

شناسایی کانون‌های تولید گرد و غبار به کمک داده‌های دورسنجی:

یک رویکرد جامع

- ❖ بهزاد رایگانی*؛ استادیار دانشکده محیط زیست، سازمان حفاظت محیط زیست، کرج.
- ❖ سوسن براتی قهفرخی؛ دانشجوی دکتری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ❖ احمد خوش‌نوا؛ استادیار دانشکده محیط زیست، سازمان حفاظت محیط زیست، کرج، ایران.

چکیده

هدف از این مطالعه توسعه روشی جامع به منظور شناسایی کانون‌های تولید گرد و غبار و بررسی روند تغییرات آن‌ها طی یک دوره زمانی مشخص به کمک داده‌های دورسنجی است. بدین منظور از داده‌های ماهواره‌ای سنجنده OLI لندست ۸ در طول سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵ جهت تهیه نقشه‌های پتانسیل باد فرسایشی از منظر پوشش گیاهی، رطوبت و پوشش زمین استفاده شده است. این نقشه‌ها با اطلاعات زمین‌شناسی و زبری زمین به روش ارزیابی چند معیاره تلفیق شدند تا یک نقشه مناطق بالقوه تولید گرد و غبار به دست آید. در گام دوم اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک، هواشناسی و سنجش آلودگی هوا دریافت و با استفاده از تحلیل آماری آن‌ها و با کمک داده‌های سنجنده مودیس تاریخ رویدادهای محلی ریزگرد به دست آمد. این تاریخ‌ها بر اساس مدل شبیه‌سازی جریان هوای اسپلیت و اسپلیت‌وا سنجی شد تا اطمینان حاصل شود جریان هوا در مسیر حرکت خود با سطح زمینی که پتانسیل باد فرسایشی داشته، تماس حاصل نموده است. همچنین بر اساس محل تلاقی جریان هوا با سطح زمین و با اعمال ماسک‌های مناطق فرسایش‌ناپذیر بر روی آن‌ها، مناطق محتمل تولید ریزگرد مشخص گردید. این مناطق با عنوان مناطق بالفعل تولید ریزگرد با مناطق بالقوه به روش ارزیابی چند معیاره فازی به روش وزنی خطی تلفیق و بر اساس یک طرح نمونه‌برداری لایه‌بندی شده-تصادفی کانون‌های مستعد تولید گرد و غبار شناسایی شد. جهت اعتبارسنجی مناطق شناسایی شده و بررسی روند تغییرات آن‌ها از سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شد و روند تغییرات پوشش گیاهی، رطوبت خاک و دمای سطح زمین در محل کانون‌های شناسایی شده در طی یک دوره زمانی ۱۵ ساله مورد پایش قرار گرفت. نتایج اعتبارسنجی نشان دهنده دقت بالای مناطق شناسایی شده و کاهش معنی‌دار پوشش گیاهی، رطوبت خاک و دمای سطح زمین در محل کانون‌های شناسایی شده در طی دوره زمانی مورد مطالعه است. نتایج حاصل از این تحقیق و بازدیدهای میدانی صورت گرفته نشان از سودمندی و کارایی این روش دارد و می‌تواند برای مطالعات آتی در این زمینه به عنوان یک چارچوب جامع جهت شناسایی کانون‌های گرد و غبار مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژگان: سری‌های زمانی داده‌های دورسنجی، های اس پیلیت، تحلیل گرایش، مودیس، تی ام آی، او ال آی.

۱. مقدمه

گرد و غبار پدیده‌ای رایج در اتمسفر است که از مناطق خشک و نیمه خشک سرچشمه می‌گیرد و هنگام عبور یک جبهه تند باد یا زمانی که باد بتواند ماسه‌های تثبیت نشده و گرد و غبار را از یک سطح خشک جدا کند اتفاق می‌افتد. اختلاف شدید فشار هوا باعث افزایش شدت باد بر فراز یک منطقه می‌شود و در مناطق خشک و نیمه خشک منجر به طوفان‌های ماسه و گرد و غبار می‌شود [۱۵]. طوفان‌های گرد و غبار و ماسه که اغلب در مناطقی از آسیا، آفریقا، استرالیا و آمریکا اتفاق می‌افتد، با تغییر تعادل تابش در اتمسفر از طریق پراکندگی و جذب تابش خورشیدی و همچنین جذب و گسیل بازتابش امواج، نقش مهمی در اقلیم دارد و تأثیر مهمی بر کیفیت هوا، چرخه هیدرولوژیکی و اکوسیستم می‌گذارد. گرد و غبار همچنین می‌تواند باعث تغییر خصوصیات ابرها مانند تعداد، تراکم و قطر قطرات ابر شود که این امر به نوبه خود می‌تواند میزان آلبیدو و عمر ابرها را تحت تأثیر قرار دهد که اصطلاحاً "اثر غیر مستقیم ذرات معلق" نامیده می‌شود. همچنین گرد و غبار می‌تواند تأثیر زیادی بر توده آئروسول در مناطق شهری داشته باشد [۱۵، ۳۱، ۴۶]. ذرات گرد و غبار علی‌رغم غیر سمی بودن، اثرات فراوانی بر سلامتی انسان به خصوص سیستم تنفسی دارند. مطالعات انجام شده حاکی از آن است که شمار افراد مبتلا به التهاب ریوی در طول دوره پدیده ریزگرد افزایش می‌یابد. گرد و غبار می‌تواند حاوی اسپور، باکتری، ویروس و آلاینده‌های آلی پایدار باشد که باعث بیماری انسان در فاصله‌ای دور از منبع آن می‌شوند. همچنین می‌تواند مواد غذایی را به اقیانوس‌ها برده و بر تولید زیست توده دریایی تأثیر گذار باشد [۱۵، ۳۱]. اثرات دیگر شامل تأثیر منفی بر حمل و نقل زمینی و هوایی از طریق کاهش دید، اثرات

آن بر کشاورزی از طریق کاهش تابش فعال فتوسنتزی و راندمان نوری محصولات کشاورزی است. اغلب منابع گرد و غبار در مناطق خشک نیمکره شمالی از گستره وسیعی از شمال آفریقا و خاورمیانه گرفته تا مرکز و جنوب آسیا قرار دارند. در حال حاضر کشورهای شمال دریای عرب (دریای مکران) به دلیل خشکسالی‌های طولانی مدت، احداث سد و انحراف آب برای کشاورزی با چالش خشک شدن دریاچه‌ها و تالاب‌ها و در نتیجه پدیده گرد و غبار مواجه می‌باشند. به عنوان مثال دریاچه هامون در مرز ایران و افغانستان که در سال ۱۹۷۶ دارای مساحتی به وسعت بیش از ۲۰۰ کیلومتر مربع بود، امروزه تقریباً خشک شده و بستر آن به عنوان یکی از مهم‌ترین منابع گرد و غبار در این منطقه در نظر گرفته می‌شود. پنل بین دولتی تغییرات آب و هوایی (IPCC) و سازمان جهانی هواشناسی (WMO)، گرد و غبار را به عنوان مهم‌ترین آئروسول اتمسفر می‌شناسند که یک متغیر ضروری آب و هوایی برای مطالعه می‌باشد. از این رو، پایش پیوسته آئروسول‌های گرد و غبار بر فراز منبع و چاهک آن جهت درک تغییرات زمانی-مکانی آن ضروری به نظر می‌رسد. آنجا که اندازه‌گیری میدانی گرد و غبار دارای محدودیت‌های مکانی و زمانی است و گرد و غبار مسافت طولانی را از منبع خود طی می‌کند، شناسایی و پایش دقیق گرد و غبار تنها از طریق مشاهدات ماهواره‌ای امکانپذیر می‌باشد (۱۵). ماهواره‌های مشاهده زمینی، به دلیل پوشش مکانی و زمانی وسیع و قدرت تفکیک مکانی زیاد، روش منحصر به فردی جهت پایش و شناسایی خصوصیات ریزگردها در زمان وقوع پدیده گرد و غبار به شمار می‌روند [۱۴]. در دهه‌های اخیر پیشرفت قابل توجهی در درک و شناسایی چرخه گرد و غبار به وجود آمده است. بیشترین پیشرفت در افزایش مشاهدات

¹Inter-governmental Panel on Climate Change

²World Meteorological Organization

³Sink

مکانی بسیار ضعیف و شبکه‌های سلول‌های چند صد کیلومتری می‌باشد [۱۷، ۱۹] که عملاً استفاده آن‌ها در شرایط محلی و حتی منطقه‌ای را ناممکن می‌سازد. به همین دلیل به توسعه روشی جامع و فراگیر جهت شناسایی کانون‌های تولید گرد و غبار در سطوح محلی و بررسی روند تغییرات آن‌ها با استفاده از سنجش از دور نیاز می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از مجموعه داده‌های ماهواره‌ای و شبیه‌سازی عددی جریان هوا به صورت تلفیق چندمعیاری، عوامل مؤثر در بادفرسایی روشی جامع و کاربردی برای شناسایی کانون‌های تولید گرد و غبار و بررسی روند تغییرات آن‌ها در طول زمان، ارائه شده است که در نوع خود نوآوری‌های زیادی دارد و می‌تواند راهگشای بسیاری از مطالعات شناسایی کانون‌های گرد و غبار باشد.

۲. روش شناسایی

۲.۱. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه شامل استان البرز با مساحت حدود ۵۱۴۱۸۶ هکتار است که در موقعیت جغرافیایی ۳۵ درجه و ۳۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۰ دقیقه شمالی و ۵۰ درجه و ۰۹ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۷ دقیقه شرقی در نیمه شمالی ایران واقع شده است (شکل ۱). استان البرز دارای تنوع اقلیمی زیادی می‌باشد، بخش جنوبی آن دارای اقلیم خشک و نیمه خشک و میانگین بارش کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر در سال است به همین دلیل شرایط برای رشد و استقرار پوشش گیاهی در این نواحی مناسب نبوده و

ماهواره‌ای و میدانی با استفاده از مدل‌های پیش‌بینی گرد و غبار و مدل‌های کمی آب و هوا حاصل شده است [۱۶]. این ارزیابی‌ها در درجه اول با استفاده از: i. محصولات آئروسولی ماهواره‌ها مانند شاخص جذب ذرات معلق TOMS^۱ [۳۶، ۴۴]، ضخامت عمق اپتیکی آبی عمیق^۲ مودیس [۱۸]، شاخص ذرات معلق OMİ [۲۵] و شاخص تفاضلی مادون قرمز گرد و غبار MSG/SEVIRI^۳ [۳۹] و ii. متغیرهای پیش‌بینی هواشناسی (سرعت باد سطحی، فشار دما و غیره) در ترکیب با خصوصیات سطح زمین (شرایط پوشش گیاهی، رطوبت خاک، بافت خاک، خصوصیات زمین‌شناسی) و شاخص‌های ویژه (خشکسالی، فرسایش خاک، شاخص تأثیر انسان و کارایی بارش) صورت می‌گیرند [۱۷، ۳۳، ۴۰]. علاوه بر اقلیم و آب و هوا عواملی همچون تغییرات پوشش زمین و شرایط ژئومورفولوژیکی نیز می‌توانند بر پدیده گردوغبار مؤثر باشند [۱۵]. بنابراین می‌توان با استفاده از سنجش از دور و بر اساس تلفیق این عوامل مناطق با پتانسیل فرسایش‌پذیری بالا را شناسایی و نقشه‌های آن را تولید کرد. با این وجود در مطالعات صورت گرفته در زمینه شناسایی کانون‌های گرد و غبار، اغلب به صورت منفرد از مدل‌های عددی یا تجزیه و تحلیل‌های سنجش از دوری استفاده شده است [۱۸، ۳۶، ۴۲، ۴۷]. هر چند تلاش‌هایی صورت گرفته است تا یک مدل جامع با در نظر گرفتن شرایط توپوگرافی و پوشش برای شبیه‌سازی حرکت هواویزهایی مانند گرد و غبار و شناسایی کانون‌های انتشار آن‌ها توسعه داده شود، ولی به دلیل جهانی بودن اغلب این مدل‌ها مانند گوکارت^۴ دارای قدرت تفکیک

^۱Deep blue aerosol optical depth

^۲Ozone Monitoring Instrument

^۳Infrared difference dust index (IDDI)

