Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.26.35]

Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 9:25 +0430 on Wednesday June 24th 2020

مجله علمی‌پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان

سال نهم، شماره بیست‌وششم، بهار ۱۳۹۹، صفحه ۷۳ـ۸۶

بررسی کارایی شبکه‌های باور بیزین در ارزیابی شدت فرسایش بادی (مطالعهٔ موردی: استان اصفهان)

عبدالحسین بوعلی[۱]، علی محمدیان بهبهانی[۲*]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۶/۹ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵**

چکیده

فرسایش بادی یکی از پدیده‌هایی است که باعث چالشی جدی در برابر تولید پایدار و مدیریت اراضی کشاورزی از طریق هدررفت خاک و مواد غذایی آن می‌شود. این پژوهش با هدف پتانسیل‌سنجی شبکه‌های باور بیزین برای ارزیابی شدت فرسایش بادی در استان اصفهان به‌عنوان یکی از کانون‌های بحران ایران مرکزی است. در این پژوهش، ابتدا متغیرهای تأثیرگذار در شدت فرسایش بادی در منطقهٔ مورد مطالعه بر اساس مرور منابع و نظر کارشناسان شناسایی و سپس با استفاده از Bayesian Belief Networks (BBN)، متغیرهای انتخاب‌شده به یک مدل پیش‌بینی‌کننده و علت و معلولی تبدیل شدند. اطلاعات مربوط به متغیرهای ورودی مدل بیزین انتخاب‌شده شامل زمین‌شناسی، بافت خاک، توپوگرافی، مقدار بارش، درصد بادهای فرسایش‌زا و مدیریت اراضی به‌صورت نقشه در محیط GIS تهیه و وارد مدل شد. شدت فرسایش بادی بر اساس مدل طراحی‌شده به‌صورت تصادفی در ۲۰۰ نقطه در سطح محدودهٔ مطالعاتی اجرا شد. نتایج نشان داد مقدار فرسایش بادی در منطقه، بیشتر تحت‌تأثیر سرعت و وضعیت باد و متعاقب آن، فراوانی بادهای فرساینده و پوشش حفاظتی سطح زمین است. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، قسمت‌های مرکزی استان (شامل دشت سگزی) و نواحی شمال شرقی (شامل محور نائین‌ـ انارک و ریگ بلند کاشان) آسیب‌پذیرترین نقاط از نظر خطر فرسایش بادی محسوب می‌شوند. منحنی ROC مشخصهٔ عملکرد نسبی هر مدل است. مساحت زیر این منحنی AUC نام داشته و مدلی که بیشترین مقدار AUC را داشته باشد، عملکرد نسبی بالاتری دارد. مقدار ROC برای مدل شبکهٔ باور بیزین برابر ۰/۷۹ بوده که نشان از دقت قابل قبول مدل در پیش‌بینی سطوح تحت‌تأثیر فرسایش بادی است. این مطالعه نشان داد که ارائهٔ مدل شبکه‌های باور بیزین می‌تواند بررسی نتایج سناریوهای مختلف را تسهیل کرده و عدم قطعیت حاصل از تأثیر متغیرها بر یکدیگر را نمایش دهد.

کلیدواژه‌ها: شبکه‌های باور بیزین، فرسایش بادی، مدل‌سازی، آنالیز حساسیت، منحنی ROC.

۱. دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

۲. استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، نویسنده مسئول، mohammadian@gau.ac.ir

DOI: 10.22052/deej.2020.9.26.35

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.26.35]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 9:25 +0430 on Wednesday June 24th 2020

مقدمه

در حال حاضر، فرسایش خاک اعم از بادی و آبی از عمده‌ترین عوامل تخریب سرزمین در بخش وسیعی از جهان محسوب می‌شود. فرسایش بادی در مناطق خشک و نیمه‌خشک از جمله ایران، از نظر کمی و کیفی حائز اهمیت بسیار در تخریب اراضی است (چمن‌پیرا و همکاران، ۲۰۰۶). در همین راستا عدم استفادهٔ صحیح از حوزه‌های خشک و نیمه‌خشک و رشد بی‌رویهٔ جمعیت، پدیدهٔ خشک‌سالی و محدود بودن منابع در این مناطق، مهاجرت گسترده و بی‌رویهٔ انسان، باعث به‌هم‌خوردن تعادل اکولوژیک در بخش وسیعی از این مناطق شده است. این عوامل در نهایت منجر به تخریب سرزمین و کاهش توان بیولوژیکی و زوال اکوسیستم‌های طبیعی شده و این موضوع به‌همراه نابودی پوشش گیاهی باعث پدیده‌های تحت عنوان فرسایش بادی می‌شود که سالانه، سطوح وسیعی از کشور را در بر گرفته و باعث خسارات فراوان به اراضی کشاورزی، مناطق مسکونی شهری و روستایی، تأسیسات زیربنایی و اقتصادی از قبیل فرودگاه‌ها، راه‌آهن‌ها و مراکز نظامی شده و از نظر بهداشت با انتشار ذرات معلق به‌صورت گردوغبار سلامت جسمانی ساکنان این مناطق را نیز تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (جعفری و بخشنده‌مهر، ۲۰۱۳). شناخت معیارها و شاخص‌ها به‌منظور ارائهٔ یک مدل برای نشان دادن شدت فرسایش بادی و تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر آن جهت کنترل فرسایش بادی ضرورت دارد (مصباح‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰). همچنین در هر منطقه، بسته به اوضاع اقلیمی، خاک‌شناسی، ژئومرفولوژیکی و...، عوامل مختلفی در فرسایش بادی نقش دارند. برای پی بردن به نقش عوامل مؤثر بر فرسایش بادی و پتانسیل ایجاد آن، تحقیقات زیادی انجام شده که حاصل آن ارائهٔ مدل‌های مختلفی است. برآورد مقدار فرسایش بادی با استفاده از مدل‌های فیزیکی و فرایندمحور معادلهٔ فرسایش باد اصلاح شده[1] و سیستم پیش‌بینی فرسایش بادی در پاره‌ای از مناطق ایران[2] انجام شده است. ولی به‌طور کلی این مدل‌ها به‌دلیل وجود پارامترهای نسبتاً زیاد و نیاز به داده‌های متنوع، از خطای قابل توجهی برخوردار بوده و در بعضی موارد دقت آن‌ها در حدود ۶۰٪ مقادیر اندازه‌گیری‌شده یا واقعی است (مصباح زاده و همکاران، ۲۰۱۰). مدل‌های ارزیابی فرسایش بادی با استفاده از امتیازدهی به شاخص‌های مختلف به‌طور مشخص وضعیت فرسایش بادی را در یک کلاس (مناسب یا نامناسب) قرار می‌دهند، حال آنکه به‌دلیل پیچیدگی‌های مکانی و زمانی و تعدد عوامل مختلف مؤثر بر شرایط اکولوژیکی منطقه نمی‌توان با اعتماد کامل به نتایج به‌دست‌آمده نگاه کرد. مدیران اجرایی علاقه‌مند هستند که نتیجهٔ فعالیت‌هایشان را بر میزان و نحوهٔ فرسایش مورد ارزیابی قرار دهند و این بدین معنی است که یک مدیر نمی‌تواند با اعتماد بگوید که وضعیت فرسایش مناسب یا نامناسب است و اگر مدلی بتواند اطلاعاتی میزان احتمال مناسب و یا نامناسب بودن فرسایش ارائه کند، کارایی مناسب‌تری خواهد داشت. در سال‌های اخیر، سیستم‌های پشتیبانی تصمیم، برای جمع‌آوری و یکپارچه‌سازی بهترین اطلاعات موجود برای اتخاذ تصمیم‌گیری‌های مناسب در سطح وسیعی از علوم، گسترش یافته است؛ مدل شبکهٔ تصمیم‌گیری بیزین یکی از مدل‌هایی است که برای ایجاد انواع مختلف سیستم‌های تصمیم یار مورد استفاده قرار گرفته است. شبکه‌های بیزین در اواخر دههٔ ۱۹۸۰ با تحولات تئوری مدل‌های گرافیکی توسعه یافتند. استفاده از شبکه‌های بیزین نخستین بار در زمینهٔ تشخیص پزشکی انجام شد. استفاده از BBNs[3] در زمینهٔ مدل‌سازی محیط‌زیست و مشکلات مدیریت منابع طبیعی نیز در اوایل دههٔ ۱۹۹۰ با تحقیقات واریس (۱۹۹۷) آغاز شد. بنابراین استفاده از شبکه‌های باور بیزین می‌تواند به‌عنوان یک ابزار نسبتاً جدید در این زمینه، کارآمدی مناسبی داشته باشد و تا حدی عدم اطمینان‌های موجود در نتایج ارزیابی را به کاربران مدل نشان دهند (جانسون و همکاران[4]، ۲۰۱۰). شبکه‌های باور بیزین، روشی سودمند است که می‌تواند اطلاعات و داده‌های کمی را به‌خوبی با دانش کیفی کارشناسی تلفیق کند (بشری و همکاران، ۲۰۰۹؛ باران و همکاران، ۲۰۰۴) و به‌عنوان یک ابزار، برای تحلیل استراتژی‌های تصمیم‌گیری تحت شرایط عدم اطمینان توسعه داده شده است (لندایت[5] و همکاران، ۲۰۱۳).

