

بررسی رابطه بیشینه گردوغبار و متغیرهای اقلیمی با استفاده از داده‌های سنجش از دور (مطالعه موردی: استان هرمزگان)

محمد کاظمی^۱، علیرضا نفرزادگان^{۲*} و فریبرز محمدی^۳

۱- استادیار، مرکز مطالعات و تحقیقات هرمز، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲- نویسنده مسئول، استادیار، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران، پست الکترونیک: a.r.nafarzadegan@gmail.com

۳- استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان، میناب، ایران

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۷/۰۶

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۲/۱۰

چکیده

پدیده گردوغبار یکی از بلاای طبیعی است که به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل خسارتهای فراوانی که هر ساله بجا می‌گذارد به‌عنوان یک خطر محیط‌زیستی جدی در نظر گرفته می‌شود. هدف از انجام این پژوهش، بررسی ارتباط ۱۴ متغیر اقلیمی با بیشینه ماهیانه عمق اُپتیکی هواویز (AOD) ناشی از وقایع گردوغبار در استان هرمزگان بود. ابتدا با کدنویسی در محیط موتور گوگل اِرت (GEE) به ازای هر روز یک تصویر ماهواره‌ای از محصولات گردوغبار MODIS استخراج و ضمن تهیه سری زمانی AOD، میانگین بیشینه گردوغبار ماهیانه در یک بازه زمانی ۱۷ ساله (۲۰۰۰-۲۰۱۷) استخراج شد. همچنین محصولات اقلیم و بیلان آب ماهانه دانشگاه آیداهو شامل تبخیر و تعرق مرجع و واقعی، کمترین و بیشترین دمای هوا، میزان بارش، رطوبت خاک، شاخص خشکسالی پالمر، کمبود آب اقلیم، تابش طول موج کوتاه به سمت زمین، فشار بخار، کمبود فشار بخار و سرعت باد به همراه دمای سطح زمین (LST) و شاخص پوشش گیاهی (EVI) استخراج و ضمن نمونه‌گیری از این تصاویر، روابط رگرسیونی بین آنها و میانگین ماهانه بیشینه گردوغبار با روش‌های کمترین مربعات معمولی (OLS) و رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR) محاسبه گردید. سپس از آماره عمومی موران به‌منظور تحلیل خودهمبستگی مکانی و توزیع فضایی گردوغبار در سطح استان استفاده شد. نتایج نشان داد مدل GWR با ریشه میانگین مربعات خطا برابر ۰/۱۴، مجموع مربعات باقیمانده ۱۱/۳، ضریب تعیین ۰/۸۲ و معیار آکائیکه تصحیح‌شده ۵۷۰/۱۹- عملکرد بهتری را نسبت به روش OLS ارائه کرده است. ارزیابی ضرایب در مدل GWR نشان داد به‌ترتیب متغیرهای پوشش گیاهی، رطوبت خاک و میزان بارش بیشترین تأثیر را بر میزان گردوغبار داشته‌اند. همچنین از منظر خودهمبستگی مکانی، توزیع گردوغبار در گستره استان الگوی خوشه‌ای داشت.

واژه‌های کلیدی: رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی، عمق اُپتیکی هواویز، مجموعه داده دانشگاه آیداهو، موتور گوگل اِرت.

مقدمه

محیط‌زیستی در نواحی خشک و بیابانی جهان و ایران به جا می‌گذارد، پدیده گردوغبار است (Jafari et al., 2019). وقوع طوفان‌های گردوغبار ارتباط نزدیکی با شرایط اقلیمی محلی مثل بارندگی، دما و همچنین ویژگی‌های سطح زمین مثل پوشش گیاهی، بافت خاک و رطوبت خاک سطحی

کشور ایران به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه-خشک جهان به‌طور مداوم در معرض سیستم‌های گردوغبار محلی و منطقه‌ای متعدد می‌باشد (Rashki et al., 2013). یکی از بلاای طبیعی رایج که متأسفانه آثار زیانبار انسانی و

سرعت باد، دمای هوا، دمای خاک و تبخیر و تعرق دارای همبستگی مثبت معنی‌دار و با رطوبت نسبی همبستگی منفی معنی‌دار داشت. Gupta و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از محصول عمق اُبتیکی هواویز (AOD, Aerosol Optical Depth) سنجنده مودیس و مقدار PM اندازه‌گیری شده در ۲۶ ایستگاه زمینی اقدام به بررسی رابطه بین میانگین ۲۴ ساعته PM_{2.5} و AOD بر مبنای استاندارد کیفیت هوای آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا نموده و یک رابطه خطی قوی را بین این دو پارامتر با ضریب همبستگی ۰/۹۶ بدست آوردند. Sepahvand و همکاران (۲۰۱۹)، در تحقیقی در استان‌های لرستان، کرمانشاه، همدان، ایلام، مرکزی و کردستان اعلام کردند که همبستگی متغیرهای اقلیمی فشار، دما و بارش بر پدیده گردوغبار در مکان‌های مختلف متفاوت است. Ranjbar و همکاران (۲۰۱۹)، برای شناسایی مناطق مولد گردوغبار در استان ایلام نقشه‌های مربوط به داده‌های بلندمدت اقلیمی، پوشش گیاهی، فیزیوگرافی و همچنین نمونه‌های خاک را تهیه کردند و پس از تلفیق نقشه‌ها، نقاط بحرانی و فوق بحرانی را از لحاظ خیزش گردوغبار شناسایی نمودند. Namdari و همکاران (۲۰۱۶)، نشان دادند که بیشتر طوفان‌های گردوغبار ایران در ماه‌های تیر و مرداد (ماه جولای میلادی) رخ داده است. Zhang و همکاران (۲۰۱۸)، عوامل مؤثر بر AOD را از منظر تغییر کاربری اراضی با استفاده از رگرسیون وزن‌دار جغرافیایی (GWR) مورد بررسی قرار داده و این روش را برای بررسی ناهمگنی مکانی AOD مناسب دانستند. He و همکاران (۲۰۱۹)، با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس، الگوهای مکانی-زمانی AOD برای ۱۴ سال در گستره کشور چین را مورد بررسی قرار داده و نشان دادند در این بازه زمانی مرکزیت ذرات به سمت شمال‌غرب چین جابجا شده است.

هدف از این پژوهش، بررسی رابطه بین بیشینه گردوغبار ماهیانه (محصول AOD سنجنده مودیس) با مجموعه‌ای از متغیرهای اقلیمی، پوشش گیاهی و سطح زمین است. به‌عبارت دیگر، تغییرات مکانی پارامترهای اقلیمی و زمینی