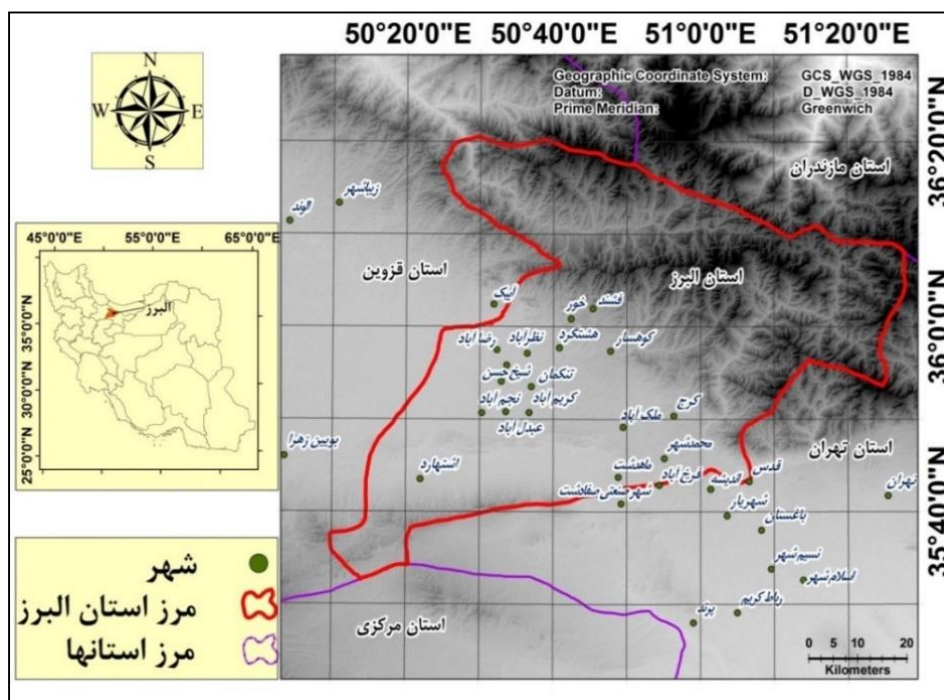
^۴Meteosat Second Generation/Spinning Enhanced Visible and Infrared Imagery

^۵GOCART (The Goddard Chemistry Aerosol Radiation and Transport)

^۶Total Ozone Mapping Spectrometer

قابلیت فرسایش‌پذیری خاک را افزایش داده است [۲۷]. بدین ترتیب با توسعه پدیده بیابان‌زایی و فرسایش بادی حدود یک سوم وسعت این استان با پدیده گرد و غبار مواجه است.

پوشش گیاهی فقط در دوره کوتاهی از فصل بهار دارای رشد و نمو است. قسمت شمالی آن دارای اقلیم نیمه‌مرطوب می‌باشد. علاوه بر این، به دلیل چرای بی‌رویه دام، پوشش گیاهی مراتع استان البرز تخریب شده و



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

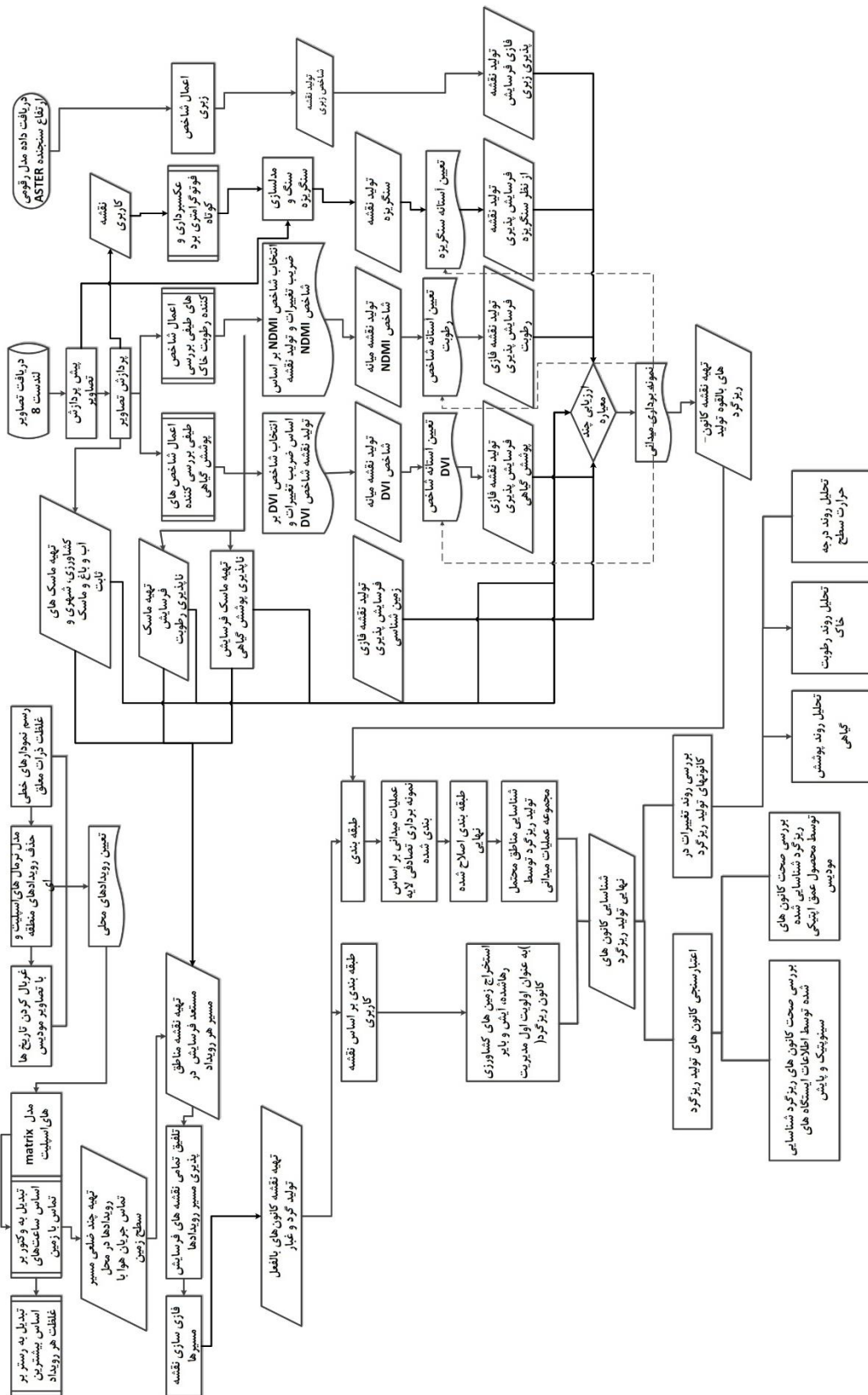
روش‌های تحلیل روند سری‌های زمانی داده‌های سنجش از دوری مانند محصولات پوشش گیاهی، درجه حرارت سطح زمین و عمق اپتیکی برای واسنجی کانون‌ها استفاده شده است. در ادامه جزئیات روش کار اشاره خواهد شد.

۲.۲. شناسایی کانون‌های بالقوه تولید گرد و غبار

به منظور شناسایی کانون‌های تولید گرد و غبار ابتدا لازم است مناطقی که دارای پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک هستند، مشخص شوند. طبق مطالعات صورت گرفته عوامل تعیین کننده میزان فرسایش‌پذیری خاک شامل پوشش گیاهی (پوشش، پراکنش و ارتفاع)، رطوبت خاک، زبری و بافت خاک است و فرسایش‌پذیری خاک توسط این عوامل تعیین می‌شود [۱۶، ۲۸، ۳۴]. در این تحقیق با استفاده از ترکیب این عوامل مناطق با پتانسیل

شکل (۲) فرآیند کلی روش تحقیق در این پژوهش را نشان می‌دهد. مطابق این فلوجارت این پژوهش دارای چهار بخش اصلی می‌باشد: ۱- شناسایی کانون‌های بالقوه تولید گرد و غبار (حساسیت به فرسایش)؛ ۲- شناسایی کانون‌های بالفعل گرد و غبار؛ ۳- شناسایی کانون‌های تولید گرد و غبار؛ و ۴- واسنجی کانون‌های گرد و غبار و بررسی روند تغییرات آن‌ها در طول زمان. به طور کلی جهت شناسایی کانون‌های بالقوه از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، مدل رقومی ارتفاعی سنجنده استر و نقشه زمین‌شناسی استفاده شده است. برای شناسایی کانون‌های بالفعل از پیش‌بینی جریان هوای HYSPLIT با تلفیق خروجی نقشه‌های بالقوه بهره‌گیری شده است. برای شناسایی کانون‌های اصلی گرد و غبار از تلفیق دو نقشه قبلی و عملیات میدانی استفاده گردید و در نهایت از

فرسایش پذیری بالا به عنوان کانون‌های بالقوه تولید گرد و غبار شناسایی و نقشه‌های آن تولید شده است.



شکل ۲. فرآیند کلی تحقیق

۱.۲.۲. داده‌ها

به منظور تهیه نقشه‌های پتانسیل فرسایش پذیری از منظر پوشش گیاهی و رطوبت خاک از داده‌های لندست ۸ (سنجنده OLI) استفاده شده است. با توجه به پیوسته بودن داده‌های لندست، کیفیت مناسب تصاویر و قدرت تفکیک مکانی متوسط آن (۳۰ متر در چندطیفی و ۱۵ متر در پانکروماتیک)، داده‌های لندست برای تجزیه و تحلیل پدیده‌های گرد و غبار و فرسایش بادی مناسب می‌باشند [۲۹]. در این مطالعه از ۲۶ تصویر لندست برای دوره زمانی ۲۰۱۵-۲۰۱۳ استفاده شده است. همچنین به منظور تهیه نقشه زبری منطقه از داده‌ی مدل رقومی ارتفاعی 'سنجنده' ASTER استفاده شده است. مدل رقومی ارتفاع به دست آمده از این سنجنده در مناطق خیلی مسطح و شیب‌دار بسیار دقیق است [۱]. در گام نخست تصاویر ماهواره‌ای لندست پیش پردازش شد. در این مرحله تصاویر لندست ۸ از لحاظ هندسی و اتمسفری تصحیح گردید. با استفاده از نقاط کنترل زمینی یکی از تصاویر تصحیح هندسی شد و سایر تصاویر به این تصویر ثبت داده شدند. تصحیح اتمسفری نیز، به منظور حذف اثرات پخشیدگی و جذب اتمسفری، به کمک روش تصحیح اتمسفری ATCOR در نرم‌افزار ERDAS IMAGINE 2014 انجام شد [۳۷].

۲.۲.۲. تهیه نقشه‌های پتانسیل فرسایش پذیری

پس از انجام مراحل پیش پردازش، با اعمال شاخص‌های مختلف طیفی و اعمال آستانه‌هایی بر روی هر تصویر خروجی، ماسک‌های متغیرهای فرسایش‌پذیری برای هر تصویر تهیه شدند. علاوه بر این، ماسک‌های متغیرهای

ثابت فرسایش‌پذیری شامل مناطق شهری، باغ و پیکره‌های آبی نیز با استفاده از عمل طبقه‌بندی بر روی تصاویر OLI تولید شدند. در نهایت با تلفیق آن‌ها ماسک نهایی متغیرهای ثابت فرسایش‌پذیری به دست آمد که به عنوان لایه محدود کننده در مدل ارزیابی چند معیاره استفاده شده است.

۱.۲.۲.۲. نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری از منظر

رطوبت خاک

میزان رطوبت خاک سطحی یک متغیر بسیار مهم در تعیین پتانسیل فرسایش‌پذیری، انتقال رسوبات توسط باد و تولید گرد و غبار است [۴۹]. در این مطالعه، به منظور مشخص کردن مناطق با رطوبت پایین و پتانسیل فرسایش‌پذیری بالاتر، پس از انجام بررسی‌ها بر روی شاخص‌های مختلف رطوبت خاک، دو شاخص NDMI و WETNESS انتخاب و بر روی تصاویر OLI اعمال شدند. شاخص طیفی NDMI، میزان رطوبت خاک را برای عناصر سیمای سرزمین به ویژه برای خاک، سنگ و پوشش گیاهی تعیین می‌کند و شاخصی مناسب برای خشکی است [۲۱]. شاخص طیفی WETNESS به دست آمده از تبدیل کلاهیک منگوله‌دار نیز یکی از شاخص‌هایی است که در تخمین رطوبت خاک به کار می‌رود. تبدیل کلاهیک منگوله‌دار به طور گسترده در سنجش از دور، نقشه‌سازی پوشش گیاهی و رطوبت خاک و پایش تغییرات پوشش زمین استفاده می‌شود [۲۱، ۲۷]. این تبدیل، نه تنها یک مکانیزم برای کاهش حجم داده‌ها با از دست دادن حداقل اطلاعات فراهم می‌آورد بلکه

¹digital elevation model(DEM)

²Atmospheric and Topographic Corrections

³Static Variables

Normalized difference moisture index

^۴Tasseled Cap Transformation

گردید. همچنین برای هر تصویر OLI یک ماسک فرسایش ناپذیری از منظر رطوبت خاک به دست آمد تا در مرحله شبیه‌سازی جریان هوا مورد استفاده قرار گیرد.

