



سنگش از دور

GIS ایران



سال نهم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۶
Vol.9, No. 2, Summer 2017

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

۷۹-۹۸

پایش و ارزیابی اثرات گردوغبار بر تغییرات بارش در جنوب غرب ایران با استفاده از سنجش از دور و GIS

طاهره انصافی مقدم^{۱*}، فرامرز خوش اخلاق^۲، علی اکبر شمسی پور^۳، رضا اخوان^۴، طاهر صفرزاد^۵، فرشاد امیراصلانی^۵

۱. دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۲. دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۳. دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

۴. استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشکده علوم انسانی و اجتماعی، دانشگاه مازندران

۵. استادیار گروه سنجش از دور و GIS دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۳/۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۶/۲۹

چکیده

گردوغبار اتمسفر و تعاملات آن با بارش؛ در آب‌وهوای مناطقی که سرزمین‌های خشک و نیمه‌خشک وسیعی در آن وجود دارد؛ تأثیرات زیادی بر جای می‌گذارد. ابهامات بسیاری در مورد علت تفاوت مقدار بارندگی از محلی به محل دیگر و از زمانی به زمان دیگر وجود دارد؛ به طوری که حتی با گسترش دانش و فناوری، هنوز علت این نوسان‌ها کاملاً مشخص نشده است. امروزه به‌منظور پایش تأثیر رخدادهای گردوغبار بر تغییرات بارندگی، از تصاویر ماهواره‌ای استفاده گسترده‌ای می‌شود. هدف از اجرای این تحقیق بررسی روند تغییرات بارندگی، با در نظر گرفتن فراوانی رخدادهای گردوغبار، با استفاده از روش‌های آماری خوشه‌بندی، سنجش از دور و بهینه‌بندی در محیط GIS، در منطقه جنوب غرب ایران است. این پژوهش تلاشی است برای بازسازی ارتباط بین فراوانی روزهای همراه با گردوغبار و تغییرات مقادیر بارندگی در ایستگاه‌های منطقه جنوب غرب ایران. در این تحقیق، مجموعه داده‌های روزانه رخدادهای گردوغبار و مقادیر بارندگی روزانه ۴۵ ایستگاه هواشناسی طی سی سال گذشته (۲۰۱۶-۱۹۸۶) تحلیل شد. دو دسته اطلاعات شامل مجموعه داده‌های روزانه، ماهانه، فصلی و سالیانه وقایع گردوغبار و بارش و محصول ضخامت طیف نوری AOD ذرات گردوغبار سنجنده MODIS پردازش شدند. در مورد دسته نخست، اطلاعات با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای از بسین وقایع گردوغبار، موارد گردوغبار همراه با بارش، در یک روز مشخص شده، پردازش و محاسبه و سپس تحلیل شد. سپس نقشه‌های بارندگی و فراوانی روزهای گردوغبار، در جنوب غرب ایران، با استفاده از روش میان‌یابی فاصله وزنی (IDW) تهیه شد. در گام بعدی، به‌منظور بازسازی و مشاهده شدت غلظت گردوغبار، خروجی محصول AOD با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS الگوریتم ترکیبی Dark Target و Deep Blue، کد ۰۶۴ در تاریخ‌های استخراج شده در محیط ArcGIS تبدیل به نقشه شد و مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که روش مورد نظر به خوبی قادر به شناسایی پدیده گردوغبار در منطقه مورد مطالعه است و می‌تواند تغییرات غلظت گردوغبار را با داده‌های زمینی مورد سنجش قرار داده و مقایسه کند. همچنین، بین پارامتر ضخامت نوری هواویزه‌ها و اطلاعات تاریخی مربوط به فراوانی رخدادهای گردوغبار در گزارش‌های سازمان هواشناسی، انطباق بسیار منطقی و روشنی وجود دارد.

کلیدواژه‌ها: تغییرات بارندگی، دید افقی، جنوب غرب ایران، رخدادهای گردوغبار، ضخامت نوری اُتروسل.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: دانشگاه تهران، دانشکده جغرافیا، گروه جغرافیای طبیعی.

۱- مقدمه

ایران روی کمربند جهانی بیابان‌زایی و فرسایش بادی قرار دارد؛ به‌گونه‌ای که در چند سال اخیر، به دلیل خشکسالی‌های متناوب در کشور، رخداد‌های گردوغبار در مناطقی که دارای شرایط مناسب برای شکل‌گیری آن بوده‌اند مشاهده شده است. با وجود آنکه رخداد‌های گردوغبار در آسیای مرکزی به‌صورت گسترده وجود دارد، این پدیده تا پیش از دهه ۱۹۲۰ مطالعه نشده بود. در حال حاضر، مطالعات متعددی در سطح جهان، در زمینه گردوغبار و آثار آن، انجام شده است. فشارهای سخت ناشی از بهره‌برداری بی‌رویه انسان، توسعه زمین‌های زراعی و تعلیف دام از یک‌سو و تغییرات اقلیمی، بروز خشکسالی‌ها و پدیده‌های نوظهوری همچون گردوغبار، از سوی دیگر، موجبات ضعف و نابودی روزافزون جنگل‌ها را فراهم کرده است (Anonymous, 2011). طوفان‌های گردوغبار پدیده‌ای جوی است که، در اغلب موارد، نتیجه بادهای آشفته محسوب می‌شود؛ از جمله جریان‌های همرفتی، و سبب بالارفت مقدار زیادی از ذرات خاک موجود در سطوح بیابانی به هوا و در نتیجه، کاهش قدرت دید به کمتر از یک کیلومتر می‌شود (Miller et al., 2008). گردوغبار ممکن است تا هزاران کیلومتر انتقال یابد و در مسیر بادهای مرطوب و خشک فرو بنشیند (O'Hara et al., 2006). «مطالعات انجام‌گرفته در این زمینه بیشتر در مناطق متأثر از گردوغبار شرق آسیا، به‌ویژه کشور چین، متمرکز است که به‌علت وسعت مناطق تحت تأثیر این پدیده از سال‌های گذشته، مطالعات وسیعی به‌منظور کنترل و مدیریت آنها انجام شده است. زیکیانگ و کوانجی^۱ (۲۰۰۷) وقایع طوفان‌های گردوغبار و ویژگی‌های سطح زمین را، با استفاده از داده‌های NDVI^۲ ماهواره NOAA، همراه با داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، مطالعه کردند. آنها ارتباط معناداری بین وقایع طوفان‌های گردوغبار و دیگر کمیت‌های اتمسفری، مانند بارندگی و دما، را نشان

دادند و ویژگی‌های پوشش سطح زمین (پوشش گیاهی، بارش برف و بافت خاک) را در رخداد طوفان‌های گردوغبار اثرگذار معرفی کردند. همچنین، دریافتند که، بارش به‌شکل جامد، تأثیر مستقیم بر این‌گونه رخدادها دارد.

زی جیانگ و همکاران^۳ (۲۰۰۳) طوفان‌های شدید گردوغبار شمال چین را در فاصله زمانی ۱۹۵۴ تا ۲۰۰۲ بررسی کردند. آنها ۲۲۳ مورد از طوفان‌های شدید را در شمال چین را در طول دوره مورد مطالعه، قرار دادند و مشخص کردند که طوفان ۱۰ تا ۱۲ آوریل ۱۹۷۹ بزرگ‌ترین طوفان ثبت‌شده بوده است (عزیزی و همکاران، ۱۳۹۱).

وانگ و همکاران^۴ (۲۰۰۶)، با بررسی فراوانی طوفان گردوغبار و ارتباط آن با تغییرات اقلیمی شمال چین، به این نتیجه رسیدند که تغییرات اقلیمی با شدت زیاد، طی یک‌هزار سال گذشته، شرایطی را پدید آورده که در نتیجه آن، فراوانی وقوع گردوغبارها افزایش چشمگیری داشته است.

ویلکرسن^۵ (۱۹۹۱) طوفان‌های گردوغبار در منطقه عراق را در سه گونه اصلی، شامل گونه جبهه‌ای، گونه همرفتی و گونه باد شمال جای داده است. او یادآور می‌شود، چه در دوره سرد و چه در دوره گرم سال، وزش باد شمال بیشترین نقش را در وقوع طوفان‌های با مقیاس منطقه‌ای دارد.

گردوغبار موجود در هوا که سبب ایجاد تغییرات نامطلوب در مشخصات فیزیکی، شیمیایی و زیستی منابع اصلی حیات، یعنی آب و هوا و خاک، می‌شود و زندگی موجودات را به خطر می‌اندازد یا فعالیت آنها را محدود می‌کند از آلاینده‌های محیط‌زیست محسوب می‌شوند (Markert, 1883).

1. Ziqiang, and Z. Quanxi
2. Normalized Differences Vegetation Index
3. Ziziang et al.
4. Wang et al.
5. Wilkerson

بارکن^۵ (۲۰۰۸)، با بررسی الگوهای سینوپتیک ۵۰۰ و ۷۰۰ هکتوپاسکالی برای دوره‌های پرگردوغبار و بدون گردوغبار در صحرای افریقا، نشان داد که در دوره‌های پرگردوغبار در فصل‌های پاییز، بهار و تابستان در اروپای غربی و شمال غرب افریقا، جریان سیکلونی قوی‌ای باعث انتقال سرمای شدید و کاهش ارتفاع ژئوپتانسیلی در منطقه می‌شود. درحالی‌که در مرکز صحرا و مرکز دریای مدیترانه، جریان آنتی‌سیکلونی غلبه دارد و با افزایش ارتفاع ژئوپتانسیلی، دمای تقریباً بالا مشاهده می‌شود.

یانگ سیانگ هان^۶ (۲۰۰۸) در مطالعه خود، با استفاده از داده‌های مشاهده‌ای طوفان‌های گردوغبار و بارش و همچنین داده‌های ماهواره‌ای کالیپسو^۷ در فلات تبت، تأثیر ذرات معلق گردوغبار هوا در تعدیل چرخه هیدرولوژیکی و توزیع ساختار عمودی طوفان گردوغبار را به کار برده است. نتایج تحقیقات وی نشان داد، طی دو دوره ۴۰ و ۲۰۰ ساله، همبستگی منفی چشمگیری بین ذرات معلق گردوغبار و بارش در مناطق سرچشمه این پدیده وجود داشته است و نقش بارش در جلوگیری از طوفان گردوغبار چه بسا بی‌اهمیت باشد؛ درحالی‌که در مناطق داخلی فلات تبت، ذرات معلق گردوغبار ممکن است نقش مهمی در جلوگیری از بارش بازی کند.

ام برو و همکاران^۸ (۱۹۹۷) همبستگی میان روند رو به کاهش بارش و افزایش گردوغبار در طول فصل بارانی در ساحل را مشاهده کرده‌اند که اکنون می‌تواند موضوعی برای تفسیری دیگر باشد.

هامیش و همکاران^۱ (۲۰۰۱) گردوغبارهای تروپوسفری استرالیا را مطالعه کرده‌اند. آنها نتیجه گرفته‌اند که گردوغبار این قاره با فرودهای سطح بالا و جبهه‌های سرد سیکلون‌های زمینی همراه است؛ به طوری که در صورت وجود شرایط یادشده، گردوغبار بیابان‌های مرکزی استرالیا ممکن است تا هزاران کیلومتر فراتر از این قاره در نیمکره جنوبی پخش شود. آنها، با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی، جابه‌جایی و تغییر مسیرهای انتقال ذرات گردوغبار را در نیمکره جنوبی بررسی کرده‌اند.

ارلووسکی و همکاران^۲ (۲۰۰۵) طوفان‌های گردوغبار در ترکمنستان را مطالعه کردند و علت اصلی گردوغبار در این کشور را توزیع شنی-رسی منطقه، وجود بیابان‌هایی با مبدأ طبیعی و انسانی، دوره‌های طولانی خشکسالی در تابستان، کمبود پوشش گیاهی و بادهای قوی اعلام کردند.

