

Trend analysis of MODIS-NDVI Time series and its relationship with land use changes in Golestan province

Morteza Dastigerdi, Mehdi Nadi*, Bahareh Shamgani Mashhadi

Department of Water Engineering, Faculty of Agricultural Engineering, Sari Agricultural sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.

*Corresponding author: m.nadi@sanru.ac.ir

Received:

Accepted:

Abstract

Introduction: Human activities and climate change directly affect the earth's surface cover. In the northern part of the country, land use changes have emerged as a significant factor contributing to the destruction of vegetation in Hyrcanian forests. Unfortunately, this destruction has persisted over the past few decades due to human activities. Golestan province, known for its diverse climate and surface cover, has experienced noticeable changes in vegetation, illustrating the impacts of these activities. Therefore, it is crucial to monitor the dynamics of vegetation in order to gain a better understanding of how vegetation respond to human pressures. This knowledge is essential for preserving the Hyrcanian forests.

Materials and methods: The investigation and monitoring of vegetation cover in Golestan province involved the use of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). To analyze vegetation trends over a ۲۰-year period, ۱۶-day combined MODIS-NDVI time series data (MOD۱۳Q۱) with a spatial resolution of ۲۵۰ meters, were utilized. The research began with the acquisition of raw NDVI images in HDF format from the NASA website. These ۹۲ images, from the ۱۶-day time series, were then analyzed statistically. To standardize the images and facilitate further analysis, they were converted into ۴۶ images through mosaicing and scaling between -۱ and +۱. The evaluation of serial trends was performed in IDRISI TerrSet software, where the images underwent a preprocessing step to remove seasonal anomalies. The changes in vegetation activity and their significance were subsequently analyzed using the non-parametric Mann-Kendall method.

Results and discussion: The results indicate that ۲۰% of the studied area experienced a decrease in vegetation, while ۸۰% exhibited an increase. Out of these, ۵% had a significant decrease, and ۵۰% showed a significant increase in vegetation, while the remaining had no discernible trend. Over the past ۲۰ years, a total of ۴۰۸۸ square kilometers of vegetation has been lost. To analyze the impact of human activities on these changes, location maps of cities and main routes were utilized. The findings revealed that the northern plains of Golestan exhibited a greater reduction in vegetation due to easier land access for human activities, changes in land use, and urban development. The cities of Kordkoy, Bandar Gaz, Aqqala, Gorgan, Azadshahr, and Ramian experienced the most significant increase in vegetation cover, whereas the cities of Bandar Turkman, Gonbadkavoos, Minoodasht, and Kalaleh witnessed the most significant decrease. The main routes leading to Golestan province, including Gorgan-Bujnoord, Gorgan-Sari, Azadshahr-Semnan, Incheh Brun West Road, and Incheh Brun East Road, all showed a decline in vegetation in their vicinity. Due to the significant climatic diversity in Golestan province, surface cover changes were examined at specific locations where a substantial reduction in vegetation cover was expected.

Conclusion: Based on the research conducted from ۲۰۰۱ to ۲۰۲۰, it can be concluded that the highlands of Golestan province, particularly the western highlands, have witnessed an increase in vegetation. This phenomenon is believed to be correlated with the rise in temperature resulting from global warming, which has created more favorable conditions for plant growth in these highland areas. In contrast, low-altitude regions such as plains, coastal areas, lower elevations, and especially areas surrounding cities and roads, have experienced a decline in vegetation cover. This decline can be attributed to human activities, including changes in land use and urbanization in the northern plains of Golestan. These changes signify the loss of extensive vegetation and the exacerbation of detrimental impacts from both human activities and natural factors. Although the reduction in vegetation in the highlands has been

relatively slower compared to the lower regions, concerns arise regarding the destruction of vegetation in pristine forest areas. These developments highlight the urgent need for immediate attention and implementation of measures for sustainable management of natural resources and adaptation to climate change.

Keywords: Land Use Change, Vegetation Degradation, Man-Kendall, Destructive human activities, MOD13Q1.

تحلیل روند سری زمانی تصاویر پوشش گیاهی (MODIS-NDVI) و ارتباط آن با تغییرات کاربری اراضی در استان

گلستان

مرتضی دستی گردی، مهدی نادی*، بهاره شامگانی مشهدی

گروه مهندسی آب، دانشکده مهندسی زراعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۱۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۲/۰۵

*نویسنده عهده دار مکاتبات: m.nadi@sanru.ac.ir

کد ارکید: ۸۳۸۰-۸۵۴-۰۳-۰۰۰۰-۰۰۰۰

چکیده

مقدمه: تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، تأثیر مستقیم روی پوشش سطح زمین دارند. تغییرات کاربری اراضی در شمال کشور از مهمترین علل تخریب پوشش گیاهی در جنگل‌های هیرکانی بوده که در دهه های اخیر به دلیل فعالیت‌های انسانی بوقوع پیوسته است. تغییرات پوشش گیاهی در استان گلستان، با تنوع اقلیم و پوشش سطحی، نشان‌دهنده تأثیرات این فعالیت‌ها است. بر این اساس، نظارت بر پویایی پوشش گیاهی یک نیاز اساسی برای درک بهتر از چگونگی واکنش پوشش گیاهی به فشارهای انسانی در جهت حفظ جنگل‌های هیرکانی است.

مواد و روش‌ها: بررسی و پایش پوشش گیاهی با بررسی نمایه نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) انجام شد. برای تحلیل روند پوشش گیاهی در استان گلستان از داده‌های سری زمانی ترکیبی ۱۶ روزه MODIS-NDVI به نام MOD13Q1 با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر در دوره ۲۰ ساله استفاده شد. در این پژوهش قبل از بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی در منطقه، ابتدا تصاویر خام NDVI با فرمت HDF محصول از سایت ناسا دانلود شدند و از لحاظ آماری بررسی و تحلیل شدند. به‌طوری‌که ۹۲۰ تصویر سری زمانی شانزده‌روزه پوشش گیاهی نمایه NDVI در نرم افزار GIS پس از موزائیک سازی به ۴۶۰ تصویر تبدیل و با استفاده از ضرب فاکتور مقیاس تصاویر به حالت استاندارد بین ۱- تا ۱+ درآمدند. برای ارزیابی روند سری در نرم‌افزار IDRISI TerrSet ابتدا تصاویر با استفاده از بی‌هنجاری مؤلفه فصلی حذف شد. فرایند تحلیل روند تغییرات فعالیت پوشش گیاهی و معنی‌داری آن به روش غیر پارامتری من-کندال انجام گرفت.

نتایج: نتایج نشان داد که ۲۰٪ از مساحت منطقه مورد مطالعه دارای روند کاهشی در پوشش گیاهی است، در حالی که ۸۰٪ شاهد روند افزایشی بوده‌اند. از این میان، ۵٪ دارای کاهش معنادار و ۵۰٪ دارای افزایش معنادار پوشش گیاهی و مابقی بدون روند هستند. طی ۲۰ سال گذشته، ۴۰۸۸ کیلومترمربع از پوشش گیاهی از دست‌رفته است. تحلیل تأثیر فعالیت‌های انسانی بر این تغییرات با استفاده از نقشه‌های موقعیتی شهرستان‌ها و مسیرهای اصلی انجام‌شد. نتایج نشان داد که در دشت‌های شمالی گلستان، به دلیل دسترسی آسان‌تر به زمین‌ها برای فعالیت‌های انسانی، تغییر کاربری اراضی و توسعه شهرنشینی، کاهش پوشش گیاهی بیشتری مشاهده‌شده است. بیشترین افزایش معنادار پوشش گیاهی در شهرستان‌هایی مانند کردکوی، بندرگز، آق‌قلا، گرگان، آزادشهر، رامیان و بیشترین کاهش معنادار در شهرستان‌های بندر ترکمن، گنبدکاووس، مینودشت و کلاله مشاهده‌شده است. مسیرهای اصلی منتهی به استان گلستان شامل گرگان- بجنورد، گرگان- ساری، آزادشهر- سمنان، جاده غربی اینچه برون و جاده شرقی اینچه برون هستند که همگی شاهد روند کاهشی در پوشش گیاهی در اطراف خود بوده‌اند. از آنجا که استان گلستان از تنوع اقلیمی چشمگیری برخوردار است به بررسی تغییرات پوشش سطحی در نقاط کاندید کاهش معنادار پوشش گیاهی نیز پرداخته شد.

بحث و نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این تحقیق از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰، مناطق مرتفع استان گلستان، به‌ویژه ارتفاعات غربی، شاهد افزایش پوشش گیاهی بوده‌اند که احتمالاً با افزایش دما در اثر گرمایش جهانی و بهبود شرایط دمایی برای گیاهان در این ارتفاعات مرتبط است. در مقابل، پوشش گیاهی مناطق کم ارتفاع واقع در دشت‌ها، نوار ساحلی، ارتفاعات پایین‌تر و به‌خصوص حاشیه شهرها و جاده‌ها در حال از دست رفتن است. فعالیت‌های انسانی مانند تغییر کاربری اراضی و توسعه شهرنشینی در دشت‌های شمالی گلستان به کاهش پوشش گیاهی دامن زده‌اند. این تغییرات نشان‌دهنده کاهش پوشش گیاهی انبوه و افزایش تأثیرات منفی انسانی و طبیعی هستند. در ارتفاعات، علیرغم روند آرام‌تر کاهش پوشش گیاهی نسبت به مناطق پایین‌دست، نگرانی‌هایی از تخریب پوشش گیاهی در مناطق بکر جنگلی وجود دارد. تحولات مذکور نیازمند توجه و اقدامات فوری برای مدیریت پایدار منابع طبیعی و سازگاری با تغییرات اقلیمی هستند.

کلید واژه‌ها: تغییر کاربری اراضی، تخریب پوشش گیاهی، من-کندال، فعالیت‌های مخرب انسانی، MOD۱۳Q۱.

