مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی
Management of Natural Ecosystems
دوره ۵، شماره ۱، بهار ۱۴۰۴، ۱۳-۱
Volume 5, Issue 1, Spring 2025, 1-13
http://emj.ardakan.ac.ir/article_732495.html

ارزیابی روند بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکزی ایران (مطالعه موردی: حوزه‌های آبخیز تالاب گاوخونی و طشک-بختگان-مهارلو)

سحرناز شکوهی‌زادگان[۱]، حسن خسروی*[۲]، غلامرضا زهتابیان[۲]، طیبه مصباح‌زاده[۳]، اسماعیل حیدری علمدارلو[۴]

مقاله پژوهشی

۱. دانشجوی دکتری، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
saharnazshekoohi@gmail.com
۲. استاد، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
hakhosravi@ut.ac.ir
* نویسنده مسئول
ghzehtab@ut.ac.ir
۳. دانشیار، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
tmesbah@ut.ac.ir
۴. پسادکتری، گروه احیاء مناطق خشک و کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
esmailheidary@gmail.com

شناسه مقاله: ۲۵۱۱-۱۱۳۱
شماره صفحه پیاپی: ۹۷۵-۹۸۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۸/۱۷
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۱۴
انتشار آنلاین: ۱۴۰۴/۰۹/۱۹
زمان پذیرش: ۲۸ روز

استناددهی:
شکوهی‌زادگان، س.، خسروی، ح.، زهتابیان، غ.، مصباح‌زاده، ط.، و حیدری‌علمدارلو، ا. (۱۴۰۴). ارزیابی روند بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در مناطق خشک و نیمه‌خشک مرکزی ایران مطالعه موردی: حوزه‌های آبخیز تالاب گاوخونی و طشک-بختگان-مهارلو). مدیریت اکوسیستم‌های طبیعی، (۱)۵، ۱۳-۱.

چکیده

پدیده‌ی بیابان‌زایی و تخریب سرزمین از چالش‌های اساسی زیست‌محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است که پایداری اکولوژیکی، منابع آب و امنیت غذایی را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهد. این پژوهش با هدف پایش بلندمدت روند بیابان‌زایی و ارزیابی تغییرات اکولوژیکی در دو حوزه حساس تالاب گاوخونی و طشک-بختگان-مهارلو (TBM) طی بازه‌ی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ انجام شد. برای این منظور، از داده‌های سنجنده مودیس ماهواره ترا، جهت استخراج شاخص‌های پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده و تولید اولیه خالص استفاده گردید و سپس شاخص ترکیبی تخریب و توسعه‌ی سرزمین با بهره‌گیری از مدل فاصله اقلیدسی محاسبه شد. تحلیل روندهای زمانی شاخص تخریب و توسعه سرزمین در سطح پیکسل با آزمون ناپارامتریک من-کندال انجام گرفت. نتایج نشان داد که، بیش از ۶۸ درصد از سطح حوزه گاوخونی روند منفی و معنادار شاخص تخریب و توسعه سرزمین را نشان داده است و دارای مقادیر پایین شاخص (کمتر از ۰/۴) که بیانگر شدت بالای تخریب سرزمین در نواحی مرکزی حوزه شامل بخش‌هایی از شهرستان اصفهان و همچنین بخش‌های شرقی و جنوبی حوزه به‌خصوص در اطراف ورزنه، حسن‌آباد، سگزی و شرق نائین است؛ مناطقی که به‌دلیل کاهش جریان زاینده‌رود و خشکی تالاب گاوخونی دچار افت شدید شاخص‌های تفاضلی نرمال‌شده‌ی پوشش گیاهی و تولید اولیه خالص شده‌اند. در حوزه طشک-بختگان-مهارلو روند کلی شاخص نوسانی و نسبتاً پایدارتر بود به‌طوریکه حدود ۴۲ درصد از سطح این حوزه شامل بخش‌های شمالی و غربی ارتفاعات زاگرس، آباده و سپیدان دارای مقادیر شاخص تخریب و توسعه سرزمین بین ۰/۶ تا ۰/۸ و شرایط اکولوژیکی به نسبت مطلوب‌تر بودند. در مقابل، نواحی پایین‌دست و مرکزی به‌ویژه پیرامون دریاچه‌های بختگان و مهارلو بیشترین شدت بیابان‌زایی را نشان دادند. نتایج مکانی و زمانی شاخص تخریب و توسعه سرزمین نشان داد که این شاخص می‌تواند ابزاری دقیق برای شناسایی مناطق بحرانی تخریب سرزمین باشد و روندهای اکولوژیکی را با تفکیک مکانی بالا آشکار سازد. این پژوهش می‌تواند مبنایی علمی برای مدیریت منابع آب، احیای پوشش گیاهی و برنامه‌ریزی زیست‌محیطی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران فراهم سازد.

واژگان کلیدی:

بیابان‌زایی، تخریب سرزمین، طشک-بختگان-مهارلو، گاوخونی.

شاپا: ۱۸۲-۰ ۲۸۲۱
DOI: 10.22034/emj.2025.732495

۱- مقدمه

مناطق خشک و نیمه‌خشک به‌دلیل ویژگی‌های اقلیمی خاص، پوشش گیاهی پراکنده و ظرفیت پایین خودپالایی اکوسیستم، از آسیب‌پذیرترین زیست بوم‌های کره زمین محسوب می‌گردند و با داشتن اکوسیستم‌های حساس و شکننده، همواره در معرض فرآیندهای تخریب سرزمین و بیابان‌زایی قرار دارند (Boali et al., 2024). تخریب سرزمین یکی از چالش‌های اساسی زیست‌محیطی جهان است که ظرفیت پایداری و تولید اکولوژیکی را کاهش می‌دهد، به‌طوریکه در این فرآیند با کاهش تولید زیست‌توده، افت پوشش گیاهی و کاهش حاصلخیزی خاک، بهره‌برداری پایدار از منابع طبیعی با تهدید بسیار جدی مواجه است (Salvati and Zitti, 2008 ؛Masoudi et al., 2018). کنوانسیون مبارزه با بیابان‌زایی سازمان ملل متحد، این فرآیند را در مناطق خشک و نیمه‌خشک، بیابان‌زایی می‌نامد که تحت تأثیر تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی رخ می‌دهد. این پدیده تأثیرات عمیقی بر اکوسیستم‌ها و رفاه انسانی برجای گذاشته و مجموعه‌ای از چالش‌های زیست‌محیطی و اجتماعی را به‌همراه داشته است، از جمله افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای، تشدید تغییرات اقلیمی، کاهش تنوع زیستی، وقوع طوفان‌های شن و تهدید امنیت غذایی و منابع آبی (Bastin et al., 2019).

این پدیده پیامدهای گسترده‌ای از جمله کاهش تنوع زیستی، تهدید امنیت غذایی و منابع آبی، خسارات اقتصادی و مهاجرت اجباری میلیون‌ها نفر در سراسر جهان دارد. (Elnashar et al., 2021). از این‌رو، شناسایی مناطق مستعد، ارزیابی شدت تخریب زمین و پایش مستمر وضعیت اکوسیستم‌ها، از جمله راهکارهای کلیدی برای مقابله مؤثر با بیابان‌زایی و کاهش پیامدهای آن به‌شمار می‌روند (Duan et al., 2019). در راستای کنترل این پدیده، موضوعی که بسیار اهمیت دارد، شناسایی مناطق حساس به تخریب و همچنین تعیین روند تغییرات آن می‌باشد. برای مدیریت مناطق مستعد به بیابان‌زایی نیاز به اطلاعات صحیح و متناسبی مبتنی بر شواهدی است که بتواند الگوهای تخریب سرزمین و اثرات مدیریتی که در قالب پاسخ قابل اجرا است را نشان دهد. در ایران، مناطق حساس از نظر بوم‌شناسی نیازمند مدیریت ویژه برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار هستند و تعیین روابط میان متغیرهای محیطی و بیابان‌زایی می‌تواند به ارتقای مدیریت سرزمین کمک کند (Dastorani, 2022).

با توجه به رشد ۱ درصدی سالانه بیابان‌زایی در ایران و گسترش فزاینده آن، یافتن روش‌های پایش و تعیین روند تغییرات موجود و پیش‌بینی روند آن بیشتر از همیشه ضرورت دارد (بخشنده‌مهر و همکاران، ۱۳۹۲) بر اساس گزارش‌های اخیر، حدود ۶۸ درصد از مساحت ایران دارای حساسیت زیاد تا بسیار زیاد نسبت به بیابان‌زایی است (Eskandari Dameneh et al., 202) که نشان‌دهنده آسیب‌پذیری گسترده کشور در برابر این پدیده می‌باشد. این مسئله با توجه به موقعیت جغرافیایی ایران در کمربند خشک جهانی، اهمیت راهبردی دارد.

بنابراین روش‌های ارزیابی و پایش تخریب سرزمین اهمیت ویژه‌ای دارد. تاکنون رویکردهای مختلفی برای ارزیابی روند تخریب و بیابان‌زایی معرفی شده است که شامل شاخص‌های پوشش گیاهی[1]، مدل‌های فرآیندی تخریب خاک، تحلیل تغییرات کاربری اراضی، مدل‌های بیابان‌زایی (مدل ایرانی ارزیابی پتانسیل بیابان‌زایی[2]، مدالوس[3])، مدل‌ها و شاخص‌های خشکسالی بارش استاندارد شده[4] و شاخص‌های ترکیبی می‌باشد. در دهه‌های اخیر، تغییرات کاربری اراضی و برداشت بی‌رویه منابع آبی، تأثیرات قابل‌توجهی بر اکوسیستم‌های حساس ایران، به‌ویژه تالاب‌های گاوخونی و بختگان، داشته‌است. مطالعات نشان می‌دهد که کاهش شدید جریان‌های سطحی در حوزه زاینده‌رود منجر به خشکی گسترده تالاب گاوخونی شده و فرآیندهای بیابان‌زایی را تشدید کرده است (Zaki et al., 2020).

به‌طور مشابه، در حوزه طشک- بختگان- مهارلو در استان فارس، تغییرات اقلیمی، توسعه کشاورزی ناپایدار و افت تراز آب زیرزمینی باعث خشک‌شدن دریاچه‌ها و افزایش گردوغبار شده‌اند (حسینی و همکاران، ۱۴۰۰؛ میرموسوی، ۱۴۰۳).

ارزیابی دقیق روند بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در حوزه‌های گاوخونی و بختگان می‌تواند مبنایی علمی برای برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای، بازسازی اکوسیستم‌ها و مدیریت پایدار منابع طبیعی فراهم آورد (باقری و همکاران، ۱۴۰۰). در دهه‌های اخیر، توسعه‌ی فناوری‌های سنجش از دور امکان پایش دقیق و گسترده‌ی فرآیندهای بیابان‌زایی و تخریب سرزمین را در مقیاس‌های زمانی و مکانی مختلف فراهم ساخته است. شاخص‌های پوشش گیاهی مانند شاخص تفاضلی نرمال‌شده‌ی پوشش گیاهی و تولید اولیه خالص[5]از مهم‌ترین متغیرهای مورد استفاده در این زمینه هستند و بیانگر وضعیت سبزینه، زی‌توده و کارایی فتوسنتزی پوشش گیاهی می‌باشند (Li et al., 2020).

با وجود این، استفاده‌ی منفرد از شاخص تفاضلی نرمال‌شده‌ی پوشش گیاهی در مناطق با پوشش گیاهی متراکم یا شرایط اقلیمی متفاوت، می‌تواند منجر به خطا در برآورد واقعی تغییرات زی‌توده شود (Camps-Valls et al., 2021). از این‌رو، پژوهش‌های اخیر با ادغام شاخص تفاضلی نرمال‌شده‌ی پوشش گیاهی و تولید اولیه خالص و همچنین بهره‌گیری از روش فاصله اقلیدسی، شاخصی ترکیبی جدیدی به نام شاخص تخریب و توسعه سرزمین[6] معرفی کرده‌اند که قادر است تغییرات هم‌زمان سبزینه و تولید زی‌توده را در بازه‌های بلندمدت با دقت بیشتری آشکار سازد (Kang et al., 2021).

این رویکرد می‌تواند ابزار کارآمدی برای بررسی روندهای بیابان‌زایی و احیای اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک، از جمله حوزه‌های داخلی ایران، فراهم آورد. بر این اساس، هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی روند تغییرات بلندمدت بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در دو حوزه حساس تالاب گاوخونی

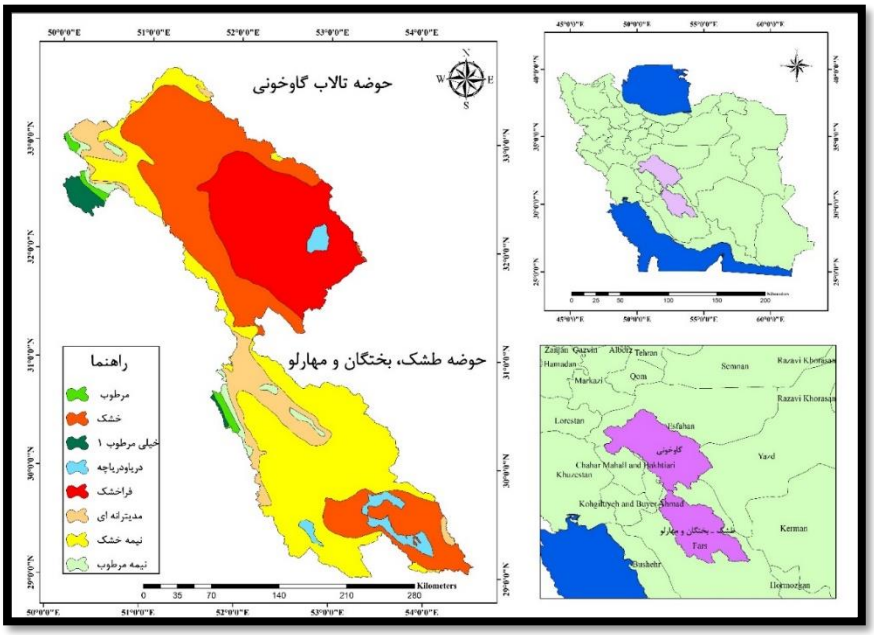
1. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)
2. Iranian Model of Desertification Potential Assessment (IMDPA)
3. Mediterranean Desertification and Land Use Model (MEDALUS)
4. Standardized Precipitation Index (SPI)
5. Net Primary Production (NPP)
6. Land Degradation and Development Index (LDDI)

و طشک– بختگان– مهارلو با بهره‌گیری از شاخص‌های ترکیبی سنجش از دور و تحلیل‌های آماری، به‌منظور شناسایی مناطق بحرانی و ارائه مبنایی علمی برای مدیریت پایدار منابع طبیعی در مناطق خشک و نیمه‌خشک ایران است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

این پژوهش در دو حوزه آبخیز واقع در نواحی مرکزی و جنوبی ایران انجام شده است که از نظر ویژگی‌های اقلیمی، توپوگرافی، پوشش گیاهی و کاربری اراضی تفاوت‌های قابل‌توجهی دارند (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

حوزه نخست، تالاب بین‌المللی گاوخونی در شرق استان اصفهان قرار دارد و از جمله مناطق خشک ایران است. حوزه آبخیز تالاب گاوخونی با مساحت تقریبی ۴۱۳۴ کیلومتر مربع در ناحیه میان‌رشته‌ای زاگرس و ارتفاعات مرکزی ایران واقع شده است. این حوزه بین طول‌های جغرافیایی ۵۰ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۲۴ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۱ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۴۲ درجه شمالی قرار دارد. حدود ۷۸/۷ درصد از مساحت این حوزه در استان اصفهان واقع شده و بخش‌های باقی‌مانده آن در استان‌های چهارمحال و بختیاری، یزد و فارس گسترده شده‌اند. رودخانه اصلی این حوزه، زاینده‌رود است که از ارتفاعات زردکوه سرچشمه می‌گیرد و پس از طی مسیر طولانی، به تالاب گاوخونی در انتهای شرقی حوزه می‌ریزد. اقلیم منطقه به‌طور کلی خشک است؛ به‌طوری‌که میانگین بارندگی سالانه حدود ۸۹ میلی‌متر و میانگین دمای سالانه در حدود ۱۶/۴ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است. این ویژگی‌های اقلیمی، همراه با فشارهای انسانی و تغییرات کاربری اراضی، منطقه را به یکی از کانون‌های حساس به بیابان‌زایی در کشور تبدیل کرده‌اند (عطایی و فنایی، ۱۳۹۲).

حوزه دوم، طشک- بختگان- مهارلو در استان فارس، در جنوب ایران واقع شده است. حوزه دریاچه‌های طشک- بختگان- مهارلو (TBM)، یکی از پهنه‌های کوهستانی جنوب ایران است که در دامنه‌های شرقی بخش جنوبی رشته‌کوه زاگرس قرار دارد. این حوزه بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۱۱ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۱ درجه و ۴۲ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی واقع شده و مساحت آن حدود ۳۱۴۵۸/۴۰ کیلومتر مربع برآورد شده‌است (Dehghan Rahimabadi et al., 2024).

ارتفاع از سطح دریا در این منطقه از حدود ۱۳۶۶ متر در مجاورت دریاچه مهارلو در جنوب شرقی تا ۳۹۲۲ متر در ارتفاعات شمال شرقی متغیر است (Salmani-Dehaghi and Samani, 2019). اقلیم غالب منطقه خشک تا نیمه‌خشک، با تابستان‌هایی گرم و زمستان‌هایی نسبتاً سرد و همراه با بارندگی‌های پراکنده است (Ghazali et al., 2021)میانگین دمای سالانه در این حوزه حدود ۱۹/۴۴ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه حدود ۳۱۴/۱۴ میلی‌متر گزارش شده است.

با این حال، توزیع بارش در سطح حوزه ناهمگن بوده و از حدود ۲۰۰ میلی‌متر در نواحی جنوب شرقی تا بیش از ۷۰۰ میلی‌متر در نواحی شمال غربی متغیر است (Nasiri et al., 2023). هر دو منطقه طی دو دهه اخیر با کاهش شدید منابع آبی، خشکسالی‌های متوالی و تغییرات گسترده در کاربری

اراضی مواجه بوده‌اند، به‌ویژه کاهش اراضی مرطوب و گسترش کاربری‌های کشاورزی و شهری (Darabi et al., 2021). انتخاب این دو حوزه امکان مقایسه روند تخریب سرزمین در شرایط اقلیمی متفاوت را فراهم می‌سازد و زمینه‌ساز تحلیل دقیق‌تر فرآیندهای بیابان‌زایی در ایران است.

۲-۲- استخراج داده‌ها، پیش پردازش و تهیه شاخص‌های سنجش‌ازدور

در این مطالعه، به‌منظور پایش روند تخریب سرزمین و بیابان‌زایی، از دو شاخص کلیدی پوشش گیاهی و تولید زی‌توده گیاهی شامل شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی و تولید اولیه خالص استفاده شد.

این شاخص‌ها در مطالعات پیشین به‌عنوان معیارهای قابل‌اعتماد برای ارزیابی کاهش پوشش گیاهی، افت عملکرد اکوسیستم و تغییرات زیست‌محیطی معرفی شده‌اند (Chen et al., 2023) استخراج داده‌ها از طریق کدنویسی در گوگل ارث انجین[1]انجام شد. برای محاسبه شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی، از محصول MOD13Q1 نسخه ۶ با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و بازه زمانی ۱۶ روزه استفاده شد. به‌منظور تولید نقشه‌های سالانه شاخص تفاضلی نرمال‌شده پوشش گیاهی، میانگین شاخص از طریق میانگین‌گیری زمانی تمامی تصاویر ۱۶ روزه محصول MOD13Q1 در هر سال و به‌صورت پیکسل‌به‌پیکسل در محیط گوگل ارث انجین محاسبه شد.

برای محاسبه تولید اولیه خالص، از محصول سالانه MOD17A3HGF نسخه ۶/۱ با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و بازه زمانی سالانه بهره گرفته شد که خروجی آن به‌طور پیش‌فرض مقدار تولید اولیه خالص سالانه است و پس از استخراج، به‌عنوان میانگین سالانه مورد استفاده قرار گرفت.

دوره زمانی مورد بررسی از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ تعیین گردید. خروجی‌های نهایی به‌صورت تصاویر رستری استاندارد، آماده‌سازی و پیش پردازش شدند و برای تحلیل‌های مکانی و زمانی در محیط‌های پردازش تصویر و GIS مورد استفاده قرار گرفتند.

۲-۳- محاسبه شاخص تخریب و توسعه زمین

برای ارزیابی وضعیت تخریب زمین، از شاخص تخریب و توسعه سرزمین استفاده شد. این شاخص بر پایه روش فاصله اقلیدسی تعریف می‌شود (Mesquita et al., 2017) که کاربرد گسترده‌ای در مطالعات زیست‌محیطی، از جمله پایش خشکسالی و تحلیل تغییرات اکوسیستم دارد (Kang et al., 2021) بر اساس این روش مدل فاصله اقلیدسی را می‌توان به صورت زیر نوشت، که ρ نشان دهنده فاصله اقلیدسی بین نقاط (x1, y1) و (x2, y2) است.

$$\rho = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$ معادله (۱)

در این مطالعه، مختصات هر نقطه در فضای ویژگی‌ها شامل مقادیر نرمال‌شده پوشش گیاهی و تولید اولیه خالص است. برای این منظور، ابتدا مقادیر سالانه شاخص نرمال شده گیاهی و تولید اولیه خالص با استفاده از معادله‌های (۲) و (۳) به بازه [۰ ,۱] نرمال‌سازی شدند:

$$NNDVI = \frac{NDVI - NDVImin}{NDVImax - NDVImin}$$ معادله (۲)

$$NPP = \frac{NPP - NPPmin}{NPPmax - NPPmin}$$ معادله (۳)

سپس، شاخص تخریب و توسعه سرزمین به‌صورت فاصله اقلیدسی هر نقطه از مبدأ مختصات (یعنی نقطه‌ای با حداقل شاخص نرمال‌شده پوشش گیاهی و تولید اولیه خالص) محاسبه شد (معادله ۴).

$$LDDI = \sqrt{(NNDVI - NNDVImin)^2 + (NNPP - NNPP\ min)^2}$$ معادله (۴)

با توجه به اینکه مقادیر نرمال‌شده حداقل برابر با صفر هستند، رابطه نهایی به‌صورت معادله (۵) ساده‌سازی شد:

$$LDDI = \sqrt{(NNDVI)^2 + (NNPP)^2}$$ معادله (۵)

محاسبات فوق با استفاده از ابزار Raster Calculator در ArcGIS 10.8 انجام شد.

۲-٤- تحلیل روند زمانی شاخص تخریب و توسعه سرزمین

برای شناسایی روندهای افزایشی یا کاهشی شاخص تخریب و توسعه سرزمین، از آزمون آماری من -کندال[2]استفاده شد. این آزمون ناپارامتریک، یکی از روش‌های پرکاربرد در تحلیل سری‌های زمانی زیست‌محیطی و اقلیمی است و برای بررسی معنی‌داری روندهای بلندمدت به‌کار می‌رود (Zhou et al., 2020). آزمون من-کندال تغییرات یکنواخت در داده‌های سری زمانی را ارزیابی کرده و جهت و شدت روند را مشخص می‌کند. در این آزمون بدون نیاز به فرض نرمال‌بودن داده‌ها، روند تغییرات بررسی می‌گردد. اساس کار آن بر مقایسه جفت‌داده‌ها در طول زمان است و در نهایت آماره‌های S و سپس Z محاسبه می‌شوند. اگر مقدار Z مثبت باشد نشان‌دهنده روند افزایشی است، در حالی‌که مقدار منفی Z بیانگر روند کاهشی خواهد بود؛ همچنین زمانی که قدر مطلق Z برابر یا بزرگ‌تر از ۱/۹۶ باشد، روند در سطح اطمینان ۹۵ درصد معنی‌دار تلقی می‌شود و اگر قدر مطلق Z به ۲/۵۸ یا بیشتر برسد، روند در سطح اطمینان ۹۹ درصد معنی‌دار خواهد بود. در مجموع، این آزمون ابزاری قدرتمند برای تحلیل تغییرات یکنواخت در سری‌های زمانی به‌شمار می‌آید. در این مطالعه، آزمون برای هر پیکسل از نقشه‌های سالانه شاخص تخریب و توسعه سرزمین در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲

1. Google Earth Engine
2. Mann–Kendall

اعمال شد تا مناطق با روند مثبت (بهبود اکولوژیکی و کاهش روند تخریب و بیابان‌زایی) و روند منفی (تشدید تخریب و افزایش روند بیابان‌زایی) شناسایی شود. آستانه سطح معنی‌داری پنج درصد بررسی گردید. بنابراین مناطقی که دارای روند افزایشی در شاخص تخریب و توسعه سرزمین بودند به‌عنوان نقاط کاهش شدت تخریب و بیابان‌زایی و مناطقی که روند ثابت و یا کاهشی در شاخص داشتند، نیز به‌عنوان نقاط افزایش شدت بیابان‌زایی در نظر گرفته شد. تحلیل‌های آماری در محیط نرم‌افزار TerrSet 2020 و از طریق ماژول Earth Trends Modeler انجام شد.

۳- نتایج

۳-۱- شاخص های نرمال شده پوشش گیاهی و تولید خالص اولیه سالانه

بررسی تغییرات شاخص‌های پوشش گیاهی و تولید اولیه خالص در بازه‌ی زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ نشان داد که هر دو شاخص نوسانات قابل‌توجهی را تجربه کرده‌اند. در حوزه تالاب گاوخونی، مقدار شاخص نرمال شده پوشش گیاهی در سال‌های ابتدایی مطالعه در حد متوسط بوده ولی از میانه‌ی دوره (به‌ویژه از سال ۲۰۰۸ به بعد) روندی کاهشی نشان داده است (شکل۲). کاهش پیوسته‌ی پوشش گیاهی در این حوزه با افت چشم‌گیر تولید اولیه خالص هم‌زمان بوده که بیانگر کاهش زی‌توده‌ی سبز و ضعف عملکرد اکوسیستم‌های گیاهی است. این روند، نشانه‌ای از گسترش تخریب سرزمین و تشدید فرآیند بیابان‌زایی در نواحی پیرامونی تالاب است. در مقابل، در حوزه طشک— بختگان— مهارلو (TBM)، تغییرات پوشش گیاهی و تولید اولیه خالص نوسانی‌تر بوده و در بخش‌هایی از شمال و غرب حوزه، روندهای نسبتاً پایداری مشاهده شد. نواحی جنوبی و مرکزی حوضه TBM به دلیل تمرکز فعالیت‌های کشاورزی و کاهش تراز آب‌های زیرزمینی، بیشترین کاهش را در شاخص‌های سبزینه و تولید اولیه نشان دادند (شکل‌های ۲ و ۳).

۳-۲-تغییرات سالانه شاخص تخریب و توسعه سرزمین

نقشه شاخص تخریب و توسعه سرزمین محاسبه شده در هر سال از بازه زمانی در شکل (۴) نشان داده شده است.

نتایج حاصل از محاسبه‌ی شاخص تخریب و توسعه‌ی سرزمین نشان داد که در حوزه گاوخونی، بخش عمده‌ای از پهنه‌ها دارای مقادیر پایین شاخص (LDDI < 0.4) هستند که نشانگر تخریب شدید و پایداری کم زی‌توده‌ی گیاهی است. در حوزه TBM نیز الگوی مکانی مشابهی با شدت کمتر مشاهده شد.

بررسی نقشه‌های سالانه تخریب و توسعه‌ی سرزمین نشان می‌دهد که از سال ۲۰۰۸ الگوی رنگی پهنه به‌صورت قابل‌توجهی به سمت نارنجی متمایل به قرمز حرکت کرده است، تغییری که بیانگر افزایش تنش اکولوژیکی، کاهش پوشش گیاهی و افت تولید زی‌توده در بخش عمده‌ای از حوزه است. این روند در سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ به اوج خود رسیده، به‌طوری که تقریباً تمام منطقه در نقشه کاملا به رنگ قرمز درآمده است که نشان‌دهنده بیشترین شدت تخریب سرزمین و ارتباط مستقیم آن با کاهش شدید پوشش گیاهی و تولید اولیه خالص در این سال‌هاست.

پس از یک دوره نوسان، از سال ۲۰۱۸ دوباره رنگ نقشه‌ها به سمت نارنجی تا نارنجیِ مایل به قرمز برگشته که نشان‌دهنده بازگشت تنش متوسط تا شدید در پوشش گیاهی و عملکرد اکوسیستم است. در نهایت، در سال ۲۰۲۲ مجدداً بخش اعظم پهنه به رنگ قرمز مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده تداوم و تثبیت تخریب شدید و کاهش پایدار شاخص‌های زی‌توده در این سال است.

۳-۳- تحلیل روند شاخص تخریب و توسعه‌ی سرزمین

جهت بررسی روندهای زمانی شاخص تخریب و توسعه‌ی سرزمین، آزمون آماری من-کندال و شیب سن[1]در سطح پیکسل اعمال شد. این آزمون روندهای افزایشی، کاهشی و غیرمعنی‌دار را در داده‌های سری زمانی آشکار ساخت (شکل ۵).

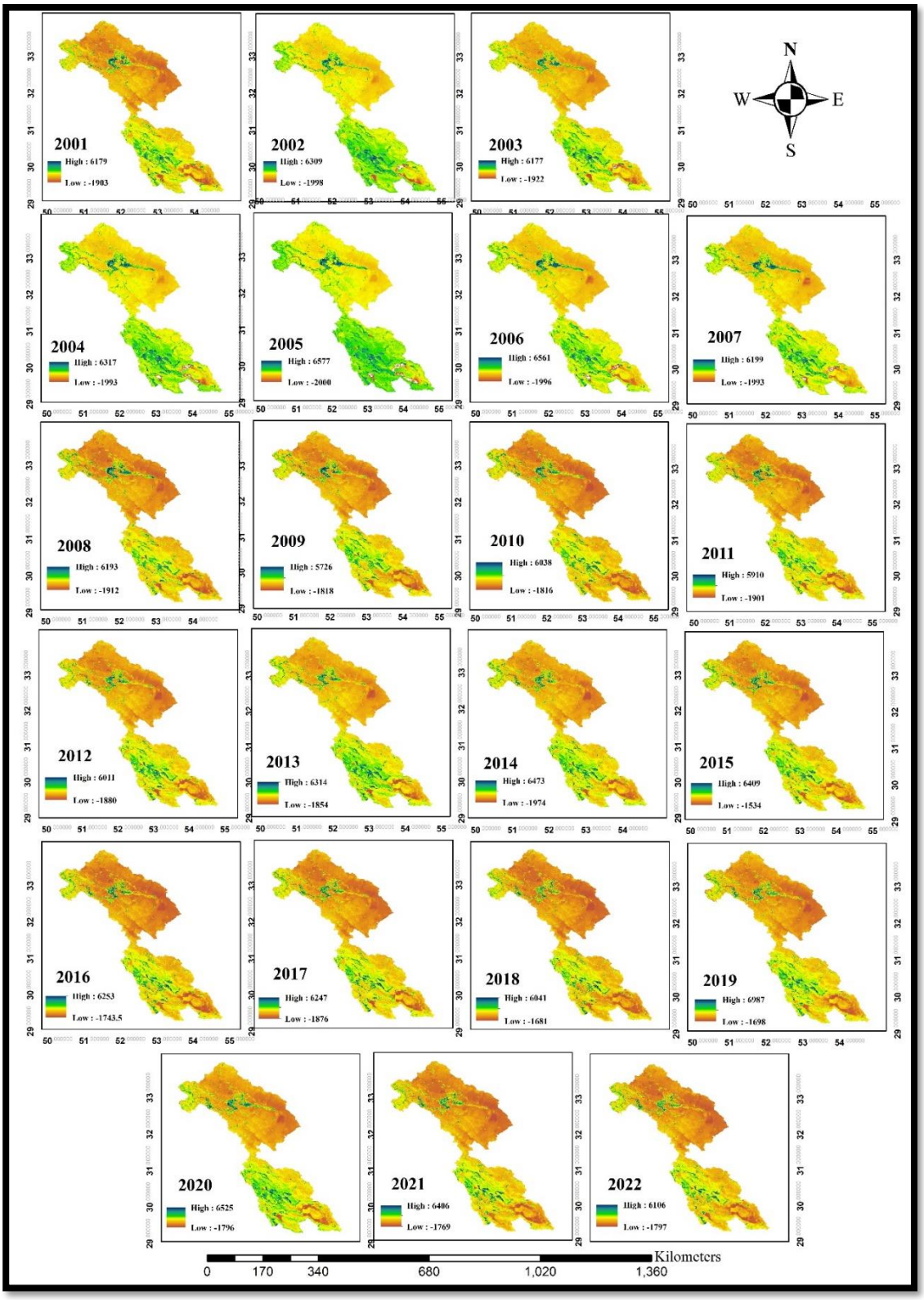
در بخش‌هایی که روند تغییرات زمانی شاخص کاهشی است، بیابان‌زایی و تخریب رخ داده است و در مناطقی با روند افزایشی، شدت بیابان‌زایی ناچیز بوده که می‌توان گفت نشانگر عملیات احیای اکولوژیکی و بهبود در منطقه است. روندهای کاهشی شاخص تخریب و توسعه‌ی سرزمین به دو سطح شدت بر اساس شیب سن تقسیم شده‌اند تا علاوه‌بر جهت تغییر، شدت تخریب نیز مشخص شود.

نتایج نشان می‌دهد بیش از ۶۸ درصد از سطح حوضه گاخونی دارای روند منفی در شاخص تخریب و توسعه‌ی سرزمین است. این روند بیانگر کاهش مداوم پوشش گیاهی و تولید زی‌توده و در نتیجه تشدید فرآیند بیابان‌زایی در این منطقه است. در حوزه TBM، روند شاخص تخریب و توسعه‌ی سرزمین نوسانی اما نسبتاً پایدار بوده است. حدود درصد از سطح حوزه دارای روند منفی است، اما در بسیاری از نواحی مرتفع، تغییرات معنی‌داری مشاهده نشده و حتی در برخی مناطق، روند نسبتا مثبت ثبت شده است که نشان‌دهنده‌ی ثبات نسبی شرایط اکولوژیکی در این بخش‌هاست.

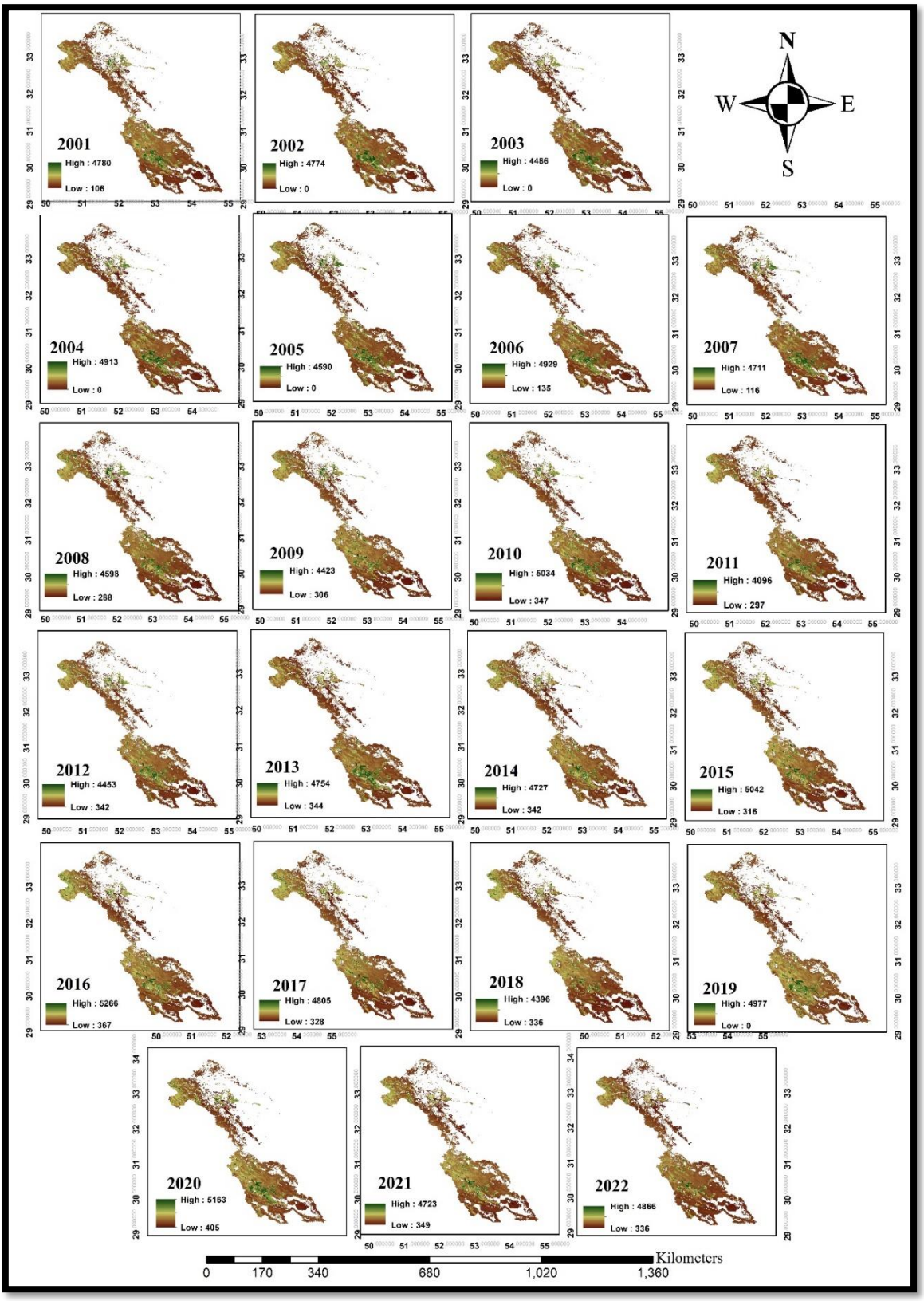
نقشه طبقات مختلف بیابان‌زایی شامل ۵ کلاس شدت تخریب نشان می‌دهد که در حوزه گاوخونی، شدت تخریب سرزمین به‌طور چشمگیری در نواحی مرکزی، شرقی و جنوبی حوضه متمرکز است. مناطق اطراف تالاب خشک‌شده گاوخونی، به‌ویژه شهرهای ورزنه، اژیه، حسن‌آباد جرقویه، جرقویه علیا و سفلی، زیار و شرق شهرستان اصفهان، در طبقات شدید و خیلی شدید تخریب قرار گرفته‌اند (شکل۶).

1. Sen's Slope

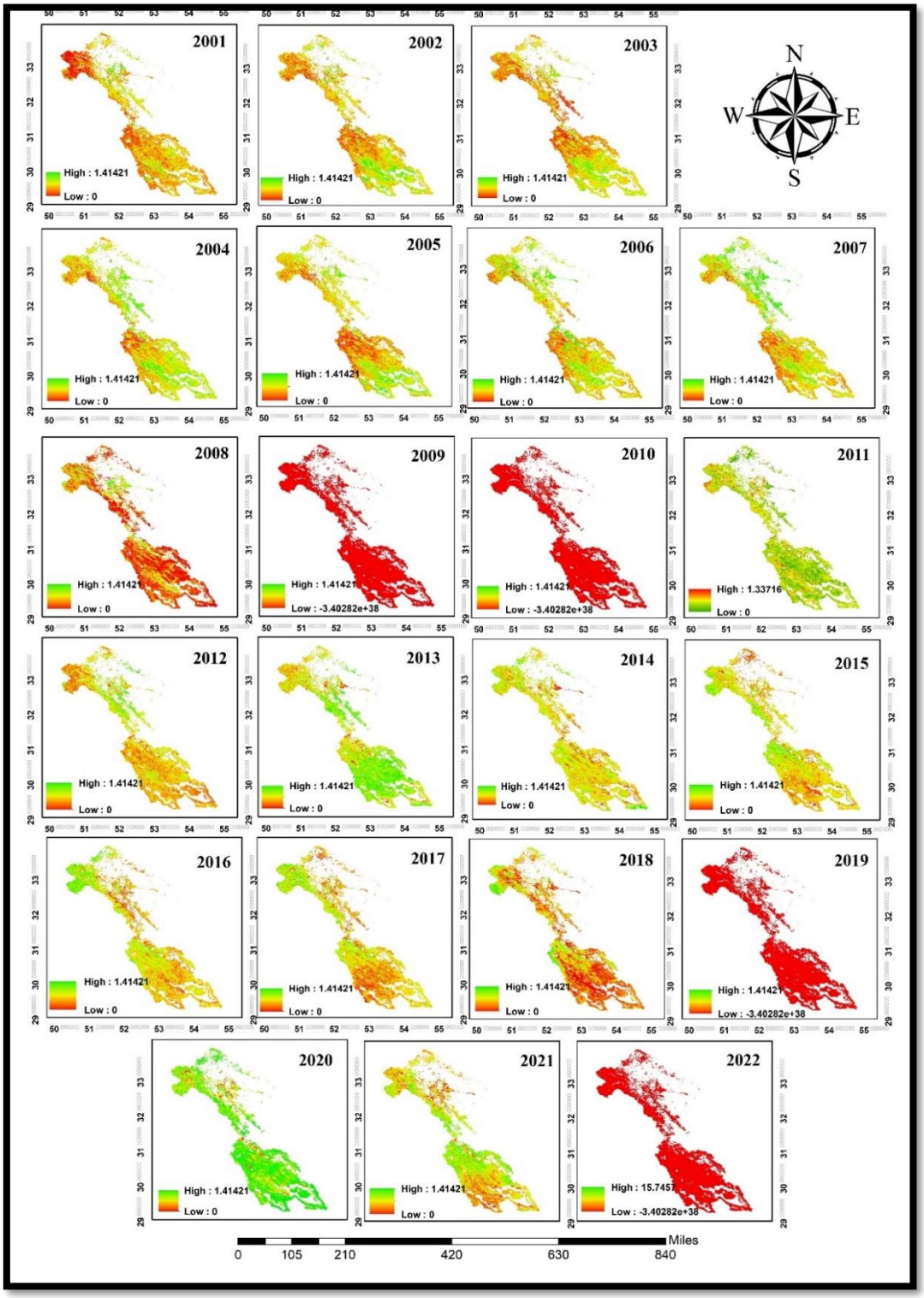
در حوزه TBM، شدت تخریب در نواحی مرکزی و جنوبی حوزه بیشتر است، در حالی‌که نواحی شمالی و غربی، شامل مناطق سپیدان، آباده و ارتفاعات زاگرس جنوبی، دارای مقادیر بالاتر شاخص تخریب و توسعه‌ی سرزمین (۶/ تا ۰/۸) هستند. این مناطق در طبقات ضعیف تا خیلی ضعیف تخریب قرار گرفته‌اند و از شرایط اکولوژیکی نسبتاً پایدارتری برخوردارند.



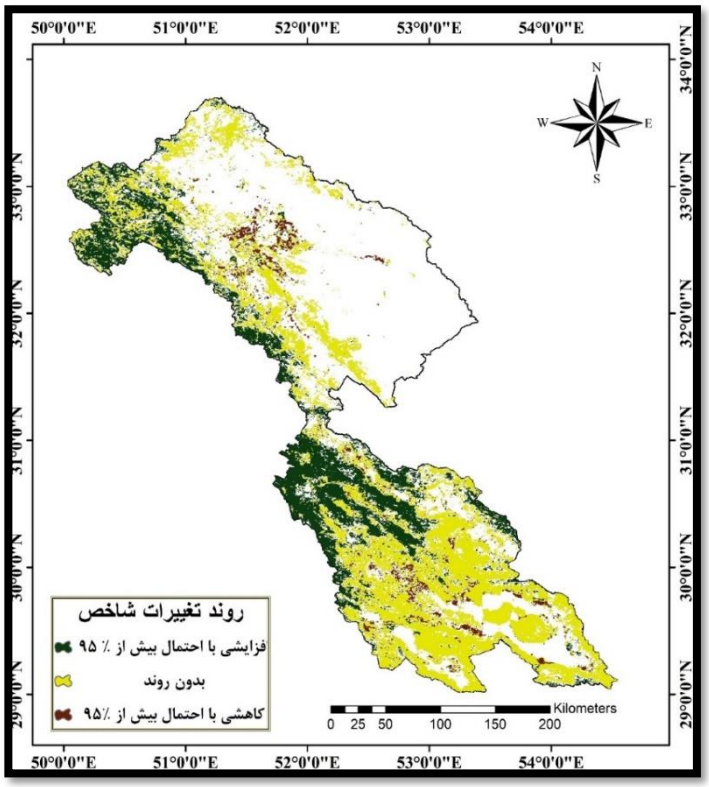
شکل(۲): نقشه مقادیر سالانه شاخص پوشش گیاهی تفاضلی نرمال‌شده در حوزه‌های مطالعاتی (گاوخونی و TBM)



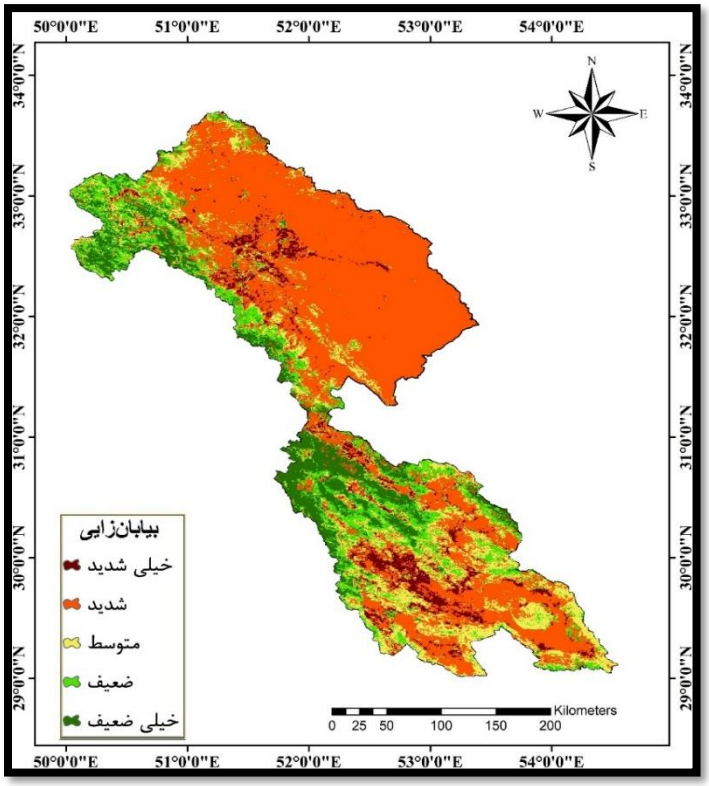
شکل(۳): نقشه مقادیر سالانه شاخص تولید اولیه خالص در حوزه‌های مطالعاتی (گاوخونی و TBM)



شکل (٤): نقشه سالانه شاخص تخریب و توسعه‌ی سرزمین در حوزه‌های مطالعاتی (گاوخونی و TBM)



شکل (۵): نقشه روند تغییرات شاخص (۲۰۰۱-۲۰۲۲) در حوزه‌های مطالعاتی (گاوخونی و TBM)



شکل(٦): نقشه شدت بیابان‌زایی در حوزه‌های مطالعاتی (گاوخونی و TBM)

٤- بحث

یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که دو حوزه مورد مطالعه علی‌رغم قرارگیری در کمربند خشک ایران، الگوهای متفاوتی از تخریب سرزمین را تجربه کرده‌اند و تحت تأثیر مجموعه‌ای از عوامل هیدرولوژیکی، جغرافیایی و انسانی شکل گرفته‌اند. در حوزه گاوخونی، روند منفی شاخص تخریب و توسعه‌ی سرزمین در بیش از ۶۸ درصد از سطح منطقه، بیانگر تشدید فرآیند بیابان‌زایی طی دو دهه‌ی اخیر است. به‌نظر می‌رسد، این تخریب گسترده، تحت تأثیر سه عامل اصلی شکل گرفته است: نخست، خشک‌شدن تالاب گاوخونی در بخش‌های شرقی و جنوب شرقی حوزه و کاهش جریان زاینده‌رود در بخش‌های مرکزی و غربی حوزه که ناشی از سدسازی‌های بالادست و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی است. این تغییرات هیدرولوژیکی موجب افت رطوبت خاک، کاهش تغذیه سفره‌های زیرزمینی و در نهایت، کاهش پایداری اکولوژیکی منطقه شده‌اند. دوم، فشارهای ناشی از کشاورزی فشرده در شهرهای اطراف تالاب از جمله ورزنه، اژیه و حسن‌آباد جرقویه، به‌طوریکه کشت محصولات کشاورزی با نیاز آبی بالا و پمپاژ مستمر منابع زیرزمینی در این مناطق، منجر به افت سطح آب، کاهش حاصل‌خیزی خاک و افت شاخص‌های زی‌توده و پوشش گیاهی شده است. سوم، تغییرات گسترده در کاربری زمین و توسعه شهری در بخش‌های مرکزی و شرقی حوضه که با تخریب پوشش گیاهی طبیعی، افزایش رواناب سطحی و تشدید فرسایش خاک همراه بوده‌اند. برآیند این عوامل نشان می‌دهد که مؤلفه‌های هیدرولوژیکی نقش غالب‌تری در تخریب اکوسیستم ایفا کرده‌اند، یافته‌ای که با نتایج مطالعات پیشین از جمله Zaki et al. (۲۰۲۰) و باقری و همکاران (۱۴۰۰) هم‌راستا است و بر اهمیت مدیریت پایدار منابع آب در مناطق خشک تأکید دارد. از طرفی دیگر در بخش‌های شمال‌غرب تا جنوب غرب حوزه گاوخونی که در مجاورت رشته‌کوه‌های زاگرس قرار دارند، شرایط اقلیمی نسبتاً مساعدتری نسبت به سایر نواحی مشاهده می‌شود. این مناطق به‌واسطه‌ی ارتفاع بیشتر، دریافت بارش سالانه بالاتر، وجود خاک‌های مرطوب و رطوبت نسبی مناسب، از پوشش گیاهی طبیعی قابل‌قبولی برخوردارند. بر اساس مطالعات پیشین، از جمله پژوهش هادیان و همکارن (۱۳۹۲) ارتفاعات زاگرس به‌دلیل بارندگی مناسب و شرایط توپوگرافی خاص، کمتر در معرض خشکسالی و تخریب سرزمین قرار می‌گیرند. این ویژگی‌ها موجب شده‌اند که نواحی غربی حوزه گاوخونی بر خلاف نواحی شرقی و مرکزی پتانسیل بالاتری برای احیای پوشش گیاهی و اجرای پروژه‌های حفاظتی داشته باشند.