گودی و میدلتون^۳ (۲۰۰۶)، در تحقیقی که با بهره‌گیری از داده‌های سنجنده Toms انجام داده‌اند، مشخص کردند که بیشترین میزان وقوع طوفان‌های گردوغبار در خاورمیانه در طول تابستان و در محدوده ایران، پاکستان و دریای عرب مشاهده می‌شود. زمان آغاز این طوفان‌ها ماه‌های آوریل و می و بیشینه میزان وقوعشان نیز ماه‌های ژوئن و ژوئیه بیان شده است.

کیم^۴ (۲۰۰۸)، در بررسی مسیرهای انتقال منشأ گردوغبار آسیایی مؤثر در کره جنوبی، با استفاده از داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های همدید و تصاویر ماهواره‌ای MODIS، مشخص کرد ۸۷٪ از رخدادهای گردوغبار در فصل بهار رخ داده است. این پدیده پس از سال ۱۹۸۰ روند افزایشی داشته و طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲، شدت بیشتری یافته است. دلیل این موضوع تغییر الگوهای انتقال در سطوح بالایی جو بیان شده است.

1. Hamish et al.
2. Orlovsky et al.
3. Goudie & Mideleton
4. Kim
5. Barkan
6. Han Yongxiang
7. CALIPSO
8. Mbourou et al.

رویکرد واکاوی اثر گردوغبار در تغییرات بارندگی در کشور ایران، انجام نگرفته است؛ پژوهش حاضر این موضوع را کانون توجه خود قرار می‌دهد.

۲- مواد و روش‌ها

ماهیت و روش این تحقیق تحلیلی-توصیفی موردی است. در این مطالعه، تحلیل اطلاعات و داده‌های تحقیق، به روش خوشه‌ای و با استفاده از آمار توصیفی و نیز تحلیل فضایی صورت گرفته است. «در این مقاله، روش خوشه‌بندی یکی از مطلوب‌ترین مکانیسم‌ها بود که برای کار با دنیای عظیم داده‌ها به کار گرفته شد.» (رحمانی، ۱۳۹۴). در این تحقیق، از داده‌های بلندمدت ساعتی و روزانه هواشناسی ۴۵ ایستگاه سینوپتیک جنوب غرب ایران، در دوره ۲۰۱۶-۱۹۸۶)، استفاده شد.

«برای بررسی وجود یا نبود مناطق مستعد برخاستن غبار و مشخص کردن کانون‌های غبار محلی، به استفاده از تصاویر ماهواره‌ای نیاز است. به منظور سرعت بخشیدن به مراحل کار و همچنین تکمیل و اشراف بر موضوع، بررسی سال‌های قبل از بحران نیز ضروری است. از این رو، لزوم استفاده از الگوریتم‌های اندازه‌گیری AOD با قدرت تفکیک بالا و روش بازبازی ذرات معلق به کمک ابزارهای سنجش از دور، از زمان‌های گذشته، گسترش و پیشرفت داشته است. استفاده از محصول عمق اپتیکی سنجنده MODIS، به دلیل موجود بودن داده‌ها، اندکی آسان‌تر است. هدف اصلی از مدل‌های اندازه‌گیری AOD یافتن اطلاعاتی درباره منطقه محصور بین زمین و ماهواره است زیرا ذرات معلق نیز در این قسمت توزیع شده‌اند. امروزه برای تخمین ذرات معلق و خواص میکروفیزیکی اتمسفر و حل مسائل مرتبط با ذرات معلق در مقیاس جهانی و محلی، الگوریتم‌های بازبازی MODIS، از جمله

روزنفلد^۱ (۲۰۰۰) اثبات کرد فراوانی بیشتر گردوغبار لزوماً ناشی از کاهش باران نیست بلکه علت آن شمرده می‌شود. فعالیت‌های انسانی، مانند چرا و کشت، خاک سطحی را در معرض اضمحلال قرار می‌دهند و تولید گازهای گلخانه‌ای گردوغبار سطحی را افزایش می‌دهد. بنابراین، گردوغبار می‌تواند سازوکار آغاز چرخه بازخورد بیابان‌زایی را فراهم کند. چنین فرایندی ممکن است، در طول دهه‌های اخیر، به بیابان‌زایی در ساحل کمک کرده باشد.

روزنفلد و همکاران (۲۰۰۱)، با استفاده از تصاویر به‌دست‌آمده از مشاهدات ماهواره‌ای فضاپیما TRMM ناسا برفراز اقیانوس اطلس، در سواحل شمال آفریقا (طوفان مهم گردوغبار مارس ۲۰۰۰)، نشان دادند ریزش‌های جوی فقط از آن دسته از ابرهایی که بدون گردوغبار بودند صورت گرفته است و ذرات گردوغبار، به‌رغم اندازه بزرگشان، به‌صورت عامل بازدارنده انعقاد قطرات آب موجود در ابر عمل می‌کنند. آنها ادعا کردند مواقعی که میزان گردوغبار زیاد باشد، ممکن است به دلیل آتارش در جلوگیری از انعقاد یا تراکم (هسته‌های بارش)، کارایی بارش را کاهش دهد.

نیکلسون^۲ (۲۰۰۱) اظهار داشته‌اند ممکن است (گردوغبار) تشکیل ابر همرفت را، به دلیل خنک‌کنندگی تابشی و فرونشینی بیشتر، مهار کند و در نتیجه، بارش را کاهش دهد.

واشینگتن و همکاران^۳ (۲۰۰۰) نیز منطقه سیستان ایران را یکی از مراکز طوفان‌زایی معرفی می‌کنند. در این منطقه، به‌طور میانگین، سالیانه بیش از ۷۰ روز طوفان‌های گردوغبار وجود دارد.

مارشال شپرد^۴ (۲۰۰۵) افزایش بیش از حد غلظت هوامیزها در جو و کاهش مقدار بارش در ابرهای همرفتی را دلیل ایجاد جزیره گرمایی و فرایند فرابارورسازی ابرها دانسته است.

با توجه به اینکه تا کنون پژوهش مستندی، با

1. Rosenfeld
2. Nicholson
3. Washington et al.
4. Marshall Shepherd

تفکیک ۱۰ کیلومتری سنجنده بود که برای تخمین ذرات معلق هم‌زمان با روزهای غباری از پایگاه سازمان فضایی ناسا^۱ و برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳^۲ تهیه شد. خروجی این روش با تصاویر سنجنده MODIS، در تاریخ‌هایی که با استفاده از پردازش اطلاعات زمینی و با بهره‌گیری از روش خوشه‌بندی داده‌ها در مقام بدترین روزهای گردوغباری جداسازی شده بودند، مقایسه شدند؛ درنهایت، با استفاده از روش پهنه‌بندی در محیط نرم‌افزار GIS و با به‌کارگیری روش درون‌یابی IDW، نقشه پهنه‌بندی تغییرات بارش و گردوغبار، در فصل‌های گوناگون سال، از منطقه جنوب‌غرب ایران تهیه شد. نتایج نشان دادند که روش مورد نظر به‌خوبی قادر به شناسایی این پدیده در منطقه مورد مطالعه است.

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه نواحی جنوب‌غرب ایران در محدوده طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۸۶ دقیقه تا ۵۵ درجه و ۳۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۷ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۲ دقیقه شمالی قرار دارد (شکل ۱). ایستگاه‌های معرف هفت استان ایلام، لرستان، کهگیلویه و بویر احمد، چهارمحال و بختیاری، خوزستان، بوشهر و فارس، واقع در جنوب‌غرب ایران، را دربر می‌گیرند. «بیشتر گردوغبارهای مشاهده‌شده در منطقه مذکور منشأ فرامحلی دارد و در مسیر ورود چرخنده‌ها و سامانه‌های منتقل‌کننده گردوغبار به کشور است».

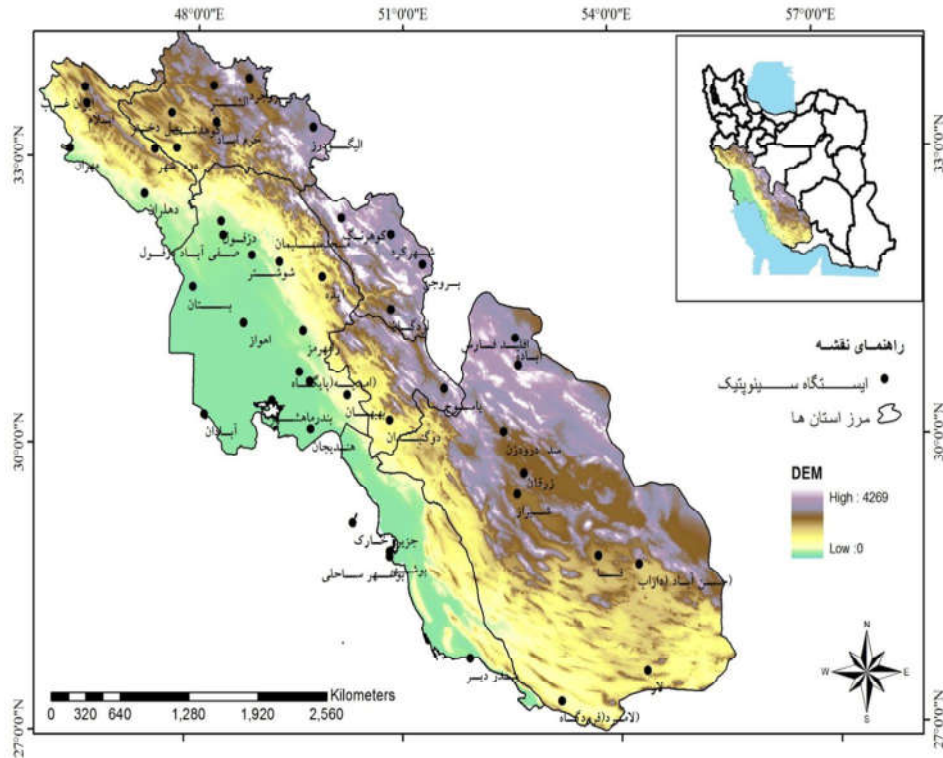
دو الگوریتم ترکیبی Blue Deep و Dark target توسعه یافته‌اند. این داده‌ها با داده‌های AOD ایستگاه‌های زمینی شبکه AERONET همبستگی خوبی دارند» (حیدری، ۱۳۹۴). به‌منظور مکان‌یابی بارزسازی، ناحیه‌بندی غلظت توده‌های گردوغبار جنوب‌غرب ایران و تشخیص مناطق مستعد به بلندشدن غبار، پس از به‌دست‌آوردن نقشه‌های عمق اپتیکی، اطلاعات زمینی شدت و فراوانی وقوع گردوغبار و بارندگی و تصاویر محصولات سنجنده مودیس، در بدترین روزهای غباری هر فصل، تهیه و بررسی شد.

به‌منظور بررسی تغییرات روزانه، ماهیانه، فصلی و سالیانه وقایع گردوغبار و بارش، دو دسته اطلاعات، شامل داده‌های ۴۵ ایستگاه هواشناسی در مقاطع هشت‌ساعته و روزانه، از سازمان هواشناسی کشور دریافت و در محیط Excel، در قالب جداول ماهیانه، پردازش و محاسبه و تحلیل شد. درمورد این دسته از اطلاعات، با استفاده از روش تحلیل خوشه‌ای از بین وقایع رخدادهای گردوغبار، موارد همراه با بارش، در روزهای دوره بلندمدت سی‌ساله، جداسازی شدند. با توجه به اینکه در ساختار و ماهیت پارامترهای تعداد روزها و فراوانی دفعات رخدادهای گردوغبار در طول روز امکان بازسازی دوره‌های ناقص وجود نداشت، دسته‌ای از متغیرها کنار گذاشته شدند؛ از جمله رطوبت نسبی و ساعات تابش آفتابی و تعداد روزهای همراه با گردوغبار، که در کل دوره آماری اندازه‌گیری و ثبت نشده بودند. برای تعیین تغییرات روزهای گردوغباری، افزون‌بر پارامتر میزان قدرت دید زیر ۲۰۰۰ متر، از کدهای هواشناسی شماره ۰۶، ۰۷، ۳۰ تا ۳۵ نیز استفاده شد. کدهای مربوط به رخدادهای گردوغبار از داده‌ها استخراج شد و دید افقی به‌منزله یک متغیر معرفی شد.

