جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره سی و دوم، زمستان ۱۳۹۸

صص ۸۶- ۶۷
DOI: https://doi.org/10.22067/geo.v8i4.79097
مقاله پژوهشی

پتانسیل سنجی شبکه‌های باور بیزین در برآورد و ارزیابی میزان فرسایش بادی (منطقه مورد مطالعه: دشت دهلران- ایلام)

علی محمدیان بهبهانی[1] - استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.
عبدالحسین بوعلی - دانشجوی دکتری مدیریت و کنترل بیابان، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۱/۱۸ تاریخ تصویب: ۱۳۹۸/۱۰/۱۷

چکیده

جهت برآورد شدت فرسایش بادی در اکوسیستم‌های مختلف باید از شاخص‌ها و روش‌های مناسب استفاده نمود. در این تحقیق، میزان فرسایش بادی دشت دهلران واقع در استان ایلام با استفاده از شاخص‌های مؤثر در معیار فرسایش بادی مدل IMDPA ارزیابی و با استفاده از شبکه‌های باور بیزین (BBN) یک مدل علت و معلولی برای پیش‌بینی شدت فرسایش بادی این منطقه استفاده شد. با توجه به نتایج حاصل از معیار فرسایش بادی مدل IMDPA، ۲۰ درصد از منطقه مطالعاتی در کلاس فرسایش بادی کم، ٥٤ درصد از منطقه در کلاس فرسایش بادی متوسط و ۲٦ درصد از منطقه نیز در کلاس فرسایش بادی زیاد قرار گرفت. براساس امتیازات داده شده به هر یک از شاخص‌های معیار فرسایش بادی در سطح واحدکاری، رخساره‌های اراضی برداشت، اراضی رها شده و دشت ریگی ریزدانه بیشترین نقش را در میزان فرسایش بادی منطقه داشته‌اند. با استفاده از مرور منابع و نظر کارشناسان یک مدل BBNقابلیت تحلیل سناریوهای مختلف ایجاد شد که نحوه ارتباط بین این شاخص‌ها و میزان فرسایش بادی در جداول احتمال شرطی ذخیره شده است. براساس حساسیت سنجی مدل شبکه‌های باور بیزین مهم‌ترین پارامترهای تشدید کننده فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه به ترتیب، سرعت و وضعیت باد، فراوانی سرعت باد بیش از ٦ متر بر ثانیه و پوشش حفاظتی سطح زمین می‌باشد. صحت‌سنجی مدل BBN ایجاد شده با انجام حساسیت سنجی در نرم‌افزار نتیکا و مقایسه با نتایج معیار فرسایش بادی مدل IMDPA انجام شد. ضریب تبیین بین خروجی معیار فرسایش بادی مدل IMDPA و BBN نشان داد که نتایج حاصل از هر دو مدل دارای همبستگی معنی‌دار ($R2> 0.60, p < 0.05$) می‌باشد. این مطالعه نشان داد که ارائه مدل

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۱٦۲۰۷۳۲۰۰
Email: behbahani1383@yahoo.com

فرسایش بادی به شکل شبکه باور بیزین می‌تواند بررسی نتایج سناریوهای مختلف را تسهیل نموده و عدم قطعیت حاصل از ارتباطات متغیرها را نمایش دهد.

کلیدواژه‌ها: آنالیز حساسیت، مدل‌سازی، عدم قطعیت،IMDPA

۱- مقدمه

فرسایش بادی، یکی از جنبه‌های مهم تخریب اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک محسوب می‌شود (Wigley, 1955).به‌طور که حدود یک ششم مساحت اراضی دنیا را تحت تأثیر خود قرار داده است (Skidmore, 2000).در سطح جهانی، حدود ۵۴۹ میلیون هکتار از اراضی در اثر فرسایش بادی مورد تخریب قرار گرفته که ۲۹۶ میلیون هکتار آن، فرسایش بادی شدید دارد (Subramaniam, 2002 Chinappa and).کشورهای واقع در کمربند خشک و نیمه‌خشک جهان ازجمله ایران، نیز همواره با این پدیده درگیر بوده‌اند. ضررهای فرسایش بادی به دلیل اثرات زیست‌محیطی، بهداشتی و اقتصادی آن بسیار زیاد است، که باعث از بین رفتن حاصلخیزی خاک، آسیب به زیرساخت‌ها و خطوط راه‌آهن، تحدید زندگی گونه‌های گیاهی و جانوری، وقوع طوفان‌های گرد و غبار شدید و پایین آمدن کیفیت هوا و زیست می‌شود (Zhang et al, 2012). فرسایش بادی فرآیندی است که در آن، ذرات خاک از سطح زمین جدا و به وسیله باد جابه‌جا می‌شوند. در ایجاد فرسایش بادی عوامل متعددی ازجمله لیتولوژی، توپوگرافی، شرایط آب و هوایی، کاربری زمین و پوشش گیاهی دخالت دارند)مشهدی و همکاران، 2016).به‌طور مثال در مدل مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع ایران (IRIFR[1]) از ۹ شاخص مختلف برای تعیین میزان فرسایش بادی استفاده شده است (مصباح زاده و همکاران، ۲۰۱۰). در مدل Raizal نیز که یک برنامه نرم‌افزاری است و توسط گروهی از پژوهشگران اروپایی برای ارزیابی میزان فرسایش بادی و آبی توسعه یافته است، میزان فرسایش خاک را برحسب شرایط فیزیکی اراضی شامل خاک، اقلیم و منطقه تعیین شده است (صفیاری و همکاران، ۲۰۱٤) مدل‌های WEPS[2]، RWEQ[3] و WEQ[4] از دیگر مدل‌های برآورد فرسایش بادی می‌باشند که در مناطق مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند (خانمانی و همکاران، ۱۳۹۰). در برخی مطالعات از شاخص فرسایش بادی مدل IMDPA[5].جهت ارزیابی فرسایش بادی استفاده می‌شود. این روش در سال ۱۳۸۳ با همکاری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران و دفتر تثبیت شن و بیابان‌زدایی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور براساس نیازهای مطالعاتی و ساختار طبیعی، اجتماعی و اقتصادی حاکم بر مناطق مختلف آب و هوایی ایران و به منظور شناخت معیارها و شاخص‌های مؤثر بر شدت بیابان‌زایی طراحی شد(احمدی، ۱۳۸۳؛ رمضانیان و بصیرانی، ۱۳۹٤) تأثیر معیار فرسایش بادی در بیابان‌زایی منطقه فدیشه نیشابور را با استفاده از مدل IMDPA به دست

1.Iran Research Institute of Forest and Rang lands. (IRIFR)
2 Wind Erosion Prediction System(WEPS)
3 Revised Wind Erosion Equation(RWEQ)
4 Wind Erosion Equation(WEQ)
5 Iranian Model of Desertification Potential Assessment

آوردند. در این تحقیق آنها از شاخص‌های درصد پوشش زنده، درصد پوشش غیر زنده، تعداد روزهای طوفانی گرد و غبار(DSI) و شدت فرسایش استفاده کردند. براساس نتایج حاصله مدل مورد استفاده در این تحقیق از کارایی خوبی برخوردار است و معیار فرسایش بادی با کلاس متوسط وزنی ۱,۷۱ کمترین اثر را در بیابان‌زایی منطقه داشت. افتخاری و همکاران(1394) جهت ارزیابی و تهیه‌ی نقشه‌ی وضعیت بالفعل و بالقوه بیابان‌زایی با تأکید بر معیار فرسایش بادی از مدل MICD در جنوب غربی شهرستان هیرمند استفاده کردند. نتایج نشان داد که منطقه‌ی مورد بررسی از نظر وضعیت کنونی بیابان‌زایی در 4 کلاس کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد و از نظر قابلیت بالقوه یا ذاتی در 3 کلاس کم، متوسط و زیاد بیابان‌زایی قرار می‌گیرد. مدل‌های ارزیابی فرسایش بادی با استفاده از امتیازدهی به شاخص‌های مختلف میزان فرسایش را در یک کلاس مشخص (مناسب یا نامناسب) قرار می‌دهند، حال‌آنکه به دلیل پیچیدگی‌های مکانی و زمانی و تعدد عوامل مختلف مؤثر بر شرایط اکولوژیکی منطقه نمی‌توان با اعتماد کامل به نتایج به دست آمده نگاه کرد و از نتایج آن به‌طور قطع برای هدف‌گذاری‌ها، اولویت‌بندی مناطق و ارائه راهکارهای مناسب مدیریتی استفاده نمود(بوعلی و همکاران، ۱۳۹۶). به عبارت دیگر عدم اطمینان در نتایج این مدل‌ها باعث می‌شود که کاربران نتوانند به نتایج این مدل‌ها اعتماد و اطمینان داشته باشند. این مدل‌ها همچنین حالت علت و معلولی نداشته و مدیران و کاربران نمی‌توانند عواقب تغییر یک عامل را به‌آسانی بررسی کنند. همچنین این مدل‌ها از برخی شاخص‌هایی استفاده می‌کنند که بعضاً با هم همبستگی داشته و باعث ناکارآمدی نتایج می‌گردند. شبکه‌ی تصمیم‌گیری بیزین روشی است که می‌تواند این محدودیت‌ها را مرتفع سازد.

