجهول منجر خواهد شد و برای نواحی ناهمگن، از نظر توزیع فضای متغیر مورد بررسی، مناسب‌تر است. این روش بر مبنای دادن وزن بیشتر به نقاط نزدیک‌تر عمل می‌کند (علی محمدی، ۱۳۸۸).

در این روش، فاصله نقطه تا محل مورد تخمین به دو صورت معکوس فاصله و خطی وزن‌هایی را به خود اختصاص داده که در زیر به شرح مختصر آن‌ها پرداخته می‌شود.

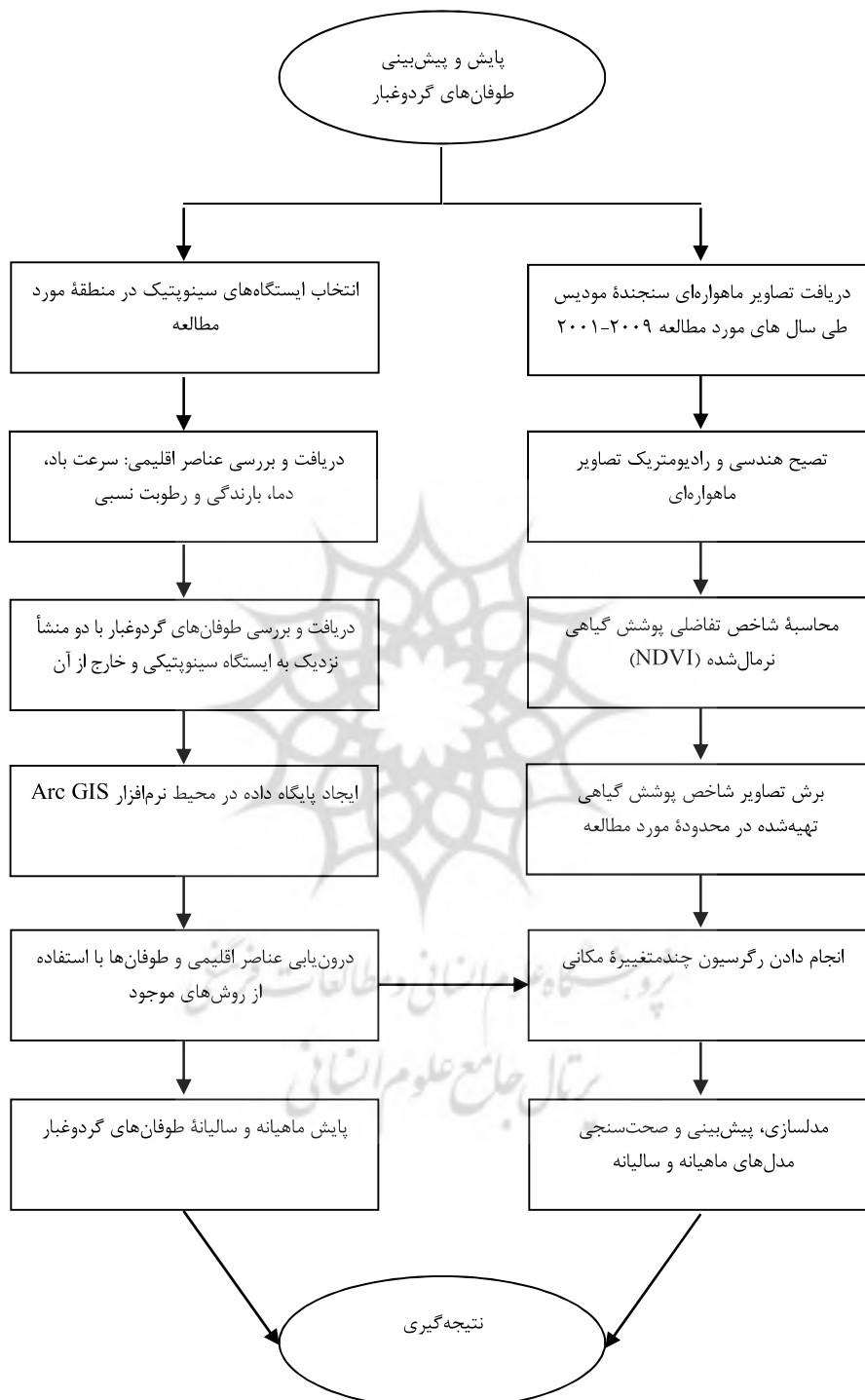
$$I = \left(\frac{1}{d^n}\right)^{-1} \quad W = \left(\frac{1}{d^n}\right) \quad d = \frac{D}{D_0} \quad (1-3)$$

$d$  فاصله نسبی نقطه معلوم تا نقطه مورد تخمین،  
 $D$  فاصله اقلیدی نقطه معلوم تا نقطه مورد تخمین،  
 $D_0$  کمترین فاصله نقطه معلوم تا نقطه مورد تخمین و  
 $n$  توان وزن است (هانسه<sup>۱</sup>، ۱۹۹۹).

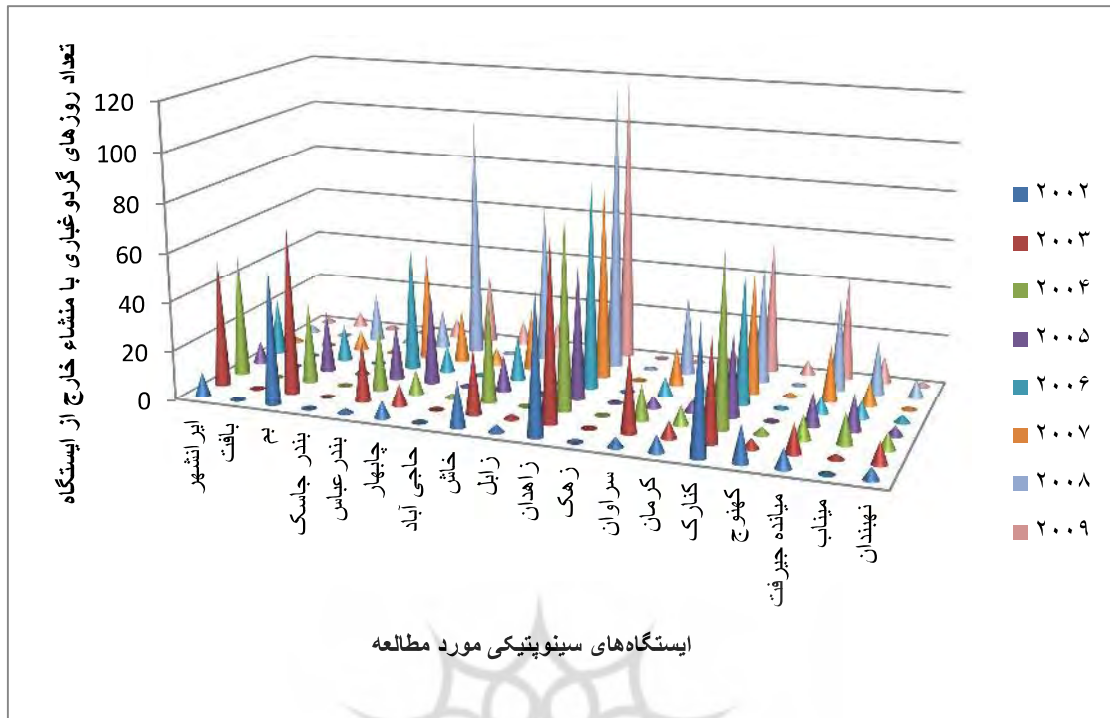
برای عملیات پیش‌پردازش، نخست، واحدی برای تصاویر سیستم مختصات<sup>۲</sup> تعیین و تعریف شد و تصاویر دارای مختصات جهانی مرکاتور<sup>۳</sup> شد. خطای هندسی و رادیومتر تصاویر نیز برطرف شد. سپس در محیط نرم‌افزاری ENVI 4.7 با استفاده از Band math اقدام به استخراج NDVI شد. محیط نرم‌افزاری Idrisi Kilimanjaro نیز برای انجام دادن رگرسیون مکانی چندمتغیره به کار رفت. در این مدل‌های رگرسیونی هریک از طوفان‌های گردوغبار جداگانه، به‌منزله متغیرهای وابسته و داده‌های میانگین بارندگی برحسب میلی‌متر، میانگین رطوبت نسبی هوا برحسب درصد، میانگین سرعت باد برحسب نات، میانگین دمای هوا برحسب درجه سانتی‌گراد و نیز NDVI به‌منزله متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند. در نهایت، مدل‌های استخراج‌شده با محاسبه میزان RMSE مورد صحت‌سنجی قرار گرفتند (شکل ۲).

1. Hanse  
 2. coordinate system  
 3. UTM: Universal Transverse Mercator

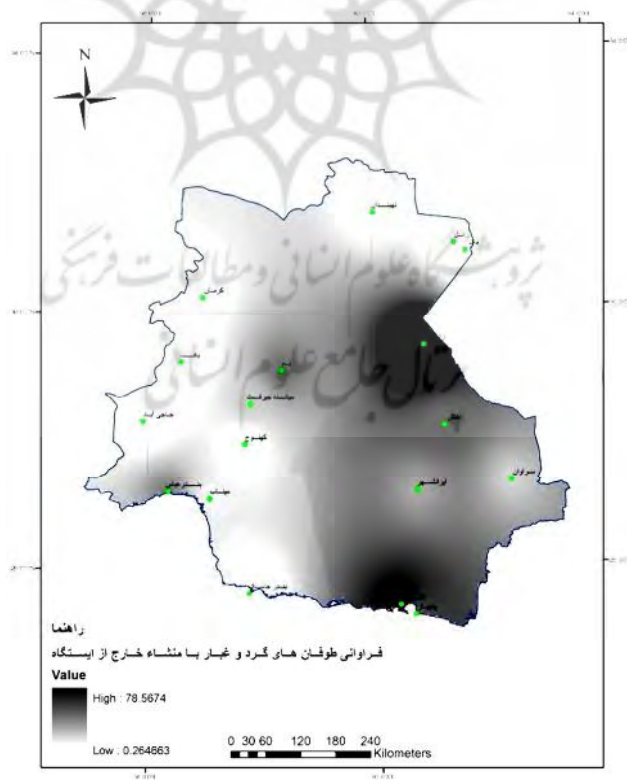
پایش و پیش‌بینی وقوع طوفان‌های گردوغبار با استفاده از داده‌های دورکاری ...



شکل ۲. روند اجرای تحقیق



شکل ۳. تعداد روزهای گردوغباری با منشأ خارج از ایستگاه، طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۹

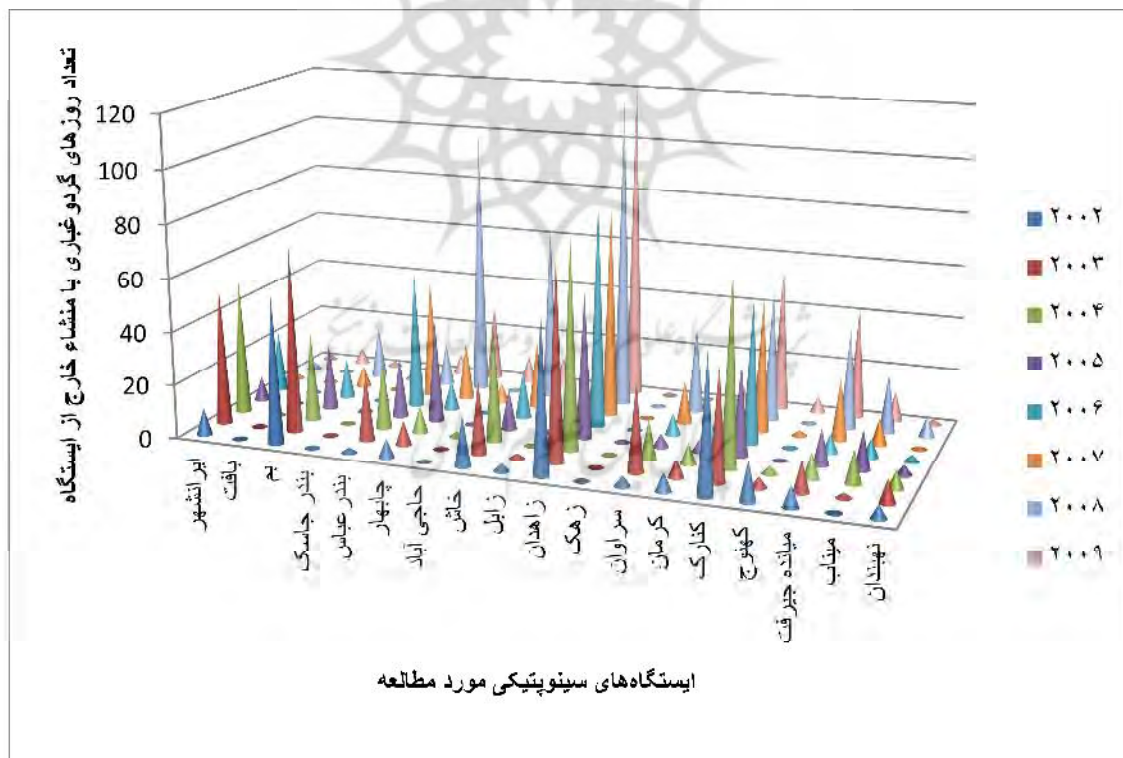


شکل ۴. فراوانی سالانه طوفان‌های گردوغبار با منشأ خارج از ایستگاه

زابل، زهک و بندرعباس است که به ترتیب دارای ۱۸۳، ۱۷۵، ۱۵۰ و ۱۲۹ روز گردوغباری با منشأ نزدیک ایستگاه بوده‌اند. ایستگاه‌های بافت و کهنوج نیز به ترتیب با سه و چهار روز در سال، کمترین روزهای گردوغباری با منشأ نزدیک ایستگاه را داشته‌اند. بیشترین میانگین سالانه این نوع گردوغبار مربوط به ایستگاه کنارک است که به‌طور میانگین، سالیانه ۱۸۳ روز گردوغباری با منشأ نزدیک ایستگاه داشته است و کمترین آن نیز مربوط به ایستگاه بافت است که به‌طور میانگین، سه روز گردوغبار را با منشأ نزدیک در سال داشته است. بعد از ایستگاه زابل و زهک، ایستگاه‌های واقع بر خط ساحلی، با وجود رطوبت نسبی بالا، بیشتر جزء ایستگاه‌های اصلی گردوغباری‌اند (شکل‌های ۵ و ۶).

بررسی فراوانی طوفان‌های گردوغبار با منشأ نزدیک ایستگاه در منطقه نشان می‌دهد که طی هشت سال مورد مطالعه، تغییر چندانی در فراوانی وقوع این طوفان‌ها رخ نداده است. ایستگاه‌های کنارک، زهک، زابل، بندرعباس، جاسک و ایرانشهر همواره جزء ایستگاه‌هایی بوده‌اند که بیشترین روزهای همراه با طوفان‌های گردوغبار با منشأ نزدیک را داشته‌اند. این نشان می‌دهد طی سال‌های اخیر طوفان‌هایی با منشأ خارج از ایستگاه موجب افزایش گردوغبار منطقه شده‌اند و تغییر چندانی در فراوانی طوفان‌های با منشأ نزدیک رخ نداده است (شکل ۵).