۲،۲،۲. نقشه پتانسیل فرسایش پذیری بر اساس

پوشش گیاهی

نرخ فرسایش بادی و انتشار ریزگرد به شدت تحت تأثیر پوشش گیاهی قرار دارد. زمینی که دارای پوشش گیاهی مناسبی باشد تقریباً از فرسایش بادی در امان است. در این مطالعه به منظور مشخص کردن مناطق با پوشش گیاهی کم و پتانسیل فرسایش پذیری بالا، از شاخص‌های گیاهی طیفی مختلف مناسب مناطق خشک و نیمه خشک شامل PVI1، PVI، NDVI، DVI، MSAVI2، MSAVI1، PVI2، PVI3، SAVI، TSAVI2 و WdVI^۱ استفاده شده است (۱۲). سپس ضرایب تغییرات شاخص‌ها بر روی تصاویر سال ۲۰۱۴، مورد بررسی قرار گرفت و شاخص پوشش گیاهی DVI با بالاترین ضریب تغییرات انتخاب گردید و بر روی همه تصاویر (سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵) اعمال شد. DVI یکی از شاخص‌های گیاهی است که در آن ضریب خط خاک نیز دخیل شده است و هدف اصلی آن، حذف اثر روشنایی خاک در مواردی است که پوشش گیاهی نادر و پیکسل‌ها شامل ترکیبی از پوشش گیاهی سبز و پس زمینه خاک می‌باشد (۱۲). این امر به ویژه در محیط‌های خشک و نیمه خشک اهمیت دارد. در این شاخص فرض بر این است که در فضای طیفی بین باند مادون قرمز و قرمز یک خط خاک وجود دارد که آن خط خاک برای پیکسل‌هایی که آن رفتار را نشان می‌دهند به معنی خاک لخت است و هر قسمتی که دارای رفتاری متفاوت از آن باشد می‌تواند به عنوان پوشش گیاهی یا آب در نظر گرفته شود. در این شاخص، خطوط هم پوشش گیاهی، موازی با خط خاک هستند. خط خاک دارای شیب اختیاری است و از مبدأ عبور

ویژگی‌های طیفی آن می‌تواند به طور مستقیم با پارامترهای مهم فیزیکی سطح زمین مرتبط باشد [۲۱]. سه ویژگی معمولاً با این تبدیل محاسبه می‌شود که شامل روشنایی، سبزی^۲ و رطوبت^۳ است. تبدیل کلاسیک منگوله‌دار، مجموعه‌ای از باندهای مری و مادون قرمز نزدیک را با مجموع باندهای مادون قرمز کوتاه تلفیق می‌کند. می‌توان از خروجی شاخص رطوبت تبدیل کلاسیک منگوله‌دار برای نشان دادن رطوبت سطح خاک استفاده کرد [۳، ۲۱].

پس از اعمال شاخص‌های رطوبت NDMI و WETNESS، ضرایب تغییرات آن‌ها در تصاویر سال ۲۰۱۴ مورد مقایسه قرار گرفت و شاخص NDMI با توجه به داشتن بالاترین ضریب تغییرات انتخاب و بر روی همه تصاویر (سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵) اعمال شد. در مرحله بعد نقشه میانه رطوبت NDMI برای سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵ به دست آمد و آستانه فرسایش ناپذیری این شاخص بر اساس اطلاعات موجود و بررسی چشمی تصویر تعیین شد. در گام آخر نقشه میانه کل در طول سه سال شاخص رطوبت NDMI بدست آمد و بر اساس آستانه تعیین شده فازی شد. لازم به ذکر است که با بررسی‌های به عمل آمده در فاز عملیات میدانی، عملکرد شاخص NDMI مناسب نشان داده نشد. به همین دلیل برای تهیه نقشه پتانسیل فرسایش پذیری رطوبت نهایی، شاخص WETNESS بر روی تمامی تصاویر لندست ۸ پیش‌پردازش شده (مقادیر بازتابندگی سطح)، اعمال شد و بر اساس آستانه فرسایش ناپذیری به دست آمده از عملیات میدانی (شکل ۳) برای این شاخص، نقشه میانه کل در طول سه سال شاخص WETNESS فازی گردید و نقشه پتانسیل فرسایش پذیری از منظر رطوبت به دست آمد. ماسک میانه فرسایش ناپذیری این شاخص نیز بر اساس آستانه فرسایش ناپذیری به دست آمده تولید

¹ brightness

² greenness

³ wetness

زبری در این است که این شاخص‌ها از نتایج حاصل از اختلاف نقاط ارتفاعی مختلف به منظور بررسی تغییرات زبری سطح خاک استفاده می‌کنند [۲۰]. در این مطالعه به منظور تعیین مناطق با زبری کمتر و فرسایش‌پذیری بیشتر، از داده مدل رقومی ارتفاعی سنجنده ASTER استفاده شده است. بدین منظور از روش موقعیت توپوگرافی نسبی^۱ یا شاخص موقعیت توپوگرافی^۲ به وسیله تحلیل آماری فضای همسایگی^۳ با ابعاد پنجره ۳×۳ استفاده شده است. بدین منظور تحلیل آماری فضای همسایگی در سه مرحله بر روی DEM اعمال می‌شود. در یک گام تابع کمینه، در یک گام تابع بیشینه و گام آخر تابع متوسط بر فضای همسایگی ۳×۳ اعمال می‌شود و شاخص زبری بر اساس رابطه [۱] به دست می‌آید:

$$TPI = \frac{(3 \times 3 \text{ mean DEM} - 3 \times 3 \text{ min DEM})}{(3 \times 3 \text{ max DEM} - 3 \times 3 \text{ min DEM})} \quad \text{رابطه ۱}$$

در گام بعد، آستانه فرسایش ناپذیری مناسب بر نقشه زبری اعمال و نقشه فازی زبری سطح خاک تهیه گردید. همچنین ماسک فرسایش‌ناپذیری از منظر شاخص زبری بر اساس آستانه، به دست آمد. پس از اعمال شاخص زبری بر روی مدل رقومی ارتفاعی، بر اساس یک آستانه تجربی، این لایه به صورت فازی استاندارد شد (شکل a-۵) تا در ارزیابی چندمعیاره قابل استفاده شود. در شکل a-۵ ارزش‌های بیشتر (قرمز)، پتانسیل فرسایش‌پذیری بالاتری دارند. عامل زبری در پژوهش‌های مشابه مورد استفاده قرار گرفته است. به عنوان مثال [۶] از عامل زبری به عنوان یکی از عوامل مؤثر در فرسایش بادی و انجام آنالیز فازی به منظور ارزیابی حساسیت‌پذیری زمین به فرسایش بادی استفاده کردند.

۴.۲.۲.۲. تهیه نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری از

لحاظ زمین‌شناسی

می‌کند. دامنه شاخص نیز بی نهایت است [۴] و در آن ارزش صفر نشان‌دهنده خاک لخت، ارزش‌های کمتر از صفر نشان‌دهنده آب و ارزش‌های بزرگتر از صفر نشان‌دهنده پوشش گیاهی می‌باشد. پس از اعمال شاخص پوشش گیاهی DVI بر روی همه تصاویر، نقشه میانه پوشش گیاهی (سال های ۲۰۱۳، ۲۰۱۴ و ۲۰۱۵) تولید شد و بر اساس آستانه به دست آمده از اطلاعات موجود، فازی گردید. در گام آخر بعد از برداشتن میدانی (شکل ۳)، آستانه فرسایش‌ناپذیری این شاخص اصلاح گردید و نقشه میانه بر اساس آستانه نهایی فرسایش‌ناپذیری فازی شد و نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری از منظر پوشش گیاهی تولید گردید. همانند شاخص رطوبت، ماسک میانه فرسایش‌ناپذیری شاخص DVI بر اساس آستانه اصلاح شده بدست آمد. همچنین برای هر تصویر OLI یک ماسک فرسایش‌ناپذیری از منظر پوشش گیاهی بدست آمد تا در مرحله شبیه‌سازی جریان هوا مورد استفاده قرار گیرد.

۳.۲.۲.۲. تهیه نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری از

لحاظ زبری خاک

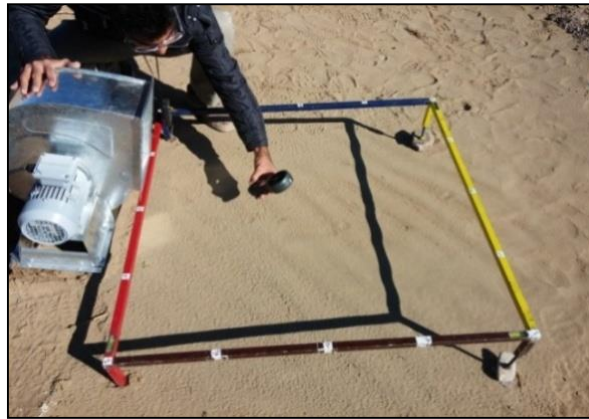
زبری خاک به پستی و بلندی‌های سطح خاک گفته می‌شود، شاخص زبری خاک نشان‌دهنده میزان تغییر ارتفاع بین سلول‌های مجاور در یک تصویر رقومی ارتفاعی است و عامل مهمی در تعیین میزان فرسایش آبی و بادی، ظرفیت ذخیره سازی آب و میزان رواناب است [۳۲، ۳۸]. زبری سطح خاک یکی از پارامترهایی است که بیشترین حساسیت را به تغییر در ویژگی‌های زمانی و مکانی از جمله شیوه و زمان کشت و برداشت و تجمع خاک دارد [۲۲]. به منظور بررسی تغییرات زبری سطح خاک از روش‌های مختلفی از جمله اندازه‌گیری پروفیل خاک با متر، تجزیه و تحلیل سایه و شاخص‌های زبری استفاده می‌شود. شاخص‌های مختلفی به منظور تعیین مقدار زبری به کار گرفته می‌شود. نکته مشترک اکثر شاخص‌های

¹Relative Topographic Position

²Topographic Position Index

³Focal Statistics

سعی شد به منظور داشتن حداقل اطلاع از زمین از نقشه زمین شناسی استفاده شود که در برخی مطالعات استفاده از این فاکتور توصیه شده است [۳۰].



شکل ۳. عملیات میدانی به منظور تعیین و اصلاح آستانه‌های فرسایش‌ناپذیری شاخص‌های طیفی رطوبت و پوشش گیاهی

بافت خاک یکی از مهم‌ترین فاکتورهای مؤثر در فرسایش بادی به شمار می‌رود [۵] ولی در ناحیه مطالعاتی اطلاعاتی از وضعیت بافت خاک وجود نداشت، بنابراین

سنگفرش در مناطق خشک نقش پوشش گیاهی در مناطق مرطوب را ایفا می‌کند. وجود سنگ و سنگریزه در سطح خاک خواص فیزیکی خاک را متأثر می‌سازد و در کنترل فرسایش بادی نقش آفرین است. در اثر تخریب سنگفرش، شدت فرسایش بادی و غبار ناشی از آن در اراضی تخریب یافته افزایش می‌یابد. خاک‌هایی که درصد سنگریزه آن‌ها کمتر از ۴۰ درصد است، مستعد فرسایش‌پذیری هستند و هر چه درصد سنگریزه کمتر شود، فرسایش بیشتری اتفاق می‌افتد [۸]. در این پژوهش به منظور تهیه نقشه درصد سنگ و سنگریزه از فوتوگرامتری برد کوتاه استفاده شد [۳۷]. بدین منظور بر اساس یک طرح طبقه‌بندی شده تصادفی نقاط عکسبرداری مشخص شد. سپس در هر ناحیه با ۶ تا ۹ عکس عمودی از سطح یک پلات ۱×۱ متر مختص فوتوگرامتری برد کوتاه، تصویر عمودی شده استخراج شد، سپس این تصویر بر اساس منطق طبقه‌بندی شی‌گرا به کمک نرم‌افزار 9 eCognition Developer طبقه‌بندی گردید و به کمک داده سنجنده OLI در سطح ناحیه مطالعاتی مقدار سنگ و سنگریزه به روش رگرسیون چندمتغیره با ضریب تعیین تعدیل یافته بیش از ۰/۹ مدل سازی شد [۳۷]. در نهایت این نقشه نیز با اعمال یک

در این مطالعه به منظور تهیه نقشه پتانسیل فرسایش‌پذیری بر اساس وضعیت زمین شناسی ابتدا اطلاعات زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه دریافت گردید. سپس با توجه به جنس سنگ و ذرات تشکیل‌دهنده آن، حساسیت آن‌ها به فرسایش تعیین و نقشه فازی پتانسیل فرسایش‌پذیری تهیه گردید.

۵.۲.۲.۲. تهیه نقشه پتانسیل بادفرسایی از منظر

سنگ و سنگریزه

ذرات خاک بسته به ابعادی که دارند به اسامی مختلف خوانده می‌شوند. موادی که قطر آن‌ها از ۲ سانتیمتر بیشتر باشد، قلوه سنگ، موادی که قطر آن‌ها بین ۲ میلیمتر تا ۲ سانتیمتر باشد، سنگریزه نام دارند. ذرات کوچکتر از ۲ میلیمتر خاک نرم نامیده می‌شود. وجود اجزاء سنگی در سطح خاک مناطق بیابانی تحت عنوان سنگفرش بیابان اثرات قابل توجهی در ویژگی‌های فیزیکی خاک و زمین دارد. تخریب و دستکاری در سنگفرش این مناطق به عنوان یکی از معضلات مناطق خشک محسوب می‌شود که معمولاً از تغییر کاربری زمین و دخل و تصرف حاصل می‌شود [۸].

در این دوره ۲۶۱ رویداد بود. سپس داده های غلظت ساعتی مربوط به ذرات معلق ایستگاه های سنجش و پایش کیفیت هوای سازمان حفاظت محیط زیست در همان سه سال دریافت شد تا در نهایت با تلفیق این اطلاعات آمار رویدادهای گرد و غبار استخراج شود.

۲.۳.۲. شناسایی رویدادهای محلی گرد و غبار و

مسیرهای آن

پس از دریافت اطلاعات مربوط به دیده بانهای رخدادها ریزگرد (۲۶۱ رویداد) در سال های ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۵، نمودار خطی غلظت ذرات معلق مربوط به این رخدادها ترسیم گردید و رویدادهایی که در آن نمودارهای غلظت ذرات معلق، دارای روند مشابه در ایستگاه های پایش آلودگی هوا نزدیک به یکدیگر و یا روند پیوسته در یک ایستگاه بودند مشخص شدند. همچنین با بررسی آماری، نمودارهایی که فقط در یک ساعت مقدار بسیار بالا نشان داده بودند حذف شد تا از خطاهای احتمالی ناشی از خطاهای دستگاهی یا شناسایی آلودگی موقتی هوا به جای گرد و غبار اجتناب گردد. برای حذف خطاهای ناشی از تفسیر غلط یا اطلاعات نادرست داده های ایستگاه های سنجش آلودگی هوا در طول دوره مورد بررسی، از داده های سنجنده مودیس استفاده شد و تاریخ هایی که رویداد طوفان ریزگرد منطقه ای داشتند یا وارونگی هوا در آنها اتفاق افتاده بود به صورت چشمی شناسایی و از تاریخ های به دست آمده در مرحله قبل حذف شد. در گام بعد، بر اساس ساعت بیشترین غلظت نمودارهای ایستگاه های سنجش آلودگی هوا با استفاده از مدل آنالین نرمال ۰/۵ درجه های اسپلیت (HYSPLIT) [۱۰] برای تمامی رویدادهای تعیین شده، مسیرهای انتقال ریزگرد شناسایی شد. بر اساس مدل های اسپلیت امکان تلفیق مسیرهای پیش بینی شده با لایه های دیگر از جمله

آستانه به نقشه بادفرسایی از منظر سنگ و سنگریزه تبدیل شد.

۳.۲.۲. تهیه نقشه کانون های بالقوه تولید گرد و غبار

در مرحله آخر، به منظور تعیین کانون های بالقوه تولید گرد و غبار، نقشه های فازی منابع مؤثر در تولید گرد و غبار در مدل ارزیابی چند معیاره^۱ به روش ترکیب وزنی خطی [۱۲] با هم تلفیق شدند. در این روش به منظور وزن دهی به لایه ها از روش نرخ دهی^۲ استفاده شد و وزن هر لایه بر اساس نظر کارشناسی تعیین شد. ماسک های فرسایش ناپذیری نیز به عنوان لایه محدود کننده در این مدل قرار گرفت. پس از بازدید میدانی و اصلاح شاخص ها و آستانه های آنها بر اساس اطلاعات نقاط برداشت، نقشه کانون های بالقوه تولید گرد و غبار به دست آمد.

۳.۲.۳. شناسایی کانون های بالفعل تولید گرد و غبار

به منظور شناسایی کانون های بالفعل گرد و غبار و مسیرهای انتقال گرد و غبار ابتدا لازم است رویدادهای محلی گرد و غبار از طوفان منطقه ای یا وارونگی هوا تفکیک شوند و همچنین رویدادهایی که در آنها جریان ورودی به ناحیه مورد نظر در مسیر حرکت خود هیچ گونه تماسی با سطح زمین نداشته باشد نیز از رویدادهای مورد بررسی حذف شوند و در نهایت با استفاده از ماسک های فرسایش ناپذیری که در مرحله قبل به دست آمد کانون های واقعی تولید گرد و غبار مشخص گردد.

۳.۲.۱. داده ها

داده های مربوط به دیده بانهای رخدادها گرد و غبار در دوره زمانی سه ساله (۲۰۱۳-۲۰۱۵) با گام زمانی ۳ ساعته از سازمان هواشناسی دریافت گردید. تعداد رخدادها ریزگرد گزارش شده توسط سازمان هواشناسی

¹ Multi-criteria evaluation (MCE)

² Weighted linear combinations

³ Rating

و نقشه نهایی مسیرهای گرد و غبار تولید گردید.

۵.۲. ارزیابی صحت کانون‌های محتمل ریزگرد

۱.۵.۲. بررسی صحت کانون‌های محتمل ریزگرد

بر اساس عمق اپتیکی مشاهده شده در هر رویداد

در این تحقیق از محصول MOD04_L2 (مجموعه ۶) مودیس، به منظور استخراج ضخامت اپتیکی آبروسل و بررسی صحت کانون‌های ریزگرد شناسایی شده، استفاده گردید. این محصول برای روزهای با غلظت بالای گرد و غبار و یک روز قبل و بعد از آن دریافت و زمین مرجع شد. سپس با استفاده از ترکیب خوارزمیک‌های Dark Target و Deep Blue ضخامت نوری آبروسل در منطقه مورد مطالعه استخراج شد. در مناطقی که عمق اپتیکی بالاتر بود، مسیر جهت جریان باد در ۲۴ ساعت قبل به وسیله مدل‌های اسپلین تعیین گردید. سپس نقشه‌های عمق اپتیکی از نظر تماس جریان هوا با زمین برای کانون‌های محتمل مورد بررسی قرار گرفت.

۲.۵.۲. بررسی صحت کانون‌های محتمل ریزگرد

بر اساس مجموع عمق اپتیکی در سال‌های ۲۰۱۰ تا

پایان ۲۰۱۵

برای بررسی ضخامت اپتیکی گردوغبار، ۳۰۶۶ داده MOD04_L2 ورژن ۶ از سال ۲۰۱۰ تا پایان سال ۲۰۱۵ دریافت گردید. سپس دو پارامتر از آن استخراج شد: ۱- نوع هواویز (Aerosol type) ۲- ضخامت اپتیکی هواویز (AOT). در مرحله بعد به کمک نوع هواویز، قسمت‌هایی که فقط شامل گردوغبار بود، استخراج گردید (AOT از نوع گرد و غبار استخراج شد). بدین صورت که کد هواویز گرد و غبار با AOT ترکیب شد و فقط AOT که مربوط به گرد و غبار بود باقی ماند. سپس پارامترهای

لایه نشان دهنده سطح زمین وجود دارد [۱۱]. بنابراین، مسیرهایی که با سطح زمین تماس فیزیکی داشت، مشخص گردید و رویدادهایی که در آن‌ها جریان ورودی به ناحیه مطالعاتی در مسیر حرکت خود هیچ‌گونه تماسی با سطح زمین نداشت از رویدادهای مورد بررسی حذف شد. مدل‌های اسپلین سامانه‌ای است که به محاسبه مسیرهای پیچیده پراکندگی و ته‌نشینی و همچنین حرکت گرد و غبار می‌پردازد. [۲، ۴۵]. این مدل با شناسایی مسیرهای انتقال گرد و غبار امکان تخمین سهم منابع گرد و غبار را در مناطق مختلف فراهم می‌آورد [۱۳] و شبکه‌ای از مسیرها را که به یک ناحیه محدود می‌شود ایجاد می‌کند [۴۱]. بر این اساس چند ضلعی‌های مسیرهای حرکت هوا در قسمت‌هایی که با سطح زمین تماس داشتند، تهیه و بر اساس حداکثر غلظت آن رویداد تبدیل به داده‌های رستری با غلظت نسبی شدند. در فاز بعد، هر مسیر در ماسک‌های فرسایش ناپذیری شامل ماسک‌های متغیرهای ثابت و ماسک‌های متغیرهای پویا مربوط به رطوبت و پوشش گیاهی در هر تاریخ ضرب شد و نقشه نواحی مؤثر در تولید گرد و غبار به دست آمد. در مرحله بعد تمامی خروجی‌ها با هم جمع و نقشه فازی [۱۲] مسیرها تهیه شد.

۴.۲. شناسایی کانون‌های تولید گرد و غبار

به منظور شناسایی کانون‌های تولید گرد و غبار ابتدا دو نقشه کانون بالقوه و بالفعل گرد و غبار به روش وزنی خطی با یکدیگر تلفیق شدند. سپس، این نقشه به صورت خودکار به کمک هیستوگرام به روش شکستگی طبیعی^۲ طبقه‌بندی شد و ناحیه‌های طبقه‌بندی‌شده به منظور واسنجی نتایج مورد نمونه‌برداری میدانی قرار گرفت. پس از به دست آوردن اطلاعات نقاط برداشت، شاخص‌های طیفی رطوبت و پوشش گیاهی مورد استفاده تأیید و آستانه‌های فرسایش ناپذیری آن‌ها اصلاح شدند (شکل ۳)

^۲terrain

^۱Natural breaks

و هوایی در سال‌های اخیر (به عنوان مثال ۳۰ سال گذشته) است. سری‌های زمانی تصاویر مشاهده زمین، یک منبع مهمی برای درک دو مورد پویایی و تکامل پدیده‌های محیط زیستی فراهم می‌نماید. در نتیجه، ETM بر تجزیه و تحلیل روند و ویژگی‌های پویای این پدیده‌ها متمرکز است [۱۲]. به منظور تجزیه و تحلیل روند تغییرات از محصولات LPRM_TMI_DY_SOILM3 (شامل داده‌های رطوبت خاک، درجه حرارت سطح و عمق اپتیکی پوشش گیاهی) سنجنده TMI، MOD13Q1 (محصول پوشش گیاهی مودیس ماهواره ترا) و MOD11A2 (محصول درجه حرارت سطح زمین مودیس ماهواره ترا) استفاده گردید. پس از دریافت داده‌های سری زمانی TMI (۲۰۰۰-۲۰۱۴)، مراحل آماده سازی بر روی هر سه داده آن (رطوبت، درجه حرارت و عمق اپتیکی پوشش گیاهی) صورت پذیرفت تا به داده‌های ماهیانه نرمال شده تبدیل شوند. با توجه به وجود نویز در داده‌های سری زمانی به دلیل ابر و عوامل محیطی و سامانه‌های داخلی سنجنده، از روش تحلیل رگرسیون به وسیله میانه تیل-سن (روند میانه) به منظور استخراج مقادیر شیب و ثابت معادله خطی تغییرات استفاده شد [۲۳]. تیل-سن یک پراتور روند غیر پارامتری قوی است که برای ارزیابی نرخ تغییر سری‌های کوتاه و نویزی، بسیار رایج و قابل اطمینان است و توسط تعیین شیب بین هر ترکیب دو به دو و سپس پیدا کردن ارزش میانه محاسبه می‌شود [۱۲]. همچنین به منظور بررسی معنی‌داری رابطه خطی تغییرات، از روش معنی‌داری من-کندال (روند یکنواخت) و بررسی مقادیر Z استفاده گردید [۲۳]. روش معنی‌داری من-کندال تصویری در مقادیر Z تولید می‌کند که اجازه ارزیابی هم معنی‌داری و هم جهت را به طور همزمان می‌دهد. ارزش‌های بحرانی برای فاصله اطمینان ۹۵٪

آماري پیکسل از جمله مقدار بیشینه، میانگین، میانه، انحراف معیار، تنوع^۱ و مجموع محاسبه شد که از این میان، تنوع از دیگر پارامترها مناسب‌تر تشخیص داده شد. این تصویر تنوع بدست آمد تا مناطق تولید ریزگرد مشخص شود. در تصویر خروجی تنوع، نواحی‌ای مشاهده شد که شدت تغییرات ارزشی مکانی در آن‌ها بیشتر از سایر بخش‌ها بود (رنگ و ارزش آن‌ها تفاوت دارد). در واقع همبستگی مکانی- ارزشی آن‌ها با پیکسل‌های همسایه ناچیز است. این نواحی با تعیین آستانه و توسط عمل طبقه‌بندی مجدد جدا شدند. بدین صورت که نواحی‌ای که اختلاف ارزشی آن‌ها بیشتر از یک آستانه خاص نسبت به حاشیه بود، استخراج شدند. سپس در فاز بعد ماسک‌های فرسایش‌ناپذیری در خروجی حاصل ضرب گردید. تصویر حاصل مناطقی را نشان می‌دهد که در آن ضخامت اپتیکی گردوغبار نسبت به نواحی دیگر بالاتر است. در مرحله بعد با استفاده از این خروجی، کانون‌های تولید ریزگرد اعتبارسنجی شدند.