1. Revised Wind Erosion Equation (RWEQ)
2. Wind Erosion Prediction System (WEPS)
3. Bayesian Belief Networks
4. Johnson
5. Lndayt

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.26.35]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 9:25 +0430 on Wednesday June 24th 2020

شبکه‌های باور بیزین مبتنی بر رویکردهای احتمالاتی در ارزیابی پدیده‌های مختلف است و تعدادی گره[1] دارد که نشان‌دهندهٔ متغیرهای موجود و مؤثر در سیستم هستند و یک سری هم لینک دارد که متغیرها را به‌صورت علی و معلولی به یکدیگر متصل می‌کنند. نحوهٔ تعامل این متغیرها در سیستم به‌وسیلهٔ لینک‌ها و جداول احتمال شرطی تعیین می‌گردد (مارکوت[2] و همکاران، ۲۰۰۱). حالت گرافیکی این مدل‌ها باعث می‌شود که کاربران بتوانند با نتایج آن‌ها ارتباط مناسبی برقرار کنند. از جمله مطالعاتی که در زمینهٔ فرسایش خاک با استفاده از شبکه‌های باور بیزی صورت گرفته، می‌توان به پژوهش آلدرز اشاره کرد که روش شبکه‌های باور بیزی را یک چارچوبی معرفی کرد که در آن سناریوهای مختلف از شرایط بیوفیزیک، اقتصادی و اجتماعی، آب‌وهوایی و مدیریت زمین را می‌توان برای بررسی و ارزیابی احتمال خطر فرسایش در نظر گرفت (آلدرز[3]، ۲۰۱۱). لندایت[4] و همکاران به بررسی شبکه‌های باور بیزین در مدل‌سازی خدمات اکوسیستم پرداخته و معتقد بودند که استفاده از شبکه‌های باور بیزین ترجیحاً هنگامی که دانش انسان‌ها بدون ساختار و یا صرفاً بر اساس روابط تجربی تشکیل شده باشد، بهتر است مورد استفاده قرار می‌گیرند. آنان در این مطالعه به توانایی‌های این مدل اشاره کرده و بیان کردند که هنوز تمام پتانسیل این مدل در مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی مورد بررسی قرار نگرفته و نیاز به مطالعات بیشتری در این زمینه است (لندایت و همکاران، ۲۰۱۳).

بوعلی و همکاران برای ارزیابی بیابان‌زایی دشت سگزی در استان اصفهان از شبکه‌های باور بیزین استفاده کردند. این مطالعه نشان داد که شبکه‌های باور بیزین قابلیت مناسبی در تعیین میزان شدت بیابان‌زایی مناطق مختلف داشته و می‌تواند عدم قطعیت در ارزیابی را به‌خوبی نشان داده و مدیران را در اخذ تصمیم‌های آگاهانه یاری کند. همچنین این مدل می‌تواند در جهت مدیریت منطبق‌شونده در اکوسیستم‌های شکنندهٔ مناطق خشک به‌مثابهٔ ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری استفاده شود (بوعلی و همکاران، ۲۰۱۸). مهاجرانی و همکاران برای مدیریت کمی آبخوان در دشت کردکوی در استان گلستان، از شبکه‌های باور بیزین استفاده کردند؛ نتایج نشان داد که استفاده از شبکه‌های تصمیم‌گیری بیزین در مدیریت بهره‌برداری از منابع آب زیرزمینی می‌تواند کمک شایانی به مدیران و برنامه‌ریزان به‌منظور برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آب نماید (مهاجرانی و همکاران، ۲۰۱۱). اگرچه کارایی این روش مدل‌سازی برای ایجاد انواع مختلف سیستم‌های پشتیبان تصمیم‌گیری اثبات شده است (آدریانسن[5] و همکاران، ۲۰۰۹) و در مدل‌سازی زمینه‌های مختلف علوم محیطی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (بارتون[6] و همکاران، ۲۰۱۶) مطالعاتی بسیار محدودی در زمینهٔ فرسایش و برآورد مناطق تحت خطر از لحاظ هدررفت خاک با تأکید بر استفاده از شبکه‌های باور بیزین وجود دارند (آلدرز، ۲۰۱۱). این مقاله، پتانسیل استفاده از شبکه‌های باور بیزین برای ایجاد یک مدل پیش‌بینی‌کننده با قابلیت نشان دادن عدم اطمینان در پیش‌بینی‌ها جهت ارزیابی فرسایش بادی را مورد بررسی قرار می‌دهد و همچنین تعیین مؤثرترین شاخص‌ها و معیارهای فرسایش بادی در استان اصفهان برای ارزیابی شدت فرسایش بادی با استفاده از شبکه‌های باور بیزین مورد ارزیابی قرار می‌گیرد تا بتوان با ایجاد یک مدل احتمالی، میزان عدم قطعیت در مطالعات پهنه‌بندی شدت فرسایش بادی نشان داده شود.

مواد و روش

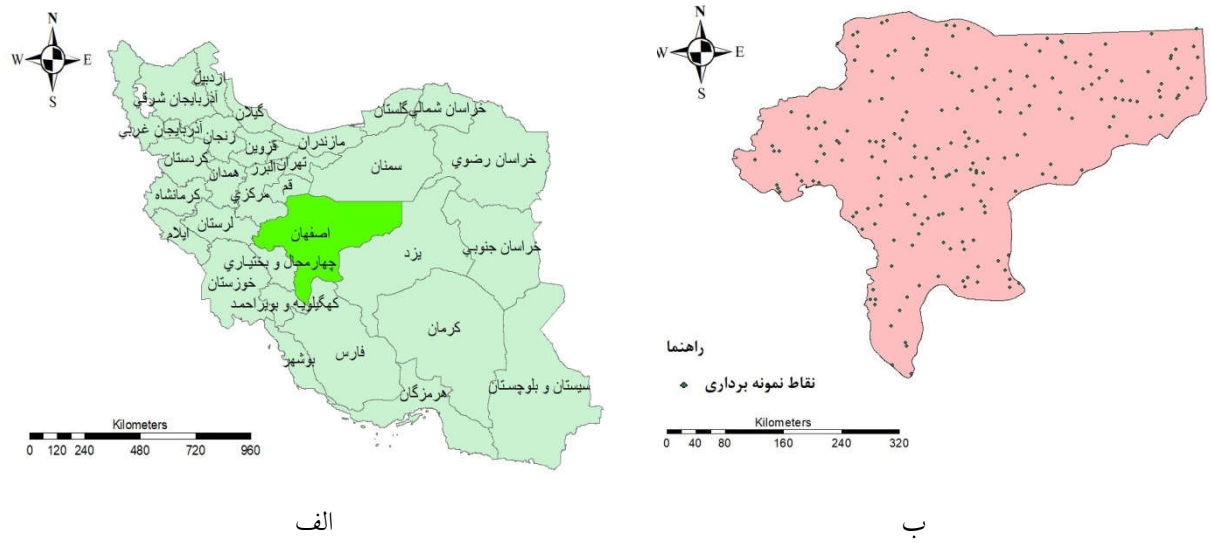
استان اصفهان با مساحت ۱۰۷/۰۴۵ کیلومترمربع در مرکز ایران و بین طول جغرافیایی ′۳۸ °۴۹ تا ″۳۲ ′۳۲ °۵۵ و عرض جغرافیایی ′۴۲ °۳۰ تا ″۳۴ ′۲۷ °۳۴ واقع شده است (شکل ۱). وضعیت آب‌وهوا در منطقهٔ مورد مطالعه همراه با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد است، به‌طوری که میانگین دمای حداکثر روزانه از ۳۵ درجهٔ سانتی‌گراد در تابستان تا حدود ۱۷ درجهٔ سانتی‌گراد در زمستان متغیر است و دمای متوسط روزانه از ۱۵ درجهٔ سانتی‌گراد در تابستان تا حدود ۵ درجهٔ سانتی‌گراد در فصل زمستان است. میانگین سالانهٔ میزان تبخیر ۲۵۰۰ میلی‌متر است. بارش سالانه در این منطقه، بسیار متغیر است.