دسته دوم شامل داده‌های تصاویر ماهواره‌ای MODIS عمق اپتیکی با دو الگوریتم ترکیبی محصول Deep Blue AOD و Dark Target، کد ۰۶۴ با قدرت

1. National Aeronautics and Space Administration (NASA)

۲. از آنجاکه تصاویر MODIS از سال ۲۰۰۰ به بعد موجود است، از محصول Deep Blue AOD و Dark Target سنجنده MODIS، شامل ضخامت بازتاب طیفی پدیده گردوغبار موجود در منطقه، طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ استفاده شد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

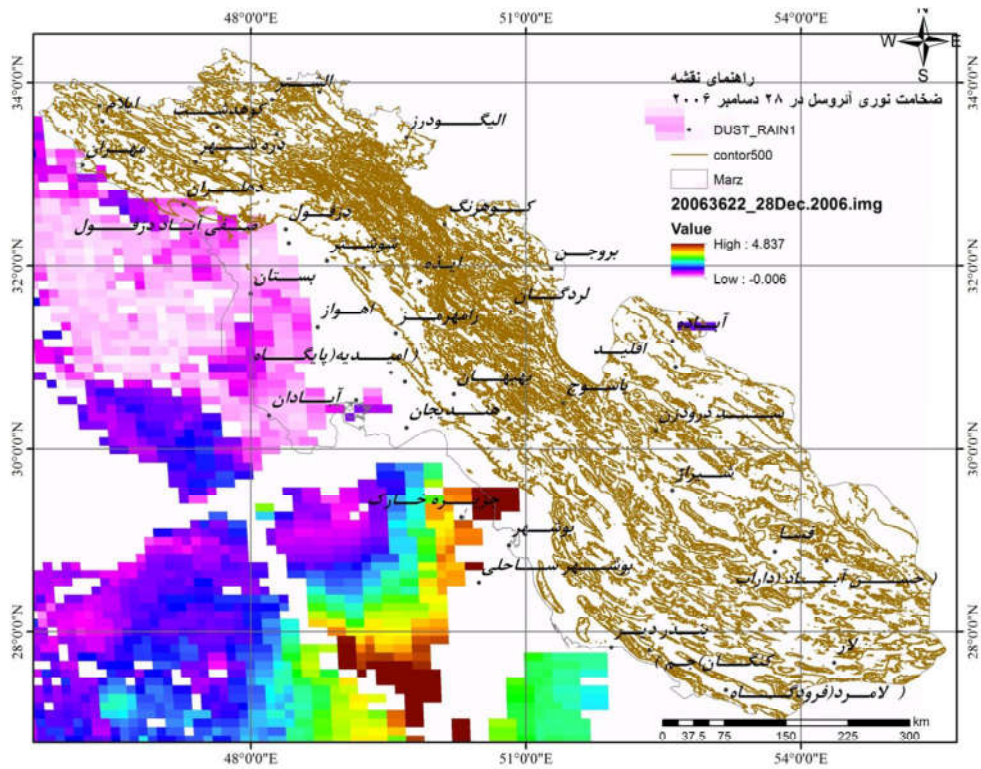
۳- نتایج

۳-۱- تحلیل نتایج کیفی داده‌های ضخامت نوری هواویزه‌های حاصل از سنجنده MODIS، به منظور کانون‌یابی ذرات معلق در جنوب غرب ایران، با استفاده از AOD بازیابی شده

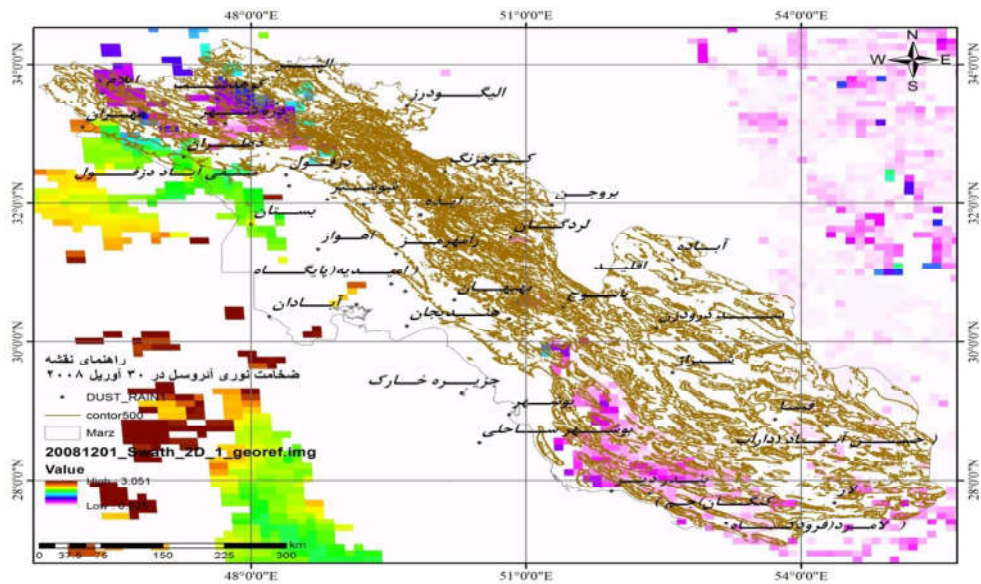
اگرچه «استخراج اطلاعات کمی درباره هواویزه‌ها از داده‌های سنجنده MODIS نیازمند الگوریتم‌ها و محاسبات پیچیده‌ای است، در شرایط فعلی، سازمان ناسا پردازش‌های لازم روی تصاویر را انجام داده و نتایج را برای استفاده کاربران در اینترنت قرار می‌دهد» (قربانی سالخورد و همکاران، ۱۳۸۹). در این زمینه، داده‌های ساعتی روزانه و ماهیانه رخدادهای تعداد روزهای همراه با گردوغبار و میزان بارش، در ایستگاه‌های سینوپتیک، طی دوره آماری مشترک سی ساله‌ای از بایگانی سازمان هواشناسی دریافت و با استفاده از روش‌های آماری مناسب، تحلیل شد.

«با دراختیارداشتن داده‌های ماهواره‌ای و با کمک فراوانی وقوع و تعداد روزهای همراه با گردوغبار (داده‌های زمینی) و نقشه ارتفاع منطقه، ارتباط میان توپوگرافی منطقه و میزان ذرات معلق از طریق جلوه‌های تصویری نمایان شد. ضخامت نوری هواویزه‌ها، به صورت روزانه و با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس و در ابعاد 10×10 کیلومترمربع، به دست آمد». اشکال زیر مربوط به تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS محصول AOD از رخدادهای گردوخاک، در تاریخ‌های مشخص شده، در منطقه جنوب غرب ایران است. با استفاده از تصاویر ضخامت نوری در نقشه‌های زیر، گردوغبار براساس میزان وسعت و غلظت به دو طبقه شدید و ضعیف تقسیم‌بندی شده است.

طاهره انصافی مقدم و همکاران



شکل ۲. ضخامت نوری گردوغبار در تصویر AOD مادیس: ۲۸ دسامبر ۲۰۰۶

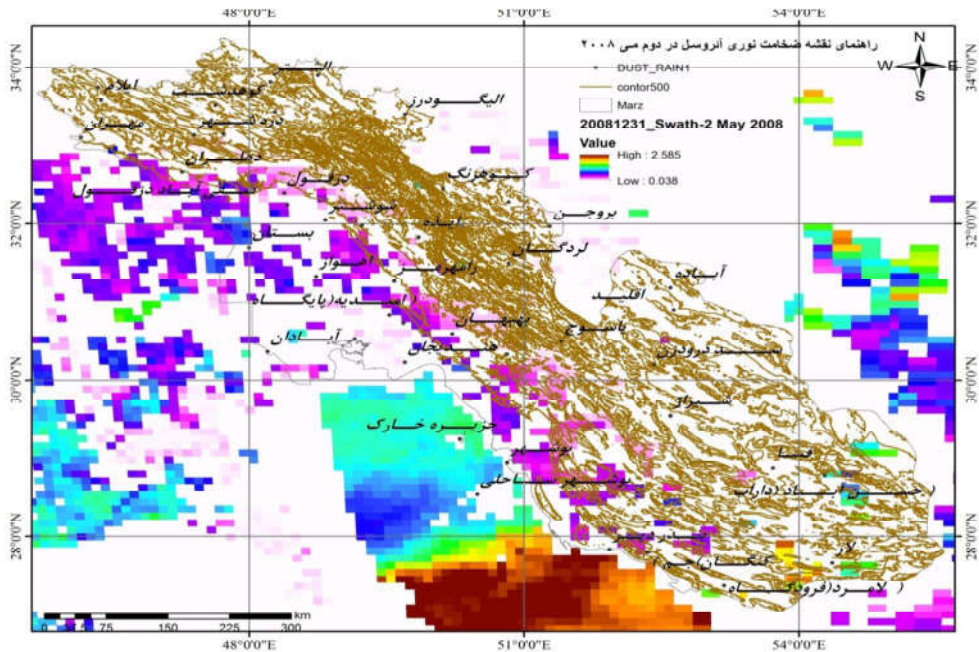


شکل ۳. ضخامت نوری گردوغبار در تصویر AOD مادیس، ۳۰ آوریل ۲۰۰۸

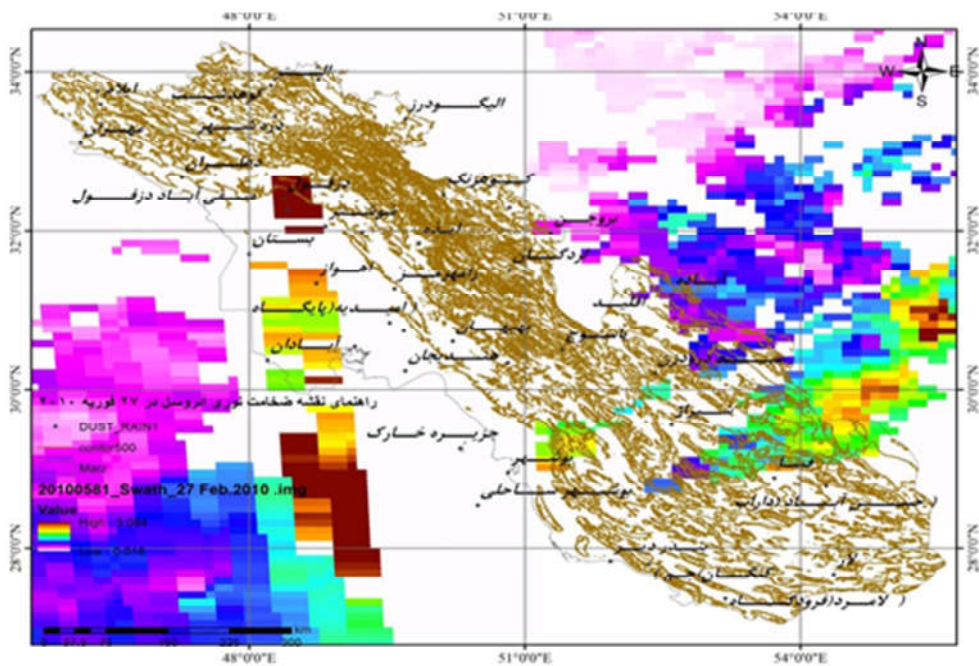
ضخامت نوری گردوغبار در تصویر AOD، در تاریخ ۳۰ آوریل ۲۰۰۸، در شکل ۴ نمایان شده است. بالاترین تمرکز ذرات گردوغبار در این تاریخ در ایستگاه‌های ایلام، مهران، کوه‌دشت و دره‌دشت به چشم می‌خورد.

ضخامت نوری گردوغبار در تصویر AOD مادیس، که به تاریخ ۲۸ دسامبر ۲۰۰۶ اختصاص دارد، در شکل ۳ نمایان شده است. بالاترین تمرکز ذرات گردوغبار در نزدیکی بوشهر (فرودگاه و ساحلی) به چشم می‌خورد.

پایش و ارزیابی آثار پدیده گردوغبار در تغییرات بارش در جنوب غرب ایران ...



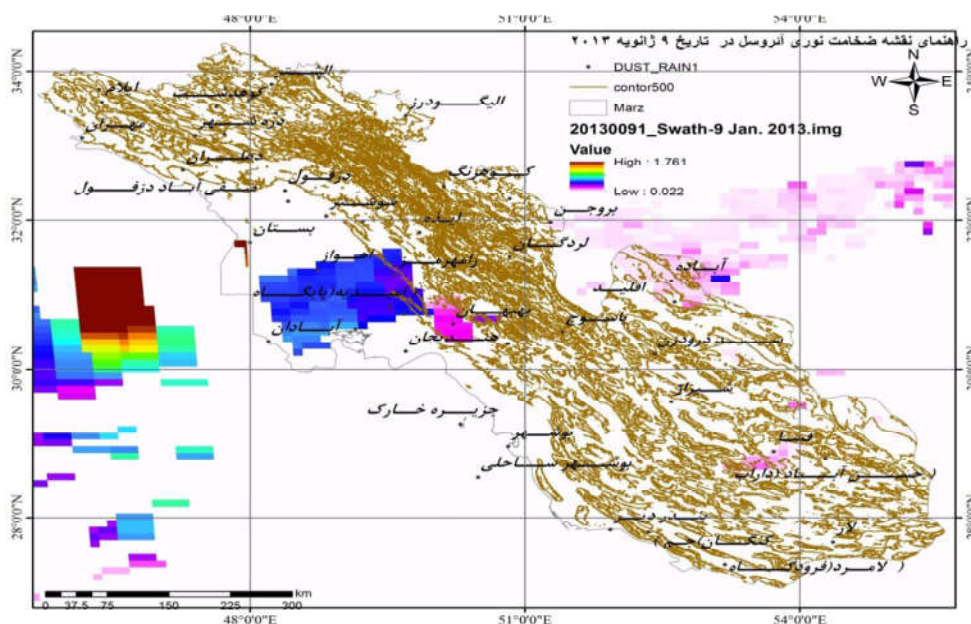
شکل ۴. ضخامت نوری گردوغبار در تصویر AOD مادیس: دوم مه ۲۰۰۸



شکل ۵. ضخامت نوری گردوغبار در تصویر AOD مادیس، ۲۷ فوریه ۲۰۱۰

ضخامت نوری گردوغبار در تصویر AOD، که به ۲۷ فوریه ۲۰۱۰ اختصاص دارد، در شکل ۶ نمایان شده است. بالاترین میزان تمرکز این ذرات با ایستگاه دزفول، صفی آباد و بستان انطباق دارد و تمرکز AOD در اهواز، امیدیه (پایگاه)، آبادان به چشم می خورد.

ضخامت نوری گردوغبار در تصویر AOD مادیس، مختص به تاریخ دوم مه ۲۰۰۸، در شکل ۵ نشان داده شده است. بالاترین تمرکز ذرات گردوغبار در نزدیکی بندر دیر، جم (کنگان) و فرودگاه لامرد به چشم می خورد.



شکل ۶. ضخامت نوری گردوغبار در تصویر AOD مادیس، ۹ ژانویه ۲۰۱۳

انحراف استاندارد) تقسیم شده و گردوغبار، به منزله فراوانی تعداد روزهای همراه با غبار، بیان شده است. با استناد به شکل ۷، میانگین سالیانه تعداد روزهای همراه با گردوغبار، پس از سال ۲۰۰۰، افزایش یافته است. در دهه نخست روند و طی سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۶۶، میانگین تعداد این روزها ۸۲/۳ روز؛ در دهه دوم روند و طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۹۶، ۴۶/۳ روز؛ در دهه سوم و طی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۶، ۸۴/۶ روز؛ در کل روند سی‌ساله، میانگین ۷۱/۱ روز برآورد شده است. فراوانی روزهای گردوغباری در نیمه دوره روند (سال ۱۹۹۹) کاهش چشمگیری یافته و از آن پس تا پایان دوره، با روندی افزایشی روبه‌رو بوده است و در سال پایانی، بار دیگر، با کاهش مواجه شده است. بیشترین شرایط گردوغباری در سال ۲۰۰۹، یعنی در دهه پایانی روند، و کمترین شرایط گردوغباری در سال ۱۹۹۹ به چشم می‌خورد.

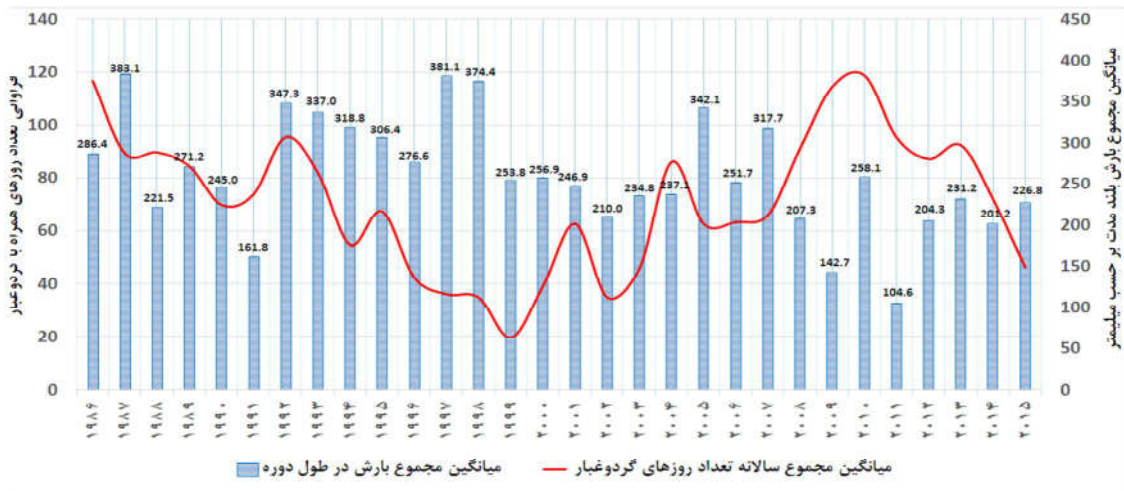
انطباق ضخامت نوری گردوغبار در تصویر AOD، در ژانویه ۲۰۱۳، در شکل ۷ نشان داده شده است. بالاترین حد با ایستگاه‌های آباده، اهواز، رامهرمز، امیدیه (پایگاه) و آبادان انطباق دارد. در بهبهان، هندیجان و داراب نیز تمرکز AOD به چشم می‌خورد.

نتایج به دست آمده از تطابق داده‌های ضخامت نوری هواویزها با اندازه‌گیری‌های زمینی فراوانی تعداد روزهای همراه با گردوغبار نشان می‌دهد که بین پارامتر ضخامت نوری هواویزها و اطلاعات تاریخی ایستگاه‌های مورد مطالعه و نیز فراوانی رخدادهای گردوغبار، انطباق بسیار روشنی وجود دارد.

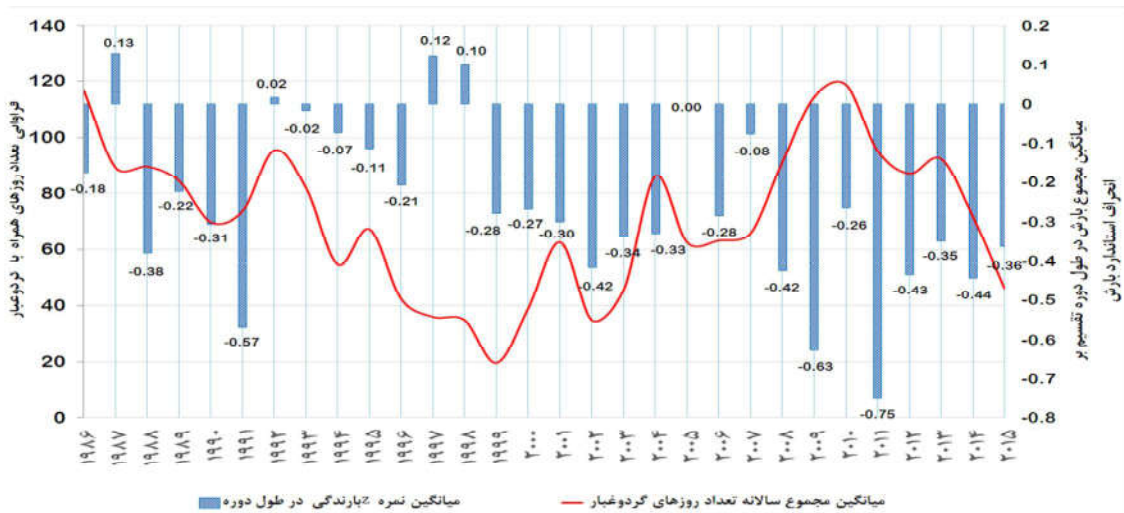
۲-۳- تحلیل نتایج کمی پردازش داده‌های آماری

در این بخش، فراوانی وقوع گردوغبار دوره سی‌ساله (۲۰۱۶-۱۹۸۶) ۴۵ ایستگاه، با ناهنجاری بارش منطقه در کلیت آن مقایسه شده است. بارش، به صورت میانگین مجموع بارش بلندمدت منطقه مورد مطالعه، بر انحراف از معیار (انحراف از میانگین بلندمدت تقسیم‌بر

پایش و ارزیابی آثار پدیده گردوغبار در تغییرات بارش در جنوب غرب ایران ...



شکل ۷. توزیع سالیانه روزهای همراه با گردوغبار و میانگین بارش سالیانه در جنوب غرب ایران (۱۹۸۶-۲۰۱۶)



شکل ۸. توزیع سالیانه روزهای همراه با گردوغبار و ناهنجاری‌های بارش در ۴۵ ایستگاه جنوب غرب ایران (۱۹۸۶-۲۰۱۶)

است. بدین گونه مقادیر منفی بارش، که مبین رخداد‌های بارندگی کمتر از میانگین دوره بلندمدت است، دقیقاً با افزایش فراوانی تعداد روزهای گردوغبار همراه است و برعکس، مقادیر مثبت بارش، با مفهوم بارندگی بیشتر از میانگین دوره بلندمدت، دچار کاهش فراوانی تعداد روزهای گردوغبار بوده است.

