

تحلیل روند تغییرات برخی شاخص‌های مؤثر بر بیابان‌زایی دشت نصرآباد، تفت

الهام السادات شکوهی^۱، حمید سودایی‌زاده^{۲*}، محمدحسین مختاری^۳، حسن خسروی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۶/۲۶

چکیده

بیابان‌زایی یکی از چالش‌های مهم عصر حاضر است که مدیریت و کنترل آن نیاز به پایش و ارزیابی این پدیده دارد. این پژوهش با هدف بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی، شوری و رطوبت خاک به عنوان عوامل مؤثر بر بیابان‌زایی در دشت تفت نصرآباد استان یزد طی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴ انجام شد. با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای MODIS شاخص‌های EVI، NDSI و NMDI محاسبه شد و تغییرات این پارامترها با استفاده از روش ترکیبی آزمون من-کندال و شیب تیل-سن، مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که پوشش گیاهی منطقه از الگوی فصلی مشخصی پیروی می‌کند، به طوری که بیشترین مقدار شاخص EVI در ماه‌های می و ژوئن مشاهده شد. پایش تغییرات شاخص EVI نشان داد که در ۶۵ درصد از محدوده مورد مطالعه، بیشترین مقدار پوشش گیاهی در بازه زمانی مورد مطالعه مربوط به سال ۲۰۲۴ است. همچنین این نتایج نشان داد که در ۷/۷ درصد از منطقه (عمدتاً نواحی دشتی) کاهش جزئی پوشش گیاهی مشاهده شد. بررسی شوری خاک نشان داد که در ۷۶ درصد از منطقه، کمترین مقدار شاخص NDSI در سال ۲۰۲۴ ثبت شده است. در مورد رطوبت خاک، نتایج حاکی از پایداری شرایط در ۹۱/۸ درصد از منطقه بود. یافته‌های این مطالعه می‌تواند به عنوان الگویی برای مدیریت پایدار سایر مناطق خشک ایران مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: EVI، شیب تخمینگر سن، روند تغییرات، من-کندال، MODIS، NDSI، NMDI.

۱. دانشجوی مقطع دکتری مدیریت و کنترل بیابان دانشگاه یزد، elshokoohi15@gmail.com

۲. استاد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، hsodaie@yazd.ac.ir

۳. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، گروه مدیریت مناطق خشک و بیابانی، mh.mokhtari@yazd.ac.ir

۴. استاد، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی، hakhosravi@ut.ac.ir

مقدمه

بیابان‌زایی یکی از جدی‌ترین مشکلات اکولوژیکی و زیست‌محیطی جهانی است (مینگ،^۱ ۲۰۲۱؛ هاشمی و همکاران، ۲۰۲۴) که یک پنجم جمعیت جهان را که در سرزمین‌های خشک زندگی می‌کنند، تحت تأثیر قرار می‌دهد. بیابان‌زایی مراحل تکاملی بیابانی شدن با ظهور چشم‌اندازهای جدید بیابان و یا تغییر در عملکرد اکوسیستم و فرایند بیابانی شدن تعریف می‌شود (ژنیست و لمبین،^۲ ۲۰۰۴). به عبارت دیگر، بیابان‌زایی چه به سبب عوامل طبیعی و چه به سبب عوامل انسانی نوعی از تخریب اراضی محسوب می‌شود. واژه بیابانی شدن توسعه شرایط بیابانی را برای مناطقی بیان می‌کند که از لحاظ اقلیمی به عنوان بیابان معرفی نمی‌شوند؛ به طوری که تخریب سرزمین و بیابان‌زایی هر دو، تهدیدی جدی برای زمین‌های حاصلخیز در سراسر جهان محسوب می‌شوند و چالش بزرگی برای توسعه پایدار هستند که زندگی و معیشت میلیون‌ها نفر را تحت تأثیر قرار می‌دهند (زو^۳ و همکاران، ۲۰۲۲؛ سهرابی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۳).

دو نوع عمده از متغیرهای بیوفیزیکی اکوسیستم که اغلب برای توصیف بیابان‌زایی استفاده می‌شود، پوشش گیاهی و خاک هستند (لیو^۴ و همکاران، ۲۰۱۴). پوشش گیاهی نه تنها بخش اصلی اکوسیستم زمین است (بولمن^۵ و همکاران، ۲۰۰۳؛ گودنیز-آلوارز^۶ و همکاران، ۲۰۰۹؛ پیائو و فنگ، ۲۰۰۳؛ پونس-کامپوز^۷ و همکاران، ۲۰۱۳)، بلکه به عنوان پیوند مهم و عامل تأثیرگذار بر تبادل انرژی، چرخه آب و چرخه بیوژئوشیمیایی بین آب، سطح زمین (پنگ^۸ و همکاران، ۲۰۱۲؛ زو^۹ و همکاران، ۲۰۲۰) و جو شناخته می‌شود (بونان،^{۱۱} ۲۰۱۵؛ فولی^{۱۲} و همکاران، ۲۰۰۵؛ فردریک^{۱۳} و همکاران، ۱۹۹۹) و به

علل مختلف و در گذر زمان تحت اثر عوامل طبیعی یا انسانی دچار تغییر شده که شرایط و عملکرد اکوسیستم را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (پتورلی^{۱۴} و همکاران، ۲۰۰۵). به تازگی، رشد پوشش گیاهی به یک شاخص مهم تبدیل شده که منعکس‌کننده تغییرات اکوسیستم‌های زمینی است (وانگ^{۱۵} و همکاران، ۲۰۲۰؛ زو^{۱۶} و همکاران، ۲۰۲۱) و تغییرات محیطی محلی و جهانی را به نمایش می‌گذارد (ژیانگ^{۱۷} و همکاران، ۲۰۱۳؛ پاتر^{۱۸} و همکاران، ۲۰۰۸). مطالعه و ارزیابی پویایی پوشش گیاهی و واکنش آن به عوامل مختلف محیطی برای درک فرایندهای اکوسیستم در زمینه تغییرات جهانی لازم و بسیار مهم است (هو و سان،^{۱۹} ۲۰۲۱). با توجه به نقش حیاتی پوشش گیاهی در تعادل مواد و انرژی، تعادل کربن، چرخه هیدرولوژیکی، کاهش گازهای گلخانه‌ای و پایداری آب‌وهوا (ژانگ^{۲۰} و همکاران، ۲۰۱۳). بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی به عنوان یکی از مهم‌ترین موضوعات مدیریت پوشش گیاهی (بهرنگ‌منش و همکاران، ۲۰۱۹) و یکی از معیارهای کلیدی در تغییرات اکوسیستم‌های زمینی، ضروری به نظر می‌رسد (فو^{۲۱} و همکاران، ۲۰۰۷؛ کلی^{۲۲} و همکاران، ۲۰۱۱). بنابراین پایش و پیش‌بینی پوشش گیاهی برای احیای آن از اهمیت بالایی برخوردار است و راهی مؤثر برای بهبود محیط‌زیست و کاهش فرسایش خاک می‌باشد (پتورلی و همکاران، ۲۰۰۵؛ خین^{۲۳} و همکاران، ۲۰۱۱).

یکی دیگر از عوامل مؤثر در بیابانی شدن اکوسیستم‌های مختلف، به خصوص آن دسته از اکوسیستم‌هایی که در مناطق خشک (وانگ و همکاران، ۲۰۲۱؛ مترنیک و زینک،^{۲۴} ۲۰۰۳؛ فریفته و همکاران، ۲۰۰۶) و نیمه‌خشک قرار گرفته‌اند، شوری و رطوبت خاک است. براساس آخرین برآوردهای فائو، بیش از ۲۰ درصد از زمین‌های زیر کشت بر اثر شور شدن خاک

14. Pettorelli
15. Wang
16. Zuo
17. Jiang
18. Potter
19. Huo & Sun
20. Zhang
21. Fu
22. Kelly
23. Xin
24. Metternicht & Zinck

1. Meng
2. Geist & Lambin
3. Guo
4. Liu
5. Boelman
6. Godínez-Alvarez
7. Piao & Fang
8. Ponce-Campos
9. Peng
10. Zhou
11. Bonan
12. Foley
13. Fraedrich

بیابان‌زایی آسان‌تر و با هزینه کمتر به دست می‌آیند (هوته،^۷ ۲۰۱۶). همچنین گسترش روزافزون داده‌های سنجش از دور و پیشرفت سریع فناوری رایانه، نظارت بر پدیده‌های محیطی را در مقیاس وسیع ممکن می‌سازد (شی و چن،^۸ ۲۰۱۸). به‌طور کلی، خصوصیتی نظیر فراهم ساختن دید وسیع و یکپارچه از یک منطقه، قابلیت تکرارپذیری، سهل‌الوصول بودن اطلاعات و دقت بالای اطلاعات حاصل و صرفه‌جویی در زمان از ویژگی‌هایی است که استفاده از تصاویر ماهواره‌ای را برای بررسی بیابان‌زایی و کنترل تغییرات آن نسبت به سایر روش‌ها را ارجحیت می‌بخشد (لونت،^۹ ۲۰۰۶). تعاملات زیربنایی و تحولات اکوسیستم از جمله پویایی پوشش گیاهی بسیار غیرخطی هستند و درک ما از این فرایندها توسعه‌نیافته است (داو،^{۱۰} ۲۰۱۶؛ اسپیک^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۷). این پیچیدگی اجرای مدل‌سازی در این زمینه را مشکل‌ساز می‌کند (ماچت^{۱۲} و همکاران، ۲۰۱۴؛ ویلا^{۱۳} و همکاران، ۲۰۱۴؛ مارتینز-لوپز^{۱۴} و همکاران، ۲۰۱۹). از مهم‌ترین جنبه‌های پژوهش حاضر می‌توان به استفاده هم‌زمان از سه شاخص کلیدی (رطوبت خاک، شوری خاک و پوشش گیاهی) به‌منظور ارزیابی جامع روند تغییرات محدوده تفت نصرآباد استان یزد اشاره کرد. همچنین بهره‌گیری از آزمون‌های آماری غیرپارامتریک من-کندال و شیب تخمینگر سن برای تحلیل روندهای بلندمدت، ضمن افزایش دقت نتایج، امکان تشخیص معناداری تغییرات را فراهم آورد. ترکیب داده‌های سنجش از دور با تحلیل‌های آماری پیشرفته در مقیاس منطقه‌ای، رویکردی جدید و کاربردی در مطالعات بیابان‌زایی به شمار می‌رود که می‌تواند به‌عنوان الگویی برای پایش و مدیریت سرزمین‌های خشک در سایر مناطق نیز به کار گرفته شود.

تخریب می‌شود (وو^۱ و همکاران، ۲۰۱۸) و پیش‌بینی می‌شود که این میزان تا سال ۲۰۵۰ به ۵۰ درصد برسد (بارتل و سانکار،^۲ ۲۰۰۵؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۹). شور شدن خاک مانع جذب آب و مواد مغذی توسط گیاهان می‌شود و بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمی گیاهان تأثیر می‌گذارد (حافظ، ۲۰۲۱؛ رحمانی و همکاران، ۲۰۲۴؛ سودائی‌زاده و همکاران، ۲۰۲۵). بسیاری از گیاهان تنش‌های غیرزیستی را با تغییرات در متابولیسم، رشد و نمو آشکار می‌کنند (بارتلز و سانکار، ۲۰۰۵). همچنین در چرخه اکوسیستم‌های زمینی، رطوبت خاک به‌شدت با طیف وسیعی از فرایندهای سطحی و زیرسطحی مرتبط است (وریکن^۳ و همکاران، ۲۰۰۸؛ سنویرانتی^۴ و همکاران، ۲۰۱۰؛ وانگ و همکاران، ۲۰۱۶؛ لیو و همکاران، ۲۰۱۹). رطوبت خاک یکی از پارامترهای بنیادی محیط‌زیست است که بر زندگی گیاهی، جانوری و میکروارگانیسم‌ها مستقیماً تأثیرگذار بوده و نقش عمده‌ای در تبادلات انرژی بین هوا و خاک ایفا می‌کند. توزیع عمودی و افقی رطوبت خاک از طریق تبخیر و تعرق گیاهان و تبدیل انرژی تابشی ورودی به گرمای نهان و شار حرارتی محسوس کنترل می‌گردد (متین‌فر و سعدی‌خانی، ۲۰۱۴). ارزیابی تغییرات رطوبت خاک می‌تواند در کنترل بیابان‌زایی، فعالیت‌های کشاورزی، آب‌خیزداری و مدیریت بهینه منابع آب مورد توجه قرار گیرد (محرابی و همکاران، ۲۰۱۹).

یکی از مهم‌ترین مشکلات در بررسی تغییرات شاخص‌های بیابان‌زایی، نبود اطلاعات مکانی دقیق از گذشته است. با توجه به اینکه داده‌های ماهواره‌ای در زمان‌های مختلف و باندهای طیفی متفاوت موجود است، روش‌های مبتنی بر سری‌های زمانی داده‌های سنجش از راه دور به‌طور فزاینده‌ای برای نظارت بر طیف وسیعی از ویژگی‌های قابل تشخیص از راه دور پدیده بیابان‌زایی استفاده می‌شود. (لاولی^۵ و همکاران، ۲۰۱۶) به‌طور کلی، سنجش از دور یک فناوری بالقوه قدرتمند است (یانگ،^۶ ۲۰۰۷) که با توسعه این فناوری، داده‌ها برای ارزیابی تغییرات

7. Huete
8. Shi & Chen
9. Lunetta
10. Daw
11. Spake
12. Mouchet
13. Villa
14. Martínez-López

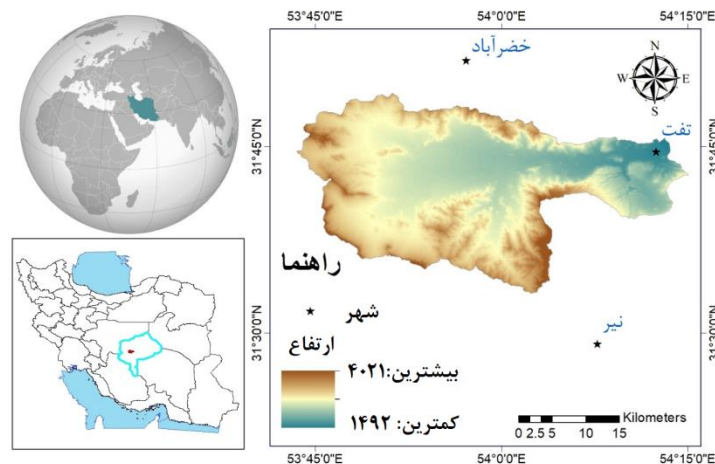
1. Wu
2. Bartels & Sunkar
3. Vereecken
4. Seneviratne
5. Lawley
6. Yang

مواد و روش ها

محدوده مورد مطالعه

دشت تفت نصرآباد (شکل ۱) با وسعت بیش از ۸۲۵ کیلومتر مربع در فاصله ۱۸ کیلومتری از مرکز استان یزد در مسیر جاده

یزد شیراز در بین طول‌های جغرافیایی ۵۲° ۵۵' تا ۵۷° ۳۰' و عرض‌های جغرافیایی ۲۹° ۵۲' تا ۳۳° ۳۷'، در ناحیه ایران مرکزی و در دامنه‌های شمالی شیرکوه واقع شده و متوسط ارتفاع آن ۱۵۲۰ متر از سطح دریاست.



شکل (۱): محدوده منطقه مورد مطالعه

Figure (1): Study Area Boundary

روش تحقیق

محاسبه شاخص‌ها

همان‌گونه که گفته شد، هدف از این مطالعه بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی، رطوبت و شوری خاک است. در مناطق با پوشش گیاهی غیرمتراکم، ترکیب پیچیده نوع خاک، آثار جوی و پوشش گیاهی، امکان استخراج اطلاعات قابل اعتماد را از داده‌های ماهواره‌ای کاهش می‌دهد؛ بنابراین همواره تلاش شده است تا شاخص‌های پوشش گیاهی که قادرند آثار ناخواسته عواملی مانند خاک زمینه را کاهش دهند، ارائه شود. هوتو و همکاران (۲۰۰۲) شاخص پوشش گیاهی EVI را برای استفاده در داده‌های MODIS پیشنهاد کرده‌اند که در معادله (۱) نحوه محاسبه آن ارائه شده است.

$$EVI = \frac{NIR - R}{NIR + C1 \times R - C2 \times B + L} (1 + L) \quad (1)$$

در این معادله NIR^1 ، R^2 و B^3 وجود دارند و L^4 برابر یک، $C1^5$ برابر ۶ و $C2^6$ برابر ۷/۵ است. این شاخص در بازه ۱- تا

۱+ قرار دارد. از مزایای این شاخص این است که با پیشرفت به‌وسیله بازتاب باند آبی در محدوده LAI (شاخص سطح برگ)، اثرات خاک پس‌زمینه را تصحیح می‌کند و از اثرات اتمسفر و پخش آتروسول می‌کاهد (لی^۷ و همکاران، ۲۰۰۹). در واقع EVI یک NDVI تغییر یافته است که در آن فاکتور تنظیم خاک (L) و دو ضریب C1 و C2 لحاظ می‌گردد. این روش حساسیت به نواحی پوشش گیاهی را افزایش و کاهش آثار جوی را موجب می‌شود (هوتو و همکاران، ۲۰۰۲).

شاخص $NDSI^8$ توسط میجر^۹ و همکاران (۱۹۹۰) به کار گرفته شد. شاخص NDSI برای ارزیابی شوری خاک موجود در هر دو بخش خاک و پوشش گیاهی پیشنهاد شده که با استفاده از تفاوت بین سه باند آبی، قرمز و مادون قرمز کوتاه، قابل محاسبه است. این شاخص با استفاده از لایه‌های موجود در محصول MOD09A1 از ابتدای سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴ به‌صورت میانگین برای ماه‌های با حداکثر پوشش طبیعی محاسبه شد. معادله (۲) نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد.

$$NDSI = \frac{R - NIR}{R + NIR} \quad (2)$$

۱. بازتاب در باند مادون قرمز

۲. بازتاب در باند قرمز

۳. بازتاب در باند آبی

۴. تنظیم خاک یا پس‌زمینه

۵. ضریب تصحیح جوی اول

۶. ضریب تصحیح جوی دوم

7. Li

۸. شاخص نرمال‌شده شوری

9. Major

$$\beta = \text{Median} \left(\frac{VI_j - VI_i}{t_j - t_i} \right), j > i \quad (4)$$

β شیب میانه سن، Median میانه مجموعه ارزش‌ها، t_j و t_i نشان‌دهنده سال‌ها و VI_i نشان‌دهنده ارزش شاخص پوشش گیاهی سال i است. اگر $\beta > 0$ باشد، روند شاخص پوشش گیاهی در حال افزایش و به معنای آن است که پوشش گیاهی در این دوره از زمان بهبود یافته است. درباره $\beta < 0$ عکس این قضیه صادق است (کائو^۶ و همکاران، ۲۰۱۴).

آزمون روند ناپارامتری من-کندال

آزمون ناپارامتری من-کندال توسط من^۷ (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال^۸ (۱۹۷۵) تکامل یافت. این آزمون توسط سازمان جهانی هواشناسی (WMO)^۹ به عنوان یک ابزار مؤثر برای ارزیابی روند سری‌های زمانی هواشناسی و هیدرولوژیکی توصیه می‌شود (عزیززاده و جوان، ۲۰۱۸). بررسی منابع نشان می‌دهد که روش‌های ناپارامتری در آزمون روند از کاربرد چشمگیری نسبت به روش‌های پارامتری برخوردارند. دلیل این امر را می‌توان نرمال نبودن توزیع نمودار در بازه زمانی طولانی مدت دانست که این امر، بستگی به نوع داده به کار گرفته شده دارد (کولدیتز^{۱۰} و همکاران، ۲۰۱۵؛ تفری^{۱۱} و همکاران، ۲۰۱۵). این آزمون براساس معادلات زیر محاسبه می‌شود.

$$\sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} (\text{sign}(x_i - x_j)) \quad (5)$$

که در آن، مقادیر x_i و x_j داده‌های متوالی است، n طول سری زمانی است و تابع علامت نیز به ترتیب زیر قابل محاسبه است:

$$\text{sign}(x_i - x_j) = \begin{cases} +1 & \text{اگر } (x_i - x_j) > 0 \\ 0 & \text{اگر } (x_i - x_j) = 0 \\ -1 & \text{اگر } (x_i - x_j) < 0 \end{cases} \quad (6)$$

میانگین $E(S)$ و واریانس $\text{Var}(S)$ آماره S به ترتیب زیر به دست می‌آید:

$$E(S) = 0 \quad (7)$$

در این معادله، NIR انعکاس باند مادون قرمز نزدیک و R انعکاس باند قرمز است.

به‌طور کلی، شاخص $NMDI^1$ یا شاخص برای بررسی رطوبت گیاه و خاک با استفاده از سنجش از دور پیشنهاد شده است. این شاخص با ترکیب اطلاعات موجود در باندهای چندگانه مادون قرمز نزدیک و کانال‌های موج کوتاه مادون قرمز، باعث افزایش حساسیت نسبت به میزان رطوبت خاک می‌شود و برای برآورد رطوبت خاک و پوشش گیاهی بسیار مناسب است (وانگ و کو، ۲۰۰۷). وانگ و کو در تحقیق خود بیان داشتند که مقادیر $NMDI$ بیشتر از ۰/۸۵ معرف خاک بسیار خشک و مقادیر ۱/۵ و کمتر نشان‌دهنده خاک مرطوب با رطوبت خاک ۰/۳ و بیشتر است. معادله (۲) میزان این شاخص را محاسبه می‌کند.

$$NMDI = \frac{B2 - (B6 - B7)}{B2 + (B6 - B7)} \quad (3)$$

در این معادله، $B2$ ، $B6$ و $B7$ به ترتیب معادل انعکاس باندهای دو، شش و هفت سنجنده MODIS است که به ترتیب معادل باند مادون قرمز نزدیک و مادون قرمز کوتاه یک و دو هستند. هر سه شاخص مذکور با استفاده از لایه‌های موجود در محصول MOD09A1 از ابتدای سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴ به صورت میانگین برای ماه‌های با حداکثر پوشش طبیعی محدوده مورد مطالعه تهیه و محاسبه شد.

ارزیابی روند تغییرات

به منظور ارزیابی روند تغییرات از ترکیب دو آزمون شیب تخمینگر سن و من-کندال استفاده شد.

آزمون روند شیب تخمینگر سن

تجزیه و تحلیل روند شیب تخمینگر سن یک روش غیرپارامتریک آماری با ثبات^۳ است و شیب و عرض از مبدأ بین هر جفت داده مشاهداتی را محاسبه می‌کند (سن، ۱۹۶۸؛ تیل، ۱۹۵۰^۵). شیب تخمینگر سن، میانه همه شیب‌هاست و از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

۱. شاخص خشکسالی چندبندی نرمال شده

2. Wang & Qu
3. Robust
4. Sen
5. Theil

6. Cao
7. Mann
8. Kendall
9. World Meteorological Organization
10. Colditz
11. Teferi

جدول (۱): کلاس روند تغییر شاخص‌ها بر مبنای نتایج آزمون من-کندال و شیب تخمینگر سن (ژیانگ و همکاران، ۲۰۱۵)

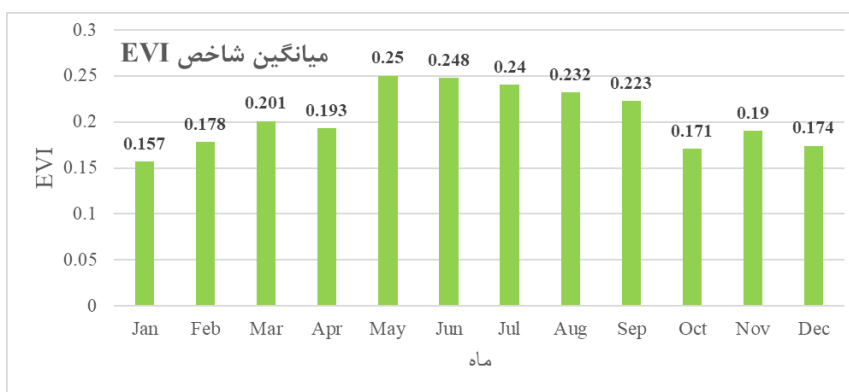
S	Z	روند شاخص‌ها
< -0.001	$\leq -1/96$	تخریب قابل توجه
$-0.001 \sim -0.0001$	$-1/96 \sim 1/96$	تخریب جزئی
$-0.0001 \sim 0.0001$	$-1/96 \sim 1/96$	پایدار
$0.0001 \sim 0.001$	$-1/96 \sim 1/96$	بهبود جزئی
≥ 0.001	$\geq 1/96$	بهبود قابل توجه

نتایج

نتایج انتخاب ماه‌های هدف

با توجه به میانگین بلندمدت ماهانه شاخص EVI در سری زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴ (شکل ۲)، به ترتیب ماه‌های می و ژوئن بیشترین مقدار EVI را در طول سال دارند که نشان‌دهنده حداکثر رشد و شادابی پوشش گیاهی در این ماه‌هاست. از طرف دیگر، ماه‌های ژانویه و اکتبر نیز کمترین مقدار میانگین شاخص EVI را به خود اختصاص داده‌اند.

با توجه به نتایج این بخش میانگین شاخص‌های پوشش گیاهی، رطوبت و شوری خاک ماه‌های می و ژوئن که دارای بیشترین مقدار پوشش گیاهی بود، برای بررسی و ارزیابی روند شاخص‌های مذکور انتخاب شدند.



شکل (۲): میانگین بلندمدت ماهانه شاخص EVI در سری زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴

Figure (2): Long-term Monthly Average of the EVI Index in the 2001–2024 Time Series

مورد مطالعه، در سال ۲۰۲۴ و در ۱۵/۲ از محدوده در سال ۲۰۲۰، بیشترین مقدار شاخص EVI رخ داده است. این نواحی در اکثر محدوده مورد مطالعه وجود دارد.

$$VAR(S) = \frac{1}{18} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^q tp(tp-1)(2tp+5)] \quad (8)$$

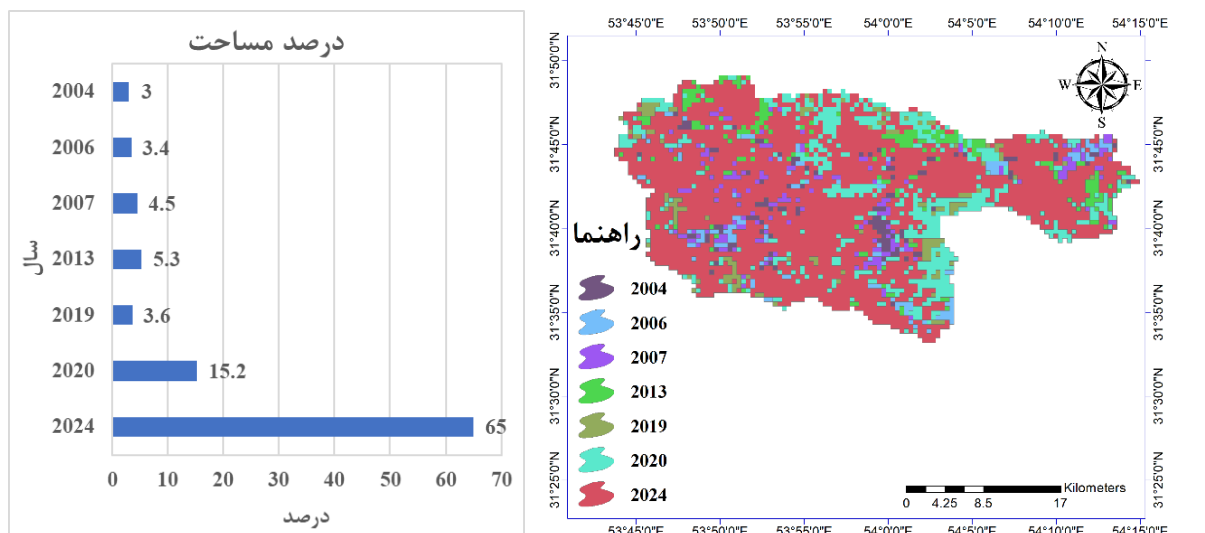
که tp تعداد دنباله‌ها برای p امین مقدار p تعداد مقادیر دنباله‌ها است. جزء دوم در فرمول فوق یک تعدیل برای دنباله یا داده‌های حساس است. آماره استاندارد شده آزمون Z_M از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$Z_M = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{اگر } S > 0 \\ 0 & \text{اگر } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{VAR(S)}} & \text{اگر } S < 0 \end{cases} \quad (9)$$

مقدار مثبت Z_M روند افزایشی و مقدار منفی Z_M روند کاهشی سری زمانی را نشان می‌دهد. با توجه به سطح معنی‌داری ۹۵ درصد اگر $|Z_M| > 1/96$ باشد، فرض صفر رد شده و سری زمانی پارامتر مورد مطالعه دارای روند معنی‌دار و در غیر این صورت فاقد روند ارزیابی می‌شود. تغییرات در روند پوشش گیاهی با ترکیب نتایج آزمایش من-کندال و تحلیل روند شیب تیل-سن کلاس‌بندی شود (جدول ۱). تمامی محاسبات این بخش در نرم‌افزار TerrSet انجام شد.

نتایج ارزیابی روند تغییرات پوشش گیاهی

شکل (۳) نقشه سال وقوع بیشترین مقدار شاخص EVI و نمودار درصد مساحت سال‌ها بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴ را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، در ۶۵ درصد از محدوده

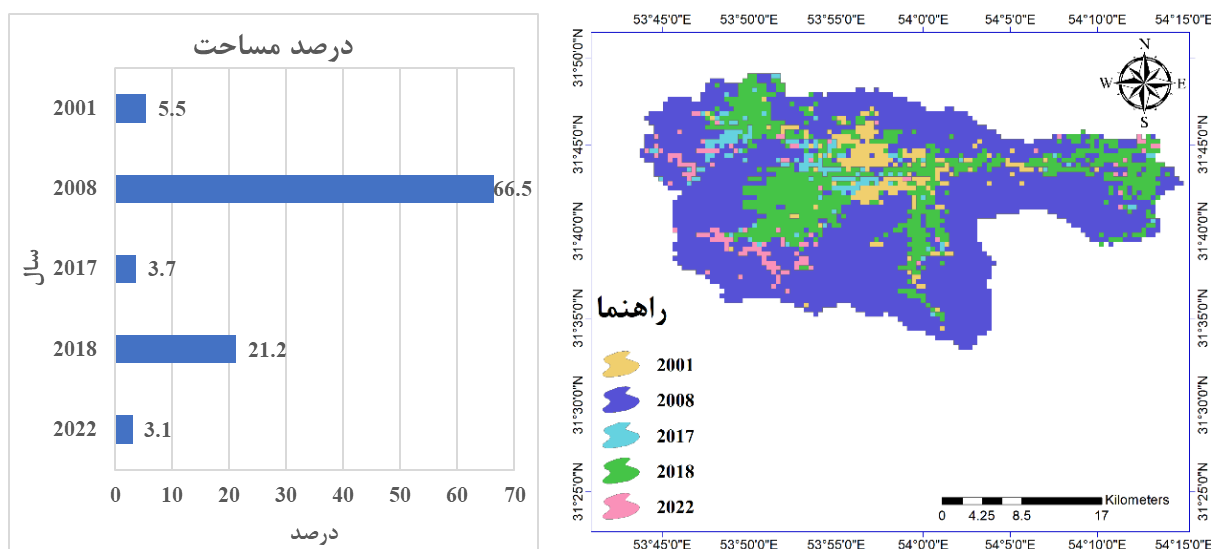


شکل (۳): نقشه سال وقوع بیشترین مقدار شاخص EVI و نمودار درصد مساحت سال‌ها

Figure (3): Map of the Year with the Highest EVI Value and Chart of Area Percentage by Year

همچنین در ۲۱/۲ درصد از محدوده مورد مطالعه در سال ۲۰۱۸ کمترین مقدار شاخص EVI رخ داده است که اکثراً نواحی دشتی می‌باشد.

شکل (۴) نقشه سال وقوع کمترین مقدار شاخص EVI و نمودار درصد مساحت سال‌ها را نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که در ۶۶/۵ درصد از محدوده مورد مطالعه در سال ۲۰۰۸ است که بیشتر نواحی کوهستانی را در بر گرفته است.



شکل (۴): نقشه سال وقوع کمترین مقدار شاخص EVI و نمودار درصد مساحت سال‌ها

Figure (4): Map of the Year with the Lowest EVI Value and Chart of Area Percentage by Year

مرکز و شرقی محدوده مورد مطالعه کاهش جزئی در مقدار شاخص EVI رخ داده است. این نواحی بخش‌های دشتی محدوده مورد مطالعه هستند. جدول (۲) مساحت طبقات روند تغییرات شاخص EVI محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. ۷۱ درصد از محدوده مورد مطالعه در حالت پایدار قرار دارد و

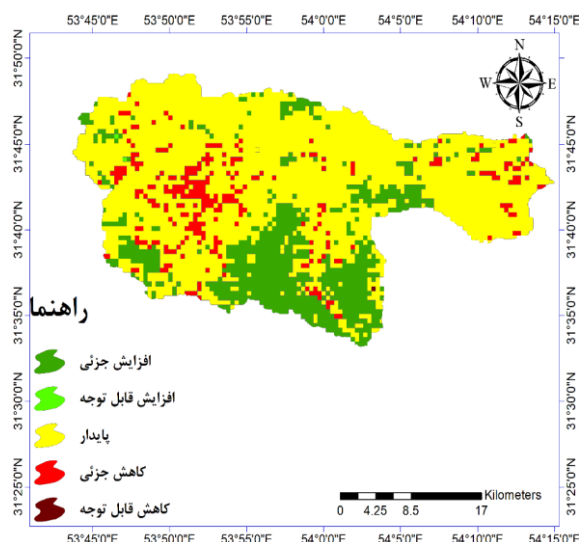
شکل (۵) نقشه روند تغییرات شاخص EVI محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، نواحی جنوبی محدوده مورد مطالعه افزایش جزئی در مقدار شاخص EVI رخ داده است. با توجه به شکل (۱) این نواحی بیشتر کوهستانی بوده و دامنه‌های شیرکوه را در بر می‌گیرد. همچنین در نواحی

جدول (۲): مساحت طبقات روند تغییرات شاخص EVI

Table (2): Area of Trend Classes for EVI Index Changes

مساحت (Km2)	مساحت (%)	کلاس روند
۰/۸	۰/۱	افزایش قابل توجه
۱۷۵	۲۱/۲	افزایش جزئی
۵۸۶/۱	۷۱	پایدار
۶۳/۶	۷/۷	کاهش جزئی

روندی در تغییرات شاخص EVI شناسایی نشده است. در ۲۱/۲ درصد از محدوده مورد مطالعه افزایش جزئی در تغییرات شاخص EVI مشاهده شد. همچنین در ۷/۷ درصد از محدوده مورد مطالعه کاهش جزئی در تغییرات شاخص EVI وجود دارد. این نتایج حاکی از پایداری نسبی پوشش گیاهی در بیشتر محدوده مورد مطالعه است.



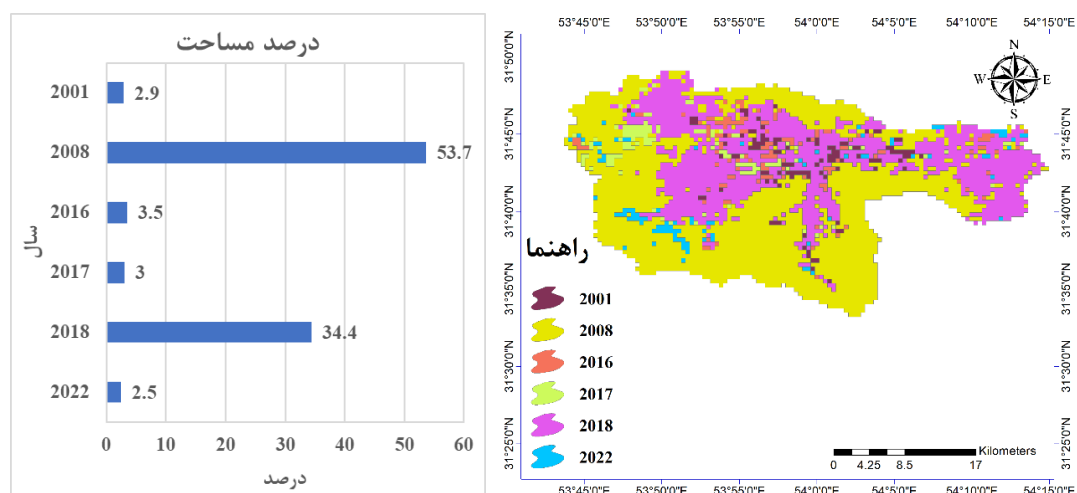
شکل (۵): نقشه روند تغییرات شاخص EVI محدوده مورد مطالعه

Figure (5): Map of EVI Index Change Trends in the Study Area

داده که بیشترین این نواحی مناطق کوهستانی قرار گرفته است. همچنین در ۳۴/۴ درصد از محدوده مورد مطالعه در سال ۲۰۱۸، بیشترین مقدار این شاخص رخ داده است که بیشتر نواحی دشتی را شامل می شود.

نتایج ارزیابی روند تغییرات شوری خاک

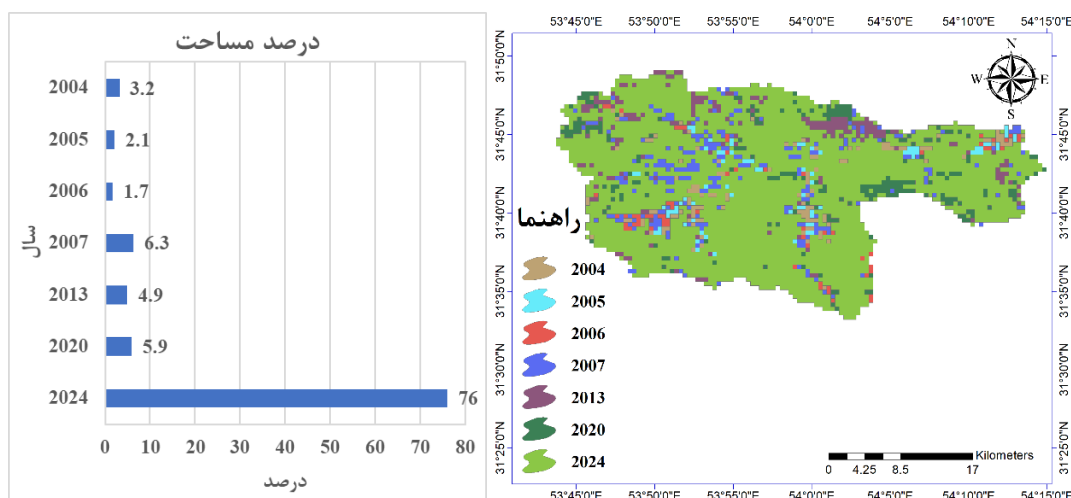
شکل (۶) نقشه سال وقوع بیشترین مقدار شاخص NDSI و نمودار درصد مساحت سالها بین سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴ را نشان می دهد. با توجه به این شکل، در ۵۳/۷ درصد از محدوده مورد مطالعه در سال ۲۰۰۸، بیشترین مقدار شاخص NDSI رخ



شکل (۶): نقشه سال وقوع بیشترین مقدار شاخص NDSI و نمودار درصد مساحت سالها

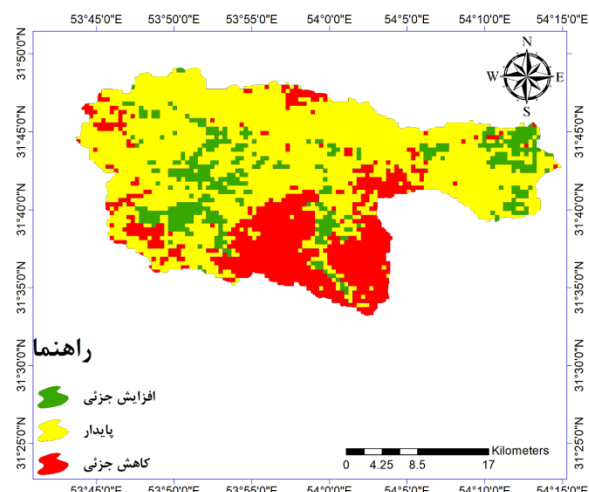
Figure (6): Map of the Year with the Highest NDSI Value and Chart of Area Percentage by Year

شکل (۷) نقشه سال وقوع کمترین مقدار شاخص NDSI محدودۀ مورد مطالعه در سال ۲۰۲۴ کمترین مقدار شاخص و نمودار درصد مساحت سال‌ها بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴ NDSI رخ داده است. را نشان می‌دهد. همچنین نتایج نشان داد که در ۷۶ درصد از



شکل (۷): نقشه سال وقوع کمترین مقدار شاخص NDSI و نمودار درصد مساحت سال‌ها

Figure (7): Map of the Year with the Lowest NDSI Value and Chart of Area Percentage by Year



شکل (۷): نقشه روند تغییرات شاخص NDSI محدودۀ مورد مطالعه
Figure (7): Map of NDSI Index Change Trends in the Study Area

نتایج ارزیابی روند تغییرات رطوبت خاک

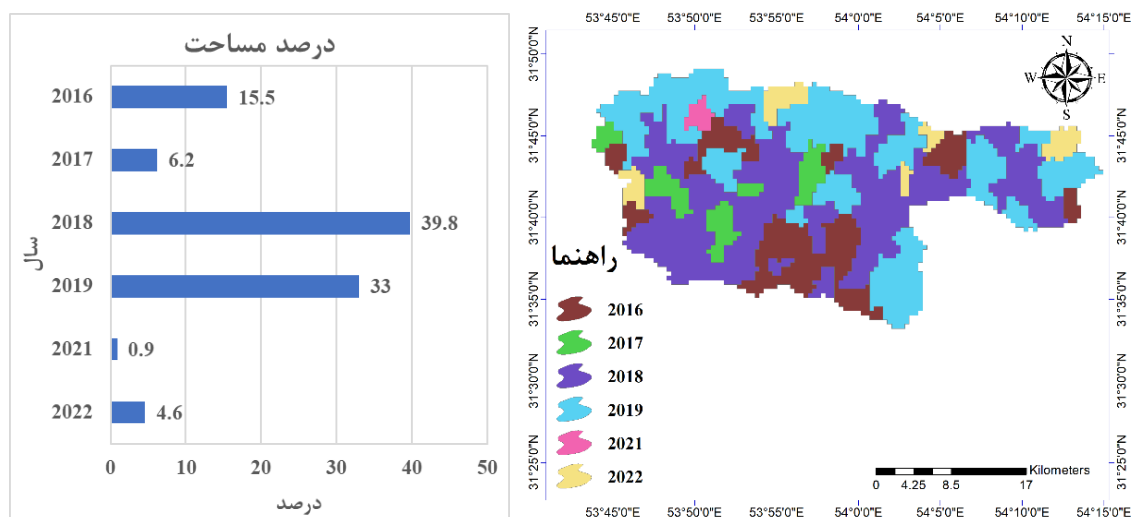
شکل (۸) نقشه سال وقوع بیشترین مقدار شاخص NMDI و نمودار درصد مساحت بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴ را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، در ۳۹/۸ درصد از محدودۀ مورد مطالعه در سال ۲۰۱۸ و در ۳۳ درصد از محدودۀ مورد مطالعه در سال ۲۰۱۹، بیشترین مقدار شاخص NMDI رخ داده است.

شکل (۸) نقشه روند تغییرات شاخص NDSI محدودۀ مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، نواحی جنوبی محدودۀ مورد مطالعه کاهش جزئی در مقدار شاخص NDSI مشاهده شده است. با توجه به شکل (۱)، این نواحی بیشتر کوهستانی بوده و دامنه‌های شیرکوه را در بر می‌گیرد. همچنین در نواحی مرکز و شرقی محدودۀ مورد مطالعه که عموماً نواحی دشتی است، افزایش جزئی در مقدار شاخص NDSI رخ داده است. جدول (۳) مساحت طبقات روند تغییرات شاخص NDSI محدودۀ مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این جدول، ۶۳/۶ درصد از محدودۀ مورد مطالعه در حالت پایدار قرار دارد و روندی در تغییرات شاخص NDSI شناسایی نشده است. همچنین در ۱۲/۵ درصد از محدودۀ مورد مطالعه، افزایش جزئی در تغییرات شاخص NDSI مشاهده گردید. در ۲۳/۹ درصد از محدودۀ مورد مطالعه کاهش جزئی در تغییرات شاخص NDSI وجود دارد.

جدول (۳): مساحت طبقات روند تغییرات شاخص NDSI

Table (3): Area of Trend Classes for NDSI Index Changes

مساحت (%)	مساحت (Km ²)	کلاس روند
۱۲/۵	۱۰۳/۲	افزایش جزئی
۶۳/۶	۵۲۵	پایدار
۲۳/۹	۱۹۷/۳	کاهش جزئی

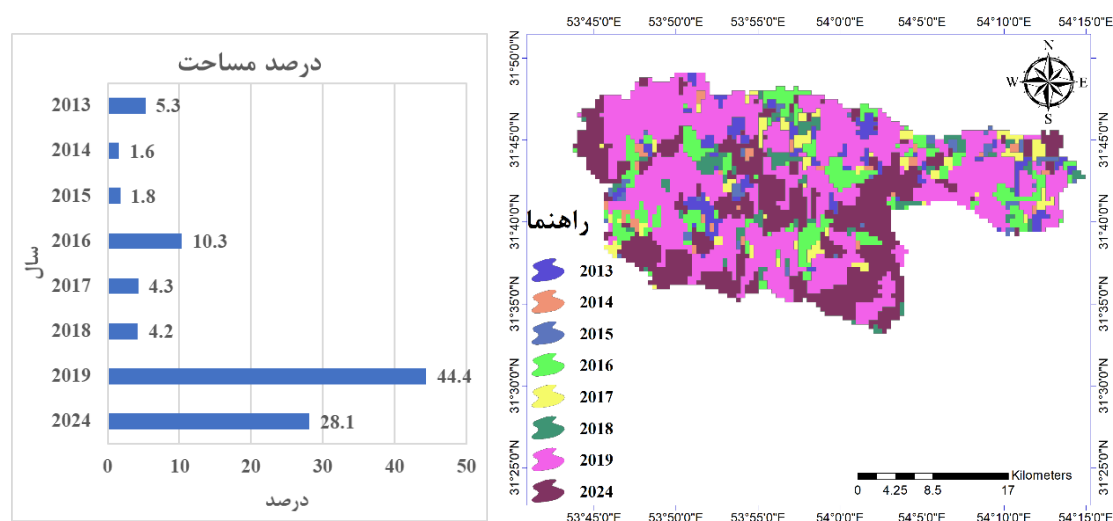


شکل (۸): نقشه سال وقوع بیشترین مقدار شاخص NMDI و نمودار درصد مساحت سالها

Figure (8): Map of the Year with the Highest NMDI Value and Chart of Area Percentage by Year

مورد مطالعه در سال ۲۰۱۹ و در ۲۸/۱ درصد از محدوده مورد مطالعه در سال ۲۰۲۴، کمترین مقدار شاخص NMDI رخ داده است.

شکل (۹) نقشه سال وقوع کمترین مقدار شاخص NMDI و نمودار درصد مساحت سالها بین سالهای ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۴ را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، در ۴۴/۴ درصد از محدوده



شکل (۹): نقشه سال وقوع کمترین مقدار شاخص NMDI و نمودار درصد مساحت سالها

Figure (9): Map of the Year with the Lowest NMDI Value and Chart of Area Percentage by Year

محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج این جدول، ۹۱/۸ درصد از محدوده مورد مطالعه در حالت پایدار قرار دارد و روندی در تغییرات شاخص NMDI مشاهده نشده است. همچنین در ۶/۱ درصد از محدوده مورد مطالعه افزایش جزئی در تغییرات شاخص NMDI مشاهده شد. همچنین در ۲/۱ درصد از محدوده مورد مطالعه کاهش جزئی در تغییرات شاخص NMDI وجود دارد.

شکل (۱۰) نقشه روند تغییرات شاخص NMDI محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، در اکثر محدوده مورد مطالعه روند تغییرات شاخص NMDI پایدار بوده و حالت افزایشی و کاهشی نداشته است. افزایش جزئی مقادیر شاخص NMDI با بیشتر در نواحی کوهستانی و کاهش جزئی مقادیر شاخص NMDI بیشتر در نواحی دشتی رخ داده است. جدول (۴) مساحت طبقات روند تغییرات شاخص NMDI

قدرت برآورد بالایی برای تاج پوشش سبز و تولید گیاهی است، می‌توان بیان کرد که پوشش گیاهی در این ماه‌ها در وضعیت بهتری نسبت به سایر ماه‌ها قرار دارد. به عبارت دیگر، فصل رویش پوشش گیاهی در محدوده مورد مطالعه در ماه‌های می و ژوئن است. علمدارلو و همکاران (۲۰۱۸) و دنگ^۲ و همکاران (۲۰۲۰) در تحقیقات خود به این موضوع اشاره کرده و نشان دادند اوج فعالیت فتوسنتزی گیاهان مناطق خشک معمولاً ۴ تا ۶ هفته پس از آخرین بارش بهار رخ می‌دهد. در ادامه با گرم‌تر شدن هوا و شروع فصل تابستان، مقدار شاخص EVI کاهش یافته است که با نتایج مکرم و همکاران (۲۰۱۷) همخوانی دارد.

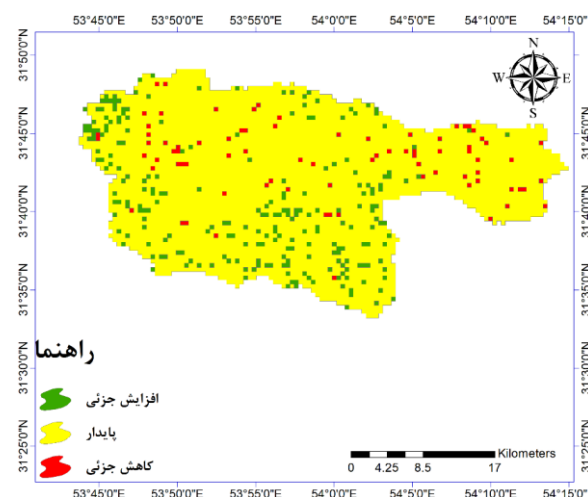
ارزیابی روند تغییرات EVI نشان داد که در ۶۵ درصد از محدوده مورد مطالعه، در سال ۲۰۲۴ بیشترین مقدار شاخص EVI رخ داده است. این مطلب ناشی از بارش‌های چند سال اخیر است؛ به‌خصوص از سال ۱۴۰۱ که بارش‌ها در استان و حتی کشور کمی بهتر از بارش‌های دهه گذشته بود. عبدالحسنی و همکاران (۲۰۲۴) نیز در پژوهش خود به این موضوع اشاره نمودند. از طرف دیگر، با توجه به خشکسالی‌های چند دهه اخیر دامداران محلی یا دامداری را رها کرده یا تعداد دام‌ها را به شدت کاهش داده‌اند که باعث شده فشار از روی پوشش گیاهی برداشته شود و با بارش خوب سریع رشد کنند. مطالعات الینگتن^۳ و همکاران (۲۰۱۸) نیز نشان داد که کاهش تراکم دام می‌تواند منجر به بهبود چشمگیر پوشش گیاهی در مناطق خشک شود.

نتایج ارزیابی روند تغییرات شاخص EVI نشان داد که در ۲۱/۲ درصد از محدوده مورد مطالعه افزایش جزئی در تغییرات شاخص EVI که اکثراً در نواحی کوهستانی است، مشاهده گردید. این بهبود عمدتاً ناشی از ترکیب عوامل طبیعی مانند بارش‌های سال‌های اخیر، مطابق با یافته‌های جمالی و همکاران (۲۰۲۱)، و مدیریتی مانند کاهش فشار چرای دام بوده است. همچنین در ۷/۷ درصد از محدوده مورد مطالعه کاهش جزئی در تغییرات شاخص EVI وجود دارد که عمده این نواحی در بخش‌های دشتی قرار دارد. این نتایج حاکی از پایداری نسبی

جدول (۴): مساحت طبقات روند تغییرات شاخص NMDI

Table (4): Area of Trend Classes for NMDI Index Changes

کلاس روند	مساحت (Km ²)	مساحت (%)
افزایش جزئی	۵۰/۴	۶/۱
پایدار	۷۵۷/۸	۹۱/۸
کاهش جزئی	۱۷/۳	۲/۱



شکل (۱۰): نقشه روند تغییرات شاخص NMDI محدوده مورد مطالعه

Figure (10): Map of NMDI Index Change Trends in the Study Area

بحث و نتیجه‌گیری

پایش منظم و مداوم پوشش گیاهی، شوری و رطوبت خاک در مقیاس‌های مختلف محلی، منطقه‌ای و جهانی به‌منظور درک بهتر پدیده بیابان‌زایی ضروری است. با توجه به شرایط اقلیمی حاکم بر نواحی اطراف شیرکوه در استان یزد از جمله دشت تفت نصرآباد، بررسی وضعیت پوشش گیاهی، شوری و رطوبت خاک و روند تغییرات آن‌ها در طول زمان، می‌تواند در مدیریت اراضی و منابع طبیعی این استان مفید واقع شود. بنابراین در پژوهش حاضر به بررسی تغییرات این شاخص‌ها در دشت تفت نصرآباد پرداخته شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه از الگوی فصلی مشخصی پیروی می‌کند، به‌طوری‌که بیشترین مقدار شاخص EVI در ماه‌های می و ژوئن مشاهده شد. این یافته با مطالعات ژئی^۱ و همکاران (۲۰۲۲) در مناطق خشک چین همخوانی دارد. با توجه به این مسئله که شاخص EVI دارای

دشتی به تغییرات محیطی، از دیگر یافته‌های مهم این پژوهش بود. همان‌طور که لی و همکاران (۲۰۲۰) اشاره کرده‌اند، خاک‌های دشتی با وجود داشتن ظرفیت نگهداشت آب بیشتر، در معرض خطر بالاتر شوری قرار دارند که این موضوع توضیح‌دهنده تفاوت رفتار این مناطق در پژوهش حاضر است. همچنین نتایج نشان داد که در ۹۱/۸ درصد از محدوده مورد مطالعه رطوبت خاک در حالت پایدار قرار دارد و روندی در تغییرات شاخص NMDI مشاهده نشده است. بنابراین می‌توان گفت که در بازه زمانی مورد مطالعه رطوبت خاک روند خاصی را نداشته است. این پایداری قابل توجه را می‌توان به ترکیبی از عوامل طبیعی و مدیریتی از جمله ویژگی‌های ذاتی خاک محدوده مورد مطالعه شامل بافت مناسب و نفوذپذیری کنترل‌شده (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۳) نسبت داد. به‌طور کلی، می‌توان گفت که دشت تفت نصرآباد در استان یزد یکی از بهترین مکان‌های استان یزد از نظر اقلیم است بنابراین در این محدوده، اکوسیستم پایداری نسبت به دیگر نواحی وجود دارد. با این حال، در برخی نواحی پوشش گیاهی در حال کاهش و شوری خاک در حال افزایش است که این نواحی باید در اولویت مدیریت کارشناسان منابع طبیعی قرار گیرد تا اکوسیستم در این نواحی به حالت پایدار برسد و بیابانزایی کنترل شود. با توجه به نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود که روند تغییرات شاخص‌های بیابانزایی با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی مدل‌سازی شود.

پوشش گیاهی در بیشتر محدوده مورد مطالعه است. مهم‌ترین عوامل مؤثر بر تخریب پوشش گیاهی در این نواحی فعالیت‌های انسانی است. ابراهیمی و همکاران (۲۰۱۹) در پژوهش خود در استان کرمان سهم عوامل انسانی را بسیار بیشتر از عوامل اقلیمی تعیین کردند. این یافته‌ها بر ضرورت اجرای برنامه‌های مدیریت مشارکتی، توسعه کشاورزی پایدار و تقویت سیستم‌های پایش برای حفظ تعادل اکولوژیک در مناطق خشک تأکید دارد.

با توجه به نتایج این پژوهش، در ۵۳/۷ درصد از محدوده مورد مطالعه در سال ۲۰۰۸ و در ۳۴/۴ درصد از محدوده مورد مطالعه در سال ۲۰۱۸، بیشترین مقدار شاخص NDSI رخ داده است. همچنین نتایج نشان داد که در ۷۶ درصد از محدوده مورد مطالعه در سال ۲۰۲۴ کمترین مقدار شاخص NDSI رخ داده است. نتایج نشان داد که در ۱۲/۵ درصد از محدوده مورد مطالعه افزایش جزئی در شوری خاک که عمدتاً در نواحی دشتی است، مشاهده گردید. در ۲۳/۹ درصد از محدوده مورد مطالعه کاهش جزئی در شوری خاک که عمدتاً در نواحی کوهستانی است، وجود دارد. در بررسی تغییرات شوری خاک، نتایج نشان داد که بین شاخص NDSI و پوشش گیاهی رابطه معکوسی وجود دارد. این یافته با مطالعات مترنیکت و زینگ (۲۰۱۶) هم‌خوانی دارد که تأکید کردند پوشش گیاهی می‌تواند از طریق کاهش تبخیر از سطح خاک و بهبود ساختمان خاک، به کنترل شوری کمک کند. تفاوت پاسخ مناطق کوهستانی و

منابع

1. Abolhasani, A., Khosravi, H., Alamdarloo, E. H., & Barkhori, S. (2024). Assessing intensity of desertification and land rehabilitation using the change vector analysis method (Case study: Dehshir Plain, Yazd province, Iran). *Journal of Rangeland Science*, 14(4), 1-8.
2. Alamdarloo, E. H., Manesh, M. B., & Khosravi, H. (2018). Probability assessment of vegetation vulnerability to drought based on remote sensing data. *Environmental monitoring and assessment*, No. 190, 1-11.
3. Allington, G. R., Fernandez-Gimenez, M. E., Chen, J., & Brown, D. G. (2018). Combining participatory scenario planning and systems modeling to identify drivers of future sustainability on the Mongolian Plateau. *Ecology and Society*, 23(2), 44-62.
4. Azizzadeh, M.R. & Javan, K. (2018). Trends of Extreme Temperature over the Lake Urmia Basin, Iran, During 1987-2014. *Journal of the Earth and Space Physics*, 43(4), 55-72.
5. Bartels, D. & Sunkar, R. (2005). Drought and salt tolerance in plants. *Critical reviews in plant sciences*, 24(1), 23-58.
6. Behrang Manesh, M., Khosravi, H., Azarnivand, H., & Senator, A. (2019). Quantification of vegetation change trends using remote sensing (Study area: Fars Province). *Plant Ecosystem Conservation*, 7(15), 295-318.
7. Boelman, N. T., Stieglitz, M., Rueth, H. M., Sommerkorn, M., Griffin, K. L., Shaver, G. R., &

- Gamon, J. A. (2003). Response of NDVI, biomass, and ecosystem gas exchange to long-term warming and fertilization in wet sedge tundra. *Oecologia*, 135(3), 414-421.
8. Bonan, G. (2015). *Ecological climatology: concepts and applications*. Cambridge University Press.
 9. Cao, R., Jiang, W., Yuan, L., Wang, W., Lv, Z., & Chen, Z. (2014). Inter-annual variations in vegetation and their response to climatic factors in the upper catchments of the Yellow River from 2000 to 2010. *Journal of Geographical Sciences*, 24(6), 963-979.
 10. Colditz, R.R., Ressler, R.A., & Bonilla-Moheno, M. (2015). Trends in 15-year MODIS NDVI time series for Mexico. In *Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images (Multi-Temp)*. *Eighth International Workshop on the* (pp. 1-4). IEEE.
 11. Daw, T. M., Hicks, C. C., Brown, K., Chaigneau, T., Januchowski-Hartley, F. A., Cheung, W. W., ... & McClanahan, T. R. (2016). Elasticity in ecosystem services: exploring the variable relationship between ecosystems and human well-being. *Ecology and Society*, No. 21, 69-78.
 12. Deng, H., Yin, Y., & Han, X. (2020). Vulnerability of vegetation activities to drought in Central Asia. *Environmental Research Letters*, 15(8), 084005.
 13. Ebrahimi, Z., Roustaei, F., Soleimani Sardou, M.. 2019. Analysis of temporal changes in vegetation cover of western rangelands of Kerman province using MODIS level 3 data and its relationship with climatic factors. *Geographical Studies of Arid Regions*, 10(37), 52-40.
 14. Farifteh, J., Farshad, A., & George, R. J. (2006). Assessing salt-affected soils using remote sensing, solute modelling, and geophysics. *Geoderma*, 130(3-4), 191-206.
 15. Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., & Gibbs, H. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574.
 16. Fraedrich, K., Kleidon, A., & Lunkeit, F. (1999). A green planet versus a desert world: Estimating the effect of vegetation extremes on the atmosphere. *Journal of Climate*, 12(10), 3156-3163.
 17. Fu, B.-j., Zhuang, X.-l., Jiang, G.-b., Shi, J.-b., & Lu, Yi-he. (2007). Feature: environmental problems and challenges in China. In: ACS Publication Kelly, M., Tuxen, K. A., Stralberg, D., 2011. Mapping changes to vegetation pattern in a restoring wetland: Finding pattern metrics that are consistent across spatial scale and time. *Ecological indicators*, 11(2), 263-273.
 18. Geist, H. J., & Lambin, E. F. (2004). Dynamic causal patterns of desertification. *Bioscience*, 54(9), 817-829.
 19. Godínez-Alvarez, H., Herrick, J., Mattocks, M., Toledo, D., & Van Zee, J. (2009). Comparison of three vegetation monitoring methods: Their relative utility for ecological assessment and monitoring. *Ecological indicators*, 9(5), 1001-100.
 20. Guo, B., Wei, C., Yu, Y., Liu, Y., Li, J., Meng, C., & Cai, Y. (2022). The dominant influencing factors of desertification changes in the source region of Yellow River: Climate change or human activity?. *Science of The Total Environment*, 813, 152512.
 21. Hafez, E. M., Omara, A. E. D., Alhumaydhi, F. A., & El-Esawi, M. A. (2021). Minimizing hazard impacts of soil salinity and water stress on wheat plants by soil application of vermicompost and biochar. *Physiologia Plantarum*, 172(2), 587-602.
 22. Hashemi, Z., Sodaeezadeh, H., Mokhtari, M.H., Hakimzadeh, M.A., & Kamali Aliabadi, K. (2024). Monitoring and forecasting desertification and land degradation using remote sensing and machine learning techniques in Sistan plain, Iran. *Journal of African Earth Sciences*, No. 218, 105375.
 23. Huete, A. (2016). Vegetation's responses to climate variability. *Nature*, 531(7593), 181-182.
 24. Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote sensing of environment*, 83(1-2), 195-213.
 25. Huo, H., & Sun, C. (2021). Spatiotemporal variation and influencing factors of vegetation dynamics based on Geodetector: A case study of the northwestern Yunnan Plateau, China. *Ecological indicators*, No. 130, 108005.
 26. Jamali, F. S., & Khaledi, S. (2021). The role of temperature changes in environmental sustainability of Tehran. *Researches in Earth Sciences*, 12(1), 222-235.
 27. Jiang, D., Fu, X., & Wang, K. (2013). Vegetation dynamics and their response to freshwater inflow and climate variables in the Yellow River Delta, China. *Quaternary International*, No. 304, 75-84.
 28. Jiang, W., Yuan, L., Wang, W., Cao, R., Zhang, Y., & Shen, W. (2015). Spatio-temporal analysis of vegetation variation in the Yellow River Basin. *Ecological Indicators*, No. 51, 117-126.
 29. Kelly, M., Tuxen, K. A., & Stralberg, D. (2011). Mapping changes to vegetation pattern in a restoring wetland: Finding pattern metrics that are consistent across spatial scale and time. *Ecological Indicators*, 11(2), 263-273.
 30. Kendall, M. (1975). *Rank Correlation Methods*. London: Charles Griffin.
 31. Lawley, V., Lewis, M., Clarke, K., Ostendorf, B. (2016). Site-based and remote sensing methods for monitoring indicators of vegetation condition: An Australian review. *Ecological indicators*, No. 60, 1273-1283.

32. Li, B., Tang, H., & Chen, D. (2009). *Drought Monitoring Using the Modified Temperature/Vegetation Dryness Index*, 2nd International Congress on Image and Signal Processing, 17-19 Oct. 2009, China.
33. Li, Y., Li, Z., Cui, S., & Zhang, Q. (2020). Trade-off between soil pH, bulk density and other soil physical properties under global no-tillage agriculture. *Geoderma*, No. 361, 114099.
34. Liu, Q., Wang, T., Han, Q., Sun, S., Liu, C. Q., & Chen, X. (2019). Diagnosing environmental controls on actual evapotranspiration and evaporative fraction in a water-limited region from northwest China. *Journal of Hydrology*, No. 578, 124045.
35. Liu, S., Wang, T., Kang, W., & David, M. (2014). Several challenges in monitoring and assessing desertification. *Environmental Earth Sciences*, 73(11), Article number 64, Pages 7561-7570.
36. Lunetta, R. S., Knight, J. F., Ediriwickrema, J., Lyon, J. G., & Worthy, L. D. (2006). Land-cover change detection using multi-temporal MODIS NDVI data. *Remote sensing of environment*, 105(2), 142-154.
37. Major, D.J., Baret, F., & Guyot, G. (1990). A ratio vegetation index adjusted for soil brightness. *International Journal of Remote Sensing*, 11(5), 727-740.
38. Makram, M., Mazin, M., Faraji, M., & Mousavi, K. (2017). Investigating changes in vegetation cover in different growing seasons using satellite images and its relationship with temperature changes (Study area: North of Darab County). *Iranian Natural Ecosystems Quarterly*, 8(3), 1-20.
39. Matinfar, H., & Saadi Khani, M. (2014). Soil Moisture Measurement Using Remote Sensing, *First National Conference on Sustainable Management of Soil Resources and Environment, Kerman*, <https://civilica.com/doc/325060>.
40. Mann, H B. (1945). Non-parametric tests again trend. *Econometrica*. No. 13, 245-259.
41. Martínez-López, J., Bagstad, K. J., Balbi, S., Magrach, A., Voigt, B., Athanasiadis, I., ... Villa, F. (2019). Towards globally customizable ecosystem service models. *Science of the Total Environment*, No. 650, 2325-2336.
42. Mehrabi, M., Hamzeh, S., Alavipanah, S., Kiavarz Moghadam, M., & Ziaei, R. (2019). Soil moisture estimation using remote sensing data and surface energy balance system. *Watershed Engineering and Management*, 11(3), 759-770. doi: 10.22092/ijwmse.2018.115271.1354.
43. Meng, X., Gao, X., Li, S., Li, S., & Lei, J. (2021). Monitoring desertification in Mongolia based on Landsat images and Google Earth Engine from 1990 to 2020. *Ecological indicators*, No. 129, 107908.
44. Metternicht, G. I., & Zinck, J. A. (2003). Remote sensing of soil salinity: potentials and constraints. *Remote sensing of Environment*, 85(1), 1-20.
45. Metternicht, G., & Zinck, J. A. (2016). Geomorphic landscape approach to mapping soil degradation and hazard prediction in semi-arid environments: salinization in the cochabamba valleys, bolivia. In *Geopedology: An Integration of Geomorphology and Pedology for Soil and Landscape Studies* (pp. 425-439). Cham: Springer International Publishing.
46. Mouchet, M. A., Lamarque, P., Martín-López, B., Crouzat, E., Gos, P., Byczek, C., & Lavorel, S. (2014). An interdisciplinary methodological guide for quantifying associations between ecosystem services. *Global environmental change*, No. 28, 298-308.
47. Peng, T., Li, J., Song, C., Zhao, Z., Zhang, J., Hui, Z., & King, J. W. (2012). Biomarkers challenge early Miocene loess and inferred Asian desertification. *Geophysical Research Letters*, 39(6), 120-132.
48. Pettorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J.-M., Tucker, C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in ecology & evolution*, 20(9), 503-510.
49. Piao, S., & Fang, J. (2003). Seasonal Changes in Vegetation Activity in Response to Climate Changes in China between 1982 and 1999 [J]. *Acta Geographica Sinica*, 1.
50. Ponce-Campos, G. E., Moran, M. S., Huete, A., Zhang, Y., Bresloff, C., Huxman, T. E., Eamus, D., Bosch, D. D., Buda, A. R., & Gunter, S. A. (2013). Ecosystem resilience despite large-scale altered hydroclimatic conditions. *Nature*, 494(7437), 349-352.
51. Potter, C., Boriah, S., Steinbach, M., Kumar, V., & Klooster, S. (2008). Terrestrial vegetation dynamics and global climate controls. *Climate Dynamics*, 31(1), 67-78.
52. Sen, P.K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J. Am. Stat. Assoc*, 63(324), 1379-1389.
53. Rahmani, F., Sodaieizadeh, H., Yazdani-Biouki, R., Hakimzadeh, M.A., & KamaliAliabadi, K. (2024). Effect of bio-priming on morphological, physiological and essential oil of Chamomile (*Matricaria chamomilla* L.) under salinity stress. *South African Journal of Botany*, No. 167, 630-642.
54. Seneviratne, S. I., Corti, T., Davin, E. L., Hirschi, M., Jaeger, E. B., Lehner, I., ... Teuling, A. J. (2010). Investigating soil moisture-climate interactions in a changing climate: A review. *Earth-Science Reviews*, 99(3-4), 125-161.
55. Shi, H., & Chen, J. (2018). Characteristics of climate change and its relationship with land use/cover change in Yunnan Province, China.

- International journal of climatology*, 38(5), 2520-2537.
56. Sodaieizadeh, H., Hokmollahi, F., Ghasemi, S., Sadeghian, M., & Tarrah, S. (2025). Cyanobacteria inoculation mitigates salinity stress by regulating plant growth, photosynthetic performance, elemental concentrations and yield in wheat. *South African Journal of Botany*, No. 180, 857-869.
 57. Sohrabizadeh, Z., Sodaieizadeh, H., Hakimzadeh, M.A., Taghizadeh-Mehrjardi, R., & Ghanei Bafghi, M.J. (2023). A statistical approach to study the spatial heavy metal distribution in soils in the Kushk Mine, Iran. *Geoscience Data Journal*, No. 10, 315-327.
 58. Spake, R., Lasseur, R., Crouzat, E., Bullock, J. M., Lavorel, S., Parks, K. E., ... Eigenbrod, F. (2017). Unpacking ecosystem service bundles: Towards predictive mapping of synergies and trade-offs between ecosystem services. *Global Environmental Change*, No. 47, 37-50.
 59. Teferi, E., Uhlenbrook, S., & Bewket, W. (2015). Inter-annual and seasonal trends of vegetation condition in the Upper Blue Nile (Abay) Basin: dual-scale time series analysis. *Earth System Dynamics*, 6(2), 517-636.
 60. Thiel, H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis, Part 3. In *Proceedings of Koninklijke Nederlandse Akademie, van Wetenschappen A*. 53: 1397-1412.
 61. Vereecken, H., Huisman, J. A., Bogaen, H., Vanderborght, J., Vrugt, J. A., & Hopmans, J. W., 2008. On the value of soil moisture measurements in vadose zone hydrology: A review. *Water resources research*, 44(4), 1-21.
 62. Villa, F., Bagstad, K. J., Voigt, B., Johnson, G. W., Portela, R., Honzák, M., & Batker, D. (2014). A methodology for adaptable and robust ecosystem services assessment. *PloS one*, 9(3), e91001.
 63. Wang, B., Xu, G., Li, P., Li, Z., Zhang, Y., Cheng, Y., Jia, L., & Zhang, J. (2020). Vegetation dynamics and their relationships with climatic factors in the Qinling Mountains of China. *Ecological indicators*, No. 108, 105719.
 64. Wang, F., Yang, S., Yang, W., Yang, X., & Jianli, D. (2019). Comparison of machine learning algorithms for soil salinity predictions in three dryland oases located in Xinjiang Uyghur Autonomous Region (XJUAR) of China. *European Journal of Remote Sensing*, 52(1), 256-276.
 65. Wang, L., & Qu, J. J. (2007). NMDI: A normalized multi-band drought index for monitoring soil and vegetation moisture with satellite remote sensing. *Geophysical research letters*, 34(20), 123-128.
 66. Wang, T., Franz, T. E., Yue, W., Szilagyi, J., Zlotnik, V. A., You, J., ... Young, A. (2016). Feasibility analysis of using inverse modeling for estimating natural groundwater recharge from a large-scale soil moisture monitoring network. *Journal of Hydrology*, No. 533, 250-265.
 67. Wang, Z., Zhang, F., Zhang, X., Chan, N. W., Arike, M., Zhou, X., & Wang, Y. (2021). Regional suitability prediction of soil salinization based on remote-sensing derivatives and optimal spectral index. *Science of The Total Environment*, No. 775, 145807.
 68. Wu, W., Zucca, C., Muhaimed, A. S., Al-Shafie, W. M., Fadhil Al-Quraishi, A. M., Nangia, V., ... Liu, G. (2018). Soil salinity prediction and mapping by machine learning regression in Central Mesopotamia, Iraq. *Land degradation & development*, 29(11), 4005-4014.
 69. Xie, X., He, B., Guo, L., Huang, L., Hao, X., Zhang, Y., ... & Wang, S. (2022). Revisiting dry season vegetation dynamics in the Amazon rainforest using different satellite vegetation datasets. *Agricultural and Forest Meteorology*, 312, 108704, 54-64.
 70. Xin, Z., Yu, X., & Lu, X. (2011). Factors controlling sediment yield in China's Loess Plateau. *Earth Surface Processes and Landforms*, 36(6), 816-826.
 71. Yang, F., Ichii, K., White, M. A., Hashimoto, H., Michaelis, A. R., Votava, P., Zhu, A.-X., Huete, A., Running, S. W., & Nemani, R. R. (2007). Developing a continental-scale measure of gross primary production by combining MODIS and AmeriFlux data through Support Vector Machine approach. *Remote Sensing of Environment*, 110(1), 109-122.
 72. Zhang, Y., Gao, J., Liu, L., Wang, Z., Ding, M., & Yang, X. (2013). NDVI-based vegetation changes and their responses to climate change from 1982 to 2011: A case study in the Koshi River Basin in the middle Himalayas. *Global and Planetary Change*, No. 108, 139-148.
 73. Zhou, Z., Ding, Y., Shi, H., Cai, H., Fu, Q., Liu, S., & Li, T. (2020). Analysis and prediction of vegetation dynamic changes in China: Past, present and future. *Ecological indicators*, No. 117, 106642.
 74. Zuo, D., Han, Y., Xu, Z., Li, P., Ban, C., Sun, W., Pang, B., Peng, D., Kan, G., & Zhang, R. (2021). Time-lag effects of climatic change and drought on vegetation dynamics in an alpine river basin of the Tibet Plateau, China. *Journal of Hydrology*, No. 600, 126532.

Trend Analysis of Key Indicators Affecting Desertification in the Nosratabad Plain, Taft

Elham Sadat Shokoohi,¹ Hamid Sodaeizadeh,^{2*} Mohammad Hosein Mokhtari,³ Hasan Khosravi⁴

Received: 20/07/2025

Accepted: 17/09/2025

Extended Abstract

Introduction: Desertification stands as one of the most severe global ecological and environmental challenges, affecting one-fifth of the world's population residing in drylands. The biophysical variables of an ecosystem, primarily vegetation cover and soil condition, are most frequently used to assess desertification. Among the critical factors driving this process in various ecosystems are soil salinity and moisture. A significant obstacle in studying changes in desertification indicators is the scarcity of accurate historical spatial data. However, the consistent availability of multi-temporal satellite data across various spectral bands has led to the growing application of time-series remote sensing methods. These techniques are increasingly vital for monitoring a wide array of features associated with the desertification phenomenon.

Materials and methods: This study investigated the trends of vegetation cover, soil salinity, and soil moisture as key factors influencing desertification in the Taft-Nosratabad Plain of Yazd Province over the period 2001–2024. Utilizing MODIS satellite data, we calculated the Enhanced Vegetation Index (EVI), the Normalized Difference Salinity Index (NDSI), and the Normalized Multi-band Drought Index (NMDI). The trends in these parameters were subsequently analyzed using a combined approach of the Mann-Kendall test and the Theil-Sen estimator.

Results: The results indicated a distinct seasonal pattern in vegetation cover, with peak EVI values observed in May and June. Trend analysis revealed that the highest EVI value occurred in 2024 across 65% of the study area, attributable to increased recent rainfall and reduced grazing pressure. An earlier peak was observed in 2020 for 15.2% of the area. Conversely, the lowest EVI values were recorded in 2008 across 66.5% of the region—primarily mountainous areas—and in 2018 across 21.2% of the area, mainly plains.

Trend analysis showed that 71% of the region exhibited a stable EVI trend with no significant change. A slight increasing trend was observed in 21.2% of the area, mostly in mountainous regions, while a slight decline occurred in 7.7%, predominantly in plain areas. These findings indicate relative stability of vegetation cover across most of the study area.

Soil salinity assessment showed the highest NDSI values in 2008 across 53.7% of the study area (mostly mountainous), and in 2018 across 34.4% (mainly plains). The lowest NDSI values, reflecting improved conditions, were recorded in 2024 across 76% of the area—an improvement associated with increased vegetation cover.

Trend analysis indicated stable NDSI conditions in 63.6% of the study area. A slight increase in salinity was observed in 12.5% of the area, while 23.9% showed a slight decrease.

Soil moisture analysis revealed the highest NMDI values in 2018 (39.8% of area) and 2019 (33% of area). The lowest values occurred in 2019 (44.4% of area) and 2024 (28.1% of area). Trend analysis indicated stable conditions across 91.8% of the region, suggesting relative hydrological stability. Slight increases were observed in 1.6% of the area, with decreases in 1.2%.

The findings demonstrate the interrelationship between vegetation cover, soil salinity, and moisture dynamics in this arid region, with most areas showing stable conditions over the study period.

Discussion and conclusion: In general, the Taft-Nosratabad Plain in Yazd Province can be considered one of the more favorable areas within the province from a climatic perspective. This has contributed to the development of a relatively more stable ecosystem here compared to other regions in Yazd. However, the study identifies localized areas where vegetation cover is declining and soil salinity is increasing. These specific degraded areas should be prioritized for targeted management interventions by natural resource managers. The key objectives would be to restore these ecosystems to a healthier state and effectively control the process of desertification. This study underscores the critical importance of integrated natural resource management, controlling destructive anthropogenic activities, and implementing continuous monitoring programs for this sensitive ecosystem. The methodology and findings provide a valuable model for designing sustainable land management strategies in other arid regions of Iran.

Keywords: EVI, The process of changes, Theil-Sen, Mann-Kendall, MODIS, NDSI, NMDI.

1. PHD student in Desert Management and Control, Yazd University. Email: elshokoohi15@gmail.com

2. Professor, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Department of Arid and Desert Areas Management. Email: hsodaie@yazd.ac.ir

3. Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Yazd University, Department of Arid and Desert Areas Management. Email: mh.mokhtari@yazd.ac.ir

4. Professor, Faculty of Natural Resources, Tehran University, Arid and Mountainous Areas Restoration Group. Email: hakhosravi@ut.ac.ir