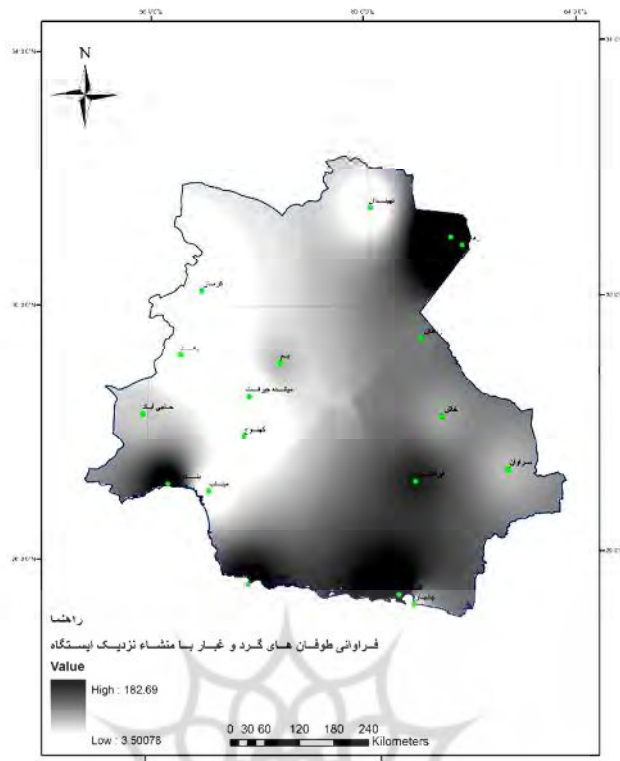
بررسی تغییرات طوفان‌های گردوغبار با منشأ نزدیک ایستگاه نشان می‌دهد که ایستگاه‌های اصلی دارای این نوع گردوغبار شامل ایستگاه‌های کنارک،



شکل ۵. تعداد روزهای گردوغباری با منشأ نزدیک ایستگاه، طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۹



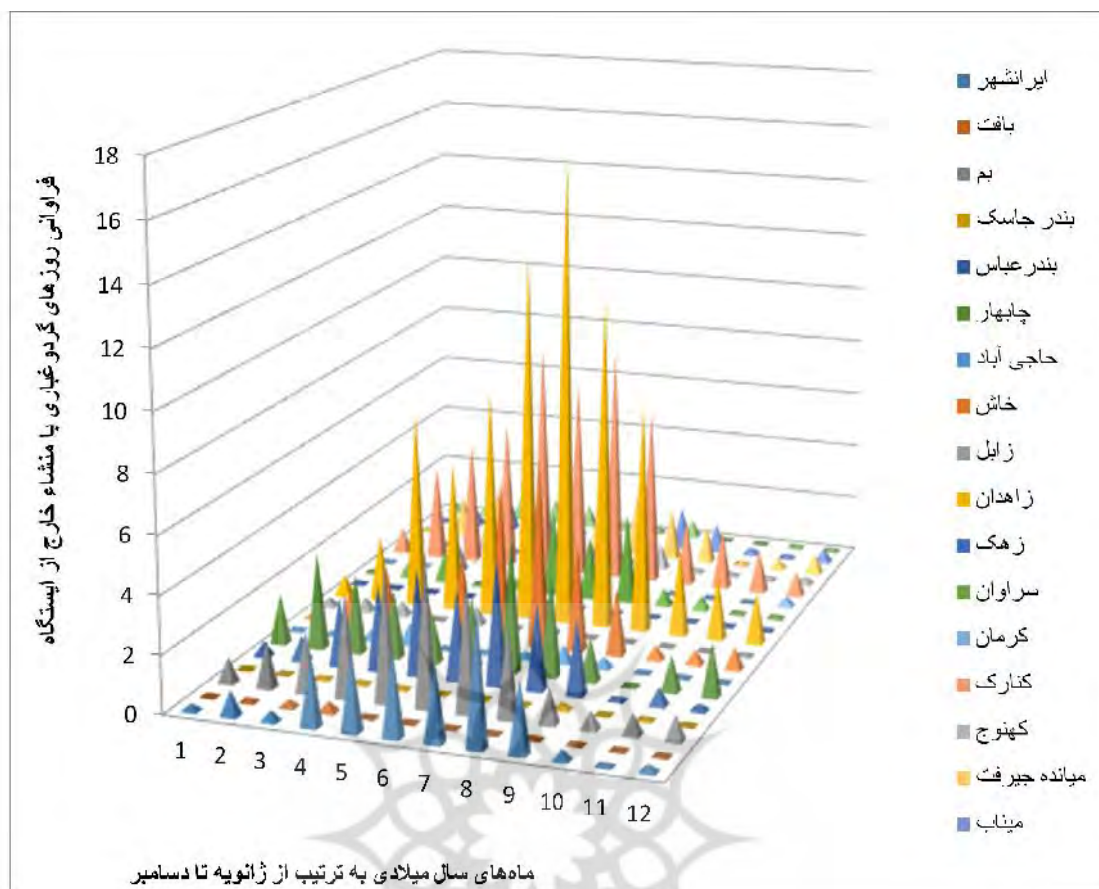
## احسان تمسکی و همکاران



شکل ۶. فراوانی سالیانه طوفان‌های گردوغبار با منشأ نزدیک ایستگاه

ایستگاه افزایش می‌یابد و پس از رسیدن به ماه‌های ژوئن و ژوئیه، سیر نزولی آغاز می‌شود. همچنین طی ماه‌های سال، در ایستگاه‌های بافت، جاسک، زهک، کهنوج و نهبندان تغییری مشاهده نمی‌شود (شکل ۷). بررسی میانگین ماهیانه طوفان‌های گردوغبار با منشأ نزدیک ایستگاه نشان می‌دهد که بیشترین روزهای گردوغباری مربوط به ایستگاه‌های زابل در ماه‌های ژوئن، ژوئیه، اوت، سپتامبر، اکتبر، نوامبر، و سپس متعلق به ایستگاه کنارک در ماه‌های مارس، آوریل و می است. ایستگاه جاسک نیز در ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر بیشترین روزهای گردوغباری را در میان دیگر ایستگاه‌ها داشته است. کمترین روزهای گردوغباری طی ماه‌های سال مربوط به ایستگاه‌های بافت، کرمان، کهنوج، میانه جیرفت، میناب و نهبندان است. بررسی تغییرات ماهیانه نشان می‌دهد که در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی، با نزدیک شدن به

بررسی میانگین ماهیانه طوفان‌های گردوغبار با منشأ خارج از ایستگاه نشان می‌دهد که بیشترین روزهای گردوغباری مربوط به ایستگاه‌های زاهدان در ماه‌های مارس، آوریل، ژوئن، ژوئیه، اوت، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و سپس ایستگاه چابهار در ماه‌های ژانویه، فوریه و دسامبر است. ایستگاه کنارک نیز در ماه می بیشترین روزهای گردوغباری را در میان دیگر ایستگاه‌ها داشته است. کمترین روزهای گردوغباری مربوط به این نوع گردوغبار طی ماه‌های سال، مربوط به ایستگاه‌های بافت، زابل، جاسک، زهک، کرمان، کهنوج، نهبندان و حاجی‌آباد است. بررسی تغییرات ماهیانه نشان می‌دهد که در بیشتر ایستگاه‌های مورد بررسی، با نزدیک شدن به ماه‌های ژوئن و ژوئیه، فراوانی روزهای گردوغباری افزایش می‌یابد و کمترین گردوغبار مربوط به ماه‌های سرد سال است. در واقع در ابتدای سال میلادی، نخست، وقوع طوفان‌های با منشأ خارج از

