مجله علمی‌پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان
سال سوم، شماره پنجم، زمستان 1393، صفحه 49_62

ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی با استفاده از مدل IMDPA در دشت سیستان (مطالعهٔ موردی: زهک)

زهره هاشمی،[1*] احمد پهلوانروی،[2] علیرضا مقدم‌نیا،[3] محمدرضا جوادی،[4] عباس میری[5]

[1*]کارشناس ارشد بیابان‌زدایی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل
پست الکترونیک نویسنده مسئول:
Hashemi_343@yahoo.com
[2] دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل
[3] دانشیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل
[4] استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نور
[5] مربی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه زابل

تاریخ دریافت: 1393/8/10 تاریخ پذیرش: 1393/11/15

چکیده

پدیدهٔ بیابان‌زایی مختص اقلیم خاصی نیست، اگرچه نقش این پدیده در مناطق خشک و نیمه‌خشک برجسته‌تر از سایر مناطق است. در این تحقیق، برای بررسی پتانسیل بیابان‌زایی و ارائهٔ نقشهٔ شدت بیابان‌زایی از چهار معیار فرسایش بادی، خاک، اقلیم و پوشش گیاهی در منطقه زهک سیستان از مدل IMDPA استفاده شد. در مدل IMDPA با توجه به ارزیابی معیارهای مؤثر در بیابان‌زایی منطقه، شاخص‌های متفاوت هر معیار امتیازدهی شد و لایه‌های اطلاعاتی مربوط به این شاخص‌ها و معیارها تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد که لایهٔ اطلاعاتی معیار فرسایش بادی، در دو کلاس شدید (62205 هکتار) و کلاس خیلی شدید (21309 هکتار)، لایهٔ اطلاعاتی معیار خاک، در دو کلاس کم (39121 هکتار) و کلاس متوسط (44393 هکتار)، لایهٔ اطلاعاتی معیار اقلیم، در کلاس خیلی شدید (83514 هکتار) و لایهٔ اطلاعاتی پوشش گیاهی، در چهار کلاس کم (24756 هکتار)، کلاس متوسط (5649 هکتار)، کلاس شدید (14011 هکتار) و کلاس خیلی شدید (39098 هکتار) شدت بیابان‌زایی طبقه‌بندی شد. نقشهٔ نهایی شدت بیابان‌زایی منطقه از ترکیب لایه‌های اطلاعاتی به‌کمک میانگین هندسی تهیه شد. نتایج حاصل از ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی منطقه، مبین 36/4 درصد، معادل 30405 هکتار در طبقه متوسط و 63/6 درصد، معادل 53109 هکتار در طبقهٔ شدید بیابان‌زایی قرار می‌گیرد. ارزش عددی معیارهای مورد بررسی نشان می‌دهد معیار اقلیم با ارزش عددی 3/88 مؤثرترین عامل در شدت بیابان‌زایی منطقه است. متوسط وزنی پتانسیل بیابان‌زایی در کل منطقهٔ مورد بررسی 2/74 در کلاس شدید شدت بیابان‌زایی است.

واژه‌های کلیدی: پتانسیل بیابان‌زایی، شدت بیابان‌زایی، فرسایش بادی، مدل IMDPA، دشت سیستان.

مقدمه

فرسایش بادی و بیابانی‌شدن از مهم‌ترین عوامل هدررفت و تخریب منابع خاک و آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌شمار می‌رود. آثار پدیدهٔ بیابان‌زایی را در هر منطقه، می‌توان به‌کمک ظهور پاره‌ای از فرایندهای تخریبی در اکوسیستم مشاهده کرد. هرچند این دو پدیده تا حدودی طبیعی بوده و جلوگیری از آن‌ها به‌صورت کامل امکان‌پذیر نیست، کاهش سرعت و شدت آن‌ها امری ممکن است. منتها یافتن راه‌هایی که بتواند این فرایندها را کنترل یا به حداقل ممکن برساند، با شناخت دقیق این فرایندها و برخورد کمّی با آن‌ها میسر خواهد شد (شاکریان و زهتابیان، 1389). مبارزه با بیابانی‌شدن یا آنچه که اخیراً به بیابان‌زدایی معروف شده، مستلزم اقدامات ویژه‌ای است که اساس و زمینهٔ آن ارزیابی بیابان‌زایی است. با بررسی و شناخت وضعیت این پدیده، عوامل به‌وجودآورنده و تشدیدکننده و همچنین شدت و ضعف آن‌هاست که می‌توان به ارائه راهکارها و روش‌های مدیریتی اقدام کرد و با صرف حداقل هزینه به مقابله با روند گسترش پدیدهٔ بیابان‌زایی و کاهش اثرات سوء آن و احیای این اراضی پرداخت (احمدی و همکاران، 1379). به‌منظور ارزیابی و شناخت عوامل و فرایندهای بیابان‌زایی، می‌توان از روش‌های مختلف، کیفی و کمی استفاده کرد. در این باره باید گفت که ارزیابی شدت بیابان‌زایی در مناطق مختلف با استفاده از مدل بیابان‌زایی از جمله این روش‌هاست که اهمیت فوق العاده‌ای دارد (زهتابیان و همکاران، 1385).

برای ارزیابی و تهیهٔ نقشهٔ بیابان‌زایی در منطقهٔ فخرآباد - مهریز، از روش مدالوس اصلاح‌شده و با تأکید بر فرسایش بادی استفاده شد. در این تحقیق، چهار شاخص بیابان‌زایی مشخص و پس از تعیین امتیازات، لایه‌های اطلاعاتی مربوط به این شاخص‌ها تهیه شد. لایهٔ اطلاعاتی در این روش، شامل مدل فرسایش بادی (اریفر)، تعداد روزهای با شاخص طوفانی گرد و خاک (DSI) و مقاومت فشاری خاک (SCP) و تراکم پوشش غیرزنده در سطح خاک (MC) است. در نهایت، نقشهٔ نهایی از میانگین هندسی، چهار لایهٔ فوق به‌دست آمد و نتایج ارزیابی شدت بیابان‌زایی به روش مذکور، منطقهٔ مورد مطالعه در سه کلاس کم، متوسط و شدید قرار گرفت (احمدی و همکاران، 1385).

برای بررسی شدت بیابان‌زایی منطقهٔ دشت سگزی از مدل IMDPA استفاده شد. در این مطالعه، سه معیار آب، زمین و پوشش گیاهی مورد مطالعه قرار گرفت و با توجه به شرایط منطقه، برای هر معیار، چندین شاخص در نظر گرفته شد. با توجه به سه معیار انتخاب‌شده، نقشهٔ نهایی بیابان‌زایی منطقه مبین میزان شدید و بسیار شدید روند بیابان‌زایی منطقه است (ناطقی و همکاران، 1388).

در جنوب ایتالیا پس از اصلاح و بازسازی مدل ESAs[1] با توجه به شرایط منطقه، چهار شاخص کلیدی بیابان‌زایی خاک، اقلیم، پوشش گیاهی و مدیریت اراضی در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که بیش از 50 درصد منطقه حساس به بیابان‌زایی زیاد تا متوسط است (جیاردانو[2] و همکاران، 2002).

با استفاده از مجموعه داده‌های 50 سالهٔ اخیر، مهم‌ترین عوامل مؤثر بیابان‌زایی اراضی در نواحی خشک شمال چین، مینکین و استان گانسو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج ارزیابی نشان داد که عامل انسانی از عوامل مؤثر بیابان‌زایی اراضی برای 56/32 درصد بین سال‌های 1956- 2004 و برای 66/19 در سال‌های 1981- 2004 است. عوامل طبیعی از دیگر عوامل مؤثر بیابان‌زایی برای 11/29 درصد در سال‌های 1956- 2004 و 8/11 درصد در سال‌های 1981- 2004 است. ترکیب عوامل انسانی و عوامل طبیعی برای 11/9 درصد در 1956- 2004 و برای 14/88درصد در سال‌های 1981- 2004 را شامل شد (یونقوان[3] و همکاران، 2005).

در پهنه‌بندی و ارزیابی کیفی مناطق حساس به فرسایش آبی و بادی در سواحل شمالی مصر، از روش FAO_UNEP استفاده شد. طبق روش مذکور، بیابان‌زایی از جنبه‌های مختلف وضعیت، سرعت، خطر و ریسک ذاتی با توجه به فرایندهای غالب شامل فشارهای انسانی و حیوانی روی محیط‌زیست ارزیابی شد. نتایج نشان داد عرصهٔ مورد مطالعه به‌طور متوسط، در خطر فرسایش آبی قرار گرفته است و بخش اعظم منطقه تحت تأثیر فرسایش بادی قرار دارد و خطر فرسایش بادی در سطح کوچکی از منطقهٔ مورد مطالعه ملاحظه شد (افیفی و گاد[4]، 2011).

1. Environmentally Sensitive Areas
2. Giordano
3. Yonghuan
4. Afifi & Gad

لذا در مطالعهٔ موجود، با هدف بررسی شدت بیابان‌زایی متأثر از فرسایش بادی در منطقهٔ مورد مطالعه، از تجزیه و تحلیل روش ایرانی IMDPA[1] استفاده شده است (احمدی، 1385). با کاربرد نتایج بررسی می‌توان زمینه را برای شناخت عوامل مؤثر بر شدت بیابان‌زایی و ارائهٔ راهکارهای مناسب مدیریتی فراهم کرد. همچنین می‌توان با امکانات موجود، پدیدهٔ بیابان‌زایی در منطقه کنترل و مهار کرد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

منطقهٔ مورد مطالعه با وسعت تقریبی 88350 هکتار در فاصلهٔ 23 کیلومتری شرق شهرستان زابل قرار دارد. این منطقه در موقعیت جغرافیایی 61 درجه و 30 دقیقه تا 61 درجه و 49 دقیقه طول شرقی و 30 درجه و 36 دقیقه و 45 ثانیه تا 30 درجه و 59 دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل 1).

برای تعیین پتانسیل بیابان‌زایی در منطقهٔ مورد مطالعه، ابتدا واحدهای کاری منطقه براساس مطالعات ژئومورفولوژی، زمین‌شناسی، توپوگرافی و بازدیدهای صحرایی شناسایی و به 2 واحد، 4 تیپ و 11 رخساره ژئومورفولوژی تفکیک شد. همچنین رخسارهٔ شمارهٔ 11، چاه‌نیمه‌ها (منابع ذخیرهٔ آب) از شمار رخساره‌های مورد ارزیابی حذف شد و به‌علت همگن بودن عوارض از لحاظ زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی، توپوگرافی و مرفولوژی هر یک از رخساره‌های ژئومورفولوژی، به‌عنوان واحدهای اصلی ارزیابی بیابان‌زایی در نظر گرفته شد (جدول 1).

رژیم بارندگی منطقهٔ مورد مطالعه مدیترانه‌ای است و بیشتر بارندگی‌های آن در فصل سرد سال (اسفند با میانگین ماهانه 11/54 میلی‌متر) ریزش می‌کند. تیر گرم‌ترین و بهمن سردترین ماه‌های سال‌اند. بیشترین تبخیر در سد زهک به میزان 892/8 میلی‌متر در مردادماه و کمترین تبخیر 57 میلی‌متر در بهمن‌ماه است. مهم‌ترین بادهای منطقهٔ مورد بررسی، بادهای120روزه سیستان است که از بادهای غالب و فرساینده محسوب می‌شود و زمان وقوع آن عمدتاً از اواخر اردیبهشت‌ماه تا اواخر شهریورماه در منطقه می‌وزد.

دشت سیستان به‌صورت یک فروافتادگی تکتونیکی در رشته‌کوه‌های شرق ایران جای گرفته است. ساختار سنگ‌شناسی منطقهٔ مورد مطالعه حاصل فعالیت و رسوب‌گذاری رودخانه‌های پریان و سیستان است که در زمان‌های مختلف آب‌وهوایی و در خلال دورهٔ چهارم زمین‌شناسی به‌جا گذاشته شده است. واحدهای سنگ‌شناسی موجود در منطقهٔ مورد مطالعه، متعلق به اواخر زمان نئوژن و کواترنری است. گیاهان مشاهده‌شده در منطقهٔ مورد مطالعه اغلب از خانواده‌های اسفناجیان، اوریاسلام و گونه‌های درختچه‌ای گز است.

روش تحقیق

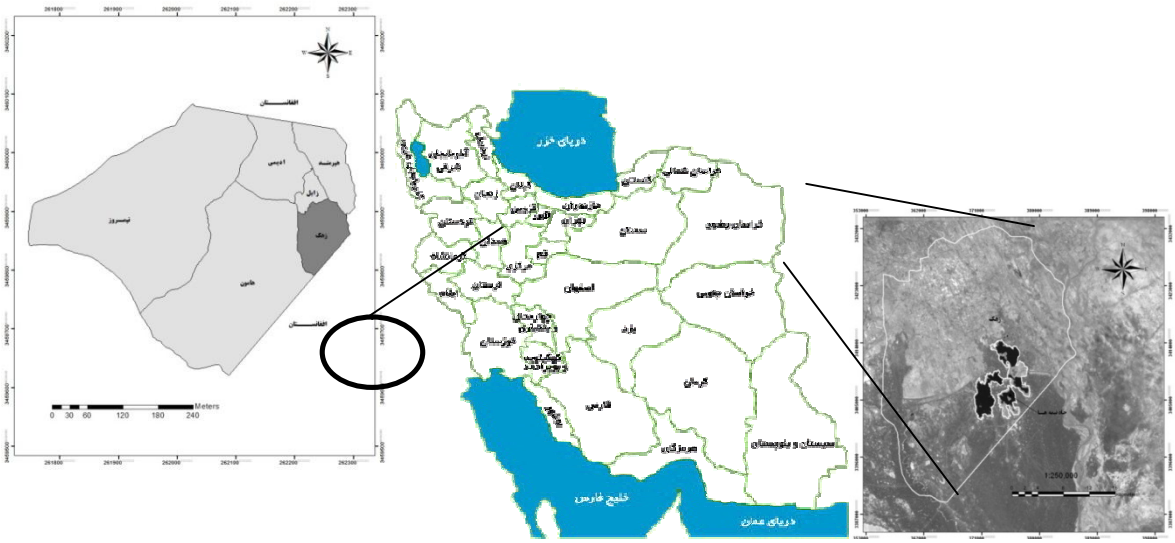
در این تحقیق، برای بررسی پتانسیل بیابان‌زایی در منطقهٔ مورد مطالعه با تأکید بر چهار معیار فرسایش بادی، خاک، پوشش گیاهی و اقلیم، از مدل ایرانی IMDPA استفاده شد.

معیار فرسایش بادی

برای تعیین معیار فرسایش بادی طبق جدول 2، چهار شاخص ظهور رخسارهٔ فرسایش، درصد پوشش غیرزنده، درصد پوشش گیاهی و تعداد روزهای با شاخص طوفانی گرد و خاک در هر واحدکاری مورد بررسی قرار گرفت. شاخص ظهور رخسارهٔ فرسایشی یا امتیاز مدل فرسایشی IRIFR، براساس جدول 3، هریک از عوامل نه‌گانهٔ مؤثر در فرسایش بادی در واحدهای کاری ارزیابی و امتیازدهی شد. مجموعه اعداد به‌دست‌آمده برای فاکتورهای مختلف، نشان‌دهندهٔ شدت فرسایش و ظهور رخساره‌های فرسایشی است. این عوامل شامل سنگ‌شناسی، شکل اراضی، پستی و بلندی، سرعت و وضعیت باد، خاک و پوشش سطح آن، انبوهی پوشش گیاهی، آثار فرسایش سطح خاک، رطوبت خاک، نوع و پراکنش نهشته‌های بادی و مدیریت استفاده از زمین است. برای عوامل فوق معادله‌ای ارائه نشده و امتیازات اخذ شده برای هریک از عوامل مؤثر در شدت فرسایش با استفاده از جدول‌های مبنا و براساس نظریهٔ کارشناسی خواهد بود.