۱- مقدمه

تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، تأثیر مستقیم روی پوشش سطح زمین دارند. تغییرات میزان و الگوی بارندگی و افزایش دما از جمله تغییرات اقلیمی هستند که باعث تغییرات قابل توجهی در منابع آب و پوشش سطحی می‌شوند (Abbasnezhad, ۲۰۲۳). Alchin & Darvishsefat, (۲۰۲۳). از طرفی فعالیت‌های انسانی از قبیل افزایش جمعیت، چرای بیش‌ازحد و تغییرات کاربری اراضی که شرایط پایدار زمین را تغییر می‌دهند نیز باعث تخریب اراضی و بیابان‌زایی می‌شوند. Guan et al, ۲۰۱۸; Luo et al, (۲۰۱۸). بر این اساس، نظارت بر پویایی پوشش گیاهی یک نیاز اساسی برای غنی‌سازی درک ما از چگونگی واکنش نوع پوشش زمین به فشارهای طبیعی و انسانی است (Dubovyk et al, ۲۰۱۵). علاوه بر این، سبزینگی^۱ (Greening) و خشک‌شدگی (Browning^۲) پوشش گیاهی عوامل اولیه در اقدامات تنوع زیستی و عملکرد اکوسیستم هستند که بر ضرورت نظارت بر پویایی پوشش گیاهی برای اقدامات حفاظتی و احیا و قوانین مدیریت تأکید می‌کنند (Kim et al, ۲۰۱۵; wang et al, ۲۰۱۹). جنگل‌های پهن‌برگ معتدل موسوم به جنگل‌های هیرکانی در شمال ایران مهم‌ترین و بارزترین اکوسیستم جنگلی در مجاورت بزرگ‌ترین دریاچه جهان (خزر) است (Keybondori et al, ۲۰۲۳). برآوردها نشان می‌دهد که مساحت این جنگل‌ها در گذشته حدود ۵ میلیون هکتار بوده که با توسعه روستاها و گسترش شهرها، تبدیل اراضی جنگلی به زمین کشاورزی و باغ، چرای دام، تخریب جنگل‌ها، به‌طور پیوسته طی دهه‌های اخیر رو به کاهش بوده است (Kalbi et al, ۲۰۱۴; Naqinezhad and Zarezadeh, ۲۰۱۳). به‌طوری‌که امروزه تقریباً ۱/۸ میلیون هکتار باقی‌مانده است (Sagheb-Talebi et al, ۲۰۱۴). وجه تمایز این جنگل‌ها در این است که به‌عنوان بقایای دوره سوم، درواقع آخرین بقایای جنگل‌های پهن‌برگ طبیعی جهان، گونه‌هایی دارند که در فسیل‌های اروپای آن عصر گنجانده شده‌اند (Talebi et al, ۲۰۱۴). از این‌رو در مقایسه با هم‌تایان خود یکی از غنی‌ترین و منحصربه‌فردترین جنگل‌های جهان به شمار می‌روند (Jafari et al, ۲۰۱۳). این جنگل‌ها در سه استان شمالی ایران (گیلان، مازندران و گلستان) در دامنه‌های شمالی رشته‌کوه البرز به طول ۸۰۰ کیلومتر و تا ارتفاع ۲۸۰۰ متری از سطح دریا گسترده شده‌اند. برای پایش و بررسی تغییرات پوشش گیاهی از جمله مناطق جنگلی، کاربری اراضی و شناسایی عوامل موثر در تغییرات نیازمند جمع‌آوری داده‌های زمینی است و تهیه این داده‌ها نیازمند صرف وقت و هزینه زیادی است و همچنین چنین داده‌هایی نیز در کشور ما وجود ندارد. در چنین شرایطی استفاده از سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای، راهی مناسب برای یافتن روند تغییرات پدیده‌های طبیعی و انسانی و پیش‌بینی برای آینده است. سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای مناسب‌ترین داده‌ها را برای بررسی روند تغییرات پدیده‌های طبیعی و انسانی مهیا می‌کند (Mirahsani et al, ۲۰۱۸; Hashemi Dareh Badami et al, ۲۰۱۵). در سال‌های اخیر استفاده از داده‌های پوشش گیاهی به‌دست‌آمده از تصاویر ماهواره‌ای، به ابزاری قدرتمندی برای جمع‌آوری اطلاعات درباره‌ی پویایی پوشش گیاهی

^۱ Greening

^۲ Browning

در بوم سامانه‌های سراسر جهان تبدیل شده است؛ زیرا اجازه می‌دهد تا با کوتاه‌ترین زمان و کمترین هزینه بر منابع طبیعی و بوم سامانه نظارت داشته باشند و همچنین منجر به آشکارسازی تغییرات ناگهانی و تغییراتی با روند آرام در گذر زمان می‌شود (Willis, 2015). نمایه‌های پوشش گیاهی سنجش از دوری به‌طور گسترده برای آشکارسازی روند تغییرات پوشش گیاهی، به‌ویژه در مطالعات پوشش جهانی سری‌های زمانی NDVI که از سال ۱۹۸۱ در دسترس است، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. لیو و همکاران (2023) به بررسی تغییر پوشش گیاهی و واکنش آن به شرایط آب و هوایی شدید در حوضه رودخانه زرد پرداختند. نتایج یافته‌های آن‌ها، افزایش قابل توجهی در NDVI در حوضه رودخانه مشاهده شد که میانگین نرخ رشد $0.0019/10^4$ را نشان داد ($p < 0.001$). همچنین میانگین NDVI چندساله از جنوب شرقی به شمال غربی کاهش می‌یابد، در حالی که روند کلی پوشش گیاهی بهبود می‌یابد. فن و همکاران (2023)، داده‌های NDVI را با وضوح فضایی بالا با ادغام GIMMS NDVI و MODIS NDVI بر اساس ESTARFM ایجاد کردند و سپس تغییرات NDVI را تحت توپوگرافی‌های مختلف و تأثیرات آب‌وهوا و فعالیت‌های انسانی در فلات لس‌مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. میانگین NDVI این منطقه از ۰/۲۷ تا ۰/۹۷۳ متغیر است، به‌ویژه در مناطق شمال غربی و پایین جنوب شرقی. NDVI در ۳۱ سال گذشته روند صعودی داشته است. دما نسبت به بارش تأثیر بیشتری بر NDVI دارد. همچنین، فعالیت‌های انسانی نیز بیشتر از عوامل اقلیمی بر NDVI تأثیرگذار است (۳۵/۲۲٪ برای فعالیت‌های انسانی و ۳۴/۷۸٪ برای عوامل آب و هوایی). در تحقیق مایلز و عیسو (2016)، باهدف تعیین بهره‌وری پوشش گیاهی در منطقه شمال غربی سیبری که ۳۵ درصد آن از پوشش جنگلی تشکیل شده است، از داده‌های سری زمانی NDVI-MODIS بافاصله زمانی ۱۶ روزه و تفکیک مکانی ۲۵۰ متر بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ استفاده شده است. نتایج نشان داده‌اند که تغییر در بهره‌وری در ۱۸ درصد منطقه رخ داده که از این تغییرات، ۸/۴ درصد افزایش (Greening) و ۹/۶ درصد کاهش (Browning) بوده است. کولدیتز و همکاران (2015) در مکزیک از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ با استفاده از داده پوشش گیاهی سنجنده مودیس و استفاده از تکنیک تحلیل روند، تغییرات پوشش گیاهی را به دست آوردند. این مطالعه روندهای مثبت قابل توجهی را در NDVI در ایالت‌هایی مانند چیپوهوا، دورانگوی شمالی، نوو لئون و اواکسا شناسایی کرد که به افزایش پوشش درختی یا تراکم پوشش گیاهی نسبت داده شد، در حالی که روندهای منفی در سونورا و کوآهویلا به دلیل تنوع آب‌وهوا و شهرنشینی مشاهده شد. تجزیه و تحلیل روند فصلی به تمایز بین محرک‌های انسانی و طبیعی تغییرات پوشش گیاهی کمک کرد. در زمینه بررسی روند تغییرات فعالیت پوشش گیاهی در ایران می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره نمود. دستی‌گردی و همکاران (۱۴۰۱) جهت بررسی روند تغییرات فعالیت پوشش گیاهی و معنی‌داری آن با استفاده از سری زمانی NDVI ماهواره مودیس در استان خراسان شمالی با به کار گرفتن روش غیر پارامتری من-کندال دریافتند پوشش گیاهی در بخش‌های شرق و شمال شرق استان به‌طور معناداری افزایش یافته در حالی که بخش جنوب غربی روند کاهشی داشته است. کیپاشا و همکاران (2017a) روند بلندمدت تغییرات سبز شدگی در جنگل‌های هیرکانی را با استفاده از سری‌های زمانی GIMMS-NDVI در طی سال‌های ۲۰۱۲-۱۹۸۱ بررسی کردند. نتایج آزمون تحلیل روند من-کندال در این تحقیق، روند Greening را در ۷۵/۳۵ درصد از سطح جنگل‌های هیرکانی نشان داد. کیپاشا و همکاران (2017b) به بررسی روند پارامترهای فنولوژیکی سطح زمین با استفاده از سری زمانی نمایه پوشش گیاهی NDVI بر اساس داده‌های ماهواره‌ای در جنگل‌های هیرکانی ایران در بازه زمانی ۱۹۸۱-۲۰۱۲ پرداختند. نتایج نشان داد که تأخیر در پایان فصل رویش (EOS^3) با روند افزایشی دما مرتبط بود و قوی‌ترین روابط بین دما و پارامترهای فنولوژیکی را در غرب جنگل‌های هیرکانی یافتند، جایی که بارش فراوان بود. علاوه بر این، شروع فصل رویش (SOS^4) به‌شدت با بارش کل و میانگین دما ارتباط دارد؛ بنابراین مطالعه انجام‌شده این امکان را می‌دهد تا محرک‌های مؤثر بر پویایی پوشش گیاهی در جنگل‌های هیرکانی ایران بهتر تخمین زده شوند. عبدی و همکاران (2018) با استفاده از داده‌های ($MOD12Q1$) برای ارزیابی خشک‌سالی مکانی و زمانی جنگل‌های پهن‌برگ هیرکانی و مراتع نیمه استپی با استفاده از سری‌های زمانی طیف‌سنج تصویری با قدرت تفکیک فضایی متوسط در شمال شرق ایران مورد بررسی قرار دادند که نتایج نشان داد در حالی که جنگل‌های انبوه در دوره‌های خشک‌سالی تنش‌های کمتری را در اثر خشک‌سالی‌های شدید تجربه کردند (زیاد - کم حاشیه) در همین حال، برخی از تنش‌های شدید

^۳ Start of season

^۴ End of season

گیاهی در مکان‌هایی با خشک‌سالی کم (کم - زیاد دورتر) رخ داده است که نشانگر تأثیر سایر اختلالات ناشی از آب‌وهوا بر روی ناهنجاری‌های پوشش گیاهی است. عبدالعیزاده و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از داده‌های لندست ۸ و لندست ۵ (TM) تأثیر فعالیت‌های انسانی را بر روی پوشش گیاهی منطقه حفاظت‌شده مکاران را بررسی کردند مراتع منطقه به‌عنوان پوشش گیاهی غالب منطقه، روند تبدیل به مراتع فقیر و بی‌کیفیت را در پیش گرفته‌اند. مهرانی و همکاران (۱۴۰۰)، که به بررسی تغییرات پوشش گیاهی محدوده تالاب هلای بین المللی استان گلستان با استفاده از باندهای ماهواره لندست سنجنده های TM و OLI در بازه زمانی (۱۹۸۸-۲۰۱۸) پرداختند. نتایج تحقیق نشان‌دهنده افزایش قابل توجه مساحت در اراضی با پوشش گیاهی بسیار خوب از ۱۵۴۰/۹۳ به ۲۸۴۲/۹۹ کیلومتر مربع و کاهش مساحت در اراضی با پوشش خوب از ۱۳۲۹/۴۶ به ۶۸/۹۴ کیلومتر مربع بوده است. در این بازه زمانی، منطقه مورد مطالعه دستخوش تغییراتی شده که بیشترین کاهش، شامل تخریب کلاس با پوشش خوب از ۳۱/۹۴ به ۱/۶۶ درصد و تبدیل آن به سایر کاربری‌ها بوده است. همچنین، ۱۳/۴۶ کیلومتر مربع از پوشش خوب به پوشش ضعیف تبدیل شده که بیشتر در اطراف تالاب‌ها، قسمت‌های سنگلاخی و مناطق روستایی مشاهده شده است. در اکوسیستم خزری نیز نادی و همکاران (۱۴۰۳) با تحلیل روند تصاویر پوشش گیاهی دریافتند که عوامل مخرب انسانی بخصوص در مناطق کم ارتفاع بیشترین نقش را در کاهش پوشش گیاهی در سطح استان مازندران دارند.

