



DOI: 10.22092/irm.2021.123361



نامه علمی

تاریخ دریافت ۱۳۹۸/۱۲/۱۳
تاریخ پذیرش ۱۳۹۹/۰۸/۲۲

بررسی شاخص عمق اُپتیکی آئروسول (AOD) در رویدادهای گرد و غبار در جنوب غربی ایران

طاهره انصافی مقدم*

چکیده

گرد و غبار از مهم‌ترین مخاطرات سلامتی ساکنان استان‌های جنوب غربی ایران است. این پژوهش تلاشی است برای بارزسازی ارتباط بین تغییرات مقادیر عمق اُپتیکی استخراج شده از الگوریتم دیپ‌بلو با فراوانی رخداد‌های گرد و غبار در ایستگاه‌های زمینی هواشناسی واقع در هفت استان ایلام، لرستان، چهار محال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، خوزستان، بوشهر و فارس. بدین منظور آمار روزهای همراه با گرد و غبار و داده‌های روزانه رخداد‌های گرد و غبار و میدان دید افقی روزانه، در مورد ۴۵ ایستگاه هواشناسی در دوره پنجاه ساله (۱۹۶۶ تا ۲۰۱۶) از سازمان هواشناسی کشور دریافت و تجزیه و تحلیل شد. یافته‌ها نشان داد میانگین سالانه تعداد روزهای همراه با گرد و غبار پس از سال ۲۰۰۰ افزایش یافته، این رقم در دهه اول روند، ۸۲/۳ روز، در دهه دوم روند، ۴۶/۳ روز، در دهه سوم روند، ۸۴/۶ روز و در کل روند سی ساله ۷۱/۱ روز بوده، شدیدترین شرایط گرد و غباری طی این دوره، به سال ۲۰۰۹ و کمترین شرایط گرد و غباری به سال ۱۹۹۴ اختصاص داشته است. به منظور صحت‌سنجی، محصول AOD با فراوانی رویدادهای گرد و غبار شدید سازمان هواشناسی کشور مقایسه شد. بین پراکنش زمانی و مکانی غلظت جرمی ذرات گرد و غبار در تصاویر AOD و پراکنش زمانی و مکانی فراوانی رخداد‌های گرد و غبار در ایستگاه‌های زمینی انطباق کامل وجود داشت. همچنین بالاترین میانگین سالانه AOD با رخداد‌های شدید گرد و غبار در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹، انطباق کامل داشته و بیشترین رخداد‌های شدید گرد و غبار در فصل تابستان رخ داده است.

واژه‌های کلیدی: دید افقی، جنوب غربی ایران، رخداد‌های گرد و غبار، شاخص عمق اُپتیکی آئروسول، AOD

Investigation of Aerosol Optical Depth Index (AOD) in dust events over southwestern of Iran

T. Ensafi moghaddam*

Abstract

Desert dust is an important risk factor to human health in southwestern provinces of Iran. This study is an attempt to highlight the relationship between changes in optical depth values extracted from the Deep Blue algorithm with the frequency of dust events in meteorological ground stations which is located in seven provinces of Ilam, Lorestan, Chaharmahal and Bakhtiari, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad, Khuzestan, Bushehr and Fars. For this purpose, the number of days with dust and daily data of dust events, and daily horizontal visibility, about 45 meteorological stations in the fifty-year period (1966 to 2016) were obtained and analyzed. The results showed that the average annual number of days with dust increased after 2000. This figure is estimated 82.3 days in the first decade of the trend, 46.3 days in the second decade of the trend of, 84.6 days in the third decade the trend, and 71/1 days in the whole thirty-year trend. The most severe dust conditions during the period under review were 2009 and the lowest dust conditions were 1994. In order to verify, the AOD product was compared with the frequency of severe dust events of the Meteorological Organization. There was a perfect agreement between the temporal and spatial distribution of the dust concentration in AOD images and the temporal and spatial distribution of the frequency of dust events at meteorological ground stations. The highest annual average AOD was fully consistent with severe dust events in 2008 and 2009, as well as the most severe dust events in the summer.

Keywords: AOD, Aerosol Optical Depth Index, dust occurrences, South-West of Iran, Visibility.

*مربی پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران، پست الکترونیکی: Ensafi@riff-ac.ir

* Senior Expert Research, Research Institute of forests and rangelands, Agricultural Research Education and extension Organization AREEO, Tehran, Iran. E- mail: ensafi@riff-ac.ir



● مقدمه

برای بررسی وجود یا عدم وجود مناطق مستعد پدیده گرد و غبار، یافتن کانون‌های غبار محلی و برای تسریع در انجام مراحل کار از تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. استفاده از الگوریتم‌های اندازه‌گیری AOD با قدرت تفکیک بالا و روش بازبایی ذرات معلق به کمک ابزارهای سنجش از دور از زمان‌های گذشته توسعه یافته است. الگوریتم‌های اندازه‌گیری ذرات معلق با شاخص AOD به وسیله ماهواره‌ها کمک می‌کنند تا از داده‌ها و اطلاعات تابش موجود بر فراز جو به بهترین شکل استفاده شود. اصلی‌ترین مرحله در توسعه این الگوریتم‌ها تفکیک تابش‌های ناشی از اتمسفر و زمین از مقدار تابش‌های رسیده به سنجنده است. الگوریتم‌های بازبایی MODIS برای تخمین ذرات معلق و خواص میکروفیزیکی اتمسفر، برای حل مسائل مرتبط با ذرات معلق در مقیاس جهانی و محلی با دو الگوریتم ترکیبی Blue Deep و Dark Target توسعه داده شده است. این داده‌ها با داده‌های AOD ایستگاه‌های زمینی شبکه AERONET همبستگی خوبی دارند (حیدری، ۱۳۹۴).

از جمله الگوریتم‌های شناسایی توده‌های گرد و غبار در تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS، الگوریتم دیپ بلو است. این الگوریتم برای شناسایی محدوده و خصوصیات طوفان‌های گرد و غبار طراحی شده و مبنای آن شناسایی اهداف تیره است، در این الگوریتم فرض شده که نسبت بازتابندگی سطح زمین در بین طول موج‌های ۰/۴۷ میکرومتر و ۲/۱ میکرومتر است.

بنابراین الگوریتم دیپ بلو بر اساس مقایسه بازتابندگی در طول موج‌های آبی الکترومغناطیسی سطح زمین قبل و هنگام وقوع گرد و غبار استوار است. این مدل با توجه به اینکه از طول موج‌های آبی استفاده می‌کند و در این طول موج‌ها سطح مناطق بیابانی و نیمه‌بیابانی، توابع پراکندگی بازتابندگی دوجبهتی پایینی دارد (در مقایسه با مناطق غیربیابانی که پوشش‌های گیاهی دارد) به خوبی می‌تواند برای شناسایی گرد و غبار و استخراج خصوصیات

مختلف آن مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به قابلیت‌هایی که برای مدل یادشده برشمرده شد، به‌ویژه توانایی آن در شناسایی گرد و غبار روی مناطق بیابانی و نیمه‌بیابانی، به نظر می‌رسد که الگوریتم دیپ بلو مدل مناسب برای منطقه خاورمیانه و به خصوص ایران باشد (فرج‌زاده و کریمی، ۱۳۹۲).

فلاح‌زولی و همکاران (۱۳۹۳) منشأ پدیده گرد و غبار مربوط به ۱۸ ژوئن ۲۰۱۲ را که در نواحی غرب و جنوب غرب کشور رخ داده بود، به کمک تصاویر ماهواره‌ای و با استفاده از باندهای مرئی و باندهای حرارتی سنجنده مادیس و با به‌کارگیری شاخص اکرم‌شناسایی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد منشأ اصلی گرد و غبار، محل اتصال رودخانه‌های دجله و فرات بوده که در محدوده شمال و شمال شرق عراق و غرب سوریه قرار دارد. همچنین مشخص شد تصاویر سنجنده مادیس به دلیل در دسترس بودن، هزینه کم و تکرارپذیری آن در ۲ بازه زمانی در ۲۴ ساعت برای پایش گرد و غبار مناسب است.

امان‌اللهی و کبودوندپور (۱۳۹۳)، نشان دادند برای بررسی میزان PM10 موجود در هوا و الگوهای حرکتی آنها در قالب طوفان‌های گرد و غبار در سطوح وسیع منطقه‌ای استفاده از تصاویر و داده‌های سنجنده مودیس مناسب و کاربردی است. سنجنده مودیس با ارائه داده‌های ذرات گرد و غبار در پیکسل‌هایی با اندازه‌های مختلف در قالب تصویر و داده‌های عددی در سطوح وسیع این امکان را برای محققان فراهم می‌آورد که مراکز اولیه ایجاد طوفان‌های گرد و غبار را شناسایی کرده، همچنین با ارائه تولیدات دیگری مانند میزان تغییرات حرارتی زمین و میزان پوشش گیاهی سطح زمین، کمک زیادی در شناسایی دلایل ایجاد این گرد و غبار کند.

Shahsavani و همکاران (۲۰۱۲) گزارش دادند طولانی‌ترین وقایع گرد و غبار در اهواز، در ماه ژوئیه، با تداوم پنج روز با اوج غلظت PM10، ۲۰۲۸ میکروگرم بر متر مکعب اتفاق افتاده است (Nourmoradi et al., 2016).

قربانی سالخورد و همکاران (۱۳۸۹) در یک پژوهش پس از استخراج ضخامت نوری گرد و غبار از داده‌های مودیس

برای شهر تهران، موفق شدند بین داده‌های ضخامت نوری گرد و غبار با داده‌های زمینی حدود ۴۰ درصد همبستگی به دست آورند، در مجموع این همبستگی نشان داد برای قدرت تفکیک مکانی آن، قابل قبول است. این تحقیق با هدف بررسی بارسازی و زون‌بندی توده‌های گرد و غبار با استفاده از تجزیه و تحلیل آماری، تکنیک سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در جنوب غرب ایران انجام شد.

درواقع می‌توان با در اختیار داشتن داده‌های ماهواره‌ای و زمینی مربوط به چندین روز مختلف ارتباط میان دو پارامتر را به وسیله جلوه‌های تصویری نمایان کرد (قربانی سالخورد و همکاران، ۱۳۸۹)، در این پژوهش تلاش بر این بوده است برای چند روز از ماه‌های سال با استفاده از تصاویر تهیه شده مادیس بین داده‌های نقطه‌ای و تاریخی گرد و غبار در ایستگاه‌های زمینی با داده‌های ماهواره‌ای گرد و غبار تطابق حاصل شود.

● روش تحقیق

الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه نواحی جنوب غربی 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). منطقه مورد مطالعه هفت استان ایلام، لرستان، کهگیلویه و بویراحمد، چهارمحال و بختیاری، خوزستان، بوشهر و فارس را دربرمی‌گیرد. با فاصله گرفتن از دامنه کوه‌های زاگرس و با حرکت از سمت شرق به غرب و از شمال به جنوب از مقدار بارش به شدت کاسته شده و در دشت و مناطق نزدیک به سواحل خلیج فارس، میزان بارش تقلیل می‌یابد. میزان بارندگی با افزایش ارتفاع از ۱- متری (جزیره خارک) به حدود ۲۳۶۵ متری (کوهرنگ) در حدود ۱۲۰۰ میلی‌متر افزایش می‌یابد. مرتفع‌ترین ایستگاه، کوهرنگ با ارتفاع ۲۳۶۵ متر، بیشترین میزان بارش دریافتی (۱۳۳۲ میلی‌متر) را به خود اختصاص داده است. میانگین سالانه بارش ۴۵ ایستگاه در منطقه مورد مطالعه در طول دوره ۳۰

ساله، ۳۷۵ میلی‌متر است و ضریب تغییرپذیری ۶۴ درصد است.

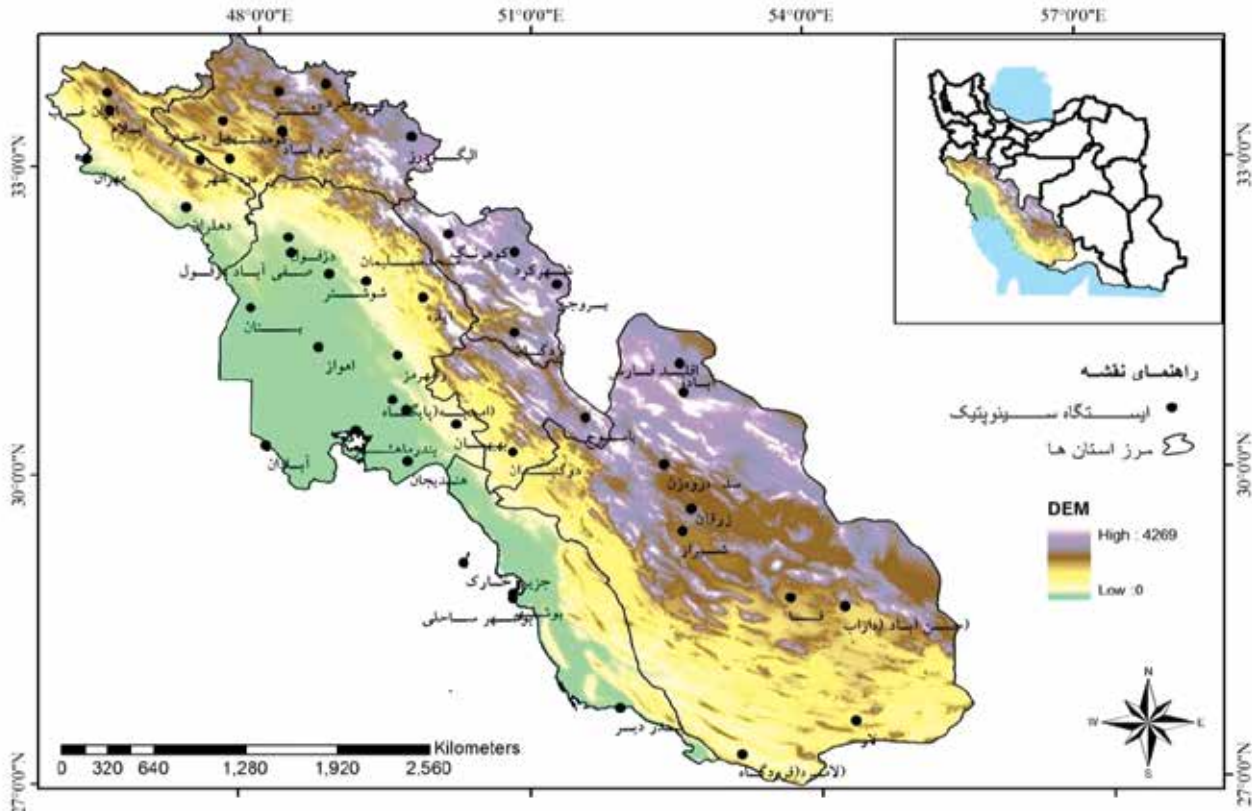
● مواد و روش‌ها

در این تحقیق، داده‌های مربوط به دیده‌بانی رخدادهای ریزگرد از سازمان هواشناسی و مقادیر عمق اپتیکی از الگوریتم دیپ بلو سنجنده

تجزیه و تحلیل فضایی انجام شد. در این تحقیق به منظور شناسایی و پایش گرد و غبار، ابتدا با توجه به اطلاعات ۴۵ ایستگاه سینوپتیک جنوب غربی ایران و معیارهای تعریف شده، رخدادهای گرد و غبار با استفاده از داده‌های روزانه در دوره سی ساله (۱۹۸۶-۲۰۱۶) شناسایی شدند.

MODIS ماهواره Aqua در دوره زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۰ استخراج شد تا در نهایت با تلفیق این اطلاعات، آمار رویدادهای گرد و غبار محلی استخراج و در ارزیابی صحت کانون‌های شناسایی شده گرد و غبار استفاده شود. تجزیه و تحلیل اطلاعات و داده‌های تحقیق به روش کمی و با استفاده از آمار توصیفی، همچنین

شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه



جدول ۱- مشخصات ایستگاه هواشناسی منطقه مورد مطالعه و فراوانی ماهانه مهم‌ترین پارامترهای مورد بررسی

ردیف	ایستگاه	استان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع بر حسب متر	میانگین سالانه بارندگی (mm)	میانگین سالانه روزهای توأم با گرد و غبار	میانگین سالانه روزهای با دید افقی کمتر از ۲۰۰۰ متر
۱	آبادان	خوزستان	۴۸	۳۰	۷	۱۵۴	۷۶	۵۰
۲	اهواز	خوزستان	۴۹	۳۱	۲۳	۲۲۰	۸۵	۵۱
۳	بهبهان	خوزستان	۵۰	۳۱	۳۱۳	۳۳۲	۳۹	۲۲
۴	بستان	خوزستان	۴۸	۳۲	۸	۱۹۸	۷۰	۴۲
۵	دزفول	خوزستان	۴۸	۳۲	۱۴۳	۳۹۳	۹۴	۳۶
۶	صفی آباد	خوزستان	۴۸	۳۲	۸۳	۳۲۸	۷۶	۴۲
۷	ایذه	خوزستان	۵۰	۳۲	۷۶۷	۶۳۴	۴۴	۱۸



ردیف	ایستگاه	استان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع بر حسب متر	میانگین سالانه بارندگی (mm)	میانگین سالانه روزهای توأم با گرد و غبار	میانگین سالانه روزهای با دید افقی کمتر از ۲۰۰۰ متر
۸	مسجد سلیمان	خوزستان	۴۹	۳۲	۳۲۱	۴۴۰	۶۲	۴۶
۹	بندر ماهشهر	خوزستان	۴۹	۳۱	۶	۱۹۷	۶۰	۳۹
۱۰	امیدیه (آغاچاری)	خوزستان	۵۰	۳۱	۲۷	۲۵۹	۵۲	۲۷
۱۱	امیدیه (بابگاه)	خوزستان	۵۰	۳۱	۳۵	۲۴۷	۱۲۸	۴۲
۱۲	رامهرمز	خوزستان	۵۰	۳۱	۱۵۱	۲۹۱	۴۵	۱۲
۱۳	شوشتر	خوزستان	۴۹	۳۲	۶۷	۲۹۸	۴۳	۳۲
۱۴	هندیجان	خوزستان	۴۹	۳۰	۷	۲۰۵	۴۳	۲۲
۱۵	بندر دیر	بوشهر	۵۲	۲۸	۴	۲۲۶	۹۲	۱۱
۱۶	بوشهر ساحلی	بوشهر	۵۱	۲۹	۸	۲۶۷	۸۸	۱۵
۱۷	بوشهر (فرودگاه)	بوشهر	۵۱	۲۹	۹	۲۵۷	۹۷	۳۱
۱۸	جزیره خارک	بوشهر	۵۰	۲۹	-۱	۲۰۷	۵۷	۲۱
۱۹	جم (کنگان)	بوشهر	۵۲	۲۸	۶۵۹	۳۵۳	۱۰۴	۲۱
۲۰	دوگنبدان	کهگیلویه و بویراحمد	۵۱	۳۰	۷۲۶	۴۹۷	۳۰	۲۶
۲۱	یاسوج	کهگیلویه و بویراحمد	۵۲	۳۱	۱۸۱۶	۸۱۳	۲۲	۱۳
۲۲	کوهرنگ	چهارمحال و بختیاری	۵۰	۳۳	۲۳۶۵	۱۳۳۲	۱۰	۲۸
۲۳	لردگان	چهارمحال و بختیاری	۵۱	۳۲	۱۶۱۱	۵۵۰	۱۳	۱۰
۲۴	شهرکرد	چهارمحال و بختیاری	۵۱	۳۲	۲۰۴۹	۳۴۱	۱۶	۱۶
۲۵	بروجن	چهارمحال و بختیاری	۵۱	۳۲	۲۲۶۰	۲۵۶	۱۶	۸
۲۶	خرم آباد	لرستان	۴۸	۳۳	۱۱۴۸	۴۷۸	۳۴	۸
۲۷	بروجرد	لرستان	۴۹	۳۴	۱۶۲۹	۴۶۱	۲۴	۱۱
۲۸	الشتر	لرستان	۴۸	۳۴	۱۵۶۷	۴۵۸	۳۸	۲۰
۲۹	الیگودرز	لرستان	۵۰	۳۳	۲۰۲۲	۴۱۹	۲۱	۱۲
۳۰	پل دختر	لرستان	۴۸	۳۳	۷۱۴	۳۶۶	۴۰	۷
۳۱	کوهدشت	لرستان	۴۸	۳۴	۱۱۹۸	۳۶۶	۲۷	۱۱
۳۲	آباده	فارس	۵۳	۳۱	۲۰۳۰	۱۱۵	۲۲	۴
۳۳	اقلید	فارس	۵۳	۳۱	۲۳۰۰	۳۱۷	۶	۴
۳۴	فسا	فارس	۵۴	۲۹	۱۲۶۸	۲۸۳	۴۰	۵
۳۵	حسن آباد داراب	فارس	۵۴	۲۹	۱۰۹۸	۲۵۰	۵۸	۱۳

