

تعیین نقش روند تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی بر وضعیت بیابان‌زایی آبی، مطالعه موردی: سبزوار

علی‌اکبر نظری سامانی^{۱*}، شهرام خلیقی سیگارودی^۲، مهسا عبدالشاه‌نژاد^۳، سینا صیادی لطف آبادی^۴ و مجید حبیبی نوخندان^۵
^۱ دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ^۲ دانشجوی دکتری بیابان‌زایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ^۳ کارشناس ارشد بیابان‌زایی، دانشکده منابع طبیعی و کشاورزی، دانشگاه تهران و ^۴ دانشیار، پژوهشکده اقلیم‌شناسی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۶/۱۶

چکیده

رشد فعالیت‌های صنعتی طی ۲۰۰ سال گذشته در دنیا منجر به افزایش بی‌سابقه غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر و افزایش دما در لایه‌های پایین اتمسفر شده است. بی‌نظمی در وضعیت بارندگی‌ها، خشکسالی‌ها و بیابان‌زایی در نقاط مختلف دنیا در ارتباط با چنین تغییرات اقلیمی مرتبط دانسته شده است. از آنجایی که پدیده بیابان‌زایی به‌عنوان یکی از بارزترین وجوه تخریب منابع طبیعی در جهان مطرح شده است، در این پژوهش با بررسی روند گذشته و حال وضعیت بیابان‌زایی، شرایط آینده در قالب پنج بازه زمانی ۱۳۶۷-۱۳۵۸، ۱۳۸۷-۱۳۵۸، ۱۴۲۰-۱۳۹۱، ۱۴۵۰-۱۴۲۱ و ۱۴۸۰-۱۴۵۱ با بهره‌گیری از مدل تعیین شدت بیابان‌زایی IMDPA تعیین شد. برای هر کدام از معیارهای مورد نظر (اقلیم و زمین‌شناسی-ژئومورفولوژی) با توجه به شرایط منطقه، چند شاخص انتخاب شد. ابتدا دما و بارش گذشته مورد بررسی قرار گرفت و سپس پیش‌بینی تغییرات اقلیم در آینده با استفاده از دو مدل اقلیمی HADCM3 و GFDL2.1 و سه سناریوی A2، B1 و A1B از سری مدل‌های گردش عمومی جو و ریزمقیاس‌نمایی برای داده‌های آینده صورت گرفت. سپس، نقشه کاربری اراضی در دو دوره ۱۳۶۵ و ۱۳۸۹ در چهار طبقه تهیه شد و به‌عنوان ورودی مدل زنجیره‌ای مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات کاربری آینده در سه دوره ۱۴۱۹، ۱۴۴۹ و ۱۴۷۹ استفاده شد. نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که میزان شدت بیابان‌زایی در طول زمان تغییر کرده که این تغییرات از طبقه کم به متوسط و طبقه متوسط به شدید متفاوت بوده، با مقایسه دوره‌های مختلف می‌توان بیان کرد که بیابان‌زایی در طول زمان افزایش پیدا کرده است. زیرا تغییر از طبقه‌ای به طبقه دیگر صورت گرفته، بیابان‌زایی پیشروی خواهد داشت. همچنین، روند اهمیت شاخص‌های اقلیمی در آینده به سمت استمرار بیشتر خشکسالی خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: گازهای گلخانه‌ای، شاخص، مدل زنجیره‌ای مارکوف، معیار، IMDPA

مقدمه

محیطی چون آب، خاک، پوشش گیاهی به نوعی از همزیستی با بیابان دست یافته‌اند. با این همه، طی قرن اخیر روند رو به رشد افزایش جمعیت و تغییر ساختارهای اقتصادی و اجتماعی از یک سو و از طرفی

آثار و شواهد تاریخی نشان می‌دهد که مردم ایران زمین از دیرباز با زیست‌بوم بیابان آشنا بوده و از طریق اتخاذ روش‌های پایدار برای بهره‌برداری از منابع

خواهد بود. Raeisi (۲۰۰۸) عوامل مؤثر در شدت بیابان‌زایی (بیابان‌های ساحلی) با استفاده از مدل IMDPA در منطقه کهیر کنارک را مورد مطالعه قرار داد. وی در انجام این تحقیق به این نتیجه رسید که از بین معیارهای بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه، معیار تخریب خاک بالاترین درصد وزنی و پس از آن معیار فرسایش بادی، اقلیم و پوشش گیاهی رتبه‌های بعدی را به خود اختصاص داده‌اند. Nateghi (۲۰۰۷) به بررسی شدت بیابان‌زایی دشت سگزی پرداخت. بر اساس تحقیقات صورت گرفته به‌وسیله وی از میان شاخص‌ها، شاخص هدایت الکتریکی آب بیشترین تأثیر و شاخص افت آب زیرزمینی کمترین تأثیر را در بیابان‌زایی منطقه دارند. در نهایت نقشه نهایی بیابان‌زایی منطقه، مبین میزان شدید و بسیار شدید روند بیابان‌زایی منطقه بود. نتایج حاصل از مطالعه در حوضه آیدوغموش، Ashofteh و Massah (۲۰۰۹) با استفاده از سناریوی A₂، با در نظر گرفتن عدم قطعیت مربوط به مدل AOGCM نشان دادند که دمای حوضه بین یک تا شش درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش پیدا می‌کند و محدوده تغییرات بارش ۸۰ تا ۱۰۰ درصد خواهد بود. نتایج کلی بررسی‌های Abbasi و همکاران (۲۰۱۰) برای ارزیابی تغییرات اقلیمی، خشکسالی و یخبندان استان خراسان جنوبی در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ میلادی حاکی از افزایش چهار درصدی بارش در استان، کاهش تعداد روزهای یخبندان و افزایش میانگین سالانه دما در حدود ۰/۳ درجه سانتی‌گراد است که بیشترین افزایش ماهانه دما مربوط به فصل زمستان به میزان یک درجه سانتی‌گراد خواهد بود و به‌طور کلی خشکسالی‌های این استان در دوره ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۹ کاهش می‌یابند. Sayari و همکاران (۲۰۱۱) در حوضه کشف‌رود به مقایسه دو مدل گردش عمومی جو (HadCM3, CGCM2) در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی و نیاز آبی گیاهان تحت تغییر اقلیم پرداختند و نتایج حاصل از مطالعات آن‌ها نشان داد که تبخیر و تعرق پیش‌بینی شده با مدل HadCM3 و با هر دو سناریو برای تمامی دوره‌ها و محصولات افزایش نشان خواهد داد، در صورتی‌که در مدل CGCM2 با هر دو سناریو میزان این افزایش بسیار ناچیز بود. مقایسه دو مدل و دو

بروز تغییراتی در شرایط اقلیمی باعث به‌هم خوردن تعادل طبیعی بین انسان و روابط اجتماعی و بنیان‌های اقتصادی شده است. متأسفانه این تغییرات روند رو به رشدی نیز داشته است و نه تنها در ایران، بلکه در بسیاری از مناطق خشک جهان به‌شدت در حال گسترش است. تا آنجا که امروزه پدیده بیابان‌زایی به‌عنوان یکی از بارزترین وجوه تخریب محیط زیست و انهدام منابع طبیعی در جهان مطرح شده است. مهمترین اقدامات چند دهه گذشته ایجاد کنوانسیون مقابله با بیابان‌زایی و تقلیل اثرات خشکسالی از سوی سازمان ملل متحد است. به‌طور کلی بیابان‌زایی حاصل تأثیر دو عامل طبیعی (اقلیمی و زمینی) و انسانی است. در قسمت عوامل زمینی عواملی از قبیل فراوانی سازند تخریبی، تبخیری و مارنی نئوژن، تکنونیک ایران و فراوانی گنبد‌های نمکی نقش دارند. اما اقلیم از جمله عوامل مهم اکولوژیک محسوب می‌شود که تغییرات آن در عرصه حاضر به منزله مهمترین تهدید برای توسعه پایدار مطرح است (Ghasemi, ۲۰۱۰). مدارک علمی نشان می‌دهد که ممکن است به واسطه فعالیت‌های انسانی تغییر اقلیم در مقیاس جهانی در طی یک قرن صورت گیرد (Rashki و همکاران، ۲۰۰۳). انتظار می‌رود که دو برابر شدن میزان دی‌اکسیدکربن و افزایش حجم دیگر گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر در کنار سایر عواقبی که به‌دنبال خواهد داشت، آب و هوا را نیز به شدت مورد تأثیر قرار داده، این مهم سبب ایجاد مطالعاتی در این باره شد. نتایج حاصل از مطالعات Babaeian و Kouhi (۲۰۱۲)، در استان خراسان با استفاده از دو مدل گردش عمومی جو نشان داد طول دوره رشد کاهش، و دما در سه ایستگاه به ترتیب ۳/۳، ۲/۴ و ۳/۶ درجه افزایش خواهد داشت و تبخیر و تعرق به میزان ۱۳/۴، ۱۴/۲ و ۹/۳ درصد افزایش پیدا خواهد کرد. نتایج مطالعات Boyer و همکاران (۲۰۱۰) نشان داد که تغییرات درجه حرارت و بارندگی که برای قرن آینده تصویر شده است، افزایش دمای پیش‌بینی شده در طی فصول بهار و زمستان، بارندگی و متعاقباً نسبت برف به بارش و حجم آب ذخیره شده در پوشش برفی را تحت تأثیر قرار خواهد داد. از طرفی، این اثر بر روی ژئومورفولوژی و هیدرولوژی سرشاخه‌های شمالی معنی‌دار و مهم

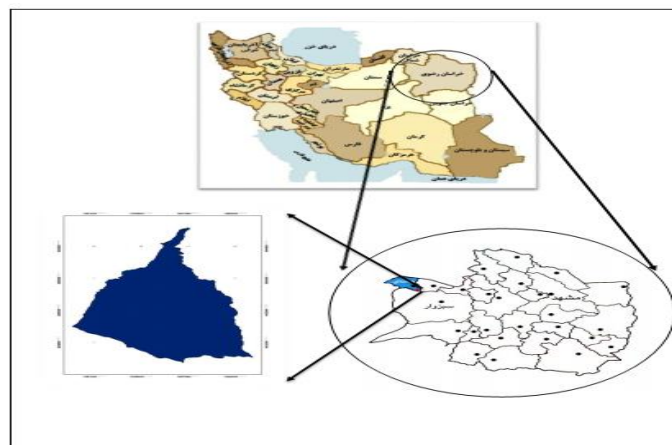
برخوردارند. بنابراین، با توجه به اثبات گرمایش جهانی و تأثیر آن بر وضعیت اقلیم آینده از یک سو و روند تغییر کاربری اراضی از سوی دیگر، این پژوهش به دنبال بررسی نقش روند آتی تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر روی وضعیت شدت بیابان‌زایی است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد پژوهش: حوزه آبخیز زرقان که در واقع حوزه آبخیز سد کامیستان محسوب می‌شود، با مساحت ۹۳۹۹ هکتار در شمال شهرستان سبزوار و در فاصله حدود ۸۵ کیلومتری آن قرار دارد. این حوزه در فاصله حدود ۱۵ کیلومتری شهر جغتای واقع شده است. حوزه مورد مطالعه به لحاظ مختصات جغرافیایی بین طول‌های $57^{\circ} 07'$ تا $57^{\circ} 11'$ و عرض‌های $36^{\circ} 05'$ تا $36^{\circ} 34'$ شمالی قرار دارد. منطقه مطالعاتی به لحاظ تقسیم‌بندی زمین‌شناسی ایران در کمربند افیولیتی شمال سبزوار واقع شده است که به لحاظ سن زمین‌شناسی به اواخر دوره کرتاسه تعلق دارد. خاک‌های منطقه به دو رده Entisols و Inceptisols تعلق دارند. آنچه در مورد خاک‌های حوزه حائز اهمیت است، بافت متوسط تا سبک خاک‌ها می‌باشد که در نتیجه باعث استفاده‌های متنوعی از اراضی شده است (شکل ۱).

سناریو نشان داد که سناریوی A2 شرایط بحرانی‌تری را برای حوزه پیش‌بینی می‌کند. نتایج حاصل از مطالعه Ghermez Cheshmeh و همکاران (۲۰۱۴) در بررسی اثر عوامل مورفو-اقلیمی بر دقت ریزمقیاس گردانی مدل SDSM نشان داد که دقت بارش ایستگاه‌هایی که در گوشه‌های مختلف سلول HadCM3 واقع شده، با دقت کمتری ریزمقیاس شده است. به طوری که ایستگاه ارومیه با خطای ۱۰۴ میلی‌متر بیشترین و سقز با ۹/۴ میلی‌متر خطای کمی را به خود اختصاص دادند. Haji Mohamadi و همکاران (۲۰۱۵) برای بررسی اثر نوسان اقلیم و نتایج ریزمقیاس گردانی دما در منطقه شهری و غیر شهری، با استفاده از مدل گردش عمومی جو- HadCN3 به این نتیجه رسیدند که در منطقه شهری دقت مدل تفاوت معنی‌داری با ایستگاه‌های اطراف نداشت ولی مقدار دمای دوره‌ای در ایستگاه شهری نسبت به ایستگاه اطراف شهر افزایش بیشتری به خود اختصاص داد.

بررسی منابع مذکور مبین این است که ارزیابی شدت بیابان‌زایی مسئله‌ای پیچیده و چند جانبه است. ولی آنچه در بیشتر پژوهش‌ها به طور مشترک بیان شده است، تأکید بر یک یا دو عامل اصلی بوده است که در بین آن‌ها عوامل اقلیمی از جایگاه ویژه‌ای



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان خراسان رضوی

شدند. به طوری که در بخش اول مسئله تغییر اقلیم از گذشته تا آینده (پنج بازه زمانی ۱۳۶۷-۱۳۵۸،

با توجه به هدف این پژوهش، روش کار نیز در دو قسمت کلی انجام و در پایان در یک قالب تلفیق

همکاران، ۲۰۱۴) است. برای این منظور امتیاز نهایی بیابان‌زایی از میانگین هندسی شاخص‌های هر دو معیار بهره‌گیری شد (رابطه ۱).

$$\text{امتیاز} = \sqrt[n]{\sum_{i=1}^n \text{شاخص}} \quad (1)$$

در پایان، امتیاز حاصل از رابطه (۱) در قالب کاربری‌های مختلف اراضی مطابق جدول ۱ مشخص می‌شود.

