

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره نهم، شماره سی و پنجم، بهار ۱۳۹۸

تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۰۱/۱۸

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۹/۲۵

صص ۱۴-۲۸

مدل سازی مکانی حساسیت کانون های گردوغبار به انتشار آن در شرق ایران

با استفاده از مدل درخت رگرسیون تقویت شده BRT

مهدی بروغنی*، استادیار آبخیزداری-دانشگاه حکیم سبزواری

سیما پورهایمی، دکتری ژئومرفولوژی-دانشگاه حکیم سبزواری

مهدی زارعی، استادیار بیابان زدایی-دانشگاه حکیم سبزواری

کازم علی آبادی، عضو هیئت علمی مرکز پژوهشی علوم جغرافیایی و مطالعات اجتماعی-دانشگاه حکیم سبزواری

چکیده

با توجه به خشک سالی و تغییرات کاربری اراضی در سال های اخیر، پدیده ی توفان گردوغبار در ایران به عنوان یک مخاطره ی محیطی در حال افزایش بوده است. گردوغبار، روی تغییرات آب و هوایی و سلامت انسان اثر گذاشته و باعث آسیب های جدی می شود. هدف از این تحقیق، شناسایی و تهیه ی نقشه ی حساسیت کانون های برداشت گردوغبار جهت کنترل و تعیین نقش هریک از عوامل مؤثر در وقوع آن با استفاده از مدل داده-کاو ی درخت رگرسیون تقویت شده (BRT) در شرق ایران است. بدین منظور ابتدا ۱۴۷ کانون برداشت گردوغبار در منطقه شناسایی و به دو گروه برای مدل سازی و ارزیابی تقسیم شد. با توجه به مطالعات صورت گرفته، ۸ عامل مؤثر شامل کاربری اراضی، زمین شناسی، درجه ی شیب، ارتفاع، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، فاصله از رودخانه، سرعت باد و بارش شناسایی و لایه های این عوامل در محیط GIS تهیه و جهت ارزیابی نتایج از منحنی ROC استفاده شد. نتایج نشان داد که مدل BRT با مساحت سطح زیر منحنی (۷۹/۶ درصد) کارایی نسبتاً بالایی در تهیه ی نقشه ی حساسیت گردوغبار در منطقه ی مورد مطالعه را داراست. ۱۶/۳ درصد از مساحت منطقه ی مورد مطالعه در طبقه ی با حساسیت خیلی زیاد قرار دارد. همچنین بر اساس نتایج حاصل از مدل، شاخص پوشش گیاهی، ارتفاع و درجه ی شیب بیشترین تأثیر بر وقوع گردوغبار در منطقه را داشته اند.

واژگان کلیدی: کانون های برداشت گردوغبار، مدل درخت رگرسیون تقویت شده، پهنه بندی حساسیت، شرق ایران.

۱- مقدمه

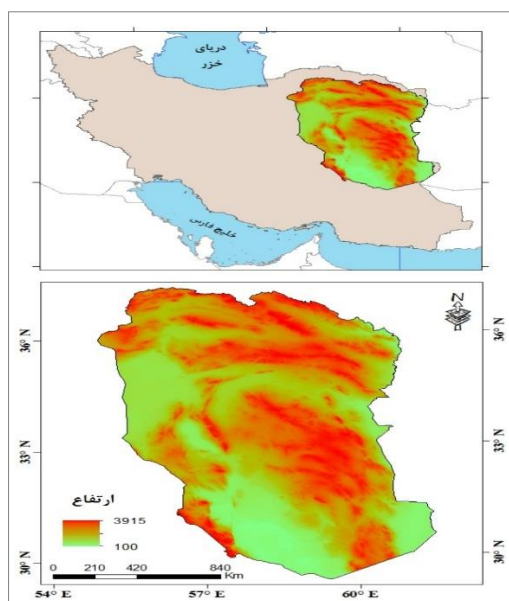
یکی از مهم‌ترین مخاطرات طبیعی و پدیده‌های جوی در مناطق مختلف جهان و حاشیه‌ی بیابان‌ها با اقلیم خشک و نیمه‌خشک از جمله خاورمیانه، گردوغبار است که هر ساله خسارات زیادی در نقاط مختلف کره‌ی زمین به همراه دارند و از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی این مناطق محسوب می‌شود (Orlovsky et al., 2009: 91; Goudie, 2009: 88). تحقیقات محققان بر روی رسوبات کف اقیانوس‌ها نشان می‌دهد که توفان‌های گردوغبار از ۷۰ میلیون سال (قبل از دوره‌ی کرتاسه) در کره‌ی زمین اتفاق افتاده‌اند (Yaping, 2011: 189; Goudie, 2009: 91). گردوغبار یا ریزگرد، به ذرات بسیار ریز و سبک‌سبکی، رسی یا ماسه‌ای گفته می‌شود که در اثر فرسایش بادی و بیابان‌زایی توسط باد تا مسافت بسیار طولانی در اتمسفر زمین جابه‌جا و منتقل شده و دید افقی را بین ۱ تا ۲ کیلومتر یا کم‌تر محدود می‌نماید (Mei, 2008: 967). امروزه با افزایش جمعیت، گردوغبار به‌عنوان یک مخاطره‌ی محیطی، برنامه‌ریزان منطقه‌ای، ملی و شهری را با مشکل همراه می‌سازد. کشور ایران در یک منطقه با آب‌وهوای خشک قرار گرفته است و بیش از ۳۰٪ از مساحت این کشور را مناطق خشک و نیمه‌خشک دربر می‌گیرد (Modarres, 2008: 36). وقوع این پدیده در ایران با اقلیم خشک و نیمه‌خشک، با دو بیابان بزرگ (کویر و لوت) و نزدیکی به بیابان گرم عربستان، جنوب عراق، سوریه، صحرا و بیابان سرد قره‌قوم در شمال شرق، طبیعی است (دوستان، ۱۳۹۵: ۸۵). توفان گردوغبار در کشور ما طی چند سال اخیر به‌صورت بحران جدی استان‌های کشور را درگیر نموده و پیامدهای خطرناکی را در زمینه‌های زیست‌محیطی، بهداشتی و اقتصادی برای ساکنین این مناطق به بار آورده است (کریمیان و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۶۰). کشور ایران و به‌ویژه نواحی شرقی آن، در کمربندهای خشک و نیمه‌خشک جهان واقع شده و در معرض چندین سیستم توفان گردوغبار محلی و منطقه‌ای قرار دارد (Rashki et al., 2012: 57; Goudie, 2009: 92)؛ بنابراین جهت مدیریت صحیح در این منطقه، ابتدا باید مناطق مستعد تولید گردوغبار شناسایی گردد. یکی از روش‌های مؤثر در شناسایی مناطق وقوع گردوغبار، استفاده از تکنیک‌های سنجش‌از‌دور است. مطالعات مختلف انجام‌شده نشان می‌دهد که تصاویر ماهواره‌های Aqua و Terra با سنجنده‌ی مادیس یکی از مناسب‌ترین اطلاعات ماهواره‌ای برای بررسی و ارزیابی مشخصات، منشأ و مسیر انتقال ذرات گردوغبار و توفان‌های آن‌هاست (کارگر و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۱۰). پیشرفت‌های حاصله در سنجنده‌ی مادیس و فرآورده‌های مربوط به آن منجر به تسریع در توسعه‌ی شاخص‌های مختلف به‌منظور استخراج اطلاعات گردوغبار از تصاویر و تفکیک سطح ابر و بیابان از گردوغبار گردیده است. شاخص‌هایی از قبیل NDDI، D، میلر، آکرمن، TDI، نوار ۳ و ۴ سنجنده‌ی مادیس و ضخامت نوری برای آشکارسازی توفان‌های گردوغبار مورد‌استفاده قرار می‌گیرند (Shamshiri et al., 2014: 30; Karimi et al., 2011: 127). شاخص‌های گردوغبار بر مبنای سنجنده‌ی مادیس نشان داده‌اند که از واقعه‌ای به واقعه‌ی دیگر کارایی متفاوتی دارند؛ لذا همچنان استفاده از داده‌های مکمل هواشناسی و مدل‌های اتمسفری به‌عنوان چالشی در تعیین توفان‌های گردوغبار مطرح است (جلالی و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۲۱). در زمینه‌ی استفاده از فنون سنجش‌از‌دور، روش‌های مختلفی در مورد استخراج و بارسازی گردوغبار توسط تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفته است که می‌توان به مطالعاتی از قبیل (Rivera Rivera et al., 2010: 2460; Bullard et al., 2010: 498; Lee et al., 2012: 463; Hahnenberger and Nicoll, 2014: 667; Cao et al., 2015: 229; Parajuli and Zender, 2017: 54; بروغنی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۱۶؛ پورهاشمی و همکاران، ۱۳۹۷: ۶) اشاره کرد.