ردیف	ایستگاه	استان	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع بر حسب متر	میانگین سالانه بارندگی (mm)	میانگین سالانه روزهای توأم با گرد و غبار	میانگین سالانه روزهای با دید افقی کمتر از ۲۰۰ متر
۳۶	لاز	فارس	۵۴	۲۸	۷۹۲	۲۰۰	۷۲	۱۴
۳۷	لامرد	فارس	۵۳	۲۷	۴۱۱	۲۱۷	۴۷	۱۳
۳۸	شیراز	فارس	۵۳	۳۰	۱۴۸۸	۳۲۹	۷۱	۱۶
۳۹	زرقان	فارس	۵۳	۳۰	۱۵۹۶	۳۱۸	۱۷	۷
۴۰	سد درودزن	فارس	۵۲	۳۰	۱۶۴۲	۴۷۰	۱۹	۹
۴۱	ایلام	ایلام	۴۶	۳۴	۱۳۳۷	۵۷۸	۳۴	۲۰
۴۲	دره شهر	ایلام	۴۷	۳۴	۶۷۰	۴۳۵	۴۲	۱۶
۴۳	دهلران	ایلام	۴۷	۳۳	۲۳۲	۲۷۶	۶۱	۱۷
۴۴	ایوان	ایلام	۴۶	۳۴	۱۱۷۰	۶۷۱	۳۶	۹
۴۵	مهران	ایلام	۴۶	۳۴	۱۵۰	۲۰۵	۶۶	۳۰

از داده‌های روزانه ۴۵ ایستگاه هواشناسی جنوب غربی ایران در طی یک دوره سی ساله (۲۰۱۶-۱۹۸۶) تفکیک شده و سپس تعداد روزهای گرد و غبار، همچنین فراوانی وقوع هر رخداد در طول روز به‌طور دقیق شمارش شد. مجموعه داده‌ها از نظر نرمال بودن بررسی شدند و سپس توزیع زمانی- مکانی ماهانه و سالانه روزهای همراه با وقایع گرد و غبار در سطح ایستگاه‌های منطقه جنوب غرب کشور به‌صورت نمودار ترسیم و بر مبنای روش‌های درون‌یابی سامانه اطلاعات جغرافیایی در محیط نرم‌افزار ArcGIS پهنه‌بندی شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار SPSS آزمون همبستگی بین داده‌های محاسبه شده اجرا شد.

ب) فراوانی رخدادهای گرد و غبار

تنها داده هواشناختی قابل دسترس در ارتباط با گرد و غبارهای کشور، تعداد روزهای توأم با گرد و غبار است. تیپ‌های متفاوتی از گرد و غبارها وجود دارد که سازمان هواشناسی جهانی (WMO) بر حسب عوامل هواشناختی ایجادکننده، محدوده تأثیر، میزان کاهش دید افقی و سرعت باد همراه آنها به‌صورت کدهایی طبقه‌بندی کرده است. این کدها که در گروه هوای حاضر (ww) گزارش‌های سینوپتیک، دیده‌بانی و ثبت می‌شوند عبارتند از: کدهای (۰۶، ۰۷، ۰۸،

دوره آماری ۲۰۱۶-۱۹۸۶ و برای ۴۵ ایستگاه سینوپتیک و کلیما تولوژی جنوب غربی کشور در مقاطع ۸ ساعته و روزانه از سازمان هواشناسی کشور اخذ، پردازش، محاسبه و در قالب جدول ماهانه (جدول ۱) تنظیم شد. دسته دوم شامل داده‌های عمق اپتیکی با دو الگوریتم ترکیبی Deep Blue و Dark Target کد ۰۶۴ با قدرت تفکیک ۱۰ کیلومتری سنجنده MODIS است که برای تخمین ذرات معلق هم‌زمان با روزهای غباری از پایگاه سازمان فضایی ناسا و برای سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ تهیه شده است.

در این مقاله، خروجی تصاویر AOD سنجنده‌ها در کنار داده‌های تعداد روزهای گرد و غبار و دید افقی کمتر از ۲۰۰۰ متر (Hongda et al., 2017) در ۴۵ ایستگاه هواشناسی مورد مقایسه و ارزیابی و مطالعه موردی گرد و غبار روزانه دوم جولای ۲۰۰۸ به‌عنوان نمونه بارز رخداد گرد و غبار بررسی شده است.

الف) نحوه تعیین روزهای وقایع مورد بررسی

در مرحله اول تحقیق، فراوانی رخدادهای گرد و غبار و دید افقی کمتر از ۲۰۰۰ متر (Hongda et al., 2017, Hatami et al., 2019) حاتمی مهند و همکاران، ۱۳۹۵) با استفاده

در مرحله بعد با توجه به قابلیت‌های سنجنده‌های مختلف، سنجنده MODIS به‌عنوان منبع اصلی داده‌های سنجنش از دوری انتخاب شد. برای اندازه‌گیری شدت غلظت گرد و غبار، محصول ضخامت طیف نوری (AOD) ذرات گرد و غبار سنجنده (MODIS) استفاده شد. سپس نقشه‌های همدیدی مربوط به این پدیده‌ها از وبگاه NOAA (<https://www.noaa.gov/>) استخراج و تفسیر همدیدی و دینامیکی آنها انجام شد. فراوانی رخدادهای گرد و غبار با تاریخ‌های وقوع، تفکیک و با خروجی تصاویر سنجنده MODIS ماهواره Aqua، الگوریتم ترکیبی محصول Deep Blue AOD و Dark Target کد ۰۶۴ در تاریخ‌های ذکر شده مقایسه شد. نکته قابل توجه در این خصوص، این است که مقیاس و پیکسل اندازه تصاویری با قدرت مکانی ۱*۱ درجه توسعه داده می‌شود که تنها می‌توان از آن برای شناسایی محدوده نسبی گرد و غبار استفاده کرد و برای شناسایی دقیق مناطق مولد که گاهی در حد یک کیلومتر مربع مساحت دارند، نمی‌توان از آن بهره گرفت (فرج‌زاده و کریمی، ۱۳۹۲). داده‌ها و مواد تحقیق شامل داده‌های هواشناسی مربوط به کدهای غباری و تصاویر ماهواره‌ای MODIS در روزهای غباری است. داده‌های گروه اول برای



۰۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴، ۳۵ و ۹۸). در سازمان هواشناسی کشور برای بیان هوای حاضر از اعداد رمزی (کد ۰۰ تا ۹۹) استفاده می‌کنند. طبق این کدبندی، کد ۰۵ را به پدیده غبار، کد ۰۶ را به گردوخاک معلق در هوا که در اثر طوفان شن، یا خاک از نقاط خارج از ایستگاه به ایستگاه آمده و کد ۰۷ را به گردوخاک یا شنی که به وسیله باد در ایستگاه، یا نزدیکی آن در ساعت دیده‌بانی بلند شده است، اختصاص داده‌اند (فتاحی و قناد، ۱۳۸۹). بر طبق این اصل، تمامی روزهای ۴۵ ایستگاه منتخب فیلتر (جداسازی) شده‌اند. به همین ترتیب داده‌ها براساس دید افقی به ۷ دسته طبقه‌بندی و فراوانی آنها مشخص شده است.

مرحله دوم تحقیق از طریق قرار دادن همه شدیدترین روزهای گرد و غبار در یک مجموعه آزموده، آغاز شد و بررسی کافی به منظور تشخیص افتراق ویژگی‌ها به طور روزانه، ماهانه، فصلی و سالانه انجام شد.