شبکه‌های باور بیزین[1] مبتنی بر رویکردهای احتمالاتی در ارزیابی پدیده‌های مختلف می‌باشد و شامل تعدادی گره که نشان‌دهنده متغیرهای موجود و مؤثر در سیستم و یک سری لینک که به یکدیگر متصل شده‌اند می‌باشد. نحوه تعامل این متغیرها در سیستم به وسیله لینک‌ها و جداول احتمال شرطی تعیین می‌گردد(مهاجرانی و همکاران، ۱۳۸۹) شبکه‌های باور بیزین در اصل به عنوان یک ابزار، برای تجزیه و تحلیل استراتژی‌های تصمیم‌گیری تحت شرایط عدم اطمینان توسعه داده شده است(Landuyt et al, 2014). لندایت و همکاران در سال ۲۰۱٤ به بررسی شبکه‌های باور بیزین در مدل‌سازی خدمات اکوسیستم پرداخته و معتقد بودند که استفاده از شبکه‌های باور بیزین ترجیحاً هنگامی‌که دانش انسان‌ها بدون ساختار و یا صرفاً براساس روابط تجربی تشکیل شده باشد، بهتر است مورد استفاده قرار می‌گیرند(لندایت و همکاران،۲۰۱٤). آلدرز[2] (۲۰۱۱) پتانسیل کارایی شبکه‌های باور بیزین را در ارزیابی آسیب‌پذیری و خطر خاک‌های توربدار نسبت به فرسایش در مقیاس‌های بزرگ آزمایش کرده و قابلیت اجرای شبکه‌های باور بیزین را نامحدود توصیف نمود .(Aalders et al, 2011) اگرچه کارایی این روش مدل‌سازی برای ایجاد انواع مختلف سیستم‌های تصمیم‌گیری اثبات شده است (Adriaenssens et al, 2009 ; Gizachew et al 2015)و در مدل

1 Bayesian Belief Networks
2 Aalders

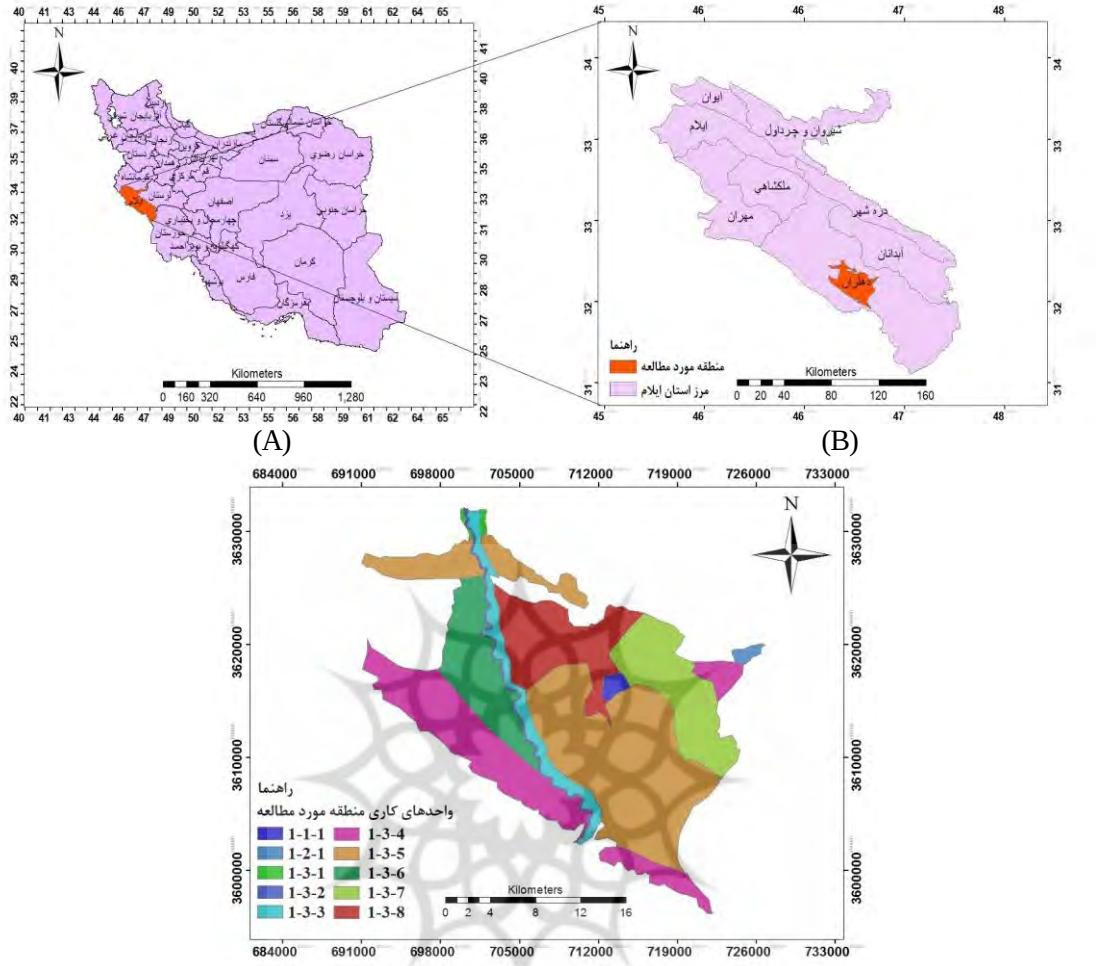
کردن زمینه‌های مختلف علوم زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گرفته‌اند(David et al, 2016) اما مطالعاتی بسیار محدودی در زمینه برآورد و ارزیابی فرسایش با استفاده از شبکه‌های باور بیزین وجود دارند.

شهرستان دهلران با وسعتی معادل ۵۴۰ هزار هکتار در بخش جنوبی دارای اقلیم بیابانی گرم است و میزان ۴۰ درصد معادل ۲۴۰ هزار هکتار از کل مساحت این شهرستان را عرصه‌های بیابانی به خود اختصاص داده است. منطقه مورد مطالعه دشت دهلران با مساحت حدود ۵۴ هزار هکتار از کانون‌های بحرانی فرسایش بادی و بیابان‌زایی در این شهرستان محسوب می‌شود که در طی سالیان متمادی باعث به وجود آمدن مشکلات اکولوژیکی، اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در این شهرستان شده است(آرخی و فتحی زاد، ۱۳۹۴). بر این اساس هدف از مطالعه حاضر، برآورد میزان فرسایش بادی با تکیه بر معیار فرسایش بادی مدل IMDPAو پتانسیل سنجی شبکه‌های باور بیزین به عنوان یک ابزار نسبتاً جدید و مبتنی بر احتمالات جهت برآورد و ارزیابی میزان فرسایش بادی و بررسی سناریوهای مدیریتی جهت کنترل فرسایش بادی در دشت دهلران در استان ایلام می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهرستان دهلران در فاصله ۲۳۰ کیلومتری شهر ایلام و در قسمت جنوب شرقی این استان قرارگرفته است. منطقه مورد مطالعه در نواحی مرکزی شهرستان دهلران با مختصات جغرافیایی °02 ′ 16″۴۷ تا ° 25′ 07″ ۴۷ طول شرقی و° 18′ 48″۳۲ تا ° 48 ′ 33″ ۳۲ عرض شمالی با مساحت ۵۴۳/۵۲ کیلومترمربع، بارش متوسط ۲۸۶/۳ میلیمتر ، میانگین دمای ۲۵/۵ درجه سانتی‌گراد و اقلیم منطقه به روش دومارتن خشک می‌باشد(آرخی و فتحی زاد، ۱۳۹۴). نقشه واحدهای کاری منطقه مورد مطالعه، با استفاده از نقشه رخساره‌های ژئومورفولوژیک، توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰، زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، عکس‌های هوایی و بازدیدهای صحرایی تهیه شد. براین اساس در منطقه مورد مطالعه یک واحد، سه تیپ و ده رخساره ژئومورفولوژی مورد شناسایی و تفکیک قرار گرفت که به ترتیب رخساره دشت ریگی ریز دانه با مساحت ۲۹۷ هکتار کوچک‌ترین و اراضی کشاورزی با ۱۶۱۱۱ هکتار بزرگ‌ترین رخساره شناسایی شدند. رخساره‌های ژئومورفولوژی در هر یک از تیپ‌ها به عنوان واحدکاری در نظر گرفته شد(شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران (A) ، استان ایلام (B) و همچنین نقشه واحدهای کاری منطقه مطالعاتی (C) .

۲-۲- تهیه لایه‌های اطلاعاتی معیار فرسایش بادی مدل IMDPA

در این تحقیق جهت بررسی شدت فرسایش بادی در دشت دهلران، از معیار فرسایش بادی مدل IMDPA استفاده گردید. برای ارزش‌دهی به معیار فرسایش بادی، از سه شاخص درصد پوشش گیاهی، تعداد روزهای با شاخص طوفانی گرد و خاک (DSI) و ظهور رخساره فرسایشی استفاده گردید. جهت برآورد درصد پوشش گیاهی در هر واحدکاری یک ترانسکت ۱۰۰متری و در طول هر ترانسکت ۱۰ پلات قرار داده شد. در هر پلات اطلاعات مربوط به درصد پوشش گیاهی، درصد سنگ و سنگ‌ریزه و خاک لخت محاسبه گردید. برای ارزش‌دهی به شاخص«تعداد روزهای با شاخص طوفانی گرد و خاک (DSI)» از اطلاعات ایستگاه سینوپتیک دهلران در دوره زمانی ۳۰ ساله استفاده شد. شاخص ظهور رخساره فرسایشی با بازدید میدانی و با توجه به شرایط هر واحدکاری

ارزش‌دهی شـد. شـاخص‌های مربوط به فرسـایش بادی مؤثر بر بیابان‌زایی در جدول۱ نشان داده شده است. امتیاز نهایی معیار فرسـایش بادی در هر کدام از واحدهای کاری براسـاس میانگین هندسـی معادله ۱ در هر واحدکاری حاصـل شـد. لایه اطلاعاتی مربوط به هر یک از شـاخص‌های معیار فرسایش بادی بر اساس امتیازات داده شده در محیط GIS تهیه و نقشه نهایی معیار فرسایش بادی تهیه گردید.

معادله (۱): $W_E = (W_V \times W_R \times W_{DSI})^{1/3}$

W_Eعبارت است از معیار فرسایش بادی و شاخص‌ها به ترتیب عبارتند از: درصد پوشش گیاهی (W_V)، ظهور رخسـاره فرسـایشـی (W_R) و شاخص طوفانی گرد و خاک (W_{DSI}). شاخص‌های ارزیابی معیار فرسایش بادی به همراه کلاس و امتیازات مربوطه در جدول ۱ و طبقه‌بندی معیار فرسایش بادی در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۱- شاخص‌های، کلاس‌ها و امتیازات معیار فرسایش بادی(احمدی،1383)

شاخص ارزیابی	ناچیز و کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
	5/1-0	**5/2-6/1**	**5/3-6/2**	**4-6/3**
ظهور رخساره فرسایشی	بدون آثار و اشکال فرسایش بادی و آشفتگی خاک در طول سال	–دارای آثار بادبردگی محدود در سطح خاک –سطوح شلجمی پراکنده –تشکیل سنگفرش بیابان متراکم	– پهنه ماسه‌ای – کلوتک پراکنده – شلجمی متراکم – تشکیل سنگفرش کم تراکم	تپه ماسه‌ای فعال کلوتکهای متراکم و نزدیک به هم
درصد پوشش غیر زنده (سنگریزه بزرگ‌تر از ۲ میلیمتر) در سطح خاک (MC) درصد پوشش گیاهی (PC)	80 < MC 40 < PC	80 > MC > 40 40 > PC > 20	40 > MC > 20 20 > PC > 10	20> MC 10 > PC
تعداد روزهای با شاخص طوفانی گرد و خاک (DSI)	10 >	30 - 10	60 - 30	60 <

جدول ۲- تعیین کلاس شدت فرسایش بادی(احمدی،۱۳۸۳)

کلاس (کیفی)	کلاس (کمی)	مقادیر معیار فرسایش بادی
۱	کم	5/1 – 0
۲	متوسط	5/2 – 6/1
۳	زیاد	5/3 – 6/2
٤	خیلی زیاد	4 – 6/3

۲-۳- شبکه‌های باور بیزین

شـبکه بیزین یک الگوی نموداری احتمالاتی اسـت که مجموعه‌ای از متغیرها و احتمالات مربوط به هر کدام را نشان می‌دهد. این شبکه، یک گراف مستقیم و غیر چرخه‌ای است که در آن، گره‌ها در حکم متغیرهای سیستم هستند. ساختار یک شبکه بیزین در واقع یک نمایش نواری از اثرات علت و معلولی متغیرهایی است که باید مدل شوند و علاوه بر این که کیفیت رابطه بین متغیرهای مسـئله را نشـان می‌دهد، کمیت ارتباط بین این متغیرها را نیز به نمایش می‌گذارد که به صـورت عددی از توزیع احتمال مشـترک آنها اسـتفاده می‌کند. یک شبکه بیزین را می‌توان این‌گونه تعریف کرد: تعدادی گره که نشـان دهنده آن دسـته از متغیرهای تصـادفی‌اند که با یکدیگر در تعامل هسـتند. این برهمکنش، به وسیله ایجاد ارتباط بین گره‌ها بیان می‌شود(مهاجرانی و همکاران ۱۳۸۹). این روش بر مبنای محاسبات احتمالات شرطی است. معادله(۱)، تابع اصلی بیز را نشان می‌دهد.

$$P(a|b) = \frac{P(b|a) \times P(a)}{P(b)}$$

معادله (۱):

که در آن، P(a)، احتمال وقوع پیشامد a،P(b) ، احتمال وقوع پیشامد b،P(b|a) ، احتمال شرطی پیشامد bاست، P(a|b)، احتمال شرطی پیشامد a است، هر شبکه‌ی بیزی از سه جزء اصلی تشکیل شده است: مجموعه‌ای از گره‌ها (متغیرهای سامانه مدیریتی هستند)، مجموعه‌ای از بندها (روابط سببی بین متغیرها) و مجموعه‌ای از احتمالات.

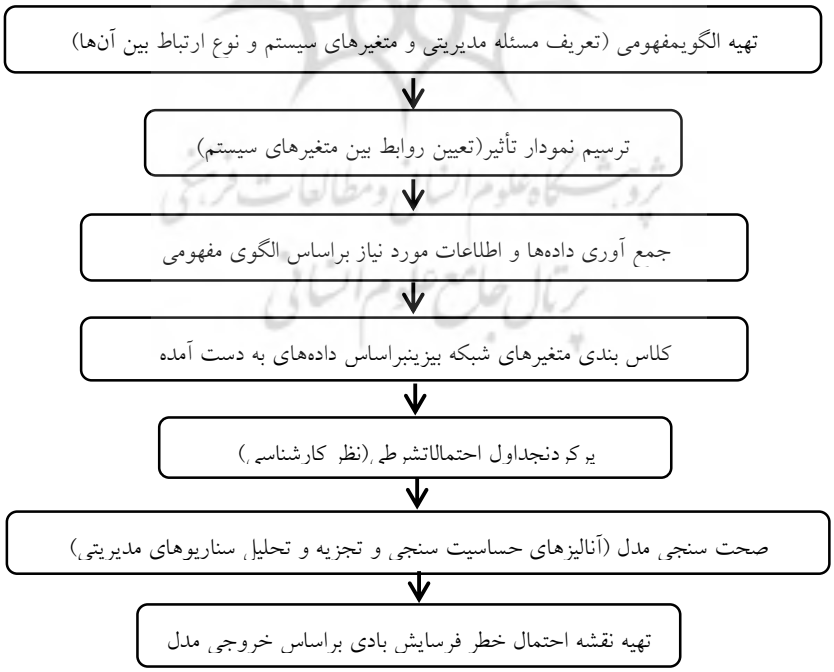
برای شروع فرآیند مدل‌سازی ابتدا می‌بایست متغیرهای مؤثر در مدل شناسایی شوند. با توجه به هدف مطالعه و با انجام مرور منابع(بررسـی متغیرهای تأثیرگذار در میزان فرسـایش بادی در مدل‌های مختلف ارائه شـده در سـطح منطقه‌ای و جهانی) و کمک گرفتن از نظر متخصصین (کارشناسان دستگاه‌های اجرایی در زمینه کنترل فرسایش بادی که به صـورت پرسـش‌نامه نظرات آنها جمع‌بندی گردید)، متغیرهای مناسب برای مدل‌سازی شبکه‌های باور بیزین انتخاب شدند. پس از شناسایی مهم‌ترین متغیرهای تأثیرگذار بر میزان فرسایش بادی می‌بایست ، روابط بین متغیرها با استفاده از نمودار تأثیر تعیین گردد. نمودار تأثیر نشان دهنده ارتباطات و اثرات هر یک از متغیرها بر یکدیگر و بر گره خروجی مدل(مقدار فرسایش بادی) می‌باشد. طراحی نمودار اثر، طی چندین مرحله طراحی و اصلاح، با استفاده از نظرات متخصصین صورت گرفت. هر متغیر موجود در مدل از جنبه‌های مختلفی بررسی و بحث شد. عوامل مؤثر بر متغیرها، تعریف هر متغیر و حالات مربوط به هر متغیر تعیین و تعریف گردید. درنهایت برای ایجاد مدل و تشکیل جداول احتمالات شرطی برای متغیرهای مدل، نمودار تأثیر با استفاده از نرم‌افزار Netica به یک مدل شبکه باور بیزین تبدیل شـد. با اسـتفاده از نرم‌افزار محاسـبه‌گر احتمالات شـرطی(CPT Calculator) و با انجام جلسـات متعدد با کارشناسان جداول احتمالات شرطی مدل تکمیل گردید.(David et al, 2016)