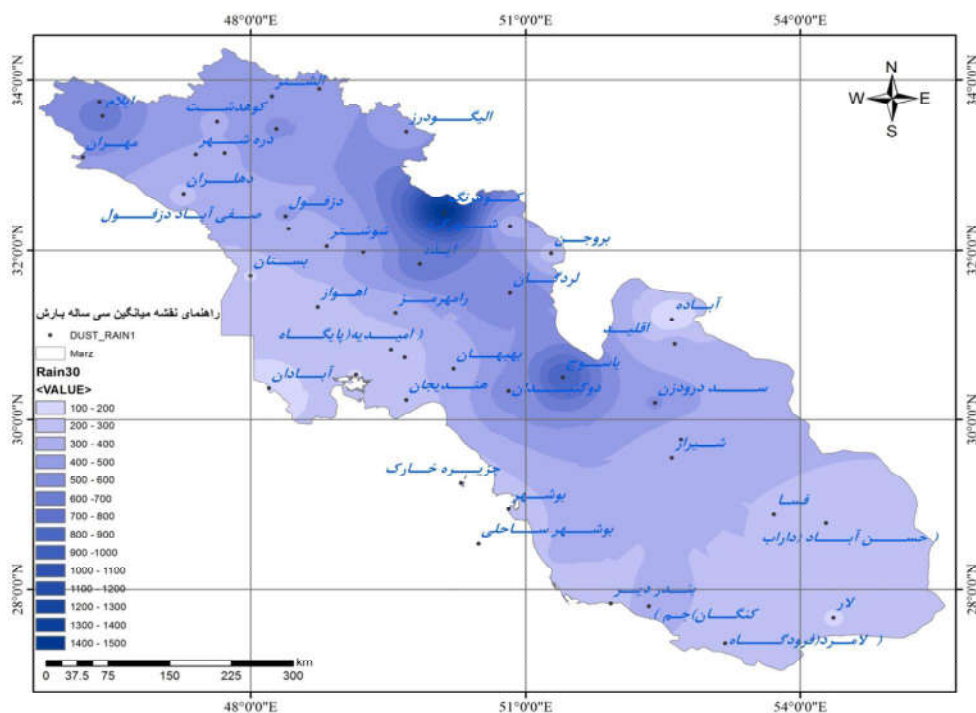
۳-۳- پهنه‌بندی میانگین سی ساله

در این پژوهش، مطالعه عوامل مؤثر در تولید ذرات معلق، همچون بارش، و تعداد روزهای همراه با گردوغبار با

مطابق شکل ۸، فراوانی وقوع گردوغبار دوره پنجاه ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۶) در ۴۵ ایستگاه با ناهنجاری بارش منطقه مقایسه شد. میانگین مجموع بلندمدت بارش منطقه مورد مطالعه بر انحراف از معیار (انحراف از میانگین بلندمدت تقسیم بر انحراف استاندارد) تقسیم شد. بیشترین فراوانی روزهای گردوغباری به سال ۲۰۰۹ و کمترین فراوانی این روزها به سال ۱۹۹۹ یافته است. در نمودار بالا، فرود و فرازهای خط قرمز، یا فراوانی تعداد روزهای گردوغبار در ارتباط با ناهنجاری‌های بارش بلندمدت، آهنگ معنادار و آشکار خود را به روشنی بیان داشته

صورت می گیرد. هریک از نقاط مورد محاسبه دارای وزن اند؛ به گونه ای که هرچه فاصله نقطه معلوم به نقطه مجهول کمتر باشد، ارزش وزنی آن نیز بیشتر است و هرچه این فاصله بیشتر شود، اثربخشی نقطه معلوم در تخمین نقطه مجهول و محاسبه میانگین نیز کاهش می یابد. پس فواصل نزدیک تر وزن بالاتری می گیرند» (www.gisland.org).

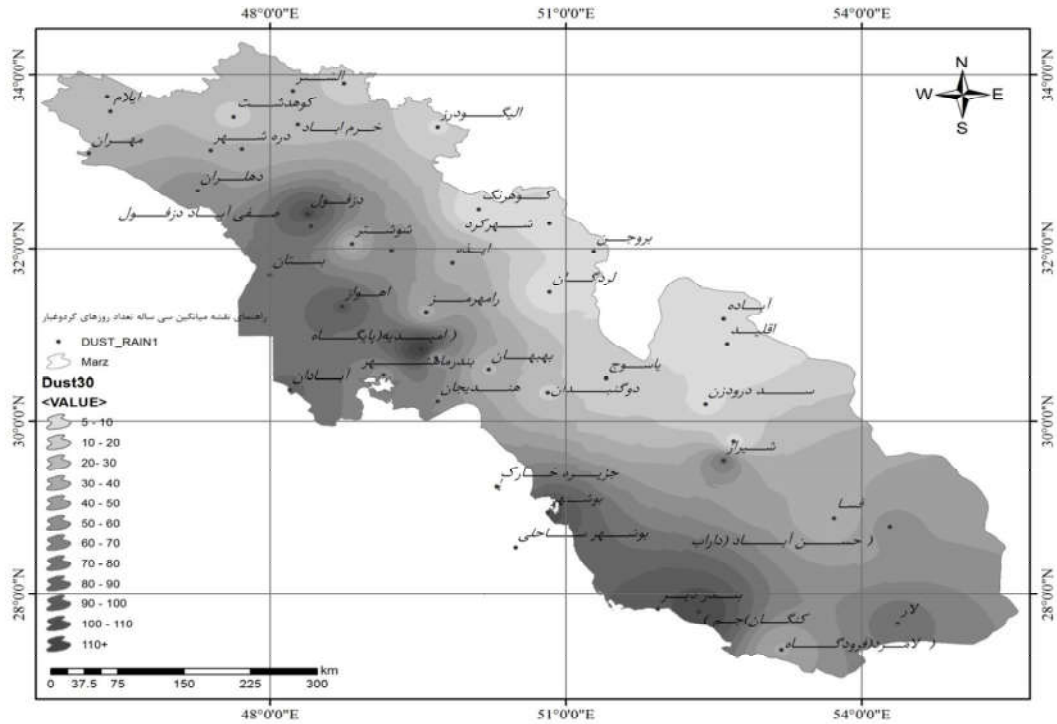
استفاده از روش پهنه بندی در محیط نرم افزار ARC GIS میسر شد. این مطالعه به منظور پهنه بندی تغییرات بارش و گردوغبار منطقه جنوب غرب ایران، در هریک از فصل های سال، با روش درونیابی روش IDW¹ استفاده شد. «از روش IDW برای میان یابی مناطق دارای پستی و بلندی استفاده می شود. در این روش، محاسبه نقاط مجهول از طریق میانگین گیری مقادیر نقاط معلوم



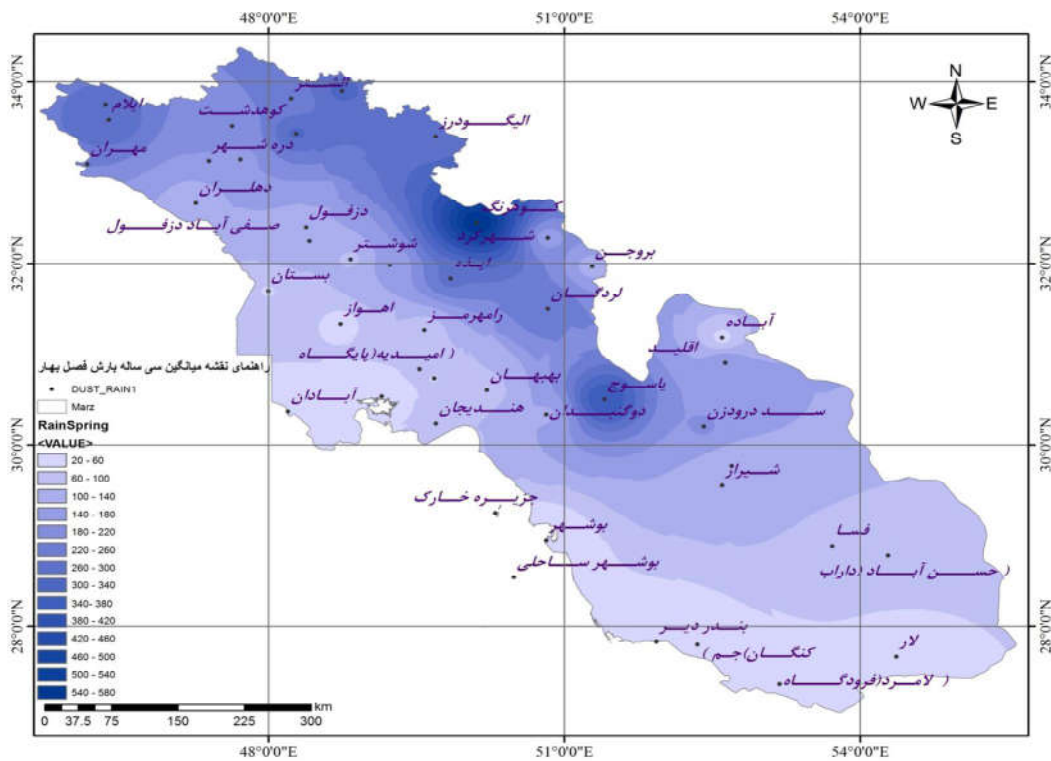
شکل ۹. نقشه پهنه بندی میانگین سی ساله تغییرات بارش در منطقه جنوب غرب ایران، به روش IDW (۲۰۱۶-۱۹۸۶)

۱. Inverse Distance Weighted (IDW) درونیابی به روش وزن دهی براساس عکس فاصله

پایش و ارزیابی آثار پدیده گردوغبار در تغییرات بارش در جنوب غرب ایران ...

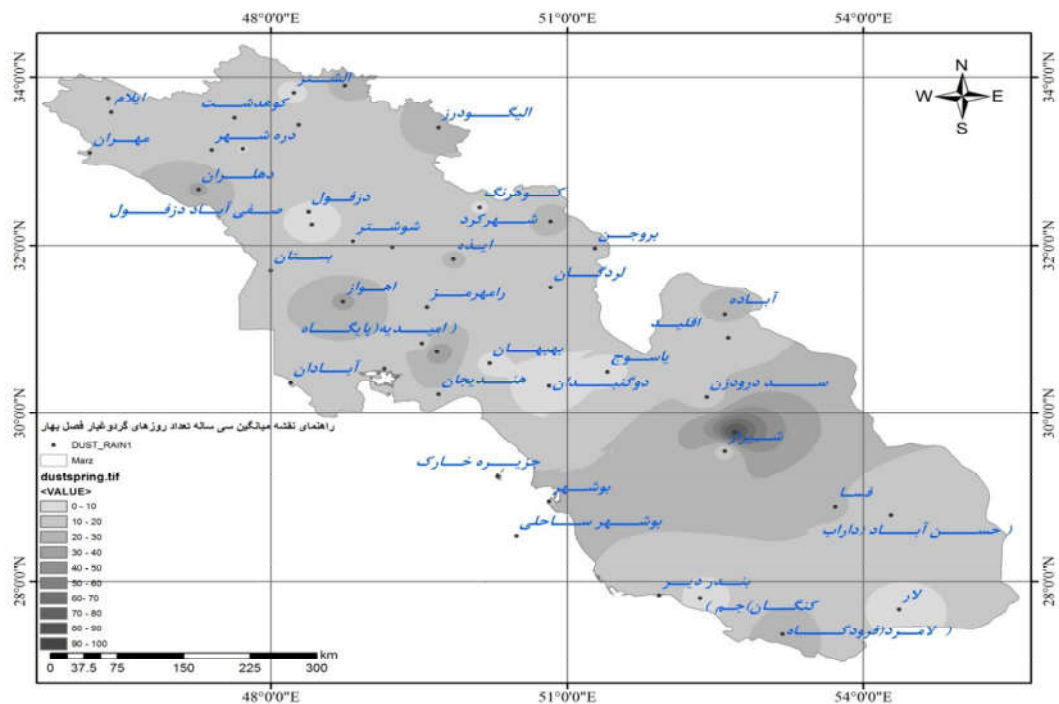


شکل ۱۰. پهنه‌بندی میانگین سی‌ساله تعداد روزهای همراه با گردوغبار در جنوب غرب ایران، به روش IDW (۲۰۱۶-۱۹۸۶)