1. Node
2. Marcot
3. Alders
4. Lndayt
5. Adriaenssen
6. Barton

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.26.35]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 9:25 +0430 on Wednesday June 24th 2020



الف ب

شکل (۱): الف. موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در ایران؛ ب. محدودهٔ مورد مطالعه و نقاط نمونه‌برداری (استان اصفهان)

Figure (1): a. The location of the case study in Iran; b. the case study and sampling points (Isfahan province)

ایجاد مدل‌های شبکه‌های باور بیزین

برای مدل‌سازی به‌کمک شبکه‌های باور بیزین، نخست می‌بایست مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار در مدل برای ارزیابی فرسایش بادی شناسایی شوند. در منطقهٔ مورد مطالعه با توجه به اطلاعات موجود، بررسی منابع جامع و شاخص‌های در نظر گرفته‌شده برای ارزیابی فرسایش بادی در مدل‌های مختلف، متغیرهای مؤثر در مدل BBN انتخاب شدند. در مرحلهٔ بعد با استفاده از نمودار اثر، روابط علی و معلولی بین این متغیرها مشخص شد. طراحی نمودار اثر، طی چندین مرحله طراحی و اصلاح، با استفاده از نظریات متخصصان و بررسی منابع صورت گرفت. سپس تعریف هر متغیر و حالات مختلف مربوط به هر متغیر با استفاده از منابع علمی منتشرشده تبیین و تعریف شد. در نهایت برای ایجاد مدل و تشکیل جداول احتمالات شرطی برای متغیرهای مدل، نمودار تأثیر با استفاده از نرم‌افزار Netica به یک BBN اولیه تبدیل شد. با انجام جلسات متعدد با کارشناسان اجرایی و متخصصان دانشگاهی و استفاده از نرم‌افزار محاسبه‌گر احتمالات شرطی (CPT Calculator) جداول احتمالات شرطی مدل تکمیل شد (مارکوت و همکاران، ۲۰۰۱).

در این مطالعه با انجام تجزیه و تحلیل حساسیت و بررسی نتایج توسط متخصصان و همچنین مقایسهٔ نقشهٔ به‌دست‌آمده از مدل بیزین با نقشهٔ کانون‌های فرسایش بادی استان، مدل شبکهٔ باور بیزین اعتبارسنجی شد. اطلاعات حاصل از تجزیه و تحلیل حساسیت، به‌منظور تعیین متغیرهای ورودی که بیشترین اثر را بر خروجی مدل و عدم قطعیت آن دارند استفاده می‌شود. در این مطالعه، حساسیت‌سنجی مدل شبکهٔ باور بیزین به شکل جزءبه‌جزء (گره‌های میانی مدل) با استفاده از روش کاهش آنتروپی[1] انجام گرفت (رابطهٔ ۱) (مارکوت و همکاران، ۲۰۰۱).

$$I = \mathrm{H}(\mathrm{Q}) - \mathrm{H}(\mathrm{Q}|\mathrm{F}) = \sum f \sum q \frac{p\,(q,f)\log 2\,[\mathrm{P}(\mathrm{q},\mathrm{f})]}{P\,(q)\,p(f)} \qquad (۱)$$

در این رابطه، I کاهش قابل انتظار اطلاعات متغیر Q در اثر، تأثیرپذیری از متغیر F می‌باشد. بر این اساس H(Q)، بی‌نظمی متغیر Q، مستقل از سایر متغیرها و H(Q|F)، بی‌نظمی متغیر Q در شرایطی است که تحت‌تأثیر متغیر F قرار دارد. همچنین در این رابطه، q حالت متغیر Q بوده و f حالت متغیر F است. به‌طور کلی، در مدل متغیرهایی که تحت‌تأثیر متغیرهای دیگر قرار می‌گیرند، به‌عنوان متغیر وابسته و متغیرهایی که هیچ لینکی به آن‌ها متصل نیست، به‌عنوان متغیرهای مستقل شناخته می‌شوند.

تهیهٔ لایه‌های اطلاعاتی (ورودی‌های مدل)

پس از طراحی مدل و تعیین ارتباط بین متغیرها (نمودار اثر) متغیرهایی که تحت‌تأثیر متغیرهای دیگر قرار نمی‌گیرند و هیچ لینکی به آن‌ها متصل نیست، در بالاترین سطح مدل قرار گرفته و به‌عنوان ورودی‌های مدل شناخته می‌شوند و می‌بایست اطلاعات این متغیرها از منطقهٔ مورد مطالعه برداشت و وارد

1. Antropy reduction

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.26.35]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 9:25 +0430 on Wednesday June 24th 2020

مدل شوند. متغیرهای زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، کاربری اراضی، بافت خاک، مقدار بارش، توپوگرافی منطقه و درصد فراوانی سرعت بادهای فرسایش‌زا به‌عنوان متغیر ورودی مدل شناخته شدند. نقشهٔ زمین‌شناسی استان اصفهان از نقشهٔ زمین‌شناسی ایران در محیط نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی[1] جدا شده و مورد استفاده قرار گرفت. برای به‌دست‌آوردن اطلاعات مربوط به مدیریت اراضی در سطح استان اصفهان از تغییرات نقشهٔ کاربری اراضی استان در سال ۱۳۸۵ و ۱۳۹۵ استفاده شد. نقشهٔ بافت خاک از لایهٔ بافت خاک ایران تهیه شد. لایهٔ مورد نیاز خاک وارد نرم‌افزار GIS شد و به‌اندازهٔ محدودهٔ مورد مطالعه، برش داده شد. مقدار بارش و فراوانی سرعت باد فرسایش‌زا در بازهٔ زمانی ۱۰ ساله در ۱۵ ایستگاه مورد بررسی قرار گرفت و نتایج با استفاده از روش‌های میان‌یابی به کل استان تعمیم داده شد. از فرایند میان‌یابی به روش‌های کریجینگ[2] و معکوس فاصلهٔ وزنی[3] استفاده شد. دقت روش‌های مذکور نیز با استفاده از مقادیر میانگین خطا[4]، ریشهٔ خطای مجذور میانگین[5] و فناوری‌های اعتبار متقاطع مثل خطای قدر مطلق میانگین[6] مقایسه شد و در نهایت برای تولید نقشهٔ هر شاخص، از روشی استفاده شد که کمترین میزان خطا را داشت (امیریخواه و همکاران، ۲۰۰۷). برای تهیهٔ نقشه‌هایی با دقت مناسب، با استفاده از توابع ME، RMSE و MAE چگونگی اعتبار روش‌های کریجینگ و معکوس فاصلهٔ وزنی بررسی شد. بر اساس تابع ME، روشی بالاترین میزان دقت را دارد که مقدار ME آن به مقدار صفر نزدیک باشد (همان). همچنین نقشهٔ تهیه‌شده با روشی که کمترین میزان RMSE و MAE را دارد، دقت بالاتری خواهد داشت (همان). بر این اساس، نقشهٔ مقدار بارش از طریق روش میان‌یابی کریجینگ و فراوانی سرعت باد فرسایش‌زا به روش IDW تهیه شده است. با استفاده از نقشهٔ مدل رقومی ارتفاع[7] ایران، توپوگرافی استان اصفهان شامل کوهستان، دشت سر و پلایا مشخص شد. به‌طور کلی، دو نوع متغیر در مدل شبکه‌های باور بیزین وجود دارد. متغیرهای ورودی که پس از رسم نمودار اثر، تحت‌تأثیر متغیرهای دیگر قرار نمی‌گیرند و در بالاترین سطح مدل قرار دارند؛ همچنین متغیرهای اصلی که در سطح پایین مدل قرار گرفته و نتایج عملکرد آن‌ها از طریق تکمیل جداول احتمالات شرطی (این جداول توسط کارشناسان و نرم‌افزار محاسبه‌گر احتمالات شرطی تکمیل گردید) بررسی می‌شود. متغیرهای رطوبت خاک، پوشش گیاهی، سرعت و وضعیت باد، پوشش حفاظتی سطح زمین، وضعیت خاک منطقه و فرسایش بادی به‌عنوان متغیرهای اصلی مدل شناخته شده و جداول احتمالات شرطی آن‌ها بر اساس نظر کارشناسان و متخصصان تکمیل گردیده است. در نهایت مدل طراحی‌شده به‌صورت تصادفی در ۲۰۰ نقطه در سطح محدودهٔ مطالعاتی (استان اصفهان) جهت برآورد شدت فرسایش بادی اجرا شد.

ارزیابی کارایی مدل‌ها

منحنی ROC[8] مشخصهٔ عملکرد نسبی هر مدل است. منحنی ROC نموداری است که در آن، نسبت پیکسل‌هایی که به‌اشتباه توسط مدل به‌عنوان مناطق فرسایش بادی زیاد شناسایی شده و در واقعیت فاقد فرسایش بادی بوده‌اند، روی محور افقی (مثبت غلط[9] یا Specificity) و در برابر مقدار مکمل آن یعنی نسبت پیکسل‌هایی که به‌درستی توسط مدل تحت عنوان دارای فرسایش بادی شناسایی شده‌اند (مثبت درست[10] یا Sensitivity) روی محور عمودی ترسیم می‌گردد. این منحنی در نرم‌افزار PMT محاسبه و ترسیم شد. مساحت زیر این منحنی AUC[11] نام داشته و مدلی که بیشترین مقدار AUC را دارا باشد، عملکرد نسبی بالاتری دارد. AUC برابر با ۰/۵ معادل مدل خنثی (نتایج ناشی از شانس) بوده و هرچه این مقدار به یک نزدیک‌تر شود، کارایی مدل افزایش می‌یابد (پونتیوس و اشنایدر[12]، ۲۰۰۱).

