

تحلیل اثر سرعت باد و رطوبت خاک بر تغییرات دید افقی ناشی از رخداد گردوغبار در مناطق خشک (منطقه مطالعاتی: جنوب شرق ایران)

زهره ابراهیمی خوسفی^۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۶/۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۳/۲

چکیده

وقوع طوفان‌های شن و گردوغبار و پیامدهای نامطلوب زیست‌محیطی آن‌ها، از جدی‌ترین مسائل زیست‌محیطی دهه اخیر محسوب می‌شوند. مطالعه حاضر با هدف بررسی ارتباط بین تغییرات روزانه دید افقی از پدیده گردوغبار با سرعت باد و رطوبت خاک بازیابی شده از تصاویر ماهواره SMAP برای مناطق جنوب شرقی ایران انجام شد. بدین منظور پس از اعمال پیش‌پردازش‌های لازم و بازیابی مقادیر رطوبت خاک، ارتباط بین متغیرهای وابسته و مستقل، با استفاده از روش رگرسیون ریدج مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در سال‌های اخیر، شیب تغییرات روزانه میدان دید افقی ناشی از طوفان‌های شن و گردوغبار در جنوب شرقی ایران، کاهش یافته است. نتایج حاصل از تحلیل رگرسیون ریدج نشان داد که در ایستگاه‌های زاهدان و زابل، ارتباط معکوس قوی و معنی‌داری بین سرعت بادهای سطحی و میدان دید افقی ($R = -0.52$) و ارتباط مستقیم معنی‌داری بین رطوبت خاک و میدان دید افقی وجود داشته است ($R = 0.44$). در ایرانشهر، ارتباط بین سرعت وزش بادهای سطحی و میدان دید افقی، مثبت و معنی‌دار بود، در حالی که ارتباط معنی‌داری بین نوسانات رطوبتی خاک و میدان دید افقی مشاهده نشد. میزان تغییرات دید افقی بر اثر افزایش سرعت بادهای فرساینده در این منطقه، ۳۵ درصد برآورد شد.

واژه‌های کلیدی: بیابان‌زایی، طوفان گردوغبار، رگرسیون ریدج، SMAP.

۱. استادیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت؛ Zohreebrahimi2018@ujiroft.ac.ir

مقدمه

دید افقی یکی از پارامترهای مهم هواشناسی است که در هنگام بروز پدیده‌های مختلف اعم از مه و طوفان‌های شن و گردوغبار توسط دیده‌بانان ایستگاه‌های سینوپتیک ثبت می‌شود (هرمیدا^۱ و همکاران، ۲۰۱۸). افزایش انتشار ذرات معلق ناشی از پدیده فرسایش بادی، یکی از عوامل اصلی آلودگی هوا و کاهش میدان دید افقی در یک منطقه است که می‌تواند منجر به اختلال در عملکرد سیستم‌های حمل و نقل زمینی و هوایی، افزایش خطر تصادفات جاده‌ای، اختلال در عملکرد سیستم‌های فتوولکائیک شود (جاود^۲ و همکاران، ۲۰۱۷؛ فرانسیسکس^۳ و همکاران، ۲۰۱۷) و از همه مهم‌تر سلامت انسان‌ها و اکوسیستم‌های منطقه تحت تأثیر این پدیده را به خطر اندازد (بل^۴ و همکاران، ۲۰۱۶). افزایش یا کاهش تولید ذرات معلق به ویژگی‌های مهم اقلیمی و زمینی حاکم بر یک منطقه بستگی دارد. مهم‌ترین عامل اقلیمی مؤثر بر میزان فرسایش خاک، سرعت باد است، به طوری که اگر سرعت وزش بادهای سطحی در یک منطقه فراتر از سرعت آستانه فرسایش بادی شود، حساسیت‌پذیری خاک به فرسایش و تولید گردوغبار افزایش می‌یابد (یو^۵ و همکاران، ۲۰۱۶). در مقابل، مهم‌ترین عامل کنترل‌کننده فرسایش خاک، محتوای رطوبتی خاک است که با افزایش مقدار آن، میزان چسبندگی ذرات خاک افزایش می‌یابد و در نتیجه، منجر به کاهش حساسیت‌پذیری خاک در برابر فرسایش بادی، کاهش انتشار ذرات گردوغبار و به عبارت دیگر افزایش کیفیت هوا و میدان دید افقی می‌شود (قربودج^۶ و همکاران، ۲۰۱۵). فرسایش بادی خاک به‌عنوان یکی از فرایندهای ژئومورفیک، عامل تغییر شکل چشم‌اندازها در مناطق خشک و نیمه‌خشک به شمار می‌آید. با افزایش جمعیت و افزایش کاربری زمین و به دنبال آن، افزایش حساسیت مناطق برداشت، این فرایند تسریع می‌شود و در نتیجه برداشت لایه سطحی خاک، حاصلخیزی و

ظرفیت نگهداری خاک کاهش می‌یابد (کروسون^۷، ۲۰۱۶). یکی از اهداف مهم دولت‌ها در کشورهای دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک، افزایش کارایی مدیریت اراضی به‌وسیله کاهش فرسایش بادی است که این امر به‌علت نقش مهم اقلیم در فرسایش بادی دشوار می‌شود. به‌طور کلی، درک عوامل مؤثر بر وقوع پدیده فرسایش بادی و میزان انتشار ذرات گردوغبار برای بسیاری از زمینه‌های مطالعاتی اعم از ژئومورفولوژی، بیورژوشیمی، هواشناسی و حتی علوم پزشکی، اهمیت فراوانی دارد و به همین دلیل مطالعات متعددی در سرتاسر دنیا در زمینه‌های مختلف و مرتبط با گردوغبار با رویکردهای مختلف انجام شده است.

برای مثال، پاراجولی^۸ و همکاران (۲۰۱۲) اثر سرعت باد و رطوبت خاک استخراج‌شده از تصاویر AOT را بر میزان دقت مدل‌های پیش‌بینی‌کننده میزان انتشار ذرات گردوغبار با استفاده از مدل‌های شبکه عصبی مورد بررسی قرار دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که با افزودن این دو پارامتر به مدل پایه، دقت پیش‌بینی مدل به میزان قابل توجهی افزایش یافت، به طوری که ضریب تبیین مدل پیش‌بینی‌کننده میزان انتشار ذرات گردوغبار از ۰/۷ به ۰/۷۶ افزایش یافت؛ درحالی‌که مقدار RMSE از ۰/۱۱۳ به ۰/۰۹ کاهش یافت. تأثیر نوسانات رطوبت خاک و سرعت باد بر عمق اپتیکی آئروسول‌ها به‌عنوان معیار بیانگر میزان انتشار گردوغبار در خاورمیانه برای بازه زمانی (۲۰۰۳-۲۰۱۳) توسط کیم و چوی^۹ (۲۰۱۵) مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از یافته‌های این تحقیق، کاهش متوسط مقدار AOD با افزایش میزان رطوبت خاک در سرعت‌های ۳ تا ۱۳ متر بر ثانیه بوده است. تأثیر بادهای قوی‌تر بر میزان انتشار ذرات گردوغبار در مقادیر بیشتر رطوبت خاک نیز یکی دیگر از نتایج این بررسی بوده است. قربودج و همکاران (۲۰۱۵) اثر رطوبت و بافت خاک را بر غلظت ذرات گردوغبار (PM10) در خاورمیانه و آفریقای شمالی با استفاده از روش تحلیل حساسیت بررسی کردند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که کاهش غلظت این ذرات تابعی از افزایش درصد

1. Hermida
2. Javed
3. Francis
4. Bell
5. Yu
6. Gherboudj

7. Crosson

8. Parajuli

10. Kim & Choi

رویدادهای گردوغبار، با دو پارامتر سرعت باد و رطوبت خاک در جنوب شرقی ایران انجام نشده است. نظر به اینکه اندازه‌گیری رطوبت سطح خاک در شرایط آزمایشگاهی و یا طی عملیات زمینی، به‌ویژه در مقیاس‌های وسیع، هزینه‌بر و زمان‌بر است، برای غلبه بر این مشکل، استفاده از داده‌های محدوده مایکروویو غیرفعال نظیر تصاویر ماهواره SMAP می‌تواند کارآمد باشد؛ زیرا این تصاویر از پارامترهای مربوط به خصوصیات پوشش گیاهی و ناهمواری سطح زمین برای بازیابی مقادیر رطوبت خاک استفاده می‌کنند (ویگنرون^۲ و همکاران، ۲۰۱۷) و به‌دلیل استفاده از سخت‌افزارهای فیلترینگ، کمتر تحت‌تأثیر پارازیت قرار می‌گیرند؛ لذا استفاده از آن‌ها می‌تواند باعث صرفه‌جویی در هزینه و زمان نمونه‌برداری شود (ابراهیمی و همکاران، ۲۰۱۸).

بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که اغلب مطالعات انجام‌شده در راستای تحلیل ارتباط بین پارامترهای اقلیمی با معیارهای بیانگر سطح فعالیت رخدادها در سه مقیاس زمانی ماهانه، فصلی و یا سالانه بوده است؛ درحالی‌که ارتباط بین این متغیرها دقیقاً در لحظه وقوع رویدادهای گردوغبار مورد بررسی قرار نگرفته است. بر این اساس، تحقیق حاضر با هدف تعیین نقش مهم‌ترین پارامتر اقلیمی مؤثر بر فرسایش خاک (سرعت باد) و مهم‌ترین پارامتر زمینی کنترل‌کننده آن (رطوبت خاک) بر تغییرات روزانه دید افقی مناطق جنوب شرق ایران، با به‌کارگیری تصاویر ماهواره SMAP انجام شده است.

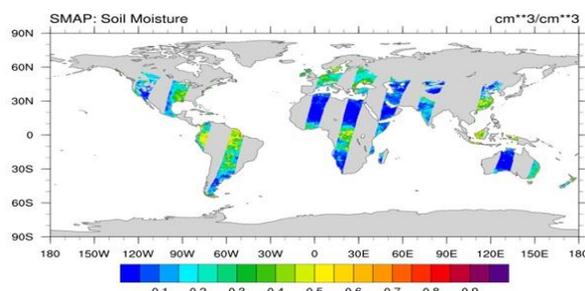
منطقه مطالعاتی

منطقه مورد بررسی تحقیق حاضر، استان سیستان در جنوب شرقی ایران است. مساحت این منطقه حدود ۱۸۰۷۲۶ کیلومتر مربع است و در محدوده جغرافیایی ۲۱° ۲۶' تا ۱۷° ۳۲' عرض شمالی و ۶۰° ۰۰' تا ۴۵° ۳۰' طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). بر اساس آمار طولانی‌مدت مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در این منطقه (شکل ۱)، متوسط بارندگی، دمای هوا و حداکثر سرعت بادها در منطقه مطالعاتی به ترتیب ۷۷ میلی‌متر، ۱۹ درجه سانتی‌گراد و ۲۲/۵ متر بر ثانیه

رطوبت و رس ذرات خاک در این منطقه بوده است. به‌تازگی، آن^۱ و همکاران (۲۰۱۸) شدت و فراوانی طوفان‌های گردوغبار و شن در آسیای شرقی را در ارتباط با تغییرات بارندگی، سرعت وزش قوی‌ترین بادها، شاخص پوشش گیاهی اختلاف نرمال‌شده (NDVI)، دمای نزدیک سطح خاک و رطوبت سطح خاک برای یک دوره زمانی ۱۵ ساله (۲۰۱۶-۲۰۰۷) مورد بررسی قرار داده‌اند. آن‌ها دریافتند که تغییر میزان بارش، رطوبت سطح خاک و همچنین نوسانات دمای نزدیک و زیر سطح خاک شرایط خوبی را برای توسعه پوشش گیاهی در این منطقه فراهم آورده و در نهایت منجر به کاهش میزان انتشار ذرات گردوغبار شده است. محمودآبادی و رجب‌پور (۲۰۱۷) نقش مقادیر مختلف رطوبت اولیه و سرعت باد بر شدت فرسایش بادی و نیز سرعت آستانه فرسایش بادی در دو خاک با کلاس بافت متفاوت را با استفاده از تونل باد در شرایط کنترل‌شده آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نیز نقش مؤثر رطوبت خاک را در کاهش شدت فرسایش بادی این خاک‌ها نشان داد. شدت فرسایش در دو خاک لوم شنی و شنی بسته به میزان رطوبت اولیه و سرعت باد به ترتیب بین ۰/۱۵ تا ۰/۷۶۸ و ۰/۸۶۰ تا ۱۴/۰۸۸ گرم بر متر مربع در دقیقه متغیر بود؛ دلیل این تفاوت در شدت فرسایش به تفاوت در توزیع اندازه ذرات اولیه و ثانویه مرتبط دانسته شده است. ابراهیمی خوسفی و همکاران (۲۰۱۷) با به‌کارگیری تصاویر ماهواره لندست و با استفاده از توابع شبکه عصبی نشان دادند که یکی از علل افزایش غبارآلودگی هوا در نواحی مرکزی ایران، به‌ویژه در شهرستان ورزنه، کاهش سطح مرطوب تالاب گاوخونی بوده است. اثر خشکیدگی تالاب جازموریان و تأثیر آن بر کاهش دید افقی شهرهای مجاور آن در جنوب شرقی ایران با به‌کارگیری فناوری سنجش از دور نیز در مطالعه راشکی و همکاران (۲۰۱۷) به اثبات رسیده است.

بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که تاکنون مطالعه‌ای درباره بررسی ارتباط بین تغییر میدان دید افقی، به‌عنوان فاکتور بیانگر غلظت ذرات معلق و شدت

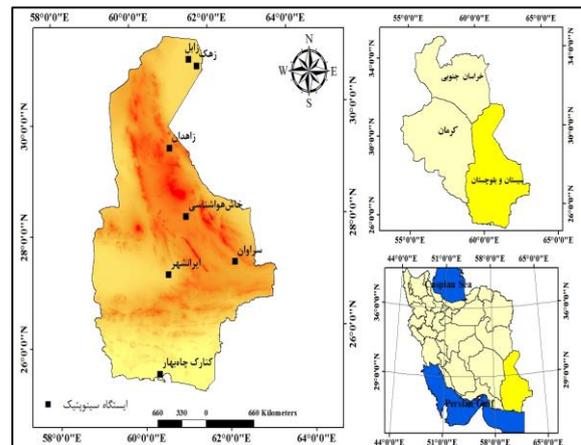
کوهستانی و مناطق پوشیده از آب) است (اونیل^۱ و همکاران، ۲۰۱۵). تصاویر ماهواره SMAP دارای قدرت تفکیک مکانی ۳ کیلومتر (فعال)، ۳۶ کیلومتر (غیرفعال) و ۹ کیلومتر (ترکیبی) و قدرت تفکیک زمانی ۳ روزه هستند که در ساعات ۶ صبح و ۶ بعدازظهر از زمین تصویربرداری می‌کند. با توجه به اینکه زمان وقوع اکثر رخداد های گردوغبار در منطقه مطالعاتی، بعدازظهر است، در نهایت تصاویر SMAP مربوط به ساعت ۶ بعدازظهر مربوط به دوره آماری ۲۰۱۵-۲۰۱۷ از سایت ناسا اخذ شد. نظر به اینکه ماهواره SMAP دارای قدرت تفکیک مکانی ۳ روزه است و از طرفی هدف اصلی تحقیق حاضر بررسی نقش سرعت باد و رطوبت خاک در روز وقوع رخداد گردوغبار های با منشأ محلی است، پس از تهیه بانک اطلاعاتی مربوط به داده های رطوبت سطح خاک، سرعت باد و میدان دید افقی، روزهای غبارآلودی که علاوه بر دارا بودن اطلاعات دید افقی و سرعت باد روزانه، مقادیر رطوبت خاک آن‌ها نیز توسط ماهواره SMAP از زمین برداشت شده بود، برای پردازش های بعدی استخراج شدند. شایان ذکر است که در نهایت از بین ۷ ایستگاه سینوپتیک واقع در استان سیستان و بلوچستان، ۳ ایستگاه زابل، زاهدان و ایرانشهر به دلیل کامل تر بودن داده های مورد نیاز، برای بررسی روابط بین سرعت باد و رطوبت خاک با میدان دید افقی انتخاب شدند. نمونه تصویر اخذ شده سطح سه ماهواره SMAP مورد استفاده در این پژوهش در شکل (۲) نشان داده شده است.