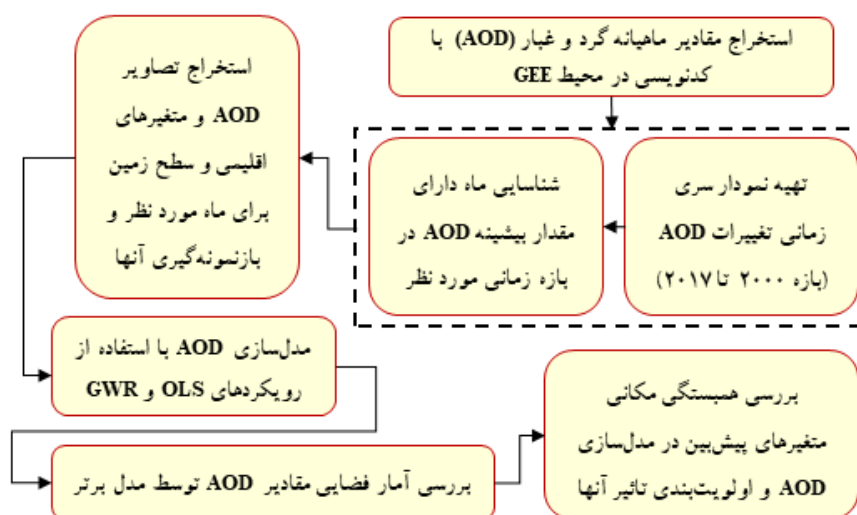
دارد. برخی پژوهشگران بر این باورند که تغییرات اقلیمی منطقه‌ای نقش مهمی بر وقوع طوفان‌های گردوغبار دارد، به‌طوری‌که دمای بالای هوا، بارندگی کم، پوشش گیاهی فقیر و سرعت زیاد باد شرایط مساعدی را برای وقوع طوفان‌های گردوغبار فراهم می‌کنند (Masatoshi, 2002). پایش و اندازه‌گیری منظم غلظت گردوغبار و توزیع اندازه ذرات آن، هزینه بالای این اندازه‌گیری‌ها، نقطه‌ای بودن اندازه‌گیری‌های زمینی و پیچیدگی‌های آن، کمبود ایستگاه‌های اندازه‌گیری به‌ویژه در مناطق شهری و عدم قابلیت لازم داده‌های نقطه‌ای برای تهیه نقشه توزیع اندازه ذرات در مقیاس ناحیه‌ای یا جهانی باعث شده است به مشاهدات ماهواره‌ای در پهنه‌بندی خصوصیات ذرات معلق جوی و تفکیک زمانی و مکانی قابل قبول آنها توجه ویژه‌ای شود (Guo et al., 2009). در مورد استان هرمزگان نتایج تحقیقات پیشین از جمله Khajeh و همکاران (۲۰۱۵)، حکایت از روند افزایشی پدیده گردوغبار از سال ۲۰۰۰ به بعد دارد. همچنین تحلیل زمانی و مکانی گردوغبار در ایران نشان داد که ایستگاه‌های بندرعباس و جاسک در استان هرمزگان، پس از زابل، زاهدان، بوشهر و طبس بیشترین فراوانی تعداد روزهای گردوغباری را به خود اختصاص داده‌اند (Farajzadeh Asl and Alizadeh, 2012). بنابراین مطالعه منطقه و بررسی ارتباط بین پارامترهای اقلیمی و زمینی با پدیده گردوغبار ضرورت دارد. Mehrabi و همکاران (۲۰۱۵)، پارامترهای اقلیمی درجه حرارت، رطوبت نسبی، بارندگی، سرعت و جهت حداکثر باد و انتخاب و ارتباط آنها با داده‌های قدرت دید و همچنین تعداد روزهای گردوغباری ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی استان خوزستان در مقیاس ماهانه و سالانه را با استفاده از رگرسیون خطی چندمتغیره مورد تحلیل قرار دادند. Danesh-Shahraki و همکاران (۲۰۱۷) تغییرات فصلی و مکانی میزان گردوغبار حمل شده از روی شهرهای دشت سیستان و بلوچستان و ارتباط آن با برخی پارامترهای اقلیمی شامل سرعت باد، دمای هوا، رطوبت نسبی، بارندگی، تبخیر و تعرق و میانگین دمای خاک را بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد که مقدار میانگین میزان گردوغبار حمل شده با

است.

مواد و روش‌ها

روندنمای انجام تحقیق در شکل (۱) ارائه شده است. در ابتدا با استفاده از محصول گردوغبار سنجنده مودیس و کدنویسی در محیط موتور گوگل اِرت کلیه تصاویر ماهواره-ای از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ (بازه زمانی ۱۷ ساله) مورد بررسی و نمودار سری زمانی گردوغبار استخراج شد. با توجه به این نمودار، سالی که در این بازه زمانی بیشترین گردوغبار را داشت، تعیین شد. برای هر سال در بازه یادشده به تفکیک ماه‌ها، نمودار نقطه‌ای در محیط GEE کدنویسی و استخراج گردید.

در رابطه با بیشینه گردوغبار ماهیانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این راستا، استخراج محصولات ماهواره‌ای آیداهو با استفاده از موتور گوگل اِرت (GEE) در حجم گسترده (هر روز یک تصویر در بازه زمانی ۱۷ ساله)، استخراج نمودار سری زمانی مقادیر AOD و همچنین استخراج مهمترین متغیرهای مستقل مؤثر بر متغیر وابسته گردوغبار (AOD) با توجه به توزیع مکانی داده‌ها از جمله نوآوری‌های تحقیق می‌باشد. همچنین در این تحقیق همبستگی مکانی و اولویت‌بندی متغیرهای مؤثر بر مدل-سازی عمق اپتیکی هواویزها با استفاده از مدل‌های رگرسیونی OLS و GWR علاوه بر بررسی توزیع فضایی متغیر وابسته (عمق اپتیکی هواویزها) مورد توجه قرار گرفته



شکل ۱- روندنمای انجام تحقیق

تحقیق بیشترین مقدار AOD اتفاق افتاده در بازه زمانی مورد بررسی، مورد توجه قرار گرفت (مقیاس ماهانه). در ادامه با کدنویسی دوباره، متغیرهای اقلیمی برای ماه دارای بیشینه گردوغبار براساس محصولات اقلیم و بیلان آب ماهانه دانشگاه آیداهو (Abatzoglou et al., 2018) فراخوانی شدند. محصولات اقلیمی استخراج شده در مقیاس ماهیانه شامل تبخیر و تعرق مرجع (پنمن-مانتیت) و واقعی، تابش طول موج کوتاه به سمت زمین، رطوبت خاک، سرعت

شایان یادآوری است که AOD یک تخمین غیرمستقیم از انباشت ذرات اتمسفری در یک ستون عمودی است، به طوری که میزان تضعیف تشعشع ورودی را نشان می‌دهد (Shirazi et al., 2019). گردوغبار عمده دنیا مقادیری بین ۰/۳ تا ۲/۵ دارد و برای شرایط قاره‌ای صاف (هوای صاف)، مقادیر ۰/۱ تا ۰/۲ AOD را در نظر می‌گیرند. Tao و همکاران (۲۰۲۰) مقادیر AOD برابر ۰/۸ تا ۰/۹ را به عنوان میزان بالای گردوغبار در نظر گرفتند. البته در این

دارای بیشترین گردوغبار) به بررسی روابط رگرسیونی OLS و GWR در سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداخته شد. در فرایند نمونه‌گیری، تمامی پیکسل‌های تصویر مربوط به بیشینه گردوغبار، در سامانه اطلاعات جغرافیایی به شیپ-فایل نقطه‌ای تبدیل و بعد برای این نقاط از تمامی تصاویر ۱۴ متغیر مستقل برداشت ارزش سلولی انجام شد. یادآوری می‌شود که قبل از نمونه‌گیری تمامی متغیرهای مستقل با توجه به اندازه پیکسل متغیر وابسته، هم‌اندازه‌سازی شدند. همچنین در گام بعدی تحقیق برای بررسی توزیع فضایی متغیر وابسته در سطح استان با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی به بررسی آمار فضایی و روابط خودهمبستگی داده‌های گردوغبار حاصل از مدل‌های رگرسیونی یادشده پرداخته شد.