برای تهیهٔ لایهٔ اطلاعاتی شاخص‌های تراکم پوشش گیاهی و تراکم پوشش غیرزنده (سنگ‌ریزه بزرگ‌تر از 2 میلی‌متر) در سطح خاک با توجه به نقشهٔ تیپ‌های گیاهی منطقه مورد بررسی و طبق جدول 2 در هر واحدکاری امتیازدهی شد.

1. Iranian Model of Desertification Potential Assessment



شکل (1): موقعیت جغرافیایی منطقهٔ مورد مطالعه

جدول (1): واحدهای کاری در منطقهٔ مورد مطالعه

کد و نام واحد ژئومورفولوژی		کد و نام تیپ		کد و نام واحدهای کاری		مساحت (km^2)	درصد
2 دشت سر	2-2	دشت‌سر اپانداژ	1-2-2	تراس‌های فرسایش‌یافته مارنی همراه با رگ متوسط و تراکم خیلی زیاد با چاله‌های آبگیر		238/22	26/97
			1-3-2	تراس‌های فرسایش‌یافته مارنی همراه با رگ کم توأم با کفه‌های رسی و چاله‌های آبگیر		78/83	8/92
			2-3-2	تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای		72/98	8/26
	3-2	دشت‌سر پوشیده	3-3-2	تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای جنگل‌کاری‌شده		31/56	3/57
			4-3-2	تپه‌ها و پهنه‌های ماسه‌ای مالچ‌پاشی وجنگل‌کاری‌شده		17/59	2
			5-3-2	بستر رودخانه‌ها و مسیل‌ها		7/34	0/83
			6-3-2	اراضی کشاورزی		247/56	28/02
			7-3-2	اراضی کشاورزی رهاشده و ماسه‌زار		87/16	9/86
			8-3-2	اراضی کشاورزی رهاشده شور و پف‌کرده بعضاً همراه با نبکا		52/95	6
3 پلایا	1-3	جلگه رسی	1-1-3	اراضی رسی و سیلتی نسبتاً سفت		0/95	0/1
	2-3	کویر	1-2-3	چاه‌نیمه		48/36	5/47
				جمع کل		883/5	100

برای تهیهٔ لایهٔ اطلاعاتی شاخص تعداد روزهای با شاخص طوفانی گرد و خاک امتیازات ارزیابی شدت بیابان‌زایی با استفاده از داده‌های آماری ایستگاه سینوپتیک منطقهٔ مورد مطالعه و بررسی شاخص غبارناکی (DSI) طبق رابطهٔ (1) در هر واحدکاری به‌دست آمد.

$$DSI = (5\ SD) + MD + LDF/20 \qquad (1)$$

که در آن، DSI شاخص تعداد روزهای غبارناکی، SD تعداد

روزهای طوفان گرد و خاک با قدرت دید افقی کمتر از 200 متر، MD تعداد روزهای طوفان گرد و خاک با قدرت دید افقی 200- 1000 متر، LDF تعداد روزهای غبارآلود ناشی از گرد و خاک با قدرت دید بیشتر از 1000 متر و دانسیتهٔ غبار بیش از 0/15 گرم در متر مکعب.

با توجه به امتیازات حاصل از واحدهای کاری در منطقه مورد مطالعه و براساس رابطهٔ (2)، لایه‌های اطلاعاتی (شاخص‌ها) از طریق میانگین هندسی محاسبه شد. سپس با استفاده از محیط نرم‌افزار ArcGIS 10 نقشهٔ معیار فرسایش بادی ترسیم شد.

جدول (2): شاخص‌های معیار فرسایش بادی روش IMDPA

نوع شاخص	کم 1/5 – 0	متوسط 2/5 – 1/6	شدید 3/5 – 2/6	خیلی شدید 4 – 3/6
- ظهور رخسارهٔ فرسایشی یا تعیین شدت فرسایش	بدون آثار و اشکال فرسایش بادی و آشفتگی خاک در طول سال	دارای آثار بادبردگی محدود در سطح خاک سطوح شلجمی پراکنده تشکیل سنگ‌فرش بیابان متراکم50	پهنه ماسه‌ای کلوتک پراکنده شلجمی متراکم تشکیل سنگ‌فرش کم‌تراکم	تپه ماسه‌ای فعال کلوتک‌های متراکم و نزدیک به‌هم
- امتیاز مدل فرسایش بادی IRIFR E.A.	IRIFR<25	25 <<IRIFR50	50 <<IRIFR80	IRIFR>80
- درصد پوشش غیرزنده (سنگ‌ریزه بزرگ‌تر از 2 میلی‌متر) در سطح خاک MC	MC> 80	40 <MC<80	20 <MC< 40	MC< 20
- درصد پوشش گیاهی PC	PC> 40	20 <PC<40	10 <PC< 20	PC< 10
- تعداد روزهای با شاخص طوفانی گرد و خاک DSI	DSI< 10	10 <DSI< 30	30 <DSI< 60	DSI> 60

جدول (3): شرایط امتیازبندی پارامترهای مؤثر فرسایش بادی به روش تجربی IRIFR

عامل مورد بررسی	دامنه امتیاز
سنگ‌شناسی	0 - 10
شکل اراضی، پستی و بلندی	0 - 10
سرعت و وضعیت باد	0 - 20
عامل خاک و پوشش سطح آن	15 تا -5
انبوهی پوشش گیاهی	15 تا -5
آثار فرسایشی سطح خاک	20 تا -5
رطوبت خاک	0 - 10
نوع و پراکنش نهشته‌های بادی	0 - 10
مدیریت و استفاده از زمین	15 تا 5 -

(2) فرسایش بادی = (شدت فرسایش بادی × درصد پوشش غیرزنده × درصد پوشش گیاهی × شاخص گرد و خاک)$^{1/4}$

معیار خاک

برای ارزیابی معیار خاک در روش IMDPA طبق جدول 4، چهار شاخص بافت خاک، عمق خاک، میزان سنگ‌ریزه عمقی و هدایت الکتریکی (EC) در هر واحدکاری مورد امتیازدهی قرار گرفت. لایه‌های اطلاعاتی با توجه به امتیازات حاصل از واحدهای کاری در منطقهٔ مورد مطالعه به‌دست آمد. براساس رابطهٔ (3)، معیار خاک ارزیابی و در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10، نقشه معیار خاک ترسیم شد.

جدول (4): شاخص‌های معیار خاک روش IMDPA

نوع شاخص	کم 1/5 – 0	متوسط 2/5 – 1/6	شدید 3/5 – 2/6	خیلی شدید 4 – 3/6
بافت خاک	رسی و لوم رسی	لوم ریز	لوم درشت	شنی و لوم شنی
عمق خاک (سانتی متر)	>80	50 - 80	20 - 50	<20
میزان سنگ‌ریزه عمقی (درصد)	<15	15 - 35	35 - 75	>75
هدایت الکتریکی (دسی‌زیمنس بر متر)	<5	5 - 8	9 - 16	>16

(3) خاک = (هدایت الکتریکی خاک × میزان سنگ‌ریزه عمقی × عمق خاک × بافت خاک)$^{1/4}$

معیار اقلیم

لایه‌های اطلاعاتی شاخص‌های اقلیم شامل میزان بارش، شاخص خشکی و استمرار خشکسالی از داده‌های هواشناسی به‌دست می‌آید. نکتهٔ قابل تأمل برآورد شاخص خشکی (UTI) است، به‌طوری‌که تعیین شاخص خشکی با استفاده از شاخص خشکی دانشگاه تهران UTI (با الهام از شاخص BGI) صورت گرفت (رابطهٔ 4).

$$UTI= 1.90 \times 10^{-3} Y^{2} + 1.23Y - 124 \quad Y= -96.19 \text{ Ln } (x) +404.67 \qquad (4)$$

که در آن، Y رابطهٔ میان شاخص خشکی دومارتن، BGI برای شرایط ایران، x شاخص خشکی دومارتن و UTI شاخص خشکی تهران است.

ارزیابی و تهیهٔ نقشه معیار اقلیم با توجه به بررسی شاخص‌های میزان بارش، شاخص خشکی و استمرار خشکسالی براساس جدول 5 و از رابطهٔ (5)، و در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10 حاصل شد.

