

مدل‌سازی و پهنه‌بندی رفتار بیابان بر اساس پارامترهای ژئومورفولوژیکی (مطالعه موردی: حوضه کویر حاج علی قلی)

سید حجت موسوی* - استادیار ژئومورفولوژی، گروه جغرافیا و اکوتوریسم، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۳/۱۰/۰۷

چکیده

روند فزاینده بیابانی‌زایی در اقصی نقاط ایران، یکی از جدی‌ترین معضلات زیست محیطی، اقتصادی و اجتماعی است که کنترل آن از دغدغه‌های ملی محسوب می‌گردد. بنابراین ارزیابی عوامل موثر، شناسایی دامنه تاثیر آنها و مدل‌سازی رفتار بیابان می‌تواند در پیش‌بینی روند آتی و جلوگیری از گسترش بیابان‌زایی مفید واقع شود. لذا هدف از این پژوهش مدل‌سازی ژئومورفولوژیکی و پهنه‌بندی رخداد بیابان‌زایی حوضه کویر حاج علی قلی با استفاده از مدل‌های آماری و تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی است. بدین منظور ابتدا لایه‌های رقومی پارامترهای ژئومورفولوژیکی نظیر جنس مواد، واحدهای ژئومورفیک، کلاس‌های فرسایشی، طبقات ارتفاعی، شیب و جهت شیب تهیه، و با لایه بیابان‌زایی منطقه تالاقی داده شد. پس از تشکیل پایگاه داده از طریق محاسبه مساحت واحدهای همگن، مبادرت به رابطه‌سنجی بین پارامترهای ژئومورفیک و طبقات بالفعل بیابان‌زایی گردید و مقادیر برآورد شده‌ی ضریب تبیین به عنوان دامنه تاثیر پارامترها در فرایند تخریب اراضی لحاظ گردید. نهایتاً جهت پهنه‌بندی رخداد بیابان‌زایی، لایه‌های رستری پارامترها بر اساس دامنه تاثیر و مدل گام به گام بایکدیگر تلفیق، و نتایج مورد ارزیابی دقت قرار گرفت. نتایج دربردارنده نقشه پهنه‌بندی منطقه مطالعاتی از پهنه خیلی شدید تا پهنه فاقد بیابان‌زایی می‌باشد، بطوریکه پهنه بیابان‌زایی خیلی شدید وسعتی معادل ۴۸۲/۳۲ کیلومترمربع (۶۵/۷۵ درصد) از تخریب اراضی فعلی را به خود اختصاص داده و امکان افزایش مساحت تا ۲۴۱۲/۸۵ کیلومترمربع را دارد. پهنه بیابان‌زایی شدید نیز که ۱۸۴/۴۷ کیلومترمربع (۲۵/۱۴ درصد) از وسعت تخریب اراضی فعلی را در بر گرفته، می‌تواند تا ۳۰۲۳/۹۲ کیلومترمربع توسعه یابد. نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل و نقشه پهنه‌بندی، روند نزولی شاخص ارزیابی دقت را از پهنه خیلی شدید به پهنه فاقد بیابان‌زایی نشان داده و بیانگر دقت لازم می‌باشد. در مجموع حوضه کویر حاج علی قلی از منظر تخریب اراضی بر مبنای پارامترهای ژئومورفیک یک اکوسیستم ناسالم بوده و دارای رفتار ناهنجار است که تنش‌های ناشی از افزایش رخداد بیابان‌زایی را می‌توان عامل اصلی ناسالمی سیستم و ناهنجاری رفتار آن برشمرد.

واژگان کلیدی: بیابان‌زایی، مدل‌سازی ژئومورفولوژیکی، پهنه‌بندی، رفتار بیابان، کویر حاج علی قلی.

مقدمه

وسعتی در حدود ۴۰ درصد از مساحت کره زمین را مناطق خشک و نیمه‌خشک در بر گرفته‌اند که ۷۰ درصد این مناطق بر اساس مطالعات انجام شده توسط یونپ در سال ۱۹۹۲ تحت تاثیر معضل بیابان‌زایی قرار دارند (Veron et al., 2006: 751). بیابان یک بیوم و یا یک اکوسیستم زوال یافته است که استعداد تولید طبیعی گیاه در آن کاهش یافته و یا به کلی از بین رفته است. این فرایند نه تنها به عوامل اقلیمی، بلکه به عوامل محیطی نظیر ساختمان زمین‌شناسی، ژئومورفولوژی، توپوگرافی، منابع آب و خاک و دخالت انسان در محیط نیز بستگی دارد (FAO/UNEP, 1984). نواحی بیابانی از لحاظ اکولوژی گیاهی و جانوری محدودیت‌هایی را در بر داشته و یا حتی فاقد حیات می‌باشند (معیری، ۱۳۹۰: ۵۴). بیابان‌زایی به تخریب زمین و کاهش قابلیت‌های تولید معیشتی خاک در مناطق خشک، نیمه خشک و خشک نیمه مرطوب اطلاق می‌شود که در نتیجه‌ی عوامل گوناگون از جمله فعالیت‌های بشر و تغییرات اقلیمی اتفاق می‌افتد (Qi et al., 2012: 37). به عبارت دیگر بیابان‌زایی کاهش توان اکولوژیک و بیولوژیک اکوسیستم بوده که هم به صورت طبیعی و هم مصنوعی رخ می‌دهد (اکبری و همکاران، ۱۳۹۰: ۳۹۸). از این رو عوامل موثر بر پدیده بیابان‌زایی را می‌توان به دو دسته طبیعی و انسانی تقسیم نمود. عوامل طبیعی ریشه در تاریخ زمین داشته و از زمان خلقت، طبیعت را به صورت ذاتی دگرگون کرده است؛ عوامل اقلیمی و خشکسالی‌های پی در پی نیز این امر را تقویت می‌کند. در دهه‌های اخیر تحت تاثیر دخالت‌های گسترده انسان در طبیعت، شتاب بیابان‌زایی نه تنها در اراضی خشک و نیمه خشک، بلکه در سایر بیوم‌ها افزایش یافته و جوامع زیستی را تحت تاثیر قرار داده است. مدیریت ضعیف کاربری اراضی و افزایش جمعیت از جمله عوامل انسانی هستند که موجب بالا رفتن سطح میزان آبیاری، برداشت نادرست و یا برداشت بیش از اندازه‌ی محصول و افزایش تعداد دام می‌شوند. این وقایع زمین و خاک را دگرگون، منابع را کاهش و امکان بیابان‌زایی را افزایش می‌دهد (Mainguet, 1991; Zhu and Chen, 1994: 20; Wu, 2002: 429; Luo, 2003: 29; Qi et al., 2012: 37).

حدود ۸۰ درصد از اراضی کشور ایران در حوضه مناطق خشک، نیمه خشک و خشک نیمه مرطوب قرار دارند و از این نظر دارای شرایط اکولوژیکی شکننده‌ای هستند. این محدوده وسیع با توجه به شرایط خاص ژئومورفیک، اقلیمی، خاک-شناسی و سوء مدیریت انسانی در معرض معضل بیابان‌زایی قرار دارد. لذا مقابله با آن از مهمترین برنامه‌های ملی و منطقه‌ای محسوب می‌گردد. در این زمینه شناخت فرایندهای بیابان‌زایی و عوامل به وجود آورنده و تشدید کننده آن، آگاهی از شدت و ضعف این فرایندها، و مدل‌سازی جهت پیش‌بینی روند آتی بیابان‌زایی امری مهم و ضروری است که با ارائه راهکارهای مدیریتی مناسب می‌توان از شدت این پدیده کاست و یا از پیشروی آن جلوگیری به عمل آورد.

