صص ۱۰۵-۸۷

بهره‌گیری از معیارهای شاخص روش IMDPA در پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی منطقه جنوب شرق زاهدان

لیلا خانی بندانی
دانش‌آموخته کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران
هادی جعفری*
دانشیار هیدروژئولوژی، دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

تاریخ دریافت:۱۳۹۶/۱۲/۲۵ تاریخ پذیرش:۱۳۹۸/۴/۲۸

چکیده
بیابان‌زایی به معنی تخریب زمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک، امروزه به‌عنوان یکی از جدی‌ترین مشکلات جامعه جهانی در آمده است. در این پژوهش چهار معیار اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و فرسایش بادی برای ارزیابی شدت بیابان‌زایی در منطقه جنوب شرق زاهدان مناسب تشخیص داده شده و پتانسیل بیابان‌زایی با استفاده از مدل ایرانی IMDPA مورد ارزیابی قرار گرفته است. وضعیت بیابان‌زایی در هر یک از واحدهای کاری ژئومورفولوژیکی پس از امتیازدهی به شاخص‌های هر معیار تعیین شده است. از هم‌پوشانی شاخص‌ها در نرم‌افزار ArcGIS، نقشه معیارها ترسیم شده که از ترکیب آن‌ها در نهایت نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه تهیه شده است. نتایج توزیع فراوانی کلاس‌های شدت فعلی بیابان‌زایی منطقه نشان می‌دهد ۲۳/۳۹ درصد مساحت منطقه در کلاس کم و ناچیز، ۵/۷۵ درصد در کلاس متوسط، ۶۱/۶۹ درصد در کلاس شدید و ۹/۱۷ درصد منطقه در کلاس خیلی شدید شدت بیابان‌زایی قرار دارند. معیار اقلیم با ارزش ۳/۲۵ بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه داشته که نشان‌دهنده نقش اصلی عوامل طبیعی در بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه است.

واژگان کلیدی: مدل ایرانی، فرسایش بادی، تخریب زمین، سیستان و بلوچستان

مقدمه

بیابان‌زایی عبارت است از تخریب سرزمین در مناطق خشک، نیمه‌خشک و نیمه مرطوب خشک که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی رخ می‌دهد (اختصاصی و سپهر، ۱۳۹۰: ۱۶). بیابان‌زایی بعد از دو چالش تغییر اقلیم و کمبود آب شیرین، به‌عنوان سومین چالش جهانی در قرن ۲۱ به‌حساب می‌آید (الرئیسی و همکاران، ۱۳۹۱: ۴۳). شن و ماسه‌های روان، کاهش کیفیت و کمیت آب‌های زیرزمینی، کاهش حاصلخیزی خاک و افزایش حساسیت زمین نسبت به تخریب از جمله اثرات پدیده بیابان‌زایی می‌باشد (کاسماس و همکاران، ۱۹۹۹: ۹۴). فرآیند بیابان‌زایی در بسیاری از

* نویسنده مسئول: ۰۲۳۳۲۳۹۶۰۰۷ Email: h_jafari@shahroodut.ac.ir

کشورهای جهان به‌خصوص در مناطق خشک و نیمه‌خشک و نیمه مرطوب با شتابی فزاینده در حال کاهش کارایی زمین‌ها و از بین رفتن آن‌ها است (اختصاصی و سپهر، ۱۳۹۰). بیابان‌زایی موضوعی محیطی و اکولوژیکی خطرناک است که بیش از ۲۵۰ میلیون نفر تحت تأثیر مستقیم آن در سراسر جهان می‌باشد. علاوه براین حدود یک میلیارد نفر در ۱۱۰ کشور جهان در خطر اثرات منفی بیابان‌زایی قرار گرفته‌اند (جیانگ و همکاران، ۲۰۰۲: ۵۶۳).

مطالعات زیادی در زمینه ارزیابی شدت بیابان‌زایی در ایران و جهان صورت گرفته است (برای مثال: داوری و همکاران، ۱۳۹۷، معروف‌پور و همکاران، ۱۳۹۷، شاکریان و همکاران، ۱۳۹۶، کاظمی‌نیا و همکاران، ۱۳۹۶، حبشی و همکاران، ۱۳۹۵، ممبنی و همکاران، ۱۳۹۴، الهام‌السادات و فیض‌نیا، ۱۳۹۳، بخشنده مهر و همکاران، ۱۳۹۲، طباطبایی زاده و همکاران، ۱۳۹۱، حسینی و همکاران، ۱۳۸۹، اکبری و همکاران، ۱۳۸۶، جعفری و همکاران، ۱۳۸۵، بوعلی و همکاران، ۲۰۱۹، سرپرست و همکاران، ۲۰۱۸، احمدی بیرجانی و همکاران، ۲۰۱۷، جعفری و بخشنده مهر، ۲۰۱۶، خسروی و همکاران، ۲۰۱۴، برزانی و خیرالمائینی، ۲۰۱۳، فزونی و همکاران، ۲۰۱۲، پروری و همکاران، ۲۰۱۱، سپهر و همکاران، ۲۰۰۷). این مطالعات منجر به ارائه مدل‌های مختلف ارزیابی بیابان‌زایی شده که از جمله رایج‌ترین آن‌ها می‌توان به مدل مدالوس (MEDALUS) و IMDPA اشاره کرد. ارزیابی بیابان‌زایی با استفاده از سنجش از دور و روش مدالوس در صحرای سینا (مصر) توسط گد و شالابی (گد و شالابی، ۲۰۱۰: ۱۴) صورت گرفت. نتایج نشان داد حساسیت به بیابان‌زایی در بخش‌های جنوبی صحرا که از کیفیت پایین پوشش گیاهی برخوردار هستند، بیشتر است. مطالعات لاوادو و همکاران (۲۰۰۹: ۱۰۷۳۰) در اسپانیا، محمد (۲۰۱۳: ۴۶۴۷) در شمال صحرای سینا و آیوازو و همکاران (۲۰۱۳: ۲۲۳۸) در بورکینافاسو نشان می‌دهد مدل مدالوس در ارزیابی بیابان‌زایی در این مناطق سازگاری بیشتری نسبت به سایر مدل‌ها دارد. در مطالعات آیوازو و همکاران (۲۰۱۳: ۲۲۳۸) نقش تغییرات آب و هوا و فرایندهای فرسایشی در بیابان‌زایی بررسی شده و مشخص شده است تغییرات اقلیمی باعث پیشرفت بیابان‌زایی و غیرقابل برگشت شدن آن در منطقه شده است. ذاکری‌نژاد و همکاران (۱۳۹۱: ۱) ارزیابی شدت بیابان‌زایی با تکیه بر معیار آب زیرزمینی در زرین‌دشت فارس با روش IMDPA را انجام دادند. نتایج نشان داد که حدود ۶۳ درصد منطقه در کلاس خیلی شدید و ۳۷ درصد در کلاس شدید قرار دارند. الرئیسی و همکاران (۱۳۹۱: ۴۳) به ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی در مناطق بیابان ساحلی (کهیرکنارک) با استفاده از معیارهای بیوفیزیک و مدل IMDPA پرداختند. نتایج نشان داد حدود ۵۵ درصد منطقه در کلاس شدید بیابان‌زایی قرار دارد. معیار خاک بالاترین درصد وزنی را در بیابان‌زایی این منطقه به خود اختصاص داده است. نتایج پژوهش‌های ذکر شده و سایر مطالعات انجام شده (معروف‌پور و همکاران، ۱۳۹۷، ممبنی و همکاران، ۱۳۹۴، الهام‌السادات و فیض‌نیا، ۱۳۹۳) کارایی مدل IMDPA را در ارزیابی بیابان‌زایی در ایران نشان می‌دهد.

منطقه جنوب شرق زاهدان از اقلیم گرم و خشک برخوردار بوده و در معرض بادهای شدید (بادهای ۱۲۰ روزه سیستان) با جهت جنوب‌غربی–شمال‌شرقی است. از سوی دیگر به لحاظ پوشش گیاهی جزء مناطق فقیر کشور به‌حساب می‌آید. مجموعه عوامل فوق سبب شده منطقه در معرض خطر بیابان‌زایی باشد. شناسایی مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در

روند بیابان‌زایی این منطقه و تعیین شدت آن‌ها برای جلوگیری از روند این پدیده در این منطقه مرزی الزامی است. لذا هدف از این مطالعه ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی در منطقه جنوب شرق زاهدان با استفاده از مدل ایرانی بیابان‌زایی (IMDPA) که مدلی مناسب برای شرایط خشک و نیمه‌خشک کشور ایران است، می‌باشد.