جهت کاهش خسارات احتمالی و مدیریت خطر اقداماتی همچون پهنه‌بندی می‌تواند مؤثر واقع شود. بررسی و تهیه‌ی نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت با هدف شناسایی مناطق دارای قابلیت گردوغبار، در محدوده‌ی فعالیت‌های بشری دارای اهمیت است. یکی از روش‌های پهنه‌بندی حساسیت، استفاده از روش‌های داده‌کاوی است. داده‌کاوی، استخراج دانش در پایگاه داده‌ها نامیده می‌شود و روشی برای کشف اطلاعات سودمند جدید و بالقوه از بین حجم انبوهی از اطلاعات است. مفهوم داده‌کاوی، شامل الگوریتم‌ها و روش‌هایی است که به استخراج اطلاعات از داده‌ها منجر می‌-

شود (اکبری و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۱). روش‌های داده‌کاوی به لحاظ به‌کارگیری الگوریتم‌های تخمین توزیع، طبیعت داده‌محور، تکرار بالای فرآیند مدل‌سازی، توانایی بالایی در شناسایی وقوع بلایا و مخاطرات داشته و در تحقیقات زیادی، برتری نسبی خود را نسبت به سایر مدل‌های دو و چندمتغیره نشان داده است (کرنزادی و پورقاسمی، ۱۳۹۸: ۳۶؛ Lee et al., 2012: 463). در زمینه‌ی به‌کارگیری روش‌های مختلف داده‌کاوی در انتخاب متغیرهای مؤثر و تهیه‌ی نقشه‌های حساسیت، مطالعات گسترده‌ای بر روی چشمه‌های آب زیرزمینی، آبکند سیل، زمین‌لغزش، بهمن و... انجام شده است (Naghibi et al., 2016: 193; Gayen et al., 2019: 131; Al-Abadi et al., 2016: 691; Park and Böhler et al., 2013: 1326; Al-Abadi & Kim, 2019: 14). اما تاکنون از این روش‌ها برای تعیین نقش متغیرهای مؤثر بر وقوع گردوغبار و پهنه‌بندی حساسیت آن استفاده نشده است. تحقیق حاضر با هدف اصلی تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت گردوغبار در شرق ایران با استفاده از مدل BRT هدف گذاری شده است.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

منطقه‌ی مورد مطالعه با مساحتی حدود ۳۴۸۱۰۱ کیلومترمربع و با دامنه‌ی ارتفاعی بین ۱۰۷ تا ۳۵۲۷ متر از سطح دریا، در بخش شرقی ایران قرار گرفته است که استان‌های خراسان رضوی، شمالی و جنوبی، استان سمنان، یزد، کرمان و سیستان و بلوچستان را دربر می‌گیرد. جمعیتی بالغ بر ۱۰ میلیون نفر در منطقه‌ی مورد مطالعه ساکن می‌باشند و شهرهای مشهد، سبزوار، بیرجند، زاهدان و زابل پرجمعیت‌ترین شهرهای منطقه هستند. میانگین سالانه‌ی بارش در منطقه‌ی مطالعاتی بین ۶۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر متفاوت است. از نظر شرایط آب و هوایی منطقه‌ی مورد مطالعه دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک با شرایطی مساعد برای وقوع توفان‌های گردوغبار و فرسایش بادی است (Alizadeh Choobari et al., 2014: 160). منطقه‌ی مورد مطالعه دربرگیرنده‌ی دریاچه‌های موقت و خشک است؛ به‌طور نمونه دریاچه‌ی هامون که هر ساله تحت تأثیر توفان‌های ۱۲۰ روزه قرار دارد و لذا ممکن است توفان‌های شدید گردوغبار در این منطقه به وقوع پیوندد (Moghaddamnia et al., 2009: 91; Rashki et al., 2013: 57). دشت‌های وسیع، رسوبات و سازندهای زیرین کوتاه‌تر، به‌علاوه گستره‌ی وسیعی از انباشته‌های رسوبی و اشکال آتشفشانی متعلق به دوران‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک نیز سایر ویژگی‌های برجسته منطقه‌ی مورد مطالعه هستند که مستعد تولید گردوغبار می‌باشند (شکل ۱).



شکل ۱: نقشه‌ی موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

۳- مواد و روش‌ها

۳-۱- شناسایی کانون‌های برداشت گردوغبار

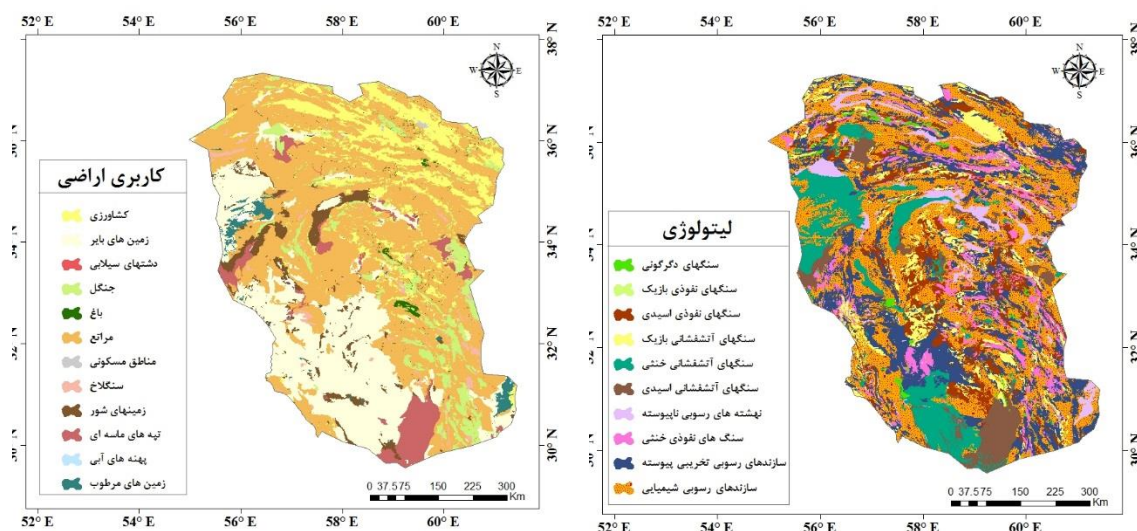
تصاویر سنجنده‌ی مادیس از ماهواره‌های آکوا و ترا برای روزهای دارای گردوغبار در دوره‌ی آماری ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۷ انتخاب گردید. در اکثر مطالعات معیارهای هواشناسی همچون قابلیت دید، سرعت و جهت باد و درجه‌ی ابرناکی به‌منظور انتخاب مناسب‌ترین تصاویر جهت تشخیص مناطق برداشت گردوغبار در نظر گرفته می‌شوند (Lee et al., 2009: 23). برای تعیین روزهای همراه با گردوغبار در ایستگاه سینوپتیک از کدهای هواشناسی استفاده گردید. کدهایی که نشان‌دهنده‌ی وقوع گردوغبار شامل کدهای ۰۶، ۰۷، ۰۸، ۰۹، ۳۰، ۳۱، ۳۲، ۳۳، ۳۴ و ۳۵ است (بروغنی و همکاران، ۱۳۹۵: ۵۱). این تصاویر برای تهیه‌ی شاخص‌های تعیین مناطق برداشت گردوغبار زمین مرجع^۱ شده و تصحیحات اولیه بر روی آن انجام شد. آشکارسازی تصویر به‌منظور شناسایی مناطق برداشت گردوغبار برای تمام تصاویر انجام شد (Vickery and Eckardt, 2013: 128). در این پژوهش ۲۱ تصویر MODIS در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۷ استفاده گردید. تصاویر ماهواره‌ای با قابلیت دید کم‌تر از ۲۰۰۰ متر بر مبنای اطلاعات هواشناسی ارائه‌شده توسط لی و همکاران (۲۰۰۹: ۲۳) و بروغنی و همکاران (۱۳۹۵) انتخاب گردیدند. شاخص‌های آشکارسازی گردوغبار همچون تفاضل دمای روشنایی (BTD₃₁₃₂, BTD₂₉₃₁)، شاخص گردوغبار نرمال شده (NDDI) و پارامتر D برای ردیابی گردوغبار وجود دارند که در این مطالعه از آن‌ها استفاده گردید (Ackerman, 1997: 17072; Qu et al., 2006: 485; Roscovensky and Liou, 2005: 1031). به‌کارگیری ترکیب باندها و ایجاد تصاویر رنگی کاذب به‌نحوی که بتواند مستقیماً مناطق تحت پوشش گردوغبار را آشکارسازی کند، در تشخیص مناطق برداشت گردوغبار و موقعیت آن‌ها مفید است؛ بنابراین بعد از اعمال این شاخص‌ها با استفاده از نرم‌افزار ENVI و با به‌کارگیری ترکیب باندها و ایجاد تصاویر رنگی کاذب بر روی تصاویر ماهواره‌ای، گردوغبار را آشکارسازی می‌کنیم. برای این منظور، شاخص‌های تشخیص مناطق گردوغبار ایجاد و مقدار بازتابندگی باندهای ۳ و ۴ به چند روش جهت ساختن تصاویر رنگی کاذب (FCC) به‌صورت RGB به‌کار گرفته شدند تا بهترین تصویری که می‌تواند مناطق برداشت گردوغبار را آشکارسازی نماید، تعیین شود. این روش‌ها بر روی ۲۱ تصویر ماهواره‌ای انجام شد تا کانون‌های برداشت گردوغبار در منطقه‌ی مورد مطالعه مشخص شود (بروغنی و همکاران، ۱۳۹۵: ۵۲؛ پورهاشمی و همکاران، ۱۳۹۷: ۶؛ کریمی و همکاران، ۱۳۹۰: ۶۵؛ Walker et al., 2009: 9).

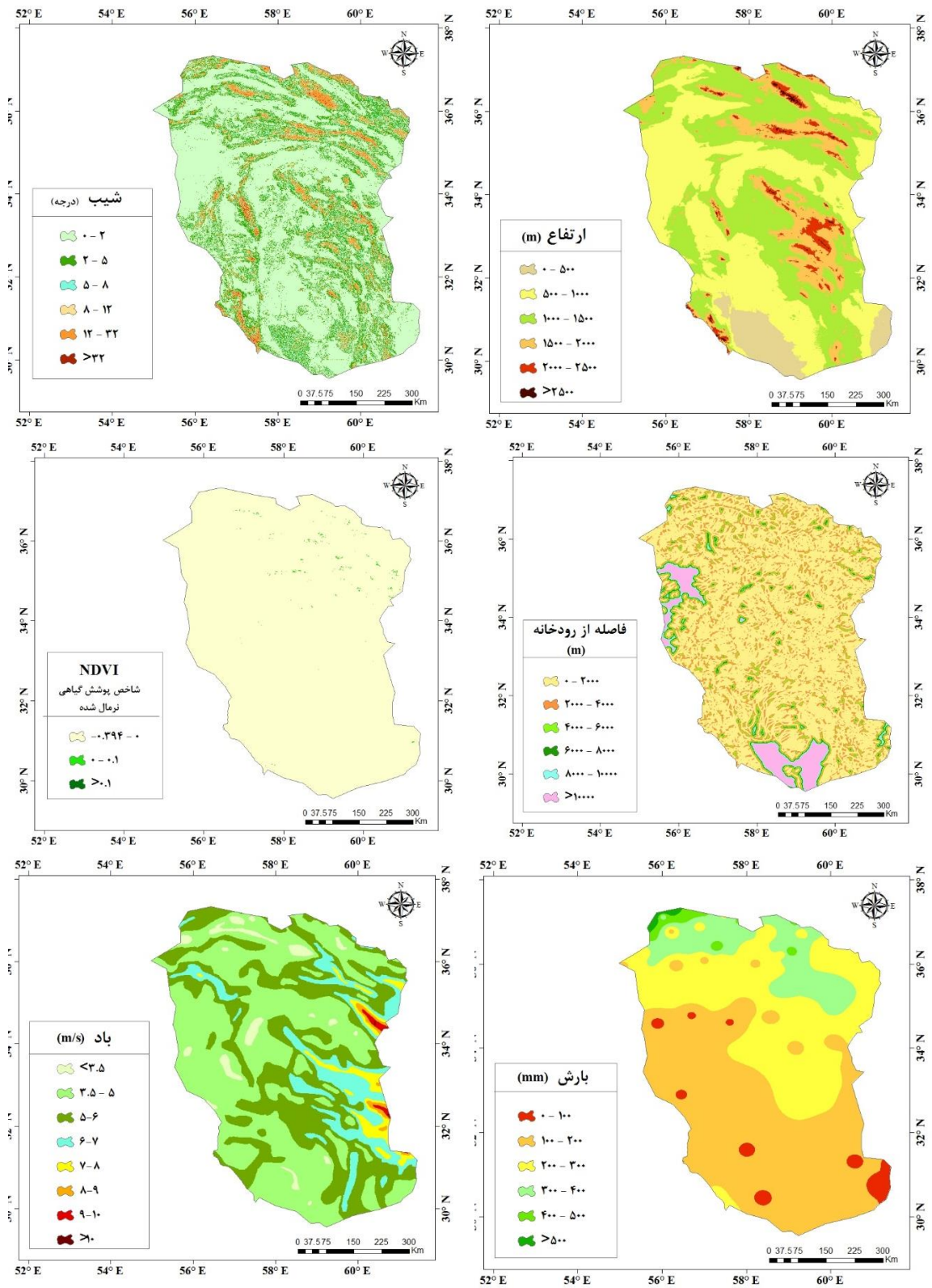
۳-۲- عوامل مؤثر بر کانون‌های برداشت گردوغبار

در این مطالعه ۸ فاکتور مؤثر بر نقاط برداشت گردوغبار شامل کاربری اراضی، زمین‌شناسی، درجه‌ی شیب، ارتفاع، شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)، فاصله از رودخانه، سرعت باد و بارش برای مدل‌سازی آماده و اجرا شد. این عوامل بر روی ایجاد کانون‌های برداشت گردوغبار مؤثر هستند (Lee et al., 2012: 462). دشت‌ها و اراضی مسطح با شیب کم، پتانسیل بالاتری نسبت به زمین‌های شیب‌دار در تولید گردوغبار دارند (Lee et al., 2009: 22). در این مناطق، با توجه به مسطح بودن زمین، باد بدون موانع و سریع به آستانه‌ی فرسایش بادی می‌رسد و باعث می‌شود ذرات و خاک بالا رفته و توفان گردوغبار اتفاق می‌افتد (Lee et al., 2009: 21). مدل رقومی ارتفاع (DEM) در شرق ایران با قدرت تفکیک ۱۰ متر از نقشه‌ی توپوگرافی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ تهیه شد و شیب و ارتفاع از DEM منطقه‌ی مورد مطالعه با قدرت تفکیک ۳۰ متر استخراج گردید. شاخص پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI) برای منطقه‌ای از زمین‌های عمدتاً کشت‌شده نشان داده می‌شود و الگوهای گسترده‌ای از تغییرات پوشش گیاهی منطقه و رابطه‌ی بین پوشش گیاهی و مناطق برداشت گردوغبار را برای منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد (Lee et al., 2009: 22; Moridnejad et al., 2015: 6). برای تهیه‌ی نقشه‌ی پوشش گیاهی منطقه، از شاخص تفاضلی پوشش گیاهی نرمال-

1- Georeference

شده (NDVI) استفاده گردید. بدین منظور از تصاویر ETM^+ ماهواره‌ی لندست ۸ (مربوط به سال ۲۰۱۶) استفاده شد. در کاربری‌های مختلف که دارای پوشش گیاهی کمی هستند یا نواحی که تحت تأثیر تخریب طبیعی یا مصنوعی قرار گرفته‌اند و پوشش گیاهی آن‌ها حذف شده یا پوسته‌ی خاکی دارند، بالاترین پتانسیل را در انتقال گردوغبار دارند (Goossens and Buck, 2009: 3463). نقشه‌ی کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست تهیه شدند. سیزده ۱۳ کلاس کاربری اراضی در شرق ایران شناسایی شد و اکثر منطقه‌ی مورد مطالعه تحت پوشش مراتع و زمین‌های لخت است. واحدهای سنگ‌شناسی و خاک‌های حساس به فرسایش، نقش مهمی در ایجاد مناطق برداشت گردوغبار نسبت به سایر واحدهای مقاوم و انواع خاک دارند (Sissakian et al., 2013: 1089). نقشه‌ی زمین‌شناسی استان با استفاده از نقشه‌ی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه‌ی مورد مطالعه و نقشه‌ی خاک‌شناسی استان با استفاده از نقشه‌ی خاک‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه تهیه گردید (اداره‌ی منابع طبیعی استان خراسان رضوی، ۱۳۹۰: ۱۶). رودخانه‌های فصلی و بستر دشت‌های سیلابی که در طی سیلاب، پوشیده از آب هستند، به علت اندازه‌ی دانه‌ی مناسب و از هم‌پاشیدگی ذرات، منبع اصلی گردوغبار در فصول خشک هستند (Rivera Rivera et al., 2010: 2461). لایه‌ی فاصله از رودخانه با استفاده از نقشه‌ی توپوگرافی منطقه‌ی مورد مطالعه ایجاد شد. کاهش بارندگی باعث کاهش رطوبت خاک و پوشش گیاهی شده و سطح خاک به صورت لخت و خشک می‌شود و شرایط برای ایجاد فرسایش بادی و وقوع توفان گردوغبار آماده می‌شود (O'Loingsigh et al., 2014: 36). نقشه‌ی بارش با استفاده از واسنجی داده‌های بارش در ۲۲ ایستگاه در منطقه‌ی مورد مطالعه ایجاد شد. برای تهیه‌ی این لایه، مقدار متوسط بارش سالانه برای ایستگاه‌های مورد مطالعه در بازه‌ی زمانی ۳۰ ساله تهیه و نقشه‌ی پهنه‌بندی بارش تهیه گردید. نیروی الاستیک ایجاد شده از سرعت باد در تماس با ذرات سطح خاک قرار می‌گیرد. اگر نیروهای حاصل، بیش‌تر از نیروی اصطکاک بین ذرات خاک باشند، ذرات از محل اصلی خود جدا خواهند شد که در این صورت فرسایش بادی رخ خواهد داد (king et al., 2006: 238). نقشه‌ی سرعت باد منطقه‌ی مورد مطالعه با استفاده از مدل Era-Interim و مدل پویای WRF از اطلس باد با قدرت تفکیک ۵ کیلومتر برای ارتفاع ۲۵ متر تهیه شد.





شکل ۲: نقشه‌ی عوامل مؤثر بر مناطق برداشت گردوغبار در منطقه‌ی مورد مطالعه

۳-۳- مدل سازی حساسیت کانون های برداشت گردوغبار

۳-۳-۱- مدل درخت رگرسیون تقویت شده (BRT)

الگوریتم BRT^۲، نتایج بسیاری از طبقه‌کننده‌های ضعیف را برای شکل‌گیری یک طبقه‌کننده‌ی قوی ترکیب می‌کند (Abeare, 2009: 34; Naghibi and Pourghasemi, 2015: 5222). در این روش، درختان تصمیم با به کار بردن روش CART^۳ که یکی از روش‌های طبقه‌بندی است و در سال ۱۹۸۴ توسط بریمن و همکاران توسعه داده شده، ساخته می‌شوند (کرنزادی و پورقاسمی، ۱۳۹۸: ۳۳). مدل BRT در واقع، یک روش ناپارامتری است که از مدل CART برای حل مشکلات مربوط به رگرسیون خطی بهره می‌برد (گلشنی و همکاران، ۱۳۹۳: ۳۴). سه راه مربوط به تحلیل مدل CART به این صورت است که ابتدا حداکثر درختان ساخته می‌شوند، سپس با مراحل هرس، انتخاب بهترین درختان و فرآیند اعتباریابی متقاطع ادامه می‌یابد. روش BRT توانایی‌های دو الگوریتم شامل درختان رگرسیون، مدل‌هایی که واکنش به پیش‌بینی‌کننده‌ها را از طریق جداسازی دودویی بهینه و تقویت‌شونده شرح می‌دهند و یک روش تطبیقی جهت ترکیب تعداد زیادی مدل‌های ساده برای کسب عملکرد مناسب را با یکدیگر ترکیب می‌کند (Elith et al., 2008: 807). عملکرد بهتر الگوریتم به تنظیم صحیح گزینه‌های مربوط به درختان تقویت‌شده و پارامترهای متوقف‌کننده‌ی شاخه‌بندی درختان وابسته است. عملیات تقویت جهت بهبود قدرت پیش‌بینی درخت رگرسیون باید انجام شود. در طی این عملیات از نتایج چندین مدل استفاده می‌شود. در واقع، عملیات تقویت یک فرآیند مرحله‌ای روبه‌جلو است که در هر مرحله تکرار مدل‌ها به بخشی از مجموعه داده‌های آموزشی برازش داده می‌شوند (Abeare, 2009: 37; Naghibi et al., 2016: 191). بر این اساس، دو پارامتر اصلی برای مدل مطرح است؛ (۱) نرخ تقسیم^۴ که درصد داده‌ی آموزشی در هر تکرار را که به‌وسیله‌ی کاربر تعیین می‌شود، مشخص می‌کند؛ (۲) نرخ کاهش^۵ که بیان‌کننده‌ی میزان سهم هر درخت در فرآیند مدل‌سازی و تعداد نودهای هر درخت است (Elith et al., 2008: 808). مطالعات نشان داده که نرخ کاهش ۰/۱ یا کمتر از آن به سمت مدل‌های مناسب گرایش دارند و برای داده‌های کوچک‌تر (n=۵۰۰)، این نرخ برابر ۰/۰۰۵ و برای داده‌های بزرگ‌تر (n=۵۰۰۰) می‌تواند برابر ۰/۰۵ تنظیم شود (Shataee et al., 2012: 6263). از جمله مهم‌ترین مزیت‌های این روش آن است که می‌تواند داده‌های با حجم زیاد را با سرعت بالا تحلیل کند، حساسیت کم‌تری به هم‌پوشانی نسبت به مدل‌های دیگر طبقه‌بندی دارد، نیاز به فرض توزیع داده‌ها ندارد و قادر به تعیین مؤثرترین و مهم‌ترین عوامل در طبقه‌بندی است (Westreich et al., 2010: 829).

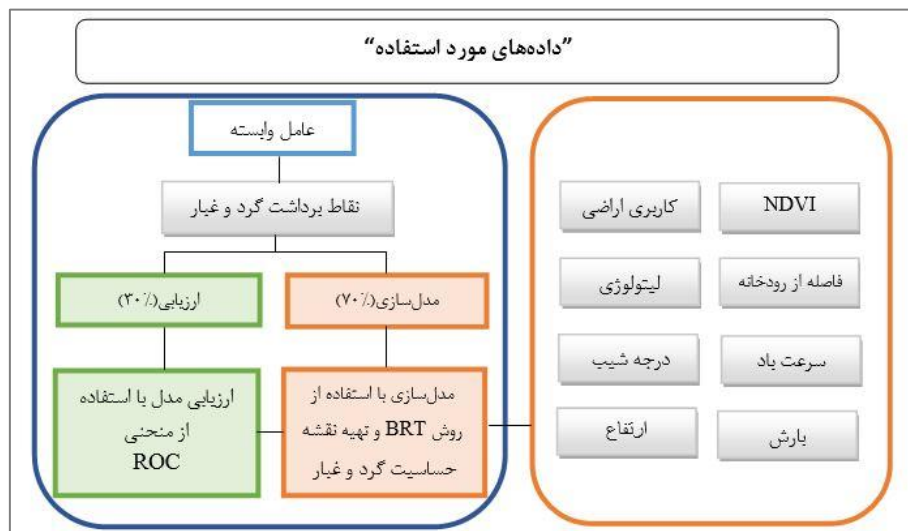
۳-۳-۲- ارزیابی نقشه‌ی حساسیت گردوغبار حاصل از مدل BRT

به‌منظور ارزیابی نقشه‌ی پتانسیل مناطق برداشت گردوغبار تولیدشده توسط الگوریتم BRT در این مطالعه، از منحنی ROC^۶ استفاده شد. منحنی ROC نتایج قابل‌اعتماد را در رابطه با ارزیابی و مقایسه‌ی عملکرد مدل، تولید می‌کند و در بسیاری از مطالعات مختلف در مورد مسائل مربوط به مدل‌سازی مکانی مانند نقشه‌های پتانسیل‌یابی آب‌های زیرزمینی، نقشه‌های تیپ جنگل و نقشه‌های حساسیت به زمین‌لغزش مورد استفاده قرار می‌گیرد (Chen et al., 2018: 120; Golkarian et al., 2018: 479; Naghibi et al., 2017: 142). منحنی ROC یک نمایش گرافیکی از موازنه‌ی بین نرخ خطای منفی و مثبت برای هر مقدار احتمالی از برش‌هاست (Kalantar et al., 2018: 52).

-
- 2- Boosting Regression Tree
 - 3- Classification and Regression Tree
 - 4- Bag fraction parameter
 - 5- Shrinkage parameter
 - 6- Receiver Operating Characteristic

روش ROC، مساحت زیر منحنی دارای مقادیر بین ۰/۵ تا ۱ بوده و از آن برای ارزیابی دقت مدل استفاده می‌شود (Nandi and Shakoor, 2009: 14).

شکل (۳) نمودار جریان‌ی روش کار را در این تحقیق را نشان می‌دهد. به‌طور دقیق‌تر این شکل پراکندگی کانون‌های گردوغبار، عوامل مؤثر، رویکردهای مدل‌سازی و مرحله‌ی ارزیابی را نشان می‌دهد.

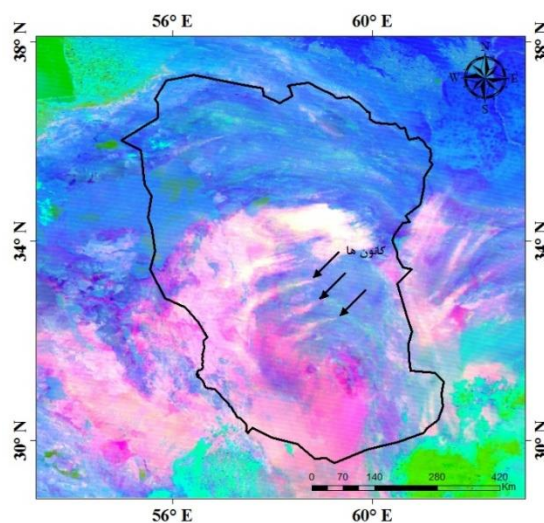


شکل ۳: نمودار جریان‌ی تهیه‌ی نقشه‌ی حساسیت گردوغبار با استفاده از الگوریتم BRT

۴- نتایج و بحث

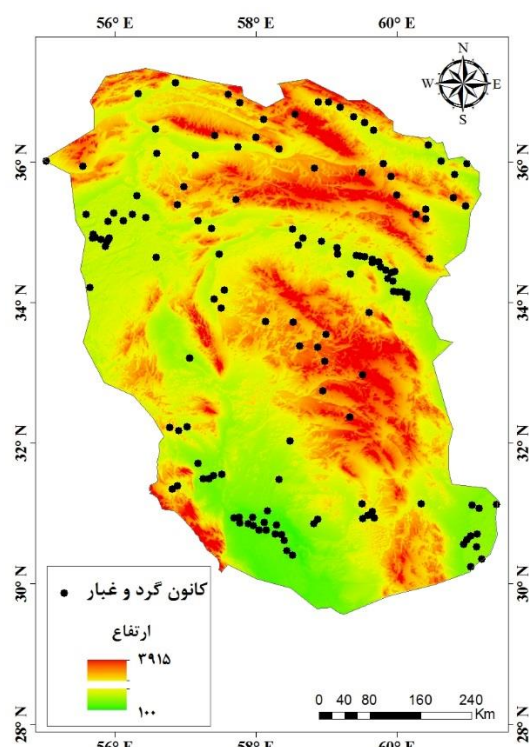
۴-۱- شناسایی مناطق برداشت گردوغبار

در این تحقیق، برای آشکارسازی مناطق برداشت گردوغبار از چهار روش برای ایجاد تصاویر رنگی کاذب FCC استفاده شد. بهترین روشی که برای آشکارسازی گردوغبار و تعیین مناطق برداشت گردوغبار انتخاب شده است، روش دوم (R: D, G: BTD₂₉₃₁, B: NDDI) است؛ زیرا مقایسه‌ی چشمی تصاویر رنگی شده در چهار روش نشان داد که این روش، قابلیت بهتری در آشکارسازی مناطق برداشت گردوغبار نسبت به سایر روش‌ها داشته و به‌طور بارزتری مناطق گردوغباری را از سایر عوارض و مناظر متمایز می‌کند. یک تصویر به‌عنوان مثال از این روش در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴: آشکارسازی تصویر ماهواره‌ای MODIS با روش (R: D, G: BTD₂₉₃₁, B: NDDI) در تاریخ ۱۰ ژانویه ۲۰۰۴

با استفاده از این روش‌ها برای ساخت ترکیب رنگی کاذب برای ۲۱ تصویر انتخاب شده و تفسیر چشمی آن‌ها، ۱۴۷ کانون برداشت گردوغبار در کل منطقه شناسایی شدند. روش شناسایی یک نقطه‌ی برداشت گردوغبار در این مطالعه، بر اساس مدل پراکندگی گوسی پلوم است. این بدان معنی است که هنگامی که یک مخروط از انتشار گردوغبار در تصاویر ماهواره‌ای دیده می‌شود، لبه‌ی مخروط نشان‌دهنده‌ی نقطه‌ی شروع گردوغبار است (Lee et al., 2012: 461). مناطق برداشت گردوغبار از ۲۱ تصویر ماهواره‌ای انتخاب شده از روزهای گردوغباری در بازه‌ی زمانی ۱۴ سال (۲۰۱۷-۲۰۰۴) استخراج شده‌اند. نتایج این تحقیق با هاینبرگر و کاتلین (۲۰۱۴)، لی و همکاران (۲۰۰۹ و ۲۰۱۲)، جینیوگ و همکاران (۲۰۱۰)، والکر و همکاران (۲۰۰۹) که به شناسایی مناطق برداشت گردوغبار با استفاده از روش‌های آشکارسازی گردوغبار در بخش‌های مختلف جهان انجام دادند، هم‌خوانی دارد. شکل ۵ پراکنش نقاط برداشت گردوغبار را در منطقه‌ی مورد مطالعه نشان می‌دهد.

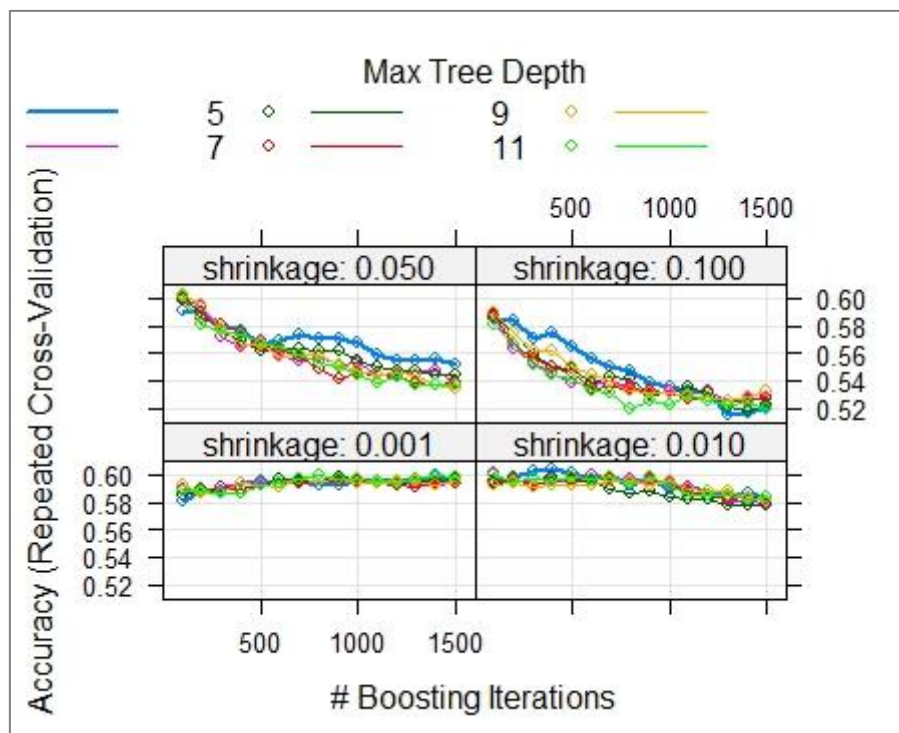


شکل ۵: توزیع مناطق برداشت گردوغبار در منطقه‌ی مورد مطالعه

از تعداد ۱۴۷ نقطه‌ی برداشت گردوغبار شناسایی شده، به صورت تصادفی ۷۰ درصد از نقاط برداشت برای مدل-سازی و ۳۰ درصد باقی‌مانده برای ارزیابی مدل استفاده شد. نتایج حاصل از پراکنش کانون‌های برداشت گردوغبار در لایه‌های مختلف حاکی از آن است که بیش‌ترین کانون‌های برداشت گردوغبار در کاربری‌های اراضی بایر و مراتع، در مناطق با شیب کم، بارش کم، سرعت آستانه‌ی بالای باد، خاک‌های رسی-لومی، نواحی دارای هیچ‌گونه پوشش گیاهی یا پوشش گیاهی بسیار ضعیف و سازنده‌های رسوبی شیمیایی قرار دارند.

۳-۴- نقشه‌ی پتانسیل‌یابی مناطق برداشت گردوغبار با استفاده از BRT

مدل BRT در محیط نرم‌افزار R اجرا شد. پارامترهای نهایی مدل BRT با تعداد ۴۰۰ درخت به‌عنوان تعداد درخت بهینه برای مدل‌سازی با لحاظ کردن عدد ۱ برای نرخ تقسیم، ۰/۰۱ برای نرخ کاهش و عدد ۲۰ برای تعداد نودهای هر درخت به دست آمد. شکل ۶ نتایج حاصل از اجرای مدل را نشان می‌دهد.



شکل ۶: نتایج اجرای مدل BRT

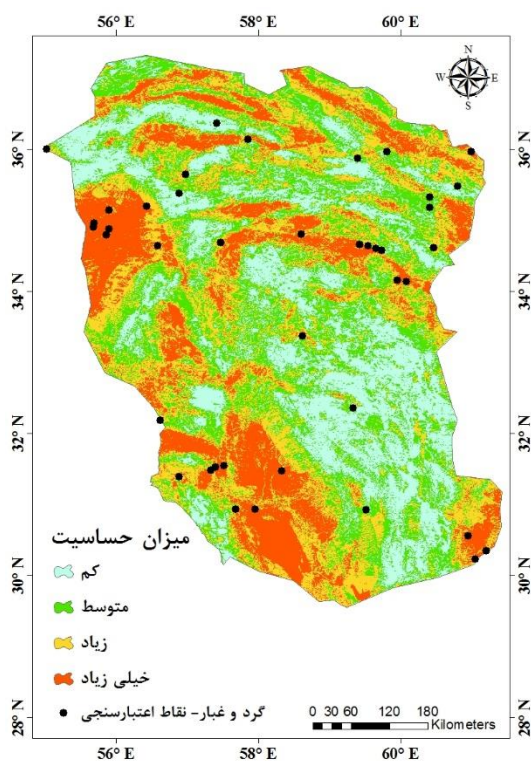
یکی از ویژگی‌های مدل BRT، تعیین اهمیت فاکتورهای مؤثر بر مدل‌سازی گردوغبار است. با استفاده از این ویژگی می‌توان میزان تأثیر هر یک از فاکتورها را محاسبه و میزان نقش هر یک را تعیین نمود (جدول ۱). بر طبق نتایج حاصل از مدل، شاخص پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI) به‌عنوان مهم‌ترین عامل، در مدل‌سازی شناخته شده است و عوامل ارتفاع، درجه‌ی شیب و لیتولوژی به ترتیب در رده‌های بعدی قرار دارند.

جدول ۱: اهمیت فاکتورهای مؤثر بر مدل‌سازی مناطق برداشت گردوغبار

فاکتورهای مؤثر	اثر نسبی
شاخص پوشش گیاهی (NDVI)	۱۰۰
ارتفاع	۸۰/۷۹
درجه‌ی شیب	۷۱/۷۳
لیتولوژی	۶۲/۱۴
سرعت باد	۲۴/۲۰
بارش	۲۰/۳۳
فاصله از رودخانه	۱۷/۱۰
کاربری اراضی	۰/۰

شکل ۷ نقشه‌ی حساسیت مناطق برداشت گردوغبار را با استفاده از مدل BRT در ۴ طبقه‌ی کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد نشان می‌دهد. بررسی مساحت طبقات نشان داد که طبقه‌ی متوسط با ۳۱/۳ درصد کل مساحت، بیش‌ترین مساحت را داشته و مساحت طبقه و خیلی زیاد، ۱۶/۳ درصد برآورد گردیده است. در جدول ۲، درصد مساحت طبقات حساسیت مدل BRT نشان داده شده است. نتایج بیان‌کننده‌ی آن است که بخش‌های غربی منطقه‌ی مورد مطالعه به دلیل قرارگیری این مناطق به دو بیابان بزرگ دشت لوت و دشت کویر، دارای حساسیت بیش‌تری است و میزان

بارندگی کم تر و زمین های هموارتری نسبت به بخش های شمالی منطقه دارد. نتایج همچنین حاکی از آن است که بخش های شرقی منطقه که شامل دریاچه ی خشک شده ی هامون می باشد، به علت خشک شدن آن، دارای شرایط با حساسیت بالاست.



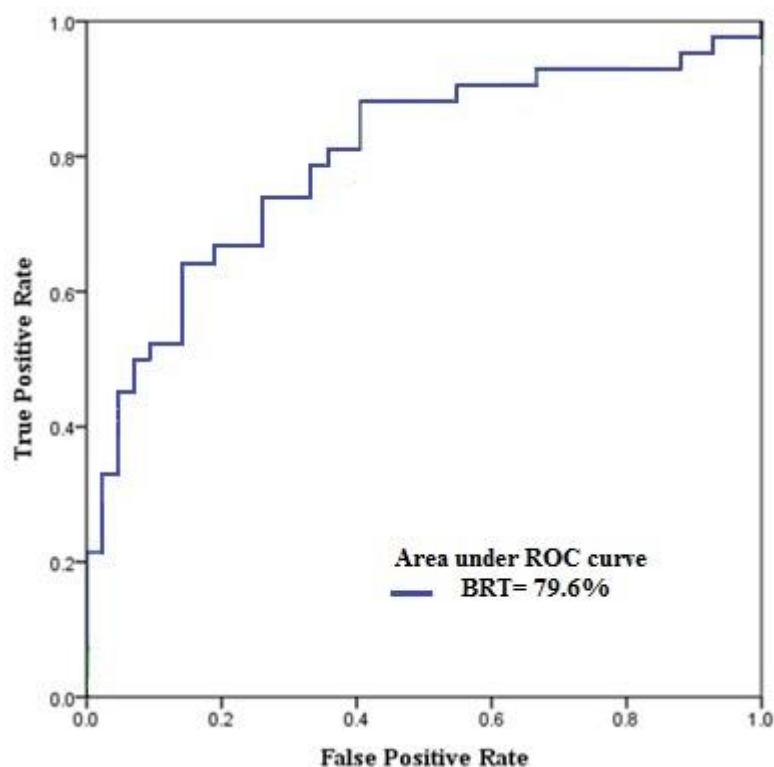
شکل ۷: نقشه ی حساسیت مناطق برداشت گردوغبار تولید شده توسط BRT

جدول ۲: درصد مساحت طبقات مختلف مناطق برداشت گردوغبار به وسیله ی مدل BRT

کلاس ها	مدل BRT	مساحت (%)
کم	۰/۰-۳۱/۰۸	۲۵/۳
متوسط	۰/۰-۴۶/۳۱	۳۱/۳
زیاد	۰/۰-۶۲/۴۶	۲۷/۱
خیلی زیاد	۰/۰-۹۱/۶۲	۱۶/۳

۴-۴- اعتبارسنجی نقشه ی حساسیت گردوغبار

همان طور که بیان شد، برای ارزیابی دقت مدل از منحنی ROC استفاده شد. در این روش، هر چه سطح زیر منحنی بیش تر باشد، به همان نسبت نیز دقت مدل بیش تر می شود که میزان آن از ۰/۵ تا ۱ متغیر است. مساحت زیر منحنی ROC از ۰ تا ۱ تغییر می کند که به طور کلی تقسیم بندی ۱- ۰/۹ عالی، ۰/۹- ۰/۸ خیلی خوب، ۰/۸- ۰/۷ خوب، ۰/۷- ۰/۶ متوسط و ۰/۶- ۰/۵ ضعیف را برای آن ارائه داده اند (Yesilnacar, 2005: 42). بر اساس نتایج منحنی ROC، مساحت سطح زیرین منحنی ROC با استفاده از مدل BRT، ۷۹٪/۶ است که نشان دهنده ی دقت خوب این مدل در این تحقیق است (شکل ۸).



شکل ۸: نتایج ارزیابی و صحت سنجی مدل BRT

۵- نتیجه‌گیری

با توجه به تغییرات خشک‌سالی و کاربری اراضی در سال‌های اخیر، پدیده‌ی توفان گردوغبار در ایران، به‌ویژه در شرق کشور افزایش یافته است. شناسایی و اولویت‌بندی مناطق برداشت گردوغبار جهت کاهش و کنترل آن از اهمیت بالایی برخوردار است. هدف اصلی این مطالعه، تولید نقشه‌ی پتانسیل گردوغبار در شرق ایران با استفاده از مدل BRT است. برای شناسایی نقاط برداشت گردوغبار از تصاویر ماهواره‌ای MODIS و از شاخص‌های آشکارسازی گردوغبار برای سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۷ استفاده شد و نقشه‌ی پراکنندگی کانون‌های برداشت گردوغبار تهیه گردید. سپس ۸ عامل کاربری اراضی، لیتولوژی، درجه‌ی شیب، ارتفاع، NDVI، فاصله از رودخانه، سرعت باد و بارندگی به‌عنوان عوامل مؤثر بر پتانسیل مناطق برداشت گردوغبار مورد استفاده قرار گرفت. اولویت‌بندی عوامل مؤثر با استفاده از مدل BRT نشان داد که لایه‌های NDVI، ارتفاع و شیب بیش‌ترین تأثیر را داشته و فاکتورهای فاصله از رودخانه و کاربری اراضی کم‌ترین تأثیر را در ایجاد مناطق برداشت گردوغبار در منطقه‌ی مورد مطالعه دارد. همان‌طور که گفته شد، منحنی‌های ROC برای ارزیابی مدل استفاده گردید. نتایج حاصل از ارزیابی مدل نشان داد که مدل BRT در سطح خوب با سطح زیر منحنی ۷۹/۶۸ قرار دارد؛ بنابراین نتایج این مدل می‌تواند برای برنامه‌ریزان و مدیران جهت کنترل و کاهش گردوغبار مفید باشد.

۶- منابع

- ۱- اکبری، مریم، بشیری، مهدی، رنگاور، عبدالصالح (۱۳۹۶). کاربرد الگوریتم‌های داده‌کاوی در تحلیل حساسیت و پهنه‌بندی مناطق مستعد به فرسایش آبکندی در حوضه‌های شاخص استان خراسان رضوی، فصلنامه‌ی پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال هفتم، شماره‌ی ۲۶، صص ۴۲-۱۶.

- ۲- بروغنی، مهدی، پورهاشمی، سیما، زنگنه اسدی، محمدعلی، مرادی، حمیدرضا (۱۳۹۶). شناسایی مناطق برداشت گردوغبار در شرق خاورمیانه با استفاده شاخص‌های آشکارسازی گردوغبار، مجله‌ی مخاطرات محیط طبیعی، سال ۶۶، شماره‌ی ۱۱، صص ۱۱۸-۱۰۱.
- ۳- بروغنی، مهدی، مرادی، حمیدرضا، زنگنه اسدی، محمدعلی (۱۳۹۵). تحلیل وقوع گردوغبار و پهنه‌بندی آن در استان خراسان رضوی، مجله‌ی فرسایش محیطی هرمزگان، دوره‌ی ۲۰، شماره‌ی ۴، صص ۵۷-۴۵.
- ۴- پورهاشمی، سیما، امیر احمدی، ابوالقاسم، زنگنه اسدی، محمدعلی، صالحی، مهدی (۱۳۹۷). شناسایی و تعیین خصوصیات کانون‌های گردوغبار در استان خراسان رضوی، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، دوره‌ی ۳۳، شماره‌ی ۴، صص ۹-۱.
- ۵- جلالی، نادر، ایران‌منش، فاضل، داودی، محمدهادی (۱۳۹۶). شناسایی منشأ و مناطق تحت تأثیر طوفان‌های گردوغبار در جنوب غرب ایران با استفاده از تصاویر مادیس، مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره‌ی ۹، شماره‌ی ۳، صص ۳۱۱-۳۱۸.
- ۶- دوستان، رضا (۱۳۹۵). تحلیل فضایی گردوغبار در شمال شرق ایران، مجله‌ی جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای، سال چهاردهم، شماره‌ی ۲، پاییز و زمستان ۱۳۹۵، صص ۹۰-۶۷.
- ۷- کریمیان، بهناز، لندی، احمدی، حجتی، سعید، احدیان، جواد، احدیان (۱۳۹۵). بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و کانی‌شناسی گردوغبار شهر اهواز، تحقیقات آب‌و‌خاک ایران، دوره‌ی ۴۷، شماره‌ی ۱، صص ۱۷۳-۱۵۹.
- ۸- کارگر، الهام، بذاق جمالی، جواد، رنجبر سعادت آبادی، عباس، معین الدینی، مظاهر، گشتاسب، حمید (۱۳۹۵). شبیه‌سازی و تحلیل عددی طوفان گردوغبار شدید شرق ایران، تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال سوم - شماره‌ی ۴، صص ۱۱۹-۱۰۱.
- ۹- کریمی، خدیجه، شهرآئینی، حمید، نوخندان، مجید و حافظی‌مقدس، ناصر (۱۳۹۰). شناسایی خاستگاه‌های تولید طوفان‌های گردوغبار در خاورمیانه با استفاده از سنجش‌از‌دور، نشریه‌ی پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، سال ۷، شماره‌ی ۲، صص ۵۷-۷۲.
- ۱۰- کرزادی، آیدینگ، پورقاسمی، حمیدرضا (۱۳۹۸). ارزیابی حساسیت زمین‌لغزش با استفاده از مدل‌های داده‌کاوی، مطالعه‌ی موردی: حوزه‌ی آبخیز چهل‌چای، دوره‌ی ۱۱، شماره‌ی ۱، صص ۴۲-۲۸.
- ۱۱- گلشنی، پری، فلاح، اصغر، کلبی، سیاوش (۱۳۹۳). برآورد سطح تاج پوشش جنگل‌های شهری با استفاده از روش‌های ناپارامتری و داده‌های GeoEye-1 (مقایسه‌ی الگوریتم‌های BRT و RF)، نشریه‌ی پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، دوره‌ی ۲۱، شماره‌ی ۱، صص ۴۴-۲۱.
- 12- Abeare, S.M. (2009). Comparisons of boosted regression tree, GLM and gam performance in the standardization of yellowfin tuna catch-rate data from the Gulf of Mexico Lonline fishery.
- 13- Ackerman, S.A. (1997). Remote sensing aerosols using satellite infrared observations. *Journal of Geophysical Research* 102, 17069–17080.
- 14- Al-Abadi, A.M., Shahid, S., Al-Ali, A.K. (2016). A GIS-based integration of catastrophe theory and analytical hierarchy process for mapping flood susceptibility: a case study of Teeb area, Southern Iraq. *Environ. Earth Sci.* 75, 687.
- 15- AlizadehChoobari, O., Zawar-Reza, P., Sturman, A. (2014). The global distribution of mineral dust and its impacts on the climate system: A review. *Atmospheric Research*, 138(1): 152-165.
- 16- Bühler, Y., Kumar, S., Veitinger, J., Christen, M., Stoffel, A. (2013). Automated identification of potential snow avalanche release areas based on digital elevation models. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 13, 1321.
- 17- Bullard, J.E. (2010). Bridging the gap between field data and global models: current strategies in aeolian research. *Earth Surf. Process. Landforms* 35, 496–499.
- 18- Cao, H., Amiraslani, F., Liu, J., Zhou, N. (2015). Identification of dust storm source areas in West Asia using multiple environmental datasets. *Science of the Total Environment*, 502, 224-235.
- 19- Chen W, Xie X, Peng J, Shahabi H, Hong H, Bui DT, Duan Z, Li S, Zhu A-X. (2018). GIS-based landslide susceptibility evaluation using a novel hybrid integration approach of bivariate statistical based random forest method. *CATENA*, 164: 135-149.

- 20- Elith, J., J.R. Leathwick and T. Hastie. (2008). A working guide to boosted regression trees. *Journal of Animal Ecology*, 77(4): 802-813.
- 21- Gayen, A., Pourghasemi, H.R., Saha, S., Keesstra, S., Bai, S. (2019). Gully erosion susceptibility assessment and management of hazard-prone areas in India using different machine learning algorithms. *Science of The Total Environment*. Vol 668. 124-138.
- 22- Ginoux, P., Prospero, J.M., Torres, O., Chin, M. (2004). Long-term simulation of global dust distribution with the GOCART model: correlation with North Atlantic Oscillation. *Environmental Modelling and Software*. 19,113e128.
- 23- Golkarian, A, Naghibi, S.A, Kalantar, B., Pradhan, B. (2018). Groundwater potential mapping using C5. 0, random forest, and multivariate adaptive regression spline models in GIS. *Environmental monitoring and assessment*, 190(3), p.149.
- 24- Goossens, D., Buck, B. (2009). Dust dynamics in off-road vehicle trails: measurements on 16 arid soil types, Nevada, USA. *Journal of Environmental Economics and Management*, 213-230.
- 25- Goudie, A.S. (2009). Dust storms: Recent developments. *Journal of Environmental Management*, 90:89-94.
- 26- Goudie, A. (2014). Review Desert dust and human health disorders. *Environment International* 63(3), 101-113.
- 27- Hahnenberger, M., Kathleen, N. (2014). Geomorphic and land cover identification of dust sources in the eastern Great Basin of Utah, U.S.A. *Geomorphology*, 204(2): 657-672.
- 28- Kalantar, B., Pradhan, B., Naghibi, S.A., Motevalli, A., Mansor, S. (2018). Assessment of the effects of training data selection on the landslide susceptibility mapping: a comparison between support vector machine (SVM), logistic regression (LR) and artificial neural networks (ANN). *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1), pp.49-69.
- 29- Karimi, K.h., Taheri Shahraiyini, H., Habibi Nokhandan, M., Hafezi Moghaddas, N. (2011). Identification of the point sources of dust storms in the Middle East using remote sensing. *Journal of Climate Research*, 2(7): 122-132.
- 30- King, J, Nickling, W.G., Gillies, J.A. (2006). Aeolian shear stress ratio measurements within mesquite-dominated landscapes of the Chihuahuan Desert, New Mexico, USA. *Geomorphology*, 82:229-244.
- 31- Lee, J., Baddock, M., Mbuh, M., Gill, T., (2012). Geomorphic and land cover characteristics of aeolian dust sources in West Texas and eastern New Mexico, USA. *Aeolian Research* 3(4), 459-466.
- 32- Lee, J., Gill, T., Mulligan, K., Acosta, M.D., Perez, A. (2009). Land use/land cover and point sources of the 15 December 2003 dust storm in southwestern North America. *Geomorphology* 105(2), 18-27.
- 33- Lee, S., Hwang, J., Park, I. (2013). Application of data-driven evidential belief functions to landslide susceptibility mapping in Jinbu, Korea. *Catena*, 100: 15-30.
- 34- Mie, D., Xiushan, L., Lin, S., Ping, W. (2008). A dust-storm process dynamic monitoring with multi temporal MODIS data. *The International Archives of photogrammetry. Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(3): 965-969.
- 35- Modarres, R. (2008). Regional maximum wind speed frequency analysis for the arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments*, 72:1329-42.
- 36- Moghaddamnia, A., Ghafari, M.B., Piri, J., Amin, S., Han, D. (2009). Evaporation estimation using artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system techniques. *Advances in Water Resources*, 32:88-97.
- 37- Moridnejad, A., Karimi, N., Ariya, P. (2015). Newly desertified regions in Iraq and its surrounding areas: Significant novel sources of global dust particles. 116:1-10.
- 38- Naghibi, S.A., Moghaddam, D.D., Kalantar, B., Pradhan, B., Kisi, O. (2017). A comparative assessment of GIS-based data mining models and a novel ensemble model in groundwater well potential mapping. *J. Hydrol.* 548: 471-483.
- 39- Naghibi, S.A., Pourghasemi, H.R. (2015). A Comparative Assessment between Three Machine Learning Models and Their Performance Comparison by Bivariate and

- Multivariate Statistical Methods in Groundwater Potential Mapping. *Water Resour. Manag.* 29(14): 5217-5236.
- 40- Naghibi, S.A., Pourghasemi, H.R. & Dixon, B. 2016. GIS-based groundwater potential mapping using boosted regression tree, classification and regression tree, and random forest machine learning models in Iran. *Environmental Monitoring and Assessment* 188: 44.
- 41- Nandi, A., Shakoor, A. (2009). A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. *Engineering Geology*, V. 110, p. 11–20.
- 42- O’Lionsigh, T., McTainsh, G.H., Tews, E.K., Strong, C.L., Leys, J.F., Shinkfield, P., Tapper, N.J. (2014). The Dust Storm Index (DSI): A method for monitoring broadscale wind erosion using meteorological records. *Aeolian Research*, 12(1): 29-40
- 43- Orlovsky, L., Orlovsky, N., Durdyev, A. (2005). Dust storms in Turkmenistan. *Journal of Arid Environments*. 60:83-97.
- 44- Parajuli, S., Zender, C. (2017). Connecting geomorphology to dust emission through high-resolution mapping of global land cover and sediment supply, *Aeolian Research* 27 (2017) 47–65.
- 45- Park, S., Kim, J. (2019). Landslide Susceptibility Mapping Based on Random Forest and Boosted Regression Tree Models, and a Comparison of Their Performance. *Applied Sciences*. 9(5): 942. 1-19.
- 46- Qu, J., Hao, X.J., Kafatos, M., Wang, L. (2006). Asian Dust Storm Monitoring Combining Terra and Aqua MODIS SRB Measurements. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 3(4), 484-486.
- 47- Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Rautenbach, C., Eriksson, P.G., Qiang, M., Gupta, P. (2012). Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran. *Aeolian Research* 5(3), 51-62.
- 48- Rivera Rivera, N.I., Gill, T.E., Bleiweiss, M.P., Hand, J.L. (2010). Source characteristics of hazardous Chihuahuan Desert dust outbreaks. *Atmospheric Environmental*, 44: 2457–2468.
- 49- Roscovensky, J.K., Liou, K.N. (2005). Differentiating airborne dust from cirrus clouds using MODIS data. *Geophysical Research Letters* 32, L12809,
- 50- Shamshiri, S., Jafari, R., Soltani, S., Ramazani, N. (2014). Identification and zonation of dust storms in Kermanshah Province by using MODIS images. *Applied Ecology*, 3(8): 23-35.
- 51- Shataee, S., Kalbi, S., Fallah, A., Pelz, D. (2012). Forest attribute imputation using machine-learning methods and ASTER data: comparison of k-NN, SVR and random forest regression algorithms. *International Journal of Remote Sensing*, 33(19): 6254-6280.
- 52- Sissakian, V., Al-Ansari, N., Knutsson, S. (2013). Sand and dust storm events in Iraq. *Natural Science*. 5, 1084-1094.
- 53- Vickery, K., Eckardt, F. (2013). Dust emission controls on the lower Kuiseb River valley, Central Namib. *Aeolian Research*, 10(3): 125-133.
- 54- Walker, A.L., Liu, M., Miller, S.D., Richardson, K.A., Westphal, D.L. (2009). Development of a dust source database for mesoscale forecasting in Southwest Asia. *Journal of Geophysical Research* 114(18), 1-24.
- 55- Westreich, D., Lessler, J., Funk, M.J. (2010). Propensity score estimation: neural networks, support vector machines, decision trees (CART) and meta-classifiers as alternatives to logistic regression. *Journal of Clinical Epidemiology*, 63(8): 826-833.
- 56- Yaping, S., Karl-Heinz, W., Adrian, C., Huang, J., Lin, Z., McTainsh, G. (2011). Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research*; 2: 181-204.
- 57- Yesilnacar, E.K. (2005). The Application of Computational Intelligence to Landslide Susceptibility Mapping in Turkey. PhD Thesis, Department of Geometrics the University of Melbourne.