از مهمترین مدل‌ها و روش‌هایی که جهت ارزیابی بیابان‌زایی در سطح بین‌المللی و ملی ارائه شده‌اند، می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: مدل فائو-یونپ در سال ۱۹۸۴ توسط سازمان خواربار کشاورزی و محیط زیست ملل متحد با هدف طراحی روشی مقدماتی جهت ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی ارائه شد (FAO/UNEP, 1984). مدل MEDALUS در سال ۱۹۸۷ توسط کمیسیون اروپا با هدف مطالعات بیابان‌زایی در کشورهای مدیترانه‌ای تهیه گردید (Kirkby et al., 1998: 35). مدل GLASOD در سال ۱۹۹۱ با همکاری مرکز بین‌المللی اطلاعات و منابع خاک جهت ارزیابی فرسایش و تخریب خاک در سطح جهان طراحی شد (Oldeman et al., 1991). مدل ESAs توسط کمیسیون اروپا در سال ۱۹۹۹ (شهریاری و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۴) و مدل LADA در سال ۲۰۰۲ توسط سازمان ملل جهت بررسی و ارزیابی تخریب اراضی در مناطق خشک ارائه شد (Nachtergaele and Licona-Manzur, 2009: 327). پروژه ارزیابی بیابان‌زایی Desert links (۲۰۰۱ - ۲۰۰۵) توسط کمیسیون اروپا با هدف یاری رساندن به عملکرد کنوانسیون مبارزه با بیابان‌زایی از طریق ایجاد و توسعه معیارهای بیابان‌زایی در اروپای مدیترانه‌ای طراحی گردید. پروژه مطالعه بیابان‌زایی DE Survey در بازه زمانی ۲۰۰۵ - ۲۰۱۰ توسط کمیسیون اروپا با هدف ارائه گزارش کاملی از روش یکپارچه ارزیابی و پیش‌بینی بیابان‌زایی با ساختار و نمونه‌های آموزشی در مقیاس اروپایی و ملی ارائه شد (بخشنده مهر

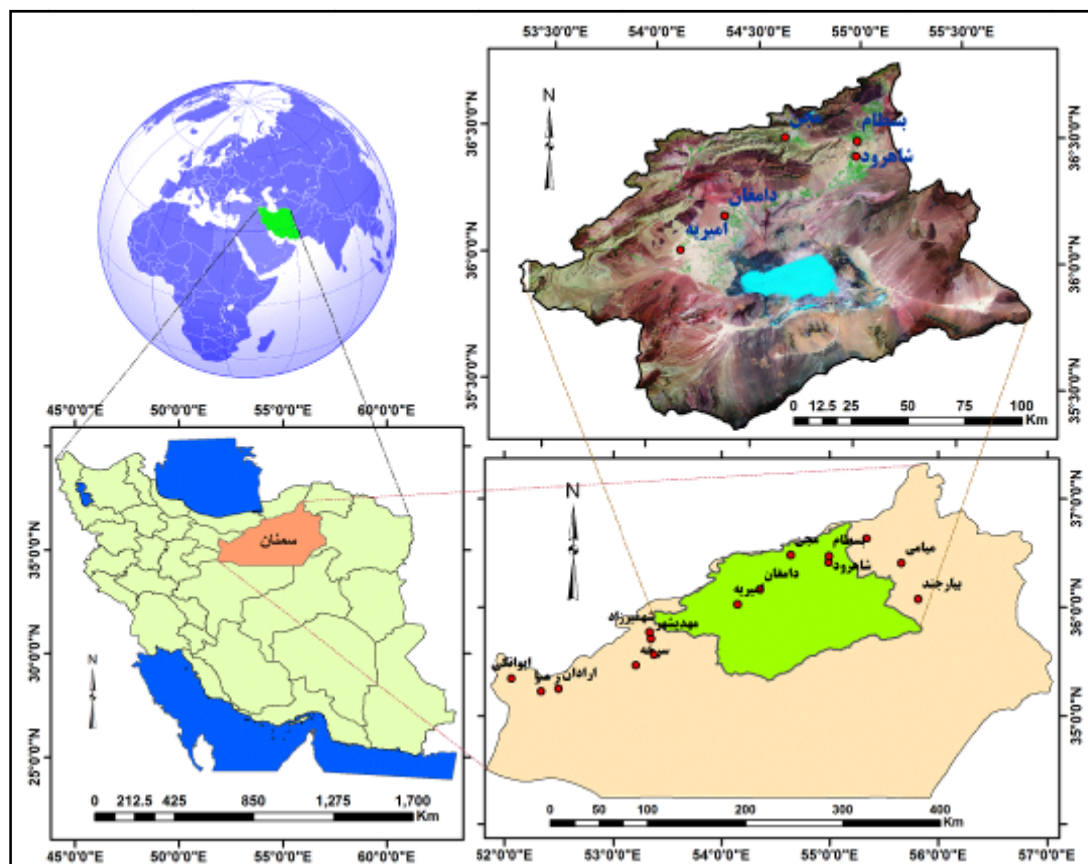
۱۳۸۷: ۳۰). در ایران نیز مدل ICD در سال ۱۳۷۴ توسط اختصاصی و مهاجری برای ارزیابی پدیده بیابان‌زایی تهیه شد. طرح بیابان‌زایی در سال ۱۳۷۵ توسط احمدی جهت شناخت و ارزیابی قابلیت بیابان‌های ایران و مدیریت مناسب آنها در منطقه حاجی میرک شهرستان فردوس در استان خراسان جنوبی اجرا گردید (احمدی، ۱۳۸۷: ۵۱۱). همچنین مدل IMDPA توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری در سال ۱۳۸۴ با هدف شناخت و معرفی معیارها و شاخص‌های بیابان‌زایی و ارائه متدولوژی ارزیابی کمی و کیفی تخریب اراضی در زیست بوم‌های طبیعی کشور ارائه شد (زهتابیان، ۱۳۸۱: ۴۶). سایر مطالعات نیز وام گرفته از مدل‌های مذکور می‌باشد، بطوریکه: Helldén (۲۰۰۸: ۱۵۸) از طریق ادغام پارامترهای اجتماعی-اقتصادی با شاخص‌های بیوفیزیکی تولید بیوماس یک مدل سیستمی پویا برای برآورد و ارزیابی بیابان‌زایی در منطقه Kordofan سودان در یک بازه زمانی ۱۵۰ ساله ارائه داده که یک مدل انسانی-زیستی پایش تخریب زمین و بیابان‌زایی است. Rasmy و همکاران (۲۰۱۰: ۱۰۱) بیابانی شدن اراضی در منطقه Al Bihira در غرب دلتای نیل را بر مبنای مدل مدالوس مورد مطالعه قرار داده و یک مدل سیستمی پویا برای شبیه‌سازی و تجزیه و تحلیل حالت بالقوه بیابان‌زایی ارائه دادند. Ladisa و همکاران (۲۰۱۱: ۱۰۳) خطر رخداد بیابان‌زایی منطقه Apulia در جنوب شرقی ایتالیا را بر اساس مدل مدالوس و تکنیک GIS و با استفاده از مجموعه‌ای از شاخص‌های جدید نظیر ویژگی‌های زیست محیطی و همچنین پارامترهای اجتماعی و اقتصادی مربوط به برنامه‌ریزی و بهره‌گیری از اقدامات کنترل زمین مورد ارزیابی قرار دادند. Vanmaercke و همکاران (۲۰۱۱: ۱۷۱۵) شاخص فرسایش خاک را که اغلب به عنوان یکی از فرایندهای اصلی بیابان‌زایی در نظر گرفته می‌شود، براساس فاکتورهای مدل Desert Links مورد مطالعه قرار داده و بیان نمودند که این پارامتر می‌تواند به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های افزوده به مطالعات بیابان-زایی در ترکیب با شاخص‌های دیگر مورد استفاده قرار گیرد. Bakra و همکاران (۲۰۱۲: ۲۷۱) حساسیت پذیری زمین به بیابان‌زایی را در اکوسیستم‌های کشاورزی به صورت چند زمانه (۱۹۸۴ و ۲۰۰۸) و با استفاده از مدل مدالوس و مدالوس تعدیل شده در منطقه بوستان یونان را مورد ارزیابی قرار داده و بیان داشتند که بر اساس هر دو روش منطقه مطالعاتی به ترتیب دارای ۸۹٪ و ۷۸٪ بیابان‌زایی بوده و از نظر تخریب پوشش گیاهی نسبتاً حساس می‌باشد. Ferrara و همکاران (۲۰۱۲: ۱۲۳) به بررسی عملکرد سیستم شاخص‌های کلیدی موثر در پایش بیابان‌زایی پرداخته و اهمیت شاخص‌های حساس محیطی را از طریق روش اصلی تحلیل حساسیت و تجزیه و تحلیل اهمیت پارامترها با استفاده از مدل مدالوس ارزیابی کرده است. زهتابیان و همکاران (۱۳۸۱: ۱۴۵) جهت تعیین شدت بیابان‌زایی در منطقه کاشان از مدل فائو-یونپ بهره گرفته و بیان داشتند که در این منطقه ۱۹/۱۶ درصد منطقه با وضعیت بیابانی بسیار شدید، ۵۱/۳۶ درصد در کلاس بیابانی شدید و حدود ۲۹/۴۸ درصد نیز در طبقه بیابانی متوسط واقع شده‌اند. مدل ESAs توسط زهتابیان و رفیعی امام (۱۳۸۲: ۱۲۰) برای ارزیابی و تهیه نقشه حساسیت مناطق به بیابان‌زایی در منطقه ورامین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که این مدل از دقت بیشتری نسبت به دیگر روش‌های مورد استفاده در ایران برخوردار بوده و با توجه به روش خاص وزن‌دهی، استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، بهره‌گیری از میانگین هندسی به جای میانگین حسابی، علاوه بر افزایش دقت و سرعت انجام آن، در ارزیابی و تهیه نقشه بیابان‌زایی خطای کارشناسی نیز وجود ندارد. مدل ICD توسط چمن‌پیرا و همکاران (۱۳۸۵: ۵۴۳) در حوضه آبخیز کوه‌دشت جهت تعیین شدت و وضعیت فعلی بیابان‌زایی مورد استفاده و ارزیابی قرار گرفت. نتایج آن نشان می‌دهد که در این حوضه، ۳۲/۷ درصد منطقه با فرسایش شدید، ۳۲ درصد در کلاس فرسایشی متوسط و حدود ۳۵/۲ درصد هم در طبقه بیابان‌زایی کم واقع شده‌اند. بخشنده مهر (۱۳۸۷: ۱) به منظور ارزیابی بیابان‌زایی در دشت سگزی در شرق اصفهان مدل مدالوس را مورد استفاده قرار داد و نهایتاً مدلی منطقه‌ای بر اساس ویژگی‌های طبیعی منطقه ارائه نمود. بر اساس این پژوهش، ۱/۷ درصد از مساحت منطقه در کلاس بیابان‌زایی متوسط، ۳۴/۹ درصد در کلاس بیابان‌زایی شدید و ۶۳/۵ درصد نیز در کلاس بیابان‌زایی بسیار شدید قرار دارد. سپهر (۱۳۸۹) و سپهر و همکاران (۱۳۹۱: ۳۳) با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره نظیر تاپسیس،

تحلیل سلسله مراتبی و الکنره به مطالعه پارامترهای موثر در بیابان‌زایی در قالب پروژه بین‌المللی Desert Watch (۲۰۰۵ - ۲۰۱۰) پرداخته و نهایتاً یک سامانه شاخص‌های موثر در بیابان‌زایی و الگوی مدیریت ریسک بیابان‌زایی در شرایط عدم قطعیت ارائه داده‌اند. موسوی و همکاران (۱۳۹۲: ۸۵) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های دورسنجی به پایش بیابان‌زایی کویر حاج علی قلی در بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۹۸۷-۲۰۰۶) پرداخته و بیان نمودند که تغییرات گسترده‌ای در ویژگی‌های اکوژئومورفولوژی پهنه مطالعاتی رخ داده، و این منطقه در معرض بیابان‌زایی با ریسک بالا قرار دارد.

روند رو به رشد بیابان‌زایی به عنوان معضل تخریب منابع ارضی یکی از مهمترین مشکلات زیست محیطی حوضه کویر حاج علی قلی است، به‌گونه‌ای که از سال ۱۹۷۷ تا ۱۹۸۸ وسعت ۳۰۹۷۸/۹۹ هکتار و از سال ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۰ وسعت ۳۳۹۱۵/۵۹ هکتار از حوضه این کویر با مسئله بیابان‌زایی روبرو بوده‌است (علوی‌پناه و همکاران، ۱۳۸۳: ۱۵۳). بنابراین این پژوهش سعی دارد تا با استفاده از تکنیک‌های دورسنجی، سیستم اطلاعات جغرافیایی و روش‌های آماری به شناسایی و ارزیابی خصوصیات ژئومورفولوژیکی محیط‌های بیابانی حوضه کویر حاج علی قلی پرداخته و نهایتاً رخداد بیابان‌زایی منطقه مطالعاتی را براساس پارامترهای ژئومورفیک مدل‌سازی و پهنه‌بندی نماید.

منطقه مورد مطالعه

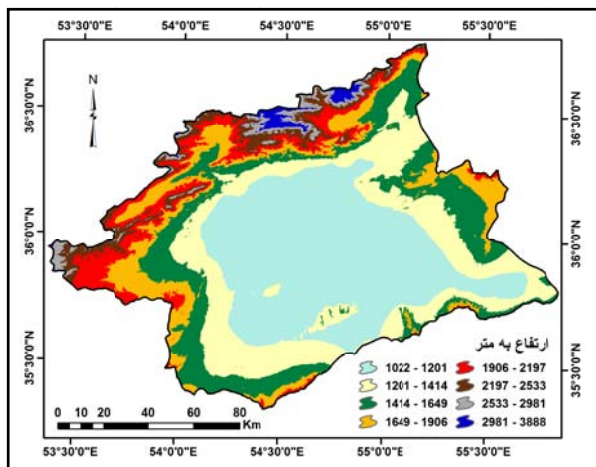
آبخیز دامغان منطقه‌ای مستطیلی شکل با مساحتی برابر با ۱۸۷۰۰ کیلومتر مربع در امتداد دامنه جنوب و جنوب شرقی البرز قرار گرفته است. این ناحیه به صورت چاله‌ای مستقل بین رشته کوه‌های البرز و دشت کویر گسترده شده است و همانند محورهای اصلی کوهستان البرز در این منطقه، چاله دامغان جهت شمال شرقی - جنوب غربی دارد (کرینسلی، ۱۳۸۱: ۷۲). کوهستان‌های البرز در قسمت شمال با حداکثر ارتفاع ۳۸۸۸ متر در قله چالوئی بر این دشت مسلط است و کوهستان‌های جنوبی با حجم و ارتفاع کمتر نسبت به کوهستان‌های شمالی، چاله دامغان را از حوضه آبی کویر بزرگ جدا می‌کند. مرتفع‌ترین قله کوهستان‌های جنوبی، قله کوه دارستان با ارتفاع ۲۳۱۹ متر است و پستترین نقطه منطقه مربوط به کویر حاج علی قلی با ارتفاع ۱۰۲۲ متر از سطح دریا می‌باشد. قسمت اعظم ناحیه حوضه آبی دامغان را دشت وسیعی در بر گرفته که شیبی همگرا و بسیار ملایم به طرف کویر حاج علی قلی دارد. شیب دشت در اطراف کویر به یک درصد و در حواشی آن به حداکثر ۵ درصد می‌رسد (Mousavi et al., 2013: 9). منطقه مطالعاتی از نظر سیاسی در استان سمنان واقع شده و در موقعیت جغرافیایی ۵۳° و ۱۵' تا ۵۶° طول شرقی و ۳۵° و ۱۵' تا ۳۷° عرض شمالی گسترده شده است (شکل ۱).



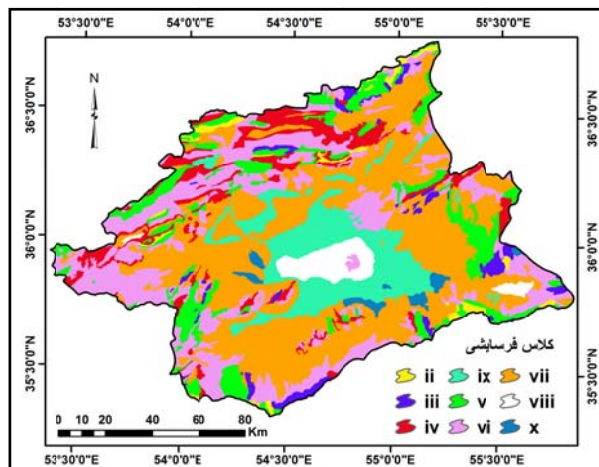
شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

مواد و روش‌ها

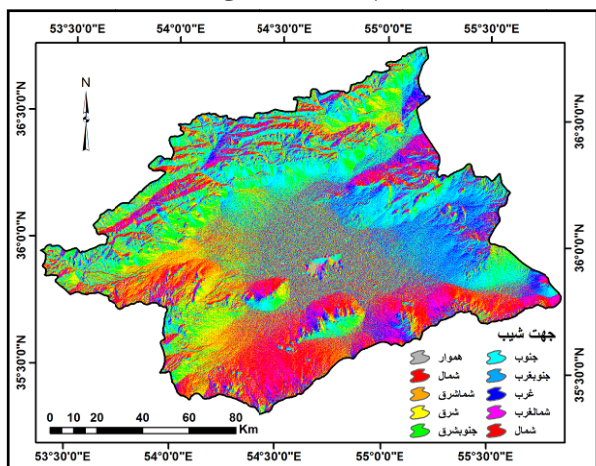
روش مورد بررسی در این پژوهش شامل دو بخش عمده می‌باشد. بخش اول در بردارنده پایش وضعیت بیابان‌زایی حوضه کویر حاج علی قلی است، به گونه‌ای که پس تعیین حدود منطقه مطالعاتی براساس نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ و مدل ارتفاعی رقومی؛ وضعیت بیابان‌زایی منطقه با استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای TM و ETM^+ در بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۹۸۷-۲۰۰۶) از طریق تکنیک‌های دورسنجی نظیر تحلیل مولفه مینا، تسلاکپ، شاخص‌های شوری، پایش تغییرات، تفاضل تصویر، طبقه‌بندی و میانگین‌گیری هندسی مورد بررسی قرار گرفت و نقشه وضعیت فعلی بیابان‌زایی منطقه تهیه گردید (شکل ۲)؛ که براساس نتایج آن، مساحتی معادل ۷۴۸/۰۹۹ کیلومترمربع از محدوده مطالعاتی به عنوان مناطق دارای معضل کاهش پتانسیل و توان اکولوژیک و بیولوژیک شناسایی شد (موسوی و همکاران، ۱۳۹۲: ۸۵). لایه مزبور براساس ارزش عددی اختصاص یافته به هر پیکسل از طریق شکست‌های طبیعی به ۲۰ کلاس جهت مدل‌سازی آماری طبقه‌بندی، و مساحت و محدوده فضایی هر طبقه محاسبه و تعیین گردید.



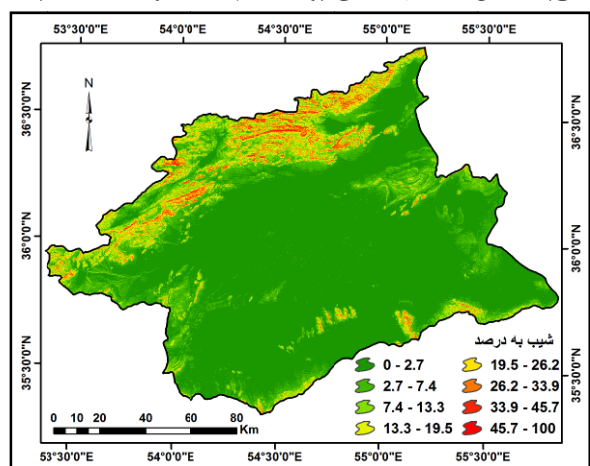
(د) طبقات ارتفاعی



(ج) کلاس‌های فرسایشی (وزارت جهاد کشاورزی، ۱۳۸۵)



(ه) جهت شیب



(و) شیب

شکل (۳): لایه‌های اطلاعاتی پارامترهای ژئومورفیک موثر در رخداد بیابان‌زایی حوضه کویر حاج علی قلی

جهت تشکیل پایگاه داده برای مدل‌سازی آماری، لایه بیابان‌زایی فعلی (شکل ۲) با لایه‌های پارامترهای ژئومورفیک (شکل ۳) مورد جمع‌گیری قرار گرفت و واحدهای همگن در هر پهنه تعیین شد. سپس مقدار عددی مساحت هر پهنه و مساحت واحدهای همگن محاسبه و پایگاه داده جهت مدل‌سازی تشکیل و تکمیل گردید (جدول ۱).

جدول (۱): آمار توصیفی کلاس‌های بیابان‌زایی و پارامترهای ژئومورفیک موثر در تخریب اراضی (مساحت به Km^2)

پارامتر	حداقل	حداکثر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	طبقه دارای حداقل	طبقه دارای حداکثر
طبقات بیابان‌زایی	۶/۷۲	۳۲۲/۳۱	۳۶/۶۸	۶۸/۹	۴/۱۲۵	بیابان‌زایی	طبقه دارای حداکثر بیابان‌زایی
طبقات ارتفاعی	۰	۳۲۱/۹۹	۴/۵۸	۲۶/۶۲	۱۰/۹۱۵	۲۵۳۳ - ۳۸۸۸	۱۰۲۱ - ۱۲۰۱
جهت شیب	۰/۰۱۲۷	۴۴/۶۶	۴/۰۷۶	۷/۹۷۴	۴/۰۵۶	هموار	جنوب
جنس مواد	۰	۲۵۹/۰۸۸	۳/۳۳	۱۸/۶۲	۱۲/۱۶۷	مواد دگرگونی	پهنه رسی
واحد ژئومورفیک	۰	۲۵۹/۰۸۷	۶/۱۱۲	۲۴/۷۲	۹/۲۶۴	کوهستان و ریگزار	جلگه رسی
شیب	۰	۳۱۹/۳۱۶	۴/۵۸	۲۶/۵۱	۱۰/۷۹	۰ - ۲/۷	۴۵/۷ - ۱۰۰
فرسایش	۰	۲۷۵/۳۶۲	۴/۰۷۶	۲۱/۴۹۹	۱۱/۴۸۴	II	IX

جهت تعیین وزن هر طبقه و تاثیر آن در رخداد بیابان‌زایی منطقه، روابط بین مقدار مساحت واحدهای همگن و طبقات بیابان‌زایی فعلی با استفاده از تکنیک آنالیز رگرسیون در محیط نرم افزار SPSS مدل‌سازی و مقدار ضریب تبیین به عنوان وزن و دامنه تاثیر پارامترهای ژئومورفیک موثر لحاظ گردید. برای ارائه مدل نهایی نیز از تکنیک آنالیز رگرسیون چند متغیره گام به گام بهره‌گیری شد، و همچنین مدل مزبور از طریق ارتباط سنجی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مقادیر مشاهده شده مورد صحت سنجی قرار گرفت. نهایتاً جهت پهنه‌بندی رخداد بیابان‌زایی لایه‌های رستری پارامترها براساس دامنه تاثیر (ضریب تبیین) و مدل گام به گام با یکدیگر ترکیب گردید که نتیجه آن تهیه نقشه بالقوه بیابان‌زایی منطقه می‌باشد. در پایان لایه پهنه‌بندی براساس لایه وضعیت بیابان‌زایی فعلی کویر حاج علی قلی مورد ارزیابی دقت قرار گرفت.

یافته‌ها و نتایج

وقوع بیابان‌زایی متاثر از پارامترهای متعدد طبیعی و انسانی است که اهمیت هر کدام از این عوامل بسته به ویژگی‌های منطقه متفاوت می‌باشد. هراندازه انتخاب عوامل موثر و طبقه‌بندی آنها دقیق‌تر باشد، نتیجه بدست آمده به واقعیت نزدیک‌تر خواهد بود. عوامل طبیعی موثر بر رخداد تخریب اراضی را می‌توان به چندین دسته عمده معیارهای ژئومورفولوژیکی، زمین‌شناسی، اقلیمی، هیدرولوژیکی و خاک‌شناسی تقسیم نمود. در این پژوهش پارامترهای ژئومورفیک با توجه به اهمیتشان در حوضه کویر حاج علی قلی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. این شاخص‌ها عبارتند از: جنس مواد، واحدهای ژئومورفیک، کلاس‌های فرسایشی، شیب، جهت شیب و طبقات ارتفاعی. جهت تعیین دامنه تاثیر و وزن هر عامل از درصد مساحت بیابان‌زایی رخ داده در هر طبقه از پارامتر ژئومورفیک و ضریب تبیین حاصل از رابطه سنجی بین مساحت طبقات پارامترها و مناطق بیابان‌زایی رخ داده در آنها استفاده شده است. نتایج حاصل از رابط سنجی بین مناطق بیابان‌زایی شده و طبقات پارامترهای ژئومورفیک موثر به صورت جدول (۲) است.

جدول (۲): نتایج حاصل از آنالیز رگرسیون بین مناطق بیابان‌زایی شده و طبقات پارامترهای ژئومورفیک موثر

متغیر وابسته	متغیر مستقل	طبقات متغیر مستقل	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	ضریب تعدیل شده	خطای برآورد	سطح معنی داری
طبقات ۲۰ گانه مناطق بیابان‌زایی شده	جنس مواد	سنگ آهک	۰/۱۷۲	۰/۰۳۰	-۰/۰۲۴	۶۹/۷۳۴	۰/۴۶۸
		کنگومرا	۰/۱۲۹	۰/۰۱۷	-۰/۰۳۸	۷۰/۱۹۸	۰/۵۸۷
		کرتاسه و پرمین	۰/۰۹۳	۰/۰۰۹	-۰/۰۴۶	۷۰/۴۸۵	۰/۶۹۶
		شیل	۰/۱۳۱	۰/۰۱۷	-۰/۰۳۷	۷۰/۱۸۲	۰/۵۸۲
		پهنه رسی	۰/۹۹۳	۰/۹۸۶	۰/۹۸۶	۸/۲۸۷	۰/۰۰۰
		ماسه سنگ	۰/۱۲۹	۰/۰۱۷	-۰/۰۳۸	۷۰/۲۰۱	۰/۵۸۸
		پهنه نمکی	۰/۹۷۵	۰/۹۵۱	۰/۹۴۸	۱۵/۶۴۵	۰/۰۰۰
		تپه های ماسه‌ای	۰/۳۹۷	۰/۱۵۷	۰/۱۱۱	۶۴/۹۸۵	۰/۰۸۳
		سنگ‌های دگرگونی	۰/۱۹۲	۰/۰۳۷	-۰/۰۱۶	۶۹/۴۷۰	۰/۴۱۶
		مواد رسوبی کواترنر	۰/۸۲۲	۰/۶۷۶	۰/۶۵۸	۴۰/۲۹۹	۰/۰۰۰
ژئومورفیک واحدهای	ژئومورفیک	مارن و ژیبس	۰/۲۴۵	۰/۰۶۰	۰/۰۰۸	۶۸/۶۳۳	۰/۲۹۸
		کانال جریانی	۰/۸۶۲	۰/۷۴۳	۰/۷۲۸	۳۵/۹۱۱	۰/۰۰۰
		جلگه رسی	۰/۹۹۳	۰/۹۸۶	۰/۹۸۵	۸/۳۰۱	۰/۰۰۰
		پلایا	۰/۹۷۵	۰/۹۵۱	۰/۹۴۸	۱۵/۶۴۴	۰/۰۰۰
ریگ‌زار	۰/۳۹۷	۰/۱۵۷	۰/۱۱۱	۶۴/۹۸۵	۰/۰۸۳		

۰/۰۰۰	۴۳/۱۵۰	۰/۶۰۸	۰/۶۲۸	۰/۷۹۳	گلاسی	کلاس‌های فرسایشی
۰/۲۹۷	۶۸/۸۲۵	۰/۰۰۸	۰/۰۶۰	۰/۲۴۶	کوهستان	
۰/۹۶۳	۷۰/۷۸۸	-۰/۰۵۵	۰/۰۰۰۱	۰/۰۱۱	II	
۰/۳۱۶	۶۸/۷۹۵	۰/۰۰۳	۰/۰۵۶	۰/۲۳۶	III	
۰/۵۱۴	۶۹/۹۳۸	-۰/۰۳۰	۰/۰۲۴	۰/۱۵۵	IV	
۰/۵۲۷	۶۹/۹۸۷	-۰/۰۳۲	۰/۰۲۳	۰/۱۵۰	V	
۰/۶۵۰	۷۰/۳۷۸	-۰/۰۴۳	۰/۰۱۲	۰/۱۰۸	VI	
۰/۰۰۰	۴۰/۹۷۶	۰/۶۴۶	۰/۶۶۵	۰/۸۱۵	VII	
۰/۰۰۰	۳۰/۶۶۴	۰/۸۰۲	۰/۸۱۲	۰/۹۰۱	VIII	
۰/۰۰۰	۶/۷۴۸	۰/۹۹۰	۰/۹۹۱	۰/۹۹۵	IX	
۰/۰۸۰	۶۴/۸۸۰	۰/۱۱۳	۰/۱۶۰	۰/۴۰۰	X	
۰/۰۰۰	۰/۳۳۰	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰ - ۲/۷	شیب
۰/۰۰۰	۳۰/۷۵۸	۰/۸۰۱	۰/۸۱۱	۰/۹۰۱	۲/۷ - ۷/۴	
۰/۴۵۱	۶۹/۶۵۳	-۰/۰۲۲	۰/۰۳۲	۰/۱۷۹	۷/۴ - ۱۳/۳	
۰/۳۱۷	۶۸/۸۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۵۵	۰/۲۳۶	۱۳/۳ - ۱۹/۵	
۰/۳۸۹	۶۹/۳۱۰	-۰/۰۱۲	۰/۰۴۱	۰/۲۰۴	۱۹/۵ - ۲۶/۲	
۰/۸۲۴	۷۰/۶۹۳	-۰/۰۵۳	۰/۰۰۳	۰/۰۵۳	۲۶/۲ - ۳۳/۹	
۰/۶۷۶	۷۰/۴۴۰	-۰/۰۴۵	۰/۰۱۰	۰/۱۰۰	۳۳/۹ - ۴۵/۷	جهت شیب
۰/۷۷۳	۷۰/۶۲۵	-۰/۰۵۱	۰/۰۰۵	۰/۰۶۹	۴۵/۷ - ۱۰۰	
۰/۰۰۰	۴/۱۹۳	۰/۹۹۶	۰/۹۹۶	۰/۹۹۸	جنوب غرب	
۰/۰۰۰	۵/۰۳۲	۰/۹۹۵	۰/۹۹۵	۰/۹۹۷	شمال غرب	
۰/۰۰۰	۵/۳۵۱	۰/۹۹۴	۰/۹۹۴	۰/۹۹۷	شمال شرق	
۰/۰۰۰	۵/۷۹۰	۰/۹۹۳	۰/۹۹۳	۰/۹۹۷	شمال	
۰/۰۰۰	۷/۹۲۴	۰/۹۸۷	۰/۹۸۷	۰/۹۹۴	جنوب	
۰/۰۰۰	۲/۸۴۴	۰/۹۹۸	۰/۹۹۸	۰/۹۹۹	غرب	
۰/۰۰۰	۵/۲۰۸	۰/۹۹۴	۰/۹۹۵	۰/۹۹۷	شرق	
۰/۰۰۰	۶/۲۱۸	۰/۹۹۲	۰/۹۹۲	۰/۹۹۶	جنوب شرق	
۰/۰۰۰	۴/۳۹۲	۰/۹۹۶	۰/۹۹۶	۰/۹۹۸	هموار	
۰/۰۰۰	۳/۸۱۱	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	۰/۹۹۹	۱۰۲۲ - ۱۲۰۱	طبقات ارتفاعی
۰/۵۹۶	۷۰/۲۲۸	-۰/۰۳۹	۰/۰۱۶	۰/۱۲۸	۱۲۰۱ - ۱۴۱۴	
۰/۶۳۷	۷۰/۳۴۴	-۰/۰۴۲	۰/۰۱۳	۰/۱۱۲	۱۴۱۴ - ۱۶۴۹	
۰/۴۲۶	۶۹/۵۲۴	-۰/۰۱۸	۰/۰۳۶	۰/۱۸۸	۱۶۴۹ - ۱۹۰۶	
۰/۵۵۸	۷۰/۱۰۴	-۰/۰۳۵	۰/۰۱۹	۰/۱۳۹	۱۹۰۶ - ۲۱۹۷	
۰/۷۷۳	۷۰/۶۲۵	-۰/۰۵۱	۰/۰۰۵	۰/۰۶۹	۲۱۹۷ - ۲۵۳۳	
.	.	.	.	.	۲۵۳۳ - ۲۹۸۱
.	.	.	.	.	۲۹۸۱ - ۳۸۸۸

طبقات ۲۰ گانه مناطق بیابان‌زایی شده

نتایج جدول (۲) نشان می‌دهد که بیابان‌زایی فعلی کویر حاج علی قلی در بین طبقات پارامتر جنس مواد بیشترین رابطه معنی دار را با پهنه‌های رسی و نمکی به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۹۹۳ و ۰/۹۷۵ در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۰۱ دارد. بدین معنی که در عامل جنس مواد به ترتیب ۹۹/۳٪ و ۹۷/۵٪ تغییرات بیابان‌زایی منطقه توسط پهنه‌های رسی و نمکی کنترل می‌شود و مقادیر ۰/۷٪ و ۲/۵٪ باقی مانده سهم سایر طبقات است. تاثیر سایر پارامترها نیز به صورت جدول (۲) می‌باشد.

نتایج حاصل از تکنیک آنالیز رگرسیون چند متغیره گام به گام جهت ارائه مدل ژئومورفولوژیکی بیابان‌زایی در حوضه آبی کویر حاج علی قلی به صورت رابطه (۱) می‌باشد، که طبقات ۷ و ۸ عامل ارتفاع به دلیل عدم ارتباط و صفر بودن دامنه تاثیر آنها در رخداد بیابان‌زایی منطقه از مدل نهایی حذف شده‌اند. مقدار ضریب ثابت رابطه مزبور برابر با یک بوده که به دلیل عدم تاثیر در نتیجه نهایی از ذکر آن در معادله صرف نظر شده است.

$$\text{رابطه (۱): } GeoDM = \frac{1}{51} \left(\sum_{i=2}^{11} lit_i + \sum_{i=1}^6 geo_i + \sum_{i=1}^9 ero_i + \sum_{i=1}^8 slo_i + \sum_{i=1}^9 asp_i + \sum_{i=1}^8 ele_i \right)$$

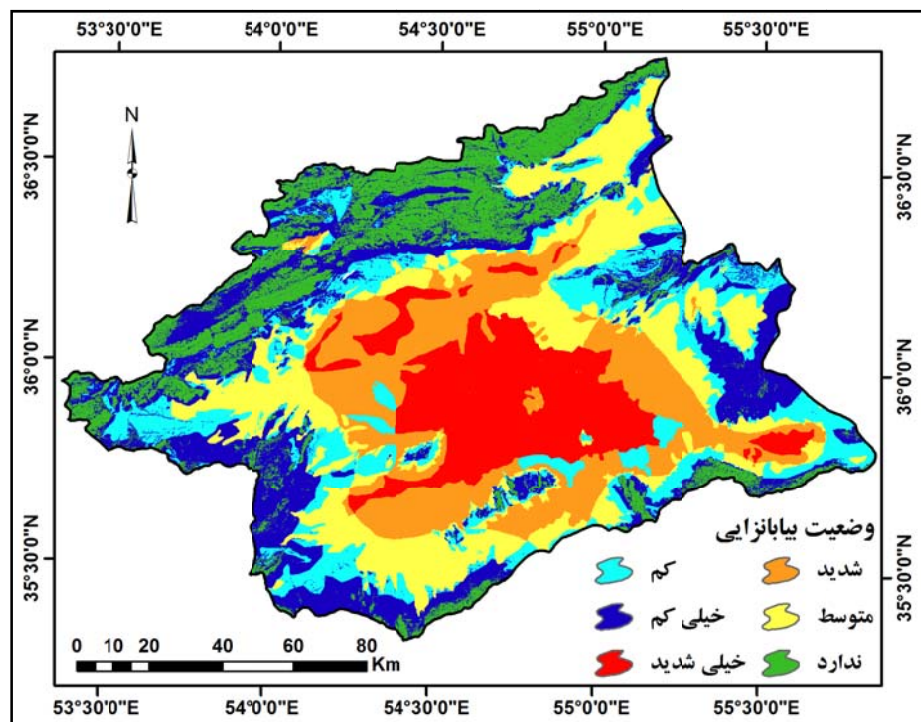
در این رابطه GeoMD: مدل ژئومورفولوژی بیابان‌زایی در حوضه کویر حاج علی قلی، lit_i : طبقات جنس مواد، geo_i : طبقات واحدهای ژئومورفیک، ero_i : طبقات فرسایشی، slo_i : طبقات شیب، asp_i : طبقات جهت شیب، و ele_i : طبقات ارتفاعی به ترتیب ذکر شده در جدول (۲) می‌باشند.

نتایج حاصل از صحت سنجی مدل ژئومورفولوژی براساس رابطه خطی ساده بین مقدار مشاهده شده بیابان‌زایی و مقدار پیش‌بینی شده مدل ژئومورفولوژی به صورت جدول (۳) می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌گردد مقدار بالای ضریب تبیین (۰/۹۷۴) و مقدار پایین انحراف معیار خطای برآورد (۲/۶۱۲) میزان اعتبار قابل قبول مدل مزبور را در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۰۱ تایید می‌کند.

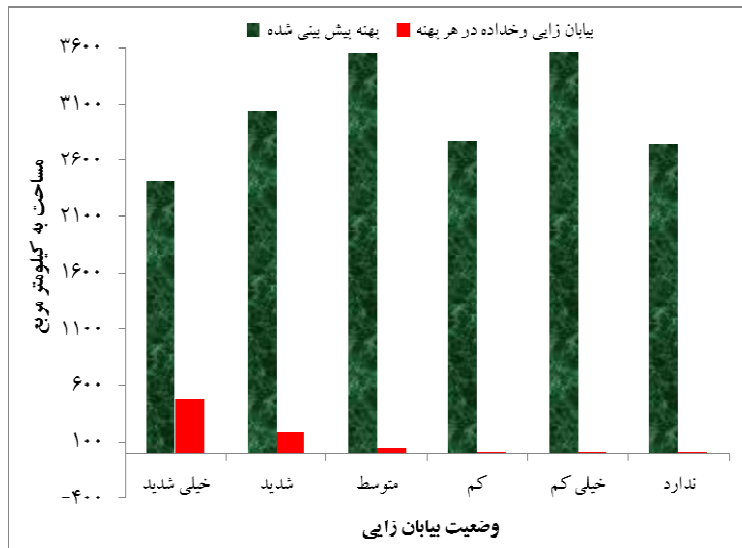
جدول (۳): نتایج اعتبار سنجی مدل ژئومورفولوژی

رابطه	سطح معنی داری	انحراف معیار خطای برآورد	ضریب تبیین تعدیل شده	ضریب تبیین	ضریب همبستگی
$y = 0/1453x + 0/1959$	۰/۰۰۰	۲/۶۱۲	۰/۹۷۲	۰/۹۷۴	۰/۹۸۷

نتایج حاصل از پهنه‌بندی منطقه مطالعاتی به لحاظ احتمال رخداد بیابان‌زایی براساس ضریب تاثیر داده‌های پارامترهای ژئومورفیک (جدول ۲) و مدل ژئومورفولوژیکی (رابطه ۱) به صورت اشکال (۴) و (۵) می‌باشد. نقشه پهنه‌بندی طبق شدت رخداد بیابان‌زایی از پهنه احتمال وقوع خیلی شدید تا پهنه فاقد بیابان‌زایی طبقه‌بندی گردید که با افزایش فاصله از مرکز کویر حاج علی قلی شدت خطر بیابان‌زایی کاهش می‌یابد. به عبارتی بیشترین شدت خطر بیابان‌زایی در منطقه اطراف پلایا وجود دارد و با افزایش فاصله از مرکز پلایا شدت خطر کاهش یافته، به طوریکه در ارتفاعات حداکثری شمال و جنوب منطقه، حداقل شدت خطر بیابان‌زایی پیش‌بینی شده است.



شکل (۴): نقشه پهنه‌بندی رخداد بیابان‌زایی در حوضه آبی کویر حاج علی قلی براساس مدل ژئومورفولوژیکی



شکل (۵): مساحت طبقات شدت خطر بیابان‌زایی حوضه مطالعاتی براساس مدل ژئومورفولوژیکی

جهت بررسی میزان دقت و صحت نقشه پهنه‌بندی احتمال رخداد بیابان‌زایی کویر حاج علی قلی از شاخص ارزیابی دقت (رابطه ۲) بهره‌گیری شد. برای این منظور لایه پهنه‌بندی بیابان‌زایی منطقه (شکل ۴) با لایه تخریب اراضی فعلی (شکل ۲) تلاقی داده شد و با استفاده از رابطه (۲) دقت و صحت نقشه پهنه‌بندی به صورت جدول (۴) و شکل (۶) محاسبه گردید.