ج) وضعیت دید افقی

یکی از کمیت‌های مؤثر در وضعیت دید افقی، وجود ذرات گرد و غبار است. بر مبنای دستورالعمل کدها و روش‌های دیده‌بانی سطح زمین، در سازمان هواشناسی جهانی، دید افقی، بیشینه مسافتی است که یک دیده‌بان می‌تواند اشیاء را با نور معمولی به خوبی تشخیص دهد (صحت کاشانی و همکاران، ۱۳۹۵). وضعیت دید افقی، در توصیف محیط‌زیست اطراف و مطالعه اثر ذرات معلق بر بارش، بیشتر به‌عنوان جانشینی برای ذرات معلق مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hand و همکاران، ۲۰۰۲؛ Qian و همکاران، ۲۰۰۹؛ Rosenfeld و همکاران، ۲۰۰۷). در تجزیه و تحلیل روند بلندمدت، وضعیت دید افقی به این دلیل استفاده می‌شود که نسبت به سایر اندازه‌گیری‌های مستقیم مقادیر محیط‌زیستی مانند ذرات معلق و ضخامت نوری ذرات آئروسول رکورد بسیار طولانی دارد (چه و همکاران، ۲۰۰۷). جمع‌آوری مقادیر دید افقی در طول روزهای بدون مه و بدون بارش انتخاب شد تا اطمینان حاصل شود که تنها ذرات معلق گرد و غبار به‌عنوان علت کاهش دید افقی در ایستگاه‌ها ارائه شده

است. در این پژوهش فراوانی رخداد‌های گرد و غباری که منجر به کاهش میانگین دید افقی کمتر از ۲۰۰۰ متر شده است در دوره آماری سی ساله ۲۰۱۶-۱۹۶۶ با استفاده از داده‌های مشاهداتی ۴۵ ایستگاه هواشناسی همدیدی در طول شبانه‌روز شناسایی، تفکیک و سپس از طریق روش‌های آماری تحلیل شده است. موارد مطالعاتی براساس کدهای دستورالعمل سازمان هواشناسی جهانی نشانگر گرد و غباری است که در دوره آماری مورد بررسی

یکی

از کمیت‌های مؤثر

در وضعیت دید افقی،

وجود ذرات گرد و غبار است.

بر مبنای دستورالعمل کدها و

روش‌های دیده‌بانی سطح زمین،

در سازمان هواشناسی جهانی،

دید افقی، بیشینه مسافتی است

که یک دیده‌بان می‌تواند اشیاء

را با نور معمولی به خوبی

تشخیص دهد

در منطقه ایجاد شده است.

در این تحقیق، خروجی تصاویر AOD سنجنده‌ها در کنار داده‌های تعداد روزهای گرد و غبار و دید افقی کمتر از ۲۰۰۰ متر (Hongda et al., ۲۰۱۷) که شاهدهی برای غلظت آئروسول‌های سطحی است، در ۴۵ ایستگاه هواشناسی مقایسه و ارزیابی شده و در نهایت مطالعه موردی گرد و غبار روزانه دوم جولای ۲۰۰۸ به‌عنوان نمونه بارز رخداد گرد و غبار منطقه جنوب غربی ایران بررسی شده است.

● نتایج

در این مطالعه نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل فراوانی تعداد روزهای گرد و غبار نشانگر آن بود که میانگین سالانه تعداد روزهای توأم با گرد و غبار ۴۵ ایستگاه منطقه جنوب غربی ایران در طول دوره ۳۰ ساله، ۵۰/۵ روز است. میانگین حداکثر و حداقل روزهای غباری در این دوره به ترتیب ۱۶۸ و

۳ روز، میانگین انحراف از معیار ۳۹، میانگین واریانس ۱۷۰۷ و میانگین ضریب تغییرپذیری ۸۵/۹ است. میانگین سالانه تعداد روزهای همراه با دید افقی کمتر از ۲۰۰۰ متر در ۴۵ ایستگاه منطقه جنوب غربی ایران در طول دوره ۳۰ ساله ۲۱ روز است. میانگین حداکثر تعداد روزهای همراه با دید افقی کمتر از ۲۰۰۰ متر در طی دوره ۶۹ روز، میانگین حداقل ۱/۴ روز، انحراف از معیار ۱۶/۸، واریانس ۳۱۵/۸ و ضریب تغییرپذیری ۷۸/۷ است. میانگین سالانه بارش ۴۵ ایستگاه در منطقه جنوب غربی ایران در طول دوره ۳۷۵ میلی‌متر است. میانگین حداکثر بارندگی در دوره بلندمدت ۸۶/۴، میانگین حداقل بارش ۸۶/۶ میلی‌متر، انحراف از معیار ۲۹۳، واریانس ۶۱۰۵۹ و ضریب تغییرپذیری ۶۴ است.

نتایج این تحقیق حاکی از آن است که میانگین سالانه تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در جنوب غربی ایران پس از سال ۲۰۰۰ افزایش یافته است، در دهه اول روند و در طی سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۸۶، میانگین تعداد روزهای غباری ۸۲/۳ روز، در دهه دوم روند و در طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۹۶، ۴۶/۳ روز، در دهه سوم روند و در طی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۶، ۸۴/۶ روز و در کل روند دوره سی ساله میانگین ۷۱/۱ روز برآورد شده است. شدیدترین شرایط گرد و غباری طی دوره مورد بررسی، به سال ۲۰۰۹ و کمترین شرایط گرد و غباری به سال ۱۹۹۴ اختصاص دارد. بارزترین نمونه رخداد گرد و غبار در دوره مورد مطالعه، حاکی از ثبت حداقل دید افقی اکثر ایستگاه‌های سینوپتیک واقع در جنوب غرب کشور با استفاده از رکورد دید افقی ۳ ساعته سازمان هواشناسی در تاریخ دوم جولای ۲۰۰۸ است (انصافی مقدم و همکاران، ۱۳۹۷).

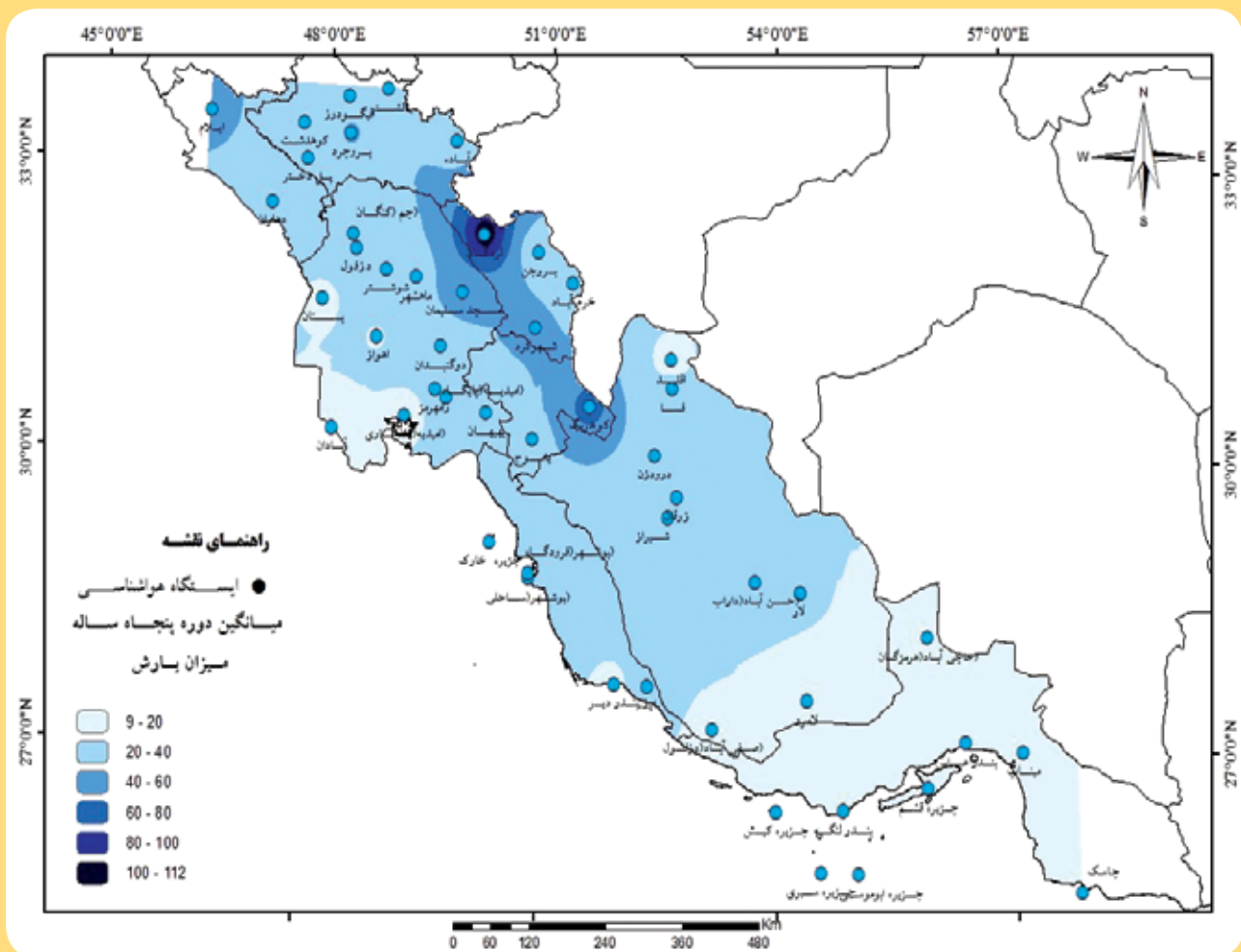
از آنجایی که معیار انتخاب روزهای گرد و غبار، گزارش گرد و غبار ایستگاه‌ها، حداقل دید و حداکثر تداوم است (حمزه نسیم و همکاران، ۱۳۹۵)، نقشه‌های پهنه‌بندی میدان دید افقی و تعداد روزهای توأم با گرد و غبار تهیه شد (شکل‌های ۲، ۳ و ۴).

