

مدل سازی اقلیمی رخدادهای بیابان زایی در حوضه کویر حاج علی قلی

سید حجت موسوی^{۱*}، عباسعلی ولی^۲ و ابوالفضل رنجبر فردوئی^۲

۱- نویسنده مسئول، استادیار، گروه جغرافیا و اکوتوریسم، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران

پست الکترونیک: hmousavi15@kashanu.ac.ir

۲- دانشیار، گروه مهندسی علوم بیابان، دانشکده منابع طبیعی و علوم زمین، دانشگاه کاشان، ایران

تاریخ دریافت: ۹۳/۵/۲۲ تاریخ پذیرش: ۹۴/۲/۸

چکیده

بیابان زایی تغییر در خصوصیات خاک، پوشش گیاهی و اقلیم یک منطقه است که منجر به اتلاف فعالیت‌های پایدار و اساسی تداوم حیات اکوسیستم می‌شود. این پدیده بر مناطق خشک سراسر جهان اثرات سوء داشته و یکی از علل عمده فشار بر جوامع زیستی است. از این رو، این پژوهش سعی دارد تا با استفاده از روش تلفیقی مدل‌های آماری و تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی، رخداد بیابان‌زایی حوضه کویر حاج علی قلی را براساس شاخص‌های اقلیمی مانند دما، بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، وضعیت اقلیمی، خشکسالی و حداکثر سرعت باد غالب؛ مدل‌سازی و پهنه‌بندی کند. برای مدل‌سازی از روش آنالیز رگرسیون چند متغیره گام به گام بهره‌گیری و مقدار ضریب تبیین به‌عنوان دامنه تأثیر شاخص‌ها در فرایند بیابان‌زایی در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از رابطه‌سنجی، حداکثر ارتباط معنی‌دار رخداد بیابان‌زایی را با پهنه اقلیمی خشک با ضریب تبیین ۰/۹۹۹ و خطای برآورد ۰/۰۳۳ نشان می‌دهد. سایر نتایج شامل مدل اقلیمی بیابان‌زایی و نقشه پهنه‌بندی منطقه از پهنه بیابان‌زایی خیلی شدید تا پهنه فاقد بیابان‌زایی است. به طوری که پهنه بیابان‌زایی خیلی شدید وسعتی برابر ۶۷۹/۷۵ کیلومتر مربع از تخریب اراضی فعلی را به خود اختصاص داده و امکان افزایش تا ۵۶۶۸/۱۱ کیلومتر مربع را دارد. پهنه بیابان‌زایی شدید نیز که ۵/۲۲ کیلومتر مربع از وسعت تخریب اراضی فعلی را دربر گرفته است، می‌تواند تا ۹۳۳/۸۶ کیلومتر مربع توسعه یابد. نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل اقلیمی و نقشه پهنه‌بندی، روند نزولی شاخص ارزیابی دقت را از پهنه خیلی شدید به پهنه فاقد بیابان‌زایی نشان داده و بیانگر دقت لازم مدل مزبور می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بیابان‌زایی، مدل‌سازی، شاخص‌های اقلیمی، کویر حاج علی قلی.

مقدمه

(2012). بیابان‌زایی نشان‌دهنده یکی از تهدیدآمیزترین خطرات زیست محیطی قرن حاضر است که به دلیل آن تعداد کثیری از انسان‌ها و زمین، در معرض خطر جدی قرار دارند. اگرچه ارقام موجود در نوشته‌ها متنوع است، اما تخمین زده شده که این معضل به طور مستقیم یک سوم از زمین‌های جهان و ۲۵۰ میلیون انسان را که بسیاری از آنها در کشورهای در حال توسعه هستند، به طور بالقوه تحت تأثیر

بسیاری از مناطق خشک جهان از تغییرات سریع پوشش و ترکیب جوامع گیاهی، شرایط هیدرولوژیکی و خصوصیات خاک، که منجر به از دست رفتن توان کلی اکوسیستم می‌شود، متأثر هستند؛ و این موضوع خطرات جدی برای معیشت پایدار را مطرح می‌کند. فرایند اساسی این تغییرات اغلب بیابان‌زایی نامیده می‌شود (D'Odorico et al.,

کرده‌اند. برای نمونه می‌توان به مدل‌های FAO-UNEP توسط سازمان خواروبار کشاورزی و محیط‌زیست ملل متحد (۱۹۸۴)، MEDALUS توسط کمیسیون اروپا (۱۹۸۷)، GLASOD توسط مرکز بین‌المللی اطلاعات و منابع خاک (۱۹۹۱)، ESAs توسط کمیسیون اروپا (۱۹۹۹)، LADA توسط سازمان ملل متحد (۲۰۰۲)، پروژه‌های Desert Links (۲۰۰۱ - ۲۰۰۵) و DE Survey توسط کمیسیون اروپا (۲۰۰۵ - ۲۰۱۰) در سطح بین‌المللی اشاره کرد. در ایران نیز مدل‌های ICD توسط اختصاصی و مهاجری (۱۳۷۴)، ERIFER توسط مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع (۱۳۷۴)، طرح بیابانزایی توسط احمدی (۱۳۷۵)، MICD توسط اختصاصی و احمدی (۱۳۸۲) و IMDPA توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری (۱۳۸۴) از مهمترین مدل‌های ارزیابی بیابانزایی هستند (Zehtabian *et al.*, 2003; Ahmadi, 2008; Shahryari *et al.*, 2009; Zehtabian *et al.*, 2014). بیشتر پژوهش‌های دیگر در زمینه مطالعه بیابانزایی وام گرفته از مبانی مدل‌های مذکور می‌باشد، به‌گونه‌ای که Wang و همکاران (۲۰۰۶) با استفاده از شاخص‌های سطح زمین‌های قابل کشت، تعداد دام و اندازه جمعیت برای عامل انسانی و شاخص‌های بارش، تبخیر و تعرق، دما، فراوانی باد و قابلیت حرکت ماسه برای معیار اقلیمی به مطالعه نقش نسبی این پارامترها در فرایند بیابانزایی مناطق خشک شمال چین پرداخته و بیان کردند که اگرچه فعالیت و فشارهای انسانی همزمان بیابانزایی را افزایش می‌دهد، اما دو شاخص فراوانی باد محرک و قابلیت رانش ماسه اثر بسیار قوی‌تری در بیابانزایی منطقه دارند. Wang و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از داده‌های اقلیمی، معنی‌داری نوسان‌های انرژی باد روی فعالیت تپه‌های ماسه‌ای که منجر به بیابانزایی می‌شود را در بازه زمانی ۵۰ ساله در شمال چین مورد مطالعه قرار داده و بیان کردند که روند بیابانزایی در بیشتر مناطق بیابانی شمال چین که برای کشاورزی و یا چرا استفاده می‌شوند، با روند فرسایش‌پذیری و فعالیت تپه‌های ماسه‌ای همسو بوده و بیابانزایی توسط شاخص‌های اقلیمی به‌ویژه نوسان‌های

قرار داده است (Adamo & Crews-Meyer, 2006). به عبارتی این پدیده یکی از شدیدترین مسائل اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی جهان در حال حاضر است، که بقا و توسعه جوامع انسانی را تهدید می‌کند (Wang & Zhu, 2003; Duanyang *et al.*, 2011).

بیابانزایی عبارت است از تخریب سرزمین در نواحی خشک، نیمه‌خشک و خشک نیمه‌مرطوب، که در نتیجه تغییرات اقلیمی و یا فعالیت‌های انسانی ایجاد می‌شود (UNCCD, 1994; Dawelbait & Morari, 2012). تخریب سرزمین به‌عنوان کاهش بهره‌وری اقتصادی و یا از دست دادن تنوع بیولوژیکی زمین‌های کشاورزی؛ از جمله اراضی تحت کشت دیم، اراضی تحت کشت آبی، مراتع و چراگاه‌ها، جنگل‌ها و بیشه‌زارها تعریف می‌شود (Adamo & Crews-Meyer, 2006). به عبارتی، تخریب اراضی به معنی یک تغییر منفی با توجه به شرایط محیطی قبلی، اغلب به طور ضمنی به‌عنوان حالت نرمال یا مطلوب امور در اکوسیستم از لحاظ استفاده و مدیریت آن در نظر گرفته می‌شود (Blaikie & Brookfield, 1987; Adamo & Crews-Meyer, 2006). بیابانزایی حاصل فرایندهای مختلف از جمله تغییرات آب‌وهوا و فعالیت‌های انسانی می‌باشد (UNCCD, 2013; Sun *et al.*, 2005; D'Odorico *et al.*, 2012). از مهمترین شاخص‌های اقلیمی مؤثر در بیابانزایی می‌توان به تغییرپذیری، مدت، فراوانی، شدت و مقدار بارش، سرعت باد، دما، تبخیر و تعرق، خشکی و تغییرات اقلیمی اشاره کرد (Rubio & Bochet, 1998). بنابراین شناخت عوامل و عناصر اقلیمی به وجود آورنده و تشدیدکننده بیابانزایی، آگاهی از شدت و ضعف عملکرد آنها و مدلسازی برای پیش‌بینی روند آینده تخریب اراضی و مدیریت آن امری مهم و ضروریست، که با ارائه راهکارهای مناسب می‌توان تا حدودی از رفتار تخریبی این پدیده جلوگیری به‌عمل آورد.

در مورد مدلسازی رخدادهای بیابانزایی مطالعات متعددی انجام و مدل‌های گوناگونی طراحی شده است که بیشتر این مدل‌ها از شاخص‌های اقلیمی در کنار سایر عوامل استفاده

بوستان یونان مورد ارزیابی قرار داده و بیان کردند که بر اساس مدل‌های مزبور منطقه به ترتیب دارای ۸۹ و ۷۸ درصد بیابان‌زایی بوده و از نظر تخریب پوشش گیاهی نسبتاً حساس می‌باشد. Mousavi و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های دورسنجی به پایش بیابان‌زایی کویر حاج علی قلی در یک بازه زمانی ۲۰ ساله پرداخته و نتیجه گرفتند که تغییرات گسترده‌ای در ویژگی‌های اکوتومرفولوژی پهنه مطالعاتی رخ داده، و این منطقه در معرض بیابان‌زایی با خطر بالا قرار دارد.

