

## برآورد و ارزیابی فرسایش بادی با به کارگیری شبکه باور بیزی (*BBNs*) در دشت سگزی اصفهان

عبدالحسین بوعلی<sup>\*</sup>، رضا جعفری<sup>۲</sup>، حسین بشری<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۲/۲۷

### چکیده

فرسایش خاک به وسیله باد، مشکلی گسترده در مناطق خشک ایران است. این مقاله با هدف برآورد و ارزیابی شدت فرسایش بادی در کانون بیابانزایی سگزی واقع در بخش شرقی شهرستان اصفهان، با استفاده از شبکه باور بیزی (*BBNs*) و با توجه به معیارهای مورد استفاده در مدل *IRIFR* (مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع ایران) انجام شد. با استفاده از مدل *BBN*، مدل *IRIFR* به یک مدل پیش‌بینی‌کننده و علت و معلولی تبدیل شد. شدت فرسایش بادی براساس شاخص مدل *IRIFR* در ۱۷ واحد ژئومورفولوژیک محاسبه شد. با توجه به نتایج حاصل از مدل *IRIFR*، ۲۴، ۱۶، ۱۵ و ۴۵ درصد از منطقه مورد مطالعه به ترتیب دارای کلاس پتانسیل رسوب‌دهی فرسایش بادی با شدت کم، متوسط، بالا و بسیار بالا هستند. با استفاده از شاخص‌های مدل *IRIFR* یک مدل *BBN* با قابلیت تحلیل سناریوهای مختلف ایجاد شد که نحوه ارتباط بین این شاخص‌ها و میزان فرسایش بادی در جداول احتمال شرطی ذخیره شده است. صحت‌سنجی مدل *BBNs* ایجادشده با انجام حساسیت‌سنجی و تحلیل سناریوهای مختلف انجام شد. تحلیل حساسیت هر دو مدل نشان داد که سرعت و وضعیت باد، نوع و نهشته‌های فرسایش بادی و آثار فرسایش در سطح خاک به‌عنوان مهم‌ترین شاخص‌های فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه بودند. ضریب تبیین بین خروجی مدل *IRIFR* و *BBNs* نشان داد که نتایج حاصل از هر دو مدل، دارای همبستگی معنی‌دار ( $R^2 > 0.80, p < 0.05$ ) است. این مطالعه نشان داد که ارائه مدل *IRIFR* به شکل *BBN* می‌تواند بررسی نتایج سناریوهای مختلف را تسهیل کرده و عدم قطعیت حاصل از ارتباطات متغیرها را نمایش دهد.

واژه‌های کلیدی: آنالیز حساسیت، شبکه‌های باور بیزی، فرسایش بادی، *IRIFR*

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد بیابان‌زدایی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، نویسنده مسئول / Email: Hossien.boali@yahoo.com

## مقدمه

است که در کشور مورد استفاده قرار گرفته و نتایج قابل قبولی از آن به دست آمده است. بهره‌گیری از مدل *IRIFR* برای ارزیابی فرسایش بادی در منطقه ابوزیدآباد کاشان نشان داد که بیشترین امتیاز فرسایش بادی مربوط به تپه‌های فعال و تغییر کاربری زمین با رسوب‌دهی سالانه بیش از ۶۰۰۰ تن بر کیلومتر مربع و کمترین امتیاز مربوط به اراضی مجاور روستا با میزان رسوب‌دهی سالانه بین ۱۵۰-۵۰۰ تن بر کیلومتر مربع بود (مصباح‌زاده و همکاران، ۲۰۱۱).

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 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. این بدین معنی است که یک مدیر نمی‌تواند با اعتماد بگوید که وضعیت فرسایش مناسب یا نامناسب است و اگر مدلی بتواند اطلاعاتی درباره میزان احتمال مناسب یا نامناسب بودن فرسایش ارائه کند، کارایی مناسب‌تری خواهد داشت. همچنین مدیران اراضی علاقه‌مندند که نتیجه فعالیت‌هایشان را بر میزان و نحوه فرسایش مورد ارزیابی قرار دهند. در حال حاضر، مدل‌هایی نظیر *IRIFR* این قابلیت را به‌طور کامل ندارند و در این زمینه نقص دارند. استفاده از شبکه‌های باور بیزی (*BBN*) می‌تواند به‌عنوان یک ابزار نسبتاً جدید در این زمینه کارآمدی مناسبی داشته باشند و تا حدی عدم اطمینان‌های موجود در نتایج ارزیابی را به کاربران مدل نشان دهند. در سال‌های اخیر، سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری برای جمع‌آوری و یکپارچه‌سازی بهترین اطلاعات موجود برای اتخاذ تصمیم‌گیری‌های مناسب در سطح وسیعی از علوم گسترش یافته است؛ مدل شبکه‌های باور بیزی از جمله مدل‌هایی است که برای ایجاد انواع مختلف سیستم‌های تصمیم‌گیری مورد استفاده قرار گرفته است (واریس<sup>۵</sup>، ۲۰۰۷؛ آدریانسون<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). استفاده از این روش، منجر به سهولت درک روابط علت و معلولی میان متغیرها شده و می‌تواند با

فرسایش بادی از پدیده‌هایی است که باعث تخریب اراضی در مناطق خشک و نیمه‌خشک شده و چالشی جدی برای تولید پایدار و مدیریت اراضی کشاورزی این مناطق محسوب می‌شود. مسئله فرسایش بادی در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان و از جمله ایران، از جنبه‌های گوناگون زیست‌محیطی و اقتصادی و اجتماعی حائز اهمیت است. حدود ۲۰ میلیون هکتار از اراضی کشور واقع در ۱۴ استان و ۸۲ شهرستان در معرض فرسایش بادی قرار دارند و مناطقی که در این شهرستان‌ها تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارند، در ۱۶۴ منطقه پراکنده شده‌اند (احمدی، ۲۰۰۸). فرسایش بادی در محیط‌های خشک و نیمه‌خشک به علت نبود موانع در برابر باد، شدت اثر بیشتری داشته و با قدرت زیادتری منجر به تخریب اراضی می‌شود. در ایجاد فرسایش بادی و تخریب حاصل از آن، عواملی چون شدت و سرعت باد، کمبود یا فقدان پوشش گیاهی در سطح خاک، ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک، توپوگرافی منطقه و... دخالت دارند که همه آن‌ها در ارتباط با هم بوده و با هم منجر به افزایش یا کاهش شدت فرسایش بادی در یک منطقه می‌شوند (اختصاصی، ۲۰۱۰). باد یکی از مهم‌ترین عوامل اقلیمی است که نقش مهمی در تغییرات سطح زمین در مناطق خشک و بیابانی دارد. به‌طور کلی، کنکاش باد در سطح زمین با عمل فرسایش و برداشت همراه است که قسمتی از این بار پس از مسافتی رسوب کرده و مابقی به‌صورت معلق در هوا باقی می‌ماند که به شکل گردوغبار تا مسافت‌های طولانی قابل حمل است. برای پی بردن به پتانسیل و نقش عوامل مؤثر در فرسایش بادی، تحقیقات زیادی انجام شده که حاصل آن ارائه مدل‌های مختلف در این زمینه است. مدل‌های <sup>۱</sup>WEPS، <sup>۲</sup>RWEQ، <sup>۳</sup>WEQ و <sup>۴</sup>IRIFR از جمله مدل‌های برآورد فرسایش بادی هستند که در مناطق مختلف مورد استفاده قرار گرفته‌اند (خانمانی، ۲۰۱۱). مدل *IRIFR* از جمله مدل‌هایی

1. Wind Erosion Prediction System (WEPS)
2. Revised Wind Erosion Equation (RWEQ)
3. Wind Erosion Equation (WEQ)
4. Iran, Research Institute of Forest and Rangelands (IRIFR)

۳۰۱۸۵ هکتار است که بین طول جغرافیایی  $50^{\circ}44'$  تا  $51^{\circ}$  تا  $50^{\circ}44'$  عرض جغرافیایی  $32^{\circ}35'$  تا  $32^{\circ}$  واقع شده است. نقشه واحدهای کاری با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، تفسیر عکس‌های هوایی و باند پانکروماتیک و چندطیفی تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده TM و بازدیدهای صحرایی تهیه گردید و رخساره‌های ژئومرفولوژی هریک از تیپ‌ها در منطقه به‌عنوان واحدکاری در نظر گرفته شد.

براساس آمار ایستگاه هواشناسی فرودگاه اصفهان که نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه است، طی یک دوره آماری سی ساله (۱۹۸۴-۲۰۱۳) شدیدترین بادهای در این دوره آماری سرعتی برابر ۲۵/۲۱ متر بر ثانیه (۴۹ گره) داشته‌اند که در ۲۹ اردیبهشت سال ۱۳۷۶ از غرب، در ۲ فروردین سال ۱۳۷۲ از شمال غرب و ۱۴ فروردین سال ۱۳۶۹ از جنوب غرب وزیده‌اند. برای بادهای شدید فرساینده در ۹ ماه سال، غالباً غربی، جنوب غربی و شمال غربی بوده و در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور، شرقی و جنوب شرقی است (بخشنده‌مهر، ۲۰۰۸).

### ارزیابی فرسایش بادی با استفاده از مدل IRIFR

برای ارزیابی میزان فرسایش بادی از روش IRIFR ارائه شده توسط متخصصان داخلی استفاده شد (اختصاصی، ۲۰۱۰). این روش نیز همانند PSIAC نقش ۹ عامل مؤثر در فرسایش بادی را مورد ارزیابی و امتیازدهی قرار می‌دهد (جدول ۲). هرچه امتیازات داده شده به یک عامل بیشتر باشد، نشان‌دهنده نقش بیشتر آن در ایجاد فرسایش بادی است. این عوامل پس از امتیازدهی در واحدهای کاری، بر طبق جدول (۳) طبقه‌بندی شده و پتانسیل رسوب‌دهی منطقه نیز تعیین می‌شود.

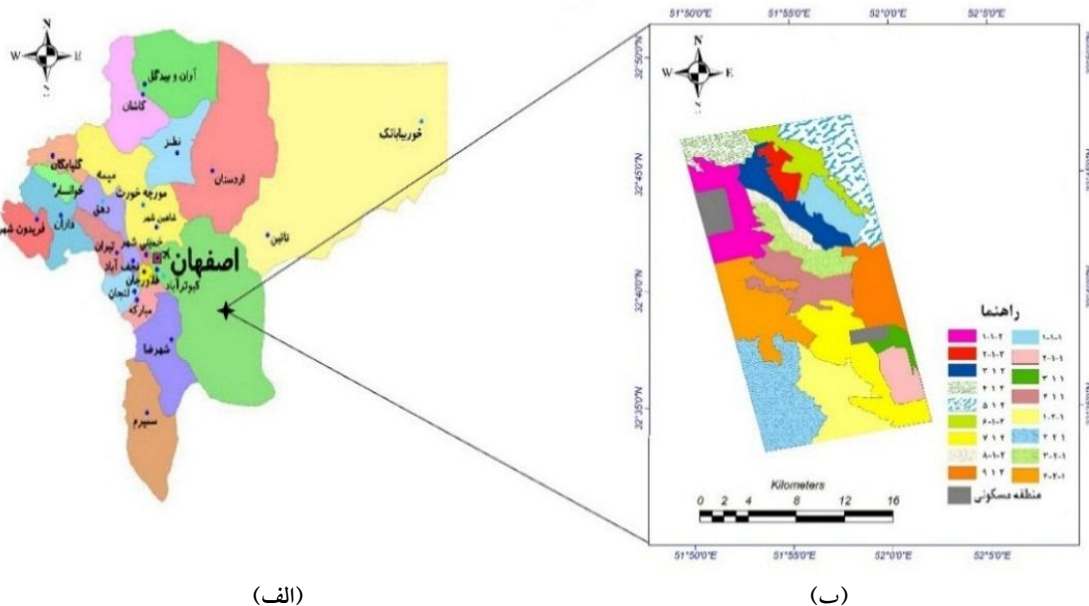
سایر ابزارهای تحلیلی برای تصمیم‌های مدیریتی ترکیب شده و ابزارهای پشتیبانی تصمیم‌گیری مناسبی را ایجاد کنند (لندوت<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۳؛ مارکوت<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۰۱). شبکه‌های باور بیزی روشی سودمند است که می‌تواند اطلاعات و داده‌های کمی را به‌خوبی با دانش کیفی کارشناسی تلفیق کند (جانسون<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۱؛ باران<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۴؛ بشری<sup>۵</sup> و همکاران، ۲۰۰۹). این شبکه‌ها مدل‌های گرافیکی احتمالاتی هستند که ارتباط بین مجموعه‌ای از متغیرها را در یک سیستم نشان می‌دهند که ارتباط این متغیرها نبایستی به‌صورت چرخه‌ای باشد (پولینو<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۰۷). از جمله مطالعاتی که در زمینه فرسایش خاک با استفاده از شبکه‌های باور بیزی صورت گرفته، می‌توان به آلدرز<sup>۷</sup> 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 و همکاران، ۲۰۱۱). یانگ و همکاران نیز جهت کنترل گردوغبار ناشی از بیابان‌های اطراف پکن، از شبکه‌های باور بیزی استفاده کرده و قابلیت اجرای شبکه‌های باور بیزی را در این زمینه مناسب گزارش نمودند (یانگ<sup>۸</sup> و همکاران، ۲۰۰۲). هدف از مطالعه حاضر، ارزیابی و تعیین مؤثرترین شاخص‌ها در فرسایش بادی با استفاده از مدل IRIFR و استفاده از این شاخص‌ها در روش مدل‌سازی شبکه‌های باور بیزی برای ایجاد یک مدل بر مبنای احتمالات و علت و معلولی برای ارزیابی وضعیت فرسایش بادی است.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه بخشی از دشت سگزی با مساحت

1. Landuyt
2. Marcot
3. Johnson
4. Baran
5. Bashari
6. Pollino
7. Aalders
8. Yang



شکل (۱): الف. موقعیت منطقه مورد مطالعه در دشت سگزی در استان اصفهان و ب. نقشه واحدهای کاری منطقه مطالعاتی

جدول (۱): رخساره‌های ژئومورفولوژی و واحدهای کاری منطقه مطالعات

مساحت		کد و نام رخساره ژئومورفولوژی		کد و نام تیپ		کد و نام واحد ژئومورفولوژی	
درصد	هکتار	نام	کد	نام	کد	نام	کد
۳/۹۹	۱۲۰/۱	اراضی باغی و زراعی	۱-۱-۱				
۸/۷۷	۲۶۴۸/۴	دشت ریگی با تراکم زیاد	۲-۱-۱	دشت سراپانداژ	۱-۱	دشت سر	۱
۲/۲۴	۶۷۹/۲	اراضی دست‌کاشت	۳-۱-۱				
۰/۶۹	۲۰۹	اراضی دست‌کاشت همراه با فرسایش بادی	۴-۱-۱				
۱۳/۵۵	۴۰۹۱/۱	اراضی باغی و زراعی	۱-۲-۱				
۷/۹۹	۲۴۱۲/۷	اراضی دست‌کاشت همراه با رخساره‌های فرسایش بادی	۲-۲-۱	دشت سرپوشیده	۲-۱	پلایا	۲
۶/۴۲	۱۹۳۹/۳	تأسیسات، کارگاه‌ها و مناطق مسکونی	۳-۲-۱				
۳/۵۹	۱۰۸۴/۶	اراضی دست‌کاشت	۴-۲-۱				
۵/۳۷	۱۶۲۳/۴	اراضی پف‌کرده همراه با گیاهان شورپسند	۱-۱-۲				
۳/۴۱	۱۰۳۰/۳	رخساره زرده	۲-۱-۲				
۸/۰۸	۲۴۴۱/۱	اراضی رهائنده	۳-۱-۲				
۴/۶۶	۱۴۰۹/۸	منطقه حمل، پهنه‌های ماسه‌ای	۴-۱-۲				
۱۰/۵۸	۳۱۹۴/۹	منطقه حمل، پوشش دست‌کاشت	۵-۱-۲				
۱/۵۱	۴۵۶/۴	اراضی گچی	۶-۱-۲	جلگه رسی	۱-۲		۲
۳/۸۲	۱۱۵۵/۲	اراضی پف‌کرده	۷-۱-۲				
۱۳/۳۶	۴۰۳۵/۲	اراضی دست‌کاشت همراه با رخساره‌های فرسایش بادی	۸-۱-۲				
۱/۸۹	۵۷۲/۱	اراضی دست‌کاشت	۹-۱-۲				
۱۰۰	۳۰۱۸۵/۹	مجموع					

جدول (۲): عوامل مؤثر در فرسایش بادی در روش IRIFR (احمدی و اختصاصی، ۲۰۱۰)

شماره	عوامل مورد بررسی در ارزیابی فرسایش بادی	حدود امتیازات
۱	سنگ شناسی	۰.۱۰
۲	شکل اراضی و پستی و بلندی	۰.۱۰
۳	سرعت و وضعیت باد	۰.۲۰
۴	عامل خاک و پوشش سطح آن	۵.۱۵
۵	انبوهی پوشش گیاهی	۱۵. (۵-)
۶	آثار فرسایش سطح خاک	۲۰. (۵-)
۷	رطوبت خاک	۰.۱۰
۸	نوع و پراکنش نهشته‌های بادی	۰.۱۰
۹	مدیریت و استفاده از زمین	۱۵. (۵-)

جدول (۳): تعیین کلاس فرسایش و برآورد رسوب‌دهی اراضی نسبت به فرسایش بادی (احمدی، ۲۰۰۶)

کلاس فرسایشی	کیفیت فرسایش	کل امتیاز محاسبه شده	رسوب‌دهی (تن در کیلومتر در سال)
I	خیلی کم	< ۲۵	کمتر از ۲۵۰
II	کم	۲۵-۵۰	۲۵۰-۵۰۰
III	متوسط	۵۰-۷۵	۵۰۰-۱۵۰۰
IV	زیاد	۷۵-۱۰۰	۱۵۰۰-۶۰۰۰
V	خیلی زیاد	> ۱۰۰	بیشتر از ۶۰۰۰

## استفاده از شبکه‌های باور بیزی برای برآورد میزان فرسایش بادی

برای شروع فرایند مدل‌سازی، ابتدا باید متغیرهای مؤثر در مدل را شناسایی کرد. از آنجاکه برای ارزیابی صحت مدل شبکه‌های باور بیزی می‌بایست خروجی مدل را با خروجی مدل IRIFR مقایسه کرد، متغیرهای موجود در مدل بیزی، همان متغیرهای مدل IRIFR در نظر گرفته شد. پس از شناسایی متغیرهای مدل، در مرحله بعد می‌باید با استفاده از نمودار اثر، روابط بین این متغیرها برقرار شود. طراحی نمودار اثر، طی چندین مرحله طراحی و اصلاح، با استفاده از نظریات متخصصان صورت گرفت.

این نمودارها شامل جعبه‌هایی است که با پیکان‌هایی به هم مرتبط شده‌اند و جهت پیکان‌ها نشان‌دهنده روابط و تأثیر میان متغیرهاست. سپس تعریف هر متغیر و حالات مختلف مربوط به هر متغیر، با استفاده از منابع موجود و نظریات کارشناسی متخصصان در این زمینه، تبیین و تعریف شد. این کار کمک شایانی به کارشناسان برای تعیین اثرات متغیرها بر یکدیگر می‌کند. 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 و استفاده از نرم‌افزار محاسبه‌گر احتمالات شرطی (CPT Calculator) جداول احتمالات شرطی مدل تکمیل شد (حامی<sup>۱</sup> و همکاران، ۱۹۹۴). در این مطالعه، ارزیابی و اعتبارسنجی مدل شبکه باور بیزی با انجام تحلیل حساسیت و بررسی نتایج توسط متخصصان و همچنین مقایسه نتایج با برآوردهای مدل IRIFR صورت پذیرفت. در این مطالعه، حساسیت‌سنجی مدل شبکه باور بیزی با استفاده از روش کاهش آنتروپی (Antropy reduction) انجام گرفت (مارکوت و همکاران، ۲۰۰۶).

$$I = H(Q) - H(Q|F) = \sum_q \sum_f \frac{P(q,f) \log_2 [P(q,f)]}{P(q)P(f)} \quad (1)$$

در این رابطه، I کاهش قابل انتظار اطلاعات متغیر Q در اثر، تأثیرپذیری از متغیر F است. براین اساس، H(Q) بی‌نظمی متغیر Q، مستقل از سایر متغیرها و H(Q|F) بی‌نظمی متغیر Q در شرایطی است که تحت تأثیر متغیر F قرار دارد. همچنین در این

## مدل برآورد فرسایش بادی با استفاده از شبکه‌های باور بیزی

در مدل نهایی شبکه باور بیزی، روابط علی و معلولی میان متغیرهای مؤثر بر میزان فرسایش بادی (متغیرهای مدل *IRIFR*) نشان داده شده است (شکل ۳). میزان فرسایش بادی در این مدل، متغیر هدف است. براساس نتایج، متغیرهای بافت خاک، رطوبت خاک، انبوهی پوشش گیاهی، مدیریت و استفاده از زمین، شکل اراضی و پستی و بلندی، پوشش غیر زنده سطح زمین، سنگ‌شناسی و پوشش حفاظتی خاک به‌عنوان متغیرهای کلیدی فرسایش بادی شناسایی شدند. حساسیت خاک به فرسایش و سرعت و وضعیت باد، متغیرهای اصلی در فرسایش بادی شناخته شدند که باعث به‌وجود آمدن شواهد فرسایش بادی در منطقه شده‌اند. متغیرهای آثار فرسایش سطح خاک و نوع و پراکنش نهشته‌های فرسایش بادی به‌عنوان شواهد فرسایش بادی تعیین شدند که براساس آن، وضعیت میزان فرسایش بادی (متغیر هدف) تعیین می‌شود.

رابطه،  $q$  حالت متغیر  $Q$  بوده و  $f$  حالت متغیر  $F$  است. در این مطالعه، همبستگی نتایج روش *IRIFR* با نتایج مدل شبکه باور بیزی برای هر واحدکاری با استفاده از همه داده‌ها (Resubstitution) مقایسه شد.

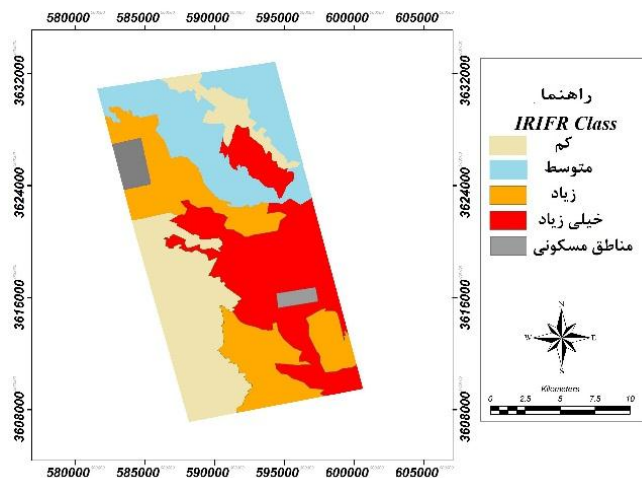
## نتایج

### برآورد فرسایش بادی با استفاده از مدل *IRIFR*

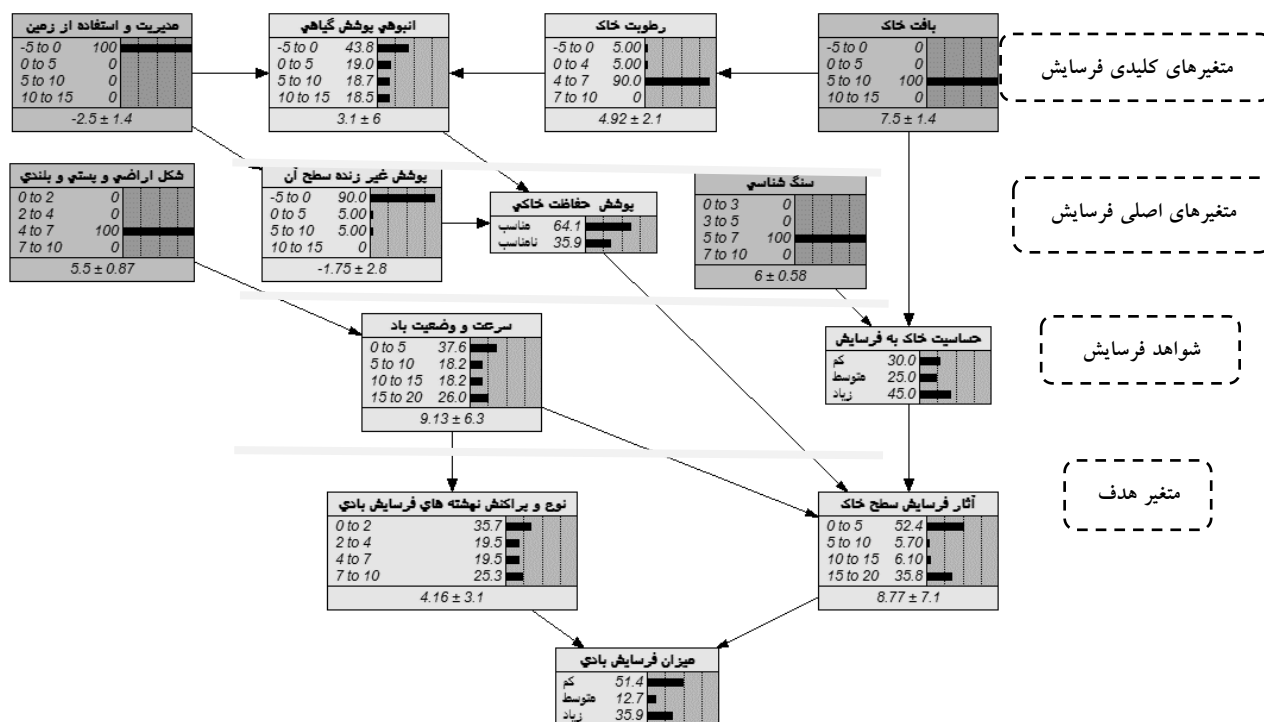
به‌منظور ارزیابی میزان فرسایش بادی در مدل *IRIFR* ۹ عامل سنگ‌شناسی، شکل اراضی و پستی و بلندی، سرعت و وضعیت باد، خاک و پوشش سطح آن، انبوهی پوشش گیاهی، آثار فرسایشی سطح خاک، رطوبت خاک، نوع و پراکنش نهشته‌های بادی و استفاده از زمین، مورد بررسی قرار گرفت. پس از آنکه ۹ عامل مدل *IRIFR* در هریک از واحدهای کاری در منطقه امتیازدهی شد، کلاس فرسایش بادی تعیین گردید (جدول ۴). نقشه وضعیت کیفی فرسایش بادی حاصل از این مدل در شکل (۲) آورده شده است که براساس آن، فرسایش بادی در منطقه به ۴ کلاس کم (۲۴٪)، متوسط (۱۶٪)، زیاد (۱۵٪) و خیلی زیاد (۴۵٪) طبقه‌بندی شد (جدول ۴).

جدول (۴): امتیازات مربوط به هریک از ۹ عامل مدل *IRIFR* در واحدهای کاری منطقه سگزی

کلاس	جمع	استفاده	نوع و پراکنش	رطوبت	آثار فرسایشی	پوشش انبوهی	خاک و پوشش	سرعت و	شکل اراضی و	سنگ‌شناسی	کد
فرسایشی	امتیازات	از زمین	نهشته‌های بادی	خاک	سطح خاک	گیاهی	سطح آن	وضعیت باد	پستی و بلندی		رخساره
II	۳۲	۰	۰	-۲	۰	۲	۱۰	۱۰	۶	۶	۱-۱-۱
III	۶۸	۱۳	۱	۸	۲	۱۱	۸	۱۷	۶	۲	۲-۱-۱
III	۶۸	۶	۲	۸	۷	۶	۱۲	۱۲	۷	۶	۳-۱-۱
V	۱۱۷	۸	۴	۸	۸	۶	۷	۱۳	۷	۸	۴-۱-۱
II	۳۰	۰	۰	-۴	۳	-۲	۱۲	۱۰	۷	۴	۱-۲-۱
IV	۸۷	۷	۷	۹	۱۲	۱۰	۱۰	۱۸	۷	۷	۲-۲-۱
II	۴۹	۵	۰	۷	۰	۱۰	۶	۱۰	۷	۳	۳-۲-۱
III	۵۸	۷	۱	۵	۵	۵	۱۰	۱۱	۷	۷	۴-۲-۱
III	۷۳	۱۰	۲	۴	۵	۱۰	۱۳	۱۱	۹	۹	۱-۱-۲
IV	۹۸	۱۵	۲	۱۰	۱۰	۱۵	۱۳	۱۶	۸	۹	۲-۱-۲
IV	۹۶	۱۵	۲	۷	۱۴	۱۲	۱۱	۱۸	۱۰	۷	۳-۱-۲
IV	۹۷	۱۰	۷	۷	۱۸	۹	۱۲	۱۶	۸	۱۰	۴-۱-۲
V	۱۰۲	۱۳	۹	۹	۱۸	۷	۱۳	۱۷	۸	۸	۵-۱-۲
V	۱۰۶	۱۵	۷	۱۰	۱۴	۱۵	۱۲	۱۶	۱۰	۷	۶-۱-۲
V	۱۰۳	۱۵	۲	۴	۹	۱۴	۱۲	۱۷	۱۰	۱۰	۷-۱-۲
V	۱۰۶	۱۵	۹	۹	۱۸	۷	۱۲	۱۸	۱۰	۸	۸-۱-۲
III	۷۳	۱۰	۱	۸	۸	۶	۱۱	۱۰	۹	۹	۹-۱-۲



شکل (۲): کلاس فرسایش بادی در مدل IRIFR



شکل (۳): مدل شبکه‌های باور بیزی ارائه شده برای برآورد میزان فرسایش بادی در واحدکاری شماره یک

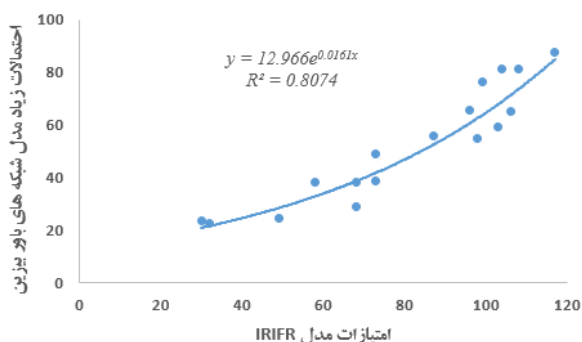
سطح زمین امتیاز مناسبی داشته و باعث ایجاد پوششی مناسب در سطح زمین می‌شوند. متغیرهای پوشش سطح زمین و پستی و بلندی، سرعت و وضعیت باد در این واحد را تحت تأثیر قرار داده و با توجه به امتیازات این دو متغیر، بیشترین احتمال در متغیر سرعت و وضعیت باد به کلاس ۵-۰ تعلق می‌گیرد (جدول ۵).

اطلاعات محیطی واحدکاری شماره یک به‌عنوان نمونه در مدل شبکه بیزی وارد و اجرا شده است (شکل ۳). طبق این مدل، در صورتی که متغیر مدیریت و استفاده از زمین در شرایط مناسب باشد، امتیازی بین ۰ تا ۵- به آن تعلق می‌گیرد و پوشش زنده و غیرزنده در سطح خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. پوشش زنده سطح زمین تحت تأثیر رطوبت موجود قرار گرفته که دارای امتیاز ۴-۷ است. پوشش زنده و غیرزنده

جدول (۵): احتمالات شرطی مربوط به گره سرعت و وضعیت باد در مدل میزان فرسایش بادی، سطر پررنگ شده مربوط به سناریوی وضعیت واحدکاری شماره یک (به کاررفته در شکل ۳) است.

امتیاز پوشش سطح زمین	امتیاز شکل اراضی و پستی و بلندی	۰ - ۵	۵ - ۱۰	۱۰ - ۱۵	۱۵ - ۲۰
مناسب	۰ - ۲	۹۰	۵	۵	۰
نامناسب	۰ - ۲	۸۵	۵	۵	۵
مناسب	۲ - ۴	۷۵	۱۰	۱۰	۵
نامناسب	۲ - ۴	۵۵	۱۵	۱۰	۲۰
مناسب	۴ - ۷	۴۵	۲۰	۲۰	۱۵
نامناسب	۴ - ۷	۲۵	۱۵	۱۵	۴۵
مناسب	۷ - ۱۰	۱۵	۱۰	۱۰	۶۵
نامناسب	۷ - ۱۰	۰	۵	۵	۹۰

تأثیر متغیر شکل اراضی و پستی و بلندی بیشتر است. براساس نتایج، پوشش حفاظتی سطح زمین بیشتر تحت تأثیر پوشش زنده قرار می‌گیرد تا پوشش غیرزنده؛ زیرا میزان لاش و لاشبرگ منطقه بسیار ناچیز است. متغیرهای بافت خاک و سنگ‌شناسی بر روی متغیر حساسیت خاک به فرسایش تأثیرگذارند که تأثیر بافت خاک به مراتب بیشتر از سنگ‌شناسی است. در این مطالعه، نتایج مدل شبکه باور بیزی با مدل *IRIFR* مقایسه شد تا میزان همگنی پیش‌بینی‌های دو مدل بررسی شده و به‌نوعی صحت پیش‌بینی مدل *BBN* تعیین شود. نتایج نشان‌دهنده ضریب تبیین مناسب و معنی‌داری در سطح خطای پنج درصد بین احتمالات طبقه «زیاد» خروجی مدل شبکه باور بیزی و امتیاز مدل *IRIFR* بود (شکل ۴).



شکل (۴): همبستگی بین امتیازات مدل *IRIFR* و احتمالات زیاد پیش‌بینی شده برای مدل شبکه‌های باور بیزی برای ارزیابی فرسایش بادی

مطابق نتایج جدول (۵) آسیب‌پذیری خاک ناشی از فرسایش بادی، تحت تأثیر سنگ‌شناسی و بافت خاک قرار گرفته و به احتمال ۴۵ درصد، فرسایش بادی این واحدکاری در کلاس زیاد قرار گرفته است. متغیرهای آثار فرسایش بادی و پراکنش نهشته‌های بادی، به‌طور مستقیم بر میزان فرسایش بادی تأثیر می‌گذارند. عوامل مؤثر بر آثار فرسایش بادی شامل پوشش سطح زمین، سرعت و وضعیت باد و آسیب‌پذیری خاک به فرسایش هستند که با توجه به امتیازات این عوامل آثار فرسایش بادی به احتمال بیش از ۵۰ درصد در کلاس ۵-۱۰ قرار می‌گیرد. پراکنش نهشته‌های بادی تنها تحت تأثیر سرعت و وضعیت باد قرار گرفته و امتیاز آن متأثر از شرایط این عامل است. مقدار فرسایش بادی در این واحد با توجه به شرایط متغیرهای پراکنش نهشته‌های بادی و آثار فرسایش بادی، به احتمال ۵۱/۴ درصد در کلاس کم، ۱۲/۷ درصد متوسط و ۳۵/۹ درصد در کلاس زیاد قرار می‌گیرد.

نتایج حساسیت‌سنجی مدل فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه انجام شد (جدول ۶). براساس نتایج، مقدار فرسایش بادی در منطقه، بیشتر تحت تأثیر نوع و پراکنش نهشته‌های بادی و متعاقب آن علائم فرسایش بادی است. متغیرهایی که بیشترین تأثیر را بر علائم فرسایش بادی داشتند، به ترتیب شامل حساسیت خاک به فرسایش، پوشش حفاظتی زمین و درنهایت، سرعت و وضعیت باد می‌باشند. متغیرهای شکل اراضی و پستی و بلندی و پوشش حفاظتی زمین بر روی متغیر سرعت و وضعیت باد تأثیرگذار بوده که



جدول (۶): نتایج حساسیت‌سنجی مدل فرسایش بادی به متغیرهای مختلف در مدل BBN

متغیر	کاهش بی‌نظمی	واریانس باورها
سرعت و وضعیت باد	۰/۴۶۱۱	۰/۱۱۶۳
نوع و پراکنش نهشته‌های بادی	۰/۳۹۷۳	۰/۰۹۹۸
آثار فرسایش سطح خاک	۰/۲۵۰۲	۰/۰۶۳۰
شکل اراضی و پستی و بلندی	۰/۱۵۶۵	۰/۰۴۰۴
پوشش حفاظتی زمین	۰/۰۱۸۳	۰/۰۰۴۸
پوشش زنده سطح زمین	۰/۰۰۸۲	۰/۰۰۳۷
رطوبت خاک	۰/۰۰۲۸	۰/۰۰۳۵
بافت خاک	۰/۰۰۲۴	۰/۰۰۳۰
حساسیت خاک به فرسایش	۰/۰۰۲۰	۰/۰۰۲۵
مدیریت و استفاده از زمین	۰/۰۰۱۹	۰/۰۰۲۲
پوشش غیرزنده سطح زمین	۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۴
سنگ‌شناسی	۰/۰۰۱۰	۰/۰۰۱۱

### بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، به منظور ارزیابی فرسایش بادی در کانون فرسایش بادی دشت سگزی از مدل *IRIFR* و روش شبکه‌های باور بیزی استفاده شد. نتایج حساسیت‌سنجی در روش شبکه‌های باور بیزی نشان داد که مهم‌ترین عوامل در تشدید فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه، سرعت و وضعیت باد، نوع و پراکنش نهشته‌های فرسایش بادی و آثار فرسایش سطح خاک هستند؛ این پارامترها در دشت سراپانداژ در رخساره ژئومورفولوژی اراضی دست‌کاشت همراه با فرسایش بادی، در اراضی گچی و اراضی دست‌کاشت همراه با رخساره‌های فرسایش بادی در واحد پلایا واقع در قسمت‌های جنوبی و مرکزی منطقه، باعث تشدید فرسایش بادی شده‌اند. سرعت باد مهم‌ترین عامل مؤثر در فرسایش شناسایی شد که با افزایش آن میزان جابه‌جایی ذرات خاک به صورت نمایی افزایش می‌یابد (طهماسبی و همکاران، ۲۰۰۱). میزان فرساینده‌گی باد در زمان‌هایی که خاک سطحی خشک است، بسیار بیشتر از زمانی است که سطح خاک و خاکدانه‌ها مرطوب‌اند. در

فصول خشک، ذرات چسبندگی لازم برای مقاومت در برابر جابه‌جایی را نداشته و به آسانی جابه‌جا می‌شوند. تمام 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 منطقه است. سرعت باد و وضعیت رژیم بادنایی 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 (مصباح‌زاده و همکاران، ۲۰۱۱).

ذرات رس (کوچک‌تر از ۰/۰۰۲) به دلیل کوچک بودن و ذرات شنی خاک نیز به دلیل وزن زیاد، معمولاً تحت تأثیر رژیم باد قرار نمی‌گیرند، اما هرچه خاک دانه‌های موجود در سطح خاک اندازه‌ای در حد سیلت (۰/۰۰۲ تا ۰/۰۰۵) داشته باشند، از یک سو به دلیل کاهش مقاومت در برابر جدا شدن به دلیل نیروی وزن ذرات، فرسایش پذیری افزایش می‌یابد؛ از سوی دیگر، سرعت باد در سطح تماس با خاک افزایش محسوسی یافته و باعث افزایش فرساینده‌گی باد نیز می‌شود.

با توجه به وابستگی شدت فرسایش بادی به هر دو عامل فرساینده و فرسایش پذیری، وجود خاک‌دانه‌های در حد سیلت می‌تواند باعث افزایش شدت فرسایش بادی در یک منطقه شود (محمودآبادی و همکاران، ۲۰۱۲). به‌طور کلی، با افزایش اندازه ذرات موجود در سطح خاک، شدت فرسایش کاهش می‌یابد. به‌عبارتی، بین اندازه ذرات خاک‌دانه و شدت فرسایش، رابطه معکوس وجود دارد. مهم‌ترین و مؤثرترین نمود فرسایش بادی در هر منطقه ظواهری است که بر جای گذاشته می‌شود (مصباح‌زاده و همکاران، ۲۰۱۱). در صورتی که آثار ناشی از فرسایش در سطح زمین قابل دیدن باشد (مانند پهنه‌ها و تپه‌های ماسه‌ای، بادبردگی اراضی و...)، نشان از وخیم بودن اوضاع از نظر فرسایش بادی دارد. این مطلب علاوه بر حساسیت اراضی و خاک، تا اندازه بسیار زیادی وابسته به سرعت و تداوم باد است. رخساره‌های فرسایش بادی در یک منطقه، نقش زیادی در تولید فرسایش دارند که علت آن را می‌توان عدم پایداری و حساس بودن ذرات تشکیل دهنده آن‌ها نسبت به رژیم باد دانست (فزون، ۲۰۰۷). در منطقه مورد مطالعه، رخساره‌های فرسایش بادی را می‌توان در برخی مناطق، به‌صورت پهنه‌های ماسه‌ای و نیکاهای متعدد مشاهده کرد. ذرات تشکیل دهنده رخساره‌های فرسایش بادی در یک منطقه، اغلب توسط باد و از نقاط دیگر انتقال پیدا کرده‌اند و در صورتی که شرایط لازم برای استقرار و پایداری آن‌ها فراهم نشود و تحت تأثیر وزش باد قرار گیرند، می‌توانند به‌عنوان یک منبع برداشت عمل کرده و باعث تشدید فرسایش بادی شوند.

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 می‌دهند و نوع کلاس فرسایش 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 درباره شدت فرسایش بادی در این مناطق قضاوت کرد (چمن پیرا و همکاران، ۲۰۰۶). بسیاری از موارد بوم‌شناختی و مدیریتی وجود دارند که بر میزان فرسایش مناطق تأثیر می‌گذارند و

مدل‌ها نمی‌توانند همه این موارد را به‌دقت ارزیابی کنند. این مطالعه نشان داد که مدل‌سازی به روش شبکه‌های باور بیزی، رویکردی مناسب برای مطالعه و ارزیابی فرسایش بادی است؛ این همان نتیجه‌ای است که مطالعات مشابه نیز به آن دست یافته بودند (آلدرز و همکاران، ۲۰۱۱؛ یانگ و همکاران، ۲۰۰۲). همان‌طور که نشان داده شد، مدل شبکه‌های باور بیزی با زبان احتمالات، احتمال بروز شدت‌های مختلف فرسایش بادی را برای هر یک از واحدهای کاری در منطقه مورد مطالعه ارائه کردند. نتایج مقایسه دو مدل نیز نشان داد که مدل شبکه باور بیزی نیز به‌خوبی می‌تواند برای ارزیابی شدت فرسایش بادی در منطقه مورد مطالعه استفاده شود. اگرچه با استفاده از هر دو مدل می‌توان فرسایش بادی را ارزیابی کرد، شبکه‌های باور بیزی با داشتن مزیت‌هایی چون انعطاف‌پذیری، به‌روزرسانی ساده، نمایش گرافیکی و قابلیت استفاده برای مقاصد پیش‌بینی و تشخیصی، می‌تواند به مدیران کمک کند تا راحت‌تر و سریع‌تر سناریوهای مختلف را بررسی کنند (لندوت و همکاران، ۲۰۱۳). در مدل شبکه باور بیزی، میزان عدم اطمینان از نتایج ارزیابی با زبان احتمالات بیان می‌شود و این مدیران هستند که تصمیم می‌گیرند آیا به نتایج این مدل توجه کنند یا خیر و بتوانند تصمیمات مدیریتی بهنگام و مناسبی برای کم کردن خطر فرسایش بادی در منطقه انتخاب و اجرا کنند.

البته مدل شبکه باور بیزی نظیر سایر مدل‌ها محدودیت‌هایی دارد. اگر برای تکمیل جداول احتمالات شرطی از نظریات تجربی افراد مختلف استفاده شود، این نتایج مدل به تجربه و صحت تخمین‌های افراد بستگی دارد. اگر نظریات افراد اشتباه باشد، نتایج مدل نیز با خطا روبه‌رو خواهد بود. از معایب دیگر این نوع مدل‌ها می‌توان به این عیب اشاره 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 شرطی عاری از اشتباه نخواهد بود. مدل طراحی شده در این مطالعه، قابلیت اجرا در تمامی مناطق را داشته که البته با توجه به شرایط هر

در مدل شبکه‌های باور بیزی ارائه شده در این مطالعه، نشان داده شده است که مدیریت اراضی و تراکم پوشش گیاهی عواملی هستند که بر میزان فرسایش بادی تأثیر دارند و با در نظر گرفتن محدودیت‌های محیطی منطقه، تا حدی قابل اصلاح‌اند، ولی سایر عوامل نظیر شکل اراضی و شرایط پستی و بلندی بافت خاک و سنگ‌شناسی با توجه به وسعت منطقه و به صرفه نبودن اقتصادی تغییرپذیر نیستند. مدیریت اراضی مهم‌ترین عامل جلوگیری از تخریب هرچه بیشتر است؛ برای مثال، جلوگیری از به هم خوردن سطح خاک و به خصوص ممانعت از برداشت معادن گچ در منطقه، از اولویت خاصی برخوردار است. با برداشت معادن سطحی نظیر معادن گچ و رس با از بین رفتن پوشش گیاهی و سنگریزه‌های سطح خاک، پوشش حفاظت‌خاکی از بین رفته و سطح خاک را مستعد فرسایش می‌کند. ایجاد پوشش گیاهی سازگار با شرایط محیطی منطقه نظیر تاغ ( *Haloxydon persicum* ) و قره‌داغ ( *Nitraria schoberi* ) با استفاده از پساب، از جمله راهکارهایی است که می‌تواند مورد توجه قرار گیرد.

منطقه، می‌توان بر تعداد متغیرهای مدل اضافه کرد یا از تعداد آن‌ها کاست. هدف از تهیه چنین مدل‌هایی، ایجاد یک مدل عمومی با قابلیت استفاده در تمامی مناطق است. بدیهی است که مهم‌ترین کاربرد این مدل‌ها در بخش مدیریت و کمک به تصمیم‌گیری مدیران در بخش‌های مختلف است. در این مطالعه، هدف این بود که با استفاده از مدل شبکه‌های باور بیزی، یک مدل علی و معلولی با استفاده از معیارهای مدل *IRIFR* ساخته شود و همبستگی نتایج آن‌ها بررسی شود. بدیهی است که برای ارزیابی و صحت‌سنجی مدل، لازم است که شدت فرسایش بادی به روشی نظیر استفاده از تونل بادی بررسی شده و آنگاه با استفاده از بخشی از داده‌ها ( *Test Data* ) یا کل داده‌ها ( *Resubstitution* ) شاخص‌های مربوط به ارزیابی مدل نظیر *MEE*، *MEF* و *RMSE* و همچنین *Area Under Curve* کارایی مدل بررسی گردد. مدل *IRIFR* خود نیز یک مدل تجربی است که کارایی آن منطقه به منطقه و بنا به برآورد معیارهای مربوط، عاری از خطا نیست و نمی‌تواند به‌عنوان روشی برای صحت‌سنجی مدل شبکه‌های باور بیزی استفاده شود.

## منابع

- Ahmadi, H., 1995. Applied Geomorphology, Volume 2, Tehran University Press.
- Ahmadi, H., Ekhtsasi, M. R. Golkaryan, A.S., Abrisham A., 2006, Mapping and Assessment of Desertification Using MEDALUS Model at Fakhr abad Mehrize Yazd, Journal of College of Natural Resources. Vol. 59, No. 3, pp. 532-519.
- Amerykhah, H., Khadem, A., Maszi, A. 2007. predict Wind erosion in Omidiye land using models WEPS, RWEQ, WEQ and IRIFR. First National Conference Wind Erosion. Yazd.
- Adriaenssens, V, Goethals, P, L, M, 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, Vol. 40, No. 3, pp.181-191.
- Akhtsasi, M. R., 2010. suitable plants to Sand Dune and sandy fixation Areas in Iran. Second edition, Yazd University Press, 230 p.
- Aalders, I. Hough. R.L. Tower. W. 2011. Risk of erosion in peat soils –an investigation using Bayesian belief networks. Soil Use and Management, December 2011, 27,538–549.
- Baran, E. and Jantunen. 2004. Stakeholders consultation for Bayesian Decision Systems in environmental management. Proceeding of the Regional Conference on Ecological and Environmental Modeling (ECOMOD 2004). UniversitiSains Malaysia.

8. Bakhshandhmahr, L., 2008. Quantitative analysis of desertification plain Segzi. Master's thesis, College of Natural Resources, Isfahan University of Technology.
9. Bashari, H., Smith, C., 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.
10. Chamanpyra, Gh., Zhetabyan, Gh., 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*. Vol. 59, No. 3, pp. 543-555.
11. Fzouni, L., 2007. Assessment the current status of desertification using MEDALUS model in the Sistan Plain with emphasis on criteria water and wind erosion. Master Thesis, College of Natural Resources, Zabol University.
12. Hamby, D. M. 1994. A review of techniques for parameter sensitivity analysis of environmental models. *Environmental Monitoring and Assessment*, 32 (2): 135- 154.
13. Johnson, S.; Mengersen, K.; Waal, A.; Marnewick, K.; Cilliers, D.; Houser, A. M. & Boast, L. 2010. Modelling cheetah relocation success in southern Africa using an Iterative Bayesian Network Development Cycle. *Ecological Modelling*, 221(1-4): 641- 651.
14. Khanmani, AS., Karimzadh, H., Jafari, R. 2011. The use of soil criteria for assessment desertification (Case Study: Isfahan Segsi Plain). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences*, Seventeenth Year, Number 63.
15. Landuyt D., Broeckx S., Dhondt R., Engelen G., Aertsens J., Peter. and Goethals L. M. 2013. "A review of Bayesian belief networks in ecosystem service modelling." *Environmental Modelling & Software*, Vol 46, pp1-11.
16. Marcot, B. G.; Holthausen, R. S.; Raphael, M. G.; Rowland, M. M. & 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.
17. Marcot, B. G.; Steventon, J. D.; Sutherland, G. D. & McCan, 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.
18. Masbahzadh T., Ahmadi, H., Zhtabyan, Gh., 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*, Number 3, Fall 2010, pages 399 to 415.
19. Mahmud Abadi, M., Dahani, F., Azimzadh, H. 2011. Study the effects of wind erosion intensity distribution of soil particles. *Journal of Soil Management and stable Production*, Volume I, No I, 2011.
20. Pollino, C., Woodberry, O., Nicholso, A., Korb, K., Hart, BT., 2007. "Parameterisation and evaluation of a Bayesian network for use in an ecological risk assessment" *Environmental Modelling & Software*, Vol. 22, No. 8, pp.1140-1152.
21. Tahmasebi, A. M., Ahmadi, H., Refahi, H., Ekhtsasi, M. R., 2000. Comparison of potential deposition water and wind erosion using models MPSIAC and IRIFR In the Iranian desert areas. *Iranian Journal of Natural Resources, College of Natural Resources, Tehran University*, Vol. 53, No. 1, pp. 65-53.
22. Varis O. 1997. Bayesian decision analysis for

- environmental and resource management. Environmental Modelling and Software 12:177–185.
23. Yang, H. Abbaspour, K.C. 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.

## Wind erosion estimation and assessment using Bayesian belief networks in eastern Isfahan township

Abdolhossein boali<sup>1\*</sup>, Reza Jafari<sup>2</sup>, Hossien bashari<sup>2</sup>

Received: 8/3/2017

Accepted: 17/5/2017

### Abstract

Soil erosion by wind is a widespread problem in the arid lands of Iran. This research estimated and assessed the severity of wind erosion in Segzi desertification hotspot located in the eastern part of Isfahan township, focusing on criteria used in the IRIFR (Iranian Research Institute of Forest and Rangelands) model. Bayesian belief networks (BBNs) were also used to convert the IRIFR model to a predictive cause-and-effect model. The severity of wind erosion was calculated using the nine indicators of the IRIFR model on 17 geomorphological faces. The results indicated that three geomorphological faces located in the southern and central parts of the region had high potential for wind erosion. According to the results of the IRIFR model, 24%, 16%, 15% and 45% of the study area were classified as low, moderate, high and very high severity of wind erosion, respectively. Using the IRIFR indicators and conditional probability tables of these indicators, a BBN model was developed and its accuracy was assessed by sensitivity analysis and scenario analysis. Sensitivity analysis for both models showed that wind speed and condition, spatial extent and type of aeolian deposits and erosion features of the soil surface were the most important indicators responsible for wind erosion in the study area. The determination coefficient between the outputs of the IRIFR and BBN models ( $R^2 > 0.80$ ) indicated that the results of both models were significantly correlated ( $\alpha = 5\%$ ). These results indicate that the application of the BBN model for wind erosion assessment can appropriately accommodate the uncertainty of the IRIFR model and help managers to make better decisions for upcoming land management projects.

**Keywords:** Wind erosion, IRIFR, BBNs, Water, Sensitivity analysis.

1. M.Sc in Combating Desertification, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology .Email: Hossien.boali@yahoo.com

2. Assistant Professor, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology