فصلنامه علوم محیطی، دوره نوزدهم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰

۱۰۶-۸۵

مقاله پژوهشی

ارزیابی شدت بیابان زایی با استفاده از مدل مدالوس و روش های زمین آماری(مطالعه موردی: غرب استان گلستان)

عبدالحسین بوعلی[۱]، حمید رضا عسگری[۱*]، علی محمدیان بهبهانی[۱]، عبدالرسول سلمان ماهینی[۲] و بابک نعیمی[۳]

[۱] گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[۲] گروه ارزیابی محیط زیست، دانشکده شیلات و محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران
[۳] گروه علوم جغرافیا و زمین، دانشکده علوم زمین، دانشگاه هیلسنکی، فنلاند

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۹/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۵/۲۱

بوعلی،ع.، ح.ر. عسگری، ع. محمدیان بهبهانی، ع. سلمان ماهینی و ب. نعیمی. ۱۴۰۰. ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس و روش‌های زمین آماری(مطالعه موردی: غرب استان گلستان). فصلنامه علوم محیطی. ۱۹(۴): ۸۵-۱۰۶.

سابقه و هدف: بیابان‌زایی مشتمل بر فرآیندهایی است که هم زائیده عوامل طبیعی بوده و هم به عملکرد نادرست انسان بر می‌گردد. پارامترهای ادافیکی و فرآیندهای موثر بر وضعیت خاک، اقلیم، آب زیرزمینی، پوشش گیاهی و مدیریت از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر پدیده بیابان‌زایی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشند. این پارامترها با استفاده از مدل‌های مختلف در مناطق مختلف بررسی می‌شوند. براین اساس این تحقیق با هدف ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس و مبتنی بر معیار آب زیرزمینی و خاک در غرب استان گلستان انجام شد.

مواد و روش‌ها: به منظور تعیین نقشه واحد کاری، از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، تفسیر عکس‌های هوایی، باند پانکروماتیک و چند طیفی تصاویر ماهواره‌ای لندست و بازدیدهای صحرایی استفاده شد. روش‌های زمین آمار مورد استفاده در این تحقیق شامل روش کریجینگ، روش تخمین گر موضعی (GPI)، روش توابع شعاعی (RBF) و روش عکس فاصله (IDW) بوده است. در مدل مدالوس از ۶ معیار و ۲۰ شاخص به منظور ارزیابی شدت بیابان‌زایی استفاده شد. امتیازدهی هر یک از شاخص‌ها در سطح واحد کاری تعیین گردید. نقشه هر یک از معیارها با استفاده از رابطه میانگین هندسی بین شاخص‌ها دست آمد. برای ارزیابی صحت نتایج مدل، کلاس بیابان‌زایی در هر یک از واحدهای کاری با توجه به شواهد میدانی، عمل ارزیابی مشاهده‌ای و بصری انجام و سپس اقدام به مقایسه آماری طبقه کلاس بیابان‌زایی مدل با نظر کارشناسی شد. برای صحت‌سنجی نتایج مدل‌ها، از نرم افزار SPSS و آزمون ناپارامتری من ویتنی استفاده شد.

نتایج و بحث: در این تحقیق متوسط وزنی امتیاز شدت بیابان‌زایی منطقه ۱۳۵ به دست آمد که بیانگر کلاس متوسط می‌باشد. از نظر پهنه بندی شدت بیابان‌زایی، منطقه در سه کلاس کم و ناچیز با درصد فراوانی ۲۷ و متوسط با درصد فراوانی۶۰ و شدید با درصد فراوانی۱۳

* Corresponding Author*: Email Address*. Hamidreza.asgari@gau.ac.ir
http://dx.doi.org/10.52547/envs.2021.37277
http://dorl.net/dor/20.1001.1.17351324.1400.19.4.6.4

طبقه‌بندی گردید. از بین معیارهای بیابان‌زایی، معیار مدیریت و سیاست با متوسط وزنی (۱۴۸)، معیار غالب و موثر بیابان‌زایی بوده و پس از آن معیار پوشش گیاهی (۱۴۵)، معیار خاک(۱۴۱)، معیار فرسایش(۱۳۸)، معیار اقلیم (۱۲۲) و معیار آب زیرزمینی(۱۲۱) در رتبه بعدی معیارهای موثر بیابان‌زایی منطقه قرار گرفتند. همچنین مهم‌ترین شاخص‌های بیابان‌زایی به ترتیب، شاخص‌های مقاومت در برابر خشک‌سالی، عملیات حفاظتی و شوری خاک است. این شاخص‌ها در واحدهای کاری اراضی رهاشده، اراضی شور و ماندابی و اراضی شوره‌زار واقع در قسمت‌های شمال شرقی منطقه، باعث افزایش روند بیابان‌زایی شده‌اند. در پایان توزیع مکانی کلاس‌ها به صورت مناطق دارای بیابان‌زایی کم و ناچیز در بخش جنوبی و شرقی منطقه، کلاس متوسط در بخش غربی، مرکزی و شمالی و نهایتاً کلاس شدید بیابان‌زایی در بخش شمال شرقی منطقه قرار توزیع داشتند.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج بدست آمده که نشان دهنده تبخیر و تعرق بالای منطقه، گسترش روند شوری اراضی، ایجاد جاده‌سازی غیر اصولی و زهکشی ناقص می‌باشد، به نظر می‌رسد مدیریت بیابان‌زایی غرب استان گلستان به عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی، باید در اولیت مدیریتی مسئولان و کارشناسان ادارات اجرایی قرار گیرد. بر این اساس پیشنهاد می‌شود به منظور کنترل روند بیابان‌زایی و رسیدن به توسعه پایدار در منطقه، تصفیه پسابهای صنعتی و خانگی برای استفاده مجدد مصارف مختلف، استفاده از سیستم‌های نوین آبیاری اراضی کشاورزی، قرار دادن محصولات زراعی کم نیاز از نظر مصرف آب در تناوب زراعی منطقه و همچنین آموزش‌های لازم برای توجیه کشاورزان به منظور استفاده از سموم و کودهای شیمیایی در منطقه جهت کنترل بیابان‌زایی صورت گیرد.

واژه‌های کلیدی: سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل‌سازی، زمین آمار، مدالوس.

مقدمه

بیابان‌زایی مشتمل بر فرآیندهایی است که هم زائیده عوامل طبیعی بوده و هم به عملکرد نادرست انسان برمی‌گردد (Mei *et al*، 2014؛Naderianfar *et al*., 2011). ارزیابی‌های فائو[1] (سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد) نشان می‌دهد که ۱۹/۵درصد از مناطق خشک جهان تحت تأثیر تخریب اراضی و بیابان‌زایی قرار گرفته است (Salunkhe *et al*, 2018). امروزه ثابت شده است که اثرات بیابان‌زایی ممکن است به وسعت کره زمین باشد، پس مرزهای جغرافیایی در مسائل مربوط به منابع طبیعی و محیط‌زیست تنها خطوطی فرضی روی نقشه جغرافیایی هستند و نمی‌توانند از گسترش این معضل جلوگیری کنند (Akbari,2016). ارزیابی خطر بیابان‌زایی اراضی شامل تجزیه و تحلیل جنبه‌های فیزیکی پدیده‌ها از طریق جمع‌آوری پیشینه تاریخی و شرح اطلاعات توپوگرافی، ژئولوژیکی و هیدرولوژیکی است که برای تخمین احتمالات زمانی و مکانی و بزرگی واقعه‌های پرخطر فراهم می‌شود (Yazdanpanahi *et al*., 2018; Boali *et al*., 2017). پارامترهای ادافیکی و فرآیندهای موثر بر وضعیت خاک، اقلیم، آب زیرزمینی، پوشش گیاهی و مدیریت از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار بر پدیده بیابان‌زایی در بسیاری از مناطق خشک و نیمه‌خشک می‌باشند که با استفاده از مدل‌های مختلف در مناطق مختلف بررسی شده است (Honardost *et al*., 2011; Khodai *et al*., 2006; Saffari *et al*., 2019). برای ارزیابی پدیده بیابان‌زایی و ارائه راهکارهای مطلوب برای مهار بیابان‌زایی مدل‌های زیادی ارائه شده است که در اکثر این مدل‌ها از ۳ تا ۵ شاخص استفاده می‌شود(Zehtabian *et al*., 2008). به منظور ارزیابی بیابان‌زایی تحقیقات مختلفی در داخل و خارج کشور صورت گرفته که منجر به ارائه مدل‌های منطقه‌ای فراوان شده است. مدل مدالوس[2] از جمله مدل‌هایی است که به طور وسیعی در ارزیابی بیابان‌زایی در کشورهای مختلف و از جمله ایران استفاده شده است. مدل مدالوس از روش‌های ارزیابی بیابان‌زایی چند عامله است که به دلیل سازگار بودن با شرایط بیابانی کشور، استفاده از قابلیت GIS و سنجش از دور در تعیین نقشه‌ها و امکان تجزیه و تحلیل آن‌ها به منظور ارزیابی خطر بیابان‌زایی و تعیین مناطق بحرانی و غیر بحرانی در گسترش بیابان‌زایی کاربرد زیادی

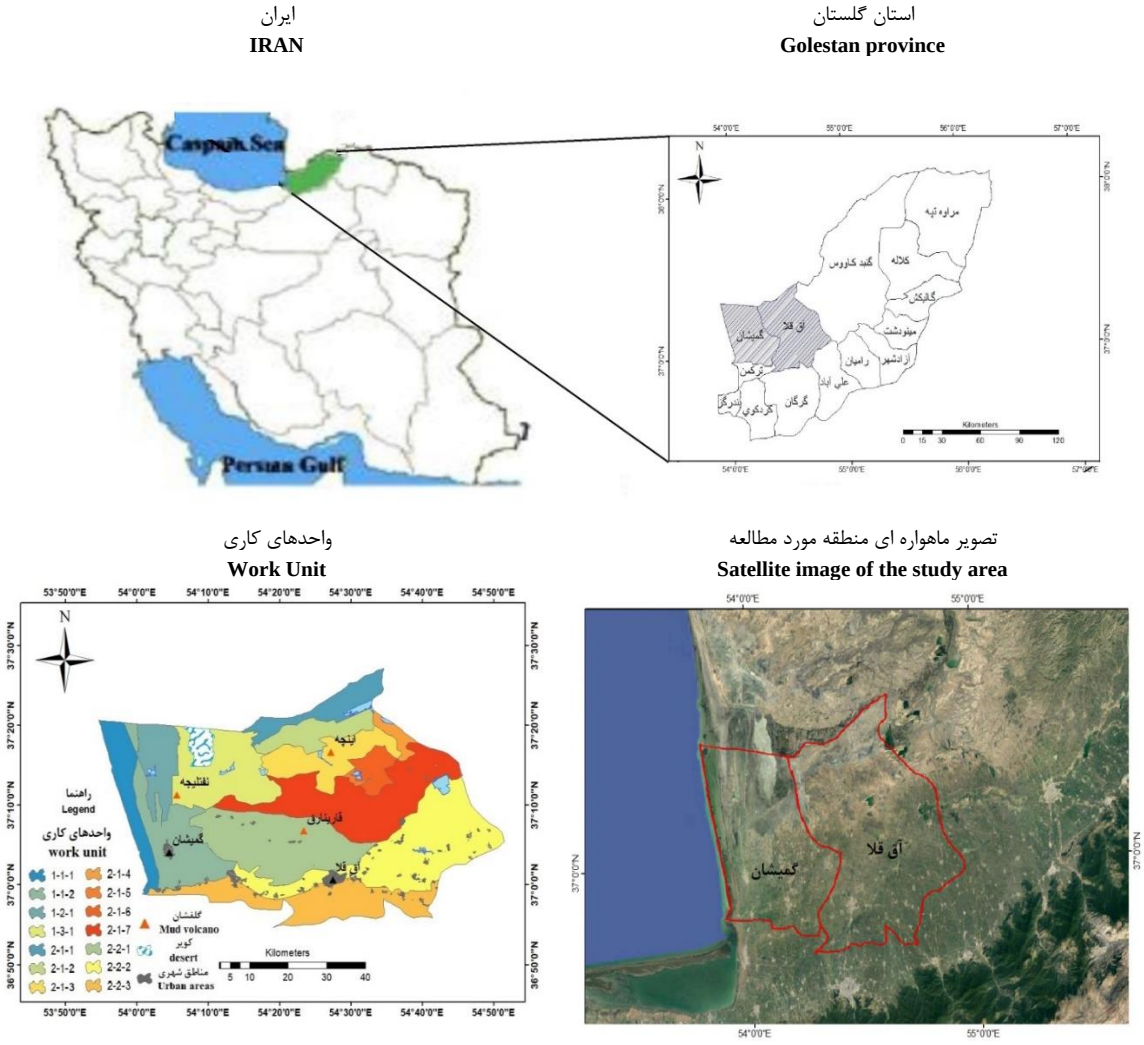
داشته است و در همین راستا مدل‌های ایرانی همچون IMDPA[۳] نیز براساس مدل مدالوس برای ارزیابی بیابان-زایی در داخل کشور ارائه شده است (Boali *et al*., 2018; Nafar, 2019; Zehtabian *et al*., 2008). Nafar (2019) در مطالعه‌ای به منظور ارزیابی بیابانزایی حوضهٔ آبخیز سفیددشت-بروجن از مدل مدالوس استفاده کرد. در بین معیارهای مورد بررسی معیار اقلیم با امتیاز ۱/۸۰ بیشترین نقش را در بیابان‌زایی منطقه دارد. نتایج نشان داد ۵۶ درصد منطقه با وضعیت بیابان‌زایی شدید و ۴۴ درصد یا وضعیت خیلی شدید مواجه است. Zehtabian *et al*. (2008) در تحقیقی به بررسی معیارهای آب و خاک در بیابان‌زایی منطقه عین خوش دهلران (دشت ابوغریو) بر اساس روش مدالوس پرداخته‌اند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که هدایت الکتریکی آب‌های زیرزمینی و کاهش سطح آب‌های زیرزمینی از معیار تخریب منابع آب و شاخص‌های درصد مواد آلی، بافت خاک و جنس سازند از معیار خاک بیش‌ترین تأثیر را داشته‌اند. در مطالعه‌ای از روش مدالوس به منظور ارائه یک مدل منطقه‌ای برای ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی، براساس معیار وضعیت آب‌های زیرزمینی و از شاخص‌های میزان کلر، هدایت الکتریکی، سطح ایستایی آب زیرزمینی و نسبت جذب سدیم استفاده شد. آن‌ها در بررسی خود به این نتیجه رسیدند که از لحاظ کیفیت آب‌های زیرزمینی، ۳۸ درصد از منطقه در وضعیت متوسط، ۹ درصد در کلاس وضعیت مناسب و ۵۳ درصد از منطقه در وضعیت نامناسب قرار داشتند (Sepehr *et al*., 2008). در ارزیابی شاخص‌ها و معیارها بیابان‌زایی استفاده از ابزارها و روش‌های مناسب جهت پردازش داده‌های کیفی بسیار کارآمد است. زیرا با وجود حجم زیاد داده‌ها و تعداد زیاد مولفه‌ها مشکل خواهد بود(Saffari *et al*., 2019). برای مدیریت بهینه داده‌های مورد استفاده در مدل لازم است که اطلاعات کافی از مجموعه ویژگی‌های کمی و کیفی پارامترها جمع آوری و با شیوه مناسب ارزیابی شوند. از میان روش‌های موجود، روش‌های زمین آمار، برای شناخت تغییرات مکانی پدیده‌ها و پیش بینی تغییرات سطح در نقاط فاقد آمار مناسب است (Azari *et al*., 2014; Hossein Alizadeh and Yaghoubi, 2010) روش‌های زمین آماری ضمن در نظر گرفتن موقعیت مکانی و نحوهٔ پراکنش نقاط، اغلب دقت قابل قبولی را ارائه می‌دهند (Delbari *et al*., 2011; Sepehr, 2008. Sun *et al*., 2019) با مقایسه سه روش درون‌یابی از جمله عکس مجذور فاصله، توابع پایه شعاعی و کریجینگ برای پیش‌بینی تغییرات زمانی و مکانی عمق آب زیرزمینی در کویر مین کین در شمال چین، نشان دادند که روش کریجینگ معمولی روشی بهینه برای میان-یابی عمق آب زیرزمینی است. از روش‌های زمین آمار برای تهیه نقشه و ارزیابی غلظت برخی از فلزات سنگین در منابع آب زیرزمینی دشت قهاوند همدان استفاده شد که طی آن نمونه‌برداری در فصول بهار و تابستان ۱۳۹۱ از ۲۰ حلقه چاه در سطح دشت انجام شد. نتایج نشان داد اگرچه در حال حاظر منابع آب زیرزمینی دشت قهاوند در معرض آلودگی بیش از حد مجاز به فلزات سنگین نیست، استفاده بی روزه و طولانی مدت از نهاده‌های کشاورزی و همچنین استقرار صنایع آلاینده می‌تواند ضمن تهدید منابع آب زیرزمینی این منطقه، تبعات جبران‌ناپذیری از جمله مخاطرات بهداشتی برای مصرف‌کنندگان به دنبال داشته باشد(Ardakani *et al*., 2014; Masoudi *et al*., 2015) . از آنجایی که سطح چشمگیری از کشور در معرض بیابان زایی قرار دارد، مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح برای این عرصه‌ها مستلزم شناخت عوامل، شاخص‌ها و معیارهای بیابانزایی است. در منطقه مورد مطالعه به دلیل وجود واحدهای صنعتی، محدودیت منابع آب (مصارف بالای آب در بخش‌های شرب و کشاورزی) و همچنین به خاطر اقلیم خشک و نیمه خشک حاکم بر منطقه، ضرورت دارد به بررسی عوامل تاثیرگذار در بیابان‌زایی منطقه پرداخته و مشکلات موجود شناسایی و با انجام تدابیر مناسب، سبب کاهش خطرات زیست محیطی شویم.

بنابراین، با توجه به اهمیت موضوع پژوهش حاضر با هدف ارزیابی شدت بیابان‌زایی در غرب استان گلستان با استفاده از دل مدالوس و روشهای زمین آمار انجام شد. نتایج این تحقیق می‌تواند به عنوان ابزاری کار آمد و مناسب در مدیریت اراضی منطقه و در راستای کاهش اثرات تخریب زمین و توسعه بیابان‌زایی مورد استفاده قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با مساحتی در حدود ۵۱۰۱ کیلومترمربع (یک چهارم مساحت استان گلستان) در قسمت غربی استان گلستان واقع‌شده و دارای مختصات جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۷ دقیقه و ۵۷/۵۱ ثانیه تا ۳۷ درجه و ۲۷ دقیقه و ۲۴/۲۶ ثانیه عرض شمالی و ۵۳ درجه و ۵۱ دقیقه و ۱۴/۷۶ ثانیه تا ۵۴ درجه و ۵۱ دقیقه و ۴۶/۲۶ ثانیه طول شرقی می‌باشد. این منطقه از شمال به اراضی کویری و پلایایی کشور ترکمنستان، از غرب به جلگه ساحلی دریای خزر، از جنوب به شهرستان گرگان و از شرق به شهرستان‌های گنبد کابوس و علی آباد محدود می‌گردد(Akbari,2016). شکل۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه را در ایران و استان گلستان نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و غرب استان گلستان