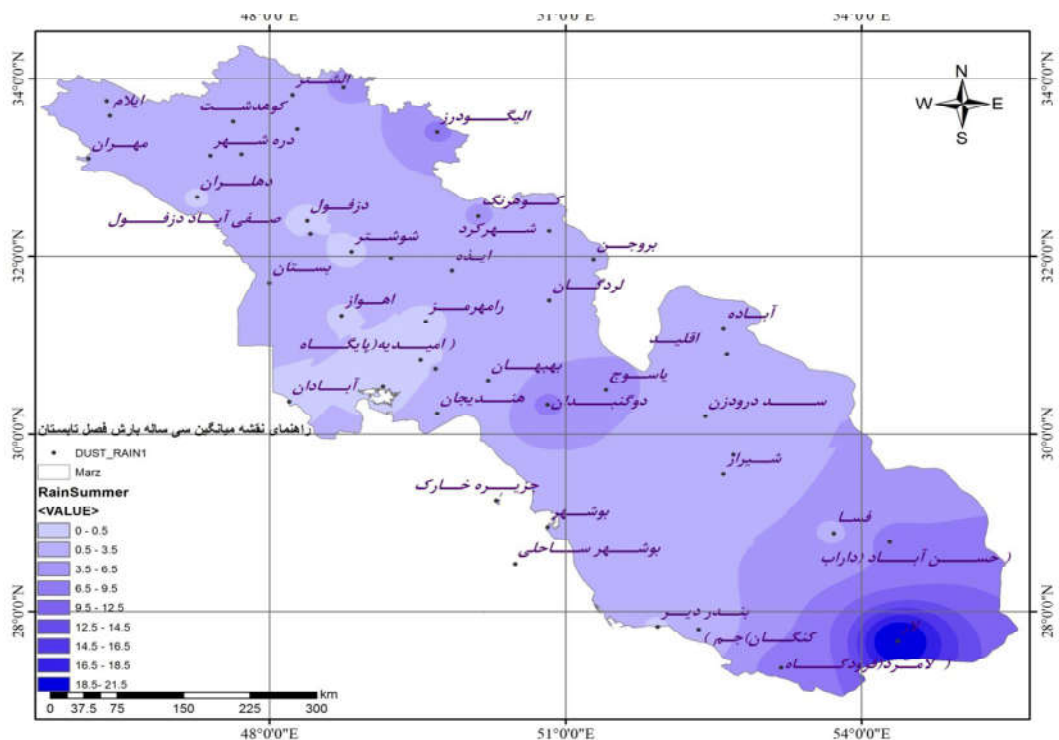


شکل ۱۱. نقشه پهنه‌بندی تغییرات بارش فصل بهار در جنوب غرب ایران، به روش IDW (۲۰۱۶-۱۹۸۶)

طاهره انصافی مقدم و همکاران

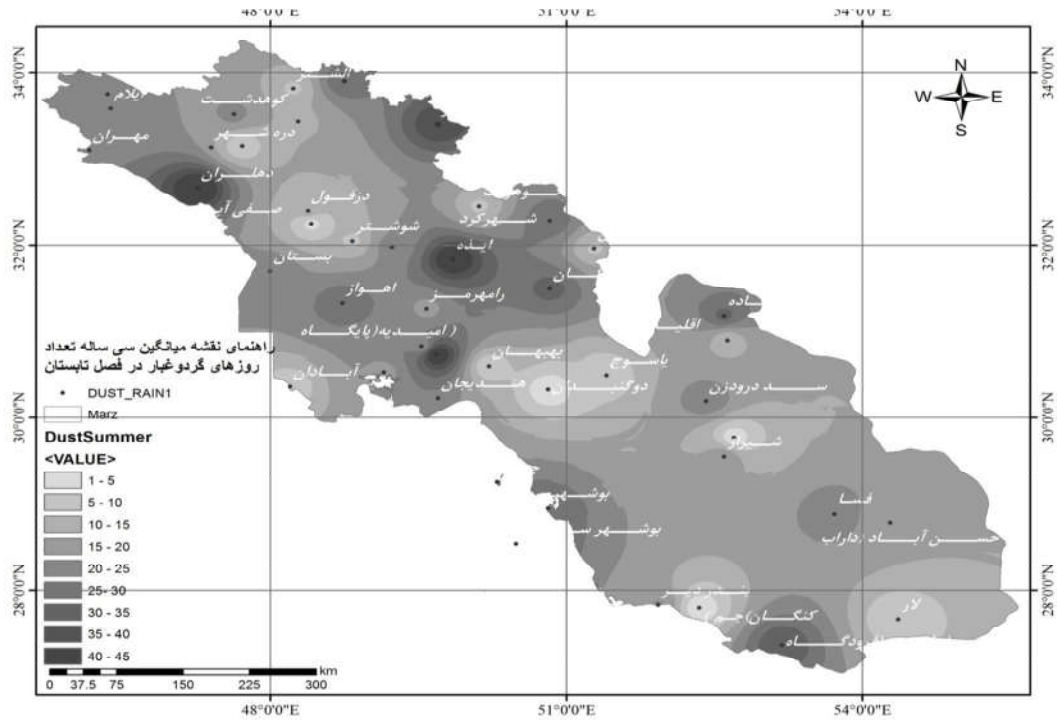


شکل ۱۲. نقشه پهنه‌بندی تغییرات تعداد روزهای همراه با گردوغبار در فصل بهار، در جنوب غرب ایران، به روش IDW (۲۰۱۶-۱۹۸۶)

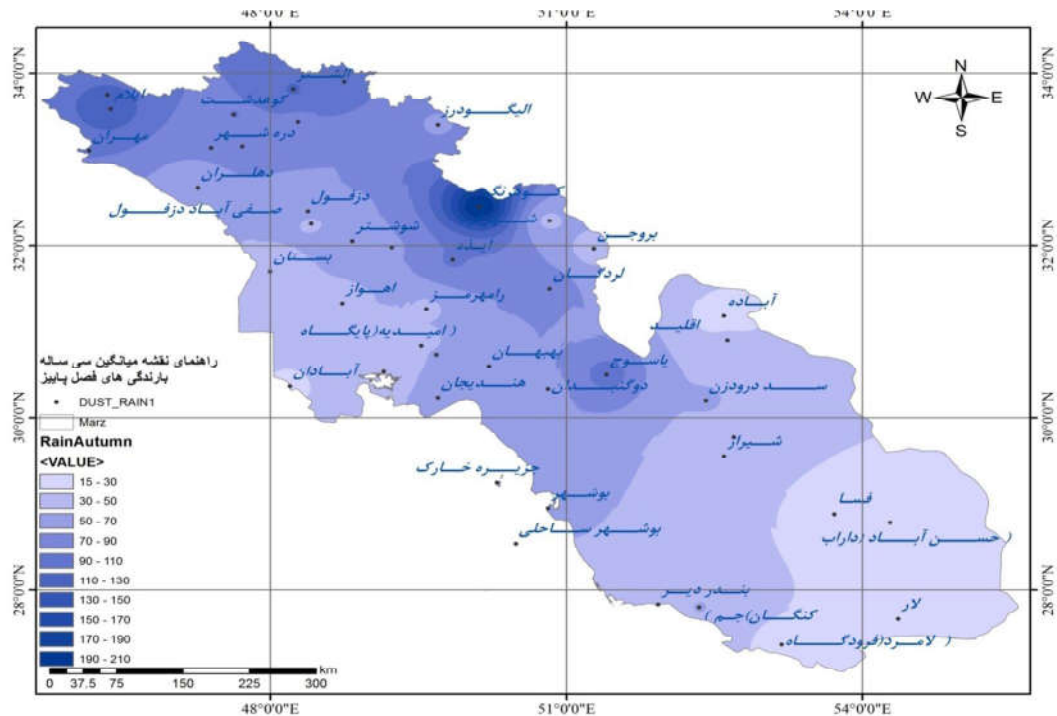


شکل ۱۳. نقشه پهنه‌بندی تغییرات بارش فصل تابستان، در منطقه جنوب غرب ایران، به روش IDW (۲۰۱۶-۱۹۸۶)

پایش و ارزیابی آثار پدیده گردوغبار در تغییرات بارش در جنوب غرب ایران ...

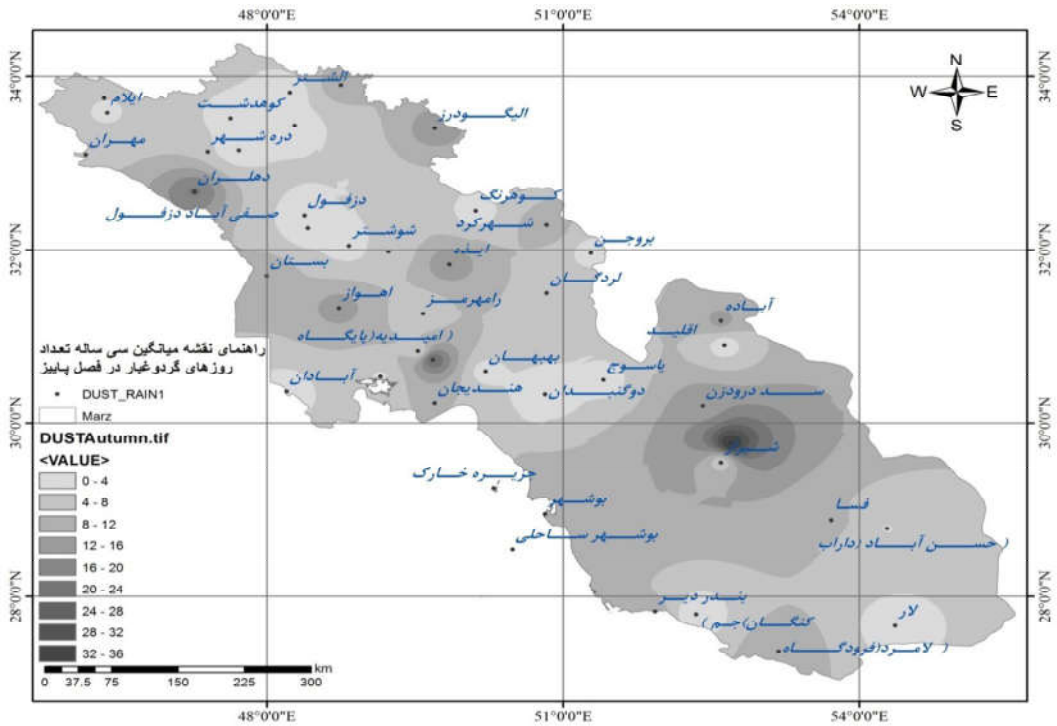


شکل ۱۴. نقشه پهنه‌بندی تغییرات تعداد روزهای همراه با گردوغبار در فصل تابستان در منطقه جنوب غرب ایران به روش IDW (۲۰۱۶-۱۹۸۶)