شکل (۲): نمونه تصویر اخذ شده سطح سه ماهواره SMAP مورد استفاده در این پژوهش

Figure (2): Sample image taken from SMAP-level3 used in this study

است. میانگین سرعت باد غالب در این منطقه در وزش های شدید به بیش از ۸۰ کیلومتر بر ساعت نیز می‌رسد.



شکل (۱): موقعیت منطقه مطالعاتی در ایران و پراکنش ایستگاه های

سینوپتیک در منطقه مطالعاتی

Figure (1): Location of the study area in Iran and the distribution of synoptic stations in the study area

داده‌ها و روش تحقیق

داده‌های هواشناسی

به منظور انجام تحقیق حاضر، ابتدا داده‌های ساعتی مربوط به رخداد های توأم با گردوغبار محلی همراه با میدان دید افقی و سرعت باد در ساعت وقوع این رخدادها برای ایستگاه های سینوپتیک واقع در جنوب شرقی ایران از سازمان هواشناسی کشور اخذ شد. در این رویدادها، منشأ شن یا گردوغبار برخاسته از زمین، در نزدیکی ایستگاه های سینوپتیک و یا در محل ایستگاه سینوپتیک است که طی ۸ با دیده بانی در روز با فواصل زمانی ۳ ساعته توسط دیده بانان این ایستگاه‌ها ثبت می‌شود.

داده‌های ماهواره‌ای

به منظور استخراج مقادیر رطوبت سطح خاک از داده‌های مربوط به ماهواره SMAP استفاده شد. این ماهواره در سال ۲۰۱۵ به فضا پرتاب شده است و با بهره‌گیری هم‌زمان از دو سنجنده فعال و غیرفعال مایکروویو در محدوده باند L، قابلیت اندازه‌گیری رطوبت تا ۵ سانتی متری سطح خاک را دارد. هدف از پرتاب این ماهواره، اندازه‌گیری رطوبت خاک سطحی تا عمق ۵ سانتی متر با خطای میانگین مجذور مربعات کمتر از ۰/۰۴ سانتی متر مکعب بر سانتی متر مکعب روی مناطقی با محتوای آب گیاه کمتر از 5 kg/m^2 (به جز مناطق یخ‌زده،

پیش پردازش داده‌های ماهواره‌ای

پیش‌پردازش داده‌های ماهواره SMAP بر اساس سند پایه تئوریک الگوریتم این ماهواره و با در نظر گرفتن دمای درخشندگی بین ۰ تا ۳۲۰ درجه، میزان یخ‌زدگی پیکسل برابر با صفر و دمای سطح خاک بیشتر از ۲۷۳ درجه کلوین انجام شد.

بازیابی ارزش‌های رطوبتی خاک

به‌منظور بازیابی رطوبت خاک با استفاده از داده‌های دمای روشنایی در قطب‌ها و زوایای مختلف، از یک تابع هزینه استفاده می‌شود. تابع هزینه کاهش فاصله بین مقدار دمای روشنایی مشاهداتی توسط سنجنده و دمای روشنایی شبیه‌سازی شده با استفاده از مدل تائو-امگا و با استفاده از رابطه (۱) محاسبه می‌شود (ویگنرون و همکاران، ۲۰۰۷).

$$CF = \frac{\sum (TB_M - TB_S)^2}{\sigma(TB_S)^2} - \sum \frac{\sum (P_i^{ini} - P_i^*)^2}{\sigma(P_i)^2} \quad (1)$$

TB_M دمای روشنایی مشاهداتی سنجنده، TB_S دمای روشنایی شبیه‌سازی شده توسط مدل تائو-امگا، $\sigma(TB_S)$ انحراف معیار دمای روشنایی شبیه‌سازی شده، P_i^{ini} مقدار اولیه پارامترهای مجهول، P_i^* مقدار محاسبه شده برای پارامترهای مجهول و $\sigma(P_i)$ انحراف معیار پارامترهای مجهول است. به‌منظور حل معادله انتقال تابشی بازیابی رطوبت خاک، همه پارامترهای ورودی به معادله مشابه آنچه در حال حاضر برای تولید محصولات ماهواره‌ای توسط تیم SMAP استفاده می‌شود، تنظیم می‌گردد. در گام بعد، بررسی روابط بین متغیرهای مستقل (رطوبت خاک و سرعت باد) و وابسته (میدان دید افقی) و تعیین اهمیت نسبی هر یک از متغیرهای مستقل بر اساس آنچه در ادامه توضیح داده شده است، انجام شد.

بررسی روابط بین متغیرها

برای بررسی روابط بین متغیرهای مستقل و وابسته، روش‌های متعددی نظیر رگرسیون حداقل مربعات، رگرسیون چندمتغیره و ریح وجود دارد (دارلینگتون و هایش، ۲۰۱۶؛ اورهان^۱ و همکاران، ۲۰۱۶). یکی از پیش‌فرض‌های لازم برای انتخاب مدل رگرسیونی مناسب، میزان اثر هم‌خطی بین متغیرهای مستقل

ورودی به مدل پیش‌بینی کننده است (تامپسون^۳ و همکاران، ۲۰۱۷). بررسی این پیش‌فرض زمانی انجام می‌شود که تعداد متغیرهای مستقل مؤثر بر متغیر وابسته، دو یا بیش از دو متغیر مستقل باشد؛ زیرا وجود وابستگی خطی نزدیک بین متغیرهای مستقل، مسئله‌ای جدی است که منجر به افزایش کاذب ضریب همبستگی مدل‌های خروجی می‌شود و این می‌تواند به‌رغم افزایش ضریب همبستگی، دقت مدل‌های خروجی را کاهش دهد. یکی از روش‌های بررسی اثر هم‌خطی نزدیک بین داده‌ها، روش ضریب تورم واریانس^۴ (VIF) است که بر اساس رابطه (۲) محاسبه می‌شود (سالمرن گوئز^۵ و همکاران، ۲۰۱۶).

$$VIF_i = (1 - R_i^2)^{-1} \quad (2)$$

حد آستانه تعریف شده برای این معیار، ۱۰ است. چنانچه بین متغیرهای مستقل، اثر هم‌خطی وجود نداشته باشد ($VIF \leq 1$)، نتایج پیش‌بینی مدل بر اساس‌های رگرسیون‌های چندمتغیره خطی و ریح، بسیار نزدیک به هم خواهد بود و بنابراین انتخاب هر یک از این روش‌ها، نتایج مشابهی را ارائه می‌دهد (جعفری و همکاران، ۲۰۱۷). اما اگر ضریب تورم واریانس بزرگ‌تر از ۱۰ باشد، به معنای وجود اثر هم‌خطی بین متغیرهاست. هرچه مقدار VIF مربوط به یک متغیر بیشتر باشد، اثر هم‌خطی ایجاد شده توسط آن متغیر مستقل بیشتر خواهد بود و باید اثر هم‌خطی ایجاد شده توسط آن متغیر، حذف یا تعدیل شود؛ بنابراین در این حالت یا باید آن متغیر از لیست داده‌های مستقل ورودی به مدل حذف شود یا از روش تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی و روش رگرسیون ریح استفاده شود که در بسیاری از مطالعات، استفاده از روش رگرسیون ریح به‌منظور حذف این اثر، استفاده شده است (داود^۶ و همکاران، ۲۰۱۷؛ شی^۷ و همکاران، ۲۰۱۶).