در مقابل، حوزه طشک— بختگان— مهارلو (TBM) الگوی متفاوتی از تخریب سرزمین را نشان می‌دهد. اگرچه روند کلی شاخص‌های اکولوژیکی در این حوزه نیز گرایش منفی دارد، اما حدود ۵۸ درصد از سطح منطقه دارای روند پایدار یا حتی مثبت در روند تغییرات شاخص تخریب و توسعه‌ی سرزمین بوده است. این ثبات نسبی عمدتاً در نواحی مرتفع زاگرس جنوبی، به‌ویژه در مناطق سپیدان، آباده و کامفیروز مشاهده می‌شود و به عواملی چون پوشش گیاهی طبیعی کوهستانی، بارش سالانه نسبتاً بالا (۳۰۰ تا ۴۰۰ میلی‌متر) و تراکم جمعیتی و فشار انسانی کمتر نسبت داده می‌شود. در این نواحی، شرایط توپوگرافی باعث افزایش نفوذپذیری خاک، کاهش رواناب سطحی و تغذیه بهتر منابع آب زیرزمینی شده است. این یافته‌ها با نتایج مطالعات Ghazali et al. (۲۰۲۱) و Nasiri et al. (۲۰۲۳) مطابقت دارد که بر نقش کلیدی توپوگرافی، پراکنش بارش و فشار انسانی در تعیین مقاومت اکولوژیکی مناطق خشک و نیمه‌خشک تأکید دارند همچنین، وجود گونه‌های گیاهی بومی مقاوم به خشکی، نقش مهمی در حفظ پایداری اکولوژیکی ایفا کرده است. این ویژگی‌ها موجب حفظ مقادیر بالاتر شاخص‌های نرمال شده پوشش گیاهی و تولید خاصل اولیه و در نتیجه، تثبیت یا بهبود نسبی شاخص تخریب و توسعه سرزمین در این مناطق شده‌اند. در مقابل، دشت‌های پایین‌دست TBM به‌ویژه اطراف دریاچه‌های خشک‌شده طشک و بختگان با بارندگی سالانه کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر، تمرکز بالای فعالیت‌های کشاورزی و برداشت بی‌رویه منابع آب زیرزمینی، بیشترین شدت تخریب را تجربه کرده‌اند که تغییرات شدید در کاربری زمین، از جمله تبدیل اراضی مرتعی به کشاورزی فشرده، کاهش پوشش گیاهی و افت زی‌توده را در پی داشته است. در مجموع، حوزه TBM نمونه‌ای از تأثیر متقابل عوامل طبیعی و مدیریتی بر پایداری سرزمین در شرایط اقلیمی شکننده است. تحلیل شاخص ترکیبی تخریب و توسعه سرزمین نشان داد که تلفیق داده‌های پوشش گیاهی و تولید خاصل اولیه روشی دقیقی برای ارزیابی تخریب سرزمین است؛ زیرا این شاخص هم تغییرات سبزینه و هم کارایی فتوسنتزی گیاهان را در نظر می‌گیرد. این نتیجه با مطالعات Chen et al. (۲۰۲۳) و Kang et al. (۲۰۲۱) مطابقت دارد که شاخص تخریب و توسعه سرزمین را به‌عنوان ابزار مؤثر در پایش اکولوژیکی بلندمدت در مناطق خشک معرفی کرده‌اند. تداوم روندهای منفی در شاخص تخریب و توسعه سرزمین در هر دو حوزه مورد مطالعه به‌ویژه در حوزه گاوخونی نشان‌دهنده‌ی نیاز فوری به بازنگری بنیادین در سیاست‌های مدیریت منابع طبیعی است. افت مستمر عملکرد اکولوژیکی در این مناطق، به‌ویژه در نواحی شرقی گاوخونی و دشت‌های پایین‌دست TBM، بیانگر تسریع فرآیند بیابان‌زایی و افزایش آسیب‌پذیری زیست‌محیطی، اقتصادی و اجتماعی است. در صورت عدم مداخله‌ی هدفمند و مبتنی بر شواهد، این مناطق با خطر تشدید تخریب سرزمین، کاهش ظرفیت تولیدی، و مهاجرت‌های زیست‌محیطی مواجه خواهند شد. این ضرورت با توصیه‌های کنوانسیون مقابله با بیابان‌زایی و مطالعات اخیر از جمله Elnashar et al. (۲۰۲۱) هم‌راستا است که بر اهمیت مداخلات اکولوژیکی منطقه‌محور در مناطق خشک تأکید دارند.

در مجموع، یافته‌های این پژوهش ضمن تأیید کارایی شاخص تخریب و توسعه سرزمین در پایش روند تخریب سرزمین، بر ضرورت توسعه‌ی رویکردهای منطقه‌محور در مدیریت اکوسیستم‌های خشک ایران تأکید دارد؛ رویکردهایی که تفاوت‌های توپوگرافی، اقلیمی و هیدرولوژیکی را در نظر گرفته و بر اساس شواهد مکانی تصمیم‌سازی کنند.

۵- نتیجه گیری

در این پژوهش، روند بیابان‌زایی و تخریب سرزمین در دو حوزه اکولوژیکی حساس ایران (گاوخونی و طشک– بختگان– مهارلو) طی بازه‌ی زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۲ با استفاده از ترکیب شاخص‌های سنجش از دور پوشش گیاهی و تولید خاصل اولیه و استفاده از شاخص ترکیبی تخریب و توسعه سرزمین و استفاده از روش‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت. شاخص ترکیبی تخریب و توسعه سرزمین به‌عنوان ابزار پایش، توانست تغییرات اکولوژیکی را با دقت قابل قبولی در سطح پیکسل شناسایی و تفکیک کند. نتایج نشان داد که در حوزه گاوخونی، تخریب سرزمین شدید و گسترده بوده و فرآیند بیابان‌زایی با سرعت بالایی در حال پیشروی است؛ در حالی‌که در حوزه طشک– بختگان– مهارلو، روندها متنوع‌تر بوده و برخی نواحی، به‌ویژه ارتفاعات شمالی و غربی، نشانه‌هایی از بهبود اکولوژیکی را تجربه کرده‌اند. این تفاوت‌ها بیانگر حساسیت بالای اکوسیستم‌های خشک و نیمه‌خشک ایران و ضرورت پایش دقیق و بلندمدت برای شناسایی نواحی بحرانی و آسیب‌پذیر است. بررسی تغییرات بلندمدت در این مناطق نشان می‌دهد که بیابان‌زایی نه تنها یک تهدید زیست‌محیطی بلکه یک چالش اجتماعی و اقتصادی است که مدیریت پایدار منابع طبیعی را ضروری می‌سازد. برای مقابله با این روند، توسعه سامانه‌های ملی پایش مبتنی بر داده‌های ماهواره‌ای، استفاده از مدل‌های پیشرفته‌ی یادگیری ماشین برای ارتقای دقت نقشه‌های تخریب، و همکاری بین‌سازمانی میان نهادهای مسئول منابع طبیعی، محیط زیست و مدیریت آب پیشنهاد می‌شود. چنین رویکردی می‌تواند زمینه‌ساز سیاست‌گذاری مؤثر و اقدامات عملی در جهت کاهش سرعت بیابان‌زایی و حفاظت از اکوسیستم‌های شکننده‌ی مرکزی ایران باشد.

منابع

باقری، س.، زهتابیان، غ.، خسروی، ح.، و حیدری علمدارلو، ا. (۱۴۰۰). ارزیابی روند تغییرات بیابان‌زایی در کاربری‌های مختلف حوضه گاوخونی با استفاده از روش تحلیل بردار تغییر. مهندسی اکوسیستم بیابان، (۳۳)۱۰، ۵۲-۳۹.

بخشنده‌مهر، ل.، سلطانی، س. و سپهر، ع. (۱۳۹۲). ارزیابی وضعیت فعلی بیابان‌زایی و اصلاح مدل مدالوس در دشت سگزی اصفهان. مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، (۱)۶۶، ۴۱-۲۷.

حسینی، ز.، مظفری، م.، و فیجانی، ا. (۱۴۰۰). تأثیر تغییر کاربری زمین و گسترش کشاورزی بر روی خشک شدن دریاچه‌های بختگان و طشک. پژوهش‌های زیرساختی عمرانی، (۱)۷، ۶۵-۵۳.

میرموسوی، س. ح. (۱۴۰۳). تحلیل اثرات خشکسالی بر تغییرات سطح آب دریاچه‌ای بختگان، طشک و مهارلو. اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، (۱۳۰)۳۳، ۱۵۹-۱۵۳.

عطایی، ه.، و فنایی، ر. (۱۳۹۲). شناسایی روند تغییرات ماهانه و سالانه متوسط دمای حوضه آبریز گاوخونی طی دوره آماری ۲۰۱۰-۱۹۶۱. اکوبیولوژی تالاب، (۳)۵، ۴۶-۳۱.

هادیان، ف.، جعفری، ر.، بشری، ح.، و سلطانی، س. (۱۳۹۲). پایش تأثیر بارش در تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور در یک دورهٔ ۱۲ ساله (مطالعهٔ موردی: سمیرم و لردگان). مرتع و آبخیزداری، (۱۴)۴، ۶۳۲-۶۱۱.

Bastin, J.F., Finegold, Y., Garcia, C., Mollicone, D., Rezende, M., Routh, D., Zohner, C.M., and Crowther, T.W. (2019). The global tree restoration potential. Science, 365(6448), 76-79.

Boali, A., Asgari, H. R., Behbahani, A. M., Salmanmahiny, A., and Naimi, B. (2024). Remotely sensed desertification modeling using ensemble of machine learning algorithms. Remote Sensing Applications: Society and Environment, 34(14), 101149.

Camps-Valls, G., Campos-Taberner, M., Moreno-Martínez, Á., Walther, S., Duveiller, G., Cescatti, A., Mahecha, M.D., Muñoz-Marí, J., García-Haro, F.J., Guanter, L., Jung, M., Gamon, J.A., Reichstein, M., and Running, S.W. (2021). A unified vegetation index for quantifying the terrestrial biosphere. Science Advances, 7(9), eabc7447.

Chen, X., Wang, Y., Chen, Y., Fu, S., and Zhou, N. (2023). NDVI-based assessment of land degradation trends in Balochistan, Pakistan, and analysis of the drivers. Remote Sensing, 15(9), 2388.

Darabi, H., Moradi, E., Davudirad, A. A., Ehteram, M., Cerda, A., and Haghighi, A.T. (2021). Efficient rainwater harvesting planning using socio-environmental variables and data-driven geospatial techniques. Journal of Cleaner Production, 311(12), 127706.

Dastorani, M. (2022). Application of fuzzy-AHP method for desertification assessment in Sabzevar area of Iran. Natural Hazards, 112(1), 187-205.

Dehghan Rahimabadi, P., Liu, B., Azarnivand, H., Malekian, A., and Eskandari Damaneh, H. (2024). The nexus between land use/cover changes and land surface temperature: remote sensing based two-decadal analysis. Journal of Arid Environments, 225, 105269.

Duan, H., Wang, T., Xue, X., and Yan, C. (2019). Dynamic monitoring of aeolian desertification based on multiple indicators in Horqin Sandy Land, China. Science of The Total Environment, 650, 2374-2388.

Elnashar, A., Zeng, H., Wu, B., Fenta, A.A., Nabil, M., and Duerler, R. (2021). Soil erosion assessment in the Blue Nile Basin driven by a novel RUSLE-GEE framework. Science of the Total Environment, 793, 148466.

Eskandari Dameneh, H., Gholami, H., Telfer, M.W., Comino, J.R., Collins, A.L., and Jansen, J.D. (2021). Desertification of Iran in the early twenty-first century: assessment using climate and vegetation indices. Scientific Reports, 11(1), 20548.

Ghazali, S., Azadi, H., Kurban, A., Ajtai, N., Pietrzykowski, M., and Witlox, F. (2021). Determinants of farmers' adaptation decisions under changing climate: the case of Fars province in Iran. Climatic Change, 166(1), 6.

Kang, J., Zhang, Y., and Biswas, A. (2021). Land degradation and development processes and their response to climate change and human activity in China from 1982 to 2015. Remote Sensing, 13(17), 3516.

Li, K., Feng, M., Biswas, A., Su, H., Niu, Y., and Cao, J. (2020). Driving factors and future prediction of land use and cover change based on satellite remote sensing data by the LCM model: a case study from Gansu province, China. Sensors, 20(10), 2757.

Masoudi, M., Jokar, P., and Pradhan, B. (2018). A new approach for land degradation and desertification assessment using geospatial techniques. Natural Hazards and Earth System Sciences, 18(4), 1133-1140.

Mesquita, D.P., Gomes, J.P., Junior, A.H.S., and Nobre, J.S. (2017). Euclidean distance estimation in incomplete datasets. Neurocomputing, 248(C), 11-18.

Nasiri, A., Khosravian, M., Zandi, R., Entezari, A., and Baaghide, M. (2023). Analysis of physical changes in Fars province water zones related to climatic parameters using remote sensing, Bakhtegan, Tashk, Iran. The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences, 26(3), 851-861.

Salmani-Dehaghi, N., and Samani, N. (2019). Spatiotemporal assessment of the PERSIANN family of satellite precipitation data over Fars Province, Iran. Theoretical and Applied Climatology, 138(14), 1333-1357.

Salvati, L., and Zitti, M. (2008). Regionalising DPSIR: a multidimensional approach for estimating land degradation vulnerability. Rivista Italiana di Agrometeorologia, 13(1), 52-53.

Zaki, N., Torabi Haghighi, A., Rossi, P.M., Tourian, M.J., Bakhshaee, A., and Kløve, B. (2020). Evaluating impacts of irrigation and drought on river, groundwater and a terminal wetland in the Zayanderud Basin, Iran. Water,12(5), 1302.

Zhou, Z., Ding, Y., Shi, H., Cai, H., Fu, Q., Liu, S., and Li, T. (2020). Analysis and prediction of vegetation dynamic changes in China: Past, present and future. Ecological Indicators, 117, 106642.

Management of Natural Ecosystems
Volume 5, Issue 1, Spring 2025, 1-13
http://emj.ardakan.ac.ir/article_732495.html

Assessment of Desertification and Land Degradation Trends in Central Iran's Arid and Semi-Arid Regions: Case Study of the Gavkhouni wetland and Tashk–Bakhtegan–Maharloo (TBM) Watersheds

Saharnaz Shokoohi Zadegan[1], Hasan Khosravi [*2], Gholamreza Zehtabian[2], Tayebeh Mesbahzadeh[3], Esmaeil Heydari Alamdarloo[4]

Research Article

1. Ph. D Student, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Tehran, Iran.
saharnazshekoohi@gmail.com

2. Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Tehran, Iran.
hakhosravi@ut.ac.ir
* Corresponding author
ghzehtab@ut.ac.ir

3. Associate Professor, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Tehran, Iran.
tmesbah@ut.ac.ir

4. Postdoctoral, Department of Reclamation of Arid and Mountainous Regions, University of Tehran, Tehran, Iran.
esmailheidary@gmail.com

Article Code: 2511-1131
Countinus Pagination: 975-987

Received: 08 November 2025
Accepted: 05 Desember 2025
Online: 10 Desember 2025
Review speed: 28 days

Citation:
Shokoohi Zadegan, S., Khosravi, H., Zehtabian, G. H., Mesbahzadeh, T., and Heydari Alamdarloo, E. (2025). Assessment of Desertification and Land Degradation Trends in Central Iran's Arid and Semi-Arid Regions: Case Study of the Gavkhouni wetland and Tashk–Bakhtegan–Maharloo (TBM) Watersheds. Management of Natural Ecosystems, 5(1), 1-13.

Abstract
Desertification and land degradation are fundamental environmental challenges in Iran's arid and semi-arid regions, severely affectingecological stability, water resources, and food security. This research was conducted with the aim oflong-term monitoring of desertification trendsand valuating ecological changes in two sensitivebasins the Gavkhouni wetland and the Tashk–Bakhtegan–Maharloo (TBM) watersheds during the period 2001–2022. To achieve this, MODIS Terra satellite data were utilized to derive the Normalized Difference Vegetation Index and Net Primary Productivity and subsequently, a composite Land Degradation and Development Index was calculated using a Euclidean distance–based modemodel. Temporal trend analysis of the LDDI at the pixel level was conducted using the non-parametric Mann–Kendall test. The results showed that more than 68% of the Gavkhouni Basin exhibited a significant negative trend in the LDDI, with index values below 0.4, indicating intense land degradation in the central parts of the basin including areas of Isfahan County as well as in the eastern and southern sections, particularly around Varzaneh, Hassanabad, Segzi, and eastern Naein., Areas that have experienced severe declines in NDVI and NPP due to the reduced flow of the Zayandeh-Rud River and the desiccation of the Gavkhouni wetland .In the Tashk–Bakhtegan–Maharloo (TBM) basin, the overall trend of the index was oscillatory yet relatively stable, such that approximately 42% of the basin covering the northern and western parts of the Zagros highlands, including Abadeh and Sepidan exhibited LDDI values between 0.6 and 0.8, reflecting comparatively more favorable ecological conditions.However, the lowland and central areas particularly around the Bakhtegan and Maharloo lakes exhibited the most intense of desertification. The spatial and temporal results of the LDDI indicated that this index can serve as an accurate tool for identifying critical areas of land degradation and for revealing ecological trends with high spatial resolution. These study can provide a scientific basis for water resources management, vegetation restoration, and environmental planning in Iran's arid and semi-arid landscapes.

Key Words:
Desertification, Gavkhouni, Land Degradation, Tashk–Bakhtegan–Maharloo.

ISSN: 2821-0182
DOI: 10.22034/emj.2025.732495