



## پایش تغییرات زمانی-مکانی بیابان زایی در حوضه گاوخونی بر مبنای معیارهای اقلیمی

فائزه گلدی زاده<sup>۱</sup>، غلامرضا روشن<sup>۲\*</sup>، عبدالعظیم قانقرمه<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد تغییرات اقلیمی، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

<sup>۲</sup> دانشیار اقلیم شناسی، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار اقلیم شناسی، دانشکده علوم انسانی، گروه جغرافیا، دانشگاه گلستان، گرگان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۲/۲۴

### چکیده

بی‌نظمی در وضعیت بارندگی‌ها، خشکسالی‌ها و بیابانزایی در مناطق مختلف کره خاکی در ارتباط با تغییرات اقلیمی می‌باشد. از آنجایی که پدیده بیابانزایی به عنوان یکی از بارزترین وجوه تخریب منابع طبیعی در جهان مطرح شده است، در این پژوهش بررسی تغییرات فضایی- زمانی وضعیت بیابانزایی حوضه گاوخونی در طی ۶ دهه از سال ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰ با بهره‌گیری از معیار اقلیمی مدل تعیین شدت بیابانزایی IMDPA تعیین شد. با توجه به نتایج این تحقیق مشخص گردید که دهه اول با میانگین ۳,۱۷ شدیدترین و دهه چهارم با ۲,۲۲ کمترین شدت بیابانزایی را تجربه نموده و دهه آخر نیز با نمره ۲,۳۶ در کلاس بیابانزایی متوسط قرار دارد. یافته‌های این تحقیق نشان دادند که اگرچه روند تغییرپذیری بیابانزایی بر مبنای میانگین دهه‌ای در حال کاهش می‌باشد، اما واقعیت منطقه گویای این است که در دو دهه اخیر بیشینه مساحت حوضه در کلاس بیابانزایی شدید قرار داشته که این هشدار در خصوص آسیب پذیری حوضه نسبت به پدیده بیابانزایی می‌باشد. از خروجی‌های این تحقیق مشخص شد که از میان ۳ شاخص معیار اقلیمی، بیشترین امتیاز با میانگین کلی ۳,۶ در خصوص شاخص ترانسو تجربه شده و سایر شاخص‌ها در رتبه‌های بعدی قرار دارند. با توجه به نقشه پهنه بندی شدت بیابانزایی حوضه گاوخونی آشکار گردید که نواحی مرکزی و شرقی از ریسک بالاتر و نواحی شمال غربی و جنوب شرقی ریسک کمتری داشته‌اند. در این تحقیق به منظور اعتبارسنجی مدل اقلیمی از شاخص NDVI استفاده گردید. تغییرپذیری این شاخص در طی زمان مویب افزایش اراضی بایر و کاهش مساحت نواحی آبی و پوشش گیاهی می‌باشد. بنابراین می‌توان ملاحظه کرد که خروجی‌های دو شاخص NDVI و معیار اقلیمی، یافته‌های یکدیگر را تایید می‌نمایند. چنانچه نتایج سایر پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهند، پیامد گرمایش جهانی منجر به افزایش دما - تبخیر و کاهش بارش در نواحی خشک خواهد گردید. پس با توجه به فرارگیری حوضه گاوخونی در یک ناحیه خشک، انتظار پیامد تغییرات آب و هوایی بر تشدید این مخاطره طبیعی مسئله‌ای دور از ذهن نخواهد بود.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر اقلیم، بیابان زایی، مدل IMDPA، حوضه آبریز گاوخونی، ECMWF، NDVI

### مقدمه

در حال حاضر بیابان‌زایی معضل گریبان‌گیری برای شمار زیادی از کشورها به خصوص کشورهای درحال توسعه می‌باشد (کرامت‌زاده و همکاران، ۱۴۰۰). این پدیده بعد از بحران کمبود آب و خشکسالی، سومین چالش مهم جهانی قرن ۲۱ است که بیش از ۱۱۰ کشور

جهان در معرض آن قرار دارند (ذوالفقاری و همکاران، ۱۳۹۵). براساس تعریف هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم<sup>۱</sup> بیابان‌زایی تخریب زمین در مناطق خشک، نیمه خشک و نیمه مرطوب است و یکی از مشکلات عمده زیست محیطی و اقتصادی اجتماعی در مقیاس جهانی می‌باشد (IPCC, 2019). عوامل ایجاد کننده این پدیده یا

1. Intergovernmental Panel on Climate Change  
2. Desertification

\*نویسنده مسئول: ghr.roshan@gu.ac.ir

میشود (قوامی و همکاران، ۱۴۰۰). نوسانات آب و هوایی موجب افزایش دما به خصوص در تابستان، افزایش میزان خشکی، تبخیر و تعرق، وزش بادهای گرم و سوزان، کاهش میزان بارندگی، رطوبت و پوشش گیاهی می‌شوند و در شکل‌گیری مناطق خشک و بیابانی تأثیر گذار هستند. گسترش نواحی خشک و بیابانی و همچنین پیامدهای بیابان‌زایی در بسیاری از کشورها از جمله ایران عامل اصلی بر سر راه توسعه پایدار بشمار می‌آید؛ زیرا کاهش یا نابودی محصولات کشاورزی، پیشروی کویر، تغییر اکوسیستم منطقه و نابودی حیات وحش، افزایش آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع، افزایش مهاجرت از روستا به شهر، ایجاد قحطی و... همه از نتایج خشکسالی است. بی دلیل نیست که وقوع خشکسالی را موتور محرکه بیابانزایی می‌نامند (جباری و همکاران، ۱۳۹۳).

یکی از حوضه‌های آبریز ایران که بشدت تحت تأثیر پیامدهای تغییر اقلیم و در گام بعد بیابان‌زایی قرار دارد، حوضه آبریز گاوخونی می‌باشد. بطوری که قرارگیری این حوضه آبریز در عرض جغرافیایی بین ۳۰ تا ۳۵ درجه شمالی و در محدوده کمربند بیابانی جهان، باعث می‌گردد تا پیش یابی اثر تغییرات اقلیم بر پتانسیل افزایش بیابان‌زایی آن از اهمیت و توجه خاصی برخوردار باشد. بنابراین پژوهش حاضر بدنبال پاسخ‌گویی به این سوال اساسی می‌باشد که تغییرات آب و هوایی چند دهه گذشته چه تاثیری بر شدت، مساحت و روند بیابانزایی در حوضه آبریز گاوخونی داشته است. این مسئله باعث گردید تا پژوهشی در خصوص ارزیابی پیامد تغییر اقلیم بر دگرگونی الگوی فضایی- زمانی بیابانزایی برای حوضه گاوخونی انجام گیرد.

### پیشینه پژوهش

تحقیقات گسترده‌ای در داخل و خارج از کشور جهت ارزیابی شدت بیابان‌زایی صورت گرفته است که نتایج این تحقیقات به ارائه مدل‌های منطقه‌ای فراوانی منتهی شده که خاص همان مناطق می‌باشد (مببئی و همکاران، ۱۳۹۴). برای استفاده از این مدل‌ها در مناطق دیگر باید شاخص‌ها و معیارهای آنها مجدداً

عوامل طبیعی هستند مانند آب و هوای خشک، پوشش گیاهی، خاک و یا شامل عوامل انسانی همانند چرای بی‌رویه، جنگل‌زدایی و عملکرد نامناسب کشاورزی می‌باشد (Lahlaoi, 2017). در این بین عوامل انسانی نقش کلیدی در افزایش سرعت بیابان‌زایی دارند. به این دلیل که علاوه بر اینکه نقش مستقیمی در آسیب رساندن به محیط دارند، محرک و تقویت‌کننده عوامل محیطی از جمله اقلیم نیز محسوب می‌شوند. از آنجا که حدود یک ششم جمعیت جهان، ۷۰ درصد از کل زمین‌های خشک و یک چهارم کل مساحت زمین تحت تأثیر بیابان‌زایی قرار دارند یکی از هشداردهنده‌ترین فرآیندهای تخریب محیط زیست پدیده بیابان‌زایی به‌شمار می‌رود (Kilic, 2022). پیش‌بینی می‌شود که در آینده، نزدیک یک سوم زمین‌های قابل کشت دنیا برای کشت محصولات غذایی، غیرقابل استفاده خواهد شد (جباری و همکاران، ۱۳۹۳). یکی از بزرگترین اثرات بیابان‌زایی، فقر گسترده است (Kilic, 2022). به دلیل اینکه منابع طبیعی اولیه (خاک حاصلخیز، پوشش گیاهی و محصولات سالم) اولین منابعی هستند که در مواجهه با بیابان‌زایی ناپدید می‌شوند. ایران نیز از جمله کشورهای است که ۸۰٪ از مساحت آن در مناطق خشک و نیمه خشک قرار گرفته است. ۱۷ استان کشور در معرض بیابان‌زایی قرار دارند که سکونتگاه ۷۰٪ از جمعیت کشور را شامل می‌شود که سالانه هزینه‌های زیادی از جنبه‌های اقتصادی و زیست محیطی را محتمل می‌شوند. از این رو شناسایی رفتار فرایندهای بیابان‌زایی و عوامل به وجود آورنده و تشدیدکننده آن امری ضروری است که باید مورد بررسی قرار گیرد (اونق و همکاران، ۱۳۹۸). از سویی دیگر در سال‌های اخیر مساله تغییر اقلیم و گرمایش جهانی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. اقلیم سیاره زمین همیشه در حال تغییر بوده است اما با شروع انقلاب صنعتی نقش بشر در این تغییرات افزایش پیدا کرد. علت این امر افزایش سوخت‌های فسیلی، شهرنشینی، جنگل‌زدایی و بیابان‌زایی می‌باشد. تغییرات آب و هوایی عامل اصلی بسیاری از پدیده‌های تخریب زیست محیطی است. تغییر شرایط آب و هوایی منجر به پدیده‌های طبیعی خشکسالی و بیابان‌زایی

بیشترین تاثیر را در بیابان زایی منطقه مورد مطالعه داشته است. دیلیمی و همکاران (۱۳۹۸) با مطالعه قابلیت بیابان زایی دشت دامغان با استفاده از معیارهای اقلیم و تغییرات کاربری اراضی از مدل IMDPA نشان دادند که براساس معیار اقلیم روندی ضعیف از بیابان زایی در منطقه مورد مطالعه وجود دارد همچنین براساس تغییرات کاربری اراضی یافته‌های حاصل از پژوهش افزایش اراضی بایر و کاهش پوشش گیاهی را نشان می دهد. با توجه به تحقیقاتی که اوتق و همکاران (۱۳۹۸) به منظور تهیه نقشه و ارزیابی خطر بیابان زایی در خراسان شمالی با استفاده از دو مدل IMDPA و MICD انجام دادند بر این باور رسیدند که بیش از ۸۰٪ منطقه در کلاس خطر متوسط تا شدید بیابان زایی قرار دارد و معیارهای اقلیم و کشاورزی بیشترین تاثیر را در تشدید بیابان زایی دارد. همچنین نجفی و همکاران (۱۴۰۰) مطالعاتی در زمینه بررسی وضعیت بیابان زایی دشت نمدان داشتند. این مطالعه که با استفاده از چهار معیار از مدل مدالوس (اقلیم، پوشش گیاهی، آب، کاربری زمین) انجام گرفته بود به طور کلی نشان می داد که منطقه خمورد مطالعه در کلاس بیابان زایی متوسط قرار دارد. برنا (۱۴۰۰) در بررسی شاخص‌های موثر در بیابان زایی در شهرستان شادگان با توجه به معیارهای پوشش گیاهی و اقلیم از مدل IMDPA استفاده کرد و به این نتیجه رسید که معیار پوشش گیاهی تاثیر بیشتری نسبت به معیار اقلیم در شدت بیابان زایی منطقه مورد مطالعه داشته است. در پژوهش دیگری کرامت زاده و همکاران (۱۴۰۱) بعد از تحلیل وضعیت بیابان زایی در منطقه جنوب شرق اهواز به نتیجه مشابهی دست یافتند. Budak و همکارانش (۲۰۱۸) نیز به منظور شناسایی عوامل محیطی موثر در بیابان زایی در حوضه دجله واقع در شمال بین النهرین از مدل مدالوس بهره بردند. Bedoui (۲۰۲۰) با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و مدل مدالوس به بررسی حساسیت بیابان زایی حوضه طلح در یکی از مناطق مرکزی تونس پرداخت. نتایج حاکی از آن بود که ۸۲ درصد از منطقه مورد مطالعه در وضعیت بحرانی بیابان زایی قرار دارد و نیازمند اقدامات فوری جهت جلوگیری از

بررسی شوند و مورد ارزشیابی قرار بگیرند تا با توجه به شرایط منطقه مطالعاتی تعدیل و اصلاح شوند (ولی و همکاران، ۱۳۹۴). در ایران نیز آخرین تلاشها برای ارزیابی بیابان زایی منجر به ایجاد مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابانزایی (Iranian Model of Desertification Potential Assessment) شده است (رایگانی و همکاران، ۱۳۹۲). این مدل یکی از جدیدترین مدل‌های ارزیابی بیابان زایی است که توسط سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور در پروژه‌های تحت عنوان تدوین شرح خدمات و متدولوژی تعیین معیارها و شاخص‌های بیابان زایی با کمک جمعی از استادان و پژوهشگران کشور در سال ۱۳۸۴ ارائه شده است. این مسئله باعث گردیده است تا بخش زیادی از پژوهش‌های بیابان زایی در ایران با استفاده از این مدل انجام شود. در همین راستا ناطقی و همکاران (۱۳۸۷) برای بررسی شدت بیابان زایی در دشت سگزی از مدل IMDPA بهره بردند. آنها در این بررسی سه معیار آب، زمین و پوشش گیاهی را ارزیابی کردند. در مطالعه ای دیگر مصباح زاده و همکاران (۱۳۸۹) به منظور برآورد شدت بیابان زایی در منطقه ابوزید کاشان با توجه به معیارهای زمینی از مدل IMDPA استفاده کردند. همچنین شاکریان و همکاران (۱۳۹۰) از این مدل برای بررسی وضعیت فعلی بیابان زایی در منطقه جرقویه اصفهان و با تاکید بر معیارهای آب، خاک و پوشش گیاهی بهره بردند. ذوالفقاری و همکاران نیز (۱۳۹۰) حساسیت اراضی دشت سیستان به بیابان زایی را با استفاده از مدل IMDPA مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این پژوهش که با توجه به میانگین هندسی چهار معیار اقلیم، خاک، فرسایش بادی و پوشش گیاهی به دست آمده است نشان داد که ۵۱/۰۹ درصد از منطقه در کلاس بیابان زایی متوسط و ۴۵/۰۹ درصد آن در کلاس شدید قرار دارد و فرسایش بادی بیشترین تاثیر را در شدت بیابان زایی منطقه دارد. سیلاخوری و همکاران (۱۳۹۶) نیز توزیع مکانی خطر بیابان زایی را در منطقه سبزواری با استفاده از مدل IMDPA بررسی کردند و دریافتند که معیارهای آب و آبیاری و فرسایش

۱۳۸۴ ارائه شد. مدل IMDPA توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور در پروژه ای با عنوان تدوین شرح خدمات و روش شناسی تعیین معیارها و شاخص‌های بیابان زایی با کمک گروهی از استادان و پژوهشگران کشور معرفی شد. این مدل دارای ۹ معیار و ۳۶ شاخص می باشد که در حقیقت براساس نیازهای مطالعاتی و ساختار طبیعی، اجتماعی و اقتصادی ایران طراحی شده است. بطوری که معیارهای این مدل شامل: اقلیم، کشاورزی، آب، فرسایش، اقتصادی- اجتماعی، تکنولوژی و توسعه شهری، پوشش گیاهی، خاک و زمین شناسی- ژئومورفولوژی می باشند. در مدل IMDPA نمایش کمی هر معیار توسط شاخص‌های مربوط به آن انجام می شود به این صورت که هر شاخصی بر اساس میزان تاثیرگذاری در بیابان زایی، با توجه به نظر کارشناس، شرایط منطقه و تحقیقات میدانی انجام شده وزنی بین ۱ تا ۴ می گیرد (جدول ۱). در این کلاس بندی ارزش ۱ بهترین و ارزش ۴ بدترین وزن می باشد. در مرحله بعد برای هر شاخص با توجه به وزندهی انجام شده یک نقشه تهیه می شود. در این روش هر معیار از میانگین هندسی شاخص‌های خود طبق معادله (۱) محاسبه می گردد.

تخریب زمین و حفظ منابع برای نسل‌های آینده می باشد. Aliero و همکاران (۲۰۲۱) از مدل مدالوس با هدف ارزیابی آسیب پذیری بیابان زایی در ایالت کبی واقع در کشور نیجریه استفاده کردند و نشان دادند که منطقه مورد مطالعه نسبت به بیابان‌زایی به نسبت حساس می باشد. در پژوهشی Elnashar و همکاران (۲۰۲۲) بر مبنای مدل مدالوس به شناسایی مناطق مستعد بیابان زایی پرداختند. ایشان دریافتند که محرک اصلی تخریب زمین در بالادست حوضه، کشت متوسط تا فشرده، شیب زیاد زمین و فرسایش آبی می باشد. همچنین تراکم پایین پوشش گیاهی پایین دست حوضه را مستعد بیابان زایی کرده است. Mihi و همکاران (۲۰۲۲) نیز به ارزیابی مناطق حساس به بیابان زایی در استان تبسا در الجزایر پرداختند. این تحقیق با استفاده از مدل مدالوس و تکنیک‌های سنجش از دور انجام گرفت.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش جهت تعیین وضعیت بیابان زایی در حوضه آبریز گاوخونی از معیار اقلیمی مدل IMDPA استفاده گردید. این روش جدید ترین مدل ارزیابی بیابان زایی در ایران می باشد که در سال

جدول ۱: تعیین امتیاز شاخص‌های معیار اقلیم بر اساس مدل IMDPA

استمرار خشکسالی	کمتر از ۳ سال	سال ۳-۴	سال ۴-۵	سال ۵-۶	سال ۶-۷	بیشتر از ۷ سال
شاخص خشکی ترانسو	>0.65	0.45-0.65	0.2-0.45	0.05-0.2	<0.05	
بارش سالانه (میلی‌متر)	>600	280-600	150-280	75-150	<75	
امتیاز	0.01-1	1.01-1.5	1.51-2.5	2.51-3.5	3.51-4	
کلاس	غیر قابل ملاحظه	کم	متوسط	شدید	بسیار شدید	

رابطه (۱):

$$criteria - x = [(Index - 1) \cdot (Index - 2) \dots (Index - n)]^{1/n}$$

Criteria-X: معیارهای مورد نظر

Index: شاخص‌های هر معیار

n: تعداد شاخص‌های هر معیار

**معیار اقلیم:** شرایط آب و هوایی یک معیار طبیعی در ارزیابی پتانسیل بیابان زایی است و به طور مستقیم ایجادکننده شاخص‌هایی است که در این ارزیابی موثر هستند ولی به طور غیر مستقیم جزو شاخص‌های دیگر معیارها نیز می باشد. مثلا فرسایش آبی به نزولات جوی سالانه و شدت-مدت-فراوانی رگبارها و ضریب تغییرات بارندگی‌ها وابسته است.

پایان می یابد که SPI مثبت گردد. مقادیر تجمعی SPI نیز، بزرگی و شدت دوره خشکسالی را نشان می دهد. طبقه بندی دوره‌های مرطوب، نرمال و خشک بر اساس روش SPI در جدول (2) آمده است. شاخص بارش استاندارد (SPI) مطابق با رابطه (3) محاسبه می‌شود:

$$SPI = \frac{(p_i - \bar{p})}{SD} \quad \text{رابطه (3)}$$

که SPI بارش استاندارد شده،  $P_i$  مقادیر بارش در  $i$  امین سال مشاهده شده به میلی‌متر،  $\bar{P}$  میانگین بارش بلندمدت و SD انحراف معیار داده‌های بارش بلند مدت می باشد. دامنه طبقه‌های شدت برای تعیین ترسالی‌ها و خشکسالی‌ها براساس نمایه SPI در جدول (2) آمده است.

در این پژوهش جهت ارزیابی معیار اقلیم، شاخص بارش سالانه، شاخص خشکی ترانسو (رابطه 2) و شاخص تداوم خشکسالی (بر مبنای شاخص SPI) (رابطه 3) محاسبه خواهد گردید. سپس میانگین هندسی این معیار از معادله (4) بدست خواهد آمد.

**شاخص ترانسو:** جهت بررسی شاخص خشکی در این تحقیق از شاخص ترانسو استفاده گردیده است، که بر اساس رابطه (2) تعریف می شود:

$$IT = \frac{P}{ETP} \quad \text{رابطه (2)}$$

در رابطه (2)، IT شاخص ترانسو، P بارش سالانه و ETP مقدار تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه می باشد.

**شاخص بارش استاندارد (SPI):** طبق این شاخص خشکسالی هنگامی اتفاق می افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار 1- یا کمتر برسد، و هنگامی

جدول 2: طبقه‌بندی دوره‌های مرطوب، نرمال و خشک بر اساس روش SPI

کد طبقه	مقدار SPI	طبقه
۷	۲ و بیشتر	بی نهایت مرطوب
۶	۱,۵ تا ۱,۹۹	مرطوب شدید
۵	۱ تا ۱,۴۹	مرطوب متوسط
۴	۰,۹۹ تا -۰,۹۹	بارش نرمال
۳	-۱,۴۹ تا -۱	خشکی ملایم
۲	-۱,۹۹ تا -۱,۵	خشکی شدید
۱	-۲ و کمتر	خشکی حاد

پیش‌بینی میان‌مدت وضع هوا (ECMWF) با طول دوره آماری ۶۰ ساله (۱۹۶۰-۲۰۲۰) به منظور دسترسی به داده‌های بارش و تبخیر استفاده شده است. با توجه به اینکه اندازه ی هر پیکسل مطالعاتی تقریباً ۹×۹ کیلومتر می باشد، برای این مطالعه تقریباً ۱۱۵۱ پیکسل مورد ارزیابی قرار گرفته است.

**تغییرات شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال (NDVI):** شاخص NDVI (تاکر، ۱۹۷۹) معروف ترین شاخص پوشش گیاهی ماهواره ای است که با توجه به رابطه (5) به دست می آید:

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad \text{رابطه (5)}$$

در این پژوهش با استفاده از جدول (1)، هر منطقه بر اساس امتیاز شاخص‌های معیار اقلیم در روش IMDPA کلاس بندی شده و در نهایت نقشه پهنه بندی شده و کلاس بندی شده ترسیم خواهد شد. چنانچه پیش تر اشاره گردید میانگین هندسی معیار اقلیمی با استفاده از معادله (4) بدست خواهد آمد:

رابطه (4):

$$= \sqrt{\text{میزان} \times \text{خشکسالی تداوم} \times \text{خشکی شاخص}} \times \text{معیار اقلیم}$$

**داده‌های مورد استفاده**

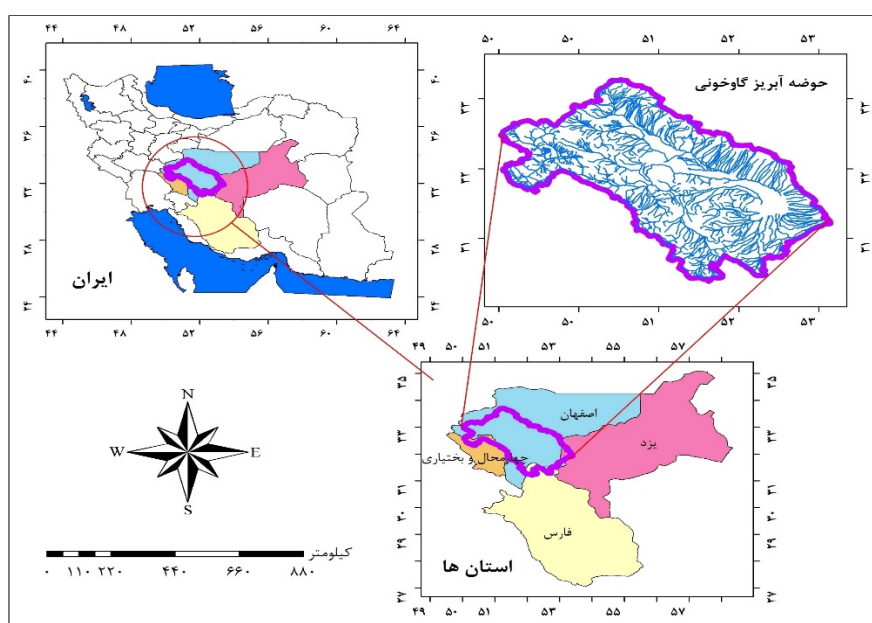
در پژوهش حاضر، از پایگاه داده مرکز اروپایی

حوضه بسته فلات مرکزی ایران است. از آنجا که این حوضه شامل رودخانه زاینده‌رود و شهر اصفهان می‌باشد به همین دلیل به نام زاینده رود نیز شناخته می‌شود. حوضه آبریز زاینده‌رود بزرگ‌ترین، مهمترین و پرآب‌ترین رودخانه در حوضه آبریز فلات مرکزی ایران به شمار می‌رود که شاخه اصلی رود زاینده رود به طول ۴۰۰ کیلومتر از دامنه‌های شرقی ارتفاعات زاگرس میانی سرچشمه می‌گیرد و در جهت عمومی شرق به غرب جریان پیدا می‌کند و در پایان به تالاب گاوخونی منتهی می‌شود.

که در معادله مذکور باند مادون قرمز نزدیک و Red باند قرمز می‌باشد که شماره باند در تصاویر ماهواره‌های مختلف متفاوت می‌باشد. در این مطالعه تصاویر سری زمانی مربوط به سالهای ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۰ از لندست ۵ و تصاویر متعلق به ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ از لندست ۷ از طریق اجرای دستورات برنامه نویسی در سامانه گوگل ارث انجین برای حالت میانه آماری اخذ گردید.

### منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز گاوخونی یکی از زیر مجموعه‌های



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز گاوخونی

سال‌های اخیر، آورد حوضه زاینده‌رود به دلایل مختلف از جمله خشکسالی کاهش زیادی داشته است.

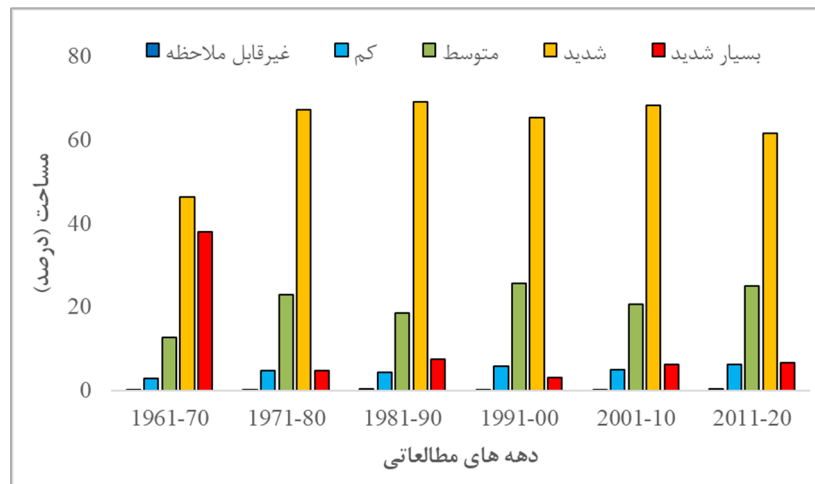
### یافته‌های تحقیق

**شاخص بارش:** در ابتدا یافته‌های مرتبط با تغییرات الگوی فضایی-زمانی شاخص بارش سالانه ارائه می‌گردد. با توجه به بررسی‌های انجام شده مشخص گردید که میانگین درازمدت بارش سالانه در حوضه گاوخونی در طی ۱۹۶۰ تا ۲۰۲۰، ۲۶۵٫۷ میلی‌متر بوده که کمینه و بیشینه مقدار آن به ترتیب ۷۰٫۸ و ۱۱۰۷٫۷ میلی‌متر می‌باشد. بعد از امتیازدهی شاخص

مساحت این حوضه، ۴۱'۵۵۰ کیلومتر مربع می‌باشد و ۸۷/۳ درصد آن در استان اصفهان، ۴/۹ در استان چهارمحال و بختیاری، ۴/۶ در استان فارس و ۳/۲ در استان یزد واقع شده است. این حوضه آبریز در مختصات جغرافیایی ۵۰°۲۰' تا ۵۲°۲۴' طول شرقی و ۳۲°۱۲' تا ۳۳°۴۲' عرض شمالی قرار گرفته است. همچنین این حوضه به دلیل تامین آب آشامیدنی استان اصفهان و استان‌های همسایه (چهارمحال و بختیاری و یزد) و همچنین توان بالای کشاورزی، گردشگری و در برداشتن قطب‌های صنعتی و جمعیتی از اهمیت بالایی برخوردار است. در

به میانگین تمامی دوره‌های مطالعاتی مساحت طبقه بیابان‌زایی شدید معادل ۶۳ درصد از وسعت حوضه بوده و برای کلاس بیابان‌زایی متوسط این میانگین ۲۱ درصد و برای کلاس بیابان‌زایی بسیار شدید ۱۱ درصد از وسعت حوضه را پوشش می‌دهد. از طرف دیگر این میانگین برای کلاس بیابان‌زایی کم شامل ۵ درصد و برای کلاس بیابان‌زایی غیر قابل ملاحظه چیزی کمتر از ۰.۵ درصد بوده است (شکل ۲). چنانچه از شکل (۳) دیده می‌شود، از لحاظ پراکنش فضایی نیز پایین‌ترین شدت بیابان‌زایی در هر ۶ دهه مطالعاتی متعلق به نواحی شمالی و شمال غربی حوضه بوده و بیشینه آن نیز در نواحی مرکزی و جنوب شرقی تجربه شده است.

بارش برای تمامی پیکسل‌های مطالعاتی، میانگین دهه ای آن محاسبه گردید که بر اساس خروجی‌های مورد نظر مشخص می‌گردد که دهه اول با نمره ۲,۶۹ بیشینه امتیاز و دهه چهارم با ۲,۳۳ کمینه امتیاز را به خود اختصاص داده‌اند (جدول ۳). لازم به توضیح می‌باشد که امتیاز بالاتر، افزایش شدت بیابان‌زایی را نشان می‌دهد. در ادامه تغییرات مساحت وضعیت بیابان‌زایی شاخص بارش سالانه در طی دهه‌های مورد مطالعه استخراج گردید. براساس یافته‌های حاصل شده مشخص می‌گردد که در تمام دهه‌های مورد بررسی، بیشینه مساحت مربوط به طبقه بیابان‌زایی شدید، سپس متوسط و در رتبه سوم کلاس بسیار شدید قرار دارد. یافته‌های این تحقیق نشان می‌دهد که با توجه

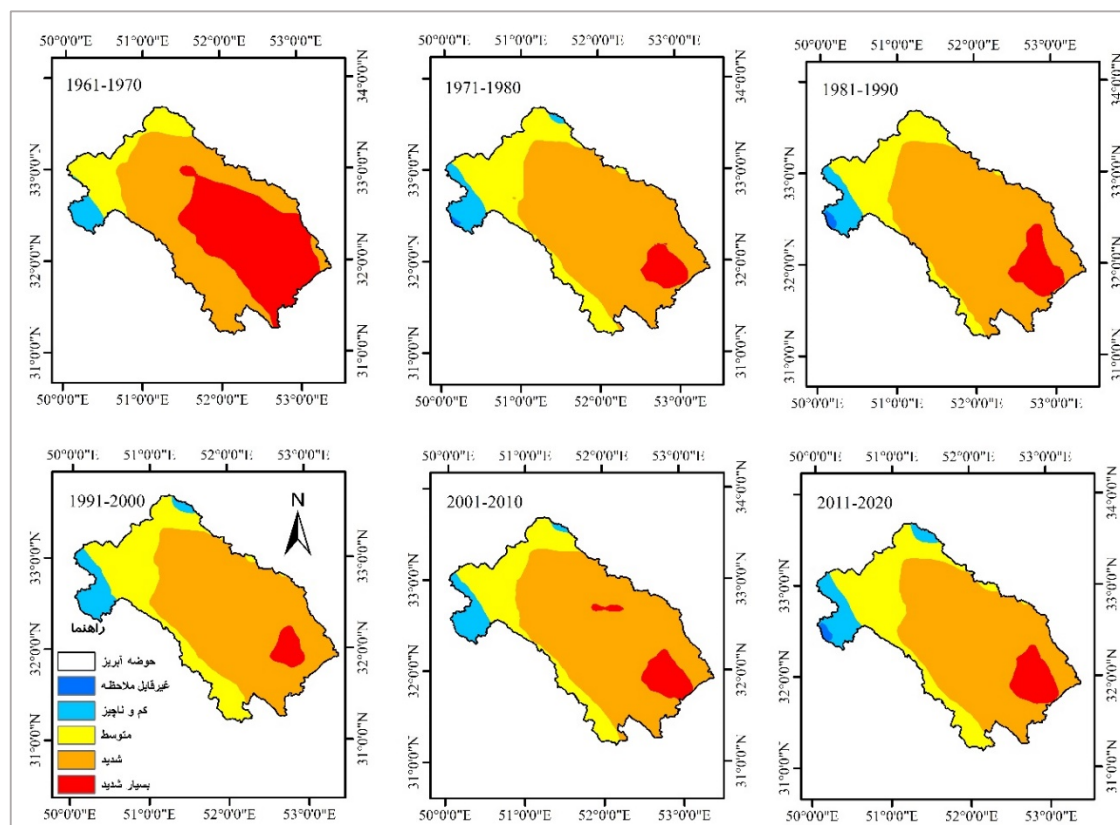


شکل ۲: مساحت مربوط به کلاس‌های مختلف بیابان‌زایی بر اساس شاخص بارش سالانه

مورد نظر معرفی می‌شوند. در مجموع روند تغییرپذیری SPI با توجه به مقادیر میانگین دهه ای آن در سطح حوضه، افزایشی بوده که این نرخ با  $r=0.62$  در سطح ۹۰ درصد معنادار می‌باشد.

در ادامه برای هر منطقه مطالعاتی تداوم دوره‌های خشکسالی محاسبه گردید. لازم به توضیح بوده که جهت تعیین تداوم خشکسالی از مقادیر سالانه بارش استفاده شده است و بیشترین تداوم (پیوستگی) سالانه خشکسالی مبنای امتیازدهی در نظر گرفته شده است.

**شاخص خشکسالی:** در این مرحله بعد از محاسبه شاخص سالانه SPI، میانگین تغییرات دهه‌ای آن نیز تعیین شد. در طی سالهای ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰ میانگین سالانه SPI در کل حوضه مطالعاتی نزدیک به صفر یا نرمال بوده است. علی‌رغم این موضوع مشاهده می‌شود که این میانگین SPI در طی دهه‌های مختلف تغییراتی داشته است. بر این اساس دهه اول با  $SPI=-0.66$  خشکترین دوره و دهه‌های ۴ و ۶ بطور مشترک با  $SPI=0.27$  مرطوبترین دوره‌های در حوضه

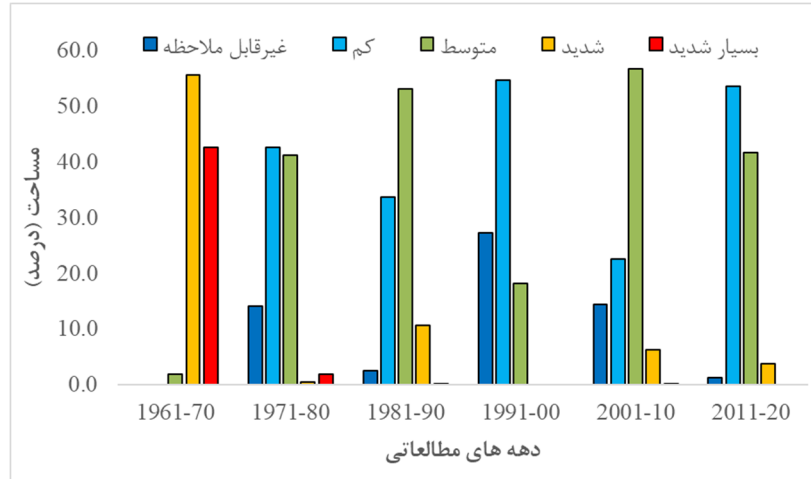


شکل ۳: نقشه کلاس بندی شاخص بارش سالانه برای ۶ دهه مطالعاتی حوضه گاوخونی

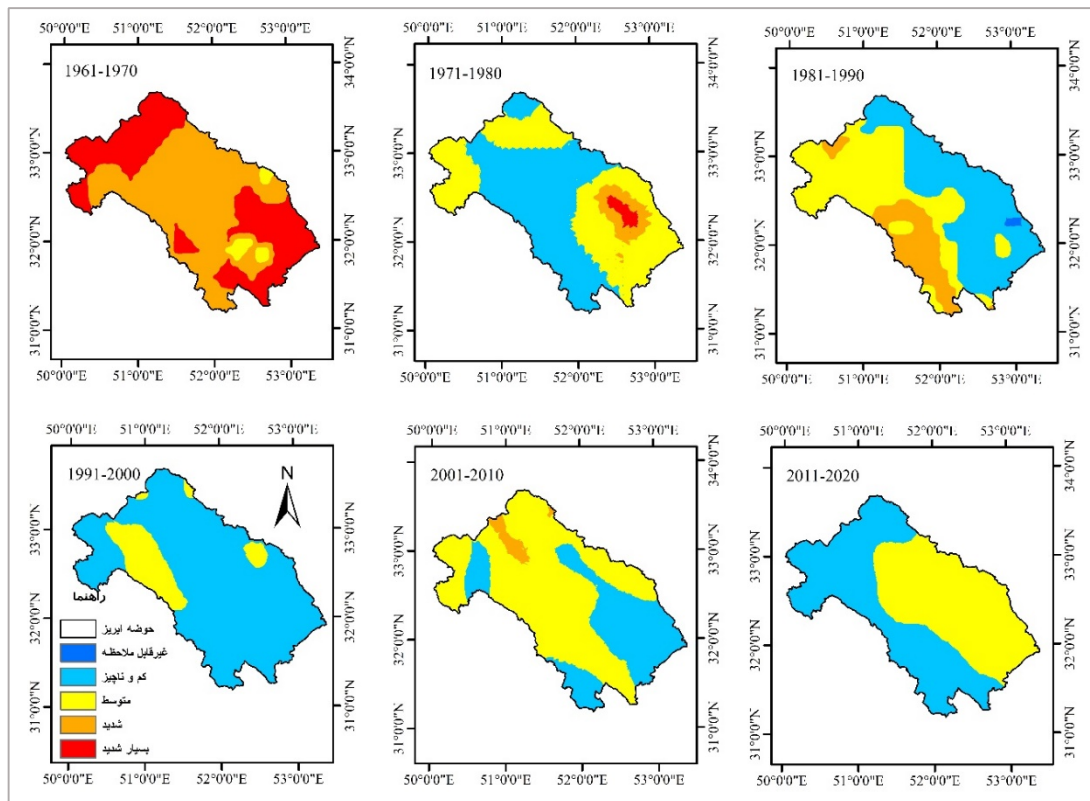
اختصاص داشته است و برای دهه سوم و پنجم بیشینه مساحت برای کلاس متوسط دیده می‌شود. در مجموع با توجه به میانگین حاصل شده از تمام ادوار مورد مطالعه ملاحظه می‌گردد که کلاس متوسط با ۳۵,۵ درصد از وسعت حوضه در رتبه اول قرار دارد و کلاس کم با ۳۴,۵ درصد، کلاس شدید با ۱۲,۸ درصد، کلاس غیر قابل ملاحظه با ۷,۴ و ۹,۹ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند (شکل ۴). از لحاظ پراکنش فضایی نیز مشخص می‌شود که در طی ۶ دهه مطالعاتی نواحی مرکزی بیشترین آسیب‌پذیری از تداوم خشکسالی را تجربه کرده و مناطق واقع در شمال و جنوب از شدت کمتر آسیب‌پذیری برخوردار باشند (شکل ۵).

بعنوان نمونه ممکن است برای یک منطقه در دهه اول چند رخداد خشکسالی وجود داشته است. حال آن دوره ای که بیشترین تداوم زمانی داشته باشد انتخاب و امتیاز مورد نظر به آن اختصاص داده شده است. چنانچه یافته‌های تحقیق نشان می‌دهند، دهه اول بطور متوسط با تداوم ۷,۷ (سال) بیشترین و دهه چهارم با ۲ (سال) کمترین تداوم خشکسالی را تجربه کرده‌اند. از ارزیابی امتیاز شاخص خشکسالی مشخص شد که بیشینه میانگین آن با ۳,۲ در دهه اول و کمترین آن با ۱,۳ متعلق به دهه چهارم است (جدول ۳). ارزیابی‌ها نشان می‌دهند که در دهه اول بیشینه مساحت با ۵۵,۶ درصد از وسعت حوضه متعلق به کلاس بیابانزایی شدید بوده است. در دهه‌های دوم، چهارم و ششم بیشینه مساحت به کلاس متوسط





شکل ۴: مساحت مربوط به کلاسهای مختلف بیابان‌زایی بر اساس شاخص استمرار خشکسالی



شکل ۵: نقشه کلاس بندی شاخص خشکسالی برای ۶ دهه مطالعاتی حوضه گاوخونی

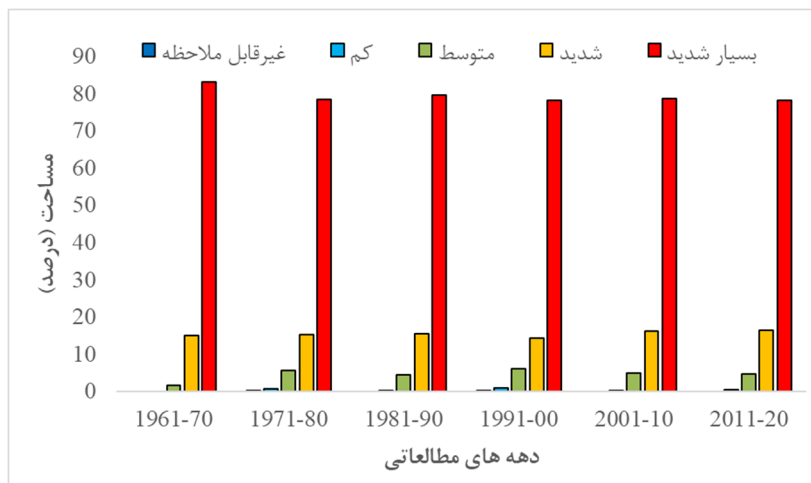
می‌شود، اگر مقدار آن افزایشی باشد، قضاوت می‌گردد که اقلیم منطقه بسمت شرایط مرطوب‌تر گرایش دارد. اما این مسئله مورد غفلت قرار گرفته که بعضاً ممکن هست که همزمان در منطقه افزایش دما (تبخیر) نیز تجربه شده که این عامل اثر افزایشی بارش را خنثی می‌نماید. بنابراین در شاخص ترانسو ترکیب هر دو

شاخص خشکی ترانسو: همانطور که پیش‌تر بیان گردید، شاخص ترانسو از تقسیم بارش به تبخیر و تعرق پتانسیل سالانه محاسبه می‌گردد که هر چه خروجی عدد بزرگتری باشد، امتیاز (آسیب‌پذیری) کمتری از دیدگاه بیابان‌زایی کسب می‌کند. متأسفانه زمانی که در مباحث تغییر اقلیم به روند بارش توجه

بیشترین آسیب پذیری را از دیدگاه بیابانزایی داشته و کمینه مخاطره بیابانزایی متعلق به نواحی شمال غربی و هسته کوچکی در شمال حوضه بوده است (شکل ۷). در عین حال خروجی‌های این بخش از تحقیق نشان می‌دهند که با توجه به شاخص خشکی ترانسو بزرگترین طبقه در ۶ دوره مطالعاتی متعلق به کلاس بسیار شدید بوده که میانگین مساحت آن برای کل دوره مورد نظر ۹۴٫۸۳ درصد از وسعت حوضه را شامل می‌شود. کلاس شدید نیز با مساحت ۴٫۴۳ درصد، کلاس متوسط با ۰٫۷۱ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند و برای کلاس‌های کم و ناچیز و غیر قابل ملاحظه هیچ مساحتی تجربه نشده است (شکل ۶).

مولفه تبخیر و بارش وجود دارد. در مجموع در هر ۶ دهه میانگین دهه ای شاخص ترانسو (خروجی رابطه ۲) ارزشی کمتر از ۰/۲ را نشان می‌دهد که منجر گردیده است امتیاز این شاخص برای تمام دوره‌های مطالعاتی نمره ای بالاتر از ۳ را به خود اختصاص دهد و این به معنای قرارگیری تمام ادوار مطالعاتی در طبقه بیابانزایی بسیار شدید می‌باشد (جدول ۳).

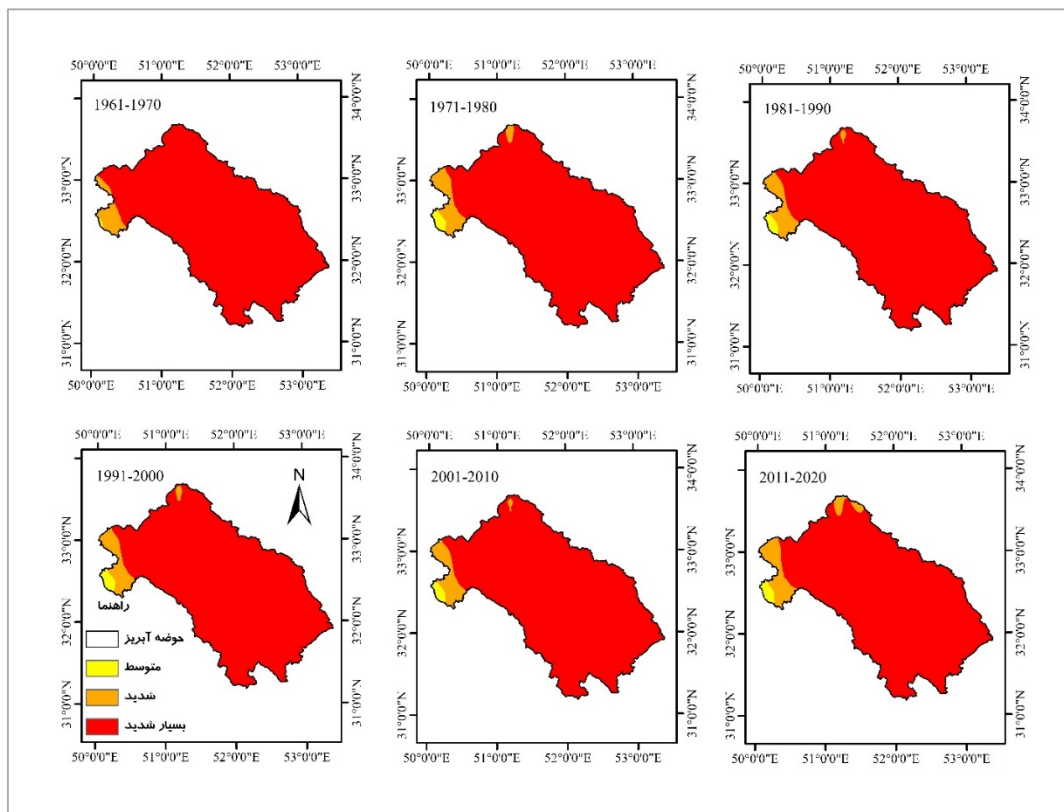
از ارزیابی شاخص ترانسو مشخص شد که بیشینه امتیاز با ۳٫۶۸ به دهه اول و کمینه امتیاز آن با ۳٫۵۴ بطور مشترک در دهه دوم و چهارم تجربه شده است (جدول ۳). پراکنش فضایی کلاس بیابانزایی این شاخص در طی تمامی ادوار مطالعاتی نشان می‌دهد که نواحی مرکزی، شمال، جنوب، شرق و غرب



شکل ۶: مساحت مربوط به کلاسهای مختلف بیابانزایی بر اساس شاخص خشکی ترانسو

بیابانزایی شدید قرار گرفته است، این میانگین در سایر دوره‌ها در طبقه بیابانزایی متوسط قرار دارند (جدول ۳). اما با ارزیابی درصد مساحت طبقات مختلف شدت بیابانزایی برای دوره‌های مختلف مطالعاتی نتایج دیگری استحصال می‌شود که قابل تامل می‌باشد. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که هیچ تجربه ای از طبقه بیابانزایی غیر قابل ملاحظه در هیچ یک از دهه‌ها دیده نمی‌شود و تنها در دهه اول ۸ درصد از مساحت حوضه طبقه بیابانزایی بسیار شدید را تجربه کرده است.

**معیار اقلیمی شاخص بیابانزایی IMDPA:** در این مرحله با توجه به رابطه (۴)، بعد از محاسبه ی شدت بیابانزایی برای تمامی پیکسل‌های مطالعاتی در سرتاسر حوضه گاوخونی، در مرحله بعد میانگین دهه ای آن برای کل حوضه تعیین گردید. با توجه به خروجی‌های استحصال شده برای این بخش از تحقیق ملاحظه گردید که بالاترین شدت بیابانزایی با امتیاز ۳٫۱۷ به دهه اول اختصاص داشته و دهه چهارم با ۲٫۲۲ کمترین امتیاز را نشان می‌دهد. در دیدگاه اول با توجه به تمرکز بر روی میانگین دهه ای مشخص می‌شود که به جزء میانگین دهه اول که در طبقه



شکل ۷: نقشه کلاس بندی شاخص خشکی ترانسو برای ۶ دهه مطالعاتی حوضه گاوخونی

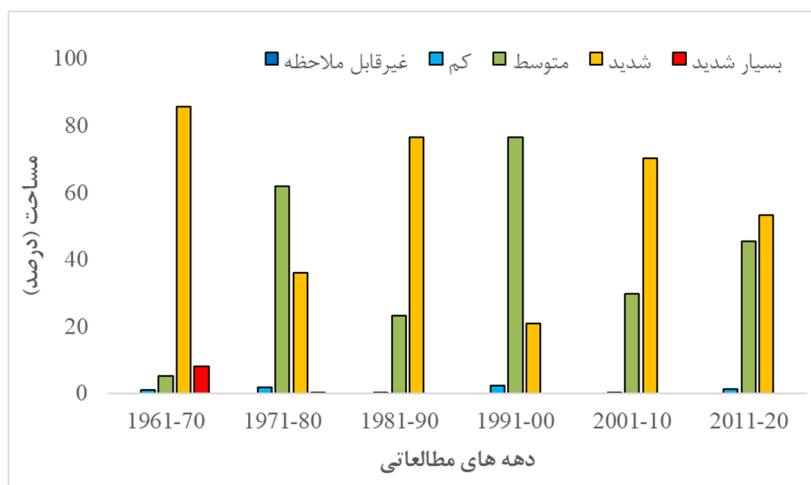
بیابانزایی در کل سالهای ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰ مشخص شد که کلاس بیابانزایی شدید بیشترین مساحت را با ۵۷ درصد از وسعت حوضه پوشش داده و کلاس متوسط و بسیار شدید بترتیب با ۴۰ و ۱٫۵ درصد در رتبه‌های بعدی قرار دارند (شکل ۸).

بررسی‌ها از لحاظ پراکنش فضایی طبقات بیابانزایی مشخص می‌نماید که بر مبنای شاخص اقلیمی که ترکیبی از سه شاخص بارش سالانه، استمرار خشکسالی و شاخص خشکی ترانسو می‌باشد، نواحی مرکزی و شرقی بیشینه آسیب پذیری را از لحاظ شدت بیابانزایی تجربه نموده‌اند و از سوی دیگر مناطق واقع در شمال غربی و جنوب شرقی از شدت بیابانزایی کمتری نسبت به سایر نواحی حوضه گاوخونی برخوردار بوده‌اند (شکل ۹).

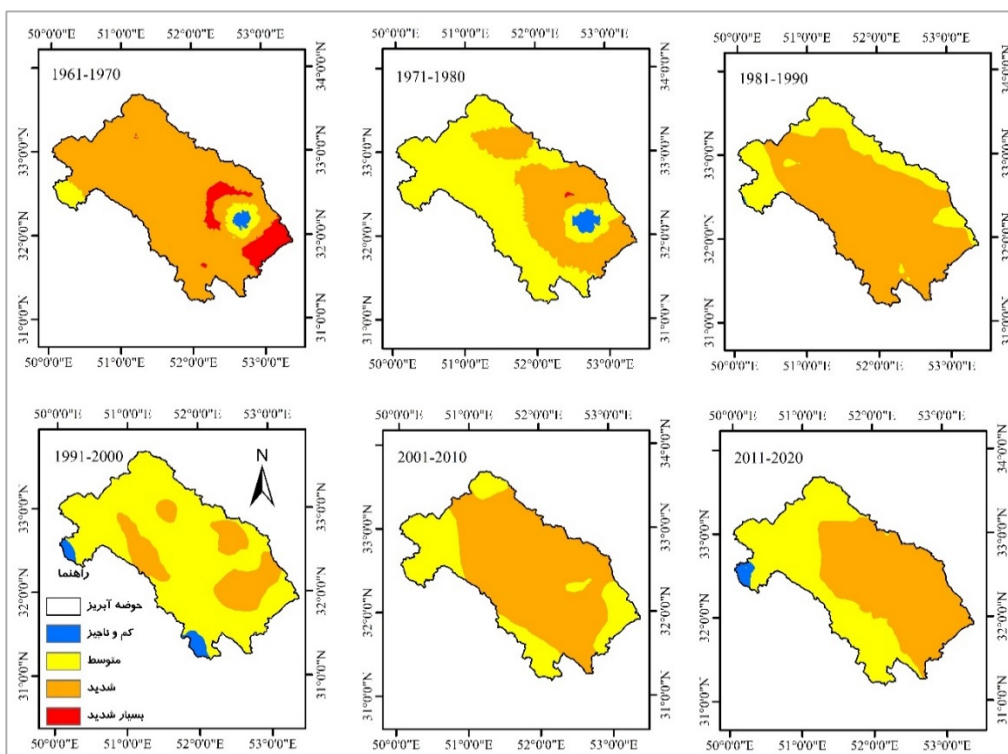
در دهه اول بیشینه مساحت با ۸۶ درصد به طبقه بیابانزایی شدید اختصاص داشته حال آنکه در دهه دوم بیشینه مساحت با ۶۲ درصد متعلق به طبقه بیابانزایی متوسط بوده است. سپس در دهه سوم ۷۶ درصد از مساحت در طبقه بیابانزایی شدید و برای دهه چهارم ۷۶ درصد از مساحت آن متعلق به طبقه بیابانزایی متوسط می‌باشد. در دو دهه آخر (دهه پنجم و ششم بترتیب با ۷۰ و ۵۰ درصد) نیز حداکثر مساحت به طبقه بیابانزایی شدید اختصاص داشته است. لذا ملاحظه می‌گردد که میانگین دهه ای بخوبی نمی‌تواند واقعیت منطقه را نمایش دهد. چنانچه دیده میشود در دو دهه آخر بیشترین مساحت به طبقه بیابانزایی شدید اختصاص داشته که این شرایط گویای حساسیت و آسیب پذیری منطقه در مواجهه با تشدید پدیده بیابانزایی می‌باشد. از بررسی مجموع کلاسهای

جدول ۳: میانگین دهه‌ای از امتیاز شاخص‌های معیار اقلیمی بیابانزایی برای حوضه گاوخونی

معیار اقلیمی	شاخص ترانسو	شاخص خشکسالی	شاخص بارش	دهه‌های مطالعاتی
3.17	3.68	3.24	2.69	1961_70
2.32	3.54	1.49	2.36	1971_80
2.50	3.59	1.77	2.46	1981_90
2.22	3.54	1.32	2.33	1991_00
2.46	3.59	1.69	2.44	2001_10
2.36	3.57	1.58	2.34	2011_20
2.50	3.6	1.8	2.4	میانگین کلی



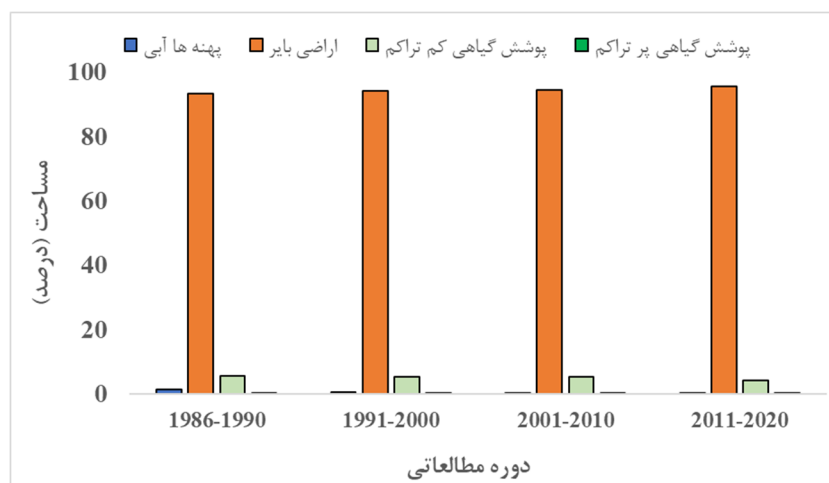
شکل ۸: مساحت شدت طبقات بیابانزایی در ادوار مختلف مطالعاتی



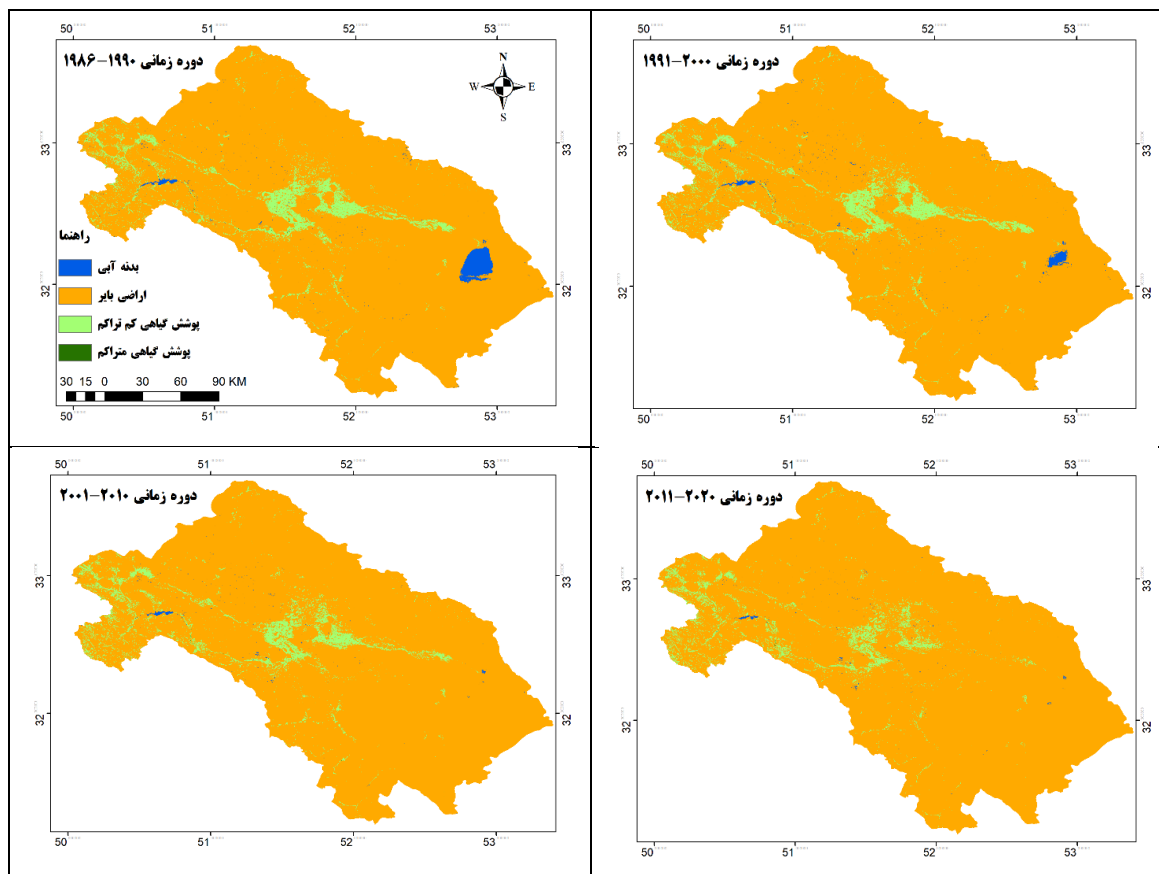
شکل ۹: نقشه کلاس بندی معیار اقلیمی مدل IMDPA برای ۶ دهه مطالعاتی حوضه گاوخونی

درصد در مقایسه با دوره اول کاهش داشته است (شکل ۱۰). در این حوضه برخی بدنه‌های آبی نیز که مربوط به زاینده رود، و یا دریاچه ی گاوخونی می باشد مشاهده میگردد. براحتی از شکل (۱۱) می‌توان ملاحظه نمود که تغییرات کاهشی قابل توجهی در دوره چهارم در قیاس با دوره اول وجود دارد. در اولین دوره مساحت این پهنه ۱,۳ درصد بوده حال آنکه در دوره چهارم به ۰,۱۲ درصد تقلیل یافته است. خروجیها نشان می دهند که هیچ مساحت قابل توجهی در خصوص کاربری پوشش گیاهی تراکم در سطح حوضه تجربه نشده است. بنابراین یافته‌های این بخش نشان می دهند که با توجه به کاهش وسعت پهنه‌های آبی و اراضی با پوشش گیاهی کم تراکم، بر مساحت اراضی بایر افزوده شده است. همانگونه که نتایج مدل اقلیمی IMDPA نشان می دهد، در دهه‌های اخیر نیز بر وسعت مناطق با کلاس بیابانزایی شدید افزوده شده که این نتایج بوسیله شاخص NDVI مورد تایید قرار می‌گیرد.

**بررسی تغییرات شاخص NDVI در حوضه مطالعاتی:** در این بخش از مطالعه، تغییرات پوشش گیاهی حوضه گاوخونی با توجه به تغییرات دهه ای شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال (NDVI) برای سالهای ۱۹۸۶-۱۹۹۰، ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۰، ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ و در نهایت ۲۰۱۱ تا ۲۰۲۰ بطور میانگین دهه‌ای مورد واکاوی قرار گرفت. در نگاه اول مشخص می‌شود که بیشینه مساحت حوضه در تمام دوره‌های مورد بررسی متعلق به پهنه اراضی بایر می‌باشد. میانگین مساحت این پهنه (اراضی بایر) در طول دوره مطالعاتی ۱۹۸۶ تا ۲۰۲۰ معادل ۹۴,۵ درصد از وسعت حوضه بوده است. تغییرات این پهنه در طی زمان افزایشی بوده چنانچه مشخص میگردد که در دوره آخر در قیاس با دوره اول، نزدیک به ۳ درصد به وسعت اراضی بایر افزوده شده است. پوشش گیاهی کم تراکم دومین کاربری بوده که بطور متوسط ۵ درصد از مساحت حوضه را در کل دوره پوشش داده است. تغییرات این کاربری نیز در دوره چهارم به مقدار ۱,۵



شکل ۱۰: تغییرات مساحت (درصد) کاربری‌های مختلف در حوضه گاوخونی در بستر زمان



شکل ۱۱: تغییرات شاخص NDVI در بستر زمان برای حوضه گاوخونی

### بحث و نتیجه گیری

استفاده از مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابانزایی، که برای استفاده در مناطقی با اقلیم خشک و اسنجی شده است، موجب می‌شود تا لزوم اجرای اصلاحات، با توجه به شرایط خاص اقلیمی و میزان خطای ارزیابی، به حداقل برسد. بیابانزایی پدیده‌ای پیچیده و متأثر از معیارهای مختلف طبیعی و انسانی می‌باشد. اما معیار اقلیمی نقش اساسی و مهمی در شکل‌گیری و گسترش پدیده بیابانزایی ایفا می‌کند. در مطالعه پیش روی پایش تغییرات فضایی-زمانی بیابانزایی بر مبنای معیار اقلیمی شاخص IMDPA برای حوضه گاوخونی انجام پذیرفت. خروجیهای این تحقیق نشان داد که برای هر سه شاخص بارش سالانه، شاخص خشکی ترانسو و خشکسالی، دهه اول که شامل سال‌های ۱۹۶۱ تا ۱۹۷۰ می‌باشد بعنوان آسیب پذیرترین دوره زمانی بوده است. از سوی دیگر دهه چهارم آسیب پذیری کمتری را در قیاس با دوره‌های دیگر نشان

می‌دهد. در این میان تغییرات فضایی-زمانی شاخص‌های مختلف نشان دادند که مناطق مرکزی و جنوب شرقی بعنوان آسیب پذیرترین نواحی معرفی میشوند. از طرف دیگر کمترین آسیب پذیری به نواحی شمال غربی اختصاص داده شده است. اگرچه در نگاه اول به نظر می‌رسد که در حوضه گاوخونی روند بیابانزایی بر مبنای میانگین دهه‌ای در حال کاهش می‌باشد، اما این اصل واقعیت منطقه را بیان نمی‌کند. زیرا مشخص گردید که در دو دهه اخیر بیشینه مساحت به طبقه بیابانزایی شدید اختصاص داشته است که آسیب پذیری حوضه را نسبت به پدیده بیابانزایی نشان می‌دهد. از سوی دیگر توجه به این مسئله حائز اهمیت می‌باشد که بیابانزایی پدیده‌ای چند وجهی می‌باشد و صرفاً عامل اقلیم به تنهایی نمی‌تواند تصویری واقعی از آسیب پذیری منطقه را نمایش دهد. چه بسا با در نظر گرفتن سایر معیارهای مدل IMDPA، الگوی متفاوت تری از شدت بیابانزایی

ذخایر آبی آبخوان‌های مذکور حدود ۱۶۰ و ۳۰۰ میلیون مترمکعب کاهش یافته است. به‌طور کلی، متوسط سطح تراز ایستابی محدوده تالاب گاوخونی در این مدت به اندازه ۷,۸ متر و متوسط حجم ذخایر آبخوان‌ها ۲۲۹ میلیون مترمکعب کاهش داشته است. نتایج حاصل از بررسی آزمون من‌کنندال نیز کاهش معنی‌دار سطح تراز آب زیرزمینی آبخوان‌های محدوده مطالعاتی را در این بازه زمانی نشان داد (ابراهیمی خوسفی، ۱۳۹۸).

در مطالعه‌ای که توسط طاوسی و همکاران (۱۳۹۵) در خصوص تغییرات کاربری اراضی در طی ۱۷ سال (۱۹۹۰ تا ۲۰۰۶) برای حوضه گاوخونی انجام پذیرفت، نتایج نشان دادند که به دلیل تخریب تالاب، پدیده‌های مرتبط با آن مانند تنوع و تراکم پوشش گیاهی و مساحت بخش آبگیر کاهش پیدا کرده است. در ادامه آنها به منظور تحلیل بیابانزایی از دیدگاه اقلیمی، تغییرات تبخیر و تعرق و نرخ بارش را برای این حوضه مورد واکاوی قرار دادند. چنانچه از یافته‌های تحقیق آنها مشخص گردید که مولفه‌های دما و تبخیر و تعرق در اکثر ماه‌های سال مخصوصاً فصول تابستان و پاییز روند افزایشی قابل توجهی داشته و از طرف دیگر پارامتر بارش در این دو فصل هرچند روند مشخصی ندارد اما مقدار آن کاهش یافته است که مجموع این عوامل منجر به تشدید بیابانزایی در محدوده مطالعاتی گردیده است (طاوسی و همکاران، ۱۳۹۵).

باقری و همکاران (۱۴۰۰) نیز بر مبنای شاخص‌های سنجش از راه دور تغییرات کاربری اراضی حوضه گاوخونی را در بازه زمانی ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۹ مورد واکاوی قرار دادند. نتایج کار آنها گویای این می‌باشد که در طی این دوره مطالعاتی ۳۶/۵۲ درصد از نواحی از نظر بیابان‌زایی در وضعیت احیا قرار داشته و ۲۹/۱۴ درصد دچار تخریب و ۳۴/۳۴ درصد از منطقه مورد مطالعه دچار تغییر نشده است. بطوری که شمال و بخشهایی از جنوب غرب، شدت احیا متوسط می‌باشد و در غرب و شمال غرب احیا به شدت افزایش یافته است تا آنجایی که مناطق مرکزی تا جنوب

حاصل گردد. در عین حال مشخص شد که در میان ۳ شاخص اقلیمی مورد مطالعه، بالاترین وزن (امتیاز) مربوط به شاخص ترانسو است. میانگین کلی آن برای کل دوره‌های تاریخی ۳,۶ بوده که در طبقه بیابانزایی بسیار شدید قرار دارد. حال آنکه شاخص بارش سالانه و خشکسالی بترتیب با میانگین کلی ۲,۴ و ۱,۸ در طبقه متوسط قرار گرفته‌اند. در نهایت به منظور اعتبارسنجی نتایج مدل اقلیمی بیابانزایی از تغییرپذیری شاخص NDVI در طی ۴ دهه مطالعاتی استفاده گردید. بطوری که مشخص گردید در دهه‌های اخیر بر مساحت نواحی آبی و پوشش گیاهی حوضه کاسته و از طرف دیگر بر وسعت اراضی بایر افزوده شده است. نتایج مدل اقلیمی نیز گویای افزایش مساحت کلاس بیابانزایی شدید در دهه‌های اخیر بوده است. بنابراین می‌توان ملاحظه کرد که خروجی‌های این دو شاخص یافته‌های یکدیگر را تایید می‌نمایند.

در مجموع نتایج سایر پژوهش‌های قبلی نیز گویای افزایش روند دما، تشدید خشکسالی‌ها، کاهش قابل توجه آب زیر زمینی، تغییر کاربری اراضی و افزایش روند و شدت بیابانزایی برای حوضه گاوخونی بوده است. بطوری که در مطالعه‌ای که توسط عطایی انجام پذیرفت (۱۳۹۲)، مشخص گردید که در طی سال‌های ۱۳۶۱ تا ۲۰۱۰ متوسط دمای حوضه آبریز گاوخونی عمدتاً روند افزایشی داشته و تشدید خشکسالی‌ها، محدود شدن پهنه تالاب و تغییرات کمی و کیفی اکوسیستم را به دنبال داشته است. کیانی و همکاران (۱۳۹۵) در بازسازی بارش و دمای گذشته و مقایسه آن با حال حوضه گاوخونی نشان دادند که در دهه‌های کنونی نرخ بارش در حدود ۱,۵ برابر کاهش و نرخ دما با افزایش ۵ درجه‌ای نسبت به فاز آخر کوتاه‌تر تغییر داشته است. در پژوهشی دیگر به منظور بررسی میزان تغییرات سطح آب زیرزمینی و حجم ذخایر آبی آبخوان‌های کوهپایه سگری و مهیار جنوبی واقع در حوضه گاوخونی در طی سال‌های ۷۱-۱۳۷۰ تا ۹۲-۱۳۹۱ مشخص گردید که سطح ایستابی آبخوان کوهپایه سگری و مهیار جنوبی تا پایان دوره آماری مورد مطالعه به ترتیب ۲,۷۵ و ۱۲,۸۳ متر و حجم

اثر خشک شدن تاب گاوخونی دچار تخریب متوسط شده است.