در این تحقیق، به‌رغم ضعیف بودن اثر هم‌خطی بین رطوبت خاک و سرعت باد در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی (شکل ۳)، به‌منظور حذف این اثر احتمالی، از روش رگرسیون ریح استفاده شد که برای اولین بار توسط هورل و کنارد^۸ در

3. Thompson
4. Variance Inflation Factor
5. Salmerón Gómez
6. Daoud
7. Shi
8. Hoerl & Kennard

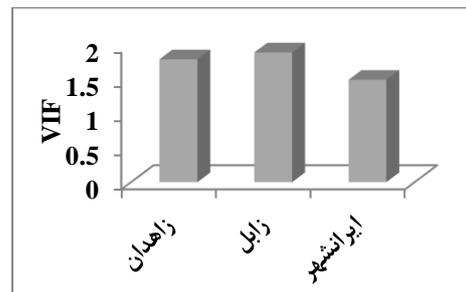
1. Darlington
2. Orhan

سپس به منظور مقایسه نسبی اهمیت هریک از عوامل مؤثر بر تغییرات میدان دید افقی، لگاریتم داده‌ها محاسبه و وارد مدل رگرسیون ریج شدند. تمامی محاسبات مذکور با استفاده از نرم‌افزار Stata 13 انجام شد.

نتایج

نتایج حاصل از تحلیل مکانی و زمانی رخدادهای گردوغبار در سه ایستگاه سینوپتیک واقع در جنوب شرقی ایران به ترتیب در شکل‌های (۴) و (۵) نشان داده شده است. همان گونه که قبلاً توضیح داده شد، به دلیل قدرت تفکیک مکانی ۳ روزه ماهواره SMAP، دسترسی به اطلاعات روزانه رطوبت خاک برای تمامی روزهای غبارآلود وجود ندارد؛ به همین دلیل در نهایت از بین این روزها، از اطلاعات مربوط به روزهایی استفاده شد که داده‌های هر سه متغیر مورد بررسی (میدان دید افقی، سرعت باد و رطوبت خاک) را دارا بودند. تعداد روزهای استخراج شده برای ایستگاه‌های زاہدان و ایرانشهر به ترتیب ۹۴، ۵۶ و ۲۱ روز بود. نمودارهای سری زمانی مربوط به تغییرات دید افقی، رطوبت خاک و سرعت وزش بادهای سطحی برای هریک از ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی در بازه زمانی (۲۰۱۵-۲۰۱۷) در شکل (۶) نشان داده شده است. در نهایت ضرایب تأثیر هر یک از متغیرهای مستقل مورد بررسی در این مطالعه، روی تغییرات دید افقی بر اساس تحلیل رگرسیون ریج در جدول (۱) ارائه شده است.

سال ۱۹۷۰ مطرح شده است و با استفاده از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.



شکل (۳): مقادیر متوسط ضریب ضریب تورم واریانس در

ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی

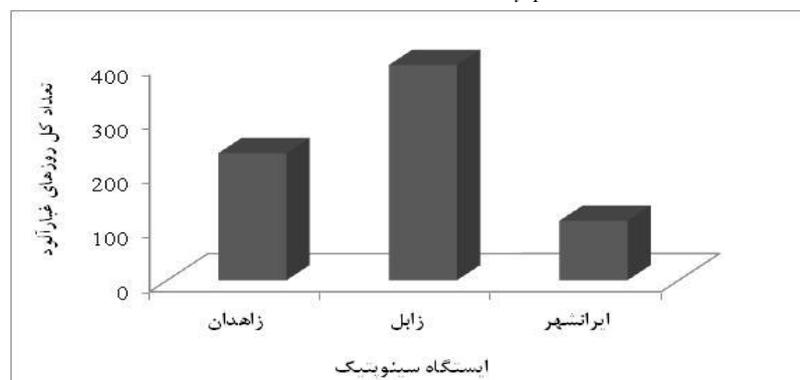
Figure (3): The mean values of inflation coefficient of variance in synoptic stations under investigation

$$\beta^*(k) = (X'X + kI)^{-1} X'Y \quad (3)$$

در این رابطه، I ماتریسی است به ابعاد $P \times P$ ، B^*k برآوردکننده تیغه‌ای یا همان ضرایب رگرسیون ریج و k ها مقادیر بهینه‌گر ضرایب رگرسیون ریج هستند تا اثر هم‌خطی توأم را در صورت وجود از بین ببرند. به‌طور کلی، برای هر مسئله یک مقدار k بهینه وجود دارد که ساده‌ترین روش یافتن آن، حل معادله مذکور به‌ازای مقادیر بین ۰ تا ۱ است تا زمانی که برآوردهای نسبتاً پایداری برای پارامتر B^*k به دست آید. نحوه استانداردسازی داده‌ها در رگرسیون ریج نیز با استفاده از روابط زیر انجام شد:

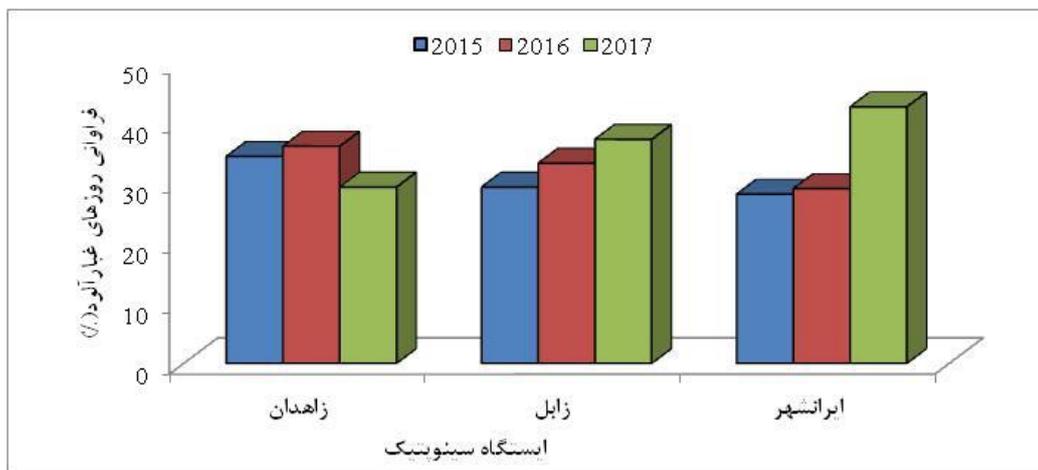
$$Z_{ij} = \frac{X_{ij} - \bar{X}_j}{\sqrt{S_{jj}}} \quad (4)$$

$$S_{jj} = \sum_{i=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 \quad (5)$$



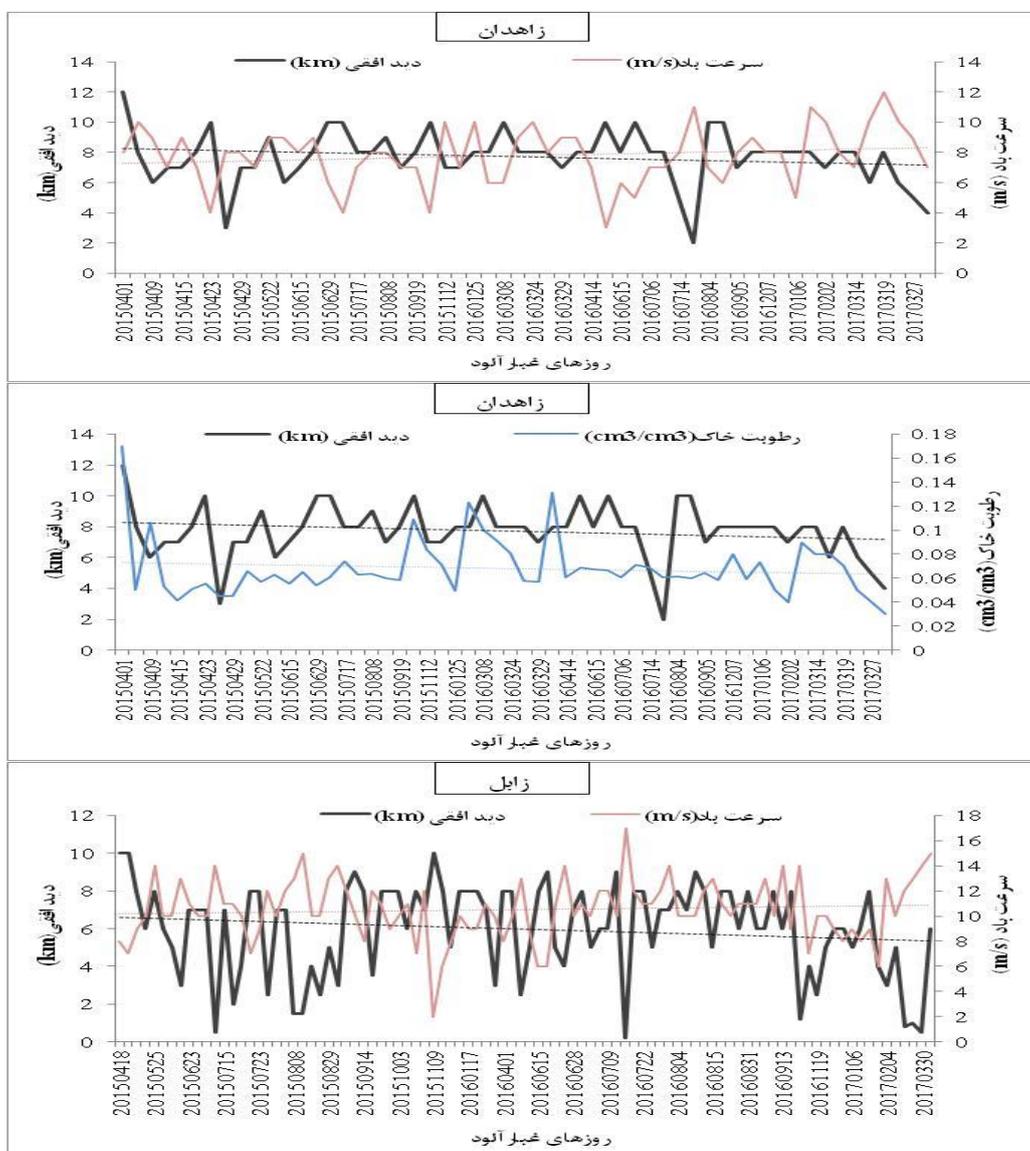
شکل (۴): تعداد کل روزهای غبارآلود در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی در بازه زمانی (۲۰۱۷-۲۰۱۵)