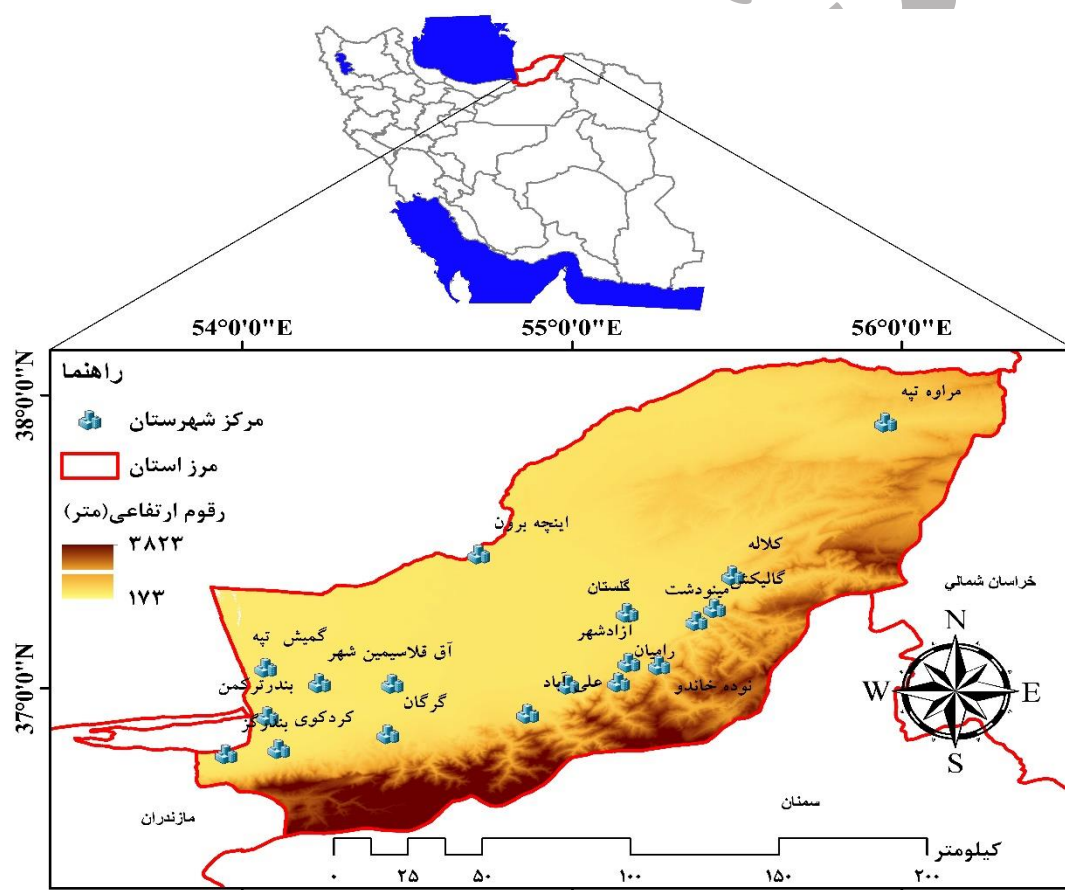
طبق گزارش سازمان جهانی خواربار، اکوسیستم‌های جنگلی طبیعی در ایران از سال ۱۹۹۰ در حال کاهش بوده است (FAO, ۲۰۱۵). بررسی منابع انجام شده در استان گلستان نشان داد که مطالعات انجام شده صرفاً بر پایش پوشش گیاهی بخش‌هایی از منطقه تمرکز داشته و در وسعت استان و بصورت تحلیل روند سری زمانی پوشش گیاهی و ارتباط آن با کاربری‌های اراضی پرداخته نشده است (Afzali Kurd et al., ۲۰۲۳; Shamsipour and Rodgar Safai., ۲۰۲۰; Mehrani et al., ۲۰۲۱). بر این اساس بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی و درک نقاط خشکیدگی و سبزینگی در استان گلستان که از تنوع اقلیمی و پوشش سطحی مختلفی برخوردار بوده و خواستگاه جنگل‌های ارزشمند هیرکانی است دارای اهمیت حیاتی است، زیرا پوشش گیاهی در این استان از مناطق جنگلی مرطوب هیرکانی که ذخیره‌گاه تنوع زیستی بسیار غنی است تا مناطق نیمه‌خشک ترکمن‌صحرا، شاهد تغییرات مختلف در پوشش گیاهی بوده است (Karimi et al., ۲۰۲۱). لذا بررسی دقیق روند پوشش گیاهی نیازمند تحلیل روند به‌صورت نقطه‌ای و پیکسل به پیکسل بوده که لزوم استفاده از تکنیک‌های بررسی روند تصاویر را نشان می‌دهد (Dastigerdi et al., ۲۰۲۴). این مطالعه به‌منظور بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی بر مبنای سری زمانی تصاویر ماهواره‌ای طی دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ و عوامل موثر بر تغییرات پوشش گیاهی در استان گلستان و اینکه چه مناطقی در معرض خطر بیشتری می‌باشند و نیاز به حفاظت ویژه دارند را مورد پژوهش قرار می‌دهد که به دلیل رزولوشن بالای تصاویر، نتایج آن در حفظ تنوع زیستی، مدیریت منابع آب، تغییر اقلیم، معیشت و اقتصاد، هشدار زودهنگام و برنامه‌ریزی محیطی دارای اهمیت حیاتی است. همچنین درک تأثیرات فعالیت‌های انسانی بر پوشش گیاهی و اتخاذ تدابیر مدیریتی مناسب در حفاظت و بهبود شرایط محیطی و اکولوژیکی می‌تواند موثر واقع گردد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱ منطقه مورد مطالعه

استان گلستان در محدوده جغرافیایی ۵۴ درجه تا ۵۶ درجه طول شرقی و درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی و در بین استان‌های مازندران، سمنان و خراسان شمالی قرار دارد. گلستان با کشور ترکمنستان نیز هم‌جوار و دارای ۳۴۸ کیلومتر مرز خاکی و ۹۰ کیلومتر مرز آبی با این کشور است. این استان به دلیل جایگاه جغرافیایی ویژه خود از آب‌وهوای گوناگونی برخوردار است. بخشی از رشته‌کوه البرز شرقی از غرب به‌سوی شرق استان کشیده شده که گرایش زیادی به‌سوی شمال شرقی دارد و سپس ارتفاع کوه‌های آن کاسته می‌شود. شاهوار با بلندی ۳۳۲۰ متر از سطح دریا که بلندترین قله استان است، در جنوب غربی استان جای دارد. در پایه این بلندی‌ها، به‌ویژه در جنوب و شرق استان، کوهپایه‌هایی از رسوب‌های دانه‌ریز و دانه‌درشت دیده می‌شود که سفره‌های آب زیرزمینی فراوانی را در خوددارند و به‌صورت چاه و قنات از آن‌ها بهره‌برداری می‌شود. بخش زیادی

از پهنه استان گلستان به صورت جلگه است. در بخش جلگه‌ای دو گونه آب‌وهوا دیده می‌شود. بیش از ۲/۳ این جلگه آب‌وهوای خشک و نیمه‌خشک دارد که هر چه به سوی شمال و مرز ترکمنستان نزدیک می‌شویم بر خشکی آن افزوده می‌شود. ۱/۳ دیگر که مانند نواری سبز بین بخش کوهستانی در جنوب و بخش خشک و نیمه‌خشک در شمال جای گرفته است، آب‌وهوای معتدلی دارد و از نظر کشاورزی بسیار پربازده است. بیش‌تر شهرها و روستاهای استان نیز در این ناحیه سرسبز جای گرفته‌اند. دو توده‌هوا در تعیین آب‌وهوای استان نقش مهمی دارند. توده شمالی از سیبری به استان وارد می‌شود و طی پاییز و زمستان با ریزش برف در بلندی‌های جنوبی و باران در کوه‌پایه‌ها و نوار معتدل میانی همراه می‌شود. توده دیگر، توده غربی از اقیانوس اطلس و دریای مدیترانه سرچشمه می‌گیرد و در زمستان به بارندگی و در تابستان به افزایش رطوبت و شرحی شدن هوای استان می‌انجامد؛ بنابراین، بیش‌ترین بارندگی در ماه‌های زمستان و کم‌ترین آن در ماه‌های تابستان دیده می‌شود. با این‌همه، نیمه شمالی استان، بخش نیمه‌خشک و خشک، از کم‌ترین بارندگی بهره‌مند است و به دلیل تبخیر زیاد آب، زمین‌های شور و کم‌بازده نیز بسیار دارد. شکل ۱ موقعیت استان گلستان را روی نقشه ایران به همراه نقشه پستی‌وبلندی‌های استان نشان می‌دهد. استان گلستان مانند پلی ارتباطی استان‌های شرقی ایران را به استان‌های شمالی و همچنین به پایتخت ایران، یعنی تهران متصل می‌کند، این امر سبب شد تا گلستان از نظر ارتباطی همانند بقیه استان‌های شمالی ایران از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشد.



شکل ۱. موقعیت و نقشه رقومی منطقه مورد مطالعه

۲-۲ داده‌های پژوهش

در این پژوهش، از داده‌های سری زمانی ترکیبی ۱۶ روزه *MODIS-NDVI* به نام *MOD13Q1* با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر ماهواره ترا برای بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ استفاده شد. این داده‌ها از سال ۲۰۰۰ در دسترس هستند که به صورت سری زمانی توسط خود مجموعه مرتب‌شده و برگرفته از سایت شبکه ماهواره‌ای *NASA* است که کلیه داده‌ها از طریق لینک <https://modis-land.gsfc.nasa.gov> قابلیت دانلود رایگان را دارند.

۳-۲ پایش پوشش گیاهی

برای بررسی و پایش پوشش گیاهی از داده‌های نمایه NDVI آماده‌شده ماهواره مودیس که نیاز به ترکیب باندی نیست استفاده شد. این نمایه بر مبنای بازتاب دو باند طیفی با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود که در آن R_{NIR} بازتاب باند فرسرخ نزدیک و R_{RED} بازتاب باند قرمز می‌باشد (Wu et al, ۲۰۱۴).

$$NDVI = \frac{R_{NIR} - R_{RED}}{R_{NIR} + R_{RED}} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این پژوهش قبل از بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی در منطقه، ابتدا تصاویر خام NDVI با فرمت HDF محصول از سایت ناسا دانلود شدند و از لحاظ آماری بررسی و تحلیل شدند. به‌طوری‌که ۹۲۰ تصویر سری زمانی شانزده‌روزه پوشش گیاهی نمایه NDVI در نرم افزار GIS پس از موزائیک سازی به ۴۶۰ تصویر تبدیل و با استفاده از ضرب فاکتور مقیاس^۵ تصاویر به حالت استاندارد بین -۱ تا +۱ درآمدند.

۴-۲ تحلیل روند تصاویر و نقشه ها

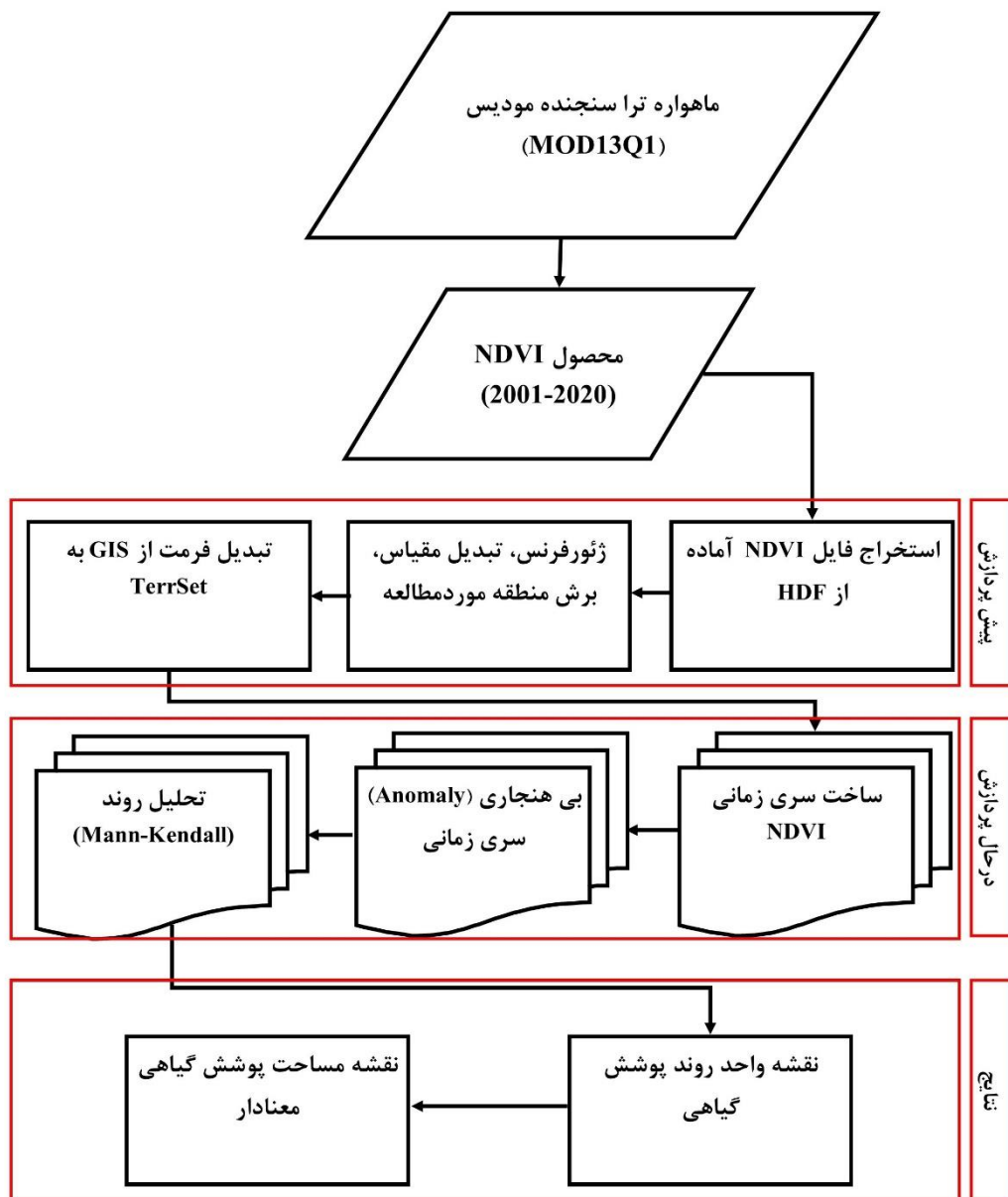
در مطالعات تحلیل روند سری زمانی می‌توان به سه مؤلفه روند، فصلی و باقی‌مانده تجزیه شود. مؤلفه فصلی که دارای چرخه سالانه است و به‌طور مکرر در هر سال رخ می‌دهد، ممکن است مطالعه روند بلندمدت را مشکل کند. از این رو پیشنهاد شده است که بررسی روند بلندمدت پس از حذف مؤلفه فصلی از سری زمانی انجام گیرد. سری زمانی پس از حذف مؤلفه فصلی، بی‌هنجاری نامیده می‌شود. بی‌هنجاری در سری زمانی بر اساس رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$x_i = (v_i - \mu) \quad \text{رابطه (۲)}$$

که x_i بی‌هنجاری ۱۶ روزه هر پیکسل، v_i ارزش NDVI ۱۶ روزه و μ میانگین NDVI ۱۶ روزه کل دوره می‌باشد. برای ارزیابی روند سری در نرم‌افزار IDRISI TerrSet ابتدا تصاویر با استفاده از بی‌هنجاری مؤلفه فصلی حذف شد. در این روش، ارزش‌های موجود در هر پیکسل تصاویر ناشی از فرایند فصل‌زدایی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر، فرایند فصل‌زدایی باعث تغییر در ارزش‌های هر پیکسل می‌شود که منجر به کاهش این ارزش‌ها می‌شود. این کاهش ارزش‌ها ناشی از فرایند فصل‌زدایی، در پژوهش‌های دی جونگ و همکاران (۲۰۱۱)، مسیح پور و همکاران (۲۰۱۹) دستی‌گردی و همکاران (۲۰۲۴) نیز تأیید شده است. سپس داده‌های NDVI فصل‌زدایی شده برای ارزیابی روند بلندمدت با استفاده از روش من‌کندال مورد بررسی قرار گرفتند. روند تغییرات فعالیت پوشش گیاهی و معنی‌داری آن در این پژوهش به روش غیر پارامتری من-کندال انجام گرفت. این روش ابتدا توسط من (۱۹۴۵) ارائه و سپس توسط کندال (۱۹۴۸) توسعه یافت که یکی از روش‌های غیر پارامتری بسیار متداول تحلیل روند در سری‌های زمانی است. این روش برای بررسی روند در سری‌های زمانی که از توزیع آماری خاصی پیروی نمی‌کنند مناسب بوده و به مقادیر داده‌های پرت حساسیت چندانی ندارد. در این روش هر مقدار NDVI در سری زمانی، به‌طور پیوسته و پشت سر هم با بقیه مقادیر سری مقایسه و آماره من-کندال محاسبه می‌شود. برای بررسی معنی‌داری روند از آزمون من-کندال در نرم‌افزار IDRISI TerrSet استفاده می‌شود. بر اساس پیشینه تحقیق، قابلیت این داده‌ها و تناسب روش‌های متداول من-کندال، تیل-سن و OLS به‌کاررفته در این زمینه به تأیید جهانی رسیده است و از این رو احتمال می‌رود نتایج این تحقیق تنها با عدم قطعیت اندکی همراه باشد. برای به دست آوردن روندهای معنادار افزایشی و کاهش پوشش گیاهی در نرم‌افزار GIS نقشه آماره Z کندال برای معنی‌داری در حدود اطمینان ۹۵ درصد: $Z = \pm 1.96$ و در حدود اطمینان ۹۹ درصد: $Z = \pm 2.58$ در سه محدوده

^۵ Scale Factor

(معنادار مثبت، بدون روند و معنادار منفی) کلاسه‌بندی و سپس مساحت هریک از مناطق افزایش و کاهش معنادار پوشش گیاهی محاسبه شد. همچنین فلوجارت و مسیر روش به کار گرفته شده در این تحقیق به طور خلاصه در شکل ۲ نشان داده شده است.

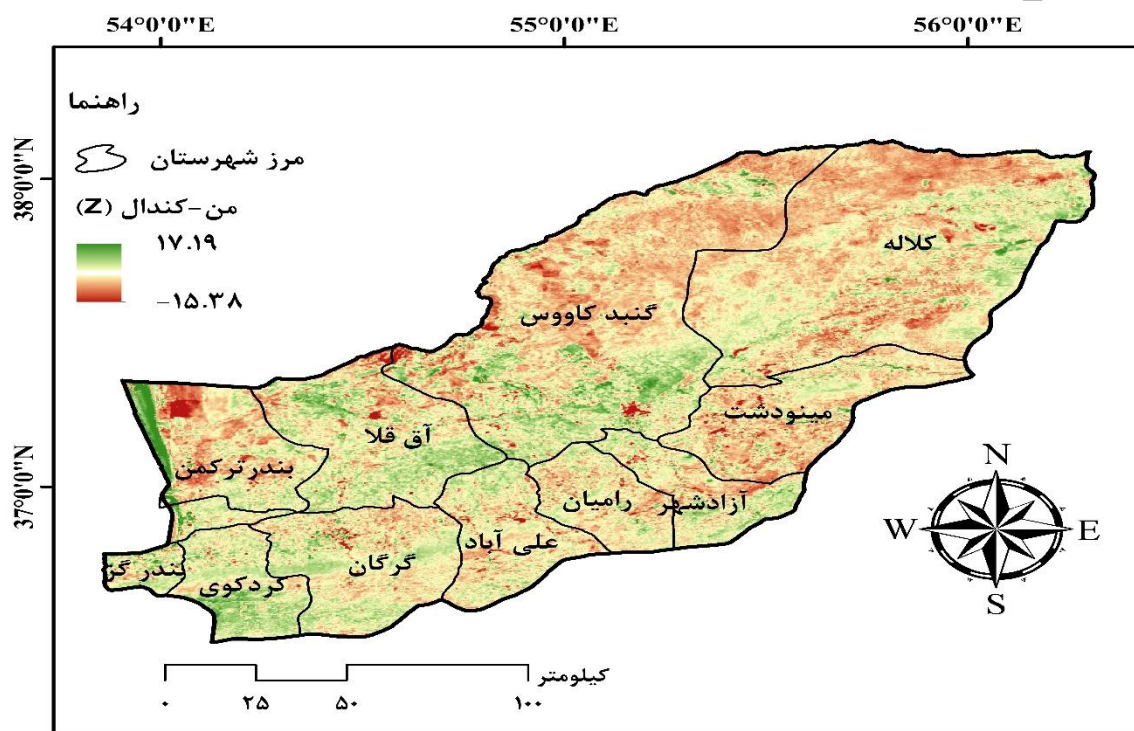


شکل ۲. فلوجارت روش انجام کار

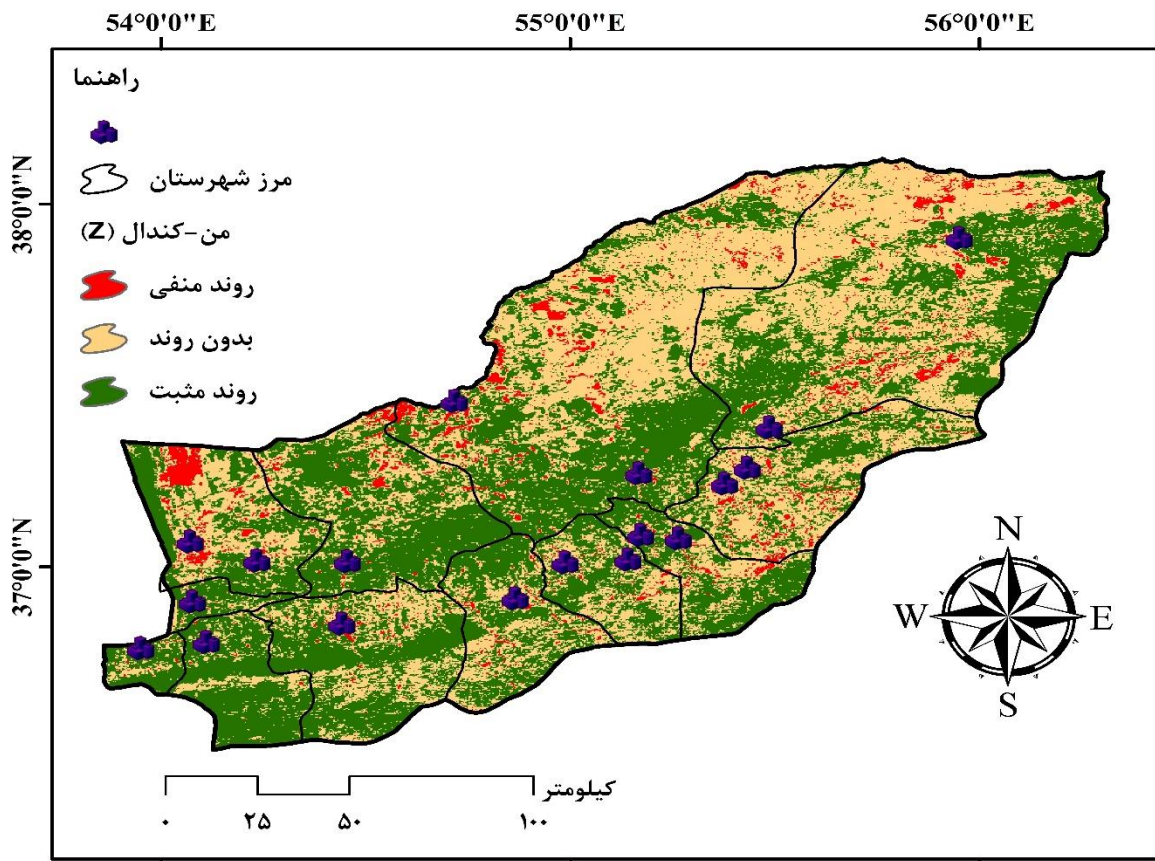
۳- نتایج و بحث

در این تحقیق با روی هم‌گذاری ۴۶۰ تصویر ماهواره‌ای NDVI نقشه روند تغییرات این نمایه به دست آمد که در شکل ۳ نشان داده شده است. بررسی این نقشه نشان داد که این روند تغییرات در کل منطقه مورد مطالعه یکسان نیست، به‌طوری‌که اگر Z منفی باشد، نشان‌دهنده روند کاهشی و چنانچه Z مثبت باشد، نشان‌دهنده روند افزایشی پوشش گیاهی است. در این پژوهش نقشه مربوط به معنی‌داری روند NDVI طی دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۱ در سطح اطمینان ۹۵ درصد در شکل ۳ نشان داده شده است. بر اساس شکل‌های ۳ و ۴ از کل مساحت منطقه مورد مطالعه ۲۰ درصد منطقه روند کاهشی پوشش گیاهی داشته و مابقی روند افزایشی را نشان می‌دهد که البته روند معنادار (۹۵ درصد) کاهش پوشش گیاهی در ۵ درصد و روند معنادار افزایشی در ۵۰

درصد از مساحت منطقه به وقوع پیوسته که در جدول ۱ مساحت مربوط به هر کلاس روند موجود می‌باشد. بر اساس شکل ۴ مناطق مرتفع استان بخصوص ارتفاعات غربی طی سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۲۰ روند افزایشی پوشش گیاهی را تجربه نموده است. نتایج این مطالعه با نتایج کیاپاشا و همکاران (۲۰۱۷) که به تجزیه و تحلیل روند پارامترهای مشتق شده از فنولوژی سطح زمین با استفاده از سری زمانی NDVI در جنگل‌های هیرکانی ایران در دوره زمانی ۱۹۸۱-۲۰۱۲ انجام شد هم‌خوانی دارد. البته روند افزایشی پوشش گیاهی در ارتفاعات به دلیل گرمایش جهانی و افزایش CO_2 به دلیل فعالیت‌های انسانی در مطالعات (Yin et al, ۲۰۲۳; Gutiérrez-Girón et al, ۲۰۱۵; KC and Ghimire, ۲۰۱۵) نیز مشاهده شده است. به صورت نمای کلی در دشت‌های شمالی گلستان به دلیل دسترسی بهتر برای فعالیت‌های انسانی، تغییر کاربری اراضی و توسعه شهرنشینی روند کاهش پوشش گیاهی بیشتری قابل مشاهده است. طبق جدول ۲ بیشترین روند تغییرات افزایش پوشش گیاهی معنی‌دار در شهرستان‌های مانند کردکوی، بندر گز، آق‌قلا، گرگان، آزادشهر، رامیان و بیشترین روند تغییرات کاهش پوشش گیاهی معنی‌دار در شهرستان‌های مانند بندر ترکمن، گنبد کاووس، مینودشت و کلاله می‌باشد.



شکل ۳. پراکنش مکانی آمارهای Z آزمون من کندال در دوره ۲۰۰۱-۲۰۲۰



شکل ۴. نقشه معنی داری روند پوشش گیاهی در سطح اطمینان ۹۵ درصد در شهرستان های استان

جدول ۱. مساحت مناطق دارای روند معنی دار مثبت و منفی در سطح اطمینان ۹۵ درصد

نوع روند	درصد	مساحت (کیلومترمربع)
منفی	۵	۹۷۴
بدون روند	۴۵	۹۱۵۰
مثبت	۵۰	۱۰۳۱۴

برای بررسی تأثیر فعالیت های انسانی بر تغییرات پوشش گیاهی، از نقشه موقعیت شهرستان ها در شکل ۴ استفاده شد. همان طور که در این شکل مشخص است، روند معنادار افزایش پوشش گیاهی در ارتفاعات غربی نسبت به ارتفاعات شرقی مشهودتر است. این امر ممکن است به دلیل داشتن رطوبت بالاتر در بخش غربی استان گلستان نسبت به بخش شرقی آن باشد. این امر به علت نزدیکی به دریا و وجود رشته کوه های با ارتفاعات بالاتر است که ممکن است مانع از انتقال رطوبت به بخش های جنوبی استان شود. همچنین وقوع تغییرات اقلیمی و گرمایش اخیر جهانی موجب شده است که ارتفاعات غربی برای رشد پوشش گیاهی شرایط دمایی مناسب تری نسبت به ارتفاعات شرقی که اقلیم خشک تری نسبت به غرب دارند، ارائه دهد. به طوری که کیپاشا و همکاران (۲۰۱۷)، در مطالعه ای بر جنگل های هیرکانی در ارتفاعات خزری به این نتیجه دست یافته اند که در ارتفاعات خزری متغیر دما نسبت به بارش عامل اثرگذارتری بر رشد پوشش گیاهی باشد.

اما بررسی مناطق با روند معنادار کاهش پوشش گیاهی در شکل ۴ نشان داد که پوشش گیاهی حاشیه شهری و کم ارتفاع مناطق شمالی و شرقی در ۲۰ سال اخیر ازدست رفته است همچنین حاشیه شهرهای بزرگ استان مانند شهرهای گرگان، آزادشهر، بندر ترکمن، علی آباد و کلالة کاهش شدید پوشش گیاهی را تجربه نموده اند؛ اما بررسی دقیق تر نشان داد بزرگترین هسته کاهش

پوشش گیاهی در منطقه‌ای شمالی غربی شهرستان بندر ترکمن به وقوع پیوسته به طوری که مساحت تخریب پوشش گیاهی از پرجمعیت‌ترین شهرستان استان گلستان یعنی شهرستان گرگان نیز وسیع‌تر است درحالی که جمعیت شهری و توسعه صنعتی آن نسبت به شهر گرگان به مراتب کمتر است؛ بنابراین توسعه شهری و اقتصادی عامل این کاهش پوشش گیاهی نمی‌تواند باشد بلکه تغییر شدید کاربری اراضی کشاورزی و شالیزاری و باغات مرکبات به واحدهای پرورش ماهی، شهرک‌های شیلاتی و مسکونی در این منطقه عامل اصلی از دست رفتن پوشش گیاهی در این منطقه است (شکل ۷ شماره ۱).

۳-۱ تحلیل روند تغییرات پوشش گیاهی اطراف جاده‌های اصلی استان

به‌طور کلی مسیرهای منتهی به استان گلستان شامل ۵ مسیر اصلی می‌باشد. در این پژوهش به روند تغییرات پوشش گیاهی در هر مسیر طبق شکل ۵ پرداخته شد؛

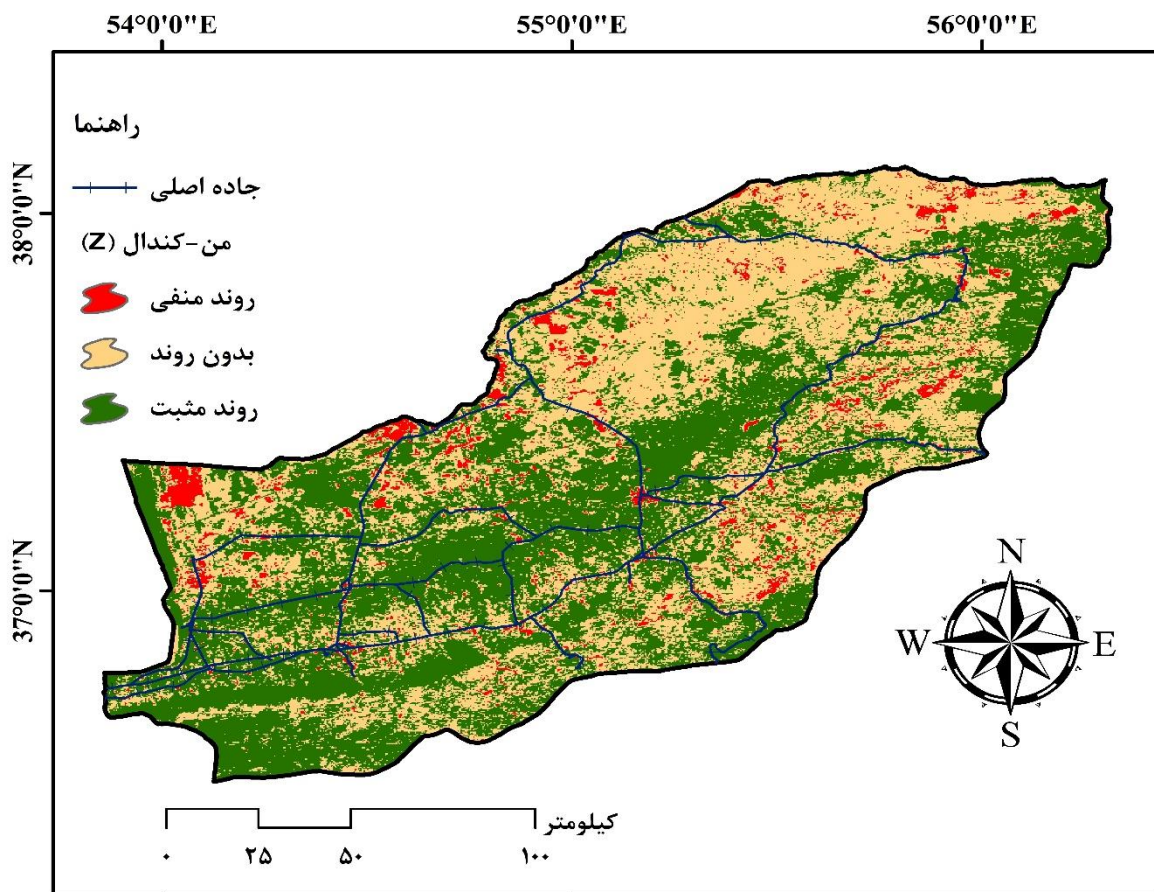
تغییرات پوشش گیاهی در جاده گرگان- بجنورد؛ بررسی‌های انجام‌شده در مسیر گرگان به بجنورد که تنها راه ارتباطی به استان‌های شرقی منطقه مورد مطالعه است نشان داد پوشش گیاهی در اطراف مسیر (تا شعاع حدود ۵۰ کیلومتری) روند کاهشی دارد. این روند کاهشی در نزدیکی شهرهای تنگراه، آق‌میش، گالیکش، مینودشت دیده شده است.

تغییرات پوشش گیاهی در جاده گرگان- ساری؛ بررسی‌های انجام‌شده در مسیر گرگان به ساری که تنها راه ارتباطی به استان‌های غربی منطقه مورد مطالعه است نشان داد پوشش گیاهی در اکثر اطراف مسیر جاده روند کاهشی دارد. این روند کاهشی در نزدیکی شهرهای کردکوی و بندر گز با شدت بیشتری می‌باشد.

تغییرات پوشش گیاهی در جاده آزادشهر- سمنان؛ در این مسیر از سمت شاهرود به گلستان و در ارتفاعات افزایش معنادار پوشش گیاهی تا تیل‌آباد نمایان است اما از تیل‌آباد تا آزادشهر روند کاهشی پوشش گیاهی شدت گرفته‌شده و بیشترین روند کاهشی در حاشیه جنوبی شهر آزادشهر رخ داده است.

تغییرات پوشش گیاهی در جاده غربی اینچه برون؛ به‌طور کلی در بین جاده‌های مورد بررسی شدیدترین تخریب پوشش گیاهی در این مسیر مشاهده شد بدین‌صورت که از شمال به جنوب جاده غربی و منتهی به آق‌قلا تغییرات پوشش گیاهی تا شهرک صنعتی اترک روند کاهشی زیادی را به خود را نشان داده اما از منطقه شهرک صنعتی اترک تا شهر آق‌قلا نیز روند کاهش معنادار پوشش گیاهی کمتری مشاهده شد. به‌علاوه در یکی از راه‌های فرعی و مهم منتهی به این جاده در منطقه یارنی‌قایه تا ایمرملاساری نیز تخریب شدید پوشش گیاهی نمایان است.

تغییرات پوشش گیاهی در جاده شرقی اینچه برون؛ در سرتاسر حاشیه جاده شرقی تا سهرای داشلی برون، کاهش پوشش گیاهی مشاهده شد که ممکن است به دلیل کاهش بارندگی و کاهش سطح آب دریاچه دانشمند عنوان نمود.



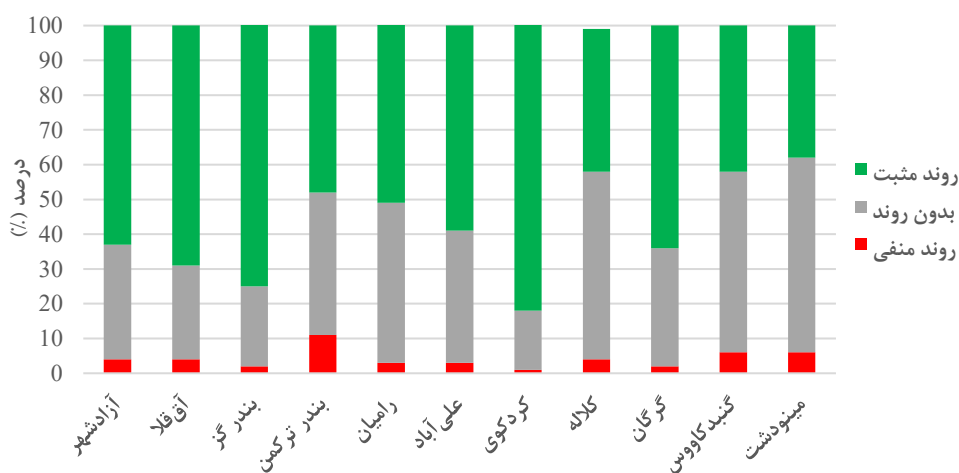
شکل ۵. نقشه معناداری روند پوشش گیاهی در سطح اطمینان ۹۵ درصد به همراه جاده‌های اصلی استان

۲-۳ تحلیل روند تغییرات NDVI در شهرستان‌های استان

شکل‌های ۳ و ۴ نشان می‌دهد که تغییرات پوشش گیاهی ۲۰ سال اخیر در سرتاسر استان یکسان نبوده و بخش‌های شمالی و ارتفاعات جنوب شرقی استان و مناطق شمال غربی به‌ویژه نزدیک به سواحل کاهش بیشتری را تجربه کرده‌اند. بدین منظور در جدول ۲ مساحت مناطق با روندهای افزایشی و کاهشی معنادار و بدون روند در شهرستان‌های مختلف برحسب کیلومترمربع و درصد نشان داده شده است. از دیدگاه مساحتی بیشترین کاهش پوشش گیاهی در شهرستان بندر ترکمن با ۱۵۴ کیلومترمربع و پس از آن به ترتیب در شهرستان‌های گنبد کاووس و مینودشت رخ داده است همچنین بیشترین مساحت افزایش پوشش گیاهی نیز در شهرستان‌های کردکوی، بندر گز و آق‌قلا به وقوع پیوسته است. برای درک دقیق‌تر اثرات مدیریت شهرستانی، مساحت روندهای مختلف به‌صورت درصدی در هر شهرستان نیز محاسبه شد که در شکل (۶) نشان داده شده است. بررسی این نتایج نشان می‌دهد بیشترین درصد کاهش پوشش گیاهی در شهرستان‌های بندر ترکمن، گنبد کاووس، کلالة و مینودشت به وقوع پیوسته و شهرستان‌های کردکوی، بندر گز، گرگان و علی‌آباد کمترین درصد کاهش پوشش گیاهی را تجربه نموده‌اند. همچنین در شهرستان کردکوی بیشترین روند افزایش معنادار پوشش گیاهی به میزان ۸۳ درصد به وقوع پیوست و پس از آن شهرستان‌های بندر گز، آق‌قلا و گرگان در رتبه‌های بعد قرار گرفتند. بررسی درصد مناطق بدون روند پوشش گیاهی به‌خوبی نشان می‌دهد که با حرکت از سمت شرق به غرب استان از درصد مناطق بدون روند کاسته می‌شود و به درصد مناطق دارای روند مثبت پوشش گیاهی اضافه می‌شود.

جدول ۲. مساحت مناطق با روندهای مختلف در شهرستان‌های استان (کیلومتر مربع)

شهرستان	روند منفی	بدون روند	روند مثبت
آزادشهر	۳۳	۲۸۰	۵۴۴
آق‌قلا	۷۶	۵۰۱	۱۲۸۴
بندر گز	۴	۵۶	۱۸۶
بندر ترکمن	۱۵۴	۵۶۰	۶۵۹
رامیان	۲۳	۳۸۲	۴۳۲
علی‌آباد	۳۸	۴۱۹	۶۵۲
کردکوی	۵	۱۴۳	۷۱۲
کلالة	۲۲۲	۲۷۵۱	۲۰۸۹
گرگان	۳۲	۵۴۸	۱۰۱۰
گنبد کاووس	۲۹۱	۲۶۴۳	۲۱۵۵
مینودشت	۹۶	۸۶۷	۵۹۱
کل استان	۹۷۴	۹۱۵۰	۱۰۳۱۴



شکل ۶. درصد مساحت شهرستان‌های استان گلستان از نظر روند پوشش گیاهی

۳-۳ بررسی تغییرات پوشش سطحی در نقاط کاندید کاهش معنادار پوشش گیاهی

استان گلستان از تنوع اقلیمی چشمگیری برخوردار است که می‌تواند تأثیرات متفاوتی بر پوشش گیاهی آن در هر منطقه داشته باشد. از مناطق جنگلی مرطوب هیرکانی که ذخیره‌گاه تنوع زیستی بسیار غنی است تا مناطق نیمه‌خشک ترکمن‌صحرا، این استان شاهد تغییرات مختلف در پوشش گیاهی به خاطر تغییر اقلیم و تأثیرات فعالیت‌های انسانی بوده است. تشخیص دقیق نقاطی که در استان گلستان دچار بیشترین کاهش پوشش گیاهی شده‌اند و بررسی علل اصلی آن نیازمند استفاده از روش‌های رصد زمین نظیر تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و اطلاعات جمع‌آوری شده توسط سازمان‌ها و نهادهای محیط زیستی موردنیاز است. در این پژوهش، بر اساس سری زمانی Google Earth به چند نقطه شدید کاهش پوشش گیاهی در استان پرداخته شد؛

ناحیه ساحلی دریای خزر: کاهش سطح آب دریای خزر و در نتیجه پس‌روی ساحل منجر به رویش پوشش گیاهی و افزایش آن در بخش ساحلی در استان گلستان شده است که در نیمه غربی عکس شماره ۱ از شکل ۷ نمایان شده است که ممکن است به عوامل مختلفی از جمله کاهش سطح آب دریا به دلیل تغییرات اقلیمی و گرم شدن آب‌ها، تخریب محافظ ساحلی، سدسازی رودخانه‌ها و تغییر کاربری اراضی بستگی داشته باشد. این موضوع ممکن است به کاهش تهدیدات محیط زیستی سواحل و

افزایش پوشش گیاهی سواحل منجر شود، اما درعین حال می‌تواند به اختلالات جدی در اکوسیستم سواحل و مناطق مستعد سیلاب و فرسایش از سواحل منطقه منجر شود. در عکس شماره ۱ نیز تغییرات کاهشی پوشش گیاهی و تخریب به‌خوبی نمایان است که می‌تواند از عمده دلایل آن تغییرات کاربری و ساخت اماکن پرورش ماهی (شیلات) و شهرک‌های صنعتی باشد (شکل ۷ شماره ۱).

ترکمن صحرا: منطقه ترکمن صحرا که اقلیم نیمه‌خشک دارد و گونه‌های گیاهی متناسب با این آب‌وهوا مانند گونه‌های علفی مقاوم به خشکی را در خود جای داده است. تخریب مراتع و بیابان‌زدایی، برداشت بیش‌ازحد آب برای زراعت، کاهش بارندگی و افزایش دما در این منطقه سبب شده است که شاهد تحولاتی در پوشش گیاهی باشیم، به‌خصوص با پدیده‌هایی نظیر خشک‌سالی، فرسایش خاک و پیشروی بیابان می‌تواند در این مناطق به کاهش پوشش گیاهی ادامه یابد (شکل ۷ شماره ۲ تا ۴).

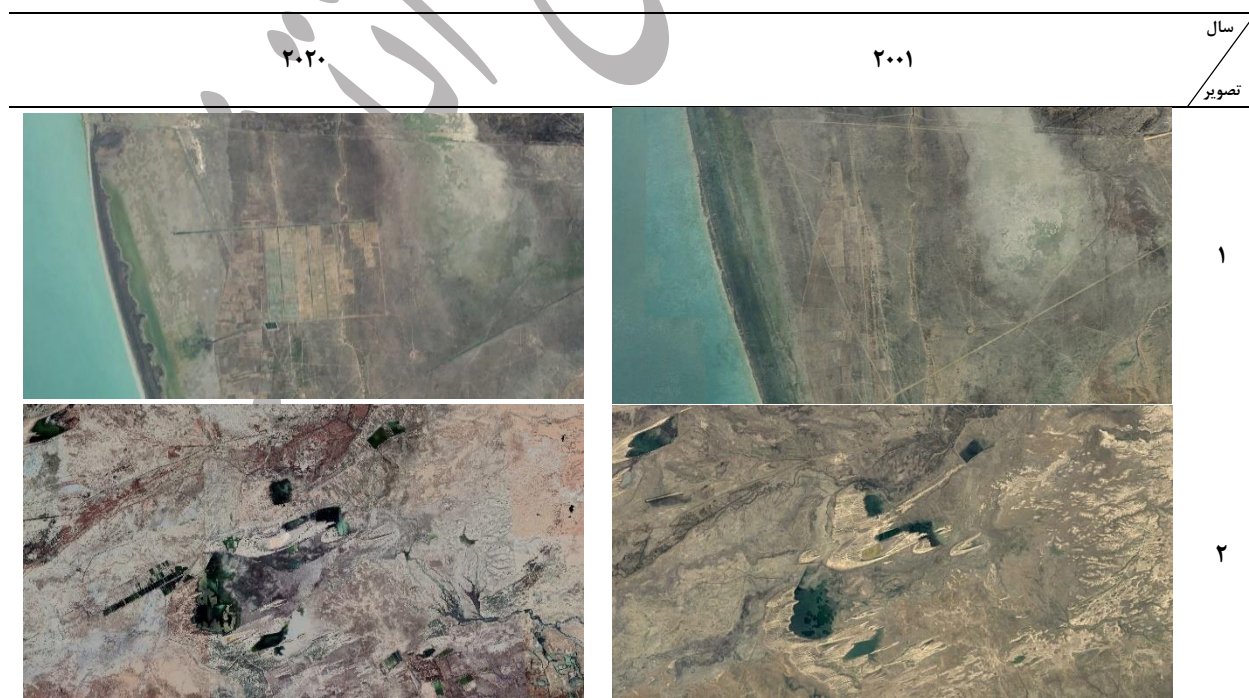
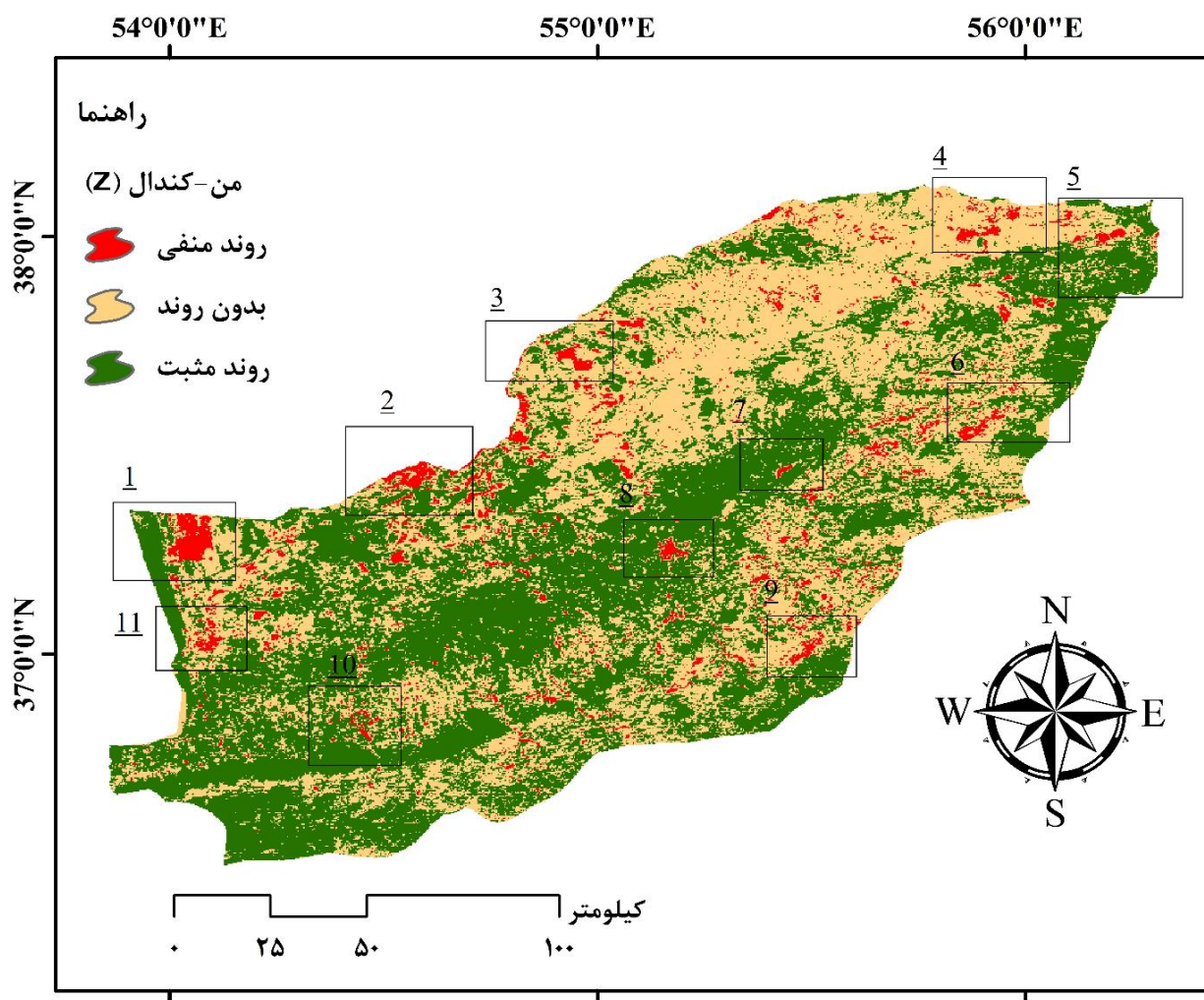
مناطق نیمه ارتفاعی شرقی: این منطقه در طی سال‌های گذشته به دلیل حاصلخیزی خاک مناطق جنگلی جنگل‌ترشی‌هایی صورت گرفته که باعث کاهش پوشش گیاهی جنگلی در این ارتفاعات شده است. همچنین تغییرات آب و هوایی در این مناطق توانسته بر روی تنوع زیستی و توزیع گونه‌های گیاهی تأثیرگذار باشد (شکل ۷ شماره ۵).

جنگل‌های هیرکانی: این جنگل‌ها که بخشی از آن در استان گلستان قرار دارد، جزو قدیمی‌ترین جنگل‌های طبیعی ایران به شمار می‌روند و دارای گونه‌های گیاهی و جانوری بومی بسیاری هستند. این مناطق جنگلی در اثر تغییرات اقلیمی و قطع بی‌رویه درختان، آتش‌سوزی‌های جنگلی و توسعه‌ی زیرساخت‌های انسانی مانند جاده‌سازی و ساخت‌وسازهای غیرقانونی شاهد کاهش پوشش جنگلی بوده‌اند. افزایش دما و کاهش بارندگی نیز سبب تشدید خشکیدگی و کاهش گونه‌های مختلف جنگلی و تغییر در ترکیبات گونه‌ای شود (شکل ۷ شماره ۶ و ۹).

سدسازی: بر اساس گزارش آب منطقه‌ای استان گلستان، سد گلستان ۲ از طرح‌های عمرانی و کلان در استان گلستان هست که به‌منظور تأمین آب شرب، کشاورزی، کنترل سیلاب و تولید انرژی الکتریکی احداث شده‌اند. این سد به علت کاربردهای متعددی که دارد، می‌تواند هم به‌عنوان فرصت‌هایی برای توسعه منطقه‌ای و هم به‌عنوان عوامل مخرب بر محیط‌زیست نگریسته شود. در عکس شماره ۸ از شکل ۷ به‌وضوح مشخص است که تغییرات کاهش پوشش گیاهی در پی احداث این سد رخ داده است که شامل جنبه‌های مانند زیرآب رفتن مناطق جنگلی و مرتعی، کاهش تنوع بیولوژیک، تأثیر بر پوشش گیاهی رودخانه بالا و پایین‌دست و تغییرات اکوسیستمی می‌باشد.

مناطق شهری: در نواحی شهری مانند گنبدکاووس (عکس ۸)، گرگان (عکس ۱۰) و بندر ترکمن (عکس ۱۱) فضای سبز و پوشش گیاهی طبیعی منطقه با چالش‌هایی نظیر توسعه شهری و افزایش ساخت‌وساز، آلودگی و مدیریت آب روبه‌روست. با افزایش دما به‌ویژه در تابستان‌ها و کاهش رطوبت، استرس گرمایی بر گیاهان شهری و فضای سبز افزایش می‌یابد و سبب کاهش مساحت پوشش گیاهی شده است (شکل ۷ شماره ۸، ۱۰ و ۱۱).

با توجه به نتایج این پژوهش کاهش پوشش گیاهی در استان گلستان ناشی از دلایل متعددی می‌باشد که عوامل انسانی و طبیعی هر دو در آن نقش دارند. برای مقابله با این تغییرات پوشش گیاهی، لازم است استراتژی‌های جامعی مورد استفاده قرار گیرد که شامل حفاظت و بازآبایی اکوسیستم‌ها، توسعه یک دیدگاه جامع و مدیریتی چندوجهی همانند برنامه‌ریزی آمایش سرزمین، مدیریت و کنترل سیلاب‌ها، مدیریت پایدار جنگل‌ها، اعمال قوانین حفاظت از محیط‌زیست، آبیاری مؤثر و پایدار، مقابله با فرسایش خاک، توسعه زیرساخت‌های سبز، آموزش و افزایش آگاهی جامعه، تحقیقات و مطالعات مؤثر است. اجرای مؤثر این راهکارها با همکاری نهادهای دولتی، سازمان‌های بین‌المللی، سازمان‌های غیردولتی (NGOs)، کشاورزان و جوامع محلی امکان‌پذیر خواهد بود. تحقیقات تکمیلی شامل بررسی روند تغییرات عوامل اقلیمی اصلی تأثیرگذار بر فعالیت پوشش گیاهی و کشف ارتباط متغیرهای اقلیمی و پوشش گیاهی می‌تواند در جلوگیری از تخریب پوشش گیاهی و حفظ بوم سامانه منطقه مناسب برای انجام مدیریت بهینه عرصه و شناسایی مناطق بحرانی جهت حفاظت و احیا در برابر فرسایش خاک رواناب و معیشت و ... مؤثر خواهد بود.