Fig. 1- Location of the study area in Iran and the west of Golestan province

جدول۱- توزیع درصد فراوانی واحدهای کاری منطقه مورد مطالعه

Table 1. Distribution of frequency percentage of work units in the study area

واحد Unit	کد واحد Unit code	تیپ TIP	کد تیپ TIP code	رخساره Facies	کد رخساره Code facies	مساحت (هکتار) Area (hectares)	درصد فراوانی Frequency
پلایا Playa	1	ساحل - نئوکاسپین پسین (مختوم قلی) Beach - Late Neo-Caspian (Makhtum Gholi)	1-1	تالاب (زمین‌های باتلاقی) Wetlands (swampy lands)	1-1-1	14484.42	4.96
				رسوبات ساحلی Coastal sediments	1-1-2	25718.72	8.81
		ساحل - نئوکاسپین میانی (گمیشان) Beach - Middle Neo-Caspian (Gomishan)	1-2	زمین‌های شور - ماندابی Saline and wetland lands	1-2-1	9124.87	3.12
		ساحل - نئوکاسپین پیشین Early Neocaspine coast	1-3	زمین‌های شور و ماندابی حاشیه پلایا Saline and wetland lands around the playa	1-3-1	27874.87	9.55
دشت سر Pediment	2	دشت سیلابی - دلتایی اترک Flood Plain - Atrak Delta	2-1	رسوبات آبرفتی اترک Atrak alluvial sediments	2-1-1	11981.39	4.1
				زمین‌های شورزار با مورفولوژی سبخا Saline lands with Sabkha morphology	2-1-2	11497	3.94
				زمین‌های شور – ماندابی Saline and wetland lands	2-1-3	18765.78	6.43
				تپه ماسه‌ای طولی Longitudinal sand dune	2-1-4	3307.94	1.13
				تپه بارخانی Barkhan dune	2-1-5	644.55	0.22
				زمین‌های بایر Barren lands	2-1-6	5419.90	1.85
				زمین‌های تپه ماهوری Mahuri hill lands	2-1-7	43272.1	14.83
		دشت سیلابی - دلتایی گرگان-رود Flood plain - Gorgan River Delta	2-2	دشت سیلابی Flood plain	2-2-1	40569.43	13.91
				زمین‌های تپه ماهوری Mahuri hill lands	2-2-2	49586.11	17
				رسوبات آبرفتی قدیمی گرگان رود Old alluvial sediments of Gorgan River	2-2-3	29373.11	10.15

مدل مدالوس (MEDALUS)

به منظور تهیه نقشه و ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش مدالوس، از معیارهای آب زیرزمینی، خاک، پوشش گیاهی، اقلیم، فرسایش‌و مدیریت و سیاست استفاده شد. هر کدام از شاخص‌ها با توجه به وضعیت کیفی، امتیازی بین ۱۰۰ تا ۲۰۰ گرفتند. امتیاز مربوط به معیارها با میانگین هندسی شاخص‌های مربوط به آنها مشخص شد. جدول‌های(۱،۲، ۳و۴) کلاس‌ها و درجات خطر شدت بیابان‌زایی بر اساس شاخص‌های در نظر گرفته شده را نشان می‌دهد. رابطه (۸تا۱) نحوه محاسبه امتیاز مربوط به شدت بیابان‌زایی را مشخص می‌کند (Boali *et al*, 2018). برای تعیین نقشه واحدکاری نیز از نقشه‌های توپوگرافی، زمین شناسی، تفسیر عکس‌های هوایی، باند پانکروماتیک و چند طیفی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸(خرداد۱۳۹۹) سنجنده TM و بازدیدهای صحرایی استفاده شد. پس از رقومی و موزائیک کردن نقشه توپوگرافی، نقشه-های شیب، جهت شیب و ارتفاع منطقه به منظور شناخت وضعیت و توان طبیعی منطقه در محیط نرم افزار GIS تولید گردید. متعاقباً عملیات تصحیح و پردازش بر روی تصاویر ماهواره‌ای در محیط نرم افزاری Geomatica انجام شد. هر یک از شاخص‌های مدل مدالوس در واحد کاری تولید شده جهت ارزیابی بیابان‌زایی در نظر گرفته شد. به‌منظور داده برداری نمونه‌های خاک از روش نمونه‌گیری تصادفی، ۴۲ نمونه خاک سطحی (۳ نمونه در هر واحد) بر مبنای نقشه واحد کاری استفاده گردید. در مرحله بعد پارامترهای بافت خاک، هدایت الکتریکی و زهکشی خاک به عنوان شاخصهای معیار خاک اندازه‌گیری و مقادیر هر یک به تفکیک واحدهای کاری منطقه به دست آمد. به منظور ارزیابی کیفی و کمی منابع آب زیرزمینی شاخصهای هدایت الکتریکی، کل مواد جامد محلول، نسبت جذب سدیم و عمق آب زیرزمینی انتخاب و از اطلاعات مربوط به ۷۵ حلقه چاه (اداره آب منطقه‌ای استان گلستان) برای یک دوره ۱۵ ساله (۱۳۹۴ - ۱۳۸۰) برای بررسی این شاخص‌ها در منطقه استفاده شد. از آمار ۶ ایستگاه سینوپتیک درون و اطراف منطقه در طول دوره آماری ۲۰ ساله (۱۳۹۶ - ۱۳۷۷) که از اداره هواشناسی گرگان تهیه شده بود به منظور بررسی شاخص‌های اقلیمی استمرار خشک‌سالی، شاخص خشکی و مقدار بارش سالانه منطقه استفاده شد. برای بررسی معیار فرسایش، از دو شاخص فرسایش آبی و فرسایش بادی استفاده شد. به منظور بررسی کلاس فرسایش آبی از روش EPM و همچنین برای بررسی کلاس فرسایش بادی از روش IRIFER استفاده شد و با گرفتن میانگین هندسی از این شاخص‌ها، وضعیت فرسایش خاک در منطقه به دست آمد. فرمهای امتیازدهی مربوط به هر یک از این مدل‌ها برای برآورد فرسایش بادی در هر واحد کاری تعیین گردید. به منظور ارزیابی پوشش گیاهی، شاخص‌های حفاظت در برابر فرسایش، مقاومت در برابر خشکسالی و درصد پوشش گیاهی انتخاب گردید و نهایتا پس از امتیازدهی شاخص‌های ذکرشده در قالب پلات‌های یک مترمربعی در طول ترانسکت ۱۰۰ متری به‌صورت سیستماتیک در هر ۱۰ متر یک پلات مستقر شد و سپس درصد پوشش گیاهی در هر پلات با نظر کارشناسی تعیین و به کل واحد کاری تعمیم داده شد. نقشه معیار پوشش‌گیاهی از میانگین هندسی به دست می‌آید. برای بررسی معیار مدیریت و سیاست در ایجاد شرایط بیابانی در مدل ارائه شده، ابتدا نقشه کاربری تهیه شده و سپس در هر کاربری با توجه به شاخص‌های انتخابی وزن‌دهی شد. به کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی و با استفاده از روش مدل مدالوس می‌توان با وزن‌دهی به لایه‌های اطلاعاتی، ارزش هر لایه را در معیار مورد نظر دخالت داده و تاثیر آن را در بیابان-زایی بررسی کرد. نقشه هر معیار در چهار کلاس کم و ناچیز، متوسط، شدید و خیلی شدید با توجه به وزن اخذ شده، طبقه‌بندی می‌گردد. نقشه نهایی که نشاندهنده وضعیت بیابان‌زایی براساس معیارهای اقلیم، پوشش گیاهی، آب زیرزمینی، فرسایش، خاک و مدیریت و سیاست در منطقه می‌باشد از میانگین هندسی معیارهای مذکور براساس رابطه ۸ به دست آمد.(Zehtabian *et al*., 2014).

جدول ۲- شاخص‌های ارزیابی معیار آب زیرزمینی و معیار خاک (زهتابیان و همکاران،۲۰۱۴)

Table 2. Qualitative and qualitative indicators for assessing groundwater criteria and soil criteria (Zehtabian et al,2014)

معیار Criteria	سنجه ارزیابی Evaluation index	کلاس Class	کم Low	متوسط Moderate	شدید Severe	بسیار شدید Very severe
		دامنه	100 - 124	125 - 149	150 - 174	175 - 200
آب زیرزمینی Groundwater	هدایت الکتریکی آب زیرزمینی (ds/m) Electrical conductivity of groundwater		<750	750 - 2250	2250 - 5000	>5000
	نسبت جذب سدیم آب زیرزمینی Groundwater sodium absorption ratio		< 18	18 - 26	26 - 32	>32
	کل مواد جامد محلول در آب زیرزمینی (mg/l) Total dissolved solids in groundwater		<450	450 - 2000	1000 - 2000	>2000
	عمق آب زیرزمینی(cm) Groundwater depth		>250	150 - 250	100 - 150	<100
خاک Soil	زهکشی Drainage		خوب Good	متوسط Moderate	ضعیف Weak	بسیار ضعیف Very weak
	بافت خاک Soil texture		L, SCL, SL, LS, CL	SC,SiL,SICL	Si,C,SiC	S
	هدایت الکتریکی خاک(ds/m) Electrical conductivity of soil		< 5	5 - 8	9 - 16	>16
اقلیم Climate	بارش سالانه Annual rainfall		>280	150 - 280	75 - 150	< 75
	سنجه خشکی Drought index		>0.65	0.45 – 0.65	0/2 – 0.45	< 0.2
	استمرار خشک‌سالی Continuation of drought		۱ تا ۳ سال 1 to 3 years	۴ تا ۵ سال 4 to 5 years	۶ تا ۷ سال 6 to 7 years	بیشتر از ۷ سال More than 7 years
فرسایش Erosion	E.P.M Model فرسایش آبی (EPM)		کم Low	متوسط Moderate	شدید Severe	بسیار شدید Very Severe
	IRIFER Model فرسایش بادی (IRIFR)		کم Low	متوسط Moderate	شدید Severe	بسیار شدید Very Severe
	حفاظت در برابر فرسایش Protection against erosion		باغ‌ها، درختچه‌ها و مرتع-ها همیشه سبز Gardens, shrubs and evergreen rangelands	مرتع‌ها و بوته زارهای دائمی Permanent pastures and shrubs	محصول‌های کشاورزی یکساله، غلات، علفزارهای یکساله Annual crops, cereals, annual grasslands	زمین‌های لخت و بایر Bare and barren lands
پوشش گیاهی Vegetation	درصد پوشش گیاهی Percentage of vegetation		PC > 40	20< PC <40	10< PC <20	PC > 10
	مقاومت در برابر خشکسالی Resistance against drought		باغ‌ها، درختچه‌ها و مرتع-ها همیشه سبز Gardens, shrubs and evergreen rangelands	مرتع‌ها و بوته زارهای دائمی Permanent pastures and shrubs	محصول‌های کشاورزی یکساله ، غلات، علفزارهای یکساله Annual crops, cereals, annual grasslands	زمین‌های لخت و بایر Bare and barren lands

ادامه جدول ۲- شاخص‌های ارزیابی معیار آب زیرزمینی و معیار خاک (زهتابیان و همکاران،۲۰۱۴)

Cont. Table 2. Qualitative and qualitative indicators for assessing groundwater criteria and soil criteria (Zehtabian et al,2014)