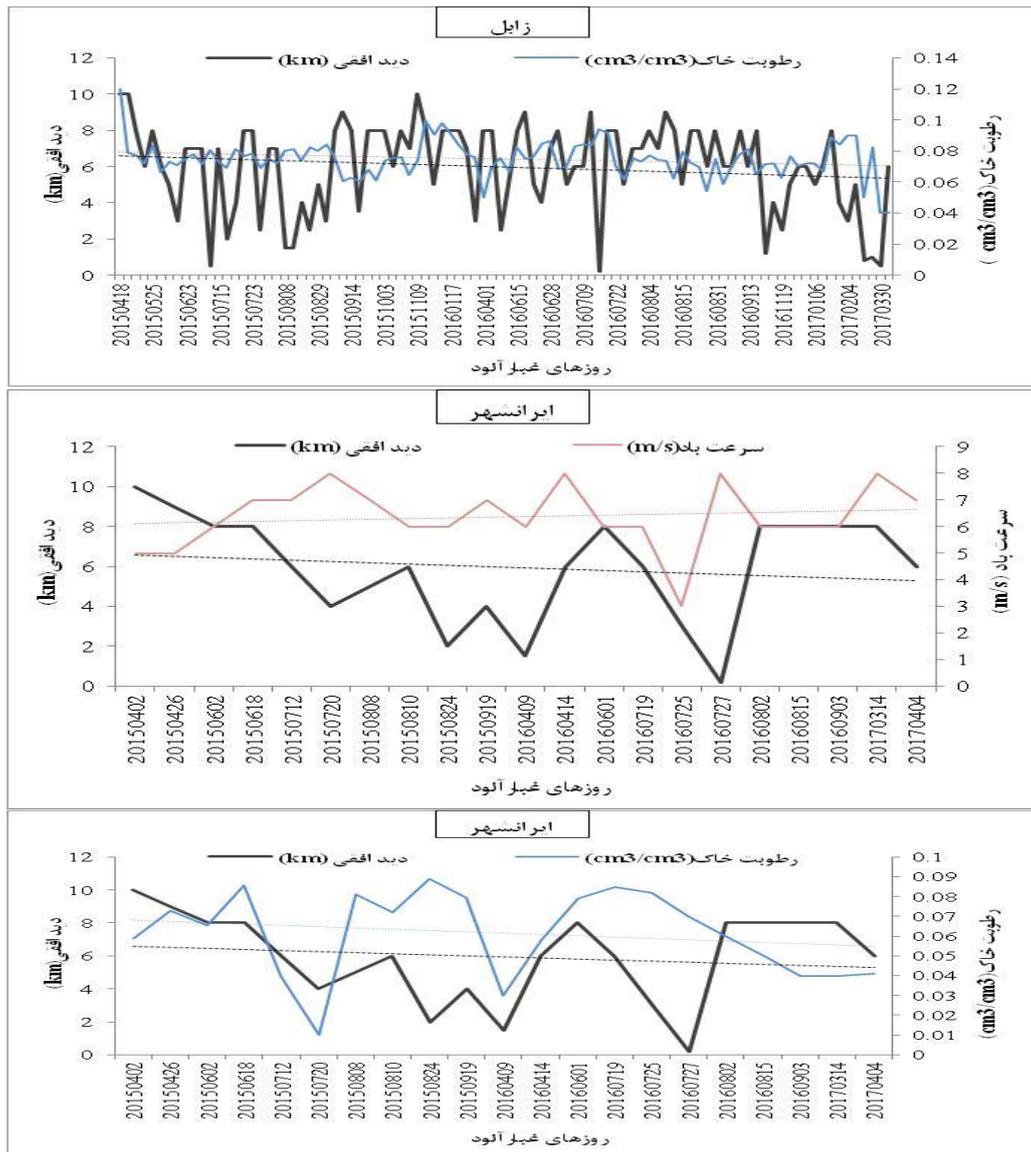
Figure (4): The total number of dusty days at synoptic stations during the period (2015-2017)



شکل (۵): درصد فراوانی روزهای غبارآلود در ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی در بازه زمانی (۲۰۱۵-۲۰۱۷)

Figure (5): The percentage of days of dusty days at synoptic stations examined during the period (2015-2017)





شکل (۶): نمودارهای سری زمانی مربوط به مقادیر دید افقی در روزهای غبارآلود ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی

Figure (6): Time Series graphs for Horizontal Visibility Values in Dusty Days of Synoptic Stations

جدول (۱): نتایج حاصل از برقراری ارتباط بین رطوبت و سرعت باد با میدان دید افقی بر اساس روش رگرسیون ریدج

Table (1): The obtained results from the relationship between moisture and wind speed with horizontal visibility based on the ridge regression

	پارامترها	ضرایب رگرسیون ریدج	خطای استاندارد	t	$p > t $	R
زاهدان	سرعت باد	-۰/۳۷	۰/۱۲	-۲/۹۵	۰/۰۰۵	۰/۵۲
	رطوبت خاک	۰/۲۷	۰/۱۱	۲/۴۱	۰/۰۲	
	ثابت	۳/۵	۰/۳	۹/۳۴	۰/۰۰۰	
زابل	سرعت باد	-۱/۰۳	۰/۲۴	-۴/۲۹	۰/۰۰۰	۰/۴۴
	رطوبت خاک	۰/۱۳	۰/۵	۰/۲۷	۰/۰۸	
	ثابت	۳/۶	۱/۴۴	۲/۵۴	۰/۰۱۳	
ایران شهر	سرعت باد	-۰/۵۷	۰/۳۱	-۱/۸۸	۰/۰۴	۰/۳۵
	رطوبت خاک	۰/۰۷	۰/۴۳	۰/۱۸	۰/۹۸	
	ثابت	۲/۴	۱/۸۵	۱/۳	۰/۲۱	

بحث و نتیجه گیری

تحلیل مکانی وقایع گردوغبار با منشأ محلی حاکی از آن است که بیشترین روزهای توأم با گردوغبار در جنوب شرقی ایران در بازه زمانی (۲۰۱۵-۲۰۱۷)، متعلق به ایستگاه‌های زابل (۳۹۸ روز) و زاهدان (۲۳۵ روز) و کمترین روزهای توأم با گردوغبار متعلق به ایستگاه سینوپتیک ایرانشهر (۱۱۰ روز) بوده است (شکل ۴ و ۵). توزیع زمانی این روزها در ایستگاه‌های مورد بررسی یکسان نبوده است. تعداد روزهای غبارآلود سال ۲۰۱۶ در ایستگاه زاهدان بیشتر از سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۱۷ بوده است؛ این در حالی است که حداکثر تعداد روزهای توأم با گردوغبار در ایستگاه‌های زابل و ایرانشهر در سال ۲۰۱۷ رخ داده است. چنین تغییرات زمانی و مکانی در وقوع رخداد‌های گردوغبار به دلیل تغییر در شرایط اقلیمی یا زمینی و یا اثر متقابل این پارامترهاست که در تحقیق حاضر، نقش مهم‌ترین عامل اقلیمی مؤثر بر میزان فرساینده‌گی خاک (سرعت باد) و مهم‌ترین عامل مؤثر بر کاهش فرسایش خاک (رطوبت خاک) با تغییرات دید افقی (به‌عنوان برآیند حاصل از تأثیر این عوامل) در هریک از مناطق مورد بررسی به‌طور جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است.