۱۳۸۷-۱۳۵۸، ۱۴۲۰-۱۳۹۱، ۱۴۵۰-۱۴۲۱ و ۱۴۸۰-۱۴۵۱) مورد بررسی قرار گرفت و در بخش دوم تغییر کاربری اراضی با استفاده از روش زنجیره مارکوف انجام شد. در پایان نیز با در نظر گرفتن شاخص‌های مختلف اعم از خشکسالی (شدت و تداوم)، خشکی (ترانسو)، زمین و کاربری اراضی وضعیت آینده مورد بررسی قرار گرفت. علت استفاده از شاخص‌های مذکور در نظر گرفتن آن‌ها در بیشتر تحقیقات گذشته و همچنین، کاربرد مدل IMDPA (Zehtabian و

جدول ۱- توزیع فراوانی طبقات‌های شدت وضعیت فعلی بیابان‌زایی

ارزش کمی	علامت	طبقه‌بندی کیفی شدت بیابان‌زایی
۰/۰۰۰۱-۱	۱	غیر قابل ملاحظه
۱/۱-۱/۵	۲	کم
۱/۶-۲/۵	۳	متوسط
۲/۶-۳/۵	۴	شدید
۳/۶-۴	۵	بسیار شدید

شرایط خشکسالی را قبل از وقوع پیش‌بینی می‌کند و به تخمین شدت خشکسالی کمک کرده، نسبت به شاخص پالمر از پیچیدگی کمتری برخوردار می‌باشد. پدیده استمرار خشکسالی نیز مستقل از مقدار بارش سالانه است. این پدیده در مناطق خشک، مرطوب و حتی بسیار مرطوب رخ می‌دهد، وقوع آن به‌ویژه اگر متوالی باشد، سامانه زندگی اجتماعی، کشاورزی و منابع اقتصادی را مختل می‌سازد. وزن و طبقه هر یک از شاخص‌های مورد نظر در جدول ۲ آمده است.

سپس کیفیت اقلیم در پنج دوره محاسبه شد و با جای‌گذاری در رابطه (۲) شدت بیابان‌زایی محاسبه شد و نتایج آن در شکل‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ نشان داده شد.

$$\text{شاخص خشکسالی} = \sqrt{\text{شاخص خشکی} \times \text{شاخص بارش سالانه}} = \text{معیار اقلیم} \quad (2)$$

پیش‌بینی تغییر اقلیم: با توجه به این‌که بیابان‌زایی علاوه بر بارندگی و درجه حرارت، تابعی از عوامل انسانی، همچون کاربری اراضی، مسائل اقتصادی و اجتماعی در استفاده از زمین و تولید گازهای گلخانه‌ای می‌باشد و از این‌رو توجه‌کننده استفاده از سناریوهای اقتصادی-اجتماعی در این‌گونه مطالعات است، لذا به‌منظور پیش‌بینی تغییر اقلیم در آینده،

بدین ترتیب با استفاده از لایه‌های اطلاعاتی (شکل شاخص‌ها) و نقشه‌های تهیه شده برای هر معیار و با تلفیق لایه‌ها و شکل‌ها، نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی و طبقه مربوطه معین می‌شود.

شاخص‌های مورد استفاده در بخش معیار اقلیم:

شرایط اقلیمی، یک معیار طبیعی در ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی است و به‌طور مستقیم به‌وجود آورنده شاخص‌هایی است که در این ارزیابی مؤثرند، ولی به‌طور غیر مستقیم نیز جزء شاخص‌های سایر معیارها می‌باشد. در این تحقیق، به‌منظور کمی‌سازی اطلاعات اقلیمی از سه شاخص بارندگی سالانه، خشکی و خشکسالی استفاده شد. برای خشکسالی دو زیر شاخص استمرار خشکسالی و شاخص خشکی SPI مطابق جدول ۲ تعیین شد. برای محاسبه شاخص بارش سالانه از آمار بارش ۱۵ ایستگاه خارج از حوضه استفاده شد و با استفاده از همبستگی داده ۳۰ سال آمار از سال ۱۳۸۷-۱۳۵۸ بازسازی شد. برای بررسی شاخص خشکی در این مطالعه از روش ترانسو استفاده شده است و برای محاسبه شاخص خشکسالی از شاخص بارش استاندارد استفاده شد. در واقع این شاخص بر اساس احتمال بارش برای مقیاس‌های زمانی متفاوت به‌کار برده می‌شود. همچنین، رخداد

به‌وسیله Gordon و همکاران (۲۰۰۰) ارائه شده است. شایان ذکر است که یکی از مهمترین عوامل در انتخاب سناریوها، در دسترس بودن آن‌ها بود. به این معنی که قابلیت تفسیر و امکان‌پذیری استفاده از داده‌های موجود برای بررسی اثر تغییر اقلیم وجود داشته باشد. سناریوهای انتخاب شده جزء سناریوهای غیر اقلیمی (اقتصادی و اجتماعی) از سری سناریوهای انتشار SRES است.

علاوه بر دو مدل اقلیمی HADCM3 و GFDL2.1 از سه سناریوی A2، B1 و A1B از سری مدل‌های گردش عمومی استفاده شد. مدل GFDL2.1 به‌وسیله Delworth (۲۰۰۶) و مدل HADCM3 در مرکز تحقیقاتی HCCPR در انگلیس اجرا شده است. این مدل دارای شبکه‌ای با طول ۲/۵ درجه عرض جغرافیایی و ۳/۷۵ درجه طول جغرافیایی است. این مدل GCM (جفت شده جوی-اقیانوسی) است که

جدول ۲- وزن و طبقه شاخص‌های اقلیم

معیار اقلیم		طبقه‌بندی کیفی شدت بیابان‌زایی			
شاخص خشکسالی		شاخص بارش سالانه	ارزش کمی	طبقه و کد	
روش بارش استاندارد شده	شاخص خشکی	(mm)			
استمرار خشکسالی	(SPI)				
کمتر از ۳ سال	۷	>۰/۶۵	≥۶۰۰	۰/۰۰۱-۱	غیرقابل ملاحظه (۱)
۳-۴ سال	۶/۵	۰/۴۵ - ۰/۶۵	۲۸۰-۶۰۰	۱/۱-۱/۵	کم (۲)
۵-۶ سال	۴	۰/۲ - ۰/۴۵	۱۵۰-۲۸۰	۱/۶-۲/۵	متوسط (۳)
۶-۷ سال	۳/۲	۰/۰۵ - ۰/۲	۷۵-۱۵۰	۲/۶-۳/۵	شدید (۴)
بیشتر از ۷ سال	۱	< ۰/۰۵	<۷۵	۳/۶-۴	بسیار شدید (۵)

روش نزدیک‌ترین همسایه، نقشه‌های مورد نظر بازنویسی شدند. برای طبقه‌بندی تصویر از روش طبقه‌بندی نظارت شده استفاده شد و سپس میزان صحت نقشه‌های تهیه شده با مقایسه نقشه اطلاعات واقعیت زمینی و تجزیه و تحلیل خطا مورد ارزیابی قرار گرفت. در نهایت، نقشه‌های کاربری طبق جدول ۳ تهیه شد. برای پیش‌بینی تغییرات کاربری از مدل زنجیره مارکوف در نرم‌افزار IDRISI استفاده شد. مدل CA-MARKOV، تلفیقی از سلول‌های خودکار، زنجیره مارکوف و تخصیص چند منظوره اراضی است که برای پیش‌بینی تغییرات آینده پوشش کاربری اراضی به‌کار می‌رود. در ابتدا با به‌کارگیری مدل زنجیره مارکوف احتمال تغییر طبقات کاربری به یکدیگر در قالب ماتریس احتمال تغییر وضعیت کاربری بر مبنای تغییرات مساحت محاسبه شد که تصاویر طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۸۹ به‌عنوان نقشه‌های پوشش برای تهیه ماتریس تبدیل وضعیت به‌کار برده شد. امتیازدهی شاخص نوع

معیار زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی: زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی به‌عنوان عواملی به‌شمار می‌آیند که در توان بالقوه سرزمین در جهت پتانسیل بیابانی شدن نقش عمده و بالایی را ایفا می‌کنند، به‌طوری که این عوامل در برخورد با سایر عوامل از جمله اقلیم، پوشش گیاهی، مدیریت اراضی و سایر شرایط طبیعی و دست ساخت بشر سبب تشدید تخریب سرزمین می‌شوند. برای تعیین معیار زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی، از شاخص‌های حساسیت سنگ (ضریب مقاومت) و فیزیوگرافی و نوع بهره‌برداری از واحد کاری استفاده شد که البته با توجه به ثابت فرض کردن دو شاخص حساسیت سنگ به فرسایش و شیب، نقشه حاصل در پنج دوره مورد بررسی، تهیه شد.

شاخص نوع بهره‌برداری از واحد کاری: در این پژوهش، برای یافتن شاخص بهره‌برداری از واحد کاری، از تصاویر لندست (TM)، مربوط به سال‌های ۱۳۶۵ و ۱۳۸۹ استفاده شده است. بدین منظور، پس از پیش پردازش و انجام تصحیح هندسی و رادیومتریک با

نقشه‌های بیابان‌زایی حاصل به شرح زیر است. با توجه به جدول ۴، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که میزان بیابان‌زایی در طول زمان افزایش پیدا کرده است. بیشترین افزایش مربوط به آخرین دوره ۱۴۸۰-۱۴۵۱ می‌باشد که محدوده شدید به میزان ۶۴/۶۸ درصد پیشروی داشته است.

معیار زمین‌شناسی ژئومورفولوژی: نقشه نهایی معیار زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی در شکل‌های ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ قابل مشاهده است.

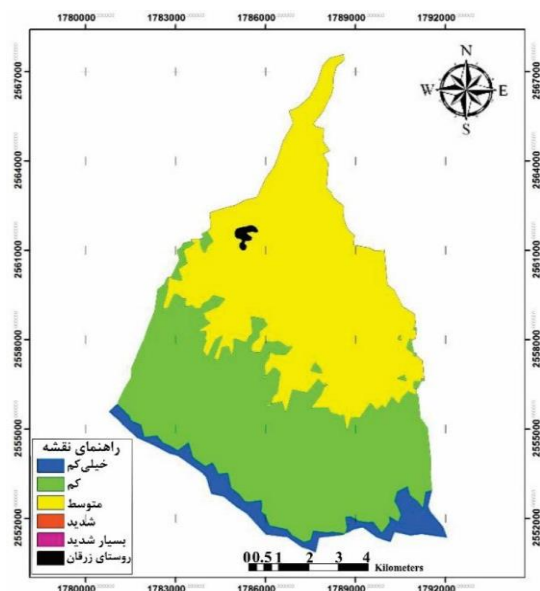
بهره‌برداری از واحدکاری، با توجه به نوع کاربری و تغییرات حاصل از نظر تولیدات کشاورزی، وضعیت مرتع، ظرفیت مرتع، گرایش، وضعیت آثار تخریب خاک و نوع فرسایش آبی و سایر عواملی که تأثیرگذار در تغییر کاربری هستند، انجام می‌شود. همچنین، وضعیت کاربری و تغییرات آن از ۱ تا ۴ امتیاز داده شده است (جدول ۳).

نتایج و بحث

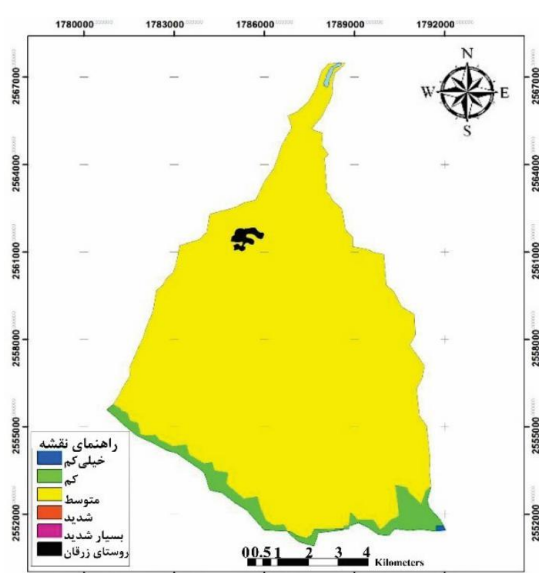
حساسیت به بیابان‌زایی از دیدگاه کیفیت اقلیم:

جدول ۳- امتیازات شاخص بهره‌برداری از واحدکاری

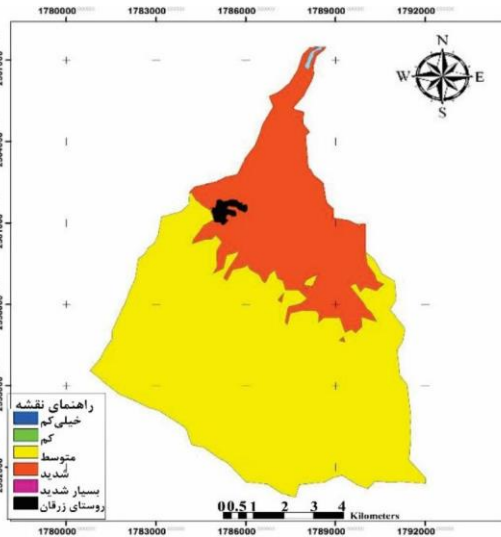
واحد کاری	ویژگی	امتیاز
روستا	قرار گرفته در شیب پنج تا ۱۵ درصد و برخورداری از اراضی کشاورزی و منابع طبیعی کم برای توسعه تغییر کاربری	۲
مرتع فقیر	تعداد دام بیشتر از ظرفیت مرتع و آثار تخریبی و فرسایش خاک به صورت خطوط تراز و شیار و آبراهه در پایین دامنه دیده می‌شود.	۳
مرتع قوی	آثار تخریبی به شکل ظهور قطعات سنگ در سطح زمین (پیپ کراک) برون‌زدگی سنگی، انواع فرسایش آبی حاصل از تمرکز هرز آب (سطحی و شیاری)	۲
کشاورزی	عمق خاک مناسب و عمیق، قابلیت باغبانی در شیب پنج تا ۱۵ درصد، منطقه مناسب برای کشاورزی روی تراس	۳
دریاچه سد	در تخریب اثری ندارد	-



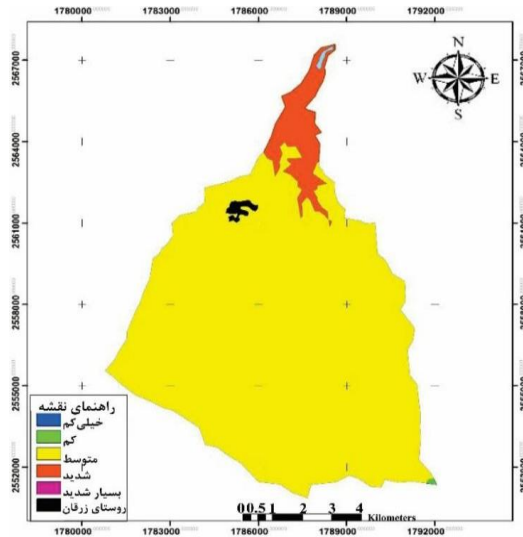
شکل ۲- نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس معیار اقلیم سال ۱۳۸۷-
۱۳۵۸



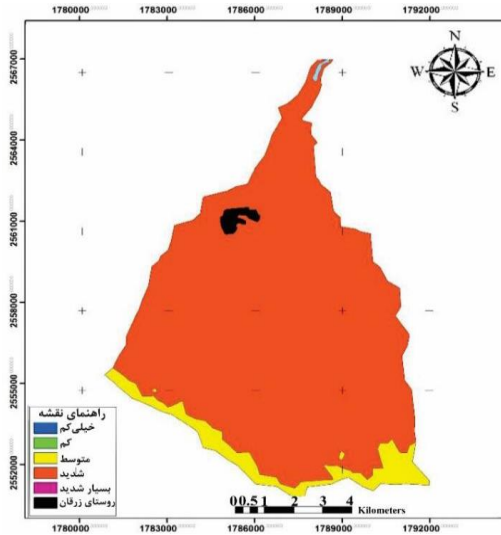
شکل ۱- نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس معیار اقلیم سال ۱۳۶۷-
۱۳۵۸



شکل ۴- نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس معیار اقلیم سال ۱۴۵۰-
۱۴۲۱



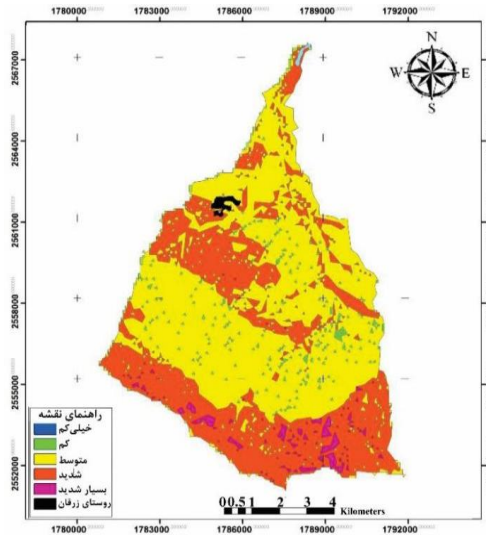
شکل ۳- نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس معیار اقلیم ۱۳۹۱-۱۴۲۰



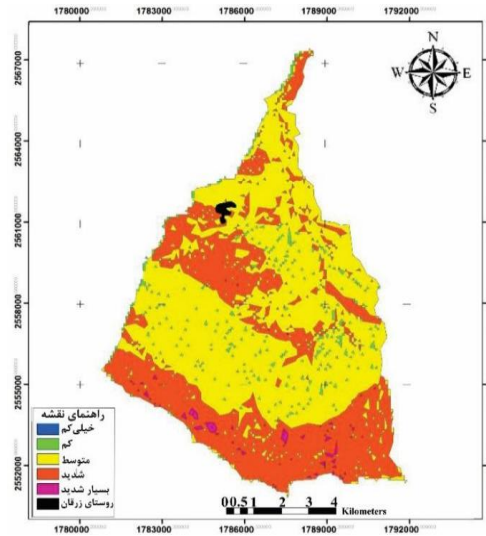
شکل ۵- نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس معیار اقلیم سال ۱۴۵۱-۱۴۸۰

جدول ۴- مساحت هر یک از طبقات بیابان‌زایی در نقشه معیار اقلیم

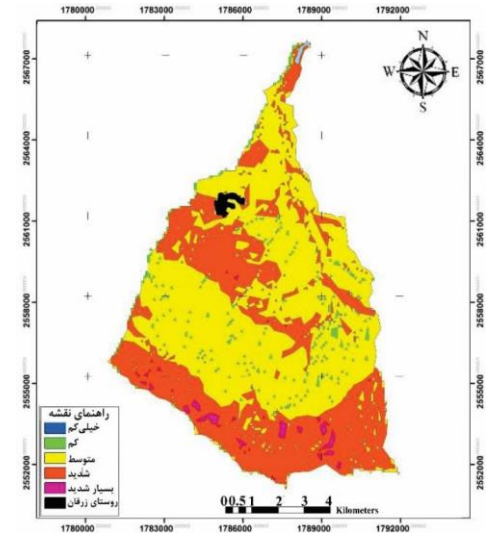
مساحت دوره (درصد)	محدوده غیر قابل ملاحظه	محدوده کم	محدوده متوسط	محدوده شدید	محدوده بسیار شدید
۱۳۶۷-۱۳۵۸	۵/۸۴	۴۶/۵۶	۴۷/۵۹	۰	۰
۱۳۸۷-۱۳۵۸	۰/۰۵	۴/۷۷	۹۵/۱۸	۰	۰
۱۳۹۱-۱۴۲۰	۰	۰/۰۵	۹۳/۹۳	۶/۰۲	۰
۱۴۲۱-۱۴۵۰	۰	۰	۷۱/۶۴	۲۸/۳۶	۰
۱۴۵۱-۱۴۸۰	۰	۰	۶/۹۶	۹۳/۰۴	۰



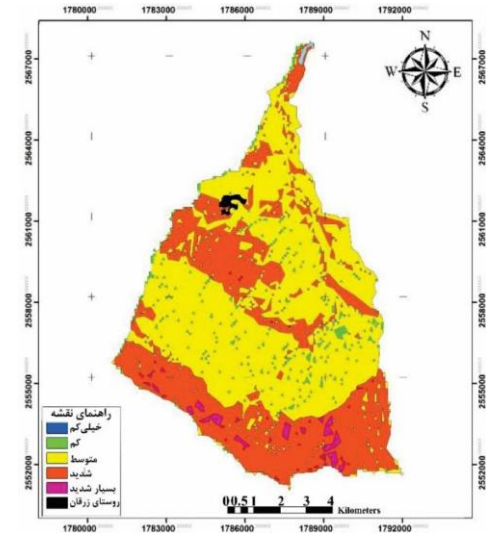
شکل ۷- نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس معیار زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی سال ۱۳۸۹



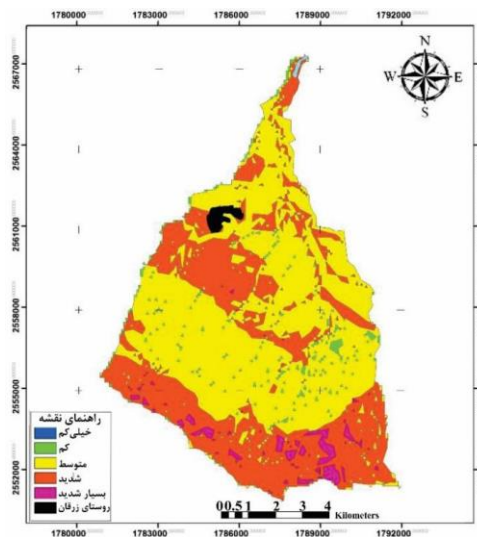
شکل ۶- نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس معیار زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی سال ۱۳۶۵



شکل ۹- نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس معیار زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی سال ۱۴۴۹



شکل ۸- نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس معیار زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی (کاربری اراضی و سنگ‌شناسی) سال ۱۴۱۹



شکل ۱۰- نقشه شدت بیابان‌زایی بر اساس معیار زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی سال ۱۴۷۹

جدول ۵- درصد مساحت هر یک شدت‌های بیابان‌زایی در نقشه معیار زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی

محدوده غیر قابل ملاحظه	محدوده کم	محدوده متوسط	محدوده شدید	محدوده بسیار شدید
۰	۲/۲۶	۵۸/۹۲	۳۷/۹۷	۰/۸۵
۰	۲/۰۹	۵۸/۰۵	۳۷/۷۵	۲/۰۸
۰	۱/۹۹	۵۷/۵۴	۳۹/۳۰	۱/۱۷
۰	۰/۵۵	۵۵/۶۴	۴۲/۲۴	۱/۵۷
۰	۱/۸۷	۵۵/۳۰	۳۸/۲۶	۲/۵۷

ژئومورفولوژی تهیه شد که نتایج در اشکال ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۴ و ۱۵ نشان داده شده است.

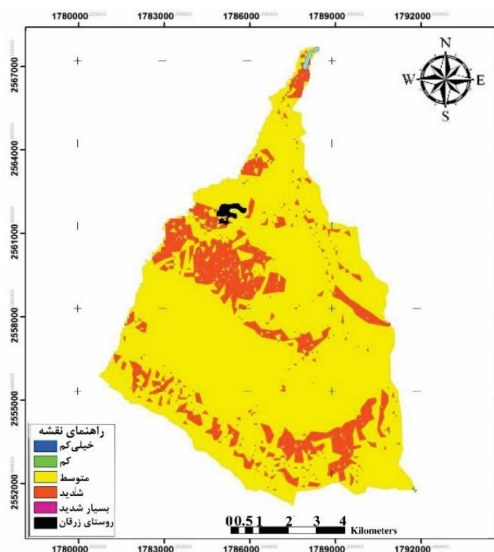
با توجه به جدول ۶، می‌توان این‌گونه برداشت کرد که به‌طور قطع در طول زمان، بیابان‌زایی افزایش داشته است و این تغییرات در سال ۱۴۴۹ بیشتر از دیگر دوره‌های آتی می‌باشد.

نتیجه‌گیری

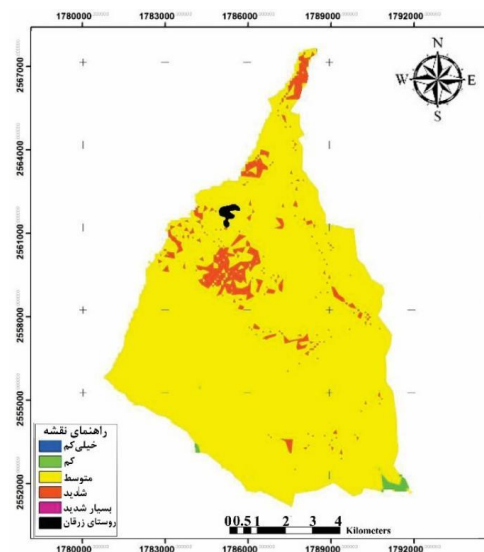
تا کنون در زمینه ارزیابی بیابان‌زایی، بیشتر پژوهش‌ها بر وضعیت فعلی آن متمرکز بوده‌اند. پیچیده بودن و تعدد عوامل تأثیرگذار بر این پدیده موجب شده است تا در زمینه تعیین روند گذشته آن و شرایط آینده، پژوهش‌های کمتری انجام شود. در این شرایط، سعی شد تا تأثیر هم‌زمان تغییرات اقلیمی و کاربری اراضی بر روند آتی بیابان‌زایی در یک منطقه خشک، مورد بررسی قرار گیرد.

با توجه به جدول ۵، می‌توان به این نتیجه رسید که میزان بیابان‌زایی در طول زمان دستخوش تغییر شده و بیشتر تغییر طبقه دیده می‌شود. به‌طوری‌که در سال ۱۳۸۹ طبقه بسیار شدید افزایش و در سال ۱۴۱۹ این طبقه کاهش و طبقه شدید افزایش پیدا می‌کند. در سال ۱۴۴۹ طبقه کم و متوسط کاهش و طبقات شدید و بسیار شدید افزایش و در سال ۱۴۷۹ طبقه کم و متوسط و بسیار شدید افزایش و طبقه شدید کاهش پیدا می‌کند. علت این امر را می‌توان در قرارگیری کاربری‌های متفاوت بر روی سنگ‌های حساس به فرسایش و شیب‌های تند جستجو کرد.

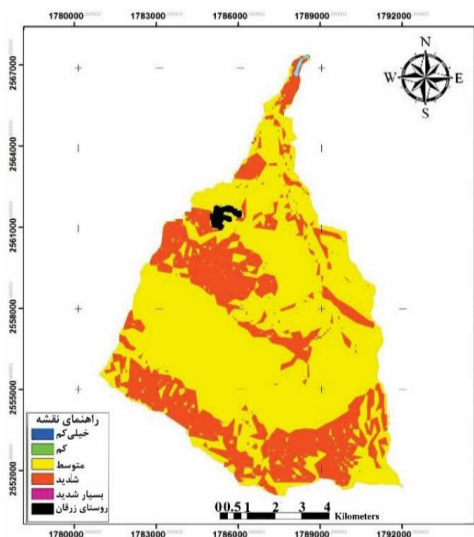
نقشه شدت بیابان‌زایی: با توجه به نقشه‌های به‌دست آمده از معیار اقلیم و نقشه‌های معیار زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی در پنج دوره مورد بررسی و تلفیق آن‌ها، نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی با استفاده از دو معیار اقلیم و زمین‌شناسی-



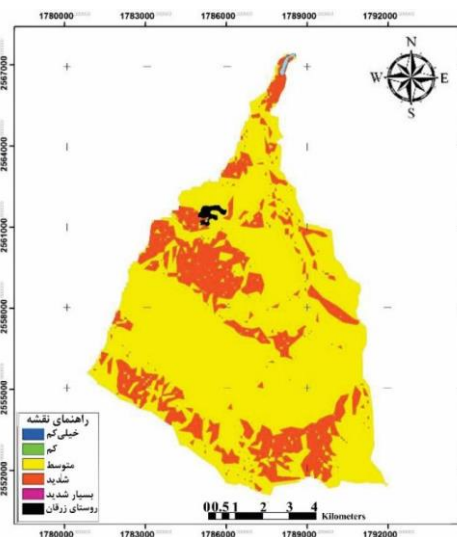
شکل ۱۲- نقشه تعیین شدت بیابان‌زایی سال ۱۳۸۹



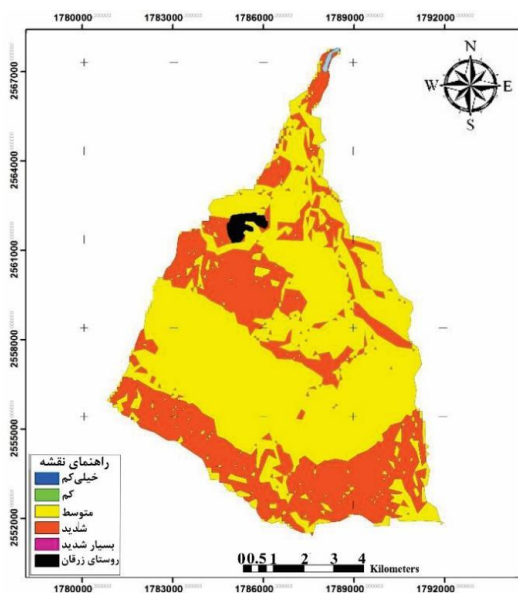
شکل ۱۱- نقشه تعیین شدت بیابان‌زایی سال ۱۳۶۷



شکل ۱۴- نقشه تعیین شدت بیابان‌زایی سال ۱۴۵۰



شکل ۱۳- نقشه تعیین شدت بیابان‌زایی سال ۱۴۲۰



شکل ۱۵- نقشه تعیین شدت بیابان‌زایی سال ۱۴۸۰

جدول ۶- درصد مساحت هر یک از شدت‌ها در نقشه بیابان‌زایی هر دوره به متر مربع

محدوده غیر قابل ملاحظه	محدوده کم	محدوده متوسط	محدوده شدید	محدوده بسیار شدید	
۰/۴	۰/۵۶	۹۳/۳۴	۶/۱۰	۰	۱۳۶۵
۰/۰۱	۰/۵۵	۸۰/۱۷	۱۹/۲۹	۰	۱۳۸۹
۰	۰/۲۱	۷۵/۱۶	۲۴/۶۳	۰	۱۴۱۹
۰	۰/۲۱	۶۷/۳۰	۳۲/۴۹	۰	۱۴۴۹
۰	۰/۲۱	۶۳/۰۹	۳۶/۶۹	۰	۱۴۷۹

کاربری اراضی و کشاورزی هستند، به جز آب و هوا و تغییرات اقلیمی که در آینده رخ می‌دهد. جای هیچ شکی نیست که تغییرات در وضعیت اقتصادی،

در پژوهش حاضر، از سه سناریوی A2، B1 و A1B استفاده شد. شش محرکه اصلی در سناریوهای اقتصادی-اجتماعی شامل جمعیت، اقتصاد، فناوری،

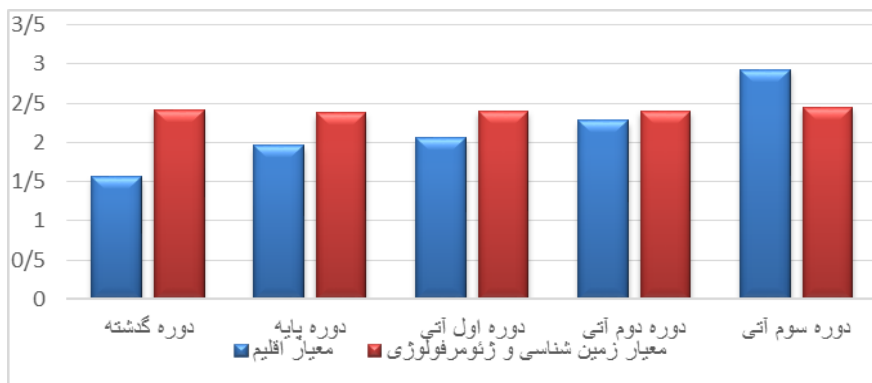
به‌طورکلی شدت بیابان‌زایی در پنج دوره مطالعاتی، روند رو به رشدی را نشان می‌دهد. این افزایش در پایین‌دست و بالادست منطقه بیشتر از سایر مناطق بوده است (شکل‌های ۱۱ تا ۱۵). در پایین‌دست منطقه به‌دلیل تراکم بیشتر جمعیتی و همچنین، به‌علت کاهش بارش طی دوره‌های آینده و در بالادست به‌علت وضعیت توپوگرافی و فرسایش آبی، امتیازهای اخذ شده مدل ارزیابی بیابان‌زایی، بیشتر شده است. در واقع تاثیر شیب در همه دوره‌ها یکسان ارزیابی شده است و تغییر شیب وجود نداشته است. ولی به‌دلیل بودن شیب منطقه در شرایط اقلیمی گذشته، به‌دلیل وجود شرایط بارش مناسب و عدم تأثیر شرایط خشکسالی، تنها اثر شیب رخنمون داشته است. ولی در شرایط حال و آینده به‌دلیل تغییرات بسیار زیاد در روند بارش‌ها و همچنین، استمرار خشکسالی، موجب شده است تا امتیاز عامل اقلیم در شرایط آینده رو به فزونی زیاد داشته باشد. همین عامل موجب شده است تا الگوی طبقه‌بندی بیابان‌زایی در نقشه‌ها به گونه‌ای باشد که از سمت پایین‌دست به سمت بالادست، نوع طبقه دچار جایگزینی شود و تغییر طبقه از پایین‌دست به بالادست اتفاق می‌افتد. شکل ۱۶، ارزش عددی دو معیار اقلیم و زمین‌شناسی-ژئومورفولوژی آورده شده است. با بررسی این شکل می‌توان به این نتیجه رسید که در دوره اول مطالعاتی طی سال‌های ۱۳۶۷-۱۳۵۸، معیار زمین‌شناسی-ژئومورفولوژی با ارزش عددی ۲/۴۲ بیشتر از معیار اقلیم با ارزش عددی ۱/۵۶ می‌باشد. این مورد، مبین این است که در شرایط گذشته و حال، وضعیت محیطی و زمینی منطقه به‌عنوان عامل موثر بوده است و در دو دوره پایه و دوره اول آتی طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۵۸ و ۱۴۲۰-۱۳۹۱، همچنان ارزش عددی زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی بالاتر بوده است. ولی در دوره دوم آتی طی سال‌های ۱۴۵۰-۱۴۲۱ این دو معیار با هم تقریباً برابر شده، در دوره سوم آتی در طی سال‌های ۱۴۸۰-۱۴۵۱ ارزش عددی اقلیم به میزان ۲/۹۳ می‌رسد و معیار زمین‌شناسی-ژئومورفولوژی به میزان ۲/۴۵ در رتبه بعدی قرار خواهد گرفت. در واقع طی شرایط آینده نقش انسان بر روند بیابان‌زایی بیشتر از شرایط طبیعی می‌باشد.

اجتماعی و شرایط زیست‌محیطی رخ خواهد داد. از این‌رو، یکی از دلایل اصلی تغییرات سریع ترکیب جوی، فعالیت‌های اقتصادی بشر خواهد بود. به‌ویژه بر روی انتشار گازهای گلخانه‌ای و تولید ریزگردها و همچنین، تغییرات کاربری و پوشش سطح زمین تاثیر خواهند گذاشت. از این‌رو، سناریوهای اقتصادی، اجتماعی نیز حائز اهمیت بوده، توانایی آن را دارند که عوامل اصلی تغییرات اقلیمی را در آینده تصویر کنند. در بحث تغییرات اقلیمی با توجه به نتایج بارش و دما در دوره‌های آتی، وزن مدل گردش عمومی HADCM3 در مدل‌سازی بارش بیشتر بوده که در این بین، توانمندی سناریو B1 در این مدل در مقایسه با سایر سناریوها بیشتر می‌باشد. این بدان معناست که این مدل و سناریو B1، بیشترین تأثیر را در مدل‌سازی بارش در آینده داشته‌اند. در مدل‌سازی دما، وزن مدل گردش عمومی GFDL2.1 و توانمندی سناریو B1 بیشتر بوده و بیشترین اثر را در مدل‌سازی آینده ایفا می‌کنند. سناریو B1، جهانی هم‌گرا با تغییرات وسیع در ساختار اقتصادی، عدم مادی‌گرایی و معرفی تکنولوژی پاک و با تأکید بر حل جهانی مشکلات زیست‌محیطی و پایداری اجتماعی، تمرکز دارد. نتایج به‌طورکلی شامل افزایش دما به میزان ۴/۶۷ درجه سانتی‌گراد تا سال ۱۴۸۰ و کاهش بارش به میزان ۲۰/۸۴ درصد تا سال ۱۴۸۰ خواهد شد که با مطالعات صورت گرفته به‌وسیله هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم برای سال ۲۰۶۰ که افزایش دما را حدود ۱/۵ درجه و برای سال ۲۱۰۰ بین یک تا پنج درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی کردند، هم‌خوانی دارد.

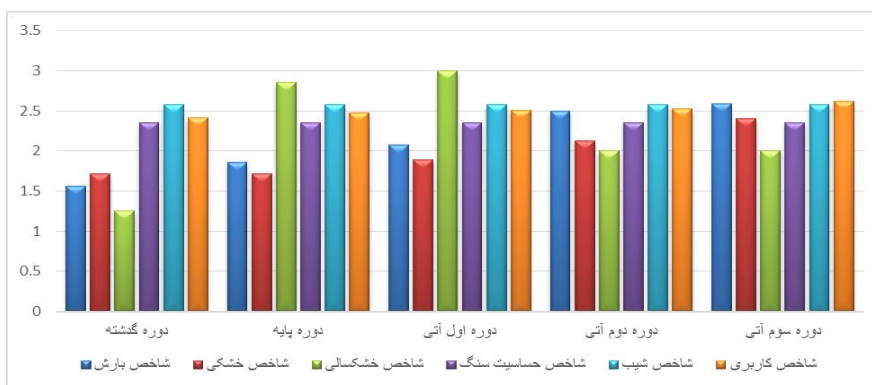
در بررسی بیابان‌زایی منطقه زرقان، از دو معیار اقلیم و زمین‌شناسی-ژئومورفولوژی استفاده شد و نتایج حاصل از تهیه نقشه‌های مکانی، حاکی از افزایش روند بیابان‌زایی در گذر زمان است. تغییر شدت بیابان‌زایی از کم به متوسط و از متوسط به شدید، در طی پنج دوره مطالعاتی مشاهده می‌شود. در این منطقه شدت بیابان‌زایی بسیار شدید مشاهده نشد که می‌توان علت آن را در بارش متفاوت این منطقه در مقایسه با شرایط بسیار خشک سایر مناطق و همچنین، سنگ‌های مقاوم به فرسایش و ارتفاع زیاد و جمعیت کم بهره‌بردار موجود در منطقه جستجو کرد.