با توجه به اینکه ۱۷ استان ایران به دلیل ویژگی‌های خاص ژئومرفیک، اقلیمی، خاک‌شناسی و سوء مدیریت انسانی در معرض بیابان‌زایی قرار دارند و این استان‌ها حدود ۷۰ درصد از جمعیت کشور را در خود جای داده‌اند (Amiraslani, 2011)، این مناطق از منظر اکولوژیکی دارای شرایط شکننده‌ای هستند. در این میان، روند رو به رشد بیابان‌زایی به‌عنوان 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 این حوضه با مسئله بیابان‌زایی روبرو بوده‌است (Alavi Panah et al., 2004). از این‌رو شناخت عوامل مؤثر، مدل‌سازی بیابان‌زایی و مقابله با آن از مهمترین برنامه‌های ملی و منطقه‌ای محسوب می‌گردد. بنابراین هدف از این پژوهش مدل‌سازی و پهنه‌بندی رخدادهای بیابان‌زایی در حوضه کویر حاج علی قلی براساس شاخص‌های اقلیمی با استفاده از روش تلفیقی مدل‌های آماری و تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

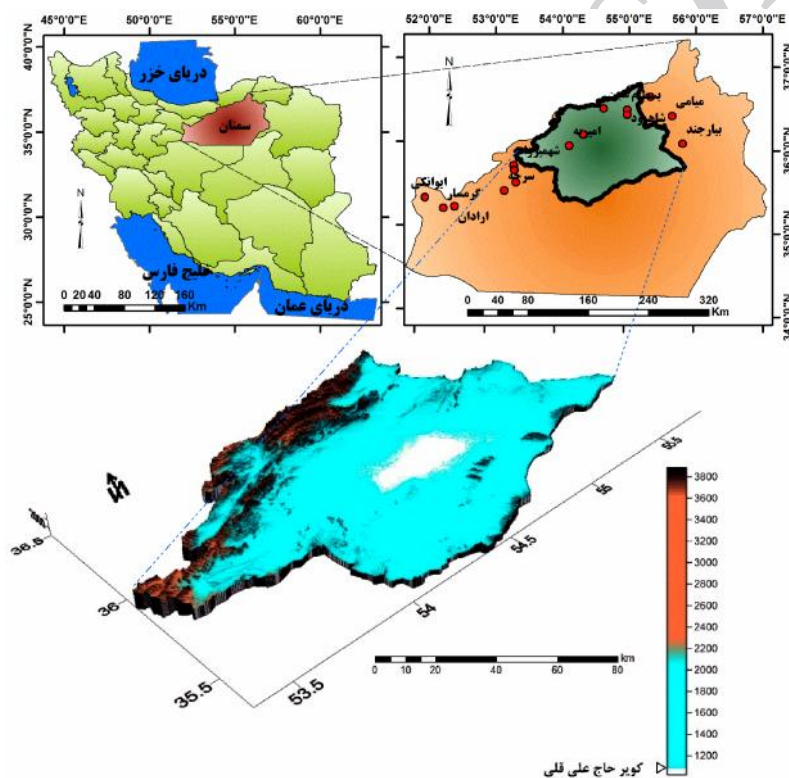
– خصوصیات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش حوضه کویر حاج علی قلی است که از نظر سیاسی در استان سمنان واقع شده و دارای موقعیت جغرافیایی ۵۳° و ۱۵' تا ۵۶° طول شرقی و ۳۵° و ۱۵' تا ۳۷° عرض شمالی می‌باشد (شکل ۱). این منطقه

انرژی باد کنترل می‌شود. Xue و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از داده‌های دورسنجی، اقلیمی، رطوبت خاک، تعداد جمعیت و دام به بررسی تأثیر گرمایش جهانی و ذوب زمین‌های اغلب یخ بسته بر روی بیابان‌زایی فلات Qinghai پرداخته و نتیجه گرفتند که با افزایش دما، ذوب پوشش یخی منجر به افزایش رطوبت خاک و رشد پوشش گیاهی علف‌زار آلی شده است؛ بنابراین می‌توان بیان کرد که گرمایش جهانی و ذوب پوشش یخی باعث افزایش بیابان‌زایی در این منطقه شده است. Santini و همکاران (۲۰۱۰) برای ارزیابی کمی خطر بیابان‌زایی در جزیره ساردینیا در ایتالیا از ابزار تلفیقی مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های بیابان‌زایی استفاده کرده و بیان کردند که این ابزار تلفیقی می‌تواند یک روش جدیدی برای تهیه نقشه موضوعی بیابان‌زایی باشد. Bajocco و Salvati (۲۰۱۱) حساسیت‌پذیری زمین به بیابان‌زایی براساس معیارهای اقلیمی و پوشش گیاهی را در یک دوره زمانی بلندمدت (۱۹۶۰-۲۰۰۸) در ایتالیا مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیدند که تخریب زمین طی پنجاه سال گذشته در جنوب ایتالیا یک روند فزاینده‌ای داشته، همچنین در شمال ایتالیا شاخص تخریب زمین منجر به یک سطح بالایی از حساسیت‌پذیری بیش‌ازحد شده است. Qi و همکاران (۲۰۱۲) تغییرات زمانی و مکانی بیابان‌زایی را از سال ۱۹۸۶ تا سال ۲۰۰۳ در منطقه گذر کشاورزی به شبانی در شمال چین، با استفاده از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای، تجزیه و تحلیل داده‌های هواشناسی و اجتماعی و اقتصادی مورد ارزیابی قرار داده و بیان کردند که تغییر کاربری منطقه سبب کاهش فزاینده روند بیابانی‌شدن اراضی در این منطقه شده و برای کنترل بیابان‌زایی که یک فرایند دشوار و تدریجی است، دولت باید همچنان نقش اصلی را در این زمینه ایفا کند. Bakra و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از مدل‌های MMEDALUS و MEDALUS حساسیت‌پذیری زمین به بیابان‌زایی و شاخص‌های حساسیت‌های زیست محیطی را در اکوسیستم‌های کشاورزی به صورت چندزمانه (۱۹۸۴ و ۲۰۰۸) در منطقه

ارتفاع ۳۸۸۴ متر محدود می‌شود. شیب عمومی منطقه به سمت مرکز کویر بوده که ۱۰۲۸ متر از سطح دریا ارتفاع دارد. تعداد رودهای مهمی که در این حوضه به صورت فصلی و موقت جریان دارند، ۱۶ شاخه هستند که اغلب از ارتفاعات جنوبی البرز سرچشمه گرفته و به صورت همگرا به مرکز کویر ختم می‌شوند. از مهمترین آنها می‌توان به رودخانه‌های دامغان رود (چشمه علی) و حسن‌آباد (کال شور) اشاره کرد. مرکز کویر به‌عنوان حوضه انتهایی سیلاب‌های فصلی محسوب شده و در صورت وجود ریزش‌های جوی فراوان در فصول مرطوب سال به یک دریاچه موقت کم‌عمق و یا باتلاق تبدیل می‌شود.

یک چشم‌انداز ژئومورفیک واقع در مناطق خشک بوده که متشکل از واحدهای کوهستان، دشت‌سر و پلایا است. از مهمترین زمین‌نماهای واحد ارتفاعات در این حوضه می‌توان به تشکیلات آهکی همراه با میان‌لایه‌های ماسه، دولومیت و کنگلومرا، مواد آتشفشانی و دگرگونی؛ واحد دشت‌سر به دشت‌سرهای فرسایشی، آپانداز، انتهایی، مخروطه‌افکنه‌ها، ماسه‌زارها و مسیل‌ها؛ و واحد پلایا به جلگه رسی، صفحات کفی، حوضه خیس و نم‌زار و کویر دامغان اشاره کرد. این منطقه با ۱۸۷۰۰ کیلومتر مربع مساحت، از جنوب و جنوب‌غربی به کوه‌های هورست تروود-چاه شیرین با ارتفاع ۲۳۱۹ متر و از شمال و شمال‌شرق به کوهستان البرز با



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی

حاج علی قلی، با استفاده از داده‌های دورسنجی و روش‌های پایش تغییرات در یک بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۹۸۷-۲۰۰۶) گردید. روش‌های مورد استفاده شامل تکنیک‌های ترادسیسی (Transformation)، نسبت‌گیری

- روش‌شناسی پژوهش

فرایند انجام این پژوهش شامل دو بخش عمده است، بدین صورت که پس از تعیین حدود منطقه مطالعاتی، در بخش نخست مبادرت به تهیه نقشه بالفعل بیابان‌زایی حوضه کویر

جبری (*Union*) لایه شاخص‌ها با لایه بالفعل بیابان‌زایی، پایگاه داده برای مدل‌سازی تشکیل شد. برای تعیین دامنه تأثیر شاخص‌ها از روش رابطه‌سنجی و تکنیک آنالیز رگرسیون استفاده گردید. پس از تعیین ضریب تبیین شاخص‌ها، مدل اقلیمی رخداده بیابان‌زایی با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره گام به گام طراحی و منطقه مطالعاتی براساس مدل مزبور پهنه‌بندی گردید. در پایان برای بررسی عملکرد مدل اقلیمی در پیش‌بینی شدت احتمال وقوع خطر بیابان‌زایی، مدل اقلیمی و نقشه پهنه‌بندی مورد ارزیابی دقت و صحت‌سنجی قرار گرفتند. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها نیز از نرم‌افزارهای ArcGIS، ENVI، ERDAS، SPSS و Excel استفاده شده است.

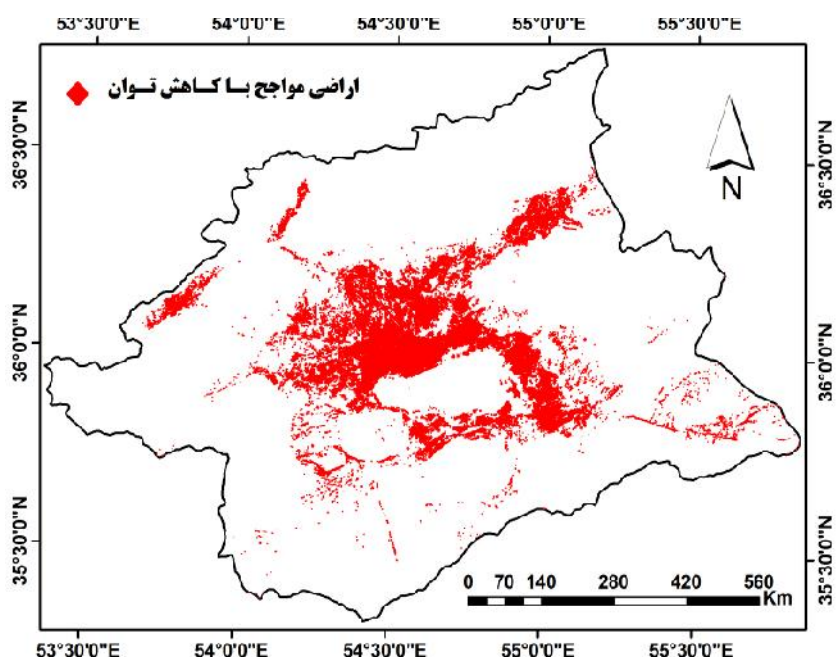
نتایج

شاخص‌های اقلیمی از مهمترین پارامترهای طبیعی تأثیرگذار در فرایند بیابان‌زایی محسوب می‌شوند. بنابراین شناخت این پارامترها، میزان اثرگذاری و مدل‌سازی رفتار بیابان براساس آنها در مطالعات مناطق خشک برای مدیریت آنها از اهمیت بسزایی برخوردار است. در این پژوهش فرایند بیابان‌زایی حوضه کویر حاج علی قلی براساس شاخص‌های اقلیمی از طریق روش‌های مدل‌سازی آماری و با استفاده از تکنیک سیستم اطلاعات جغرافیایی پهنه‌بندی شده است. نتایج حاصل به صورت موارد زیر تشریح شده است.

فرایند پایش رخداده بیابان‌زایی حوضه کویر حاج علی قلی با استفاده از داده‌های دورسنجی و تکنیک‌های پایش تغییرات منجر به تهیه نقشه فعلی بیابان‌زایی گردید (شکل ۲)، که براساس نتایج آن، وسعتی برابر ۷۴۸/۰۹۹ کیلومترمربع از حوضه کویر مزبور به‌عنوان مناطق دارای معضل کاهش توان اکولوژیک و بیولوژیک شناسایی شد. این مساحت دربردارنده مناطقی از محدوده مطالعاتی است که در بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۹۸۷-۲۰۰۶) با معضلات افزایش نمک در سطح زمین و تغییرات مخرب کاربری اراضی در جهت کاهش قابلیت و ناپایداری اکوسیستم روبرو بوده‌اند.

تصاویر (*Image Division*) و تفاضل‌گیری تصاویر (*Image Subtraction*)؛ تحلیل مؤلفه مینا (*Principal Components Analysis*)، تسلدکپ (*Tasseled Cap*)، شاخص‌های شوری و طبقه‌بندی نظارت شده می‌باشد. پایگاه داده نیز شامل تصاویر ماهواره‌ای سنجنده TM، مسیرهای ۱۶۲ و ۱۶۳، ردیف ۳۷، مورخ ۱۹۸۷/۶/۱۴ و سنجنده ETM⁺ مسیرهای ۱۶۲ و ۱۶۳، ردیف ۳۵، در تاریخ ۲۹/۸/۲۰۰۶ است. در بخش پردازش تصاویر، ابتدا روش‌های پایش تغییرات روی تصاویر سال ۱۹۸۷ و بعد تصاویر سال ۲۰۰۶ اعمال و نتایج آن از طریق روش تفاضل‌گیری از یکدیگر کسر گردید. از آنجایی که هدف تهیه نقشه بالفعل بیابان‌زایی است، دو کلاس برای تفاضل تصاویر در نظر گرفته شد. کلاس نخست، طبقه بدون تغییر است و مناطقی را شامل می‌شود که در بازه زمانی مورد مطالعه هیچ‌گونه تغییری، چه از نظر شوری و چه از نظر نوع کاربری نداشته‌اند. کلاس دوم، طبقه تغییرات افزایشی است که این تغییرات، در شاخص‌های شوری دربردارنده افزایش نمک سطحی خاک و در شاخص‌های تحلیل مؤلفه مینا و تسلدکپ شامل تغییرات کاربری در جهت تخریب زمین است. در نهایت نقشه بالفعل بیابان‌زایی محدوده مطالعاتی با استفاده از میانگین‌گیری هندسی طبقات تغییر افزایشی تهیه گردید و در پایان براساس شکست‌های طبیعی (*Natural Breaks*) موجود در مقادیر رقوی حاصل از میانگین پارامترهای تغییر کاربری و افزایش شوری، به ۲۰ کلاس طبقه‌بندی شد.

در بخش دوم، مهمترین شاخص‌های اقلیمی مؤثر در رخداده بیابان‌زایی براساس مطالعات تطبیقی مشخص گردید که شامل مؤلفه‌های دما، بارش، تبخیر و تعرق پتانسیل، رطوبت نسبی، ساعات آفتابی، وضعیت اقلیمی، خشکسالی و حداکثر سرعت باد غالب می‌باشند. سپس آمار اقلیمی این عناصر در ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی و مناطق همجوار جمع‌آوری و لایه‌های رستری آنها با استفاده از روش‌های زمین آمار (*Spatial Geostatistic*) و ارتباطات آمار فضایی (*Spatial Statistic*) بین مؤلفه‌ها تهیه گردید. در نهایت از طریق جمع



شکل ۲- نقشه بالفعل بیابان‌زایی حوضه کویر حاج علی قلی

سایت سازمان آب و هواشناسی کشور (www.weather.ir) از بدو تأسیس ایستگاه‌ها تا سال ۱۳۹۲ استخراج گردید، که نتایج حاصل از آن به صورت جدول (۱) می‌باشد.

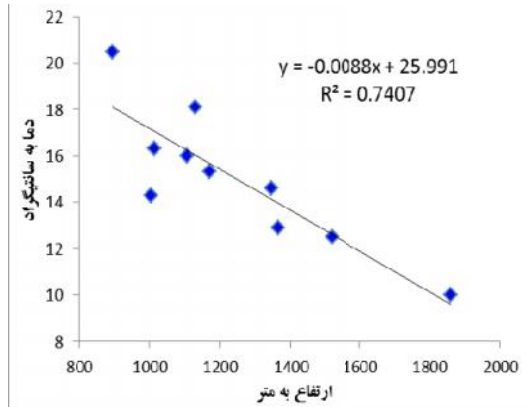
در مرحله دوم برای دستیابی به اهداف، ابتدا داده‌های اقلیمی لازم برای تعیین ارتباطات آمار فضایی بین عناصر و ترسیم لایه‌های رقومی شاخص‌های اقلیمی براساس آمار ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مطالعاتی و مناطق همجوار از

جدول ۱- مشخصات و آمار اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی منطقه مطالعاتی و مناطق همجوار

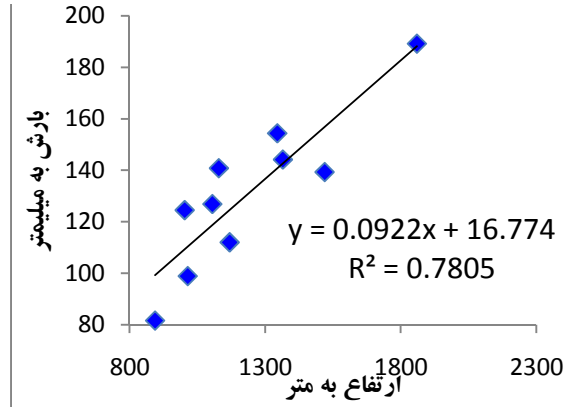
نام ایستگاه	طول جغرافیایی (شرقی)	عرض جغرافیایی (شمالی)	ارتفاع از سطح دریا (m)	بارش سالیانه (mm)	دمای سالیانه (C°)	تبخیر و تعرق پتانسیل (mm)	رطوبت نسبی (%)	مقدار SPI	سرعت باد غالب (نات)	مجموع ماهانه ساعات آفتابی	ضریب دومارتن
فولادمحل	۵۳° ۴۳'	۳۶° ۰۴'	۱۸۶۰	۱۸۹/۲	۱۰	۱۰۷۴/۵۵	۶۲	۰/۲۴۴	---	---	۹/۴۶
چهل دختر	۵۵° ۱۸'	۳۶° ۴۲'	۱۵۲۰	۱۳۹/۳	۱۲/۵۱	۱۱۷۱/۶۳	۵۰	-۰/۳۲۶	---	---	۶/۱۹
بسطام	۵۵° ۰۰'	۳۶° ۲۹'	۱۳۶۶	۱۴۴/۲	۱۲/۹	۱۱۸۸/۴۶	۵۴	-۰/۲۷	---	---	۶/۳
شاهرود	۵۴° ۵۷'	۳۶° ۲۵'	۱۳۴۵/۳	۱۵۴/۴	۱۴/۶	۱۲۶۹/۲۸	۴۸	-۰/۱۵۴	۱۴/۳۳	۲۶۷/۵۱	۶/۲۸
دامغان	۵۴° ۱۹'	۳۶° ۱۳'	۱۱۷۰	۱۱۲	۱۵/۳۲	۱۳۰۸/۰۸	۴۹	-۰/۳۰۹	۲۳/۹۲	۲۷۳/۵۶	۴/۴۲
سمنان	۵۳° ۳۳'	۳۵° ۳۵'	۱۱۳۰	۱۴۰/۸	۱۸/۱	۱۴۹۶/۳۱	۴۱	-۰/۴۶۸	۱۰	۲۶۸/۰۴	۵/۰۱
بیارجمند	۵۵° ۵۰'	۳۶° ۰۳'	۱۱۰۶/۲	۱۲۶/۹	۱۶	۱۳۴۷/۸۸	۴۳	-۰/۷۸۷	۱۱/۵۸	۲۷۷/۴۳	۴/۸۸
دستجرد	۵۶° ۱۰'	۳۶° ۰۸'	۱۰۱۵	۹۸/۹	۱۶/۳	۱۳۶۶/۵۵	۴۹	-۰/۴۹۵	---	---	۳/۷۶
کوهان	۵۵° ۵۳'	۳۶° ۳۷'	۱۰۰۴	۱۲۴/۵	۱۴/۲۷	۱۲۵۲/۵۱	۵۰	-۰/۹۸۵	---	---	۵/۱۳
حسینان	۵۴° ۳۴'	۳۵° ۱۳'	۸۹۵	۸۱/۶	۲۰/۴۸	۱۷۳۳/۸۳	۴۱	۳/۰۴۷	---	---	۲/۶۸

(شکل‌های ۳ و ۴). سپس معادلات مزبور بر روی مدل رقومی ارتفاعی منطقه اعمال و نقشه‌های هم‌بارش و هم‌دماى منطقه ترسیم گردید (شکل‌های ۵ و ۶).

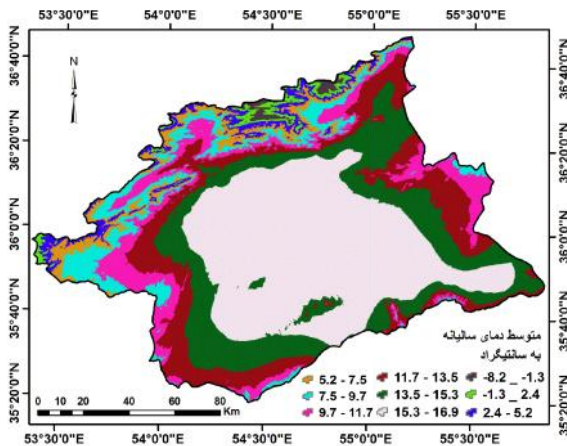
لایه‌های رقومی پارامترهای اقلیمی بدین‌گونه تهیه گردید که برای ترسیم لایه‌های هم‌بارش و هم‌دما، نخست رابطه بین ارتفاع-بارش و ارتفاع-دما ایستگاه‌های مطالعاتی براساس رابطه خطی مدل‌سازی و گرادیان بارش و دما محاسبه شد



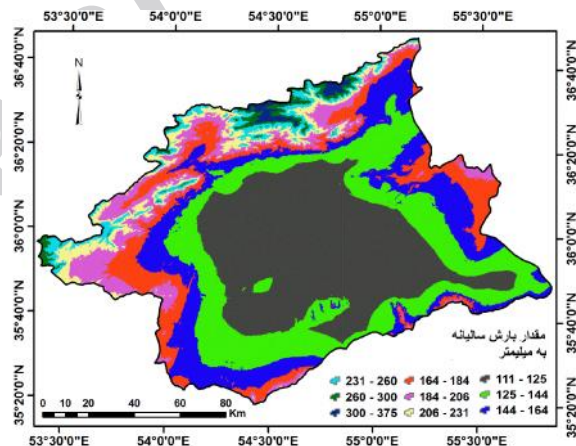
شکل ۴- رابطه خطی معکوس بین ارتفاع و دما



شکل ۳- رابطه خطی مستقیم بین ارتفاع و بارش



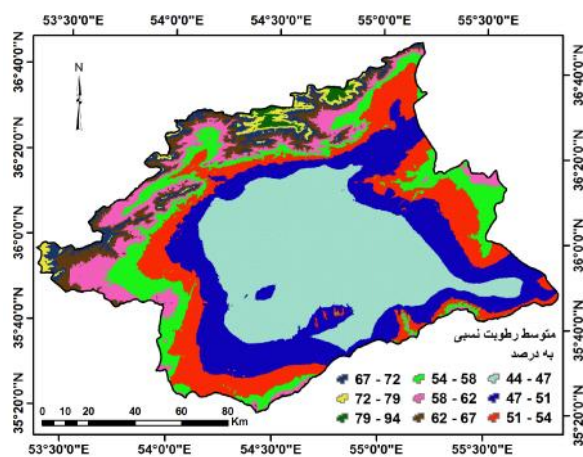
شکل ۶- نقشه هم‌دما



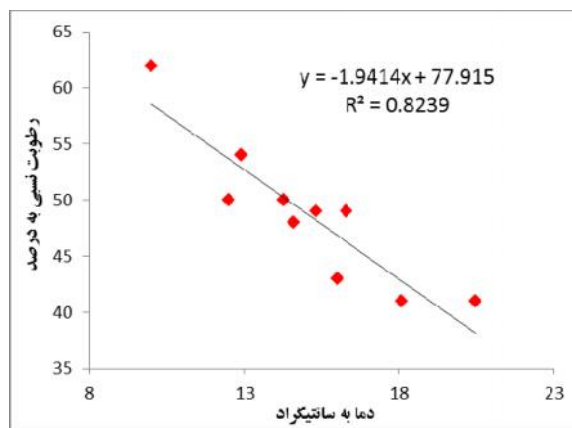
شکل ۵- نقشه هم‌بارش

طریق روش تورنت وایت (ر.ک. Alizadeh, 2010) محاسبه و بعد نقشه هم‌مقدار تبخیر و تعرق براساس مدل‌سازی رابطه آن با دما (شکل ۹) و اعمال رابطه روی نقشه هم‌دما تهیه شد (شکل ۱۰).

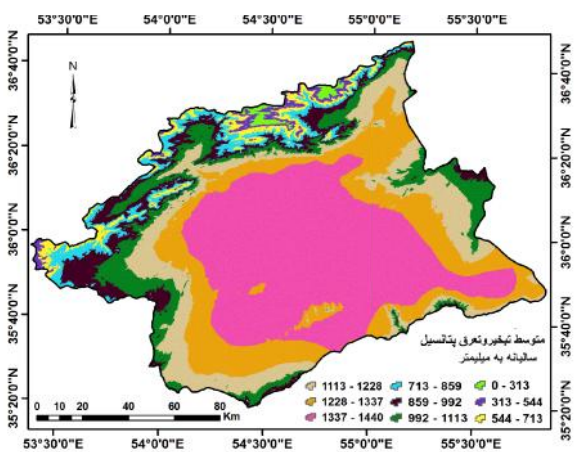
از آنجایی که بین دما و رطوبت نسبی رابطه معکوس وجود دارد، لایه هم‌مقدار رطوبت نسبی منطقه از طریق رابطه خطی معکوس دما و رطوبت نسبی (شکل ۷) و اعمال آن بر روی لایه هم‌دماى منطقه ترسیم گردید (شکل ۸). مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل ایستگاه‌های مطالعاتی ابتدا از



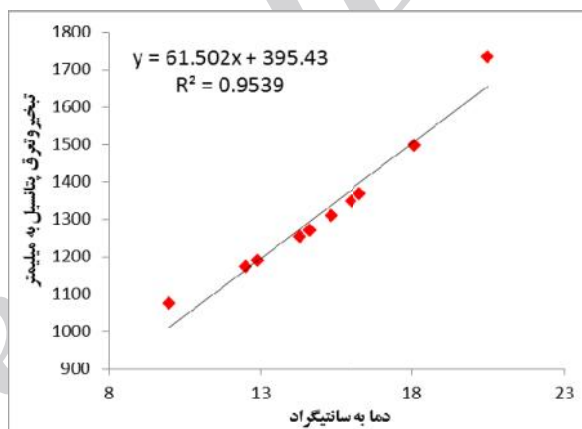
شکل ۸- نقشه هم‌مقدار رطوبت نسبی



شکل ۷- رابطه خطی معکوس بین دما و رطوبت نسبی



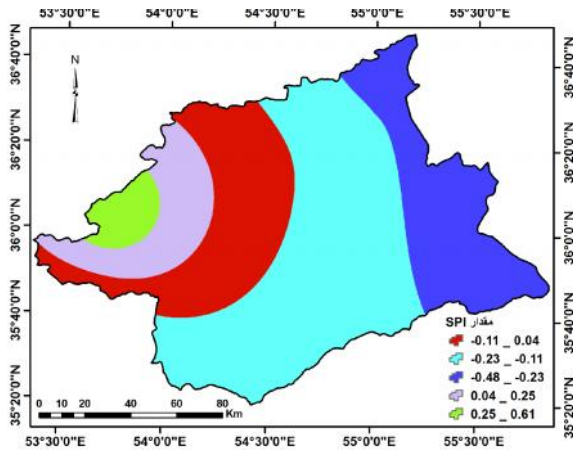
شکل ۱۰- نقشه هم‌مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل



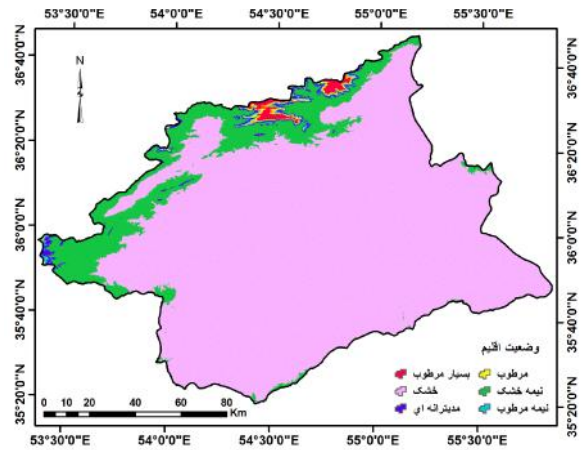
شکل ۹- رابطه خطی بین دما و تبخیر و تعرق پتانسیل

میان‌یابی به روش زمین‌آمار کریجینگ (*Kriging*) تهیه شد (شکل ۱۲). لایه‌های تعداد ساعات آفتابی و حداکثر سرعت باد غالب از طریق میان‌یابی آمار ایستگاه‌های مطالعاتی به روش زمین‌آمار کریجینگ ترسیم گردید (شکل‌های ۱۳ و ۱۴).

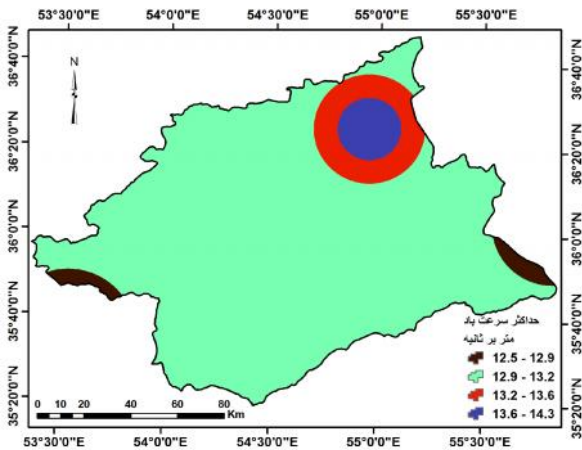
نقشه وضعیت اقلیمی منطقه از طریق ترکیب لایه‌های هم‌دما و هم‌بارش براساس ضریب اقلیمی دومارتن (ر.ک. Alizadeh, 2010) ترسیم گردید (شکل ۱۱). برای پارامتر خشکسالی نیز ابتدا مقدار و وضعیت خشکسالی از طریق شاخص بارش استاندارد شده (ر.ک. Alizadeh, 2010) برای هر ایستگاه محاسبه و بعد لایه آن با استفاده از



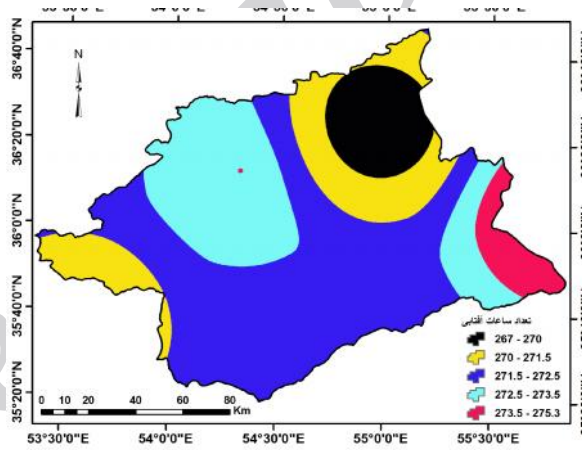
شکل ۱۲- نقشه خشکسالی براساس شاخص بارش استاندارد شده



شکل ۱۱- نقشه وضعیت اقلیمی به روش دومارتن



شکل ۱۴- نقشه حداکثر سرعت باد غالب



شکل ۱۳- نقشه تعداد ساعات آفتابی

هر پهنه تعیین گردید. سپس مقدار مساحت هر پهنه و مساحت واحدهای متجانس محاسبه و پایگاه داده برای مدل سازی تشکیل شد (جدول ۲).

برای تشکیل پایگاه داده برای مدل سازی اقلیمی بیابان زایی منطقه، لایه بیابان زایی فعلی (شکل ۲) با لایه های شاخص های اقلیمی (شکل های ۵، ۶، ۸، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳ و ۱۴) مورد جمع جبری قرار گرفت، و واحدهای متجانس در

جدول ۲- آمار توصیفی مساحت کلاس‌های بیابان‌زایی شده و مشخصات پارامترهای اقلیمی مؤثر در تخریب اراضی منطقه

پارامتر	طبقه دارای حداقل بیابان‌زایی	طبقه دارای حداکثر بیابان‌زایی	حداقل (Km ²)	حداکثر (Km ²)	میانگین (Km ²)	انحراف معیار (Km ²)	چولگی (Km ²)
طبقات بیابان‌زایی			۶/۷۲	۳۲۲/۳۱	۳۶/۶۸	۶۸/۹	۴/۱۲۵
بارش سالیانه (mm)	۲۳۱ - ۳۷۵/۲۵	۱۱۱ - ۱۲۵	۰/۰۰۱۷	۳۲۱/۹۴	۹/۹۱۴	۳۸/۵۹	۷/۴۹۵
متوسط دمای سالیانه (C°)	-۸/۲ - ۵/۲	۱۵/۳ - ۱۶/۹۹	۰/۰۰۰۹	۳۲۲/۱۱	۹/۹۱۳	۳۸/۶۲	۷/۴۹
وضعیت اقلیمی (دومارتن)	مدیترانه‌ای به بالا	خشک	۰/۰۰۵۱	۳۲۲/۳۱	۲۸/۲۱۶	۶۲/۱	۴/۵۷۸
رطوبت نسبی (%)	۶۷ - ۹۴	۴۴ - ۴۷	۰/۰۰۱۷	۳۲۱/۹۴	۹/۹۱۳	۳۸/۵۸۶	۷/۴۹۵
وضعیت خشکسالی (SPI)	-۰/۲۳ - -۰/۱۱	-۰/۴۸ - -۰/۲۳	۰/۰۰۰۲	۱۷۹/۵۹	۹/۷۸۲	۲۷/۰۵۹	۵/۱۳۶
تبخیر و تعرق پتانسیل (mm)	۰ - ۷۱۳	۱۳۳۷ - ۱۴۴۱	۰/۰۰۰۹	۳۲۲/۱	۹/۹۱۳	۳۸/۶۱۹	۷/۴۸۸
تعداد ساعات آفتابی	۲۷۳/۵ - ۲۷۵/۳	۲۷۱/۵ - ۲۷۲/۵	۰/۰۰۱۷	۱۹۰/۰۹	۱۱/۸۳۳	۲۹/۴۸۵	۴/۹۰۷
حداکثر سرعت باد (m/h)	۱۲/۵ - ۱۲/۹	۱۲/۹ - ۱۳/۲	۰/۰۰۰۲	۳۲۲/۰۵	۲۱/۵۷۷	۵۵/۲۸۹	۵/۱۶۱

شاخص‌ها در فرایند رخداد بیابان‌زایی مشخص شد. نتایج حاصل از رابطه‌سنجی بین مناطق بیابان‌زایی و طبقات شاخص‌های اقلیمی مؤثر به صورت جدول (۳) است.

برای تعیین وزن هر طبقه و تأثیر آن در رخداد بیابان‌زایی، مقدار مساحت واحدهای متجانس با مساحت طبقات بیابان‌زایی از طریق تکنیک آنالیز رگرسیون مدل‌سازی و مقدار ضریب تبیین به‌عنوان دامنه تأثیر

جدول ۳- نتایج حاصل از آنالیز رگرسیون بین مناطق بیابان‌زایی و طبقات شاخص‌های اقلیمی

متغیر وابسته	متغیر مستقل	طبقات متغیر مستقل	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	ضریب تبیین تعدیل شده	خطای برآورد	سطح معنی‌داری
بارش سالیانه (mm)		۱۱۱ - ۱۲۵	۰/۹۹۸	۰/۹۹۷	۰/۹۹۶	۴/۱۱۸	۰/۰۰۰
		۱۲۵ - ۱۴۴	۰/۱۳۰	۰/۰۱۷	-۰/۰۳۸	۷۰/۱۹۴	۰/۵۸۶
		۱۴۴ - ۱۶۴	۰/۱۰۵	۰/۰۱۱	-۰/۰۴۴	۷۰/۴۰۳	۰/۶۶۰
		۱۶۴ - ۱۸۴	۰/۲۰۱	۰/۰۴۰	-۰/۰۱۳	۶۹/۳۵۴	۰/۳۹۶
		۱۸۴ - ۲۰۶	۰/۱۲۲	۰/۰۱۵	-۰/۰۴۰	۷۰/۲۶۰	۰/۶۰۷
		۲۰۶ - ۲۳۱	۰/۰۹۹	۰/۰۱۰	-۰/۰۴۵	۷۰/۴۴۲	۰/۶۷۷
متوسط دمای سالیانه (C°)		۲۳۱ - ۳۷۶	.	.	.	.	.
		۵/۲ - ۱/۳	.	.	.	.	.
		۵/۲ - ۷/۵	۰/۰۸۳	۰/۰۰۷	-۰/۰۴۸	۷۰/۵۵۰	۰/۷۲۹
		۷/۵ - ۹/۷	۰/۰۸۵	۰/۰۰۷	-۰/۰۴۸	۷۰/۵۳۴	۰/۷۲۰
		۹/۷ - ۱۱/۷	۰/۱۹۱	۰/۰۳۷	-۰/۰۱۷	۶۹/۴۸۷	۰/۴۲۰
		۱۱/۷ - ۱۳/۵	۰/۱۰۷	۰/۰۱۱	-۰/۰۴۳	۷۰/۳۸۶	۰/۶۵۳
وضعیت اقلیمی (دومارتن)		۱۳/۵ - ۱۵/۳	۰/۱۲۸	۰/۰۱۶	-۰/۰۳۸	۷۰/۲۱۲	۰/۵۹۱
		۱۵/۳ - ۱۶/۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	۳/۶۳۴	۰/۰۰۰
		خشک	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۹۹۹	۰/۰۳۳	۰/۰۰۰
		نیمه خشک	۰/۱۴۴	۰/۰۲۱	-۰/۰۳۴	۷۰/۰۵۷	۰/۵۴۵
رطوبت نسبی		سایرپهنه‌های اقلیمی	.	.	.	.	.
		۴۴ - ۴۷	۰/۹۹۸	۰/۹۹۷	۰/۹۹۶	۴/۱۱۸	۰/۰۰۰

طبقات ۲۰ گانه مناطق بیابان‌زایی شده

متغیر وابسته	متغیر مستقل	طبقات متغیر مستقل	ضریب همبستگی	ضریب تبیین	ضریب تبیین تعدیل شده	خطای برآورد	سطح معنی داری
	(درصد)	۴۷-۵۱	۰/۱۳۰	۰/۰۱۷	-۰/۰۳۸	۷۰/۱۹۴	۰/۵۸۶
		۵۱-۵۴	۰/۱۰۵	۰/۰۱۱	-۰/۰۴۴	۷۰/۴۰۳	۰/۶۶۰
		۵۴-۵۸	۰/۲۰۱	۰/۰۴۰	-۰/۰۱۳	۶۹/۳۵۴	۰/۳۹۶
		۵۸-۶۲	۰/۱۲۲	۰/۰۱۵	-۰/۰۴۰	۷۰/۲۶۰	۰/۶۰۷
		۶۲-۶۷	۰/۰۹۹	۰/۰۱۰	-۰/۰۴۵	۷۰/۴۴۲	۰/۶۷۷
		۶۷-۹۴	.	.	.	.	.
		۰/۰۴-۰/۲۵	۰/۰۹۵	۰/۰۰۹	-۰/۰۴۶	۷۰/۴۷۱	۰/۶۹۰
وضعیت خشکسالی		۰/۲۵-۰/۶۱	۰/۱۵۵	۰/۰۲۴	-۰/۰۳۰	۶۹/۹۴۲	۰/۵۱۵
(شاخص بارش استاندارد شده)		-۰/۴۸-۰/۲۳	۰/۰۲۱	۰/۰۰۰	-۰/۰۵۵	۷۰/۷۷۸	۰/۹۳۱
		-۰/۱۱-۰/۰۴	۰/۹۷۶	۰/۹۵۳	۰/۹۵۰	۱۵/۴۰۰	۰/۰۰۰
		-۰/۲۳-۰/۱۱	۰/۹۶۲	۰/۹۲۶	۰/۹۲۲	۱۹/۲۷۹	۰/۰۰۰
		۰-۷۱۳	.	.	.	.	.
		۷۱۳-۸۵۹	۰/۰۸۳	۰/۰۰۷	-۰/۰۴۸	۷۰/۵۵۰	۰/۷۲۹
		۸۵۹-۹۹۲	۰/۰۸۵	۰/۰۰۷	-۰/۰۴۸	۷۰/۵۳۴	۰/۷۲۰
تبخیر و تعرق پتانسیل (mm)		۹۹۲-۱۱۱۳	۰/۱۹۱	۰/۰۳۷	-۰/۰۱۷	۶۹/۴۸۷	۰/۴۲۰
		۱۱۱۳-۱۲۲۸	۰/۱۰۷	۰/۰۱۱	-۰/۰۴۳	۷۰/۳۸۶	۰/۶۵۳
		۱۲۲۸-۱۳۳۷	۰/۱۲۸	۰/۰۱۶	-۰/۰۳۸	۷۰/۲۱۲	۰/۵۹۱
		۱۳۳۷-۱۴۴۱	۰/۹۹۹	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	۳/۶۳۴	۰/۰۰۰
		۱۲/۹-۱۳/۲	۰/۹۹۹	۰/۹۹۷	۰/۹۹۷	۳/۸۶۳	۰/۰۰۰
حداکثر سرعت باد غالب (m/h)		۱۳/۶-۱۴/۳	۰/۱۳۸	۰/۰۱۹	-۰/۰۳۵	۷۰/۱۱۳	۰/۵۶۱
		۱۳/۲-۱۳/۶	۰/۱۴۲	۰/۰۲۰	-۰/۰۳۴	۷۰/۰۷۹	۰/۵۵۱
		۱۲/۵-۱۲/۹	۰/۲۹۴	۰/۰۸۶	۰/۰۳۶	۶۷/۶۶۸	۰/۲۰۹
		۲۷۱/۵-۲۷۲/۵	۰/۹۵۷	۰/۹۱۶	۰/۹۱۱	۲۰/۵۶۹	۰/۰۰۰
		۲۷۰-۲۷۱/۵	۰/۰۸۶	۰/۰۰۷	-۰/۰۴۸	۷۰/۵۲۹	۰/۷۱۸
		۲۷۳/۵-۲۷۵/۳	۰/۱۴۸	۰/۰۲۲	-۰/۰۳۲	۷۰/۰۰۹	۰/۵۳۲
تعداد ساعات آفتابی		۲۶۷-۲۷۰	۰/۱۴۴	۰/۰۲۱	-۰/۰۳۴	۷۰/۰۵۵	۰/۵۴
		۲۷۲/۵-۲۷۳/۵	۰/۹۸۲	۰/۹۶۴	۰/۹۶۲	۱۳/۳۷۹	۰/۰۰۰

کنترل می‌شود و مقدار ۰/۱ درصد باقی‌مانده دامنه اثر سایر طبقات است. تأثیر طبقات سایر شاخص‌ها نیز به صورت جدول (۳) می‌باشد.

برای ارائه مدل اقلیمی بیابان‌زایی در حوضه کویر حاج علی قلی از تکنیک آنالیز رگرسیون چند متغیره گام به گام بهره‌گیری شد، که نتایج حاصل از آن به صورت رابطه (۱) می‌باشد. در این مدل طبقات ۷، ۸ و ۹ شاخص‌های بارش و رطوبت نسبی؛ طبقات ۱، ۲ و ۳ شاخص‌های دما و

نتایج حاصل از رابطه‌سنجی بین مناطق بیابان‌زایی شده حوضه کویر حاج علی قلی و طبقات شاخص‌های اقلیمی نشان می‌دهد برای نمونه در بین طبقات وضعیت اقلیمی، رخداد بیابان‌زایی بیشترین رابطه معنی‌دار را با پهنه اقلیمی خشک با ضریب تبیین ۰/۹۹۹ و انحراف معیار خطای برآورد ۰/۰۳۳ در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۰۱ دارد. بدین معنی که از نظر شاخص وضعیت اقلیمی، ۹۹/۹ درصد احتمال وقوع بیابان‌زایی منطقه توسط پهنه اقلیمی خشک

ثابت رابطه مزبور برابر با یک بوده که به دلیل عدم تأثیر در نتیجه نهایی از ذکر آن در معادله صرف نظر شده است.

تبخیر و تعرق؛ و طبقات ۳، ۴ و ۵ شاخص وضعیت اقلیمی به دلیل عدم ارتباط و صفر بودن دامنه تأثیر آنها در رخداد بیابان‌زایی منطقه از مدل نهایی حذف شده‌اند. مقدار ضریب

$$CliDM = \sum_{i=1}^6 per_i + \sum_{i=2}^7 tem_i + \sum_{i=1}^2 cli_i + \sum_{i=1}^5 hum_i + \sum_{i=1}^5 dro_i + \sum_{i=2}^7 ET_i + \sum_{i=1}^4 win_i + \sum_{i=1}^5 sun_i \quad \text{رابطه ۱}$$

نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل اقلیمی براساس رابطه خطی ساده بین مقدار مشاهده شده بیابان‌زایی و مقدار پیش‌بینی شده مدل اقلیمی به صورت جدول (۴) می‌باشد که مقدار بالای ضریب تبیین (۰/۹۵۴) و مقدار پایین انحراف معیار خطای برآورد (۳/۴۴۲)، میزان اعتبار قابل قبول مدل اقلیمی را در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۰۱ تأیید می‌کند.

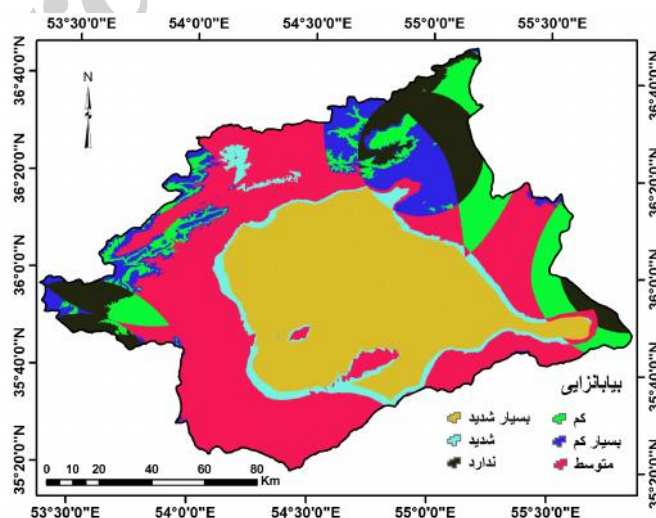
در این رابطه، $ClimMD$: مدل اقلیمی بیابان‌زایی در حوضه کویر حاج علی قلی، per_i : طبقات بارش، tem_i : طبقات دما، cli_i : طبقات وضعیت اقلیمی، hum_i : طبقات رطوبت نسبی، dro_i : طبقات وضعیت خشکسالی، ET_i : طبقات تبخیر و تعرق پتانسیل، win_i : طبقات حداکثر سرعت باد غالب و sun_i : طبقات تعداد ساعات آفتابی پارامترها به ترتیب ذکر شده در جدول (۳) می‌باشند.

جدول ۴- نتایج اعتبارسنجی مدل اقلیمی پهنه‌بندی رخداد بیابان‌زایی

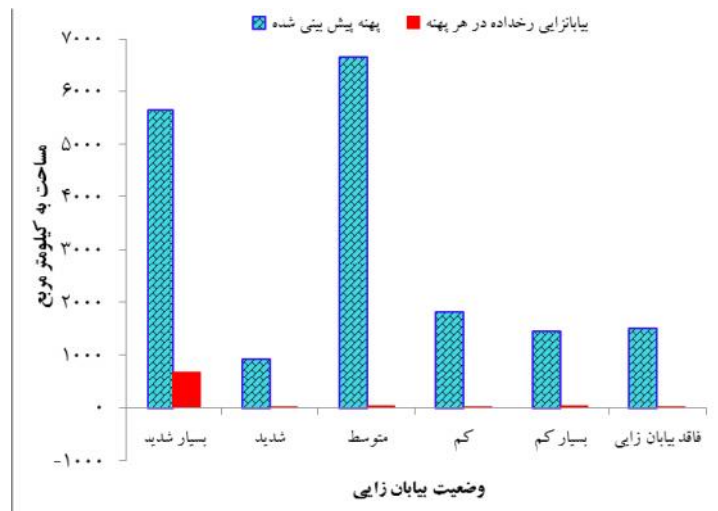
رابطه	سطح معنی‌داری	انحراف معیار خطای برآورد	ضریب تبیین تعدیل شده	ضریب تبیین	ضریب همبستگی
$y = 0.126x + 0.5102$	۰/۰۰۰	۳/۴۴۲	۰/۹۵۲	۰/۹۵۴	۰/۹۷۷

بالتوجه رخداد بیابان‌زایی منطقه می‌باشد. نتایج حاصل از پهنه‌بندی بیابان‌زایی در حوضه کویر حاج علی قلی براساس مدل اقلیمی به صورت شکل‌های ۱۵ و ۱۶ می‌باشد.

در نهایت برای پهنه‌بندی احتمال وقوع بیابان‌زایی، لایه‌های رستری شاخص‌ها براساس دامنه تأثیر (ضریب تبیین) و مدل گام به گام با یکدیگر ترکیب گردید که نتیجه آن تهیه نقشه



شکل ۱۵- پهنه‌های وضعیت بالقوه بیابان‌زایی حوضه کویر حاج علی قلی براساس مدل اقلیمی



شکل ۱۶- مساحت طبقات وضعیت بیابان‌زایی حوضه مطالعاتی براساس مدل اقلیمی

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

در این رابطه، $AcAsI$: 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.

در پایان برای بررسی میزان دقت نقشه پهنه‌بندی رخداد بیابان‌زایی کویر حاج علی قلی، از شاخص ارزیابی دقت (*Accuracy Assessment Index*) استفاده شد (رابطه ۲). برای این منظور لایه پهنه‌بندی احتمال وقوع بیابان‌زایی منطقه با لایه تخریب اراضی فعلی تلاقی داده شد و با استفاده از رابطه ۱ میزان دقت نقشه پهنه‌بندی به صورت جدول ۵ محاسبه گردید.

جدول ۵- نتایج ارزیابی دقت نقشه پهنه‌بندی بیابان‌زایی در کویر حاج علی قلی براساس مدل اقلیمی

(%) $AcAsI$	(Km^2) Si/Li	(%) Si	(Km^2) Si	(%) Ai	(Km^2) Ai	پهنه بیابان‌زایی
۸۲/۲۲۲	۲/۹۵۱	۹۲/۶۶	۶۷۹/۷۵	۳۱/۳۹	۵۶۶۸/۱۱	خیلی شدید
۳/۸۲۹	۰/۱۲۷	۰/۷۱	۵/۲۲	۵/۱۷	۹۳۳/۸۶	شدید
۲/۴۸۳	۰/۰۸۹	۳/۲۸	۲۴/۰۹	۳۶/۸۴	۶۶۵۰/۵۴	متوسط
۰/۰۶۶	۰/۰۰۲	۰/۰۲	۰/۱۷	۱۰/۰۹	۱۸۲۳/۰۵	کم
۹/۹۴۲	۰/۳۵۷	۲/۸۸	۲۱/۱۵	۸/۰۸	۱۴۵۸/۸۸	خیلی کم
۱/۴۵۷	۰/۰۵۲	۰/۴۴	۳/۲۳	۸/۴۲	۱۵۱۹/۳۷	فاقد بیابان‌زایی
۱۰۰	۳/۵۸۹	۱۰۰	۷۳۳/۶۲	۱۰۰	۱۸۰۵۳/۸۰	جمع

۶۷۹/۷۵ کیلومترمربع از تخریب اراضی فعلی را به خود اختصاص داده است و امکان افزایش مساحت تا ۵۶۶۸/۱۱ کیلومترمربع را دارد. پهنه بیابان‌زایی شدید نیز که ۵/۲۲

نتایج حاصل از ارزیابی دقت مدل‌سازی اقلیمی بیابان‌زایی حوضه کویر حاج علی قلی (جدول ۵) نشان می‌دهد که پهنه بیابان‌زایی خیلی شدید ۹۲/۶۶ درصد و وسعتی برابر

تفاوت خود دلیل بر اهمیت و نقش آن طبقه در فرایند احتمال وقوع بیابان‌زایی منطقه است. بگونه‌ای که طبقات حداقلی در شاخص‌های بارش و رطوبت نسبی و طبقات حداکثری در شاخص‌های متوسط دما، تبخیر و تعرق پتانسیل، وضعیت خشکسالی، مقدار خشکی (وضعیت اقلیمی)، حداکثر سرعت باد غالب و تعداد ساعات آفتابی بیشترین اثرگذاری را در رخدادهای بیابان‌زایی منطقه دارند. این مباحث مبنای افت توان بیولوژیک و اکولوژیک منطقه مطالعاتی در نتیجه افزایش دما و تبخیر و تعرق، کاهش بارندگی و رطوبت نسبی، تداوم خشکسالی، افزایش تعداد ساعات آفتابی و فعالیت‌های فرسایش بادی و حرکت تپه‌های ماسه‌ای در نتیجه حداکثر سرعت باد در مناطق منطبق بر واحدهای پلایا و دشت‌سر می‌باشد. این نتایج با یافته‌های Sun و همکاران (۲۰۰۵)، Wang و همکاران (۲۰۰۶)، Adamo و همکاران (۲۰۰۶)، Xue و همکاران (۲۰۰۹) و Duanyang و همکاران (۲۰۱۱) همسو است.

مدل‌سازی و پهنه‌بندی احتمال وقوع بیابان‌زایی حوضه کویر حاج قلی براساس شاخص‌های اقلیمی و ارزیابی دقت مدل و نقشه پهنه‌بندی ارائه شده، از نتایج اصلی این پژوهش می‌باشد. از مهمترین مزایای مدل اقلیمی مذکور می‌توان به حداقل رساندن دخالت نظرات کارشناسان در امتیازبندی و وزن‌دهی به شاخص‌های مؤثر اشاره کرد، زیرا در این روش برای امتیازدهی به شاخص‌ها، مقدار مساحت مداخله‌کننده در کل مساحت بیابان‌زایی شده تأثیرگذار بوده، و مقدار ضریب تبیین روابط موجود بین شاخص‌ها و مناطق بیابان‌زایی شده، دامنه تأثیر و امتیاز آنها را نشان می‌دهد. همچنین از دیگر مزایای نتایج این پژوهش می‌توان به موضوع عدم دخالت نظرات کارشناس در تعیین محدوده واحدهای همگن را نام برد، زیرا در این روش از لایه‌های رستری برای مدل‌سازی و پهنه‌بندی استفاده شده، و در لایه‌های رستری هر پیکسل برابر است با یک واحد همگن، که نتایج نهایی در پیش‌بینی بیابان‌زایی منطقه با توان تفکیک مکانی لایه‌های رقومی و اندازه سلول هر پیکسل همسو می‌باشد. استفاده از روش مدل‌سازی آماری به جای

کیلومترمربع از وسعت تخریب اراضی فعلی را دربرگرفته، می‌تواند با توجه به نقشه پیش‌بینی شده تا ۹۳۳/۸۶ کیلومترمربع توسعه یابد. نتایج حاصل از محاسبه شاخص ارزیابی دقت نقشه پهنه‌بندی منطقه مطالعاتی حکایت از وجود روند نزولی از پهنه بیابان‌زایی خیلی شدید به سمت پهنه فاقد بیابان‌زایی دارد. این شرایط دقت لازم و کافی مدل بیابان‌زایی ارائه شده و پهنه‌بندی حوضه آبی کویر حاج علی قلی بر مبنای مدل مزبور را تأیید کرده و نشان‌دهنده عملکرد صحیح آن در مدل‌سازی رخدادهای بیابان‌زایی منطقه مطالعاتی می‌باشد.