معیار Criteria	شاخص ارزیابی Index Evaluation	کلاس Class دامنه	کم Low 100 - 124	متوسط Moderate 125 - 149	شدید Severe 150 - 174
مدیریت و سیاست Management and policy	کاربری کشاورزی Agricultural landuse	کیفیت عملیات کشاورزی Quality of agricultural operations	کشت واریته‌های بومی ، عدم استفاده از کودهای شیمیایی ، مکانیزاسیون محدود ، آیش مناسب Cultivation of native varieties, no use of chemical fertilizers, limited mechanization, suitable fallow	کشت واریته های اصلاح شده ، استفاده از کودها شیمیایی ، مکانیزاسیون در موارد ضروری Cultivation of modified varieties, use of chemical fertilizers, mechanization in necessary cases	کشت واریته های اصلاح شده ، استفاده از کودها و آفت کش ها ، مکانیزاسیون نامحدود و شدید ، عدم آیش قرار دادن زمین Cultivation of improved varieties, use of fertilizers and pesticides, unlimited and intense mechanization, no fallow land
		شیوه آبیاری و کیفیت آب Irrigation method and water quality	استفاده از شیوه های نوین آبیاری ، کیفیت آب آبیاری مناسب Use of modern irrigation methods, proper irrigation water quality	استفاده از شیوه های نوین آبیاری ، کیفیت آب آبیاری نامناسب Use of modern irrigation methods, inadequate irrigation water quality	استفاده از شیوه های آبیاری سنتی ، کیفیت آب آبیاری نسبتا مناسب Use of traditional irrigation methods, relatively good irrigation water quality
	کاربری مرتع Rangeland landuse	میزان تخریب مرتع Degree of pasture destruction	1 -1.5	1.5 - 2	2 - 5
		فشار چرا grazing pressure	0 -1	1 – 1.5	1.5 - 2
	تمام کاربری‌ها All landuse	میزان عملیات حفاظتی Extent of protection operations	بیش از ۷۰ درصد منطقه تحت عملیات حفاظتی More than 70% of the area under protection operations	۳۰ تا ۷۰ درصد منطقه تحت عملیات حفاظتی 30 to 70% of the area under protection operations	کمتر از ۳۰ درصد منطقه تحت عملیات حفاظتی Less than 30% of the area under protection operations

جدول۳- کلاس‌های طبقه‌بندی معیارهای بیابان‌زایی(زهتابیان و همکاران،۲۰۱۴)

Table 3. Classifications of desertification criteria (Zehtabian et al., 2014)

نوع ارزیابی Type of evaluation	کلاس‌های وضعیت بیابان‌زایی Desertification status classes			
کیفی Qualitative	کم Low	متوسط Moderate	شدید Severe	بسیار شدید Very severe
کمی Quantitative	100 - 125	126 - 150	151 - 75	176 - 200

(۱) $^{۱/۳}$ (استمرار خشک‌سالی× شاخص خشکی × مقدار بارش سالانه)= معیار اقلیم

(۲) $^{۱/۴}$(هدایت الکتریکی × کل مواد جامد محلول × نسبت جذب سدیم× عمق آب زیرزمینی) = معیار آب‌های زیرزمینی

(۳) $^{۱/۳}$(بافت × هدایت الکتریکی) = معیار خاک
خاک×زهکشی

(۴) $^{۱/۲}$(فرسایش بادی(IRIFER) × فرسایش آبی(EPM))= معیار فرسایش خاک

(۵) $^{۱/۳}$(حفاظت در برابر فرسایش × درصد پوشش گیاهی × مقاومت در برابر خشکسالی) = معیار پوشش گیاهی

(۶) $^{۱/۳}$ (میزان اجرای عملیات حفاظتی × فشار چرا × میزان تخریب مراتع) = معیار مدیریت در اراضی مرتعی

(۷) $^{۱/۳}$ (میزان اجرای عملیات حفاظتی × روش آبیاری × نوع عملیات کشاورزی) = معیار مدیریت در اراضی کشاورزی

(۸) $^{۱/۶}$(معیار پوشش گیاهی× معیار فرسایش خاک× معیار خاک × معیار اقلیم × معیار مدیریت و سیاست × معیار آب‌های زیرزمینی) = شدت بیابان‌زایی

جدول۴- کلاس‌های وضعیت فعلی بیابان‌زایی با توجه به امتیاز شدت بیابان‌زایی(زهتابیان و همکاران،۲۰۱۴)

Table 4. Classes of current desertification status according to the intensity of desertification

نوع ارزیابی Type of evaluation	کلاس‌های وضعیت بیابان‌زایی Desertification status classes			
کیفی Qualitatively	کم Low	متوسط Moderate	شدید Severe	بسیار شدید Very Severe
کمی Quantitative	100 - 120	121 - 135	136 - 153	>153

روش‌های زمین آماری

بعد از محاسبه و آنالیز هر یک دادهای بدست آمده در منطقه، برای پهنه‌بندی و تهیه نقشه منطقه، از روش‌های زمین آماری استفاده شد. روش‌های زمین آماری مورد استفاده در این تحقیق شامل روش کریجینگ، روش تخمین‌گر موضعی (GPI)، روش توابع شعاعی (RBF) و روش عکس فاصله (IDW) بود(Nas,2009). برای ارزیابی روش‌های زمین آماری و انتخاب بهترین روش از نرم افزار ArcGIS10.3 که توانایی انجام تکنیک ارزیابی متقابل را دارد و معیار آماری ریشه دوم میانگین مربع خطا (RMSE)، استفاده می‌گردد (Elyas Azar,2002).

بررسی میزان انطباق نقشه خطر بیابان‌زایی و صحت مدل با واقعیت زمینی

برای ارزیابی صحت مدل، کلاس بیابان‌زایی در هر یک از واحدهای کاری با توجه به شواهد میدانی، عمل ارزیابی بصری انجام شد. سپس اقدام به مقایسه آماری طبقه کلاس بیابان‌زایی مدل با نظر کارشناسی بدست آمده از بازدیدهای میدانی گردید. برای انجام صحت‌سنجی نتایج مدل، از نرم افزار SPSS۲۶ و آزمون ناپارامتری من ویتنی استفاده شد. این آزمون برای انطباق نقشه‌هایی که به صورت کیفی امتیازدهی می‌شوند، کاربرد دارد (Arami *et al*., 2012). در این آزمون نتایج بین ۱ و ۱- متغیر

است، به طوری که اگر پاسخ مدل، بزرگتر از نظر کارشناسی و واقعیت زمینی باشد عدد۱، و اگر پاسخ مدل کوچکتر از واقعیت زمینی باشد عدد (۱-) و در صورت یکسان بودن نتایج، مقدار صفر در نظر گرفته می‌شود.

ارائه برنامه‌های مدیریتی

در این مطالعه مبنای ارائه و پیشنهاد برنامه‌های مدیریتی، راهبردهای اکوسیستمی یونیپ ۲۰۰۴ بود (UNEP, 2004) که با توجه به شرایط منطقه‌ای و براساس کلاس-های شدت بیابان‌زایی، برخی از برنامه‌های مدیریتی متناسب با منطقه و با نظر کارشناسان اجرایی معرفی می-شود. جدول ۵ راهنمای تعیین اولویت برنامه‌های مدیریتی پیشنهادی را بیان می‌کند (Davari *et al*, 2017).

جدول۵ – راهنمای تعیین اولویت برنامه‌های مدیریتی پیشنهادی

Table 5 .Prioritization guide for the proposed management plans

کلاس خطر Hazard class	برنامه مدیریتی Management program	برنامه‌های مناسب Appropriate programs	کلاس برنامه مدیریتی Management program class
I	حفظ وضعیت موجود (Maintaining the status quo)	جلوگیری از تغییر کاربری اراضی، تخریب پوشش گیاهی و کنترل چرا (Prevent land use change Destruction of vegetation, Pasture control)	Ia
		اصلاح روش‌های ناصحیح کشاورزی (Improving incorrect agricultural methods)	Ib
II	اجتناب از خطر (Avoid danger)	جلوگیری از اجرای برنامه‌های غیر توسعه‌ای (Prevent the implementation of non-development programs)	IIa
		کشت گیاهان مقاوم به شوری خاک و آب (Cultivation of plants resistant to soil and water salinity)	IIb
III	اقدامات کنترلی (Control measures)	افزایش پوشش گیاهی، غنی‌سازی مراتع، خاکورزی در مناطق با بافت سنگین (Increased vegetation cover, enrichment of pastures, tillage in areas with heavy texture)	IIIa
		کشت هدفمند محصولات زراعی (Targeted cultivation of crops)	IIIb
		عملیات مکانیکی، احداث بادشکن (Mechanical operation and construction of windbreaks)	IIIc

نتایج و بحث

تهیه لایه‌های اطلاعاتی مدل مدالوس با استفاده از روش‌های زمین آماری

استفاده از روش‌های زمین آماری نیاز به بررسی نرمال بودن داده است. در این تحقیق با توجه به هیستوگرام داده‌ها نرمال بودن پارامترها بررسی شد. برای تعیین مناسب‌ترین روش میان‌یابی از مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد که بر این اساس برای درون-یابی و تهیه نقشه هدایت الکتریکی و کل مواد جامد محلول در آب زیرزمینی از روش RBF و برای پارامترهای نسبت جذب سدیم و عمق آب زیرزمینی از روش IDW استفاده شد. در معیار خاک نیز برای شاخص‌های بافت خاک و مواد آلی از روش IDW و برای شاخص هدایت الکتریکی خاک نیز از روش کریجینگ استفاده شد. در نهایت در معیار اقلیم شاخصهای مقدار بارش و شاخص خشکی از روش کریجینگ و برای شاخص استمرار خشک‌سالی از روش RBF استفاده شد. Shabani,(2011) در ارزیابی روشهای زمین آماری درتهیهٔ نقشه‌های کیفی آبهای زیرزمینی و پهنه بندی آنها به این نتیجه رسید که در بین روشهای تعیین شده، روش RBF برای تهیه نقشه تغییرات شوری و تغییرات نیترات در منطقه مناسب است. Bajjali (2005) ، تاثیر چهار سد تغذیه مصنوعی را بر روی