غرب از شدت تخریب بیشتری برخوردارند. این در حالی است که شرق و جنوب منطقه مطالعاتی در

### منابع

۱. عطایی، هوشمند. (۱۳۹۲). شناسایی روند تغییرات ماهانه و سالانه متوسط دمای حوضه آبریز گاوخونی طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱. فصلنامه علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب، شماره ۵ (۱۷)، صص ۳۱-۳۶.
۲. کیانی، طیبه؛ رامشت، محمدحسین؛ ملکی، امجد؛ صفاکیش، فریده. (۱۳۹۵). بررسی تغییر اقلیم حوضه گاوخونی در فاز پایانی کوتاه‌تر. پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره ۴۸ (۲)، صص ۲۱۳-۲۲۹.
۳. ابراهیمی خوسفی، زهره؛ ولی، عباسعلی؛ قضاوی، رضا؛ خسروشاهی، محمد. (۱۳۹۸). بررسی میزان تغییرات سطح ایستابی و حجم ذخایر آبی آبخوان‌های غربی تالاب گاوخونی در دوره آماری ۱۳۷۰-۱۳۹۲. پژوهش آب ایران، شماره ۳۵ (۴)، صص ۱۱۳-۱۲۳.
۴. باقری، سمانه؛ زهتابیان، غلامرضا؛ خسروی، حسن؛ حیدری علمدارلو، اسماعیل. (۱۴۰۰). ارزیابی روند تغییرات بیابان‌زایی در کاربری‌های مختلف حوضه گاوخونی با استفاده از روش تحلیل بردار تغییر، مهندسی اکوسیستم بیابان. شماره ۱۰ (۳۳)، صص ۳۹-۵۲.
۵. طاوسی، تقی؛ شجاع، فائزه؛ اکبری، الهه؛ عسگری، الهه. (۱۳۹۵). ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و تحلیل روند بیابان‌زایی اقلیمی چاله گاوخونی. فضای جغرافیایی، شماره ۱۶ (۵۶)، صص ۷۹-۹۴.
۶. کرامت زاده، مژده؛ فتحی، احمد؛ معاضد، هادی. (۱۴۰۱). بررسی روند بیابان‌زایی منطقه جنوب شرق اهواز به روش IMDPA و تاکید بر دو معیار اقلیم و پوشش گیاهی. علوم و مهندسی آبیاری، شماره ۴۵ (۱)، صص ۱۵۳-۱۶۶.
۷. ذوالفقاری، فرهاد؛ خسروی، حسن. (۱۳۹۴). ارزیابی شدت بیابان‌زایی منطقه سراوان با استفاده از مدل IMDPA. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۲۷ (۲)، صص ۸۷-۱۰۲.
۸. جباری، رضوان؛ شیرینی، سمیه؛ پیشداد، سمیرا. (۱۳۹۳). بررسی روند تغییرات آب و هوایی و اثر آن در روند بیابان‌زایی دشت شیراز. اولین همایش ملی کشاورزی، محیط زیست و امنیت غذایی.
۹. اونق، مجید؛ رضانی، نفیسه؛ ماهینی، عبدالرسول؛ سپهر، عادل. (۱۳۹۸). مهندسی اکوسیستم بیابان، شماره ۹ (۲۶)، صص ۲۹-۴۲.
۱۰. قوامی، آسیه؛ اکبری، مرتضی؛ کریمی، آزاده؛ یزدان داد، حسین. (۱۴۰۰). بررسی اثر تغییر اقلیم و تغییر کاربری اراضی بر بیابان‌زایی منطقه حفاظت شده شیراحمد سبزوار. اولین همایش بین‌المللی و هشتمین همایش ملی مرتع داری ایران.
۱۱. ممینی، مریم؛ کرمشاهی، عبدالعلی؛ گرایبی، پرویز؛ آزادنیان، فرزاد؛ خسروی، حسن. (۱۳۹۴). ارزیابی وضعیت بالفعل بیابان‌زایی، با تاکید بر معیار آب، اقلیم و خاک با استفاده از مدل IMDPA (مطالعه موردی: دشت عباس). علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، شماره ۱۹ (۷۲).
۱۲. ولی، عباسعلی؛ موسوی، حجت؛ احمدی، موسی. (۱۳۹۴). ارزیابی شدت بیابان‌زایی حوضه مسجدسلیمان با استفاده از مدل IMDPA. مهندسی اکوسیستم بیابان، شماره ۴ (۹)، صص ۴۳-۵۶.
۱۳. ناطقی، سعیده؛ زهتابیان، غلامرضا؛ احمدی، حسن. (۱۳۹۲). نقدی بر مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی (IMDPA). بوم‌شناسی کاربردی، شماره ۲ (۴)، صص ۷۳-۹۹.
۱۴. ناطقی، سعیده؛ زهتابیان، غلامرضا؛ احمدی، حسن. (۱۳۸۷). ارزیابی شدت بیابان‌زایی دشت سگری با بهره‌گیری از مدل IMDPA. نشریه مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، شماره ۶۲ (۳)، صص ۴۱۹-۴۳۰.
۱۵. مصباح زاده، طیبه؛ احمدی، حسن؛ زهتابیان، غلامرضا؛ سرمیدیان، فریدون؛ مقیمی‌نژاد، فیروزه. (۲۰۱۳). واسنجی مدل IMDPA با توجه به معیارهای زمین به منظور ارائه یک مدل منطقه‌ای برآورد شدت بیابان‌زایی (مطالعه موردی: ابوزیدآباد کاشان). نشریه مرتع و آبخیزداری، شماره ۶۶ (۳)، صص ۴۶۹-۴۷۶.
۱۶. شاکریان، نوشین؛ زهتابیان، غلامرضا؛ آذرنبوند، حسین؛ خسروی، حسن. (۱۳۹۰). بررسی وضعیت فعلی بیابان‌زایی منطقه جرقویه اصفهان با استفاده از مدل IMDPA (با تاکید بر معیارهای آب، خاک و پوشش



- El Maleh, Morocco. *Geosciences*, 7(3), 50.
24. Budak, M., Günal, H., Çelik, İ., Yıldız, H., Acir, N., & Acar, M. (2018). Environmental sensitivity to desertification in northern Mesopotamia; application of modified MEDALUS by using analytical hierarchy process. *Arabian Journal of Geosciences*, 11(17), 1-21.
25. Bedoui, C. (2020). Study of desertification sensitivity in Talh region (Central Tunisia) using remote sensing, GIS and the MEDALUS approach. *Geoenvironmental Disasters*, 7(1), 1-16.
26. Aliero, M. M., Ismail, M. H., Alias, M. A., & Sood, A. M. (2021). Geospatial analysis of desertification vulnerability using Mediterranean desertification and land use (MEDALUS) model in Kebbi State, Nigeria. *Applied Geomatics*, 13(4), 527-536.
27. Kilic, E.O. (2022). Assessing Environmental Sensitivity in San Diego County, California, for Bird Species of Special Concern. PHD Thesis. University of South Florida.
28. Elnashar, A., Zeng, H., Wu, B., Gebremicael, T. G., & Marie, K. (2022). Assessment of environmentally sensitive areas to desertification in the Blue Nile Basin driven by the MEDALUS-GEE framework. *Science of the Total Environment*, 815, 152925.
29. Mihi, A., Ghazela, R. (2022). Mapping potential desertification-prone areas in North-Eastern Algeria using logistic regression model, GIS, and remote sensing techniques. *Environmental Earth Sciences*, 81(15), 1-14.
30. <https://www.ipcc.ch/srccl/chapter/chapter/>
- گیاهی). نشریه مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، شماره ۶۴(۴)، صص ۴۱۱-۴۲۱.
۱۷. ذوالفقاری، فرهاد؛ شهریاری، علیرضا؛ فخریه، اکبر؛ راشکی، علیرضا؛ نوری، سهیلا؛ خسروی، حسن. ارزیابی شدت بیابان‌زایی دشت سیستان با استفاده از مدل IMDPA. پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۲۴(۲)، صص ۹۷-۱۰۷.
۱۸. سیلاخوری، اسماعیل؛ اونق، مجید؛ سعدالدین، امیر. (۱۳۹۶). بررسی توزیع مکانی خطر بیابان‌زایی منطقه سبزوار با استفاده از مدل IMDPA. فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست، شماره ۲۱(۴)، صص ۲۰۳-۲۱۷.
۱۹. میردیلیمی، مریم؛ رحیمی، محمد؛ نیکو، شیما؛ دماوندی، علی اکبر. (۱۳۹۹). مطالعه‌ی پتانسیل بیابان‌زایی بر اساس تغییرات کاربری اراضی و معیار اقلیم در دشت دامغان. نشریه علمی تحقیقات مرتع و بیابان ایران، شماره ۲۷(۱)، صص ۵۸-۷۴.
۲۰. نجفی، علی. (۱۴۰۰). بررسی وضعیت بیابان‌زایی دشت نمدان با استفاده از مدل ایرانی IMDPA. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان.
۲۱. برنا، رضا. (۱۴۰۰). تحلیل وضعیت بیابان‌زایی با استفاده از مدل IMDPA با رویکرد تغییر اقلیم (مطالعه موردی: شهرستان شادگان). نشریه پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۲(۶)، ۱۹-۳۰.
22. Tucker, C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2), 127-150.
23. Lahlaoui, H., Rhinane, H., Hilali, A., Lahssini, S., & Moukrim, S. (2017). Desertification assessment using MEDALUS model in watershed Oued