همان‌گونه که در شکل (۶) نشان داده شده، شیب تغییرات میدان دید افقی در هر سه ایستگاه مورد بررسی، کاهش و دامنه تغییرات آن در ایستگاه زاهدان، بین ۲ تا ۱۰ کیلومتر و در ایستگاه‌های زابل و ایرانشهر بین ۰/۲-۱۰ کیلومتر متغیر بوده است. شیب تغییرات رطوبت خاک نیز در این مدت، کاهش و دامنه تغییرات آن برای ایستگاه‌های زاهدان، زابل و ایرانشهر به ترتیب بین ۰/۲-۰/۴ و ۰/۱-۰/۴ و ۰/۱-۰/۴ متغیر بوده است. در مقابل، شیب تغییرات سرعت باد در هر سه ایستگاه، افزایش و دامنه تغییرات سرعت باد در ایستگاه‌های مذکور به ترتیب بین ۱۲-۳، ۱۷-۲ و ۸۳ متر بر ثانیه بوده است. بررسی دقیق‌تر شکل (۶) نشان می‌دهد که در بازه زمانی مورد بررسی، فراوانی قوی‌ترین بادهای (بادهای با سرعت بیش از سرعت آستانه فرسایش بادی: ۶/۵ متر بر ثانیه) در ایستگاه زابل بیشتر از دو ایستگاه دیگر بوده است.

این بادهای توان بالایی برای ایجاد فرسایش بادی و برداشت ذرات خاک دارند و توانسته‌اند موجبات کاهش میدان دید افقی را در روز وقوع رخداد گردوغبار در این منطقه از کشور فراهم کنند. در جدیدترین مطالعه انجام‌شده در زمینه بررسی شیب تغییرات تعداد روزهای غبارآلود در مناطق خشک ایران، شیب افزایشی تعداد روزهای غبارآلود که به‌نوعی بیانگر افزایش غبارآلودگی هوا و شیب کاهش میدان دید افقی است، به اثبات رسیده است (مدرس و صادقی، ۲۰۱۸: ۱۰۱) که می‌تواند مؤید نتایج این مرحله از تحقیق حاضر باشد، اما در این مطالعات به بررسی علل شیب این تغییرات پرداخته نشده است. تغییر سرعت وزش بادهای محتوای رطوبتی خاک می‌تواند از جمله عوامل تبیین‌کننده کاهش تغییرات میدان دید افقی در این مناطق باشد که اهمیت نسبی این عوامل و میزان معنادار بودن و یا نبودن آن‌ها در هریک از مناطق مورد بررسی بر اساس روش رگرسیون ریح در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۱).

نتایج مندرج در جدول (۱) حاکی از آن است که در همه ایستگاه‌های سینوپتیک مورد بررسی، رابطه بین سرعت بادهای سطحی و میدان دید افقی روزانه، معکوس بوده است. این بدان معناست که در این ایستگاه‌ها، افزایش سرعت بادهای سطحی منجر به کاهش میدان دید افقی و افزایش غبارآلودگی ناشی از رویدادهای گردوغبار در سال‌های اخیر شده است. ارتباط مستقیم بین تغییرات میدان دید افقی روزانه در اثر تغییر رطوبت خاک روزانه نیز در همه ایستگاه‌ها مشاهده می‌شود که به‌منزله افزایش دید افقی در اثر افزایش رطوبت خاک در مناطق مورد بررسی است. بر اساس ضرایب به‌دست‌آمده از تحلیل رگرسیون ریح، در ایستگاه زاهدان اهمیت نسبی سرعت باد در تغییر میدان دید افقی بیشتر از اثر رطوبت خاک بوده است ($0/12 > |0/37|$). ارتباط بین این دو پارامتر در سطح اطمینان (۹۹ درصد) معنی‌دار شده است؛ درحالی‌که ارتباط بین مقادیر رطوبت خاک و میدان دید افقی در سطح اطمینان (۹۵ درصد) معنی‌دار شده است. این نتایج بیانگر آن است که تغییر سرعت وزش بادهای این منطقه به همراه تغییر

رطوبت سطح خاک منجر به افزایش برداشت ذرات خاک، افزایش آلودگی هوا و کاهش میدان دید افقی در این منطقه شده‌اند. میزان تأثیر این دو پارامتر بر تغییرات دید افقی بر اساس ضریب همبستگی به دست آمده از برقراری روابط رگرسیون ریب، ۵۲ درصد تخمین زده شده است (جدول ۱). ضریب همبستگی نشان می‌دهد که چه مقدار از تغییرات متغیر وابسته متأثر از تغییر متغیرهای مستقل بوده است. بر این اساس می‌توان اذعان داشت که ۵۲ درصد تغییرات میدان دید افقی در زاهدان در اثر تغییر سرعت وزش بادهای سطحی و رطوبت خاک این منطقه بوده است. در مطالعات گذشته، وزش بادهای مداوم، شدید و طوفانی در منطقه سیستان به عنوان یکی از ویژگی‌های بارز این منطقه شناخته شده است (راشکی، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۷) که با وزش مداوم خود به ویژه در فصول بهار و تابستان منجر به افزایش تراکم گرد و خاک و افزایش آلاینده‌های معدنی در محیط سطحی و نیواری دشت سیستان و در نهایت، منجر به کاهش دید افقی می‌شود (خسروی، ۲۰۱۱). لذا نتایج این بررسی‌ها می‌تواند مؤید نتایج این مرحله از تحقیق حاضر باشد. بررسی شیب تغییرات دید افقی در ایستگاه زابل نیز بیانگر شیب افزایشی غبار آلودگی هوا در این شهر طی بازه زمانی (۲۰۱۵-۲۰۱۷) است. اگرچه در این ایستگاه نیز همانند ایستگاه زاهدان، اثر تغییر سرعت وزش بادهای سطحی بر نمایی بیانگر شدت نسبی رخدادهای گردوغبار (میدان دید افقی) به میزان قابل توجهی بیشتر از اثر تغییر محتوای رطوبتی خاک بوده است ($|r| > 0.13$)، ارتباط بین رطوبت خاک و میدان دید افقی، در سطح اطمینان پایین تری معنی دار شده است ($t < 2; pvalue > 0.10$). به نظر می‌رسد یکی از دلایل آن، نوسانات کمتر رطوبت خاک این منطقه (۰/۰۴-۰/۱) نسبت به زاهدان (۰/۰۴-۰/۲) طی بازه زمانی مورد مطالعه باشد (شکل ۶). مقایسه ضرایب رگرسیونی مربوط به پارامتر سرعت باد دو ایستگاه زابل و زاهدان، نشان‌دهنده نقش مؤثرتر این پارامتر مهم اقلیمی در تضعیف ساختمان خاک و افزایش انتشار ذرات گردوغبار بر فراز شهر زابل است. در این منطقه، ۴۴ درصد تغییرات دید افقی متأثر از تغییر سرعت باد بوده است (جدول ۱). شهرستان زابل در

فاصله ۱۵ کیلومتری تالاب‌های هامون واقع شده است و از طرفی بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد که تحت تأثیر خشکسالی‌های پی‌درپی، تغییرات اقلیمی و دخالت‌های انسانی به میزان قابل توجهی از سطح مرطوب این تالاب‌ها کاسته شده است (میری و همکاران، ۲۰۱۰؛ راشکی و همکاران، ۲۰۱۳؛ کاسکائوتیس^۱ و همکاران، ۲۰۱۵) تا آنجا که در حال حاضر به یکی از کانون‌های بحرانی تولید گردوغبار در جنوب شرق ایران تبدیل شده‌اند. به عبارت دیگر با کم شدن تدریجی محتوای رطوبتی این تالاب‌ها، حساسیت بستر خشکیده تالاب‌ها به فرسایش بادی افزایش یافته و زمینه برای تشدید پدیده فرسایش بادی و برداشت آسان تر ذرات خاک در این منطقه از کشور فراهم شده است. همان گونه که پیش از این اشاره شد، فراوانی بادهای فرساینده قوی در زابل بیشتر از زاهدان بوده است و با توجه به حساسیت بیشتر نواحی نزدیک به این ایستگاه می‌توان گفت که برآیند اثر این عوامل منجر به تخریب کیفیت هوای مناطق نزدیک به این اکوسیستم‌های ارزشمند و کاهش میدان دید افقی شده است. نتایج به دست آمده از تحلیل رگرسیون ریب برای ایستگاه ایرانشهر نیز اهمیت زیاد و معنی دار تغییرات سرعت باد نسبت به تغییرات رطوبت خاک را در این منطقه از کشور نشان داد ($|r| > 0.07$ ، $pvalue < 0.05$)؛ اما به رغم وجود ارتباط مستقیم بین رطوبت خاک و میدان دید افقی، این ارتباط در سطوح آماری تعریف شده (۱٪، ۵٪ و ۱۰٪) معنی دار نشان داده نشده است؛ بنابراین از نظر آماری نمی‌توان به اثر تغییرات این پارامتر بر تغییرات میدان دید افقی در روزهای وقوع پدیده گردوغبار استناد کرد. بر اساس ضریب همبستگی حاصل از مدل رگرسیون ریب ($R=0.35$)، تنها ۳۵٪ تغییرات کاهشی دید افقی تحت تأثیر افزایش سرعت بادهای سطحی در این منطقه بوده است. عدم وجود ارتباط معنی دار بین مقادیر رطوبت سطح خاک و دید افقی در منطقه ایرانشهر به معنای آن است که ارتباط خطی متغیرهای مورد بررسی نتوانسته است تغییرات دید افقی را در این منطقه به خوبی نشان دهد. به نظر می‌رسد اثر غیرخطی یا غیرمستقیم این عوامل و یا تغییر

اکوسیستم، توانایی خودسازماندهی اراضی این منطقه از کشور کاهش یافته و در نهایت منجر به گسترش اکوسیستم بیابان، افزایش وقوع پدیده گردوغبار و کاهش میدان دید افقی در منطقه مطالعاتی شده است. در واقع این نتایج اشاره به تشدید پدیده فرسایش بادی و برداشت راحت تر ذرات خاک در اثر وزش بادهای سطحی در این منطقه از کشور ایران دارد. لذا پیش‌بینی می‌شود چنانچه اقدامات مدیریتی و اجرایی مناسب به منظور مهار و یا کنترل این پدیده مخرب زیست‌محیطی انجام نشود، سطح پایداری اکوسیستم‌های واقع در این مناطق به شدت کاهش یابد و حتی ممکن است این اکوسیستم‌ها در روندی برگشت‌ناپذیر و یک‌طرفه قرار بگیرند و در نتیجه خسارات اقتصادی و اجتماعی آن بیشتر از گذشته، اکوسیستم‌ها و مردم این مناطق را تحت تأثیر قرار دهد.

سایر عوامل اقلیمی و زمینی مانند تغییرات دما، فشار هوا، رطوبت نسبی و تغییرات سطح آب زیرزمینی در روز وقوع رخداد گردوغبار و یا اثر تجمعی این عوامل در روزهای قبل از وقوع رخداد، شدت و یا ضعف رویدادهای گردوغبار و تغییرات دید افقی را در این مناطق تحت تأثیر قرار داده است که پیشنهاد می‌شود در تحقیقات آتی بدان پرداخته شود.

به‌طور کلی، یافته‌های این پژوهش نقش مؤثر افزایش سرعت باد و کاهش محتوای رطوبت سطح خاک را در کاهش میدان دید افقی و تشدید غبارآلودگی هوا در جنوب شرقی ایران و به‌ویژه برای ایستگاه‌های زاهدان و زابل به اثبات رساند. این نتایج حاکی از تشدید پدیده بیابانزایی ناشی از وقوع پدیده مخرب فرسایش بادی در جنوب شرقی ایران است. به عبارت دیگر، در اثر اعمال فشار فراتر از حد توان

منابع

- An, L., Che, H., Xue, M., Zhang, T., Wang, H., Wang, Y., Zhou, C., Zhao, H., Gui, K., Zheng, Y., 2018. Temporal and spatial variations in sand and dust storm events in East Asia from 2007 to 2016: Relationships with surface conditions and climate change. *Science of The Total Environment* 633, 452-462.
- Bell, J.E., Herring, S.C., Jantarasami, L., Adrianopoli, C., Benedict, K., Conlon, K., Escobar, V., Hess, J., Luvall, J., Garcia-Pando, C., 2016. Ch. 4: Impacts of extreme events on human health. *US Global Change Research Program*, Washington, DC.
- Crosson, P.R., 2016. *Productivity effects of cropland erosion in the United States*. Routledge.
- Daoud, J.I., 2017. Multicollinearity and regression analysis, *Journal of Physics: Conference Series*. IOP Publishing, p. 012009.
- Darlington R.B, Hayes A.F. 2016. *Regression analysis and linear models: Concepts, applications, and implementation*. Guilford Publications.
- Ebrahimi, M., Alavipanah, S.K., Hamzeh, S., Amiraslani, F., Samany, N.N, Wigneron, J-P., 2018. Exploiting the synergy between SMAP and SMOS to improve brightness temperature simulations and soil moisture retrievals in arid regions. *Journal of Hydrology* 557, 740-752.
- Ebrahimi Khusfi, Z., Vali, A.A., Khosroshahi, M., Ghazavi, R., 2017. Investigation of the role of bed dried Gavkhoni wetland on the production of the internal dust using remote sensing and duststorms (Case study :Isfahan province). *Iranian Range and Desert Researches*, 24(1): 152-164.
- Francis, D.B.K., Flamant, C., Chaboureaud, J.-P., Banks, J., Cuesta, J., Brindley, H., Oolman, L., 2017. Dust emission and transport over Iraq associated with the summer Shamal winds. *Aeolian Research* 24, 15-31.
- Gherboudj, I., Beegum, S.N., Marticorena, B., Ghedira, H., 2015. Dust emission parameterization scheme over the MENA region: Sensitivity analysis to soil moisture and soil texture. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 120, 10, 915-910, 938.
- Hermida, L., Merino, A., Sánchez, J., Fernández-González, S., García-Ortega, E., López, L., 2018. Characterization of synoptic patterns causing dust outbreaks that affect the Arabian Peninsula. *Atmospheric Research* 199, 29-39.
- Hoerl, A.E., Kennard, R.W., 1970. Ridge regression: Biased estimation for nonorthogonal problems. *Technometrics* 12, 55-67.
- Jafari, M., Dinpashouh, Y., Asadi, E., 2017. Evaluation of application of multivariate ridge regression model in estimation of evaporation