1. Geographical Information System (GIS)
2. Kriging
3. Inverse Distance Square Weighted
4. Mean Error
5. Root Mean Square Error
6. Mean Absolute Error
7. Digital elevation model (DEM)
8. Receiver Operating Characteristic
9. False positive
10. True positive
11. Area Under the Curve
12. Pontius and Schneider

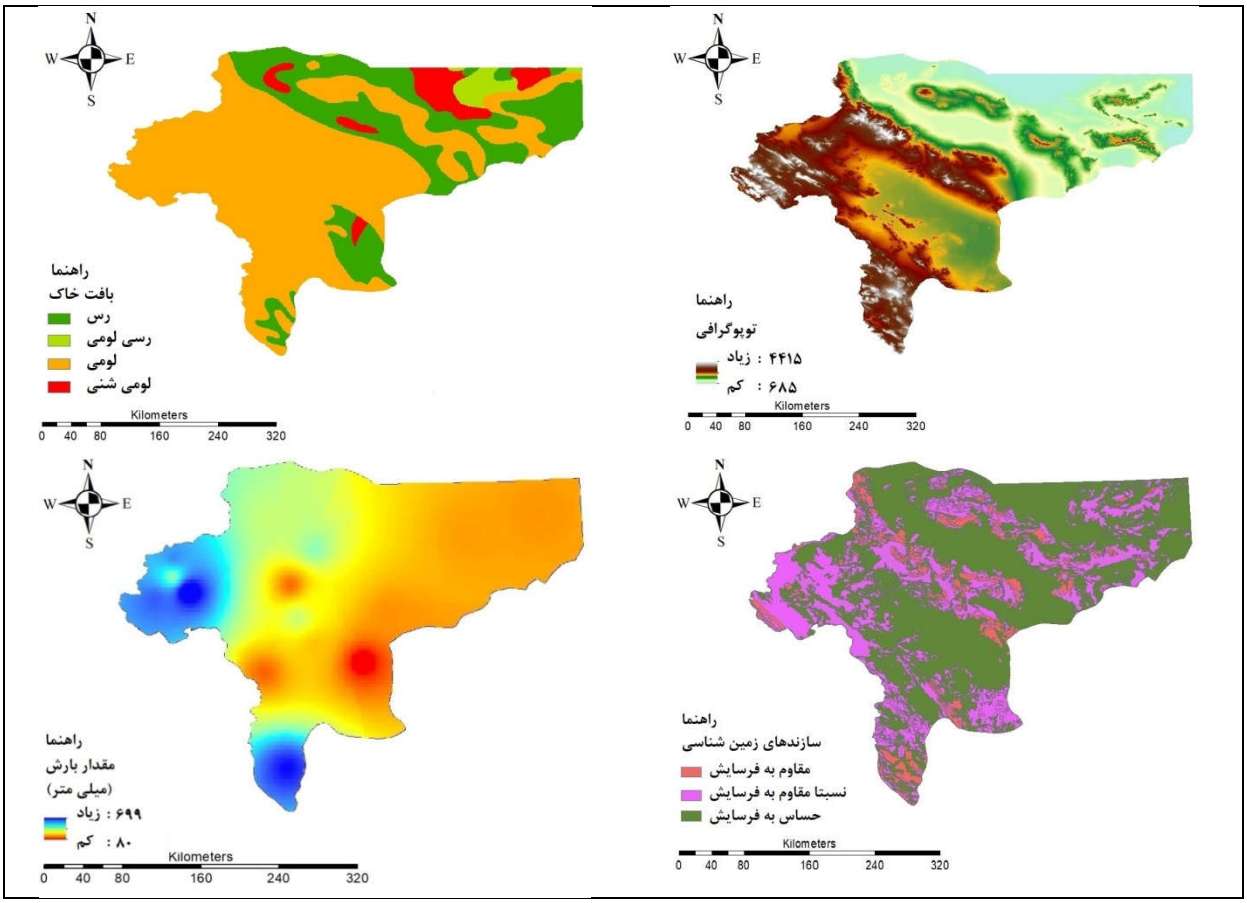
www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.26.35]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 9:25 +0430 on Wednesday June 24th 2020

نتایج

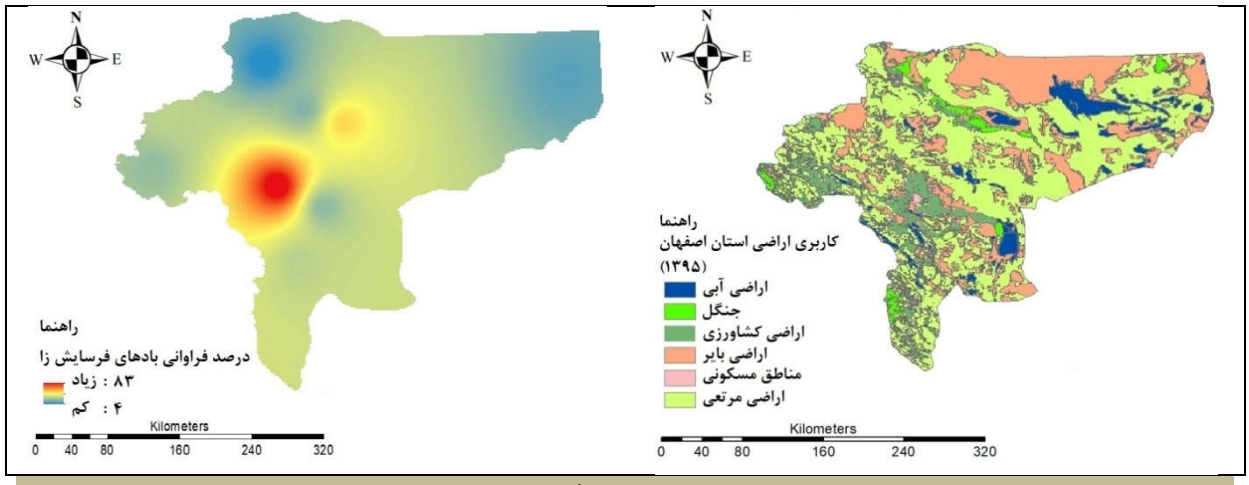
شکل (۲) نقشه‌های ورودی مدل فرسایش بادی در استان اصفهان را نشان می‌دهد. نقشهٔ زمین‌شناسی استان اصفهان از نظر حساسیت به فرسایش بادی در سه کلاس قرار گرفته که به‌ترتیب مساحت سازندهای حساس به فرسایش بادی، نسبتاً مقاوم به فرسایش و مقاوم به فرسایش ۸۳۷۵، ۳۴۲۷۹ و ۶۴۱۳۴ کیلومترمربع است. نتایج نشان می‌دهد که نزدیک به دوسوم سازندهای زمین‌شناسی استان اصفهان از نظر حساسیت به فرسایش در کلاس مقاوم به فرسایش قرار می‌گیرند. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از نقشهٔ بافت خاک بیشتر مساحت استان اصفهان (غرب استان) دارای بافت لومی (۷۰/۳۰ کیلومترمربع) و در نتیجه مستعد برای فرسایش بادی می‌باشد. پهنه‌بندی رژیم باد در استان نشان می‌دهد که بادهای شدید اغلب در نواحی بیابانی و دشتی می‌وزند که به‌نظر، یکی از علل اصلی فرسایندگی اراضی در استان است. بر اساس داده‌های ۱۰ سالهٔ ایستگاه سینوپتیک میانگین سرعت باد در مرکز استان، ۲ متر بر ثانیه است. نقشهٔ توپوگرافی استان نشان می‌دهد که از غرب به شرق، مساحت اراضی کوهستانی کمتر و مساحت اراضی دشتی و پلایاها بیشتر شده در نتیجه احتمال خطر فرسایش بادی نیز افزایش می‌یابد. از شمال غرب به جنوب شرق از میزان بارش کاسته می‌شود. این منطقه عمدتاً شامل شهرستان‌های نایین، خور و بیابانک و انارک تا شمال اردستان را در بر می‌گیرد. در غرب و جنوب غرب استان به نسبت افزایش ارتفاع میزان بارش افزایش می‌یابد. به‌طور کلی، متوسط بارندگی سالیانه در استان ۱۶۷ میلی‌متر است درحالی‌که متوسط بارندگی در سایر نقاط ایران حدود ۲۸۰ میلی‌متر می‌باشد.