۳.۵.۲. اعتبارسنجی کانون‌های شناسایی شده

تولید گرد و غبار و بررسی روند تغییرات آنها با

استفاده از سری زمانی داده‌های ماهواره‌ای

روند تغییرات رطوبت خاک، درجه حرارت سطح زمین و پوشش گیاهی در منطقه مطالعاتی با استفاده از ابزار طراح روند زمین (ETM) در محیط نرم افزار TerrSet، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. ETM ابزاری برای تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی تصاویر مشاهده زمین است. با ETM می‌توان روندها و الگوهای اخیر را در متغیرهای اساسی سیستم زمین مانند دمای سطح دریا، درجه حرارت اتمسفر، بارش، پوشش گیاهی و امثال آن‌ها کشف نمود. ETM یک ابزار استثنایی برای ارزیابی تغییرات آب

¹Diversity

² Earth Trend Modeler(ETM)

³ Theil-Sen(Median Trend)

⁴ Mann-Kendall (Monotonic Trend)

وزن‌ها تصحیح شد و آستانه‌های استانداردسازی فازی هر لایه نیز اصلاح گردید و نقشه کانون‌های بالقوه گرد و غبار تولید شد [۳۰]. بر اساس مطالعه مشخص شده است تشدید عوامل بیابانزایی و بهره‌برداری بی‌رویه سبب افزایش تخریب پوشش گیاهی شده و این مناطق را مستعد فرسایش کرده است. گرچه در برخی مناطق اجرای پروژه‌های بیابان‌زدایی و انجام عملیات نهالکاری و قرق باعث احیای پوشش و تثبیت خاک گردیده است، با این حال نتایج این مطالعه سطح وسیعی از مناطق مستعد که عامل ایجاد گرد و غبار محلی می‌باشد را نشان می‌دهد که نیاز به مدیریت و انجام اقدامات اصلاحی دارد. با توجه به نتایج عملیات نمونه‌برداری خاک و بازدیدهای صحرائی از مناطق محتمل فرسایش، چهار نوع اراضی کشاورزی رها شده، اراضی مرتعی تخریب یافته، اراضی مرتعی احیاء شده و مراتع لخت و فاقد پوشش در بازدیدهای میدانی به عنوان مستعدترین مناطق تولید ریزگرد شناسایی شدند.

۲.۳. کانون‌های بالفعل تولید گرد و غبار و نقشه

مسیر رویدادها

برای غربال‌نهایی رویدادهای ریزگرد محلی از پیش‌بینی‌های مدل عددی‌های اسپیلیت استفاده شد. بر این اساس مناطقی که جریان هوا با سطح زمین تماس داشته مشخص شد و در نهایت ۷۶ رویداد محلی ریزگرد شناسایی شد. بر این اساس مشخص شد که در استان البرز، ۴۵/۷۱٪ مسیره‌ها شرقی-غربی و جنوب شرقی-شمال غربی، ۲۳/۸۱٪ مسیره‌ها غربی-شرقی، ۱۲/۳۸٪ مسیره‌ها شمال غربی-جنوب شرقی، ۱۴/۲۹٪ مسیره‌ها جنوب غربی-شمال شرقی و ۳/۸۱٪ مسیره‌ها جنوبی-شمالی است. با توجه به اهمیت کلانشهر کرج، مسیرهای ریزگردی محلی عبوری از این شهر اهمیت ویژه‌ای دارند. بنابراین در این پژوهش پس از تعیین رویدادهای محلی، برای کل شهر کرج و حومه یک ماتریس نقطه‌ای تشکیل شد و مسیرهایی که به این نقاط منتهی می‌شدند، به‌وسیله مدل ماتریس‌های اسپیلیت به‌دست آمد تا به

(سطح معنی داری ۰/۵) $+/- ۱/۹۶$ و برای فاصله اطمینان ۹۹٪ (سطح معنی داری ۰/۱) $+/- ۲/۵۸$ می‌باشد. روش معنی‌داری من-کندال، در واقع اندازه‌گیری اهمیت یک روند یکنواخت است [۱۲]. این روش، یک جفت تصویر تولید می‌کند؛ یک تصویر معنی‌داری (تصویر مقادیر Z) و یک تصویر ثانویه (تصویر مقادیر p) که احتمال این که روند مشاهده شده می‌توانست توسط شانس (تصادفی) رخ داده شده باشد را نشان می‌دهد [۱۲، ۲۳] با توجه به قدرت تفکیک زمینی بسیار پایین سنجنده TMI (۲۵ کیلومتر) و بر اساس نتایج تحلیل روند تغییرات درجه حرارت سطح این سنجنده، به منظور بررسی دقیق‌تر، از داده‌های درجه حرارت سطح زمین سنجنده MODIS ماهواره Terra (۲۰۰۲-۲۰۱۴) نیز استفاده شد. این داده‌ها نیز آماده‌سازی شدند و شیب و ثابت معادله خطی روند تغییرات آن‌ها به‌وسیله روش تیل-سن و معنی‌داری رابطه توسط روش معنی‌داری من-کندال مورد ارزیابی قرار گرفت. لایه سوم داده TRMM سنجنده TMI که مورد تحلیل قرار گرفته است، داده مربوط به پوشش گیاهی می‌باشد. با توجه به تغییر معنی‌دار کاهش پوشش گیاهی در اغلب نقاط استان در داده عمق اپتیکی پوشش گیاهی سنجنده TMI به منظور بررسی دقیق‌تر این روند، از دو شاخص NDVI و EVI محصول MOD13Q1 سنجنده مودیس (۲۰۱۴-۲۰۰۱) استفاده گردید.

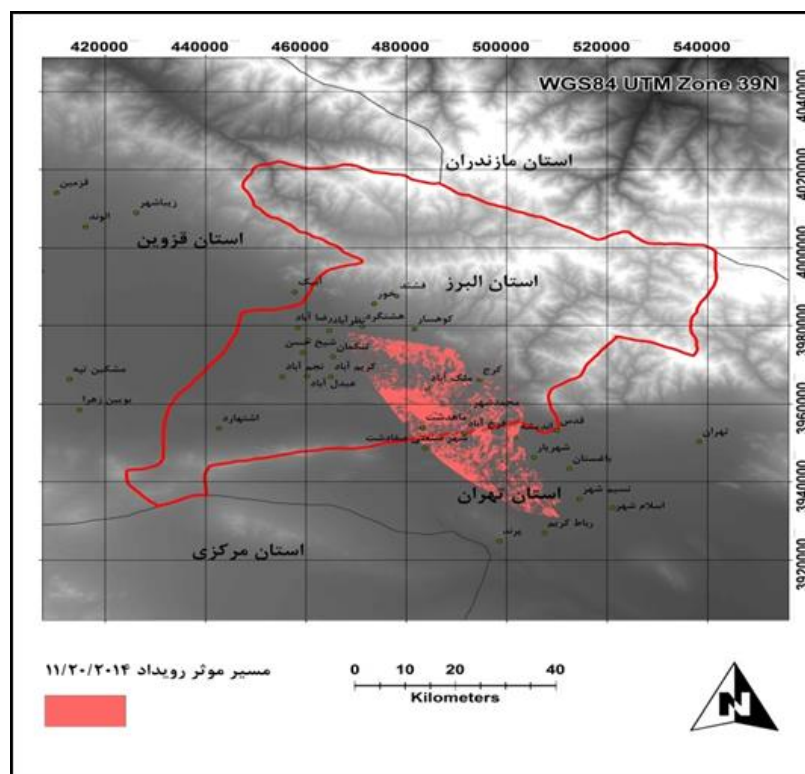
۳. نتایج

۱.۳. منابع بالقوه تولید گرد و غبار

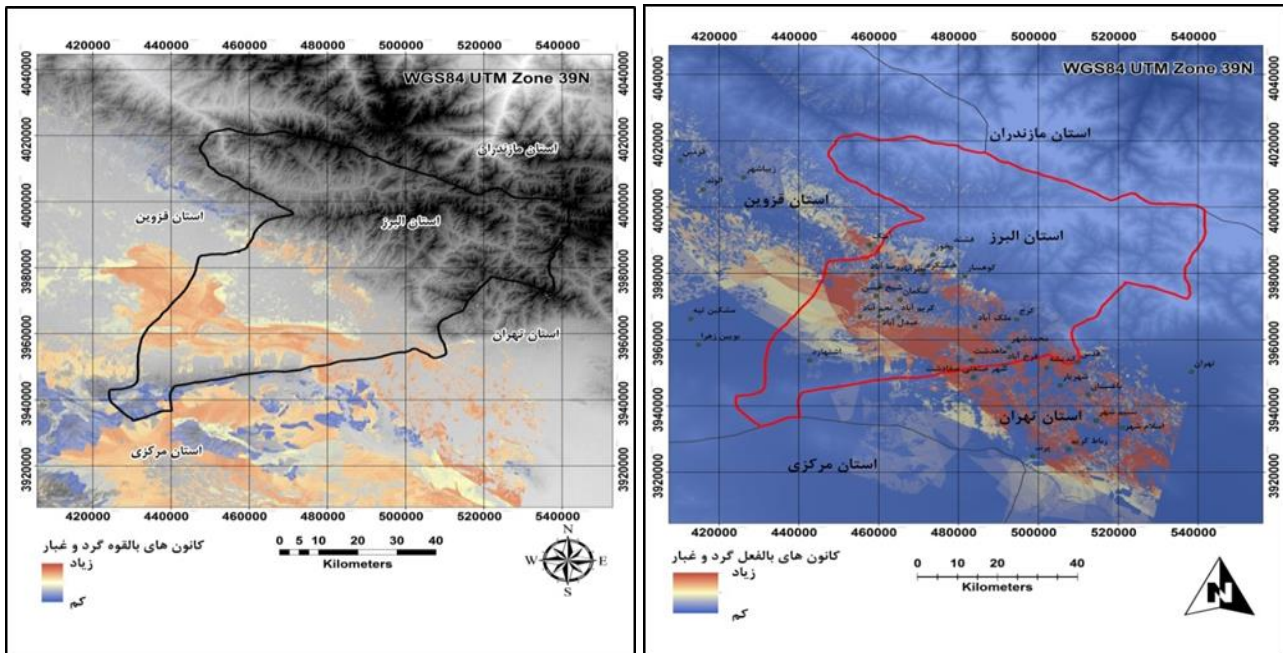
در شکل (۴) نقشه کانون‌های بالقوه تولید گرد و غبار نشان داده شده است. این نقشه بر اساس تلفیق لایه‌های پتانسیل فرسایش پذیری از منظر پستی و بلندی، پوشش گیاهی، رطوبت خاک، سنگ و سنگریزه و زمین‌شناسی در یک مدل ارزیابی چندمعیاره به روش ترکیب وزنی خطی به‌دست آمد. وزن‌های هر یک از این لایه‌ها در مرحله اول بر اساس نظر کارشناسی با تلفیق روش رتبه‌ای به‌دست آمد و بعد از بازدید میدانی این

بدست آید. در گام بعدی این نقشه به صورت فازی (۱۲) استاندارد گردید. شکل ۶ نقشه استاندارد شده فازی مسیرهای مؤثر عبور گرد و غبار در منطقۀ مطالعاتی را نشان می‌دهد. مطابق این نقشه، جهت جنوب غربی استان تهران به سمت شمال غربی استان البرز بیشترین اثر را در آلودگی هوای شهر کرج به دلیل گرد و خاک نشان داده‌اند و با بررسی که با واقعیت‌های میدانی انجام گرفت مشخص شد که در این ناحیه مناطق بدون پوشش گیاهی، زمین‌های کشاورزی رها شده و ما سه زارها وجود دارد و تطابق این نقشه با واقعیت میدانی به وضوح قابل مشاهده است.

تصاویر رستری مسیر هر رویداد تبدیل گردد. پس از اجرای این مدل، مسیرها بر اساس عرض و طولی که تماس فیزیکی با سطح زمین در آن مشاهده شده بود، و بر اساس غلظت آن رویداد به داده‌های رستر تبدیل شدند. در نهایت نقشه رستری مسیر هر رویداد در تصاویر ماسک‌های فرسایش ناپذیری ضرب گردید تا نقشه مسیر مؤثر تولید ریزگرد به دست آید. شکل ۵ مسیر مؤثر رویداد ۲۰ نوامبر ۲۰۱۴ را نشان می‌دهد. به منظور استاندارد سازی نقشه‌های مسیر واقعی جریان هوا در هر رویداد، تمام نقشه‌های مسیرهای مؤثر رویدادها با یکدیگر جمع شدند تا نقشه نهایی مسیر مؤثر با غلظت مجموع



شکل ۵. نقشه مسیر مؤثر رویداد ۲۰ نوامبر ۲۰۱۴



شکل ۶. نقشه مسیره‌های انتقال گرد و غبار

پتانسیل دارتری برای تولید گردوغبار می‌باشند. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود چند ضلعی‌هایی که درون ناحیه‌ای با AOT بالا (نواحی نارنجی رنگ) قرار گرفته‌اند پتانسیل فرسایش‌پذیری بالا و متوسط دارند و بالا بودن مقدار غلظت مجموع در این نواحی، نشان می‌دهد که این مناطق درست شناسایی شده‌اند.