باد (در ارتفاع ۱۰ متری)، شاخص خشکسالی پالمر، فشار بخار، کمبود آب اقلیم، کمبود فشار بخار، کمترین و بیشترین دمای هوا، میزان بارش به همراه دمای سطح زمین (LST) و شاخص پوشش گیاهی (EVI) در فرمت رستری در محیط موتور گوگل اِرتِ فراخوانی گردیدند. در جدول (۱) تصاویر و ویژگی‌های آن ذکر شده است. در این مطالعه، از بین دو محصول NDVI و EVI سنجنده مودیس، شاخص پوشش گیاهی بارزسازی شده (EVI) مورد استفاده قرار گرفت. البته Rayegani و Kheirandish (۲۰۱۸) از هر دو شاخص NDVI و EVI برای بررسی منابع گردوغبار در استان البرز استفاده کردند و به تفاوت قابل توجهی بین این دو شاخص اشاره نکردند. سپس با استفاده از نمونه‌گیری بین تصاویر گردوغبار و نمونه‌های متناظر در داده‌های اقلیمی (برای ماه

جدول ۱- مشخصات داده‌های ماهواره‌ای فراخوانی شده از محصولات اقلیمی ماهانه دانشگاه آیداهو به علاوه داده‌های EVI و LST

نام اختصاری	نام کامل	توضیحات	مقیاس به درجه	واحد
AET	Actual evapotranspiration	تبخیر و تعرق واقعی	۰/۱	mm
DEF	Climate water deficit	کمبود آب (خشکی هوا)	۰/۱	mm
PDSI	Palmer Drought Severity Index	شاخص شدت خشکسالی پالمر	۰/۰۱	-
PET	Reference evapotranspiration	تبخیر و تعرق مرجع	۰/۱	mm
PR	Precipitation accumulation	تجمع بارش	۰/۱	mm
SOIL	Soil moisture	رطوبت خاک	۰/۱	mm
SRAD	Downward surface shortwave radiation	تابش طول موج کوتاه به سطح زمین	۰/۱	W/m ²
TMMN	Minimum temperature	حداقل دمای هوا	۰/۱	°C
TMMX	Maximum temperature	حداکثر دمای هوا	۰/۱	°C
VAP	Vapor pressure	فشار بخار هوا	۰/۰۰۱	kPa
VPD	Vapor pressure deficit	کمبود فشار بخار	۰/۰۱	kPa
VS	Wind-speed at 10m	سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین	۰/۰۱	m/s
EVI	Enhanced vegetation index	شاخص پوشش گیاهی بارزسازی شده	-	%
LST	Land surface temperature	دمای سطح زمین	-	°C

ثابت است. با استفاده از این مدل امکان تهیه نقشه تعییرات مکانی ضرایب مدل وجود ندارد.

مدل رگرسیونی وزنی جغرافیایی (GWR) مدل (Geographic Weighted Regression) GWR روشی نسبتاً جدید برای مدل‌سازی فرایندهای ناهمگن مکانی است. ناهمگنی مکانی بیانگر این است که در هر نقطه (مختصات جغرافیایی) رابطه‌ای متفاوت بین متغیر وابسته و مستقل بدلیل وابستگی پارامترها یا ضرایب مدل نسبت به مکان وجود دارد. روش رگرسیونی وزنی جغرافیایی بر این ایده استوار است که پارامترها یا ضرایب مدل را می‌توان در هر نقطه‌ای از فضا یا مکان مورد مطالعه برآورد کرد. در این روش برای برآورد پارامترهای مدل در هر نقطه، از مشاهدات اطراف آن نقطه استفاده می‌شود، اما به مشاهدات نزدیک، وزن بیشتر و به مشاهدات دورتر، وزن کمتری داده می‌شود. اگر فاصله بین مشاهده و نقاط مرجع افزایش یابد، این وزن نیز کاهش می‌یابد. در واقع روش رگرسیون وزنی جغرافیایی همان روش حداقل مربعات معمولی است، با این تفاوت که به مشاهدات براساس مکان یا مختصات مکانی آنها نسبت به نقاط مرجع وزن داده می‌شود. مدل رگرسیون چند متغیره خطی GWR به صورت رابطه ۴ می‌باشد (Fotheringham *et al.*, 2003; Tu *et al.*, 2008).

$$Y_i(U) = \beta_{0i}(U) + \beta_{1i}(U)X_{1i} + \beta_{2i}(U)X_{2i} + \beta_{mi}(U)X_{mi} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\hat{\beta}(U) = (X^T W(U) X)^{-1} X^T W(U) \quad \text{رابطه (۵)}$$

رابطه (۶) $W_i(U) = e^{-0.5(di(U)/h)^2}$ که در آن، $W_i(U)$ = وزن جغرافیایی مشاهدات i در موقعیت مکانی U ، $di(U)$ = اندازه فاصله مکانی بین مشاهدات i و h پهنای باند انتخابی براساس متر می‌باشد (Brunsdon *et al.*, 1996).

مدل رگرسیونی حداقل مربعات معمولی (OLS) در مدل‌سازی مکانی با روش Ordinary Least Squares (OLS) فرض می‌شود که ضرایب یا پارامترهای مدل آماری نسبت به مکان (مختصات جغرافیایی) ثابت باشد. بنابراین مقدار متغیر وابسته که با این مدل تخمین زده می‌شود، برای کل منطقه مورد مطالعه بوده و در نقاط مختلف حوزه نیز مقداری یکسان را تخمین می‌زند که به‌عنوان نقطه ضعف این روش در مدل‌سازی مکانی محسوب می‌شود. مدل رگرسیون خطی ساده یک متغیره به صورت زیر تعریف می‌شود (Fotheringham *et al.*, 2003; Tu *et al.*, 2008).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_i + \varepsilon_i \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه (۱)، Y = متغیر وابسته (برآورد شده)، X = متغیر برآورد کننده یا مستقل، ε = خطا یا انحراف مدل در برآورد، β_0 و β_1 = ضرایب مدل می‌باشند. مدل آماری OLS و ماتریس تخمین ضرایب با روابط ۲ و ۳ بیان می‌شود.

$$Y = X\beta + \varepsilon \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\hat{\beta} = (XX^T)^{-1} X^T y \quad \text{رابطه (۳)}$$

که در آن، T = ترانهاده ماتریس، $(XX^T)^{-1}$ = معکوس ماتریس وارینانس-کوواریانس، X = ماتریس متغیرهای مستقل است. ضرایب مدل رگرسیون OLS در سراسر مکان

در رابطه (۵)، $W(U)$ = ماتریس وزن (ماتریس مربع) در موقعیت U (مختصات متریک) و X^T = ترانهاده ماتریس متغیرهای مستقل (X) می‌باشد. ماتریس وزن تابع مختصات متریک U با استفاده از رابطه نمایی زیر (رابطه ۶) قابل تخمین می‌باشد.

تحلیل خودهمبستگی فضایی (آماره موران عمومی)

تحلیل خودهمبستگی فضایی عمومی را می‌توان برای توصیف ویژگی‌های فضایی یک متغیر در کل یک ناحیه به‌کار برد و با استفاده از آن میانگین تفاوت فضایی بین تمام سلول‌های فضایی و سلول‌های مجاور آنها را شناسایی کرد. در این پژوهش از آماره موران عمومی برای اندازه‌گیری خودهمبستگی فضایی داده‌های باقیمانده استاندارد شده مقادیر پیش‌بینی مدل‌های OLS و GWR استفاده شد. آماره موران عمومی به صورت رابطه ۷ محاسبه می‌شود.

$$I = \frac{N}{S_0} \times \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{j=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{رابطه (۷)}$$

که در آن، N = تعداد سلول‌ها یا مشاهدات فضایی، x_i = مقدار مشاهده شده سلول i ، \bar{x} = میانگین x_i ها می‌باشد که از رابطه ۸ محاسبه می‌گردد.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad \text{رابطه (۸)}$$

و S_0 از رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

$$W_{ij} S_0 = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W_{ij} \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در آن، W_{ij} = مقدار وزن فضایی بین سلول i و سلول j می‌باشد که در محدوده تأثیر وابستگی ساختار فضایی را نشان می‌دهد و براساس میزان همسایگی (فاصله) تعیین می‌شود (Kazemi et al., 2019). بعد از اینکه آماره موران عمومی برای داده‌های مقادیر استاندارد شده پیش‌بینی مدل محاسبه شد، نمره Z استاندارد شده آماره مزبور از رابطه ۱۰ محاسبه می‌شود.

$$\frac{1-E(I)}{S(I)} \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

که در آن، $S(I)$ = انحراف از معیار و $E(I)$ = میانگین موران عمومی می‌باشد.

