مجله علمی‌پژوهشی مهندسی اکوسیستم بیابان

دورهٔ ۱۳، شمارهٔ ۲ (پیاپی ۴۳)، تابستان ۱۴۰۳، صفحه ۴۳ـ۶۰

مقاله پژوهشی

ارزیابی بیابان‌زایی و ارزشیابی مکانی بیابان‌زایی (منطقهٔ موردی: شهرستان سراوان، استان سیستان و بلوچستان)

آسیه پاهنگ،[۱] چوقی بایرام کمکی،[۲*] فرهاد ذوالفقاری،[۳] حمیدرضا عسگری،[۴] حبیب نظرنژاد[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۳ **تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲**

چکیده

بیابان‌زایی یکی از جدی‌ترین تهدیدات منابع طبیعی، به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که از عوامل طبیعی و انسانی ناشی می‌شود. این مطالعه به ارزیابی شدت بیابان‌زایی در شهرستان سراوان، با اقلیم خشک و چالش‌های زیست‌محیطی، با استفاده از مدل MEDALUS پرداخته است. داده‌های اقلیمی، خاک، پوشش گیاهی، مدیریت زمین، فرسایش بادی و عمق آب زیرزمینی بررسی شدند. یافته‌ها نشان داد پوشش گیاهی ضعیف، به‌ویژه ناشی از چرای بی‌رویه و خشکسالی، و همچنین اقلیم، مهم‌ترین عوامل بیابان‌زایی هستند. خاک‌های با زهکشی ضعیف و محتوای بالای سنگریزه بیشتر آسیب‌پذیرند و مدیریت نادرست زمین مانند آبیاری نامناسب، وضعیت را وخیم‌تر کرده است. فرسایش بادی از متوسط تا بسیار شدید متغیر بوده و نیاز به اقدامات کنترلی را آشکار می‌کند. کاهش عمق آب زیرزمینی، به‌ویژه در مناطق غربی، ضرورت مدیریت پایدار منابع آبی را برجسته می‌کند. تحلیل تناسب اراضی با سیستم LESA نشان داد که مناطق کشاورزی و مسکونی در معرض شدید بیابان‌زایی قرار دارند، درحالی‌که مراتع برای استفاده پایدار مناسب‌ترند. مدل MEDALUS همراه با داده‌های GIS و سنجش از دور ابزار مؤثری برای ارزیابی بیابان‌زایی و طراحی راهبردهای کاهش اثرات آن ارائه کرد. این مطالعه بر اهمیت مدیریت پایدار زمین، مشارکت جامعهٔ محلی و پایش مداوم برای مقابله با بیابان‌زایی و حفظ سلامت اکولوژیکی شهرستان سراوان تأکید دارد.

کلیدواژه‌ها: مدل مدالوس، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل‌سازی، بیابان‌زایی.

---

۱. کارشناس‌ارشد مدیریت و کنترل بیابان، گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۲. استادیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان. komaki@gau.ac.ir

۳. استادیار مجتمع آموزش عالی سراوان.

۴. دانشیار گروه مدیریت مناطق بیابانی، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

۵. دانشیار گروه مدیریت آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.

• این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان است.

DOI: 10.22052/deej.2025.255707.1082

مقدمه

بیابان‌زایی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک است که به‌دلیل عوامل انسانی و تغییرات اقلیمی به تخریب زمین‌ها منجر می‌شود و پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی گسترده‌ای به همراه دارد (امبوو[1] و همکاران، ۲۰۱۷؛ ورون[2] و همکاران، ۲۰۰۶). شهرستان سراوان در استان سیستان و بلوچستان، با اقلیم خشک، بارندگی کم و فشارهایی همچون چرای بی‌رویه، برداشت ناپایدار آب زیرزمینی و کشاورزی نامناسب، ازجمله مناطقی است که به‌شدت در معرض بیابان‌زایی قرار دارد (خوشنودی‌فر و همکاران، ۲۰۲۳). تخریب اراضی، کاهش منابع آبی و فرسایش خاک تحت‌تأثیر بهره‌برداری ناپایدار و تغییرات اقلیمی، این منطقه را به یکی از کانون‌های بحرانی بیابان‌زایی تبدیل کرده است (ریگی[3] و همکاران، ۲۰۱۷؛ یوسفی و همکاران، ۲۰۲۳؛ اکبری و همکاران، ۲۰۰۷؛ فرزانه و همکاران، ۲۰۲۲). با توجه به گسترش بیابان‌زایی و پیامدهای آن بر کشاورزی، معیشت مردم و پایداری اکولوژیک، شناسایی عوامل مؤثر و ارزیابی شدت و گسترهٔ این پدیده ضروری است. استفاده از فناوری‌های مکانی مانند سامانه اطلاعات مکانی و سنجش از دور و مدل‌های بیابان‌زایی نظیر مدالوس (MEDALUS[4]) می‌تواند به شناسایی مناطق حساس و ارائهٔ راهکارهای مدیریتی مؤثر کمک کند (آرخی[5] و کمکی، ۲۰۱۵؛ گابریل[6] و همکاران، ۲۰۲۳؛ نظرنژاد و همکاران، ۲۰۱۹؛ شیرگیر و مسعودی، ۲۰۲۱). تحقیقات انجام‌شده در ایران و جهان، اهمیت این موضوع را تأیید می‌کنند. برای مثال، درویش (۲۰۰۳) معیارها و شاخص‌های ارزیابی بیابان‌زایی را تدوین کرده و بر ضرورت استفاده از روش‌های نوین و داده‌های مکانی تأکید داشته است.

در منطقهٔ سراوان، مطالعات نشان داده‌اند که مناطق مکسوخته و روتک به‌دلیل اقلیم نامناسب و فرسایش بادی به‌شدت آسیب‌پذیرند (ریگی و همکاران، ۲۰۱۷). همچنین، مدل‌های ارزیابی بیابان‌زایی در این منطقه حاکی از آن است که بیش از ۵۰ درصد اراضی تحت‌تأثیر بیابان‌زایی شدید قرار دارند و اقلیم و مدیریت ناکارآمد منابع طبیعی، عوامل اصلی این بحران هستند (احمدی و همکاران، ۲۰۲۲؛ کرامت‌زاده و همکاران، ۲۰۲۲). در سایر نقاط ایران، نظیر حوزه‌های آبخیز جازموریان و اترک، مدل‌های IMDPA[7] و ESA[8] نیز خاک و پوشش گیاهی را به‌عنوان عوامل اصلی بیابان‌زایی معرفی کرده‌اند (بخشی و همکاران، ۲۰۱۶؛ ممبنی و همکاران، ۲۰۱۶). در دشت شمیل هرمزگان، مدل مدالوس نشان داده است که اقلیم عامل اصلی بیابان‌زایی است (عباسی و همکاران، ۲۰۱۴). در سطح جهانی نیز، مدل‌هایی نظیر ESA و DIS4ME در مناطقی مانند شمال آفریقا، خاورمیانه و جنوب آسیا برای شناسایی شدت و عوامل بیابان‌زایی به کار رفته‌اند (عجاج[9] و همکاران، ۲۰۱۷؛ بودجم‌لاین و سمر،[10] ۲۰۱۸؛ داکار[11] و همکاران، ۲۰۱۳؛ هدیل[12] و همکاران، ۲۰۱۰) همچنین، سیستم‌هایی مانند LESA و MEDALUS به‌عنوان ابزارهای اصلی ارزیابی اراضی معرفی شده‌اند. LESA بر حفاظت از زمین‌های کشاورزی تمرکز دارد (استاینر،[13] ۱۹۸۷؛ استاینر و همکاران، ۱۹۸۴؛ هندبوک،[14] ۲۰۱۱)، درحالی‌که MEDALUS برای شناسایی مناطق حساس به بیابان‌زایی در مناطق مدیترانه‌ای طراحی شده است (فرارا[15] و همکاران، ۲۰۲۰؛ اکبری و همکاران، ۲۰۰۷؛ آرخی و کمکی، ۲۰۱۵)؛ بااین‌حال، هر دو سیستم محدودیت‌هایی دارند. ترکیب قابلیت‌های این دو سیستم در قالب مدلی یکپارچه، که عواملی مانند آب‌وهوا، خاک، پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی را مد نظر قرار دهد، می‌تواند به‌عنوان راهکاری جامع برای ارزیابی و مدیریت تخریب زمین مطرح شود. هدف این پژوهش، ارزیابی شدت بیابان‌زایی در شهرستان سراوان و توسعهٔ مدلی یکپارچه است

1. Mbow
2. Verón
3. Rigi
4. Mediterranean Desertification and Land Use
5. Arekhi
6. Gabriele
7. Iranian Model for Desertification Potential Assessment
8. Environmental Sensitive Area
9. Ajaj
10. Boudjemline & Semar
11. Dhakar
12. Hadeel
13. Steiner
14. Handbook
15. Ferrara

کـه بتوانـد بـا ارائـهٔ راهکارهـای مـدیریتی، بـه کـاهش اثـرات بیابان‌زایی در این منطقه کمک کند.

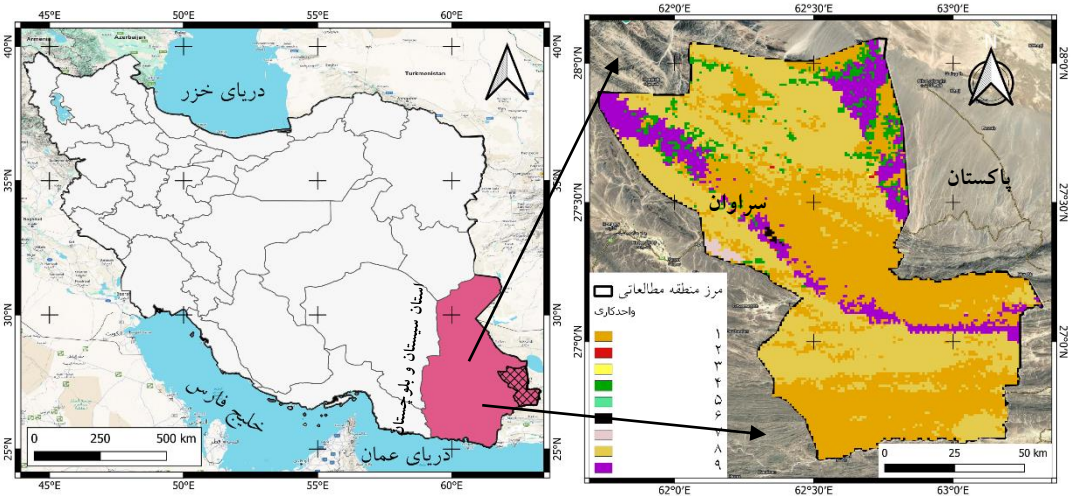
با توجه به اینکه بیابان‌زایی بـه‌عنـوان یکـی از چـالش‌هـای زیست‌محیطی شهرستان سراوان، تأثیر عمیقی بـر منـابع طبیعـی، اقتصادی و اجتماعی مناطق خشک و نیمـه‌خشـک دارد، تحلیـل عوامل مؤثر بر بیابان‌زایی و تعیین مناطق حساس به ایـن پدیـده، گامی مـؤثر در مـدیریت پایـدار محـیط‌زیسـت اسـت. در ایـن پژوهش، فرضیات زیر مورد بررسی قرار گرفت:

- اقلیم بـه‌عنـوان یکـی از معیارهـای اصـلی، بیشـترین اهمیت را در شدت بیابان‌زایی منطقه دارد.
- اراضـی شهرسـتان سـراوان حساسـیت بـالایی بـه بیابان‌زایـی دارنـد و بخـش عمـده‌ای از آن در طبقـهٔ بحرانی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه در این پژوهش بـا وسـعت ۱۲۸۲۱ کیلـومتر مربع در ۱۵۰ کیلومتری مرکز شهرستان سـراوان و در مجـاورت مرز ایران و پاکستان قرار دارد؛ این منطقه مابین مختصـات طـول جغرافیایی ´ ۶۲°۲۹ تا ´۴۷ °۶۲ شرقی و عرض جغرافیـایی ´۰۰ °۲۸ تا ´۱۶ °۲۸ شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). ایـن منطقـه دارای رژیم بارندگی مدیترانه‌ای است که بیشـترین بـارش‌هـا در فصل سرد سال رخ می‌دهـد و میـانگین دمـای سـالیانه آن ۲۲/۱ درجهٔ سانتی‌گراد است.

بـرای جمـع‌آوری اطلاعـات، بـه همـهٔ ادارات دولتـی و نیمه‌دولتی مراجعه شد تا مناسب‌ترین داده‌ها گردآوری شود. این داده‌هـا شـامل اطلاعـات هواشناسـی (در بـازهٔ زمـانی ۱۳۸۱ تـا ۱۴۰۱)، نقشه‌های کاربری اراضی، زمین‌شناسی، شوری خـاک و کیفیت آب‌های سطحی و زیرزمینی منطقه بـوده اسـت. در ایـن تحقیق، نقشهٔ واحدهای کاری با ترکیب نقشه‌های زمین‌شناسـی، شیب و پوشش اراضی منطقه در محیط ArcGIS 10.4 تهیه شـد (جدول ۱ و شکل ۲). همچنین بـرای بهبـود دقـت، از تصـاویر Google Earth برای بازنگری و اصلاح نقشـه‌هـا اسـتفاده شـده است.



شکل (۱): موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه در ایران و استان سیستان و بلوچستان و واحدکاری منطقهٔ مورد مطالعه

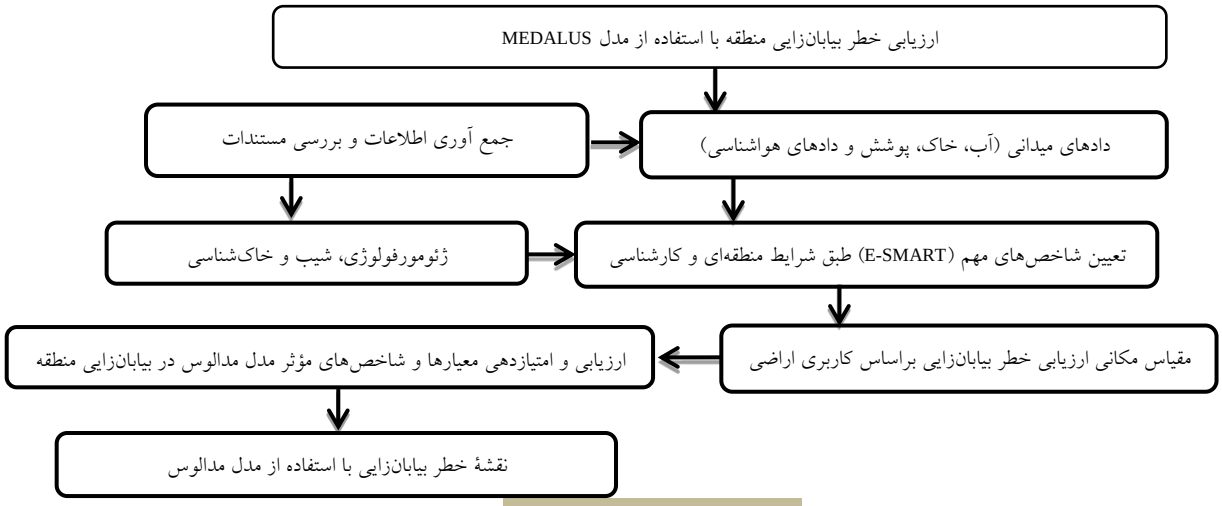
Figure (1): The location of the study area in Iran, Sistan and Baluchestan Province, and the work unit of the study area

جدول (۱): کلاس‌های واحدکاری در منطقهٔ مطالعاتی (نگارنده)

Table (1): Working unit classes in the study area (Author)

کد واحدکاری	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
مشخصات اراضی	سنگفرش بیابانی	زمین زراعی آبی	زمین زراعی دیم	مرتع متوسط	مرتع ضعیف	مناطق مسکونی	مناطق بدون پوشش گیاهی	اراضی سنگلاخی صخره‌ها	خاک‌های جوان

برای ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی، اقلیم، خاک، پوشش گیاهی و مدیریت اراضی به‌عنوان معیارهای اصلی در نظر گرفته شدند. براساس شاخص‌های اقلیمی شامل بارش سالانه، خشکی و جهت شیب، نقشهٔ پهنه‌بندی معیار اقلیمی تهیه گردید. در بررسی خاک، شاخص‌هایی مثل بافت، شیب، زهکشی و درصد سنگ‌ریزهٔ پروفیل خاک منطقه برای ارزیابی وضعیت خاک استفاده شد. پوشش گیاهی مناطق خشک به‌دلیل شرایط نامساعد، پراکنده و وابسته به بارندگی است و شاخص‌هایی مثل حفاظت از فرسایش و مقاومت به خشکی برای ارزیابی آن انتخاب شدند. نقشهٔ پوشش گیاهی از میانگین هندسی این شاخص‌ها به دست آمد (جدول ۲).



شکل (۲): روند انجام مدل مدالوس

Figure (2): Process of Implementing the MEDALUS Model

جدول (۲): شاخص‌های ارزیابی معیار اقلیم، خاک و پوشش گیاهی (فرارا و همکاران، ۲۰۲۰؛ ریگی و همکاران، ۲۰۱۷؛ کوسماس و همکاران، ۱۹۹۹)

Table (2): Indicators for Assessing Climate, Soil, and Vegetation Criteria (Kosmas et al., 1999; Rigi et al., 2017; Ferrara et al., 2020)

معیار	شاخص ارزیابی	ناچیز و کم	متوسط	شدید	بسیار شدید
		۱–۱/۲۴	۱/۲۵–۱/۴۹	۱/۵–۱/۷۴	۱/۷۵–۲
اقلیم	مقدار بارش سالانه	≥۲۸۰	۱۵۰ – ۲۸۰	۷۵ – ۱۵۰	< ۷۵
	شاخص خشکی	> ۰/۶۵	۰/۴۵–۰/۶۵	۰/۲–۰/۴۵	< ۰/۲
	جهت جغرافیایی	NW and NE		SW and SE	
خاک	درصد شیب	۰–۳	۳–۶	۶ – ۱۰	۱۰<
	زهکشی	خوب	متوسط	ضعیف	بسیار ضعیف
	بافت خاک	L,SCL,SL,LS,CL	SC,SiL,SICL	Si,C,SiC	S
	درصد سنگ‌ریزه	۲۰>	۲۰–۳۰	۳۰ – ۵۰	۵۰<
پوشش گیاهی	حفاظت در برابر فرسایش	باغات، درختچه‌ها و مراتع همیشه‌سبز	مراتع و بوته‌زارهای دائمی	محصولات کشاورزی یک‌ساله، غلات، علفزارهای یک‌ساله	اراضی لخت و بایر
	درصد پوشش گیاهی	PC > 40	40 > PC >20	۱۰< PC <۲۰	PC > 10
	مقاومت در برابر خشکسالی	باغات، درختچه‌ها و مراتع همیشه‌سبز	مراتع و بوته‌زارهای دائمی	محصولات کشاورزی یک‌ساله، غلات، علفزارهای یک‌ساله	اراضی لخت و بایر
	خطر آتش‌سوزی	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد

معیار مدیریت

با استناد به برخی از تعاریف مربوط به بیابان‌زایی و همچنین با توجه به مطالعاتی که در مناطق مختلف به‌ویژه مناطق خشک و نیمه‌خشک صورت گرفته است، می‌توان عوامل انسانی را به‌عنوان یکی از مهم‌ترین و شاید هم اصلی‌ترین عامل ایجاد شرایط بیابانی شدن این مناطق دانست. ازجمله

عوامل مستقیمی که می‌تواند باعث بیابان‌زایی شود، از بین بردن پوشش گیاهی (قطع درختان و بوته‌کنی)، چرای مفرط، کاربری نامناسب اراضی بدون توجه به استعداد زمین، اجرای نادرست عملیات کشاورزی و به زیرکشت بردن اراضی مرتعی توسط انسان است. مواردی مانند افزایش جمعیت، مهاجرت، گسترش فقر، گسترش صنایع و معادن از عوامل غیرمستقیم انسانی مؤثر در بیابان‌زایی هستند. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد، عوامل غیرمستقیم، عوامل مستقیم را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. بدین منظور برای بررسی اثر عوامل انسانی در ایجاد شرایط بیابانی در مدل ارائه‌شده، ابتدا نقشهٔ کاربری تهیه شده و سپس در هر کاربری با توجه به شاخص‌های انتخابی، وزن‌دهی شد (جدول ۳).

جدول (۳): کیفیت عملیات کشاورزی، شیوهٔ آبیاری و کیفیت آب آبیاری میزان تخریب مرتع نسبت ظرفیت بالقوه به بالفعل (فشار چرا، نسبت دام موجود به ظرفیت مرتع)

Table (3): Quality of agricultural operations, irrigation method, and irrigation water quality, as well as the degree of rangeland degradation relative to its potential capacity (grazing pressure, the ratio of livestock to rangeland capacity)

اراضی کشاورزی			اراضی مرتعی			
شاخص	شرح	امتیاز	شاخص	شرح	امتیاز
کیفیت عملیات کشاورزی	کشت واریته‌های بومی، استفاده نکردن از کودهای شیمیایی و آفت‌کش‌ها، مکانیزاسیون محدود، آبیش مناسب و بموقع زمین	۱–۱/۳۵	میزان تخریب مرتع (نسبت ظرفیت بالقوه به بالفعل)	۰–۱	۱– ۱/۲۵
	کشت واریته‌های اصلاح‌شده، استفاده از کودها و آفت‌کش‌ها، مکانیزاسیون در موارد ضروری مانند شخم، آبیش مناسب و بموقع زمین	۱/۳۵–۱/۷۵		۱ – ۱/۵	۱/۲۵–۱/۵
	کشت واریته‌های اصلاح‌شده، استفاده از کودها و آفت‌کش‌ها، مکانیزاسیون نامحدود و شدید، عدم آبیش قرار دادن زمین یا آبیش بی‌موقع	۱/۷۵–۲		۱/۵–۲	۱/۵–۱/۷۵
				> ۲	۱/۷۵–۲
شیوه آبیاری و کیفیت آب آبیاری	استفاده از شیوه‌های نوین، کیفیت مناسب	۱– ۱/۲۵	فشار چرا (نسبت دام موجود به ظرفیت مرتع)	۰–۱	۱– ۱/۲۵
	استفاده از شیوه‌های نوین، کیفیت نامناسب	۱/۲۵–۱/۵		۱ – ۱/۵	۱/۲۵–۱/۵
	استفاده از شیوه‌های سنتی، کیفیت نسبتاً مناسب	۱/۵–۱/۷۵		۱/۵–۲	۱/۵–۱/۷۵
	استفاده از شیوه‌های سنتی، کیفیت نسبتاً نامناسب	۱/۷۵–۲		> ۲	۱/۷۵–۲

پس از امتیازدهی شاخص‌های مذکور در کاربری‌های متفاوت، امتیاز شاخص میزان عملیات حفاظتی نیز براساس جدول ۴ برای همه کاربری‌ها، در نظر گرفته می‌شود. پس‌ازآنکه امتیازات مربوط به هر شاخص تعیین شد، امتیاز معیار مدیریت و سیاست، با توجه به کاربری اراضی و براساس میانگین هندسی محاسبه شد.