۲،۳،۳. ارز یابی صحت کانون‌های ریزگرد با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های پایش آلودگی هوا و سینوپتیک (کد ۰۶ و ۰۷)

به منظور ارزیابی صحت کانون‌های شناسایی شده، از اطلاعات گرد و غبار ایستگاه‌های سینوپتیک (کدهای ۰۶ و ۰۷) و اطلاعات غلظت گرد و غبار ایستگاه‌های پایش آلودگی هوای محیط زیست نیز استفاده گردید. بدین منظور با استفاده از گلاباد و مدل عددی جریان هواهای اسپلینت، مسیرهای باد اصلی مشخص شدند. سپس از این بین، مسیرهایی که در آن ایستگاه‌های سینوپتیک و پایش قرار داشت، انتخاب شد و عمل واسنجی برای

۳،۳. نتایج اعتبار سنجی کانون‌های شناسایی شده

تولید ریزگرد

۱.۳.۳. اعتبار سنجی توسط داده‌های مودیس

۱.۱.۳.۳. بر اساس عمق اپتیکی مشاهده شده در

هر رویداد

مطابق شکل ۷ ضخامت اپتیکی ریزگرد در اغلب کانون‌های شناسایی شده زیاد است، علاوه بر این در زمان‌هایی که جریان هوا با زمین تماس داشته است، مسیر باد از روی کانون‌ها عبور نموده است. این امر نشان دهنده صحت بالای چند ضلعی‌های انتخاب شده به عنوان کانون گردوغبار است.

۲.۱.۳.۳. اعتبار سنجی کانون‌های بالفعل ریزگرد

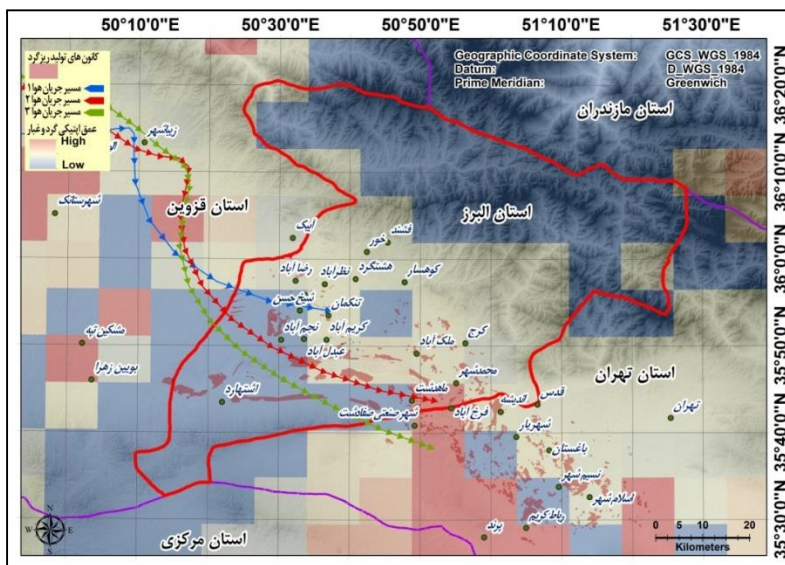
بر اساس مجموع عمق اپتیکی در سال‌های ۲۰۱۰ تا

پایان ۲۰۱۵

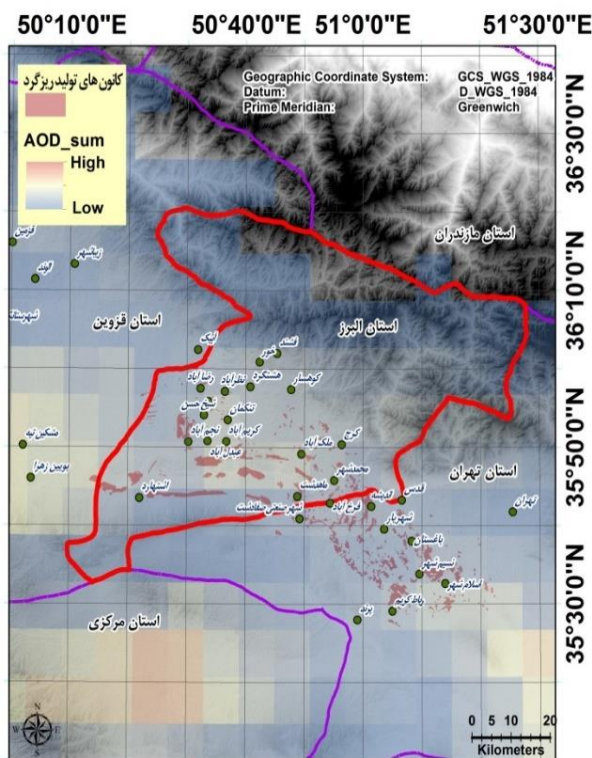
چند ضلعی‌هایی که در اطراف آن‌ها گرد و غبار بیشتر است (ضخامت اپتیکی گرد و غبار بیشتر است)، مناطق

و غبار و کانون‌های آن در شکل ۹ آورده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها ملاحظه می‌شود، اطلاعات گرد و غبار ایستگاه‌های سینوپتیک و پایش همخوانی بالایی با کانون‌های ریزگرد شناسایی شده دارد.

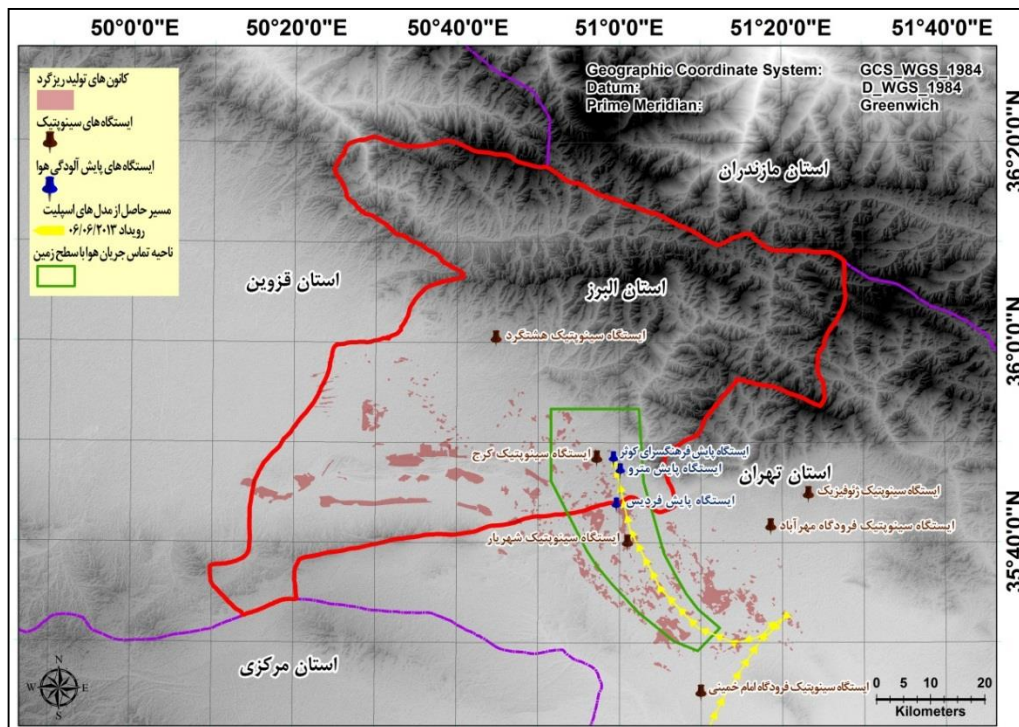
کانون‌های شنا سایی شده نزدیک این ایستگاه‌ها صورت پذیرفت. به دلیل محدود بودن پراکنش و تعداد ایستگاه‌های سینوپتیک در منطقه مطالعاتی این صحت‌سنجی اغلب برای زمین‌های کشاورزی آیش و بایر بخش شرقی صورت گرفت. به عنوان نمونه، ارزیابی صحت برای چند رویداد گرد



شکل ۷. نقشه اعتبارسنجی کانون‌های ریزگرد بر اساس عمق اپتیکی مشاهده شده در رویداد ۲۰۱۴/۰۲/۱۰



شکل ۸. نقشه ارزیابی صحت کانون‌های تولید ریزگرد به کمک تغییرات آماری عمق اپتیکی هواویز سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۵



شکل ۹. ارزیابی صحت کانون‌های ریزگرد برای رویداد ۶ ژوئن ۲۰۱۳ به کمک اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک و پایش آلودگی هوا

۳،۳،۳. تحلیل روند تغییرات کانون‌های شناسایی

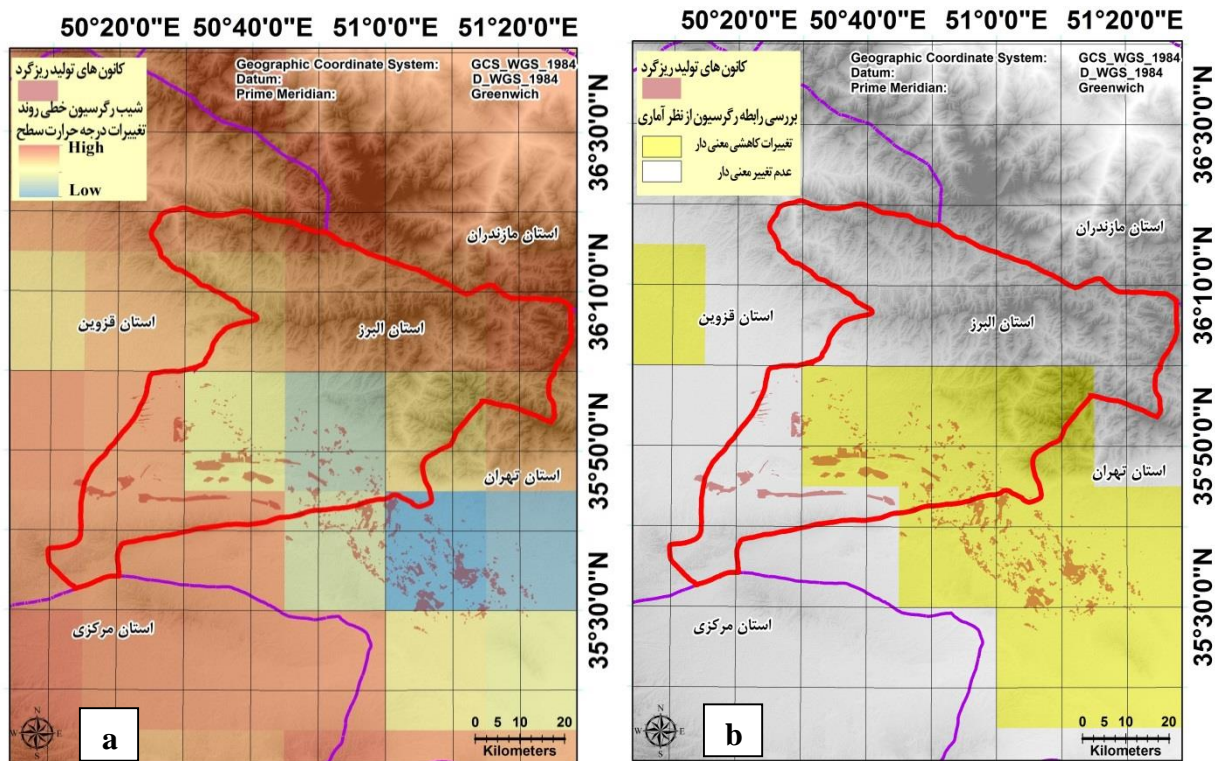
شده تولید ریزگرد

شکل a-۱۰ شیب معادله خطی تغییرات درجه حرارت سطح در هر پیکسل در طول دوره مورد بررسی که از داده‌های نرمال شده و پیش‌پردازش شده TMI به دست آمده است را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل a-۱۰ مشاهده می‌شود درجه حرارت سطح زمین در بخش جنوبی استان البرز و غرب تهران کاهش یافته است (رنگ آبی و زرد بخش جنوبی دارای شیب منفی می‌باشند). این کاهش درجه حرارت می‌تواند به علت فرکانس بالای غبار در ناحیه و بالتبع جلوگیری از دریافت نور خورشید توسط سطح زمین باشد. مطابق با مقادیر شیب، بخش جنوب شرقی خارج از استان البرز (زمین‌های بایر و آیش کشاورزی) بیشترین شیب تغییرات درجه حرارت را نشان می‌دهد (بخش آبی پررنگ در شکل a-۱۰). در ضمن به علت کاهش درجه حرارت در این ناحیه، امکان دارد الگوی جریان هوای محلی در نزدیک به سطح زمین اندکی تغییر نموده باشد. شکل b-۱۰ تغییرات

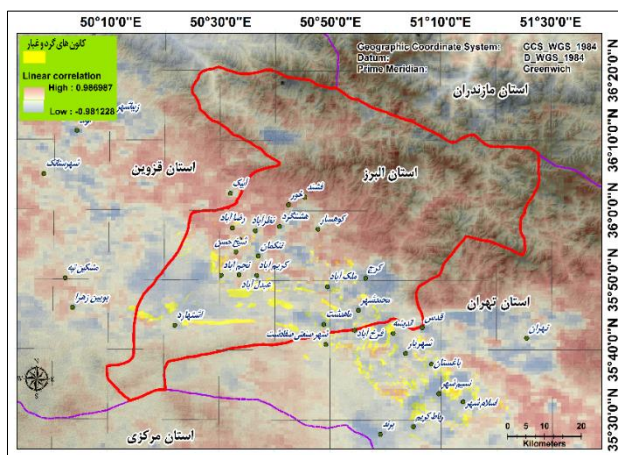
معنی‌دار درجه حرارت داده TMI را در منطقه مطالعاتی نشان می‌دهد. مطابق این شکل کلیه مناطق دارای روند کاهشی درجه حرارت، تغییرات معنی‌دار نشان داده‌اند (رنگ زرد در شکل b-۱۰ نشان‌دهنده بخش‌های دارای رابطه معنی‌دار است). همان‌گونه که مشاهده می‌شود تغییرات معنی‌دار کاهشی درجه حرارت بخش‌هایی از کانون‌های شناسایی شده تولید ریزگرد را در بر دارد. بنابراین به منظور بررسی دقیق‌تر روند درجه حرارت، از داده درجه حرارت سطح سنجنده مودیس با قدرت تفکیک بهتر از TMI استفاده گردید. نتیجه این تحلیل هم، کاهش درجه حرارت را در مناطق جنوب استان البرز و غرب استان تهران نشان داد. هر چند بر اساس بررسی روش معنی‌داری من-کندال این تغییرات در بسیاری از نقاط معنی‌دار نشان نداد، اما با تلفیق مقادیر ماهیانه و استخراج مقادیر بیشینه سالیانه در ناحیه کانون‌های گرد و غبار کاهش معنی‌دار درجه حرارت مشاهده گردید. جالب توجه است بر اساس این نقشه به خوبی می‌توان مسیر عبور طوفان‌های گرد و غبار را در بخش

بسیار مهم در شناسایی کانون‌هایی است که اخیراً فعال شده‌اند.

جنوب غربی کشور و بر روی کشور ایران مشاهده کرد (شکل ۱۱). بنابراین بررسی روند تغییرات درجه حرارت یک پارامتر



شکل ۱۰. روند تغییرات درجه حرارت سطح حاصل از سنجنده TMI بین سال‌های ۲۰۰۰ تا پایان ۲۰۱۴. (a) شب تغییرات درجه حرارت سطح (b) بررسی آماری تغییرات درجه حرارت از نظر معنی‌داری رابطه



شکل ۱۱. a. همبستگی خطی درجه حرارت سطح بیشینه سنجنده مودیس: بخش‌های آبی رنگ جنوب غربی ایران مسیرهای اصلی عبور گرد و غبار می‌باشند؛ b. همبستگی خطی درجه حرارت سطح بیشینه مودیس، در محل کانون‌ها و مجاور آن‌ها کاهش معنی‌دار درجه حرارت دیده می‌شود، کلان‌شهرهای تهران و کرج به دلیل آلوده‌تر شدن همین روند را نشان می‌دهند.

قرار گرفته است، داده مربوط به رطوبت خاک می‌باشد.

لایه دوم داده TRMM سنجنده TMI که مورد تحلیل

گرفت که داده‌های لند ست ۸ توانایی بالایی در شناسایی مناطق با پتانسیل بادفر سایه بالا و مناطق محتمل تولید ریزگرد دارند. همچنان که در برخی از مطالعات نیز از تصاویر لند ست ۸ به منظور شناسایی منابع گرد و غبار استفاده شده است. به عنوان مثال [۷] در پژوهش خود از تصاویر سنجنده OLI لند ست ۸ و ترکیب رنگ کاذب آن استفاده کردند و مناطق منبع گرد و غبار را شناسایی کردند، ولی نکته قابل توجه آن است که ما در پژوهش خود با اعمال شاخص‌های طیفی رطوبت خاک و پوشش گیاهی بر روی تصاویر OLI در یک دوره زمانی سه ساله و تهیه ماسک‌های فرسایش‌ناپذیری پویا مناطق مستعد تولید ریزگرد را شناسایی کردیم که این امر کمتر در این قبیل مطالعات به چشم می‌خورد. علاوه بر این، شبیه‌سازی جریان هوا با استفاده از مدل نرمال و ماتریکس‌های اسپلیت به خوبی توانست ما را در شناسایی مسیرهای گرد و غبار یاری دهد. در مطالعات مشابه در سطح جهان نیز با استفاده از مدل‌های اسپلیت به بررسی روند انتشار ریزگردها، شناسایی منابع محلی و محاسبه توزیع زمانی و مکانی منشأ گرد و غبار پرداخته شده است [۴۲، ۴۷]. ولی معمولاً در این مطالعات از مدل‌های عددی به صورت منفرد استفاده شده است در صورتی که می‌توان با تجزیه و تحلیل‌های ماهواره‌ای مدل‌های پیش‌بینی عددی را قدرتمندتر ساخت که در مطالعه حاضر این موضوع مورد توجه قرار گرفته است. علاوه بر این، ما در مطالعه خود از یک سری از اطلاعات مانند تلفیق مسیرهای پیش‌بینی شده با لایه‌های دیگر از جمله لایه نشان‌دهنده سطح زمین [۱۱] استفاده کرده‌ایم که معمولاً در مطالعات مربوط به پیش‌بینی‌های عددی در نظر گرفته نمی‌شود. از تلفیق این اطلاعات (مسیر رویدادها) با ماسک‌های فرسایش‌ناپذیری مناطقی که نقش مؤثری در تولید گرد و غبار نداشته‌اند حذف شدند و با فازی سازی نقشه حاصله، مسیرهای گرد و غبار به نحو مطلوب مشخص شدند که نتایج بازدیدهای میدانی هم صحت مسیرهای شناسایی شده را تأیید می‌نماید. همان‌طور که در شکل ۶

نتایج شیب معادله خطی تغییرات رطوبت خاک سطح هر پیکسل و بررسی معنی‌داری رابطه خطی این تغییرات در طول دوره مورد بررسی نشان داد که رطوبت خاک در اغلب استان البرز و غرب تهران کاهش یافته است. همچنین، زمین‌های کشاورزی رها شده یا آیش و بایر جنوب و جنوب شرق استان البرز، شیب تغییرات کاهش بیشتری نسبت به بخش‌های داخلی استان را تجربه نموده‌اند که رها شدن این زمین‌ها را در طول این سال‌ها نشان می‌دهد. لایه سوم داده TRMM سنجنده TMI که مورد تحلیل قرار گرفته است، داده مربوط به پوشش گیاهی می‌باشد. نتایج شیب معادله خطی تغییرات عمق اپتیکی پوشش گیاهی هر پیکسل و بررسی معنی‌داری رابطه خطی این تغییرات نمایانگر کاهش پوشش گیاهی به خصوص در مناطق غیرمرطوب می‌باشد. این کاهش، در اغلب استان البرز و تهران مشاهده شده است. با توجه به تغییر معنی‌دار کاهش پوشش گیاهی در اغلب نقاط استان در داده عمق اپتیکی سنجنده TMI به منظور بررسی دقیق‌تر این روند، از دو شاخص NDVI و EVI محصول MOD13Q1 سنجنده مودیس استفاده گردید. نتایج شیب معادله خطی تغییرات شاخص EVI و بررسی معنی‌داری رابطه خطی این تغییرات نشان داد که پوشش گیاهی در جنوب استان البرز و غرب استان تهران کاهش یافته است. همانند شاخص پوشش گیاهی EVI، تجزیه و تحلیل روند شاخص NDVI کاهش پوشش گیاهی را در جنوب استان البرز و غرب استان تهران نشان داد. علاوه بر این، شیب تغییرات پوشش گیاهی حاصل از شاخص NDVI بین سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۴ نشان داد که مقدار شیب تخریب پوشش گیاهی در اغلب بخش‌های جنوبی استان البرز (مراتع دشتی) افزایش یافته است که گزارش‌های محلی مردمی در مورد تخریب شدید در سالیان اخیر را تأیید می‌نماید.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

از نتایج ارائه شده در این تحقیق، می‌توان نتیجه

ریزگرد مشهود نیست. تنها استثناء در این زمینه داده درجه حرارت سطح زمین مربوط به سنجنده TMI به صورت ماهیانه و داده درجه حرارت سطح زمین سنجنده MODIS به صورت بیشینه سالانه است که مطابق با شکل ۱۱ و شکل ۱۰ یک تغییر معنی دار کاهشی درجه حرارت بر روی کانون‌ها نشان داده است. بنابراین توصیه می‌شود در این قبیل مطالعات این داده مورد بررسی قرار گیرد. یک محصول کارآمد در این زمینه مشابه با بسیاری از مطالعات، عمق اپتیکی هواویز است [۹، ۲۴، ۴۸]. از این داده می‌توان هم به صورت مختص هر رویداد (شکل ۷) و هم استخراج تغییرات پارامترهای آماری هر پیکسل (شکل ۸) استفاده نمود. در تمامی موارد این محصول دید بسیار مناسبی از اعتبار کانون شناسایی شده به دست خواهد داد. از میان پارامترهای آماری بررسی سری زمانی داده عمق اپتیکی، تنوع و مجموع بهترین اطلاعات را فراهم می‌کنند. به عنوان مثال بر اساس اطلاعات شکل ۸ می‌توان اذعان نمود یک کانون بزرگ در اطراف بوئین زهرا و مشکین تپه وجود دارد هر چند که کار میدانی جامع در این بخش صورت نپذیرفته ولی اطلاعات ناشی از بررسی چشمی منطقه این موضوع را تأیید می‌کند. با این وجود استفاده از محصول AOD مودیس به دلیل مشکلات ناشی از تعدد داده، عدم هماهنگی گسترش ماتریس‌های تصویر رستری هر رویداد، قدرت تفکیک مکانی پایین و فاصله زمانی یک‌روزه هر دو تصویر [۲۶، ۳۵] ممکن است در شناسایی دقیق کانون تولید ریزگرد کارآمد نباشد ولی در اعتبارسنجی آن می‌تواند بسیار موفق نشان دهد. به دلیل شیوه پراکنش و تعداد ایستگاه‌های سینوپتیک در بسیاری از رویدادها امکان اعتبارسنجی بر اساس کدهای اطلاعات گرد و غبار به تنهایی وجود ندارد ولی بر اساس این پژوهش می‌توان برخی رویدادها را بر اساس جهت جریان هوا و کدهای هر ایستگاه اعتبارسنجی نمود. مهم‌ترین نوآوری این پژوهش نسبت به اغلب مطالعات

نیز مشخص است بالاترین میزان فرسایش‌پذیری خاک در مسیر جنوب شرقی - شمال غربی و مربوط به زمین‌های کشاورزی رها شده جنوب و جنوب شرق شهر کرج یا جنوب غرب استان تهران است که در عملیات میدانی این پژوهش نیز این مناطق جزء مناطق با پتانسیل فرسایش‌پذیری بالا به حساب آمدند. همچنین تلفیق همه نقشه‌های فازی پتانسیل فرسایش‌پذیری با وزن‌های مختلف در مدل ارزیابی چند معیاره، کانون‌های تولید گرد و غبار را در استان البرز به خوبی مشخص کرد. نتایج حاصل از عملیات میدانی این تحقیق نیز نشان‌دهنده صحیح بودن این مناطق به عنوان کانون‌های تولید گرد و غبار می‌باشد. با توجه به این که در مطالعات صورت گرفته با استفاده از سنجش از دور به منظور شناسایی منابع تولید گردوغبار، تلفیق عوامل مؤثر در فرسایش بادی به صورت ارزیابی چند معیاره به ندرت انجام گرفته است و این روش در این مطالعه توانسته است منابع تولید گرد و غبار را شناسایی نماید، می‌توان در مطالعات آتی در این خصوص از این روش بهره برد. با بررسی‌های صورت پذیرفته در این پژوهش مشخص گردید امکان استفاده از داده‌های سری‌های زمانی سنجش از دوری برای اعتبارسنجی و صحت‌سنجی کانون‌های شناسایی شده تولید ریزگرد وجود دارد ولی هر داده می‌تواند اطلاعات منحصر به فردی ارائه کند که در داده دیگری یافت نمی‌شود. از میان داده‌های مورد استفاده در این پژوهش مشخص شد داده‌هایی که در مطالعات تغییرات آب و هوایی به کار می‌روند، از جمله شاخص‌های طیفی پوشش گیاهی (محصول عمق اپتیکی پوشش گیاهی سنجنده TMI و محصول MOD13Q1) و رطوبت خاک (سنجنده TMI) نمی‌توانند اطلاعات جدیدی برای اعتبارسنجی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک تولید کنند. ظاهراً به دلیل طی کردن یک روند مشابه در این نوع داده‌ها در کل منطقه اثر تغییر خاص ناحیه تولیدکننده

گونه‌ای تعریف شده است که می‌تواند از داده‌های ماهواره‌ای که در این مطالعات توانمند نشان داده‌اند [۳۴] در مناطقی که هیچ‌گونه اطلاعات میدانی وجود ندارد، به سادگی خروجی‌های قابل اطمینان به دست دهد و حتی برای اطمینان از درستی سایت‌های شناسایی شده، راه حل ساده‌ای مثل بررسی روند تغییرات درجه حرارت سطح زمین ارائه شده است. روش مورد استفاده در این تحقیق می‌تواند به عنوان روشی جامع برای مطالعات آتی در خصوص شناسایی منابع گرد و غبار با استفاده از داده‌های دورسنجی به‌خصوص در مواردی که اطلاعات منطقه مطالعاتی محدود و نامطمئن است، مورد استفاده قرار گیرد.