برای تشخیص اینکه نمره Z بدست آمده از نظر آماری

معنی‌دار است یا نه، آن را در یک سطح اطمینان خاص در نظر می‌گیرند و مقایسه می‌کنند. برای نمونه اگر سطح اطمینان ۰/۰۵ باشد، نمره Z بدست آمده در صورتی معنادار است که کمتر از $-1/96$ و یا بزرگتر از $1/96$ باشد. دامنه مقادیر موران جهانی از -1 تا $+1$ است. با در نظر گرفتن یک سطح اطمینان مشخص، مقادیر مورانی که معنی‌دار و بزرگتر از صفر هستند دلالت بر همبستگی مثبت فضایی و خوشه‌های مشخص (آشکار) از سلول‌هایی دارند که دارای ارزش‌های بالا، یا ارزش‌های پایین هستند. اگر آماره موران نزدیک به 1 باشد، نشان‌دهنده این است که بین سلول‌ها اختلاف فضایی کوچکی وجود دارد. از سوی دیگر، مقادیر مورانی که معنی‌دار و کوچکتر از صفر هستند، دلالت بر همبستگی فضایی منفی و اختلاف (تفاوت) فضایی آشکاری بین مقادیر سلول‌ها و سلول‌های مجاور آنها دارد (Sadeghinia et al., 2014). اما اگر آماره موران نزدیک به -1 باشد، نشان‌دهنده یک تفاوت فضایی بزرگ است. در نهایت اگر مقدار آماره موران جهانی به صفر نزدیک باشد نشان می‌دهد که هیچ خودهمبستگی فضایی وجود ندارد و از نظر فضایی با یک الگوی تصادفی مواجه هستیم (Dai et al., 2010).

معیارهای کارایی مدل‌ها

در این پژوهش برای مقایسه میزان اعتبار یا کارایی مدل‌های رگرسیونی چندمتغیره از ضریب تعیین (R^2)، ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) و معیار اطلاعات آکائیکه (Akaike Information Criterion, AIC) تصحیح شده استفاده شده است. براساس تحقیقات Foody (۲۰۰۴) و نیز Wang و همکاران (۲۰۰۵) مقدار کمتر AIC بیانگر این است که مقدار تخمینی توسط مدل، به مقدار مشاهده‌ای یا واقعیت زمینی نزدیک‌تر است. معیار ارزیابی AIC، نمایانگر میزان اطلاعاتی است که توسط مدل از دست‌رفته، در نتیجه هر چه مقدار این معیار کوچکتر باشد، مدل مورد نظر نسبت به بقیه مدل‌ها، بهتر و مناسب‌تر است. در مقایسه دو مدل اگر اختلاف معیار اطلاعات آکائیکه کمتر از ۳ باشد، در واقع دو

حداکثر درست‌نمایی می‌باشد.

مدل اختلافی با یکدیگر ندارند و وضعیت تقریباً یکسانی دارند، معیار آکائیکه تصحیح‌شده ($AICc$) از رابطه ۱۱ بدست می‌آید (Fotheringham *et al.*, 2003).

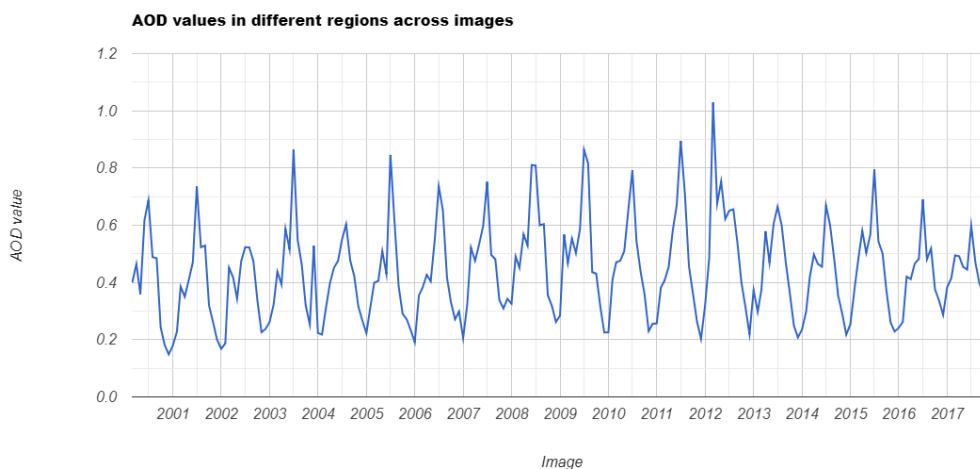
نتایج

با استفاده از تصاویر محصول گردوغبار سنجنده مودیس و کدنویسی در محیط موتور گوگل اِرت نمودار سری زمانی تغییرات میزان گردوغبار از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ در محیط این سامانه ترسیم و استخراج شد (شکل ۲).

$$AICc = AIC + \frac{2k(k+1)}{n-k-1} \quad \text{رابطه (۱۱)}$$

$$AIC = 2k - 2Ln(\hat{L}) \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

که در روابط بالا، k = تعداد پارامترهای مدل \hat{L} = مقدار



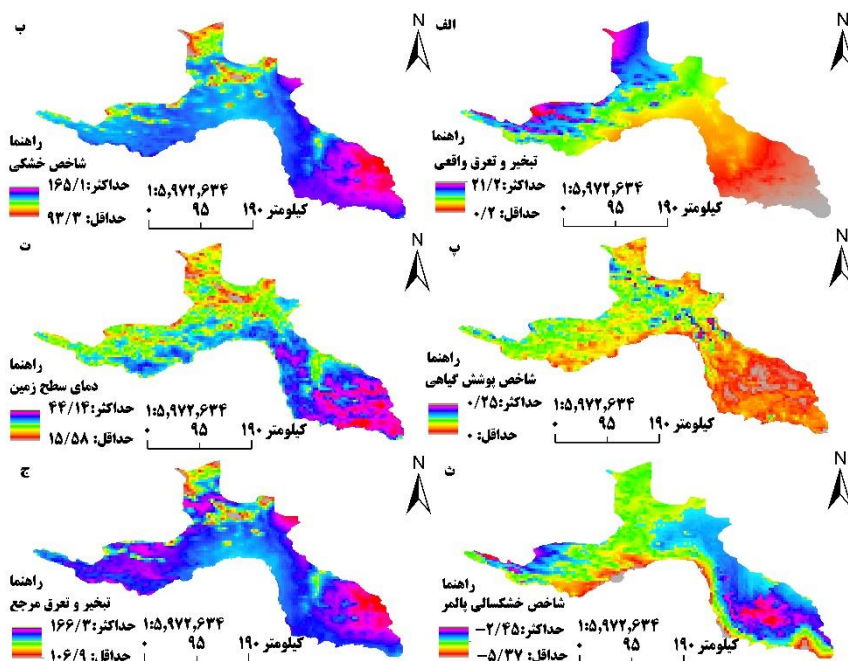
شکل ۲- تغییرات میزان AOD استان هرمزگان از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷

ماه از سال بوقوع پیوسته‌اند، اما به شکل نادری بیشینه گردوغبار ماهیانه در استان در بازه زمانی یادشده در اسفند و فروردین‌ماه ۱۳۹۰-۹۱ (ماه مارس سال ۲۰۱۲ میلادی) رخ داده است. بیشترین میزان AOD سال ۲۰۱۲ برای استان در ماه اسفند (در تاریخ یکم ماه مارس) با میزان ۱/۰۲۹ بوده است و کمترین میزان گردوغبار در ماه دسامبر با مقدار ۰/۲۱۹ مشاهده شده است. بعد از استخراج تصاویر محصول گردوغبار ماهیانه مودیس، در مرحله بعد با استفاده از محصولات دانشگاه آیداهو و کدنویسی در سامانه موتور گوگل اِرت، داده‌های اقلیمی برای ماه مارس سال ۲۰۱۲ که بیشترین میزان گردوغبار را نشان داد گرفته شد. شکل‌های (۳ تا ۵) مقادیر مکانی ۱۴ متغیر اقلیمی در نظر گرفته شده و همچنین متغیر گردوغبار را نشان می‌دهند. بعد از استخراج داده‌های اقلیمی برای ماه بیشینه گردوغبار استان، ارتباط بین

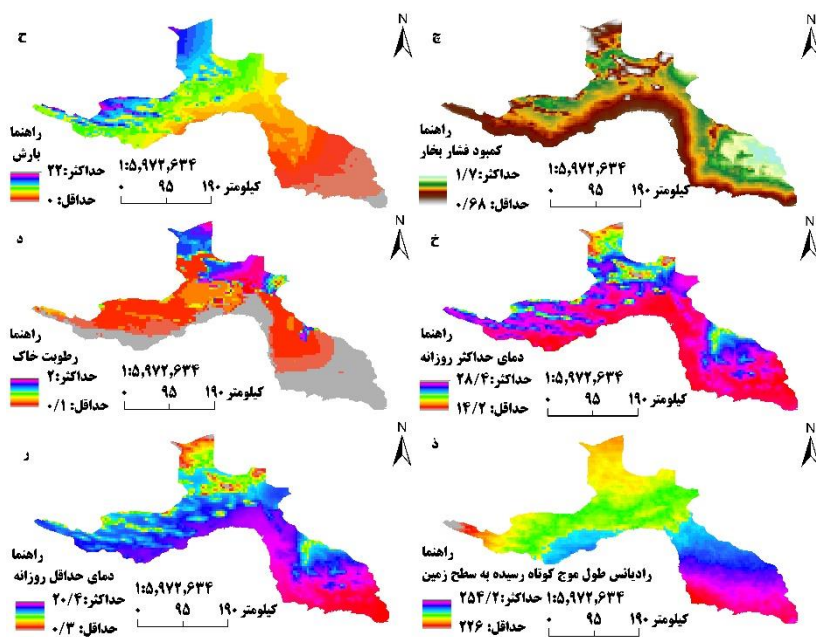
سپس آمار تفکیکی میزان گردوغبار برای هر سال در بازه یادشده به تفکیک ماه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. همانگونه که در شکل (۲) نیز مشاهده می‌شود بیشترین میزان گردوغبار در سال ۲۰۱۲ دیده می‌شود. تحلیل نمودار نقطه‌ای این سال و سال‌های دیگر در بازه زمانی مذکور نشان داد که بیشتر گردوغبارهای بوقوع پیوسته در استان هرمزگان در ماه جولای بوده است و این پدیده تا سال ۲۰۱۲ یک روند افزایشی را به ازای هر سال نشان داده است. کمترین میزان گردوغبار نیز در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ در ماه‌های دسامبر و ژانویه رخ داده است. نتایج پژوهش Namdari و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که بیشتر طوفان‌های گردوغبار ایران در ماه جولای (۱۱ خرداد تا ۹ تیرماه) رخ داده‌اند. نتایج این تحقیق نیز این مطلب را تأیید می‌کند که بیشتر طوفان‌های گردوغبار برای سال‌های مختلف در این

جدول (۲) نتایج تحلیل رگرسیون مربعات باقیمانده معمولی نشان داده شده است.

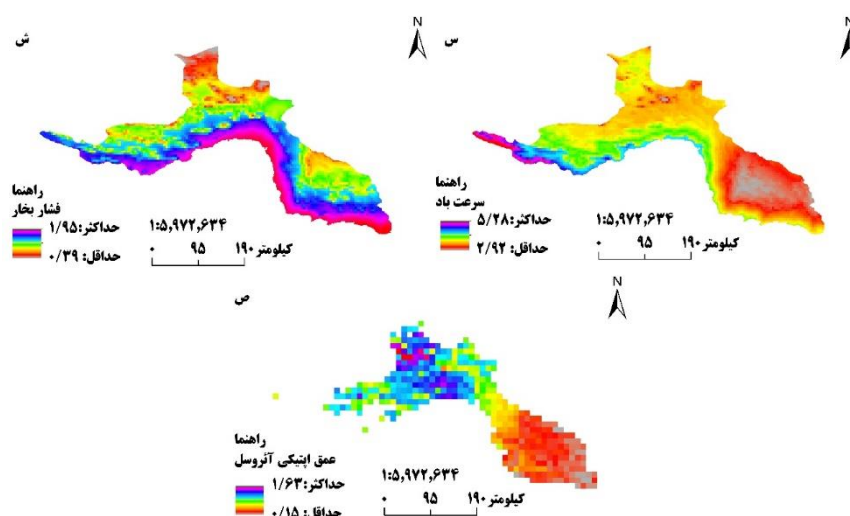
این متغیرهای اقلیمی و میزان گردوغبار برآورد شد. بدین منظور ابتدا از رابطه رگرسیونی مربعات باقیمانده معمولی و بعد رگرسیون وزن دار جغرافیایی استفاده شد.



شکل ۳- مقادیر مکانی تبخیر و تعرق واقعی، کمبود آب، پوشش گیاهی، دمای سطح زمین، شاخص خشکسالی پالمر و تبخیر و تعرق مرجع



شکل ۴- مقادیر مکانی کمبود فشار بخار، بارش، دمای حد اکثر هوا، رطوبت خاک، تابش طول موج کوتاه و دمای حداقل هوا



شکل ۵- مقادیر مکانی سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متر از سطح زمین، فشار بخار هوا و عمق ایتیکی هواویز

همانگونه که در جدول (۲) مشاهده می شود، ۷ متغیر توضیحی (پیش‌بین) شاخص خشکسالی پالم، تجمع بارش، رطوبت خاک، فشار بخار و شاخص پوشش گیاهی دارای همبستگی معنادار با پدیده گردوغبار ماهیانه استان هرمزگان هستند.