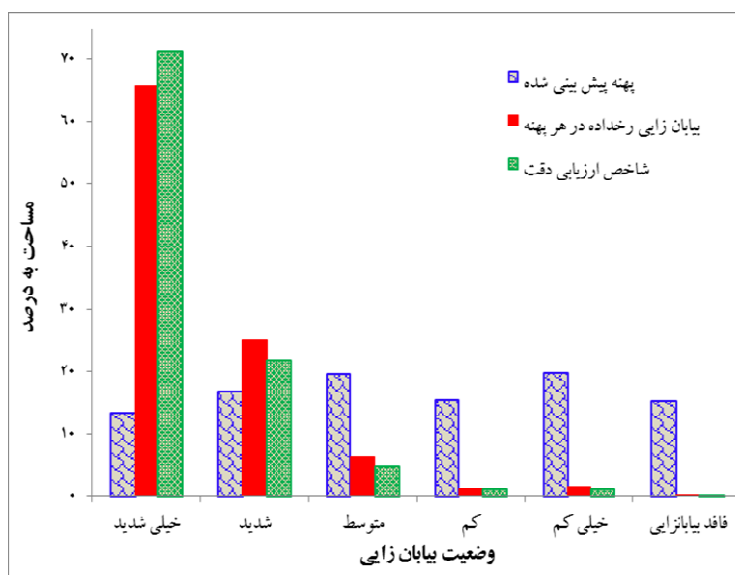
$$AcAsI = \frac{Si/Ai}{\sum_{i=1}^n (Si/Ai)} \times 100 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه $AcAsI^1$: شاخص ارزیابی دقت بیابان‌زایی در هر پهنه به درصد؛ Si : مساحتی از اراضی دارای بیابان‌زایی فعلی که در پهنه‌های پیش‌بینی شده قرار گرفته است؛ Ai : مساحت پهنه پیش‌بینی شده بیابان‌زایی و n : تعداد پهنه‌ها می‌باشد.

جدول (۴): نتایج ارزیابی دقت نقشه پهنه‌بندی رخداده بیابان‌زایی در کویر حاج علی قلی براساس مدل ژئومورفولوژیکی

پهنه بیابان‌زایی	(Km^2) Ai	(%) Ai	(Km^2) Si	(%) Si	(Km^2) Si/Li	(%) AcAsI
خیلی شدید	2412.85	13.36	482.32	65.75	0.199897	71.284
شدید	3023.92	16.75	184.47	25.14	0.061003	21.754
متوسط	3548.88	19.66	46.10	6.28	0.012990	4.632
کم	2765.62	15.32	8.42	1.15	0.003046	1.086
خیلی کم	3560.59	19.72	11.82	1.61	0.003320	1.184
ندارد	2741.23	15.18	0.46	0.062	0.000166	0.059
جمع	18053.1	100	733.59	100	0.280423	100

نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که پهنه بیابان‌زایی خیلی شدید ۶۵/۷۵ درصد و وسعتی معادل ۴۸۲/۳۲ کیلومترمربع از تخریب اراضی فعلی را به خود اختصاص داده است و امکان افزایش مساحت تا ۲۴۱۲/۸۵ کیلومترمربع را دارد. پهنه بیابان‌زایی شدید نیز که ۱۸۴/۴۷ کیلومترمربع از وسعت تخریب اراضی فعلی را در بر گرفته، می‌تواند با توجه به نقشه پیش‌بینی شده تا ۳۰۲۳/۹۲ کیلومترمربع توسعه یابد.



شکل (۶): نتایج حاصل از اعتبارسنجی نقشه پهنه‌بندی مدل ژئومورفولوژی

نتایج حاصل از محاسبه شاخص ارزیابی دقت نقشه پهنه‌بندی منطقه مطالعاتی براساس مدل ژئومورفولوژی (شکل ۵) حاکی از وجود روند نزولی از پهنه بیابان‌زایی خیلی شدید به سمت پهنه فاقد بیابان‌زایی است. این شرایط دقت لازم و

¹ - Accuracy Assessment Index

کافی مدل بیابان‌زایی ارائه شده و پهنه‌بندی حوضه آبی کویر حاج علی قلی برمبنای مدل مزکور را تأیید کرده و نشان از عملکرد صحیح آن در مدل‌سازی تخریب اراضی منطقه مطالعاتی براساس پارامترهای ژئومورفیک می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

فرایندهای بیابان‌زایی و کاهش توان اکولوژیک و بیولوژیک اکوسیستم تحت تاثیر دو دسته عوامل انسانی و طبیعی صورت می‌گیرد. پارامترهایی نظیر عوامل ژئومورفیک، خاک‌شناسی، هیدرولوژیکی، زمین‌شناسی و اقلیمی را می‌توان از مهمترین عوامل طبیعی تخریب اراضی برشمرد. در این پژوهش رخداد بیابان‌زایی حوضه آبی کویر حاج علی قلی براساس پارامترهای ژئومورفیک نظیر جنس مواد، واحدهای ژئومورفیک، کلاس‌های فرسایشی، شیب، طبقات ارتفاعی و جهت شیب، مدل‌سازی و پهنه‌بندی شده است. نتایج نشان می‌دهد که در بین این پارامترها، مولفه‌ی جهت شیب بیشترین همبستگی و ارتباط معنی‌دار را با رخداد بیابان‌زایی منطقه دارد. بطوریکه ضریب تبیین آن در تمامی طبقات جهت شیب از ۰/۹۹ بالاتر بوده و ارتباطات آنها در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۰۱ معنی‌دار است. به عبارتی پراکنش طبقات جهت شیب در سراسر منطقه نسبت به سایر پارامترها منطقی‌تر بوده و تاثیرات آنها در رخداد بیابان‌زایی به علت نزدیک بودن ضرایب تبیین نسبت به یکدیگر، تاحدودی با هم برابر و تمایز چندانی ندارند. این تجانس در سایر پارامترها چندان مشاهده نمی‌گردد. در پارامترهای طبقات ارتفاعی و شیب رخداد بیابان‌زایی با افزایش مقدار ارتفاع و شیب رابطه معکوس دارد؛ بطوریکه بیشترین همبستگی و معنی‌داری را با طبقات حداقلی، و کمترین آن را با طبقات حداکثری دارد. حذف شدن طبقات ۷ و ۸ شاخص ارتفاع از مدل ژئومورفولوژی به دلیل عدم تاثیر در رخداد بیابان‌زایی، این موضوع را به خوبی نشان می‌دهد. به عبارتی از لحاظ عوامل ارتفاع و شیب رخداد بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی تابعی از طبقات حداقلی آنها می‌باشد. ولی عامل فرسایش حالتی عکس عوامل شیب و ارتفاع دارد؛ به گونه‌ای که با افزایش مقدار فرسایش، بیابان‌زایی نیز شدت بیشتری پیدا می‌کند. از نظر مولفه‌ی جنس مواد، بیشترین همبستگی و معنی‌داری بیابان‌زایی با مواد رسی، پلیگون‌های نمکی و مواد رسوبی کواترنری، و کمترین همبستگی و معنی‌داری آن با مواد دگرگونی، کنگلومرا، سنگ آهک و سنگ‌های کرتاسه و پرمین مشاهده می‌گردد. همچنین از نظر واحدهای ژئومورفیک، واحدهای پلایا، جلگه رسی و دشت‌سر بالاترین، و واحد کوهستان پایین‌ترین همبستگی و معنی‌داری را با رخداد بیابان‌زایی نشان می‌دهند. این مباحث مبین گسترش محدوده کویر در نتیجه افزایش شوری، افزایش دما و تبخیروتعرق، کاهش بارندگی، تداوم خشکسالی‌های اخیر، افزایش برداشت از آب‌های زیرزمینی اطراف پلایا، آبیاری زمین با آبهای شور، افزایش فعالیت‌های فرسایش بادی، حرکت تپه‌های ماسه‌ای می‌باشد. اما در واحد دشت‌سر که عموماً منطبق بر کانون‌های سکوتی و فعالیت‌های انسانی منطقه نظیر شهرهای شاهرود، دامغان، مهماندوست، دهملا و سایر مراکز روستایی منطقه است، تخریب اراضی این نواحی را می‌توان ناشی از گسترش شهرنشینی، تخریب مراتع، فعالیت‌های کشاورزی و دامداری ناپایدار، افزایش فرسایش‌پذیری خاک، چرای بی‌رویه دام، تغییرات کاربری اراضی و نهایتاً سوء مدیریت انسان نام برد.

مدل‌سازی و پهنه‌بندی رخداد بیابان‌زایی حوضه کویر حاج قلی، تعیین پهنه‌ها و مساحت آنها و ارزیابی دقت مدل ارائه شده از مهمترین نتایج این پژوهش می‌باشد که در بخش یافته‌ها به صورت کامل تشریح شده است. نتایج حاصل از محاسبه شاخص ارزیابی دقت مدل پهنه‌بندی منطقه مطالعاتی حاکی از وجود روند نزولی از پهنه بیابان‌زایی خیلی شدید به سمت پهنه فاقد بیابان‌زایی است. این شرایط دقت لازم و کافی مدل بیابان‌زایی ارائه شده و پهنه‌بندی حوضه آبی کویر حاج علی قلی برمبنای مدل مزبور را تأیید نموده و نشان از عملکرد صحیح آن در مدل‌سازی بیابان‌زایی منطقه مطالعاتی براساس پارامترهای ژئومورفیک می‌باشد.