www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.26.35]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 9:25 +0430 on Wednesday June 24th 2020



شکل (۲): نقشهٔ ورودی‌های مدل شبکه‌های بیزین به‌ترتیب الف. نقشهٔ توپوگرافی، ب. نقشهٔ بافت خاک، پ. نقشهٔ کاربری اراضی (۱۳۹۵)، ت. نقشهٔ مقدار بارندگی، ج. نقشهٔ حساسیت سازندهای زمین‌شناسی به فرسایش، ح. نقشهٔ درصد فراوانی بادهای فرسایش‌زا

Figure (2): Bayesian network model input maps, respectively, a. Topographic map, B. Soil texture map, P. Land use map (2016), D. Rainfall map , J. Map of the sensitivity of geological formations to erosion, H. Map of the frequency percentage of erosive winds

با استفاده از مدل نهایی شبکهٔ باور بیزین، متغیرهای مؤثر بر شدت فرسایش بادی در استان اصفهان شناسایی و روابط علی و معلولی آن‌ها نشان داده شده است (شکل ۳). متغیر هدف در این مدل، متغیر میزان فرسایش بادی است. بر اساس این مدل در صورتی که مقدار بارش بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر و بافت خاک در بهترین کلاس قرار گرفته باشد، به‌احتمال ۷۰٪ رطوبت خاک در این واحد زیاد است (جدول ۱). همچنین نتایج نشان داد وضعیت خاک منطقه متأثر از مدیریت اراضی، پوشش گیاهی و رطوبت خاک است. مهم‌ترین متغیرهایی که درصد پوشش گیاهی منطقه را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند، شامل مدیریت اراضی و رطوبت خاک است و به‌طور کلی، متغیرهای وضعیت خاک، درصد پوشش گیاهی و توپوگرافی منطقه، بیشترین نقش را در تعیین وضعیت پوشش حفاظتی سطح زمین داشته‌اند. متغیرهای توپوگرافی و فراوانی سرعت باد فرسایش‌زا تعیین‌کنندهٔ سرعت و وضعیت باد در منطقهٔ مورد مطالعه بودند. در نهایت، متغیرهای پوشش حفاظتی سطح زمین و سرعت و وضعیت باد، به‌طور مستقیم تعیین‌کنندهٔ مقدار فرسایش بادی در منطقهٔ مورد مطالعه خواهند بود.

جدول (۱): احتمالات شرطی مربوط به گره رطوبت خاک در مدل فرسایش بادی

سطر پررنگ‌شده مربوط به سناریو واحد کاری شمارهٔ ۱ می‌باشد.

Table (1): Conditional probabilities related to soil moisture node in wind erosion model. The highlighted line corresponds to scenario work unit No. 1.

بافت خاک	مقدار بارش	زیاد	متوسط	کم
SL, SCL, L, CL, LS	۳۰۰>	۹۰	۱۰	۰
SL, SCL, L, CL, LS	**۱۵۰_۳۰۰**	**۷۰**	**۲۰**	**۱۰**
SL, SCL, L, CL, LS	۳۰۰<	۵۰	۲۰	۳۰
SiL, SC, SiCL	۳۰۰>	۶۰	۲۰	۲۰
SiL, SC, SiCL	۱۵۰_۳۰۰	۵۵	۱۵	۳۰
SiL, SC, SiCL	۳۰۰<	۵۰	۳۰	۲۰
SiC, C, Si	۳۰۰>	۴۰	۳۰	۳۰
SiC, C, Si	۱۵۰_۳۰۰	۳۵	۳۰	۳۵
SiC, C, Si	۳۰۰<	۳۰	۲۰	۵۰
S	۳۰۰>	۳۰	۱۰	۶۰
S	۱۵۰_۳۰۰	۲۰	۱۰	۷۰
S	۳۰۰<	۰	۱۰	۹۰

www.SID.ir

Archive of SID

جدول (۲) نیز اطلاعات مربوط به هریک از پارامترهای ورودی مدل فرسایش بادی در ۲۰ موقعیت از استان اصفهان را برای نمونه نشان می‌دهد. مشخصات محیطی موقعیت شمارهٔ یک به‌عنوان نمونه در مدل وارد و اجرا شده است (شکل ۳). طبق این مدل، در صورتی که بافت خاک در کلاس یک و میزان بارش بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر باشد، رطوبت خاک به‌احتمال ۷۰٪ در این موقعیت زیاد خواهد بود. با توجه به شرایط رطوبت خاک در این نقطه، اگر سازندهای زمین‌شناسی نسبت به فرسایش حساس باشند و مدیریت اراضی نیز در کلاس نسبتاً مناسب قرار گیرد، وضعیت خاک منطقه به‌احتمال ۵۶٪ مناسب خواهد بود. با توجه به مدیریت مناسب و رطوبت بالای خاک در این موقعیت، درصد پوشش گیاهی نیز به‌احتمال زیاد بالای ۵۰٪ خواهد بود. با توجه به قرار گرفتن این موقعیت در واحد پلایا و مناسب بودن وضعیت خاک و فراوانی پوشش گیاهی، متغیر پوشش حفاظتی زمین به احتمال ۶۷٪ در کلاس مناسب قرار می‌گیرد. در نهایت با توجه به خروجی مدل مقدار فرسایش بادی در این موقعیت به‌احتمال ۳۳٪ کم، ۱۱٪ متوسط و ۵۴٪ زیاد پیش‌بینی شده است.

جدول (۲): متغیرهای ورودی و نتایج مدل شبکه‌های باور بیزین (استان اصفهان)

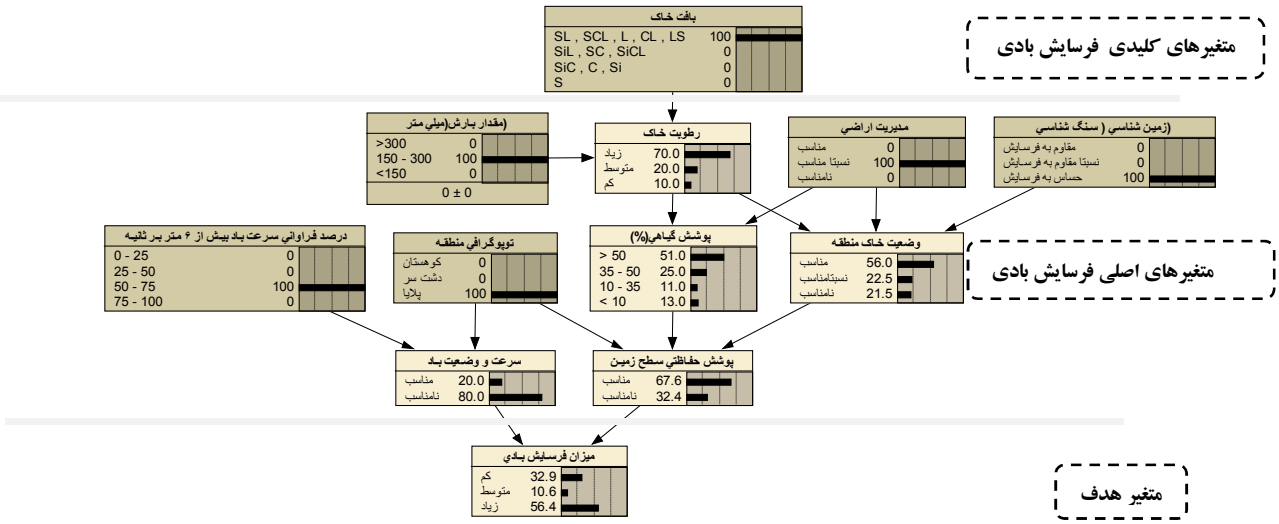
Table (2): Input variables and results of Bayesian belief network model (Isfahan province)