جدول ۲- ضرایب و آماره‌های مختلف (مقدار احتمال، خطای معیار و فاکتور تورم واریانس) برای مدل رگرسیونی OLS

فاکتور تورم واریانس (VIF)	خطای معیار (SE)	مقدار احتمال (p-Value)	مقدار ضریب	
-	۰/۱۸	۰/۰۰۰	۰/۶۶	عرض از مبدأ
> ۱۰۰۰	۰/۱۶	۰/۵۰۳	۰/۱۱	AET
۲/۹۲	۰/۰۳	۰/۰۰۴	-۰/۰۸	PDSI
> ۱۰۰۰	-۰/۱۶	۰/۲۷۴	-۰/۱۷	PET
۶/۱۰	۰/۰۳	۰/۰۰۳	۰/۰۴	PR
۳/۱۶	۰/۰۳	۰/۰۰۱	۰/۱۰	SOIL
۱۳/۷۰	-۰/۰۰۲	۰/۱۱۷	-۰/۰۰۴	SRAD
۲۰۴/۶۰	-۰/۰۳	۰/۰۰۳	-۰/۰۹	TMMN
۹۵/۸۵	۰/۰۳	۰/۰۰۰	۰/۴۰	TMMX
۲۰۶/۴۹	-۰/۳۳	۰/۰۰۷	-۰/۸۸	VAP
۳۲/۰۶	-۰/۵۳	۰/۹۹۳	-۰/۰۰۵	VPD
۲۷/۶۳	-۰/۱۰	۰/۱۳۷	-۰/۱۴	VS
> ۱۰۰۰	۰/۱۶	۰/۴۱۱	۰/۱۳	DEF
۲/۲۸	۰/۴۵	۰/۰۰۰	۱/۸۸	EVI
۱۲/۶۴	-۰/۰۰۶	۰/۲۳۶	-۰/۰۰۷	LST

استفاده از رگرسیون وزن دار جغرافیایی به یافتن بیشترین همبستگی بین متغیر وابسته (AOD) پرداخته شد. جدول (۳) آماره‌های مدل GWR را نشان می‌دهد.

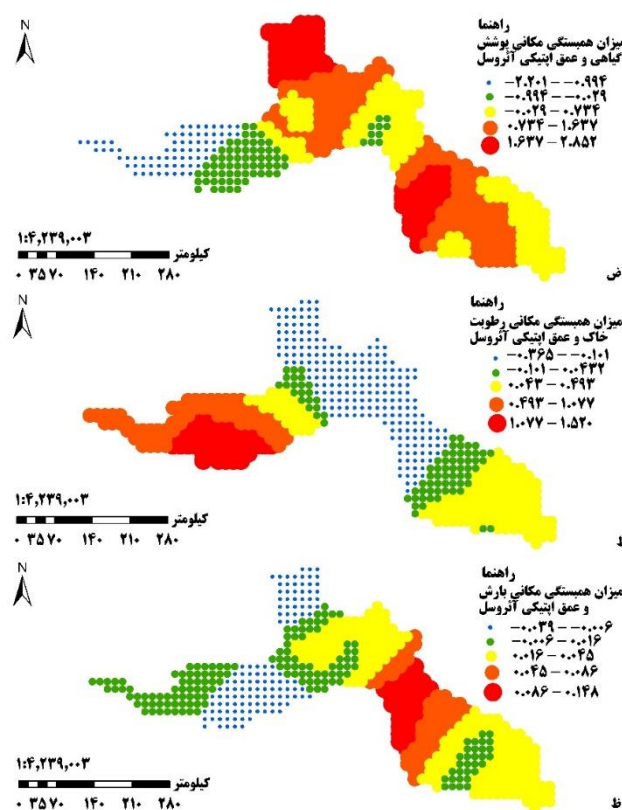
پس از اجرای مدل رگرسیونی GWR، با استفاده از ضرایب متغیرهای تبیینی شامل پوشش گیاهی، تجمع بارش و رطوبت خاک، نقشه‌های همبستگی این متغیرها با بیشترین گردوغبار ماهیانه استان در محیط نرم‌افزار ArcGIS مدل شدند. همانگونه که در شکل (۶) مشاهده می‌شود به ترتیب بیشترین میزان همبستگی به متغیرهای EVI (شاخص پوشش گیاهی)، SOIL (رطوبت خاک) و PR (بارش جمعی) مربوط می‌شود. شکل (۶) نقشه‌های مقدار همبستگی مکانی این متغیرها را با مقادیر بیشینه گردوغبار (عمق اپتیکی هواویز) نشان می‌دهد. با توجه به میزان همبستگی مکانی متغیرهای مستقل باقی مانده با متغیر وابسته به اولویت بندی میزان اثرگذاری این سه متغیر پرداخته شد. نتایج مقایسه دو مدل OLS و GWR با استفاده از ملاک‌های ارزیابی کارایی شامل مجموع مربعات باقیمانده، ریشه میانگین مربع خطا، ضریب تعیین، ضریب تعیین تعدیل شده و ضریب آکائیکه تصحیح شده نشان داد که مدل GWR نتایج دقیق تری را در برآورد مقادیر بیشینه گردوغبار ماهیانه استان هرمزگان در مقایسه با مدل OLS نشان داده است. جدول (۴) نتایج این ملاک‌های ارزیابی را برای دو مدل بکاررفته نشان می‌دهد. از آنجایی که پارامتر ضریب آکائیکه تصحیح شده (AICc) معیاری برای ارزیابی عملکرد مدل است، این شاخص در مقایسه مدل‌های رگرسیونی متفاوت، سودمند است و مدلی بهتر است که مقدار ضریب آکائیکه آن کمتر باشد (Mitchel, 2005). با توجه به جدول (۴)، خروجی هر ۵ معیار ارزیابی کارایی مدل بکاررفته، بیانگر برتری مدل GWR به مدل OLS می‌باشد. مدل GWR با تولید داده‌های مکانی این امکان را بوجود می‌آورد تا تغییر فضایی در روابط بین متغیرها مورد بررسی قرار گیرد. نقشه‌هایی که از این داده‌های مکانی به دست می‌آیند، می‌توانند نقش مهمی در بررسی الگوهای مکانی و عوامل مؤثر بر آنها بازی کنند.

نخستین ستون از جدول (۲) مقادیر ضرایب مستقل برای برآورد مقادیر متغیر وابسته (عمق اپتیکی هواویزها) را نشان می‌دهد. به طوری که هر چه میزان تورم واریانس کمتر باشد شانس متغیر برای حضور در مرحله بعدی مدل سازی بیشتر است. با وجود معنی داری و داشتن مقادیر احتمال کمتر از ۰/۰۵ برای بعضی متغیرها و معنادار بودن رابطه بین آن متغیر با متغیر وابسته، بدلیل تورم واریانس بالا، از آن متغیر برای مدل سازی چشم پوشی شده است. مقدار شاخص تورم واریانس بزرگتر از ۱۰ نشان دهنده وجود هم خطی چندگانه مشکل زا است. در ادامه کار توزیع باقیمانده استاندارد مدل رگرسیونی OLS بررسی شد که توزیع کاملاً نرمالی داشت و مقادیر باقیمانده پیش بینی حاصل از مدل با استفاده از رگرسیون مربعات باقیمانده معمولی در سیستم اطلاعات جغرافیایی در سطح استان پهنه بندی شدند و مقادیر بیشتر و کمتر از پیش بینی مدل مشخص شد. همچنین برای مشخص شدن توزیع الگوی فضایی گردوغبار در استان از خود همبستگی مقادیر باقیمانده مدل استفاده شد. مقادیر باقیمانده استاندارد شده بر اساس مقادیر پیش بینی مدل و مقادیر مشاهداتی، دارای خود همبستگی فضایی معنی دار مثبت هستند. بر اساس فاکتور Z توزیع فضایی حالت خوشه‌ای دارد.

