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

مریم رئیسی: *دانشجوی دکتری مهندسی منابع طبیعی، گروه بیابان‌زدایی، دانشکدهٔ کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان*
علی‌اصغر ذوالفقاری*: *دانشیار گروه آموزشی مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکدهٔ کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان*
محمد رحیمی: *استاد گروه آموزشی بیابان‌زدایی، دانشکدهٔ کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان*
سید حسن کابلی: *استادیار گروه آموزشی مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشکدهٔ کویرشناسی، دانشگاه سمنان، سمنان*

مقاله پژوهشی

تاریخچهٔ 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 سِن و تعیین روابط بین شاخص NDVI و مؤلفه‌های اقلیمی بارش و دما در استان سمنان انجام می‌شود. در این مطالعه، داده‌های بازتحلیل‌شدهٔ شبکه‌ای بارش و دمای حاصل از پروداکت ERA5-Land و داده‌های NDVI حاصل از پروداکت MODIS طی سری زمانی بیست ساله (۲۰۲۰-۲۰۰۱) 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 سِن ارزیابی شد. پس از آن، میزان ضریب تبیین ـــ که میزان ارتباط بین مؤلفه‌های دما و بارش را با پوشش‌گیاهی نشان می‌دهد ـــ محاسبه شد. نتایج حاصل از شیب خط رگرسیونی و شیب خط سِن، 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 به‌ترتیب معادل ماه‌های شهریور و دی) حداکثر بود و به‌ترتیب ۵۶٪ و ۶۲٪ برآورد شد که ارتباط مثبت پوشش‌گیاهی را در ماه‌های مذکور با بارش سالانه تأیید می‌کرد. در نیمی از مساحت استان نیز تغییرات NDVI ماهانه نسبت به دمای سالانه طی بازهٔ زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۱، صفر یا منفی بود؛ به‌طوری که در سال‌های ذکر شده میزان پوشش‌گیاهی 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 پوشش‌گیاهی 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 بازتحلیل‌شدهٔ ERA5-Land، شیب خط تخمین‌گر سِن، شیب خط رگرسیونی، مؤلفه‌های اقلیمی بارش، دمای سطح زمین.

* نویسندهٔ مسئول: Azolfaghari@Semnan.ac.ir

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

۱ـ مقدمه

پوشش‌گیاهی 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 چرخهٔ 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 پوشش‌گیاهی 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 پوشش‌گیاهی در مقیاس‌های بزرگ افزایش یافته‌است. سنجش از دور، تصاویر پیوسته و با کیفیتی بالا را از تغییرات مکانی ـــ زمانی رشد گیاه فراهم می‌کند (Hu and Xia, 2019 & Tao et al, 2018). یکی از شاخص‌های دریافت شدهٔ سنجش از دوری، شاخص تفاضل پوشش‌گیاهی نرمال‌شده (NDVI) است که از آن در ارزیابی پوشش‌گیاهی به‌طور گسترده استفاده قرار می‌شود. این شاخص، میزان فتوسنتز را با استفاده از باندهای مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک[1] محاسبه می‌کند و معمولاً تحت‌تأثیر 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 پوشش‌گیاهی 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 برآن، پاسخ شاخص NDVI به مؤلفه بارش با نوع پوشش‌گیاهی 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 بازتحلیل‌شدهٔ دمای ERA5-Land از مرکز اروپایی پیش‌بینی‌های میان‌مدت آب و هوایی[2] 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 به سزایی 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 ـــ دینامیکی به‌دست می‌آید و در سال‌های اخیر، بسیاری از محققان به آن توجه داشته‌اند (Tarek et al, 2020). داده‌های بازتحلیل‌شده، اطلاعاتی دربارهٔ وضعیت گذشتهٔ 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)

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

بازتحلیل‌شدهٔ اتمسفری چنین پیوستگی را دارد که به توسعهٔ 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 تحت‌تأثیر 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 ــ 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)[1]، یکی از پرکاربردترین این روش‌ها است که براساس اصلاح به‌وسیلهٔ 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 ـــ زمانی پوشش‌گیاهی پرداختند. نتایج نشان داد که متوسط سالانهٔ 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 پوشش‌گیاهی را نشان داد. در فصل رشد NDVI ضریب تبیین مثبتی با بارش و دما داشت که دما مؤلفه و محرک اصلی رشد پوشش‌گیاهی 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 پوشش‌گیاهی 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 مناطق‌با ارتفاع کمتر از ۳۳۰۰ متربه‌ویژه در اراضی زراعی افزایش یافته‌است (Huang et al, 2020). در مطالعه‌ای دیگر، Ghebrezgabher 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

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

مستقیم و با دما نسبت معکوس دارد. همچنین متوسط مقادیر NDVI به‌تدریج از سال ۱۹۸۲ تا ۱۹۹۸ افزایش و پس از آن به‌دلیل تغییرات بارش از سال ۱۹۹۸ تا ۲۰۱۳ کاهش یافته‌است؛ به طوری که جنگل‌ها حدود ۰/۴ درصد طی دو دهۀ گذشته کاهش یافته‌است. Zhe and Zhang (2021) به بررسی الگوهای زمانی ـــ مکانی پوشش‌گیاهی و پاسخ آن به متغیرهای اقلیمی در یازده ایستگاه هواشناسی طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ در حوضۀ Yamzhog Yumco در جنوب تبت پرداختند. این امر با استفاده از داده‌های ماهانۀ 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 پوشش‌گیاهی در تمامی حوضه بود. علاوه بر آن، میزان ضریب تبیین میان شاخص NDVI ، دما و بارش بزرگ‌تر از ۰/۶ به‌ترتیب در حدود ۷۲٪ و ۶۰٪ از مناطق دارای پوشش‌گیاهی 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 ـــ سن، کاملاً مشابه و بیانگر افزایش ناچیز NDVI بود. افزون برآن، نتایج من ـــ کندال 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[1]، همچنین داده‌های مدل‌سازی‌شدۀ ERA5-Land را از سال ۱۹۸۱ بررسی کردند. نتایج نشان داد که روند تغییرات دمایی در دورۀ کوتاه ۲۰۰۱-۲۰۲۰، به‌طور ویژه‌ای روند دما را در بلندمدت (۲۰۲۰-۱۹۸۱) توجیه کرد و با آن مطابقت داشت. همچنین در دورۀ زمانی ۲۰۰۱-۲۰۲۰، متوسط تغییرات دمایی در سطح زمین در هر دهه ۰/۲۶ تا ۰/۳۴ درجۀ سانتیگراد بود که در مناطق مختلف میزان گرمایش متفاوتی را نشان می‌داد (Wang et al, 2022). در مطالعه‌ای، داده‌های بارش ماهانۀ شبکه‌ای توسط روش نگاشت چندک، اصلاح اریبی شد و همبستگی داده‌های اصلاح اریبی‌شده با داده‌های مشاهداتی نشان داد که در ۵۰٪ ایستگاه‌ها، همبستگی بهبود یافته‌است (Ghalami et al, 2022).

استان سمنان، اقلیم خشک و نیمه‌خشک و اکوسیستمی شکننده دارد که این خصوصیت محیطی به آسیب‌پذیری منطقه نسبت‌به فرسایش منجر می‌شود؛ به همین دلیل، ارزیابی پوشش‌گیاهی‌به‌عنوان عاملی حفاظتی در برابر فرسایش‌های آبی و بادی ضرروی است؛ از این رو اهداف پژوهش حاضر، ارزیابی و پایش تغییرات سالانۀ 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.

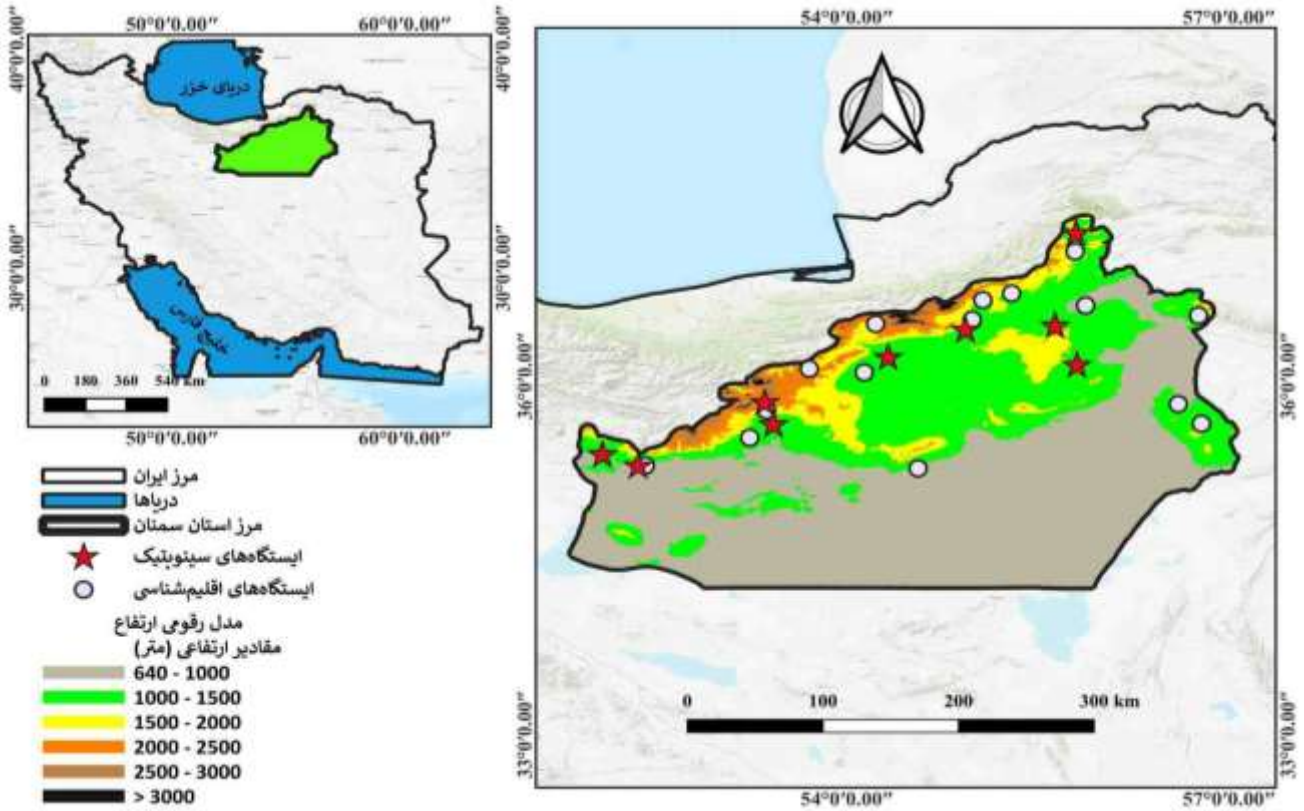
۲ـ منطقۀ مورد مطالعه

منطقۀ 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 ′۱۳ °۳۴ ′۲۰ °۳۷ عرض شمالی و ′۵۱ °۵۱ ′۰۳ °۵۷ طول شرقی قرار دارد. شهرستان سمنان مرکز این استان است و از شمال به استان‌های خراسان

[1] Pixel-wise

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

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 دامنهٔ 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 سالانهٔ دما در استان به‌ترتیب برابر با ۲۳/۷، ۱۲/۸ و ۱۸/۳ درجهٔ سانتیگراد متغیر است. همچنین، متوسط سالانهٔ بارش در استان، حدود ۱۳۶ میلی‌متر در سال برآورد شده‌است (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 سینوپتیک و اقلیم‌شناسی در استان سمنان

۳ـ مواد و روش

استخراج شاخص NDVI

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

شاخص‌های پوشش‌گیاهی سنجندهٔ مادیس، در فواصل شانزده روزه و با قدرت‌های تفکیک مکانی متفاوتی تولید می‌شود. این شاخص‌ها، قیاس‌های مکانی و زمانی ثابتی را از میزان سبزینگی تاج‌پوشش گیاهی، ویژگی‌های ترکیبی[1] سطح برگ، کلروفیل و ساختار تاج‌پوشش فراهم می‌کند. یکی از این شاخص‌ها که از بازتاب تصحیح‌شدهٔ اتمسفری و طول موج‌های قرمز، مادون قرمز و آبی استخراج می‌شود، شاخص تفاضل پوشش‌گیاهی نرمال‌شده (NDVI)[2] 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 میانهٔ 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 پوشش‌گیاهی است که از آن برای پایش جهانی پوشش‌گیاهی، 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 شده‌است. به‌دلیل 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[3] است (Muñoz-Sabater et al, 2019). عمده‌ترین مزیت این داده‌ها، قدرت تفکیک مکانی افقی است که به حدود ۹ کیلومتر در سطح جهانی ارتقا یافته‌است. 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 کرده‌است. بهسازی اصلی این داده‌ها به‌دلیل ریزمقیاس‌نمایی غیرخطی، با ورودی ترمودینامیکِ اصلاح‌شده 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)

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

					(درجه ـ دقیقه)	(درجه ـ 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	دیباج	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 نوخرقان	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 بازتحلیل‌شده ERA5-Land به روش نگاشت چندک (QM)

با توجه به اینکه داده‌های شبکه‌ای نسبت به داده‌های مشاهداتی معمولاً خطای سیستماتیک دارند، نتایج خروجی را تحت‌تأثیر 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

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

سرچشمه گرفته‌است و با استفاده از تابع توزیع تجمعی (ECDF)[1] و معکوس آن ($ECDF^{-1}$) به شرح زیر توصیف می‌شود:

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

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 اصلاح اُریبی‌شده در روز و ماه مورد نظر است (Fang et al, 2015). در پژوهش حاضر برای به‌کارگیری روش اصلاح اُریبی 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 اندازهٔ پیکسل‌ها تا پانصد متر براساس قدرت تفکیک مکانی داده‌های حاصل از شاخص NDVI تغییر داده شد[2]. در مرحلهٔ بعد، داده‌های مورد نظر توسط روش نگاشت چندک تصحیح شد.

تحلیل روند سری زمانی شاخص NDVI

پس از اجرای پردازش‌های مربوط به اصلاح اُریبی دما و بارش سالانه، ارتباط بین بارش و دمای سالانه با شاخص NDVI در هر ماه از سال (۲۰۲۰-۲۰۰۱) محاسبه شد. در این مطالعه، ابتدا با استفاده از رگرسیون خطی (رابطهٔ ۱) و روش ناپارامتریک شیب تخمین‌گر خط سن (رابطهٔ 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:

رابطهٔ ۱
$$Y = ax + b$$

رابطهٔ ۲
$$f(t) = Qt + B$$

در رابطهٔ ۱، Y بیانگر شیب تغییرات یا درجهٔ تغییر در شاخص NDVI ماهانه، a شیب خط (slope) و b معادل عرض از مبدأ معادله است. همچنین در رابطهٔ 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؛ به‌عبارت 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 پوشش‌گیاهی و مؤلفه‌های اقلیمی (دما و بارش)، از ضریب تبیین استفاده شد (رابطهٔ ۳):

[1] Empirical Cumulative Distribution Function (ECDF)
[2] Resample

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

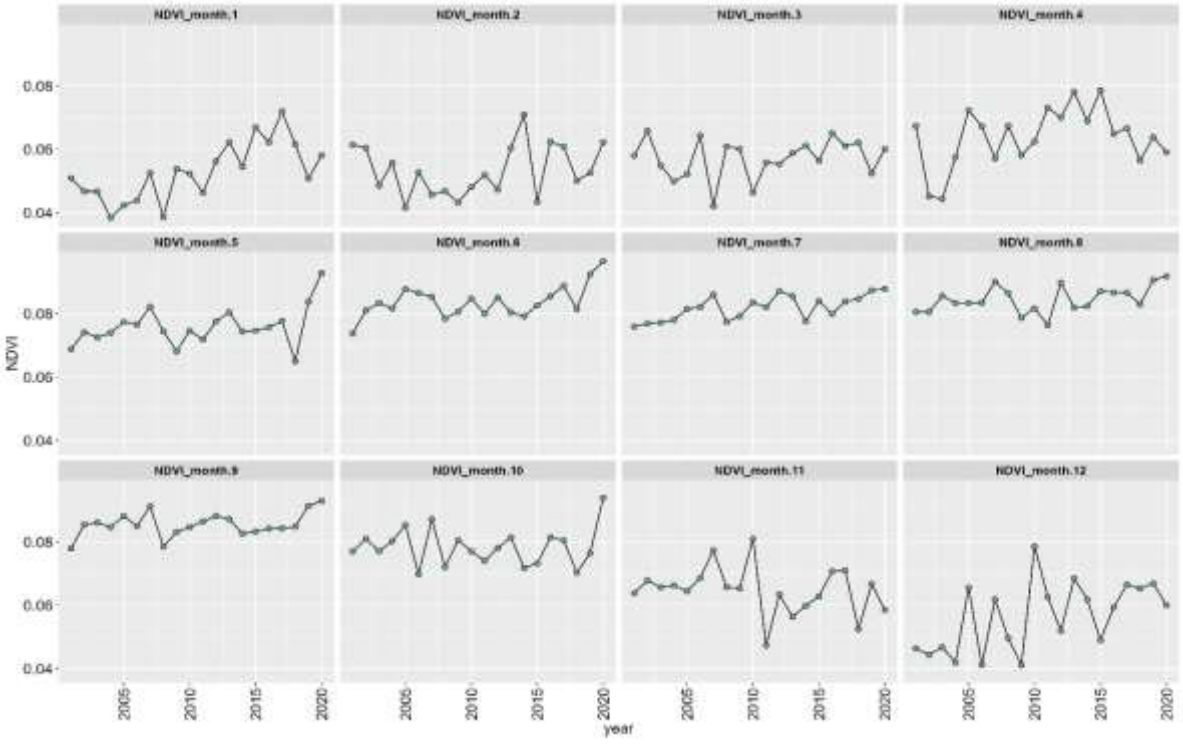
$$R^2 = 1 - \left(\frac{RSS}{TSS}\right)$$ رابطهٔ ۳

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

۴ـ یافته‌ها (نتایج)

شیب تغییرات و پراکنش زمانی ـ مکانی شاخص NDVI

مقادیر بیشینه و کمینهٔ شیب خط رگرسیون محاسبه‌شده 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 دورهٔ زمانی مذکور، شاخص NDVI در سال‌های ذکر شده تغییرات محسوسی نداشته و تقریباً بدون تغییر بوده‌است. 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.



شکل۲: نمودارهای ماهانهٔ سری زمانی شاخص NDVI طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۱

شیب خط رگرسیونی سری زمانی NDVI ماهانه طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۱، 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 ـــ که بزرگ‌تر از صفر است (کلاس چهار) ـــ طی بیست سال گذشته در بخش‌های بسیار محدودی از شمال، مرکز و جنوب استان سمنان

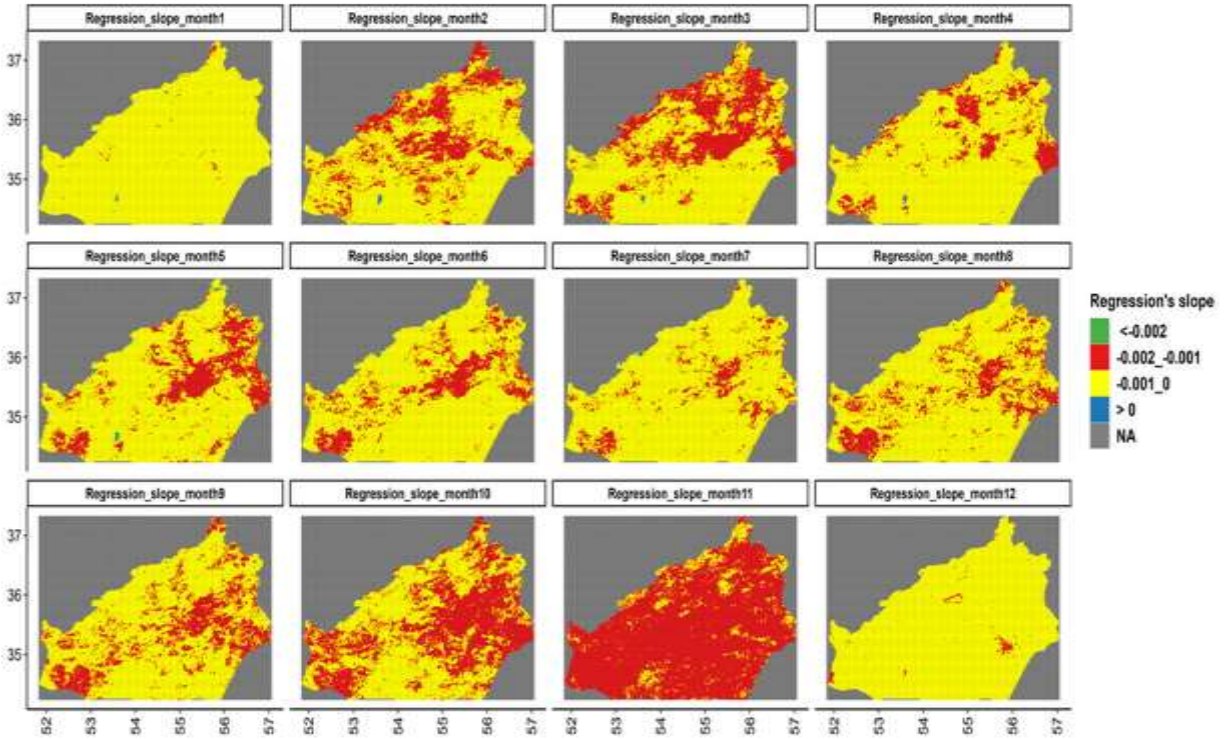
[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

طی ماه‌های اول (ژانویه معادل دی‌ماه) تا هفتم (جولای معادل تیر ماه) با رنگ آبی نمایش داده‌شده‌است. علاوه برآن، تغییرات حاصل از شیب رگرسیونی شاخص NDVI بین مقادیر ۰/۰۰۱- تا ۰/۰۰۲- در کلاس یک در مناطق شمالی و شمال‌شرق، مرکزی و بخش‌هایی از جنوب استان (که با رنگ قرمز نمایش داده شده‌است) طی ماه‌های اول و دوازدهم میلادی (به‌ترتیب معادل ماه‌های بهمن و دی) به حداقل مقدار خود رسیده‌است؛ در حالی که در کلاس مشابه در ماه یازدهم میلادی (آذرماه)، بیشترین مقادیر پوشش‌گیاهی بین ۰/۰۰۱- تا ۰/۰۰۲- مشاهده می‌شود. در تمامی ماه‌های سال به جز ماه یازدهم، مقادیر شیب خط رگرسیون در کلاس سوم و بین ۰/۰۰۱- تا صفر (رنگ زرد) قرار دارد که نشان می‌دهد پوشش‌گیاهی به صورت عملی بدون تغییر بوده یا تغییرات کاهشی بسیار اندکی در سطح استان داشته‌است (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	-۰/۰۰۲۵	۰/۰۰۰۶	۰/۰۰۰۹	۰/۰۰۱۳۲	۰/۰۱۳
۲	-۰/۰۰۳۵	$-۷/۹۹ \times ۱۰^{-۰۶}$	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۴۵	۰/۰۱۳
۳	-۰/۰۰۵۳	-۷×۱۰^{-۰۵}	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۴۰	۰/۰۰۸۱
۴	-۰/۰۰۶۴	۰/۰۰۰۱۹	۰/۰۰۰۴۷	۰/۰۰۰۸۱	۰/۰۰۹۸
۵	-۰/۰۰۷۹	$۵/۲ \times ۱۰^{-۰۵}$	۰/۰۰۰۳۰	۰/۰۰۰۶۱	۰/۰۱۳
۶	-۰/۰۰۸۸	$۸/۹۳ \times ۱۰^{-۰۵}$	۰/۰۰۰۳۳	۰/۰۰۰۶۲	۰/۰۱۲
۷	-۰/۰۰۶۵	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۳۴	۰/۰۰۰۵۷	۰/۰۰۹۶
۸	-۰/۰۰۷۸	$۵/۵۳ \times ۱۰^{-۰۵}$	۰/۰۰۰۲۴	۰/۰۰۰۴۸	۰/۰۰۷۳
۹	-۰/۰۰۷۲	$۴/۲۷ \times ۱۰^{-۰۶}$	۰/۰۰۰۱۷	۰/۰۰۰۳۹	۰/۰۰۸۰
۱۰	-۰/۰۰۷	-۰/۰۰۰۱۵	$۳/۵۲ \times ۱۰^{-۰۵}$	۰/۰۰۰۲۲	۰/۰۰۸۳
۱۱	-۰/۰۰۵۱	-۰/۰۰۰۵۲	-۰/۰۰۰۳۵	-۰/۰۰۰۱	۰/۰۰۵۵
۱۲	-۰/۰۰۶۲	-۰/۰۰۰۷۰	۰/۰۰۰۹۳	۰/۰۰۱۲	۰/۰۰۸۴

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]



شکل ۳: شیب خط رگرسیونی سری زمانی NDVI ماهانه از سال ۲۰۲۰-۲۰۰۱

میزان تغییرات پوشش‌گیاهی شاخص NDVI در منطقهٔ مورد مطالعه در هر ماه طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۱، 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 پوشش‌گیاهی براساس شاخص NDVI نداشت که نتایجی مشابه با تغییرات این شاخص با استفاده از شیب خط رگرسیونی نشان می‌دهد. مقادیر منفی در میانهٔ داده‌ها ـــ که پنجاه درصد از مساحت استان را در بر می‌گیرد ـــ بدان معنا است که پوشش‌گیاهی در ماه‌های نهم تا دوازدهم میلادی (به‌ترتیب معادل ماه‌های شهریور و دی) به مقدار اندکی کاهش یافته‌است (جدول ۳).

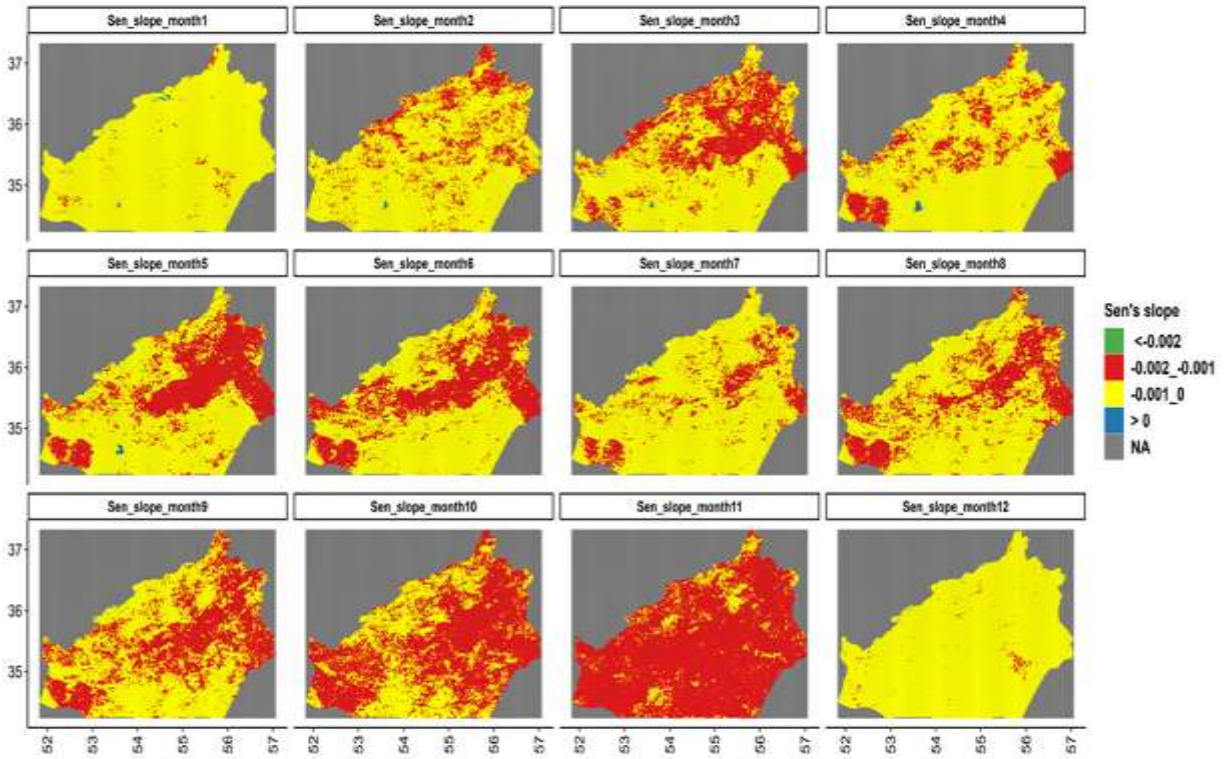
جدول ۳: مقادیر شیب خط تخمین‌گر سن شاخص NDVI در هر ماه طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۱

شیب خط تخمین‌گر سن شاخص NDVI در هر ماه	کمینه 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 ×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 ×۱۰$^{-۰۵}$	۰/۰۰۰۱۶	۰/۰۰۰۴۲	۰/۰۰۷۶

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

۹	-۰/۰۰۹۴	-۰/۰۰۰۱۵	-۶/۶۸ ×۱۰$^{-۰۵}$	۰/۰۰۰۲۹	۰/۰۰۸۷
۱۰	-۰/۰۰۹۵	-۰/۰۰۰۳۳	-۹/۵۰ ×۱۰$^{-۰۵}$	۰/۰۰۰۱۳	۰/۰۰۷۴
۱۱	-۰/۰۰۵۳	-۰/۰۰۰۶۱	-۰/۰۰۰۴۱	-۰/۰۰۰۲۱	۰/۰۰۵۵
۱۲	-۰/۰۰۳۲	-۰/۰۰۰۶۷	-۰/۰۰۰۹۳	۰/۰۰۱۲۲۷	۰/۰۰۸۵

با توجه به شکل ۴، بیشترین مقدار تغییرات شاخص NDVI در منطقهٔ 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 نسان می‌دهد و به‌عبارتی، افزایش پوشش گیاهی در این بخش‌ها است که به رنگ آبی نمایش داده‌شده‌است. این در حالی است که بیشتر تغییرات شاخص NDVI، براساس شیب تخمین‌گر سن در کلاس‌های دوم (رنگ قرمز) و سوم (رنگ زرد) قرار دارد که دامنهٔ مقادیر بین ۰/۰۰۲- تا صفر را در بر می‌گیرد. مشابه با نتایج حاصل از شیب خط رگرسیونی (شکل ۳)، شیب خط تخمین‌گر سِن نیز در تمامی ماه‌های سال به‌جز 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 داشته‌است. 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 شده‌است.



شکل ۴: تغییرات شیب خط تخمین‌گر سن در سری زمانی NDVI در هر ماه طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۱

بررسی ارتباط بین شاخص NDVI و بارش بازتحلیل‌شده

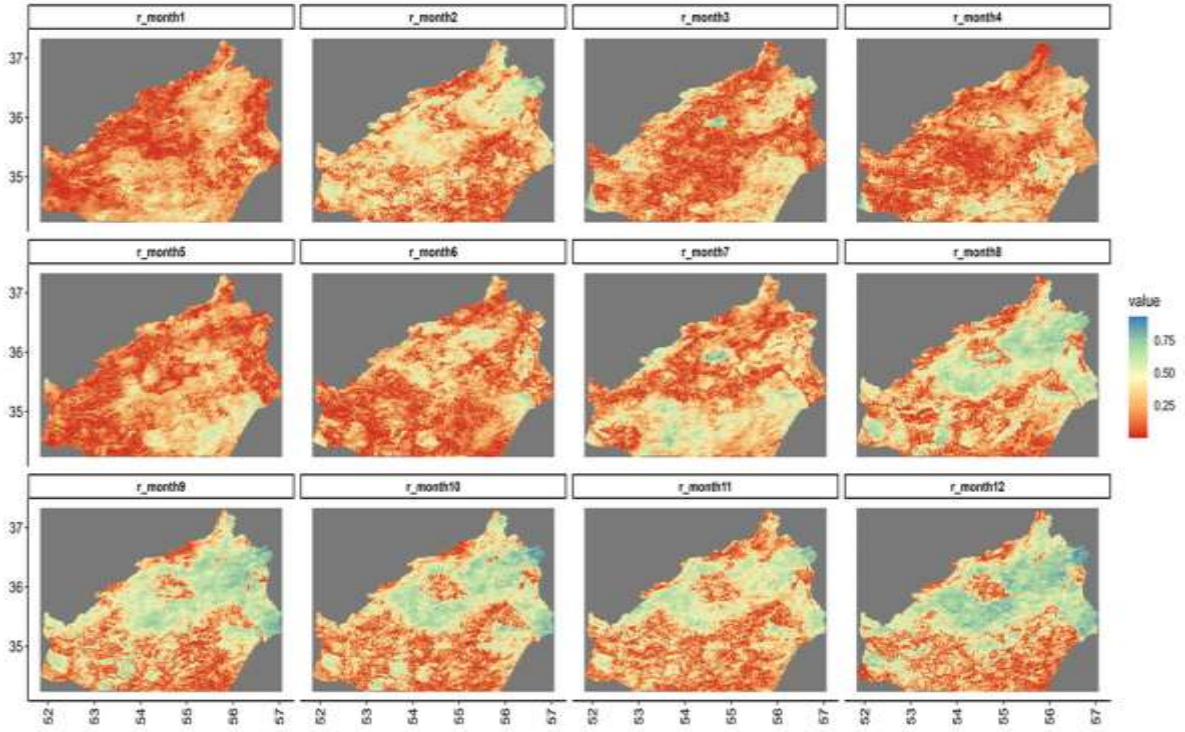
[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

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 (به‌ترتیب 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 بوده‌است. علاوه برآن، در ۷۵٪ از مساحت استان، میزان ضریب تبیین در ماه نهم و دوازدهم به بیشینه مقدار خود رسیده و به‌ترتیب برابر با ۵۶٪ و ۶۲٪ بوده‌است. بیشینه مقادیر ضریب تبیین مثبت بین بارش و شاخص NDVI، در ماه‌های سوم، نهم، دهم، یازدهم و دوازدهم میلادی (معادل ماه‌های فروردین، شهریور، مهرتا آبان، آذر و دی) بوده (به‌ترتیب ۸۸٪، ۸۹٪، ۹۴٪، ۸۸٪ و ۹۴٪) و بیانگر آن است که در ماه‌های مذکور با افزایش مقدار بارش در استان، میزان پوشش‌گیاهی نیز افزایش می‌یابد (جدول ۴). مقدار میانهٔ ضریب تبیین در ماه‌های اول تا ششم میلادی (معادل ماه‌های بهمن تا تیر) نیز به عنوان کمترین مقدار برآورد شد. نتایج مطالعهٔ حاضر نشان می‌دهد که پوشش‌گیاهی 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 ۲۰۲۰-۲۰۰۱

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	$-۱/۹ \times ۱۰^{-۰۵}$	۰/۰۸۸	۰/۱۸	۰/۲۸	۰/۷۱
۲	$۲/۳ \times ۱۰^{-۰۶}$	۰/۱۶	۰/۲۹	۰/۴۱	۰/۸۴
۳	$۶/۳ \times ۱۰^{-۰۶}$	۰/۰۹۶	۰/۲۰	۰/۳۳	۰/۸۸
۴	$۴/۹ \times ۱۰^{-۰۶}$	۰/۰۹۶	۰/۱۹	۰/۳۱	۰/۸۶
۵	$۲/۱ \times ۱۰^{-۰۵}$	۰/۰۹	۰/۱۸	۰/۳۰	۰/۷۳
۶	$۷/۲ \times ۱۰^{-۰۶}$	۰/۰۹	۰/۱۹	۰/۳۱	۰/۷۸
۷	$۴/۷ \times ۱۰^{-۰۷}$	۰/۱۶	۰/۲۸	۰/۴۰	۰/۸۶
۸	$۱/۱ \times ۱۰^{-۰۶}$	۰/۱۹	۰/۳۶	۰/۵۳	۰/۸۷
۹	$۵/۷ \times ۱۰^{-۰۵}$	۰/۲۲	۰/۴۲	۰/۵۶	۰/۸۹
۱۰	$۱/۴ \times ۱۰^{-۰۶}$	۰/۱۹	۰/۳۶	۰/۵۴	۰/۹۴
۱۱	$۵/۰۸ \times ۱۰^{-۰۶}$	۰/۱۷	۰/۳۲	۰/۴۷	۰/۸۸
۱۲	$۲/۶ \times ۱۰^{-۰۵}$	۰/۲۱	۰/۴۳	۰/۶۲	۰/۹۴

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]



شکل ۵: نقشهٔ مقادیر ضریب تبیین بین شاخص پوشش‌گیاهی NDVI (به‌عنوان متغیر وابسته) و بارش سالانهٔ بازتحلیل‌شدهٔ ERA5-Land در استان سمنان

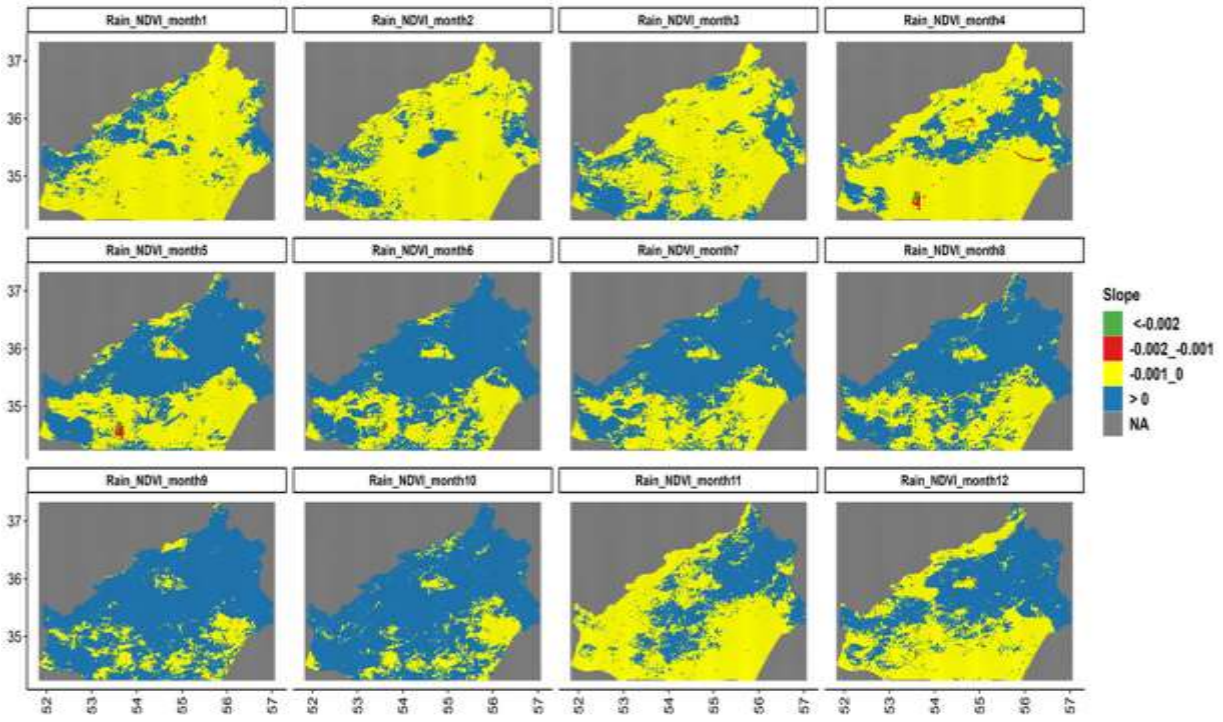
شکل ۵، مقادیر حاصل از ضرایب تبیین بین NDVI و مؤلفه اقلیمی بارش را نشان می‌دهد که در دامنهٔ بین کمتر از ۰/۲۵ تا بیش از ۰/۷۵ برآورد شده‌است. بیشترین مقدار ضریب تبیین بین NDVI و بارش، در ماه‌های نهم تا دوازدهم میلادی (معادل ماه‌های شهریور تا دی) بوده‌است که در بخش‌های شمال‌شرق، شرق، مرکز و جنوب‌غرب استان دیده می‌شود؛ مقادیر حاصل از جدول ۴ نیز این امر را تأیید می‌کند. با توجه به شکل ۵، میزان ضریب تبیین به‌ترتیب در ماه‌های دوازدهم، دهم و نهم میلادی (دی، مهر تا آبان) به بیشترین مقدار خود (بیش از ۷۵٪) در بخش‌های شمال‌غرب استان رسیده‌است که ارتباط نسبتاً خوب میان افزایش پوشش‌گیاهی 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 پهن‌برگ استان نیز در کمترین حد بوده که فقدان تغییر پوشش‌گیاهی را در این اراضی با تغییرات سالانهٔ بارش در استان سمنان نشان می‌دهد.

شکل ۶، نقشه‌های ماهانهٔ حاصل از شیب خط رگرسیونی میان شاخص NDVI و بارش سالانهٔ بازتحلیل‌شده ERA5-Land را طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ نشان می‌دهد. مقادیر منفی شیب نیز بیانگر ارتباط معکوس بین بارش و پوشش‌گیاهی و مقادیر مثبت، بیانگر رابطهٔ مستقیم بین پوشش در ماه مورد نظر و مقدار بارش سالانه است. دامنهٔ 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

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

و جنوب استان سمنان دامنه مقادیر ۰/۰۰۲-> (کلاس اول) و ۰/۰۰۲- تا ۰/۰۰۱- (کلاس دوم) مشاهده می‌شود؛ این بدان معنا است که در ماه‌های ذکر شده، روند تغییرات پوشش‌گیاهی نسبت به بارش به‌طور نامحسوسی کاهشی بوده‌است. همچنین در ماه‌های نهم و دهم میلادی (معادل ماه‌های شهریور، مهر تا آبان) در بیشتر مناطق استان، تغییرات پوشش‌گیاهی نسبت به بارش مثبت بوده و بیش از صفر برآورد شده‌است که نشان می‌دهد در این ماه‌ها، میان پوشش‌گیاهی و بارش ارتباطی مستقیم وجود داشته و با افزایش بارش میزان پوشش‌گیاهی نیز افزایش یافته‌است.

طول سال‌های آماری در هر ماه در بیشتر مناطق استان از جمله مرکز و شرق آن، میزان تغییرات شاخص NDVI نسبت‌به‌بارش سالانه در دامنه مقادیر بیش از ۰/۰۰۲-تا صفر قرار گرفته‌است که از فقدان تغییرات قابل‌توجه پوشش‌گیاهی نسبت به بارش سالانه در منطقهٔ 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 دامنهٔ تغییرات پوشش‌گیاهی نسبت به بارش بین ۰/۰۰۱- تا صفر است که نشان می‌دهد در ماه‌های مذکور، پوشش‌گیاهی طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ بدون تغییر بوده یا به مقداری جزئی کاهش یافته‌است (شکل ۶).



شکل ۶: خروجی حاصل از شیب خط رگرسیونی طبقه‌بندی‌شده میان سری زمانی بارش سالانهٔ بازتحلیل‌شده ERA5-Land و شاخص پوشش‌گیاهی NDVI طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۱

بررسی ارتباط بین NDVI و دمای بازتحلیل‌شده

علاوه بر بررسی میزان ارتباط بین شاخص NDVI و بارش سالانه و ارزیابی تغییرات پوشش‌گیاهی در هر ماه، میزان ضریب تبیین بین دمای سالانه و شاخص NDVI طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۱ 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

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

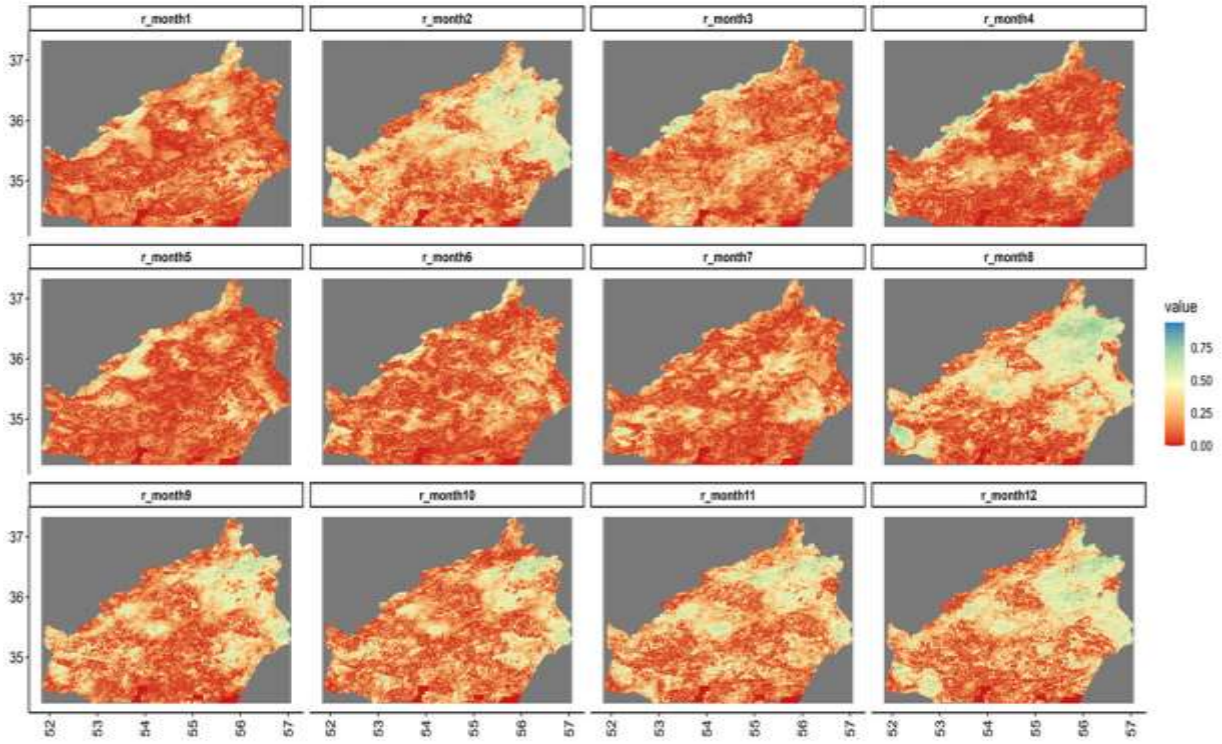
و دما بیش از ۶ و کمتر از ۱۵ درصد بوده‌است. این در حالی است که در نیمی از مساحت استان، میزان ضریب تبیین بین دما و پوشش بین ۱۴ تا ۲۸ درصد متغیر بوده‌است. همچنین نتایج نشان داد که در ۲۵٪ از مساحت استان سمنان، ارتباط بین دمای سالانه و شاخص NDVI در ماه‌های هشتم و دوازدهم به بیش از ۴۰٪ می‌رسد (جدول ۵).

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 ماهانهٔ میزان ضرایب تبیین بین دمای سالانه و NDVI را در سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۱ نشان می‌دهد. دامنهٔ مقادیر ضریب تبیین بین صفر تا بیش از ۰/۷۵ متغیر است. در تمامی ماه‌های سال به‌جز 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 پوشش‌گیاهی 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 برآن، در ماه‌های دوم، هشتم تا دوازدهم در بخش‌هایی از شمال‌شرق استان، مقدار ضریب تبیین بین بارش و پوشش‌گیاهی بیش از پنجاه درصد برآورد شده‌است.

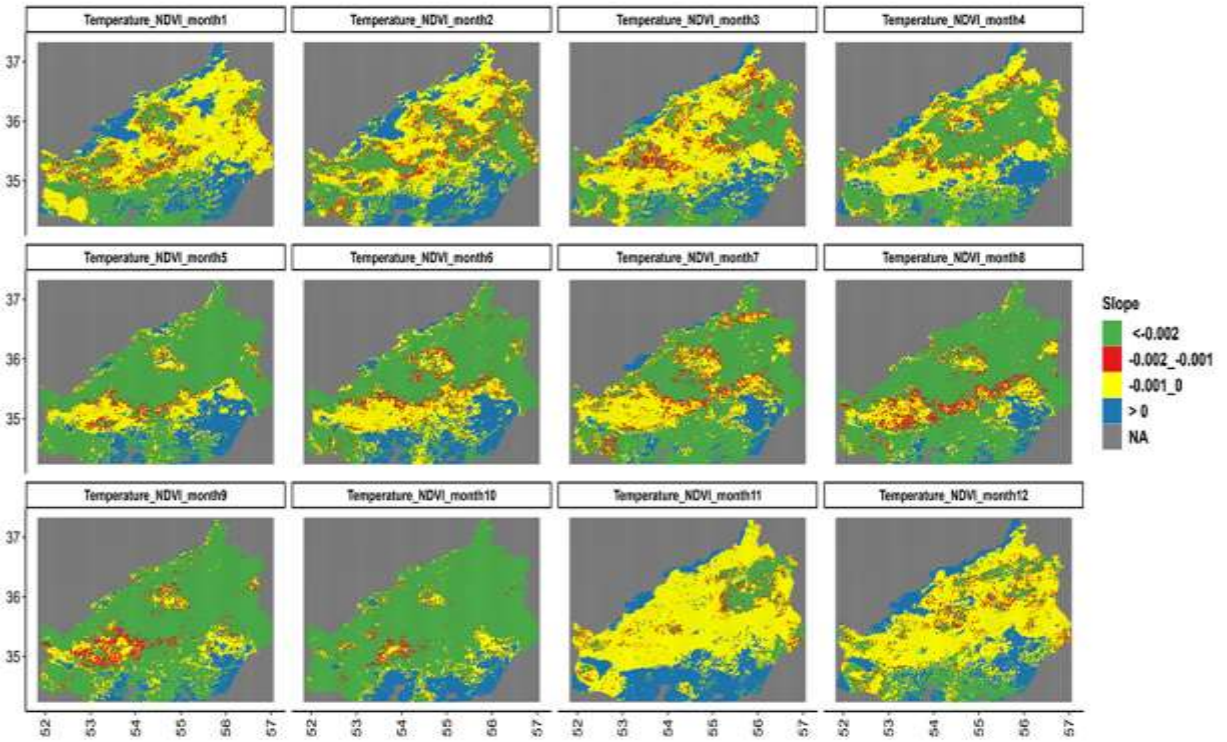
[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]



شکل ۷: نقشهٔ مقادیر ضریب تبیین میان شاخص پوشش‌گیاهی NDVI (به‌عنوان متغیر وابسته) و دمای بازتحلیل‌شده 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 بوده‌است که نشان می‌دهد پوشش‌گیاهی در پاسخ به دما تغییر محسوسی نداشته یا به مقدار اندکی کاهش یافته‌است. 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 پوشش‌گیاهی ۰/۰۰۲-> برآورد شده و حاکی از آن است که بین دما و پوشش‌گیاهی ارتباط منفی وجود دارد و با کاهش دما، پوشش‌گیاهی اندکی افزایش می‌یابد (شکل ۸). در تمامی ماه‌های سال در بخش‌هایی از مرکز استان که با رنگ قرمز مشخص شده‌است، مقادیر شیب خط رگرسیونی در کلاس دوم و بین ۰/۰۰۲- تا ۰/۰۰۱- قرار گرفته و بیانگر آن است که پوشش‌گیاهی ماهانه در این مناطق طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ با کاهش دمای سالانه، روندی افزایشی داشته‌است. همچنین، مقادیر مثبت در کلاس چهارم (۰<) بیانگر آن است که در بخش‌های شمالی، جنوبی و جنوب‌شرقی استان، میزان پوشش‌گیاهی با کاهش دمای سالانه زیاد شده‌است.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]



شکل ۸: خروجی حاصل از شیب خط رگرسیونی طبقه‌بندی‌شده میان سری زمانی دمای سالانه و شاخص پوشش‌گیاهی NDVI طی سال‌های ۲۰۲۰-۲۰۰۱

۵ـ 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 توسعهٔ پایدار اهمیت زیادی دارد. در سال‌های اخیر، تهیه و استفاده از نقشه‌های پوشش‌گیاهی 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 پوشش‌گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در هر پیکسل و ارتباط آن با مؤلفه‌های اقلیمی ـــ که از عوامل تأثیرگذار بر میزان پوشش‌گیاهی است ـــ 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. به‌دلیل فقدان یا کمبود داده‌های اقلیمی در دوره آماری مورد مطالعه، استفاده از داده‌های شبکه‌ای بازتحلیل‌شده اهمیت زیادی دارد. از سوی دیگر، اصلاح اُریبی 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 (۲۰۲۰-۲۰۰۱) 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 اُریبی‌شده انجام شد. با توجه به ارتباط معنادار میان پوشش‌گیاهی 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 تخمین‌گر سِن تقریباً مشابه بود و نشان داد که به طور کلی، این شاخص در استان سمنان طی سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ تغییرات

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

محسوسی نداشت، ولی در برخی نقاط کاهشی بود. می‌توان گفت نتایج حاصل از پژوهش حاضر در راستای نتایج حاصل از مطالعهٔ Shafei and Hosseini (2011) است که نشان دادند سطح پوشش‌گیاهی حاصل از داده‌های ماهوارهٔ لندست (۱۹۹۰-۲۰۰۶) در استان سیستان و بلوچستان در سال ۲۰۰۶ نسبت به ۱۹۹۰ کاهش یافته‌است (Shafei and Hosseini, 2011). با بررسی تغییرات پوشش‌گیاهی و شاخص NDVI در حوضه آبخیز ایلام مشخص شد که طی سال‌های ۱۳۶۷ تا ۱۳۹۷، میزان پوشش‌گیاهی به خصوص در کلاس متراکم کاهش یافته‌است (Avazpour et al, 2021). همچنین در مطالعهٔ حاضر، بررسی اثر مؤلفه‌های اقلیمی دما و بارش نشان داد که پوشش‌گیاهی در برخی از ماه‌های سال، ارتباط مستقیم (مقادیر مثبت) و در برخی از ماه‌ها رابطهٔ معکوسی (مقادیر منفی) با دما و بارش داشته‌است. خروجی شیب خط رگرسیونی بین بارش و شاخص NDVI در ماهای نهم و دهم نشان داد که در بیشتر مناطق استان سمنان، تغییرات پوشش‌گیاهی نسبت به بارش مثبت بود و ارتباط مستقیم میان پوشش‌گیاهی و بارش را نشان می‌داد؛ به طوری که با افزایش بارش، پوشش‌گیاهی 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، پوشش‌گیاهی نیز زیاد می‌شود. از طرفی، حداقل میزان ضرایب تبیین در ماه‌های اول تا ششم میلادی بود و نشان داد که پوشش‌گیاهی در فصول زمستان و بهار ارتباط معناداری با بارش سالانه ندارد. ارزیابی تغییرات پوشش‌گیاهی در استان کرمانشاه نشان داد که اثر بارندگی بر پوشش‌گیاهی با توجه به فرم رویشی و زمان بارش متفاوت است و از این جهت در مناطق شهری، ارتباط معنی‌داری بین پوشش‌گیاهی و مقادیر بارش طی سال‌های ۱۹۸۳ تا ۲۰۰۶ مشاهده نمی‌شود؛ در حالی که پوشش‌گیاهی 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 پوشش‌گیاهی در شهرستان آران و بیدگل در کلاس ۰/۳ – ۰/۲ و ۰/۳< در حال افزایش و در کلاس‌های ۰/۱ – ۰ و ۰/۲ – ۰/۱ 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 دورهٔ زمانی مذکور بدون تغییرات محسوس بوده؛ این در حالی است که نتایج شیب خط رگرسیونی بین دمای سالانه و پوشش‌گیاهی 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 پوشش‌گیاهی 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 به‌ترتیب همبستگی منفی و مثبت داشت. بررسی روندها نشان داد که در پنج منطقهٔ 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 پوشش‌گیاهی NDVI افزایش یافته‌است و در ماه ژوئن تا دمای یازده درجهٔ 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.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

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 پوشش‌گیاهی NDVI در مقایسه با شاخص EVI برای پویایی پوشش‌گیاهی 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 پوشش‌گیاهی 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 مطالعهٔ Ebrahimi و همکاران (2022) نشان داد که مهم‌ترین عوامل اقلیمی مؤثر بر پوشش‌گیاهی در منطقهٔ 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 پوشش‌گیاهی است و عواملی مانند بافت و شوری خاک را نیز در افزایش پوشش‌گیاهی مؤثر دانستند. نتایج آنها نشان داد که بخش‌هایی از منطقهٔ مطالعاتی که با افزایش بارش تغییر چندانی در پوشش‌گیاهی 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 به‌دلیل شکننده بودن اکوسیستم، کاهش پوشش‌گیاهی 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 ماهانهٔ شاخص NDVI طی دورهٔ آماری بیست ساله (۲۰۲۰-۲۰۰۱) 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 شده‌است. یافته‌های این پژوهش نشان داد که خروجی حاصل از شیب خط رگرسیونی و شیب تخمین‌گر سِن 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 بوده‌است. 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، پوشش‌گیاهی نیز زیاد می‌شود. حداقل ارتباط میان بارش و شاخص NDVI، در ماه‌های اول تا ششم میلادی بود است و نشان می‌دهد که پوشش‌گیاهی در فصول زمستان و بهار با بارش سالانه ارتباط معناداری ندارد. در نتایج حاصل از شیب خط رگرسیونی بین دمای سالانه و پوشش‌گیاهی ملاحظه شد که در نیمی از مساحت منطقهٔ مورد مطالعه (۵۰٪)، تغییرات شاخص NDVI نسبت به دمای سالانه در هر ماه در حدود صفر یا منفی است که در این حالت، پوشش‌گیاهی در پاسخ به تغییرات دما تغییر چشمگیری نداشته یا حتی کاهش یافته‌است. به طور کلی، از عوامل کاهش پوشش‌گیاهی در استان می‌توان به موادی از قبیل کاهش بارش در سال‌های اخیر یا تغییر کاربری اراضی اشاره کرد که در این‌صورت لازم است

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

برنامه‌ریزی‌هایی اصولی در زمینهٔ بهبود وضع موجود یا حفظ آن و ایجاد شرایط توسعهٔ پایدار انجام شود. این احتمال وجود دارد که تغییر وضعیت پوشش‌گیاهی 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 ماهوارهٔ لندست و از دیگر داده‌های شبکه‌ای اقلیمی استفاده کرد تا بتوان نسبت به تغییرات پوشش‌گیاهی در سطح منطقهٔ 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
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.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

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. Raziei, 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. Ghebrezgabher, 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/ atmos 11090996
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

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

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.; & l. 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.; & l. 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

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

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.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

51. Tarek, M.; Brissette, 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 /20 11JHM1369.1

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

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

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 Zolfaghari[1]: *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.

[1] **azolfaghari@semnan.ac.ir**

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]

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.

[DOI: 10.61186/jeer.13.4.56]