محدوده مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در جنوب شرق ایران و در امتداد خط مرزی با کشور پاکستان قرار گرفته است. این محدوده از شرق به مرز ایران–پاکستان، از جنوب به شهرستان خاش، از غرب به نصرت‌آباد و از شمال به شهرستان زاهدان محدود می‌شود (شکل ۱). شهر میر جاوه که بزرگ‌ترین مرکز جمعیتی در شمال این محدوده است، در فاصله حدود ۸۴ کیلومتری شهر زاهدان واقع شده است. میانگین بارش در منطقه مورد مطالعه ۶۰/۹ میلی‌متر، متوسط دما در حدود ۲۷ درجه سانتی گراد و متوسط سرعت باد ۱۰/۵ متر بر ثانیه می‌باشد. ضریب خشکی محدوده مورد مطالعه حدود ۱/۶۵ محاسبه شده است و بر این اساس منطقه جزء مناطق خشک محسوب می‌گردد (خانی‌بندانی، ۱۳۹۴: ۳) منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر وزش بادهای ۱۲۰ روزه سیستان قرار می‌گیرد. از دیدگاه زمین‌شناسی، منطقه مورد مطالعه در زون زمین‌ساختی نهبندان–خاش واقع شده و شامل چهار پهنه سنگ‌شناسی به شرح زیر می‌باشد (خانی‌بندانی، ۱۳۹۴: ۴):

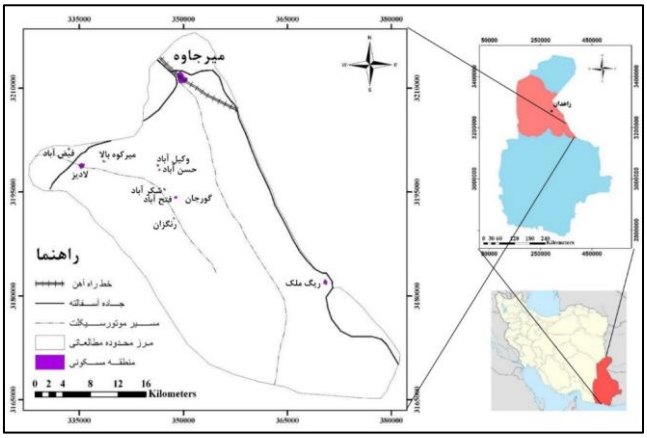
۱– پهنه سنگ‌های آذرین (توف و گدازه‌های آذرین، آندزیت، گرانودیوریت، تونالیت و مونزونیت)؛

۲– پهنه سنگ‌های دگرگونی (هورنفلس، گنیس میگماتیتی، شیست و مرمر)؛

۳– پهنه سنگ‌های رسوبی (سیلتستون آهکی، ماسه سنگ‌های آهکی، مادستون، سنگ آهک، گریوک و شیل)؛

۴– پهنه آبرفتی (رسوبات مخروطه افکنه‌های جدید و قدیمی واریزه‌های عهد حاضر، ماسه و سیلت بادی و رسوب‌های رودخانه‌ای).

لازم به ذکر است بخش اعظم منطقه مورد مطالعه از رسوبات کواترنری (پهنه آبرفتی) پوشیده شده است (خانی‌بندانی، ۱۳۹۴: ۵).



مآخذ: نگارندگان

شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن

داده‌ها و روش‌ها

پژوهش حاضر با هدف استفاده از مدل IMDPA در پهنه‌بندی شدت بیابان‌زایی در جنوب شرق زاهدان طی مراحل زیر انجام شده است:

الف) انتخاب معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی برای منطقه مورد مطالعه

در مطالعه حاضر برای ارزیابی و تجزیه و تحلیل وضعیت بیابان‌زایی، از مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی IMDPA[1] استفاده شده است. در روش IMDPA برای رسیدن به نقشه نهایی وضعیت بیابان‌زایی، ۹ معیار اقلیم، زمین‌شناسی- ژئومورفولوژی، خاک، پوشش گیاهی، کشاورزی، آب، فرسایش بادی و آبی، اقتصادی- اجتماعی و تکنولوژی و توسعه شهری مورد بررسی قرار می‌گیرد (اختصاصی و سپهر، ۱۳۹۰). با توجه به شرایط حاکم بر منطقه مورد مطالعه نظیر آب و هوای گرم و خشک، وجود سازندهایی با جنس مشابه، وسعت کم اراضی کشاورزی، عدم وجود معادن، وجود بادهای فرساینده به مدت طولانی و غیره تعدادی از معیارهای نه‌گانه روش IMDPA با اهمیت بیشتر در بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه تشخیص داده شد که برای ارزیابی شدت بیابان‌زایی مورد استفاده قرار گرفته است. در منطقه مورد مطالعه وسعت اراضی کشاورزی و باغ‌ها کم بوده، در نتیجه قسمت بزرگی از منطقه نسبت به معیار کشاورزی دارای ارزش یکسان می‌باشد. به همین دلیل این معیار در بررسی بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه در نظر گرفته نشده است. با توجه به اینکه رسوبات کواترنر اکثر مساحت منطقه مورد مطالعه را به خود اختصاص داده‌اند، بنابراین ارزش عددی معیار زمین‌شناسی نیز در کل منطقه مورد مطالعه یکسان بوده و در ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه لحاظ نشده است. نبود اطلاعات کافی در مورد شاخص‌هایی همانند افت آب زیرزمینی و هدایت الکتریکی آب مورد استفاده در کشاورزی و البته مساحت اندک اراضی کشاورزی و بنابراین غیرقابل توجیه بودن استفاده از شاخصی همانند نوع سیستم آبیاری باعث شد تا این معیارها فاقد کارایی لازم در ارزیابی بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه باشند. به دلیل نبود جمعیت‌های بزرگ در منطقه مورد مطالعه، معیار اقتصادی و اجتماعی در ارزیابی بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه صرف‌نظر شده است. همچنین به علت عدم وجود مناطق شهری بزرگ و تأثیرگذار و همچنین عدم وجود معادن در منطقه مورد مطالعه، معیار توسعه شهری و صنعتی در بررسی بیابان‌زایی لحاظ نشده است. در واقع امتیاز این معیار در کل منطقه یکسان بوده و بنابراین در نتیجه نهایی فاقد اثرگذاری می‌باشد. در مجموع با توجه به شرایط منطقه و استناد به مطالعات انجام شده قبلی در مناطق مجاور محدوده مورد مطالعه (کفاش، ۱۳۹۲، محمدقاسمی و همکاران، ۱۳۸۷) در این پژوهش چهار معیار اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و فرسایش بادی در قالب ۱۴ شاخص در بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه مؤثر دانسته شده و مورد بررسی قرار گرفته است (جدول ۱).

1. Iranian Model for Desertification Potential Assessment

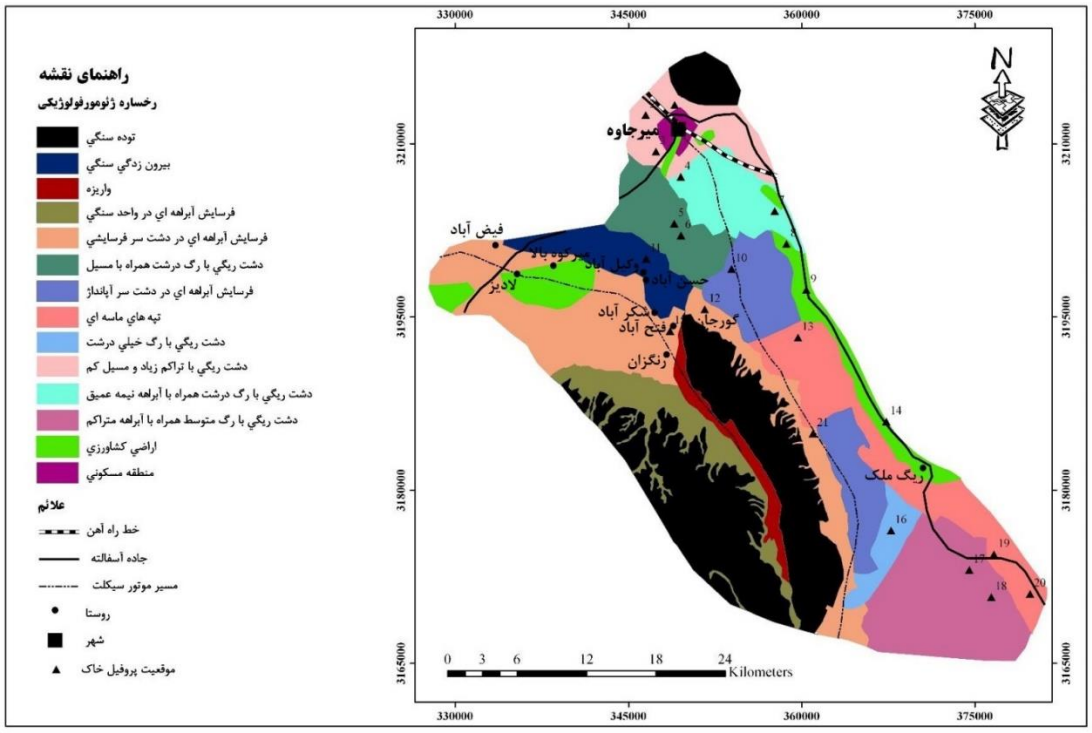
جدول ۱: معیارها و شاخص‌های مورد بررسی در ارزیابی شدت بیابان‌زایی در جنوب شرق زاهدان و حدود کلاس‌های کمی و کیفی آن‌ها (دامنه کلاس‌ها در رتبه‌بندی شاخص‌ها و معیارهای بیابان‌زایی در زیر جدول ارائه شده است)

معیار	شاخص	کلاس‌های کیفی و کمی بیابان‌زایی			
		کم و ناچیز (۱)	متوسط (۲)	شدید (۳)	خیلی شدید (٤)
اقلیم	بارش سالانه (میلی‌متر)	۲۸۰ >	۲۸۰–۱۵۰	۱۵۰–۷۵	۷۵>
	حدود شاخص UTI	۱۸۰–۱۵۰	۱۵۰–۱۲۰	۱۲۰–۹۰	۹۰>
	تداوم خشکسالی	۳ تا ٤ سال	۵ تا ٦ سال	٦ تا ۷ سال	بیشتر از ۷ سال
خاک	بافت خاک	رسی و لوم رسی	لوم ریز	لوم درشت	شنی و لومی شنی
	هدایت الکتریکی	۵>	۸–۵	۱٦–۸	۱٦>
	درصد سنگریزه عمقی	۱۵>	۳۵–۱۵	۷۵–۳۵	۷۵>
	عمق خاک (سانتی‌متر)	۸۰>	۸۰–۵۰	۵۰–۲۰	۲۰>
پوشش گیاهی	وضعیت پوشش گیاهی	گونه‌های مهاجم کمتر از ۵ درصد ترکیب و کمتر از ۲۵ درصد ترکیب گونه‌های یکساله	گونه‌های مهاجم بین ۲۰–۵ درصد ترکیب و ۵۰–۲۵ درصد ترکیب گونه‌های یکساله	گونه‌های مهاجم بین ۲۰–۵۰ درصد ترکیب و اکثر پوشش گیاهی از گونه‌های یکساله	گونه‌های مهاجم بیش از ۵۰ درصد ترکیب و پوشش گیاهان منطقه از گیاهان یکساله
		درصد پوشش تاج دائمی بیش از ٤۰	درصد پوشش تاج دائمی بین ٤۰–۱۵	درصد پوشش تاج دائمی بین ۱۵–۵	درصد پوشش تاج دائمی کمتر از ۵
	بهره‌برداری از پوشش گیاهی	آثار بوته‌کنی مشاهده نمی‌شود	قطع بوته‌ها و درختچه‌ها نسبتاً زیاد	قطع بوته‌ها و درختچه‌ها زیاد و کاملاً محسوس	قطع بی‌رویه بوته‌ها و درختچه‌ها در حال حاضر و گذشته
		چرای متعادل و کمتر از ظرفیت در فصل مناسب	مازاد دام تا ۲۵ درصد بیش از ظرفیت چرا	مازاد دام بین ۲۵–۵۰ درصد بیش از ظرفیت چرا	مازاد دام بیش از ۵۰ درصد ظرفیت چرا
	تجدید پوشش گیاهی	تجدید حیات به طور طبیعی	تجدید حیات با هزینه کم	تجدید حیات با هزینه زیاد	تجدید حیات بسیار مشکل و غیرقابل توجیه اکولوژیکی–اقتصادی
		نیازی به عملیات اصلاحی نمی‌باشد	عملیات اصلاحی تاکنون موثر بوده	عملیات اصلاحی انجام شده نسبتاً موفق	عملیات اصلاحی تاکنون موفق نبوده
فرسایش بادی	ظهور رخساره فرسایشی	بدون آثار فرسایش بادی و آشفتگی در سطح خاک	دارای آثار بادبردگی محدود در سطح خاک، سطوح شلجمی پراکنده و سنگفرش بیابان متراکم	پهنه ماسه‌ای، کلوتک پراکنده شلجمی متراکم و تشکیل سنگفرش کم تراکم	تپه ماسه‌ای فعال، کلوتک‌های متراکم و نزدیک به هم
	درصد سنگریزه سطحی	۸۰>	۸۰–٤۰	٤۰–۲۰	۲۰>
	درصد پوشش گیاهی	٤۰>	٤۰–۲۰	۲۰–۱۰	۱۰>
	تعداد روزهای با شاخص طوفانی گرد و خاک	۱۰>	۳۰–۱۰	٦۰–۳۰	٦۰>
دامنه کلاس‌ها		*۱–۱/۵*	*۱/۲–٦/۵*	*۲/۳–٦/۵*	*۳/٤–٦*

مآخذ: نگارندگان

ب) تعیین واحدهای کاری

با بررسی گزارش‌های مختلف و بازدید از منطقه مورد مطالعه اطلاعات پایه از جمله نقشه‌های موضوعی، تصاویر ماهواره‌ای و سایر اطلاعات مورد نیاز گردآوری و محدوده منطقه مورد مطالعه تعیین گردید. رخساره‌های ژئومورفولوژی که شامل رخساره‌های مربوط به واحد کوهستان و دشت‌سر هستند، به‌عنوان واحد کاری مطالعات مشخص گردید. با توجه به ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی منطقه مورد مطالعه، تعداد ۱۴ واحد کاری در منطقه تفکیک شده است. تعداد ۴ واحد در کوهستان و ۱۰ واحد کاری در دشت‌سر واقع شده است. مناطق مسکونی و توده سنگی بخشی از رخساره‌های تفکیک شده هستند که به دلیل عدم تعریف پارامترهای مورد ارزیابی در آن‌ها، به‌عنوان واحد کاری مورد بررسی قرار نمی‌گیرند. شکل ۲ پراکنش واحدهای ژئوموفولوژیکی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. لازم به ذکر است علاوه بر بهره‌گیری از نتایج پروفیل‌های خاک که در ادامه ارائه می‌گردد، از نظرات کارشناسان اداره منابع طبیعی استان سیستان و بلوچستان در پژوهش واحدهای کاری استفاده شده است (خانی بندانی، ۱۳۹۴: ۴۵)



مآخذ: نگارندگان

شکل ۲: پراکنش رخساره‌های ژئومورفولوژیکی **(واحدهای کاری) در منطقه مورد مطالعه**

ج) ارزیابی شاخص‌های بیابان‌زایی در واحدهای کاری

پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز و ارزیابی کیفیت آن‌ها بر اساس اطلاعات موجود و بهره‌گیری از نظرات کارشناسان خبره بومی اداره منابع طبیعی سیستان و بلوچستان، اقدام به ارزیابی شاخص‌های بیابان‌زایی بر اساس کلاس‌های مشخص شده در جدول ۱ در هر واحد کاری شده است.

د) هم‌پوشانی شاخص‌ها و تهیه نقشه معیارها

نقشه شاخص‌های هر معیار طبق رابطه ۱ با هم تلفیق شده و نقشه نهایی هر معیار در محیط نرم‌افزار GIS تهیه شد.

رابطه ۱ $^{1/n}$ (شاخص$_n$ × ... ×شاخص$_2$ × شاخص$_1$) = امتیاز نهایی هر معیار در هر واحد کاری

N: تعداد شاخص‌های هر معیار می‌باشد.

صحت نقشه‌های ترسیم شده بر اساس اطلاعات موجود (گزارش‌ها، نقشه‌ها و عکس‌های ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه) و نظرات کارشناسان خبره اداره منابع طبیعی سیستان و بلوچستان مورد بررسی و تأیید قرار گرفته است.

ه) ترکیب معیارها و تهیه نقشه بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه

نقشه چهار معیار مورد بررسی در بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه طبق رابطه ۲ با هم ترکیب و نقشه نهایی بیابان‌زایی به‌صورت کمی و کیفی تهیه شده است.

رابطه ۲ $^{1/4}$ (معیار فرسایش بادی × معیار پوشش گیاهی × معیار خاک × معیار اقلیم)= امتیاز نهایی شدت بیابان‌زایی

نتایج و بحث

تجزیه و تحلیل شاخص‌های بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه

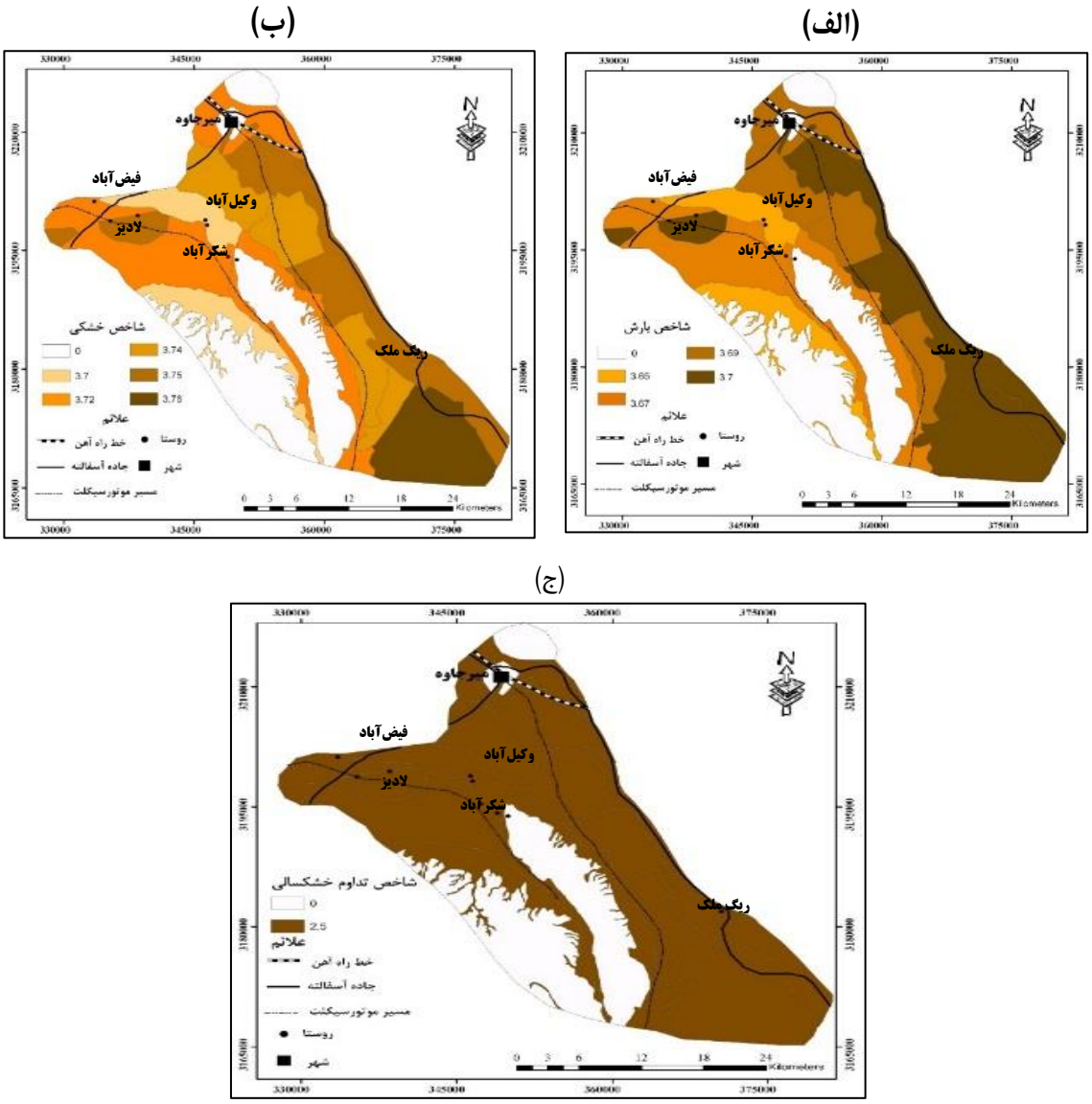
الف- معیار اقلیم: این معیار دارای سه شاخص بارش، شاخص خشکی و تداوم خشک‌سالی است. داده‌های بارش از سازمان هواشناسی اخذ شد و پس از اطمینان از کیفیت مناسب آن‌ها، نقشه خطوط هم‌بارش منطقه مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار GIS ترسیم گردید (خانی بندانی، ۱۳۹۴: ۴۸). بالاتر بودن میزان بارش در ارتفاعات و کاهش آن در مناطق با ارتفاع کمتر نشان‌دهنده صحت نقشه هم‌بارش می‌باشد. با استفاده از این نقشه مقدار بارش برای هر واحد کاری (شکل ۲) محاسبه شده و پس از آن کار امتیازدهی برای هر واحد کاری مطابق کلاس‌های مشخص شده در جدول ۱ انجام شد. شاخص خشکی مورد استفاده در بررسی بیابان‌زایی با مدل IMDPA، شاخص معرفی شده توسط دانشگاه تهران (UTI) می‌باشد. برای محاسبه این شاخص ابتدا شاخص BGI با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شده و سپس با استفاده از رابطه ۴ مقدار UTI معادل آن تعیین شده است.