مطالعه دهه به دهه روند نشان داد در دهه اول و طی سال‌های (۱۹۹۵-۱۹۸۶)

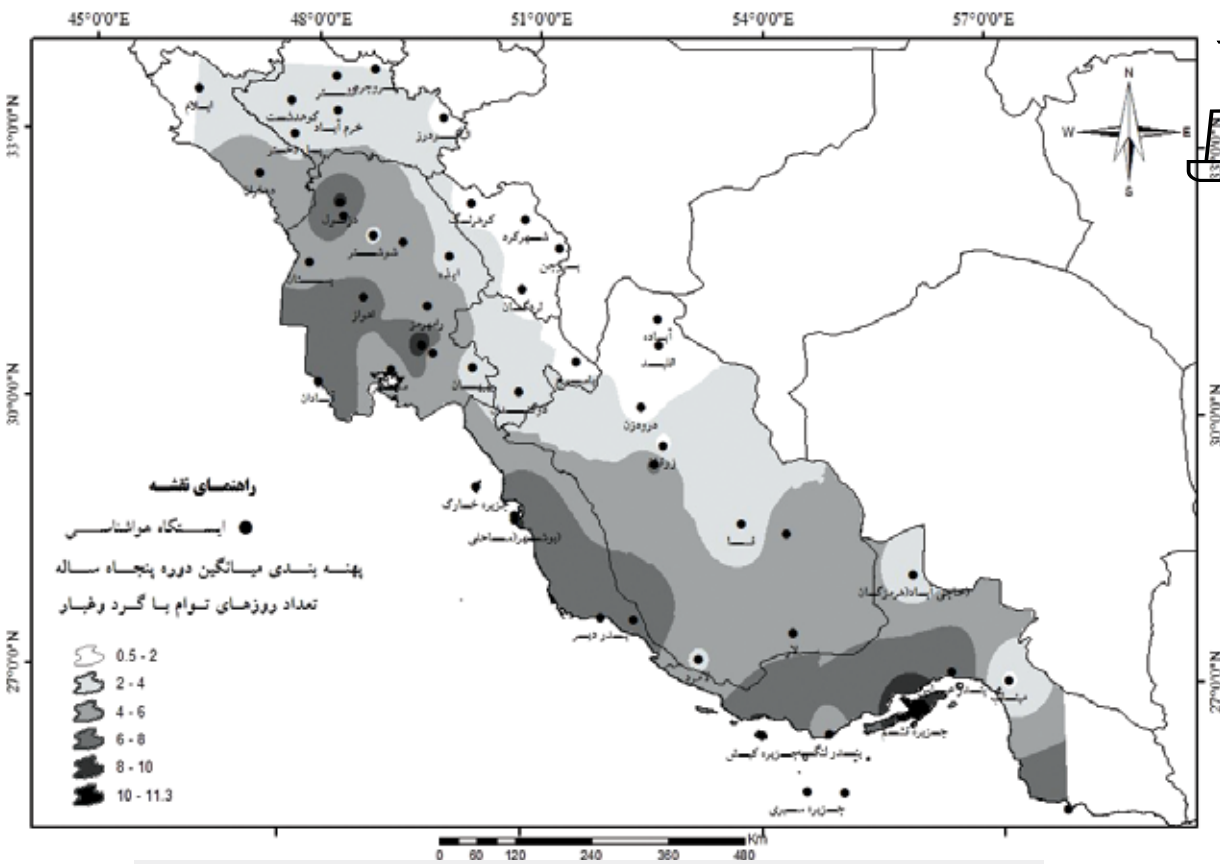
است. به این مفهوم که فصل خشک منطقه منطبق بر تابستان و فصل بارش متمرکز در ماه‌های سرد است. فراوانی رخداد‌های بارندگی در روزهای توأم با گرد و غبار به‌طور فصلی محاسبه و تحلیل شده است. در دوره سرد سال بر اثر ورود امواج بادهای غربی و سیستم‌های مدیترانه‌ای و سودانی، سازوکار بارش در کشور فراهم می‌شود. دلیل عدم رخداد بارش در فصل تابستان در ناحیه موردنظر، همانند بسیاری از نقاط دیگر ایران، پرفشار جنب حاره‌ای آזור است که اقلیم ایران را در این فصل کنترل می‌کند. بنابراین براساس عملکرد الگوهای جوی در این دوره از سال کمینه مقدار بارش در این ناحیه از قلمرو مورد مطالعه مشاهده می‌شود. البته در نواحی نیمه پربارش در فصل تابستان،

و ۲۰۱۰ و کمترین شرایط گرد و غباری در سال ۱۹۹۹ به چشم می‌خورد. توزیع فصلی تعداد روزهای گرد و غبار در دوره سی ساله بدین‌گونه است که در طول دوره، ۳۳/۳ درصد روزهای غباری در فصل بهار، ۴۲/۴ درصد روزهای غباری در فصل تابستان، ۱۴/۷ درصد روزهای غباری در فصل پاییز و ۱۰/۱ درصد در فصل زمستان ثبت شده است. در طول دوره سی ساله، بیشترین بارش این ناحیه در فصل زمستان روی داده است و فصل پاییز در رتبه دوم قرار دارد. به‌طوری‌که ۵۵/۹ درصد بارش در فصل زمستان، ۲۷/۷ درصد بارش در فصل بهار، ۱۶/۵ درصد در فصل پاییز و ۰/۶ درصد در فصل تابستان مشاهده شده است. توزیع بارندگی در فصول مختلف کاملاً با ورود سیستم‌های باران‌زای منطقه منطبق

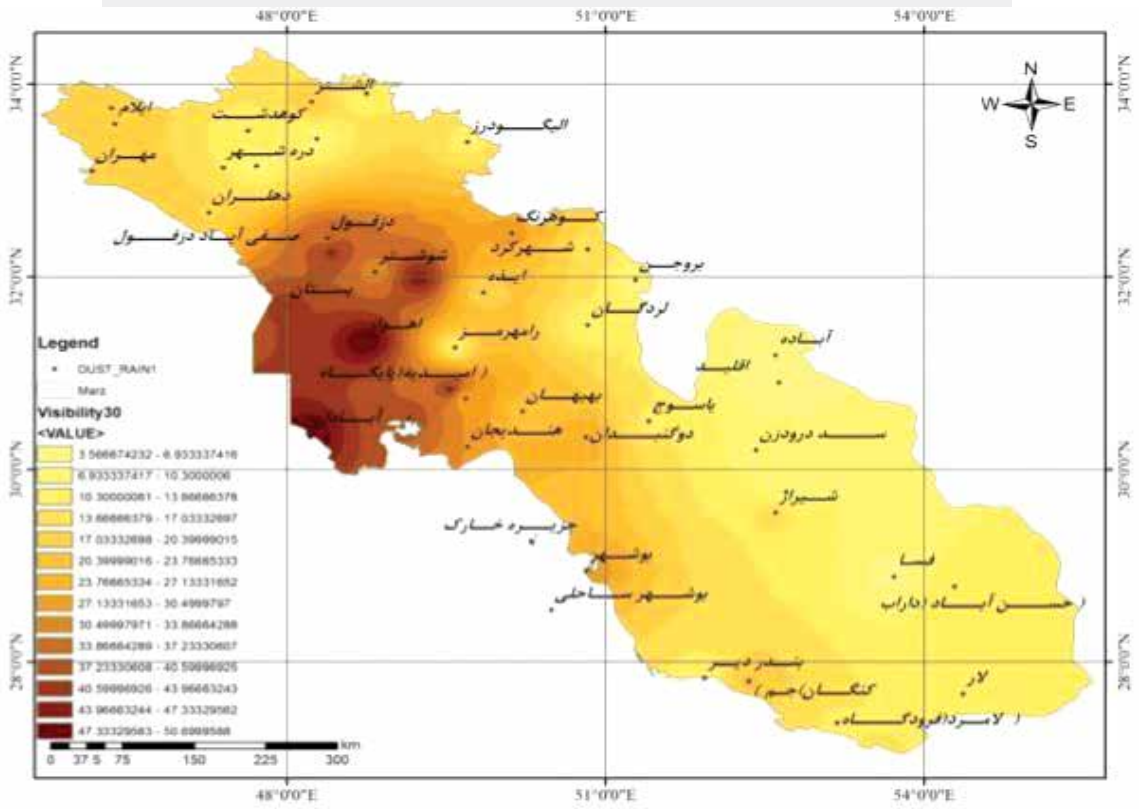
میانگین تعداد روزهای غباری ۸۲/۳ روز با میانگین بارش ۴۰۲ میلی‌متر، در دهه دوم روند و طی سال‌های (۲۰۰۵-۱۹۹۶)، تعداد روزهای غباری ۴۶/۳ روز با میانگین بارش ۳۹۳ میلی‌متر، در دهه سوم روند طی سال‌های (۲۰۱۶-۲۰۰۶)، تعداد روزهای غباری ۸۴/۶ روز با میانگین بارش ۳۱۶/۷ میلی‌متر و در کل روند سی ساله میانگین تعداد روزهای همراه با گرد و غبار ۵۰/۵ روز و میانگین بارش ۳۷۰/۸ میلی‌متر برآورد شده است. فراوانی تعداد روزهای گرد و غباری تقریباً در نیمه روند (سال ۱۹۹۹) کاهش قابل‌ملاحظه‌ای یافته و از آن پس تا پایان دوره با روندی افزایشی روبه‌رو بوده و در انتهای روند دوباره با کاهش مواجه شده است. بیشترین شرایط گرد و غباری، در دهه پایانی روند و به‌طور مشخص در سال ۲۰۰۹



شکل ۲- نقشه تغییرات بارش در ۴۵ ایستگاه جنوب غربی ایران (در طول دوره مشترک آماری ۲۰۱۶-۱۹۸۶)



شکل ۳- نقشه تغییرات تعداد روزهای توأم با گرد و غبار در ۴۵ ایستگاه جنوب غربی ایران (۲۰۱۶-۱۹۸۶)



شکل ۴- نقشه تغییرات تعداد روزهای با میدان دید افقی در ۴۵ ایستگاه جنوب غربی ایران (۲۰۱۶-۱۹۸۶)

مقدار اندکی بارش روی می‌دهد که به نظر می‌رسد ناشی از عوامل محلی، به‌ویژه اثر ناهمواری‌ها باشد (انصافی مقدم و همکاران، ۱۳۹۷).

