

اولویت‌بندی مناطق برداشت گرد و غبار با استفاده از مدل‌های آماری (مطالعه موردی: خراسان رضوی)

- ❖ سیما پورهاشمی*: دکتری ژئومورفولوژی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
- ❖ مهدی بروغنی؛ استادیار مرکز پژوهشی علوم جغرافیا و مطالعات اجتماعی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
- ❖ ابوالقاسم امیراحمدی؛ استاد گروه ژئومورفولوژی و اقلیم‌شناسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
- ❖ محمدعلی زنگنه‌اسدی؛ دانشیار گروه ژئومورفولوژی و اقلیم‌شناسی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
- ❖ مهدی صالحی؛ استادیار گروه ریاضی و آمار، دانشگاه نیشابور، نیشابور، ایران.

چکیده

با توجه به خشکسالی و تغییرات کاربری اراضی در سال‌های اخیر، پدیده توفان گرد و غبار در ایران در حال افزایش بوده است. هدف از تحقیق حاضر شناسایی و اولویت‌بندی مناطق برداشت گرد و غبار با استفاده از مدل‌های آماری دو متغیره (مدل احتمالاتی وزن واقعه و مدل نسبت فراوانی) در محیط نرم افزار R و تعیین اهمیت هریک از عوامل محیطی مؤثر بر آن، در استان خراسان رضوی می‌باشد. به این منظور ابتدا ۶۵ نقطه برداشت گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه شناسایی و نقشه پراکنش گرد و غبار تهیه گردید. سپس نقشه‌های هریک از عوامل تأثیرگذار بر وقوع گرد و غبار شامل نقشه‌های خاک، لیتولوژی، شیب، شاخص پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه، واحدهای ژئومورفولوژی و کاربری اراضی تهیه گردید. با استفاده از مدل‌های نسبت فراوانی و وزن واقعه، وزن هر یک از عوامل مؤثر محاسبه و ارتباط هریک از عوامل با کانون‌های گرد و غبار مشخص و در نهایت نقشه‌های اولویت‌بندی مناطق برداشت گرد و غبار تهیه شد. ارزیابی مدل‌ها با استفاده از منحنی ROC صورت گرفت. ۶۵ نقطه برداشت گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد. نتایج نشان داد که ژئومورفولوژی، شیب و کاربری اراضی بیشترین نقش را در ایجاد کانون برداشت گرد و غبار در دو مدل نسبت فراوانی و وزن واقعه داشته‌اند. نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر دو مدل نسبت فراوانی و وزن واقعه حاکی از آن است که منطقه با خطر زیاد و خیلی زیاد به ترتیب ۵۴/۹۵ و ۵۸/۲۳ درصد مساحت کل را در بر گرفته‌اند. براساس نتایج حاصل از هر دو مدل، واحدهای ژئومورفولوژی، کاربری اراضی و شیب بیشترین تأثیر را بر وقوع گرد و غبار در منطقه داشته و هر دو مدل نسبت فراوانی و وزن واقعه به ترتیب با سطح زیرمنحنی ۰/۸۱۸ و ۰/۸۲۵، دقت قابل قبولی دارند.

کلید واژگان: استان خراسان رضوی، پهنه‌بندی خطر، توفان گرد و غبار، نسبت فراوانی، وزن واقعه

۱. مقدمه

در این منطقه نشان از مناطق برداشت زیادی در سطح استان می‌باشد که اهمیت تحقیق در این زمینه را نشان می‌دهد [۲۳]. بنابراین جهت مدیریت صحیح در این منطقه ابتدا باید مناطق مستعد برای تولید گرد و غبار شناسایی گردد. یکی از روش‌های مؤثر در شناسایی کانون‌های گرد و غبار، استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور است. در زمینه استفاده از فنون سنجش از دور روش‌های مختلفی در مورد استخراج و بارز سازی گرد و غبار توسط تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفته است که می‌توان به مطالعاتی از قبیل [۳۶، ۴۲، ۴۹، ۴۸، ۱۲، ۲۳، ۲۴، ۶، ۱۶، ۳۹، ۱۰، ۱۸، ۷] اشاره کرد. در این تحقیقات با استفاده از تصاویر سنجنده^۱ MODIS مناطق برداشت گرد و غبار شناسایی و به بررسی خصوصیات آن پرداخته شده است. نتایج این تحقیقات در مناطق مختلف دنیا، شناسایی کانون‌های برداشت گرد و غبار بوده و خصوصیات کاربری اراضی، خاک شناسی و پوشش گیاهی این کانون‌ها مشخص شده است. این تحقیقات نشان داده است که پراکنش کانون‌های برداشت گرد غبار در خاک‌های حساس به فرسایش و کاربری اراضی دیم و مراتع ضعیف بوده است. همچنین نتایج بیان کننده آن است که این کانون‌ها در مناطق با پوشش گیاهی ضعیف پراکنده شده است. [۳۴] در تحقیق خود به ارتباط ژئومورفولوژی با انتشار گرد و غبار با استفاده از نقشه‌های فرسایش و رسوب جهانی پرداختند و به این نتیجه رسیدند که پلا یاها جزء مناطق عمده تولید گرد و غبار می‌باشند. [۲۶] به بررسی توفان گرد و غبار و امنیت جاده‌های جنوب غرب آمریکا خصوصیات مناطق برداشت گرد و غبار و پیامدهای مدیریتی پرداختند. نتایج پراکنش نقاط برداشت گرد و غبار بر روی کاربری اراضی حاکی از آن است که بوته‌زارها، چمن‌زارها و زمین‌های کشاورزی با ۴۲، ۳۱ و ۲۱ درصد، به ترتیب بیشترین نقاط برداشت را در منطقه مورد مطالعه دارا هستند. به‌طور کلی هدف از شناسایی و بررسی خصوصیات گرد و غبار، یافتن راه‌های کاهش خسارت‌های ناشی از آن‌هاست، همین امر لزوم استفاده از پهنه‌بندی را در

پدیده توفان گرد و غبار، یکی از مهم‌ترین مخاطرات و مشکلات اساسی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان است [۱۷]. ایران به علت قرار گرفتن در این مناطق، در معرض سیستم‌های متعدد گرد و غبار محلی و فرامنطقه‌ای می‌باشد [۳۷]. توفان گرد و غبار در کشور ما، طی چند سال اخیر به صورت بحران جدی استان‌های کشور را درگیر نموده است و پیامدهای خطرناکی را در زمینه‌های زیست محیطی، بهداشتی و اقتصادی برای ساکنین این مناطق به بار آورده است [۲۲]. توفان گرد و غبار می‌تواند روی تغییرات آب و هوایی اثر گذاشته و سبب آسیب‌های جدی برای مردم شود [۲۹]. توفان گرد و غبار بر روند تشکیل خاک، ژئومورفولوژی سطحی در نواحی خشک و حرکت دادن پوشش سطحی نواحی بیابانی تأثیر دارد و به طور هم‌زمان می‌تواند در انتقال عوامل بیماری‌زای خطرناک به انسان، آلودگی هوا و آسیب رساندن به عملکرد دستگاه تنفس و حتی در قطع کردن فرایندهای حمل و نقل و ارتباطات نقش دارد. تسریع فرسایش خاک و تشدید بیابان‌زایی از دیگر اثرات توفان‌های گرد و غبار می‌باشد [۲۲، ۴۶]. جهت کاهش خسارات احتمالی و مدیریت خطر، اقداماتی همچون پهنه‌بندی می‌تواند مؤثر واقع شود. بررسی و تهیه نقشه‌های پهنه‌بندی حساسیت با هدف شناسایی مناطق دارای قابلیت گرد و غبار، در محدوده 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 می‌شود [۲]. استان خراسان رضوی دارای آب و هوای خشک و نیمه خشک می‌باشد که سالانه توفان‌های گرد و غبار متعددی در سطح آن اتفاق می‌افتد که در بعضی سال‌ها بیش از ۵۰ رخدادهای گرد و غبار ثبت می‌شود. تعداد زیاد گرد و غبار

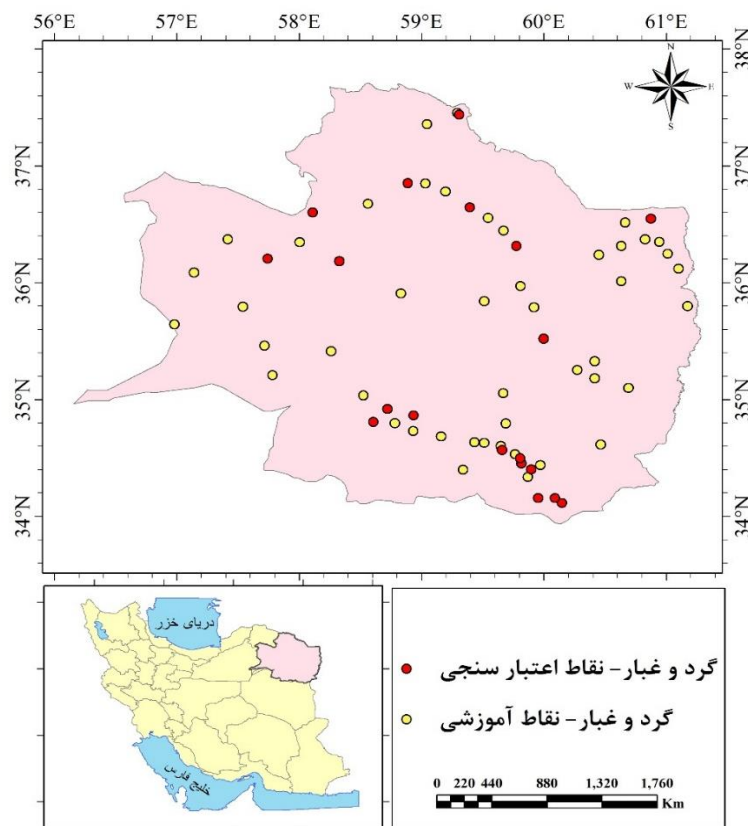
استفاده از مدل‌های آماری دو متغیره‌ی مدل احتمالاتی وزن واقعه و مدل نسبت فراوانی در محیط نرم افزار R و تعیین اهمیت هر یک از عوامل محیطی مؤثر بر آن در استان خراسان رضوی می‌باشد.

۲. روش شناسی

۱.۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه استان خراسان رضوی مشتمل بر ۲۸ شهرستان، با مساحت ۱۴۳۸۶۴/۱۱۸ کیلومتر مربع است که چهارمین استان کشور از نظر وسعت می‌باشد، در شمال شرق کشور واقع شده است. این استان در عرض جغرافیایی ۵۲° ۳۳' تا ۴۰° ۳۷' شمالی و طول جغرافیایی ۱۵° ۵۶' تا ۴۵° ۶۱' شرقی قرار گرفته است (شکل ۱).

بحث گرد و غبار تأکید می‌کند. در واقع با استفاده از نقشه پهنه‌بندی خطر و اختصاص اقدامات مدیریتی مناسب در نواحی با پتانسیل بالا، خسارات وارده را می‌توان کمتر کرد. نقشه‌های حساسیت به روش‌های گوناگونی می‌تواند تهیه شود مانند روش‌های احتمالاتی، دو متغیره، چندمتغیره، رگرسیون لجستیک و غیره. مطالعات گسترده‌ای در این زمینه با روش‌های مختلف بر روی زمین لغزش، چشمه‌های آب زیرزمینی و آب‌کند انجام شده است [۳۸، ۳۵، ۳۳، ۱۹، ۱۱، ۲۸، ۱۸]. در زمینه شناسایی کانون‌های برداشت گرد و غبار و خصوصیات آن مطالعات گوناگونی در دنیا انجام شده است و در این مطالعات کانون‌ها شناسایی و خصوصیات آن مورد بررسی قرار گرفته است. اما در زمینه اولویت‌بندی کانون‌های برداشت گرد و غبار با استفاده از مدل‌های آماری مطالعه‌ای صورت نگرفته است. لذا هدف از این تحقیق اولویت‌بندی و پهنه‌بندی خطر گرد و غبار جهت کنترل فرسایش بادی با



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

هواشناسی مانند قابلیت دید، سرعت و جهت باد و وضعیت ابرناکی تعیین گردید. سپس روزهایی که وقوع گرد و غبار هم‌زمان با تصویربرداری بوده تعیین و با استفاده از سنجش از دور و پارامترهایی که نقش ردیابی مناطق گرد و غباری را برعهده دارند شامل پارامترهای (Brightness Temperature Difference)₃₁₃₂، (Normalized Temperature Difference)₂₉₃₁ و Difference Dust Index (D) که در تحقیقات [۱، ۵، ۴۰] ارائه شده، به شناسایی مناطق برداشت گرد و غبار پرداخته شد. با استفاده از این چهار روش ترکیب رنگی کاذب و اعمال آن بر روی تصاویر موجود، توده گرد و غباری بر روی تصاویر آشکار سازی شد و سپس با تفسیر چشمی آن‌ها و بر اساس مدل انتشار گوسی پلوم نقطه شروع گرد و غبار مشخص شد [۵] و در نهایت نقشه پراکنش کانون‌های گرد و غبار تهیه گردید. شناخت و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به عوامل تأثیرگذار وقوع گرد و غبار، اولین مرحله مطالعه پهنه‌بندی است و انتخاب عوامل مهم، نقش زیادی در صحت این نقشه‌ها دارند. در این مطالعه، پس از بررسی‌های انجام شده در منطقه مورد مطالعه، ۷ عامل خاک، لیتولوژی، شیب، شاخص پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه، واحدهای ژئومورفولوژی و کاربری اراضی عنوان عوامل مؤثر در رخداد وقوع گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه تشخیص داده شد. نقشه‌های عوامل مذکور تهیه و با نقشه پراکنش کانون‌های گرد و غبار تلفیق گردید. از تلفیق نقشه پراکنش گرد و غبار با نقشه عوامل مؤثر، تعداد پیکسل‌های وقوع گرد و غبار در هر طبقه از لایه‌های مطالعاتی به دست آمد که برای نقشه‌برداری حساسیت به گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش مدل احتمالاتی وزن واقعه و مدل نسبت فراوانی در محیط نرم افزار آماری R مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در نهایت، نقشه پهنه‌بندی شده با نقشه پراکنش کانون‌های گرد و غبارهای موجود مقایسه شد و مورد اعتبارسنجی قرار

این استان از جنوب به خراسان جنوبی و یزد، از غرب به سمنان، از شمال به خراسان شمالی و از شرق با کشور افغانستان هم مرز است. بلندترین نقطه استان در ارتفاعات بینالود در شمال نیشابور با ارتفاع ۳۲۱۱ متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه استان دشت سرخس با ارتفاع ۳۰۰ متر از سطح دریا و در حاشیه مرز ایران و ترکمنستان قرار دارد. از شمال به جنوب استان از ارتفاع کاسته شده و دشت هموار و حاصلخیز در بین ارتفاعات و حواشی آن ها قرار دارند. این استان دارای اقلیم خشک و نیمه‌خشک با وزش جریان‌های غالب چرخندهای تابستانه و جریان‌های غربی زمستانه می‌باشد که از شرایط مطلوبی برای وقوع پدیده توفان با سرعت فراتر از آستانه فرسایش بادی برخوردار است. میانگین بارش سالیانه مناطق مختلف استان خراسان رضوی بین ۷۵ تا ۳۹۰ میلی‌متر متغیر است [۱۳، ۳۱]. دشت‌های پهناور متشکل از سازندهای آبرفتی و بادرفتی کواترنری و نیز رشته کوه‌های مرکب از سازندهای رسوبی و آتشفشانی هوازده متعلق به مزوزوئیک و سنوزوئیک از دیگر ویژگی‌های بارز این استان است که مستعد تولید گرد و غبار هستند.

۲.۲. روش تحقیق

در این تحقیق، داده‌های مورد نیاز از روی نقشه‌های توپوگرافی مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌های زمین‌شناسی مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰، تصاویر ماهواره‌ای، مطالعات میدانی و نیز منابع کتابخانه‌ای تهیه گردید. ابتدا نقشه پراکنش مناطق برداشت گرد و غبار در سطح استان خراسان رضوی با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS از ماهواره ترا و آکوا تهیه شد. ماهواره ترا در صبح و آکوا در بعد از ظهر به صورت روزانه تصویربرداری می‌کنند [۴۷]. در این تحقیق از تصاویر سنجنده MODIS از ماهواره ترا و آکوا مربوط به روزهای گرد و غباری انتخابی از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۶ استفاده گردید. در ابتدا روزهای وقوع گرد و غبار در این محدوده زمانی با استفاده از داده‌های

گرفت.

ترتیب نشان دهنده وجود و عدم وجود عوامل مؤثر بر به وجود آمدن کانون گرد و غبار می‌باشد. DS نشان‌دهنده وجود کانون گرد و غبار و یا *DS نشان‌دهنده عدم وجود کانون گرد و غبار است. در این مدل مقادیر وزنی معمولاً دامنه‌ای بین اعداد مثبت و منفی دارند، که بیانگر نقش بیشتر و کمتر متغیر در به وجود آمدن کانون‌های گرد و غبار است. وزن مثبت (W+) نشان می‌دهد که عامل مؤثری در محل گرد و غبار وجود دارد. اما وزن منفی (W-) بیانگر عدم تأثیر عامل مورد نظر در محل وجود کانون گرد و غبار بوده و سطح منفی همبستگی را نشان می‌دهد. اختلاف بین دو وزن مثبت و منفی (C) بزرگی ارتباط عامل مؤثر و کانون گرد و غبار را نشان می‌دهد. برای به دست آوردن وزن نهایی از روابط ۵، ۶ و ۷ استفاده می‌شود.

$$C = [(W^+) - (W^-)] \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$SC = \sqrt{S^2 (W^+) + S^2 (W^-)} \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$W_{Final} = C/SC \quad \text{رابطه (۷)}$$

C: تفاضل وزن‌های مثبت و منفی و SC: انحراف استاندارد است که برابر جذر واریانس هریک از وزن‌های مثبت و منفی و WFinal: وزن نهایی استاندارد شده است. نهایتاً وزن نهایی به منظور پهنه‌بندی حساسیت گرد و غبار استفاده می‌شود. با وارد کردن وزن‌ها به نقشه لایه‌های اطلاعاتی، نقشه‌های موضوعی وزنی به دست می‌آیند. از جمع این وزن‌ها شاخص حساسیت گرد و غبار محاسبه می‌شود (رابطه ۸).

$$DSSI = \sum (W_F) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad \text{رابطه (۸)}$$

در تعیین نرخ نسبت فراوانی، نسبت رخداد کانون‌های گرد و غبار در هر کلاس از فاکتورهای تأثیرگذار نسبت به کل کانون‌های گرد و غبار به دست آمده و نسبت سطح هر کلاس نسبت به کل مساحت منطقه نیز محاسبه می‌گردد. در نهایت با تقسیم نرخ وقوع گرد و غبار در هر

۳.۲. پهنه‌بندی خطر گرد و غبار

برای پهنه‌بندی مناطق حساس به وقوع گرد و غبار، نقاط برداشت گرد و غبار به صورت تصادفی به دو دسته آموزشی^۱ (۷۰ در صد) و اعتبارسنجی (۳۰ در صد) تقسیم می‌شوند. داده‌های آموزشی برای تعیین وزن و تهیه نقشه حساسیت با استفاده از دو مدل احتمالاتی وزن واقعه و نسبت فرکانس مورد استفاده قرار می‌گیرند و داده‌های اعتبارسنجی جهت اعتبارسنجی نقشه حساسیت به کار گرفته می‌شوند. ابتدا جهت تعیین هر کلاس از عوامل مؤثر در وقوع گرد و غبار، تمامی لایه‌های عوامل مؤثر برای مدل‌سازی کلاس‌بندی شد. با همپوشانی موقعیت هر یک از کانون‌های گرد و غبار با هر یک از عوامل مؤثر، رابطه آماری بین آن‌ها شناسایی شده و سپس با به دست آوردن فراوانی پیکسل‌های گرد و غباری هر کلاس از لایه‌ها و فراوانی کل هر کلاس، تراکم گرد و غبار در هر کلاس محاسبه شد. با استفاده از فراوانی پیکسل‌های گرد و غباری و فراوانی کل، تراکم گرد و غبار در کل منطقه مورد مطالعه به دست آمد. در نهایت وزن‌دهی به هر یک از کلاس‌ها بر اساس مدل‌های احتمالاتی وزن واقعه و نسبت فراوانی انجام شد.

مدل احتمالاتی وزن واقعه بر اساس محاسبه وزن مثبت (W+) و منفی (W-) تعریف شده است. در این مدل، محاسبه وزن برای وجود یا عدم وجود هر فاکتور پیش‌بینی کانون گرد و غبار (F یا *F)، بر اساس وجود یا عدم وجود کانون گرد و غبار (DS یا *DS) در منطقه مطالعه، به شرح زیر است:

$$W^+ = \log_e \frac{P\left(\frac{F}{DS}\right)}{P\left(\frac{F}{DS^*}\right)} \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$W^- = \log_e \frac{P\left(\frac{F^*}{DS}\right)}{P\left(\frac{F^*}{DS^*}\right)} \quad \text{رابطه (۴)}$$

که در این فرمول؛ P: احتمال وقوع پیش‌آمد، F و *F به

غبار، FR: نسبت فراوانی فاکتور و n: مجموع فاکتورهای ورودی می‌باشد.

در نهایت وزن نهایی هر یک از کلاس‌های ۷ عامل مؤثر تهیه شد. لایه اطلاعاتی مقادیر حساسیت به گرد و غبار از جمع جبری آن‌ها حاصل شد و نهایتاً نقشه حساسیت در ۴ طبقه تهیه گردید.

۴.۲. ارزیابی روش پهنه‌بندی

آزمایش و اعتبارسنجی نقشه‌های حساسیت با محاسبه شاخص ویژگی‌های عامل نسبی (ROC)^۱ به دست می‌آید. در این روش، مساحت زیر منحنی ROC دارای مقادیر بین ۰/۵ تا ۱ بوده و از آن برای ارزیابی دقت مدل استفاده می‌شود [۳۲]. بهترین مدل، سطح زیر منحنی (AUC)^۲ نزدیک به ۱ دارد، در حالی که مقادیر نزدیک به ۰/۵ نشان دهنده عدم صحت در مدل است [۱۵]. برای ارزیابی نقشه حساسیت با استفاده از مدل وزن واقعه و نسبت فرکانس از (۳۰ درصد) کانون‌های گرد و غبار مربوط به اعتبارسنجی استفاده شد. سپس با استفاده از منحنی ROC صحت نقشه‌های حساسیت تهیه شده، ارزیابی شد. شکل (۲) روند تهیه نقشه حساسیت و ارزیابی مدل را نشان می‌دهد.

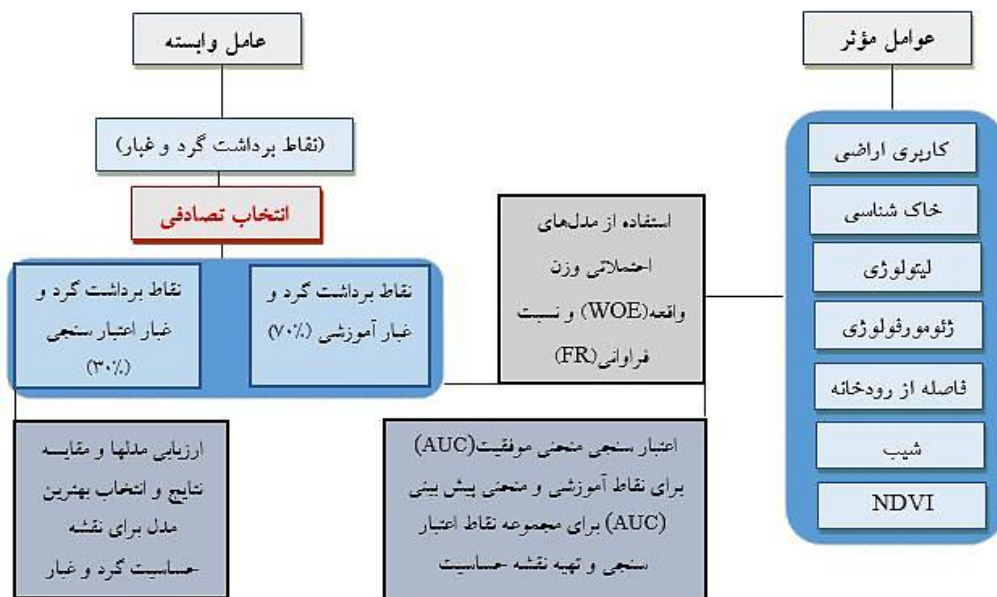
کلاس بر نرخ مساحت هر کلاس نسبت به کل منطقه مورد مطالعه، نسبت فراوانی کلاس‌های هر فاکتور محاسبه می‌گردد. مراحل محاسبه نسبت فراوانی برای هر کلاس از فاکتورهای مؤثر در وقوع گرد و غبار با استفاده از رابطه (۹) محاسبه گردید.

$$FR = \frac{A/B}{C/D} = \frac{E}{F} \quad \text{رابطه (۹)}$$

که در آن A: تعداد پیکسل‌های کانون‌های گرد و غبار برای هر یک از کلاس‌های عوامل مؤثر؛ B: تعداد کل کانون‌های گرد و غبار اتفاق افتاده در منطقه مورد مطالعه؛ C: تعداد پیکسل‌ها در هر یک از کلاس‌های عوامل مؤثر؛ D: تعداد کل پیکسل‌ها در منطقه مورد مطالعه؛ E: درصد رخداد گرد و غبار در هر زیر کلاس از عوامل مؤثر و F: درصد نسبی مساحت هر زیر کلاس از کل مساحت می‌باشد. برای به دست آوردن شاخص حساسیت به رخداد گرد و غبار نتایج فاکتورها با یکدیگر در محیط GIS جمع می‌گردد (رابطه ۱۰).

$$DSSI = \sum (FR)_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad \text{رابطه (۱۰)}$$

که در آن؛ DSSI: شاخص حساسیت رخداد گرد و



شکل ۲. چارچوب اجرای تحقیق

۳. نتایج

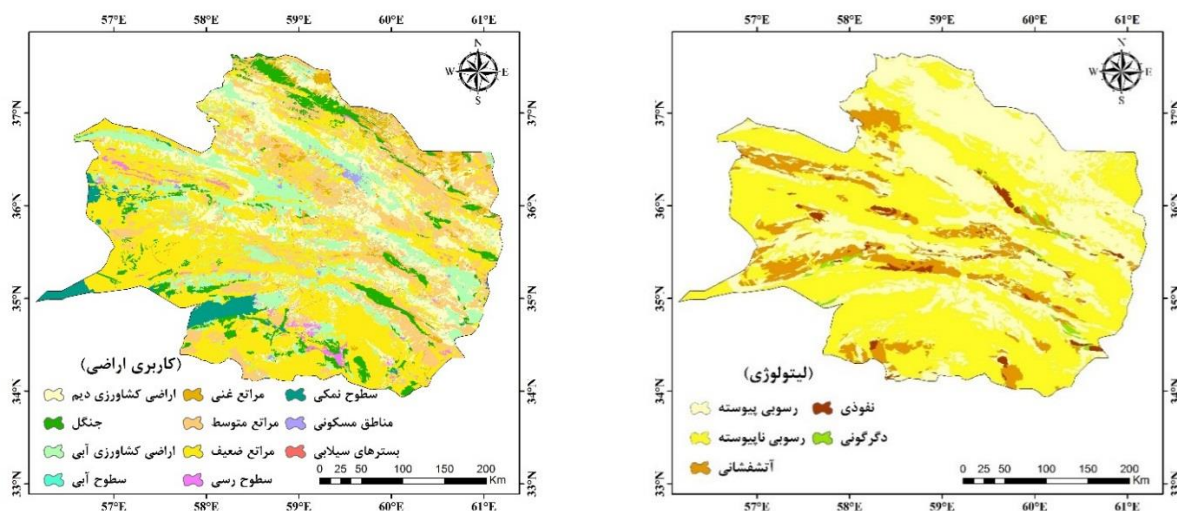
در مجموع ۶۵ نقطه برداشت گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه شناسایی شد. از این تعداد به طور کاملاً تصادفی ۷۰ درصد (۴۶ نقطه برداشت) تحت عنوان نقاط آموزشی برای مدل سازی و ۳۰ درصد (۱۹ نقطه برداشت) تحت عنوان نقاط اعتبارسنجی برای ارزیابی مدل استفاده شد.

لایه‌های مختلف اطلاعاتی خاک، لیتولوژی، شیب، شاخص پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه، واحدهای ژئومورفولوژی و کاربری اراضی که به عنوان متغیر مستقل معرفی شدند در شکل (۳) ارائه شده است.

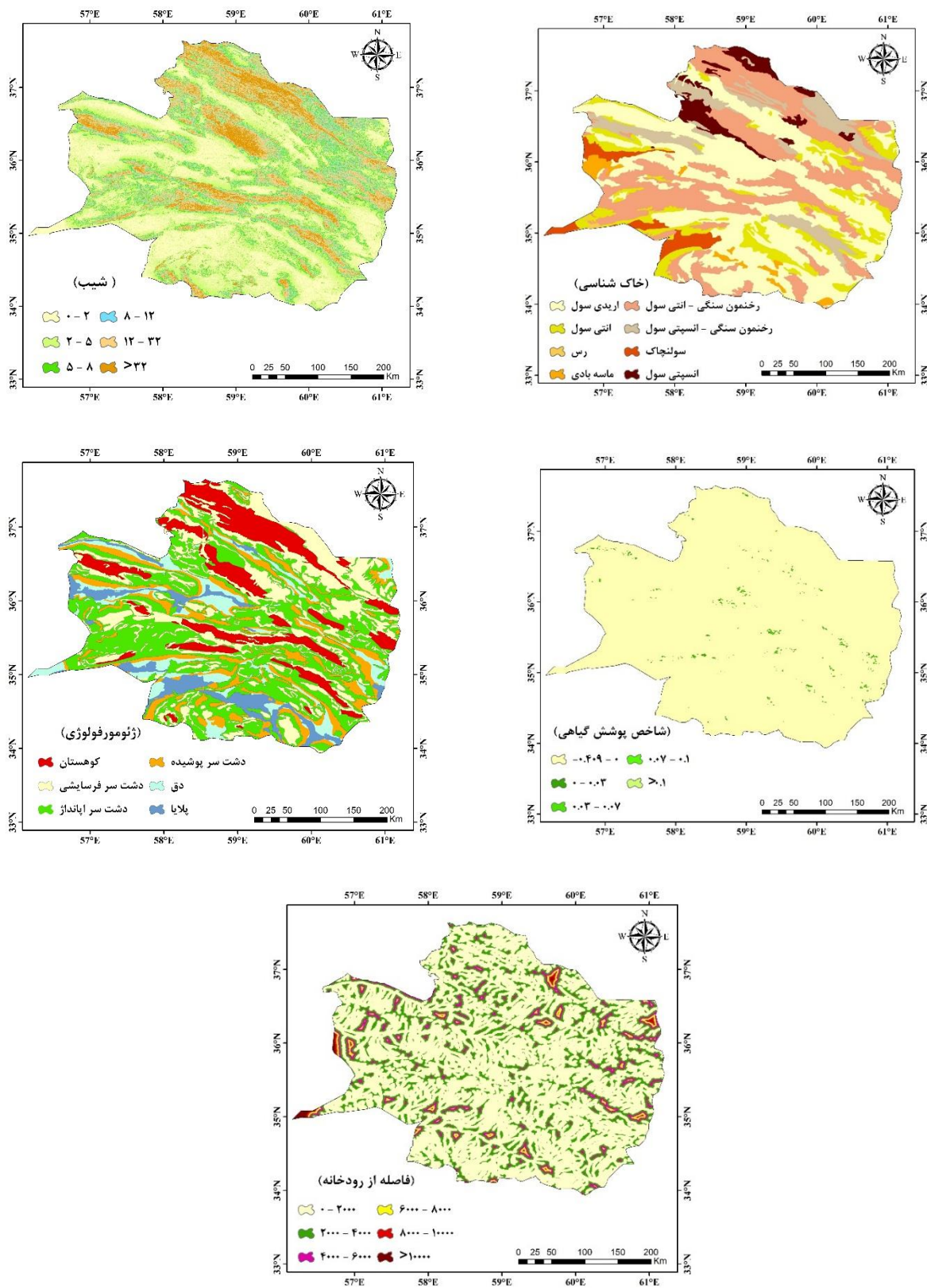
نتیجه حاصل از ارتباط بین هریک از عوامل مؤثر با نقاط رخداد گرد و غبار با استفاده از مدل نسبت فراوانی و مدل احتمالاتی وزن واقعه در جدول (۱) ارائه شده است.

بر اساس نتایج حاصل از اجرای مدل‌ها و بررسی ارتباط پارامتر کاربری اراضی بر روی کانون‌های گرد و غبار مشخص شد که در این پارامتر با روش وزن واقعه، بیشترین ارزش مربوط به مراتع ضعیف (۰/۹۸۲) و کاربری اراضی دیم (۰/۵۰۹) است و در سایر کاربری‌ها ارزش‌ها کمتر شده و به صفر و منفی، که این نشان از عدم همبستگی بین این نوع کاربری‌ها و وجود کانون گرد و غبار است. در روش نسبت فرکانس، سطوح رسی و سطوح نمکی به ترتیب با وزن‌های

(۱/۳۵ و ۱/۲۷) دارای بالاترین ارزش نسبت فراوانی و همبستگی بالا و سطوح آبی، مناطق مسکونی و بسترهای سیلابی دارای کمترین ارزش نسبت فراوانی در منطقه است که نشان‌دهنده احتمال کمتر وجود کانون گرد و غبار در این منطقه است. با تطبیق کانون‌های گرد و غبار با نقشه کاربری اراضی مشخص شد که بیشترین کانون گرد و غبار در کاربری‌های مراتع فقیر و اراضی دیم با تعداد ۲۳ و ۱۸ وجود دارد و در کاربری مناطق مسکونی، بسترهای سیلابی و سطوح آبی هیچ کانون گرد و غباری وجود ندارد. این نتایج با نتایج محققانی [۱۸، ۲۰، ۳۰، ۲۵، ۲۴، ۹، ۵۱] که به بررسی کانون‌های گرد و غبار در کاربری‌های مختلف پرداختند، هم‌خوانی دارد. [۵۱] به بررسی خصوصیات مناطق برداشت گرد و غبار و تعیین کاربری‌های مناطق برداشت گرد و غبار پرداختند. نتایج تحقیق این محققان حاکی از آن است که بیشتر مناطق برداشت گرد و غبار در مراتع فقیر و اراضی کشاورزی دیم قرار دارد که با نتایج تحقیق حاضر هم‌خوانی دارد. نتایج همچنین با نتایج [۲۷] که پوشش گیاهی ضعیف و رسوبات سخت نشده را از عوامل مؤثر بر کانون‌های برداشت گرد و غبار و فرسایش بادی می‌دانند با پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.



شکل ۳. لایه‌های عوامل تأثیرگذار بر وقوع گرد و غبار در خراسان رضوی



ادامه شکل ۳.

جدول ۱. ارتباط بین هریک از عوامل مؤثر و نقاط برداشت گرد و غبار با استفاده از مدل نسبت فراوانی و مدل احتمالاتی وزن واقعه

وزن واقعه	نسبت فراوانی	تعداد گرد و غبار (درصد)	تعداد گرد و غبار	مساحت (%)	مساحت	کلاس	پارامترها
۰/۵۰۹	۱/۷۲۵	۲۷/۶۹	۱۸	۱۶/۰۵	۱۷۸۳۳۰۵	اراضی دیم	کاربری اراضی
-۰/۵۰۹	۱/۰۰۶	۶/۱۵	۴	۵/۷۷	۶۴۱۱۶۲	جنگل	
-۰/۶۵۳	-۰/۹۹۷	۱۳/۸۵	۹	۱۳/۸۸	۱۵۴۲۱۶۳	اراضی کشاورزی آبی	
.	.	.	.	۰/۰۲	۲۰۵۶	سطوح آبی	
-۰/۶۵۳	-۰/۶۷۵	۱/۵۴	۱	۲/۲۸	۲۵۳۰۷۸	مراتع غنی	
۰/۹۸۲	۱/۹۱۴	۳۵/۳۸	۲۳	۱۸/۴۸	۲۰۵۳۸۶۳	مراتع ضعیف	
۰/۲۵۲	-۰/۲۴۲	۹/۲۳	۶	۳۸/۰۸	۴۲۳۱۴۶۲	مراتع متوسط	
.	۱/۳۵۷	۳/۰۸	۲	۲/۲۷	۲۵۱۷۸۸	سطوح رسی	
-۰/۲۵۲	۱/۲۷۴	۳/۰۸	۲	۲/۴۱	۲۶۸۱۸۷	سطوح نمکی	
.	.	.	.	۰/۴۹	۵۴۱۴۴	مناطق مسکونی	
.	.	.	.	۰/۲۷	۳۰۳۴۳	بسترهای سیلابی	
-۰/۳۹۱	-۰/۶۸۰	۲۶/۱۵	۱۷	۳۸/۴۱	۴۲۶۷۷۷۲	رسوبی پیوسته	لیتولوژی
۰/۵۰۲	۱/۳۳۶	۶۶/۱۵	۴۳	۴۹/۴۹	۵۴۹۹۶۴۴	رسوبی ناپیوسته	
-۰/۷۵۹	-۰/۶۱۲	۶/۱۵	۴	۱۰/۰۵	۱۱۱۶۹۰۱	آتشفشانی	
-۰/۷۵۹	-۰/۱۴۴	۱/۵۴	۱	۱/۳۴	۱۴۹۳۵۹	نفوذی	
.	.	.	.	۰/۷۰	۷۷۸۷۵	دگرگونی	
۰/۴۸۰	۱/۵۵۳	۴۳/۰۸	۲۸	۲۷/۷۳	۳۰۸۰۷۷۸	۰ - ۲	شیب
۰/۳۰۱	-۰/۹۹۴	۲۷/۶۹	۱۸	۲۷/۸۴	۳۰۹۳۴۰۲	۲ - ۵	
۰/۴۰۴	۱/۱۶۱	۱۲/۳۱	۸	۱۰/۶۰	۱۱۷۷۹۱۷	۵ - ۸	
-۱/۱۶۴	-۰/۷۲۶	۶/۱۵	۴	۸/۴۷	۹۴۰۷۶۵	۸ - ۱۲	
-۱/۰۲۱	-۰/۵۱۶	۹/۲۳	۶	۱۷/۸۸	۱۹۸۶۷۴۳	۱۲ - ۳۲	
-۱/۰۲۱	-۰/۲۰۵	۱/۵۴	۱	۷/۴۹	۸۳۱۹۴۷	۳۲ <	
۰/۲۳۶	۱/۲۵۲	۴۹/۲۳	۳۲	۳۹/۳۰	۴۳۶۷۱۸۱	اریدی سول	خاک
۰/۹۱۴	۱/۲۹۳	۱۵/۳۸	۱۰	۱۱/۸۹	۱۳۲۱۵۹۸	انتهی سول	
.	.	.	.	۰/۱۳	۱۴۰۵۶	رس	
.	.	.	.	۱/۷۸	۱۹۷۵۰۵	ماسه بادی	
-۰/۸۱۹	-۰/۶۶۱	۲۰	۱۳	۳۰/۲۶	۳۳۶۱۹۰۱	رخنمون سنگی - انتهی سول	
۰/۰۶۷	-۰/۸۴۵	۷/۶۹	۵	۹/۱۰	۱۰۱۰۸۹۵	رخنمون سنگی - انسپتی سول	
.	-۰/۴۷۵	۱/۵۴	۱	۳/۲۳	۳۵۹۲۶۷	سولنچاک (خاک شور)	
۰/۰۶۷	۱/۴۲۷	۶/۱۵	۴	۴/۳۱	۴۷۹۱۴۸	انسپتی سول	
۰/۴۹۳	۱/۴۱۸	۱۰/۷۷	۷	۷/۵۹	۸۴۳۸۶۵	پلایا	واحدهای ژئومورفولوژی
-۰/۵۴۰	-۰/۴۱۵	۳/۰۸	۲	۷/۴۱	۸۲۳۶۹۹	دق	
۰/۹۱۴	۱/۹۵۵	۳۰/۷۷	۲۰	۱۵/۷۳	۱۷۴۸۱۴۷	دشت سر پوشیده	
۰/۲۸۹	-۰/۹۳۷	۲۶/۱۵	۱۷	۲۷/۸۸	۳۰۹۸۴۰۹	دشت سر اپانداز	
۰/۵۴۵	-۰/۸۹۸	۲۴/۶۲	۱۶	۲۷/۳۹	۳۰۴۳۱۹۳	دشت سر فرسایشی	
-۰/۵۴۵	-۰/۳۲۹	۴/۶۲	۳	۱۳/۹۹	۱۵۵۴۲۳۹	کوهستان	
۰/۲۵۷	-۰/۹۹۱	۹۸/۴۶	۶۴	۹۹/۳۰	۱۱۰۳۴۲۹۸	-۰/۴۰۹ - ۰	شاخص پوشش گیاهی
.	۲/۸	۱/۵۴	۱	۰/۵۵	۶۱۰۳۷	۰ - ۰/۰۳	
.	.	.	.	۰/۱۰	۱۰۵۶۲	۰/۰۳ - ۰/۰۷	
.	.	.	.	۰/۰۳	۳۲۶۹	۰/۰۷ - ۰/۱	
.	.	.	.	۰/۰۲	۲۳۸۵	۰/۱ <	
۰/۰۱۸	۱/۰۲۵	۷۵/۳۸	۴۹	۷۲/۵۲	۸۱۶۹۵۷۱	۰ - ۲۰۰۰	
-۰/۰۶۵	۱/۰۶۱	۲۱/۵۴	۱۴	۲۰/۳۰	۲۲۵۵۳۱۹	۲۰۰۰ - ۴۰۰۰	فاصله از رودخانه
.	-۰/۶۶۲	۳/۰۸	۲	۴/۶۴	۵۱۶۱۰۸	۴۰۰۰ - ۶۰۰۰	
.	.	.	.	۱/۰۷	۱۱۸۴۸۱	۶۰۰۰ - ۸۰۰۰	
.	.	.	.	۰/۲۷	۲۹۷۷۵	۸۰۰۰ - ۱۰۰۰۰	
.	.	.	.	۰/۲۰	۲۲۲۹۷	۱۰۰۰۰ <	

رابطه مستقیم و همبستگی مثبت با وقوع گرد و غبارند. سایر طبقات خاک‌شناسی دارای ارزش کمتر از یک و صفر بوده که یک رابطه همبستگی منفی را نشان می‌دهد. در رابطه با مدل وزن واقعه نیز بیشترین ارزش مربوط به طبقه انتی سول و اریدی سول (به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۲۳) و کمترین آن مربوط به طبقه رخنمون سنگی-انتی سول (۰/۸۱۹-) است.

در رابطه با شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال شده، مناطق با پوشش گیاهی تنک و پراکنده و خاک لخت بیشترین احتمال وقوع گرد و غبار و مناطق با پوشش گیاهی متراکم کمترین احتمال وقوع گرد و غبار را دارند. نتایج پراکنش کانون‌های گرد و غبار بر روی نقشه شاخص پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که تمام کانون‌های گرد و غبار در طبقه ۰/۴۰۹- تا ۰/۰۳ قرار دارد که بدون پوشش گیاهی می‌باشد. در بقیه طبقات اکثراً هیچ کانون گرد و غباری وجود ندارد. این نتایج با نتایج محققانی هم‌چون [۱۵، ۲۷، ۳۹] که پوشش گیاهی ضعیف و رسوبات سخت نشده را از عوامل مؤثر در مناطق برداشت گرد و غبار و فرسایش بادی می‌دانند، هم‌خوانی دارد. بیشترین وزن‌ها مربوط به مدل نسبت فراوانی و وزن واقعه، مربوط به طبقاتی است که گرد و غبار در آن رخ داده است و سایر طبقات که بدون گرد و غبارند هیچ وزنی را نگرفته‌اند و مقدار وزن آن‌ها صفر است.