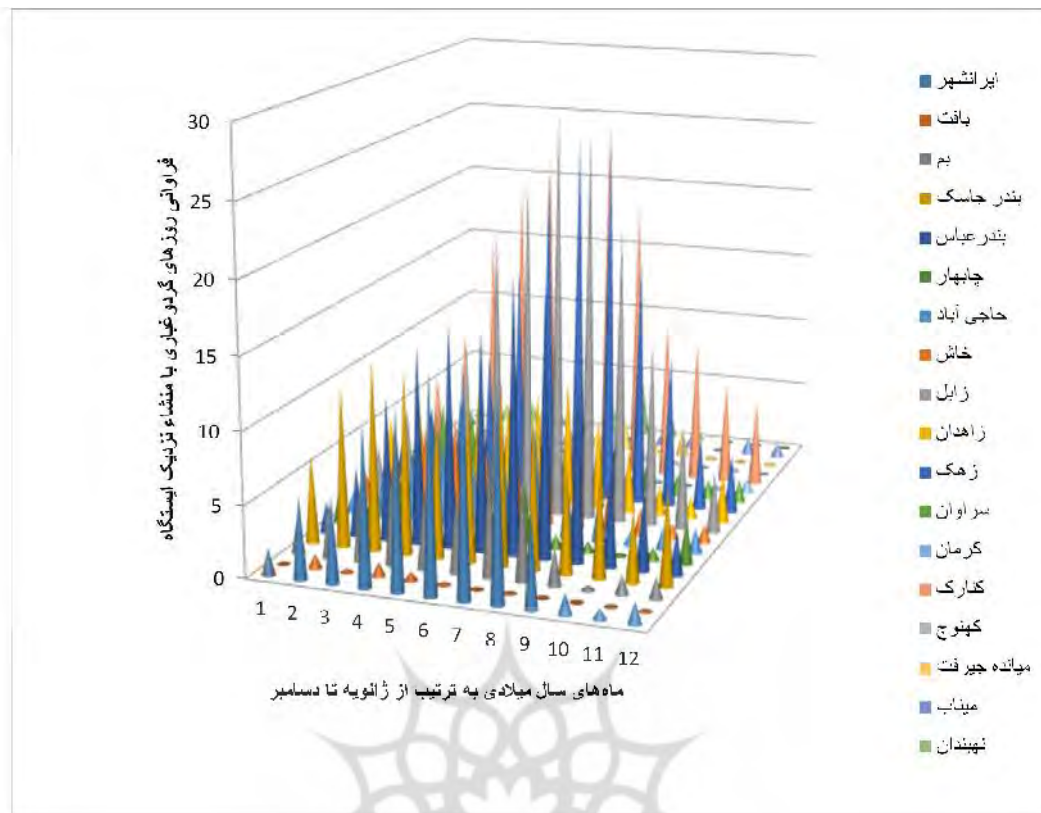


شکل ۷. میانگین ماهیانه تعداد روزهای گردوغباری با منشأ خارج از ایستگاه، طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۹

به مناطق شمال شرق و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه است. در حالی که در مورد طوفان‌های با منشأ نزدیک ایستگاه، ایستگاه‌های واقع در شمال منطقه مورد مطالعه و نیز ایستگاه‌های واقع بر خطوط ساحلی دریای عمان و خلیج فارس بیشترین روزهای گردوغباری را دارند. با بررسی طوفان‌های گردوغبار با منشأ خارج از ایستگاه‌ها، می‌شود نتیجه گرفت روزهای همراه با گردوغبار در تمام ماه‌های سال با فراوانی‌های متفاوت در مناطق مستعد وجود داشته است. اما ماه‌های ژوئن، ژوئیه و اوت دارای بیشترین روزهای گردوغباری بوده‌اند، در حالی که ماه‌های ژانویه، نوامبر و دسامبر کمترین روزهای همراه با گردوغبار را دارند. بررسی طوفان‌های گردوغبار با منشأ نزدیک ایستگاه‌ها نیز نشان می‌دهد که ماه‌های گرم سال بیشترین و ماه‌های سرد سال کمترین روزهای گردوغباری را داشته‌اند.

ماه‌های می، ژوئن، ژوئیه و اوت، فراوانی روزهای گردوغباری افزایش می‌یابد و کمترین گردوغبار مربوط به فصل سرد سال است. در واقع در ابتدای سال میلادی، نخست، وقوع طوفان‌های با منشأ نزدیک ایستگاه افزایش می‌یابد و پس از رسیدن به ماه‌های ژوئن و ژوئیه، سیر نزولی آغاز می‌شود. همچنین طی ماه‌های سال، در ایستگاه‌های بافت، زهک، کرمان، کهنوج و نهبندان تغییری مشاهده نمی‌شود (شکل ۸).

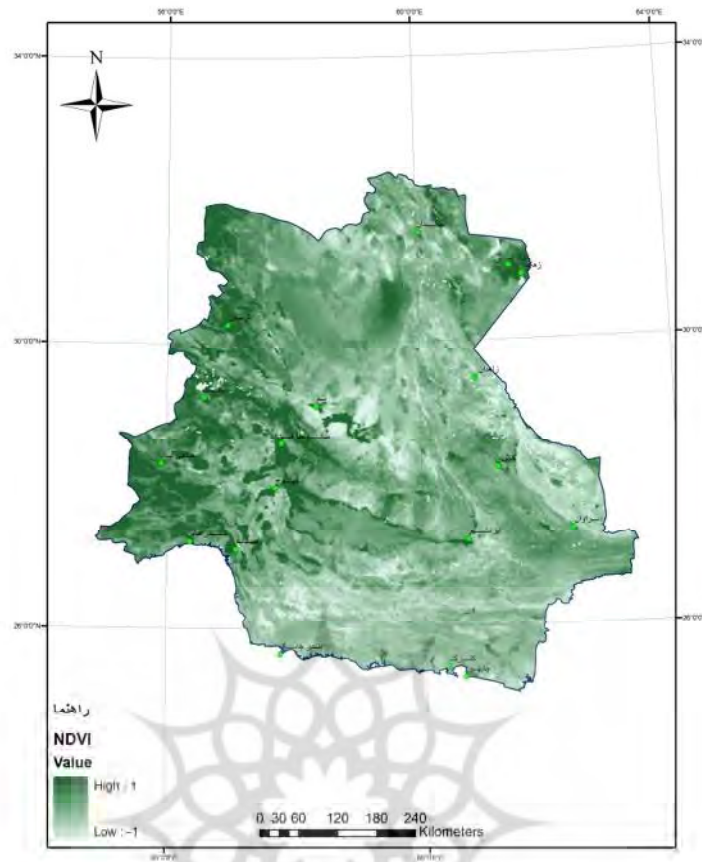
پایش سالیانه طوفان‌های گردوغبار در منطقه جنوب و جنوب شرق ایران نشان می‌دهد طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۹، در بیشتر ایستگاه‌های مورد مطالعه، فراوانی طوفان‌های با منشأ خارج از ایستگاه روبه‌افزایش بوده است. در حالی که طی این هشت سال، فراوانی طوفان‌های با منشأ نزدیک ایستگاه تغییر چندانی نیافته است. بیشتر گردوغبار با منشأ خارج از ایستگاه مربوط



شکل ۸. میانگین ماهیانه تعداد روزهای گردوغباری با منشأ نزدیک ایستگاه، طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۹

مطالعه مشهود است. در مناطق شمال شرقی، افزایش سرعت باد و در مناطق ساحلی افزایش دما بیشترین تأثیر را در افزایش طوفان‌های گردوغبار می‌گذارد. بررسی سالیانه نشان می‌دهد ایستگاه کنارک با توجه به دمای زیاد، بارندگی کم و سرعت زیاد باد که موجب افزایش طوفان‌های گردوغبار می‌شوند، در هر دو نوع طوفان مورد بررسی، همواره جزء ایستگاه‌هایی است که بیشترین روزهای گردوغباری را دارد، در حالی که ایستگاه بافت با توجه به بارندگی مناسب، دما و سرعت باد کمتر و افزایش پوشش گیاهی، در مقایسه با دیگر ایستگاه‌ها در مورد هر دو نوع گردوغبار، همواره جزء ایستگاه‌های دارای کمترین روزهای گردوغباری است. شکل ۹ تصویر میانگین هشت‌ساله شاخص NDVI را که در هر یک از مدل‌های رگرسیونی به کار رفته، نشان می‌دهد.

بیشترین روزهای گردوغباری در مورد هر دو نوع طوفان مورد بررسی مربوط به ماه ژوئیه و کمترین آن نیز برای هر دو نوع طوفان، مربوط به ماه ژانویه است. مهم‌ترین ایستگاه‌های دارای گردوغبار با منشأ نزدیک ایستگاه عبارت‌اند از: کنارک، زابل، زهک و بندرعباس، در حالی که عمده‌ترین ایستگاه‌های دارای گردوغبار با منشأ خارج از ایستگاه عبارت‌اند از: زاهدان، کنارک، بزم و چابهار. ایستگاه‌های میناب، کهنوج، میانه جیرفت، نهبندان، کرمان و بافت محدوده‌ای کم‌غبار را، هم با منشأ نزدیک ایستگاه و هم با منشأ خارج از ایستگاه، تشکیل داده‌اند. با پایش طوفان‌های گردوغبار به همراه بررسی تغییرات عناصر اقلیمی (جدول ۱)، نقش بارش‌های تابستانه در کاهش روزهای گردوغباری در منطقه جنوب شرق و بادهای ۱۲۰ روزه در افزایش روزهای گردوغباری منطقه شمال شرق محدوده مورد



شکل ۹. میانگین NDVI سالیانه منطقه مورد مطالعه

متغیرهای مستقل برای معادله‌های رگرسیونی طوفان‌های گردوغبار، هرگاه ضریب تغییرات کاهش می‌یابد، سطح معناداری برای آزمون T نیز کاهش می‌یابد. اما در بیشتر موارد، ضرایب متغیرهای مستقل در سطح ۹۹ درصد معنی دارند. به‌طور کلی، نتایج رگرسیون چندمتغیره سالانه درمورد طوفان‌های با منشأ خارج از ایستگاه‌های همدیدی نشان می‌دهد که متغیرهای دما و سرعت باد تأثیر مثبت در وقوع این طوفان‌ها دارند. یعنی با افزایش دما و سرعت باد بر فراوانی طوفان‌های گردوغبار افزوده می‌شود، متغیر

در بررسی‌های آمار فضایی موقعیت و مکان داده‌ها بررسی می‌شود. این‌گونه داده‌ها داده‌های مکانی<sup>۱</sup> نامیده می‌شوند (محمدزاده، ۱۳۹۱). در این تحقیق، تحلیل رگرسیونی با استفاده از تصاویر TIF هشت‌بیتی<sup>۲</sup> انجام شد. معادله‌های رگرسیونی ارائه‌شده در جدول ۱ پیوست، ضرایب هر یک از متغیرهای مستقل و ضریب ثابت را نشان می‌دهد. مقدار R و R<sup>2</sup> نیز برای هر یک از معادله‌های رگرسیونی در جدول ۱ آمده است. در این معادله‌ها سطح معناداری ۹۹ درصد برای بررسی معناداری معادله رگرسیونی مورد استفاده قرار گرفته است که همه معادله‌های رگرسیونی، با توجه به F-statistic در سطح ۹۹ درصد معنادارند. درمورد

1. spatial data  
2. Bit

پیش‌بینی درمورد ایستگاه‌های بالا در جدول‌های ۲ و ۳ آمده است. سپس به منظور ارزیابی دقت مدل‌های ارائه‌شده از شاخص  $MSE^1$  و جذر آن یعنی  $RMSE^2$  استفاده شد.

درمورد طوفان‌های گردوغبار با منشأ خارج از ایستگاه، پس از محاسبات براساس فرمول‌های مدل‌های رگرسیونی ماهیانه برای ایستگاه همدیدی زاهدان، خاش، کنارک و بزم در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر دقت مناسب دیده نشد. در ماه‌های می، ژوئن، ژوئیه، اوت، سپتامبر و نوامبر به ترتیب دارای ۵۲، ۸۷، ۸۹، ۵۹، ۵۳ و ۲۵ درصد دقت پیش‌بینی وجود داشت. درمورد طوفان‌های گردوغبار با منشأ نزدیک ایستگاه نیز، پس از محاسبات براساس فرمول‌های مدل‌های رگرسیونی ماهیانه بالا برای ایستگاه همدیدی زاهدان، خاش، کنارک و بزم در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، نوامبر و دسامبر دقت مناسب وجود نداشت. اما در ماه‌های می، ژوئن، ژوئیه، اوت، سپتامبر و نوامبر به ترتیب ۶۷، ۷۱، ۸۱، ۶۸، ۵۰ و ۲۹ درصد دقت پیش‌بینی دیده شد. دقت پیش‌بینی مدل‌های رگرسیونی سالیانه نیز برای ایستگاه همدیدی زاهدان، خاش، کنارک و بزم درمورد طوفان‌های گردوغبار با منشأ خارج از ایستگاه، ۶۸ درصد و برای طوفان‌های گردوغبار با منشأ نزدیک ایستگاه، ۵۵ درصد بود. یعنی با داشتن عناصر اقلیمی و شاخص پوشش گیاهی، با احتمال ۶۸ درصد گردوغبار با منشأ خارج از ایستگاه و ۵۵ درصد گردوغبار با منشأ نزدیک ایستگاه را می‌شود به صورت سالانه پیش‌بینی کرد.

بارندگی اثر مثبت بسیار کمتری در وقوع این طوفان‌ها دارد، متغیرهای رطوبت نسبی و شاخص پوشش گیاهی نیز تأثیر منفی در وقوع این طوفان‌ها می‌گذارند و با افزایش آنها فراوانی روزهای گردوغبار کاهش می‌یابد (جدول ۱). اما درمورد طوفان‌های گردوغبار با منشأ نزدیک ایستگاه همدیدی، متغیرهای سرعت باد و دما و رطوبت نسبی اثر مثبت در وقوع این طوفان‌ها می‌گذارند. متغیر شاخص پوشش گیاهی نیز اثر بسیار کمتری در کاهش وقوع این طوفان‌ها دارد و متغیر بارندگی در وقوع این طوفان‌ها تأثیر منفی می‌گذارد. درمورد نتایج رگرسیون چندمتغیره ماهیانه، نتایج در ماه‌های گوناگون سال تاندازه‌ای متغیر است، به شکلی که در ماه‌های گوناگون تأثیر عناصر اقلیمی و پوشش گیاهی تغییر می‌کند (جدول ۱).

به‌منظور ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل‌های طوفان‌های گردوغبار با منشأ خارج و نزدیک ایستگاه‌های همدیدی، طوفان‌های گردوغبار با منشأ خارج و نزدیک ایستگاه در سال ۲۰۰۱ در ایستگاه‌های همدیدی زاهدان، خاش، کنارک و بزم ارزیابی شدند. اصل مسلم در بیشتر مدل‌سازی‌های پدیده‌های جوی و اقلیمی شناسایی رفتار این پدیده‌ها در بلندمدت است. اما به دلیل مشکلات و محدودیت‌هایی مانند در دسترس نبودن تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مناسب و آمار هواشناسی بلندمدت در ایستگاه‌های مورد مطالعه، این امکان در این تحقیق وجود نداشته است. به همین دلیل، بررسی دقت مدل‌ها فقط با یک سال و برای ایستگاه‌هایی محدود انجام شد. این ایستگاه‌ها به دلیل پراکندگی مناسب در محدوده مورد مطالعه انتخاب شدند. درمورد طوفان‌های با منشأ خارج و نزدیک ایستگاه، مقدار پیش‌بینی‌شده، مقدار واقعی و دقت

1. Mean Squard Error

2. Root Mean Squard Error

۵- پیوست

جدول ۱. اطلاعات مربوط به مدل‌های رگرسیون فضایی استخراج‌شده

ماه/سال	منشأ طوفان	مدل رگرسیون فضایی چندمتغیره خطی	R2	R	F (۵, ۷۲۲۴۴)
سالیانه	خارج از ایستگاه	$Y = 5.17 + 0.45X1 - 0.18X2 + 0.50X3 + 0.07X4 - 0.13X5$	۰/۶۲	۰/۷۹	۲۴۰۲۵
سالیانه	نزدیک ایستگاه	$Y = 0.28 + 0.65X1 + 0.23X2 + 0.39X3 - 0.24X4 - 0.04X5$	۰/۸۵	۰/۹۲	۸۳۸۶۰
ژانویه	خارج از ایستگاه	$Y = 4.6 + 0.38X1 - 0.13X2 + 0.63X3 - 0.007X4 - 0.05X5$	۰/۶۸	۰/۸۲	۳۰۸۰۵
ژانویه	نزدیک ایستگاه	$Y = 1.19 + 0.59X1 - 0.11X2 + 0.76X3 - 0.11X4 - 0.17X5$	۰/۸۲	۰/۹۰	۶۷۷۹۲
فوریه	خارج از ایستگاه	$Y = 2.74 + 0.39X1 - 0.10X2 + 0.62X3 + 0.03X4 - 0.10X5$	۰/۷۳	۰/۸۵	۳۹۳۵۴
فوریه	نزدیک ایستگاه	$Y = 0.52 + 0.64X1 + 0.02X2 + 0.50X3 - 0.13X4 - 0.07X5$	۰/۸۷	۰/۹۳	۹۹۶۲۹
مارس	خارج از ایستگاه	$Y = 4.02 + 0.50X1 - 0.02X2 + 0.35X3 + 0.03X4 - 0.02X5$	۰/۷۲	۰/۸۵	۳۸۹۴۶
مارس	نزدیک ایستگاه	$Y = 1.8 + 0.44X1 + 0.33X2 + 0.42X3 - 0.21X4 - 0.006X5$	۰/۷۲	۰/۸۵	۳۸۹۴۶
آوریل	خارج از ایستگاه	$Y = 3.5 + 0.36X1 - 0.02X2 + 0.48X3 + 0.05X4 + 0.009X5$	۰/۷۰	۰/۸۳	۳۴۰۷۴
آوریل	نزدیک ایستگاه	$Y = 2.75 + 0.58X1 + 0.28X2 + 0.26X3 - 0.28X4 + 0.08X5$	۰/۸۶	۰/۹۲	۹۰۳۰۲
مه	خارج از ایستگاه	$Y = 2.63 + 0.42X1 + 0.21X2 + 0.18X3 + 0.27X4 - 0.06X5$	۰/۶۸	۰/۸۲	۳۱۳۳۹
مه	نزدیک ایستگاه	$Y = -2.7 + 0.6X1 + 0.54X2 - 0.003X3 + 0.25X4 - 0.21X5$	۰/۸۴	۰/۹۲	۸۱۴۶۷
ژوئن	خارج از ایستگاه	$Y = 5.50 + 0.28X1 - 0.39X2 + 0.23X3 + 0.60X4 - 0.08X5$	۰/۶۶	۰/۸۱	۲۸۱۸۷
ژوئن	نزدیک ایستگاه	$Y = -2.50 + 0.61X1 + 0.05X2 + 0.10X3 + 0.41X4 - 0.10X5$	۰/۸۵	۰/۹۲	۸۸۲۲۸
ژوئیه	خارج از ایستگاه	$Y = 10.8 + 0.46X1 + 0.15X2 + 0.03X3 + 0.08X4 - 0.01X5$	۰/۴۱	۰/۶۴	۱۰۴۳۹
ژوئیه	نزدیک ایستگاه	$Y = 2.9 + 0.70X1 + 0.28X2 + 0.18X3 - 0.009X4 - 0.14X5$	۰/۷۶	۰/۸۷	۴۷۹۸۳
اوت	خارج از ایستگاه	$Y = 11.1 + 0.26X1 + 0.13X2 + 0.38X3 - 0.19X4 + 0.10X5$	۰/۴۷	۰/۶۹	۱۳۲۵۴
اوت	نزدیک ایستگاه	$Y = 1.8 + 0.51X1 + 0.20X2 + 0.42X3 - 0.28X4 - 0.006X5$	۰/۷۸	۰/۸۸	۵۲۸۹۵
سپتامبر	خارج از ایستگاه	$Y = 5.15 + 0.20X1 - 0.12X2 + 0.54X3 + 0.19X4 - 0.09X5$	۰/۵۵	۰/۷۴	۱۸۳۳۶
سپتامبر	نزدیک ایستگاه	$Y = -0.6 + 0.67X1 + 0.15X2 + 0.24X3 - 0.02X4 - 0.15X5$	۰/۷۹	۰/۸۹	۵۷۲۲۹
اکتبر	خارج از ایستگاه	$Y = 8.09 + 0.46X1 + 0.09X2 + 0.11X3 - 0.40X4 + 0.11X5$	۰/۴۸	۰/۶۹	۱۳۸۴۲
اکتبر	نزدیک ایستگاه	$Y = -1.2 + 0.75X1 + 0.70X2 - 0.32X3 - 0.39X4 - 0.02X5$	۰/۸۱	۰/۹۰	۶۴۰۰۸
نوامبر	خارج از ایستگاه	$Y = 3.94 + 0.41X1 + 0.02X2 + 0.30X3 + 0.03X4 - 0.07X5$	۰/۵۶	۰/۷۵	۱۸۹۲۸
نوامبر	نزدیک ایستگاه	$Y = -0.89 + 0.5X1 + 0.67X2 + 0.04X3 - 0.44X4 + 0.03X5$	۰/۸۶	۰/۹۳	۹۳۱۰۲
دسامبر	خارج از ایستگاه	$Y = 6.53 + 0.47X1 + 0.09X2 + 0.31X3 - 0.16X4 + 0.09X5$	۰/۶۳	۰/۷۹	۲۵۵۶۵
دسامبر	نزدیک ایستگاه	$Y = -1.49 + 0.61X1 + 0.49X2 + 0.3X3 - 0.47X4 - 0.05X5$	۰/۹۲	۰/۹۶	۱۷۶۸۸۹

Y = تعداد روزهای با طوفان‌های گردوغبار در ماه \* X1 = میانگین سرعت باد در ماه (نات) \* X2 = میانگین رطوبت نسبی در ماه (درصد)

\* X3 = میانگین دما در ماه (درجه سانتی‌گراد) \* X4 = میانگین بارندگی در ماه (میلی متر) \* X5 = شاخص پوشش گیاهی در ماه

## احسان تمسکی و همکاران

جدول ۲. مقدار واقعی و پیش‌بینی شده طوفان‌های گردوغبار با منشأ خارج از ایستگاه از مدل‌های رگرسیونی

ایستگاه	خارجی	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
زاهدان	واقعی	۰	۳	۱	۵	۴	۶	۲۰	۱۰	۸	۷	۲	۰
	پیش‌بینی	۵	۶	۶	۹	۹	۷	۱۸	۱۶	۱۲	۱۱	۶	۷
خاش	واقعی	۰	۲	۳	۵	۷	۱۰	۱۴	۱۲	۸	۴	۲	۰
	پیش‌بینی	۴	۵	۷	۱۰	۹	۹	۱۴	۱۷	۱۲	۹	۷	۷
کنارک	واقعی	۰	۲	۳	۴	۶	۱۳	۱۵	۱۰	۸	۹	۳	۲
	پیش‌بینی	۷	۸	۷	۸	۱۱	۱۱	۱۷	۱۵	۱۱	۱۲	۶	۹
بم	واقعی	۰	۵	۲	۴	۱۳	۱۱	۲۴	۱۵	۶	۳	۷	۰
	پیش‌بینی	۱	۷	۹	۱۱	۱۳	۱۰	۲۱	۱۸	۹	۸	۹	۷
دقت پیش‌بینی	ف د م <sup>۱</sup>	ف د م	ف د م	ف د م	ف د م	ف د م	ف د م	%۸۹	%۵۹	%۵۳	%۲۵	ف د م	ف د م

جدول ۳. مقدار واقعی و پیش‌بینی شده طوفان‌های گردوغبار با منشأ نزدیک ایستگاه از مدل‌های رگرسیونی

ایستگاه	نزدیک	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
زاهدان	واقعی	۱	۴	۵	۱	۸	۱۰	۱۷	۱۰	۵	۸	۴	۱
	پیش‌بینی	۴	۸	۹	۷	۷	۶	۱۸	۱۴	۹	۱۳	۹	۹
خاش	واقعی	۰	۴	۴	۳	۵	۷	۱۱	۹	۸	۴	۵	۲
	پیش‌بینی	۴	۶	۸	۷	۸	۶	۱۳	۱۳	۱۰	۶	۱۱	۸
کنارک	واقعی	۶	۶	۹	۱۴	۲۳	۲۸	۲۵	۲۶	۱۸	۱۴	۹	۱
	پیش‌بینی	۱۰	۱۲	۱۷	۲۱	۲۷	۲۲	۲۶	۲۹	۲۳	۲۱	۱۸	۱۰
بم	واقعی	۰	۱	۱	۲	۳	۴	۳	۷	۲	۱	۱	۰
	پیش‌بینی	۶	۶	۱۱	۱۱	۷	۴	۸	۱۱	۷	۵	۷	۷
دقت پیش‌بینی	ف د م	ف د م	ف د م	ف د م	ف د م	ف د م	%۷۱	%۸۱	%۶۸	%۵۰	%۲۹	ف د م	ف د م

## ۶- نتیجه‌گیری

پایش سالیانه طوفان‌های گردوغبار در منطقه جنوب و جنوب‌شرق ایران نشان می‌دهد طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۹ در برخی از ایستگاه‌های مورد بررسی، فراوانی طوفان‌های با منشأ خارج از ایستگاه افزایش یافته است و این سیر صعودی هم‌زمان با افزایش گردوغبار در مناطق غربی کشور است که فرج‌زاده اصل و همکاران (۱۳۹۰)، رسولی (۱۳۸۹)، ذوالفقاری و عابدزاده (۱۳۸۴)، امیدوار و نکونام (۱۳۹۰)، لشکری و کیخسروی (۱۳۸۷)، مهرشاهی و همکاران (۱۳۸۸) نیز آن را بیان کرده‌اند. طی دوره مورد مطالعه، فراوانی طوفان‌های با منشأ نزدیک ایستگاه در منطقه مورد مطالعه تغییر چندانی نکرده است که نشان می‌دهد طوفان‌های با منشأ نزدیک ایستگاه، با توجه به ویژگی‌های اقلیمی مناطق خشک و نیمه‌خشک و غلبه فرسایش بادی بر فرسایش آبی در این مناطق، طی دوره مورد نظر همواره رخ داده‌اند. سرعت باد و

پایش سالیانه طوفان‌های گردوغبار در منطقه جنوب و جنوب‌شرق ایران نشان می‌دهد طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۹ در برخی از ایستگاه‌های مورد بررسی، فراوانی طوفان‌های با منشأ خارج از ایستگاه افزایش یافته است و این سیر صعودی هم‌زمان با افزایش گردوغبار در مناطق غربی کشور است که فرج‌زاده اصل و همکاران (۱۳۹۰)، رسولی (۱۳۸۹)، ذوالفقاری و عابدزاده (۱۳۸۴)، امیدوار و نکونام (۱۳۹۰)، لشکری و

طوفان‌های گردوغبار با کارهای لی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۰۲)، سینگ‌کویی و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۶)، سوان (۲۰۰۰) و تا و همکاران (۲۰۰۵) که افزایش دما و سرعت باد، کاهش بارندگی و ضعف پوشش گیاهی را از مهم‌ترین دلایل بروز گردوغبار معرفی کرده‌اند، هم‌سو است. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که با استفاده از عناصر اقلیمی و شاخص پوشش گیاهی می‌شود طوفان‌های گردوغبار در ماه‌های گرم و پرغبار سال را پیش‌بینی کرد. اما آزمون اعتبارسنجی نشان می‌دهد که مدل‌های رگرسیونی در ماه‌های گرم سال دقت بالایی دارد. با توجه به اینکه بیشترین میزان گردوغبار در ماه‌های گرم (می تا اکتبر) اتفاق می‌افتد، دقت مدل در این ماه‌ها اهمیت بسیار بیشتری دارد و ضعف مدل را در ماه‌های دیگر خنثی می‌کند. نتایج مرتبط با پیش‌بینی طوفان‌های گردوغبار در این تحقیق، در ماه‌های پر گردوغبار با کارهای ریجی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۹) و جلالی و همکاران (۱۳۹۱) هم‌سو است اما در مورد ماه‌های کم‌غبار، نتایج کارهای جلالی و همکاران را نقض می‌کند که به‌نظر می‌رسد دلیل این تفاوت به ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه مربوط باشد. با توجه به نتایج مطرح‌شده، پیشنهاد می‌شود که با در نظر گرفتن پیچیدگی عوامل مؤثر در وقوع طوفان‌های گردوغبار، ضمن مدلسازی طوفان‌های گردوغبار، به الگوهای جوی منجر به وقوع این پدیده نیز پرداخته شود و مدل‌های دینامیکی از سوی متخصصان رشته‌های گوناگون، جهت پیش‌بینی پدیده گردوغبار، مورد مطالعه قرار گیرد.

## ۶- منابع

احمدی، ح.، ۱۳۸۷، ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۲، بیابان - فرسایش بادی، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.

دمای زیاد ویژگی بارز مناطق پرغبار در این مطالعه است که با اقدامات مقابله با فرسایش بادی، مانند بادشکن، می‌شود سرعت باد را در مناطق برداشت فرسایش بادی کاهش داد و از بروز این پدیده کاست. بیشتر گردوغبار با منشأ خارج از ایستگاه مربوط به مناطق شمال شرق و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه است. در حالی که در مورد طوفان‌های با منشأ نزدیک ایستگاه، ایستگاه‌های واقع در شمال این منطقه و نیز ایستگاه‌های واقع بر خطوط ساحلی دریای عمان و خلیج فارس دارای بیشترین روزهای گردوغباری‌اند. نتایج نشان می‌دهد که در ابتدای سال میلادی، نخست، وقوع طوفان‌ها افزایش می‌یابد و پس از ماه‌های ژوئن و ژوئیه سیر نزولی آغاز می‌شود. نتایج این بررسی‌ها نشان می‌دهد که گردوغبار با منشأ نزدیک ایستگاه باعث ایجاد بیشترین روزهای گردوغباری در منطقه می‌شود، به طوری که بیش از ۷۸ درصد از روزهای گردوغباری ناشی از گردوغبار ایجادشده در نزدیک ایستگاه هستند. در واقع، این محدوده یکی از مناطق اصلی برداشت رسوبات بادی در کشور به‌شمار می‌رود و با توجه به اینکه بیشتر این نوع گردوغبار از نوع گردوغبار با منشأ نزدیک ایستگاه است، می‌شود با اقدامات بیابان‌زدایی و مقابله با فرسایش بادی حجم بسیاری از این طوفان‌ها را کاهش داد. در مورد مدل‌های طوفان‌های گردوغبار نیز، طوفان‌های با منشأ نزدیک ایستگاه در مقایسه با طوفان‌های با منشأ خارج از ایستگاه با ضریب همبستگی و ضریب تعیین بالاتری پیش‌بینی پذیرند. یافته‌ها نشان دادند که بین تغییرات عناصر اقلیمی و پوشش گیاهی در محدوده جنوب و جنوب شرق کشور با وقوع طوفان‌های گردوغبار ارتباط وجود دارد.