نقاط نمونه‌برداری	بافت خاک	حساسیت سازندهای زمین‌شناسی و رخساره‌های ژئومورفولوژی	تغییر کاربری	میزان بارش	شاخص باد	توپوگرافی منطقه	پیش‌بینی فرسایش بادی در هر نقطه با استفاده از شبکه‌های باور بیزین (٪)		
							کم	متوسط	زیاد
۱	Loam	زیاد	متوسط	۳۰۰ ـ ۱۵۰	۷۵ ـ ۵۰	پلایا	۳۲/۹	۱۰/۶	۵۶/۴
۲	Loam	کم	نامناسب	۳۰۰ ـ ۱۵۰	۵۰ ـ ۲۵	دشت سر	۴۹	۱۳	۳۸
۳	Loam sand	زیاد	نامناسب	۳۰۰ ـ ۱۵۰	۵۰ ـ ۲۵	پلایا	۴۳/۸	۱۳/۲	۴۳
۴	Loam	کم	متوسط	۳۰۰<	۲۵ ـ ۰	دشت سر	۶۹/۵	۱۱/۸	۱۸/۷
۵	Loam	زیاد	متوسط	۳۰۰ ـ ۱۵۰	۵۰ ـ ۲۵	دشت سر	۵۶/۲	۱۱/۵	۳۲/۳
۶	Clay	زیاد	نامناسب	۳۰۰<	۲۵ ـ ۰	پلایا	۵۱/۴	۱۴/۹	۳۳/۷
۷	Clay	زیاد	نامناسب	۳۰۰<	۵۰ ـ ۲۵	پلایا	۴۱/۳	۱۳/۷	۴۵
۸	Loam	متوسط	متوسط	۳۰۰ ـ ۱۵۰	۵۰ ـ ۲۵	پلایا	۵۲/۱	۱۱/۶	۳۶/۳
۹	Loam	زیاد	متوسط	۳۰۰ ـ ۱۵۰	۵۰ ـ ۲۵	کوهستان	۶۰	۱۱/۵	۲۸/۵
۱۰	Loam	متوسط	متوسط	۳۰۰<	۲۵ ـ ۰	دشت سر	۶۹/۴	۱۱/۹	۱۸/۷
۱۱	Clay	زیاد	متوسط	۳۰۰ ـ ۱۵۰	۲۵ ـ ۰	دشت سر	۶۷/۲	۱۲/۶	۲۰/۲
۱۲	Loam	متوسط	مناسب	۳۰۰<	۵۰ ـ ۲۵	دشت سر	۵۹/۸	۱۰/۷	۲۹/۴
۱۳	Loam	متوسط	متوسط	۳۰۰ ـ ۱۵۰	۵۰ ـ ۲۵	دشت سر	۵۶/۴	۱۱/۵	۳۲/۱
۱۴	Loam	زیاد	متوسط	۳۰۰ ـ ۱۵۰	۵۰ ـ ۲۵	پلایا	۵۱/۹	۱۱/۶	۳۶/۵
۱۵	Loam	متوسط	مناسب	۳۰۰<	۵۰ ـ ۲۵	کوهستان	۶۴/۵	۱۰/۲	۲۵/۴
۱۶	Loam	زیاد	متوسط	۳۰۰<	۵۰ ـ ۲۵	پلایا	۵۲/۷	۱۱/۵	۳۵/۸
۱۷	Loam	متوسط	متوسط	۳۰۰<	۲۵ ـ ۰	دشت سر	۶۹/۴	۱۱/۹	۱۳/۷
۱۸	clay	زیاد	نامناسب	۳۰۰ ـ ۱۵۰	۵۰ ـ ۲۵	پلایا	۴۰/۸	۱۳/۸	۴۵/۴
۱۹	Loam sand	زیاد	نامناسب	۳۰۰ ـ ۱۵۰	۵۰ ـ ۲۵	پلایا	۴۳/۸	۱۳/۲	۴۳
۲۰	clay	زیاد	متوسط	۳۰۰<	۲۵ ـ ۰	دشت سر	۶۷/۵	۱۲/۴	۲۰

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.26.35]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 9:25 +0430 on Wednesday June 24th 2020
www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.26.35]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 9:25 +0430 on Wednesday June 24th 2020



شکل (۳): مدل شبکه‌های باور بیزین ارائه‌شده برای ارزیابی فرسایش بادی در موقعیت شمارهٔ یک

Figure (3):The Bayesian belief network model provided to assessment wind erosion in position number one

جدول (۳): نتایج حساسیت‌سنجی مدل فرسایش بادی به متغیرهای مختلف در مدل بیزین

Table (3): Sensitivity results of wind erosion model to different variables in Bayesian model

متغیر	کاهش بی‌نظمی
سرعت و وضعیت باد	۰/۴۳۳۶
فراوانی سرعت باد بیش از ۶ متر بر ثانیه	۰/۰۹۱۱
پوشش حفاظتی سطح زمین	۰/۰۴۴۶
شکل اراضی و پستی و بلندی	۰/۰۱۴۳
پوشش گیاهی	۰/۰۱۸۳
مقدار بارش	۰/۰۱۲۹
مدیریت اراضی	۰/۰۰۷۲
وضعیت خاک منطقه	۰/۰۰۶۰
رطوبت خاک	۰/۰۰۱۵
بافت خاک	۰/۰۰۰۵
زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی	۰/۰۰۳
توپوگرافی منطقه	۰/۰۰۰۱

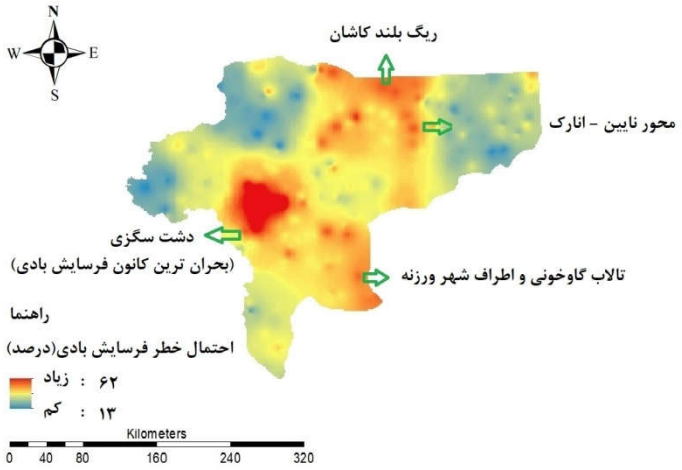
جدول (۳) نتایج حساسیت‌سنجی مدل فرسایش بادی در منطقهٔ مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد مقدار فرسایش بادی در منطقه بیشتر تحت‌تأثیر سرعت و وضعیت باد و متعاقب آن، فراوانی سرعت باد بیش از ۶ متر بر ثانیه و پوشش حفاظتی سطح زمین است. متغیرهایی که کمترین تأثیر را بر میزان فرسایش بادی منطقه داشتند، به‌ترتیب شامل بافت خاک، زمین‌شناسی و توپوگرافی منطقه است.

مناطق حساس به فرسایش بادی به‌وسعت یک میلیون و ۹۲ هزار هکتار در استان اصفهان در قالب ۱۶ کانون فرسایش بادی شناسایی شده است (جعفری و بخشنده‌مهر، ۲۰۱۳). که مناطق تالاب گاوخونی، دشت سگزی، ریگ بلند کاشان و محور نائین ـ انارک از جمله این کانون‌ها هستند. دشت سگزی به‌وسعت ۳۵ هزار هکتار و محور نایین به انارک به‌وسعت ۶۷ هزار هکتار، به‌ترتیب بحرانی‌ترین این کانون‌ها هستند. شکل (۴) نقشهٔ احتمال خطر فرسایش بادی در استان اصفهان را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، قسمت‌های مرکزی استان و نواحی شمال شرقی آسیب‌پذیرترین نقاط از نظر فرسایش بادی هستند. مقایسهٔ نقشهٔ به‌دست‌آمده از مدل شبکهٔ باور بیزین با کانون‌های بحرانی فرسایش بادی در استان اصفهان نشان‌دهندهٔ صحت نتایج به‌دست‌آمده است.

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.26.35]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 9:25 +0430 on Wednesday June 24th 2020

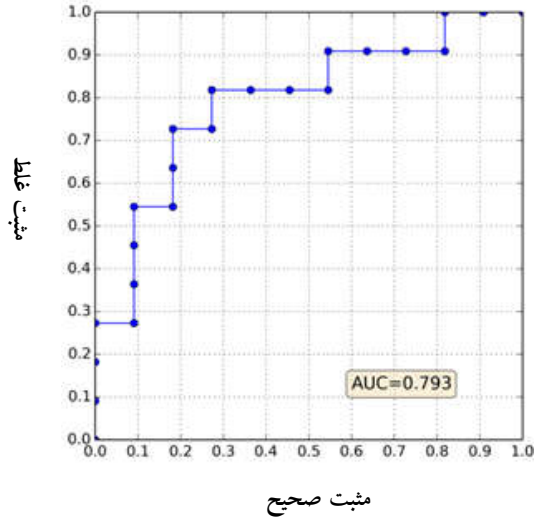


شکل (۴): نقشهٔ احتمال خطر فرسایش بادی و موقعیت کانون‌های بحرانی فرسایش بادی در استان اصفهان

Figure (4): hazard probability Map of wind erosion and the location of wind erosion critical hotspots in Isfahan province

ارزیابی کارایی مدل‌ها

دقت قابل قبول مدل در نتیجهٔ مقدار بالای پارامتر مثبت صحیح و مقدار پایین پارامتر مثبت غلط حاصل شده است که خود بیانگر قدرت بالای مدل در تشخیص الگوهای حضور و عدم حضور و تفکیک مکانی بالاست. همچنین مقدار بالای پارامتر مثبت غلط در پروسهٔ مدل‌سازی سبب ایجاد خطای نوع یک می‌شود. برای مثال بخشی از منطقه که در واقعیت فاقد فرسایش بادی بوده، به‌اشتباه توسط مدل به‌عنوان خطر فرسایش بادی در نظر گرفته شده (خطای نوع یک در فرایند مدل‌سازی) و خسارات اقتصادی قابل توجهی را به بار خواهد آورد. لذا مقادیر پایین پارامتر مثبت غلط برای مدل استفاده‌شده سبب کاهش خطای نوع یک می‌شد. مساحت زیرمنحنی ROC برای مدل شبکهٔ باور بیزین برابر ۰/۷۹ بوده که نشان از دقت قابل قبول مدل است (شکل ۵). اما به‌طور کلی، نتایج مدل هیچگاه با قطعیت همراه نیست؛ زیرا نتایج تحت‌تأثیر خطای نمونه‌گیری (۲۰۰ نقطهٔ انتخابی در استان اصفهان) قرار دارد که ناشی از انتخاب بخشی از جامعه به‌جای کل جامعه است.



شکل (۵): منحنی مشخصهٔ عملکرد نسبی در گام‌های ارزشیابی مدل شبکه‌های باور بیزین

Figure (5): Receiver Operating Characteristic curve in steps evaluation of Bayesian Belief Networks model

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، به‌منظور ارزیابی فرسایش بادی در استان اصفهان از روش شبکه‌های باور بیزین استفاده شد. نتایج حساسیت‌سنجی در روش شبکه‌های باور بیزین نشان داد که مهم‌ترین عوامل در تشدید فرسایش بادی در استان اصفهان، سرعت و وضعیت باد، سرعت باد بیش از ۶ متر بر ثانیه و پوشش حفاظتی سطح زمین است. با بررسی سرعت و وضعیت باد مشخص شد بادهایی که در استان اصفهان می‌وزند، عمدتاً بادهای غربی و جنوب غربی هستند. وزش

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.26.35]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 9:25 +0430 on Wednesday June 24th 2020

بادهای جنوب غربی زمان خاصی ندارد و این بادها در اغلب ایام سال می‌وزند. اما بادهای غربی معمولاً از اوایل شهریور تا اواسط مهر می‌وزند. سرعت باد و وضعیت رژیم بادناکی در سطح منطقه می‌تواند در بررسی فرسایش بادی نقش بسزایی داشته باشد و با استفاده از آن می‌توان میزان پتانسیل حمل ماسه و جهت حمل ماسه را برآورد کرد.

میزان فرسایندگی باد در زمان‌هایی که خاک سطحی خشک است بسیار بیشتر از زمانی است که سطح خاک و خاکدانه‌ها مرطوب‌اند (مصباح‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰). در فصول خشک، ذرات چسبندگی لازم برای مقاومت در برابر جابه‌جایی را نداشته و به‌آسانی جابه‌جا می‌شوند. بیشتر بارندگی سالانه در منطقه، در فصول سرد سال اتفاق می‌افتد و بادهای شدید و فرساینده نیز در فصول گرم سال که زمین خشک و بدون پوشش بوده، شروع به وزیدن می‌کند و این یکی از مهم‌ترین عوامل در تولید فرسایش بادی در استان اصفهان است. در نواحی مرکزی و شرقی استان اصفهان، ۸ شهرستان بیابانی شامل کاشان، آران و بیدگل، اصفهان، نطنز، اردستان، خور و بیابانک، نائین و برخوار قرار دارد که ۱۶ کانون فرسایش بادی را در خود جای داده است. برآورد خسارت حاصل از فرسایش بادی و ایجاد گردوغبار در این مناطق (۱۶ کانون بحرانی)، معادل ۳۹۰ میلیارد ریال در طول یک سال می‌باشد که به منابع زیستی و اقتصادی وارد می‌شود (جعفری و بخشنده‌مهر، ۲۰۱۳). کنترل فرسایش بادی در کانون‌های بحرانی استان، جزء برنامه‌های اصلی بیابان‌زایی محسوب می‌شود. شناسایی کانون‌های بحرانی فرسایش بادی و تعیین نوع عملیات کنترل فرسایش بادی از مهم‌ترین اقدامات برای موفقیت در اجرای این برنامه‌هاست. بر این اساس، انجام تحقیقاتی همچون تحقیق حاضر، برای شناسایی کانون‌های بحرانی فرسایش بادی لازم و ضروری است. نقشهٔ فرسایش بادی به‌دست‌آمده از مدل شبکهٔ باور بیزین در این مطالعه نشان داد که بحرانی‌ترین کانون فرسایش بادی در نواحی مرکزی استان در دشت سگزی است. بهره‌برداری بی‌رویه از معادن، افت آب زیرزمینی و آبیاری با آب شور، از جمله مهم‌ترین عومل بیابان‌زایی و به‌تبع آن، افزایش فرسایش بادی در دشت سگزی اصفهان است (بوعلی و همکاران، ۲۰۱۸). مدیریت اراضی در دشت سگزی، مهم‌ترین عامل جلوگیری از افزایش هرچه بیشتر فرسایش بادی می‌شود. برای مثال، جلوگیری از به‌هم‌خوردن سطح خاک و به‌خصوص ممانعت از برداشت معادن گچ در منطقه، از اولویت خاصی برخوردار است. با برداشت معادن سطحی نظیر معادن گچ و رس و با از بین رفتن پوشش گیاهی و سنگریزه‌های سطح خاک، پوشش حفاظت خاکی از بین می‌رود و سطح خاک را مستعد فرسایش می‌کند. ایجاد پوشش گیاهی سازگار با شرایط محیطی منطقه نظیر تاغ[1] و قره‌داغ[2] با استفاده از پساب از جمله راهکارهایی است که می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

بسیاری از موارد بوم‌شناختی و مدیریتی وجود دارند که بر میزان فرسایش مناطق تأثیر می‌گذارند و مدل‌ها نمی‌توانند همهٔ این موارد را به‌دقت ارزیابی کنند. یکی از نقاط ضعف اکثر مدل‌های ارزیابی فرسایش اعم از آبی و بادی، نظیر مدل IRIFR این است که نتایج را به شکل قطعی نشان داده و نوع کلاس فرسایش و یا تخمینی از میزان رسوب را ارائه می‌دهند؛ حال آنکه به‌دلیل تغییرپذیری عوامل محیطی و ناهمگونی ساختاری بسیار بالای مناطق خشک و نیمه‌خشک نمی‌توان با اطمینان دربارهٔ شدت فرسایش بادی در این مناطق قضاوت کرد (چمن پیرا و همکاران، ۲۰۰۶). این مطالعه نشان داد که مدل‌سازی به روش شبکه‌های باور بیزین، رویکردی مناسب برای مطالعه و ارزیابی فرسایش بادی است که توانایی نشان دادن عدم قطعیت در ارزیابی‌ها را دارد؛ این همان نتیجه‌ای است که مطالعات مشابه نیز به آن دست یافته بودند (آلدرز، ۲۰۱۱؛ یانگ و همکاران، ۲۰۰۲). در این مطالعه، هدف این بود که با استفاده از مدل شبکه‌های باور بیزین، یک مدل علی و معلولی برای برآورد فرسایش بادی ساخته و صحت نقشهٔ فرسایش بادی به‌دست‌آمده نیز بررسی شود. بدیهی است که برای ارزیابی و صحت‌سنجی مدل لازم است که شدت فرسایش بادی به روشی نظیر استفاده از تونل بادی برررسی شده و آنگاه با استفاده از

1. Haloxylon persicum
2. Nitraris schoberi

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.26.35]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 9:25 +0430 on Wednesday June 24th 2020

بخشی از داده‌ها و یا کل داده‌ها شاخص‌های مربوط به ارزیابی مدل نظیر MEF، MEE و RMSE و همچنین Area Under Curve کارایی مدل بررسی گردد. اما در این مطالعه با مقایسهٔ نقشهٔ فرسایش بادی به‌دست‌آمده از مدل بیزین با نقشهٔ کانون‌های بحرانی فرسایش بادی در استان اصفهان صحت نقشهٔ به‌دست‌آمده تعیین و با استفاده از نمودار ROC کارایی مدل ۰/۷۹ تعیین شد (پونتیوس و اشنایدر، ۲۰۰۱). با بررسی کانون‌های بحرانی فرسایش بادی در استان اصفهان، اهمیت اجرایی پروژه‌های کنترل فرسایش بادی به‌منظور کمک به توسعهٔ پایدار سرزمین برای جلوگیری از مهاجرت، حفظ اراضی کشاورزی، توسعهٔ صنعت، ایمنی خطوط مواصلاتی، اماکن اقتصادی و منابع زیستی در بوم‌های بیابانی با مهار بیابان‌زایی نشان داده می‌شود. بر این اساس پیشنهاد می‌گردد با انجام طرح‌های تحقیقاتی و پژوهشی و افزایش آگاهی عمومی مردم، به‌خصوص زارعین اراضی کشاورزی و بهره‌برداران منابع طبیعی، راهکارهای مناسب برای کنترل فرسایش بادی با استفاده از تیم کارشناسی قوی در استان اصفهان به کار گرفته شود.

منابع

1. Aalders, I., Hough, R.L. and Tower. W., 2011. Risk of erosion in peat soils –an investigation using Bayesian belief networks. Soil Use and Management, December 2011, 27, 538–549.
2. Adriaenssens, V., Goethals, P., Charles, J. and De pauw, N., 2009. Application of Bayesian Belief network for the prediction of macro invertebrate taxa in rivers. Annales de limnologie – International journal of limnology, 40(3) :181-191.
3. Amerikhah, H., Khademalrasoul, A., and Maszi, A., 2007. Predict Wind erosion in Omidiyeh land useing models WEPS, RWEQ, WEQ and IRIFR. First national conference wind erosion. Yazd.Iran.
4. Baran, E. and Jantunen, T., 2004. Stakeholders consultation for Bayesian Decision Systems in environmental management. Proceeding of the Regional Conference on Ecological and Environmental Modeling (ECOMOD 2004). UniversitiSains Malaysia.
5. Barton, D.N., Benjamin, T., Cerdán, C.R., DeClerck, F., Madsen, A.L., Rusch, G.M., Salazar, A.G., Sanchez, D. and Villanueva, C., 2016. Assessing ecosystem services from multifunctional trees in pastures using Bayesian belief networks. Ecosystem Services. 20 (18): 165 – 174.
6. Bashari, H., Smith, C. and Bosch, O.J.H., 2009. Developing decision support tools for range land management by combining state and transition Models and Bayesian Belief Networks. Agricultural Systems. 99: 23-34.
7. Boali, A., Bashari, H. and Jafari, R., 2018. Evaluating the potential of Bayesian networks for desertification assessment in arid areas of Iran. Land Degradation & Development. 30 (4): 371-390.
8. Chamanpyra, Gh., Zehtabian, Gh. and Ahmadi, H., 2006. Application of the method ICD in order to determine the severity of current status desertification in the watershed Kouhdasht. Journal of College of Natural Resources, Tehran University. Volume 59, Number 3, 543-555 pp.
9. Johnson, S., Mengersen, K., Waal, A., Marnewick, K., Cilliers, D., Houser, A.M. and Boast, L., 2010. Modelling cheetah relocation success in southern Africa using an Iterative Bayesian Network Development Cycle. Ecological Modelling, 221 (4-1): 641- 651.
10. Jafari, R. and Bakhshandehmehr, L., 2013. Quantitative mapping and assessment of environmentally sensitive area to Desetification in central IRAN. land degradation & development. Published online in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com) DOI: 10.1002/ldr.2227.
11. Landuyt, D., Broeckx, S., Dhondt, R., Engelen, G., Aertsens, J. and Goethals Peter L.M., 2013. "A review of Bayesian belief networks in ecosystem service modeling". Environmental Modelling & Software, Vol 46, pp1-11.
12. Marcot, B.G., Holthausen, R.S., Raphael, M.G., Rowland, M.M. and Wisdom, M.J., 2001. Using Bayesian Belief Networks to evaluate fish and wildlife population viability under land management alternatives from an environmental impact statement. Forest Ecology and Management, 153(1- 3): 29- 42.

www.SID.ir

Archive of SID

13. Mohajerani, H. KHelghi, M. Mosaedi, A. Sadoddin, A. and Meftah, M. 2011. Managing the aquifer with Bayesian decision network. Journal of Soil and Water. Ferdowsi University of Mashhad.
14. Mesbahzadeh, T., Ahmadi, H., Zehtabian, Gh. and Sarmadian F. 2010. Assessment the Wind erosion utilizes a model IRIFR. E.A (Case study: Abuzeyd abad Kashan). Journal of Natural Resources Iranian, Journal of Range and Watershed Management. 32(3): 399- 415.
15. Schneider, R. and Pontius, Jr. 2001. Modeling land-use change in the Ipswich watershed, Massachusetts, USA. Agriculture, Ecosystems and Environment 85 (2001) 83–94.
16. Varis, O., 1997. Bayesian decision analysis for environmental and resource management. Environmental Modelling and Software 12: 177-185.
17. Yang, H. Abbaspour, KC. and Zhang, Y.L., 2002. "Desertification control and sandstorm mitigation in the area encircling Beijing - with a discussion on the application of Bayesian Network and hydrological modeling" 12th ISCO Conference Beijing.

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.26.35]
Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 9:25 +0430 on Wednesday June 24th 2020

Evaluating Wind Erosion Intensity through Performance Assessment of Bayesian Belief Networks: A Case Study of Isfahan Province

Abdolhossein Boali[1], Ali Mohamadian Behbahani[2*]

Received: 31/08/2019 Accepted: 15/01/2019

Extended Abstract

Introduction: Wind erosion is one of the important aspects of land degradation in arid and semi-arid areas. Countries located in arid and semiarid belt of the world including Iran have always been faced with this phenomenon. Wind erosion assessment models use different scores to determine the erosion rate in a given class. However, due to the spatial and temporal complexities and the multiplicity of factors affecting the ecological conditions of the region, it is impossible to fully rely on such results and use them for targeting and prioritizing the areas and providing suitable solutions for their management. Nevertheless, Bayesian Belief Networks (BBN) are based on probabilistic approaches which display the uncertainty in the evaluation of phenomena in terms of probability. These Networks are essentially developed as tools for analyzing decision-making strategies under uncertainty. Accordingly, this study set out to estimate the potential of the BBN as a relatively new and probable means for estimating the wind erosion and, finally, to evaluate the management scenarios for controlling wind erosion in Isfahan province.

Materials and methods: To start the process of modeling the Bayesian Beliefs networks with regard to the purpose of the study, suitable variables were selected for modeling the BBN by reviewing the related literature and asking the experts opinions. In the next step, the relationships between the variables were determined, using the impact graph. The impact diagram shows the relationships and effects of the variables on each other and on the output node of the model (the amount of wind erosion). Finally, in order to create a model and formulate the conditional probability tables of model variables, the impact diagram was transformed into a BBN model, using the Netica software. The Bayesian Belief Network Model was validated by sensitivity analysis, the results of the analyses carried out by experts, and the comparison of the obtained map of Bayesian model with the wind erosion map in Isfahan province. The ROC curve characterizes the relative performance of each model. The area under this curve is called the AUC and the model with the highest AUC has the highest relative Function. The AUC equals 0.5 equivalent to the neutral model and the closer this value is to 1, the higher the Function of the model would be.

1. Phd Student in Desert Regions Management Department, University of Agriculture and Natural Recourses Sciences of Gorgan.
2. Assistant Professor, Department of Arid Zone Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources,(Corresponding author) mohammadian@gau.ac.ir
DOI: 10.22052/deej.2020.9.26.35

www.SID.ir

Archive of SID

[DOI: 10.22052/deej.2020.9.26.35]

Downloaded from deej.kashanu.ac.ir at 9:25 +0430 on Wednesday June 24th 2020

Result: Having applied the final model of Bayesian's belief network, the causal relationships between the variables affecting the rate of wind erosion were shown. The target variable in this model was wind erosion. As the findings of the study indicated, geological variables, land management, topography of the area, soil texture, rainfall and frequency of erosive winds were considered as key variables of the model. In order to run the model, information about each of the key variables was taken from the area at the province and fed into the model. Finally, the model was designed to estimate the amount of wind erosion in each sampling point. Based on the output of the model, the probability of wind erosion in each unit was used to zone the probability of wind erosion in the study area. The overall sensitivity analysis of the model also indicated that the wind erosion rate of the area had the most sensitivity to the wind velocity and speed, the frequency of erosive winds, and the protection of the earth's surface. On the other hand, the least sensitivity was reported for such variables as soil texture, geology and topography. Moreover, a high correlation between the results of the two models was found. According to the results of the ROC curve, the area under the AUC curve for Bayesian network model is 0.79, suggesting acceptable model accuracy.

Discussion and Conclusion: It was shown that the BBN presented the probability of different wind erosion rates for each sampling point in the study area. In BBN, the results are expressed in the probability language and managers are to choose and implement timely and appropriate management decisions to reduce the risk of wind erosion in the region. The designed model in this study could be implemented in all regions. However, depending on the conditions of each region, the number of variables in the model may be increased or reduced. The study used Bayesian belief networks in the critical areas of wind erosion in Isfahan province. This model well demonstrates the importance of implementing wind erosion control projects to assist in sustainable land development to prevent migration, foster agricultural conservation, increase industry development and bio-resources in desert areas with desertification control.

Keywords: Sensitivity analysis, wind erosion, ROC, Bayesian belief networks.

www.SID.ir