

ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی در پاسخ به مقادیر سالانه بارش و دما در استان سمنان

مریم رئیسی: دانشجوی دکتری مهندسی منابع طبیعی، گروه بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان

علی اصغر ذوالفقاری*: دانشیار گروه آموزشی مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان

محمد رحیمی: استاد گروه آموزشی بیابان‌زدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان

سید حسن کابلی: استادیار گروه آموزشی مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان

مقاله پژوهشی

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۹)

چکیده

تغییرات شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI)، به‌طور عمده به تغییر در مؤلفه‌های اقلیمی مانند دما و بارش به‌ویژه در مناطق خشک و نیمه‌خشک وابسته است. اهداف پژوهش حاضر شامل ارزیابی تغییرات NDVI در ماه‌های مختلف از سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ است که با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی، شیب خط سن و تعیین روابط بین شاخص NDVI و مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما در استان سمنان انجام می‌شود. در این مطالعه، داده‌های بازتحلیل‌شده شبکه‌ای بارش و دمای حاصل از پروداکت ERA5-Land و داده‌های NDVI حاصل از پروداکت MODIS طی سری زمانی بیست ساله (۲۰۰۱-۲۰۲۰) در بررسی تغییرات شاخص NDVI در استان سمنان واکاوی شد. تصحیح اُریبی داده‌های اقلیمی نیز با استفاده از روش نگاشت چندک (QM) انجام شد. همچنین روند تغییرات شاخص NDVI با استفاده از روش رگرسیون خطی و شیب تخمین‌گر سن ارزیابی شد. پس از آن، میزان ضریب تبیین — که میزان ارتباط بین مؤلفه‌های دما و بارش را با پوشش گیاهی نشان می‌دهد — محاسبه شد. نتایج حاصل از شیب خط رگرسیونی و شیب خط سن، در برآورد تغییرات پوشش گیاهی نسبت به دو مؤلفه اقلیمی بارش و دما تقریباً مشابه بود. در ۷۵٪ از مساحت استان، میزان ضرایب تبیین در ماه‌های نهم و دوازدهم میلادی (حدوداً و به ترتیب معادل ماه‌های شهریور و دی) حداکثر بود و به ترتیب ۵۶٪ و ۶۲٪ برآورد شد که ارتباط مثبت پوشش گیاهی را در ماه‌های مذکور با بارش سالانه تأیید می‌کرد. در نیمی از مساحت استان نیز تغییرات NDVI ماهانه نسبت به دمای سالانه طی بازه زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۱، صفر یا منفی بود؛ به‌طوری که در سال‌های ذکر شده میزان پوشش گیاهی در ارتباط با دما تغییر نکرده یا اندکی کاهش یافته بود. همچنین در ۵۰٪ از مساحت استان، میزان ضریب تبیین بین شاخص NDVI و دمای سالانه از ۱۴٪ تا ۲۸٪ متغیر بود و تنها در ۲۵٪ از استان، ارتباط میان پوشش گیاهی در ماه‌های هشتم تا دوازدهم میلادی (به‌طور تقریبی معادل ماه‌های مرداد تا دی) و دمای سالانه به بیش از ۴۰٪ رسیده بود. واژگان کلیدی: تغییرات شاخص NDVI، داده‌های بازتحلیل‌شده ERA5-Land، شیب خط تخمین‌گر سن، شیب خط رگرسیونی، مؤلفه‌های اقلیمی بارش، دمای سطح زمین.

۱- مقدمه

پوشش گیاهی یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های اکوسیستم‌های زمینی است که در تنظیم و تعادل کربن، تبادل انرژی و پایداری اقلیمی نقشی حیاتی برعهده دارد (Duveiller et al, 2018 & Shen et al, 2016). همچنین پوشش گیاهی مهم‌ترین عامل در مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب است که دینامیک آن بر چرخه هیدرولوژیکی و شرایط اقلیمی تأثیر می‌گذارد (Duan et al, 2021 & Jia et al, 2020)؛ به عنوان مثال، در بسیاری از مطالعات انجام شده ارتباط بین شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI) و عامل پوشش گیاهی (C) به عنوان مهم‌ترین عامل در برآورد فرسایش خاک ارزیابی می‌شود. در سال‌های اخیر، استفاده از روش‌های سنجش از دور برای بررسی پویایی پوشش گیاهی در مقیاس‌های بزرگ افزایش یافته‌است. سنجش از دور، تصاویر پیوسته و با کیفیتی بالا را از تغییرات مکانی — زمانی رشد گیاه فراهم می‌کند (Hu and Xia, 2019 & Tao et al, 2018). یکی از شاخص‌های دریافت شده سنجش از دوری، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI) است که از آن در ارزیابی پوشش گیاهی به‌طور گسترده استفاده قرار می‌شود. این شاخص، میزان فتوسنتز را با استفاده از باندهای مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک^۱ محاسبه می‌کند و معمولاً تحت تأثیر حضور کلروفیل است (Spadoni et al, 2020) و شرایط رشد گیاه را به‌طور دقیق نشان می‌دهد. پروداکت‌های حاصل از NOAA/AVHRR، SPOT/VGT و MODIS، داده‌های NDVI را برای تحلیل روند پوشش گیاهی فراهم می‌کند. از سوی دیگر، دما و بارش از مهم‌ترین شاخص‌های تأثیرگذار بر تغییرات شاخص NDVI است (Li et al, 2016). درک ارتباط بین بارش، شاخص NDVI و دما در برنامه‌ریزی‌های جنگل‌کاری در یک منطقه اهمیت زیادی دارد (Garai et al., 2022). علاوه بر آن، پاسخ شاخص NDVI به مؤلفه بارش با نوع پوشش گیاهی تغییر می‌کند. معمولاً نوع پوشش بوته‌زار، چمن‌زار و علفزار، به تغییرات بارش پاسخ قوی می‌دهند؛ در حالی که جنگل‌ها و درخت‌زارها نسبت به تغییرات بارش پاسخ ضعیفی نشان می‌دهند (Ding et al, 2007).

آنالیز روند دما به داده‌هایی با قدرت تفکیک مکانی بالا و پوشش جغرافیایی گسترده نیازمند است تا امکان بررسی و تحلیل روند و تغییرات را در مقیاس منطقه‌ای فراهم کند. داده‌های بازتحلیل‌شده دمای ERA5-Land از مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت آب و هوایی^۲ با قدرت تفکیک مکانی جهانی ۹ کیلومتر، این مشکل را برطرف می‌کند (Wang et al, 2022). داده‌های بازتحلیل‌شده، منبع مهمی از اطلاعات جوی است که در موارد بسیاری مانند مطالعات اقلیمی، مدل‌سازی‌های آب‌شناختی و پیش‌بینی عددی وضع هوا نقش به‌سزایی دارد (Sam Khaniani and Mohammadi, 2022). این داده‌ها ابزاری قدرتمند برای پژوهش‌های اتمسفری و منبع مهمی از متغیرهای جوی است که با ترکیب اندازه‌گیری‌های مختلف زمینی، ماهواره‌ای و اقیانوسی از یک مدل عددی فیزیکی — دینامیکی به‌دست می‌آید و در سال‌های اخیر، بسیاری از محققان به آن توجه داشته‌اند (Tarek et al, 2020). داده‌های بازتحلیل‌شده، اطلاعاتی درباره وضعیت گذشته اتمسفر در سطوح مختلف فراهم می‌کند و از این جهت، از آن در مطالعات دینامیک اتمسفری به‌طور گسترده استفاده می‌شود (Diallo et al, 2021 & Huth and Beranova, 2021). یکی از مزیت‌های استفاده از داده‌های آفلاین سطح زمین، پیوستگی زمانی آنهاست که به صورت دائم به‌روزرسانی می‌شود. داده‌های

¹ The Infrared (IR) and Near-Infrared (NIR) Bands

² European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF)

بازتحلیل‌شده اتمسفری چنین پیوستگی را دارد که به توسعه روش‌های خطایابی منجر می‌شود (Reichle et al, 2017 & Weedon et al, 2011). داده‌های بازتحلیل‌شده، رکوردهای طولانی مدت و پیوسته‌ای را از چندین متغیر اقلیمی مانند بارندگی فراهم می‌کند (Hu et al, 2019 & Sun et al, 2018)؛ به‌همین دلیل، این داده‌ها جایگزینی بالقوه برای داده‌های مشاهداتی زمینی به‌خصوص در مناطق بدون ایستگاه یا با تعداد ایستگاه ناکافی است (Amjad et al, 2020). داده‌های بازتحلیل‌شده، متأثر از خطای مشاهداتی و مدل‌سازی است که می‌تواند کارایی و عملکرد مدل را در ترکیب و پارامترسازی پردازش‌های کوچک مقیاس داده‌ها تحت تأثیر قرار دهد (Bližňák et al, 2022).

مطالعات اخیر نشان داده‌است که سری جدید داده‌های بازتحلیل‌شده ECMWF مانند ERA5 و ERA5-Land، نسبت به نسخه‌های قدیمی خود عملکرد بهتری داشته‌است (Amjad et al, 2020 & Beck et al, 2019 & Gleixner et al, 2020 & Hamm et al, 2020 & Nogueira, 2020). در این راستا، از داده‌های ERA5-Land در ارزیابی‌های مختلف زمینی به‌طور گسترده استفاده می‌شود (Chen et al, 2021 & Pelosi et al, 2020 & Sheridan et al, 2020 & Stefanidis et al, 2021). برخلاف قابلیت این داده‌ها در گرفتن رخدادهای بارندگی و بازتولید پراکنش مکانی - زمانی این متغیر، در بیشتر آنالیزها اُریبی گزارش شده‌است (Gomis-Cebolla et al, 2023). خطایابی، رویکردی براساس تغییرات آماری است که می‌کوشد داده‌های مدل‌سازی‌شده را تنظیم و تعدیل کند تا به متغیرهای اقلیمی مشاهداتی بسیار نزدیک شود (Gudmundsson et al, 2012). در این راستا برای حذف خطا یا به‌حداقل رساندن آن، روش‌های زیادی توسعه داده شده و از آن استفاده شده‌است که روش نگاشت چندک (QM)^۱، یکی از پرکاربردترین این روش‌ها است که براساس اصلاح به‌وسیله چندک‌ها عمل می‌کند (Ghalami et al, 2022). در پژوهش‌های زیادی به استفاده از این روش توصیه شده‌است؛ زیرا استفاده از آن سبب شده نتایج کیفیت بالایی داشته باشد.

در پژوهشی، Zhe and Zhang (2021) در پاسخ به تغییرات متغیرهای اقلیمی بارش و دمای ماهانه طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ در جنوب تبت در چین، به بررسی الگوهای مکانی - زمانی پوشش گیاهی پرداختند. نتایج نشان داد که متوسط سالانه رشد فصلی NDVI در حوضه، ۰/۲۸ با حداقل مقدار در مناطق کوهستانی و بیشترین مقدار پراکنش در رودخانه‌ها و دریاچه‌ها بود. روند افزایشی شاخص NDVI در حدود ۶۲ درصد از تمامی پوشش منطقه در جنوب و غرب حوضه، همراه با تغییرات معنی‌دار بود؛ در حالی که مناطق شرقی کاهش پوشش گیاهی را نشان داد. در فصل رشد NDVI ضریب تبیین مثبتی با بارش و دما داشت که دما مؤلفه و محرک اصلی رشد پوشش گیاهی در تمامی حوضه بود. ضریب تبیین بین شاخص NDVI، دما و بارش بیش از ۰/۶ در حدود ۷۲٪ و ۶۰٪ به‌ترتیب در مناطق دارای پوشش بود. Huang و همکاران (2020) به بررسی تغییرات پوشش گیاهی بر اساس شاخص NDVI در مناطق کوهستانی کن چین طی سه دهه گذشته پرداختند. نتایج نشان داد که این مقادیر از ۰/۶۲۴ به ۰/۷۷۶ طی ۳۲ سال اخیر افزایش یافته‌است. همچنین میانگین شاخص NDVI در دامنه‌های ارتفاعی مختلف تغییر کرده؛ به طوری که این شاخص در مناطق با ارتفاع کمتر از ۳۳۰۰ متر به‌ویژه در اراضی زراعی افزایش یافته‌است (Huang et al, 2020). در مطالعه‌ای دیگر، Ghebregabher و همکاران (2020) به بررسی فصلی تغییرات NDVI طی سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۳ در آفریقا پرداختند. ارتباط بین شاخص‌های اقلیمی دما و بارش با مقادیر NDVI بررسی شد. نتایج نشان داد که این شاخص با بارش، نسبت

¹ Quantile Mapping

مستقیم و با دما نسبت معکوس دارد. همچنین متوسط مقادیر NDVI به تدریج از سال ۱۹۸۲ تا ۱۹۹۸ افزایش و پس از آن به دلیل تغییرات بارش از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۳ کاهش یافته است؛ به طوری که جنگل‌ها حدود ۰/۴ درصد طی دو دهه گذشته کاهش یافته است. Zhe and Zhang (2021) به بررسی الگوهای زمانی — مکانی پوشش گیاهی و پاسخ آن به متغیرهای اقلیمی در یازده ایستگاه هواشناسی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ در حوضه Yamzhog Yumco در جنوب تبت پرداختند. این امر با استفاده از داده‌های ماهانه دما و بارش و شاخص NDVI صورت گرفت. براساس نتایج، شاخص NDVI در فصل رشد ضریب تبیین مثبتی با بارش و دما داشت؛ به طوری که دما عامل محرک اصلی برای رشد پوشش گیاهی در تمامی حوضه بود. علاوه بر آن، میزان ضریب تبیین میان شاخص NDVI، دما و بارش بزرگ‌تر از ۰/۶ به ترتیب در حدود ۷۲٪ و ۶۰٪ از مناطق دارای پوشش گیاهی بود. Shabanipoor و همکاران (2019) نیز به بررسی تحلیل روند بلندمدت پوشش گیاهی در استان کردستان پرداختند. این امر با استفاده از شاخص NDVI از سری تصاویر مادیس طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ انجام شد. نتایج حاصل از تحلیل روند به روش رگرسیون حداقل مربعات معمولی و ناپارامتریهای تیل — سن، کاملاً مشابه و بیانگر افزایش ناچیز NDVI بود. افزون بر آن، نتایج من — کنдал ۹۷٪ منطقه، روند افزایشی و حدود ۴۶/۲٪ روند کاهشی داشت. در برخی از بخش‌های استان نیز روند افزایشی بسیار ناچیز و با شیب رگرسیونی کم مشاهده شد (Shabanipoor et al, 2019). در مطالعه‌ای دیگر، Wang و همکاران (2022) با استفاده از داده‌های MODIS، میزان تغییرات دمای سطح زمین را طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ در مقیاس‌های جهانی، قاره‌ای و پیسکل به پیکسل^۱، همچنین داده‌های مدل‌سازی شده ERA5-Land را از سال ۱۹۸۱ بررسی کردند. نتایج نشان داد که روند تغییرات دمایی در دوره کوتاه ۲۰۰۱-۲۰۲۰، به‌طور ویژه‌ای روند دما را در بلندمدت (۲۰۲۰-۱۹۸۱) توجیه کرد و با آن مطابقت داشت. همچنین در دوره زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۰، متوسط تغییرات دمایی در سطح زمین در هر دهه ۰/۲۶ تا ۰/۳۴ درجه سانتیگراد بود که در مناطق مختلف میزان گرمایش متفاوتی را نشان می‌داد (Wang et al, 2022). در مطالعه‌ای، داده‌های بارش ماهانه شبکه‌ای توسط روش نگاشت چندک، اصلاح اریبی شد و همبستگی داده‌های اصلاح اریبی شده با داده‌های مشاهداتی نشان داد که در ۵۰٪ ایستگاه‌ها، همبستگی بهبود یافته است (Ghalami et al, 2022).

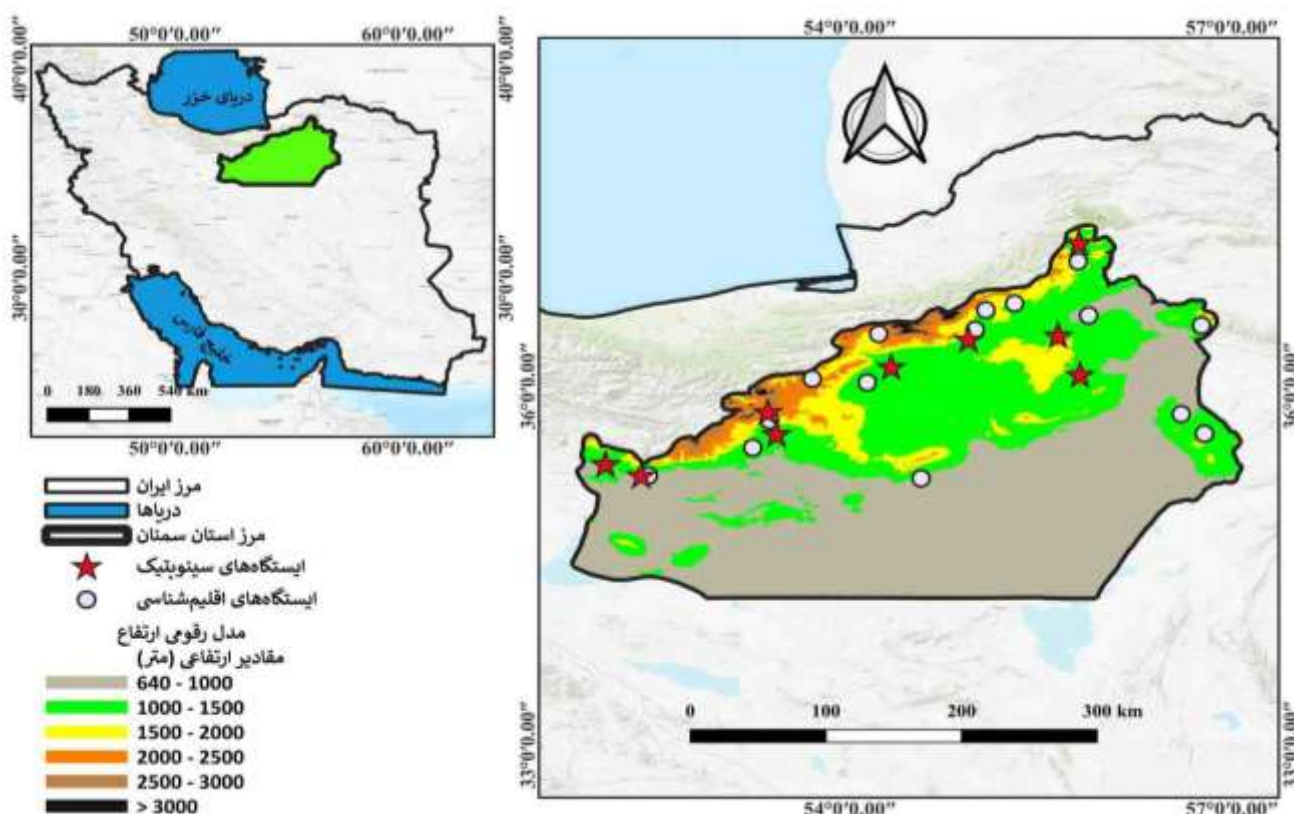
استان سمنان، اقلیم خشک و نیمه‌خشک و اکوسیستمی شکننده دارد که این خصوصیت محیطی به آسیب‌پذیری منطقه نسبت به فرسایش منجر می‌شود؛ به همین دلیل، ارزیابی پوشش گیاهی به عنوان عاملی حفاظتی در برابر فرسایش‌های آبی و بادی ضروری است؛ از این رو اهداف پژوهش حاضر، ارزیابی و پایش تغییرات سالانه NDVI از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی و شیب خط سن، و بررسی و تعیین روابط بین شاخص NDVI و مؤلفه‌های اقلیمی بارش (mm/year) و دما (°C/year) در استان سمنان است.

۲- منطقه مورد مطالعه

منطقه مطالعاتی در پژوهش حاضر، استان سمنان واقع در بخش مرکزی ایران با مساحتی در حدود ۹۷۴۹۱ کیلومتر مربع است که ۵/۹ درصد از مساحت کل کشور ایران را در برمی‌گیرد (شکل ۱). این استان در ۳۷°۲۰' ۳۴°۱۳' عرض شمالی و ۵۱°۵۱' ۵۷°۰۳' طول شرقی قرار دارد. شهرستان سمنان مرکز این استان است و از شمال به استان‌های خراسان

¹ Pixel-wise

شمالی، مازندران و گلستان، از جنوب به استان‌های خراسان جنوبی و اصفهان، از شرق به استان‌های خراسان رضوی و از غرب به استان‌های تهران و قم محدود می‌شود. این استان در دامنه جنوبی کوه‌های البرز قرار دارد که ارتفاع آن از شمال به جنوب کاهش می‌یابد و به دشت کویر منتهی می‌شود (Zakeri et al, 2020). مقادیر بیشینه، کمینه و متوسط سالانه دما در استان به ترتیب برابر با $23/7^{\circ}\text{C}$ ، $12/8^{\circ}\text{C}$ و $18/3^{\circ}\text{C}$ درجه سانتیگراد متغیر است. همچنین، متوسط سالانه بارش در استان، حدود ۱۳۶ میلی‌متر در سال برآورد شده است (Amini et al, 2022). تغییرات ارتفاع در استان نیز نسبتاً زیاد است و از ۶۴۰ متر در نواحی جنوبی استان تا بیش از ۴۰۰۰ متر در بخش‌های شمالی متغیر می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت قرارگیری استان سمنان در ایران و شماتیک تغییرات ارتفاعی و پراکنش ایستگاه‌های سینوتکتیک و اقلیم‌شناسی در استان سمنان

۳- مواد و روش

استخراج شاخص NDVI

شاخص‌های پوشش گیاهی سنجنده مادیس، در فواصل شانزده روزه و با قدرت‌های تفکیک مکانی متفاوتی تولید می‌شود. این شاخص‌ها، قیاس‌های مکانی و زمانی ثابتی را از میزان سبزی‌نگی تاج پوشش گیاهی، ویژگی‌های ترکیبی^۱ سطح برگ، کلروفیل و ساختار تاج پوشش فراهم می‌کند. یکی از این شاخص‌ها که از بازتاب تصحیح‌شدهٔ اتمسفری و طول موج‌های قرمز، مادون قرمز و آبی استخراج می‌شود، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال‌شده (NDVI)^۲ است. داده‌های شاخص NDVI حاصل از پروداکت Terra MODIS با قدرت تفکیک مکانی پانصد متر، برای ارزیابی و پایش تغییرات پوشش گیاهی در استان سمنان طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ در مقیاس ماهانه طی بیست سال در فضای ابری گوگل ارث‌انجین (GEE) پردازش شد. از مقادیر میلنهٔ شاخص NDVI در روش کامپوزیت برای به حداقل رساندن اثرات پوشش ابری، زاویهٔ اسکن و زاویهٔ تابش خورشیدی استفاده شد (Holben, 1986). تصاویر موردنظر، شامل شاخص‌های پوشش گیاهی است که از آن برای پایش جهانی پوشش گیاهی، نمایش پوشش زمین و تغییرات پوشش استفاده می‌شود (Darvand et al, 2021).

داده‌های متغیرهای اقلیمی دما و بارش

داده‌های دما و بارش ماهانه، از ایستگاه‌های سینوپتیک و اقلیم‌شناسی به ترتیب ۹ و ۱۵ ایستگاه طی دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ استخراج شد. داده‌های ایستگاهی در مرحلهٔ بعد نیز به دادهٔ سالانه تبدیل شد. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در جدول ۱ آورده شده است. به دلیل فقدان پراکنش مناسب ایستگاه‌ها در کل منطقهٔ مورد مطالعه، استفاده از روش‌های پهنه‌بندی از قبیل روش‌های زمین‌آمار ممکن است به ایجاد خطا در نقشه‌ها منجر شود؛ از این رو، در این مطالعه داده‌های شبکه‌ای بازتحلیل‌شدهٔ سالانه ERA5-Land با دقت مکانی حدود ۹ کیلومتر، به عنوان داده‌های کمکی در مناطق بدون آمار یا با آمار ناقص در سال‌های آماری مشابه استفاده شد. این داده‌ها در هر شرایط ابری، موجود و در دسترس است (Wang et al, 2022). داده‌های مذکور برای هر دو متغیر اقلیمی دما و بارش دانلود و پردازش شد. پروداکت ERA5-Land، مؤلفه جدید زمینی از نسل پنجم داده‌های بازتحلیل‌شده^۳ است (Muñoz-Sabater et al, 2019). عمده‌ترین مزیت این داده‌ها، قدرت تفکیک مکانی افقی است که به حدود ۹ کیلومتر در سطح جهانی ارتقا یافته است. دورهٔ زمانی این داده‌ها از ژانویهٔ ۱۹۸۱ تا حال، با دو یا سه ماه تأخیر زمانی نسبت به زمان حال در دسترس است. قدرت تفکیک مکانی و زمانی ERA5-Land و دورهٔ زمانی گسترده، آن را به مجموعه داده‌ای با ارزش برای اجرای مطالعات هیدرولوژیکی، آماده‌سازی مدل‌های اقلیمی، کاربردهای متفاوت در زمینهٔ مدیریت منابع آب، زمین و محیط‌زیست مبدل کرده است. بهسازی اصلی این داده‌ها به دلیل ریزمقیاس‌نمایی غیرخطی، با ورودی ترمودینامیک اصلاح شده است (Muñoz-Sabater et al, 2021).

جدول ۱: مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک و اقلیم‌شناسی مورد استفاده در استان سمنان

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	ارتفاع (m)	سال تأسیس	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
------	-------------	-------------	------------	-----------	---------------	---------------

¹ Composite

² The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

³ The Fifth Generation of European Reanalysis (ERA5)

		(درجه - دقیقه)	(درجه - دقیقه)			
۱	سمنان	سینوپتیک	۱۱۲۱	۱۳۴۴	۵۳.۴۲	۳۵.۵۹
۲	شاهرود	سینوپتیک	۱۳۲۲	۱۳۳۰	۵۴.۹۳	۳۶.۳۸
۳	گرمسار	سینوپتیک	۸۸۵	۱۳۶۵	۵۲.۳۶	۳۵.۲۴
۴	بیارجمند	سینوپتیک	۱۰۹۸	۱۳۷۱	۵۵.۸۱	۳۶.۰۸۵
۵	دامغان	سینوپتیک	۱۱۵	۱۳۶۷	۵۴.۳۲	۳۶.۱۵
۶	شهمیرزاد	سینوپتیک	۱۹۵۷	۱۳۷۴	۵۳.۳۵	۳۵.۷۷
۷	میامی	سینوپتیک	۱۰۸۳	۱۳۷۷	۵۵.۶۳	۳۶.۴۱
۸	رضوان	سینوپتیک	۱۳۵۵	۱۳۷۵	۵۵.۸۰	۳۷.۱۹
۹	ایوانکی	سینوپتیک	۱۰۶۵	۱۳۷۵	۵۲.۰۸	۳۵.۳۴
۱۰	احمدآباد	اقلیم‌شناسی	۹۷۲	۱۳۷۵	۵۶.۶۰	۳۵.۷۶
۱۱	آرادان	اقلیم‌شناسی	۹۶۴	۱۳۶۵	۵۲.۴۲	۳۵.۲۵
۱۲	امیریه	اقلیم‌شناسی	۱۱۷۰	۱۳۷۵	۵۴.۱۴	۳۶.۰۲
۱۳	باغستان	اقلیم‌شناسی	۱۲۴۲	۱۳۷۵	۵۶.۷۸	۳۵.۶
۱۴	بسطام	اقلیم‌شناسی	۱۴۲۵	۱۳۷۵	۵۴.۹۸	۳۶.۴۷
۱۵	حسینان	اقلیم‌شناسی	۹۲۰	۱۳۷۴	۵۴.۵۶	۳۵.۲۳
۱۶	دیباچ	اقلیم‌شناسی	۱۸۵۰	۱۳۹۳	۵۴.۲۲	۳۶.۴۳
۱۷	سرخه	اقلیم‌شناسی	۱۱۸۴	۱۳۹۱	۵۳.۲۳	۳۵.۴۸
۱۸	کلاته خیج	اقلیم‌شناسی	۱۴۹۰	۱۳۹۳	۵۵.۲۹	۳۶.۶۹
۱۹	کوهان	اقلیم‌شناسی	۱۰۰۴	۱۳۷۵	۵۵.۸۷	۳۶.۵۹
۲۰	فرومد	اقلیم‌شناسی	۱۲۲۱	۱۳۹۰	۵۶.۷۶	۳۶.۵۰
۲۱	فولاد محله	اقلیم‌شناسی	۱۸۸۳	۱۳۹۰	۵۳.۷۰	۳۶.۰۶
۲۲	قلعه نو خرقان	اقلیم‌شناسی	۱۴۹۰	۱۳۷۵	۵۵.۰۶	۳۶.۶
۲۳	مجن	اقلیم‌شناسی	۱۹۷۰	۱۳۶۵	۵۵.۰۶	۳۶.۸
۲۴	مهدیشهر	اقلیم‌شناسی	۱۷۲۱	۱۳۷۵	۵۳.۳۷	۳۵.۷۱
۲۵	نردین	اقلیم‌شناسی	۱۴۱۵	۱۳۷۵	۵۵.۷۹	۳۷.۰۴

اصلاح اریبی داده‌های شبکه‌ای بازتحلیل شده ERA5-Land به روش نگاشت چندک (QM)

با توجه به اینکه داده‌های شبکه‌ای نسبت به داده‌های مشاهداتی معمولاً خطای سیستماتیک دارند، نتایج خروجی را تحت تأثیر قرار می‌دهند و لازم است که اصلاح شوند. اصلاح اُریبی به روش نگاشت چندک، روشی ناپارامتری است و بدون فرضی اولیه برای تمامی توزیع‌های آماری قابل استفاده است (Fang, 2016). این روش از تابع انتقال تجربی

سرچشمه گرفته‌است و با استفاده از تابع توزیع تجمعی (ECDF)^۱ و معکوس آن (ECDF⁻¹) به شرح زیر توصیف می‌شود:

$$P_{cor,m} = ECDF_{obs,mod}^{-1}(ECDF_{raw,m}(P_{raw,m}))$$

که ECDF و ECDF⁻¹ تابع توزیع تجمعی و معکوس آن، obs مقادیر مشاهداتی، m ماه مورد نظر، P_{raw} دیتای خام اصلاح‌نشده و P_{cor,m} دیتای اصلاح‌اریبی شده در روز و ماه مورد نظر است (Fang et al, 2015). در پژوهش حاضر برای به‌کارگیری روش اصلاح‌اریبی نگاشت چندک، از پکیج qmap در محیط نرم‌افزاری R استفاده شد. در این مرحله، هر سری از داده‌های دما و بارش حاصل از پروداکت شبکه‌ای ERA5-Land طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ مطابق با سری زمانی در دسترس شاخص NDVI استخراج و اندازه پیکسل‌ها تا پانصد متر براساس قدرت تفکیک مکانی داده‌های حاصل از شاخص NDVI تغییر داده شد.^۲ در مرحله بعد، داده‌های مورد نظر توسط روش نگاشت چندک تصحیح شد.

تحلیل روند سری زمانی شاخص NDVI

پس از اجرای پردازش‌های مربوط به اصلاح‌اریبی دما و بارش سالانه، ارتباط بین بارش و دمای سالانه با شاخص NDVI در هر ماه از سال (۲۰۰۱-۲۰۲۰) محاسبه شد. در این مطالعه، ابتدا با استفاده از رگرسیون خطی (رابطه ۱) و روش ناپارامتریک شیب تخمین‌گر خط سن (رابطه ۲)، برای بررسی تغییرات روند شاخص NDVI برای هر پیکسل و آنالیز تفاوت مقادیر این شاخص در سری زمانی از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ استفاده شد. رابطه‌های مورد استفاده به شرح زیر است:

$$Y = ax + b$$

رابطه ۱

$$f(t) = Qt + B$$

رابطه ۲

در رابطه ۱، Y بیانگر شیب تغییرات یا درجه تغییر در شاخص NDVI ماهانه، a شیب خط (slope) و b معادل عرض از مبدأ معادله است. همچنین در رابطه ۲، Q شیب خط روند و B مقداری ثابت است. در واقع، شیب میان جفت داده‌های شاخص NDVI در برابر زمان با استفاده از این رابطه تعیین شد؛ به عبارت دیگر، شیب تغییرات NDVI طی بیست سال در هر پیکسل تعیین شد.

شیب تغییرات مثبت (slope > 0) بدان معناست که شاخص NDVI طی n سال مطالعاتی نسبت به متغیر اقلیمی دما یا بارش افزایش یافته‌است؛ در حالی که شیب تغییرات منفی (slope < 0) بیانگر روند منفی و کاهش شاخص NDVI نسبت به متغیر اقلیمی دما یا بارش است.

همچنین برای برقراری ارتباط بین متغیرهای اقلیمی دما و بارش و شاخص NDVI، از رگرسیون خطی استفاده شد که در این حالت شیب خط رگرسیون، تغییرات NDVI را به عنوان تابعی از بارش و دما نشان می‌دهد. در این مطالعه برای بررسی دقت ارتباط بین پوشش گیاهی و مؤلفه‌های اقلیمی (دما و بارش)، از ضریب تبیین استفاده شد (رابطه ۳):

¹ Empirical Cumulative Distribution Function (ECDF)

² Resample

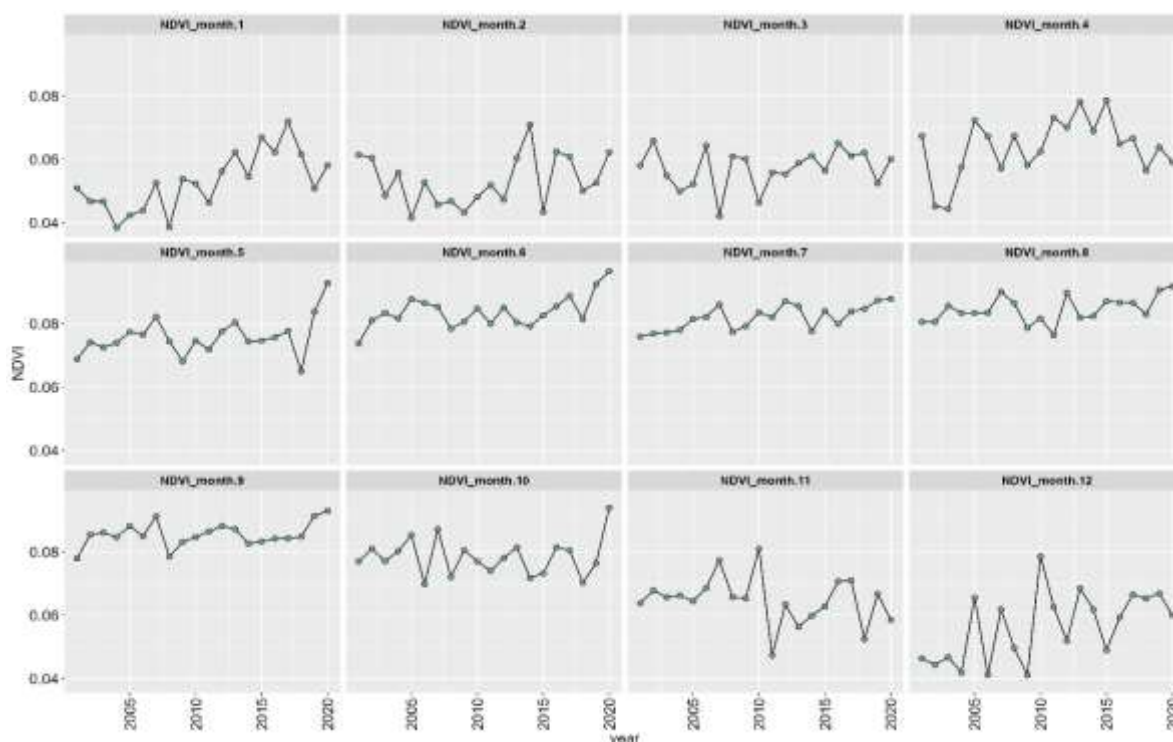
$$R^2 = 1 - \left(\frac{RSS}{TSS} \right) \quad \text{رابطه ۳}$$

که در آن، R^2 ضریب تبیین، RSS باقیمانده جمع مربعات و TSS مجموع جمع مربعات است.

۴- یافته‌ها (نتایج)

شیب تغییرات و پراکنش زمانی - مکانی شاخص NDVI

مقادیر بیشینه و کمینه شیب خط رگرسیون محاسبه شده در سری زمانی شاخص NDVI طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰، به ترتیب بیش از صفر تا کمتر از $-۰/۰۰۲$ در ماه مختلف سال (براساس ماه‌های میلادی) متغیر بود (شکل ۲). شیب خط رگرسیون نشان داد که ۲۵٪ از مساحت استان سمنان در هر ماه طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰، شیب تغییرات نزدیک به صفر داشت (جدول ۲)؛ این بدان معنا است که در دوره زمانی مذکور، شاخص NDVI در سال‌های ذکر شده تغییرات محسوسی نداشته و تقریباً بدون تغییر بوده است. شکل ۲، متوسط تغییرات NDVI در سال‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد. نتایج نشان داد که در فصل زمستان میزان NDVI کمتر از فصل‌های بهار و تابستان بود. از سوی دیگر، بیشتر مقادیر NDVI در استان کمتر از $۰/۱$ بود. این نتایج نشان می‌دهد که مساحت زیادی از استان فاقد پوشش گیاهی متراکم است. براساس نتایج، تغییرات NDVI در ماه‌های ۶ تا ۹ میلادی نسبت به دیگر ماه‌ها کمتر است.



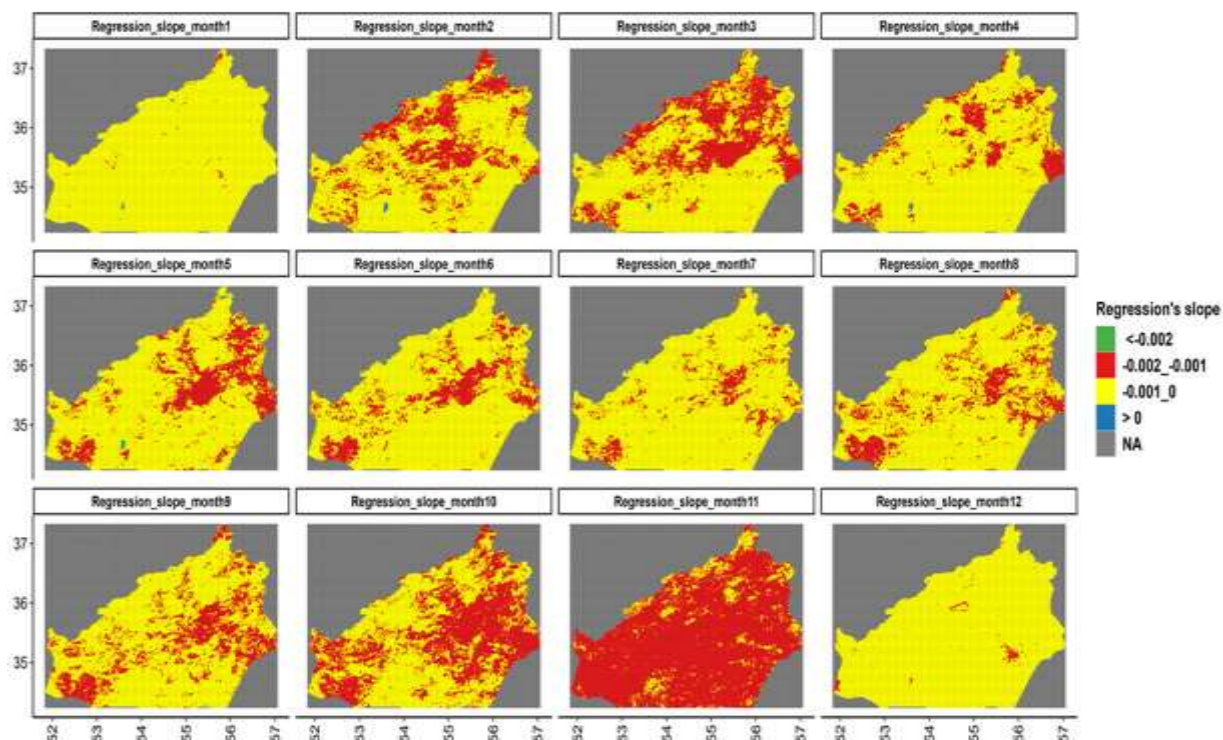
شکل ۲: نمودارهای ماهانه سری زمانی شاخص NDVI طی سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۲۰

شیب خط رگرسیونی سری زمانی NDVI ماهانه طی سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۲۰، در چهار کلاس $-۰/۰۰۲ < -۰/۰۰۲$ تا $-۰/۰۰۱$ ، $-۰/۰۰۱$ تا صفر و بیش از صفر طبقه‌بندی شد. براساس نتایج، تغییرات مثبت شاخص NDVI — که بزرگ‌تر از صفر است (کلاس چهار) — طی بیست سال گذشته در بخش‌های بسیار محدودی از شمال، مرکز و جنوب استان سمنان

طی ماه‌های اول (ژانویه معادل دی‌ماه) تا هفتم (جولای معادل تیر ماه) با رنگ آبی نمایش داده شده است. علاوه بر آن، تغییرات حاصل از شیب رگرسیونی شاخص NDVI بین مقادیر $-0/001$ تا $-0/002$ در کلاس یک در مناطق شمالی و شمال شرق، مرکزی و بخش‌هایی از جنوب استان (که با رنگ قرمز نمایش داده شده است) طی ماه‌های اول و دوازدهم میلادی (به ترتیب معادل ماه‌های بهمن و دی) به حداقل مقدار خود رسیده است؛ در حالی که در کلاس مشابه در ماه یازدهم میلادی (آذرماه)، بیشترین مقادیر پوشش گیاهی بین $-0/001$ تا $-0/002$ مشاهده می‌شود. در تمامی ماه‌های سال به جز ماه یازدهم، مقادیر شیب خط رگرسیون در کلاس سوم و بین $-0/001$ تا صفر (رنگ زرد) قرار دارد که نشان می‌دهد پوشش گیاهی به صورت عملی بدون تغییر بوده یا تغییرات کاهشی بسیار اندکی در سطح استان داشته است (شکل ۳).

جدول ۲: مقادیر شیب رگرسیون NDVI در سری زمانی در ماه‌های مختلف طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۱

شیب خط رگرسیونی شاخص NDVI در هر ماه	کمینه مقادیر	چارک اول (Q1)	چارک دوم یا میانه (Q2)	چارک سوم (Q3)	بیشینه مقادیر
۱	$-0/0025$	$0/0006$	$0/0009$	$0/0032$	$0/013$
۲	$-0/0035$	$-7/99 \times 10^{-6}$	$0/00019$	$0/00045$	$0/013$
۳	$-0/0053$	-7×10^{-5}	$0/00017$	$0/00040$	$0/0081$
۴	$-0/0064$	$0/00019$	$0/00047$	$0/00081$	$0/0098$
۵	$-0/0079$	$5/2 \times 10^{-5}$	$0/00030$	$0/00061$	$0/013$
۶	$-0/0088$	$8/93 \times 10^{-5}$	$0/00033$	$0/00062$	$0/012$
۷	$-0/0065$	$0/00017$	$0/00034$	$0/00057$	$0/0096$
۸	$-0/0078$	$5/53 \times 10^{-5}$	$0/00024$	$0/00048$	$0/0073$
۹	$-0/0072$	$4/27 \times 10^{-6}$	$0/00017$	$0/00039$	$0/0080$
۱۰	$-0/0007$	$-0/00015$	$3/52 \times 10^{-5}$	$0/00022$	$0/0083$
۱۱	$-0/0051$	$-0/00052$	$-0/00035$	$-0/0001$	$0/0055$
۱۲	$-0/0062$	$-0/00070$	$0/00093$	$0/0012$	$0/0084$



شکل ۳: شیب خط رگرسیونی سری زمانی NDVI ماهانه از سال ۲۰۲۰-۲۰۲۱

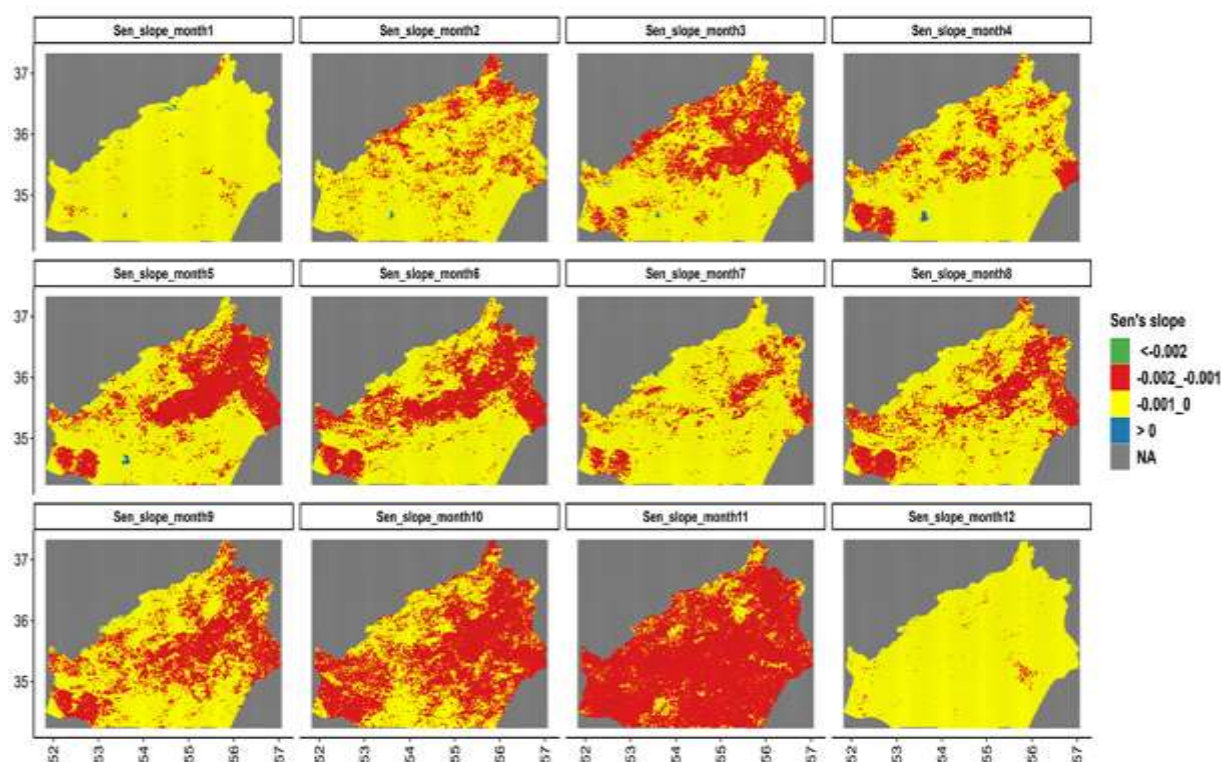
میزان تغییرات پوشش گیاهی شاخص NDVI در منطقه مورد مطالعه در هر ماه طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۲۱، توسط شیب تخمین‌گر سن محاسبه شد که نتایج حاصل از آن در جدول ۳ نمایش داده شده‌است. بر این اساس، در حدود ۷۵٪ از مساحت استان سمنان، تغییر محسوسی در کاهش یا افزایش مقدار پوشش گیاهی براساس شاخص NDVI نداشت که نتایجی مشابه با تغییرات این شاخص با استفاده از شیب خط رگرسیونی نشان می‌دهد. مقادیر منفی در میانه داده‌ها — که پنجاه درصد از مساحت استان را در بر می‌گیرد — بدان معنا است که پوشش گیاهی در ماه‌های نهم تا دوازدهم میلادی (به ترتیب معادل ماه‌های شهریور و دی) به مقدار اندکی کاهش یافته‌است (جدول ۳).

جدول ۳: مقادیر شیب خط تخمین‌گر سن شاخص NDVI در هر ماه طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۲۱

شیب خط تخمین‌گر سن شاخص NDVI در هر ماه	کمیته مقادیر	چارک اول (Q1)	چارک دوم یا میانه (Q2)	چارک سوم (Q3)	بیشینه مقادیر
۱	-۰/۰۰۲۶	۰/۰۰۰۶۱	۰/۰۰۰۹۵	۰/۰۰۱۴	۰/۰۱۷
۲	-۰/۰۰۴۰	$۷/۵۳ \times ۱۰^{-۰۵}$	۰/۰۰۰۳۲	۰/۰۰۰۶۲	۰/۰۱۵
۳	-۰/۰۰۴۸	-۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۴۹	۰/۰۰۹۸
۴	-۰/۰۰۷۵	-۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۰۵۵	۰/۰۰۱۰	۰/۰۱۸
۵	-۰/۰۰۹۱	-۰/۰۰۰۲۸	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۵۴	۰/۰۰۸۶
۶	-۰/۰۰۷۶	-۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۱۸	۰/۰۰۰۵۶	۰/۰۱۵
۷	-۰/۰۰۶۷	۰/۰۰۰۱۲	۰/۰۰۰۳۳	۰/۰۰۰۵۹	۰/۰۱۱
۸	-۰/۰۰۹۲	$-۶/۴۱ \times ۱۰^{-۰۵}$	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۴۲	۰/۰۰۷۶

۰/۰۰۸۷	۰/۰۰۰۲۹	$-۶/۶۸ \times ۱۰^{-۵}$	-۰/۰۰۰۱۵	-۰/۰۰۰۹۴	۹
۰/۰۰۷۴	۰/۰۰۰۱۳	$-۹/۵۰ \times ۱۰^{-۵}$	-۰/۰۰۰۳۳	-۰/۰۰۰۹۵	۱۰
۰/۰۰۵۵	-۰/۰۰۰۲۱	-۰/۰۰۰۴۱	-۰/۰۰۰۶۱	-۰/۰۰۰۵۳	۱۱
۰/۰۰۸۵	۰/۰۰۱۲۲۷	-۰/۰۰۰۹۳	-۰/۰۰۰۶۷	-۰/۰۰۰۳۲	۱۲

با توجه به شکل ۴، بیشترین مقدار تغییرات شاخص NDVI در منطقه مطالعاتی، در ماه‌های اول تا هفتم در بخش‌های اندکی از شمال و جنوب مساحت استان در کلاس چهار (مقادیر بیش از صفر) مشاهده شد که تغییرات مثبت را نشان می‌دهد و به عبارتی، افزایش پوشش گیاهی در این بخش‌ها است که به رنگ آبی نمایش داده شده است. این در حالی است که بیشتر تغییرات شاخص NDVI، براساس شیب تخمین گر سن در کلاس‌های دوم (رنگ قرمز) و سوم (رنگ زرد) قرار دارد که دامنه مقادیر بین $-۰/۰۰۲$ تا صفر را در بر می‌گیرد. مشابه با نتایج حاصل از شیب خط رگرسیونی (شکل ۳)، شیب خط تخمین گر سن نیز در تمامی ماه‌های سال به جز ماه‌های دهم و یازدهم میلادی (معادل ماه‌های آبان و آذر)، در کلاس سوم و بین مقادیر $-۰/۰۰۱$ تا صفر (رنگ زرد) قرار دارد. مقادیر منفی بدان معنا است که پوشش گیاهی در استان سمنان در ماه‌های مذکور روندی کاهشی داشته است. همچنین، در ماه‌های اول و دوازدهم در بیشتر بخش‌های استان نیز شیب تغییرات پوشش گیاهی، بین مقادیر $-۰/۰۰۱$ تا صفر است که با رنگ زرد نمایش داده شده است.



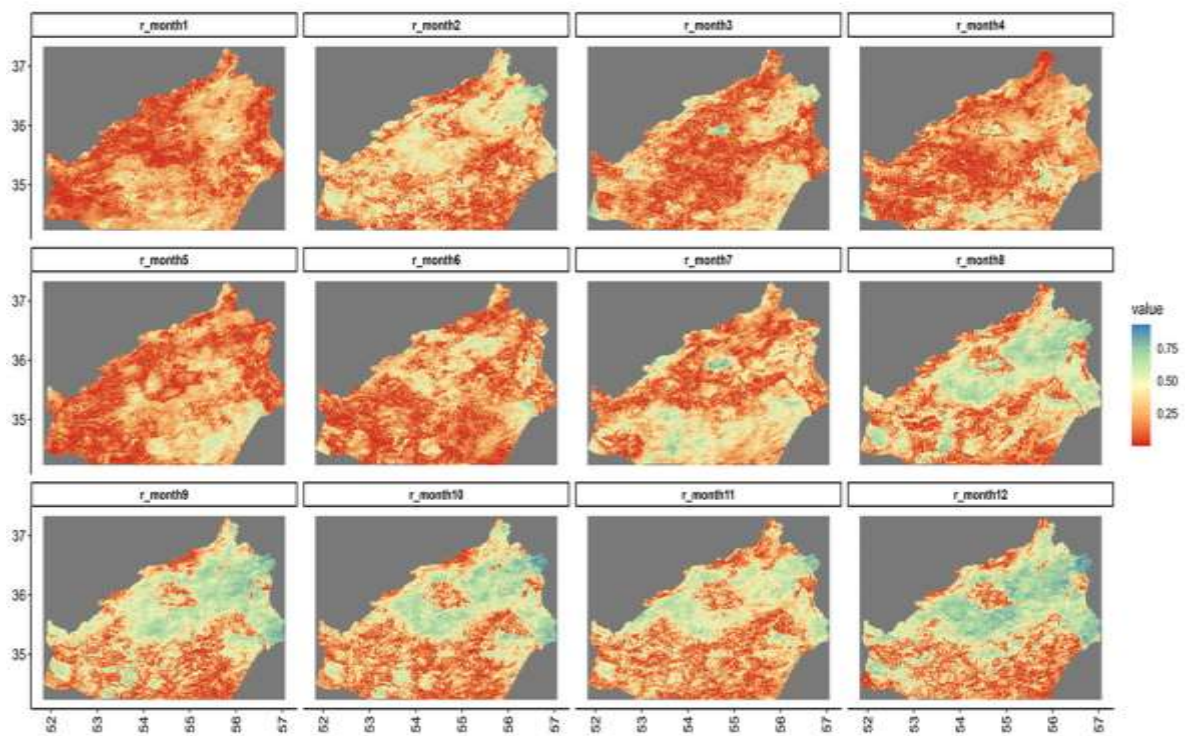
شکل ۴: تغییرات شیب خط تخمین گر سن در سری زمانی NDVI در هر ماه طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۱۱

بررسی ارتباط بین شاخص NDVI و بارش بازتحلیل شده

جدول ۴، نتایج حاصل از مقادیر ضرایب تبیین بین شاخص NDVI و مؤلفه اقلیمی بارش را برای هر ماه در سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد. مقادیر بالای ضریب تبیین، بیانگر ارتباط قوی بین NDVI و بارش سالانه است و مقادیر کم ضریب تبیین، ارتباط ضعیف بین بارش و شاخص NDVI را در پیکسل مورد بررسی نشان می‌دهد. آنالیزهای آماری نشان داد که مقدار میانه ضرایب تبیین بین NDVI و بارش در ماه‌های مختلف، بین ۱۸ تا ۴۴ درصد متغیر است و بیشترین مقادیر میانه ضریب تبیین به ترتیب در ماه‌های نهم و دوازدهم میلادی (به ترتیب معادل ماه‌های شهریور و دی) مشاهده می‌شود که بر اساس این نتایج، ارتباط بین شاخص NDVI و بارش در بیش از پنجاه درصد استان، بین صفر تا ۴۲٪ و ۴۴٪ متغیر بوده است. علاوه بر آن، در ۷۵٪ از مساحت استان، میزان ضریب تبیین در ماه نهم و دوازدهم به بیشینه مقدار خود رسیده و به ترتیب برابر با ۵۶٪ و ۶۲٪ بوده است. بیشینه مقادیر ضریب تبیین مثبت بین بارش و شاخص NDVI، در ماه‌های سوم، نهم، دهم، یازدهم و دوازدهم میلادی (معادل ماه‌های فروردین، شهریور، مهر تا آبان، آذر و دی) بوده (به ترتیب ۸۸٪، ۸۹٪، ۹۴٪، ۸۸٪ و ۹۴٪) و بیانگر آن است که در ماه‌های مذکور با افزایش مقدار بارش در استان، میزان پوشش گیاهی نیز افزایش می‌یابد (جدول ۴). مقدار میانه ضریب تبیین در ماه‌های اول تا ششم میلادی (معادل ماه‌های بهمن تا تیر) نیز به عنوان کمترین مقدار برآورد شد. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد که پوشش گیاهی در فصول زمستان و بهار با بارش سالانه ارتباط معنی‌دار ندارد.

جدول ۴: مقادیر ضریب تبیین بین بارش و شاخص NDVI در هر ماه طی سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۲۰

ضریب تبیین بین بارش و NDVI در هر ماه	کمینه مقادیر	چارک اول (Q1)	چارک دوم یا میانه (Q2)	چارک سوم (Q3)	بیشینه مقادیر
۱	$-1/9 \times 10^{-5}$	۰/۰۸۸	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۷۱
۲	$2/3 \times 10^{-6}$	۰/۱۶	۰/۲۹	۰/۴۱	۰/۸۴
۳	$6/3 \times 10^{-6}$	۰/۰۹۶	۰/۲۰	۰/۳۳	۰/۸۸
۴	$4/9 \times 10^{-6}$	۰/۰۹۶	۰/۱۹	۰/۳۱	۰/۸۶
۵	$2/1 \times 10^{-5}$	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۳۰	۰/۷۳
۶	$7/2 \times 10^{-6}$	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۳۱	۰/۷۸
۷	$4/7 \times 10^{-7}$	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۴۰	۰/۸۶
۸	$1/1 \times 10^{-6}$	۰/۱۹	۰/۳۶	۰/۵۳	۰/۸۷
۹	$5/7 \times 10^{-5}$	۰/۲۲	۰/۴۲	۰/۵۶	۰/۸۹
۱۰	$1/4 \times 10^{-6}$	۰/۱۹	۰/۳۶	۰/۵۴	۰/۹۴
۱۱	$5/08 \times 10^{-6}$	۰/۱۷	۰/۳۲	۰/۴۷	۰/۸۸
۱۲	$2/6 \times 10^{-5}$	۰/۲۱	۰/۴۳	۰/۶۲	۰/۹۴

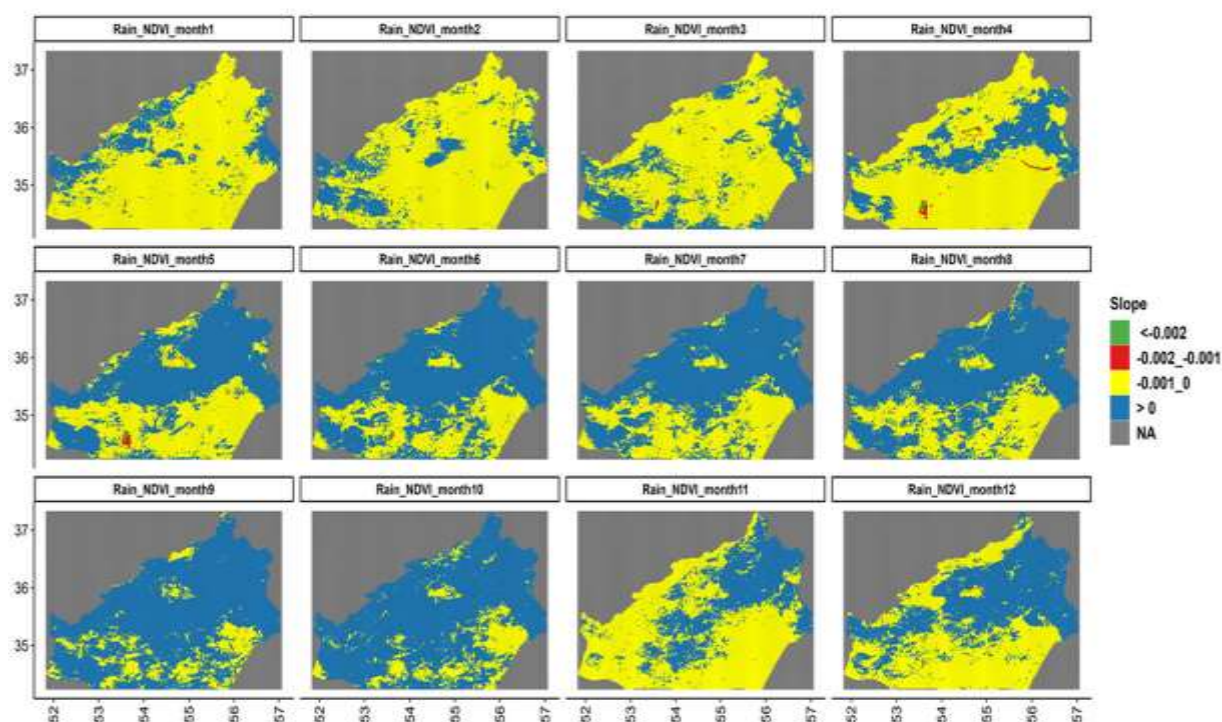


شکل ۵: نقشه مقادیر ضریب تبیین بین شاخص پوشش گیاهی NDVI (به عنوان متغیر وابسته) و بارش سالانه بازتحلیل شده ERA5-Land در استان سمنان

شکل ۵، مقادیر حاصل از ضرایب تبیین بین NDVI و مؤلفه اقلیمی بارش را نشان می‌دهد که در دامنه بین کمتر از ۰/۲۵ تا بیش از ۰/۷۵ برآورد شده است. بیشترین مقدار ضریب تبیین بین NDVI و بارش، در ماه‌های نهم تا دوازدهم میلادی (معادل ماه‌های شهریور تا دی) بوده است که در بخش‌های شمال شرق، شرق، مرکز و جنوب غرب استان دیده می‌شود؛ مقادیر حاصل از جدول ۴ نیز این امر را تأیید می‌کند. با توجه به شکل ۵، میزان ضریب تبیین به ترتیب در ماه‌های دوازدهم، دهم و نهم میلادی (دی، مهر تا آبان) به بیشترین مقدار خود (بیش از ۰/۷۵) در بخش‌های شمال غرب استان رسیده است که ارتباط نسبتاً خوب میان افزایش پوشش گیاهی در این نقاط را با افزایش بارش سالانه نشان می‌دهد. علاوه بر آن، ماه‌های اول تا هفتم نیز نشان می‌دهد که بین شاخص NDVI و بارش در برخی نقاط از استان، ضریب تبیین کمتر از ۰/۲۵ در نقاط مرکزی، جنوبی و غربی وجود دارد که از این میان، ماه اول دارای حداقل میزان ضریب تبیین است (شکل ۵). میزان ضریب تبیین در مناطق جنگلی پهن برگ استان نیز در کمترین حد بوده که فقدان تغییر پوشش گیاهی را در این اراضی با تغییرات سالانه بارش در استان سمنان نشان می‌دهد.

شکل ۶، نقشه‌های ماهانه حاصل از شیب خط رگرسیونی میان شاخص NDVI و بارش سالانه بازتحلیل شده ERA5-Land را طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد. مقادیر منفی شیب نیز بیانگر ارتباط معکوس بین بارش و پوشش گیاهی و مقادیر مثبت، بیانگر رابطه مستقیم بین پوشش در ماه مورد نظر و مقدار بارش سالانه است. دامنه تغییرات شیب خط رگرسیون بین NDVI ماهانه نسبت به بارش سالانه از ۰/۰۰۲- تا بیش از صفر است که در تمامی ماه‌ها به جز ماه‌های هفتم، نهم و دهم میلادی (معادل ماه‌های تیر، شهریور و مهر تا آبان)، در بخش‌های کمی از مرکز

و جنوب استان سمنان دامنه مقادیر $-0.002 <$ (کلاس اول) و -0.002 تا -0.001 (کلاس دوم) مشاهده می‌شود؛ این بدان معنا است که در ماه‌های ذکر شده، روند تغییرات پوشش گیاهی نسبت به بارش به‌طور نامحسوسی کاهش یافته است. همچنین در ماه‌های نهم و دهم میلادی (معادل ماه‌های شهریور، مهر تا آبان) در بیشتر مناطق استان، تغییرات پوشش گیاهی نسبت به بارش مثبت بوده و بیش از صفر برآورد شده است که نشان می‌دهد در این ماه‌ها، میان پوشش گیاهی و بارش ارتباطی مستقیم وجود داشته و با افزایش بارش میزان پوشش گیاهی نیز افزایش یافته است. طول سال‌های آماری در هر ماه در بیشتر مناطق استان از جمله مرکز و شرق آن، میزان تغییرات شاخص NDVI نسبت به بارش سالانه در دامنه مقادیر بیش از -0.002 تا صفر قرار گرفته است که از فقدان تغییرات قبل توجه پوشش گیاهی نسبت به بارش سالانه در منطقه مورد مطالعه حکایت دارد. این در حالی است که در ماه‌های اول تا چهارم میلادی (معادل ماه‌های بهمن تا اردیبهشت) در مساحت زیادی از استان، بیشترین دامنه تغییرات پوشش گیاهی نسبت به بارش بین -0.001 تا صفر است که نشان می‌دهد در ماه‌های مذکور، پوشش گیاهی طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ بدون تغییر بوده یا به مقداری جزئی کاهش یافته است (شکل ۶).



شکل ۶: خروجی حاصل از شیب خط رگرسیونی طبقه‌بندی شده میان سری زمانی بارش سالانه بازتحلیل شده ERA5-Land و شاخص پوشش گیاهی NDVI طی سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۲۰

بررسی ارتباط بین NDVI و دمای بازتحلیل شده

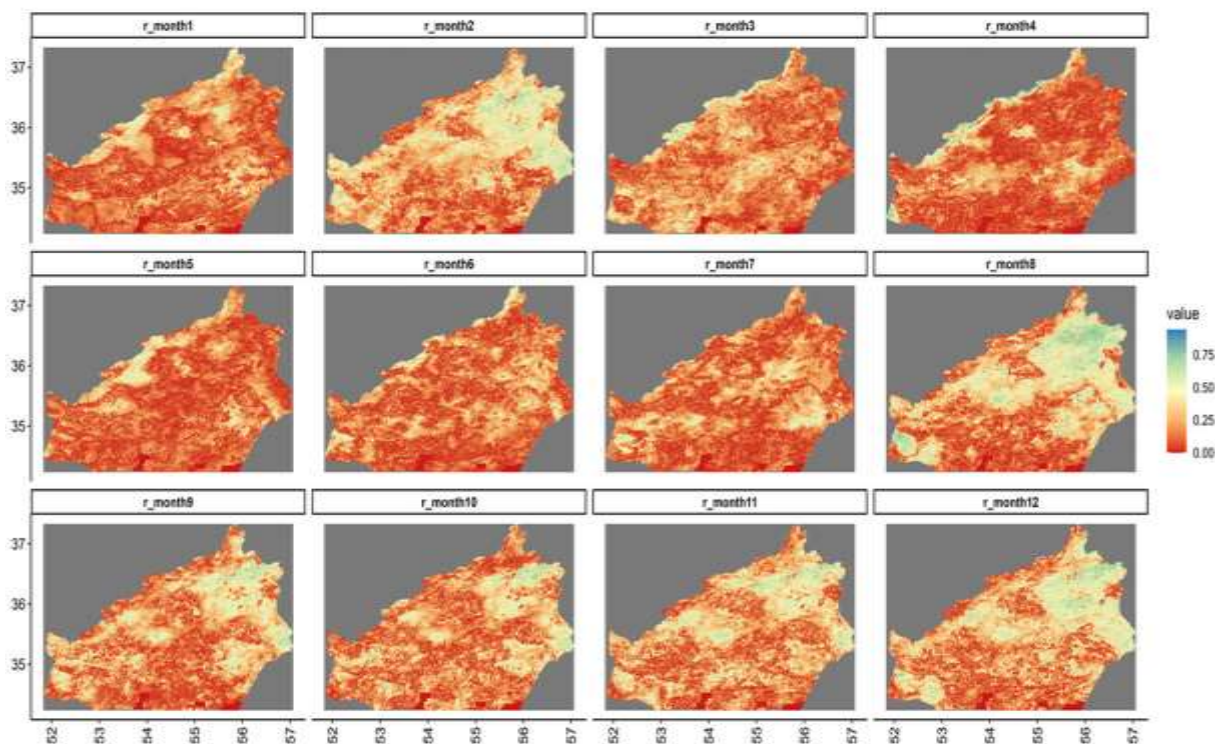
علاوه بر بررسی میزان ارتباط بین شاخص NDVI و بارش سالانه و ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی در هر ماه، میزان ضریب تبیین بین دمای سالانه و شاخص NDVI طی سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۲۰ در هر ماه بررسی شد. براساس جدول ۶، نتایج حاکی از آن است که در ۲۵٪ از مساحت استان در ماه‌های اول، ششم و هفتم، میزان ضریب تبیین بین دمای سالانه و NDVI کمتر از ۶٪ است؛ در حالی که در ماه‌های دیگر در ۲۵ درصد مساحت استان، ضریب تبیین بین پوشش گیاهی

و دما بیش از ۶ و کمتر از ۱۵ درصد بوده است. این در حالی است که در نیمی از مساحت استان، میزان ضریب تبیین بین دما و پوشش بین ۱۴ تا ۲۸ درصد متغیر بوده است. همچنین نتایج نشان داد که در ۲۵٪ از مساحت استان سمنان، ارتباط بین دمای سالانه و شاخص NDVI در ماه‌های هشتم و دوازدهم به بیش از ۴۰٪ می‌رسد (جدول ۵).

جدول ۵: مقادیر ضریب تبیین بین دما و شاخص NDVI در هر ماه طی سال‌های آماری ۲۰۲۰-۲۰۰۱

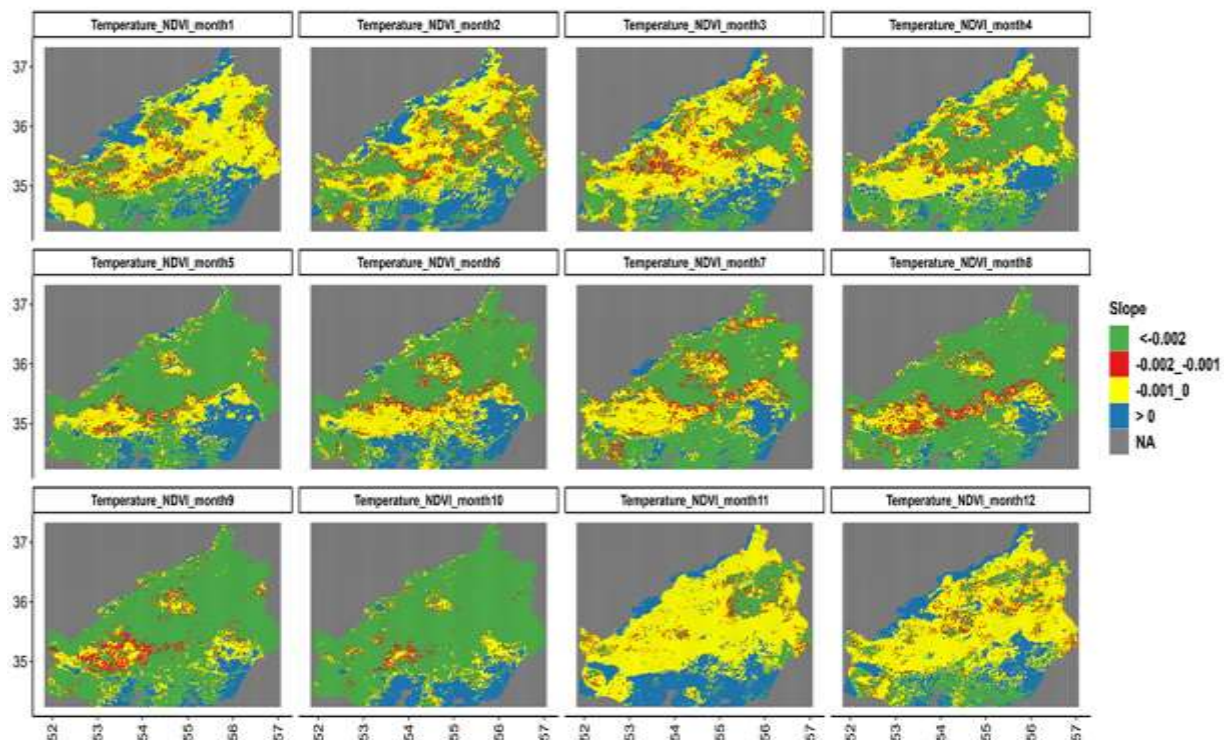
ضریب تبیین بین دما و NDVI در هر ماه	چارک اول (Q1)	چارک دوم یا میانه (Q2)	چارک سوم (Q3)	بیشینه مقادیر
۱	۰/۰۶۶	۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۷۰
۲	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۴۱	۰/۸۰
۳	۰/۰۹۷	۰/۱۸	۰/۲۷	۰/۷۶
۴	۰/۰۶۱	۰/۱۱	۰/۲۱	۰/۹۷
۵	۰/۰۶۴	۰/۱۲	۰/۲۰	۰/۷۵
۶	۰/۰۶۳	۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۷۸
۷	۰/۰۶۶	۰/۱۴	۰/۲۴	۰/۷۱
۸	۰/۱۲	۰/۲۸	۰/۴۴	۰/۸۳
۹	۰/۱۰	۰/۲۲	۰/۳۶	۰/۷۹
۱۰	۰/۱۰	۰/۲۱	۰/۳۳	۰/۷۵
۱۱	۰/۱۳	۰/۲۵	۰/۳۷	۰/۷۷
۱۲	۰/۱۳	۰/۲۸	۰/۴۲	۰/۸۱

شکل ۷، نقشه‌های ماهانه میزان ضرایب تبیین بین دمای سالانه و NDVI را در سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۱ نشان می‌دهد. دامنه مقادیر ضریب تبیین بین صفر تا بیش از ۰/۷۵ متغیر است. در تمامی ماه‌های سال به جز ماه‌های ششم و هفتم، میزان ضریب تبیین بیش از ۷۵٪ در مناطق شمالی، شرقی و غربی استان دیده می‌شود که نشان می‌دهد در این مناطق بین پوشش گیاهی و دما ارتباط قوی وجود دارد. در غالب مناطق استان نیز میزان ضریب تبیین کمتر از ۲۵ درصد است که ارتباط ضعیف بین دما و شاخص NDVI را نشان می‌دهد. علاوه بر آن، در ماه‌های دوم، هشتم تا دوازدهم در بخش‌هایی از شمال شرق استان، مقدار ضریب تبیین بین بارش و پوشش گیاهی بیش از پنجاه درصد برآورد شده است.



شکل ۷: نقشه مقادیر ضریب تبیین میان شاخص پوشش گیاهی NDVI (به عنوان متغیر وابسته) و دمای بازتحلیل شده ERA5-Land در استان سمنان

با توجه به شکل ۸، نتایج حاکی از آن است که در ۵۰٪ از مساحت استان، تغییرات شاخص NDVI نسبت به دما در هر ماه نزدیک به صفر یا منفی بوده است که نشان می‌دهد پوشش گیاهی در پاسخ به دما تغییر محسوسی نداشته یا به مقدار اندکی کاهش یافته است. همچنین نتایج حاصل از شیب خط رگرسیونی بین دما و شاخص NDVI نشان می‌دهد که در بیشتر مساحت استان طی ماه‌های پنجم تا دهم، تغییرات پوشش گیاهی < -0.002 برآورد شده و حاکی از آن است که بین دما و پوشش گیاهی ارتباط منفی وجود دارد و با کاهش دما، پوشش گیاهی اندکی افزایش می‌یابد (شکل ۸). در تمامی ماه‌های سال در بخش‌هایی از مرکز استان که با رنگ قرمز مشخص شده است، مقادیر شیب خط رگرسیونی در کلاس دوم و بین -0.002 تا -0.001 قرار گرفته و بیانگر آن است که پوشش گیاهی ماهانه در این مناطق طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ با کاهش دمای سالانه، روندی افزایشی داشته است. همچنین، مقادیر مثبت در کلاس چهارم (> 0) بیانگر آن است که در بخش‌های شمالی، جنوبی و جنوب‌شرقی استان، میزان پوشش گیاهی با کاهش دمای سالانه زیاد شده است.



شکل ۸: خروجی حاصل از شیب خط رگرسیونی طبقه‌بندی‌شده میان سری زمانی دمای سالانه و شاخص پوشش گیاهی NDVI طی سال‌های ۲۰۲۰-

۲۰۰۱

۵- بحث و نتیجه‌گیری

کسب اطلاعات دقیق از ویژگی‌های کمی و کیفی تغییرات سطح زمین در مطالعات مرتبط با آمایش سرزمین، برنامه‌ریزی‌های محیطی، مدیریت خاک‌ها و توسعه پایدار اهمیت زیادی دارد. در سال‌های اخیر، تهیه و استفاده از نقشه‌های پوشش گیاهی از موارد مهمی است که از آن برای تولید اطلاعات برای سیاست‌گذاری‌ها و اجرای برنامه‌ریزی‌های مختلف استفاده می‌شود؛ به همین دلیل، ارزیابی تغییرات سری زمانی پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در هر پیکسل و ارتباط آن با مؤلفه‌های اقلیمی — که از عوامل تأثیرگذار بر میزان پوشش گیاهی است — از سوی بسیاری از پژوهشگران قابل توجه قرار گرفته‌است. همچنین تنها استفاده از داده‌های ایستگاه‌های زمینی در بررسی مؤلفه‌های اقلیمی، محدودیت‌هایی دارد. از مهم‌ترین این محدودیت‌ها می‌توان به گسستگی اطلاعات اقلیمی اشاره کرد. به دلیل فقدان یا کمبود داده‌های اقلیمی در دوره آماری مورد مطالعه، استفاده از داده‌های شبکه‌ای بازتحلیل‌شده اهمیت زیادی دارد. از سوی دیگر، اصلاح آریبی داده‌های دما و بارش جزء مراحل الزامی و ضروری در افزایش دقت پیش‌بینی‌ها محسوب می‌شود (Kolachian et al, 2021). این پژوهش با اهدافی چون پایش تغییرات شاخص NDVI طی دوره آماری بیست ساله (۲۰۰۱-۲۰۲۰) در هر ماه، با استفاده از روش‌های رگرسیون خطی، شیب خط سن و تعیین روابط میان شاخص NDVI و مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دمای اصلاح آریبی‌شده انجام شد. با توجه به ارتباط معنادار میان پوشش گیاهی و مؤلفه‌های اقلیمی دما و بارش، در این مطالعه میزان ضریب تبیین و شیب خط رگرسیونی در ابتدا میان شاخص NDVI و بارش، سپس بین شاخص NDVI و دما برقرار شد. نتایج شیب خط رگرسیونی و شیب تخمین گر سن تقریباً مشابه بود و نشان داد که به طور کلی، این شاخص در استان سمنان طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ تغییرات

محسوسی نداشت، ولی در برخی نقاط کاهشی بود. می‌توان گفت نتایج حاصل از پژوهش حاضر در راستای نتایج حاصل از مطالعه Shafei and Hosseini (2011) است که نشان دادند سطح پوشش گیاهی حاصل از داده‌های ماهواره‌ی لندست (۱۹۹۰-۲۰۰۶) در استان سیستان و بلوچستان در سال ۲۰۰۶ نسبت به ۱۹۹۰ کاهش یافته‌است (Shafei and Hosseini, 2011). با بررسی تغییرات پوشش گیاهی و شاخص NDVI در حوضه آبخیز ایلام مشخص شد که طی سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۷، میزان پوشش گیاهی به خصوص در کلاس متراکم کاهش یافته‌است (Avazpour et al, 2021). همچنین در مطالعه حاضر، بررسی اثر مؤلفه‌های اقلیمی دما و بارش نشان داد که پوشش گیاهی در برخی از ماه‌های سال، ارتباط مستقیم (مقادیر مثبت) و در برخی از ماه‌ها رابطه معکوسی (مقادیر منفی) با دما و بارش داشته‌است. خروجی شیب خط رگرسیونی بین بارش و شاخص NDVI در ماه‌های نهم و دهم نشان داد که در بیشتر مناطق استان سمنان، تغییرات پوشش گیاهی نسبت به بارش مثبت بود و ارتباط مستقیم میان پوشش گیاهی و بارش را نشان می‌داد؛ به طوری که با افزایش بارش، پوشش گیاهی نیز در ماه‌های مذکور افزایش می‌یافت. نتایج حاصل از ضریب تبیین میان مؤلفه بارش و شاخص NDVI حاکی از آن بود که در ۷۵٪ از مساحت استان، میزان ارتباط در ماه‌های نهم و دوازدهم میلادی به حداکثر خود رسید و به ترتیب ۵۶٪ و ۶۲٪ محاسبه شد. این نتایج در ماه‌های مذکور نشان داد که با افزایش بارش، پوشش گیاهی نیز زیاد می‌شود. از طرفی، حداقل میزان ضرایب تبیین در ماه‌های اول تا ششم میلادی بود و نشان داد که پوشش گیاهی در فصول زمستان و بهار ارتباط معناداری با بارش سالانه ندارد. ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی در استان کرمانشاه نشان داد که اثر بارندگی بر پوشش گیاهی با توجه به فرم رویشی و زمان بارش متفاوت است و از این جهت در مناطق شهری، ارتباط معنی‌داری بین پوشش گیاهی و مقادیر بارش طی سال‌های ۱۹۸۳ تا ۲۰۰۶ مشاهده نمی‌شود؛ در حالی که پوشش گیاهی در مناطق مرتعی در فصل بهار و اراضی زراعی در ماه اسفند و فصل بهار، بیشترین میزان همبستگی را با بارش نشان می‌دهد (Hadian et al, 2015). Darvand و همکاران (2021) با بررسی شاخص NDVI در استان اصفهان نشان دادند که پوشش گیاهی در شهرستان آران و بیدگل در کلاس ۰/۳ - ۰/۲ و ۰/۳ - ۰/۲ در حال افزایش و در کلاس‌های ۰ - ۰/۱ و ۰/۱ - ۰/۲ در حال کاهش است و علت آن، افزایش وسعت اراضی کشاورزی است (Darvand et al, 2021). همچنین براساس شیب خط رگرسیونی محاسبه‌شده بین بارش و شاخص NDVI، ۲۵٪ از مساحت استان سمنان در هر ماه طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ شیب تغییراتی نزدیک به صفر داشت؛ این بدان معنا است که این شاخص در دوره زمانی مذکور بدون تغییرات محسوس بوده؛ این در حالی است که نتایج شیب خط رگرسیونی بین دمای سالانه و پوشش گیاهی از آن حکایت داشت که در ۵۰٪ از مساحت استان سمنان تغییرات شاخص NDVI نسبت به دما در هر ماه نزدیک به صفر یا منفی است؛ این بدان معنا است که پوشش گیاهی در پاسخ به تغییرات دما تغییر محسوسی نداشته یا اندکی کم شده‌است. در مطالعه‌ای دیگر، همبستگی میان شاخص NDVI و مؤلفه‌های اقلیمی دما و بارش در کلانشهر تهران به ترتیب همبستگی منفی و مثبت داشت. بررسی روندها نشان داد که در پنج منطقه تهران، روند معنی‌دار کاهشی وجود دارد (Najafi et al, 2020). پژوهشگران دیگر نیز نشان دادند که در ماه آوریل از دمای کم به زیاد، شاخص پوشش گیاهی NDVI افزایش یافته‌است و در ماه ژوئن تا دمای یازده درجه سانتیگراد، با افزایش دما مقدار این شاخص زیاد شده و پس از آن کم شده‌است (Akhavan et al, 2018). به طور کلی، می‌توان استنباط کرد که در مناطق گرمی مانند استان سمنان، رویش گیاهان توسط دو عامل اقلیمی بارش و دما کنترل می‌شود.

اگرچه این امکان وجود دارد که در مناطق خشک و نیمه‌خشک که مقدار بارندگی در آن کم است؛ مانند استان سمنان یا در مناطقی که درصد رطوبت زیاد است، ارتباط حداکثری بین این شاخص و مؤلفه اقلیمی بارش مشاهده نشود؛ به‌عنوان مثال، در مطالعه‌ای که در دشت سیستان انجام شد، نتایج نشان داد که حساسیت شاخص پوشش گیاهی NDVI در مقایسه با شاخص EVI برای پویایی پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک بیشتر است؛ در مناطقی که حیات آنها وابسته به آب جاری باشد نه بارش (Firouzi et al, 2019). در پژوهش حاضر، ارتباط میان پوشش گیاهی و دمای سالانه در هر ماه بیانگر آن است که ضریب تبیین در نیمی از مساحت استان سمنان بین ۱۴٪ تا ۲۸٪ متغیر است؛ در حالی که در یک چهارم از مساحت استان این ارتباط در ماه‌های هشتم تا دوازدهم میلادی به بیش از ۴۰٪ می‌رسد. نتایج حاصل از مطالعه Ebrahimi و همکاران (2022) نشان داد که مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر بر پوشش گیاهی در منطقه مطالعاتی به ترتیب متوسط دمای کمینه و بارش ماهانه است که شاخص NDVI با این دو عامل بیشترین ارتباط را دارد. همچنین در پژوهشی دیگر، Dastorani و همکاران (2019) معتقدند میزان بارندگی در برخی مناطق، مهم‌ترین عامل تغییر پوشش گیاهی است و عواملی مانند بافت و شوری خاک را نیز در افزایش پوشش گیاهی مؤثر دانستند. نتایج آنها نشان داد که بخش‌هایی از منطقه مطالعاتی که با افزایش بارش تغییر چندانی در پوشش گیاهی نشان نمی‌دهند، جزء زمین‌های زراعی یا باغ‌هایی است که به دلیل چندساله بودن سبز هستند (Dastorani et al, 2019).

نتیجه‌گیری کلی

با توجه به شرایط زیست محیطی و جغرافیایی هر منطقه، تغییرات رشد گیاه از افزایش یا کاهش مؤلفه‌های اقلیمی مانند بارش و دما تأثیر می‌پذیرد و طی بازه‌های زمانی طولانی، مختلف است. در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل شکننده بودن اکوسیستم، کاهش پوشش گیاهی می‌تواند پیامدهای جبران‌ناپذیری چون افزایش جابه‌جایی ذرات خاک را به همراه داشته باشد. این کار در نهایت به فرسایش بادی و افزایش گرد و غبار در منطقه منجر می‌شود. بنابراین، پژوهش حاضر به منظور بررسی و ارزیابی تغییرات ماهانه شاخص NDVI طی دوره آماری بیست ساله (۲۰۰۱-۲۰۲۰) انجام و در آن از روش‌های رگرسیون خطی و شیب خط سن استفاده شد. همچنین در این پژوهش، به مقادیر ارتباط بین شاخص NDVI و مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما پس از اصلاح اُریبی پرداخته شده است. یافته‌های این پژوهش نشان داد که خروجی حاصل از شیب خط رگرسیونی و شیب تخمین‌گر سن تقریباً یکسان است. از سوی دیگر، شاخص NDVI در استان سمنان طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ تغییرات محسوسی نداشته؛ اگرچه در برخی نقاط دارای سیر کاهشی بوده است. ارتباط بین مؤلفه اقلیمی بارش و شاخص NDVI نشان داد که در بیش از نیمی از مساحت استان (۷۵٪)، میزان ضریب تبیین در ماه‌های نهم و دوازدهم میلادی حداکثر است؛ بدان معنا که با افزایش بارش، پوشش گیاهی نیز زیاد می‌شود. حداقل ارتباط میان بارش و شاخص NDVI، در ماه‌های اول تا ششم میلادی بود است و نشان می‌دهد که پوشش گیاهی در فصول زمستان و بهار با بارش سالانه ارتباط معناداری ندارد. در نتایج حاصل از شیب خط رگرسیونی بین دمای سالانه و پوشش گیاهی ملاحظه شد که در نیمی از مساحت منطقه مورد مطالعه (۵۰٪)، تغییرات شاخص NDVI نسبت به دمای سالانه در هر ماه در حدود صفر یا منفی است که در این حالت، پوشش گیاهی در پاسخ به تغییرات دما تغییر چشمگیری نداشته یا حتی کاهش یافته است. به طور کلی، از عوامل کاهش پوشش گیاهی در استان می‌توان به موادی از قبیل کاهش بارش در سال‌های اخیر یا تغییر کاربری اراضی اشاره کرد که در این صورت لازم است

برنامه‌ریزی‌هایی اصولی در زمینه بهبود وضع موجود یا حفظ آن و ایجاد شرایط توسعه پایدار انجام شود. این احتمال وجود دارد که تغییر وضعیت پوشش گیاهی در برخی نقاط در سطح زمین، متأثر از نقش فعالیت‌های انسانی باشد. پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آینده از سایر پروداکت‌های NDVI سنجش از دوری مانند ماهواره لندست و از دیگر داده‌های شبکه‌ای اقلیمی استفاده کرد تا بتوان نسبت به تغییرات پوشش گیاهی در سطح منطقه مطالعاتی دید دقیق‌تری داشت.

منابع

1. Akhavan, H.; Amoushahi, S.; & A. Setudeh, 2018. An Investigation on the Same Type of Vegetation NDVI Changes in Different Temperature Levels of the Mountain (Case Study: ShirKouh Mountains), *Scientific and Research Journals Management System*, 16(1), 37-50. (In Persian).
2. Akhavan, H.; Amoushahi, S.; & A. Setudeh, 2018. An Investigation on the Same Type of Vegetation NDVI Changes in Different Temperature Levels of the Mountain (Case Study: ShirKouh mountains), *Scientific and Research Journals Management System*, 16(1), 37-50. (In Persian).
3. Allen, P. A., 2017. Sediment Routing Systems, Cambridge University Press, New York, NY.
4. Amini, E.; Zolfaghari, A.; Kaboli, H.; & M. Rahimi, 2022. Estimation of Rainfall Erosivity Map in Areas with Limited Number of Rainfall Station (Case study: Semnan Province), *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 53(9), 2027-2044. doi: 10.22059/ijswr.2022.343710.669279 (In Persian).
5. Amjad, M.; Yilmaz, M. T.; Yucel, I.; & K. K. Yilmaz, 2020. Performance Evaluation of Satellite-and Model-Based Precipitation Products Over Varying Climate and Complex Topography, *Journal of Hydrology*, 584, 124707.
6. Avazpour, N.; Faramarzi, M.; Omidipour, R.; & H. Mehdizadeh, 2021. Monitoring the Drought Effects on Vegetation Changes Using Satellite Imagery (Case Study: Ilam Catchment), *Geography and Environmental Sustainability*, 11(4), 125-143. [https://doi.org/10.22126/ ges.2022.7130.2472](https://doi.org/10.22126/ges.2022.7130.2472)
7. Beck, H.; Pan, M.; Roy, T.; Weedon, G.; Pappenberger, F.; van Dijk, A.; Huffman, G.; Adler, R.; & E. Wood, 2019. Daily Evaluation of 26 Precipitation Datasets Using Stage-IV Gauge-Radar Data for the CONUS, *Hydrology and Earth System Sciences*, 23, 207-224. <https://doi.org/10.5194/hess-23-207-2019>
8. Bližňák, V.; Pokorná, L.; & Z. Rulfová, 2022. Assessment of the Capability of Modern Reanalyses to Simulate Precipitation in Warm Months Using Adjusted Radar Precipitation, *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 42, 101121. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101121>
9. Chen, Y.; Sharma, S.; Zhou, X.; Yang, K.; Li, X.; Niu, X.; Hu, X.; & N. Khadka, 2021. Spatial Performance of Multiple Reanalysis Precipitation Datasets on the Southern Slope of Central Himalaya. *Atmospheric Research*, 250, 105365. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105365>
10. Darvand, S.; Khosravi, H.; Eskandari Damaneh, H.; & H. Eskandari Damaneh, 2021. Investigating the Trend of NDVI Changes Derived from MODIS Sensor Imagery (Case Study: Isfahan Province), *Drnl*, 1(2), 69-79.

11. Dastorani, M.; Komaki, Ch. B.; Khosravi, H.; & Z. Ghelichipour, 2019. Investigation of the Trend of Rainfall and Vegetation Changes in Arid and Semiarid Regions (Case Study:Khorasan Razavi, Iran), *Journal of Arid Biome*, 9(1), 11-19. <https://doi.org/10.29252/aridbiom.2019.1540>
12. Diallo, M.; Ern, M.; & F. Ploeger, 2021. The advective Brewer-Dobson Circulation in the ERA5 Reanalysis: Climatology, Variability, and Trends, *Atmos. Chem. Phys.*, 21(10), 7515-7544. <https://doi.org/10.5194/acp-21-7515-2021>
13. Ding, M., Yili, Z., Liu, L., Wei, Z., Zhaofeng, W., & B. Wanqi, 2007. The Relationship Between NDVI and Precipitation on the Tibetan Plateau, *Journal of Geographical Sciences*, 17. <https://doi.org/10.1007/s11442-007-0259-7>
14. Duan, H.; Xue, X.; Wang, T.; Kang, W.; Liao, J.; & S. Liu, 2021. Spatial and Temporal Differences in Alpine Meadow, Alpine Steppe and All Vegetation of the Qinghai-Tibetan Plateau and Their Responses to Climate Change, *Remote Sensing*, 13(4), <https://doi.org/10.3390/rs13040669>
15. Duveiller, G.; Hooker, J.; & A. Cescatti, 2018. The Mark of Vegetation Change on Earth's Surface Energy Balance. *Nature Communications*, 9. <https://doi.org/10.1038/s41467-017-02810-8>
16. Ebrahimi, Z.; Roustaei, F.; & M. Soleimani sardo, 2022. Analysis of Temporal Vegetation Changes in Western Rangelands of Kerman Province Using MODIS Level 3 Data and its Relation to Climate Factors, *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 10(37), 40-52.
17. Fang, G. H.; Yang, J.; Chen, Y. N.; & C. Zammit, 2015. Comparing Bias Correction Methods in Downscaling Meteorological Variables for a Hydrologic Impact Study in an Arid Area in China, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 19(6), 2547-2559. <https://doi.org/10.5194/hess-19-2547-2015>
18. Fang, M., 2016. Application of Bayesian Model Averaging in the Reconstruction of the Past Climate Change Using PMIP3/CMIP5 Multimodel Ensemble Simulations, *Journal of Climate*, 29, 175-189. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00752.1>
19. Firouzi, F.; Tavosi, T.; & P. Mahmoudi, 2019. Investigating the Sensitivity of NDVI and EVI Vegetation Indices to Dry and Wet Years in Arid and Semi-Arid Regions (Case study: Sistan plain, Iran), *Geographical Data*, 28(110), 163-179. SID. <https://sid.ir/paper/253128/en>, (In Persian).
20. Garai, S.; Khatun, M.; Singh, R.; Sharma, J.; Pradhan, M.; Ranjan, A.; Rahaman, S. M.; Khan, M. L.; & S. Tiwari, 2022. Assessing Correlation Between Rainfall, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and Land Surface Temperature (LST) in Eastern India, *Safety in Extreme Environments*, 4(2), 119-127. <https://doi.org/10.1007/s42797-022-00056-2>
21. Ghalami, V.; Saghafian, B.; & T. Razi, 2022. Investigating the Effect of Bias Correction on Quality Improvement of NEX-GDDP Downscaled Precipitation Data, *Iran-Water Resources Research*, 18(1), 68-83.
22. Ghebregabher, M. G.; Yang, T.; Yang, X.; & T. Eyassu Sereke, 2020. Assessment of NDVI Variations in Responses to Climate Change in the Horn of Africa, *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 23(3), 249-261. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2020.08.003>
23. Gleixner, S.; Demissie, T.; & G. T. Diro, 2020. Did ERA5 Improve Temperature and Precipitation Reanalysis over East Africa?, *Atmosphere*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/atmos11090996>
24. Gomis-Cebolla, J.; Rattayova, V.; Salazar-Galán, S.; & F. Francés, 2023. Evaluation of ERA5 and ERA5-Land reanalysis precipitation datasets over Spain (1951–2020), *Atmospheric Research*, 284, 106606. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2023.106606>

25. Gudmundsson, L.; Bremnes, J. B.; Haugen, J.; & T. Skaugen, 2012. Technical Note: Downscaling RCM Precipitation to the Station Scale Using Quantile Mapping – A Comparison of Methods, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 9, 6185-6201. <https://doi.org/10.5194/hessd-9-6185-2012>
26. Hadian, F.; Hoseini, S. Z.; & M. Seyed Hoseini, 2015. Monitoring vegetation changes using precipitation data and satellite images in north-west of Iran, *IJRDR*, 21(4), 756-768. <https://doi.org/10.22092/ijrdr.2016.13078>
27. Hamm, A.; Arndt, A.; Kolbe, C.; Wang, X.; Thies, B.; Boyko, O.; Reggiani, P.; Scherer, D.; Bendix, J.; & C. Schneider, 2020. Intercomparison of Gridded Precipitation Datasets over a Sub-Region of the Central Himalaya and the Southwestern Tibetan Plateau, *Water*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/w12113271>
28. Holben, B. N., 1986. Characteristics of maximum-value composite images from temporal AVHRR data, *International Journal of Remote Sensing*, 7(11), 1417-1434. <https://doi.org/10.1080/01431168608948945>
29. Hu, M., & Xia, B., (2019). A significant increase in the normalized difference vegetation index during the rapid economic development in the Pearl River Delta of China. *Land Degradation & Development*. 30(4), 359-370.
30. Hu, Q.; Li, Z.; Wang, L.; Huang, Y.; Wang, Y.; & I. Li, 2019. Rainfall spatial estimations: A review from spatial interpolation to multi-source data merging, *Water*, 11(3), 579.
31. Huang, C.; Yang, Q.; Guo, Y.; Zhang, Y.; & I. Guo, 2020. The pattern, change and driven factors of vegetation cover in the Qin Mountains region, *Scientific Reports*, 10. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75845-5>
32. Huth, R., & R. Beranova., (2021). How to Recognize a True Mode of Atmospheric Circulation Variability. *Earth and Space Science*. 8. <https://doi.org/10.1029/2020EA001275>
33. Jia, L.; Li, Z.; Xu, G.; Ren, Z.; Li, P.; Cheng, Y.; Zhang, Y.; Wang, B.; Zhang, J.; & S. Yu, 2020. Dynamic change of vegetation and its response to climate and topographic factors in the Xijiang River basin, China, *Environmental Science and Pollution Research*, 27(11), 11637-11648. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-07692-w>
34. Kolachian, R.; Saghafian, B.; & S. Moazami, 2021. Evaluation of Post-Processing and Bias Correction of Monthly Precipitation and Temperature Forecasts in Karun Basin, *Iran-Water Resources Research*, 16(4), 98-111.
35. Li, H.; Li, Y.; Gao, Y.; Zou, C.; Yan, S.; & J. Gao, 2016. Human Impact on Vegetation Dynamics around Lhasa, Southern Tibetan Plateau, China, *Sustainability*, 8, 1146. <https://doi.org/10.3390/su8111146>
36. Muñoz-Sabater, J.; Dutra, E.; Agustí-Panareda, A.; Albergel, C.; Arduini, G.; Balsamo, G.; Boussetta, S.; Choulga, M.; Harrigan, S.; Hersbach, H.; Martens, B.; Miralles, D. G.; Piles, M.; Rodríguez-Fernández, N. J.; Zsoter, E.; Buontempo, C.; & J. N. Thépaut, 2021. ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications, *Earth Syst. Sci. Data*, 13(9), 4349-4383. <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>
37. Muñoz-Sabater, J.; Lawrence, H.; Albergel, C.; Rosnay, P.; Isaksen, L.; Mecklenburg, S.; Kerr, Y.; & M. Drusch, 2019. Assimilation of SMOS brightness temperatures in the ECMWF Integrated Forecasting System, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 145(723), 2524-2548. <https://doi.org/10.1002/qj.3577>

38. Najafi, Z.; Darvishsefat, A.; Fatehi, P.; & P. Attarod, 2020. Time series analysis of vegetation dynamic trend using Landsat data in Tehran Megacity, *Iranian Journal of Forest*, 12(2), 257-270, (In Persian).
39. Nogueira, M., 2020. Inter-comparison of ERA-5, ERA-interim and GPCP rainfall over the last 40 years: Process-based analysis of systematic and random differences, *Journal of Hydrology*, 583, 124632. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.124632>
40. Pelosi, A.; Terribile, F.; D'Urso, G.; & G. B. Chirico, 2020. Comparison of ERA5-Land and UERRA MESCAN-SURFEX Reanalysis Data with Spatially Interpolated Weather Observations for the Regional Assessment of Reference Evapotranspiration, *Water*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/w12061669>
41. Reichle, R. H.; Draper, C. S.; Liu, Q.; Girotto, M.; Mahanama, S. P. P.; Koster, R. D.; & G. J. M. De Lannoy, 2017. Assessment of MERRA-2 Land Surface Hydrology Estimates, *Journal of Climate*, 30(8), 2937-2960. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-16-0720.1>
42. Sam Khaniani, A., & A. Mohammadi., (2022). Comparison of ERA5-Land reanalysis data with surface observations over Iran. *Iranian Journal of Geophysics*. 16(1), 195-212. <https://doi.org/10.30499/ijg.2022.313494.1376>
43. Shabanipoor, M.; Darvish Sefat, A. A.; & R. Rahmani., 2019. Long-term trend analysis of vegetation changes using MODIS-NDVI time series during 2000-2017 (Case study: Kurdistan province), *Journal of Forest and Wood Products*, 72(3), 193-204.
44. Shafei, H., & S. M. Hosseini., (2011). A study of vegetation in Sistan region through satellite data. 3(9), 91-105, *Iranian Journal of Plant Ecophysiology*, SID. <https://sid.ir/paper/188374/fa>. (In Persian).
45. Shen, M.; Piao, S.; Chen, X.; An, S.; Fu, Y. H.; Wang, S.; Cong, N.; & I. A. Janssens, 2016. Strong impacts of daily minimum temperature on the green-up date and summer greenness of the Tibetan Plateau, *Global Change Biology*, 22(9), 3057-3066. <https://doi.org/10.1111/gcb.13301>
46. Sheridan, S. C.; Lee, C. C.; & E. T. Smith, 2020. A Comparison Between Station Observations and Reanalysis Data in the Identification of Extreme Temperature Events, *Geophysical Research Letters*, 47(15), e2020GL088120. <https://doi.org/10.1029/2020GL088120>
47. Spadoni, G. L.; Cavalli, A.; Congedo, L.; & M. Munafò, 2020. Analysis of Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) multi-temporal series for the production of forest cartography, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 20, 100419. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100419>
48. Stefanidis, K.; Varlas, G.; Vourka, A.; Papadopoulos, A.; & E. Dimitriou, 2021. Delineating the relative contribution of climate related variables to chlorophyll-a and phytoplankton biomass in lakes using the ERA5-Land climate reanalysis data, *Water Research*, 196, 117053. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117053>
49. Sun, Q.; Miao, C.; Duan, Q.; Ashouri, H.; Sorooshian, S.; & K. L. Hsu, 2018. A review of global precipitation data sets: Data sources, estimation, and intercomparisons, *Reviews of Geophysics*, 56(1), 79-107.
50. Tao, J.; Xu, T.; Dong, J.; Yu, X.; Jiang, Y.; Zhang, Y.; Huang, K.; Zhu, J.; Dong, J.; & Y. Xu, 2018. Elevation-dependent effects of climate change on vegetation greenness in the high mountains of southwest China during 1982–2013, *International Journal of Climatology*, 38(4), 2029-2038.

51. Tarek, M.; Brisette, F. P.; & R. Arsenault, 2020. Evaluation of the ERA5 reanalysis as a potential reference dataset for hydrological modelling over North America, *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 24(5), 2527-2544. <https://doi.org/10.5194/hess-24-2527-2020>
52. Wang, Y. R.; Hessen, D. O.; Samset, B. H.; & F. Stordal, 2022. Evaluating global and regional land warming trends in the past decades with both MODIS and ERA5-Land land surface temperature data, *Remote Sensing of Environment*, 280, 113181. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2022.113181>
53. Weedon, G. P.; Gomes, S.; Viterbo, P.; Shuttleworth, W. J.; Blyth, E.; Österle, H.; Adam, J. C.; Bellouin, N.; Boucher, O.; & M. Best, 2011. Creation of the WATCH Forcing Data and Its Use to Assess Global and Regional Reference Crop Evaporation over Land during the Twentieth Century. *Journal of Hydrometeorology*, 12(5), 823-848. <https://doi.org/10.1175/2011JHM1369.1>
54. Zakeri, A.; Naderi, R.; & V. Poozesh, 2020. An investigation of plant species distribution in Semnan province (Case study: Herbarium of Damghan University), *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 33 (4), 891-913, (In Persian).
55. Zhang, Y.; Jiang, X.; Lei, Y.; & S. Gao, 2022. The contributions of natural and anthropogenic factors to NDVI variations on the Loess Plateau in China during 2000–2020, *Ecological Indicators*, 143, 109342. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.109342>
56. Zhe, M., & X. Zhang., (2021). Time-lag effects of NDVI responses to climate change in the Yamzhog Yumco Basin, South Tibet. *Ecological Indicators*. 124, 107431. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107431>

Estimation of Vegetation Changes Concerning Annual Rainfall and Temperature in Semnan Province

Maryam Raeesi: PhD Student, Faculty of Desert Studies, Department of Combat to Desertification, Semnan University, Semnan

Aliasghar Zolfaghari¹: Associate Professor, Faculty of Desert Studies, Department of Desert and Arid Land Management, Semnan University, Semnan

Mohammad Rahimi: Professor, Faculty of Desert Studies, Department of Combat to Desertification, Semnan University, Semnan

Seyed Hasan Kaboli: Assistant Professor, Faculty of Desert Studies, Department of Desert and Arid Land Management, Semnan University

Article History (Received: 15/07/2023

Accepted: 20/09/2023)

Extended abstract

1- Introduction

Vegetation is one of the most important components of terrestrial ecosystems, which plays a vital role in carbon regulation and balancing, energy exchange and climate stability. Also, temperature and rainfall are the most important influential factors in changing the vegetation index, NDVI. Understanding the relationship between rainfall, NDVI and temperature is essential in forestry planning over each region. Accordingly, the main objectives of this research are 1) to monitor the annual changes of NDVI from 2001 to 2020 using linear regression's slope and Sen's slope estimator methods, and 2) to investigate and determine the relationship between NDVI and the climatic components, specifically rainfall and temperature, in Semnan province.

2- Methodology

Semnan province was selected as the study area to evaluate the relationship between climatic components and vegetation cover by using remote sensing data. The NDVI data was extracted from the Terra MODIS product in a spatial resolution of 500 meters and was processed to evaluate vegetation changes in Semnan province during the years between 2001 and 2020 on monthly scale. After that, the monthly rainfall and temperature data were obtained from both synoptic and climatology stations; then they were converted into annual scale. Furthermore, the rainfall and temperature reanalysis grid-base data, ERA5-Land, was downloaded in about 9 km spatial resolution from 2001 to 2020. Reanalysis data usually contains systematic error compared to observational data, which can affect the output results and requires to be corrected. Consequently, we utilized one of the recent bias-correction approaches, the Quantile Mapping (QM) bias-correction method, to correct biases over the entire distribution of the rainfall and temperature reanalysis data. At this point, each set of the rainfall and temperature grid-based data was resampled to 500 meters based on the spatial resolution of NDVI pixels. Next, each series of rainfall and temperature data were corrected based on QM method from the years 2001 to 2020 according to the availability of the NDVI time series data. The relationship between annual rainfall and temperature with the NDVI was calculated in each month of the year (2001-2020). In this study, linear regression and the non-parametric method of the Sen's slope estimator were used to investigate the changes in NDVI trend for each pixel from 2001 to 2020. Finally, to check the accuracy of the relationship between vegetation, temperature and rainfall, the coefficient of determination was used.

¹azolfaghari@semnan.ac.ir

3- Results

The linear regression's slope indicated that 25% of Semnan's area had vegetation variations close to zero in each month during the years 2001 to 2020. It means that NDVI values did not change significantly and it was almost unchanged. Moreover, based on the Sen's slope estimator, the results showed that there was no noticeable change in decreasing or increasing the amount of vegetation in about 75% of Semnan's area. The analyses also showed that the coefficient of determination between NDVI and rainfall varied from 18% to 44% in different months, and the highest relationship values were observed in September and December. Moreover, in more than 50% of the Semnan's area, the relationship between NDVI and rainfall has varied from zero to more than 42%. The results indicated that vegetation cover has no significant relationship with annual rainfall in both winter and spring. Furthermore, in 50% of the study area, the estimated NDVI variation indicated zero or negative values in each month, which confirms that the vegetation cover has not changed significantly or it has decreased slightly in response to the temperature.

4- Discussion

In recent years, the evaluation of changes in NDVI time series has been developed by using satellite images and remote sensing techniques. In addition, the climate components like rainfall and temperature are among the factors affecting the growth of vegetation cover, which has attracted the attention of many researchers. By considering the linear regression's slope and Sen's slope estimator, the results showed that NDVI did not change significantly during the years 2001 to 2020 in Semnan province, but it decreased in some areas. Moreover, the effect of rainfall and temperature demonstrated that vegetation has either direct or indirect relationships with rainfall or temperature in some months (positive or negative values, respectively). The linear regression' slope between annual temperature and NDVI showed that in 50% of Semnan's area, NDVI variation was estimated to be nearly zero or negative in each month. Generally, in arid regions like Semnan province, the growth of plants is controlled by two climatic factors, rainfall and temperature. In arid and semi-arid regions (where the amount of rainfall is low, such as Semnan province), or in regions where the percentage of humidity is high, the maximum relationship between NDVI and the rainfall was not observed.

5- Conclusions

In arid and semi-arid regions, due to the fragility of the ecosystem, the reduction of vegetation cover can have irreparable consequences such as increasing the movement of soil particles. This action will eventually lead to wind erosion and will increase dust in the region. Therefore, the present study was conducted to evaluate the monthly changes of NDVI from 2001 to 2020 by the linear regression's slope and Sen's slope methods. In addition, the relationship between NDVI and climatic components of rainfall and temperature were discussed. The findings showed that results of the linear regression's slope and Sen's slope estimator are both almost the same. The relationship between rainfall and NDVI indicated that in 75% of Semnan's area, the estimated value of coefficient of determination had the highest value in September and December. It means that with the increase of rainfall, vegetation cover also increases. Based on the linear regression's slope between the annual temperature and NDVI, it was observed that in almost 50% of the study area, NDVI variations were approximately estimated to be zero or negative in each month, which means the vegetation cover has not significantly changed or even decreased by changing temperature. In future studies, it is suggested to use other remote sensing NDVI products such as Landsat satellite and even other climate reanalysis data to have a more accurate view of vegetation cover changes in the study area.

Key Words: Climatic components of rainfall and temperature, ERA5-Land reanalysis data, NDVI index variations, The gradient of the linear regression, The slope of the Sen's estimator.