جدول (5): شاخص‌های معیار اقلیم روش IMDPA

نوع شاخص	کم 1/5 – 0	متوسط 2/5 – 1/6	شدید 3/5 – 2/6	خیلی شدید 4 – 3/6
میزان بارش سالانه	>280	150 - 280	75 - 150	<75
شاخص خشکی UTI	150 - 180	120 - 150	90 - 120	0 - 90
استمرار خشکسالی (سال)	3 - 4	5 - 6	6 - 7	>7

(5) اقلیم = (استمرار خشکسالی × شاخص خشکی × میزان بارش)$^{1/3}$

معیار پوشش گیاهی

معیار پوشش گیاهی طبق جدول 6، حاصل از سه شاخص وضعیت پوشش گیاهی، بهره‌برداری پوشش گیاهی و تجدید پوشش گیاهی از طریق عملیات میدانی با توجه به شرایط موجود در هر واحدکاری بررسی و امتیازدهی شد. نتیجهٔ ارزیابی حاصل از لایه‌های اطلاعاتی شاخص‌های مطرح‌شده با توجه به رابطهٔ 6، معیار پوشش گیاهی مورد ارزیابی قرار گرفت. با استفاده از محیط نرم‌افزار ArcGIS 10، نقشهٔ معیار پوشش گیاهی در منطقهٔ مورد مطالعه به‌دست آمد.

جدول (6): شاخص‌های معیار پوشش گیاهی روش IMDPA

نوع شاخص	کم 1/5 – 0	متوسط 2/5 – 1/6	شدید 3/5 – 2/6	خیلی شدید 4 – 3/6
وضعیت پوشش گیاهی	گونه‌های مهاجم کمتر از 5 درصد ترکیب گیاهی را تشکیل می‌دهد و کمتر از 25 درصد ترکیب گیاهی از گونه‌های یک‌ساله است.	گونه‌های مهاجم 20-5 درصد از ترکیب گیاهی را تشکیل داده و 50-25 درصد ترکیب گیاهی منطقه از گیاهان یک‌ساله است.	گونه‌های مهاجم 50-20 درصد از ترکیب گیاهی را تشکیل داده و بیشتر پوشش گیاهی منطقه یک‌ساله است.	گونه‌های مهاجم بیش از 50 درصد از ترکیب گیاهی را تشکیل داده و پوشش گیاهان منطقه از گیاهان یک‌ساله است.
بهره‌برداری پوشش گیاهی	درصد پوشش تاجی دائمی بیش از 100-85 درصد آثار بوته‌کنی مشاهده نمی‌شود.	درصد پوشش تاجی دائمی 30-15 درصد قطع بوته‌ها، درختچه‌ها و درختان نسبتاً زیادتر از بیوماس سالانه	درصد پوشش تاجی دائمی 15-5 درصد قطع بوته‌ها، درختچه‌ها و درختان زیاد و کاملاً محسوس	درصد پوشش تاجی گیاهان کمتر از 5 درصد قطع بی‌رویه بوته‌ها، درختان و درختچه‌ها در حال حاضر و یا گذشته نه چندان دور
تجدید پوشش گیاهی	چرای متعادل یا کمتر از ظرفیت و در فصل مناسب تجدید حیات به‌طور طبیعی انجام می‌شود. نیازی به عملیات اصلاحی نیست.	مازاد دام تا 25 درصد بیش از ظرفیت چرا تجدید حیات با هزینه کم امکان‌پذیر است. عملیات احیای پوشش تاکنون مؤثر بوده است.	مازاد دام 25 تا 50 درصد بیش از ظرفیت چرا تجدید حیات با هزینه زیاد امکان پذیر است. عملیات اصلاحی انجام شده نسبتاً موفق بوده است.	مازاد دام بیش از 50 درصد بیشتر از ظرفیت چرا تجدید حیات پوشش گیاهی بسیار مشکل یا غیرممکن و غیرقابل توجیه اکولوژیکی - اقتصادی است. عملیات اصلاح و احیای پوشش تاکنون موفق نبوده است.

(6) معیار پوشش گیاهی = (تجدید پوشش گیاهی × بهره‌برداری پوشش گیاهی × وضعیت پوشش گیاهی)$^{1/3}$

تعیین پتانسیل بیابان‌زایی

برای تعیین کلاس‌های شدت بیابان‌زایی و ارزش عددی شاخص‌ها در روش IMDPA، دامنهٔ امتیازها منطبق با جدول ارزیابی شاخص‌های بیابان‌زایی ناشی از چهار معیار فرسایش بادی، خاک، پوشش گیاهی و اقلیم است و در روش فوق، ارزیابی شدت بیابان‌زایی طبق جدول 7، در چهار کلاس کم، متوسط، شدید و خیلی شدید طبقه‌بندی شده است.در نهایت، با توجه به امتیازات داده‌شده براساس جدول 7، پتانسیل شدت بیابان‌زایی در هر واحدکاری، از طریق میانگین هندسی ارزش لایه‌ها محاسبه شد، به‌طوری‌که ارزش چهار لایهٔ اطلاعاتی درهم ضرب شده و ریشهٔ چهارم آن‌ها گرفته شد (رابطهٔ 7). نقشهٔ پتانسیل بیابان‌زایی در منطقهٔ مورد مطالعه در محیط نرم‌افزار ARCGIS 10 ترسیم شد.

جدول (7): طبقه‌بندی کلاس‌های شدت بیابان‌زایی روش IMDPA

درجه کیفی کلاس بیابان‌زایی	درجه کمی کلاس بیابان‌زایی	علامت
کم	1/5 – 0	I
متوسط	2/5 - 1/6	II
شدید	3/5 - 2/6	II
خیلی شدید	4 - 3/6	IV

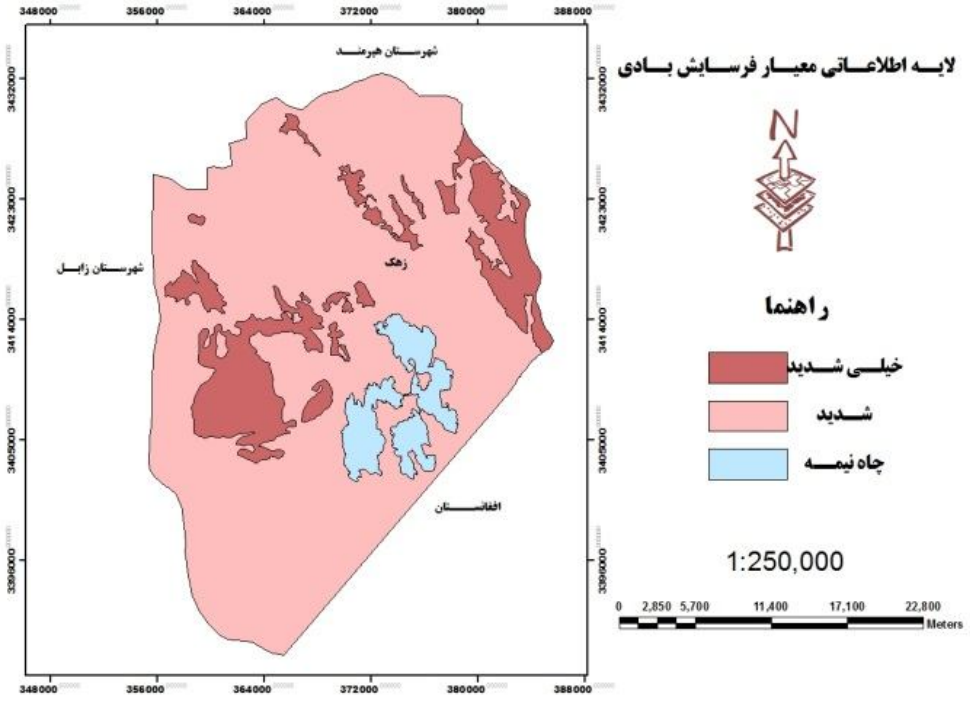
(7) پتانسیل بیابان‌زایی = (معیار اقلیم × معیار پوشش گیاهی × معیار خاک × معیار فرسایش بادی)$^{1/4}$

نتایج

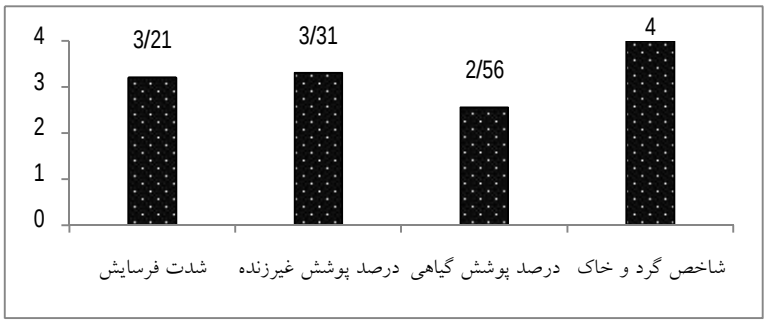
بررسی پتانسیل بیابان‌زایی با استفاده از روش IMDPA در منطقهٔ زهک حاصل از امتیازدهی شاخص‌ها در واحدهای کاری و ایجاد لایه‌های اطلاعاتی و تلفیق آن‌ها از طریق میانگین هندسی، براساس شکل‌های 2 تا 11 استخراج شد.

معیار فرسایش بادی

معیار فرسایش بادی با تعیین لایه‌های اطلاعاتی چهار شاخص ارزیابی فرسایش بادی، با محاسبهٔ میانگین هندسی لایه‌های اطلاعاتی ضمن کلاس‌بندی شدت بیابان زایی براساس جدول 7، معیار فرسایش بادی در منطقهٔ موردبررسی طبق شکل 2 ترسیم شد، به‌طوری‌که عرصهٔ مورد نظر در سطح 74/48 درصد معادل 62205 هکتار در کلاس شدید و در سطح 25/52 درصد معادل 21309 هکتار در کلاس خیلی شدید بیابان‌زایی طبقه‌بندی شد. با بررسی شکل 3، شاخص تعداد روزهای طوفانی گرد و خاک (DSI) با ارزش عددی 4، دارای بیشترین تأثیر از لحاظ معیار فرسایش بادی ارزیابی شد. از لحاظ معیار فرسایش بادی، میانگین وزنی برای کل منطقهٔ مورد مطالعه با ارزش عددی 3/25 در شدت بیابان‌زایی شدید طبقه‌بندی شد.



شکل (2): نقشهٔ معیار فرسایش بادی منطقهٔ زهک

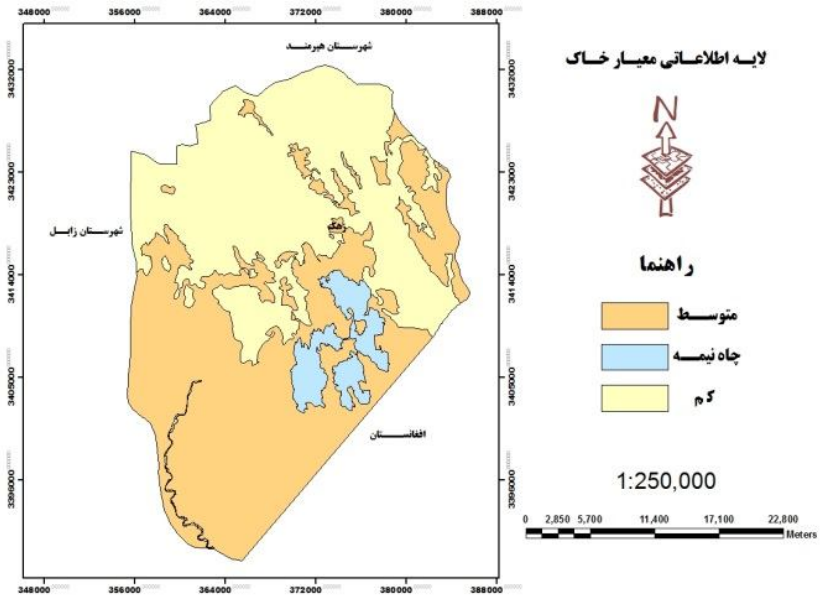


شکل (3): متوسط وزنی شاخص‌های مؤثر بر معیار فرسایش بادی

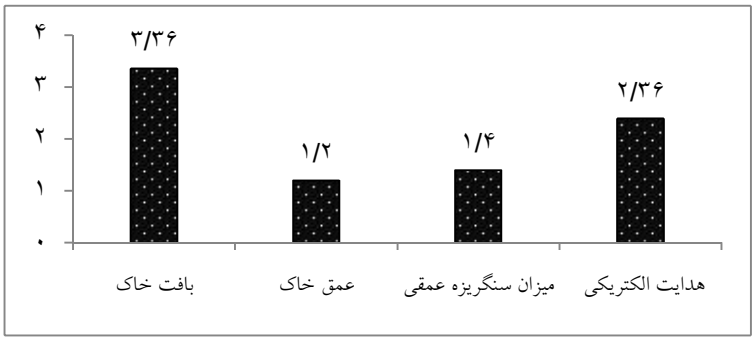
معیار خاک

حاصل هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی، نقشهٔ معیار خاک براساس شکل 4 ترسیم شد. ارزیابی نقشهٔ خاک در منطقهٔ مورد مطالعه، نشانگر دو کلاس کم 46/84 درصد (39121 هکتار) و متوسط حدود 53/16 درصد (44393 هکتار) است.

با بررسی نتایج حاصل از شاخص‌های خاک (شکل 5) شاخص بافت خاک با ارزش عددی 3/36 بیشترین اثر در بیابانی‌شدن ناشی از معیار خاک را داراست. متوسط وزنی معیار خاک در کل منطقهٔ مورد بررسی 1/68 در طبقهٔ متوسط شدت بیابان‌زایی برآورد شد.



شکل (4): نقشهٔ معیار خاک منطقه زهک

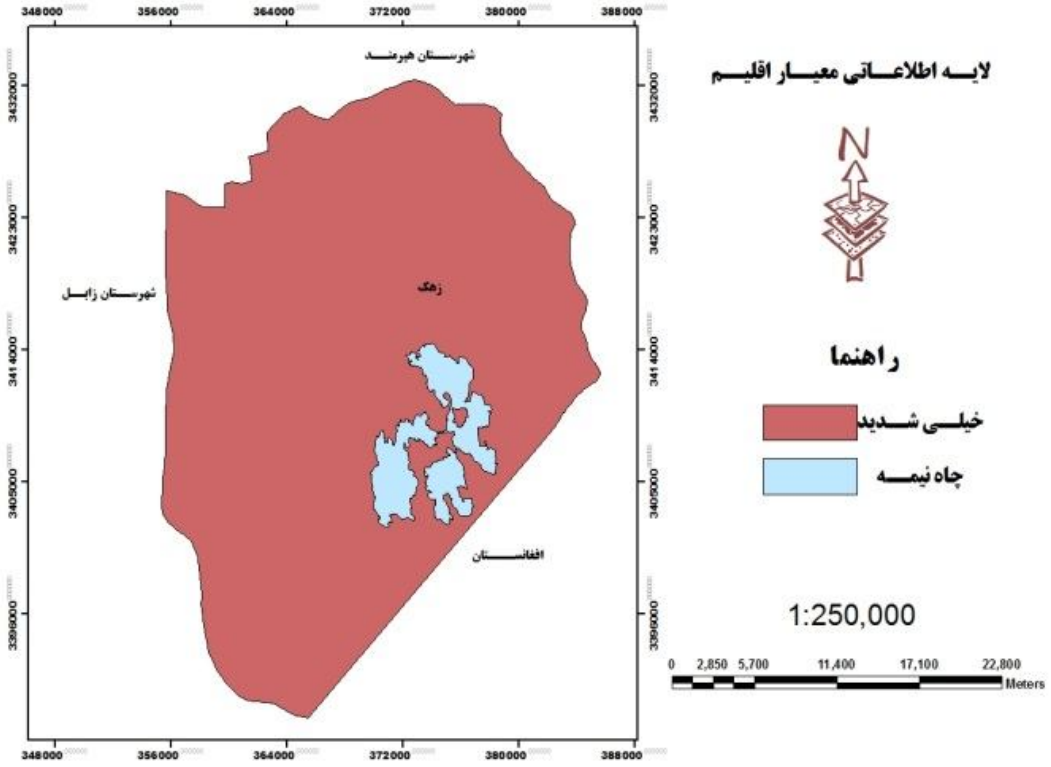


شکل (5): متوسط وزنی شاخص‌های مؤثر بر معیار خاک

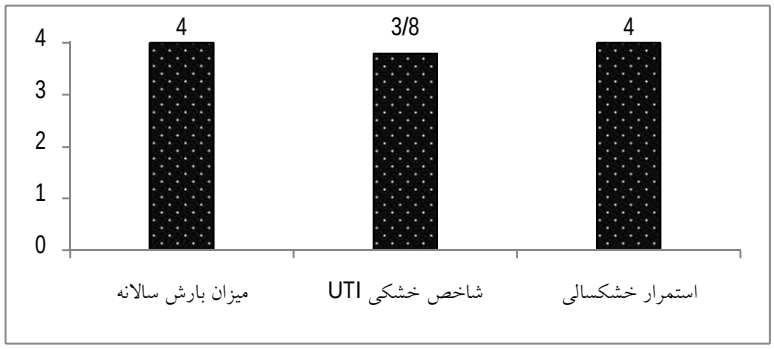
معیار اقلیم

معیار اقلیم از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی طبق شکل 6 به‌دست آمد. لایه‌های اطلاعاتی معیار اقلیم، در واحدهای کاری منطقه در کلاس خیلی شدید است. تمامی عرصهٔ مورد نظر، به‌طور 100 درصد (83514 هکتار) تحت تأثیر بیابان‌زایی ارزیابی شد.

براساس شکل 7، شاخص‌های میزان بارش سالانه و استمرار خشکسالی با توجه به وزش مداوم باد با سرعت بالا به‌خصوص در فصول خشک سال، در همهٔ واحدهای کاری منطقهٔ مورد بررسی، با ارزش عددی 4 برآورد شد. میانگین وزنی معیار اقلیم برای کل منطقهٔ مورد مطالعه، 3/88 در کلاس خیلی شدید بیابان‌زایی طبقه‌بندی شد.



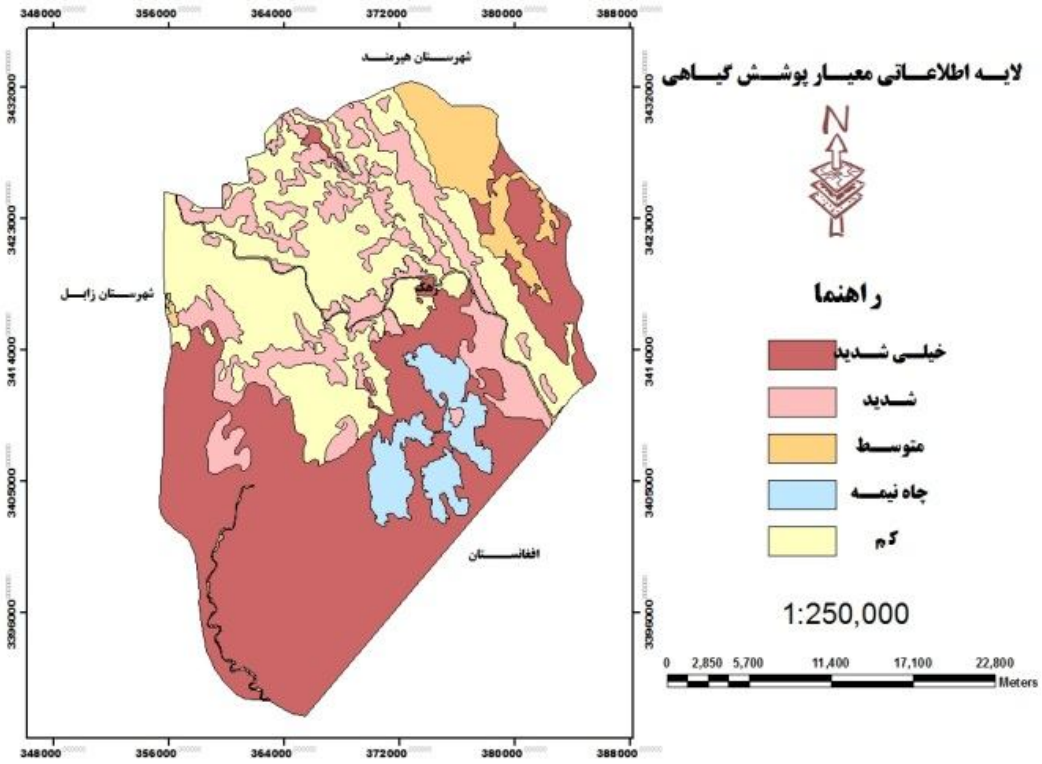
شکل (6): نقشهٔ معیار اقلیم منطقه زهک



شکل (7): متوسط وزنی شاخص‌های مؤثر بر معیار اقلیم

معیار پوشش گیاهی

شکل 8 حاصل همپوشانی لایه‌های اطلاعاتی معیار پوشش گیاهی است. نتایج بیانگر شدت بیابان‌زایی شاخص‌های مزبور در چهار کلاس است، به‌طوری‌که در سطح 29/65 درصد (24756 هکتار) در کلاس کم، حدود 6/76 درصد (5649 هکتار) در کلاس متوسط، حدود 16/89 درصد (14106 هکتار) در کلاس شدید و حدود 46/7 درصد (39003 هکتار) در کلاس خیلی شدید در منطقهٔ مورد بررسی طبقه‌بندی شد. با بررسی نتایج حاصل از ارزیابی لایه‌های اطلاعاتی، معیار پوشش گیاهی (شکل 9)، شاخص وضعیت پوشش گیاهی با ارزش عددی 2/89 بیشترین تأثیر را در پتانسیل بیابان‌زایی نشان می‌دهد. متوسط وزنی معیار پوشش گیاهی در کل منطقهٔ مورد بررسی 2/56 در کلاس متوسط شدت بیابان‌زایی قرار گرفت.



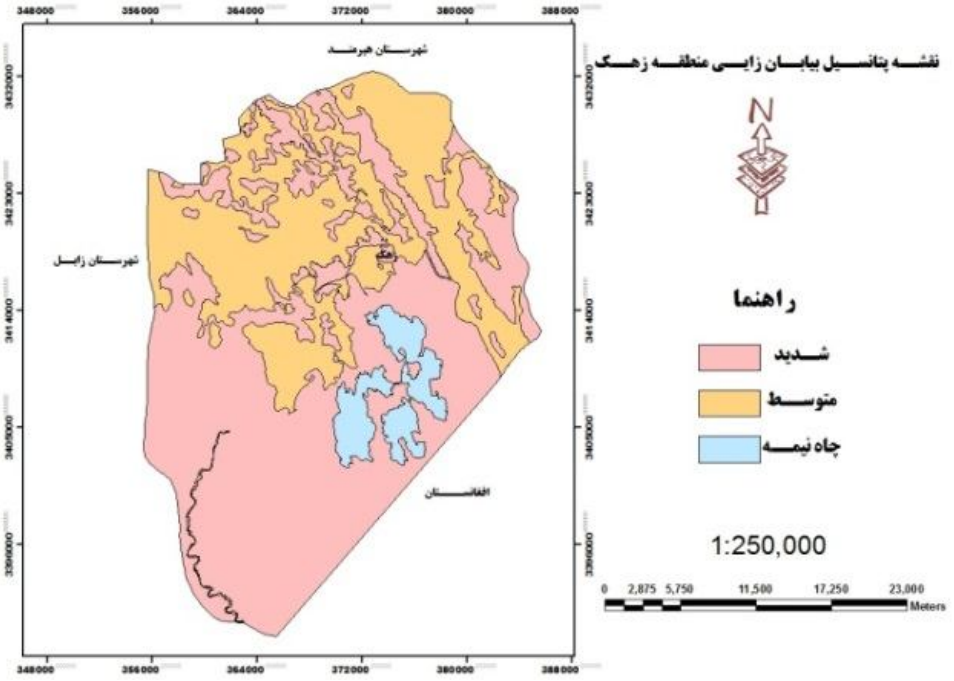
شکل (8): نقشهٔ معیار پوشش گیاهی منطقهٔ زهک

شکل (9): متوسط وزنی شاخص‌های مؤثر بر معیار پوشش گیاهی

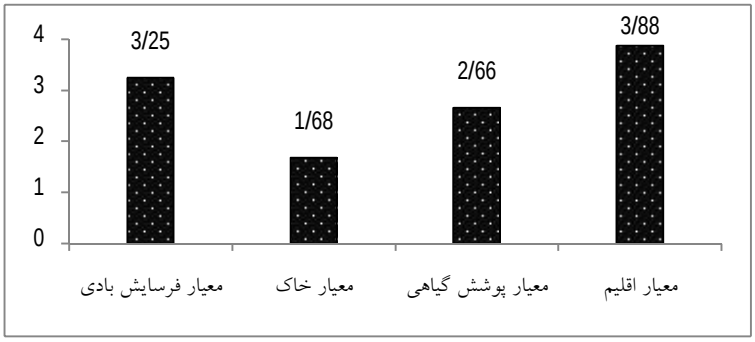
تعیین پتانسیل بیابان‌زایی

از هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی معیارهای فرسایش بادی، خاک، پوشش گیاهی و اقلیم، نقشهٔ پتانسیل بیابان‌زایی (شکل 10) منطقه مورد مطالعه به‌دست آمد. منطقهٔ تحت بررسی از حیث شدت بیابان‌زایی در دو کلاس متوسط در حدود 36/4 درصد (30405 هکتار) و شدید در سطح 63/6 درصد (53109 هکتار) در منطقه طبقه‌بندی شد.

ارزیابی ارزش عددی معیارهای مورد بررسی در شکل 11 نشان می‌دهد معیار اقلیم با ارزش عددی 3/88 مؤثرترین عامل در شدت بیابان‌زایی منطقهٔ مورد بررسی است. متوسط وزنی پتانسیل بیابان‌زایی در کل منطقهٔ مورد بررسی 2/74 در کلاس شدید شدت بیابان‌زایی قرار گرفت.



شکل (10): نقشهٔ پتانسیل بیابان‌زایی منطقه زهک



شکل (11): متوسط وزنی معیارهای مؤثر بر پتانسیل بیابان‌زایی

بحث و نتیجه‌گیری

ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی در این تحقیق، با توجه به معیارهای فرسایش بادی، خاک، پوشش گیاهی و اقلیم در قالب مدل ایرانی IMDPA مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی و مقایسهٔ نتایج حاصل از معیارهای فرسایش بادی، خاک، اقلیم، پوشش گیاهی و پتانسیل بیابان‌زایی (شکل‌های 2، 4، 6، 8 و 10) نشان می‌دهد در معیار خاک عرصه‌های دارای شدت‌های بیابان‌زایی کم و متوسط هستند. در معیار پوشش گیاهی همان عرصه‌ها از لحاظ شدت بیابان‌زایی در طبقه‌های متوسط تا خیلی شدید قرار دارند. بررسی در معیار فرسایش بادی، عرصه‌های پوشش گیاهی تخریب‌یافته از لحاظ شدت بیابان‌زایی در طبقهٔ خیلی شدید است. عامل حفاظتی پوشش گیاهی روی خاک باعث می‌شود تا زمانی‌که پوشش گیاهی تخریب نشود، سطح خاک از فرسایش و تخریب مصون بماند. ازآنجایی‌که بیابان‌زایی یعنی نابودی پوشش گیاهی که در نواحی بسیار خشک، نتایجی چون فرسایش خاک و ایجاد طوفان‌های ماسه‌ای و گرد و غباری به‌وسیلهٔ باد را در پی دارد (کردوانی، 1380) و طبق تعریف بیابان‌زایی از بهم خوردن تعادل خاک، پوشش گیاهی، هوا و آب در مناطق دارای اقلیم خشک است. استمرار این کاهش یا نابودی کامل توان بیولوژیک اراضی، از بین رفتن شرایط مساعد زندگی و افزایش مناظر ناخوشایند بیابانی را در پی خواهد داشت (مشکوه، 1377)؛ لذا با ادامهٔ شرایط خشکسالی، وزش طوفان‌های شدید، تخریب پوشش گیاهی و خاک در منطقهٔ مورد مطالعه با روند افزایشی بیابان‌زایی مواجهیم، به‌طوری‌که تخریب اراضی در مناطق مستعد و با قابلیت بهره‌برداری رو به گسترش است.

با توجه به بررسی پتانسیل بیابان‌زایی منطقهٔ تحت بررسی در قالب پارامترها و شاخص‌های مؤثر ناشی از چهار معیار فرسایش بادی، خاک، اقلیم و پوشش گیاهی براساس شکل‌های 3، 5، 7 و 9 شاخص گرد و خاک (DSI) در معیار فرسایش بادی و شاخص‌های بارش سالانه و استمرار خشکسالی، از عمده‌ترین عوامل بیابان‌زایی محسوب می‌شود. طی بازدیدهای انجام‌شده از منطقهٔ مورد مطالعه نشان‌دهندهٔ انطباق نتایج حاصل از تحقیق با شرایط محیطی است، به‌طوری‌که خشکسالی‌های هیدرولوژیکی پی در پی (به‌مدت 17 سال) به‌علت قطع‌شدن جریان آب در رودخانهٔ هیرمند، تنها شریان حیاتی منطقهٔ سیستان و کاهش میزان بارش‌های سالانه در منطقه و همچنین در پی وزش بادهای شدید موسمی در فصول خشک (بادهای 120 روزه سیستان) باعث مهیا شدن شرایط بیابانی با شدت زیاد در منطقه شده است. در ادامهٔ بررسی شدت بیابان‌زایی در منطقهٔ زهک عواملی از جمله شاخص‌های وضعیت پوشش گیاهی سطح خاک، بافت خاک و گسترش و تنوع رخساره‌های فرسایش بادی مبیّن غلبهٔ عوامل فرسایشی است که در درجات بعدی اهمیت پتانسیل بیابان‌زایی قرار می‌گیرند. با توجه به قرارگرفتن منطقهٔ زهک در اقلیم خشک، کمبود بارندگی باعث می‌شود که سطح خاک به‌مدت طولانی خشک باقی بماند و از طرف دیگر، عامل محدودکننده‌ای برای رشد نباتی است که هر دوی این شرایط، خاک را برای فرسایش بادی (بیابان‌زایی) مستعد می‌سازد (رفاهی، 1380)؛ لذا تدابیر مربوط به مهار شدت بیابان‌زایی همراه با عملیات اجرایی بیابان‌زدایی در منطقهٔ مورد مطالعه، باید با جدیت بیشتر صورت پذیرد.

طبق شکل 11، با تحلیل معیارهای مؤثر در پتانسیل بیابانی‌شدن منطقهٔ مورد بررسی معیار اقلیم با متوسط وزنی 3/88 در کلاس خیلی شدید، بیشترین تأثیر و معیار خاک با متوسط وزنی 1/68 در کلاس متوسط، دارای کمترین اثر در پتانسیل بیابان‌زایی منطقهٔ مورد مطالعه برآورد شد. نتایج به‌دست‌آمده از روش ایرانی IMDPA برای کل منطقهٔ مورد مطالعه شدت بیابان‌زایی با میانگین وزنی 2/74 در کلاس شدید قرار گرفت.

در روش IMDPA با توجه به شاخص‌های محدود و تلفیق آن‌ها از طریق محاسبهٔ میانگین هندسی امتیازات در واحدهای کاری و بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی، ضمن سادگی دارای کارایی مناسب و مطلوب در منطقهٔ زهک است.

با توجه به نتایج سایر تحقیقات، جهت ارزیابی شدت بیابان‌زایی در منطقهٔ زهک با تجزیه و تحلیل و تلفیق مدل‌های FAo-UNEP و MICD تلاش شد تا شاخص‌های مؤثر مبتنی بر معیارهای فرسایش آبی و بادی، براساس نوع کاربری اراضی شناسایی و مناسب‌ترین آن‌ها انتخاب شوند و در قالب یک مدل منطقه‌ای بیابان‌زایی و با توجه به ارزش عددی هریک از شاخص‌ها در هر واحدکاری و سپس در کل منطقه، مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرند. نتایج حاصل از این تحقیق، نشانگر آن است که در مدل پیشنهادی منطقه‌ای، فرسایش بادی به‌عنوان معیار غالب شدت بیابان‌زایی در عرصهٔ مورد مطالعه نقش ایفا می‌کند و از نظر شدت بیابان‌زایی، در سه کلاس متوسط، شدید و بسیار شدید قرار دارند. همچنین با محاسبه از طریق میانگین حسابی ارزش کمی در کل منطقه DS= 25/52 برآورد شد که بیانگر وجود کلاس شدید در کل منطقه است (هاشمی، 1389). در مقایسه با تحقیق حاضر، عمده‌ترین فرسایش در منطقهٔ زهک، فرسایش بادی تلقی می‌شود، به‌طوری‌که فرسایش بادی از لحاظ شدت بیابان‌زایی در کلاس شدید و دارای روند فزاینده‌ای است.

ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی با روش IMDPA در منطقهٔ سیستان با چهار معیار اقلیم، پوشش گیاهی، خاک و فرسایش بادی انجام گرفت. نتایج حاکی از آن است که معیار فرسایش بادی با ارزش عددی 1/67، بیشترین تأثیر و معیار خاک با متوسط وزنی 1/34، کم‌ترین تأثیر را در شدت بیابان‌زایی دارد. این نتایج مشابه با تحقیق حاضر است. با وجود شرایط سخت اقلیمی در منطقهٔ شاخص، تعداد روزهای با شاخص گرد و خاک بیشترین اثر و شاخص‌های مربوط به معیار خاک، کم‌ترین اثر را در پتانسیل بیابان‌زایی نشان دادند (ذوالفقاری و همکاران، 1390).

در مقایسهٔ تحقیقات فوق با تحقیق در حال بررسی، می‌توان گفت نتایج به‌دست‌آمده یکسان است و روند بیابان‌زایی از حیث شدت بیابان‌زایی در کلاس شدید و بحرانی ارزیابی می‌شود. مهم‌ترین علل این موضوع در عرصه‌های مورد ارزیابی، وجود اراضی پست و هموار در منطقه و دارا بودن خاک‌های حساس به فرسایش، به‌ویژه در شرایط بحرانی خشکسالی‌های هیدرولوژیکی سال‌های اخیر، در نتیجهٔ خشک‌شدن بستر رودخانهٔ هیرمند است که تنها منبع تأمین‌کننده آب در دشت سیستان می‌باشد و از طرفی، وزش بادهای 120 روزه که در فصول خشک (از اواخر اردیبهشت تا اواخر شهریور) با سرعت زیاد در منطقه از دلایل افزایش شدت و حساسیت منطقه به بیابان‌زایی ناشی از فرسایش بادی محسوب می‌گردد.

به‌دلیل شدت و توسعهٔ زیاد پدیدهٔ بیابان‌زایی در منطقهٔ مورد بررسی، اجرای عملیات‌های اصلاحی و احیایی ضروری است. از راهکارهای مدیریتی برای مقابله و مهار بیابان‌زایی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

عملیات مکانیکی (مالچ‌پاشی) و بیولوژیکی (بذرپاشی و نهال‌کاری)، احداث بادشکن‌های سبز یا غیرزنده در اطراف مزارع، رعایت عملیات صحیح و به‌کارگیری فنّاوری‌های نوین مناسب با اراضی کشاورزی و اقدام به جلوگیری از بهره‌برداری‌های بی‌رویه، محدودکردن عملیات شخم و بوته‌کنی در اراضی حساس به بیابان‌زایی و اجرای پروژهٔ پخش سیلاب به‌طور مصنوعی (در مواقع پرآبی منطقه، از طریق پمپاژ آب به‌وسیلهٔ نصب موتورپمپ‌ها برروی شاخه‌های فرعی رودخانه سیستان) در اراضی مستعد به فرسایش بادی در منطقهٔ زهک (هاشمی و جوادی، 1391).

منابع

1. احمدی، حسن، 1385. کالیبراسیون (واسنجی) معیارها و شاخص‌های ارزیابی بیابان‌زایی در ایران مدل IMDPA، مطالعه موردی: شرق اصفهان. دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
2. احمدی، حسن، اختصاصی محمدرضا، گلکاریان، علی و ابریشم الهام السادات، 1385. ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی با استفاده از مدل مدالوس تغییر یافته در منطقه فخر آباد- مهریز (یزد). مجله منابع طبیعی ایران، 59 (3): 519-532.
3. احمدی، حسن، عباس‌آبادی، محمدرضا، اونق، مجید و اختصاصی، محمدرضا، 1379. ارزیابی کمّی بیابان‌زایی جهت ارائه یک مدل منطقه‌ای مطالعه موردی؛ دشت آق قلا و گمیشان در استان گلستان. مجله منابع طبیعی ایران، 54 (1): 3-22.
4. ذوالفقاری، فرهاد، شهریاری، علیرضا، فخیره، اکبر، راشکی، علیرضا نوری، سهیلا و خسروی، حسن، 1390. ارزیابی شدت بیابان‌زایی دشت سیستان با استفاده از مدل IMDPA. مجله پژوهش و سازندگی، 91 (2): 97-107.
5. رفاهی، حسینقلی، 1380. فرسایش بادی و کنترل آن، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، 320ص.
6. زهتابیان، غلامرضا، جوادی، محمدرضا، احمدی، حسن و آذرنیوند، حسین، 1385. بررسی اثر فرسایش بادی در افزایش شدت بیابان‌زایی و ارائه مدل منطقه‌ای بیابان‌زایی در حوزه آبخیز ماهان. مجله پژوهش و سازندگی، 73 (4): 65-75.
7. شاکریان، نوشین و زهتابیان، غلامرضا، 1389. محاسبه شدت فرسایش بادی و میزان رسوب‌دهی منطقه جرقویه اصفهان با استفاده از مدلIRIFR. دومین همایش ملی فرسایش بادی و طوفان‌های گرد و غبار، 27 و 28 بهمن ماه 1389، دانشگاه یزد، یزد. 7 ص.
8. کردوانی، پرویز،1380. خشکسالی و راه‌های مقابله با آن، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، 392ص.
9. مشکوه، محمدعلی، 1377. روشی موقت برای ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، 104ص.
10. هاشمی، زهره و جوادی، محمدرضا، 1391. بررسی عوامل مؤثر و راهکارهای مهار و کنترل بیابان‌زایی ناشی از فرسایش بادی در منطقه زهک سیستان، اولین همایش ملی بیابان (علوم، فنون و توسعه پایدار)، 27 و 28 خرداد ماه 1391، دانشگاه تهران، تهران. 12ص.
11. هاشمی، زهره، 1389. ارائه یک مدل منطقه‌ای جهت ارزیابی شدت بیابان‌زایی در منطقه زهک با استفاده از مدل‌های FAO-UNEP و MICD، پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه زابل، 139ص.
12. ناطقی، سعیده، زهتابیان، غلامرضا و احمدی، حسن، 1388. ارزیابی شدت بیابان‌زایی دشت سگزی با بهره‌گیری از مدل IMDPA. مجله مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، 62 (3): 419-430.
13. Afifi, A.A., Gad, A., 2011. Assessment and Mapping Areas Affected by Soil Erosion and Desertification in the North Costal Part of Egypt, Internationa Journal of Water Resources and Arid Environments. 1 (2): 83-91.
14. Giordano, L., Giordano, F., Grauso, S., Iannetta, M., Sciortino, M., Bonnati, G., Borfecchia, F., Cecco, L.de., Felici, F., Martini, S., and Schino, G..Proc., 2002.Desertification Vulnerability in Sicily (Southern Italy). 2nd Int. conf. on new Trend in water and Environmental Engineering for Safety and Life: Eco-compatible solutions for Aquatic Environments. June 24 – 28.
15. Yonghuan, M., Shengyue, F., Lihue, Z., Zhao yang, D., Zhang, K., Feng, J., 2005. The Temporal Change of Driving Factors During the Course of Land Desertification in Arid Region of North China: the case of Minqin County. Environmental Journal. 51 (6): 999 – 1008.