$$BGI = \sum_{i=1}^{n}(2t_i - P_i) \times k$$ رابطه ۳

ti میانگین دمای ماهیانه، Pi میانگین بارش ماهیانه، k تعداد ماه‌هایی که 2ti-Pi > 0 می‌باشد.

$$UTI = -1.90\times10^{-3}(BGI)^2 + 1.23BGI - 124$$ رابطه ۴

پدیده خشک‌سالی مستقل از مقدار بارش سالانه بوده که در مناطق خشک، مرطوب و حتی بسیار مرطوب رخ می‌دهد. داده‌های مورد استفاده برای ارزیابی شاخص تداوم خشک‌سالی از گزارش‌های منابع طبیعی استان سیستان و بلوچستان و بر اساس آمار بلندمدت بارندگی استخراج شده است. بر این اساس حداکثر طول دوره خشک‌سالی‌های متوالی در منطقه مورد مطالعه برابر ۶ سال بوده که این عدد برای تمامی واحدهای کاری مورد مطالعه لحاظ شده است (خانی بندانی، ۱۳۹۴: ۵۱). شکل ۳ نقشه‌های سه شاخص معیار اقلیم را نشان می‌دهد. با دقت در نقشه بارش و شاخص خشکی مشاهده می‌شود که بازه تغییرات امتیاز آن بسیار اندک است. نقشه شاخص تداوم خشک‌سالی نیز نشان‌دهنده یکسان بودن امتیاز این شاخص در تمامی واحدهای کاری می‌باشد.



مأخذ: نگارندگان

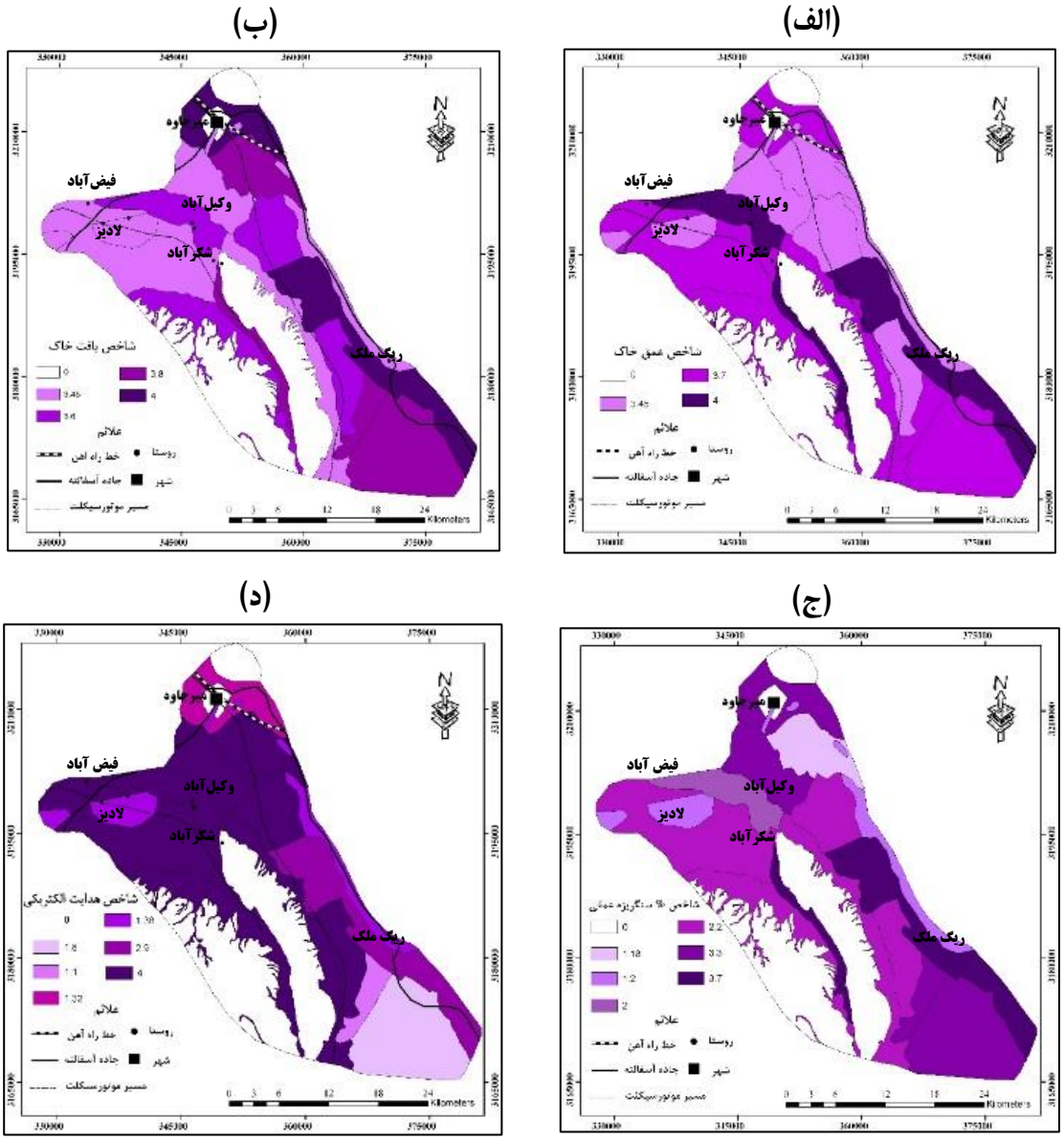
شکل ۳: رتبه‌بندی شاخص‌های بارش (الف)، شاخص خشکی (ب) و تداوم خشک‌سالی (ج) در ارزیابی نقش معیار اقلیم در بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه

ب- معیار خاک: این معیار شامل چهار شاخص هدایت الکتریکی، عمق، بافت و درصد سنگریزه عمقی می‌باشد (جدول ۱). کلاس‌های مختلف شاخص‌های کیفیت خاک، وضعیت بالفعل بیابان‌زایی را نشان می‌دهد. برای ارزیابی شاخص‌های این معیار از اطلاعات حاصل از پروفیل‌های حفر شده در منطقه مورد مطالعه که موقعیت آن‌ها در شکل ۲ نمایش داده شده است، استفاده گردید. جدول ۲ پارامترهای مختلف خاک در محل پروفیل‌های مورد بررسی را نشان می‌دهد. مطابق اطلاعات حاصل از این پروفیل‌ها، بافت خاک در منطقه مورد مطالعه عمدتاً شنی و لوی شنی می‌باشد (خانی بندانی، ۱۳۹۴: ۵۲). لازم به ذکر است صحت داده‌ها پس از مذاکره با کارشناسان اداره منابع طبیعی سیستان و بلوچستان تأیید شده است. پس از بررسی پارامترهای خاک در محل پروفیل‌ها، اقدام به امتیازدهی مطابق جدول ۱ و تهیه نقشه‌های چهار شاخص این معیار گردید (شکل ۴). مطابق نقشه بافت خاک شمال شرق و جنوب شرق منطقه مورد مطالعه بیشترین امتیاز را از نظر وضعیت این شاخص به خود اختصاص داده است. نقشه عمق خاک نشان می‌دهد بیشترین امتیاز این شاخص متعلق به واحدهای کاری واریزه و تپه‌های ماسه‌ای می‌باشد. رتبه‌بندی شاخص هدایت الکتریکی خاک برای منطقه مورد مطالعه نشان‌دهنده یکسان بودن امتیاز بیش از نیمی از واحدهای کاری است. در نهایت نقشه شاخص درصد سنگریزه عمقی نیز نشان می‌دهد دو واحد واریزه و تپه‌های ماسه‌ای دارای بیشترین امتیاز از این منظر هستند.

جدول ۲: مشخصات خاک در محل هر یک از پروفیل‌های برداشت شده از منطقه مورد مطالعه (بی‌نام، ۱۳۸۳)

پروفیل	بافت	عمق (سانتی‌متر)	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر)	سنگریزه سطحی (درصد)
۱	شنی درشت	۱۵	۲/۸	۳۵/۵
۲	شنی درشت	۱۵	۳/۶	۳۵
۳	شنی	۱۵>	۳/۰۰	۳۶
۴	شنی درشت	۲۹	۱/۸	۲۶/۶۷
۵	لوم درشت	۲۳	۲۸/۲	۲۶/۶۷
۶	لومی شنی	۳۵	۲۹/۲	۲۶/۶۷
۷	شنی درشت	۲۹	۱/۸	۲۶/۶۷
۸	لوم	۳۲	۳/۰	۹۴
۹	لوم درشت	۲۸	۳/۲	۹۲
۱۰	لومی شنی	۲۹	۷۳/۵	۶۲/۲۲
۱۱	لومی شنی	تقریباً فاقد خاک	۳۷/۵	۹۲
۱۲	لوم	فاقد خاک	۳۴/۵	۶۲
۱۳	شنی درشت	فاقد خاک	۱۱/۳۴	۱۰
۱۴	لوم درشت	۲۷	۵/۳	۹۰
۱۵	لوم درشت	۱۵	۳۴/۵	۶۲
۱۶	شنی	۱۵	۱	۴۸/۸۹
۱۷	شنی	۱۵	۱	۲۶/۶۷
۱۸	شنی	۱۵	۰/۶	۲۶/۳۰
۱۹	شنی درشت	فاقد خاک	۱۱/۴	۱۰
۲۰	شنی درشت	فاقد خاک	۱۱/۴	۱۰
۲۱	لوم درشت	تقریباً فاقد خاک	۳۴/۵	۶۲

مآخذ: بی‌نام (۱۳۸۳)

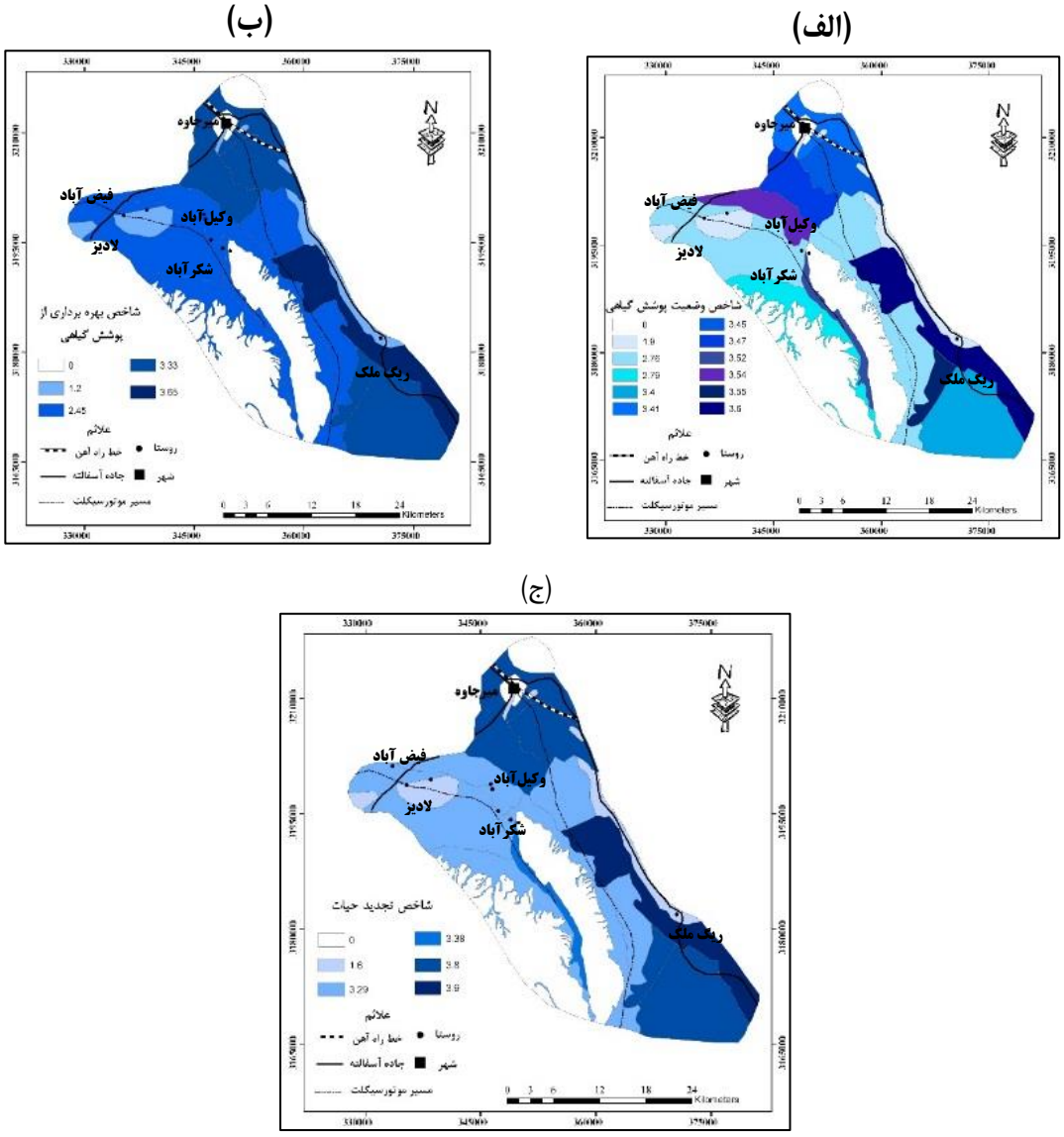


مآخذ: نگارندگان

شکل ۴: رتبه‌بندی شاخص‌های عمق خاک (الف)، بافت خاک (ب)، درصد سنگریزه سطحی (ج) و هدایت الکتریکی خاک (د) در ارزیابی نقش معیار خاک در بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه

ج-معیار پوشش گیاهی: شاخص‌های مورد نظر برای ارزیابی پوشش گیاهی شامل وضعیت پوشش گیاهی، بهره‌برداری از پوشش گیاهی و تجدید پوشش گیاهی می‌باشند (جدول ۱). وضعیت پوشش شامل زیر شاخص ترکیب گیاهی (گیاهان مهاجم، یک‌ساله و چندساله) و درصد تاج پوشش (دائمی) است. بهره‌برداری از پوشش گیاهی دارای زیر شاخص بوته کنی و قطع درختان یا درختچه‌ها به‌علاوه میزان چرای دام می‌باشد. بوته کنی یا قطع درختان و درختچه‌ها به‌وسیله انسان انجام می‌شود. چرای دام نیز به‌صورت غیرمستقیم از فعالیت‌های انسانی تأثیر می‌پذیرد. تجدید پوشش گیاهی بر اساس تجدید حیات به‌صورت طبیعی و یا با استفاده از عملیات اصلاحی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. به‌منظور ارزیابی معیار پوشش گیاهی اطلاعات شاخص وضعیت پوشش گیاهی از گزارش‌های موجود در اداره منابع طبیعی استان

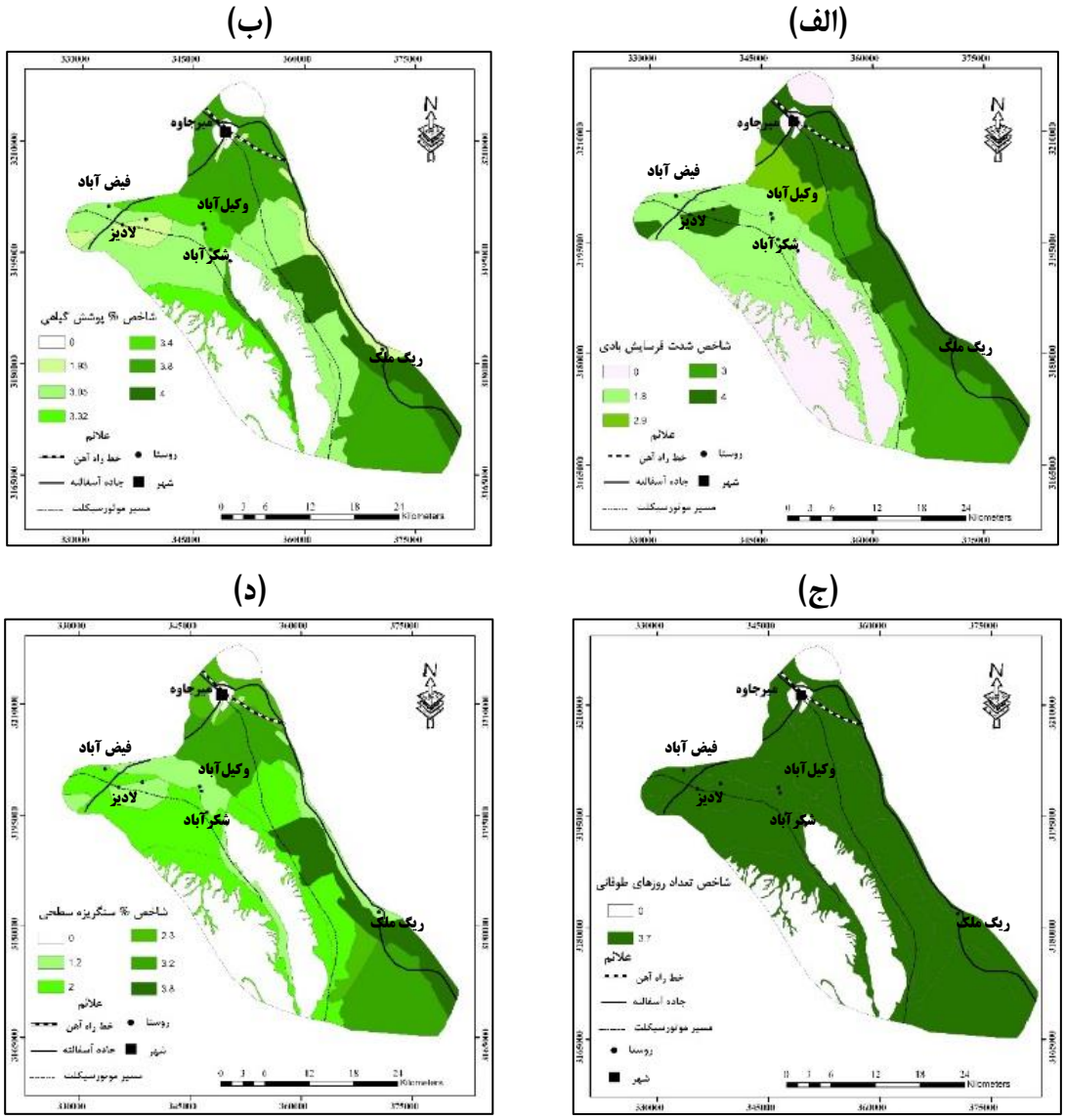
سیستان و بلوچستان استخراج و مورد استفاده قرار گرفته است. ارزیابی شاخص‌های بهره‌برداری از پوشش گیاهی و تجدید پوشش گیاهی طی مذاکره با کارشناسان خبره محلی اداره بیابان‌زدایی و اداره مرتع منابع طبیعی استان سیستان و بلوچستان انجام شده است. برای تمامی واحدهای کاری موجود در منطقه مورد مطالعه این اطلاعات گردآوری شده و سپس عملیات امتیازدهی بر اساس پیشنهادهای روش IMPDA (جدول ۱) صورت گرفته است (خانی بندانی، ۱۳۹۴: ۵۴). شکل ۵ نقشه وضعیت سه شاخص معیار پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. مطابق نقشه شاخص وضعیت پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه بازه تغییرات امتیاز این شاخص بسیار زیاد (از ۱/۲ تا ۳/۶) است. بررسی نقشه‌های بهره‌برداری از پوشش گیاهی و تجدید حیات (شکل ۵ الف و ج) نشان می‌دهد که مقدار کمینه و بیشینه این شاخص به ترتیب متعلق به رخساره اراضی کشاورزی و تپه‌های ماسه‌ای می‌باشد.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۵: رتبه‌بندی شاخص‌های وضعیت پوشش گیاهی (الف)، بهره‌برداری از پوشش گیاهی (ب) و تجدید حیات (ج) در ارزیابی نقش معیار پوشش گیاهی در بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه

د- معیار فرسایش بادی: شاخص‌های مورد مطالعه جهت برآورد معیار فرسایش بادی شامل شدت فرسایش بادی، تراکم پوشش غیر زنده، درصد پوشش گیاهی و تعداد روزهای طوفانی با شاخص گرد و خاک می‌باشد. اطلاعات شاخص شدت فرسایش بادی بر اساس گزارش‌های موجود و نظرات کارشناسان اداره منابع طبیعی استان سیستان و بلوچستان، شاخص تراکم پوشش غیر زنده (درصد سنگریزه سطحی) بر اساس نتایج مطالعات پروفیل‌های خاک، شاخص پوشش زنده (گیاهی) با استفاده از بررسی تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه، گزارش‌های مطالعات قبلی و بازدید از منطقه و شاخص تعداد روزهای طوفانی با شاخص گرد و خاک بر اساس داده‌ها و اطلاعات سازمان هواشناسی استان سیستان و بلوچستان استخراج شده و در نهایت عملیات امتیازدهی مطابق جدول ۱ صورت گرفته است (خانی بندانی، ۱۳۹۴: ۵۵). شکل ۶ نشان‌دهنده نقشه‌های رتبه‌بندی شده چهار شاخص معیار فرسایش بادی می‌باشد.

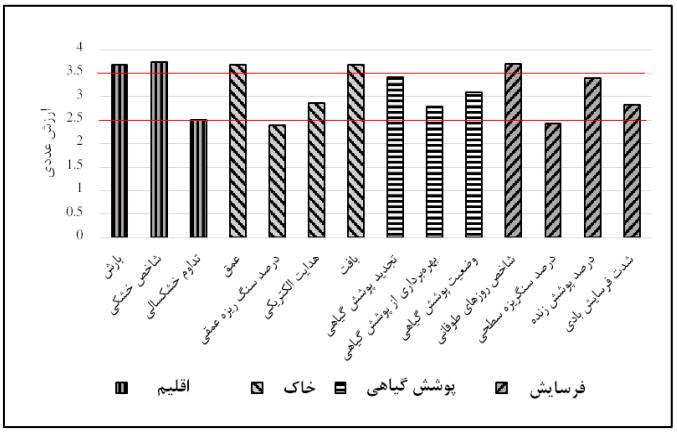


مآخذ: نگارندگان

شکل ۶: رتبه‌بندی شاخص‌های شدت فرسایش بادی (الف)، درصد پوشش گیاهی (ب)، تعداد روزهای طوفانی (ج) و درصد سنگریزه سطحی (د) در ارزیابی نقش معیار فرسایش بادی در بیابان‌زایی منطقه مورد **مطالعه**

در (شکل ۶ الف) نقشه شدت فرسایش بادی مشاهده می‌شود که با حرکت به سمت شرق محدوده مورد مطالعه بر امتیاز این شاخص افزوده می‌شود. نقشه درصد پوشش گیاهی (شکل ۶ ب) نشان می‌دهد که رخساره اراضی کشاورزی با ارزش عددی ۱/۹۳ دارای کمینه امتیاز و رخساره تپه‌های ماسه‌ای (در بخش شرقی منطقه مورد مطالعه) با ارزش عددی ۴ دارای بیشینه امتیاز این شاخص می‌باشد. امتیاز شاخص تعداد روزهای طوفانی (شکل ۶ ج) برای منطقه مورد مطالعه برای تمامی واحدهای کاری موجود یکسان است. از دقت در نقشه شاخص درصد سنگریزه سطحی (شکل ۶ د) می‌توان پی برد که رخساره بیرون‌زدگی سنگی و اراضی کشاورزی دارای کمینه امتیاز و رخساره تپه‌های ماسه‌ای دارای بیشترین امتیاز می‌باشد.

بررسی متوسط وزنی (بر اساس مساحت) شاخص‌های بیابان‌زایی مورد بررسی در کل منطقه مورد مطالعه (شکل ۷)، نشان می‌دهد شاخص‌های خشکی (۳/۷۳)، تعداد روزهای طوفانی با شاخص گرد و خاک (۳/۷)، عمق و بافت خاک (۳/۶۹) و بارش (۳/۶۸) در کلاس خیلی شدید قرار داشته و بیشترین نقش را در بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه ایفا می‌نمایند. شاخص‌های تجدید پوشش گیاهی (۳/۴۱)، درصد پوشش زنده (۳/۳۹) و وضعیت پوشش گیاهی (۳/۰۹) در درجه اهمیت بعدی قرار می‌گیرند.



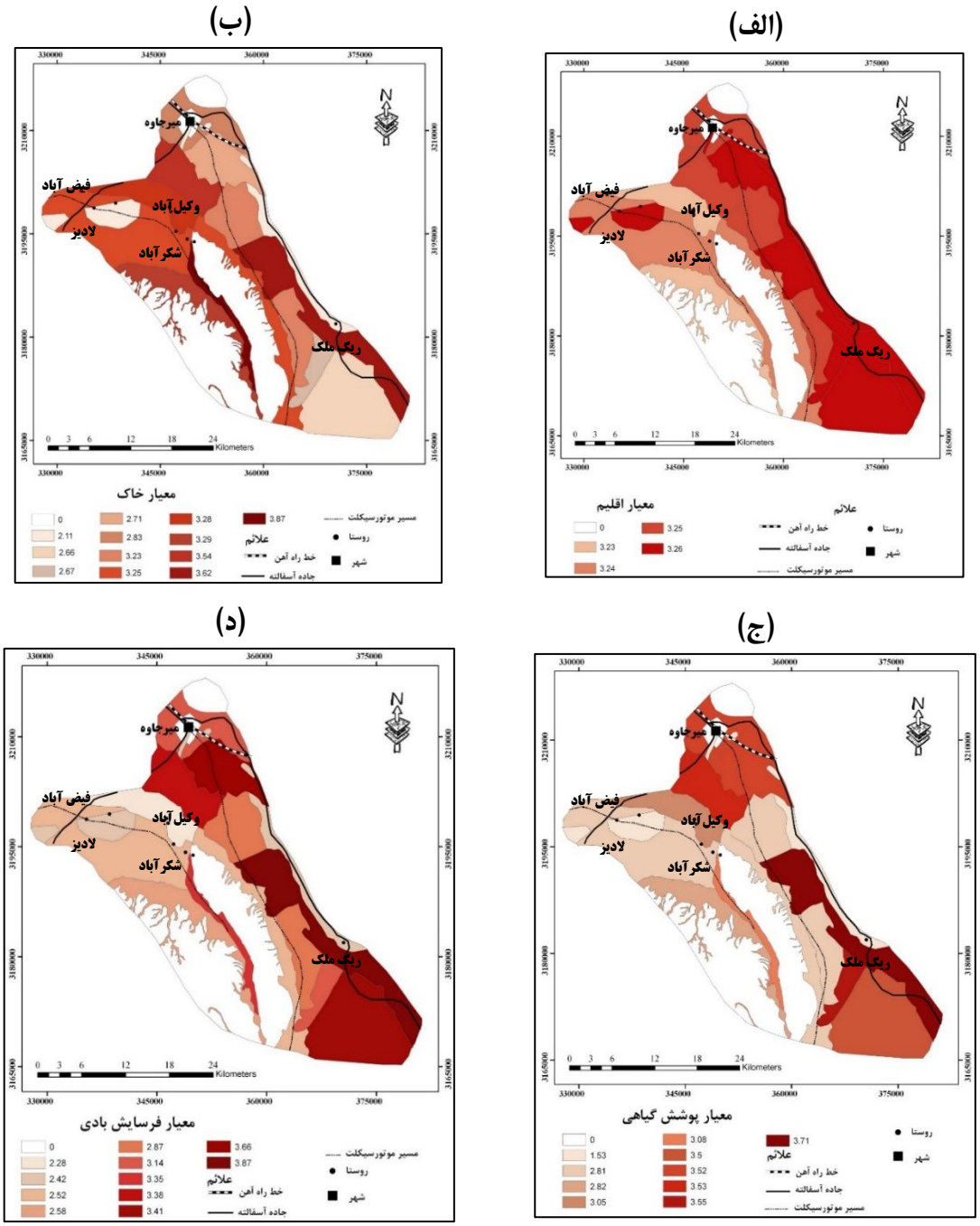
مآخذ: نگارندگان

شکل ۷: ارزش وزنی (بر اساس مساحت) شاخص‌های شدت بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه

۲- تجزیه و تحلیل معیارهای بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه

پس از بررسی و برآورد رتبه شاخص‌های مورد بررسی در ارزیابی بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه، ارزش نهایی معیارهای مدل IMDPA در هر یک از رخساره‌های ژئومورفولوژیکی منطقه با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شده و نقشه نهایی معیارها در شکل ۸ ترسیم شده است. بر طبق نتایج حاصله معیار اقلیم در بین معیارهای مورد مطالعه در این پژوهش بالاترین عدد را به خود اختصاص داده، به‌طوری‌که با متوسط وزنی ۳/۲۵ بیشترین نقش را در بیابان‌زایی ایفا می‌نماید. بعد از معیار اقلیم معیارهای خاک و پوشش گیاهی با متوسط وزنی ۳/۰۹ در رتبه بعدی قرار داشته و معیار

فرسایش بادی با متوسط وزنی ۳/۰۴ در مرتبه آخر به لحاظ تأثیر بر بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه قرار می‌گیرد. شکل ۸ نقشه‌های نهایی معیارهای اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و فرسایش بادی در ارزیابی بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند. با دقت در نقشه معیار اقلیم مشاهده می‌شود بازه تغییرات امتیاز آن بسیار ناچیز است که نشان‌دهنده یکسان بودن منطقه از منظر نقش اقلیم در بیابان‌زایی می‌باشد.

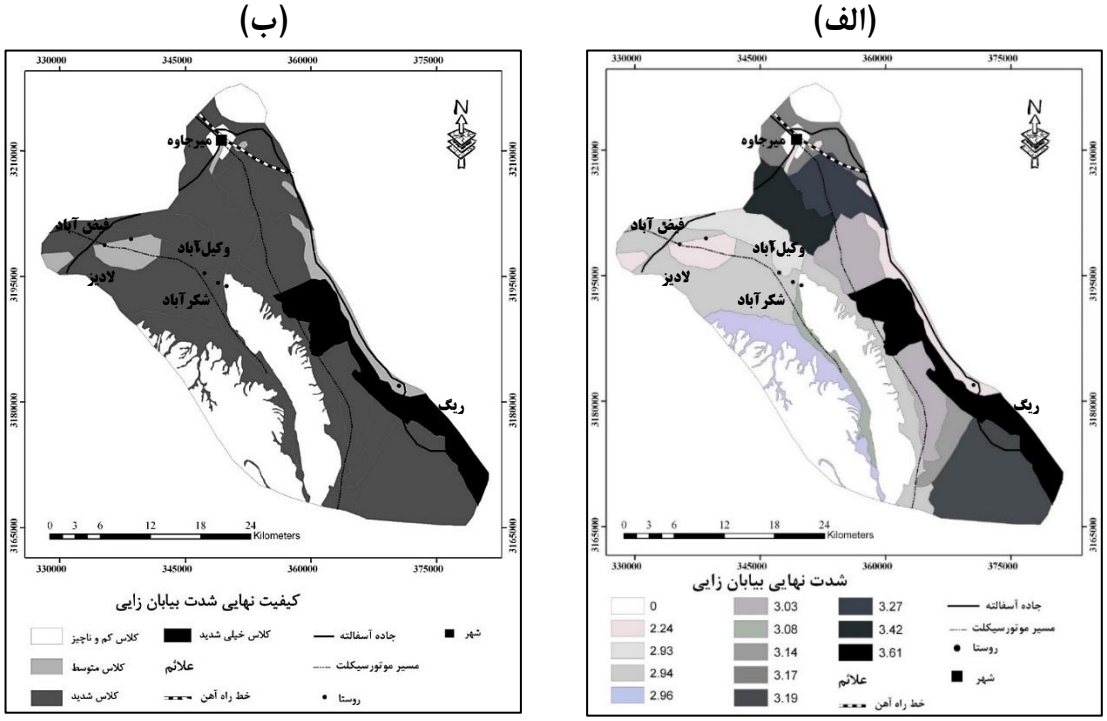


مآخذ: نگارندگان

شکل ۸: نقشه نهایی معیار اقلیم (الف)، معیار خاک (ب)، معیار پوشش گیاهی (ج) و معیار فرسایش بادی (د) در ارزیابی بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه

۳- محاسبه شدت نهایی بیابان‌زایی و ترسیم نقشه بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه

پس از محاسبه معیارهای مختلف بیابان‌زایی در هر یک از واحدهای کاری منطقه مورد مطالعه شدت بیابان‌زایی در هر واحد با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شده است. شکل ۹ امتیاز نهایی شدت بیابان‌زایی در واحدهای کاری منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. به‌جز واحد کاری تپه‌های ماسه‌ای با ارزش عددی شدت بیابان‌زایی ۳/۶۱ و واحد کاری اراضی کشاورزی با ارزش عددی ۲/۲۴ که به ترتیب در کلاس کیفی خیلی شدید و متوسط قرار می‌گیرند، کلاس کیفی بیابان‌زایی در سایر بخش‌های منطقه مورد مطالعه شدید تعیین شده است.



مآخذ: نگارندگان

شکل ۹: نقشه نهایی شدت (الف) و کیفیت (ب) بیابان‌زایی در جنوب شرق زاهدان

جدول ۳ توزیع کلاس‌های مختلف بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بر این اساس حدود ۶ درصد منطقه مورد مطالعه در کلاس متوسط، ۶۲ درصد در کلاس شدید و ۹ درصد در کلاس خیلی شدید قرار می‌گیرد. در مجموع بررسی‌ها نشان می‌دهد در هیچ بخشی از منطقه مورد مطالعه ارزش عددی بیابان‌زایی کمتر از ۲ نبوده که این موضوع نشان‌دهنده وضعیت بد منطقه از نظر شدت بیابان‌زایی است. لازم به ذکر است که در محاسبه درصد مساحت کلاس‌های مختلف بیابان‌زایی مناطق توده سنگی و مسکونی در کلاس کم و ناچیز قرار گرفته‌اند.

جدول ۳: توزیع کلاس‌های شدت بیابان‌زایی در کل منطقه مورد مطالعه

طبقه‌بندی کیفی شدت بیابان‌زایی	دامنه ارزش عددی	مساحت (هکتار)	درصد مساحت نسبت به‌کل منطقه
ناچیز و کم	۱-۱/۵	۲۷۶۸۲	۲۳/۳۹
متوسط	۱/۶-۲/۵	۶۸۰۹	۵/۷۵

شدید	۲/۶-۳/۵	۷۳۶۱۴	۶۱/۶۹
خیلی شدید	۳/۶-۴	۱۰۸۴۸	۹/۱۷

مآخذ: نگارندگان

در نهایت بر اساس متوسط وزنی معیارهای بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه، ارزش عددی نهایی شدت بیابان‌زایی برای کل منطقه مورد مطالعه طبق رابطه زیر حدود ۳/۱۲ محاسبه‌شده است.

متوسط وزنی معیار پوشش گیاهی × متوسط وزنی معیار خاک × متوسط وزنی معیار اقلیم= شدت بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه

$۳/۱۲=^{۱/۴}$ (۰۴/ ۳×۰۹/ ۳×۰۹/ ۳× ۳/۲۵)$=^{۱/۴}$ متوسط وزنی معیار فرسایش بادی ×

مطابق دامنه ارزش عددی کلاس‌های شدت بیابان‌زایی (جدول ۳) منطقه مورد مطالعه در کلاس شدید بیابان‌زایی قرار می‌گیرد.

نتیجه‌گیری

بررسی شاخص‌های انتخابی در ارزیابی شدت بیابان‌زایی منطقه جنوب شرق زاهدان نشان داد که شاخص‌هایی همچون شاخص خشکی (۳/۷۳)، تعداد روزهای طوفانی (۳/۷)، بارش، عمق و بافت خاک (۳/۶۸) با قرارگیری در کلاس خیلی شدید بیابان‌زایی بیشترین تأثیر را بر بیابان‌زایی منطقه دارند. شاخص‌های تجدید پوشش گیاهی (۳/۴۱)، درصد پوشش زنده (۳/۳۹)، وضعیت پوشش گیاهی (۳/۰۹)، هدایت الکتریکی خاک (۲/۸۷)، شدت فرسایش بادی (۲/۸۲) و بهره‌برداری از پوشش گیاهی (۲/۸۰) در کلاس شدید از منظر شدت بیابان‌زایی با استفاده از روش IMDPA قرار گرفته‌اند. از میان معیارهای مورد بررسی در این مطالعه، معیار اقلیم با ارزش عددی ۳/۲۵ بیشترین نقش را بر افزایش شدت بیابان‌زایی منطقه دارد. این موضوع نشان‌دهنده نقش غالب عوامل طبیعی در بیابان‌زایی این منطقه است. معیارهای پوشش گیاهی و خاک با ارزش عددی یکسان (۳/۰۹) در رتبه بعدی قرار داشته و معیار فرسایش بادی با ارزش عددی ۳/۰۴ در رتبه آخر تأثیر بر افزایش روند بیابان‌زایی منطقه مورد مطالعه قرار دارد. بررسی توزیع فراوانی کلاس‌های مختلف بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه نشان داد ۲۳/۳۹ درصد مساحت منطقه در کلاس کم و ناچیز (شامل واحد کاری توده سنگی و منطقه مسکونی)، ۵/۷۵ درصد در کلاس متوسط، ۶۱/۶۹ درصد در کلاس شدید و ۹/۱۷ درصد منطقه در کلاس خیلی شدید شدت بیابان‌زایی در مدل IMDPA قرار دارد. در نهایت بر اساس ارزیابی متوسط وزنی معیارهای بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه ارزش عددی نهایی شدت بیابان‌زایی برای کل منطقه مورد مطالعه حدود ۳/۱۲ به دست آمد. از مقایسه این مقدار با طبقه‌بندی رایج در ایران و بر اساس مدل IMDPA، کلاس شدت بیابان‌زایی نهایی منطقه شدید برآورد شده است. لذا لازم است اقدامات بیابان‌زدایی در منطقه با جدیت بیشتری دنبال گردد.

سپاسگزاری

از کارشناسان اداره منابع طبیعی استان سیستان و بلوچستان به‌ویژه آقای مهندس عباس کفاش که در طی مراحل انجام این پژوهش کمک شایانی نمودند، قدردانی می‌گردد.

منابع

۱- ابریشم، الهام السادات و سادات فیض نیا. (۱۳۹۳): ارزیابی شدت بیابان‌زایی حوزه آبخیز درخت سنجد با استفاده از مدل IMDPA. مرتع و آبخیزداری، شماره شصت و هفت، صفحه ۳۴۵-۳۵۸.

۲- اختصاصی، محمدرضا و عادل سپهر. (۱۳۹۰): روش‌ها و مدل‌های ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی. انتشارات دانشگاه یزد.

۳- اکبری، مرتضی. حمیدرضا کریم‌زاده، رضا مدرس و بهاره چکشی. (۱۳۸۶): ارزیابی و طبقه‌بندی بیابان‌زایی با فناوری سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه خشک شمال اصفهان). فصلنامه علمی- پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، جلد چهارده، شماره نه صفحه ۱۲۴-۱۴۲.

۴- الرئیسی، عبدالغنی. غلامرضا زهتابیان، حسن احمدی، حسن خسروی و مصطفی دستورانی. (۱۳۹۱): ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی در مناطق بیابانی ساحلی با استفاده از معیارهای بیوفیزیک مدل IMDPA (بررسی موردی: منطقه کهیرکنارک، چابهار). پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)، شماره نود و هفت، صفحه ۴۳- ۵۱.

۵- بخشنده مهر، لیلا. سعید سلطانی و عادل سپهر. (۱۳۹۲): ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی و ا صلاح مدل مدالوس در دشت سگزی اصفهان. نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره شصت و شش. شماره یک.

۶- بی‌نام. (۱۳۸۳): طرح اجرایی بیابان‌زدایی و تثبیت شن منطقه میر جاوه (شهرستان زاهدان). مطالعات پایه. جلد دوم. اداره کل منابع طبیعی استان سیستان و بلوچستان.

۷- حبشی، خلیل. حمیدرضا کریم زاده، سعید پورمنافی و رضا جعفری. (۱۳۹۵): ارزیابی بیابان‌زایی در شرق اصفهان با استفاده از روش تلفیقی مدل مدالوس و ارزیابی چند معیاره (MCA). مدیریت بیابان، دوره پنج، شماره ده، صفحه ۹۹-۱۱۵.

۸- حسینی، سید محمود. محمدرضا اختصاصی و خدا رحم بزی. (۱۳۸۹): بررسی نوع و شدت عوامل مؤثر در بیابان‌زایی سیستان (مطالعه موردی: منطقه نیاتک). فصلنامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، سال نهم، شماره سی و یک، صفحه ۱۱۹-۱۳۶.

۹- خانی بندانی، لیلا. (۱۳۹۴): ارزیابی خطر بیابان‌زایی در جنوب شرق شهرستان زاهدان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته زمین‌شناسی زیست‌محیطی، دانشگاه صنعتی شاهرود.

۱۰- داوری، سرور. علیرضا راشکی، مرتضی اکبری و علی‌اصغر طالبان فرد. (۱۳۹۷): پایش تغییرات زمانی- مکانی شاخص‌های مؤثر بیابان‌زایی مناطق خشک جنوب خراسان رضوی. نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)، دوره نه، شماره دو، صفحه ۱۷-۳۲.

۱۱- ذاکری‌نژاد، رضا. مسعود مسعودی، رشید فلاح‌شمسی و فخرالدین افضلی. (۱۳۹۱): ارزیابی شدت بیابان‌زایی با معیار آب زیرزمینی و با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ مطالعه موردی زرین‌دشت فارس. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال دوم، شماره هفتم، صفحه ۱-۱۰.

۱۲- شاکریان، نوشین. غلامرضا زهتابیان، محمدعلی زارع چاهوکی و حسن خسروی. (۱۳۹۶): تعیین مهم‌ترین معیارها و شاخص‌های مؤثر بر تخریب سرزمین و بیابان‌زایی. مرتع و آبخیزداری، دوره هفتاد، شماره ۲، صفحه ۳۸۵-۳۹۸,

۱۳- طباطبایی‌زاده، منیرالسادات. محمدرضا اختصاصی، حسن احمدی و علی‌اکبر نظری سامانی. (۱۳۹۱): ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی با استفاده از مدل اصلاح شده MICD (مطالعه موردی: دشت فخرآباد مهریز). مجله کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی، سال سوم، شماره ۹.

۱۴- کاظمی‌نیا، عبدالرضا. کاظم رنگزن و مهدی محمودآبادی. (۱۳۹۶): بررسی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس (مطالعه موردی: اراضی غرب اهواز). نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS

در علوم منابع طبیعی)، دوره هشت، شماره ۲، صص ۱۱۱-۱۲۶.
۱۵- کفاش، عباس. (۱۳۹۲): ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی با استفاده از مدل IMDPA در منطقه مرادآباد سراوان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته بیابان‌زدایی، دانشگاه زابل.
۱۶- محمدقاسمی، سیلوانا. غلامرضا زهتابیان و حسن احمدی. (۱۳۸۷): ارزیابی شدت بیابان‌زایی منطقه زابل از منظر معیار آب با استفاده از مدل مدالوس. منابع طبیعی، شماره هشتاد.
۱۷- معروف پور، سامان. احمد فاخری فرد و جلال شیری. (۱۳۹۷): تحلیل و پهنه‌بندی شدت تخریب بیابان‌زایی با استفاده از مدل بیابان‌زایی IMDPA و خوشه‌بندی (مطالعهٔ موردی: دشت بم‌نرماشیر و رحمت‌آباد). اکو هیدرولوژی، دوره پنج، شماره یک، صص ۱۲۳-۱۳۴.
۱۸- ممبنی، مریم. عبدالعلی کرم شاهی، فرزاد آزادنیا، پرویز گرایی و کامران کریمی. (۱۳۹۴): ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از مدل ایرانی بیابان‌زایی (IMDPA) مطالعه موردی: دشت عباس، استان ایلام. نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی (کاربرد سنجش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی)، دوره هفت، شماره سه، صص ۱۰۰-۱۱۲.

19- Ahmady-Birgani, H. Mcqueen, K. G. Moeinaddini, M. & Naseri, H. (2017): Sand Dune Encroachment And Desertification Processes Of The Rigboland Sand Sea, Central Iran. Scientific Reports, 7(1), 1523.
20- Barzani, M. M. & Khairulmaini, O. S. (2013): Desertification Risk Mapping Of The Zayandeh Rood Basin In Iran. Journal Of Earth System Science, 122(5), 1269-1282.
21- Boali, A. Bashari, H. & Jafari, R. 2019. Evaluating The Potential Of Bayesian Networks For Desertification Assessment In Arid Areas Of Iran. Land Degradation & Development, 30(4), Pp. 371-390.
22- Fozooni, L. Fakhiri, A. Ekhtesasi, M. R. Kazemi, Y. Mohammadi, H. & Shafey, H. (2012): Assessment Of Desertification Using MEDALUS Model, With Emphasis On Wind And Water Indices, Case Study Sistan Province, Iran. Elixir Pollution. Vol. (15): Pp. 8067-8071.
23- Gad, A. And Shalaby, A. (2010): Assessment And Mapping Of Desertification Sensitivity Using Remote Sensing And GIS. Case Study: Inland Sinai And Eastern Desert Wadies. In US–Egypt Workshop On Space Technology And Geoinformation For Sustainable Development, Cairo, Egypt: 14-17.
24- Iavazzo, P. Terracciano, S. Topa, M. E. Adamo, P. Coly, A. De Paola, F. ... & Traoré, S. E. (2013): The Role Of Climate Change And Erosion Processes In Desertification Process In A Sub-Saharan Peri-Urban Area (Ouagadougou, Burkina Faso). In EGU General Assembly Conference Abstracts. Vol. (15): Pp. 22-38.
25- Jafari, R. & Bakhshandehmehr, L. (2016): Quantitative Mapping And Assessment Of Environmentally Sensitive Areas To Desertification In Central Iran. Land Degradation & Development, 27(2), Pp. 108-119.
26- Jian, G. Wang, T. Xue, X. Shaoxiu, M. And Peng, Fe. (2009): Monitoring Aeolian Desertification Process In Hulunbir Grassland During 1975–2006, Northern China. Environ Monit Assess. Vol (166): Pp. 563–571.
27- Khosravi, H. Zehtabian, G. Ahmadi, H. & Azarnivand, H. (2014): Hazard Assessment Of Desertification As A Result Of Soil And Water Recourse Degradation In Kashan Region, Iran. *Desert*, 19(1), Pp. 45-55.
28- Kosmas, C. Kirkby, M. And Geeson, N. (1999): Manual On Key Indicators Of Desertification And Mapping Environmentally Sensitive Areas To Desertification (EUR 18882), European Commission Community Research, Pp 94.
29- Lavado Contador, J. F. Schnabel, S. Gomez Gutierrez, A. & Pulido Fernandez, M. (2009):

Assessing The Environmental Sensitivity To Land Degradation. A Validation Of The MEDALUS Method In SW Spain. In EGU General Assembly Conference Abstracts. Vol. (11): Pp. 10730.

30- Mohamed, E. S. (2013): Spatial Assessment Of Desertification In North Sinai Using Modified MEDLAUS Model. Arabian Journal Of Geosciences, Vol. *6*(12): Pp. 4647-4659.

31- Parvari, S. H. Pahlavanravi, A. Nia, M. Reza, A. Dehvari, A. & Parvari, D. (2011): Application Of Methodology For Mapping Environmentally Sensitive Areas (Esas) To Desertification In Dry Bed Of Hamoun Wetland (Iran). ECOPERSIA. Vol (1): Pp. 65-80.

32- Sarparast, M. Ownegh, M. Najafinejad, A. & Sepehr, A. (2018): An Applied Statistical Method To Identify Desertification Indicators In Northeastern Iran. Geoenvironmental Disasters, 5(1), Pp. 3.

33- Sepehr, A. Hassanli, A. M. Ekhtesasi, M. R. & Jamali, J. B. (2007): Quantitative Assessment Of Desertification In South Of Iran Using MEDALUS Method, Environmental Monitoring And Assessment. Vol. 134(1-3): Pp. 243-254.