بر اساس نتایج مدل ژئومورفولوژیکی طراحی شده در منطقه مطالعاتی می‌توان چنین بیان نمود که در مجموع حوضه آبی کویر حاج علی قلی از منظر ژئومورفیک یک سیستم ناسالم بوده و رفتار آن نیز یک رفتار ناهنجار است. عامل اصلی

ناسالمی سیستم و ناهنجاری رفتار آن را می‌توان به تنش‌های ناشی از افزایش رخداد بیابان‌زایی در این منطقه نسبت داد. به عبارتی بیابان‌زایی در این منطقه در حال افزایش بوده و جهت ترمیم بدنه سیستم نیاز به تیماری آن و انجام فعالیت‌های بیابان‌زدایی می‌باشد.

منابع

- احمدی، حسن، (۱۳۸۷)، ژئومورفولوژی کاربردی (بیابان - فرسایش بادی)، جلد دوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ سوم.
- اکبری، مرتضی؛ رعنائی، احسان؛ بدیعی نامقی، سید حمزه، (۱۳۹۰)، ارزیابی حساسیت پارامترهای ورودی در وضعیت بیابان‌زایی با استفاده از مدل شبکه عصبی مصنوعی (مطالعه موردی: جنوب شهرستان نیشابور)، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۲، صص ۳۹۸-۴۱۰.
- بخشنده مهر، لیلا، (۱۳۸۷)، ارزیابی کمی وضعیت بیابان‌زایی در شرق اصفهان و ارائه یک مدل منطقه‌ای با تاکید بر مدل مدالوس، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- چمن‌پیرا، غلامرضا؛ زهتابیان، غلامرضا؛ احمدی، حسن، (۱۳۸۵)، کاربرد روش ICD به منظور تعیین شدت وضعیت فعلی بیابان‌زایی در حوزه آبخیز کوه‌دشت، نشریه دانشکده منابع طبیعی، جلد ۵۹، شماره ۳، صص ۵۴۳-۵۵۵.
- زهتابیان، غلامرضا؛ رفیعی امام، عمار، (۱۳۸۲)، ESAs روشی جدید برای ارزیابی و تهیه نقشه حساسیت مناطق به بیابان‌زایی، مجله بیابان، جلد ۸، شماره ۱، صص ۱۲۱-۱۲۶.
- زهتابیان، غلامرضا؛ احمدی، حسن؛ اختصاصی، محمدرضا؛ جعفری، رضا، (۱۳۸۱)، تعیین شدت فرسایش بادی در منطقه کاشان با استفاده از مدل بیابان‌زایی، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۲، صص ۱۴۵-۱۵۸.
- سپهر، عادل، (۱۳۸۹)، ارائه الگوی مدیریت ریسک بیابان‌زایی در شرایط عدم قطعیت، رساله دکتری، دانشگاه اصفهان، دانشکده ادبیات و علوم انسانی.
- سپهر، عادل؛ اختصاصی، محمد رضا؛ المدرسی، سید علی، (۱۳۹۱)، ایجاد سامانه شاخص‌های بیابان‌زایی براساس DPSIR (بهره‌گیری از روش فازی - تاپسیس)، مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۳، شماره ۴۵ (۱)، صص ۳۳-۵۰.
- شهریار، علیرضا؛ پروری، سید هدایت؛ بهی، محمد جواد، (۱۳۸۸)، مراحل تهیه نقشه بیابان‌زایی به روش ESAs، فصلنامه جنگل و مرتع، شماره ۸۱، صص ۱۳-۲۰.
- علوی‌پناه، سید کاظم، احسانی، امیر هوشنگ؛ امیدی، پرویز، (۱۳۸۳)، بررسی بیابان‌زایی و تغییرات اراضی پلائی دامغان با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای چند زمانه و چند طیفی، بیابان، جلد ۹، شماره ۱، صص ۱۴۳-۱۵۴.
- کرینسلی، دانیل، (۱۳۸۱)، کویرهای ایران و خصوصیات ژئومورفولوژیکی و پالتوکلیماتولوژی آن، ترجمه عباس پاشایی، تهران، انتشارات سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، چاپ اول.
- معیری، مسعود، (۱۳۹۰)، فرهنگ واژه‌های ژئومورفولوژی، اصفهان، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه اصفهان، چاپ اول.
- موسوی، سید حجت؛ ولی، عباسعلی؛ معیری، مسعود؛ رنجبر، ابوالفضل، (۱۳۹۲)، پایش وضعیت بیابان‌زایی کویر حاج علی قلی (۱۹۸۷-۲۰۰۶)، فصلنامه پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، صص ۸۵-۱۰۲.

- Bakra, N., Weindorf, D.C., Bahnassy, M.H., El-Badawi, M.M., (2012), Multi-temporal assessment of land sensitivity to desertification in a fragile agro-ecosystem: Environmental indicators, *Journal of Ecological Indicators*: 15, Pp. 271–280.
- FAO/UNEP, (1984), *Provisional Methodology for Assessment and Mapping of Desertification*, FAO, Rome, 84 pp.
- Ferrara, A., Salvati, L., Saterianoc, A., Nolè, A., (2012), Performance evaluation and cost assessment of a key indicator system to monitor desertification vulnerability, *Journal of Ecological Indicators*: 23, Pp. 123–129.
- Helldén, U., (2008), A coupled human–environment model for desertification simulation and impact studies, *Journal of Global and Planetary Change*: 64, Pp. 158–168.
- Kirkby, M.J., Abrahart, R., McMahon, M.D., Shao, J., Thornes, J.B., (1998), MEDALUS soil erosion models for global change, *Journal of Geomorphology*: 24, Pp. 35–49.
- Ladisa, G., Todorovic, M., Trisorio Liuzzi, G., (2011), A GIS-based approach for desertification risk assessment in Apulia region, SE Italy, *Journal of Physics and Chemistry of the Earth*: 49, Pp. 103–113.
- Luo, Z., (2003), China hastens efforts to combat desertification. *Beijing Review* 46 (14), Pp. 29–31.
- Mainguet, M., (1991), *Desertification: Natural Background and Human Mismanagement*, Springer Series in Physical Environments, vol. 9. Springer Verlag, Heidelberg, 306 pp.
- Mousavi, S.H., Moayeri, M., Vali, A.A., Ranjbar, A., Iravani, M.R., & R., Ghazavi, (2013), Geomorphological mapping of processes and forms in Haj Ali Gholi playa, Central Iran, *Journal of Social Issues & Humanities*, Volume 1, Issue 4, Pp. 9–13.
- Nachtergaele, F.O.F., Licona-Manzur, C., (2009), The Land Degradation Assessment in Drylands (LADA) Project: Reflections on Indicators for Land Degradation Assessment, *The Future of Drylands*, January 01, Pp. 327–348.
- Oldeman, L.R., Hakkeling, R.T.A., & Sombroek, W.G., (1991). *World Map of the Status of Human Induced Soil Degradation*. ISRIC/UNEP, Wageningen.
- Qi, Y., Chang, Q., Jia, K., Liu, M., Liu, J., and Chen, T., (2012), Temporal-spatial variability of desertification in an agro-pastoral transitional zone of northern Shaanxi Province, China, *Journal of Catena*: 88, Pp. 37–45.
- Rasmy, M., Gad, A., Abdelsalam, H., Siwailam, M., (2010), A dynamic simulation model of desertification in Egypt, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*: 13, Pp. 101–111.
- Vanmaercke, M., Poesen, J., Maetens, W., de Vente J., Verstraeten, G., (2011), Sediment yield as a desertification risk indicator, *Journal of Science of the Total Environment*: 409, Pp. 1715–1725.
- Veron, S.R., Paruelo, J.M., Oosterheld, M., (2006), Assessing desertification, *Journal of Arid Environments*: 66, Pp. 751–763.
- Wu, B., Ci, L.J., (2002), Landscape change and desertification development in the Mu Us Sand land, Northern China, *Journal of Arid Environments* 50, Pp. 429–444.
- Zhu, Z.D., Chen, G.T., (1994), *Sandy desertification in China*. Science Press, Beijing, Pp. 20–33.