جدول (۴): شاخص میزان عملیات حفاظتی و معیار سیاست و مدیریت

Table (4): Indicator of conservation operations and criteria for policy and management

شاخص	کلاس	معیار سیاست و مدیریت	میزان اجرای عملیات حفاظتی	امتیاز
میزان عملیات حفاظتی	M_1	کیفیت بالا	بیش از ۷۰ درصد منطقه تحت عملیات حفاظتی	۱–۱/۲۵
	M_2	کیفیت متوسط	۳۰ تا ۷۰ درصد منطقه تحت عملیات حفاظتی	۱/۲۵–۱/۵
	M_3	کیفیت پایین	کمتر از ۳۰ درصد منطقه تحت عملیات حفاظتی	۱/۵–۱/۷۵
	M_4	کیفیت بسیار پایین	عدم اجرای هرگونه عملیات حفاظتی	۱/۷۵–۲

برآورد فرسایش بادی با استفاده از مدل IRIFR

به‌منظور ارزیابی فرسایش بادی از روش IRIFR [1] ارائه‌شده توسط متخصصان داخلی کشور استفاده شد (علی‌پور و همکاران، ۲۰۲۲؛ طهماسبی و همکاران، ۲۰۰۰؛ مصباح‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰؛ ذوالفقاری و خسروی، ۲۰۱۵؛ ذوالفقاری و خسروی، ۲۰۱۶). این روش نیز همانند PSIAC [2] نقش ۹ عامل مؤثر در فرسایش بادی را مورد ارزیابی و امتیازدهی قرار می‌دهد (جدول ۵ و ۶).

هرچه امتیازات داده‌شده به یک عامل بیشتر باشد، نشان‌دهندهٔ نقش بیشتر آن در ایجاد فرسایش بادی است. این عوامل پس از امتیازدهی در واحدهای کاری، بر طبق جدول (۵) طبقه‌بندی شده و پتانسیل رسوب‌دهی منطقه نیز تعیین می‌شود (جدول ۶).

1. Iran Research Institute of Forests and Rangelands

2. Pacific Southwest Inter Agency Committee

جدول (۵): عوامل مؤثر در فرسایش بادی در روش IRIFR

Table (5): Factors influencing wind erosion in the IRIFR Method

شماره	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹
عوامل ارزیابی فرسایش بادی	سنگ‌شناسی	شکل اراضی و پستی‌و بلندی	سرعت و وضعیت باد	عامل خاک و پوشش سطح آن	انبوهی پوشش گیاهی	آثار فرسایش سطح خاک	رطوبت خاک	نوع و پراکنش نهشته‌های بادی	مدیریت و استفاده از زمین
امتیاز	۰–۱۰	۰–۱۰	۰–۲۰	۵–۱۵	۱۵– (۵ –)	۲۰– (۵ –)	۰–۱۰	۰–۱۰	۱۵– (۵ –)

جدول (۶): تعیین کلاس فرسایش و برآورد رسوب‌دهی اراضی نسبت به فرسایش بادی

Table (6): Determining erosion classes and estimating sediment yield of lands in relation to wind erosion

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

برآورد وضعیت آب زیرزمینی

تخریب منابع آبی جزو چهار معیار اصلی در روش مدالوس نیست، اما از مهم‌ترین دلایل بیابان‌زایی در مناطق خشک به‌ویژه منطقهٔ خاورمیانه و ایران است. لذا پس از بررسی و مطالعهٔ منابع موجود و نیز بازدیدهای صحرایی، شاخص عمق آب زیرزمینی انتخاب شد (جدول ۷). برای مطالعهٔ این شاخص از داده‌های ۲۲ حلقه چاه پیزومتری در طول ۲۰ سال (۱۳۸۲ تا ۱۴۰۲) موجود در منطقه استفاده شد. این داده‌ها از آمار ادارهٔ آب و فاضلاب شهرستان سراوان استخراج شد. به‌منظور تعمیم اطلاعات و ویژگی‌های معیار آب‌های زیرزمینی به قسمت‌هایی که فاقد آمار بودند، از فرایند میان‌یابی به روش‌های کریگینگ و فاصلهٔ معکوس وزنی (Inverse Distance Weighted) استفاده شد و درنهایت برای تولید نقشهٔ هر شاخص، از روشی استفاده گردید که کمترین میزان خطا را داشت.

جدول (۷): کیفیت معیار آب زیرزمینی و شاخص‌های ارزیابی معیار آب‌های زیرزمینی

Table (7): Quality of groundwater criteria and indicators for evaluating groundwater quality

شاخص‌های ارزیابی معیار آب‌های زیرزمینی				کیفیت معیار آب زیرزمینی		
شاخص	کلاس	شرح شاخص	امتیاز	کلاس	کیفیت آب زیرزمینی	حدود امتیاز	وضعیت بیابان‌زایی
عمق آب زیرزمینی (m)	۱	۰–۱۰	۱۰۰–۱۲۰	G_1	بالا	۱۰۰–۱۲۵	خفیف
	۲	۱۰–۲۰	۱۲۰–۱۴۰	G_2	متوسط	۱۲۵–۱۵۰	متوسط
	۳	۲۰–۳۰	۱۴۰–۱۶۰	G_3	پایین	۱۵۰–۱۷۵	شدید
	۴	۳۰–۵۰	۱۶۰–۱۸۰	G_4	بسیار پایین	۱۷۵–۲۰۰	بسیار شدید
	۵	> ۵۰	۱۸۰–۲۰۰				

برای ارزیابی حساسیت بیابان‌زایی منطقه با استفاده از روش مدالوس، عوامل مؤثر شناسایی و به‌عنوان معیارهای اصلی در نظر گرفته می‌شوند؛ سپس، هر شاخص براساس وضعیت کیفی امتیازدهی شده (امتیاز استانداردسازی‌شده بین بدون خطر ۱ تا حداکثر خطر ۲) و با استفاده از میانگین هندسی، امتیاز نهایی هر معیار محاسبه می‌شود (رابطهٔ ۱).

$$W_x = (W_1 \times W_2 \ldots . W_n)^{\frac{1}{n}} \quad (۱)$$

که در آن، W_x امتیاز مربوط به هر معیار، W(۱، ۲...) امتیازات مربوط به هر شاخص و n تعداد شاخص‌هاست. مقادیر امتیازها بین عدد ۱ کیفیت خوب و ۲ کیفیت بد ارزش‌گذاری می‌شوند. شدت بیابان‌زایی هر واحدکاری با استفاده از میانگین هندسی امتیازات معیارها تعیین و سپس طبقه‌بندی شده و نقشهٔ حساسیت مناطق به بیابان‌زایی تهیه می‌شود (جدول ۸). درنهایت، براساس جدول (۹) کلاس‌های بیابان‌زایی تهیه شد.

جدول (۸): رابطهٔ میانگین هندسی معیارها

Table (8): The equation of the geometric mean of criteria

معیار	رابطهٔ میانگین هندسی معیار
معیار اقلیم	$^{1/3}$ (جهت شیب × شاخص خشکی × مقدار بارش سالانه)
معیار خاک	$^{1/3}$(شیب × بافت خاک × درصد سنگریزه × زهکشی)
معیار پوشش گیاهی	$^{1/4}$(خطر آتش‌سوزی × حفاظت در برابر فرسایش × درصد پوشش گیاهی × مقاومت در برابر خشکسالی)
معیار مدیریت	$^{1/2}$(عملیات حفاظتی × شدت تغییر کاربری اراضی)
معیار فرسایش بادی	$^{1/4}$ (سرعت باد × نوع خاک × خاک × پوشش گیاهی)
معیار آب زیرزمینی	$^{1/4}$ (سیستم آبیاری × هدایت الکتریکی × افت سطح آب زیرزمینی × نسبت جذب سدیم)

جدول (۹): کلاس‌های حساسیت مناطق به بیابان‌زایی (فرارا و همکاران، ۲۰۲۰)

Table (9): Desertification sensitivity classes of areas (Ferrara et al., 2020)

دامنهٔ شاخص	< ۱/۱۷	۱/۱۷ –۱/۲۲	۱/۲۳–۱/۲۶	۱/۲۷–۱/۳۲	۱/۳۳–۱/۳۷	۱/۳۸–۱/۴۱	۱/۴۲–۱/۵۳	> ۱/۵۳
شرح	Non-Classified	Potential (p)	Fragile (F1)	Fragile (F2)	Fragile (F3)	Critical (C1)	Critical (C2)	Critical (C3)
کلاس	طبقه‌بندی‌نشده	پتانسیل	شکننده (الف)	شکننده (ب)	شکننده (ج)	بحرانی (الف)	بحرانی (ب)	بحرانی (ج)

سیستم ارزیابی زمین و مکان LESA

مدل مورد استفادهٔ این پژوهش مدل ارزیابی اراضی و مکان LESA[1] است که این سیستم برای اولین‌بار توسط ایالت متحده برای ارزیابی بهره‌وری از اراضی کشاورزی و تعیین تناسب یا عدم تناسب آن استفاده شده است. این مدل در این پژوهش طبق مدل LESA، میزان پایداری و یا عدم پایداری وضعیت اراضی بیابان‌زایی شهرستان سراوان مشخص می‌شود. با توجه به وضعیت اراضی بیابان‌زایی در این مناطق برای تشخیص تناسب یا عدم تناسب مدل LESA به‌عنوان مدل مورد استفاده در این پژوهش انتخاب شده است تا پایداری و یا عدم پایداری اراضی شهرستان مشخص گردد. LESA سیستم ارزیابی زمین و مکان است که به‌عنوان روش ارزیابی منظم، هدف آن ارزیابی بهره‌وری زمین کشاورزی و تناسب و عدم تناسب آن برای تبدیل به استفاده فرهنگی از زمین غیر از کشاورزی است. این سیستم در ژوئیه ۱۹۸۳ برای حفاظت از زمین‌های کشاورزی برای کمک به دولت‌های ایالتی و محلی در دسترس قرار گرفت که دستگاه اصلی اجرایی فدرال و ایالتی است. برنامه‌ریزان عامل اصلی در این زمینه‌اند. در پژوهش حاضر از دانش و تجربیات ۱۵ نفر از کارشناسان ادارهٔ کشاورزی و منابع طبیعی محلی در قالب کمیتهٔ محلی استفاده شد. کارشناسان محلی پتانسیل‌ها و محدودیت‌های تولید کشاورزی را برای سالیان متمادی مورد بررسی قرار داده‌اند. اطلاعات، تجربیات و دانش اعضای کمیتهٔ محلی برای انتخاب، وزن‌دهی و مقیاس‌بندی عوامل مختلف استفاده شد. معیارهای مورد استفاده برای این پژوهش، مدل LESA از دو بخش شامل LE (ارزیابی اراضی) و SA (ارزیابی مکان) تشکیل شده است (هندبوک، ۲۰۱۱).