اشکال مربوط به AOD سنجنده MODIS از رخدادهای گردو خاک در تاریخ‌های (۳۰ آوریل ۲۰۰۸، اول می ۲۰۰۸، دوم جولای ۲۰۰۸) و (۸ ژوئن ۲۰۰۹، ۲۰ ژوئن ۲۰۰۹، ۲۱ ژوئن ۲۰۰۹، ۱۰ جولای ۲۰۰۹) در منطقه جنوب غرب ایران، غلظت ضخامت نوری ذرات گرد و غبار را نشان داد. این تصاویر توانسته است میزان وسعت و غلظت گرد و غبار را با استفاده از ضخامت نوری، در روزهایی با فراوانی بالای رخدادهای گرد و غبار، نشان دهد (شکل ۵).

در شکل ۵ نیز، نتیجه اجرای الگوریتم دیپ بلو روی طوفان گرد و غبار دوم جولای ۲۰۰۸ نشان داده شده است. مطابق انتظار، نتایج این مدل به خوبی توانسته است با اندازه‌گیری عمق اپتیکی، پیکسل‌های آلوده به گرد و غبار را شناسایی کند. تجزیه و تحلیل داده‌های میانگین سالانه AOD نشان داد که سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ آلوده‌ترین سال‌ها در جنوب غربی ایران بود. یافته‌های این تحقیق با نتایج Javadian و همکاران (۲۰۱۹) که نشان دادند تجزیه و تحلیل رویدادهای گرد و غبار شدید حاکی از آن است که سال‌هایی با میانگین سالانه بیشتر AOD، با فراوانی رویدادهای شدید گرد و غبار رابطه دارد و در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹، بیشترین حوادث شدید گرد و غبار در تابستان و نه در بهار رخ داده، مطابقت داشته است.

سه تصویر بالایی در شکل ۵ مربوط به ماه‌های می، آوریل و جولای ۲۰۰۸ و چهار تصویر ردیف پایین، مربوط به ماه‌های ژوئن و جولای ۲۰۰۹ است. بر مبنای نقشه‌های تولید شده AOD (شکل ۴)، در تصاویر هر دو ردیف، کمترین مقادیر عمق نوری گرد و غبار با بخش‌های شمال و شمال شرق منطقه مورد مطالعه و بیشترین مقادیر با بخش‌های جنوب و جنوب غربی منطقه انطباق دارد.

داده‌های هواشناسی نیز بر آن تأکید دارند که بیشترین تعداد روزهای گرد و غبار مربوط به سال ۲۰۰۹ (۱۳۸۸) است. طبق نقشه‌های

تولید شده AOD نتایج نشان داد شدت گرد و غبار رویداد دوم جولای ۲۰۰۸ نسبت به رویدادهای دیگر بیشتر بوده و مناطق بیشتری توسط گرد و غبار با غلظت بالا را درگیر نموده است. به طوری که در تمام ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه میزان دید افقی در روز وقوع این طوفان به کمتر از ۱۰۰۰ متر و حتی در برخی از ایستگاه‌ها میزان دید افقی به زیر ۱۰۰ متر نیز رسیده است.

نتایج به دست آمده از تطابق داده‌های ضخامت نوری گرد و غبار با اندازه‌گیری‌های زمینی فراوانی رخدادهای گرد و غبار (وضعیت عناصر جوی) در روز دوم جولای ۲۰۰۸ مقارن با دوازدهم تیر سال ۱۳۸۷ در ایستگاه‌های جنوب غربی ایران در جدول ۳ به تفصیل اشاره شده است.

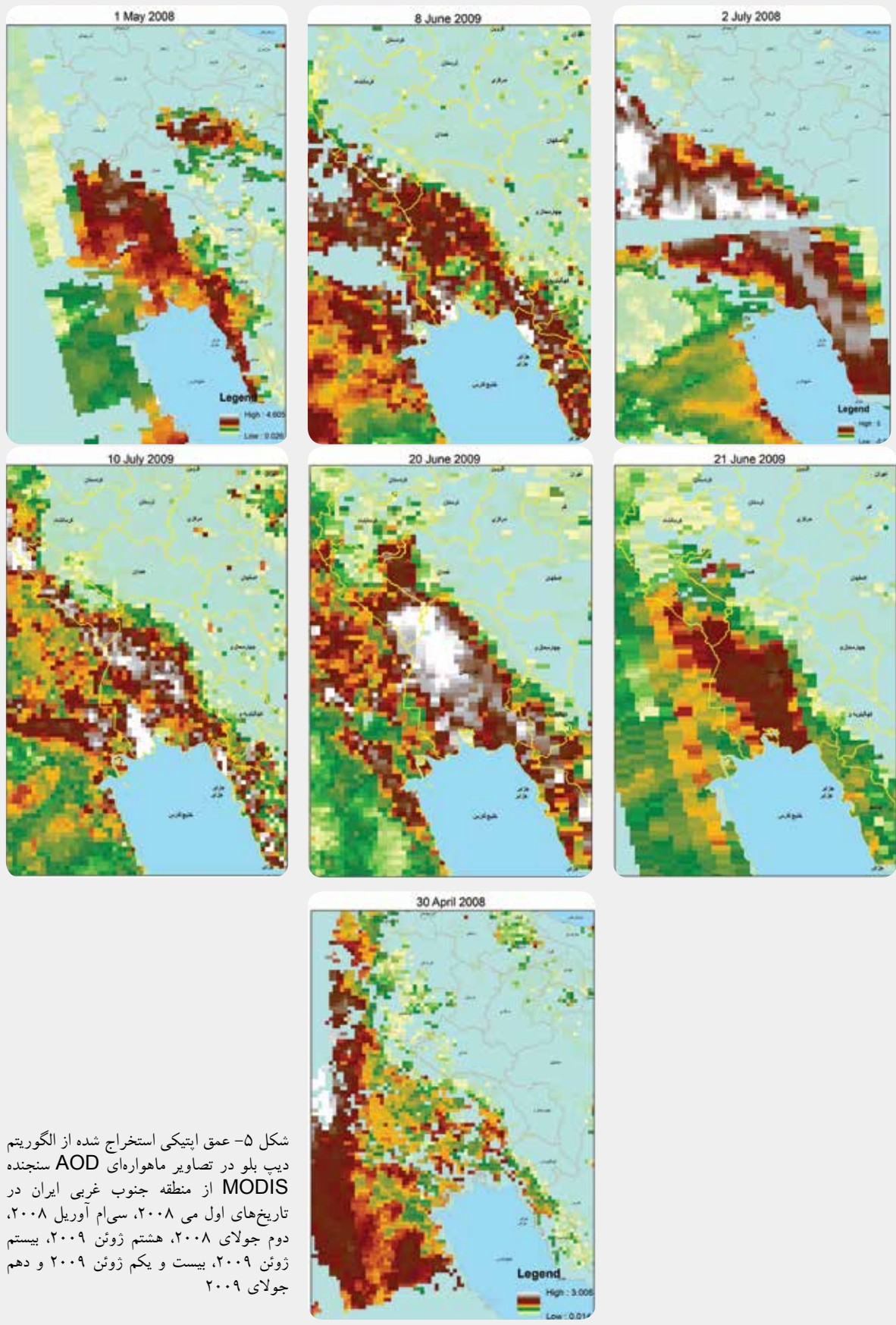
مطابق جدول ۲، ذیل ستون فراوانی گرد و غبار کد ۰۶ تا ۰۸، بالاترین فراوانی رخداد گرد و غبار (۸ مرتبه) در این روز به ۲۳ ایستگاه هواشناسی از جمله ایستگاه‌های آباء، اقلید، الیگودرز، امیدیه، اهواز، بستان، بندر دیر، بندر ماهشهر، بهبهان، بوشهر، پل دختر، خرم‌آباد، دره شهر، دهلران، دوگنبدان، شهرکرد، شیراز، صفی‌آباد، فسا، کوه‌دشت و ایوان غرب اختصاص داشته است. در شکل ۴، عمق اپتیکی استخراج شده از الگوریتم دیپ بلو در تصاویر ماهواره‌ای AOD سنجنده MODIS مربوط به تاریخ دوم جولای ۲۰۰۸، دقیقاً با مختصات جغرافیایی ایستگاه‌های نام‌برده انطباق دارد. بنابراین بر مبنای نقشه‌های تولید شده AOD (شکل ۴)، در روزهایی که محدوده جنوبی غربی ایران، با هجوم گرد و غبار روبه‌رو بوده است بین مقادیر AOD و تعداد روزهای توأم با روند افزایشی فراوانی رخدادهای گرد و غبار انطباق کامل مشاهده شده است.