شناسایی کانون‌های گرد و غبار، جامع بودن، گام به گام بودن و ساده بودن نسبی آن است. در بیشتر تحقیقات مشابه، سعی شده است توانایی انواع داده‌ها در بررسی رفتار کانون‌های گرد و غبار و شناسایی این منابع استفاده شود [۱۶، ۱۷، ۱۸، ۲۸، ۳۳، ۳۴، ۳۶، ۳۹، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۵، ۴۶، ۴۷] ولی به جامع بودن روش و توانایی استفاده در سطوح محلی توجه چندانی نشده است. با توجه به تمرکز اغلب این قبیل پژوهش‌ها بر یک معیار [۱۷، ۱۸، ۳۶، ۴۱، ۴۲، ۴۳، ۴۵، ۴۶] با توجه به وجود نامطمئنی‌های متعدد در مناطق خشک و نیمه خشک و محدودیت یک داده و روش به تنهایی، امکان تحلیل نادرست و عدم دستیابی به نتیجه قابل اطمینان وجود دارد. روش پیشنهادی این پژوهش گام به گام و به شکل جامع به

References

- [1] Alimohammadi M., Alirezaei S., and Kontak D.J., (2015). Application of ASTER data for exploration of porphyry copper deposits: A case study of Daraloo-Sarmeshk area, southern part of the Kerman copper belt, Iran. *Ore Geology Reviews*. 70, 290-304.
- [2] Ashrafi K., Shafiepour-Motlagh M., Aslemant A., and Ghader S., (2014). Dust storm simulation over Iran using HYSPLIT. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 12, 1.
- [3] Baig M.H.A., Zhang L., Shuai T., and Tong Q., (2014). Derivation of a tasselled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sensing Letters*. 5, 423-431.
- [4] Basso B., Cammarano D., and De Vita P., (2004). Remotely sensed vegetation indices: Theory and applications for crop management. *Rivista Italiana di Agrometeorologia*. 1, 36-53.
- [5] Belnap J., and Gillette D.A., (1998). Vulnerability of desert biological soil crusts to wind erosion: the influences of crust development, soil texture, and disturbance. *Journal of arid environments*. 39, 133-142.
- [6] Borrelli P., Panagos P., Ballabio C., Lugato E., Weynants M., and Montanarella L., (2016). Towards a Pan-European Assessment of Land Susceptibility to Wind Erosion. *Land Degradation & Development*. 27, 1093-1105.
- [7] Cao H., Amiraslani F., Liu J., and Zhou N., (2015). Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. *Science of The Total Environment*. 502, 224-235.
- [8] Chambers J.E., Wilkinson P.B., Wardrop D., Hameed A., Hill I., Jeffrey C., et al., (2012). Bedrock detection beneath river terrace deposits using three-dimensional electrical resistivity tomography. *Geomorphology*. 177-178, 17-25.
- [9] Dong Z., Yu X., Li X., and Dai J., (2013). Analysis of variation trends and causes of aerosol optical depth in Shaanxi Province using MODIS data. *Meteorological Institute of Shaanxi Province-China*.
- [10] Draxler R.R., and Hess G., (1997). Description of the HYSPLIT4 modeling system.
- [11] Draxler R.R., Stunder B., Rolph G., and Taylor A., (1999). HYSPLIT4 user's guide. NOAA Technical Memorandum ERL ARL. 230, 35.
- [12] Eastman J.R., (2015). *TerrSet TUTORIAL* Clark University,

- [13] Escudero M., Stein A., Draxler R., Querol X., Alastuey A., Castillo S., et al., (2011). Source apportionment for African dust outbreaks over the Western Mediterranean using the HYSPLIT model. *Atmospheric Research*. 99, 518-527.
- [14] Fang L., Wang S., Yu T., Gu X., Zhang X., Wang W., et al., (2016). Changes in Aerosol Optical and Micro-Physical Properties over Northeast Asia from a Severe Dust Storm in April 2014. *Remote Sensing*. 8, 394.
- [15] Gharai B., Jose S., and Mahalakshmi D.V., (2013). Monitoring intense dust storms over the Indian region using satellite data – a case study. *International Journal of Remote Sensing*. 34, 7038-7048.
- [16] Gherboudj I., Naseema Beegum S., and Ghedira H., (2017). Identifying natural dust source regions over the Middle-East and North-Africa: Estimation of dust emission potential. *Earth-Science Reviews*. 165, 342-355.
- [17] Ginoux P., Chin M., Tegen I., Prospero J.M., Holben B., Dubovik O., et al., (2001). Sources and distributions of dust aerosols simulated with the GOCART model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 106, 20255-20273.
- [18] Ginoux P., Prospero J.M., Gill T.E., Hsu N.C., and Zhao M., (2012). Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products. *Reviews of geophysics*. 50,
- [19] Ginoux P., Prospero J.M., Torres O., and Chin M., (2004). Long-term simulation of global dust distribution with the GOCART model: correlation with North Atlantic Oscillation. *Environmental Modelling & Software*. 19, 113-128.
- [20] Hansen B., Schjønning P., and Sibbesen E., (1999). Roughness indices for estimation of depression storage capacity of tilled soil surfaces. *Soil and Tillage Research*. 52, 103-111.
- [21] Jin S., and Sader S.A., (2005). Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sensing of Environment*. 94, 364-372.
- [22] Kaźmierowski C., Ceglarek J., Królewicz S., Cierniewski J., Universityc A.M., Jasiewicz J., et al., (2015). Soil surface roughness quantification using DEM obtained from UAV photogrammetry .
- [23] Kermani F., Rayegani B., Nezami B., Goshtasb H., and Khosravi H., (2017). Assessing the vegetation trends in arid and semi-arid regions (Case study: Touran Protected Area) *Desert Ecosystem Engineering Journal*. 6, 1-14.
- [24] Klingmüller K., Pozzer A., Metzger S., Stenchikov G.L., and Lelieveld J., (2016). Aerosol optical depth trend over the Middle East. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 16, 5063-5073.
- [25] Levelt P.F., van den Oord G.H., Dobber M.R., Malkki A., Visser H., de Vries J., et al., (2006). The ozone monitoring instrument. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*. 44, 1093-1101.
- [26] Liu Q., Liu G., Huang C., Liu S., and Zhao J., editors. A tasseled cap transformation for Landsat 8 OLI TOA reflectance images. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International; 2014: IEEE*.
- [27] Liu X., Yin Z.-Y., Zhang X., and Yang X., (2004). Analyses of the spring dust storm frequency of northern China in relation to antecedent and concurrent wind, precipitation, vegetation, and soil moisture conditions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 109, n/a-n/a.
- [28] Long X., Li N., Tie X., Cao J., Zhao S., Huang R., et al., (2016). Urban dust in the Guanzhong Basin of China, part I: A regional distribution of dust sources retrieved using satellite data. *Science of The Total Environment*. 541, 1603-1613.
- [29] MASHAYEKHAN A., and HONARDOUST F., (2011). MULTI-CRITERIA EVALUATION MODEL FOR DESERTIFICATION HAZARD ZONATION MAPPING USING GIS (STUDY AREA: TROUTI WATERSHED, GOLESTAN, IRAN). *(JOURNAL OF RANGELAND SCIENCE*. 1, 9.
- [30] Mishra M.K., Chauhan P., and Sahay A., (2015). Detection of Asian dust storms from geostationary satellite observations of the INSAT-3D imager. *International Journal of Remote Sensing*. 36, 4668-4682.
- [31] Moreno R.G., Requejo A.S., Altisent J.M.D., and Álvarez M.C.D., (2011). Significance of soil erosion on soil surface roughness decay after tillage operations. *Soil and Tillage Research*. 117, 49-54.
- [32] Parajuli S.P., Yang Z.L., and Kocurek G., (2014). Mapping erodibility in dust source regions based on geomorphology, meteorology, and remote sensing. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 119, 1977-1994.

- [33] Pianalto F.S., and Yool S.R., (2013). Monitoring fugitive dust emission sources arising from construction: a remote-sensing approach. *GIScience & Remote Sensing*. 50, 251-270.
- [34] Pozzer A., de Meij A., Yoon J., Tost H., Georgoulas A., and Astitha M., (2015). AOD trends during 2001–2010 from observations and model simulations. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 15, 5521-5535.
- [35] Prospero J.M., Ginoux P., Torres O., Nicholson S.E., and Gill T.E., (2002). Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of geophysics*. 40 ,
- [36] Rayegani B., (2017). Gravel, Cobbles and boulders Percentage Mapping Using Close Range Photogrammetry (Case Study: Tehran-Karaj Plain)(*Journal of water and soil*. 31, 956-968.
- [37] Saranya C .,Unnikrishnan M., Ali S.A., Sheela D.S., and Lalithambika D.V.R., (2016). Terrain Based D* Algorithm for Path Planning. *IFAC-PapersOnLine*. 49, 178-182.
- [38] Schepanski K., Tegen I., Laurent B., Heinold B., and Macke A., (2007). A new Saharan dust source activation frequency map derived from MSG-SEVIRI IR-channels. *Geophysical Research Letters*. 34 ,
- [39] Schwanghart W., and Schütt B., (2008). Meteorological causes of Harmattan dust in West Africa. *Geomorphology*. 95, 412-428.
- [40] Stein A., Draxler R .,Rolph G., Stunder B., Cohen M., and Ngan F., (2015). NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 96, 2059-2077.
- [41] Stein A., Wang Y., De La Rosa J., Sanchez de La Campa A., Castell N., and Draxler R., (2011). Modeling PM10 originating from dust intrusions in the Southern Iberian Peninsula using HYSPLIT. *Weather and Forecasting*. 26, 236-242.
- [42] Stenchikov G.L., (2016). Aerosol optical depth trend over the Middle East. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 16, 5063.
- [43] Torres O., Bhartia P., Herman J., Sinyuk A., Ginoux P., and Holben B., (2002). A long-term record of aerosol optical depth from TOMS observations and comparison to AERONET measurements. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 59, 398-413.
- [44] Wang Y., Stein A.F., Draxler R.R., Jesús D., and Zhang X., (2011). Global sand and dust storms in 2008: Observation and HYSPLIT model verification. *Atmospheric Environment*. 45, 6368-6381.
- [45] Xu D., Qu J.J., Niu S., and Hao X., (2011). Sand and dust storm detection over desert regions in China with MODIS measurements**. *International Journal of Remote Sensing*. 32, 9365-9373.
- [46] Yerramilli A., Dodla V.B.R., Challa V.S., Myles L., Pendergrass W.R., Vogel C.A., et al., (2012) .(An integrated WRF/HYSPLIT modeling approach for the assessment of PM2. 5 source regions over the Mississippi Gulf Coast region. *Air Quality, Atmosphere & Health*. 5, 401-412.
- [47] Zhao S., Yin D., and Qu J., (2015). Identifying sources of dust based on CALIPSO, MODIS satellite data and backward trajectory model. *Atmospheric Pollution Research*. 6, 36-44.
- [48] Zobeck T.M., and Van Pelt R.S., (2014). Wind erosion .