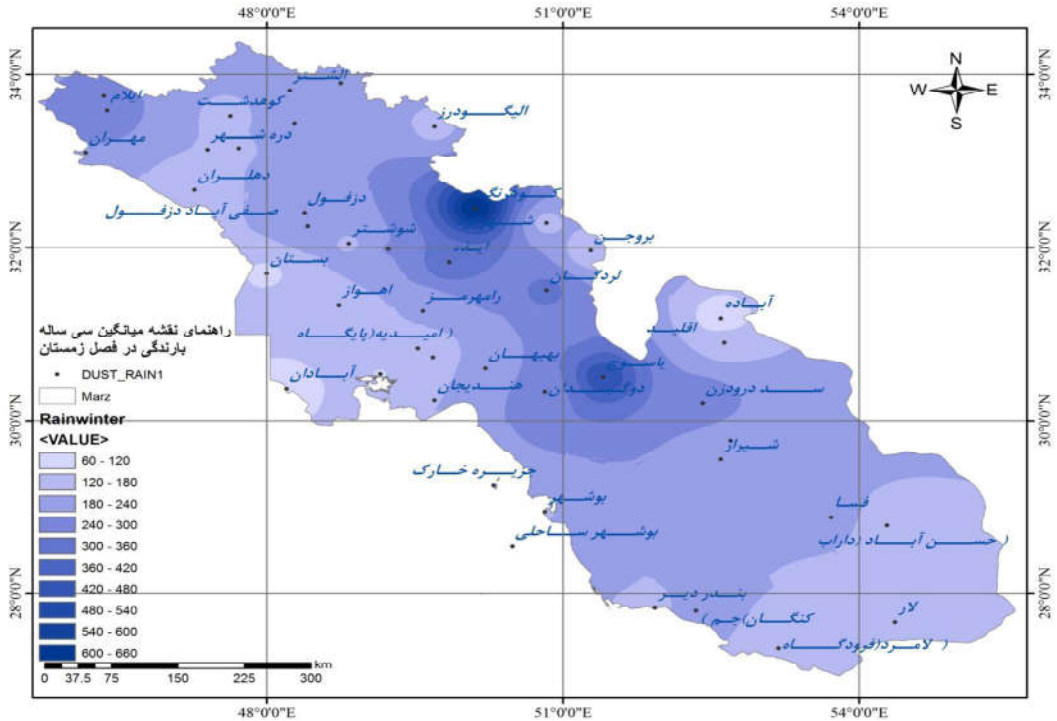


شکل ۱۵. نقشه پهنه‌بندی تغییرات بارش فصل پاییز در منطقه جنوب غرب ایران، به روش IDW (۲۰۱۶-۱۹۸۶)

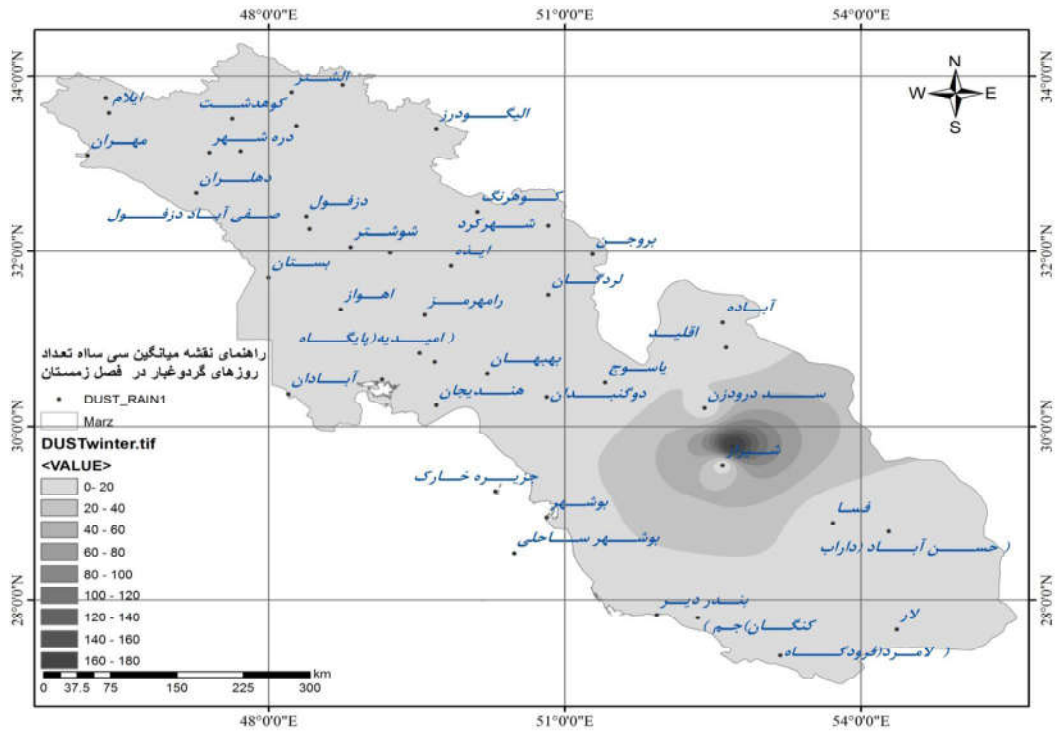
طاهره انصافی مقدم و همکاران



شکل ۱۶. نقشه پهنه‌بندی تغییرات تعداد روزهای همراه با گردوغبار در فصل پاییز، در منطقه جنوب غرب ایران، به روش IDW (۲۰۱۶-۱۹۸۶)



شکل ۱۷. نقشه پهنه‌بندی تغییرات بارش فصل زمستان در جنوب غرب ایران، به روش IDW (۲۰۱۶-۱۹۸۶)



شکل ۱۸. نقشه پهنه‌بندی تغییرات تعداد روزهای همراه با گردوغبار در فصل زمستان، در منطقه جنوب غرب ایران، به روش IDW (۲۰۱۶-۱۹۸۶)

۳-۴-۲- تحلیل ماهیانه

در بیشتر ماه‌های سال، میزان منفی بارش که مبین رخداد‌های بارندگی کمتر از میانگین دوره بلندمدت است، دقیقاً همراه با افزایش فراوانی تعداد روزهای گردوغبار بوده و برعکس، میزان مثبت بارش که به مفهوم بارندگی بیشتر از میانگین دوره بلندمدت است، با کاهش فراوانی تعداد روزهای گردوغبار همراه بوده است. میانگین بیشترین و کمترین تعداد روزهای گردوغبار منطقه مورد بررسی، به ترتیب، به ماه ژوئیه و دسامبر، و میانگین بیشترین و کمترین میزان بارندگی ماهیانه، به ترتیب، به ماه ژانویه و ژوئن اختصاص داشته است.

۳-۴-۳- تحلیل فصلی

طبق نتایج، در ۲۴ ایستگاه از ۴۵ ایستگاه مورد بررسی (۵۳٪ از ایستگاه‌ها)، هیچ گونه همبستگی بین فراوانی گردوغبار و میزان بارش روزانه، در هیچ یک از فصل‌های سال وجود ندارد. اما در ۳۱٪ از ایستگاه‌ها (۱۴

۳-۴-۳- تحلیل ضرایب همبستگی رخداد‌های

گردوغبار و میزان بارش روزانه، در دوره‌های زمانی

۳-۴-۱- تحلیل روزانه

در محاسبات آماری گردوغبار و بارش روزانه، روابط رخداد‌های گردوغبار و بارش، در کل ایستگاه‌ها و در فصل‌های متفاوت سال، محاسبه و شناسایی شد. میانگین بیست روز پس از وقوع هر رخداد گردوغبار، برای هر پارامتر اقلیمی جداگانه، محاسبه و در نرم‌افزار SPSS تحلیل شد. در نهایت، با روش‌های رگرسیون خطی، نتایج نهایی محاسبه میزان رابطه گردوغبار و بارش به دست آمد. مهم‌ترین دستاورد تحقیق حاضر بر این یافته مبتنی است که، طی دوره مشترک آماری سی ساله، برحسب زمان، تا ده روز پس از وقوع رخداد گردوغبار، آهنگ تغییرات بارش روزانه ۴۵ ایستگاه مورد بررسی دارای سطح همبستگی معنادار بوده و به تدریج با گذشت زمان، پس از ده روز، سطح معناداری همبستگی بارش و گردوغبار ضعیف و ضعیف‌تر شده است.

دید شده است. همچنین طبق آمار هواشناسی، بیشترین تعداد روزهای گردوغبار مربوط به سال ۲۰۰۹ (۱۳۸۸) بوده است. علت آن وقوع خشکسالی بسیار شدید در کشور عراق، در طی این سال، است. با توجه به خلاصه نتایج و نمودارهای مربوط، می توان نتیجه گرفت که، بین ۴۵ ایستگاه، بیشترین میزان فراوانی گردوغبار به سال ۲۰۰۳، با ۲۳۵ روز، و کمترین میزان فراوانی گردوغبار به سال ۱۹۵۵، با ۳۷ روز، اختصاص داشته است.

۴- بحث و نتیجه گیری

این مطالعه مثال بارزی است که نشان داد بین پارامتر ضخامت نوری هواویزه‌ها و اطلاعات تاریخی مربوط به فراوانی رخدادهای گردوغبار گزارش‌های سازمان هواشناسی انطباق بسیار منطقی و روشنی وجود دارد. همچنین، نقشه پهنه‌بندی گردوغبار و نقشه پهنه‌بندی تغییرات بارش هم‌سویی دارند. در این مطالعه، برای روزهایی از سال، با استفاده از تصاویر تهیه‌شده از MODIS و محصول AOD تطابق داده‌های نقطه‌ای و تاریخی گردوغبار در ایستگاه‌های زمینی با داده‌های ماهواره‌ای گردوغبار حاصل شد. همچنین، نتیجه این تحقیق نشان داد، در جنوب غرب ایران، روند متضاد بارندگی سبک به نسبت افزایش روزهای غباری هم در مناطق کوهستانی و هم در مناطق دشت وجود دارد. مقایسه نقشه‌های پهنه‌بندی میانگین فصلی رخدادهای گردوغبار و میانگین فصلی بارش، در بیشتر ایستگاه‌ها، رابطه معکوس گردوغبار و بارش را به خوبی نشان می‌دهد؛ به گونه‌ای که کاستی بارش و افزایش گردوغبار، در نقشه‌های بارش و گردوغبار هر فصل، با یکدیگر متناظرند. این سناریو در فصل‌های سرد سال تا حدودی بیشتر مشهود است. دانیل روزنفلد (۲۰۰۰؛ ۲۰۰۶) و رودیچ ول‌ها (۲۰۰۱)، لسنکی (۱۹۹۸)، رودیچ ول‌ها (۲۰۰۱)، دای (۲۰۰۵) و جیوانی (۲۰۰۶) از جمله پیشگامانی‌اند

ایستگاه)، در ماه‌های فصل بهار، همبستگی معناداری بین فراوانی گردوغبار و میزان بارش روزانه دیده می‌شود که این میزان برای فصل‌های تابستان، پاییز و زمستان، به ترتیب، برابر با ۱۳٪ (۶ ایستگاه)، ۶٪ (۳ ایستگاه) و ۲۲٪ (۱۰ ایستگاه) است^۱. همبستگی بین فراوانی گردوغبار و میزان بارش روزانه، در بهار و زمستان، در ایستگاه‌های بیشتری دیده شد و با گذر از دوره سرد سال به دوره گرم، تعداد ایستگاه‌های دارای همبستگی کاهش یافت. از سوی دیگر، همبستگی بین بارش و گردوغبار در ایستگاه‌های مرتفع برجسته‌تر و آشکارتر نمود داشت. برای نمونه، در ایستگاه کوه‌دشت با ارتفاع ۱۲۰۰ متر از سطح دریا، در کل سال (به جز تابستان)، بین فراوانی رخدادهای گردوغبار و میزان بارش روزانه همبستگی وجود داشت. نتایج تحلیل همبستگی بین فراوانی گردوغبار و میزان بارش فصلی نشان داد که ضرایب همبستگی، طی بهار و زمستان، به جز یک مورد در زمستان (ایستگاه فسا)، منفی است؛ بدین گونه که با افزایش گردوغبار، از میزان بارندگی کاسته می‌شود. ولی در مورد فصل تابستان، در ایستگاه‌هایی که رابطه دو پارامتر مزبور معنادار است، ضریب همبستگی ۱۰۰٪ و رابطه مستقیم و مثبت است (به جز یک مورد، در ایستگاه مسجدسلیمان). بدین ترتیب، در فصل تابستان، افزایش گردوغبار سبب افزایش میزان بارندگی در ایستگاه‌های مسجدسلیمان، بوشهر، ماهشهر و ایذه شده است. قوی‌ترین همبستگی‌ها نیز در فصل تابستان مشاهده شده است.