نتایج این تحقیق نشان داد در مقادیر کم ذرات گرد و غبار (حدود ۱۰۰ میکروگرم بر مترمکعب)، همبستگی معناداری بین تعداد روزهای توأم با رخدادهای گرد و غبار با عمق اپتیکی (AOD) گرد و غبار وجود ندارد. در حالی که در مقادیر بالای ذرات گرد و غبار، همبستگی قوی بین تعداد روزهای توأم با رخدادهای گرد و غبار با عمق اپتیکی گرد و غبار مشاهده شده است. بنابراین چنین به نظر

می‌رسد رخدادهای گرد و غبار با غلظت اندک به ندرت در تصاویر AOD قابل ردیابی باشد. محمدی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۳) نیز در مدل‌های محاسباتی نشان دادند برای مقادیر کم ذرات گرد و غبار، همبستگی بین PM10 و متغیر مستقل AOD ضعیف است. در حالی که در مقادیر بالای ذرات گرد و غبار، همبستگی قوی‌تری مشاهده می‌شود.

● بحث و نتیجه‌گیری:

مطالعه پیش‌رو با هدف کلی بررسی وضعیت پدیده گرد و غبار استان‌های جنوب غربی ایران با استفاده از داده‌های زمینی (اقليمی) و سنجش از دور انجام شد. در این تحقیق ارتباط و روند سالیانه، فصلی، ماهانه و روزانه بین تعداد روزهای همراه با رخداد گرد و غبار و پارامتر دید افقی بررسی شد. نتایج بررسی و مقایسه میانگین‌های سالانه تعداد روزهای همراه با گرد و غبار در دهه اول روند و طی سال‌های ۱۹۹۵-۱۹۸۶ میانگین تعداد روزهای غباری ۸۲/۳ روز، در دهه دوم روند و طی سال‌های ۲۰۰۵-۱۹۹۶، ۴۶/۳ روز، در دهه سوم روند و طی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۶، ۸۴/۶ روز و در کل روند سی ساله میانگین ۷۱/۱ روز برآورد شده است. تحلیل وقایع گرد و غبار افزایش رویدادهای گرد و غبار را پس از سال ۲۰۰۰ نشان داده است، شدیدترین رویدادهای گرد و غبار به سال ۲۰۰۹ و کمترین شرایط گرد و غباری به سال ۱۹۹۴ اختصاص داشته است. بارزترین نمونه رخداد گرد و غبار در دوره مورد مطالعه، در تاریخ دوم جولای ۲۰۰۸، به ثبت رسید. به منظور مکان‌یابی و تشخیص مناطق مستعد به بلند شدن غبار، پس از به دست آوردن نقشه‌های عمق اپتیکی، اطلاعات زمینی شدت و فراوانی وقوع گرد و غبار و دید افقی، همچنین اثر مشترک این دو پارامتر مورد نیاز بود. به منظور بارزسازی و زون‌بندی غلظت توده‌های گرد و غبار جنوب غرب ایران، تصاویر و محصولات سنجنده مودیس (Deep Blue Aerosol Optical thickness) در دو سال متوالی



شکل ۵- عمق اپتیکی استخراج شده از الگوریتم دیپ بلو در تصاویر ماهواره‌ای AOD سنجنده MODIS از منطقه جنوب غربی ایران در تاریخ‌های اول می ۲۰۰۸، سی‌ام آوریل ۲۰۰۸، دوم جولای ۲۰۰۸، هشتم ژوئن ۲۰۰۹، بیستم ژوئن ۲۰۰۹، بیست و یکم ژوئن ۲۰۰۹ و جولای ۲۰۰۹

جدول ۲- تطابق داده‌های ضخامت نوری گرد و غبار با اندازه‌گیری‌های زمینی فراوانی رخدادهای گرد و غبار (روز دوم جولای ۲۰۰۸)

ایستگاه	تاریخ روز	وضعیت	بازندگی	فراوانی گردوغبار کد ۰۶ تا ۰۸	فراوانی گردوغبار کد ۰۹ تا ۳۴	ایرناکی	حداقل دما	حداکثر دما	میانگین دما	تبخیر	ساعت آفتابی	رطوبت نسبی
آبادان	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۶	۰	۰	۳۱/۴	۴۴/۰	۳۵/۷	۱۴/۰	۳/۱	۱۸/۹
آباده	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۱۸/۲	۳۱/۰	۲۴/۸	۱۶/۲	۸/۵	۲۴/۸
اقلید	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۱۵/۰	۳۰	۲۲/۵	۱۳/۴	۸/۰	۲۴/۴
الشتر	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۵	۰	۲/۵	۱۶/۸	۳۲/۰	۲۶/۵	۸/۰	۳/۵	۳۴/۰
الیگودرز	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۳/۶	۱۶/۴	۲۹/۶	۲۳/۶	۱۱/۸	۵/۸	۲۹/۵
امیدیه (آغاچاری)	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۲۹/۰	۴۳/۰	۳۶/۲	۱۵/۸	۰	۱۸/۵
امیدیه (پایگاه)	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۲۹/۰	۴۳/۰	۳۶/۴	۱۵/۸	۰	۱۸/۵
اهواز	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۳۴/۰	۴۲/۰	۳۷/۰	۱۱/۶	۰	۲۲/۵
ایذه	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۵	۰	-/۵	۲۵/۰	۳۷/۲	۳۲/۶	۹/۵	۰	۱۸/۲
ایلام	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۵	۰	۰	۲۲/۴	۳۴/۲	۴۷/۹	۱۲/۴	۰	۲۲/۵
بروجرد	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۳	۰	۱/۰	۱۷/۰	۳۲/۶	۲۶/۲	۹/۴	۷/۳	۳۰
بروجن	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۷	۰	۱/۴	۱۳/۰	۲۸/۲	۲۲/۰	۱۴/۰	۸/۳	۲۵/۳
بستان	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۳۲/۰	۳۹/۶	۳۵/۱	۱۴/۱	۰	۲۵/۰
جزیره خارک	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۵	۰	۰	۳۰/۲	۳۶/۰	۳۳/۶	۱۱/۰	۱/۰	۵۱/۸
بندر دیر	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۳۲/۴	۴۱/۰	۳۵/۴	۱۶/۴	۰	۲۵/۱
بندر ماهشهر	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۳۱/۰	۴۲/۲	۳۶/۱	۱۲/۲	۰	۲۷/۳
بهبهان	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۲۶/۴	۴۱/۰	۳۴/۹	۱۶/۶	۰	۱۷/۱
بوشهر (ساحلی)	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۲۹/۰	۳۵/۸	۳۲/۵	۹/۶	۰	۶۰/۵
بوشهر (فرودگاه)	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۲۹/۰	۳۷/۵	۳۲/۴	۸/۲	۰	۵۵/۸
پل دختر	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۳۰	۳۸/۶	۳۴/۲	۱۴/۶	۰	۱۷/۳
کنگان (جم)	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۵	۰	۰	۲۵/۵	۳۸/۵	۳۴/۲	۱۸/۰	۶/۰	۱۶/۰
حسن آباد (داراب)	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۵	۰	۰	۲۳/۴	۳۷/۸	۳۲/۸	۱۱/۱	۸/۵	۱۸/۴
خرم آباد	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۱/۶	۲۴/۰	۳۵/۶	۲۹/۷	۱۱/۴	۰	۲۶/۱
دره شهر	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۲۹/۰	۴۰/۲	۳۴/۳	۱۵/۶	۰	۲۶/۸

ایستگاه	تاریخ روز	وضیعت	بارندگی	فراوانی گردوغبار کد ۰۶ تا ۰۸	فراوانی گردوغبار کد ۰۹ تا ۳۴	ابرناکی	حداقل دما	حداکثر دما	میانگین دما	تبخیر	ساعت آفتابی	رطوبت نسبی
سد درودزن	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۵	۰	۰/۵	۲۱/۰	۳۳/۰	۲۸/۳	۸/۲	۶/۴	۲۳/۰
دهلران	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۳۴/۶	۴۱/۶	۳۷/۷	۱۹/۵	۰	۲۱/۵
دوگنبدان	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۲۷/۰	۳۷/۸	۳۲/۴	۱۵/۰	۰	۲۷/۹
رامهرمز	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۵	۰	۰	۳۲/۰	۴۲/۰	۳۸/۰	۸/۲	۰	۱۳/۶
زرقان	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۵	۰	۰	۲۰/۴	۳۵/۰	۲۸/۶	۱۳/۷	۲/۷	۱۷/۴
شهرکرد	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۱/۶	۱۳/۴	۳۰/۴	۲۲/۷	۱۰/۴	۷/۷	۳۳/۰
شوشتر	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۵	۰	۰	۳۳/۸	۴۳/۰	۳۸/۲	۱۱/۶	۰	۱۷/۸
شیراز	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۲۱/۶	۳۴/۴	۲۷/۸	۱۷/۴	۰	۲۰/۴
صفی آباد	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۳۱/۰	۴۲/۰	۳۵/۵	۱۰/۲	۰	۲۷/۵
فسا	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۲۰	۳۵/۶	۲۸/۵	۱۴/۳	۴/۹	۲۱/۵
کوهدشت	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۲۲/۲	۳۵/۶	۲۹/۰	۱۱/۴	۰	۲۸/۵
کوهرنگ	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۱	۰	۲/۲۵	۱۳/۰	۲۶/۸	۲۰/۲	۱۰/۳	۶/۶۰	۳۵/۲
ایوان غرب	۲۰۰۸/۰۲/۰۷	گردوغبار	۰	۸	۰	۰	۲۳/۰	۳۴/۰	۲۸/۳	۱۳/۸	۰	۲۲/۸

جدول ۳- مشخصات مدل رگرسیون خطی چندمتغیره PM10 و AOD در بازه زمانی روزانه (محمدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۳).