افزایش شاخص بارش و بهره‌برداری از واحد کاری و خشکی در طول زمان است.

شکل ۱۷ میزان ارزش عددی تمامی شاخص‌های مورد استفاده، قرار داده شده است که نشان‌دهنده



شکل ۱۶- ارزش عددی معیارهای تعیین شدت بیابانزایی



شکل ۱۷- ارزش عددی تمام شاخص‌های مورد استفاده برای تعیین شدت بیابانزایی

به شاخص خشکسالی به میزان ۲ می‌باشد. با توجه به مطالب بالا می‌توان نتیجه گرفت که ممکن است در مقطعی از زمان یک عامل بیشترین تاثیر را در بیابانزایی ایفا کند، اما در مقطعی دیگر ممکن است این ارزش کمترین میزان باشد و در طول زمان دستخوش تغییرات فراوانی می‌شوند. بنابراین، به‌طور قطع نمی‌توان گفت که کدام عامل در منطقه‌ای بیشترین اثر را در بیابانزایی دارد و در طول زمان این ارزش‌ها بیشتر و کمتر می‌شوند. با توجه به توضیحاتی که بیان شد و نقشه‌های شدت بیابانزایی و مقایسه این نقشه‌ها با هم، می‌توان این‌گونه اظهار نظر کرد که افزایش بیابانزایی در گذر زمان اتفاق افتاده است. این تغییرات را می‌توان به دلیل تغییر کاربری اراضی و افزایش مرتع فقیر و کاهش مرتع قوی و افزایش مساحت روستا، کاهش بارش، افزایش دما و به تبع آن افزایش تبخیر و تعرق در مقاطع زمانی، دانست. عدم

دوره گذشته که مطالعه آن در سال‌های ۱۳۶۷-۱۳۵۸ صورت گرفته، شاخص شیب، بیشترین ارزش عددی به میزان ۲/۵۷ را داراست و ارزش عددی شاخص خشکسالی به میزان ۱/۲۵ کمترین است. در دوره پایه، طی سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۵۸ ارزش عددی شاخص خشکسالی به میزان ۲/۸۵ بیشترین و شاخص خشکی با ارزش عددی ۱/۷۱ کمترین است. در دوره اول آبی طی سال‌های ۱۴۲۰-۱۳۹۱ شاخص خشکسالی با ارزش عددی ۳ بیشترین میزان شاخص خشکی با ارزش عددی ۱/۸۸، کمترین میزان را به خود اختصاص می‌دهند. در دوره دوم آبی، طی سال‌های ۱۴۲۱-۱۴۵۰ بیشترین ارزش عددی مربوط به شاخص شیب به میزان ۲/۵۷ و کمترین مربوط به شاخص خشکسالی با ارزش عددی ۲ می‌باشد. در دوره سوم آبی، بیشترین ارزش عددی مربوط به شاخص کاربری اراضی به میزان ۲/۶۲ و کمترین ارزش مربوط

شاخص‌ها یا معیارها بیشترین اثر را داشته باشند. با توجه به نتایج به‌دست آمده از نقشه نهایی شدت بیابان‌زایی، مشخص می‌شود که میزان شدت بیابان‌زایی در طول زمان تغییر کرده و این تغییرات از طبقه کم به متوسط و از طبقه متوسط به شدید متفاوت است. با مقایسه دوره‌های مختلف، می‌توان بیان کرد که بیابان‌زایی در طول زمان افزایش پیدا کرده است. زیرا تغییر از طبقه‌ای به طبقه دیگر صورت گرفته و بیابان‌زایی پیشروی داشته است. دلیل این افزایش را می‌توان با افزایش دما و به تبع آن، افزایش تبخیر و تعرق و کاهش بارش در آینده، در معیار اقلیم و تغییر کاربری اراضی از مرتع قوی به مرتع فقیر، در معیار زمین‌شناسی و ژئومورفولوژی مربوط دانست.

همه‌انگهی در میزان افزایش دما و کاهش بارش در تحقیقات مختلف به این علت است که مراکز و دانشمندان مختلفی در تکوین و توسعه هر کدام از مدل‌ها مشارکت داشته‌اند. علت اصلی اختلاف در پاسخ‌ها به ساختار دینامیکی و طرح‌واره‌های فیزیکی و محاسباتی مختلف در حل معادلات حرکت هوا مرتبط است. به‌طور کلی می‌توان بیان کرد که دما در دوره آبی برای حوزه آبخیز زرقان افزایش و بارش کاهش پیدا خواهد کرد. با توجه به ارزش‌های عددی می‌توان به این نتیجه رسید که ارزش عددی شاخص‌های مورد استفاده در طول زمان تغییر می‌کنند و در نتیجه به‌طور قطع نمی‌توان بیان کرد که کدام شاخص یا معیار بیشترین اثر را در بیابان‌زایی در منطقه مورد مطالعه داشته و در هر دوره ممکن است یکی از

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, F., Sh. Malboosi, A. Babaeian, M. Asmry and R. Borhani. 2010. Projection of climate change in Khorasan for the period 2010 to 2039 using fine-scale statistical output of ECHO-G model. *Journal of Water and Soil*, 2: 218-233 (in Persian).
2. Ashofteh, P. and A.R. Massah. 2009. Uncertainty of climate change impact on the flood regime. *Iran-Water Resources Research*, 2: 27-39 (in Persian).
3. Zehtabian, Gh., H. Khosravi and R. Masoudi. 2014. Models of desertification assessment (criteria and indices). University of Tehran Publication (in Persian).
4. Babaeian, A. and M. Koohi. 2012. Evaluation index of agriculture under climate scenarios at selected Khorasan Razavi. *Journal of Water and Soil (Agricultural Science and Technology)*, 4: 953-967 (in Persian).
5. Boyer, C., D. Chaumont, I. Chartier and R. André G. 2010. Impact of climate change on the hydrology of St. Lawrence tributaries. *Journal of Hydrology*, 384: 65-83.
6. Delworth, T. 2006. GFDL's CM2 global coupled climate models, Part 1: formulation and simulation characteristics. *Journal of Climate*, 5: 643-674.
7. Ghermez Cheshmeh, B., A. Rasooli, M. Rezaei Banfasheh, A. Mesah Boovani, and A. Khorshid Doost. 2014. Investigation impact of morpho-climate parameters on accuracy SDSM model. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 155-164 (in Persian).
8. Gordon, C., C. Cooper, C.A. Seinor, H. Banks, J.M. Gregory, T.G. Johns, J.F.B. Mitchell and R.A. Wood. 2000. The simulation of SST, Seas ice extents and ocean heat transports in a version of the Hadley Center coupled model without flux adjustment. *Climate Dynamics*, 16: 147-168.
9. Haji Mohamadi, M., B. Ghermez Cheshmeh and A. Azizian. 2015. Investigation the impact of climate change and results of parameters on accuracy temperature in urban and rural area. 5th Regional Conference on Climate Change, Olympic Hotel of Tehran, Iran (in Persian).
10. IPCC. 2007. Climate change: the physical scientific basis. Contribution of working on climate change, Cambridge University Press.
11. Rasheky, A.R., H.A. Narouie and A. Delkhasteh. 2003. Effects of climate change on water resources. Third Regional Conference and the National Conference on Climate Change, 79 pages (in Persian).
12. Sayari, N., A. Alizadeh, M. Bannayan Awal, A. Farid Hossaini and M.R. Hasami Kermani. 2011. Comparison of Two GCM models (HadCM3 and CGCM2) for the prediction of climate parameters and crop water use under climate change. *Journal of Water and Soil*, 912-925 (in Persian).