۳-۴-۴- تحلیل سالیانه

نتایج تحلیل سالیانه نشان داد که در طول دوره مطالعاتی، تأثیرات فراوانی رخدادهای گردوغبار در تغییرات بارندگی، بر حسب زمان رخداد گردوغبار و رژیم بارش، متفاوت است؛ به صورتی که در برخی از فصل‌ها، مانند بهار و زمستان، رابطه معناداری بین دو متغیر یادشده وجود داشته است. در برخی از سال‌ها، این رابطه در مقیاس‌های زمانی ماهیانه و روزانه بارزتر است؛ بدین گونه که بیشترین میزان همبستگی میان گردوغبار و بارندگی، در بارش بهار و اسفند و مشخصاً ماه آوریل

۱. علت اینکه جمع ارقام از ۱۰۰٪ بیشتر شده این است که در برخی از ایستگاه‌ها، در بیش از یک فصل، همبستگی معنادار دیده شده است.

رئیس پژوهشکده تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، به دلیل راهنمایی و حسن همکاری در عرضه و تحلیل اطلاعات و تصاویر ماهواره ای AOD حاصل از سنجنده مودیس، و نیز از سرکار خانم مهندس گوهر دوست، برای همکاری های فنی صمیمانه، و همچنین از زحمات داوران محترم نشریه علمی و پژوهشی سنجش از دور و GIS ایران، در تصحیح و بیان پیشنهادهای سازنده، تشکر و قدردانی داشته باشیم.

۶- منابع

حیدری، پ.، (۱۳۹۴) توسعه مدل استخراج عمق اپتیکی ذرات معلق با قدرت تفکیک مکانی بالا، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته گرایش مهندسی محیط زیست دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف .

رحمانی، ش.، (۱۳۹۴) تحلیل خوشه ای سلسله مراتبی، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی کرمانشاه.

سایت موسسه علمی - تحقیقاتی چشم انداز هزاره سوم ملل، درون یابی به روش " وزن دهی بر اساس عکس فاصله GIS (IDW) "، (بدون تاریخ) سایت اینترنتی www.gisland.org.

سایت گیلامرد، رابطه آلودگی هوا و کاهش بارندگی (۲۰۱۲)، گیل آمدرد <http://www.gilamard.com>

عزیزی، ق.، شمسی پور، ع.، میری، م.، صفراد، ط.، ۱۳۹۱، تحلیل آماری - همدیدی پدیده گردوغبار در نیمه غربی ایران، محیط شناسی، سال ۳۸، شماره ۳، پاییز، صص. ۱۳۴-۱۲۳.

قربانی سالخورد، ر.، مباشری، م.، رحیم زادگان، م.، (۱۳۸۹) توانایی داده های سنجنده مودیس در تحلیل های کیفی و کمی کیفیت هوا در مناطق شهری، پژوهش های اقلیم شناسی، پاییز و زمستان ۱۳۸۹، دوره ۱، شماره ۴-۳، صفحات ۷۴-۶۱.

که، با استفاده از واکاوی آماری داده های رقومی و تصاویر ماهواره ای، نقش آئروسول ها و گردوغبار در بارش برف و باران را بررسی کرده اند. پژوهش آنها در سال ۲۰۰۰ در مجله ساینس^۱ نشان داد که آلودگی های شهری و صنعتی می تواند بارش را، در ابرهای زودگذر و کم بار (کم عمق)، به کلی متوقف و سرکوب کند. همچنین، پژوهش آنها نشان داد تأثیر آلودگی شهرهای کثیف، تا صدها کیلومتر آن سوتر، در مسیر باد کشیده می شود. در نوامبر ۲۰۱۱ نیز، پژوهش گروهی از دانشمندان دانشگاه مریلند در تارنمای مجله نیچر ژئوساینس^۲ (Vieru, 2011) نشان داد «آلودگی هوا در افزایش پدیده هایی همچون سیل، خشکسالی و طغیان، اثر مستقیم دارد». پژوهش تیم دانشگاه مریلند ثابت کرد ه آلودگی نه تنها در میزان بارش بلکه در نوع ابرهایی که در هر منطقه شکل می گیرد و نیز در میزان رطوبت آن منطقه مؤثر است (سایت گیلامرد). نتایج تحقیق حاضر بیان می کند که فرضیه کاهش بارندگی در مقابل روند افزایش گردوغبار، آن چنان که روزنفلد (۲۰۰۰) در تشریح حلقه محتمل بازخورد بیابان زایی ابراز داشته و گردوغبار بیابان را متوقف کننده یا تضعیف کننده بارندگی معرفی کرده است، در منطقه مورد بررسی، فقط در فصل های سرد سال و تا حدودی در فصل های گرم مشاهده می شود. در پژوهش انجام شده، مقادیر منفی بارش که مبین رخداد های بارندگی کمتر از میانگین دوره بلندمدت است، دقیقاً با افزایش فراوانی تعداد روزهای گردوغبار همراه بوده و برعکس، مقادیر مثبت بارش که مفهوم بارندگی بیشتر از میانگین دوره بلندمدت را دارد، با کاهش فراوانی تعداد روزهای گردوغبار همراه بوده است. با توجه به اینکه، در ایران، پژوهش مستندی با رویکرد واکاوی اثر گردوغبار در تغییرات بارندگی انجام نگرفته بود، مقاله حاضر موضوع یاد شده را کانون توجه خود قرار داد. امید است دستیابی به یافته های مورد اشاره بتواند گامی آغازین برای تحقیقات بعدی شمرده شود.

۵- سپاسگزاری

در پایان، لازم است از جناب آقای دکتر علی اکبر نوروزی،

1. Science
2. Nature GeoScience

- Anonymous, 2011, **National Plan for Prevention and Control of Oak Forests Decline in the Forest Ecosystems**, Forest Resources Office, Department of Arid and Semi-arid, Forests, Range and Watershed Management Organization, 68 p. (In Persian).
- Barkan, J., 2008, **Synopsis Patterns Associated with Dusty and Non-Dusty Seasons in the Sahara**, *Theor. Appl. Climatol.*, 10, PP. 354-364.
- Dao-Yi, G., Pei-Jun, Sh. & Jing-Ai, W., 2004, **Daily Precipitation Changes in the Semi-Arid Region over Northern China**, *Journal of Arid Environments*, 59(4), PP. 645-796, (December).
- Goudie, A. & Mideleton N.J., 2006, **Desert Dust in the Global System**, Springer, Heidelberg, 901.
- Hamish, A., Grant, M., Tanish, A., Sturman, P. & Zavtar, P., 2001, **Inter-Regional Transport of Australian Dust Storms**, Soil Erosion Research for the 21th Century, Proceeding of int.symp.Honolulu.HI.USA.
- Kim, J., 2008, **Transport Routes and Source Regions of Asian Dust Observed in Korea during the Past 40 Years (1965–2004)**, *Atmospheric Environment*, 42, PP. 4778-4789.
- Markert, B., 1993. **Plants as Biomonitors: Indicators for Heavy Metals in the Terrestrial Environment**, (B.Markert,Ed.), VCH Weinheim, New York/ Basel/ Cambridge, 1993.
- Marshall, Sh.J., 2005, **A Review of Current Investigations of Urban, Induced Rain Fall and Recommendations for the Future**, *J. Earth Interact.*, 9, 12.
- Mbourou, G.N., Bertrand, J.J. & Nicholson, S.E., 1997, **Impact of Dust Storm on Cloud Microstructure over the Eastern Medi**, *Stt. J. Appl. Meteorol.*
- Miller, S.D., Kuciauskas, A.P., Liu, M., Ji, Q., Reid, J.S., Breed, D.W., Walker, A.L. & Al Mandoos, A., 2008, **Haboob Dust Storms of the Southern Arabian Peninsula**, *J. Geophys. Res.* 113.
- Nicholson, SE., 2001, **Climatic and Environmental Change in Africaduring the Last Two Centuries**, *Climate Research*, 17, PP. 123-144.
- O'Hara, S.L., Clarke, M.L. & Elatrash, M.S., 2006, **Field measurements of Desert Dust Deposition in Libya**, *Atmospheric Environment*, 40(21), PP. 3881-3897
- Orlovsky, L., Orlovsky, N. & Durdyev, A., 2005, **Dust Storms in Turkmenistan**, *Journal of Arid Environments*, 60(1), PP. 83-97.
- Rosenfeld, D., Rudich Y. & Lahav, R., 2001, **Desert Dust Suppressing Precipitation: A Possible Desertification Feedback Loop**, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, 98, PP. 5975-5980.
- Rosenfeld, D., 2000, **Suppression of Rain and Snow by Urban and Industrial Air Pollution**, *Science*, 287(5459), PP. 1793-1796.
- Rosenfeld, D., 2006, **Aerosols Suppressing Precipitation in the Sierra Nevada: Results of the 2006 Winter Field Campaign**, Presentation at the 3rd Annual Climate Change Research Conference, Sacramento, Sept. 2006. See: www.climatechange.ca.gov/events/2006_conferenc_e/presentations/2006-09-14/2006-09-14.
- Rosenfeld, D. & Givati, A., 2006, **Evidence of Orographic Precipitation Suppression by Air Pollution Induced Aerosols in the Western USA**, *J. Applied Meteorology*, 45, PP. 893-911.
- Rosenfeld, D. & Lensky, I.M., 1998, **Satellite Based Insights into Precipitation Formation Processes in Continental and Maritime Convection Clouds**, *Bull. American Meteorological Society*, 79, PP. 2457-2476.
- Rosenfeld, D., Yu, X. & Dai, J., 2005, **Satellite Retrieved Microstructure of AgI Seeding Tracks in Supercooled Layer Clouds**, *J. Applied Meteorology*, 44, PP. 760-767.
- Shepherd, M.J., 2005, **A review of current investigations of urban induced rain fall and recommendations for the future**, *J. Earth Interact.*, 9, 12.
- Vieru, T., 2011, **Air Pollution Leads to Precipitation Pattern Shifts, These Changes Can Affect the Global Climate in its Entirety**, Available at:

<http://news.softpedia.com/news/Air-Pollution-Leads-to-Precipitation-Pattern-Shifts-234290.shtml> Nov 14, 2011 09:36 GMT.

- Wang, X., Oenema, O., Hoogmoed, W.B., Perdok, U.D. & Cai, D., 2006, **Dust Storm Erosion and its Impact on Soil Carbon and Nitrogen Losses in Northern China**, Elsevier B.V., 30 June, 66(3), PP. 221-227.
- Washington, R., Todd, M., Middleton, N.J. & Goudie, A.S., 2003, **Dust-Storm Source Areas Determined by the Total Ozone Monitoring Spectrometer and Surface Observations**, Annals of the Association of American Geographers, 93(2), PP. 297-313.
- Wilkerson, W.D., 1991, **Dust and Sand Forecasting In Iraq and Adjoining Countries**, AWS/TN 91/001, Air Weather Service, Scott Air Force Base, IL, 72 pp. [Available from USAF Environmental Technical Application Center, Scott Air Force Base, IL 62225-5008.
- Youngxiang Han, Xiaomin Eang, Tianliang Zhao, Huzhi Bai, Shi chang Kong and Lianchun Song. 2009, **suppression of precipitation by dust particles originatal in the Tibetan Plateau, Atmospheric Environment**, Volume 43, Issues, January 2009, Pages 568-574.
- Zhang, J.C. & Lin, Z.G., 1992, **Climate of China**, Wiley and Shanghai Scientific and Technical Publishers, New York.
- Zijiang, Z. & Guocai, Z., 2003, **Typical Severe Dust Storms in Northern China During 1954-2002**, Chinese Science Bulletin, 48, PP. 2366-2370.
- Ziqiang, M. & Quanxi, Z., 2007, **Damage Effects of Dust Storm PM2.5 on DNA in Alveolar Macrophages and Lung Cells of Rats**, Food and Chemical Toxicology, PP. 1363-1374.