جدول ۳- مشخصات مدل رگرسیونی GWR

ردیف	مشخصات
۱	متغیر توضیحی اول: EVI
۲	متغیر توضیحی دوم: SOIL
۳	متغیر توضیحی سوم: PR
۴	همسایه‌ها: ۱۵۵
۶	عدد مؤثر: ۳۳/۷۸
۷	سیگما: ۰/۱۴

بنابراین فرض صفر مبنی بر عدم ارتباط فضایی مقادیر باقیمانده استاندارد پیش بینی شده مدل (برای مقادیر گردوغبار یا AOD) رد شده و وجود وابستگی فضایی AOD در سطح استان تأیید می‌گردد. بعد از مشخص شدن مهمترین متغیرها، با



شکل ۶- نقشه‌های میزان همبستگی مکانی متغیرهای پوشش گیاهی، رطوبت خاک و بارش ماهیانه با بیشینه گردوغبار

جدول ۴- نتایج ملاک‌های ارزیابی دو مدل OLS و GWR در برآورد مقادیر بیشینه گردوغبار ماهیانه استان هرمزگان

مدل GWR	مدل OLS	معیار ارزیابی کارآبی
۱۱/۳	۱۹/۴۵	مجموع مربعات باقیمانده
۰/۱۴	۰/۱۸	ریشه میانگین مربع خطا
۰/۸۲	۰/۷۰	ضریب تعیین
۰/۸۳	۰/۷۱	ضریب تعیین تعدیل شده
-۵۷۰/۱۹	-۲۸۲/۴۶	ضریب آکائیکه تصحیح شده

بحث

متغیرهای اقلیمی و ویژگی‌های طبیعی قاعداً با پدیده گردوغبار ارتباط دارند، اما اینکه کدام متغیر اقلیمی در کدام پهنه جغرافیایی و مکانی همبستگی بیشتری با پدیده گردوغبار دارد بحث دیگری است که نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد. در این تحقیق متغیرهای پوشش گیاهی،

رطوبت خاک و بارش ماهیانه بیشتر از سایر متغیرهای اقلیمی در بروز بیشینه گردوغبار ماهیانه نقش داشتند، اما در تحقیقات دیگر در مورد بررسی میزان همبستگی متغیرهای اقلیمی با پدیده گردوغبار بیشینه، متغیرهای متفاوتی مانند فشار بخار هوا یا حداکثر دمای هوا همبستگی بیشتری با گردوغبار نشان داده‌اند که آن‌هم از مکانی به مکان دیگر

است که متغیر فشار هوا در پژوهش Sepahvand و همکاران (۲۰۱۹) بیشترین میزان همبستگی را در بین سه متغیر مورد بررسی داشته است. نتایج پژوهش Khajeh و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که بین فراوانی وقوع گردوغبار در شهرستان بندرعباس و داده‌های بارش سالیانه رابطه معکوس وجود دارد. در این تحقیق بارش به‌عنوان یکی از متغیرهای مستقل تأثیرگذار بر گردوغبار استان، تطابق نتایج ذکرشده را تأیید می‌نماید. در این تحقیق همچنین به بررسی الگوی فضایی AOD در سطح استان پرداخته شد و نتایج نشان داد که این تغییرات از الگوی خاصی تبعیت می‌کند و تصادفی نیست. پراکنش مقدار AOD در مناطق مرکزی به سمت شرق استان بیشتر از مناطق غربی استان است و این توزیع حالت خوشه‌ای دارد. همچنین از بین دو مدل رگرسیونی OLS و GWR، مدل نتایج بهتری را با توجه به ملاک‌های ارزیابی مدل نشان داد. یادآوری می‌شود که مدل OLS می‌تواند به‌عنوان یکی از روش‌های شناسایی متغیرهای مهم برای ورود به سایر مدل‌های رگرسیونی استفاده شود. به‌طوری‌که استفاده از محصولات ماهواره‌ای دانشگاه آیداهو در مقیاس ماهانه می‌تواند کمک شایانی به تحلیل مکانی پدیده گردوغبار از منظر عوامل اقلیمی و بیلان آب مناطق مختلف داشته باشد، به‌علاوه اینکه توانمندی سامانه موتور گوگل اِرتِث در اخذ حجم وسیعی از داده‌ها انکارناپذیر است. بدین جهت به استفاده گسترده‌تر از این سامانه و پروداکت‌های ماهواره‌ای آیداهو در پژوهش‌های آینده و علوم محیطی توصیه می‌گردد.

منابع مورد استفاده

- Abatzoglou, J.T., Dobrowski, S.Z., Parks, S.A. and Hegewisch, K.C., 2018. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958–2015. *Journal of Scientific Data*, 5: 170191.
- Nohegar, A., Khoorani, A. and Tamassoki, E., 2013. Climate analysis of suspended dust storms in Sar-Pol-Zohab Station (1986 to 2009). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 2 (6): 89-102.
- Jafari, M., Zehtabian, G. and Mesbahzadeh, T., 2019.

متغیر است. برخی پژوهشگران بر این اعتقاد هستند که پیدایش و شدت طوفان‌های گردوغبار علاوه بر اینکه متأثر از شرایط اقلیمی مثل سرعت باد است، متأثر از ویژگی‌های سطح زمین مثل پوشش گیاهی، مقدار رطوبت خاک و ... نیز می‌باشد (Mehrabi *et al.*, 2015). روند طوفان‌های گردوغبار در ماه‌های گرم بیشتر است و دلیل آن کاهش رطوبت می‌باشد (Nohegar *et al.*, 2013). در این تحقیق نیز یکی از متغیرهای تأثیرگذار رطوبت خاک بود که در نتایج تحقیق به ذکر آن پرداخته شد. Masatoshi (۲۰۰۲) معتقد است دمای بالای هوا نقش مهمی در ایجاد شرایط مناسب برای وقوع طوفان گردوغبار ایجاد می‌کند؛ اما نتایج این تحقیق نشان داد در مقیاس ماهیانه و در زمانی که بیشترین میزان گردوغبار در استان هرمزگان بوقوع پیوسته است، حداکثر دمای هوا نقش آنچنانی در بروز این پدیده نداشته است. عده‌ای از پژوهشگران بر این باورند که در برخی مناطق مانند شرق آسیا همبستگی زیادی بین وقوع ریزگردها و سرعت باد در مجاورت سطح زمین وجود دارد، درحالی‌که در برخی تحقیقات به دلیل منشأ محلی داشتن هیچگونه همبستگی قابل‌قبولی بین سرعت باد و فراوانی وقوع ریزگرد مشاهده نشده است (Mehrabi *et al.*, 2015). در این تحقیق با توجه به مقیاس ماهانه تحقیق، ارتباط معناداری بین سرعت باد با بیشینه گردوغبار ماهیانه پیدا نشد. Sepahvand و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهشی به بررسی میزان همبستگی پارامترهای اقلیمی بارش، فشار و دما در ۲۰ ایستگاه هواشناسی استان‌های لرستان، کرمانشاه، همدان، ایلام، مرکزی و کردستان پرداختند. نتایج تحقیق نامبردگان نشان داد در مناطق و ایستگاه‌های هواشناسی مختلف پدیده گردوغبار همبستگی ضعیفی با این پارامترهای اقلیمی نشان داد و در بعضی مناطق میزان همبستگی برای این پارامترها زیاد بوده است. بنابراین نمی‌توان اذعان کرد دقیقاً کدام متغیر اقلیمی همبستگی بیشتری در وقوع گردوغبار دارد. به‌عنوان نمونه در این تحقیق کمبود فشار بخار هوا همبستگی خاصی با پدیده گردوغبار در سطح استان نشان نداد، این در حالی