کیفیت آبهای زیرزمینی از نظر TDS در عمان با استفاده از سه روش کریجینگ، عکس فاصله (IDW) و تخمینگر عام (GPI) مدل بندی نمود. در این مطالعه نتایج نشان دهنده برتری روش‌های عکس فاصله و کریجینگ در مطالعات کیفیت آب های زیرزمینی و پهنه بندی شاخص های آن می باشد. مهمترین شاخص‌های بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه به ترتیب، شاخص‌های مقاومت در برابر خشکسالی، عملیات حفاظتی و شوری خاک می-باشند که این شاخص‌ها در واحدهای کاری اراضی رها شده، اراضی شور و ماندابی و اراضی شورزار واقع در قسمت‌های شمال شرقی منطقه، باعث افزایش روند بیابان‌زایی شده‌اند. شاخص مقاومت در برابر خشک‌سالی نیز پس از بررسی در منطقه مشخص گردید که در سه کلاس متوسط(درصد فراوانی ۴۱)، شدید(درصد فراوانی ۹) و بسیار شدید(درصد فراوانی ۵۰) قرار گرفته است. میانگین وزنی امتیاز این شاخص نیز در منطقه ۱۶۲ تعیین گردید که در محدوده کلاس شدید قرار می‌گیرد. شاخص عملیات حفاظتی نیز در هر واحد امتیازدهی شد. نتایج حاصل از این نقشه نشان داد که منطقه مورد مطالعه در سه کلاس متوسط با درصد فراوانی ۵۰، شدید با درصد فراوانی ۲۰ و بسیار شدید با درصد فراوانی ۳۰ قرار گرفته است. میانگین وزنی امتیاز بیابان‌زایی این شاخص در منطقه ۱۶۵ و در کلاس شدید قرار گرفت. براساس شاخص شوری خاک منطقه در سه کلاس متوسط با درصد فراوانی۵۵ ، شدید با درصد فراوانی ۸ و بسیار شدید با درصد فراوانی۳۷ طبقه‌بندی گردید. میانگین وزنی امتیاز شاخص شوری خاک در منطقه مورد مطالعه ۱۵۵ بوده که در محدوده کلاس شدید قرار میگیرد. جدول ۶ کلاسهای مربوط به هر یک از شاخص‌ها و معیارهای مدل مدالوس در منطقه را نشان می‌دهد. Boali (2019) در مطالعه ای به ارزیابی شدت و ریسک بیابان زایی در دشت سگزی اصفهان پرداخت. نتایج نشان داد شدت خطر بیابان‌زایی منطقه براساس مدل مدالوس در سه کلاس خیلی کم(۵.۶) ، زیاد(۲۱.۱۳) و خیلی زیاد(۷۳.۲۷) قرار می‌گیرد و معیارهای اقلیم(امتیاز ۱۹۳) و فرسایش بادی (امتیاز ۱۷۶) بیشترین تأثیر را در شدت بیابان‌زایی منطقه داشته‌اند. امروزه برای عوامل مؤثر در بیابان‌زایی و تخریب اراضی، مدل‌ها، شاخص‌ها و معیارهای زیادی ابداع شده است که به طور گسترده در جهان و بویژه درکشورمان از آن‌ها استفاده می‌شود. در این بین مدل مدالوس به دلیل استفاده از میانگین هندسی لایه‌های اطلاعاتی در واحدهای‌کاری، و تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی کاربرد بیشتری نسبت به سایر روش‌های ارزیابی بیابان‌زایی داشته‌اند.استفاده از مدل مدالوس به دلیل سازگاری و تجربه موفق از اجرای مدل در نقاط مختلف کشور نسبت به مدلهای دیگر کارآمدتر بوده است(Arami *et al*., 2012) .

کیفیت نامناسب شاخصها مورد بررسی در تحقیق را می-توان در اقلیم نیمه خشک با تبخیر و تعرق زیاد، شوری زیاد اراضی به علت شرایط ژئومورفولوژیکی و فیزیوگرافی خاص منطقه و مهم‌تر از آنها جاده‌سازی غیر اصولی، زهکشی ناقص و عدم وجود پل‌های کافی که موجب تجمع هرز آب-های سطحی در دو طرف جاده می‌گردد که پس از تبخیر به شوره زارهای وسیعی تبدیل می‌گردند که این نتایج با نتایج پژوهش Honardoost (2011) مطابقت دارد. علت شوری خاک منطقه را می‌توان بالا آمدن سطح آب زیرزمینی دانست که باعث ایجاد شرایط بحرانی در منطقه می‌شود. علت اصلی به وجود آمدن این شرایط را می‌توان تغییرات سطح تراز آب دریا خزر دانست که بر روی عمق ایستابی سفره‌های سطحی آب زیرزمینی منطقه تاثیر می-گذارد که این شرایط باعث افزایش شوری سطح خاک، کاهش عملکرد گیاهان زارعی و باعث باطلاقی شدن اراضی و در نتیجه افزایش بیابان‌زایی در منطقه می‌شود. نتایج بدست آمده با نتایج تحقیقات(2011) Honardost *et al*. در استان گلستان مطابقت دارد. همچنین وجود دریاچه‌های متعدد نمک در منطقه می‌تواند از عوامل مهم افزایش EC

در آب و خاک در این محدوده ذکر گردد. وجود زراعت‌های آبی که بیشترین میزان کود و سموم را به داخل خاک و منابع آبی انتقال می‌دهد می‌توانند باعث افزایش غلظت SAR و EC در منابع آب زیرزمینی و سپس انتقال به خاک منطقه باشد. نتایج بدست آمده با نتایج Naderianfar *et al.* (2011) مطابقت دارد. کاستلانو و والن تاثیر فشار چرا، تغییر خصوصیات خاک و میزان نفوذ آب را بر پدیده بیابان‌زایی بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با تغییر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک مانند افزایش شوری و املاح خاک، متلاشی شدن ساختمان خاک و کاهش مواد آلی، بیابان‌زایی با شدت بیشتری صورت می‌گیرد (Castellano and Valone, 2007).

جدول۶- میانگین وزنی ارزش کمی معیارها، شاخص‌ها و کلاس‌های شدت بیابان‌زایی

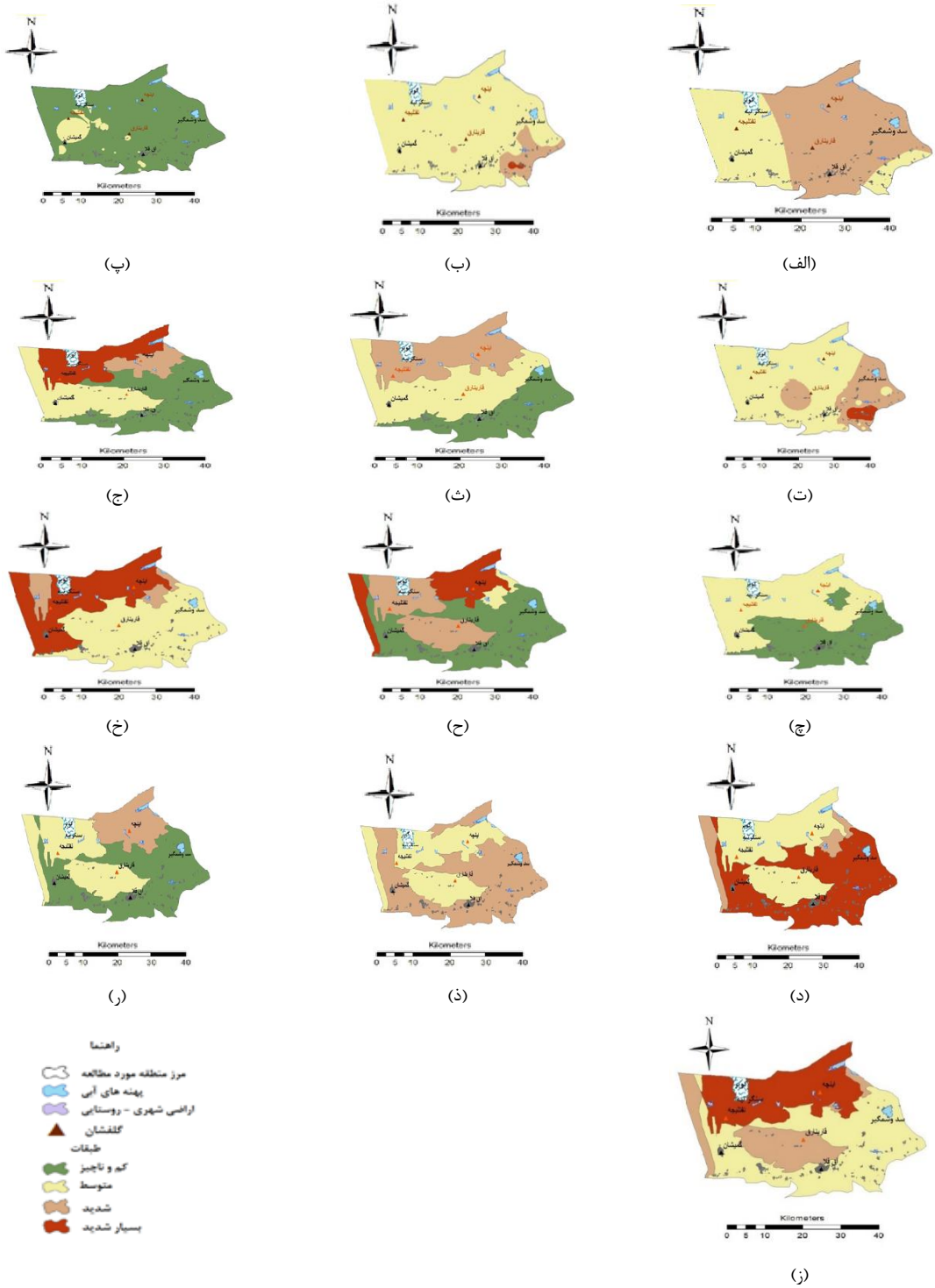
Table 6. Weighted average value of quantitative criteria, indicators and classes of desertification intensity

ردیف Row	معیار Criteria	سنجه Indicator	ارزش کمی سنجه Quantitative value of the index	کلاس بیابان‌زایی شاخص Desertification class indicators	ارزش کمی معیار Quantitative value of the criteria	کلاس بیابان‌زایی معیار Desertification class criteria
1	اقلیم Climate	بارش سالانه Annual rainfall	100	کم Low	122	کم Low
		استمرارخشکسالی Continuation of drought	100	کم Low		
		سنجه خشکی Drought index	126	متوسط Moderate		
2	پوشش گیاهی Vegetation	درصد پوشش گیاهی Percentage of vegetation	126	متوسط Moderate	145	متوسط Moderate
		حفاظت در برابر فرسایش Protection against erosion	155	شدید Severe		
		مقاومت در برابر خشکسالی Drought against resistance	162	شدید Severe		
3	خاک Soil	بافت خاک Soil texture	128	متوسط Moderate	141	متوسط Moderate
		زهکشی Drainage	144	متوسط Moderate		
		هدایت الکتریکی خاک(ds/m) Electrical conductivity of soil	155	شدید Severe		
4	فرسایش Erosion	فرسایش آبی Water erosion	137	متوسط Moderate	138	متوسط Moderate
		فرسایش بادی Wind erosion	139	متوسط Moderate		

ادامه جدول۶- میانگین وزنی ارزش کمی معیارها، شاخص‌ها و کلاس‌های شدت بیابان‌زایی

Table 6 (Cont.). Weighted average value of quantitative criteria, indicators and classes of desertification intensity

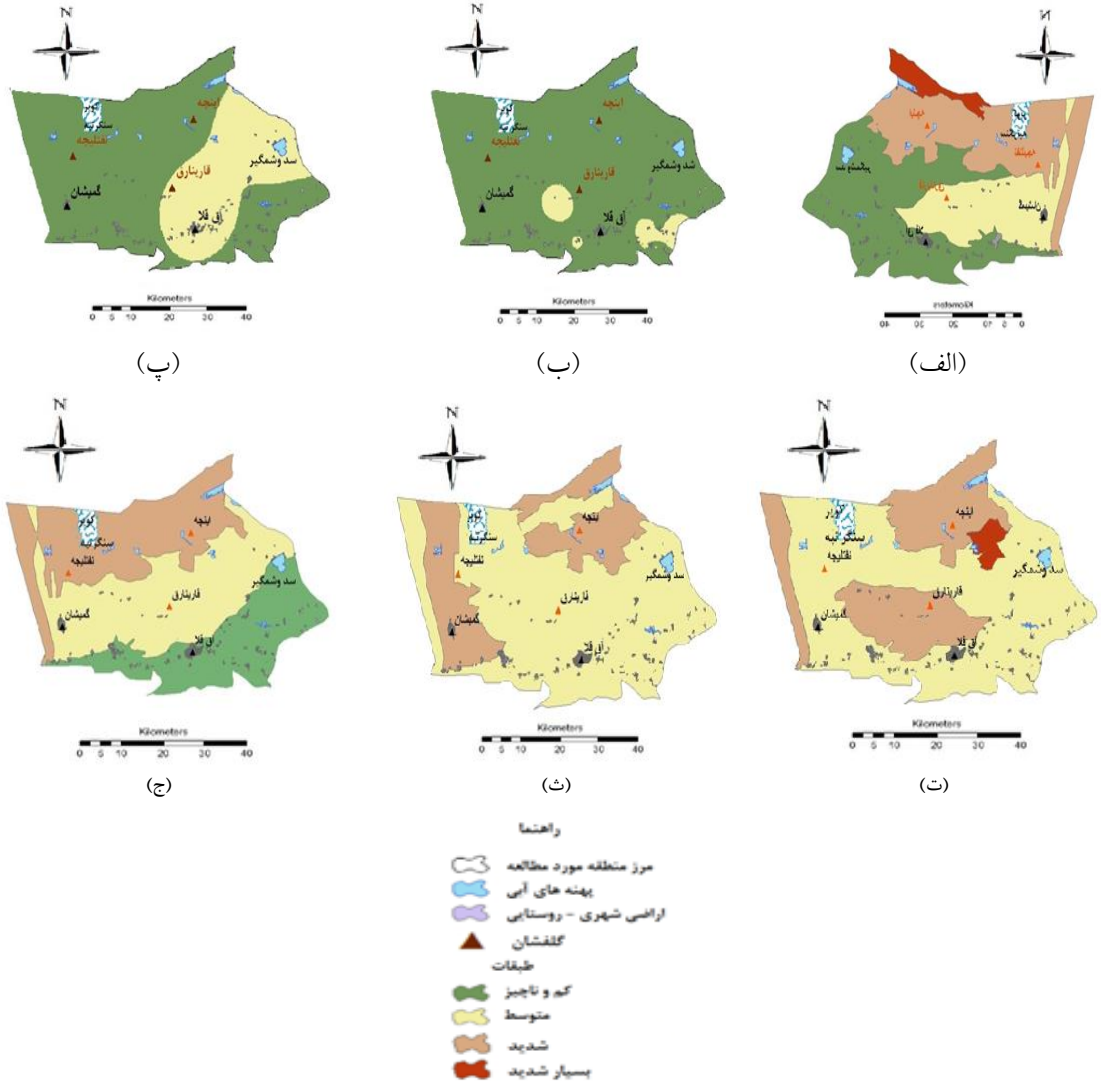
ردیف Row	معیار Criteria	سنجه Indicator	ارزش کمی سنجه Quantitative value of the index	کلاس بیابان‌زایی شاخص Desertification class indicators	ارزش کمی معیار Quantitative value of the criteria	کلاس بیابان‌زایی معیار Desertification class criteria
5	آب زیرزمینی Groundwater	هدایت الکتریکی آب زیرزمینی (ds/m) Electrical conductivity of groundwater	138	متوسط Moderate	121	کم Low
		نسبت جذب سدیم آب زیرزمینی Groundwater sodium absorption ratio	100	کم Low		
		کل مواد جامد محلول در آب زیرزمینی Total dissolved solids in groundwater	140	متوسط Moderate		
		عمق آب زیرزمینی(cm) Groundwater depth	108	کم Low		
6	مدیریت و سیاست Management and policy	کیفیت عملیات کشاورزی Quality of agricultural operations	147	متوسط Moderate	148	متوسط Moderate
		شیوه آبیاری و کیفیت آب Irrigation method and water quality	135	متوسط Moderate		
		میزان تخریب مرتع Degree of pasture destruction	144	متوسط Moderate		
		فشار چرا Grazing pressure	145	متوسط Moderate		
		میزان عملیات حفاظتی The extent of protection operations	158	شدید Severe		



شکل ۲ – نقشه شاخص‌های بیابان‌زایی در مدل مدالوس. الف- شاخص خشکی، ب- شاخص EC آب زیرزمینی، پ- شاخص عمق آب زیرزمینی، ت- شاخص TDS آب زیرزمینی، ث- شاخص فرسایش بادی، ج- شاخص فرسایش آبی چ- شاخص بافت خاک، ح- شاخص زهکشی خاک، خ- شاخص شوری خاک، د- شاخص مقاومت پوشش گیاهی در برابر فرسایش، ذ- شاخص حفاظت پوشش گیاهی در برابر فرسایش، ر- شاخص درصد پوشش گیاهی. ز- شاخص عملیات حفاظتی

Fig. 2 - Map of desertification indicators in Madalus model. A- Drought index, B- Groundwater EC index, C- Groundwater depth index, D- Groundwater TDS index, E- Wind erosion index, F- Water erosion index G- Soil texture index, H- Soil drainage index, I - Soil salinity index, J- Vegetation resistance index against erosion, K- Vegetation protection index against erosion, L- Vegetation percentage index. M- Protection Operations Index

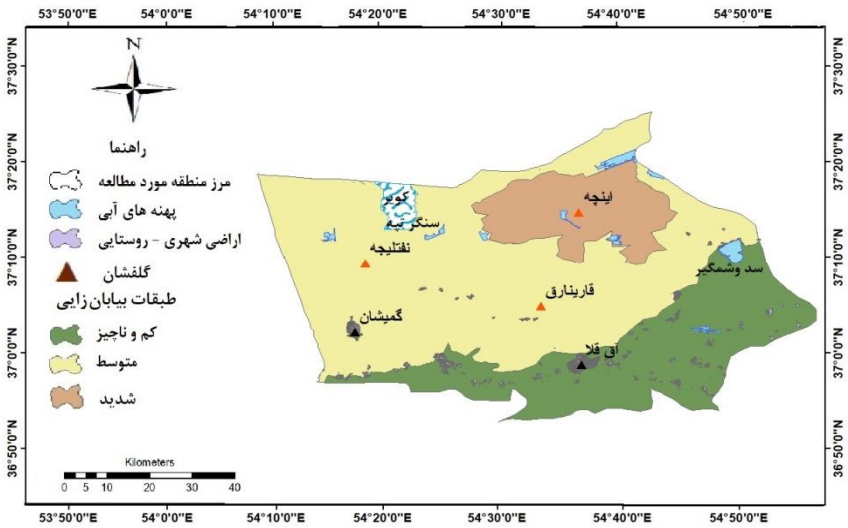
براساس نتایج، از بین معیارهای بیابان‌زایی، معیار مدیریت و سیاست با متوسط وزنی امتیاز ۱۴۸، معیار غالب و موثر بیابان-زایی بوده و پس از آن معیار پوشش گیاهی(۱۴۵)، معیار خاک(۱۴۱)، معیار فرسایش(۱۳۸)، معیار اقلیم (۱۲۲) و معیار آب زیرزمینی(۱۲۱) در رتبه بعدی معیارهای موثر بیابان‌زایی منطقه قرار گرفتند. با توجه به خاک منطقه(لومی رسی و لسی) که عمدتا بافت سنگین دارد و محدودیت پوشش گیاهی در منطقه به دلایل طبیعی و غیر طبیعی(دخالت انسانی و جایگزین نشدن) و متعاقب آن درصد کم مواد آلی و لخت شدن خاک و نیز درصد کم پوشش سنگریزه ای، معیار خاک و پوشش گیاهی تاثیر بیش‌تری در بیابان زایی منطقه داشته اند. اثر متقابل این دو معیار پوشش گیاهی و خاک با ضعف مدیریتی حاکم در منطقه سبب وضعیت کنونی بیابان‌زایی منطقه می‌باشد. Bakhshi *et al.* (2015) نیز سه معیار خاک ، پوشش و مدیریت و سیاست را مهم ترین معیارهای بیابان‌زایی منطقه اینچه برون استان گلستان دانستند. معیار خاک با تاثیری که بر وضعیت پوشش گیاهی دارد، به طور غیر مستقیم بر شدت بیابان‌زایی منطقه تاثیر می‌گذارد.



شکل۳- نقشه معیارهای بیابان‌زایی در مدل مدالوس. الف - معیار فرسایش، ب- معیار آب زیرزمینی، پ- معیار اقلیم، ت- معیار مدیریت و سیاست، ث- معیار پوشش گیاهی، ج- معیار خاک

Fig. 3 - Map of desertification criteria in the Medallus model. A- erosion criterion, B- groundwater criterion, C- climate criterion, D- management and policy criterion, E- vegetation criterion, F- soil criterion

نقشه نهایی کلاس شدت بیابان‌زایی از میانگین هندسی معیارهای اقلیم، پوشش گیاهی، آب زیرزمینی، فرسایش، خاک و مدیریت و سیاست و براساس رابطه ۸ بدست آمد. متوسط وزنی امتیاز شدت بیابان‌زایی منطقه ۱۳۵ بدست آمد که بیانگر کلاس متوسط می‌باشد. از نظر پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی، منطقه در سه کلاس کم و ناچیز با درصد فراوانی ۲۷ و متوسط با درصد فراوانی۶۰ و شدید با درصد فراوانی۱۳ طبقه بندی گردید(شکل۴). براساس جدول۲ و شکل۴ ، توزیع مکانی کلاس‌های با شدت بیابان‌زایی کم و ناچیز در قسمت جنوبی و شرقی منطقه، کلاس متوسط در قسمت غربی، مرکزی و شمالی و در نهایت کلاس شدید بیابان‌زایی در قسمت‌های شمال شرقی منطقه قرار دارند. با توجه به نقشه شدت بیابان‌زایی در واحد پلایا تیپ ساحل -نئوکاسپین پسین(مختوم قلی) با رخساره‌های تالاب(اراضی باتلاقی) و رسوبات ساحلی(ساحل برآمده)، تیپ ساحل -نئوکاسپین میانی(گمیشان) با رخساره اراضی شور- ماندابی(به صورت فرورفتگی طولی) و تیپ ساحل -نئوکاسپین پیشین(سنگر تپه) با رخساره اراضی شور و ماندابی در کلاس متوسط بیابان‌زایی قرار گرفتند. در واحد دشت سر نیز رخساره‌های تیپ دشت سیلابی- دلتایی اترک در دو کلاس متوسط و شدید قرار گرفتند. رخسارهای رسوبات آبرفتی اترک، تپه ماسه‌ای طولی، تپه بارخانی و اراضی تپه ماهوری در کلاس متوسط و رخساره‌های اراضی شورزار با مورفولوژی سبخا، اراضی شور - ماندابی و اراضی بایر(رها شده) در کلاس شدید بیابان‌زایی قرار دارند. در واحد دشت سر تیپ دشت سیلابی- دلتایی گرگان رود نیز رخساره دشت سیلابی در کلاس متوسط و رخساره-های رسوبات آبرفتی قدیمی گرگان‌رود و اراضی تپه ماهوری در کلاس کم و ناچیز بیابان‌زایی قرار دارند. در صورت عدم مدیریت بهینه و پایداری اراضی منطقه، احتمال گذر از کلاسII بیابان‌زایی به کلاس III و سایر مناطق با شدت بیابان‌زایی کم و ناچیز نیز امکان گذر به کلاس II بیابان‌زایی را خواهند داشت.



شکل۴- نقشه بیابان‌زایی دشت آق قلا و گمیشان با استفاده از مدل مدالوس

Fig. 4 - Desertification map of Aq Qala and Gomishan plains using Madalus model

ارزیابی صحت و میزان کارآئی مدل

پس از اینکه نقشه‌های شدت خطر بیابان‌زایی براساس مدل مدالوس تهیه شد، به منظور بررسی صحت نتایج و میزان کارآئی مدل ارائه شده، مقایسه آماری بین کلاس‌های بیابان‌زایی در هر واحدهای کاری با حقایق زمینی انجام شد. نتایج نشان دهنده مطابقت و همبستگی مدل با واقعیت زمینی(P value=۰/۵۸) می‌باشد که علت آن را می‌توان شرایط حاکم بر منطقه و اجرای صحیح مدل

در منطقه دانست. براین اساس می‌توان برنامه‌های مدیریتی را براساس نقشه خطر بیابان‌زایی در هر واحد کاری جهت کاهش خطرات احتمالی پیشنهاد کرد.

برنامه‌های مدیریتی پیشنهادی

با توجه به جدول ۵ و نتایج بدست آمده از ارزیابی بیابان زایی با استفاده از مدل مدالوس برنامه‌های پیشنهادی در سه گروه و هفت راهبرد اجرایی در منطقه مورد مطالعه ارائه شده است (شکل۵).

حفظ وضعیت موجود(Ia)

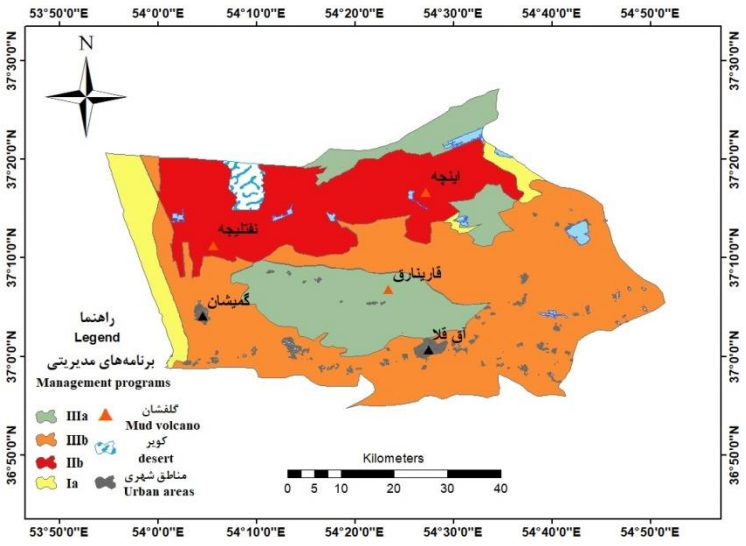
این منطقه با مساحتی در حدود ۱۸۴ هکتار، ۶ درصد از منطقه را شامل می‌شود. بیشترین کاربری در این محدوده تپهای تثبیت شده و حاشیه تالاب می‌باشند، بنابراین پیشنهاد می‌شود برای کمک به حفظ وضعیت موجود در این اراضی جلوگیری از تغییر کاربری اراضی، تخریب پوشش گیاهی و کنترل چرا را در دستور کار قرار دهند.

برنامه اجتناب از خطر و پیش گیرانه (IIb)

این منطقه نیز با مساحت ۷۱۸ هکتار، ۲۴ درصد از منطقه را شامل می‌شود. رخساره‌های مناطق بیابانی همچون اراضی شور و ماندابی حاشیه پلایا بیشترین کاربری را در این محدوده به خود اختصاص داده‌اند. بنابراین به منظور کنترل فرسایش بادی و احیائ اراضی، کشت گیاهان مقاوم به شوری خاک و آب پیشنهاد شده است.

اقدامات کنترلی (IIIb ،IIIa)

برای اقدامات کنترلی، استراتژی افزایش پوشش‌گیاهی، غنی‌سازی مراتع، خاکورزی در مناطق با بافت سنگین(IIIa) برای مساحتی در حدود ۶۰۱ هکتار، معادل ۲۰ درصد و کشت هدفمند محصولات زراعی و استفاده از آب مغناطیسی برای کاهش شوری آب(IIIb) برای مساحتی در حدود ۱۴۹۸ هکتار، معادل ۵۰ درصد از منطقه مورد مطالعه پیشنهاد - گردیده است. اراضی زراعی دیم رها شده و مراتع کم تراکم و نیمه متراکم فقیر بیشترین نوع کاربری‌های این منطقه محسوب می‌شوند. افزایش گیاهان مقاوم به شوری و خشکی به همراه برخی از فعالیت‌های کنترلی نقش زیادی در جلوگیری از تخریب این واحدها خواهد داشت.



شکل۵- نقشه برنامه‌های مدیریتی ارائه شده برای دشت آق قلا و گمیشان

5 - Map of management plans presented for Aq Qala and Gomishan plains.Fig

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس و مبتنی بر معیار آب زیرزمینی و خاک در غرب استان گلستان انجام شد. نتایج نشان داد منطقه مورد بررسی به دلیل تشدید فعالیت‌های کشاورزی، توسعه صنعت و همچنین افزایش عمق آبخوان، وجود دوره‌های خشکسالی، عدم بارش باران و برف و عوامل دیگر با کاهش پوشش گیاهی و شوری خاک همراه بوده

است. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده به نظر می‌رسد مدیریت پوشش و خاک غرب استان گلستان به عنوان یکی از قطب‌های کشاورزی، باید در اولیت مدیریتی مسئولان و کارشناسان ادارات اجرایی قرار گیرد که بر این اساس علاوه بر برنامه‌های پیشنهادی در هر واحد کاری پیشنهاد می‌شود برای رسیدن به توسعه پایدار در منطقه، قرار دادن محصولات زراعی کم نیاز از نظر مصرف آب در تناوب زراعی منطقه، جلوگیری از کشت برنج بدلیل نیاز آبی زیاد این محصول، بکارگیری روش‌های نوین در مدیریت مزارع به منظور استفاده از آب کمتر برای آبیاری محصولات و همچنین آموزش‌های لازم برای توجیه کشاورزان در به منظور افزایش عملکرد محصولات زراعی در منطقه صورت گیرد.

پی‌نوشت‌ها

[1] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)
[2] Mediterranean Desertification and Land Use
[3] Iranian Model of Desertification Potential Assessment
[4] Mann – Whitney Test

منابع

Akbari, M., 2016. Proposing an early warning system for desertification hazard (Case study: Semi desert region of the Gorgan Plain, Golestan Province, Iran). Ph.D. Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Arami, A.H., 2012. Assessment of risk, damage and development of desert management program in semi-arid region of Aqband, Golestan province. MS.c. Thesis. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Ardakani, S., Rcban, SH. and Mani, J., 2014. Evaluation of concentration of some heavy metals in groundwater resources of Ghahavand plain of Hamadan. Monthly Journal of Kermanshah University of Medical Sciences 18(6), 348-339. (In Persian with English abstract).

Azareh, A., Rafiei Sardoii, E., Nazari Samani, A., Masoudi, R. and Khosravi, H., 2014. Study on spatial and temporal variations of groundwater level in garmsar plain. Journal of Desert Management 3(2):11-20. (In Persian with English abstrac).

Boali, A., Bashari, H., Jafari, R. and Soleimani, M., 2017. Investigating the effect of groundwater quality on desertification of land in Segzi plain of Isfahan using *Bayesian* Belief *networks*. Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences. 21 (2), 15 - 28. (In Persian with English abstract).

Boali, A., Bashari, H. and Jafari, R., 2018. Evaluating the potential of bayesian networks for desertification assessment in arid areas of Iran. Land Degrad. Dev. 30, 371-390. https://doi.org/10.1002/ldr.3224**.**

Boali, A. and Mohahadian, A., 2019. Assessing the severity and risk of desertification and presenting a management plan (Study area: Segzi plain of Isfahan). Geography and development. 63, 227-244. https://doi.org/10.1002/ldr.3224.

Bakhshi, M., Komaki, Ch.B. and Ownegh, M., 2015. The assessment hazard desertification using desertification indicator system for Mediterranean Europe (DIS4ME) (Case study: Atrak watershed in Golestan province). Journal of Water and Soil Conservation. 22(4), 243 - 251. (In Persian with English abstract).

Bajjali, W., 2005. "Model the Effect of Four Artificial Recharge Dams on the Quality of Groundwater Using Geostatistical Methods in GIS Environment, Oman". Journal of Spatial Hydrology. 5 (2), 67-80

Castellano, M.J. and Valone, T.J., 2007. Livestock, soil compaction and water infiltration rate:

Evaluating a potential desertification recovery mechanism. Journal of Arid Environ. 71, 97-108.

Delbari, M., Afrasiab, P. and Miremadi, S R., 2011. Spatio-temporal variability analysis of groundwater salinity and depth (Case study: Mazandaran province). Iranian Journal of irrigation and drainage. 3(4), 359- 374. (In Persian with English abstract).

Davari, S., Rashaki, A., Akbari, M. and Talibanfard, A., 2017. Assessment of severity and risk of desertification and presentation of management plans in the study area: Qasem Abad Plain, Razavi Khorasan Province, Iran. Journal of Desert Management. 9(7), 106 - 91. (In Persian with English abstract).

Azar, Kh., 2002. Modification of Saline and Sodium Soils (Soil and Water Management). Jahad University Press, Tehran.

Honardost, F., Onaq, M. and Sheikh V, 2011 Assessing the current situation of desertification of Sufikam-Mangali plain in the northwest of Golestan province, Water and Soil Conservation Research. 3(18), 213-219. (In Persian with English abstract).

Hosseinalizadeh, M. and Yaghubi, A., 2010. Spatiotemporal variability of ground water using geostatistic. Iran Watershed Management Science and Engineering. 4(10), 63-68. (In Persian with English abstract).

Khodai, K., Shahsavari, A. and Etebari, B., 2006. Evaluation of jowin groundwater changes using drastic and gods' methods. Geological Journal of Iran. 2(4), 73-87. (In Persian with English abstract).

Masoudi, R., Zehtabian, G.R., Ahmadi, H. and Malkian, A., 2015. Evaluation of the quantitative and qualitative changes of groundwater in Kashan Plain Desert Management Journal. 5(3), 80-67. (In Persian with English abstract).

Mei, K., Liao, L., Zhu, Y., Lu, P., Wang, Z., Dahlgren, R.A. and Zhang, M., 2014. Evaluation of spatial-temporal variations and trends in surface water quality across a rural-suburban-urban interface. Environmental Science and Pollution Research. 21(13), 8036-8051.

Naderianfar, M., Ansari, H., Ziaie, A. and Davary, K., 2011. Evaluating the groundwater level fluctuations under different climatic conditions in the basin Neyshabour. Iranian of Irrigation & Water Engineering. 1(3), 22-37. (In Persian with English abstract).

Nas, B., 2009. Geostatistical approach to assessment of spatial distribution of groundwater quality. Polish Journal of Environment Study. 6(12), 1073-1082.

Nafar, F., 2019. Evaluation and comparison of Madalus model and remote sensing in estimating desertification of Sefiddasht-Borujen watershed. MS.c. Thesis. Shahrekord University, Shahrekord, Iran.

Salunkhe, S.S., Bera, A.K., Rao, S.S., Venkataraman, V.R., Raj, U. and Murthy, Y.V.N.K., 2018. Evaluation of indicators for desertification risk assessment in part of Thar Desert Region of Rajasthan using geospatial techniques. Journal of Earth System Science. 127 (8), 116-140.

Shabani, M., 2011. Estimation of groundbased methods in the preparation of groundwater quality maps and their zoning, Case study: Neyriz plain. Fars's province. Journal of natural geography Lar. 13, 83-96.

Sun, Y., Kang, S., Li, F. and Zhang, L., 2019. Comparison of interpolation methods for depth to groundwater and its temporal and spatial variations

in the minqin oasis of northwest China. Environmental Modelling and Software. 24(10), 1163-1170.

Safari, F., Shahbazi, A. and Ketabchi, H., 2019. Analysis of quality and nitrate zoning of groundwater resources in Alborz province (Hashtgerd plain). Water and Soil Conservation Research. 5(26), 113-130. (In Persian with English abstract).

Sepehr, A., 2008. A Study of the application of the MEDALUS method for presenting a regional model for evaluating and preparing desertification maps. Journal of the Faculty of Natural Resources. 61(3), 554-537. (In Persian with English abstract).

UNEP., 2004. UNEP's Strategy on Land Use Management and Soil Conservation. Available online at: https://www.un.org/press/en /2004/ unep245.doc.htm.

Yazdanpanahi, A., Akabri, M. and Behrangmanesh, M., 2018. Spatio-temporal variable of groundwater parameters using Geo-statistical methods in Mashhad plain. Extension and Development of Watershed Management. 6(20), 25-34. (In Persian with English abstract).

Zehtabian, G.R., Khosravi, H. and Masoudi, R., 2014. Desertification evaluation models (Criteria and Indicators). Tehran University Press, Tehran, Iran.

Zehtabian, G.R., Ahmadi, H. and Azadnea, F., 2008. Investigation of soil and water criteria in desertification of Ein Khosh Dehloran region. Research and Construction in Natural Resources. 6(86), 1-8. (In Persian with English abstract).

Environmental Sciences Vol.19 / No.4 / Winter 2022

85-106

Original Article

Evaluation of desertification intensity based on quantitative and qualitative changes in groundwater and soil criteria using Madalus model and geostatistical methods

Abdalhossein Boali[1] Hamid Reza Asgari,[1*] Ali Mohammadian Behbahani,[1] Abdolrassoul Salmanmahiny[2] and Babak Naimi[3]

[1] Department of Arid Zone Management, Faculty of Rangeland and watershed management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[2] Department of Environmental Assessment, Faculty of Fisheries and Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran
[3] Department of Geosciences and Geography, Faculty of Earth Sciences, The University of Helsinki, Finland

Received:2020.12.20 Accepted: 2021.08.12

Boali, a., Asgari, H.R., Mohammadian Behbahani, A., Salmanmahiny, A. and Naimi, B., 2022. Evaluation of desertification intensity based on quantitative and qualitative changes in groundwater and soil criteria using Madalus model and geostatistical methods. Environmental Sciences. 19(4): 85-106.

Introduction: Desertification involves processes that are both the product of natural factors and the mismanagement of human beings. Adafic parameters and processes affecting soil condition, climate, groundwater, vegetation and management are the most important factors affecting the phenomenon of desertification in many arid and semi-arid regions. These parameters are investigated using different models in different regions.Therefore, this study was conducted to evaluate the desertification intensity based on groundwater and soil criteria in the west of Golestan province.

Material and methods: To determine the work unit map, topographic, geological, aerial photo interpretation, panchromatic band and multispectral Landsat satellite images and field visits were used. In this study, the Madalus method was used to prepare a map and evaluate the desertification situation. The geostatistical methods used in this research include kriging method, local estimator method (GPI), radial function method (RBF) and distance distance method (IDW). in Madalus model, 6 criteria and 20 indicators were used to evaluate the intensity of desertification. The scoring of each of the indicators was determined at the unit level in the region. The map of each criterion is also obtained through the geometric mean relationship between the indicators. To evaluate the accuracy of the model results, the desertification class in each of the work units according to the field evidence, observational and visual evaluation was performed and then the statistical

[*] Corresponding Author*: Email Address*. Hamidreza.asgari@gau.ac.ir

comparison of the model desertification class with an expert opinion was performed. SPSS software and Mann-Whitney non-parametric test were used to validate the model results.

Results and discussion: In this study, according to the histogram of the data, the normality of the parameters was investigated. The mean square squared error (RMSE) was used to determine the most appropriate interpolation method. The weighted average score of desertification intensity of area 135 was obtained, which indicates the middle class. In terms of zoning of desertification intensity, the region was classified into three classes: low and insignificant with a frequency of 27 and medium with a frequency of 60 and severe with a frequency of 13. Among the criteria of desertification, the criterion of management and policy with an average weight of 148 points is the dominant and effective criterion of desertification, followed by the criterion of vegetation (145), the criterion of soil (141), the criterion of erosion (138), the criterion of climate. (122) and groundwater criteria (121) were in the next rank of effective desertification criteria in the region. Also, the most important indicators of desertification are the indicators of drought resistance, conservation operations and soil salinity, respectively. These indicators have increased the trend of desertification in the work units of abandoned lands, saline and wetland lands and saline lands located in the northeastern parts of the region. Based on the spatial distribution of classes with low and insignificant desertification intensity in the southern and eastern part of the region, the middle class in the western, central and northern parts and finally the severe desertification class are located in the northeastern parts of the region.

Conclusion: According to the obtained results, which indicate high evapotranspiration of the region, expansion of land salinity, unprincipled road construction and incomplete drainage.it seems that the management of desertification in the west of Golestan province, as one of the agricultural hubs, should be in the managerial priority of the officials and experts of the executive departments.Accordingly, it is proposed in order to control the process of desertification and achieve sustainable development in the region.treatment of industrial and domestic effluents for reuse for various purposes, Use of modern irrigation systems for agricultural lands, Placing low-yield crops in terms of water consumption in the region's crop rotation and As well as the necessary training to justify farmers to use pesticides and chemical fertilizers in the area.

Keywords: Geographical Information System, Modeling, Geostatistics, Madalus.