نتایج نشان می‌دهد که، به‌طور کلی، سرعت باد مهم‌ترین تأثیر را در افزایش طوفان‌های گردوغبار، و بارندگی بیشترین تأثیر را در کاهش طوفان‌های گردوغبار دارد. نتایج این تحقیق در مورد ارتباط تغییرات عناصر اقلیمی و پوشش گیاهی با فراوانی

1. Li et al.  
3. Reiji et al.

2. Xingkui et al.



- استفاده از مدل NAAPS مورد: سیستان ایران، مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافی دانان جهان اسلام (ICIWG2010).
- ذوالفقاری، ح.، عابدزاده، ح.، ۱۳۸۴، تحلیل سینوپتیک سیستم های گردوغبار در غرب ایران، مجله جغرافیا و توسعه، دوره ۳، شماره ۶، صص. ۱۸۷ - ۱۷۳.
- رسولی، ع.ا.، ساری صراف، ب.، محمدی، غ.ح.، ۱۳۸۹، تحلیل روند اقلیمی گرد و غبار در غرب کشور در ۵۵ سال اخیر با استفاده از روش های آماری ناپارامتری، فصل‌نامه جغرافیای طبیعی، سال سوم، شماره ۹، صص. ۲۸ - ۱۵.
- زراسوندی، ع.، مر، ف.، نظریور، ا.، ۱۳۹۰، ترکیب کانی‌شناسی و ریخت‌شناسی ذرات تشکیل‌دهنده پدیده گردوغبار در استان خوزستان با تکیه بر آنالیزهای XRD و تصاویر SEM، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال نوزدهم، شماره ۳، صص. ۵۱۸ - ۵۱۱.
- علی محمدی، ع.، ۱۳۸۸، مبانی علوم و سیستمهای اطلاعات جغرافیایی، انتشارات سمت، تهران.
- سنجری، س.، ۱۳۹۱، راهنمای کاربردی Arcgis 10، انتشارات عابد.
- شاهسونی، ع.، یاراحمدی، م.، جعفرزاده حقیقی‌فر، ن.، نعیم آبادی، ا.، محمودیان، م.، صاکی، ح.، صولت، م.ح.، سلیمانی، ز.، ندافی، ک.، ۱۳۸۹، اثرات طوفان‌های گردوغباری بر سلامت و محیط‌زیست، مجله دانشگاه علوم پزشکی خراسان شمالی، دوره ۲، شماره ۴، صص. ۵۶ - ۴۵.
- لشکری، ح.، کیخسروی، ق.، ۱۳۸۷، تحلیل آماری سینوپتیکی طوفان های گردوغبار استان خراسان رضوی در فاصله زمانی (۲۰۰۵-۱۹۹۳)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۶۵، صص. ۳۳ - ۱۷.
- اختصاصی، م.ر.، احمدی، ح.، خلیلی، ع.، صارمی نائینی، م.ع.، رجبی، م.ر.، ۱۳۸۵، کاربرد گل‌غبار، گل‌طوفان و گل‌ماسه در تحلیل فرسایش بادی و تعیین جهت حرکت ماسه‌های روان (مطالعه موردی: حوزه دشت یزد- اردکان)، نشریه دانشکده منابع طبیعی، جلد ۵۹، شماره ۳، صص. ۵۴۱ - ۵۳۳.
- امیدوار، ک.، نکونام، ز.، ۱۳۹۰، کاربرد گل‌باد و گل‌غبار در تحلیل پدیده گرد و خاک و تعیین رژیم فصلی بادهای همراه با این پدیده (مطالعه موردی: شهر سبزوار)، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۷۶، صص. ۱۰۴ - ۸۵.
- ایرانمنش، ف.، عرب خدری، م.، اکرم، م.، ۱۳۸۴، بررسی مناطق برداشت ذرات گردوغبار و ویژگی‌های انتشار آنها در طوفان‌های منطقه سیستان با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره‌ای، مجله پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی، شماره ۶۷، صص. ۳۳ - ۲۵.
- آذر نیوند، ح.، ملکیان، آ.، ۱۳۸۸، بوم‌شناسی مناطق بیابانی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- جعفری، م.، طویلی، ع.، ۱۳۸۹، احیای مناطق خشک و بیابانی، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- جلالی، م.، ۱۳۹۰، بررسی تغییرات اقلیمی و پوشش گیاهی در مناطق مولد گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- جلالی، م.، بهرامی، ح.، درویشی بلورانی، ع.، ۱۳۹۱، بررسی ارتباط بین فاکتورهای اقلیمی و زمینی با وقوع طوفان‌های گردوغبار با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS (مطالعه موردی: استان خوزستان)، اولین همایش ملی بیابان ایران.
- خسروی، م.، ۱۳۸۹، بررسی توزیع عمودی گردوغبار ناشی از طوفان در خاورمیانه با

- Akata, N., Hasegawa, H. & Kawabata, H., 2007, **Deposition of 137Cs in Rokkasho, Japan and its Relation to Asian Dust**, Journal of Environmental Radioactivity; 95(1), PP 1-9
- Biau, G., Zorita, E., von Storch, H., & Wackernagel, H., 1999, **Estimation of Precipitation by Kriging in the EOF Space of the Sea Level Pressure Field**, Journal of Climate, Vol.12.
- Ichoku, C., Kaufman, y.j., Remer, L.a. & Levy, R., 2004, **Global Aerosol Remote Sensing from MODIS**, Advance in space research 34 820-827 Holms, CW., Miller, R., 2004, Atmospherically transported metals and deposition in the southeastern United States, local or transoceanic, Applied Geochemistry, 19(7), PP. 189-200.
- Li, X.Y., Wang, J.H. & Liu, L.Y., 2002, **Wind Tunnel Simulation Experiment on the Erodibility of the Fixed Aeolian Sandy Soil by Wind**, Proceedings of ICAR5/GCTE-SEN Joint Conference, International Center for Arid and Semiarid Lands Studies, Texas Tech University, Lubbock, Texas. USA Publication, p. 40.
- Peters, A., 2005, **Particulate Matter and Heart Disease: Evidence from Epidemiological Studies**, Toxicol Appl Pharmacol; 1(207), PP. 477-80.
- Reiji, K., Bai, Long., Jiemin, Wang., 2009, **Relationships Among Dust Outbreaks, Vegetation Cover, and Surface Soil Water Content on the Loess Plateau of China, 1999–2000**, Catena 77 292–29.
- Schlesinger, P., Mamane, Y. & Grishkan, I., 2006, **Transport of Microorganisms to Israel during Saharan Dust Events**, Aerobiologia; 22(4),PP. 259-273.
- Ta, W.H., Xiao, J., Xiao, G., Yang, T. & Zhang, X., 2004, **Measurements of Dust Deposition in Gansu Province, China, 1986-2000**, Geomorphology, ,57,41-51.
- Viana, M., Kuhlbusch, TAJ., Querol, X., 2008, **Source Apportionment of Particulate Matter in Europe: A Review of Methods and Results**, Aerosol Science, 39, PP. 827–849.
- Wang, Y.Q., Zhang, X.Y., Arimoto, R., Cao, J.J. & Shen, ZX., 2005, **Characteristics of Carbonate Content and Carbon and Oxygen Isotopic Composition of Northern China Soil and Dust Aerosol and its Application to Tracing Dust Sources**, Atmospheric Environment; 39(14): 26, PP. 31-42.
- Wellenius, G.A., Schwartz, J., Mittleman, MA. ., 2006, Particulate air pollution and hospital admissions for congestive heart failure in seven United States cities, Am J Cardiol; 1(97), PP 388-404.
- Xingkui, Xu., Levy Jason, k., Zhahohui, Lin., Hong, chen., 2006, **An Investigation of Sand-Dust Storm Vents and Land Surface Characteristic in China Using NOAA NDVI Data**, Global and Planetary Change 52, PP. 182-196.
- Xuan, J., Gualiang, L. & Du, K., 2000, **Dust Emission Inventory in Northern China**, Atmospheric Environment, 34, 4565-70.