بحث

با فرض ثابت انگاشتن معیارهای انسانی، ژئومورفیک، خاک‌شناسی و پوشش گیاهی، بین شاخص‌های اقلیمی و فرایند رخدادهای بیابان‌زایی رابطه ارگانیک وجود دارد. به طوری که برای نمونه با افزایش خشکسالی و به تبع آن خشکی، مقدار بیابان‌زایی نیز افزایش پیدا می‌کند و بعکس. از این رو در این پژوهش سعی شده تا در گام نخست مهمترین شاخص‌های اقلیمی تأثیرگذار در رخدادهای بیابان‌زایی کویر حاج علی قلی شناسایی و بعد براساس دامنه تأثیر آنها، احتمال وقوع بیابان‌زایی این منطقه مدل‌سازی و پهنه‌بندی گردد. نتایج نشان می‌دهد که رخدادهای بیابان‌زایی در منطقه مطالعاتی با طبقه اقلیمی خشک بیشترین همبستگی و انطباق را با ضریب تبیین ۰/۹۹۹ در سطح احتمال خطای کمتر از ۰/۰۱ دارد. در مجموع بیابان‌زایی منطقه مطالعاتی با شاخص‌های متوسط دما، تبخیر و تعرق پتانسیل، وضعیت خشکسالی، مقدار خشکی (وضعیت اقلیمی)، حداکثر سرعت باد غالب و تعداد ساعات آفتابی رابطه مستقیم دارد، به طوری که با افزایش مقدار هر شاخص، رخدادهای بیابان‌زایی نیز افزایش می‌یابد؛ اما با شاخص‌های بارش سالیانه و متوسط رطوبت نسبی رابطه معکوس دارد. این موضوع را نیز باید مورد توجه قرار داد که هر شاخص از طبقات متعددی تشکیل شده و دامنه تأثیر هر طبقه با توجه به نسبت مساحت تخریب شده توسط آن متفاوت می‌باشد؛ و این

- D'Odorico, P., Bhattachan, A., Davis, K. F., Ravi, S., and Runyan, C. W., 2012. Global desertification: drivers and feedbacks. *Journal of Advances in Water Resources*, 51: 326-344.
- Dawelbait, M., and Morari, F., 2012. Monitoring desertification in a Savannah region in Sudan using Landsat images and spectral mixture analysis. *Journal of Arid Environments*, 80: 45-55.
- Duanyang, X., Chunlei, L., Dafang, Z., and Jianjun, P., 2011. Assessment of the relative role of climate change and human activities in desertification: A review. *Journal of Geographical Sciences*, 21(5): 926-936.
- Millan, M. M., Estrela, M. J., Sanz, M. J., Mantilla, E., Martin, M., Pastor, F., Salvador, R., Vallejo, R., Alonso, L., Gangoiti, G., Ilardia, J. L., Navazo, M., Albizuri, A., Artinano, B., Cicciooli, P., Kallos, G., Carvalho, R. A., Andres, D., Hoff, A., Werhahn, J., Seufert, G., and Versino, B., 2005. Climatic Feedbacks and Desertification: The Mediterranean Model. *Journal of Climate*, 18: 684-701.
- Mousavi, S. H., Vali, A. A., Moayeri, M., and Ranjbar, A., 2013. Monitoring of desertification condition in Haj Ali Gholi playa (1987 - 2006). *Journal of Quantitative Geomorphological Researches*, 1(4): 85-102.
- Mousavi, S. H., Moayeri, M., Vali, A. A., Ranjbar, A., Irvani, M. R., and Ghazavi, R., 2013. Geomorphological mapping of processes and forms in Haj Ali Gholi playa, Central Iran. *Journal of Social Issues & Humanities*, 1(4): 9-13.
- 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: 37-45.
- Rubio, J. L., and Bochet, E., 1998. Desertification indicators as diagnosis criteria for desertification risk assessment in Europe. *Journal of Arid Environments*, 39: 113-120.
- Salvati, L., and Bajocco, S., 2011. Land sensitivity to desertification across Italy: Past, present, and future. *Journal of Applied Geography*, 31: 223-231.
- Santini, M., Caccamo, G., Laurenti, A., Noce, S., and Valentini, R., 2010. A multi-component GIS framework for desertification risk assessment by an integrated index. *Journal of Applied Geography*, 30: 394-415.
- Shahryari, A. R., Parvari, S. H., and Bahi, M. J., 2009. Mapping of desertification by ESAs Methods. *Forest and Range*, 81: 13-20.
- Sun, D., Dawson, R., Li, H., and Li, B., 2005. Modeling desertification change in minquin county, China. *Journal of Environmental Monitoring and Assessment*, 108: 169-188.
- UNCCD., 1994. United Nations Convention to Combat
- مدل‌های تجربی یکی دیگر از نقاط مثبت نتایج این پژوهش می‌باشد که این مزیت نیز نشان از کاهش دخالت سلاویق متخصصان دارد. به‌کارگیری توأمان متغیرهای کمی و کیفی در مدل اقلیمی حاصل از پایگاه داده مساحتی، و همچنین متغیرهای پیوسته و گسسته که توانایی تبدیل به داده‌های زمین‌آمار، مکانی، و پهنه‌ای را دارند، از دیگر مزایای روش مذکور می‌باشد، زیرا زمین‌آمار بودن فرایند انجام کار و نتایج حاصل از آن، و همچنین به‌کارگیری همزمان داده‌های مکانی و روش‌های آماری نیز میزان خطا را به حداقل می‌رساند. در نهایت در این روش امکان ارزیابی دقت مدل اقلیمی و نقشه پهنه‌بندی نیز وجود دارد که نتایج حاصل از اعتبارسنجی مدل مزبور، روند نزولی شاخص ارزیابی دقت را از پهنه خیلی شدید به پهنه فاقد بیابان‌زایی نشان داده و بیانگر دقت لازم این مدل و نقشه پهنه‌بندی رخداده بیابان‌زایی است.

منابع مورد استفاده

- Adamo, S. B., and Crews-Meyer, K. A., 2006. Aridity and desertification: Exploring environmental hazards in Ja'chal, Argentina. *Journal of Applied Geography*, 26: 61-85.
- Ahmadi, H., 2008. Applied geomorphology (Desert-Wind Erosion). Tehran, University of Tehran Press, 706p.
- Alavi Panah, S. K., Ehsani, A. H., and Omid, P., 2004. A Study of Desertification and Changes of Damghan Playa Lands Using Multy Spectral and Multy Temporal Data. *Desert*, 9(1): 143-154.
- Alizadeh, A., 2010. Principles of Applied Hydrology. Mashhad, Astan Ghods Razavi Press, Edition 31, 911p.
- Amiraslani, F., and Dragovich, D., 2011. Combating desertification in Iran over the last 50 years: An overview of changing approaches. *Journal of Environmental Management*, 92: 1-13.
- Bakra, N., Weindorf, D. C., Bahnassy, M. H., and 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: 271-280.
- Blaikie, P., and Brookfield, H., 1987. Land degradation and society. London: Longman. 1-4. In: Barrow, C.J. (Eds.) 1991. Land Degradation: Development and Breakdown of Terrestrial Environments. Cambridge University Press, Cambridge.

- in semiarid China. *Journal of Global Environmental Change*, 16: 48–57.
- Wang, X., Eerdun, H., Zhou, Z., and Liu, X., 2007. Significance of variations in the wind energy environment over the past 50 years with respect to dune activity and desertification in arid and semiarid northern China. *Journal of Geomorphology*, 86: 252–266.
- Xue, X., Guo, J., Han, B., Sun, Q., and Liu, L., 2009. The effect of climate warming and permafrost thaw on desertification in the Qinghai–Tibetan Plateau. *Journal of Geomorphology*, 108: 182–190.
- Zehtabian, Gh.R., and Rafiei Emam, A., 2003. ESAs, a new method for assessment and mapping of areas sensitive to desertification. *Desert*, 8(1): 121–126.
- Zehtabian, Gh.R., Khosravi, H., and Masoudi, R., 2014. Models of desertification assessment (Criteria and Indices). Tehran, University of Tehran Press, 260p.
- Desertification, Intergovernmental Negotiating Committee for a Convention to Combat Desertification, Elaboration of an International Convention to Combat Desertification in Countries Experiencing Serious Drought and/or Desertification, Particularly in Africa. U. N. Doc. A/AC.241/27, 33 I.L.M.1328. New York: United Nations.
- UNCCD, 2013. Economic and Social Impacts of Desertification. 2nd Scientific Conference of Land Degradation and Drought, 9–12 April, Bonn, Germany, 68p.
- Wang, T., and Zhu, Z., 2003. Study on sandy desertification in China: 1. Definition of sandy desertification and its connotation. *Journal of Desert Research*, 23(3): 209–214.
- Wang, X., Chen, F., and Dong, Z., 2006. The relative role of climatic and human factors in desertification

Archive of SID

Climate Modelling of Desertification in Haj Ali Gholi Playa

S. H. Mousavi^{1*}, A. A. Vali² and A. Ranjbar Fordoei³

1*- Corresponding author, Assistant Professor, Department of Geography and Ecotourism, Faculty of Natural Resources and Geo Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran, Email: hmousavi15@kashanu.ac.ir

2- Associate Professor, Department of Desert Sciences Engineering, Faculty of Natural Resources and Geo Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

3- Associate Professor, Department of Desert Sciences Engineering, Faculty of Natural Resources and Geo Sciences, University of Kashan, Kashan, Iran

Received:8/13/2014

Accepted:4/28/2015

Abstract

Desertification is defined as rapid change in vegetation cover, plant community composition, hydrologic conditions, soil properties, or climate conditions, which results in an overall loss of ecosystem services and poses serious threats to sustainable livelihoods. The process represents one of the most threatening environmental hazards due to the large amount of people and land at risk. Therefore, this research was aimed to modeling of desertification and zonation of Haj Ali Gholi Playa according to the climate parameters such as temperature, rainfall amount, evapotranspiration potential, number of sunny hours, climate condition, drought (aridity), and maximum prevailing wind speed, using GIS technique and statistical methods. The modeling was performed using stepwise multiple regression analysis. According to the results, maximum significant relationship was found among desertification classes and dry zone with a determination coefficient of 0.999 and STD error of estimate of 0.033 (< 0.01). Other results are included the zonation map of desertification in the study area from very high zone to no-desertification zone, so that, the very high desertification zone is included about 679.75 km² (%92.66) of present land degradation and has the possibility of increasing up to 5668.11 km². In addition, the high desertification zone, covering about 5.22 km² (%0.44) of present land degradation, can develop to 933.86 km². The obtained results from validation test of the model show the descending trend of accuracy assessment index from the very high desertification zone to the no-desertification zone, indicating the necessary accuracy of the model.

Keywords: Climate indexes, desertification, Haj Ali Gholi Playa, modeling.