- classification approach and spatial autocorrelation analysis. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10 (4): 38-56.
- Masatoshi, Y., 2002. Climatology of yellow sand (Asian sand, Asian dust or Kosa) in East Asia. *Science in China Series D: Journal of Earth Sciences*, 45 (1): 59-70.
 - Mehrabi, S., Soltani, S. and Jafari, R., 2015. Analyzing the relationship between dust storm occurrence and climatic parameters. *Journal of Water and Soil Science*, 19 (71): 69-81.
 - Mitchel, A., 2005. *The ESRI Guide to GIS analysis, Volume 2: Spatial measurements and statistics*. ESRI Press, Redlands, California.
 - Namdari, S., Valizade, K.K., Rasuly, A.A. and Sarraf, B.S., 2016. Spatio-temporal analysis of MODIS AOD over western part of Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 9 (3): 191- 205.
 - Ranjbar, H., Bazgir, M., Namdar Khojasteh, D. and Rostaminia, M., 2019. Identification of dust sources in Ilam province. *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 26 (3): 675-688.
 - Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Goudie, A.S. and Kahn, R.A., 2013. Dryness of ephemeral lakes and consequences for dust activity: the case of the Hamoun drainage basin, southeastern Iran. *Journal of Science of the Total Environment*, 463: 552-564.
 - Rayegani, B. and Kheirandish, Z., 2018. Utilization of time series of satellite data in order to validate the identified dust storm sources in Alborz province. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazards*, 4 (4): 1-18.
 - Sadeghinia, A., Alijani, B., Ziaeiian, P., Khaledi, Sh., 2014. Application of spatial autocorrelation techniques in analysis of heat islands in Tehran. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 30: 67-90.
 - Sepahvand, A., Almasian, F. and Zand, M., 2019. Investigating the effect of climatic variables (rainfall, temperature and pressure) on the occurrence of dust in the west of the country. 7th National Conference on Rainwater Catchment Systems. Iran, 20-21 February, 178-187.
 - Shirazi, M., Akhavan Ghalibaf, M., Matinfar, H. and Nakhkesh, M., 2019. Evaluation of landsat OLI data for estimating aerosol optical thickness over deserts. *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 26 (4): 855-867.
 - Tao, M., Li, R., Wang, L., Lan, F., Wang, Z., Tao, J. and Chen, L., 2020. A critical view of long-term AVHRR aerosol data record in China: Retrieval frequency and heavy pollution. *Journal of Atmospheric Environment*, 223: 117246.
 - Statistical analysis the phenomenon of Dust Storm (case study: Isfahan). *Iranian Journal of Rangeland and Desert Research*, 25 (4): 863-876.
 - Brunsdon, C., Fotheringham, A.S. and Charlton, M., 1996. Geographically weighted regression: a method for exploring spatial nonstationarity. *Journal of Geographical Analysis*, 28 (4): 281-298.
 - Dai, X., Guo, Z., Zhang, L. and Li, D., 2010. Spatio-temporal exploratory analysis of urban surface temperature field in Shanghai, China. *Journal of Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 24 (2): 247-257.
 - Danesh-Shahraki, M., Shahriari, A., Ganjali, M. and Bameri, A., 2017. Seasonal and spatial variability of airborne dust loading rate over the Sistan plain cities and its relationship with some climatic parameters. *Journal of Water and Soil Conservation*, 23 (6): 199-215.
 - Farajzadeh Asl, M. and Alizadeh, K.H., 2012. Spatial and temporal analysis of dust storms in Iran. *Journal of Spatial Planning*, 15 (1): 65-84.
 - Foody, G.M., 2004. Spatial nonstationarity and scale dependency in the relationship between species richness and environmental determinants for the sub Saharan endemic avifauna. *Journal of Global Ecology and Biogeography*, 13 (4): 315-320.
 - Fotheringham, A.S., Brunsdon, C. and Charlton, M., 2003. *Geographically weighted regression: the analysis of spatially varying relationships*. John Wiley & Sons.
 - Guo, J.P., Zhang, X.Y., Che, H.Z., Gong, S.L., An, X., Cao, C.X., Guang, J., Zhang, H., Wang, Y.Q., Zhang, X.C. and Xue, M., 2009. Correlation between PM concentrations and aerosol optical depth in eastern China. *Journal of Atmospheric Environment*, 43 (37): 5876-5886.
 - Gupta, P., Christopher, S.A., Wang, J., Gehrig, R., Lee, Y.C. and Kumar, N., 2006. Satellite remote sensing of particulate matter and air quality assessment over global cities. *Journal of Atmospheric Environment*, 40 (30): 5880-5892.
 - He, Q., Gu, Y. and Zhang, M., 2019. Spatiotemporal patterns of aerosol optical depth throughout China from 2003 to 2016. *Journal of Science of The Total Environment*, 653: 23-35.
 - Khajeh, M., Kheyrandish, H. and Pishdad, H., 2015. Review the phenomenon of dust and study of effective winds on it (Case Study: Bandar Abbas, Hormozgan province). *Environmental Erosion Research Journal*, 4 (4): 37-48.
 - Kazemi, M., Nafarzadegan, A. and Mohammadi, F., 2019. Studying changes in heat islands and land uses of the Minab city using the random forest

- ecosystems. *Journal of Global ecology and biogeography*, 14 (4): 379-393.
- Zhang, W., He, Q., Wang, H., Cao, K. and He, S., 2018. Factor analysis for aerosol optical depth and its prediction from the perspective of land-use change. *Journal of Ecological Indicators*, 93: 458-469.
 - Tu, J. and Xia, Z.G., 2008. Examining spatially varying relationships between land use and water quality using geographically weighted regression I: Model design and evaluation. *Journal of Science of the Total Environment*, 407 (1): 358-378.
 - Wang, Q., Ni, J. and Tenhunen, J., 2005. Application of a geographically-weighted regression analysis to estimate net primary production of Chinese forest

Investigation of the relationship between maximum dust and climatic variables using remote sensing data (Case study: Hormozgan province)

M. Kazemi¹, A.R. Nafarzadegan^{2*} and F. Mohammadi³

1- Assistant Professor, Hormoz Studies and Research Center, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran

2*-Corresponding author, Assistant Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran, Email: a.r.nafarzadegan@gmail.com

3- Assistant Professor, Department of Water Sciences & Engineering, Minab Higher Education Complex, University of Hormozgan, Minab, Iran

Received:04/29/2020

Accepted:09/27/2020

Abstract

Dust is one of the natural disasters which is considered a serious environmental hazard, especially in arid and semi-arid regions due to the serious damage it causes every year. The present study aimed to investigate the relationship between 14 climatic variables with the maximum monthly aerosol optical depth (AOD) due to the dust events in Hormozgan province. First, by coding in the Google Earth Engine (GEE) environment, a satellite image was retrieved from the MODIS aerosol products for each day, and while preparing the AOD time series, the average maximum monthly dust values for 17 years (2000-2017) were extracted. Also, monthly climate and water balance products of the University of Idaho including actual and reference evapotranspiration, minimum and maximum temperature, precipitation accumulation, soil moisture, Palmer drought severity index, climate water deficit, short wavelength radiation towards the ground, vapor pressure, vapor pressure deficit, and wind speed, as well as land surface temperature (LST) and vegetation index (EVI), were extracted and, while sampling these images, regression relationships between the average maximum monthly dust values with them were computed using the ordinary least squares (OLS) and geographically weighted regression (GWR) methods. Then, the global Moran's I statistics were employed to analyze the spatial autocorrelation and distribution of dust over the province. The results showed that the GWR model with the root means square error (0.14), the sum of residual squares of (11.3), the coefficient of determination of (0.82), and the corrected Akaike information criterion of -570.19, presented better performance than the OLS method. The evaluation of the coefficients of the GWR model showed that the variables of vegetation cover, soil moisture, and precipitation had the greatest effect on the amount of dust, respectively. Also, from the perspective of spatial autocorrelation, a cluster pattern was observed for dust distribution over the province.

Keywords: Geographic weighted regression, aerosol optical depth, University of Idaho dataset, Google Earth Engine.