حساسیت سنجی برای بررسی عدم اطمینان در مورد مشخصه‌های مدل و اثر آنها روی خروجی مدل استفاده می‌شود (بشری و همامی، ۲۰۱۳). در این آزمون میزان حساسیت گره هدف به تغییرات در ورودی‌های شبکه بررسی می‌شود. این آنالیز برای یافتن متغیرهایی که رفتار سیستم را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده و همین طور یافتن متغیرهایی که سیستم به تغییرات آنها چندان حساس نیست استفاده می‌شود. در هر مورد، متغیری که بیشترین کاهش بی‌نظمی را در ارتباط با متغیر مورد بررسی نشان می‌دهد، بیش‌ترین اثر را بر متغیر مزبور دارد. مارکوت در سال ۲۰۰٦، رابطه تعیین کاهش بی نظمی تجزیه و تحلیل حساسیت در مدل شبکه باور بیزین را به صورت معادله۲ نشان می‌دهد.

معادله(۲):

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

در معادله شماره ۱، کاهش قابل‌انتظار اطلاعات متغیرQ در اثر تأثیرپذیری از متغیرF می‌باشد. براین اساس H(Q)،بی نظمی متغیرQ، مستقل از سایر متغیرها و H(Q|F)، بی نظمی متغیرQ، در شرایطی است که تحت تأثیر متغیر Fقرار دارد، می‌باشد. همچنین در این رابطه q حالت متغیر Q بوده و f حالت متغیر F می‌باشد. در این مطالعه حساسیت سنجی مدل شبکه باور بیزین به شکل جزء به جزء(گره‌های میانی مدل) و کلی با استفاده از روش کاهش آنتروپی (Entropy Reduction) نیز انجام گرفت (بشری و همامی، ۲۰۱۳)



شکل۲- نمودار جریانی برای ایجاد و کاربرد یک مدل باور بیزین در منطقه مورد مطالعه

۲-٤- تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز جهت اجرای مدل شبکه‌های باور بیزین

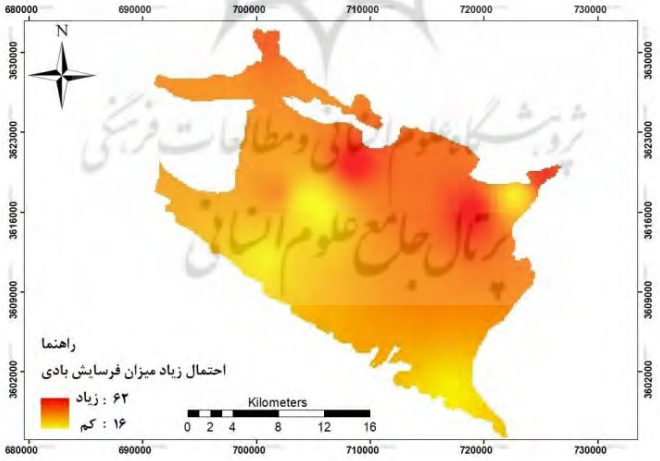
پس از شناسایی پارامترهای تأثیرگذار در میزان فرسایش بادی، نمودار تأثیر بین پارامترهای مدل تعیین گردید و متغیرهایی که تحت تأثیر هیچ متغیر دیگری در مدل قرار نگرفتند به عنوان متغیرهای ورودی مدل شناسایی شدند. براین اساس جهت اجرای مدل لایه‌های اطلاعاتی بافت خاک، زمین‌شناسی، مدیریت اراضی، سرعت باد، توپوگرافی منطقه و میزان بارش به عنوان ورودی‌های مدل در محیط GISتهیه شد. نقشه بافت خاک از لایه بافت خاک ایران تهیه شد. لایه‌ی مورد نیاز خاک وارد نرم‌افزار Arc GIS شد و به‌اندازه محدوده مورد مطالعه برش داده شد. به منظور محاسبه سرعت باد و بارش، ابتدا متوسط میزان بارش و فراوانی سرعت باد در منطقه با استفاده از ٦ ایستگاه در داخل و خارج منطقه برای دوره آماری ۳۰ ساله(۲۰۱٦ – ۱۹۸٦) به دست آمد. سپس مقادیر محاسبه شده در محیط نرم‌افزار ArcGISبه نقشه واحدهای کاری اضافه گردید و میزان بارش و فراوانی سرعت باد تولیدی در هر واحدکاری تعیین گردید(با توجه با وسعت ٥٤ هزار هکتاری منطقه این دو پارامتر در کل منطقه در یک کلاس قرار گرفتند). با استفاده از نقشه DEM ایران، توپوگرافی منطقه مورد مطالعه شامل کوهستان، دشت سر و پلایا مشخص گردید. نقشه زمین‌شناسی نیز از نقشه زمین‌شناسی ایران در محیط GIS جدا شده و مورد استفاده قرار گرفت. جهت به دست آوردن اطلاعات مربوط به مدیریت اراضی در سطح منطقه از تغییرات نقشه کاربری اراضی دهلران در سال ۱۳۹۰ و ۱۳۹۵ استفاده شد. پس از محاسبه امتیازات مربوط به هر یک از متغیرهای مدل و اجرای مدل در سطح واحدکاری، براساس خروجی مدل نقشه پهنه بندی احتمال خطر فرسایش در منطقه مورد مطالعه از طریق روش‌های درون‌یابی تهیه گردید.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- ارزیابی معیار فرسایش بادی مدل IMDPA

پس از ارزیابی و امتیازدهی شاخص‌های مربوط به معیار فرسایش بادی و محاسبه میانگین هندسی امتیازات واحدهای کاری، امتیازات شاخص‌های مورد ارزیابی محاسبه و شاخص‌هایی که حائز بالاترین امتیاز بود تعیین شد(جدول ٤). بر این اساس و با توجه به امتیازات داده شده، شاخص ظهور رخساره فرسایشی کمترین امتیاز را نسبت به شاخص‌های در نظر گرفته داشته و بنابراین کمترین تأثیر را نسبت به دو شاخص دیگر در شدت فرسایش بادی منطقه مطالعاتی داشته است. شاخص تعداد روزهای طوفانی گرد و خاک (DSI) نیز نسبت به دو شاخص در نظر گرفته شده حائز بالاترین امتیاز می‌باشد و بیشترین تأثیر را شدت فرسایش بادی منطقه دارد. پس از تعیین امتیازات مربوط به هر شاخص در هر واحدکاری و وارد کردن این امتیازات در نرم‌افزار ArcGIS نقشه رس‌تری شاخص‌ها و همچنین نقشه معیار فرسایش بادی تهیه شد(شکل۳).

نتایج بررسی‌ها نشـان داد که ۲۰ درصد از منطقه مطالعاتی در کلاس فرسایش بادی کم، ٥٤ درصد از منطقه در کلاس فرسایش بادی متوسط و ۲٦ درصد از منطقه نیز در کلاس فرسایش بادی زیاد قرار می‌گیرد. براساس امتیازات داده شـده به هر یک از شـاخص‌های معیار فرسـایش بادی در سطح واحدکاری رخساره‌های منطقه برداشت شده، اراضـی رها شـده و دشـت ریگی ریزدانه بیشترین نقش را در میزان فرسایش بادی منطقه داشته‌اند. رخساره منطقه برداشت با مساحتی در حدود ٦٧٥٤ هکتار، ۱۲,۳۸ درصد از کل مساحت منطقه را شامل می‌شود. این رخساره در قسـمت شـمال غربی منطقه واقع شده است. بافت خاک سطحی در این رخساره ماسه‌ای و رسی سیلتی می‌باشد و مستعد فرسایش بادی است. این رخساره تحت تأثیر بادهای غربی قرار گرفته و می‌تواند منشأ رسوبات بخش شرقی منطقه باشـد. خالی شدن پای بوته در این رخساره و تشکیل نبکاها می‌تواند دال بر شدت برداشت رسوبات در این رخساره باشد. رخساره اراضی رها شده با مساحت ٦٧٦٧ هکتار، ۱۲,٤۱ درصد از کل منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. آیش و رهاسازی زمین‌های کشاورزی نیز از دیگر عوامل مؤثر در رخداد پدیده فرسایش بادی است. اراضی رها شـده در منطقه مورد مطالعه فاقد هرگونه پوشـش گیاهی بوده و رنگ و خصـوصیات بافتی خاک، نشان دهنده فرسایش پذیری بالای این اراضی می‌باشد. رخساره دشت ریگی ریزدانه نیز با مساحت ۲۹۷ هکتار، ۲ درصد از منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. دشت ریگی یک ژئوفرم بادی بوده که در تشکیل آن عوامل و فرآیندهای متعددی مؤثر اسـت و مهم‌ترین آن‌ها رفت و روب بادی رسـوبات با قطر کمتر از ۲ میلیمتر اسـت که باد بسته به سرعت آستانه فرسایشی، توانایی جابه جایی آنها را به صورت غلتیدن، جهشی و معلق دارد.



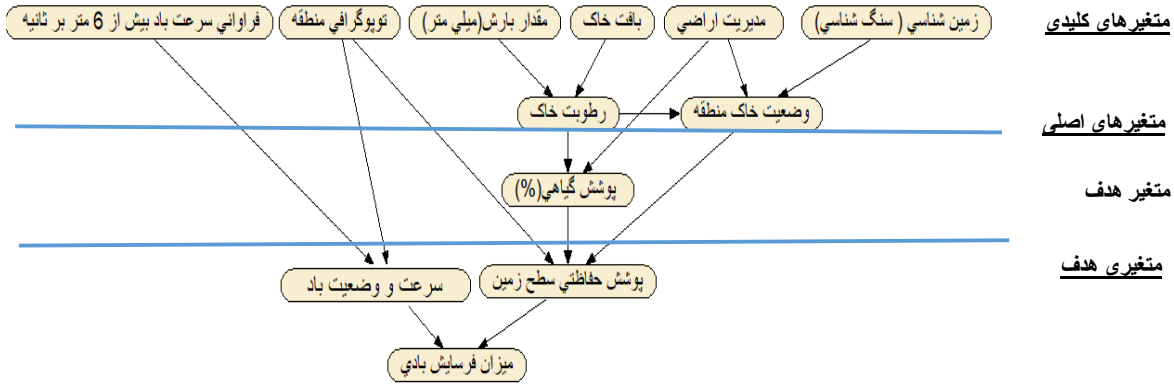
شکل ۳ – کلاس‌بندی فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از معیار فرسایش بادی مدل IMDPA مدل برآورد فرسایش بادی با استفاده از شبکه‌های باور بیزین.

۳-۲- ارزیابی شدت فرسایش بادی با استفاده از شبکه‌های باور بیزین

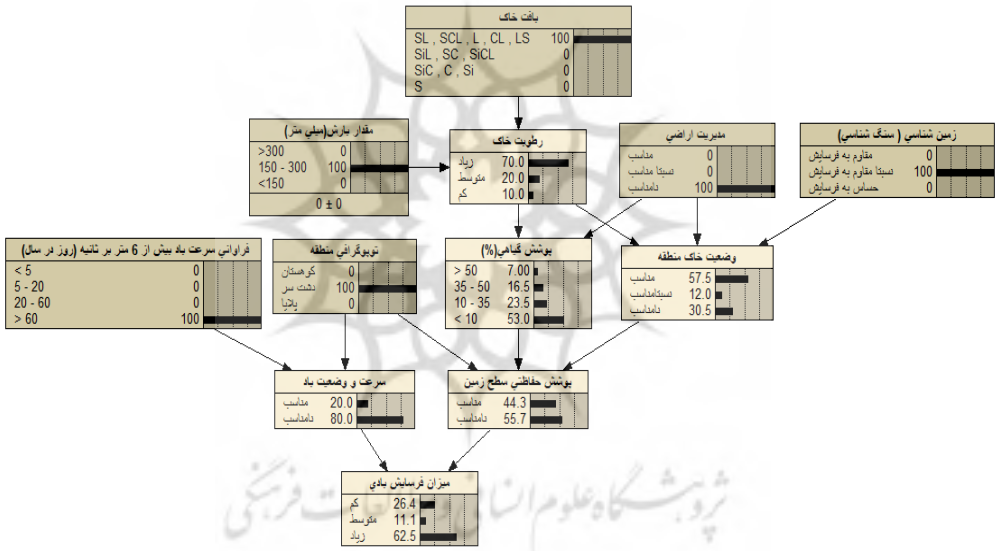
پس از انجام بررسی منابع و کمک گرفتن از نظر متخصصین متغیرهای ورودی و کلاس طبقه‌بندی آنها در منطقه مورد مطالعه تعیین شد(جدول۳). با استفاده از مدل نهایی شبکه باور بیزین، روابط علی و معلولی میان متغیرهای مؤثر بر میزان فرسایش بادی نشان داده شد(شکل٤). متغیر هدف در این مدل میزان فرسایش بادی می‌باشد. براساس نتایج، متغیرهای زمین‌شناسی، مدیریت اراضی، توپوگرافی منطقه، بافت خاک، میزان بارش و فراوانی سرعت باد با سرعت بیش از ٦ متر بر ثانیه به عنوان متغیرهای کلیدی مدل در نظر گرفته شد. جهت اجرای مدل اطلاعات مربوط به هر یک از متغیرهای کلیدی در سطح واحدکاری از منطقه برداشت و وارد مدل گردید. وضعیت خاک منطقه، پوشش گیاهی، رطوبت خاک، پوشش حفاظتی سطح زمین و سرعت و وضعیت باد به عنوان متغیرهای اصلی مدل انتخاب شدند. اطلاعات مربوط به هر یک از متغیرهای اصلی مدل نیز براساس احتمالات شرطی(نظر کارشناسان) و بررسی سناریوهای مختلف وارد مدل شد.

جدول۳ - کلاس‌ها و پارامترهای ورودی مدل شبکه‌های باور بیزین

پارامتر	کلاس	شرح پارامتر	پارامتر	کلاس	شرح پارامتر
بافت خاک	1	L ،SCL، SL،LS،CL	فراوانی باد با سرعت بیش از ٦ متر بر ثانیه	1	5 >
	2	SC،SiL،SiCL		2	20 – 5
	3	Si ،C، SiC		3	60 - 20
	4	S		4	60 <
بارش(میلی‌متر)	1	300 <	مدیریت اراضی	1	مناسب
	2	300 – 150		2	نسبتاً مناسب
	3	150 >		3	نامناسب
زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی)	1	گرانیت ، کوارتزیت ، آهک توده‌ای، سنگ آذرین سخت	توپوگرافی منطقه	1	کوهستان
	2	نهشته‌های کواترنر آبرفتی ریز تا متوسط دانه ، ماسه سنگ و کنگلو مرا		2	دشت سر
	3	خاکستر آتشفشانی، مارن، رس، نهشته های بادی		3	پلایا



شکل ٤ – نمودار تأثیر متغیرهای فرسایش بادی



شکل ٥ – مدل شبکه باور بیزین ارائه شده برای برآورد میزان فرسایش بادی در واحد کاری ٦(اراضی برداشت).

جهت اجرای مدل اطلاعات مربوط به هر یک از متغیرهای کلیدی مدل در سطح واحدکاری برداشت شد(جدول٤). اطلاعات محیطی واحد کاری شماره ٦ به عنوان نمونه در مدل وارد و اجرا شد(شکل٥). طبق این مدل در صورتی که بافت خاک رسی لومی و بارش منطقه بین ۳۰۰ تا ۱۵۰ میلیمتر باشد، وضعیت رطوبت خاک به احتمال ۷۰ درصد زیاد می‌باشد. هرچند مدیریت اراضی در این واحد نامناسب و رخسارهای زمین‌شناسی نسبت به فرسایش بادی نسبتاً مقاوم هستند اما به علت رطوبت بالای خاک، سطح خاک از نظر فرسایش بادی در کلاس مناسب قرار گرفته است(احتمال ۵۷ درصد). پوشش حفاظتی سطح زمین تحت تأثیر وضعیت خاک، پوشش گیاهی و توپوگرافی

منطقه قرار می‌گیرد. با توجه به وضعیت مناسب خاک، پوشش گیاهی کمتر از ۳۵ درصد و قرار گرفتن این واحدکاری در واحد ژئومورفولوژیکی دشت سر، پوشش حفاظتی سطح زمین جهت جلوگیری از فرسایش بادی به احتمال ۵۵ درصد نامناسب می‌باشد. پوشش نامناسب سطح زمین در کنار فراوانی بادهای فرسایش زا (سرعت بیش از ٦ متر بر ثانیه) باعث افزایش فرسایش بادی در این واحد شده است(احتمال ٦۲ درصد). جدول ۵ سناریوهای مختلف مربوط به جدول احتمال شرطی گره فرسایش بادی می‌باشد. به‌عنوان‌مثال اگر سرعت و وضعیت باد در کلاس مناسب و پوشش حفاظتی سطح زمین در کلاس نامناسب قرار گیرند، به احتمال ۷۰ درصد فرسایش بادی در کلاس کم ، ۲۰ درصد در کلاس متوسط و ۱۰ درصد در کلاس زیاد قرار می‌گیرد.

درنهایت براساس اطلاعات وارده به متغیرهای کلیدی و پرکردن جداول احتمالات شرطی براساس نظر کارشناسان مدل طراحی شده جهت برآورد میزان فرسایش بادی در هر واحدکاری اجرا شد. براساس خروجی مدل، از احتمالات زیاد گره فرسایش بادی در هر واحد کاری جهت پهنه بندی احتمال خطر فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. شکل ٦ نقشه احتمالات زیاد میزان فرسایش بادی در دشت دهلران را نشان می‌دهد که بر این اساس و طبق پیش‌بینی مدل قسمت‌های شمالی و شمال شرقی منطقه در واحدهای کاریِ اراضی برداشت و اراضی رها شده بیشترین میزان فرسایش بادی رخ می‌دهد.

نتایج حساسیت سنجی کلی مدل نیز نشان دهنده این موضوع است که میزان فرسایش بادی منطقه نسبت به متغیرهای سرعت و وضعیت باد، فراوانی سرعت باد بیش از ٦ متر بر ثانیه و پوشش حفاظتی سطح زمین بیشترین حساسیت و نسبت به متغیرهای مدیریت اراضی، زمین‌شناسی و توپوگرافی کمترین حساسیت را دارد(جدول٦). جدول ۷ مقدار فرسایش بادی به دست آمده با استفاده از معیار فرسایش بادی مدل IMDPAو مدل شبکه باور بیزین را نشان می‌دهد. نتایج به دست آمده نشان دهنده همبستگی بالای بین نتایج دو مدل می‌باشد. ضریب تبیین مناسب و معنی‌داری در سطح $\alpha= 0/05$ بین احتمالات زیاد شبکه باور بیزین و امتیاز معیار فرسایش بادی مدل IMDPAوجود داشت(شکل۷).

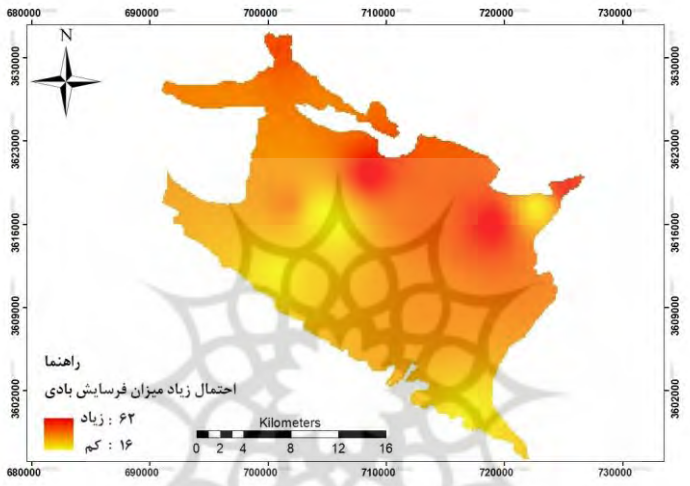
پرتال جامع علوم انسانی

جدول٤- متغیرهای ورودی و نتایج مدل شبکه‌های باور بیزین در منطقه مورد مطالعه – سناریو مربوط به رخساره اراضی برداشت در شکل ٥ نشان داده شده است.

کد واحد کاری	نام رخساره	بافت خاک	زمین‌شناسی	بیابان‌زایی (مدیریت)	میزان بارش	فراوانی باد	توپوگرافی منطقه	پیش‌بینی فرسایش بادی در هر واحدکاری با استفاده از شبکه‌های باور بیزین (٪)		
								کم	متوسط	زیاد
1-1-1	دشت ریگی ریزدانه	لومی رسی	نسبتاً مقاوم به فرسایش	نسبتاً مناسب	300 – 150	60<	دشت سر اوپانداز	35	10	55
1-2-1	فرسایش آبراهه‌ای متوسط	لومی	نسبتاً مقاوم به فرسایش	نسبتاً مناسب	300 – 150	60<	دشت سر فرسایشی	42	11	47
1-3-1	بستر رودخانه	لومی رسی	مقاوم به فرسایش	مناسب	300 – 150	20 - 5	دشت سر پوشیده	72	11	17
2-3-1	فرسایش آبراهه‌ای شدید	لومی رسی	مقاوم به فرسایش	نسبتاً مناسب	300 – 150	5>	دشت سر پوشیده	72	12	16
3-3-1	جنگل	لومی	نسبتاً مقاوم به فرسایش	نسبتاً مناسب	300 – 150	20 - 5	دشت سر پوشیده	69	12	19
4-3-1	اراضی کشاورزی	لومی رسی	حساس به فرسایش	مناسب	300 – 150	60 - 20	دشت سر پوشیده	52	11	37
5-3-1	فرسایش آبراهه‌ای متوسط	لومی	مقاوم به فرسایش	نسبتاً مناسب	300 – 150	60 - 20	دشت سر پوشیده	50	11	39
6-3-1	اراضی منطقه برداشت	لومی رسی	نسبتاً مقاوم به فرسایش	نامناسب	300 – 150	60<	دشت سر پوشیده	27	11	62
7-3-1	اراضی رها شده و بایر	لومی رسی	مقاوم به فرسایش	نامناسب	300 – 150	60<	دشت سر پوشیده	27	11	62
8-3-1	اراضی شوره‌زار	لومی رسی	مقاوم به فرسایش	نامناسب	300 – 150	60 - 20	دشت سر پوشیده	43	13	44

جدول۵- احتمال شرطی مربوط به متغیر هدف(میزان فرسایش بادی). سناریوهای مربوط به متغیر میزان فرسایش بادی در واحدکاری ٦ (به کار رفته در شکل ۵) می‌باشد.

زیاد	متوسط	کم	پوشش حفاظتی سطح زمین	سرعت و وضعیت باد
0	10	90	مناسب	مناسب
10	20	70	نامناسب	مناسب
60	10	30	مناسب	نامناسب
90	10	0	نامناسب	نامناسب



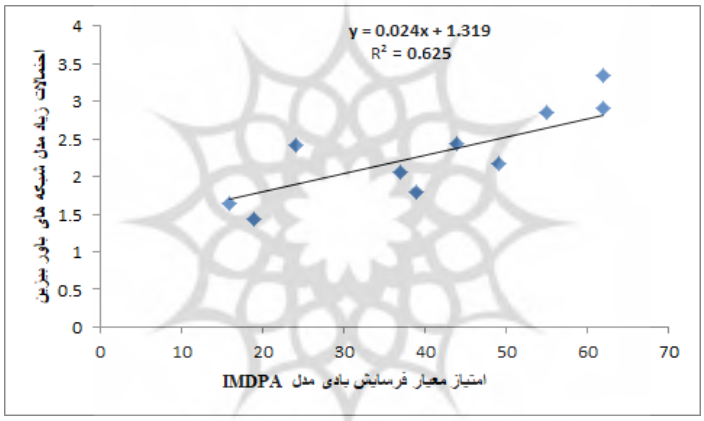
شکل ٦- نشان دهنده نقشه احتمالات زیاد میزان فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه

جدول٦- نتایج حساسیت سنجی مدل فرسایش بادی به متغیرهای مختلف در مدل شبکه بیزین

متغیر	کاهش بی نظمی	واریانس باورها
سرعت و وضعیت باد	0.4336	0.0953
فراوانی سرعت باد بیش از ٦ متر بر ثانیه	0.0911	0.0224
پوشش حفاظتی سطح زمین	0.0446	0.0110
پوشش گیاهی	0.0134	0.0035
مقدار بارش	0.0129	0.0032
وضعیت خاک منطقه	0.0072	0.0018
رطوبت خاک	0.0060	0.0015
بافت خاک	0.0019	0.0009
مدیریت اراضی	0.0005	0.00008
زمین‌شناسی	0.0001	0.00003
توپوگرافی منطقه	0.000006	0.00001

جدول۷- مقایسه نتایج معیار فرسایش بادی مدل IMDPAو مدل شبکه باور بیزین در هر واحد کاری

کد واحد کاری	میانگین وزنی امتیازات معیار فرسایش بادی در مدل IMDPA	پیش‌بینی فرسایش بادی در هر واحدکاری با استفاده از شبکه‌های باور بیزین (٪)		
		کم	متوسط	زیاد
1-1-1	2.86	35	10	55
1-2-1	1.64	42	11	47
1-3-1	2.65	72	11	17
2-3-1	1.64	72	12	16
3-3-1	1.43	69	12	19
4-3-1	2.06	52	11	37
5-3-1	1.80	50	11	39
6-3-1	3.34	27	11	62
7-3-1	2.90	27	11	62
8-3-1	2.44	43	13	44



شکل ۷- نشان‌دهنده همبستگی بین امتیاز معیار فرسایش بادی در مدل IMDPAو احتمالات زیاد پیش‌بینی شده برای مدل شبکه‌های باور بیزین.

٤- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، به منظور ارزیابی شدت فرسایش بادی دشت دهلران از معیار فرسایش بادی مدل IMDPAو روش شبکه باور بیزین استفاده شد. نتایج ارزیابی شدت فرسایش بادی با استفاده از هر دو روش نشان داد که بیشترین میزان تولید فرسایش بادی در منطقه مطالعاتی، مربوط به واحدهای کاری اراضی برداشت، اراضی رها شده و دشت ریگی ریزدانه واقع در قسمت‌های شرقی و غربی منطقه می‌باشد که باعث تشدید فرسایش بادی در منطقه مطالعاتی شده است. اراضی کشاورزی در منطقه مورد مطالعه که به علت خشکسالی و کم آبی پس از مدتی رها شده‌اند به علت به هم خوردن و بدون پوشش باقی ماندن زمین موجب شده خاک در برابر بادهای با سرعت زیاد لخت و بدون حفاظ مانده و افزایش فرسایش بادی را به همراه داشته باشند. زو و همکاران(۲۰۰۸) در مطالعات خود

اظهار داشتند که رها کردن زمین‌هایی که به‌طور فشرده تحت عملیات کشاورزی بوده‌اند به سبب کاهش چشمگیری پوشش گیاهی باعث افزایش فرسایش بادی می‌شوند. در رخساره اراضی برداشت بافت خاک سطحی ماسه‌ای و رسی سیلتی می‌باشد و مستعد فرسایش بادی است. خالی شدن پای بوته در این رخساره و تشکیل نبکاها می‌تواند دال بر شدت برداشت رسوبات در این رخساره باشد. شناخت نقاط برداشت مهم‌ترین و اصولی‌ترین راه مبارزه با فرسایش بادی می‌باشد. (طهماسبی و همکاران، ۱۳۸۹). برای کنترل تپه‌های ماسه‌ای و سایر رخساره‌های فرسایش بادی باید اقدام به منشأ یابی آن‌ها کرده تا در وقت و هزینه و نیرو انسانی صرفه‌جویی شده و اقدامات انجام گرفته همیشگی باشد. در فرسایش بادی جلوگیری از حرکت رسوبات در منطقه برداشت یک کار اساسی بوده و تثبیت مناطق برداشت تپه‌های ماسه‌ای نیازمند شناخت محدوده‌های برداشت می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه رخساره دشت ریگی ریزدانه در قسمت پایین دست اراضی رها شده واقع شده‌اند ازاین‌رو رسوبات ریزدانه که از مناطق بالادست در فصل مرطوب و پر باران توسط سیلاب شسته و یا به وسیله باد برداشت شده‌اند به علت شیب کم این رخساره در روی آن رسوب نموده و منشأ فرسایش بادی در طی ماه‌های خشک سال می‌شوند. براساس نتایج به دست آمده بیشترین میزان تولید فرسایش بادی در واحدهای کاری اراضی برداشت و اراضی رها شده و بایر واقع در دشت سر پوشیده می‌باشد. میزان اراضی کشاورزی در دشت دهلران با افزایش چشمگیری روبرو بوده و قسمت‌های مرکز و شمالی و شمال شرقی منطقه را در بر گرفته که ۳۵,۲۹ درصد از کل منطقه را شامل می‌شود. این تبدیل کاربری باعث بهره‌برداری بیش از حد از چاه‌های منطقه برای آبیاری اراضی کشاورزی شده است. با توجه به مطالعات انجام شده در حوزه آبخیز رودخانه یونار، تغییر کاربری مراتع دائمی به کشاورزی سبب افزایش فرسایش در منطقه می‌شود(مشهدی و همکاران،۲۰۱٦). ساکنین منطقه نیز جهت کاهش روند بیابان‌زایی و مقابله با فرسایش بادی در منطقه اقدام به ایجاد جنگل‌های دست کاشت نموده‌اند. افزایش جنگل‌های دست کاشت نیازمند آبیاری و استفاده از چاه‌های منطقه است که در سال‌های آینده به دلیل برداشت بی رویه با کمبود جدی آب روبرو خواهند بود و همین امر باعث می‌شود که ساکنین منطقه کمتر به سمت جنگل‌های دست کاشت بروند چون به آب بیشتری برای آبیاری نیاز دارند. کاهش سطح سفرهای آب زیرزمینی و تغییر کاربری‌های صورت گرفته باعث توسعه اراضی رها شده و اراضی بایر که منبع تولید فرسایش بادی در منطقه هستند می‌شود. نتایج حساسیت سنجی با استفاده از روش شبکه‌های باور بیزین نشان داد که مهم‌ترین پارامترهای تشدید کننده فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه به ترتیب، سرعت و وضعیت باد، فراوانی بادهای با سرعت وزش٦ متر بر ثانیه و پوشش حفاظتی سطح زمین می‌باشد. سرعت باد مهم‌ترین عامل مؤثر در فرسایش شناسایی شد که با افزایش آن میزان جابجایی ذرات خاک به صورت نمایی افزایش می‌یابد (طهماسبی و همکاران، ۱۳۸۹). میزان فرسایندگی باد در زمان‌هایی که خاک سطحی خشک است بسیار بیشتر از زمانی است که سطح خاک و خاک دانه‌ها مرطوب هستند. در فصول خشک ذرات چسبندگی لازم برای

مقاومت در برابر جابجایی را نداشته و به‌آسانی جابجا می‌شوند. تمام بارندگی سالانه در منطقه، فصول سرد سال اتفاق میافتد و بادهای شـدید و فرسـاینده نیز در فصـول گرم سال که زمین خشک و بدون پوشش بوده شروع به وزیدن می‌کند و این یکی از مهم‌ترین عوامل در تولید فرسایش بادی در منطقه می‌باشد. 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 نمود .(Zhang et al, 2012)