به‌طور کلی در بررسی فاصله از رودخانه مشخص شد که در کلاس کمتر از ۲۰۰۰ متر، بیش‌ترین وقوع گرد و غبار (۴۹ کانون) رخ داده است و هرچه فاصله بیشتر می‌شود تعداد کانون‌های گرد و غبار کاهش می‌یابد. از تأثیر لایه اطلاعاتی رودخانه بر روی کانون‌های گرد و غبار منطقه مورد مطالعه با مدل وزن واقعه مشخص گردید که این عامل با مجموع وزن (۰/۴۷-) عاملی است که رابطه‌ای منفی با وقوع گرد و غبار این منطقه دارد. به استثنای فاصله ۲۰۰۰-۰ متر که دارای رابطه مثبت (۰/۱۸+) است، سایر فواصل دارای رابطه معکوس و یا بدون ارتباط با وقوع گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه است. در رابطه با مدل نسبت فراوانی نیز طبقات ۲۰۰۰-

نتایج حاصل از بررسی شیب منطقه نشان داد که شیب‌های ۲-۰ درصد بالاترین وزن را به خود اختصاص داده است. به ترتیب (۱/۵۵ و ۰/۴۸) امتیاز در روش‌های نسبت فراوانی و وزن واقعه که با افزایش شیب میزان حساسیت به وقوع گرد و غبار کاهش می‌یابد. در روش وزن واقعه کلاس‌های شیب ۲-۰، ۵-۲ و ۸-۵ با وزن‌های ۰/۴۸+، ۰/۳۰+ و ۰/۴۰+ دارای رابطه مثبت با وقوع گرد و غبار و کلاس‌های ۱۲-۸، ۳۲-۱۲ و ۳۲+ با وزن ۱/۱۶-، ۱/۰۲- و ۱/۰۲+ دارای رابطه منفی با وقوع گرد و غبارند. در روش نسبت فراوانی نیز دقیقاً طبقات ۲-۰، ۵-۲ و ۸-۵ دارای ارزش نسبت فراوانی حدود ۱ و بیشتر می‌باشد که نشان از همبستگی بالاست و سه طبقه دیگر دارای ارزش کمتر می‌باشند که این نشان از همبستگی پایین است. همان‌طور که از نتایج پراکنش کانون‌های گرد و غبار بر روی نقشه شیب مشخص شده است بیشترین و کم‌ترین کانون گرد و غبار به ترتیب در شیب‌های ۰ تا ۲ و بیشتر از ۳۲ درصد وجود دارد. در شیب ۲-۰ درصد، ۲۸ کانون برداشت گرد و غبار وجود دارد که ۴۳/۰۷ درصد کل کانون‌های برداشت گرد و غبار را شامل می‌شود. مساحت تحت پوشش این شیب حدود ۲۷/۸۹ درصد سطح استان را شامل می‌شود و در شیب بیشتر از ۳۲ درصد، هیچ کانون گرد و غباری دیده نمی‌شود.

نتایج پراکنش کانون‌های گرد و غبار بر روی نقشه خاک استان خراسان رضوی حاکی از آن است که بیشترین آن‌ها بر روی خاک‌های اریدی سول که خاک مناطق خشک و بیابانی هستند با تعداد ۳۲ کانون گرد و غبار، که تقریباً ۵۰ درصد کل آن‌ها را شامل می‌شود، قرار دارد. مشخصه اصلی این خاک‌ها شور و قلیایی بودن و درصد بالای ذرات در اندازه سیلت و رس است و اغلب فعالیت‌های گرد و غبار شدید در سطح این خاک‌ها مشاهده می‌شود [۴۴]. این نتایج با نتایج [۳، ۲۰، ۱۸، ۲۵، ۴۱] که به بررسی خصوصیات خاک کانون‌های برداشت گرد و غبار پرداخته‌اند، هم‌خوانی دارد. در شاخص خاک‌شناسی بیشترین فراوانی نسبی را ازسپتی سول‌ها، اریدی سول‌ها و انتی سول‌ها دارا می‌باشند که دارای یک

بادرفتی کواترنری و نیز رشته کوه‌های مرکب از سازندهای رسوبی و آتشفشانی هوازه متعلق به مزوزوئیک و سنوزوئیک از ویژگی‌های بارز این استان است که مستعد تولید گرد و غبار هستند. با بررسی و تطبیق کانون‌های گرد و غبار بر روی نقشه لیتولوژی استان مشخص شد که بیش‌ترین تعداد کانون گرد و غبار مربوط به لایه رسوبی ناپیوسته است.

در رابطه با مدل نسبت فرکانس بیش‌ترین همبستگی بین طبقه رسوبی ناپیوسته با مقدار (۱/۳۳) است و در رابطه با مدل وزن واقعه تنها طبقه رسوبی ناپیوسته با وزن (۰/۵۰۲+) بیشترین حساسیت را به وقوع گرد و غبار دارند و سایر طبقات دارای رابطه معکوس با وقوع گرد و غبار در منطقه مورد مطالعه دارند. در طبقه مربوط به سنگ‌های دگرگونی هیچ گرد و غباری رخ نداده و هیچ نقشی در وقوع این پدیده ندارند. میزان مشارکت هر یک از عوامل در هر دو مدل نسبت فراوانی و احتمالاتی وزن واقعه در جدول (۲) ارائه شده است.

و ۴۰۰۰-۲۰۰۰ متر دارای ارزشی بزرگتر از ۱ هستند که این نشان از همبستگی بالای این دو طبقه با وقوع گرد و غبار است. سایر طبقات دارای ارزش و وزنی کمتر از یک و صفر بوده که نشان از همبستگی پایین بین این عوامل با رخداد گرد و غبار است.

در بررسی واحدها و تیپ‌های ژئومورفولوژی در منطقه مورد مطالعه مشخص شد که بیش‌ترین تعداد کانون گرد و غبار در واحد دشت سر (به ترتیب دشت سر پو شیده، اپانداژ و فرسایشی) و سپس پلایا رخ داده است. در رابطه با مدل نسبت فراوانی بیش‌ترین میزان ارزش مربوط به دشت سر پو شیده و پلایا با مقادیر (۱/۹۵ و ۱/۴۲) است که همبستگی بالایی را نشان می‌دهد و کم‌ترین مقدار همبستگی مربوط به طبقه کوهستان با مقدار (۰/۳۲۹) است. در رابطه با مدل وزن واقعه طبقات مربوط به دشت سر پوشیده، دارای بیش‌ترین ارزش است که بیش‌ترین تعداد کانون گرد و غبار نیز در این طبقه اتفاق افتاده است و کم‌ترین مقدار مربوط به کوهستان است (۰/۵۴-). دشت‌های پهناور متشکل از سازندهای آبرفتی و

جدول ۲. ضریب تأثیر هر یک از عوامل مؤثر بر وقوع گرد و غبار در مدل نسبت فراوانی و مدل احتمالاتی وزن واقعه

WOE	پارامتر	FR	پارامتر
۰/۴۲۱۱	شیب	۰/۹۹۲۵	واحدهای ژئومورفولوژی
۰/۳۰۰۷	واحدهای ژئومورفولوژی	۰/۹۱۴۳	کاربری اراضی
۰/۲۹۹۴	کاربری اراضی	۰/۸۵۹۶	شیب
۰/۲۹۵۶	خاک	۰/۷۵۸۴	شاخص پوشش گیاهی
۰/۲۵۱۷	لیتولوژی	۰/۷۵۴۸	لیتولوژی
۰/۰۵۸۵	شاخص پوشش گیاهی	۰/۷۴۴۴	خاک
۰/۰۰۱۲	فاصله از رودخانه	۰/۴۵۸۱	فاصله از رودخانه

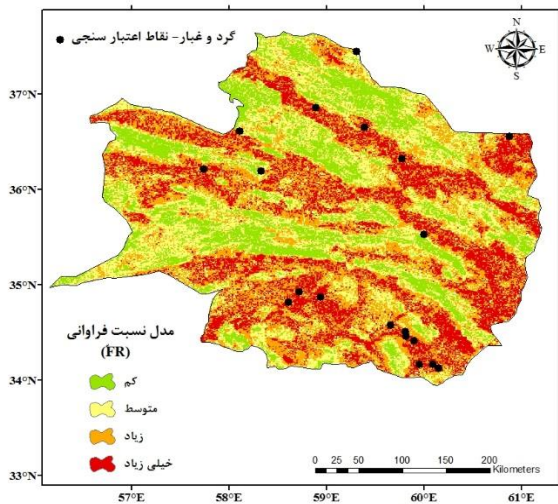
(۵) نتایج حاصل از پهنه‌بندی خطر با استفاده از روش‌های مذکور را نشان می‌دهد.

همان‌طور که بیان شد برای ارزیابی مدل‌ها از منحنی ROC، که یکی از روش‌های تعیین دقت و ارزیابی مدل‌ها است، استفاده شد. هر چه سطح زیر منحنی بیشتر باشد به همان نسبت نیز دقت مدل بیشتر می‌شود که میزان آن از ۰/۵ تا ۱ متغیر می‌باشد. به‌طور کلی تقسیم‌بندی

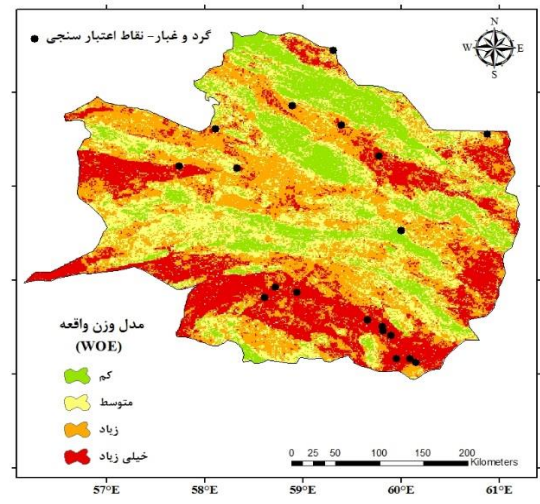
پس از تعیین وزن همه عوامل مؤثر بر وقوع رخداد گرد و غبار و ضرب آن در کلاس‌های عوامل مذکور، نقشه‌های وزنی با هم جمع شده و نقشه نهایی اولویت‌بندی کانون‌های گرد و غبار بر اساس روش‌های وزن واقعه و نسبت فراوانی حاصل گردید. سپس نقشه‌های مذکور بر اساس شکست‌های طبیعی در ۴ کلاس کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی گردید. شکل (۴) و

ترتیب با مقدار AUC برابر با ۰/۸۰۴ و ۰/۸۰۷ عملکرد بسیار خوبی داشته و در طبقه خیلی خوب قرار می‌گیرند و نشان می‌دهد که این مدل‌ها قادر به شناسایی گرد و غبار به ترتیب با دقت ۰/۸۰۴ و ۰/۸۰۷ می‌باشند. نرخ موفقیت و نرخ اعتبار سنجی ثابت می‌کند که مدل‌ها قابل قبولند و می‌توانند برای پیش‌بینی گرد و غبارهای احتمالی در آینده استفاده شوند. شکل (۶) نتایج ارزیابی مدل‌های استفاده شده با استفاده از منحنی تشخیص عملکرد نسبی را نشان می‌دهد.

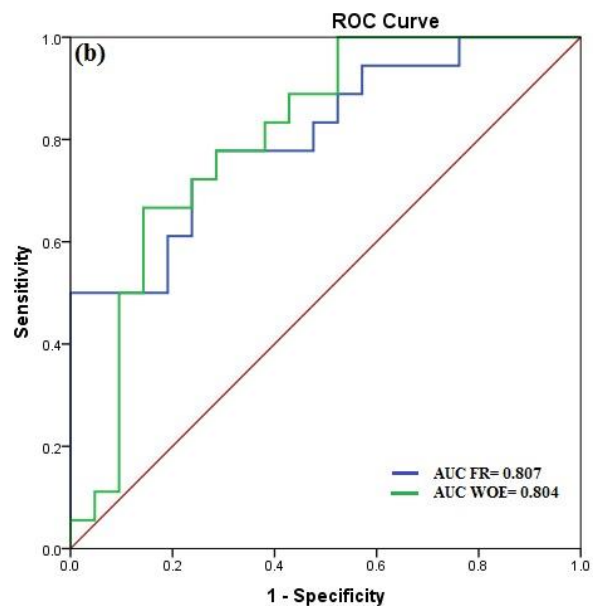
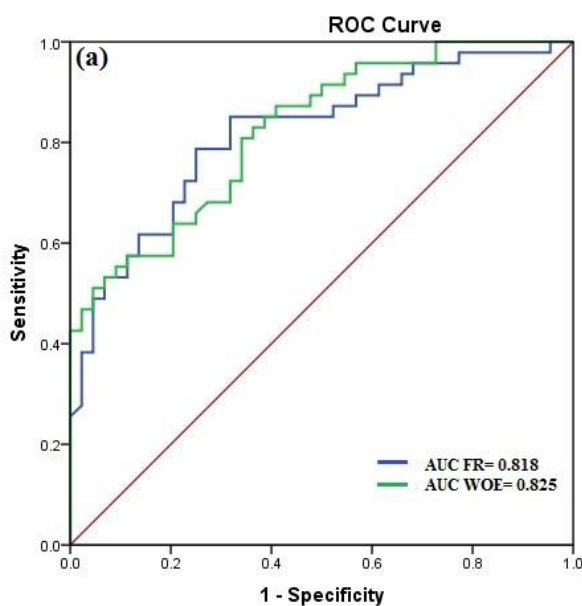
۰/۹-۱ عالی، ۰/۸ - ۰/۹ خیلی خوب، ۰/۷ - ۰/۸ خوب، ۰/۷ - ۰/۶ متوسط، ۰/۵ - ۰/۶ ضعیف را برای آن ارائه داده‌اند [۵۰] در تحقیق حاضر از ۳۰ درصد از کانون‌های گرد و غبار برای مرحله ارزیابی (تحت عنوان نرخ پیش‌بینی) و از ۷۰ درصد از کانون‌های گرد و غبار برای مرحله مدل‌سازی (تحت عنوان نرخ موفقیت) استفاده شد. نتایج ارزیابی مدل‌های احتمالاتی وزن واقعه و مدل نسبت فراوانی با استفاده از منحنی ROC نشان داد که هر دو مدل به



شکل ۵. نقشه پهنه‌بندی با روش نسبت فراوانی



شکل ۴. نقشه پهنه‌بندی با روش وزن واقعه



شکل ۶- a. منحنی نرخ موفقیت (AUC of the ROC Curve) و b. منحنی نرخ پیش‌بینی (AUC of the ROC Curve)

۵. بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق به اولویت‌بندی عوامل مؤثر در وقوع گرد و غبار و پهنه‌بندی خطر آن با استفاده از روش‌های نسبت فراوانی و وزن واقعه پرداخته شد. جهت شناسایی کانون‌های گرد و غبار از تصاویر ماهواره‌ای MODIS برای سال‌های ۲۰۰۵-۲۰۱۶ استفاده شد و نقشه پراکنش کانون‌های گرد و غبار تهیه گردید. سپس لایه عوامل مؤثر در وقوع گرد و غبار شامل خاک، لیتولوژی، شیب، شاخص پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه، واحدهای ژئومورفولوژی و کاربری اراضی تهیه شد. با اعمال روش‌های نسبت فراوانی و وزن واقعه، عوامل مؤثر بر وقوع گرد و غبار رده‌بندی و نقشه‌های نهایی پهنه‌بندی در ۴ کلاس حاصل شد. نتایج حاصل از روش نسبت فراوانی نشان داد که به ترتیب عوامل ژئومورفولوژی، کاربری اراضی، شیب، بیش‌ترین نقش را در وقوع گرد و غبار داشته و ۱۸/۱ در صد منطقه در رده کم، ۲۶/۹۴ در صد در رده متوسط، ۳۱/۹۲ در رده زیاد و ۲۳/۰۳ درصد در رده خیلی زیاد

قرار گرفته و در مجموع دو رده زیاد و خیلی زیاد حدود ۵۴/۹۵ مساحت منطقه را در بر گرفته که ۴۸ کانون گرد و غبار نیز در این محدوده قرار گرفته است. طبق نتایج حاصل از روش وزن واقعه نیز به ترتیب عوامل شیب، ژئومورفولوژی و کاربری اراضی به ترتیب بیشترین نقش را در وقوع گرد و غبار داشته و در رابطه با رده‌های خطر نیز ۱۷/۴۲ درصد مساحت منطقه در رده خطر کم، ۲۴/۳۱ درصد در رده متوسط، ۳۴/۹۴ درصد در رده زیاد و ۲۳/۲۸ در صد در رده خطر خیلی زیاد قرار دارد و ۵۸/۲۳ درصد مساحت منطقه با ۵۱ کانون گرد و غبار در رده‌های خطر زیاد و خیلی زیاد قرار دارد. نتایج ارزیابی مدل‌ها با استفاده از روش ROC نشان داد که هر دو مدل دارای کارایی بالایی هستند و با تفاوت اندکی مدل وزن واقعه با میزان انحراف استاندارد (۰/۰۴۲) و AUC برابر با ۰/۸۲۵ در مقایسه با روش نسبت فراوانی با انحراف استاندارد ۰/۰۴۴ و سطح زیر منحنی برابر ۰/۸۱۸ جهت ارزیابی دارای کارایی بالاتری است.

References

- [1] Ackerman, S.A. (1997). Remote sensing aerosols using satellite infrared observations. *Journal of Geophysical Research*, 102, 17069-17080.
- [2] Akbari, M., Bashiri, M., Rangavar, A., 2017. Application of Data Mining Algorithms to Appreciate Sensitivity and Spatial Zoning Prone to Floating View in Khorasan Razavi Display Basins. *Journal of Environmental Erosion Research* 7(26), 16-42.
- [3] Baddock, M.C., Gill, T.E., Bullard, J.E., Dominguez, Acosta, M., and Rivera, N.I. (2011). Geomorphology of the Chihuahuan Desert based on potential dust emissions. *Journal of Maps*, 7(1), 249-259.
- [4] Bonham- Carter, G.F. (1994). *Geographic Information Systems for Geoscientists Modeling with GIS*, In: Bonham-Carter F (ed), *Computer methods in the geosciences*, Pergamon, Oxford, p. 398.
- [5] Boroghani, M., Pourhashemi, S., Zanganeh Asadi, M.A., and Moradi H.R. (2017). Dust source identification in the Middle East by using remote sensing. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 6(11), 101-118.
- [6] 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.
- [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] Chahal, P., Rana, N., Champati ray, P.K., Bisht, P., Bagri, D.S., Wasson, R.J., and Sundriyal, Y. (2017). Identification of landslide-prone zones in the geomorphically and climatically sensitive Mandakini valley, (central Himalaya), for disaster governance using the Weights of Evidence method. *Geomorphology*, 284, 41–52.
- [9] Crouvi, O., Schepanski, K., Amit, R., Gillespie, A.R., and Enzel, Y. (2012). Multiple dust sources in the Sahara Desert: the importance of sand dunes. *Geophysical Research Letters*, 39, L13401. <http://dx.doi.org/10.1029/2012GL052145>.
- [10] Crusius, J., Schroth, A.W., Gassó, S.C., Moy, M.R., Levy, C., and Gatica, M. (2011). Glacial flour dust storms in the Gulf of Alaska: Hydrologic and meteorological controls and their importance as a source of bioavailable iron. *Geophysical Research Letters*, 38, L06602, doi:10.1029/2010GL046573.
- [11] Dube, F., Nhapi, I., Murwira, A., Gumindoga, W., Goldin, J., and Mashauri, D.A. (2014). Potential of Weight of Evidence Modelling for Gully Erosion Hazard Assessment in Mbire District –Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 67, 145-152.
- [12] Dubovik, O., Lapyonok, T., Kaufman, Y.J., Chin, M., Ginoux, P., Kahn, R. A., and Sinyuk, A. (2008). Retrieving global sources from satellites using inverse modeling. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 8(2), 209-250.
- [13] Dustan, R. (2017). Dust Spatial Analysis in Northeast Iran. *Geography Magazine and Regional Development*, 14(2), 67-90.
- [14] Fawcett, T. (2006). An introduction to ROC analysis. *Pattern Recognition Letters*, 27, 861-874.
- [15] Floyd, K.W., and Gill, T.E. (2011). The association of land covers with aeolian sediment production at Jornada Basin, New Mexico, USA. *Aeolian Research*, 3, 55–66.
- [16] Ginoux, P., Garbuzov, D., and Hsu, C. (2010). Identification of anthropogenic and natural dust sources using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) Deep Blue level 2 data. *Journal of geophysical research*, 115, 1-10.
- [17] Goudie, A. (2014). Review Desert dust and human health disorders. *Environment International*, 63(3), 101-113.
- [18] Hahnenberger, M., Nicoll, K. (2014). Geomorphologic and land cover identification of dust sources in the eastern Great Basin of Utah, U.S.A. *Geomorphology*, 204(2), 657-672.
- [19] Jaafari, A., Najafi, A., Pourghasemi, H.R., Rezaeian, J., and Sattarian, A. (2014). GIS-based Frequency Ratio and Index of Entropy Models for Landslide Susceptibility Assessment in the Caspian Forest, northern Iran. *Environmental Earth Sciences*, 75, No. 9, p.780.
- [20] Jewell, P.W., and Nicoll, K. (2011). Wind regimes and aeolian transport in the Great Basin, U.S.A. *Geomorphology*, 129, 1–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.01.005>.
- [21] Karemean, B., Landi, A., Hojati, S., and Ahadean, J. (2017). Study of physical, chemical and mineralogical characteristics of dust in Ahvaz city. *Iran's water and soil research*, 47(1), 159-173.
- [22] Karimi, k., Shahrani, H., NowKhandan, M., and Hafezi Moghadas, N. (2011). Dust source identification in Middle East with used remote sensing. *Journal of Climatology Research*, 7(2), 57-72.
- [23] Lashkari, H., and Keykhosravi, G.H. (2009). Synoptic analysis of dust storms Razavi Khorasan Province in the Period of (1993-2005). *Physical Geography Research*, 65(3), 17-33.
- [24] Lee, J., Baddock, M., Mbuh, M., and Gill, T. (2012). Geomorphologic and land cover characteristics of aeolian dust sources in West Texas and eastern New Mexico, USA. *Aeolian Research*, 3(4), 459-466.
- [25] Lee, J., Gill, T., Mulligan, K., Acosta, M.D., and 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.
- [26] Li, J., Kandakji, T., Lee, J., Tatarko, j., Blackwell, J., Gill, T., Collins, J. 2018. Blowing dust and highway safety in the southwestern United States: Characteristics of dust emission “hotspots” and management implications, *Science of the Total Environment*, 621 1023–1032.
- [27] Lindley, T.T., Vitale, J.D., Burgett, W.S., and Beierle. M.J. (2011). Proximity meteorological observations for wind-driven grassland wildfire start on the southern High Plains. *Journal of Severe Storms Meteorology*, 6, 1–27.
- [28] Manap, M.A., Nampak, H., Pradhan, B., Lee, S., Sulaiman, W.N.A., and Ramli, M.F. (2014). Application of Probabilistic-based Frequency Ratio Model in Groundwater Potential Mapping Using Remote Sensing Data and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(2), 711-724.

- [29] Mie, D., Xiushan, L., Lin, S., and 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.
- [30] Miller, M.E., Bowker, M.A., Reynolds, R.L., Goldstein, H.L., 2012, Post-fire land treatments and wind erosion lessons from the Milford Flat Fire, UT, USA. *Aeolian Research*, 7(4), 29–44.
- [31] Mosavi Baygi, M., and Ashraf, B. (2011). Study of leading to drought of autumn and winter synoptic patterns in Khorasan Razavi Province. *Journal of soil and water conservation*, 18(4), 184-167.
- [32] Nandi, A., and Shakoor, A. (2009). A GIS-based landslide susceptibility evaluation using bivariate and multivariate statistical analyses. *Engineering Geology*, 110, 11–20.
- [33] Ozdemir, A., and Altural, T. (2013). A comparative study of frequency ratio, weights of evidence and logistic regression methods for landslide susceptibility mapping: Sultan Mountains, SW Turkey. *Asian Earth Sciences*, 64, 180–197
- [34] Parajuli, S.p., and S. Zender, C. (2017). Connecting geomorphology to dust emission through high-resolution mapping of global land cover and sediment supply. *Aeolian Research*, 27, 47–65.
- [35] Pourghasemi, H.R., Pradhan, B., Gokceoglu, C., and Deylami Moezzi, K. (2013). A comparative assessment of prediction capabilities of Dempster-Shafer and Weights-of-evidence models in landslide susceptibility mapping using GIS. *Geom. Nat Hazards and Risk*, 4(2), 93–118.
- [36] 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 absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*, 40(1), 2–31
- [37] Rashki, A., Kaskaoutis, D.G., Rautenbach, C., Eriksson, P.G., Qiang, M., and Gupta, P. (2012). Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran. *Aeolian Research*, 5(3), 51-62.
- [38] Regmi, A.D., Devkota, K.C., Yoshida, K., Pradhan, B., Pourghasemi, H.R., Kumamoto, T., and Akgun, A. (2013). Application of Frequency Ratio, Statistical Index, and Weights-of-evidence Models and their Comparison in Landslide Susceptibility Mapping in Central Nepal Himalaya. *Arabian Journal of Geosciences*, 7(2), 725-742. DOI:10.1007/s12517-012-0807z.
- [39] Rivera Rivera, N.I., Gill, T.E., Bleiweiss, M.P., and Hand, J.L. (2010). Source characteristics of hazardous Chihuahuan Desert dust outbreaks. *Atmospheric Environmental*, 44, 2457–2468.
- [40] Roscovensky, J.K., and Liou, K.N. (2005). Differentiating airborne dust from cirrus clouds using MODIS data. *Geophysical Research Letters*, 32, L12809. Doi: 10. 1029/2005GL022798.
- [41] Sankey, J.B., Wallace, C.S.A., and Ravi, S. (2013). Phenology-based, remote sensing of post-burn disturbance windows in rangelands. *Ecological Indicators*, 30, 35–44.
- [42] Schepanski, K., Tegen, I., and Macke, a. (2012). Comparison of satellite based observations of Saharan dust source areas. *Remote Sensing of Environment*, 123(3), 90-97.
- [43] Shahabi, M., and Sadeden, A. (2010). Bayesian decision-making network to predict the effects of drought management measures on rainfed wheat land in Golestan province. *Proceedings of the 5th National Conference on Watershed Management*, 2nd and 3rd April 2009 in Gorgan, Iran.
- [44] Shoaee, Z. (2017). Exacerbation of dust storms The major environmental challenges of the last decade in West Asia and Iran, The first international conference on natural hazards and ecological crises in Iran, solutions and challenges, Ardabil, Kian Co. Knowledge plan. *Water Resources Research Center of Shahrekord University*, 1-10.
- [45] Tehrany, M.S., Pradhan, B., and Jebur, M.N. (2014). Flood Susceptibility Mapping Using a Novel Ensemble Weightsofevidence and Support Vector Machine Models in GIS. *Journal of hydrology*, 512, 332-343.
- [46] Tsolmon, R., Ochirkhuyag, L., and Sternberg, T. (2008). Monitoring the source of trans-national dust storms in north East Asia. *International Journal of Digital Earth*, 1, 119–129.
- [47] Vickery, K., and Eckardt, F. (2013). Dust emission controls on the lower Kuiseb River valley, Central Namib. *Aeolian Research*, 10(3), 125-133.

- [48] Wang, X., Xia, D., Wang, T., Xue, X., and Li, J. (2008). Dust sources in arid and semiarid China and southern Mongolia: impacts of geomorphological setting and surface materials. *Geomorphology*, 97, 583–600.
- [49] Warren, A., Chappell, A., Todd, M.C., Bristow, C., Drake, N., Engelstaedter, S., Martins, V., M'bainayel, S., and Washington, R. (2007). Dust-raising in the dustiest place on earth. *Geomorphology*, 92, 25–37.
- [50] Yesilnacar, E.K. (2005). The Application of Computational Intelligence to Landslide Susceptibility Mapping in Turkey. Ph.D. Thesis, Department of Geomatics the University of Melbourne, p. 423.
- [51] Zobeck, T., Baddock, M., Pelt, R., Tatarko, J., and Acosts-Martinez, V. (2013). Soil property effects on wind erosion of organic soils. *Aeolian Research*, 10, 43-51.