

مطالعات جغرافیایی مناطق خشک

دوره نهم، شماره سی و پنجم، بهار ۱۳۹۸

تأیید نهایی: ۱۳۹۸/۰۲/۱۲

دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۱۵

صص ۴۴-۵۹

ارزیابی خطر و ریسک بیابان‌زایی با استفاده از روش TOPSIS-GIS (مطالعه موردی: منطقه باشتین سبزوار - خراسان رضوی)

اسماعیل سیلاخوری*، دکتری بیابان‌زدایی-دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
مجید اونق، استاد گروه مدیریت مناطق بیابانی-دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
مجتبی سلیمانی ساردو، استادیار گروه علوم و مهندسی محیط زیست-دانشگاه جیرفت

چکیده

تغییر اقلیم، بیابان‌زایی و کمبود آب شیرین، سه چالش اصلی می‌باشند که بشر در قرن ۲۱ با آنها مواجه می‌باشد. به منظور ارزیابی خطر و ریسک بیابان‌زایی در منطقه باشتین سبزوار از روش TOPSIS، فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. بدین منظور شش شاخص مؤثر در بیابان‌زایی شامل زمین‌شناسی، خشکی، بارندگی سالانه، شوری خاک، بافت خاک و درصد پوشش گیاهی بر اساس مدل IMDPA طبقه‌بندی و نقشه‌بندی شدند. سپس وزن شاخص‌ها با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) تعیین گردیدند. به منظور تلفیق شاخص استاندارد شده وزنی و محاسبه خطر بیابان‌زایی از تکنیک TOPSIS و عملگرهای Fuzzy در محیط نرم‌افزار GIS استفاده شد. پس از بدست آمدن نقشه خطر بیابان‌زایی (H)، نقشه عناصر در معرض خطر (E) و آسیب‌پذیری آن‌ها (V) در سطح هر پیکسل و به طور رستری تهیه و نهایت نقشه ریسک بیابان‌زایی برای منطقه فوق بدست آمد. نتایج نشان داد که شوری آب و خاک مؤثرترین شاخص‌ها در بیابان‌زایی می‌باشند. کلاس‌های بحرانی خطر بیابان‌زایی (IV و V) حدود ۵۰ درصد منطقه را پوشش داده‌اند. این مناطق بیشتر اطراف کالشور سبزوار و جنوب اراضی کشاورزی این شهر را در برمی‌گیرد. بیشترین سطح منطقه (۵۶/۶۸ درصد) را کلاس ریسک II به خود اختصاص داد. توزیع فضایی کلاس ریسک V در غرب شهرستان سبزوار و در امتداد جاده سبزوار - تهران می‌باشد که می‌تواند اولویت اجرای برنامه‌های مهار بیابان‌زایی قرار گیرد. نقشه مذکور می‌تواند برای تمهیدات مدیریتی در راستای مهار تخریب سرزمین و مدیریت آن مورد استفاده قرار گیرد.

واژگان کلیدی: خطر بیابان‌زایی، ریسک بیابان‌زایی، باشتین سبزوار، تاپسیس، سیستم اطلاعات جغرافیایی.

۱- مقدمه

بشر در مواجهه با طبیعت و محیط زیست، که بقاء وی به طور اجتناب‌ناپذیری به آن وابسته است، شیوه معقولی را اتخاذ نموده و به‌جای جامع‌نگری و برنامه‌ریزی به منظور بهره‌برداری پایدار از این منابع، به بهره‌کشی و منفعت‌جویی ناپایدار از آن پرداخته است (چمنی و همکاران، ۱۳۸۴: ۳۶). بیابان‌زایی اکوسیستم‌های خشک و نیمه خشک یکی از بحرانی‌ترین موضوعات مورد مطالعه در اکوسیستم‌هاست، که تأثیرات اقتصادی و اکولوژیکی شدیدی بر روی دامنه وسیعی از نواحی جغرافیایی با خطر بیابان‌زایی بالقوه می‌گذارد (Crawford et al., 1989: 160; Adeel et al., 2005: 2; Corrado et al., 2015: 4). سازمان ملل در باب محیط زیست و توسعه، در کنفرانس سال ۱۹۹۲ میلادی، بیابان‌زایی را تخریب اراضی در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه‌مرطوب تعریف نمود که به‌وسیله عوامل گوناگونی از جمله تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی رخ می‌دهد (فیض‌نیا و همکاران، ۱۳۸۰: ۲). بیابان‌زایی، مجموعه‌ای از پیامدهای ناخوشایند محیطی را برای انسان به‌بار می‌آورد. گروهی از این پیامدها به اثرات غیرمستقیم انسانی همچون مهاجرت جمعی، فقر، کمبود آب و غذا و کشمکش بر سر منابع زمینی و آبی مربوط می‌شود و گروه دیگر مشکلات بهداشتی مربوط به کاهش کیفیت آب از دید نمک و ذرات اضافی آن را شامل می‌شود (Goudie et al., 2011: 32). همچنین بیابان‌زایی محدودیت‌های بسیاری از لحاظ کشاورزی، تأمین مواد غذایی، پرورش دام، توسعه صنعت و ارائه هزینه‌های خدماتی ایجاد می‌نماید. فروپاشی شیوه‌های معیشت دامداران و کشاورزان و مهاجرت از نتایج بیابان‌زایی می‌باشد. با توجه به اثرهای مخرب و جبران‌ناپذیر بیابان‌زایی، شناسایی و ارزیابی عوامل مؤثر در بیابان‌زایی و تعیین مناطق مبتلا به این معضل از ضروریات امر در هر منطقه می‌باشد (فرمهبینی فراهانی، ۱۳۹۱: ۵۴۸). ارزیابی آسیب‌پذیری زیست محیطی نسبت به خطر بیابان‌زایی و تهیه نقشه آسیب‌پذیری به عنوان ابزاری کارآمد جهت برآورد کیفی و کمی مناطق بیابانی در راستای دستیابی به توسعه پایدار در این مناطق همواره مطرح بوده است (Wang et al., 2008: 1931). طبق تعریف راهبرد بین‌المللی سازمان ملل برای کاهش بلایا، خطر به حادثه فیزیکی، پدیده یا فعالیت‌های انسانی دارای پتانسیل تخریب که ممکن است موجب مرگ، تخریب اموال و آشفته‌گی اقتصادی-اجتماعی و یا زیست‌محیطی شود، اطلاق می‌گردد. ریسک به‌احتمال پیامدهای مضر یا فقدان‌های مورد انتظار ناشی از ارتباط متقابل بین خطرات (طبیعی یا انسانی) و آسیب‌پذیری سیستم‌ها، شاخص یا گروه‌ها گفته می‌شود (Iglesias et al., 2009: 12). نقشه خطر بیابان‌زایی در کنار نقشه ریسک بیابان‌زایی، نقاط بحرانی مناطق را شناسایی کرده و با هدایت برنامه‌ریزان به مناطق کم‌خطر، در عین حال امکان کنترل و فعالیت‌های بهسازی و جلوگیری از هدر رفتن امکانات و سرمایه‌های محدود را فراهم می‌آورد (صادقی روش و همکاران و ۱۳۹۱: ۷۶). ریسک به‌احتمال پیامدهای مضر یا فقدان‌های مورد انتظار ناشی از ارتباط متقابل بین خطرات (طبیعی یا انسانی) و آسیب‌پذیری سیستم‌ها، شاخص یا گروه‌ها گفته می‌شود (Iglesias et al., 2009: 12). تا به امروز، هیچ روش خاصی برای طبقه‌بندی شدت بیابان‌زایی بر اساس کل فرایندهای بیابان‌زایی ارائه نشده است. بنابراین، برای ارزیابی فرایندهای بیابان‌زایی باید به ارزیابی شاخص‌های منطقه‌ای پرداخت (Parvari et al., 2011: 56). شناخت معیارها و شاخص‌ها به منظور ارائه‌ی مدلی برای تعیین شدت بیابان‌زایی، تعیین مهم‌ترین عوامل مؤثر بر بیابان‌زایی منطقه و جلوگیری از گسترش آن ضروری است. در هر منطقه بسته به شرایط اقلیمی، خاک‌شناسی، ژئومورفولوژیکی و ... فاکتورهای مؤثر در بیابان‌زایی متفاوتند، جهت پی بردن به نقش و پتانسیل آنها در بیابان‌زایی مطالعات زیادی صورت گرفته که حاصل آن ارائه‌ی مدل‌های مختلف بیابان‌زایی است (Rasmi et al., 2010: 103). از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل‌های ICD^۱، MICD^۲، IMDPA^۳، ESAs^۴ و ...

۱- Iranian Classification of Desertification

۲- Modified Iranian Classification of Desertification

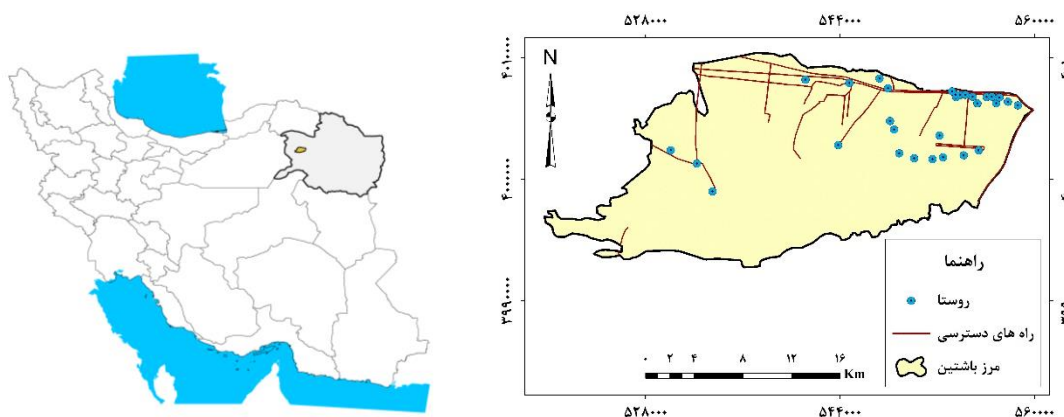
۳- Iranian Model of Desertification Potential Assessment

اشاره کرد. در زمینه ارزیابی خطر بیابان‌زایی تحقیقات متعددی صورت گرفته است به عنوان نمونه نظری نژاد (۱۳۸۹) جهت پهنه‌بندی و تدوین برنامه مدیریت خطر بیابان‌زایی در منطقه رضا آباد خارتوران در سمنان، کارایی مدل‌های ESAs و ICD را مورد ارزیابی قرار داد. نتایج او نشان داد که ۷/۶۲ درصد در کلاس خطر زیاد (IV) و همچنین ۲۳/۵۹ درصد در کلاس ریسک خیلی زیاد (V) قرار داشت. آرامی (۱۳۹۱) در منطقه آق‌بند استان گلستان پس از ارزیابی خطر و ریسک بیابان‌زایی توسط مدل IMDPA به تدوین برنامه مدیریتی پرداخت. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که معیارهای پوشش گیاهی و خاک در کلاس شدید (III) بیابان‌زایی قرار گرفته‌اند. ۳۰/۰۳ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه در کلاس ریسک خیلی زیاد (IV) و زیاد (III) قرار گرفت. سیلاخوری و همکاران (۱۳۹۳) در منطقه سبزوار نقشه خطر بیابان‌زایی را با مدل MICD تهیه و ریسک بیابان‌زایی را مورد ارزیابی قرار دادند. در نهایت بیشترین سطح منطقه سبزوار را کلاس متوسط بیابان‌زایی (۴۶/۴۵ درصد) و کلاس ریسک زیاد (۴۶/۷۷ درصد) به خود اختصاص داده است. ولی و همکاران (۱۳۹۴) شدت بیابان‌زایی حوضه‌ی مسجد سلیمان با استفاده از مدل IMDPA را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج نشان داد که تقریباً تمام سطح منطقه (۹۹ درصد) در کلاس متوسط قرار دارد و معیار اقلیم با ارزش عددی ۲/۴۶ بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه داشته است. سلیمانی ساردو و همکاران (۱۳۹۷) روند تغییرات بیابان‌زایی در دشت کرمان از سال ۱۳۹۲-۱۳۸۲ را با استفاده از مدل IMDPA با استفاده از دو معیار اقلیم و آب بررسی کرده‌اند. نتایج پژوهش ایشان بیانگر این مهم بود که با گذشت زمان شرایط بیابان‌زایی منطقه وخیم‌تر شده است و حتی کلاس بیابان‌زایی شدید در بعضی از بخش‌های منطقه مشاهده شده است. دپینا تاوارس و همکاران (۲۰۱۵) مناطق حساس به بیابان‌زایی نواحی کوهستانی ساحلین از جزیره سانتیگو رو مورد ارزیابی و پهنه‌بندی قرار دادند و برای این منظور از شش شاخص کیفیت مدل MEDALUS استفاده کردند. بر اساس نتایج بدست آمده بیش از ۵۰ درصد حوزه شواهد روشنی را از یک منطقه بیابانی شده را بازگو می‌کند. کاپوزی و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل ESAs بیابان‌زایی مناطق بورکینافاسو و سنگال را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج پژوهش ایشان نشان داده است که در اوجادوگو، حساسیت به بیابان‌زایی با فشار جمعیتی و در سنت لوئیس با استفاده بیش از حد پوشش گیاهی افزایش می‌یابد. در نهایت این مطالعه نشان داده است که نقشه‌های بیابان‌زایی، ابزاری ارزشمند برای ارتقاء و هدایت سیاست‌های مؤثر پیشگیری و کاهش بیابان‌زایی جهت توسعه پایدار مناطق آفریقایی است. هدف از این پژوهش نقشه‌بندی توزیع فضایی خطر و ریسک بیابان‌زایی با استفاده از تکنیک TOPSIS و استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در منطقه باشتین سبزوار می‌باشد؛ چرا که در این روش معیارها یا شاخص‌های به کار رفته برای مقایسه، می‌توانند دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند که جهت ارزیابی وضعیت خطر و ریسک مناسب بوده و با تکیه بر نظر خبرگان، می‌تواند تصویر مناسبی از خطر و ریسک بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه ارائه دهد.

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در غرب شهرستان سبزوار از توابع استان خراسان رضوی است که با وسعت ۴۱۶۰۷/۸ هکتار بین عرض‌های ۳۶° ۰۴' ۴۵" و ۳۶° ۱۴' ۱۷" و طول‌های ۵۷° ۱۳' ۰۶" و ۵۷° ۳۹' ۴۱" شرقی قرار دارد. آبراهه اصلی آن رودخانه کال شور سبزوار با جهت شرق به غرب می‌باشد. میانگین بارندگی منطقه با توجه به آمار ۳۴ ساله ایستگاه سینوپتیک سبزوار حدود ۲۰۷/۴ میلیمتر است. در منطقه مورد مطالعه کاربری‌های متنوعی شامل اراضی مرتعی، درختی و کشاورزی مشاهده می‌شود. از نظر تشکیلات زمین‌شناسی نیز واحدهای آبرفت‌های عهد حاضر، مارن-های کرم تا صورتی، مخروط افکنه و پادگانه‌های جوان، مخروط افکنه و پادگانه‌های قدیمی، گرانودیوریت و گرانیت و

کفه‌های رسی حاوی نمک و کنگلومرای سست با جورشدگی ضعیف تشکیل شده است که بیشترین سطح منطقه را واحدهای کفه‌های رسی حاوی نمکی و مخروط افکنه و پادگانه‌های جوان به خود اختصاص داده است (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در شهرستان سبزوار

۳- مواد و روش‌ها

در این پژوهش با استفاده از تکنیک TOPSIS و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به ارزیابی خطر و ریسک بیابان‌زایی پرداخته شده است. مراحل روش تحقیق به منظور ارزیابی خطر و ریسک بیابان‌زایی به شرح زیر می‌باشد:

۳-۱- ارزیابی خطر بیابان‌زایی

۳-۱-۱- تعیین شاخص‌های ارزیابی

در این پژوهش از شاخص‌های مدل IMDPA جهت ارزیابی خطر بیابان‌زایی استفاده شد. این مدل در قالب طرح ملی تعیین شاخص‌ها و معیارهای بیابان‌زایی توسط دفتر تثبیت شن و بیابان‌زدایی سازمان جنگل‌ها در سال ۱۳۸۳ ارائه شده است. بر اساس نتایج این طرح، نُه معیار و ۳۵ شاخص بیابان‌زایی در ایران همراه با روش‌شناسی ارزیابی کمی و کیفی آنها در قالب مدل مذکور ارائه شده است (طباطبائی‌زاده، ۱۳۸۹: ۲۹). برای گزینش شاخص‌های مؤثر در بیابان‌زایی منطقه باشتین سبزوار، شاخص‌های مدل IMDPA از تیم خبرگان که متشکل از ۳۹ نفر کارشناس منابع طبیعی و آشنا به منطقه استفاده شد و شش شاخص (زمین‌شناسی، خشکی، بارندگی سالانه، شوری خاک، بافت خاک و درصد پوشش گیاهی) در نهایت بر اساس درجه تأثیر در بیابان‌زایی منطقه، فراهمی اطلاعات و دقت آنها در ارزش-دهی با استفاده از روش دلفی انتخاب شدند و مبنای ارزیابی خطر بیابان‌زایی قرار گرفتند. بعد از تعیین این شاخص‌ها برای ارزیابی خطر بیابان‌زایی، هر شاخص به صورت یک لایه نقشه در پایگاه داده مبتنی بر GIS آماده سازی و تحت عنوان نقشه‌های شاخص ذخیره شد.

۳-۱-۲- طبقه‌بندی و استانداردسازی شاخص‌ها

از مدل IMDPA به منظور نرخ‌بندی شاخص‌ها استفاده گردید. با توجه به این که هر کدام از طبقات نقشه‌های شاخص‌ها دارای ارزش متفاوتی است، با نظرسنجی از متخصصین، به هر کدام از طبقات نقشه‌های شاخص به ازاء خطر بیابان‌زایی منطقه، ارزشی به صورت عددی تعلق گرفت، به گونه‌ای که مجموع ارزش‌های تعلق گرفته به طبقات مختلف هر شاخص برابر یک باشد (جدول ۱ و ۲) (احمدی، ۱۳۸۳: ۱۲۰)

جدول ۱: شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی بیابان‌زایی

شاخص	شرح	بیان کیفی	شاخص	شرح	بیان کیفی
بارندگی سالانه (mm)	>۲۸۰	خطر کم	بافت خاک	رسی و لوم رسی	خطر کم
	۲۸۰-۱۵۰	خطر متوسط		لوم ریز	خطر متوسط
	۱۵۰-۷۵	خطر زیاد		لوم درشت	خطر زیاد
	<۷۵	خطر بسیار شدید		شنی و لومی شنی	خطر بسیار شدید
خشکی	>۰/۶۵	خطر کم	درصد پوشش گیاهی	درصد پوشش دائمی بیش از ۱۰۰-۸۵٪	خطر کم
	۰/۱۰-۴۵/۶۵	خطر متوسط		درصد پوشش دائمی ۳۰-۱۵٪	خطر متوسط
	۰/۱۰-۲/۴۵	خطر زیاد		درصد پوشش دائمی ۱۵-۵٪	خطر زیاد
	<۰/۲	خطر بسیار شدید		درصد پوشش دائمی کمتر از ۵٪	خطر بسیار شدید
شوری Ec (ds/m)	<۵	خطر کم			
	۸-۵	خطر متوسط			
	۱۶-۹	خطر زیاد			
	>۱۶	خطر بسیار شدید			

منبع (احمدی، ۱۳۸۳: ۱۲۰)

جدول ۲: معیار حساسیت سنگ به بیابان‌زایی

بیان کیفی	شاخص حساسیت سنگ		شاخص‌ها واحد کاری
	ویژگی شاخص - سرشت سنگ‌شناسی		
خطر کم	گرانیت، ریولیت، سینیت، تراکیت، آندزیت، دیوریت، گابرو، بازالت، پیروکسنیت، پدیدوتیت، توف، آگلومرا، کوارتزیت، گنیس، آمفیبولیت، مرمر دولومیتی، مرمر کربناته، مرمر کلسیتی، سرپانتینیت، ماسه سنگ، کنگلومرای مستحکم، آهک، چرت، ژاسپ		توده سنگی و برونزد سنگی: اراضی فاقد پوشش گیاهی و بدون توان اکولوژیکی (۱)
خطر کم	نهشته‌های کواترنر متوسط دانه (نهشته‌های پادگانه‌ای، مخروط افکنه‌ای و واریزه‌ای)		مرتع (۳)
خطر متوسط	اسیدین، اسکوری، پومیس، نهشته‌های کواترنر ریز و خیلی ریزدانه (سیلت، گل، رس)، سیلت سنگ، گلسنگ، رس سنگ، ماسه سنگ، کنگلومرا، آهک، چرت و ژاسپ درز و شکاف دار		
خطر زیاد	خاکستر آتشفشانی، کنگلومرای نامستحکم، ماسه سنگ، گلسنگ سست، شیل خرد شده، آهک نامستحکم، آهک ریفی چاکی و پودری شده، چاک، مارن غیر تیخیری		
خطر بسیار شدید	مارن ژیبسی، سنگ انیدریت، مارن نمکی، سنگ نمک		
خطر کم	گرانیت، ریولیت، سینیت، تراکیت، دیوریت، آندزیت، گابرو، بازالت، پیروکسنیت، پدیدوتیت، توف، آگلومرا، کوارتزیت، گنیس، آمفیبولیت، مرمر کربناته، مرمر کلسیتی، سرپانتینیت، سنگ صابونی، شیس، نهشته‌های کواترنر کوهرفتی، لس، ماسه سنگ، آهک، چرت، ژاسپ		مراتع مشجر (مرتع + جنگل) (۴)
خطر متوسط	خاکستر آتشفشانی، لس، ماسه سنگ سست، شیل خرد شده، آهک، چاک، مارن		
خطر زیاد	لس، مارن		

خطر بسیار شدید	لس، مارن	کشاورزی (۶)
خطر کم	نهشته‌های آبرفتی متوسط دانه (ماسه) (پادگانه‌ای و مخروط افکنه‌ای)، لس	
خطر متوسط	نهشته‌های آبرفتی درشت دانه (گراول) (نهشته‌های مخروط افکنه‌ای و واریزه‌ای)، لس	
خطر زیاد	نهشته‌های کواترنر مخروط افکنه‌ای و واریزه‌ای، لس	
خطر بسیار شدید	ماسه سنگ، شیل، آهک، مارن	فرسایش آبی (سطحی، شیلی، آبراهه، بدلند، خندق و حرکات توده‌ای) (۷)
خطر کم	نهشته‌های آبرفتی کواترنر (مخروط افکنه‌ای، واریزه‌ای)، لس، رس، شیل، مارن	
خطر متوسط	خاکستر آتشفشانی، لس، چاک، مارن غیر تبخیری	
خطر زیاد	لس، مارن ژئپسی	
خطر بسیار شدید	مارن نمکی	فرسایش بادی و انواع رخساره‌های آن (برداشت، حمل و رسوب) (۱۰)
خطر کم	آبرفت ریزدانه (سیلت، گل، رس)، دشت‌سر پوشیده، سیلت نمکی، سیلت ژئپسی، گل نمکی، گل ژئپسی، رس نمکی، رس ژئپسی	
خطر متوسط	آبرفت متوسط دانه (ماسه) دشت‌سر آپانداژ و مخروط افکنه‌ای	
خطر زیاد	آبرفت درشت‌دانه (گراول)، دشت‌سر فرسایشی و مخروط افکنه‌ای	
خطر بسیار شدید	نهشته‌های کواترنر متوسط دانه (ماسه)، لس، مارن	واحد کاری دشت ریگی (۱۱)
خطر متوسط	نهشته‌های کواترنر درشت‌دانه (گراول)، نهشته‌های کواترنر آبرفتی درشت دانه (گراول)، نهشته‌های کواترنر متوسط دانه (ماسه)	
خطر زیاد	نهشته‌های کواترنر آبرفتی ریزدانه (سیلت، گل، رس)، نهشته‌های واریزه‌-ای	
خطر بسیار شدید	نهشته‌های کواترنر ریز و خیلی ریزدانه (سیلت، گل و رس)	واحد کاری جلگه رسی (۱۲)
خطر کم	رس سنگ سخت	
خطر متوسط	رس سنگ نسبتاً سخت	
خطر زیاد	ماسه سنگ، سیلت سنگ، شیل، گل‌سنگ و رس سنگ نسبتاً سست	
خطر بسیار شدید	سیلت	
خطر بسیار شدید	قشر نمکی، رس نمکی، رس ژئپسی، گل نمکی، گل ژئپسی، سیلت نمکی، سیلت ژئپسی	کویر (۱۳)

۳-۱-۳- وزن دهی شاخص‌ها و تهیه نقشه شاخص استاندارد شده وزنی

همانطور که در بخش قبل اشاره شده، برای تعیین خطر بیابان‌زایی، شاخص‌های ارزیابی مختلفی وجود دارد، اما اهمیت این شاخص‌ها متفاوت است. برای نمونه شاخص خشکی اهمیت بیشتری را نسبت به زمین‌شناسی دارا است. بنابراین لازم است که اهمیت هر کدام از این شاخص‌ها در تعیین خطر بیابان‌زایی مشخص شود. در این مرحله به منظور وزن‌دهی شاخص‌ها از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده است. در روش AHP، تصمیم‌گیرنده می‌بایست هر زوج از معیارهای تصمیم‌گیری را با همدیگر مقایسه کند. مقایسه اهمیت نسبی هر زوج معیار نسبت به یکدیگر، در ابتدا به صورت کیفی انجام شده و سپس در مقیاس عددی (۱ تا ۹) کمی می‌شود. در این روش با تشکیل ماتریس که ارائه دهنده آرای بیان شده در خصوص مقایسه هر زوج معیار تصمیم‌گیری است، در نهایت وزن نسبی هر معیار تعیین می‌شود (اصغر پور، ۱۳۸۵: ۲۷۶). وزن حاصل از هر یک از شاخص با استفاده از روش AHP بدست آمد. نقشه‌های شاخص دارای مقیاس‌های متنوعی هستند. پس از مشخص شدن وزن اختصاص یافته به هر یک از شاخص‌ها

و طبقه‌بندی صورت گرفته روی آنها، به منظور ترکیب نقشه‌های شاخص لازم است، نقشه مختلف را استاندارد نمود. برای این منظور مقدار وزن اختصاص یافته به هر شاخص در ارزش طبقات مختلف آن شاخص ضرب می‌شود.

۴-۱-۳- تلفیق شاخص‌های ارزیابی

در این تحقیق به منظور تلفیق نقشه‌های شاخص استاندارد شده وزنی و محاسبه خطر بیابان‌زایی از تکنیک TOPSIS و عملگرهای GIS همچون ابزار مدل‌ساز (model builder) و weighted sum استفاده شد.

• روش TOPSIS

این تکنیک بر این مفهوم بنا شده است که بهترین واحد مکانی به طور هم زمان باید کمترین فاصله را با واحد ایده‌آل مثبت (بهترین حالت ممکن، A_i^+) و بیشترین فاصله را با واحد ایده‌آل منفی (بدترین حالت ممکن، A_i^-) داشته باشد. واحد ایده‌آل معرف گزینه فرضی است که مطلوب ترین سطح استاندارد شده وزنی از هر معیار در میان گزینه‌های مورد نظر را دارد و همین طور واحد ایده‌آل منفی شامل بدترین سطح استاندارد شده وزنی در میان گزینه‌هاست (آذر و رجب‌زاده، ۱۳۸۹: ۱۵۲). بدین منظور ابتدا به تعیین ارزش حداکثر و حداقل در رابطه با هر یک از لایه‌های نقشه استاندارد شده وزنی بر اساس رابطه‌های ۱ (واحد ایده‌آل مثبت) و ۲ (واحد ایده‌آل منفی) پرداخته شده است.

$$A^+ = \{(max v_{ij} | j \in |J_1), (min v_{ij} | j \in |J_2) | i = 1, 2, \dots, m\} \quad \text{رابطه‌ی ۱}$$

$$A^- = \{(min v_{ij} | j \in |J_1), (max v_{ij} | j \in |J_2) | i = 1, 2, \dots, m\} \quad \text{رابطه‌ی ۲}$$

$$A_i^+ = (v_1^+, v_2^+, v_3^+, \dots, v_n^+)$$

$$A_i^- = (v_1^-, v_2^-, v_3^-, \dots, v_n^-)$$

سپس محاسبه فاصله براساس نرم اقلیدسی به ازاء نقطه ایده‌آل منفی و گزینه مثبت و همین فاصله به ازاء نقطه ایده‌آل مثبت و گزینه منفی با استفاده از رابطه‌های (۳ و ۴).

$$d_i^+ = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad \text{رابطه‌ی ۳}$$

$$d_i^- = \left\{ \sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2 \right\}^{\frac{1}{2}}, \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad \text{رابطه‌ی ۴}$$

در نهایت میزان نزدیکی نسبی به نقطه ایده‌آل با استفاده از رابطه ۵ برآورد شده است.

$$C_{i+} = \frac{d_i^-}{(d_i^- + d_i^+)}, \quad (i = 1, 2, \dots, m) \quad \text{رابطه‌ی ۵}$$

به طوری که $0 \leq C_{i+} \leq 1$ است و هر اندازه یک گزینه به نقطه ایده‌آل نزدیک تر باشد C_{i+} به سمت ۱ میل می‌کند. برای این بخش از نرم افزار GIS استفاده شد. به این صورت که اطلاعات توصیفی بدست آمده برای هر یک از لایه‌ها، وارد جداول توصیفی آنها شد و با استفاده از توابع polygon to raster به نقشه‌های رستری تبدیل شدند. در نهایت با استفاده از ابزار مدل‌ساز (model builder) و weighted sum نقشه‌های ایده‌آل مثبت و منفی و در نهایت نقشه خطر بیابان‌زایی بدست آمد.

۴-۲- ارزیابی ریسک بیابان‌زایی

برای برآورد ریسک بیابان‌زایی، ابتدا عناصر در معرض خطر، شناسائی و درجه آسیب‌پذیری آنها مشخص شد. در نهایت با استفاده از نقشه خطر بیابان‌زایی، ریسک بیابان‌زایی با استفاده از رابطه ۶ بدست آمد:

$$R = H \times E \times V \quad \text{رابطه‌ی ۶}$$

در این رابطه، R ریسک، H بزرگی خطر، E عناصر در معرض خطر، V درجه آسیب‌پذیری عناصر می‌باشد (سیلاخوری و همکاران، ۱۳۹۳: ۹۴). نقشه خطر که در مرحله قبلی بدست می‌آید و نقشه ریسک مراحل زیر را طی خواهد کرد:

۳-۲-۱- تهیه نقشه عناصر در معرض خطر و آسیب‌پذیری آنها

ابتدا با استفاده از گوگل ارث و سپس بازدید میدانی عناصر در معرض خطر بیابان‌زایی شناسایی شد. سپس نقشه عناصر در معرض خطر به صورت صفر و یک که معرف حضور و عدم حضور هر یک بود تهیه گردید. به این ترتیب که هفت نقشه برای عناصر اراضی کشاورزی، مراتع، اراضی درخت کاری شده، چاه‌ها، چشمه و قنات، تأسیسات، جاده‌ها و آبادی‌ها تهیه شد. نقشه‌های مذکور با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و دستور $weighted\ sum$ از ابزار $spatial\ analyst\ tools$ ترکیب شدند و نقشه حاصل با استفاده از تابع $fuzzy\ overlay$ نرم افزار GIS به صورت فازی تبدیل گردید تا وضعیت عناصر در معرض خطر در قالب نقشه رستری نمایش داده شود.

۳-۲-۲- تهیه نقشه آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر

برای محاسبه ارزش آسیب‌پذیری عناصر، وجود خطر و شرایط هر یک از عناصر از لحاظ اقتصادی و اکولوژیکی حائز اهمیت می‌باشد. عناصری که در کلاس خطر بالاتری قرار دارند از ارزش آسیب‌پذیری بیشتری برخوردار می‌باشند (جدول ۳).

جدول ۳: ارزش صفات عناصر در معرض خطر

عناصر	عامل
مرتع	با بالا رفتن ارزش گیاهان مرتعی و افزایش شدت خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند
اراضی درخت کاری شده	با بالا رفتن ارزش گیاهان مرتعی و افزایش شدت خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند
زراعت	هر چه گیاه آسیب‌پذیرتر و شدت خطر افزایش پیدا کند با ضریب ۳ افزایش پیدا می‌کند
چشمه، چاه، قنات	با افزایش کلاس خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند
اماکن مسکونی	با افزایش کلاس خطر با ضریب ۳ افزایش پیدا می‌کند
تأسیسات	با افزایش کلاس خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند
جاده	جاده‌های درجه ۱ در اولویت بالاتری نسبت به جاده‌های درجه ۲ و ۳ قرار دارند و با افزایش کلاس خطر با ضریب ۲ افزایش پیدا می‌کند.

منبع (سیلاخوری و همکاران، ۱۳۹۳: ۹۴)

۴- بحث و نتایج

۴-۱- محاسبه وزن شاخص‌های ارزیابی

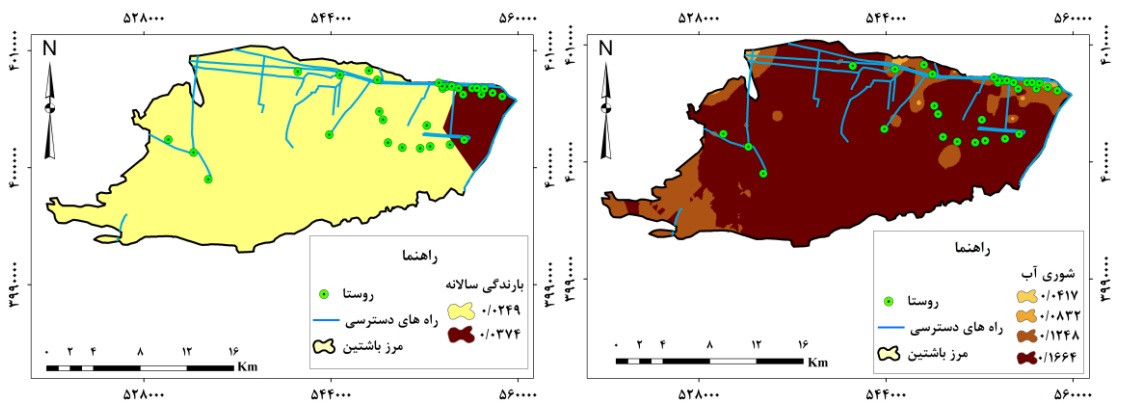
پس از مشخص شدن شش شاخص ارزیابی مؤثر در بیابان‌زایی منطقه باشتین سبزوار و بعد از تعیین ساختار سلسله مراتبی پژوهش، وزن شاخص‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی (AHP) محاسبه شده است. جدول ۴ وزن‌دهی شاخص‌های مختلف را برای ارزیابی خطر بیابان‌زایی با استفاده از روش مقایسه زوجی نشان می‌دهد. همانطور که در جدول ۴ اولویت‌بندی شده است، شاخص شوری آب مهمترین عامل بیابان‌زایی منطقه باشتین سبزوار محسوب می‌شود که حاصل بهره‌برداری بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی است و باعث شوری ثانویه خاک حاشیه اراضی کشاورزی منطقه شده است و در کنار انباشت املاح در امتداد رودخانه کال‌شور، در بیابان‌زایی منطقه باشتین نقش مؤثری داشته است. سازندهای حساس به فرسایش بالادست منطقه در کنار فقر پوشش گیاهی باعث شده است تا خاک توان ذخیره و نگهداشت رواناب را نداشته و فرسایش آبی و بادی به بیابانی شدن چهره باشتین سبزوار بیش از پیش کمک کرده‌اند.

جدول ۴: نتایج مقایسات زوجی نرمالایز شده در روش تحلیل سلسله مراتبی

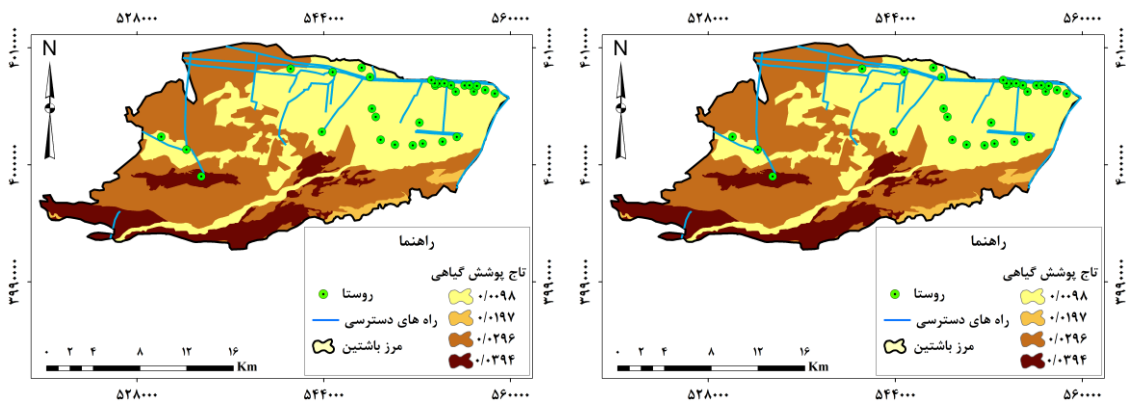
میانگین (وزن)	جمع	بارندگی سالانه	تاج پوشش گیاهی	حساسیت سنگ	شوری خاک	شوری آب	
۰/۴۱۶	۲/۰۸۱	۰/۳۳۳	۰/۳۸۱	۰/۴۳۹	۰/۴۹۰	۰/۴۳۸	شوری آب
۰/۲۶۲	۱/۳۰۹	۰/۲۶۷	۰/۲۸۶	۰/۲۹۳	۰/۲۴۵	۰/۲۱۹	شوری خاک
۰/۱۶۱	۰/۸۰۵	۰/۲۰۰	۰/۱۹۰	۰/۱۴۶	۰/۱۲۲	۰/۱۴۶	حساسیت سنگ
۰/۰۹۹	۰/۴۹۳	۰/۱۳۳	۰/۰۹۵	۰/۰۷۳	۰/۰۸۲	۰/۱۰۹	تاج پوشش گیاهی
۰/۰۶۲	۰/۳۱۲	۰/۰۶۷	۰/۰۴۸	۰/۰۴۹	۰/۰۶۱	۰/۰۸۸	بارندگی سالانه

۴-۲- تهیه نقشه‌های شاخص استاندارد شده وزنی

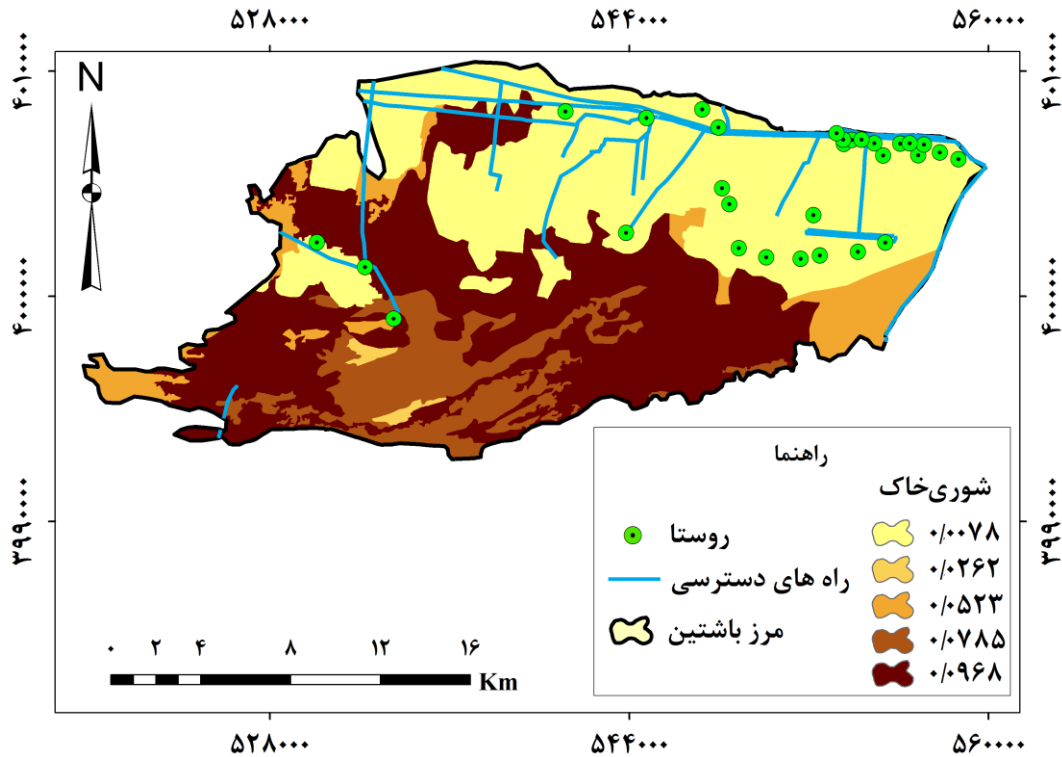
با توجه به وزن اختصاص یافته به هر یک از شاخص‌ها و طبقه‌بندی صورت گرفته روی آنها، نقشه‌های شاخص استاندارد شده وزنی تهیه شده است. برای این منظور مقدار ارزش طبقات مختلف هر شاخص که در بازه ۰-۱ است در وزن هر شاخص که در مرحله قبل بدست آمده بود ضرب شده است و مقدار استاندارد شده وزن شاخص‌ها بدست آمد. نقشه‌های شاخص استاندارد شده وزنی در شکل‌های ۲ تا ۶ مشاهده می‌کنید.



شکل ۲: توزیع فضایی شاخص شوری آب استاندارد شده وزنی شکل ۳: توزیع فضایی شاخص بارندگی سالانه استاندارد شده وزنی



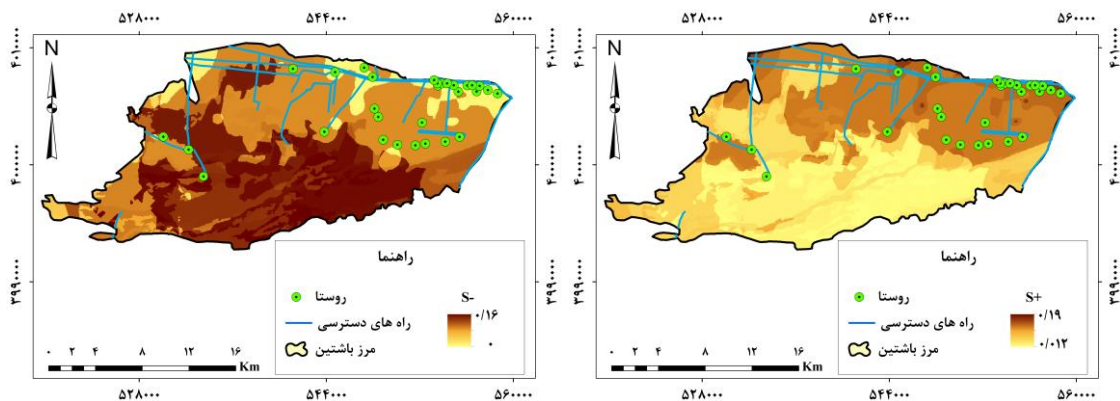
شکل ۴: توزیع فضایی شاخص پوشش گیاهی استاندارد شده وزنی شکل ۵: توزیع فضایی شاخص حساسیت سنگ استاندارد شده وزنی



شکل ۶: توزیع فضایی شاخص شوری خاک استاندارد شده وزنی

۴-۳- تهیه نقشه اندازه فاصله بر حسب نرم اقلیدسی به ازاء راه حل ایده آل مثبت و منفی

پس از تعیین ارزش حداکثر و حداقل برای هر لایه نقشه استاندارد شده وزنی، نقشه اندازه فاصله بر حسب نرم اقلیدسی به ازاء راه حل ایده آل مثبت و منفی تهیه شده است. در شکل‌های زیر نقشه فاصله بر حسب نرم اقلیدسی با واحد ایده‌آل مثبت و واحد ایده‌آل منفی نشان داده شده است (شکل ۷ و ۸).

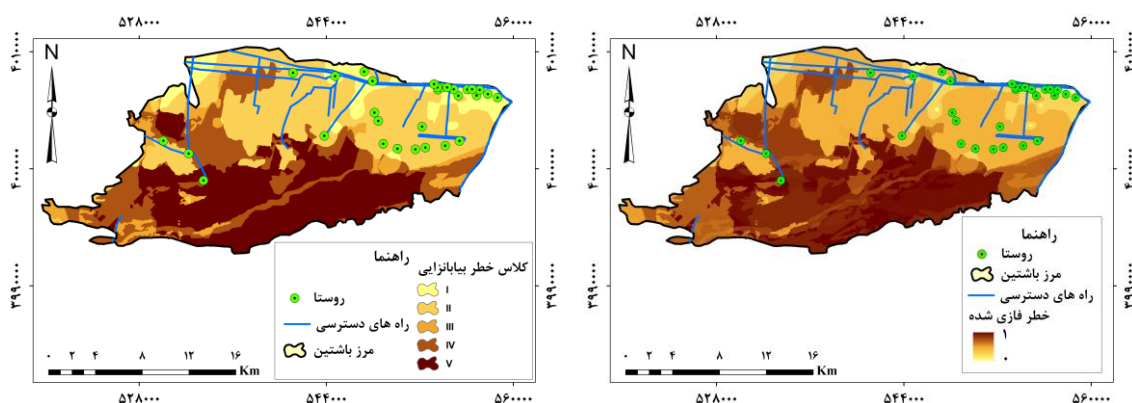


شکل ۷: نقشه فاصله بر حسب نرم اقلیدسی با واحد ایده‌آل مثبت (S+) شکل ۸: نقشه فاصله بر حسب نرم اقلیدسی با واحد ایده‌آل منفی (S-)

۴-۴- نقشه خطر بیابان‌زایی

همانطور که اشاره شد در این تحقیق به منظور تلفیق نقشه‌های شاخص استاندارد شده وزنی و محاسبه خطر بیابان‌زایی از تکنیک TOPSIS و عملگرهای GIS استفاده شده است. در شکل زیر نقشه خطر بیابان‌زایی با استفاده از روش TOPSIS ارائه شده است (شکل ۹ تا ۱۱). نقشه خطر بیابان‌زایی در بازه ۰/۹۳-۰/۰۰۰۴ تولید شد که

۰/۰۰۰۰۴ کمترین خطر بیابان‌زایی و ۰/۹۳ بیشترین خطر بیابان‌زایی را نشان می‌دهد. پس از کلاس‌بندی نقشه خطر بیابان‌زایی مشخص شد بخش قابل توجهی از منطقه باشتین سبزوار در کلاس خطر بیابان‌زایی خیلی شدید قرار دارند به طوری که شمال روستای باشتین، جنوب کلاته ناصری تا مسکن و جنوب نامن خطر بیابان‌زایی خیلی شدید وجود دارد. در امتداد رود کالشور به علت وجود پوشش گیاهی پراکنده کلاس خطر بیابان‌زایی از خیلی شدید (V) به شدید (IV) کاهش یافته است. در جنوب منطقه خطر بیابان‌زایی متوسط (III) و شدید (IV) قرار دارد که در صورت ادامه روند فعلی در آینده ای نه‌چندان دور جای خود را به کلاس خیلی شدید خواهد داد. از غرب شهرستان سبزوار تا روستای قلعه نو، گود عاقل، کلاته ناصری تا کریم‌آباد و شمال مسکن و تا عفیر، استیر، علی‌آباد کلاس خطر بیابان‌زایی کم به چشم می‌خورد که در کنار محدوده کلاته سفیر تا قیاس آباد و کارخانه قد کم‌خطرترین بخش منطقه باشتین سبزوار را تشکیل می‌دهند که در شکل ۱۰ مشخص شده است.



شکل ۱۰: نقشه کلاس‌های خطر بیابان‌زایی منطقه باشتین سبزوار

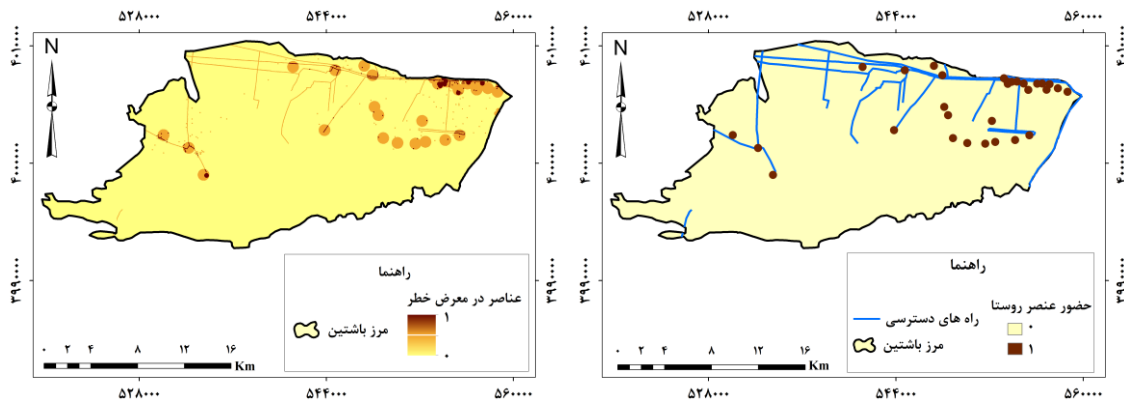
شکل ۹: نقشه فازی شده خطر بیابان‌زایی

۴-۵- ارزیابی ریسک بیابان‌زایی

برای تهیه نقشه ریسک بیابان‌زایی، نقشه‌های خطر بیابان‌زایی که در مرحله قبل تهیه شد با نقشه‌های عناصر در معرض خطر و آسیب‌پذیری آن‌ها ضرب خواهد شد.

۴-۵-۱- تهیه نقشه عناصر در معرض خطر و آسیب‌پذیری آنها

در شکل ۱۱ به عنوان نمونه نقشه حضور عناصر کشاورزی و آبادی‌ها مشخص شده است. همانطور که در شکل ۱۲ قابل مشاهده است از غرب شهرستان سبزوار و در امتداد جاده سبزوار-تهران بیشترین عناصر در معرض خطر متمرکز شده‌اند. و هر چه از این بخش به سمت جنوب منطقه باشتین حرکت کنیم عناصر در معرض خطر بیابان‌زایی کاهش می‌یابند.



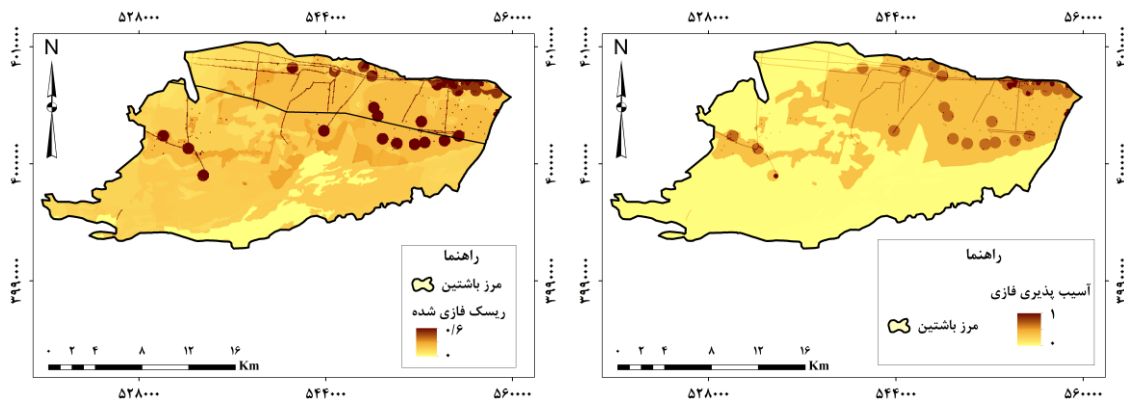
شکل ۱۱: حضور و عدم حضور آبادی‌ها در منطقه مورد مطالعه شکل ۱۲: نقشه عناصر در معرض خطر فازی شده

۴-۵-۲- تهیه نقشه آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر

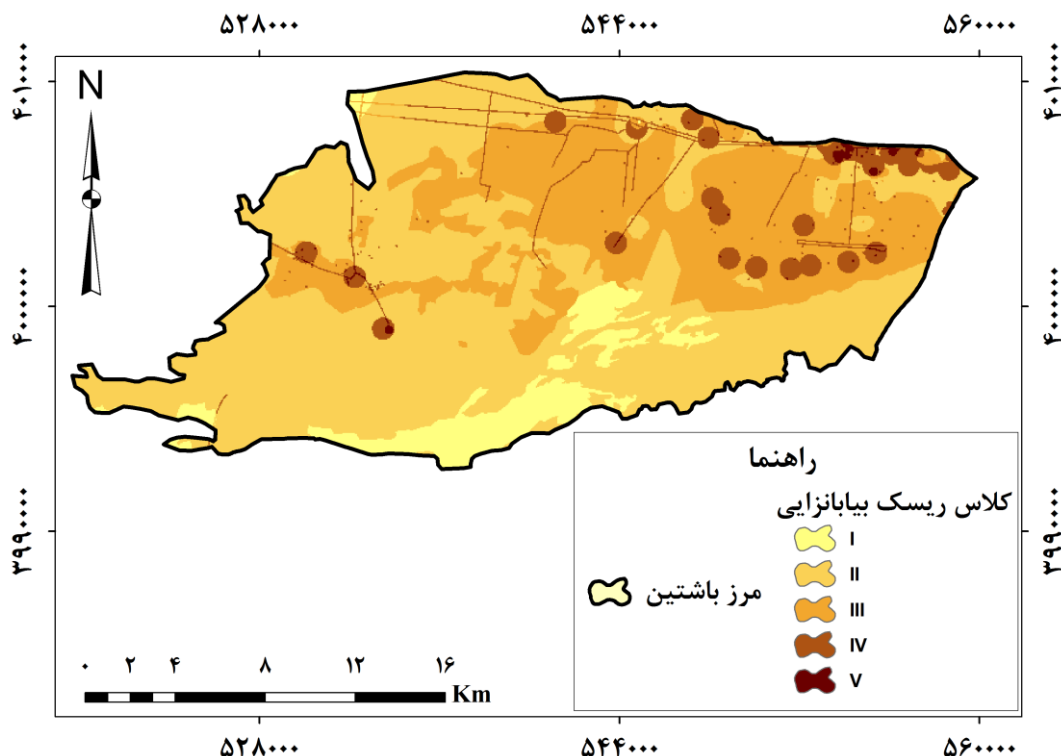
برای تهیه این نقشه، وجود خطر و شرایط هر یک از عناصر از لحاظ اقتصادی و اکولوژیکی در نظر گرفته شد، عناصری که در کلاس خطر بالاتری قرار دارند از ارزش آسیب‌پذیری بیشتری برخوردار می‌باشند. نقشه آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر را در شکل ۱۳ مشاهده می‌کنید. بررسی نقشه آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر بیابان‌زایی منطقه باشتین سبزوار نشان می‌دهد از روستای کلاته سفیر و در امتداد جاده سبزوار-تهران تا کارخانه قند و قیاس آباد تا کارخانه پارچه‌بافی آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر بیابان‌زایی به بیابان‌زایی افزایش می‌یابد و در کنار لکه‌های در اطراف روستاهای قلعه‌نو، استیر، علی‌آباد و نامن آسیب‌پذیرترین مناطق را به خطر بیابان‌زایی نشان می‌دهند.

۴-۵-۲- ریسک بیابان‌زایی

از ضرب سه نقشه خطر و عناصر در معرض خطر و آسیب‌پذیری آن‌ها در مقیاس فازی، نقشه ریسک بیابان‌زایی فازی شده بدست آمد که در شکل ۱۴ مشاهده می‌کنید. نقشه مذکور با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و نقاط شکست منحنی، به پنج کلاس تقسیم شد که در شکل ۱۵ آمده است (جدول ۵). همانطور که در شکل ۱۵ نشان داده شده است، جنوب منطقه باشتین سبزوار که کلاس خطر بیابان‌زایی بالایی را به خود اختصاص داده بود به دلیل فقدان عناصر در معرض خطر، در کلاس ریسک پایینی قرار گرفته است و منطقه کلاته سفیر تا قیاس‌آباد بالاترین ریسک بیابان‌زایی منطقه باشتین سبزوار را تشکیل می‌دهند که علت آن وجود عناصر در معرض خطر قابل توجه در کنار خطر و آسیب‌پذیری نسبتاً بالاست. همانطور که در شکل ۱۵ مشخص است، روستاها و چاه‌های واقع در منطقه باشتین سبزوار نیز در کلاس ریسک نسبتاً بالای خطر بیابان‌زایی قرار دارند و نیازمند توجه و تمهیدات مناسب مدیریتی می‌باشند.



شکل ۱۳: نقشه آسیب‌پذیری عناصر در معرض خطر فازی شده شکل ۱۴: نقشه ریسک بیابان‌زایی فازی شده منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۵: نقشه پراکنش فضایی کلاس‌های ریسک بیابان‌زایی منطقه باشتین سبزوار

جدول ۵: پراکنش فضایی خطر و ریسک بیابان‌زایی در منطقه باشتین سبزوار

کلاس	پراکنش فضایی خطر بیابان‌زایی		پراکنش فضایی ریسک بیابان‌زایی	
	هکتار	درصد	هکتار	درصد
I	۳۳۴۹/۶۷	۸/۰۵	۳۰۱۸/۸۲	۷/۲۶
II	۱۴۷۸۲/۸۲	۳۵/۵۴	۲۳۵۷۸/۹۱	۵۶/۶۸
III	۲۵۹۶/۶۶	۶/۲۴	۱۲۴۶۰/۸۲	۲۹/۹۵
IV	۸۵۲۵/۱۹	۲۰/۴۹	۲۳۷۴/۹۲	۵/۷۱
V	۱۲۳۵۳/۴۶	۲۹/۷۰	۱۶۵/۰۵	۰/۴۰
	مربع کای	۱۸/۵۵**	مربع کای	۵۲/۲۵**
جمع	۴۱۶۰۷/۸۱	۱۰۰	۴۱۶۰۷/۸۱	۱۰۰

** تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد وجود دارد.

همانطور که مشاهده می‌کنید بیشترین سطح منطقه را کلاس خطر II (۳۵/۵۴ درصد) و کمترین آن را کلاس I (۸/۰۵ درصد) به خود اختصاص داده است که با پژوهش آرامی (۱۳۹۱) و ولی و همکاران (۱۳۹۴) همخوانی دارد. اما کلاس‌های بحرانی خطر بیابان‌زایی (IV و V) حدود ۵۰ درصد منطقه را پوشش داده‌اند. این مناطق بیشتر اطراف کالشور سبزوار و جنوب اراضی کشاورزی این شهر را در برمی‌گیرد که با پژوهش دپینا تاواریس و همکاران (۲۰۱۵) همخوانی دارد. از بررسی توزیع فضایی کلاس‌های ریسک بیابان‌زایی نیز اینطور برمی‌آید که بیشترین و کمترین کلاس‌ها به ترتیب متعلق به کلاس II (۵۶/۶۸ درصد) و کلاس V (۰/۴۰ درصد) می‌باشد که با نتایج پژوهش نظری نژاد

(۱۳۸۹) همخوانی دارد. کلاس بحرانی ریسک بیابان‌زایی بیشتر غرب سبزووار و در امتداد جاده سبزووار تهران را به خود اختصاص داده است. با بررسی آماری بین توزیع فضایی کلاس‌های ریسک و خطر بیابان‌زایی در منطقه باشتین سبزووار تفاوت معنی‌دار در سطح ۱ درصد برای هر کدام مشاهده شد که با پژوهش نظری‌نژاد (۱۳۸۹)، آرامی (۱۳۹۱) و سیلاخوری و همکاران (۱۳۹۳) همخوانی دارد.

۵- نتیجه‌گیری

مدل IMDPA مدل گسترده‌ای با ۹ معیار و بیش از ۳۰ شاخص بیابان‌زایی است که عوامل مؤثر زیادی را در بیابان‌زایی دخیل می‌کند؛ اما شاخص‌های زیاد و متنوع همیشه از نقاط قوت یک مدل محسوب نمی‌شود؛ چرا که می‌تواند عامل مؤثری در کاهش و یا افزایش ارزش نهایی بیابان‌زایی باشد. به عنوان مثال در منطقه مورد مطالعه توسعه صنعتی نقش تعیین‌کننده‌ای را در بیابانی شدن منطقه نداشته و ارزش‌دهی به آن باعث کاهش ارزش نهایی بیابان‌زایی می‌گردد. استفاده از تیم کارشناسی که به منطقه مورد مطالعه واقف باشند و دانش و تجربه قابل قبولی در جهت ارزیابی خطر بیابان‌زایی داشته باشند، می‌توانند شاخص‌های مؤثر بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه را گزینش کنند. در این پژوهش از این مهم بهره برده شد و در کنار سیستم تصمیم‌گیری چند معیاره و سیستم اطلاعات جغرافیایی خطر و ریسک بیابان‌زایی مورد ارزیابی قرار گرفت. به این ترتیب برآوردی دقیق‌تر و با انعطاف‌پذیری بالاتر از خطر بیابان‌زایی در اختیار پژوهش‌گران، ذینفعان و مدیران قرار گرفت. در این پژوهش همانطور که بیان شد ابتدا شاخص‌ها و معیارها با استفاده از تیم خبرگان و روش AHP گزینش شده و در نهایت وزن هر شاخص تعیین گردید. این روش انتخاب شاخص از نقاط قوت این روش می‌باشد که در تعیین شاخص‌های مؤثر، خطا را بسیار کاهش داده است. از نقاط دیگر قوت روش مذکور این است که نقشه نهایی خطر و ریسک بیابان‌زایی محدود به واحدهای کاری و کلاس‌ها نمی‌گردد و کاربر به دامنه‌ای انعطاف‌پذیر و فازی شده بین ۰ و ۱ دست می‌یابد که دقت نقشه خروجی را بسیار افزایش می‌دهد. نقشه خطر بیابان‌زایی در بازه‌ای بین ۰/۹۳ - ۰/۰۰۰۰۴ قرار گرفت که توزیع فضایی خطر بیابان‌زایی را نشان می‌دهد. نتایج پهنه‌بندی ریسک بیابان‌زایی نشان داد که حاشیه روستاها و جاده‌ها و چاه‌ها بیشترین ریسک بیابان‌زایی را به خود اختصاص داده‌اند. نقشه ریسک فازی شده کلاس‌بندی شد و توزیع فضایی کلاس‌های ریسک بیابان‌زایی نشان داد که بیشترین سطح منطقه را کلاس متوسط به خود اختصاص می‌دهد. منطقه غرب شهرستان سبزووار در امتداد جاده سبزووار- تهران بیشترین کلاس ریسک را به خود اختصاص داده است که می‌تواند اولویت اجرای برنامه‌های مهار بیابان‌زایی منطقه باشد. نقشه مذکور می‌تواند برای تمهیدات مدیریتی در راستای مهار تخریب سرزمین و مدیریت آن مورد استفاده قرار گیرد.

۶- منابع

- ۱- احمدی، حسن (۱۳۸۳). طرح تدوین شرح خدمات و متدولوژی تعیین معیارها و شاخص‌های ارزیابی بیابان‌زایی در ایران. دانشگاه تهران.
- ۲- اختصاصی، محمد رضا، و سپهر، عادل (۱۳۹۰). روش‌های و مدل‌های ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی، انتشارات دانشگاه یزد، چاپ اول، ۲۸۶ صفحه.
- ۳- آذر، عادل، و رجب‌زاده، علی (۱۳۹۱). تصمیم‌گیری کاربردی - رویکرد MADM، انتشارات نگاه دانش، چاپ پنجم، ۱۸۴ صفحه.
- ۴- آرامی، سیدعبدالحسین (۱۳۹۱). ارزیابی خطر (مدل IMDPA)، خسارت و تدوین برنامه مدیریت بیابان‌زایی منطقه آق-بند». پایان نامه کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- ۵- اصغرپور، محمدجواد (۱۳۸۵). تصمیم‌گیری چندمعیاره، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران، ۴۰۰ ص.
- ۶- افتخاری، عبدالرضا (۱۳۷۳). مکانیسم برنامه‌ریزی در ایران با تأکید بر برنامه‌ریزی روستایی، مجموعه مقالات سمینار جامعه‌شناسی، جلد ۲، سمت، تهران.

- ۷- چمنی، عاطفه، مخدوم، مجید، جعفری، محمد، خراسانی، نعمت اله و چراغی مهرداد (۱۳۸۴). ارزیابی آثار توسعه بر محیط زیست استان همدان با کاربرد مدل تخریب، مجله محیط شناسی، شماره ۳۷: ۴۴-۳۵.
- ۸- سلیمانی ساردو، فرشاد، مصباح‌زاده، طیبه، برومند، ناصر، آذره، علی، و رفیعی ساردوئی، الهام (۱۳۹۷). بررسی روند تغییرات بیابان‌زایی در دشت کرمان با استفاده از مدل IMDPA، فصلنامه علمی-پژوهشی جغرافیا (برنامه‌ریزی منطقه‌ای)، ۸ (۳): ۴۰-۲۵.
- ۹- سیلاخوری، اسماعیل، اونق، مجید و سعدالدین، امیر (۱۳۹۳). ارزیابی خطر و ریسک بیابان‌زایی منطقه ی سبزوار با استفاده از مدل MICD، مجله مدیریت بحران، ۵ (۱): ۹۹-۸۹.
- ۱۰- شیخ‌گودرزی، مهدی، موسوی، سید حسن و خراسانی، نعمت اله (۱۳۹۱). شبیه‌سازی تغییرات مکانی در ویژگی‌های کیفی آب‌های زیرزمینی با روش زمین‌آمار (مطالعه موردی: دشت تهران - کرج). نشریه محیط زیست طبیعی، ۶۵ (۱): ۹۳-۸۳.
- ۱۱- صادقی‌روش، محمدحسن، زهتابیان، غلامرضا و طهمورث، محمد (۱۳۹۱). ارزیابی آسیب‌پذیری زیست‌محیطی نسبت به خطر بیابان‌زایی (مطالعه موردی منطقه خضرآباد یزد)، پژوهش و سازندگی (پژوهش‌های آبخیزداری)، ۹۶: ۸۷-۷۵.
- ۱۲- طباطبائی‌زاده، منیر السادات (۱۳۸۹). مقایسه پتانسیل شدت بیابان‌زایی به دو روش IMDPA و MICD با تأکید بر معیار فرسایش بادی (مطالعه موردی: دشت فخرآباد مهریز)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ۹۲ ص.
- ۱۳- فرمی‌هنی فراهانی، علی، و درویش، محمد (۱۳۹۱). ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی با روش فائو و یونپ در حوزه آبخیز کویر میقان، فصلنامه علمی-پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، ۱۹ (۴): ۵۵۶-۵۴۷.
- ۱۴- فیض‌نیا، سادات، گویا، علینقی، احمدی، حسن. و آذرنیوند، حسین (۱۳۸۰). بررسی عوامل بیابان‌زایی دشت حسین‌آباد میش مست قم جهت ارائه یک مدل منطقه‌ای. بیابان. ۶ (۲): ۱۱ - ۱.
- ۱۵- نظری‌نژاد، مصطفی (۱۳۸۹). ارزیابی کارایی مدل‌های ICD و ESAs جهت پهنه‌بندی و تدوین برنامه مدیریت خطر بیابان‌زایی (مطالعه موردی: منطقه رضاآباد خارتوران، استان سمنان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت مناطق بیابانی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
- ۱۶- ولی، عباسعلی، موسوی، سید حجت و سادات احمدی، سیدموسی (۱۳۹۴). ارزیابی شدت بیابان‌زایی حوضه‌ی مسجد سلیمان با استفاده از مدل IMDPA، مجله علمی پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان، ۴ (۹): ۵۶-۴۳.
- 17- Adeel, Z., Safriel, U., Niemeijer, D., White, R., De Kalbermatten, G., Glantz, M., ... others. (2005). Ecosystems and human well-being: desertification synthesis. World Resources Institute, Washington, DC.
- 18- Capozzi, F., Di Palma, A., De Paola, F., Giugni, M., Iavazzo, P., Topa, M. E., ... Giordano, S. (2018). Assessing desertification in sub-Saharan peri-urban areas: Case study applications in Burkina Faso and Senegal. *Journal of Geochemical Exploration*, 190, 281–291.
- 19- Corrado, R., Cherubini, A. M., & Pennetta, C. (2015). Critical desertification transition in semi-arid ecosystems: The role of local facilitation and colonization rate. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, 22(1), 3–12.
- 20- Crawford, R. M. M. (1989). Plants at the Margin. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53, 160. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- 21- De Pina Tavares, J., Baptista, I., Ferreira, A. J. D., Amiotte-Suchet, P., Coelho, C., Gomes, S., ... Varela, L. (2015). Assessment and mapping the sensitive areas to desertification in an insular Sahelian mountain region Case study of the Ribeira Seca Watershed, Santiago Island, Cabo Verde. *Catena*, 128, 214–223. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2014.10.005>
- 22- Goudie, A.S. (2011). Desertification. *Encyclopedia of Environmental Health*: 30-35.
- 23- Iglesias, A., Garrote, À. L., & Martí, F. (2009). Drought Risk Management in Mediterranean River Basins, 5(1), 11–16.
- 24- Parvari, S. H., Pahlavanravi, A., Reza, A., Nia, M., & Parvari, D. (2011). Application of Methodology for Mapping Environmentally Sensitive Areas (ESAs) to Desertification in Dry Bed of Hamoun Wetland (Iran), 1(1), 65–80.
- 25- Rasmy, M., Gad, A., Abdelsalam, H., & Siwailam, M. (2010). A dynamic simulation model

- of desertification in Egypt. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 13(2), 101–111. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2010.03.001>
- 26- Wang, X. D., Zhong, X. H., Liu, S. Z., Liu, J. G., Wang, Z. Y., & Li, M. H. (2008). Regional assessment of environmental vulnerability in the Tibetan Plateau: Development and application of a new method. *Journal of Arid Environments*, 72(10), 1929–1939.