این مطالعه نشان داد که مدل‌سازی به روش شبکه‌های باور بیزی، رویکردی مناسب جهت مطالعه و ارزیابی فرسایش بادی اسـت؛ همان نتیجه‌ای که مطالعات مشـابه نیز به آن دست یافته بودند .(Aalders et al, 2011; Zho et al, 2008) همان‌طور که نشان داده شد، مدل شبکه‌های باور بیزی با زبان احتمالات، احتمال بروز شدت‌های مختلف فرسایش بـادی را برای هر یک از واحدهای کاری در منطقه مورد مطالعه ارائه کردند. در مدل شـــبکه باور بیزین میزان عدم اطمینان از نتایج ارزیابی با زبان احتمالات بیان می‌شـود و این مدیران هسـتند که تصـمیم گیرنده هسـتند تا بتوانند تصمیمات مدیریتی به هنگام و مناسبی برای کم کردن خطر فرسایش بادی در منطقه انتخاب و اجرا نمایند. البته مدل شبکه باور بیزی نظیر سایر مدل‌ها محدودیت‌هایی دارد. اگر برای تکمیل جداول احتمالات شرطی از نظرات تجربی افراد مختلف استفاده شود بنابراین نتایج مدل بستگی به تجربه و صحت تخمین‌های افراد دارد. اگر نظرات افراد اشتباه باشـــد نتایج مدل نیز با خطا روبرو خواهد بود. از معایب دیگر این نوع مدل‌ها می‌توان به این نکته اشـــاره کرد که شبکه‌های پیچیده با تعداد متغیرها و حالات متعدد و روابط مختلف دارای جداول احتمالات شرطی بسیار بزرگ شده و پر کردن این جداول شـرطی عاری از اشتباه نخواهد بود. مدل طراحی شده در این مطالعه قابلیت اجرا در تمامی مناطق را داشـته که البته با توجه به شـرایط هر منطقه می‌توان بر تعداد متغیرهای مدل اضـافه کرد و یا از تعداد آنها کاست. هدف از تهیه چنین مدل‌هایی ایجاد یک مدل عمومی با قابلیت استفاده در تمامی مناطق می‌باشد. بدیهی است که مهم‌ترین کاربرد این مدل‌ها در بخش مدیریت و کمک به تصمیم‌گیری مدیران در بخش‌های مختلف می‌باشد. در مدل شـبکه‌های باور بیزی ارائه شده در این مطالعه نشان داده شده است که مدیریت اراضی و تراکم پوشش گیاهی عواملی هســـتنـد بر میزان فرســـایش بادی تأثیر دارند و در مقیاس بزرگ قابل مدیریت هســـتند. با در نظر گرفتن محدودیت‌های محیطی منطقه تا حدی قابل اصلاح می‌باشند ولی سایر عوامل نظیر شکل پستی و بلندی(توپوگرافی)، بافت خاک و سنگ‌شناسی با توجه به وسعت منطقه و به‌صرفه نبودن اقتصادی قابل‌تغییر نیستند.

کتابنامه

احمدی، حسن؛ ۱۳۸۳. کالیبراسیون معیارها و شاخص‌های ارزیابی بیابان‌زایی در ایران(با استفاده از مدل IMDPAمنطقه مورد مطالعه شرق اصفهان. مجله مرتع و مدیریت آبخیزداری،(3) 58 ، .417-431

آرخی، صالح؛ فتحی زاد، حسن؛ ۱۳۹۳. مقایسه روش های مختلف آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در منطقه بیابانی دهلران استان ایلام .مجله مهندسی اکوسیستم بیابان(2)2 .. 80 – 65

بوعلی، عبدالحسین؛ بشری، حسین؛ جعفری، رضا؛ سلیمانی، محسن؛ ۱۳۹٦. پتانسیل‌یابی شبکه‌های باور بیزین جهت ارزیابی تأثیر معیار کیفیت خاک در بیابان‌زایی منطقه دشت سگزی اصفهان. نشریه علوم آب و خاک)علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی (، ۲۱(۲) ، صفحه ۲۸ – ۱۵.

خنامانی، علی؛ کریم زاده حمید؛ جعفری، رضا؛ ۱۳۹۰. استفاده از معیار خاک برای ارزیابی شدت بیابان‌زایی (مطالعه موردی : دشت سگزی اصفهان). مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک(63)17، .49 – 59

صفی‌یاری، راضیه؛ سرمدیان، فریدون؛ حیدری، احمد؛ یونسی، شیرین؛ ۱۳۹٤. بررسی حساسیت ارزیابی به فرسایش آبی و بادی با استفاده از مدل Raizal(مطالعه موردی: منطقه آبیک) مجله مرتع و مدیریت آبخیزداری، (3) 66، .417-431

طهماسبی بیرگانی، علی؛ سرداری، فرهاد؛ ۱۳۸۹ . طرح بازنگری کانون‌های بحرانی فرسایش بادی راهبردی مناسب برای مقابله با فرسـایش بادی در چشم انداز بیست ساله کشور. دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار. دانشگاه یزد.٦۳۵ص.

کریمی، ابراهیم؛ ۱۳۸۹. ارزیابی خطر، خسارت و برنامه مدیریت زمین لغزش حوضه آبخیز چهل چای، استان گلستان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، ۱٤۷ ص.

مصباح زاده، طیبه؛ احمدی، حسن؛ زهتابیان، غلامرضا؛ فریدون، سرمدیان؛ ۱۳۸۹. ارزیابی شدت فرسایش بادی با بهره‌گیری از مدل IRIFR. E.Aبررسی موردی: ابوزیدآباد (کاشان). مجله مرتع و مدیریت آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، 63 (3)، .399-499

موحدان، محمود؛ عباسی، نادر؛ کرامتی، مجید؛ ۱۳۹۲. بررسی اثر پلی وینیل آستا بر فرسایش باد خاک‌های مختلف با تأثیر ذرات شن و ماسه، مجله حفاظت از آب و خاک، (1)20، .55-75

مهاجرانی، حدیث؛ خلقی، مجید؛ مسـاعدی، ابوالفضـل؛ سعدالدین، امیر؛ مفتاح هلقی، مهدی؛ ۱۳۸۹. مدیریت کمی آبخوان با شبکه‌ی تصمیم بیزی. مجله آب و خاک. دانشگاه فردوسی مشهد. ۲۱(٦)، ۱۵۳٤–۱۵۲۲.

Aalders, I., Hough, R. L., & Tower, W. (2011). Risk of erosion in peat soils – an investigation using Bayesian belief networks. *Soil Use and Management*, 27,538 –549.

Adriaenssens, V., Goethals, P. L. M,. Charles, J & De pauw, N. (2009). Application of Bayesian Belief network for the prediction of macro invertebrate taxa in rivers . *Annales de limnologie – International journal of limnolog* 40 ،No ،3pp ،181-191.

Bashari, H., & Hemami, M. (2013). A predictive diagnostic model for wild sheep (Ovis orientalis) habitat suitability in Iran. *Journal of Nature Conservation.* 21 : 319 – 325.

David, N., Barton, Tamara., Benjamin, Carlos. R., Cerdán, Fabrice., DeClerck, Anders. L., Madsen, Graciela. M., Rusch, Álvaro G., Salazar, Dalia. Sanchez., & Cristóbal, Villanueva. (2016). Assessing ecosystem services from multifunctional trees in pastures using Bayesian belief networks. *Ecosystem Services* 18: 165 – 174.

Gizachew, D., Solomon, T., & Rehan, S., 2015. Prediction of Soil Corrosivity Index: A Bayesian Belief Network Approach.International Conference on Applications of Statistics and Probability in Civil Engineering, Canada.

Landuyt, D., Broeckx, S. K., Van der, B., & Goethals, L. M. (2014).Probabilistic Mapping With Bayesian Belief Networks: An Application On Ecosystem Service Delivery In Flanders, Belgium. International Environmental Modelling and Software Society (iEMSs) 7th Intl. Congress on Env.

Marcot, B. G., Steventon, J., Sutherland, G.D. & McCann, R. K. (2006).Guidelines for developing and updating Bayesian belief networks applied to ecological modeling and conservation. *Canadian Journal of forest Research* 36(12): 3063-3054.

Mashhadi, M., Hanifehpoor, M., Amiraslani, F. & Sh. Mohamadkhan. (2016). A Study on The Wind Erosion Potential of Agricultural Lands after Crop Harvesting (Case study: Damghan Region). *Journal of Desert* 21(2), 133-141.

Skidmore, E. L. (2000). Air, soil, and water quality as influenced by wind erosionand strategies for mitigation, In: AGROENVIRON: 216-221. In: Second International Symposium of New Technologies for Environmental Monitoringand Agro-Applications Proceedings, Tekirdag, Turkey.

Subramaniam, N., & Chinappa, G.P. (2002). Remote sensing and GIS techniques for land degradation assessment due to water erosion, P 815-819. In: 17th WCSS, Thailand.

Wigley, T. M. L. (1995). MAGICC and SCENGEN: Integrate models estimating regional climate change in response to anthropogenic emissions, *Journal of Studies in Environmental science* 65, 93-94.

Zhang, K. Qu., Han, Q. & Z, An. (2012). Wind energy environments and aeolian sand characteristics along the Qinghai–Tibet Railway, China, Journal of Sedimentary Geology, 273–274, 91–96.

Zho, X., H, S. LIN & White, E. A. (2008). Surface soil hydraulic properties in four soil series under different land use and their temporal change. *Catena* (73): 180-188.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی