

## Investigating the trend of vegetation changes (Greening and Browning) using MODIS-NDVI time series in Mazandaran Province

Ahmad Abbasnezhad Alchin<sup>\*1</sup>, Ali Asghar Darvishsefat<sup>2</sup>

1. Corresponding Author, Ph.D. Student in Forestry and Forest Economy, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran. E-mail: [ahmad.aa1993@yahoo.com](mailto:ahmad.aa1993@yahoo.com)
2. Professor, Dept. of Forestry and Forest Economy, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran. E-mail: [adarvish@ut.ac.ir](mailto:adarvish@ut.ac.ir)

### Article Info

#### Article type:

Full Length Research Paper

#### Article history:

Received: 11.08.2022

Revised: 01.27.2023

Accepted: 03.06.2023

#### Keywords:

Google Earth Engine,  
Long-term trend,  
Mann-Kendall,  
MODIS-NDVI,  
OLS,  
Theil-Sen

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** Vegetation is one of the main components of the biosphere and a vital element in the climate system. Thus, knowledge of changes and their activity process can affect the optimal productivity of agricultural lands, natural ecosystems, climate change, and biodiversity. Vegetation indices derived from satellite data have provided a powerful tool for monitoring the study and dynamics of vegetation at large temporal and spatial scales. The purpose of this study is to investigate the long-term trend of pixels-to-pixel vegetation cover in Mazandaran province using the NDVI time series of MODIS sensors of Terra and Aqua satellites.

**Materials and Methods:** The current study was conducted in the province of Mazandaran which comprises 53% of Hyrcanian forests and 12,050 km<sup>2</sup> of rangeland. In this study, the MODIS sensor vegetation index with a spatial resolution of 250 m and an interval of 16 days, named MOD13Q1 and MYD13Q1, was used. The NDVI index images for the period 2003-2021 were combined and a time series of 828 images with an interval of 8 days and a spatial resolution of 250 m was generated. To enhance quality and remove outliers from the time series, pixels affected by clouds, snow, and ice were removed, using the Anomaly method, based on MODIS quality assurance information and the seasonal component in the time series. These preprocessing operations are necessary to explain long-term vegetation trends. Next, the time series were analyzed using parametric ordinary least squares (OLS) regression and non-parametric Theil-Sen and Mann-Kendall in Google Earth Engine (GEE).

**Results:** The results showed that the outputs of OLS, Theil-Sen, and Mann-Kendall methods were similar and that Greening and Browning occurred in about 87% and 13% of the province, respectively. Also, the significance of Man-Kendall trends shows that 77.21% of trends in the province include 70.65% of positive trends (Greening) and 6.56% of negative trends (Browning) at  $p < 0.01$ , 6.48% and 2.95% of trends at  $p < 0.05$  and  $p < 0.10$  are significant, respectively. The spatial distribution of the trends also showed that a large part of the Browning trends occurred in the plains of the north of the province and most of the Greening trends occurred in forest lands and rangeland.

**Conclusion:** In general, this study showed that greening occurred on a large scale, especially in natural vegetation, including forests and

---

rangelands. Changes in natural vegetation are affected by climate change rather than by human activities, therefore, the process of global warming can be the most important factor affecting Greening in Mazandaran province.

---

Cite this article: Abbasnezhad Alchin, Ahmad, Darvishsefat, Ali Asghar. 2023. Investigating the trend of vegetation changes (Greening and Browning) using MODIS-NDVI time series in Mazandaran Province. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 30 (1), 125-140.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/JWFST.2023.20755.1991

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

---

## بررسی روند تغییرات سرسبزی پوشش گیاهی (Greening و Browning) با استفاده از سری زمانی MODIS-NDVI در استان مازندران

احمد عباس نژاد الجین\*<sup>۱</sup>، علی اصغر درویش صفت<sup>۲</sup>

۱. نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: [ahmad.aa1993@yahoo.com](mailto:ahmad.aa1993@yahoo.com)

۲. استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: [adarvish@ut.ac.ir](mailto:adarvish@ut.ac.ir)

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی- پژوهشی	سابقه و هدف: پوشش گیاهی یکی از اجزاء اصلی بیوسفر و یک عنصر حیاتی در سیستم اقلیمی است که آگاهی از تغییرات و روند فعالیت آن، می‌تواند به بهره‌وری بهینه از زمین‌های کشاورزی، اکوسیستم‌های طبیعی، تغییرات اقلیمی و تنوع زیستی تأثیر گذارد. شاخص‌های گیاهی حاصل از داده‌های ماهواره‌ای، ابزار قدرتمندی برای نظارت و بررسی پویایی پوشش گیاهی در مقیاس‌های زمانی و مکانی بزرگ را فراهم کرده است. هدف پژوهش حاضر بررسی روند بلندمدت پوشش گیاهی به صورت پیکسل به پیکسل در استان مازندران با استفاده از سری زمانی NDVI سنجنده MODIS ماهواره‌های Terra و Aqua است.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۷	
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۱۱/۰۷	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۵	
واژه‌های کلیدی: تیل سن، روند بلندمدت، گوگل ارث انجین، من-کندال، MODIS-NDVI OLS	مواد و روش‌ها: پژوهش حاضر در کل استان مازندران که ۵۳ درصد از جنگل‌های هیرکانی و ۱۲۰۵۰ کیلومتر مربع از مراتع را در بر می‌گیرد، انجام شد. در این مطالعه محصولات شاخص پوشش گیاهی سنجنده MODIS با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و فاصله زمانی ۱۶ روزه به نام‌های MOD13Q1 و MYD13Q1 مورد استفاده قرار گرفته است. تصاویر شاخص NDVI موجود در این دو محصول با هم ترکیب و یک سری زمانی ۸۲۸ تصویری با فاصله ۸ روزه و تفکیک مکانی ۲۵۰ متر از شاخص NDVI برای دوره زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱ ایجاد شد. به منظور افزایش کیفیت و حذف داده‌های پرت سری زمانی، پیکسل‌های متأثر از ابر، برف و یخ در هر تصویر از سری زمانی بر اساس اطلاعات تضمین کیفیت MODIS و مؤلفه فصلی درون سری‌های زمانی که ممکن است بررسی روند بلندمدت را با مشکل مواجه کند، با استفاده از فرمول Anomaly حذف شد. سپس سری زمانی با استفاده از روش پارامتریک حداقل مربعات معمولی (OLS) و روش‌های ناپارامتریک تیل سن، من-کندال و معنی‌داری من-کندال در محیط گوگل ارث انجین (GEE) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

---

**یافته‌ها:** نتایج این مطالعه نشان داد که خروجی روش‌های OLS، تیل‌سن و من-کندال به هم نزدیک بوده و روندهای افزایشی (Greening) و کاهش‌ی (Browning) به ترتیب در حدود ۸۷ و ۱۳ درصد از سطح استان رخ داده است. هم‌چنین معنی‌داری روندهای من-کندال نشان می‌دهد که ۷۷/۲۱ درصد از روندهای منطقه شامل ۷۰/۶۵ درصد از روندهای مثبت (Greening) و ۶/۵۶ درصد از روند منفی (Browning) در سطح ۱ درصد و ۶/۴۸ و ۲/۹۵ درصد از روندها به ترتیب سطوح ۵ و ۱۰ معنی‌دار هستند. پراکنش مکانی روندهای پوشش‌های گیاهی نیز نشان داد که بخش وسیعی از روندهای Browning در مناطق جلگه‌ای شمال استان و بیش‌تر روند Greening در اراضی جنگلی و پوشش‌های مرتعی رخ داده است.

**نتیجه‌گیری:** به‌طورکلی مطالعه حاضر نشان داد که Greening در سطح وسیعی به‌خصوص در پوشش‌های گیاهی طبیعی شامل جنگل‌ها و مراتع رخ داد است. تغییرات پوشش‌ها گیاهی طبیعی متأثر از تغییرات اقلیمی است، چرا که فعالیت‌های انسانی در آن‌ها محدود می‌باشد؛ بنابراین روند گرمایش زمین می‌تواند مهم‌ترین عامل Greening در استان مازندران باشند.

---

استناد: عباس‌نژاد الچین، احمد، درویش‌صفت، علی‌اصغر (۱۴۰۲). بررسی روند تغییرات سربسیزی پوشش گیاهی (Greening) و Browning) با استفاده از سری زمانی MODIS-NDVI در استان مازندران. نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل، ۳۰ (۱)، ۱۴۰-۱۲۵.

DOI: 10.22069/JWFST.2023.20755.1991



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

## مقدمه

پوشش گیاهی جزء اصلی بیوسفر است که از طریق تبادل انرژی، کربن و آب بین بیوسفر و اتمسفر نقش مهمی در سیستم اقلیمی ایفا می‌کند (۱، ۲). در دهه‌های اخیر اطمینان حاصل شده که گرمایش جهانی به‌شدت بر بیوسفر و پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد (۳). علاوه بر این، تغییرات پوشش گیاهی با فعالیت‌های انسانی مانند شهرنشینی و کشاورزی و عواملی مانند آتش‌سوزی نیز مرتبط است (۴)؛ بنابراین، تغییرات پوشش گیاهی اغلب به‌عنوان شاخصی برای بیان تغییر اقلیم، آشفته‌گی‌های طبیعی و فعالیت‌های انسانی ظاهر می‌شوند. به‌طوری‌که حتی آشفته‌گی‌های انسانی در سطحی کوچک و با شدت کم در بلندمدت می‌تواند موجب تغییراتی در الگوهای پوشش گیاهی و کاربری زمین شود (۵).

ارزیابی تغییرات پوشش گیاهی در سطح منطقه‌ای و استانی با استفاده از روش‌های میدانی به دلیل وسعت زیاد، پیچیدگی، میزان و ماهیت آن‌که می‌تواند در زمان و مکان متفاوت باشد، دشوار است (۴، ۶). در دهه‌های اخیر، ظهور و توسعه سنسورهای دور ماهواره‌ای ابزارهای قدرتمندی برای نظارت و بررسی پویایی پوشش گیاهی در مقیاس‌های مکانی و زمانی بزرگ فراهم کرده است. شاخص‌های گیاهی<sup>۱</sup> (VIs) حاصل از داده‌های ماهواره‌ای می‌توانند به‌طور مستقیم تغییرات و ویژگی‌های پوشش گیاهی را ثبت کنند (۷، ۸). شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI)<sup>۲</sup> یکی از متداول‌ترین شاخص‌های ماهواره‌ای است که ارتباط نزدیکی با مقدار پوشش گیاهی، ظرفیت فتوسنتزی و ... دارد (۹). این شاخص به‌عنوان نسبت نرمال شده بازتاب در طول موج‌های قرمز و مادون‌قرمز نزدیک محاسبه می‌شود و بر این اصل

فیزیکی استوار است که کلروفیل موجود در پوشش گیاهی سبز اکثر تابش خورشیدی ورودی در طول موج قرمز را جذب و در طول موج مادون‌قرمز نزدیک را منعکس می‌کند؛ بنابراین تجزیه و تحلیل روندها در سری زمانی NDVI می‌تواند تغییرات پوشش گیاهی را طول زمان نشان می‌دهد (۱۰).

سری‌های زمانی بلندمدت شاخص پوشش گیاهی SPOT-VGT NDVI و MODIS-NDVI، GIMMS سه منبع اصلی داده برای مطالعه تغییرات پوشش گیاهی در مقیاس‌های منطقه‌ای و جهانی هستند که دو مورد اول در سال‌های اخیر بیش‌تر مورد استفاده قرار گرفتند. GIMMS که از داده‌های سنجنده AVHRR ماهواره NOAA تهیه می‌شود، شامل شاخص NDVI ۱۵ روزه با تفکیک مکانی ۸ کیلومتر است (۱۱)، در حالی که محصول NDVI سنجنده MODIS با تفکیک‌های مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری و فاصله زمانی ۱۶ روزه در دسترس قرار دارد (۱۲، ۱۳). هم‌چنین مطالعات نشان داده که محصول سری‌های زمانی MODIS-NDVI که در سال ۲۰۱۵ به مجموعه<sup>۳</sup> بروزرسانی شده، نسبت به شاخص‌های GIMMS و SPOT-VGT NDVI بیش‌ترین سازگاری زمانی با تغییرات پوشش گیاهی را دارد (۸). تغییرات درون سری‌های زمانی شاخص‌های پوشش گیاهی به سه دسته تغییرات ناگهانی، فصلی و بلندمدت تقسیم می‌شود که تغییرات ناگهانی و فصلی به‌ترتیب متأثر از حوادث ناگهانی مانند حریق و خشک‌سالی و تغییرات فصلی آب و هوایی هستند (۱۴)؛ اما تغییرات بلندمدت می‌تواند در اثر تغییرات تدریجی اقلیمی مانند دما، بارندگی، خشک‌سالی یا تغییرات سریع‌تر ناشی از برخی شیوه‌های مدیریت زمین مانند تغییر کاربری ایجاد می‌شود (۷) که نتایج این تغییرات در سری زمانی شاخص پوشش گیاهی

1- Vegetation indices

2- Normalized difference vegetation index

3- MODIS collection 6 (C6)

بررسی منابع نشان می‌دهد که تجزیه و تحلیل روندهای سری‌های زمانی NDVI برای دستیابی به اهداف گوناگونی از جمله ارزیابی واکنش‌های اکولوژیکی به گرمایش زمین، تغییر اقلیم، تولید محصولات کشاورزی، بهره‌وری اکوسیستم‌ها، تغییر کاربری‌ها و ... استفاده می‌شود (۳). چرا که آگاهی از چگونگی تغییرات و روند فعالیت پوشش گیاهی، می‌تواند به برنامه‌ریزی‌های راهبردی و کلان مدیریتی اثر گذارد و از این طریق بر بهره‌وری زمین‌های کشاورزی، جنگل‌داری، اکوسیستم‌های طبیعی، تغییرات اقلیمی و تنوع زیستی در آینده کمک شایانی کند (۲). از این رو، این پژوهش با هدف بررسی تغییرات بلندمدت پوشش گیاهی در استان مازندران با استفاده از یک مجموعه جدید از داده‌های MODIS-NDVI با فاصله زمانی ۸ روزه و تفکیک مکانی ۲۵۰ متر در بازه زمانی ۲۰۲۱-۲۰۰۳ انجام شده است.

### مواد روش‌ها

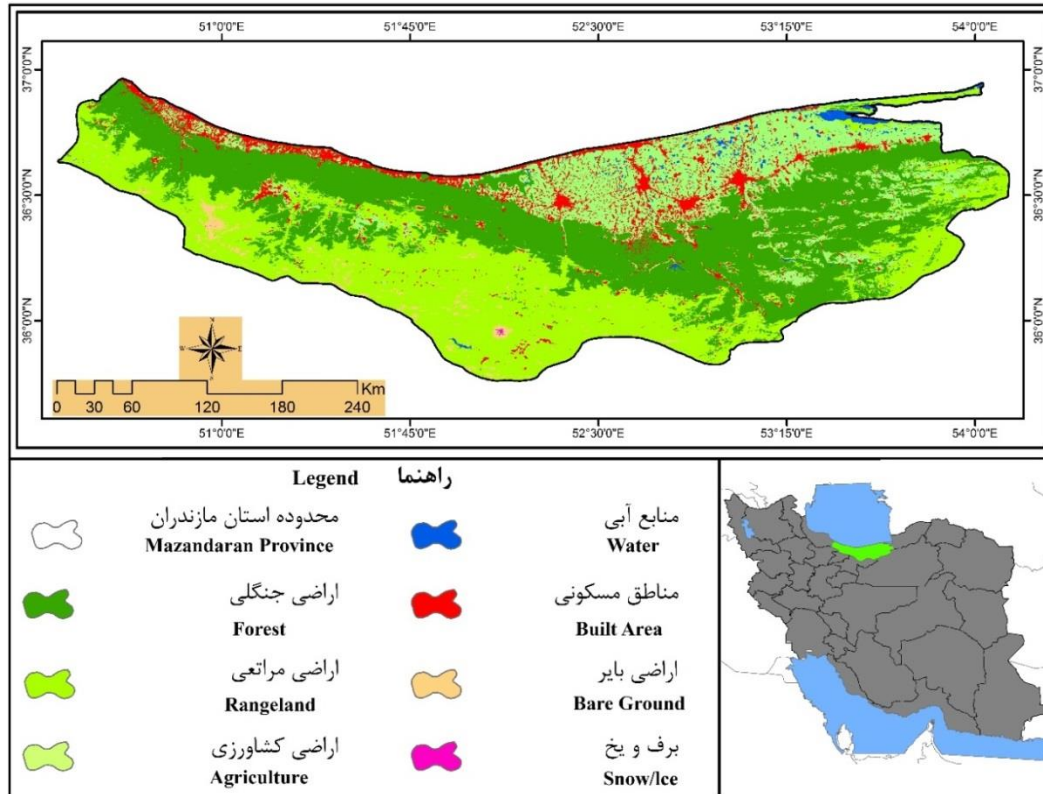
**منطقه مورد مطالعه:** منطقه مورد مطالعه استان مازندران به وسعت ۲۳۸۶۷ کیلومتر مربع در محدوده  $35^{\circ} 45'$  تا  $45^{\circ} 45'$  عرض شمالی و  $50^{\circ} 20'$  تا  $54^{\circ} 10'$  طول شرقی است (شکل ۱). این استان براساس تقسیم‌بندی اقلیمی دومارتن دارای اقلیم‌های مرطوب معتدل، نیمه مرطوب معتدل تا سرد و مدیترانه‌ای سرد می‌باشد. متوسط بارندگی سالانه مازندران از ۳۰۰ میلی‌متر (پنجاب از روستاهای آمل) تا ۱۲۰۰ میلی‌متر (رامسر) و میانگین دمای سالیانه آن ۱۵- تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد است (۲۰). از نظر پوشش گیاهی استان مازندران سرزمینی سرسبز و حاصلخیز در جنوب دریای خزر و شمال رشته‌کوه البرز است که درصد ۵۳ از جنگل‌های هیرکانی را در بر می‌گیرد

به صورت روندهای مثبت یا افزایشی (Greening) و منفی یا کاهش (Browning) نمایان می‌شوند (۱۵، ۱۶، ۱۷).

مایلز و عیسو (۲۰۱۶) با هدف تعیین بهره‌وری پوشش گیاهی در منطقه شمال غربی سبیر که ۳۵ درصد آن را پوشش جنگلی تشکیل داده، از سری زمانی MODIS-NDVI با فاصله زمانی ۱۶ روزه و تفکیک مکانی ۲۵۰ متر در بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ استفاده کرده‌اند. نتایج نشان داده که تغییر بهره‌وری در ۱۸ درصد از منطقه رخ داده که ۸/۴ درصد آن افزایش (Greening) و ۹/۶ درصد آن کاهش (Browning) بوده است (۱۸). زانگ و یی (۲۰۲۰) با استفاده از سری زمانی داده‌های MODIS-NDVI با فاصله زمانی ۱۶ روزه و تفکیک مکانی ۱ کیلومتر در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷، به بررسی تغییرات مکانی و زمانی پوشش گیاهی در کل کشور چین پرداختند. نتایج نشان داده که پوشش‌های گیاهی در ۷۹/۶۹ درصد از سطح منطقه مورد مطالعه روند افزایش داشتند (۱۱). مسیح‌پور و همکاران (۱۳۹۸) روند بلندمدت تغییرات پوشش گیاهی در استان کردستان را با استفاده از سری زمانی MODIS-NDVI با فاصله زمانی ۱۶ روزه و تفکیک مکانی ۲۵۰ متر در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۷ بررسی کرده‌اند. نتایج این مطالعه براساس آزمون من-کندال نشان داده که ۹۷ درصد منطقه روند افزایشی و ۲/۴۶ درصد روند کاهش داشته، ولی این روندها تنها در ۱۲ درصد منطقه در سطح یک درصد معنی‌دار بوده است (۱۵). کیاپاشا و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از سری زمانی GIMMS-NDVI، پژوهشی با هدف بررسی روند بلندمدت تغییرات در سطح کل جنگل‌های هیرکانی در طی سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۸۱ انجام دادند. نتایج نشان داده که در ۷۵/۳۵ درصد از جنگل‌های هیرکانی روند Greening رخ داده است (۱۹).

این استان شامل اراضی زراعی، جاده‌ها، مناطق مسکونی و غیره است (۲۰).

(۲۱) و ضمناً ۵۰ درصد از مساحت استان را اراضی مرتعی تشکیل می‌داد (۲۰). همچنین مناطق ساحلی



شکل ۱- موقعیت استان مازندران در کشور ایران و نقشه کاربری اراضی آن که توسط موسسه Esri با استفاده از تصاویر ماهواره Sentinel-2 تهیه شده است.

Figure 1. Location of Mazandaran province in Iran and its land use map prepared by Esri using Sentinel-2 satellite images.

زمانی ۱۶ روزه داشته و پس از اعمال تصحیحات اتمسفری و تصحیح<sup>۱</sup> BRDF در سطح ۳ ارائه می‌شوند (۲۳، ۲۴). شاخص NDVI محصولات MOD13Q1 و MYD13Q1 به ترتیب از تصاویر روزانه سنجنده MODIS ماهواره‌های Terra و Aqua در باندهای قرمز (۶۴۵ نانومتر) و نزدیک مادون قرمز (۸۵۸ نانومتر) تهیه و با استفاده از الگوریتم ترکیب حداکثر ارزش<sup>۲</sup> (MCV) به ۱۶ روزه تبدیل می‌شود (۲۵). در این مطالعه شاخص NDVI

**داده‌های مورد استفاده:** تجزیه و تحلیل تغییرات بلندمدت پوشش گیاهی در سطح منطقه‌ای به داده‌هایی با پوشش وسیع، قدرت تفکیک زمانی و تا حدودی ممکن مکانی بالا نیاز دارد. سنجنده MODIS که بر روی ماهواره‌های Terra و Aqua قرار دارد، پیشرفته‌ترین سنجنده‌ای است که هر دو روز یکبار پوشش جهانی ارائه و تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی با وضوح زمانی و مکانی بالا را ممکن می‌سازند (۲۲). محصول شاخص پوشش گیاهی سنجنده MODIS، MOD13Q1 و MYD13Q1 نام دارد که هر دو تفکیک مکانی ۲۵۰ متر و فاصله

1- Bidirectional reflectance distribution function  
2- Maximum value composite

تجزیه و تحلیل روند بلندمدت: تجزیه و تحلیل روند تغییرات بلندمدت پوشش گیاهی با استفاده از روش‌های رگرسیون حداقل مربعات معمولی<sup>۴</sup> (OLS)، تیل سن، من-کندال و معنی‌داری من-کندال انجام شد.

**OLS**: OLS یک روش پارامتری است که ضریب شیب رگرسیون حداقل مربعات معمولی را به صورت پیکسل به پیکسل بین مقادیر NDVI هر پیکسل در طول سری زمانی محاسبه می‌کند. ضرایب رگرسیون در این روش مقادیری اتخاذ می‌کنند که خط رگرسیون، بیش‌ترین نزدیکی به داده را داشته باشد. به عبارتی دیگر، کم‌ترین انحراف را از داده اصلی ارائه دهد. خروجی OLS یک نقشه رستری که ارزش هر یک از پیکسل‌های آن معادل شیب رگرسیون در آن محل است (۱۵). شیب رگرسیون منفی بیانگر روند کاهش یا Browning و شیب رگرسیون مثبت بیانگر روند افزایشی یا Greening در محل هر پیکسل است.

**تیل سن**: مسأله‌ای بسیار مهم در سری‌های زمانی خودهمبستگی<sup>۵</sup> زمانی داده‌ها است. در روش‌های پارامتری فرض می‌شود که داده‌ها مستقل هستند، اما در سری‌های زمانی این امر به ندرت اتفاق می‌افتد. از این رو رویکردهای غیرپارامتری مانند تیل سن به عنوان روشی مناسب برای محاسبه روند در مطالعات تغییرات بلندمدت پوشش گیاهی متداول شده است (۲۹). ایده کلی این روش که توسط تیل در سال ۱۹۵۰ ارائه و توسط سن در سال ۱۹۶۸ توسعه داده شد، محاسبه شیب هر ترکیب جفتی و پیدا کردن میانه شیب محاسبه شده است (۳۰، ۳۱). مزیت استفاده از روش تیل سن این است که نسبت به اثرات فصل، غیرنرمال بودن و همبستگی درونی داده‌ها مقاوم

محصولات MOD13Q1 و MYD13Q1 در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱ در محیط گوگل ارث انجین (GEE)<sup>۱</sup> استفاده شدند. گوگل ارث انجین یک پلتفرم مبتنی بر ابر<sup>۲</sup> با زبان برنامه‌نویسی جاوا اسکریپت و مجموعه‌ای از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های جغرافیایی است که امکان تجزیه و تحلیل داده‌های علوم زمینی در مقیاس بزرگ را برای شناسایی تغییرات، نقشه روندها و ... فراهم می‌سازد (۲۶).

**پیش‌پردازش تصاویر**: همان‌طور که بیان شد، محصولات MOD13Q1 و MYD13Q1 دارای سطح ۳ تصحیحات هستند، اما وجود داده‌های پرت در سری زمانی این محصولات نشان می‌دهد که این سطح از تصحیحات هم نتوانسته تأثیرات ابر، برف و یخ را کامل از بین ببرد (۲۷). در این مطالعه برای از بین بردن این تأثیرات در هر تصویر، پیکسل‌های پوشیده از ابر، برف و یخ بر اساس اطلاعات تضمین کیفیت<sup>۳</sup> MODIS حذف شدند. هم‌چنین به منظور بهبود کیفیت سری‌های زمانی و افزایش مشاهدات قابل استفاده در هر سال از ۲۳ به ۴۶ تصویر (۲۷، ۲۸)، دو محصول یاد شده با هم ترکیب و یک سری زمانی با ۸۲۸ تصویر با فاصله ۸ روزه از شاخص NDVI برای سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱ تهیه شد. علاوه بر این‌ها، مؤلفه فصلی درون سری‌های زمانی که چرخه سالانه دارد و ممکن است بررسی روند بلندمدت که هدف این پژوهش است را با مشکل مواجه کند، با استفاده از رابطه ۱ حذف شد (۱۹).

$$x_i = v_i - \mu \quad (1)$$

در رابطه بالا،  $x_i$  ارزش NDVI ۸ روزه پس از حذف مؤلفه فصلی،  $v_i$  ارزش NDVI ۸ روزه و  $\mu$  میانگین ارزش NDVI در کل طول دوره است.

4- Ordinary least square (OLS)  
5- Autocorrelation

1- Google earth engine  
2- Cloud-based platform  
3- MODIS quality assurance information



۱- روند یکنواخت نزولی، +۱ روند یکنواخت صعودی و ارزش صفر بیانگر عدم وجود روندی ثابت است. روند یکنواخت به این معنی است که متغیر به طور مداوم در طول زمان افزایش یا کاهش می‌یابد. من-کندال علاوه بر جهت روند، بزرگی و شدت روند را نیز بیان می‌کند (۴، ۳۵).

اختلاف بین هر یک از ارزش‌ها با استفاده از رابطه ۶ استخراج شد (۳۵).

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (6)$$

در این رابطه؛ n تعداد مشاهدات سری زمانی،  $x_k$ ،  $x_j$  ارزش NDVI در زمان‌های j و k و  $\text{sgn}(x_j - x_k)$  علامت تغییر مشاهدات متوالی است که به صورت ۱-، ۰ و +۱ نشان داده می‌شود و با استفاده از رابطه ۷ محاسبه می‌شود (۳۵):

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (7)$$

در نهایت مقدار آزمون من‌کندال ( $\tau$ ) با رابطه ۸ محاسبه شد (۳۶).

$$\tau = \frac{2s}{n(n-1)} \quad (8)$$

آزمون معنی‌داری من-کندال بر اساس رابطه ۹ و ۱۰ (۳۵) برای تعیین معنی‌دار روندها حاصل از روش من-کندال استفاده شد. خروجی این آزمون، تصویری حاوی ارزش‌های  $Z_S$  در هر پیکسل است که ارزش‌های مثبت و منفی به ترتیب روندهای افزایش و کاهش پوشش گیاهی را نشان می‌دهند (۳۶) معنی‌دار بودن یا نبودن روندها حاصل از روش من-کندال با استفاده از  $Z_S$  در سطح اطمینان ۱۰، ۵ و ۱ درصد بررسی شد.

می‌باشد؛ بنابراین برای ارزیابی نرخ تغییرات در سری‌های زمانی کوتاه‌مدت و یا دارای نویز مناسب‌تر است (۳۲). بر پایه این ویژگی‌ها، روش تیل‌سن معمولاً در تعیین روند تغییرات پوشش گیاهی در طول زمان استفاده می‌شود (۳۳). مراحل این آزمون به شرح زیر است:

شیب بین هر جفت داده زمانی با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (۱۵):

$$Q = \frac{x_t - x_s}{t - s} \quad (2)$$

در این رابطه؛ Q شیب بین هر جفت داده،  $x_t$  و  $x_s$  ارزش NDVI در زمان‌های t و s در هر پیکسل و s یک واحد زمانی بعد از زمان t است.

میان شیب ( $Q_{med}$ ) جفت داده‌های به دست آمده به عنوان شیب برآوردگر تیل‌سن ارائه و برحسب این که N فرد یا زوج باشد، به ترتیب با رابطه‌های ۳ و ۴ محاسبه می‌شود (۳۴):

$$Q_{med} = Q[(N + 1)/2] \quad (3)$$

$$Q_{med} = 0.5 (Q[n/2] + Q[(N + 2)/2]) \quad (4)$$

N برابر است با:

$$N = n \times (n - 1)/2 \quad (5)$$

در رابطه فوق؛ n تعداد کل مشاهدات می‌باشد. من-کندال: این روش ابتدا توسط من<sup>۱</sup> در سال ۱۹۴۵ ارائه و سپس توسط کندال<sup>۲</sup> در ۱۹۷۵ توسعه یافت است. من-کندال یک آزمون تحلیل روند ناپارامتری برای شناسایی روند متغیر مورد نظر در طول زمانی است. دامنه این آزمون بین -۱ تا +۱ می‌باشد که

1- Mann  
2- Kendall

سری زمانی ۸ روزه که مؤلفه فصلی و تأثیر ابر، برف و یخ در آن حذف در مقایسه با سری زمانی ۸ روزه اولیه (پیش از حذف مؤلفه فصلی و تأثیر ابر، برف و یخ) نشان داده شده است. بر اساس این شکل ایجاد سری زمانی ۸ روزه از شاخص NDVI موجب افزایش مشاهدات قابل استفاده در سال از ۲۳ به ۴۶ و ماسک داده‌های متأثر از ابر، برف و یخ موجب حذف داده‌های پرت، در نتیجه بهبود کیفیت سری‌های زمانی شده است. بهبود کیفیت سری‌های زمانی پس از ایجاد سری زمانی ۸ روزه و ماسک داده‌های پیکسل‌های متأثر از ابر، برف و یخ در پژوهش استل و همکاران (۲۰۱۵) و لوینتل و همکاران (۲۰۲۱) نیز تأیید شده است (۲۷، ۲۸). علاوه بر این‌ها، ارزش‌های NDVI در طول سری زمانی پس از حذف مؤلفه فصلی کاهش یافته که با نتایج مطالعه مسیح‌پور و همکاران (۲۰۱۹) نیز همسو است (۱۵).

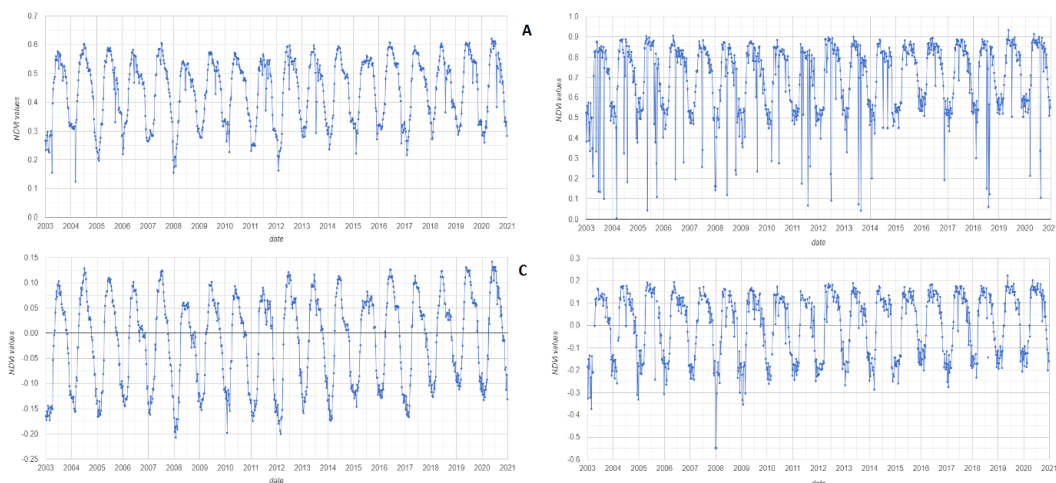
$$Z_s = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{for } S > 0 \\ 0 & \text{for } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{var}(S)}} & \text{for } S < 0 \end{cases} \quad (9)$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (10)$$

در این رابطه‌ها؛  $\text{var}(s)$  واریانس سری زمانی،  $m$  موع تکرار مقادیر و  $t_i$  فراوانی داده‌هایی است که ارزش یکسانی دارند.

### نتایج و بحث

همان‌طور که بیان شد، سری زمانی NDVI با فاصله ۸ روزه از ترکیب محصولات MOD13Q1 و MYD13Q1 برای سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱ تهیه و پس از حذف مؤلفه فصلی و تأثیر ابر، برف و یخ برای تجزیه و تحلیلی روند بلندمدت استفاده شد. در شکل ۲ نمودار تغییرات ارزش‌های NDVI یک پیکسل و همچنین تغییرات میانگین NDVI در کل منطقه از



شکل ۲- نمودار تغییرات میانگین ارزش‌های NDVI در کل استان مازندران و یک پیکسل با پوشش جنگلی انبوه پیش از حذف مؤلفه فصلی و تأثیر ابر، برف و یخ (به ترتیب A و B) و پس از حذف مؤلفه فصلی و تأثیر ابر، برف و یخ (به ترتیب C و D) از سری زمانی.

Figure 2. The curve of changes in NDVI value in the whole province of Mazandaran and a pixel with forest cover before removing the seasonal component and the effect of cloud, snow and ice (A and B respectively) and after removing the seasonal component and the effect of cloud, snow and ice (C and D respectively) from the time series.

Greening را گزارش کردند، همسو است (۱۱، ۱۸، ۱۹). مقایسه نتایج روش‌ها نیز نشان می‌دهد سه روش به کار رفته نتایج نزدیکی دارند با این وجود که روش‌های من-کندال و OLS به ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین میزان Greening را در ۸۶/۹۹ و ۸۸/۰۹ درصد از منطقه نشان داده‌اند. هم‌چنین روش تیل‌سن در ۸۷/۰۹ درصد از منطقه Greening و ۱۲/۹۱ درصد از منطقه Browning نشان داده که به نتایج روش من-کندال نزدیک است.

نتایج تجزیه و تحلیل روند بلندمدت با روش‌های OLS، تیل‌سن و من-کندال در جدول ۱ آمده است. بر اساس این جدول Greening و Browning به ترتیب در حدود ۸۷ درصد و ۱۳ درصد از منطقه مورد مطالعه رخ داده است. این نتایج بیان می‌کنند که استان مازندران در طول دو دهه گذشته Greening را تجربه کرد که با نتایج مایلز و عیسو (۲۰۱۶) و جانگ و یی (۲۰۲۰) در نقاط مختلفی از عرض‌های میانی نیم‌کره شمالی و هم‌چنین کیپاشا و همکاران (۲۰۱۷) در جنگل‌های هیرکانی که درصد بالای روندهای

جدول ۱- نتایج روند بلندمدت شاخص NDVI بر اساس روش‌های OLS، تیل‌سن و من-کندال به صورت درصد از سطح منطقه.

**Table 1. The results of the long-term trend of the NDVI index based on OLS, Theil-Sen and Mann-Kendall as a percentage of the area.**

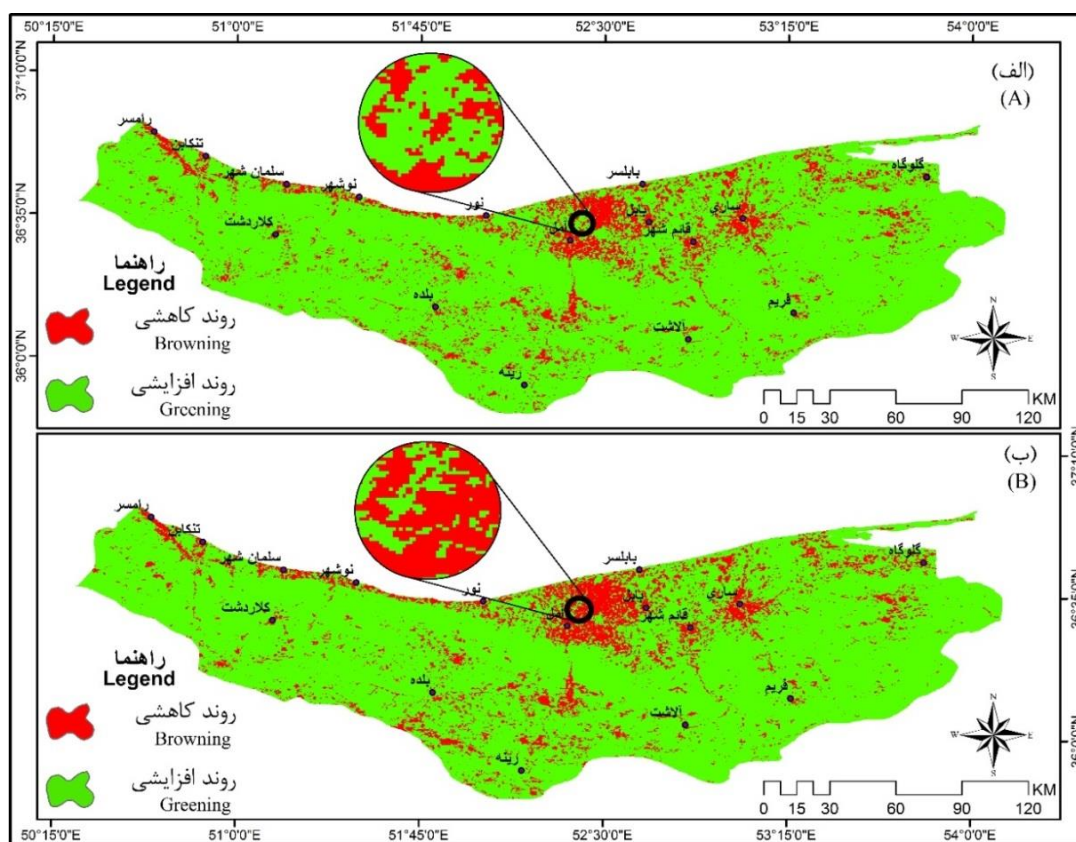
من-کندال (%) Mann-Kendall (%)	تیل‌سن (%) Theil-Sen (%)	OLS (%)	
86.99	87.09	88.09	روندهای افزایشی Greening
13.01	12.91	11.91	روندهای کاهش Browning
100	100	100	کل Total

اطراف سد گلورد نکا که در سال ۲۰۱۷ افتتاح شده، رخ داده است. بخشی از این روندها به دلیل آب‌گیری مخزن سد گلورد نکا و بخش دیگر می‌تواند اثرات ساخت این سد مانند تغییر کاربری اراضی از جنگل‌ها به زمین زراعی، مناطق مسکونی و جاده باشد. هم‌چنین بیش‌تر اراضی جنگلی استان روند Greening را نشان می‌دهند. این نتیجه با نتایج مطالعه کیپاشا و همکاران (۲۰۱۷) که روند Greening در طی سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۸۱ در جنگل‌های هیرکانی گزارش کردند، همسو است (۱۶). علاوه بر این روند Greening در سطح وسیعی از

پراکنش مکانی روندهای Greening و Browning حاصل از هر سه روش یادشده نشان می‌دهد (شکل ۳) که بخش وسیعی از روندهای Browning در مناطق جلگه‌ای شمال استان و نزدیکی سواحل دریای خزر که امروزه شامل اراضی زراعی، جاده‌ها، مناطق مسکونی و ... (۲۰)، اتفاق افتاده است. این روندها می‌تواند در اثر فعالیت‌های انسانی مانند تغییر کاربری اراضی با پوشش‌های گیاهی بالا به اراضی بدون پوشش یا پوشش کم‌تر در طول سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱ باشند. علاوه بر این، روندهای Browning جنوب شرق استان در محل و

گرم شدن کره زمین تأثیر مثبتی بر رشد پوشش گیاهی، به‌ویژه در اکوسیستم‌ها عرض‌های جغرافیایی میانی و بالایی نیمکره شمالی دارد. چرا که در این اکوسیستم‌ها دما عامل اصلی و محدودکننده است و با افزایش آن، فتوسنتز و طول فصل رویشی افزایش و در نتیجه Greening در پوشش‌های جنگلی و مراتعی رخ خواهد داد.

ارتفاعات بالای رشته‌کوه‌های البرز که عمدتاً پوشش مرتعی دارند، نیز رخ داده است. این نتایج فرضیه رخداد Greening در پوشش‌های گیاهی طبیعی (جنگل و مرتع) نیمکره شمالی که در مطالعات امت و همکاران (۲۰۱۹)، لی و همکاران (۲۰۱۶) و تیان و همکاران (۲۰۲۱) مطرح شده را پشتیبانی می‌کند (۳۷، ۳۸، ۳۹). این فرضیه بر این اصل استوار است که



شکل ۳- پراکنش مکانی روندهای Greening و Browning استخراج‌شده از سری زمانی ۸ روزه شاخص NDVI در طی دوره ۲۰۰۳-۲۰۲۱ بر اساس روش‌های OLS (الف) و من-کندال (ب).

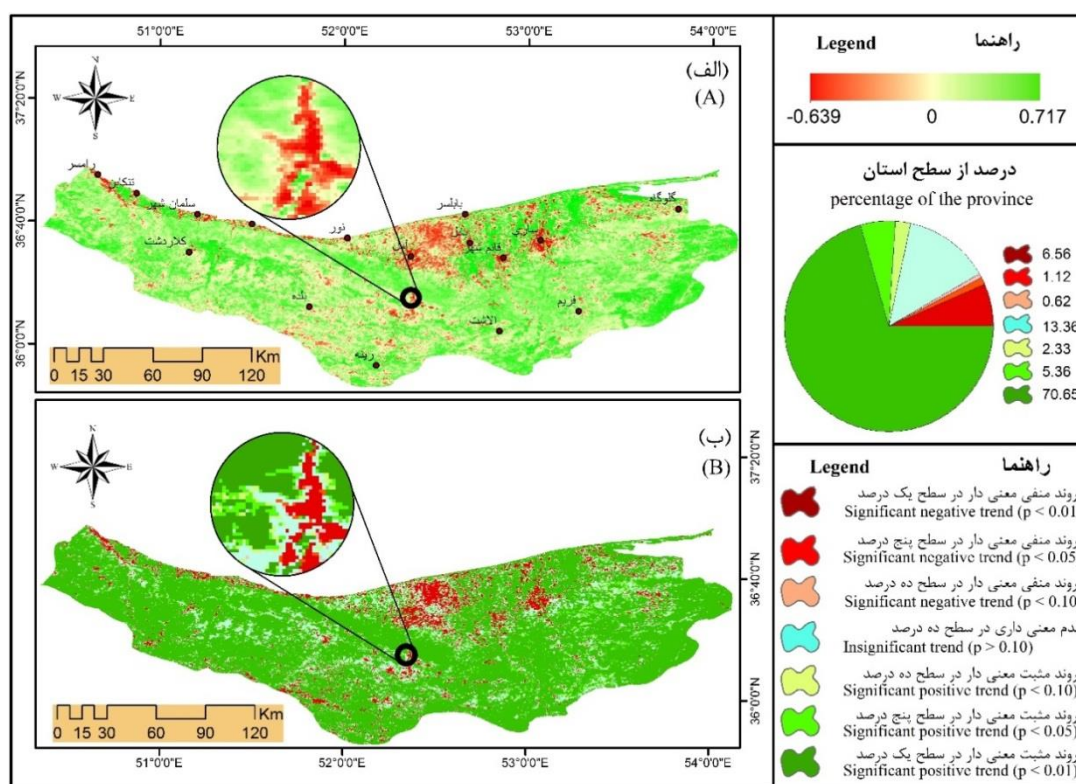
Figure 3. Spatial distribution of Greening and Browning trends extracted from 8-day time series of NDVI index during 2003-2021 based on OLS (A) and Mann-Kendall (B) methods.

هر یک از سطوح معنی‌دار استان را نشان می‌دهد. براساس نقشه خروجی روش من-کندال، شدت روندها در اکثر منطقه زیاد و حتی در برخی مناطق به روند دائمی (ارزش‌های ۱ و -۱) نزدیک هستند که این خود باعث معنی‌داری قوی روند می‌شود.

نتایج تجزیه و تحلیل روش من-کندال و معنی‌داری من-کندال به صورت نقشه در شکل ۴ ارائه شده‌اند. این شکل جهت، شدت و پراکنش مکانی روندها براساس روش فوق در سه سطح ۱۰، ۵ و ۱ درصد و پراکنش مکانی آن‌ها و همچنین درصد پوشش برای

درصد فاقد روندهای معنی دار در سطح ۱۰ درصد می باشند. علاوه بر این ها پراکنش مکانی معنی داری من-کندال نشان می دهد که بیش تر روندهای منفی (کاهش پوشش گیاهی) معنی دار در سطح ۱ درصد در مناطق جلگه ای و بیش تر روندهای مثبت (افزایش پوشش گیاهی) معنی دار در سطح ۱ درصد در دامنه ها و ارتفاعات بالای رشته کوه های البرز رخ داده است.

در حالی که روندها با شدت کم (ارزش های نزدیک به صفر) به صورت پراکنده و در سطح کمی از منطقه رخ داده اند. وضعیت معنی داری روندهای من-کندال نیز این موضوع را تأیید و نشان می دهد که ۷۷/۲۱ درصد از روندهای منطقه شامل ۷۰/۶۵ درصد از روندهای مثبت (Greening) و ۶/۵۶ درصد از روند منفی (Browning) در سطح ۱ درصد و تنها ۹/۴۳ درصد از روندها در سطوح ۵ و ۱۰ معنی دار و فقط ۱۳/۳۶



شکل ۴- جهت، شدت و پراکنش مکانی روندها بر اساس روش من-کندال و معنی داری آن ها در سه سطح ۱۰، ۵ و ۱ درصد.

Figure 4. The direction, intensity and spatial distribution of trends based on the Mann-Kendall method and their significance at three levels of 10, 5 and 1%.

من-کندال نشان داد که از کل منطقه حدود ۸۷ درصد Greening و حدود ۱۳ درصد Browning رخ داده است. هم چنین معنی داری روندهای من-کندال نیز نشان می دهد که ۷۷/۲۱ درصد از روندهای منطقه در سطح ۱ درصد معنی دار هستند. این روندهای افزایشی ممکن است در اراضی جنگلی و مرتعی تا حد زیادی

### نتیجه گیری کلی

این مطالعه با هدف بررسی تغییرات بلندمدت پوشش گیاهی در استان مازندران با استفاده از سری زمانی MODIS-NDVI با فاصله زمانی ۸ روزه و تفکیک مکانی ۲۵۰ متر در بازه زمانی ۲۰۰۳-۲۰۲۱ انجام شده است. نتایج روش های OLS، تیل سن و

سطوح کوچک ممکن است در بلندمدت سبب کاهش NDVI و وقوع پدیده Browning شود.

### سیاسگزاری

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی مصوب صندوق حمایت از پژوهش‌گران و فناوران کشور (INSF) به شماره ۴۰۰۲۶۹ انجام گرفته، نگارندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را ابراز می‌دارند.

ناشی از روند گرمایش زمین و اثر آن بر فعالیت فتوسنتزی و رشد پوشش گیاهی و در اراضی کشاورزی تحت‌تأثیر رشد تکنولوژی کشاورزی که افزایش بهره‌وری زمین‌های کشاورزی را همراه داشته، باشد؛ اما بیش‌تر روندهای کاهش NDVI در محدوده مناطق مسکونی و پروژه‌های عمرانی استان مانند سد گلورد نکا مشاهده شده است. این روندهای کاهش به احتمال زیاد ناشی از دخالت‌های انسان و تخریب‌های صورت گرفته است، چرا که آشفتگی‌ها حتی در

### منابع

1. Foley, J.A., Levis, S., Costa, M.H., Cramer, W., and Pollard, D. 2000. Incorporating dynamic vegetation cover within global climate models. *J. Ecological Applications*, 10: 6. 1620-1632.
2. Parida, B.R., Pandey, A.C., and Patel, N.R. 2020. Greening and browning trends of vegetation in India and their responses to climatic and non-climatic drivers. *J. Climate*. 8: 8. 92-107.
3. De Jong, R., de Bruin, S., de Wit, A., Schaepman, M.E., and Dent, D.L. 2011. Analysis of monotonic greening and browning trends from global NDVI time-series. *J. Remote Sensing of Environment*, 115: 2. 692-702.
4. Li, D., Lu, D., Wu, M., Shao, X., and Wei, J. 2018. Examining land cover and greenness dynamics in Hangzhou Bay in 1985–2016 using Landsat time-series data. *J. Remote Sensing*. 10: 1. 32-45.
5. Guan, Q., Yang, L., Pan, N., Lin, J., Xu, C., Wang, F., and Liu, Z. 2018. Greening and browning of the Hexi Corridor in Northwest China: Spatial patterns and responses to climatic variability and anthropogenic drivers. *J. Remote Sensing*, 10: 8. 1270-1290.
6. Alcaraz-Segura, D., Chuvieco, E., Epstein, H.E., Kasischke, E.S., and Trishchenko, A. 2010. Debating the greening vs. browning of the North American boreal forest: differences between satellite datasets. *J. Global Change Biology*. 16: 2. 760-770.
7. Kuenzer, C., Dech, S., and Wagner, W. 2015. Remote sensing time series revealing land surface dynamics: Status quo and the pathway ahead. *J. In Remote Sensing Time Series*. (pp. 1-24). Springer, Cham.
8. Zhang, Y., Song, C., Band, L.E., Sun, G., and Li, J. 2017. Reanalysis of global terrestrial vegetation trends from MODIS products: Browning or greening? *J. Remote Sensing of Environment*. 191: 145-155.
9. Mishra, N.B., and Mainali, K.P. 2017. Greening and browning of Himalayasalaya: Spatial patterns and the role of climatic change and human drivers. *J. Science of The Total Environment*. 587: 326-339.
10. Pan, N., Feng, X., Fu, B., Wang, S., Ji, F., and Pan, S. 2018. Increasing global vegetation browning hidden in overall vegetation greening: Insights from time-varying trends. *J. Remote Sensing of Environment*. 214: 59-72.
11. Zhang, Y., and Ye, A. 2020. Spatial and temporal variations in vegetation coverage observed using AVHRR GIMMS and Terra MODIS data in the mainland of China. *J. Remote Sensing*. 41: 11. 4238-4268.
12. Liu, L., Liang, L., Schwartz, M.D., Donnelly, A., Wang, Z., Schaaf, C.B., and Liu, L. 2015. Evaluating the potential of MODIS satellite data to track temporal dynamics of autumn

- phenology in a temperate mixed forest. *J. Remote Sensing of Environment*. 160: 156-165.
13. Deka, J., Kalita, S., and Khan, M.L. 2019. Vegetation phenological characterization of alluvial plain shorea robusta-dominated tropical moist deciduous forest of northeast India using MODIS NDVI time series data. *J. the Indian Society of Remote Sensing*. 47: 8. 1287-1293.
  14. Padhee, S.K., and Dutta, S. 2019. Spatio-temporal reconstruction of MODIS NDVI by regional land surface phenology and harmonic analysis of time-series. *J. GIScience & Remote Sensing*. 56: 8. 1261-1288.
  15. Masihpour, M., Darvishsefat, A.A., and Rahmani, R. 2019. Long-term trend analysis of vegetation changes using MODIS-NDVI time series during 2000-2017 (Case study: Kurdistan province). *J. Forest and Wood Products*. 72: 3. 193-204.
  16. Burrell, A.L., Evans, J.P., and Liu, Y. 2017. Detecting dryland degradation using time series segmentation and residual trend analysis (TSS-RESTREND). *J. Remote Sensing of Environment*. 197: 43-57.
  17. Yu, L., Yan, Z., and Zhang, S. 2020. Forest phenology shifts in response to climate change over China–Mongolia–Russia international economic corridor. *J. Forests*. 11: 7. 757-768.
  18. Miles, V.V., and Esau, I. 2016. Spatial heterogeneity of greening and browning between and within bioclimatic zones in northern West Siberia. *J. Environmental Research Letters*. 11: 11. 115002.
  19. Kiapasha, K., Darvishsefat, A.A., Zargham, N., Attarod, P., Nadi, M., and Schaeppman, M. 2017. Greening trend in the Hyrcanian forests using NOAA NADVI time series during 1981-2012. *J. Forest and Wood Products*. 70: 3. 409-420.
  20. Ghelichnia, H., Arzani, H., Akbarzadeh, M., Farahpour, M., and Azimi, M. 2010. Investigation on variation trends of vegetation and yield in rangelands of Mazandaran province (2001-2005), *J. Range and Desert Research*, 19: 2. 203-220.
  21. Mahmoodi, B., Marvie Mohadjer, M.R., Daneh Kar, A., and Feghhi, J. 2014. Estimation of forest level changes in topographic zones of Mazandaran province. *J. Natural Environment*. 67: 3. 333-341.
  22. Li, Z., Huffman, T., McConkey, B., and Townley-Smith, L. 2013. Monitoring and modeling spatial and temporal patterns of grassland dynamics using time-series MODIS NDVI with climate and stocking data. *J. Remote Sensing of Environment*. 138: 232-244.
  23. Rankine, C., Sánchez-Azofeifa, G.A., Guzmán, J.A., Espirito-Santo, M.M., and Sharp, I. 2017. Comparing MODIS and near-surface vegetation indexes for monitoring tropical dry forest phenology along a successional gradient using optical phenology towers. *J. Environmental Research Letters*. 12: 10. 105007.
  24. Fagua, J.C., and Ramsey, R.D. 2019. Comparing the accuracy of MODIS data products for vegetation detection between two environmentally dissimilar ecoregions: the Chocó-Darien of South America and the Great Basin of North America. *J. GIScience & Remote Sensing*. 56: 7. 1046-1064.
  25. Antonio, C., Ovando, G.G., and Díaz, G. J. 2019. Interannual variability of seasonal rainfall in Cordoba, Argentina, evaluated from ENSO and ENSO Modoki signals and verified with MODIS NDVI data. *J. SN Applied Sciences*. 1: 12. 1-21.
  26. Kong, D., Zhang, Y., Gu, X., and Wang, D. 2019. A robust method for reconstructing global MODIS EVI time series on the Google Earth Engine. *J. Photogrammetry and Remote Sensing*. 155: 13-24.
  27. Estel, S., Kuemmerle, T., Alcántara, C., Levers, C., Prishchepov, A., and Hostert, P. 2015. Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using MODIS NDVI time series. *J. Remote Sensing of Environment*. 163: 312-325.

28. Luintel, N., Ma, W., Ma, Y., Wang, B., Xu, J., Dawadi, B., and Mishra, B. 2021. Tracking the dynamics of paddy rice cultivation practice through MODIS time series and PhenoRice algorithm. *J. Agricultural and Forest Meteorology*. 307: 108538.
29. Hirsch, R.M., Slack, J.R., and Smith, R.A. 1982. Techniques of trend analysis for monthly water quality data. *J. Water resources research*. 18: 1. 107-121.
30. Theil, H. 1950. A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. *J. Indagationes Mathematicae*. 12: 85. 173-194.
31. Sen, P.K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J. American statistical association*. 63: 324. 1379-1389.
32. Fensholt, R., and Proud, S.R. 2012. Evaluation of earth observation based global long-term vegetation trends-Comparing GIMMS and MODIS global NDVI time series. *J. Remote sensing of Environment*. 119: 131-147.
33. Carslaw, D.C., and Ropkins, K. 2012. Openair-An R package for air quality data analysis. *J. Environmental Modelling & Software*. 27: 52-61.
34. Sayemuzzaman, M., and Jha, M.K. 2014. Seasonal and annual precipitation time series trend analysis in North Carolina, United States. *J. Atmospheric Research*. 137: 183-194.
35. Chaudhuri, S., and Dutta, D. 2014. Mann-Kendall trend of pollutants, temperature, and humidity over an urban station of India with forecast verification using different ARIMA models. *J. Environmental Monitoring and Assessment*. 186: 8. 4719-4742.
36. Neeti, N., and Eastman, J.R. 2011. A contextual mann-kendall approach for the assessment of trend significance in image time series. *J. Transactions in GIS*. 15: 5. 599-611.
37. Emmett, K.D., Renwick, K.M., and Poulter, B. 2019. Disentangling climate and disturbance effects on regional vegetation greening trends. *J. Ecosystems*. 22: 4. 873-891.
38. Li, H., Jiang, J., Chen, B., Li, Y., Xu, Y., and Shen, W. 2016. Pattern of NDVI-based vegetation greening along an altitudinal gradient in the eastern Himalayas and its response to global warming. *J. Environmental monitoring and assessment*. 188: 3. 1-10.
39. Tian, F., Liu, L.Z., Yang, J.H., and Wu, J.J. 2021. Vegetation greening in more than 94% of the Yellow River Basin (YRB) region in China during the 21<sup>st</sup> century was caused jointly by warming and anthropogenic activities. *J. Ecological Indicators*. 125: 107479.