- from plates. *Journal of Water and Sustainable Development*, 2(2):67-76.
13. Javed, W., Wubulikasimu, Y., Figgis, B., Guo, B., 2017. Characterization of dust accumulated on photovoltaic panels in Doha, Qatar. *Solar Energy* 142, 123-135.
 14. Kaskaoutis, D., Rashki A, Houssos E, Mofidi A, Goto D, Bartzokas, A., Francois, P., Legrand, M., 2015. Meteorological aspects associated with dust storms in the Sistan region, southeastern Iran. *Climate Dynamics* 45, 407-424.
 15. Khosravi, M., 2011. Vertical distribution of storm dust in the Middle East using the NAAPS model Case: Sistan Iran, Fourth International Congress of Geographers of the Islamic World, Zahedan, 1-22.
 16. Kim, H., Choi, M., 2015. Impact of soil moisture on dust outbreaks in East Asia: Using satellite and assimilation data. *Geophysical Research Letters* 42, 2789-2796.
 17. Kim, H., Zohaib, M., Cho, E., Kerr, Y.H., Choi, M., 2017. Development and assessment of the sand dust prediction model by utilizing microwave-based satellite soil moisture and reanalysis datasets in East Asian desert areas. *Advances in Meteorology* 2017.
 18. Leys, J., 2002. Erosion by wind, effects on soil quality and productivity. *Encyclopaedia of Soil Science* (Ed. R. Lal.) pp, 499-502.
 19. Mahmoudabadi, M., Rajabpour, H., 2017. Investigating the Effect of primary soil moisture on wind erosion severity using laboratory wind tunnel, *Journal of Water and Soil Conservation Studies* 24(2):183-167.
 20. Miri, A., Moghaddamnia, A., Pahlavanravi, A., Panjehkeh, N., 2010. Dust storm frequency after the 1999 drought in the Sistan region, Iran. *Climate Research* 41, 83-90.
 21. Modarres, R., Sadeghi, S., 2018. Spatial and temporal trends of dust storms across desert regions of Iran. *Natural Hazards* 90, 101-114.
 22. O'Neill, P., Njoku, E., Jackson, T., Chan, S., Bindlish, R., 2015. SMAP algorithm theoretical basis document: Level 2 & 3 soil moisture (passive) data products. Jet Propulsion Lab., California Inst. Technol., Pasadena, CA, USA, JPL D-66480.
 23. Orhan, H., Eyduran, E., Tatliyer, A., Saygici, H., 2016. Prediction of egg weight from egg quality characteristics via ridge regression and regression tree methods. *Revista Brasileira de Zootecnia* 45, 380-385.
 24. Parajuli, S.P., Gherboudj, I., Ghedira, H., 2012. Evaluation of the effect of soil moisture and wind speed on dust emission using aeronet, sevir, soil moisture and wind speed data, 2012 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. IEEE, pp. 1329-1332.
 25. Rashki, A., Arjmand, M., Kaskaoutis, D., 2017. Assessment of dust activity and dust-plume pathways over Jazmurian Basin, southeast Iran. *Aeolian Research* 24, 145-160.
 26. Rashki, A., Kaskaoutis, D., Goudie, A., Kahn, R., 2013. Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: the case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran. *Science of the Total Environment* 463, 552-564.
 27. Salmerón Gómez, R., García Pérez, J., López Martín, M.D.M., García, C.G., 2016. Collinearity diagnostic applied in ridge estimation through the variance inflation factor. *Journal of Applied Statistics* 43, 1831-1849.
 28. Shi Q, Abdel-Aty M, Lee J. 2016. A Bayesian ridge regression analysis of congestion's impact on urban expressway safety. *Accident Analysis & Prevention* 88, 124-137.
 29. Thompson, C.G., Kim, R.S., Aloe, A.M., Becker, B.J., 2017. Extracting the variance inflation factor and other multicollinearity diagnostics from typical regression results. *Basic and Applied Social Psychology* 39, 81-90.
 30. Wigneron, J-P., Jackson, T., O'Neill, P., De Lannoy, G., De Rosnay, P., Walker, J., Ferrazzoli, P., Mironov, V., Bircher, S., Grant, J., 2017. Modelling the passive microwave signature from land surfaces: A review of recent results and application to the L-band SMOS & SMAP soil moisture retrieval algorithms. *Remote Sensing of Environment* 192, 238-262.
 31. Wigneron, J-P., Kerr, Y., Waldteufel, P., Saleh, K., Escorihuela, M-J., Richaume, P., Ferrazzoli, P., De Rosnay, P., Gurney, R., Calvet, J-C, .2007. L-band microwave emission of the biosphere (L-MEB) model: Description and calibration against experimental data sets over crop fields. *Remote Sensing of Environment* 107, 639-655.
 32. Yu, Y., Notaro, M., Kalashnikova, O.V., Garay, M.J., 2016. Climatology of summer Shamal wind in the Middle East. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 121, 289-305.

Analysis of the Effect of Wind Speed and Soil Moisture on Horizontal Visibility Variations Caused by Dust Event in Arid Regions (Study Region: Southeast of Iran)

Ebrahimikhusfi Zohre¹

Received: 23/05/2019

Accepted: 26/08/2019

Extended Abstract

Introduction: Increasing or reducing the production of suspended particles depends on the important climatic and terrestrial characteristics of a region. One of the most important climatic factors affecting soil erosion is wind speed, so if the surface winds speed in a region exceeds the threshold of erosion, soil susceptibility to erosion and dust production increases. In contrast, the most important factor controlling soil erosion is soil moisture content, which increase soil stickiness and decrease soil susceptibility to wind erosion. The various researches have been conducted on the relationship between climate parameters and Horizontal Visibility (HV), while the relationship between these variables has not been explored precisely at the occurrence time of dust events. For this reason, this study attempts to investigate this relationship on a daily scale. Given that the measurement of soil moisture in laboratory conditions or during land operations, especially in large scale is time and cost-consuming; to overcome this problem, we were used SMAP satellite images in the present study for a 2-year period (April 2015-April 2017).

Material and Methods: The aim of this study was to investigate the correlation between horizontal visibility with wind speed and soil moisture content retrieved from SMAP satellite imagery for southeastern regions of Iran. For this purpose, hourly data related to horizontal visibility and wind speed were obtained from the Iranian Meteorological Organization. Soil moisture content was retrieved from the SMAP satellite data. Since the SMAP satellite has 3-day spatial resolution and the main purpose of the present study is to examine the role of wind speed and soil moisture on the day of the occurrence of local-source dust; Therefore, in the next step, the dusty days that have the information related to Horizontal visibility, wind speed, and soil moisture content, were extracted. The pre-processing of SMAP satellite data was done based on the theoretical basis algorithm. Then, soil moisture content was retrieved at the site of the meteorological stations. Finally, the relationships between independent (soil moisture and wind speed) and dependent variables (HV) and as well as, the determination of the relative importance of each of the independent variables were analyzed based on ridge regression method.

Results: The results showed that in recent years, the trend of daily changes in the horizontal visibility caused by sand and dust storms in south-eastern Iran has been decreasing. The results of Ridge regression analysis indicated that there was a significant and inverse relationship between the velocity of surface winds and the horizontal visibility, as well as a significant direct relationship between soil moisture content and horizontal visibility at Zahedan and Zabol stations. The correlation coefficient of Ridge regression model for these two stations was estimated to be 0.52 and 0.44, respectively. In Iranshahr, the relationship between the velocity of surface winds and the horizontal visibility was positive and significant, while the relationship between soil moisture fluctuations and visibility was non-significant. Horizontal visibility change due to the increase in wind speeds in this region was estimated at 35%.

Discussion and Conclusion: The findings of this study proved the effective role of increasing wind speed and decreasing moisture content of soil surface in decreasing horizontal visibility and intensifying air pollution in southeastern Iran, especially in Zahedan and Zabol cities. The results indicate an exacerbation of the phenomenon of desertification due to the occurrence of a destructive phenomenon of wind erosion in southeastern Iran. In other words, the ability of self-organizing the land of this area from the Iran has decreased and led to the expansion of the ecosystem of the desert, the increase of the occurrence of dust phenomena and reduction of HV in the study area. In fact, these results point to the drop in the threshold speed of wind erosion and the easier lifting of soil particles by surface winds. Therefore, if proper management and enforcement measures are not taken to control this destructive environmental phenomenon, the sustainability level of ecosystems in these areas is expected to decline sharply, and even these ecosystems may be irreversible. As a result, its economic and social damages will affect the ecosystems and people of these areas more than in the past.

Keywords: Desertification, Dust Storm, Ridge Regression, SMAP.

1. Assistant Professor, Department of Nature Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft; Zohreebrahimi2018@ujiroft.ac.ir
DOI: 10.22052/deej.2018.7.24.61