مدل	ضرایب غیراستاندارد B	ضرایب استاندارد (Beta)	t	Sig
ضرایب	3543		3.721	.000
AOD	759.042	.666	5.510	.000
logHV	-597.264	-.614	-3.997	.000
logaod	-421.653	-.227	-2.389	.019
HV	.054	.320	.037	2.113

تحلیل ضریب همبستگی بیانگر آن است که در سطح معناداری ۰.۰۱ در بازه زمانی روزانه رابطه معنی‌دار قوی بین تعداد روزهای گرد و غبار و AOD وجود دارد.

۲۰۰۸-۲۰۰۹ جمع‌آوری شد. یافته‌های این تحقیق نشان داد بین پارامتر ضخامت نوری ذرات گرد و غبار استخراج شده از سنجنده MODIS و اطلاعات تاریخی ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه مشتمل بر تعداد روزهای توأم با گرد و غبار، فراوانی رخداد‌های گرد و غبار روزانه و حداقل میدان دید افقی انطباق بسیار منطقی وجود دارد. از این رو AOD می‌تواند معیار روشنی برای بررسی و تحلیل وقایع روزانه گرد و غبار محسوب شود. بر مبنای نقشه‌های تولید شده AOD، کمترین مقادیر عمق نوری گرد و غبار با بخش‌های شمال و شمال شرق منطقه مورد مطالعه و بیشترین مقادیر با بخش‌های جنوب و جنوب غربی منطقه انطباق دارد. علت اصلی افزایش عمق نوری ذرات در قسمت‌های جنوب و جنوب غربی منطقه را می‌توان در جهت باد جستجو کرد. با توجه به جهت غالب شمال غربی در منطقه مورد بررسی (محمدی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۳) در بخش‌های کوهستانی شمال منطقه، سرعت باد کاهش یافته و جهت آن به سمت شمال شرقی منحرف می‌شود. در مناطق مرکزی،

جهت باد کاملاً غربی - شرقی و در مناطق جنوبی در جهت جنوب شرقی امتداد یافته و سرعت آن به شدت افزایش می‌یابد. با استفاده از تصاویر ماهواره MODIS و محصول AOD بارزترین رخداد گرد و غبار در مقیاس منطقه مورد مطالعه (با دو الگوریتم ترکیبی Blue Deep و Dark target) با مقادیر تعداد روزهای گرد و غبار، رخدادهای گرد و غبار روزانه و دید افقی کمتر از ۲۰۰۰ متر در ایستگاه‌های زمینی مقایسه شد. نتایج نشان داد بیشترین ضخامت اپتیکی AOD، با ایستگاه‌هایی که در معرض بالاترین میزان هجمه گرد و غبار (۸ سینوپ) قرار داشته‌اند در تاریخ‌هایی که بالاترین اندازه‌گیری‌های زمینی فراوانی رخدادهای گرد و غبار در آن ثبت شده، انطباق کامل داشته است. در این مقاله با ارائه یک نمونه، بررسی موردی ۸ سینوپ گرد و غبار در تاریخ دوم جولای ۲۰۰۸ و تهیه نقشه عمق اپتیکی آئروسول استخراج شده از الگوریتم دیپ بلو در تصاویر ماهواره‌ای AOD سنجنده MODIS در منطقه جنوب غربی ایران، انجام شد، توزیع آئروسول‌های گرد و غبار موجود در جو بارزسازی شد.

نتایج به دست آمده حاصل از تطابق داده‌های ضخامت نوری گرد و غبار با اندازه‌گیری‌های زمینی فراوانی رخدادهای گرد و غبار در پژوهش پیش‌رو، با نتایج پژوهش‌های Nourmoradi و دیگران (۲۰۱۶) که بالاترین میانگین غلظت فصلی PM10 در تابستان و کمترین میانگین غلظت فصلی را در زمستان قابل مشاهده دانسته و نتایج تحقیق محمدی‌نژاد و همکاران (۱۳۹۳) که با محاسبه رابطه بین متغیر PM10 و متغیر مستقل AOD در بازه زمانی روزانه اثبات کرد در مقادیر کم ذرات گرد و غبار، همبستگی بین PM10 و متغیر مستقل AOD ضعیف و در مقادیر بالای ذرات گرد و غبار، همبستگی قوی‌تری مشاهده می‌شود، همچنین با نتایج تحقیقات Javadian و دیگران (۲۰۱۹) که نشان داد در سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ بیشترین حوادث شدید گرد و غبار در جنوب غربی ایران در فصل

تابستان و نه در بهار رخ داده است و این تعداد حوادث شدید براساس اقلیم‌شناسی بیشترین رقم را دارد، مطابقت داشته است. نتایج این تحقیق می‌تواند برای تشخیص خودکار گرد و غبار در طول شبانه‌روز مورد استفاده قرار گیرد، همچنین با استفاده از تکنیک‌های سنجنش از دور می‌توان به شناسایی مناطق منشأ ذرات گرد و غبار و نحوه پخش آن از روی تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS اقدام کرد.

● سپاسگزاری

در پایان لازم است از جناب آقای دکتر علی‌اکبر نوروزی رئیس بخش پژوهشکده تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری برای راهنمایی و حسن همکاری در ارائه و تحلیل اطلاعات و تصاویر ماهواره‌ای AOD حاصل از سنجنده مودیس، تشکر و قدردانی شود.

● منابع

- امان‌اللهی، ج. و کبودوندپور، ش.، ۱۳۹۳. ارزیابی قابلیت تصاویر و داده‌های سنجنده مودیس برای اندازه‌گیری PM10 در رابطه با داده‌های زمینی (مطالعه موردی: شهر سنندج). فضای جغرافیایی، ۱۴(۲۶): ۱۴۹-۱۲۹.
- انصافی مقدم، ط.، خوش‌اخلاق، ف.، شمسی‌پور، ع.، اخوان، ر.، صفرراد، ط. و امیراصلانی، ف.، ۱۳۹۷. واکاوی فراوانی رخدادهای گرد و غبار و بارش هم‌زمان در جنوب غربی ایران. تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۴(۲۵): ۷۷۸-۷۷۰.
- حاتمی‌مهند، ج.، ۱۳۹۵. بررسی شرایط هواشناسی کمینه دید افقی روزانه با استفاده از اطلاعات دستگاه RVR فرودگاه امام خمینی برای سال‌های ۲۰۱۴-۲۰۱۳. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، صفحه ۱۷-۳۰.
- حمزه‌نسیم، ح.، فتاحی، ا.، ذوالجودی، م.، غفاریان، ب. و رنجبر، ع.، ۱۳۹۵. تحلیل همدیدی و دینامیکی پدیده گرد و غبار و شبیه‌سازی آن در جنوب غرب ایران در تابستان. تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، ۱۳(۱): ۹۱-۱۰۲.
- حیدری، پریسا، ۱۳۹۴. توسعه مدل استخراج عمق اپتیکی ذرات معلق با قدرت تفکیک مکانی بالا، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف دانشکده مهندسی عمران، استاد راهنما: دکتر مسعود تجریشی، صفحه ۱۴.
- فرج‌زاده، م. و کریمی، ن.، ۱۳۹۲. مبانی هواشناسی ماهواره‌ای. سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها، تهران، ۱۸۲ صفحه.

فلاح‌زروی، م.، وفایی‌نژاد، ع.، خیرخواه زرکش، ا. و احمدی‌دهکا، ف.، ۱۳۹۳. منشأیابی گرد و غبار غرب و جنوب غرب ایران و تحلیل سینوپتیکی آن با استفاده از سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. سنجنش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجنش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)، ۴۱(۴): ۶۱-۷۷.

قربانی سالخورد، ر.، مباحثی، م. و رحیم‌زادگان، م.، ۱۳۸۹. توانایی داده‌های سنجنده مودیس در تحلیل‌های کیفی و کمی کیفیت هوا در مناطق شهری. پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، ۳(۳): ۷۴-۶۱.

محمدی‌نژاد، ش.، محمدی‌سراب، ع. و فرج‌زاده‌اصل، م.، ۱۳۹۳. تجزیه و تحلیل و تهیه نقشه توزیع مکانی ذرات کمتر از ده میکرون استان خوزستان با استفاده از محصولات سنجنده مودیس. برنامه‌ریزی و آمایش فضا، ۱۸(۳): ۷۹-۹۸.

- Javadian, M., Behrangi, A. and Sorooshian, A., 2019. Impact of drought on dust storms: case study over Southwest Iran, Environmental Research Letters, 14(12): 1-9.
- Hatami, J., Sabetghadam, S. and Ahmadi-Givi, F., 2019. Investigation of the daily minimum visibility meteorological conditions using RVR data at IKA airport during 2013-2014. Journal of Spatial Analysis Environmental hazards, 6(1): 17-30.
- Hongda, T., Zibo, Zh. and Dongsong, S., 2017. Development and accuracy of a multipoint method for measuring visibility. Applied Optics, 56(28): 7952-7959.
- Nourmoradi, H., Omid Khaniabadi, Y., Goudarzi, G., Daryanoosh, S.M. and Khoshgoftar, M., 2016. Air Quality and Health Risks Associated With Exposure to Particulate Matter: A Cross-Sectional Study in Khorramabad, Iran. Health Scope, 5(2):e31766.
- Shahsavani, A., Naddafi, K., Jafarzade Haghhighifard, N., Mesdaghinia, A., Yunesian, M. and Nabizadeh, R., 2012. The evaluation of PM10, PM2.5, and PM1 concentrations during the Middle Eastern Dust (MED) events in Ahvaz, Iran, from april through September. J Arid Environ, 77: 72-83.
- Zallaghi, E., Shirmardi, M., Soleimani, Z., Goudarzi, G. and Heidari-Farsani, M., 2015. Assessment of health impacts attributed to PM10 exposure during 2011 in Kermanshah City, Iran. J Adv Environ Health Res., 2(4): 242-50.