بخش ارزیابی مکان SA

در پژوهش حاضر، عوامل SA با استفاده از اطلاعات، تجربیات و دانش افراد انتخاب شدند. کمیتهٔ محلی LESA عوامل SA برای برخی از ویژگی‌های غیرخاکی که بر اهمیت نسبی یک محل برای کشاورزی تأثیر می‌گذارند، مورد مطالعه قرار گرفت (اسماعیلی و همکاران، ۲۰۲۱؛ هندبوک، ۲۰۱۱). این عوامل غیرخاکی در این سیستم، هر معیار با امتیاز مشخصی سنجیده می‌شود. معیارها عبارت‌اند از: کاربری اراضی، مدیریت برنامه‌ریزی محل، مجاورت و هماهنگی کاربری‌های پیشنهادی با محیط اطراف و خصوصیات عمومی در شعاع دوکیلومتری محل و ارزیابی سایر محل‌های پیشنهادی در اراضی کم‌محصول و دسترسی به سیستم‌های آب‌رسانی، زباله و حمل‌ونقل (جدول ۹).

1. Land Evaluation and site Assessment

استفادهٔ فعلی از زمین‌های کشاورزی مانند زراعت، مرتع و آبزی‌پروری، شاخصی مهم در تعیین قابلیت کشاورزی است. مجاورت زمین با دیگر اراضی کشاورزی و ویژگی‌های کلی منطقه تا شعاع دوکیلومتری نیز در ارزیابی تأثیرگذارند. نزدیکی به شهر می‌تواند تضادهایی با فعالیت‌های کشاورزی ایجاد کند و قوانین منطقه‌بندی برای تنظیم کاربری‌ها و کاهش تضادهای کاربری‌های ناسازگار اهمیت دارند. پهنه‌بندی اراضی مجاور و رعایت طرح جامع مدیریت کاربری زمین نیز نقش کلیدی در توسعهٔ پایدار دارد. اختلاط زمین‌های کشاورزی و غیرکشاورزی ممکن است مشکلاتی ایجاد کند. استفاده از اراضی کم‌بازده به‌عنوان مکان‌های جایگزین برای توسعه ترجیح داده می‌شود. دسترسی به سیستم‌های آب و فاضلاب مرکزی بر قابلیت زمین تأثیر می‌گذارد و نوع جاده‌های دسترسی به زمین تعیین‌کنندهٔ تناسب کاربری پیشنهادی است (جدول ۹).

جدول (۱۰): مقادیر ارزش ارزیابی مکان

Table (10): Site assessment scores

۱. نوع کاربری اراضی در محل	مقدار ارزش ارزیابی	۲. مجاورت کاربری اراضی	مقدار ارزش ارزیابی
کشاورزی (کشت آبی)	۰	همه طرف از کشاورزی استفاده می‌کنند.	۰
کشاورزی دیم یا رهاشده	۱۰	سه طرف از کشاورزی استفاده می‌کنند.	۴
اراضی جنگلی بدون مدیریت	۱۰	دو طرف از کشاورزی استفاده می‌کنند.	۸
کاربری غیرکشاورزی	۰	یک طرف از کشاورزی استفاده می‌کند.	۱۶
		همهٔ اضلاع غیر از کشاورزی استفاده می‌کنند.	۲۰
۳. نزدیکی به شهر		**۴. کاربری منطقه‌ای اراضی مجاور محل پیشنهادشده**	
بیش از دو کیلومتر	۰	هیچ مقررات منطقه‌بندی درحال اجرا نیست.	۲۰
دو کیلومتر یا کمتر	۴	همه طرف برای استفادهٔ کشاورزی منطقه‌بندی شده است.	۲۰
۱/۵ کیلومتر یا کمتر	۸	سه طرف برای استفادهٔ کشاورزی پهنه‌بندی شده است.	۱۶
یک کیلومتر یا کمتر	۱۶	دو طرف برای استفادهٔ کشاورزی پهنه‌بندی شده است.	۱۲
۵۰۰ متر یا کمتر	۲۰	یک طرف برای استفادهٔ کشاورزی پهنه‌بندی شده است.	۸
مجاورت شهر	۲۰	همهٔ ضلع‌ها برای استفادهٔ غیرکشاورزی منطقه‌بندی شده‌اند.	۰
۵. ویژگی‌های عمومی سطح در دوکیلومتری محل		**۶. کاربری منطقه‌ای محل پیشنهادشده**	
کشاورزی	۰	هیچ مقررات منطقه‌بندی وجود ندارد.	۲۰
استفادهٔ کشاورزی و غیرکشاورزی (۵۰/۵۰) مخلوط	۱۰	منطقه‌بندی‌شده برای مصارف کشاورزی	۲۰
مصارف غیرکشاورزی	۲۰	منطقه‌بندی‌شده برای مصارف غیرکشاورزی	۰
۷. کاربری اراضی با مدیریت برنامه‌ریزی محل پیشنهادشده		**۸. فاصلهٔ دسترسی به سیستم زباله در محل**	
عدم اجرای طرح جامع	۲۰	بیش از ۲/۵ کیلومتر	۰
برنامه‌ریزی‌شده برای مصارف کشاورزی	۲۰	۲/۵–۱/۵	۲
برنامه‌ریزی‌شده برای مصارف غیرکشاورزی	۰	۱/۵–۱	۴
۹. قابلیت محل پیشنهادشده با کاربری‌های پیرامون		۱–۰/۵	۶
سازگار	۰	کمتر از ۰/۵	۸
تا حدودی سازگار	۸	مجاور محل دفن زباله	۹
ناسازگار	۱۰	در محل دفن زباله	۱۰
۱۰. دسترسی به سیستم آب‌رسانی مرکزی		**۱۱. نوع جادهٔ حمل‌ونقل در محل**	
بیش از ۲/۵ کیلومتر	۱۰	راه خاکی	۲
۲/۵ یا کمتر	۸	جادهٔ شوسه (شنی)	۴
۲ کیلومتر یا کمتر	۶	جادهٔ آسفالته	۶
۱ کیلومتر یا کمتر	۴	جادهٔ اصلی دوبانده	۸
۵۰۰ متر یا کمتر	۲	جادهٔ اصلی چهاربانده	۱۰
در مجاورت مکان	۱	**۱۲. محل‌های پیشنهادشدهٔ دیگر در اراضی کم‌محصول**	
در مکان	۰	پربارترین مکان جایگزین یا تنها مکان پیشنهادی	۰
		کم‌بازده‌ترین مکان جایگزین	۱۰

ارزیابی اراضی LE براساس محدودیت خاک

این روش ارزیابی برای تعیین اراضی مناسب برای کشت آبی توسط کارشناسان فائو به رهبری ماهلر و کارشناسان ایرانی در سال ۱۹۵۴ پایه‌گذاری شد. هدف از این طبقه‌بندی، بیشتر به‌منظور زراعت آبی است که از اراضی مناسب آبیاری یک ارزیابی مقدماتی به عمل آورده و محدودیت‌های فعلی و خطرات تخریب آن‌ها را در رابطه با چهار عامل خاک (نوع بافت و سنگ‌ریزه و آبگذری)، شوری و سدیمی، ناهمواری و فرسایش (شیب توپوگرافی و رسوب) و زهکشی (سطح ایستابی آب زیرزمینی، سیل و ماندابی) نشان دهد (جدول ۱۰).

جدول (۱۱): درجات زیرکلاس‌های قابلیت اراضی برای آبیاری نشریهٔ ۲۰۵ در مدل LESA

Table (11): Subclasses of land capability degrees for irrigation published in Article 205 used in LESA

نام زیرکلاس	عدد و نماد زیرکلاس	درجهٔ زیرکلاس‌های بیابان‌زایی
کلاس ۱ بدون محدودیت	I	۰
کلاس ۲ با محدودیت خاک یا شوری	IIa یا IIs	۱۰
کلاس ۲ با محدودیت شوری و زهکشی یا خاک و زهکشی	IIa,w یا IIs,w	۲۰
کلاس ۲ با محدودیت خاک، زهکشی و توپوگرافی	IIa,s,w یا IIs,w,t	۳۰
کلاس ۳ با محدودیت شوری یا زهکشی یا خاک	IIIa یا IIIw یا IIIs	۴۰
کلاس ۳ با محدودیت خاک و زهکشی یا شوری و زهکشی	IIIa,w یا IIIs,w	۵۰
کلاس ۳ با محدودیت خاک، زهکشی و توپوگرافی	IIIs,w,t	۶۰
کلاس ۴ با محدودیت خاک	IVa	۷۰
کلاس ۴ با محدودیت خاک و زهکشی	IVa,w یا IVs,w	۸۰
کلاس ۵	V	۹۰
کلاس ۶	VI	۱۰۰

این سیستم طبقه‌بندی اراضی برای زراعت آبی براساس تجربه و استانداردهای کلی کشور طراحی شده است و وضعیت فعلی زمین‌ها را نشان می‌دهد. این سیستم پیش‌بینی بازدهی زمین‌ها در آینده را انجام نمی‌دهد، اما می‌تواند به‌عنوان مبنای طبقه‌بندی‌های بعدی استفاده شود. اراضی به شش کلاس تقسیم می‌شوند: کلاس I اراضی بدون محدودیت و بسیار مناسب برای زراعت آبی است. کلاس II و III دارای محدودیت‌های جزئی و متوسط هستند، اما با مدیریت خوب همچنان سودآورند. اراضی کلاس IV فقط تحت شرایط خاصی مناسب برای کشت هستند و کلاس V نامشخص است و نیاز به مطالعات بیشتری دارد. اراضی کلاس VI غیرقابل کشت هستند. هر کلاس ممکن است تحت کلاسی داشته باشد که نشان‌دهندهٔ محدودیت‌های خاص زمین مانند شوری، زهکشی یا ناهمواری است. ارزیابی نهایی براساس محدودترین ویژگی زمین انجام می‌شود.

نتایج

در این بخش به بررسی نتایج شاخص‌ها و معیارهای مدل مدالوس پرداخته شده است.

بررسی معیارهای ارزیابی وضعیت بیابان‌زایی

– ارزیابی معیار اقلیم

در سال‌های اخیر به‌دلیل شرایط اقلیمی از قبیل کاهش بارش، تغییر زمان بارش، تغییر نوع بارش که اکثراً به‌صورت باران می‌باشد، به‌طور محسوسی میزان بارش کاهش یافته است. اثر این پدیده، از شدت بیشتری در این حوضه که متکی به آب‌های زیرزمینی است، برخوردار بوده که به‌صورت کاهش سطح مراتع و نیز خشک شدن یا کاهش آب قنات‌ها، چشمه‌ها، رودها و چاه‌ها مشاهده می‌شود. برای بررسی تأثیر اقلیم بر بیابان‌زایی منطقهٔ سراوان از شاخص‌های بارندگی، جهت و شاخص خشکی استفاده شد. برای تعیین میزان بارندگی منطقه از آمار هواشناسی ایستگاه‌های استان استفاده شد. در دورهٔ آماری مورد بررسی تجزیه‌وتحلیل شاخص بارندگی نشان می‌دهد تمام منطقهٔ مورد مطالعه ازنظر این شاخص در طبقهٔ خیلی شدید قرار گرفته است. شاخص‌های جهت و خشکی نیز در طبقهٔ بیابان‌زایی کم قرار گرفتند. پس از بررسی و امتیازدهی به آن‌ها و

پس از محاسبهٔ میانگین هندسی آن‌ها براساس رابطه‌های موجود در جدول ۸، امتیاز این معیار، برابر ۱/۴۸ محاسبه و براساس جدول ۲، کلاس کیفیت معیار اقلیم، شدید تعیین شد. بر این اساس تمامی سطح منطقه در کلاس شدید قرار می‌گیرد. امتیاز این شاخص ها در هر کاربری در جدول ۱۱ آورده شده است.

- ارزیابی معیار خاک

برای بیابان‌زایی منطقهٔ مطالعاتی شاخص‌هایی که برای ارزیابی کیفیت معیار خاک از آن‌ها استفاده شد عبارت است از: شیب زمین، زهکشی، بافت خاک و پوشش سنگ‌ریزه. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از تجزیهٔ نمونه‌های خاک پروفیل‌های حفرشده در منطقه، براساس شاخص پوشش سنگ‌ریزه‌ای کلاس بیابان‌زایی در کاربری اراضی زراعی شدید و در کاربری اراضی برهنه‌سنگی کلاس بیابان‌زایی کم تعیین شد؛ اما ازنظر بافت خاک کلاس بیابان‌زایی کاربری‌های بدون پوشش گیاهی شدید بوده و در مابقیِ کاربری‌های بیابان‌زایی کم و ناچیز است. با بررسی شاخص زهکشی مشخص گردید که بدون پوشش گیاهی دارای زهکشی ضعیف و کاربری‌های دیگر دارای زهکشی خوب هستند. بررسی بیابان‌زایی ازنظر شاخص شیب نشان داد که کاربری اراضی بدون پوشش گیاهی بیشترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه داشته‌اند. بر این اساس با توجه به نقشهٔ معیار خاک، قسمت‌های شمالی و جنوبی منطقه ازنظر بیابان‌زایی در کلاس شدید و قسمت‌های شرقی و غربی در کلاس متوسط قرار گرفت. همچنین شاخص بافت خاک بیشترین و شاخص شیب زمین کمترین تأثیر را ازنظر معیار خاک در بیابان‌زایی منطقه داشته است. درنهایت، بیابان‌زایی منطقه براساس معیار بافت خاک در کلاس متوسط قرار گرفت.

- ارزیابی معیار پوشش گیاهی

برای بررسی معیار پوشش گیاهی در این مطالعه از چهار شاخص درصد پوشش گیاهی، حفاظت در برابر فرسایش و مقاومت در برابر خشکسالی و خطر آتش‌سوزی استفاده شد. پوشش گیاهی منطقه به‌علت چرای مفرط درگذشته، شرایط نامناسب اقلیمی، آب و خاک، بسیار تخریب یافته و وضعیت مراتع آن فقیر و بسیار فقیر است. بر این اساس در کل منطقه شاخص‌های حفاظت در برابر فرسایش و مقاومت در برابر خشکسالی در کلاس شدید (امتیاز ۲) بیابان‌زایی قرار گرفتند؛ اما به‌دلیل پوشش گیاهی محدود در منطقه کلاس شاخص خطر آتش‌سوزی در کل منطقه کم و ناچیز (امتیاز ۱) تعیین گردید. با بررسی شاخص درصد پوشش گیاهی مشخص شد که کاربری اراضی بدون پوشش گیاهی در کلاس شدید بیابان‌زایی و کاربری اراضی زراعی در کلاس کم و ناچیز بیابان‌زایی قرار دارند. میانگین هندسی این شاخص در منطقه ۱/۷۶ به دست آمد. میانگین امتیازات این شاخص ۱/۶۲ است. کل منطقهٔ مورد مطالعه ازنظر این شاخص در کلاس خیلی شدید بیابان‌زایی قرار گرفت.

- ارزیابی معیار مدیریت و سیاست

برای ارزیابی معیار سیاست و مدیریت دو شاخص سیاست‌های اجرایی و نوع و شدت نحوهٔ استفاده از اراضی امتیازدهی شد. بر این اساس میانگین امتیاز سیاست‌های اجرایی در کل منطقه ۱/۵ به دست آمد که در کلاس شدید بیابان‌زایی قرار گرفت. ازنظر شاخص نوع و شدت نحوهٔ استفاده از اراضی میانگین امتیازات این شاخص ۱/۲ به دست آمد که بر این اساس کلاس بیابان‌زایی آن کم و ناچیز به دست آمد. میانگین هندسی این معیار ۱/۳۴ محاسبه شد که نشان‌دهندهٔ کلاس متوسط بیابان‌زایی است.

- ارزیابی معیار برآورد فرسایش بادی با استفاده از مدل IRIFR

به‌منظور ارزیابی میزان فرسایش بادی در مدل IRIFR، ۹ عامل سنگ‌شناسی، شکل اراضی و پستی و بلندی، سرعت و وضعیت باد، خاک و پوشش سطح آن، انبوهی پوشش گیاهی، آثار فرسایشی سطح خاک، رطوبت خاک، نوع و پراکنش نهشته‌های بادی و استفاده از زمین مورد بررسی قرار گرفت (Zolfaghari & Khosravi 2015). پس از آنکه ۹ عامل مدل IRIFR در هریک از واحدهای کاری در منطقه امتیازدهی شد، کلاس فرسایش بادی تعیین گردید (جدول ۱۱). نقشهٔ وضعیت کیفی فرسایش بادی حاصل نشان داد که براساس آن فرسایش بادی

در منطقه به ۲ کلاس متوسط (۵۷٪) و بسیار شدید (۴۳٪) طبقه‌بندی شد.

- ارزیابی معیار وضعیت عمق آب زیرزمینی در مدل مدالوس

به‌منظور بررسی نقش تغییرات عمق آب‌زیرزمینی بر بیابان‌زایی منطقه، به مقدار عمق آب زیرزمینی امتیازی بین ۱ (بهترین شرایط) تا ۲ (بدترین شرایط) در هر واحدکاری تخصیص داده شد. بر این اساس و با توجه به امتیازات داده‌شده و وارد کردن این امتیازات در نرم‌افزار ArcGIS 10.4 نقشهٔ رستری عمق آب زیرزمینی تهیه شد. هرچه از قسمت‌های شمالی منطقه به‌سمت قسمت‌های غربی پیش می‌رویم، بر میزان عمق آب زیرزمینی کاسته می‌شود؛ بنابراین، سطح آب زیرزمینی در قسمت‌های غربی بالاست.

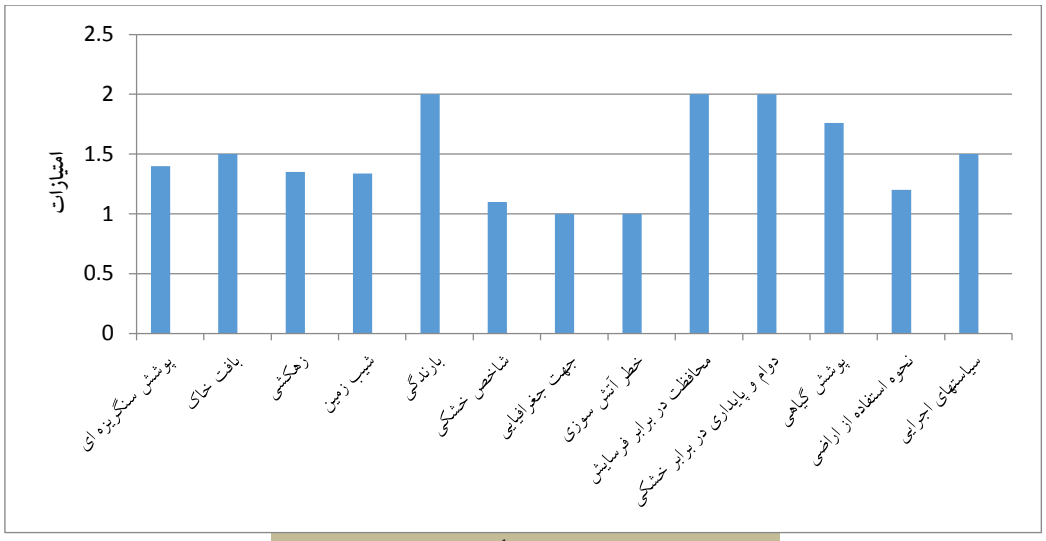
برای بررسی وضعیت فعلی بیابان‌زایی شاخص‌ها و معیارهای تعیین‌شده در شهرستان سراوان پس از ارزیابی، ازطریق میانگین هندسی شاخص‌ها امتیاز هرکدام از معیارها محاسبه شد و امتیاز وضعیت فعلی بیابان‌زایی تعیین گردید. امتیاز وضعیت بیابان‌زایی در هر واحدکاری، در جدول (۱۱) آورده شده است.

مهم‌ترین عوامل در تشدید پدیدهٔ بیابان‌زایی طبق نتایج حاصل از جدول (۱۱) در منطقهٔ مطالعاتی معیار پوشش گیاهی با امتیاز ۱/۶۲ و اقلیم با امتیاز ۱/۴۸ تعیین شد. در منطقهٔ مورد مطالعه کلاس وضعیت فعلی بیابان‌زایی ازطریق امتیازات اختصاص‌یافته به هرکدام از کاربری‌ها، مشخص گردید (جدول ۱۱). امتیاز وضعیت فعلی بیابان‌زایی ۱/۴۲ برآورد شد. براساس این نقشه، وضعیت بیابان‌زایی منطقه در دو کلاس شدید (۷۷۲/۳۰۴ هکتار) و خیلی شدید (۵۰۹/۸۲۹ هکتار) قرار می‌گیرد. ازنظر حساسیت مناطق به بیابان‌زایی نیز قسمت‌های شمال شرقی و شمال غربی منطقهٔ مورد مطالعه در کلاس شکننده ۳ و قسمت‌های شمالی و جنوبی منطقه در کلاس بحرانی ۲ و ۳ قرار گرفت. در جدول (۱۱)، میزان تأثیر شاخص‌ها در بیابان‌زایی نشان داده شده است. مهم‌ترین شاخص‌های تأثیرگذار در بیابان‌زایی منطقه به‌ترتیب بارش، دوام و پایداری در برابر خشکی و محافظت در برابر فرسایش به دست آمد. این شاخص‌ها در کاربری‌های اراضی بدون پوشش و اراضی زراعی باعث افزایش بیابان‌زایی شده‌اند.

جدول (۱۱): امتیاز وضعیت فعلی بیابان‌زایی

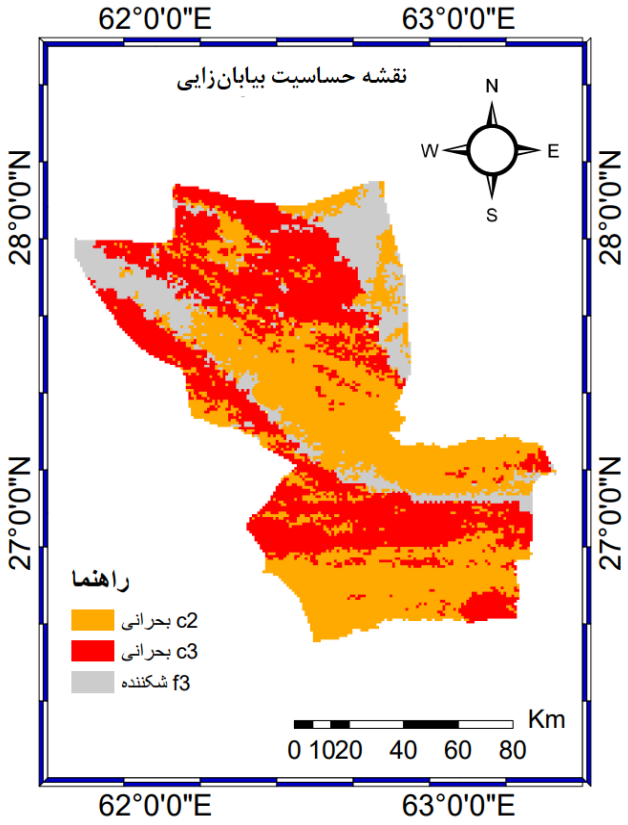
Table (11): Current desertification status score

امتیازات شاخص‌ها							امتیازات بیابان‌زایی
کد واحدکاری	اقلیم	خاک	پوشش گیاهی	مدیریت و سیاست	فرسایش بادی	وضعیت آب‌زیرزمینی	(میانگین هندسی)
۱	۱/۴۸	۱/۶	۱/۶۸	۱/۳۴	۱/۲	۲	۱/۵۱
۲	۱/۴۸	۱/۲۵	۱/۶۳	۱/۳۴	۱/۴۴	۱/۲	۱/۴۱
۳	۱/۴۸	۱/۱۲	۱/۵۶	۱/۳۴	۱/۷	۱/۳	۱/۳۶
۴	۱/۴۸	۱/۲۳	۱/۶۳	۱/۳۴	۱/۲	۱/۳	۱/۳۷
۵	۱/۴۸	۱/۱۲	۱/۵۶	۱/۳۴	۱/۲	۱/۴	۱/۳۶
۶	۱/۴۸	۱/۳۸	۱/۶۸	۱/۳۴	۱/۶۵	۱/۵	۱/۴۶
۷	۱/۴۸	۱/۷۴	۱/۶۸	۱/۳۴	۱/۷	۲	۱/۵۵
۸	۱/۴۸	۱/۱۵	۱/۵۶	۱/۳۴	۱/۷	۲	۱/۳۷
۹	۱/۴۸	۱/۳۲	۱/۶۲	۱/۳۴	۱/۲	۲	۱/۴۲



شکل (۳): نمودار مقایسهٔ میزان تأثیر شاخص‌ها در بیابان‌زایی

Figure (3): Comparison chart of the impact of indicators on desertification

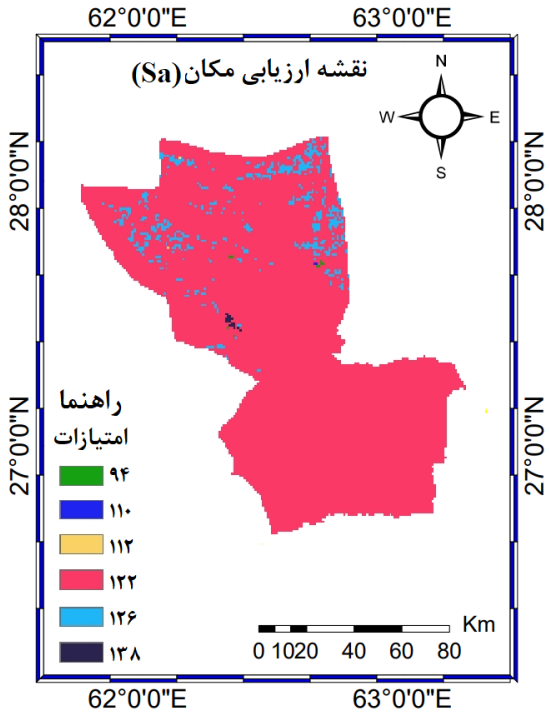


شکل (۴): نقشهٔ حساسیت فعلی بیابان‌زایی

Figure (4): Current desertification sensitivity map

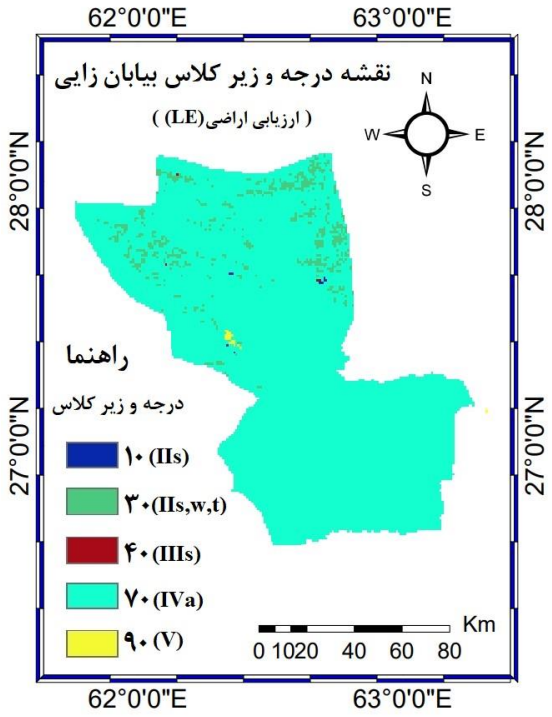
نتایج سیستم ارزیابی زمین و مکان LESA

امتیازدهی ارزش‌گذاری محل SA براساس ۱۱ معیار در سیستم ارزیابی LESA انجام شد. با توجه به رِنج امتیازدهی صفر تا ۲۰۰ هرچه امتیازات معیارها در واحدکاری بیشتر باشد، نشان‌دهندهٔ شدت بیابان‌زایی در آن ناحیه است. نتایج نشان داد واحدکاری زمین‌های زراعی با امتیاز ۹۴ و واحدکاری مناطق مسکونی با امتیاز ۱۳۸ به‌ترتیب کمترین و بیشترین خطر بیابان‌زایی را دارند (شکل ۵ و شکل ۶).



شکل (۵): نقشهٔ ارزیابی مکان

Figure (5): Site assessment map



شکل (۶): نقشهٔ کلاس‌های بیابان‌زایی و محدودیت‌ها

Figure (6): Map of desertification classes and limitations

بحث و نتیجه‌گیری

در ایران، مناطق خشک و نیمه‌خشک براثر تغییرات اقلیمی و دخالت‌ها و فعالیت‌های انسانی درگیر بیابان‌زایی شدید هستند؛ بنابراین، برای برنامه‌ریزی و مدیریت و بهبود استفاده از منابع طبیعی، ارزیابی و بررسی وضعیت فعلی بیابان‌زایی در این مناطق، امری مهم و ضروری است. در پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی و بررسی وضعیت فعلی بیابان‌زایی شهرستان سراوان از مدل مدالوس استفاده شد در این مدل معیارهای اقلیم، خاک، پوشش گیاهی، مدیریت و سیاست انتخاب شدند. براساس نتایج به‌دست‌آمده از مدل مدالوس سطح منطقه ازنظر معیار پوشش گیاهی در یک کلاس شدید بیابان‌زایی قرار می‌گیرد و در بیابان‌زایی منطقه بیشترین نقش را دارد. خنامانی و همکاران (۲۰۱۳) در دشت سگزی اصفهان، براساس مدل مدالوس در ارزیابی و بررسی وضعیت فعلی بیابان‌زایی ازنظر کمی، معیار پوشش گیاهی و اقلیم را به‌عنوان تأثیرگذارترین معیار معرفی کردند (خانمانی و همکاران، ۲۰۱۳).. همچنین ایت لامقادم[1] و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهش خود براساس نتایج برآورد کردند که مناطق حساس به بیابان‌زایی فقط ۱۶/۶۳ درصد از سطح منطقهٔ مطالعاتی را در بر می‌گیرد و ۵۰/۳۴ درصد را به‌صورت مناطق شدید و خیلی شدید دسته‌بندی کردند. یافته‌ها و نتایج آنان نشان داد اقلیم و به‌دنبال آن شاخص‌های پوشش گیاهی به‌عنوان مهم‌ترین و مؤثرترین عامل در بیابان‌زایی نقش دارد. وضعیت خاک براساس نتایج ارزیابی معیار کیفیت خاک به روش مدل مدالوس در منطقهٔ مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیش از ۸۵ درصد از منطقه در کلاس شدید قرار می‌گیرد. همچنین به روش مدل مدالوس نتایج بررسی معیار پوشش گیاهی در منطقهٔ مورد مطالعه نشان می‌دهد که کل منطقه ازنظر معیار پوشش گیاهی در کلاس شدید قرار می‌گیرد. نتایج تجزیه وتحلیل معیار مدیریت و سیاست در منطقه به روش مدل مدالوس نشان می‌دهد که وضعیت این معیار در منطقه به یک کلاس شدید طبقه‌بندی می‌شود.

ازنظر شدت بیابان‌زایی سطح منطقهٔ مطالعاتی در دو کلاس شدید و خیلی شدید قرار دارد. همچنین ازنظر حساسیت به بیابان‌زایی بیش از ۹۰ درصد منطقه در کلاس بحرانی قرار دارد. معیار پوشش گیاهی و اقلیم در بیابان‌زایی منطقهٔ مورد مطالعه

1. Ait Lamqadem

بیشترین نقش را دارند. با توجه به میزان پایین بارندگی و خشکسالی‌های سال‌های اخیر، همچنین خشک شدن تالاب در این منطقه دلیل دیگر شدت بیابان‌زایی منطقهٔ مطالعاتی است؛ بنابراین نتایج حاصل‌شده قابل پیش‌بینی بوده و نتایج این پژوهش تأثیر بسزای اقلیم و پوشش گیاهی به‌همراه ضعف مدیریتی را بر بیابان‌زایی منطقه نشان می‌دهند.

بودجمعلین و سمر[1] (۲۰۱۸) بیان کردند که معیار اقلیم و مدیریت تأثیرگذارترین نقش را در بیابان‌زایی داشته‌اند. نتایج گویای حساسیت منطقهٔ مورد مطالعه نسبت به پدیدهٔ بیابان‌زایی هست که نشان‌دهندهٔ مشابهت این مطالعه با یافته‌های و نتایج پژوهش هدیل و همکاران (۲۰۱۰) است.

نتایج بخش ارزیابی اراضی LE در قالب ۶ کلاس و چهار محدودیت شامل عامل خاک (نوع بافت و سنگ‌ریزه و آبگذری)، شوری و سدیمی، ناهمواری و فرسایش (شیب توپوگرافی و رسوب) و زهکشی (سطح ایستابی آب زیرزمینی، سیل و ماندابی) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد واحدکاری علفزار با کلاس ۲ و محدودیت خاک، زهکشی بهترین حالت و واحدکاری مناطق مسکونی با کلاس ۵ بدترین حالت قرار دارد (جدول ۱۱). همچنین نقشهٔ زیرکلاس بیابان‌زایی براساس محدودیت‌ها و درجهٔ مربوط به آن در شکل (۶) شده است. هرچه از درجهٔ صفر به درجهٔ ۱۰۰ نزدیک می‌شویم شدت بیابان‌زایی افزایش می‌یابد؛ بنابراین واحدکاری اراضی زراعی با درجهٔ ۱۰ و واحدکاری مناطق مسکونی با درجهٔ ۹۰ به‌ترتیب کمترین و بیشترین شدت بیابان‌زایی را نشان دادند.

پژوهش حاضر با به‌کارگیری مدل مدالوس و سیستم اطلاعات مکانی (GIS) و استفاده از شاخص‌ها و وزن‌دهی به لایه‌های مختلف، به دقت و سرعت بالایی در ارزیابی شدت بیابان‌زایی دست یافته است. این مدل به‌دلیل دسترسی آسان به داده‌ها، سادگی مراحل و دقت نسبی، ابزاری مناسب برای تعیین شدت بیابان‌زایی در مناطق مشابه به شمار می‌آید. بااین‌حال، شاخص‌ها و طبقات می‌توانند براساس شرایط منطقه‌ای اصلاح شوند. نتایج نشان داد که در شهرستان سراوان، معیارهای پوشش گیاهی و اقلیم، بیشترین تأثیر را بر بیابان‌زایی دارند و شاخص‌های مقاومت به فرسایش، پایداری در برابر خشکسالی و بارندگی در تشدید بیابان‌زایی مؤثرند. تخریب اراضی، گسترش بیابان و کاهش توان زیست‌محیطی ازجمله تغییرات اکوژئومورفولوژیکی است که در این منطقه به‌دلیل بیابان‌زایی به وقوع پیوسته است.

تحلیل فرضیه‌ها نشان داد که فرضیهٔ نخست، مبنی‌بر اهمیت بیشتر اقلیم نسبت به سایر معیارها در شدت بیابان‌زایی رد می‌شود؛ زیرا پوشش گیاهی در طبقه‌بندی بیابان‌زایی شدید قرار دارد و مهم‌ترین عامل است. فرضیهٔ دوم که حساسیت اراضی شهرستان سراوان را بحرانی می‌داند، براساس مدل مدالوس تأیید می‌شود؛ به‌طوری‌که بیش از ۹۰ درصد منطقه در طبقهٔ بحرانی قرار دارد.

برای دستیابی به توسعهٔ پایدار، حفاظت از عرصه‌های طبیعی و توجه به نیازهای ساکنان منطقه ازجمله اولویت‌های پیشنهادی این مطالعه است. همچنین، توصیه می‌شود در مطالعات آینده از شاخص‌های دیگری مانند مقاومت برشی خاک، تنش برشی باد و رطوبت خاک برای بهبود دقت ارزیابی استفاده شود. اجرای طرح‌های ملی با مشارکت کارشناسان و استادان در نقاط مختلف کشور می‌تواند به نتایج دقیق‌تری منجر شود. با توجه به سرعت بیابان‌زایی، پیشنهاد می‌شود این عامل به‌عنوان یکی از معیارهای ارزیابی خطر در مدل مدالوس لحاظ شود. درنهایت، پیشنهاد می‌شود منطقهٔ سراوان به‌طور مداوم تحت فعالیت‌های بیابان‌زدایی زیستی و مکانیکی قرار گیرد و مدیریت صحیح منابع طبیعی برای کنترل تأثیر عوامل انسانی بر بیابان‌زایی صورت پذیرد. ازجمله تدابیر مؤثر می‌توان به استفاده از روش‌های نوین آبیاری، الگوهای کشت مناسب و مدیریت تعداد دام‌های چراکننده اشاره کرد.

قدردانی

پژوهش حاضر، نتیجهٔ پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد نویسندهٔ اول به راهنمایی نویسندهٔ دوم است. بدین‌وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان به‌دلیل همکاری‌های ارزشمند و همچنین از ادارهٔ منابع طبیعی استان سیستان و بلوچستان به‌خاطر در اختیار گذاشتن داده‌های مورد نیاز که کمک شایانی به انجام این پژوهش کرده‌اند، صمیمانه تقدیر و تشکر می‌شود.

1. Boudjemline & Semar

داده‌ها و اطلاعات

تحقیق پیش رو با استفاده از تحقیق میدانی و تحلیل مکانی صورت گرفت.

تعارض منافع

در این مقاله، تعارض منافعی وجود ندارد و این مسئله مورد تأیید نویسندگان است.

منابع

1. Abbasi, A., Habibollah A., & Zareian, M. (2014). Quantitative Assessment of Desertification Status Using MEDALUS Model and GIS (Case Study: Shamil Plain–Hormozgan Province). Journal of RS and GIS for Natural Resources, 5(1), 87–97. [In Persian].
2. Ahmadi, H., Esmaeilpour, Y., Moradi, A., & Gholami, H. (2022). Assessment of the Jaz_Murian Desertification Hazard Using ESAs and IMDPA Models. Desert Ecosystem Engineering, 8(22), 73–88. doi: 10.22052/deej.2018.7.22.49. [In Persian].
3. Ait Lamqadem, A., Pradhan, B., Saber, H., & Rahimi A. (2018). Desertification Sensitivity Analysis Using MEDALUS Model and GIS: A Case Study of the Oases of Middle Draa Valley, Morocco. Sensors, 18(7), 2230. doi: 10.3390/s18072230
4. Ajaj, Q. M., Pradhan, B., Mohammed Noori, A., & Neamah Jebur, M. (2017). Spatial Monitoring of Desertification Extent in Western Iraq Using Landsat Images and GIS. Land Degradation & Development, 28(8), 2418–31. doi: 10.1002/ldr.2775.
5. Akbari, M., Karim Zadeh, H., Modares, R., & Chakoshi, B. (2007). Assessment and Classification of Desertification Using RS & GIS Techniques (Case Study: The Arid Region, in the North of Isfahan). Iranian Journal of Range and Desert Research, 14(2), 124–42. [In Persian].
6. Alipour, A., Farzanehpey, F., Torabi, A., Bakhshinia, S., & Mesbahzadeh, T. (2022). The Severity of Wind Erosion Assessment in Ala Region of Semnan Using IRIFR.E. A Model. *Desert Ecosystem Engineering*, 5(10), 99–107. [In Persian].
7. Arekhi, S. & Komaki, Ch. B. (2015). Detecting and Assessing Desertification Using Landscape Metrics in GIS Environment (Case Study: Ain-e-Khosh Region, Iran). *Environmental Resources Research*, 3(2), 122–38. doi: 10.22069/ijerr.2015.2709.
8. Bakhshi, M., Komaki, Ch. B., & Ownegh, M. (2016). 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), 243–51. [In Persian].
9. Boudjemline, F. & Semar, A. (2018). Assessment and Mapping of Desertification Sensitivity with MEDALUS Model and GIS–Case Study: Basin of Hodna, Algeria. *Journal of Water and Land Development.*
10. Darvish, M. (2003). An Introduction to the Method of Desertification Assessment in Iran Using Adopted Criteria and Indicators. *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 10(3), 301–20. doi: 10.22092/ijrdr.2019.119964. [In Persian].
11. Dhakar, R., Kumar Sehgal, V., & Pradhan, S. (2013). Study on Inter-Seasonal and Intra-Seasonal Relationships of Meteorological and Agricultural Drought Indices in the Rajasthan State of India. *Journal of Arid Environments*, No. 97, 108–19. doi: 10.1016/j.jaridenv.2013.06.001
12. Tahmasebi Birgani, A., Ahmadi, H., Refahi, H., & Ekhtesasi, M. (2000). Sediment of Comparison of Water and Wind Erosion Using MPSIAC and IRIFR.E.A Model in Desert Region (Case Study; Abbakhsha of Kerman Watershed). *Natural Resources Journal of Iran*, No. 53, 53–65.
13. Esmaeili, E., Shahbazi, F., Sarmadian, F., Jafarzadeh, A., & Hayati, B. (2021). Land Capability Evaluation Using NRCS Agricultural Land Evaluation and Site Assessment (LESA) System in a Semi-Arid Region of Iran. *Environmental Earth Sciences*, 80(4), 163. doi: 10.1007/s12665-021-09468-y.
14. Farzaneh, M., Malboosi, Sh., & Hamidianpour, M. (2022). Prediction of Climatic Variables in Sistan and Baluchestan Province under the Conditions of RCP Radiation Induction Scenarios. *Journal of Climate Research*, 1401(51), 148–129.
15. Ferrara, A., Kosmas, C., Salvati, L., Padula, A., Mancino, G., & Nolè, A. (2020). Updating the MEDALUS- ESA Framework for Worldwide Land Degradation and Desertification Assessment. *Land Degradation & Development*, 31(6), 1593–1607. doi: 10.1002/ldr.3559
16. Gabriele, M., Brumana, R., Previtali, M., & Cazzani, A. (2023). A Combined GIS and Remote Sensing Approach for Monitoring Climate Change-Related Land Degradation to Support Landscape Preservation and Planning Tools: The Basilicata Case Study. *Applied Geomatics*, No. 15, 497–532. doi: 10.1007/s12518-022-00437-z.
17. Hadeel, A. S., Mushtak T. Jabbar, & Xiaoling Chen. (2010). Application of Remote Sensing and GIS in the Study of Environmental Sensitivity to Desertification: A Case Study in Basrah Province, Southern Part of

Iraq. *Applied Geomatics*, 2(3), 101–12. doi: 10.1007/s12518-010-0024-y.

18. Handbook, LESA. (2011). National Agricultural Land Evaluation and Site Assessment (LESA) Handbook. *The Natural Resources Conservation Service (NRCS). US Department of Agriculture*, Washington, DC 95.
19. Keramatzadeh, M., Fathi, A., & Moazed, H. (2022). Investigate the Situation of Desertification in South East Ahvaz Region Using IMDPA Model with Emphasis on the Criteria Climate and Vegetation. *Irrigation Sciences and Engineering*, 45(1), 153–66. doi: 10.22055/jise.2021.37216.1968. [In Persian].
20. Khanamani, A., Karimzadeh, H., Jafari, R. (2013). Evaluation of Desertification Intensity Using Soil Indices. *JWSS-Isfahan University of Technology*, 17(63), 49–59. [In Persian].
21. Khoshnodifar, Z., Karimi, H., & Ataei, P. (2023). Mechanisms to Change Farmers Drought Adaptation Behaviors in Sistan and Baluchistan Province, Iran. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, No. 7. doi: 10.3389/fsufs.2023.1121254. [In Persian].
22. Kosmas, C., Kirkby, M., & Geeson, N. (Eds.). (1999). The MEDALUS project: Mediterranean desertification and land use: Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. *European Commission, Energy, Environment and Sustainable Development*, EUR 18882.
23. Mbow, H. P., & Reisinger, A., Canadell, J., & OBrien, Ph. (2017). Special Report on Climate Change, Desertification, Land Degradation, Sustainable Land Management, Food Security, and Greenhouse Gas Fluxes in Terrestrial Ecosystems (SR2). *Ginevra*, IPCC 650.
24. Mesbahzadeh, T., Ahmadi, H., Zehtabian, Gh., & Sarmadian, F. (2010). Assessment of Wind Erosion Intensity by IRIFR. EA Model (Case Study: Abuzeidabad, Kashan). *Journal of Range and Watershed Management*, 63(3), 399-415[In Persian].
25. Mombeni, M., Karamshahi, A., Azadnia, F., Garaee, P., & Karimi, K. (2016). Assessment of Desertification Intensity Using IMDPA Method (Case Study: Dashte Abbas, Ilam). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 7(3), 100–112. [In Persian].
26. Nazarnejad, H., Mohtadi, M., Komaki, Ch. B. (2019). Assessing and Mapping Desertification Hazard Using Desertification Indicator System for Mediterranean Europe (Case Study: Miandoab Plain of West Azerbaijan Province, Iran). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 2(2), 1–12. doi: 10.22052/jdee.2020.132125.1035. [In Persian].
27. Rigi, M.R., Anvar Nodrat Zehi, M., Mohammadi, M., & Rafie Dehghan Bakhshan, R. (2017). Assessment of Areas Sensitivity to Desertification Using ESAs Model (Case Study: Muksokhteh and Rotok Region of Saravan). *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(4), 287–93. doi: 10.22069/jwsc.2017.12287.2683. [In Persian].
28. Shirghir, S., & Masoudi, M. 2021. Hazard Assessment of Desertification Using the New Model of Proposed MEDALUS. *Watershed Management Research*, 34(3), 133–48. doi: 10.22092/wmej.2021.352966.1381. [In Persian].
29. Steiner, F. R. (1987). Agricultural land evaluation and site assessment in the United States: An introduction. *Environmental Management*, 11(4), 375–377. doi: 10.1007/BF01867166
30. Steiner, F. R., Dunford, R., Roe, R. D., Wagner, W. R., & Wright, L. E. (1984). The Use of the SCS Agricultural Land Evaluation and Site Assessment (LESA) System in Whitman County, Washington. *Landscape Journal*, 3(1), 14–23. doi:10.3368/lj.3.1.3
31. Verón, S. R., Paruelo, J. M., & Oesterheld, M. (2006). Assessing Desertification. *Journal of Arid Environments*, 66(4), 751–63. doi: 10.1016/j.jaridenv.2006.01.021.
32. Yousefi, Z., Jahantigh, H., & Zolfaghari, F. (2023). Assessment of Desertification Severity in Morad Abad-Saravan Plain Using Albedo-NDVI Model. *Journal of Spatial Analysis Environmental Hazarts*, 10(4), 209–24. doi: 10.61186/jsaeh.10.4.209. [In Persian].
33. Zolfaghari, F., & Khosravi, H. (2015). Assessment of Wind Erosion Intensity by IRIFR Model Case Study: Jazinak, Sistan, Iran. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 4(5), 27–45. doi: 10.22111/jneh.2015.2473. [In Persian].
34. Zolfaghari, F., & Khosravi, H. (2016). Assessment of Desertification Severity Using IMDPA Model in Saravan Region. *Geography and Environmental Planning*, 27(2), 87–102. doi: 10.22108/gep.2016.21817. [In Persian].

Desertification Evaluation and its Site Assesment: A Case Study of Saravan City, Sistan and Baluchistan Province, Iran

Asyh Pahang,[1] Chooghi Bairam Komaki,[2*] Farhad Zolfaghari,[3] Hamidreza Asgari,[4] Habib Nazarnejad[5]

Received: 03/11/2024 Accepted: 01/01/2025

Extended Abstract

Introduction: As a serious global environmental challenge that significantly influences arid and semi-arid regions, desertification brings about land degradation, reduced water resources, soil erosion, and a host of socio-economic problems. Therefore, this study sought to investigate the critical status of desertification in Saravan County, located in Sistan and Baluchistan Province, Iran, which is characterized by its arid climate, low precipitation, prolonged drought periods, and declining water resources. These conditions adversely affect vegetation and soil moisture, leading to intensified desertification. Taking the aridity index into consideration, the area is classified as "very severe" with an aridity value of 1.48, highlighting its high susceptibility to desertification. Moreover, unsustainable land management practices and overgrazing have contributed to the further degradation of such a fragile ecosystem. On the other hand, the lack of sufficient vegetation has exposed the land to severe erosion, exacerbating the process of desertification. Thus, recognizing the interplay of natural and human-induced factors is required for tackling the challenges facing Saravan County.

Materials and Methods: This study assessed desertification in Saravan County using the MEDALUS (Mediterranean Desertification and Land Use) model and the LESA (Land Evaluation and Site Assessment) system. The study area is located in Saravan, covering 12,821 square kilometers. The required data were collected from governmental records on land management and groundwater resources, meteorological station data on precipitation, and field surveys of soil, vegetation, and wind erosion indicators. On the other hand, the MEDALUS model was used to assess desertification vulnerability in terms of six criteria, including climate, soil, vegetation, management and policy, wind erosion, and groundwater depth. Each criterion was then assessed through specific indicators and scored based on its contribution to desertification. Then, the criteria were combined geometrically to determine the vulnerability of each land unit. As for the analysis of data, climate analysis included precipitation data (to evaluate annual precipitation rate), aridity index, drought patterns, and geographical direction. Moreover, soil analysis included assessment of texture, drainage, gravel content, and slope, all of which play a crucial role in land degradation. Also, vegetation was assessed in terms of its percentage, resistance to erosion and drought, and fire risk. Furthermore, the implementation of sustainable practices and the severity of land use, including agricultural and grazing activities were assessed in terms of management and policy factors. On the other hand, wind erosion was examined using the IRIFR model, where landform, wind characteristics, soil and surface cover, vegetation density, erosion marks, and land use were taken into consideration. In addition, groundwater depth fluctuations were analyzed using piezometric data collected from 22 wells in a 20-year period (1982–2002). Also, the LESA system was used to assess the

1. MSc of Management and Control of Arid Zones, Department of Arid Zone Management, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR), Gorgan, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Arid Zone Management, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources (GUASNR), Gorgan, Iran; komaki@gau.ac.ir

3. Assistant Professor, Higher Educational Complex of Saravan, Iran.

4. Associate Professor, Department of Arid Zone Management, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

5. Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Rangeland and Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

DOI: 10.22052/deej.2025.255707.1082

suitability of land for agricultural use in terms of two components: Land Evaluation (LE) and Site Assessment (SA). Accordingly, LE focused on soil properties such as texture, salinity, drainage, topography, and erosion, and SA evaluated non-soil factors, including proximity to urban areas, access to infrastructure, and compatibility with surrounding land uses. Finally, Geographic Information Systems (GIS) was used to map the spatial distribution of desertification indicators, revealing severity levels across land units. The findings showed that vegetation and climate were the primary driving forces of desertification in Saravan County, with their values being 1.92 and 1.08, respectively. Moreover, the overall desertification severity value was found to be 1.02, indicating critical conditions in the northern and southern regions and the fragile status of the northwestern area. On the other hand, the LESA findings revealed heightened vulnerability in agricultural and residential areas, with the grasslands showing the highest suitability for sustainable land use.

This study stressed the link between land use intensity and desertification severity, particularly in agricultural and residential zones, and recommended sustainable practices such as modern irrigation techniques, optimized cropping patterns, and controlled livestock populations.

Results: According to the results of the application of the MEDALUS model, low precipitation and prolonged droughts were found as key contributing factors to the severe desertification in Saravan County. Moreover, the arid climate of the region exerts an adverse influence on vegetation and soil moisture, with the aridity index rate of 1.48 indicating very severe vulnerability. On the other hand, soil analysis revealed variations in desertification levels, according to which areas with exposed rock and poor drainage showed severe conditions. However, while agricultural lands were found to be less vulnerable, the region was found to suffer from moderate desertification based on soil texture analysis. Moreover, the study found that the region's vegetation was sparse due to overgrazing and unfavorable climatic conditions. In addition, the results indicated that while areas with no vegetation suffered from severe desertification, agricultural lands displayed lower vulnerability in this regard. Generally, the geometric mean of vegetation indicators was reported to be 1.92, classifying the region as very severe in terms of desertification status.

Furthermore, it was found that while management and policy factors played a moderate role in desertification, unsustainable practices like overgrazing made a significant contribution to desertification. On the other hand, based on IRIFR model assessments, the study found that wind erosion was moderate to very severe and that groundwater had significantly been depleted in the western region, both of which have led to exacerbated desertification. Moreover, according to the results found by the LESA system, while agricultural and residential areas showed higher vulnerability to desertification, grasslands are the most suitable areas for sustainable land use.

Considering all the above-mentioned findings, this study recommends sustainable resource management, including modern irrigation, optimized cropping patterns, and conservation efforts as crucial strategies to be adopted for mitigating desertification.

Discussion and Conclusion: The integrated use of the MEDALUS and LESA models provided comprehensive insights into desertification trends in Saravan County, confirming a critical level of vulnerability that is primarily driven by unfavorable climatic conditions, unsustainable land management, and inherent soil weaknesses. Sparse vegetation, prolonged droughts, poor soil quality, and overgrazing were found as key contributors to desertification, leading to the exacerbation of erosion, reduction of water infiltration, and diminishing of biological productivity. Moreover, the findings of the study underscored the significance of promoting sustainable land use practices to mitigate land degradation. On the other hand, wind erosion and groundwater depletion were identified as significant concerns, necessitating measures such as windbreak erection, application of conservation tillage, and adoption of sustainable groundwater management strategies. The study also highlighted the value of combining the data collected from field study, remote sensing, and spatial modeling for effective desertification assessment and mitigation planning. Furthermore, the study recommended the application of additional indicators such as soil shear strength and wind stress and emphasized the use of a multi-faceted approach involving scientific, policy, and community-driven initiatives to combat desertification and ensure the ecological integrity of Saravan County.

Keywords: MEDALUS Model, Geographical Information System, Modeling, Desertification.