۳

۴

۵

۶

۷

۸



شکل ۷. تصاویر از تاریخچه Google Earth در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۲۰ برای بیشترین هسته‌های کاهش پوشش گیاهی در استان گلستان

۴- نتیجه‌گیری کلی

در این پژوهش که باهدف بررسی روند تغییرات پوشش گیاهی در استان گلستان در طی دوره زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۰ انجام گرفت، از داده‌های سری زمانی ۱۶ NDVI روزه سنجنده MODIS با اندازه پیکسل ۲۵۰ متر استفاده شد. بر اساس نتایج این تحقیق حداقل ۵۰ درصد منطقه افزایش معنادار پوشش گیاهی را در ۲۰ سال اخیر تجربه نموده است؛ که این افزایش بیشتر در ارتفاعات و به‌ویژه در مناطق خارج از شهرها و جاده‌های استان رخ داده است. افزایش پوشش گیاهی در ارتفاعات می‌تواند با افزایش دمای ناشی از گرمایش جهانی مرتبط باشد که شرایط زیستی برای گیاهان در ارتفاعات مناسب شده باشد. روند کاهش معنی‌دار پوشش گیاهی در ۵ درصد از مساحت استان به وقوع پیوسته که این کاهش‌ها بیشتر در دشت‌ها و نوار ساحلی، ارتفاعات پایین و با شیب کم، حاشیه شهرها و جاده‌های منطقه مورد مطالعه مشاهده شد. در مناطق حاشیه‌ای جاده‌های کردکوی به استان غربی هم‌جوار، گرگان ساری، آزادشهر شاهرود، گرگان بجنورد و جاده مرزی اینچه برون نیز پوشش گیاهی در حال تخریب بوده که می‌تواند از عمده دلایل آن تغییرات کاربری و ساخت اماکن پرورش ماهی (شیلات) و شهرک‌های صنعتی باشد. به‌طور کلی در دهه‌های اخیر در استان گلستان بحران‌های مخرب انسانی مانند تخریب اراضی و تبدیل اراضی جنگلی و مرتعی به کشاورزی و خشک شدن چشمه‌های طبیعی در پی خشک‌سالی‌ها و وابستگی مردم محلی در بعضی مناطق به جنگل و مرتع موجب کاهش پوشش گیاهی شده است؛ اما در ارتفاعات برخلاف مساحت کمتر کاهش پوشش گیاهی نسبت به مناطق پایین‌دست، روند موجود نگران‌کننده بوده چراکه علاوه بر حضور جنگل‌های ارزشمند هیرکانی در ارتفاعات این استان و لزوم حفظ و حراست از آن ارتفاعات استان گلستان تأمین‌کننده منابع پایدار آب استان نیز می‌باشند. البته در منطقه مجاور به استان

گلستان و در مرکز جنگل های هیرکانی در استان مازندران، تاثیر فعاليت های انسانی شامل تغييرات کاربری اراضي و حذف پوشش گیاهی به نفع توسعه گردشگری و ویلاسازی ها در مناطق پایین دست و بالادست استان توسط نادى و همکاران (۱۴۰۳) نیز نشان داده شده است. نتایج این تحقیق نشان داد با حرکت از شرق به غرب استان از مناطق بدون روند کاسته شده و مناطق دارای روند افزایش معنادار پوشش گیاهی افزوده می شود. به عبارتی ارتفاعات غربی استان بیشترین افزایش پوشش گیاهی را در ۲۰ سال گذشته تجربه نموده اند که البته کوه های بخش غربی استان ارتفاعات بالاتری نسبت به شرق استان داشته و شرایط رطوبتی بهتری را تجربه می کنند اما علت عدم رشد معنادار پوشش گیاهی در ارتفاعات شرقی استان ممکن است به دلیل وقوع دماهای بالاتر و بارش کمتر نسبت به ارتفاعات بلند بخش های غربی و همچنین گرادیان مثبت دمایی از غرب به شرق استان باشد که البته اظهار نظر دقیق در این زمینه نیازمند بررسی تحلیل روند نقشه های دما و بارش است.

۵- سپاس گذاری

این تحقیق از محل هسته دانشجویی پژوهش محور توسط دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری حمایت شده و بدین وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهشی این دانشگاه تشکر و قدردانی می گردد.

۶- منابع

- Abbasnezhad Alchin, A. & Darvishsefat, A.A, ۲۰۲۳, 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, ۳۰ (۱), ۱۲۵-۱۴۰. [10.22069/JWFST.2023.20755.1991](https://doi.org/10.22069/JWFST.2023.20755.1991).
- Abdi, O., Shirvani, Z. & Buchroithner, MF., ۲۰۱۸, Spatiotemporal drought evaluation of Hyrcanian deciduous forests and semi-steppe rangelands using moderate resolution imaging spectroradiometer time series in Northeast Iran, Land Degrad Dev, ۲۹, P. ۲۵۲۵-۲۵۴۱. <https://doi.org/10.1002/ldr.3025>.
- Abdolalizadeh, Z., Ebrahimi, A., & Mostafazadeh, R., ۲۰۱۹, Landscape pattern change in Marakan protected area, Iran, Reg Environ Change ۱۹, P. ۱۶۸۳-۱۶۹۹. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01504-9>.
- Afzali Kurd, M., Parsa & Behzadi, S. ۲۰۲۳. Investigating vegetation changes and NDVI index in the south of Golestan province using satellite images, the third national conference on protection and protection of forests and pastures in Iran, Tehran
- Colditz, R.R., Ressler, R.A., & Bonilla-Moheno, M., ۲۰۱۵, Trends in ۱۵-year MODIS NDVI time series for Mexico. In *8th International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images (MultiTemp)*. Jul. ۲۲-۲۴ Annecy, France, P. ۱-۴. <https://doi.org/10.1109/Multi-Temp.2015.7245766>.
- Dastigerdi, M, Nadi, M, Raeini Sarjaz, M. & Kiapasha, Kh. ۲۰۲۲. Vegetation trend analysis using NDVI time series of Modis satellite in the northeast of Iran. Journal of Water and Soil Conservation, ۲۹ (۱), ۱۳۵-۱۵۰. [doi: 10.22069/jwsc.2022.20208.3554](https://doi.org/10.22069/jwsc.2022.20208.3554).
- Dastigerdi, M., Nadi, M., Sarjaz, M. R., & Kiapasha, K. ۲۰۲۴. Trend analysis of MODIS NDVI time series and its relationship to temperature and precipitation in Northeastern of Iran. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196(۴), ۳۴۶.
- De Jong, R., de Bruin, S., de Wit, A., Schaepman, M.E., & Dent, D.L., ۲۰۱۱, Analysis of monotonic greening and browning trends from global NDVI time-series. *Remote Sensing of Environment*, ۱۱۵(۲): ۶۹۲-۷۰۲. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2010.10.011>.
- Dubovyk, O., Landmann, T., Erasmus, B.F.N.; Tewes, A. & Schellberg, J., ۲۰۱۵, Monitoring Vegetation Dynamics with Medium Resolution MODIS-EVI Time Series at Sub-Regional Scale in Southern Africa. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf*, ۳۸, P. ۱۷۵-۱۸۳. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2015.01.002>.

- Fan, X., Gao, P., Tian, B., Wu, C., & Mu, X., ۲۰۲۳, Spatio-Temporal Patterns of NDVI and Its Influencing Factors Based on the ESTARFM in the Loess Plateau of China, *Remote Sensing*, ۱۵(۱۰), ۲۵۵۳. <https://doi.org/10.3390/rs10102003>.
- Guan, Q., Yang, L., Pan, N., Lin, J., Xu, C., Wang, F., & Liu, Z. ۲۰۱۸. Greening and browning of the Hexi Corridor in Northwest China: Spatial patterns and responses to climatic variability and anthropogenic drivers. *J. Remote Sensing*, ۱۰: ۸. ۱۲۷۰-۱۲۹۰. <https://doi.org/10.3390/rs10081270>.
- Gutiérrez-Girón, A., Díaz-Pinés, E., Rubio, A., & Gavilán, R. G., ۲۰۱۵, Both altitude and vegetation affect temperature sensitivity of soil organic matter decomposition in Mediterranean high mountain soils. *Geoderma*, 237, P. ۱-۸. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.08.005>.
- Hashemi Dareh Badami, S, Nouraeisefat, I, Karimi. S. & Nazari, S. ۲۰۱۵. Development trend analysis of urban heat island regarding land use/cover changes using time series of landSat images. *RS & GIS Techniques in Natural Resources*, ۶(۳) ۱۵-۲۸.
- Jafari S.M., Zarre S. & Alavipanah S.K., ۲۰۱۳, Woody species diversity and forest structure from lowland to montane forest in Hyrcanian forest ecoregion. *Journal of Mountain Science*, ۱۰, P ۶۰۹-۶۲۰. <https://doi.org/10.1007/s11629-013-2602-2>.
- Kalbi S., Fallah A. & Shataee SH., ۲۰۱۴, Estimation of forest attributes in the Hyrcanian forests, comparison of advanced space-borne thermal emission and reflection radiometer and satellite pour l'observation de la terre-high resolution grounding data by multiple linear, and classification and regression tree regression models. *Journal of Applied Remote Sensing*, ۸: ۰۸۳۶۳۲. <https://doi.org/10.1117/1.JRS.8.083632>.
- KC, A., & Ghimire, A., ۲۰۱۵, High-altitude plants in era of climate change: a case of Nepal Himalayas. *Climate change impacts on high-altitude ecosystems*, P. ۱۷۷-۱۸۷. https://doi.org/10.1007/978-3-319-12809-7_6.
- Kendall, M. G. ۱۹۴۸. Rank Correlation Methods. New York, NY: Oxford University Press.
- Keybondori, S., Abdi, E., Deljouei, A., Lázaro-Lobo, A., Ervin, G. N., Shakeri, Z. & Borz, S. A. ۲۰۲۳, Effect of forest roadside on vegetation characteristics in the Hyrcanian temperate forest. *European Journal of Forest Research*, ۱۴۲(۲), ۴۵۵-۴۷۳. <https://doi.org/10.1007/s10342-023-01030-2>.
- Kiapasha, K., Darvishsefat, A.A., Zargham, N., Attarod, P., Nadi, M., & Schaepman, M. ۲۰۱۷a, Greening trend in the Hyrcanian forests using NOAA NADVI time series during ۱۹۸۱-۲۰۱۲. *Forest and Wood Products*, ۷۰ (۳), P. ۴۰۹-۴۲۰. <https://doi.org/10.22099/jfw.2017.206833,748>.
- Kiapasha, K., Darvishsefat, A. A., Julien, Y., Sobrino, J. A., Zargham, N., Attarod, P., & Schaepman, M. E, ۲۰۱۷, Trends in phenological parameters and relationship between land surface phenology and climate data in the Hyrcanian Forests of Iran. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, ۱۰(۱۱), ۴۹۶۱-۴۹۷۰. [doi: 10.1109/JSTARS.2017.2737938](https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2737938).
- Karimi, A., Abdollahi, S., Ostad-Ali-Askari, K., Eslamian, S., & Singh, V. P. ۲۰۲۱. Predicting fire hazard areas using vegetation indexes, case study: Forests of Golestan Province, Iran. *Journal of Geography and Cartography*, 4(۱), ۱-۶.
- Kim, J.Y., Rastogi, G., Do, Y.; Kim, D.-K., Muduli, P.R., Samal, R.N., Pattnaik, A.K. & Joo, G. ۲۰۱۵, Trends in a Satellite-Derived Vegetation Index and Environmental Variables in a Restored Brackish Lagoon. *Glob Ecol. Conserv.* ۴, P. ۶۱۴-۶۲۴. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2015.10.010>.
- Liu, J., Wei, L., Zheng, Z., & Du, J, ۲۰۲۳, Vegetation cover change and its response to climate extremes in the Yellow River Basin. *Science of The Total Environment*, ۹۰۵, ۱۶۷۳۶۶. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167366>.

- Luo, L., Ma, W., Zhuang, Y., Zhang, Y., Yi, S., Xu, J. & Zhang, Z., ۲۰۱۸, The impacts of climate change and human activities on alpine vegetation and permafrost in the Qinghai-Tibet Engineering Corridor. *Ecological Indicators*, ۹۳, P.۲۴-۳۵. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.۲۰۱۸.۰۴.۰۶۷>.
- Mann, H.B., ۱۹۴۵, Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, ۱۳, P.۲۴۵-۲۵۹.
- Masihpour, M. Darvishsefat, A.A. & Rahmani, R. ۲۰۱۹. Long-term trend analysis of vegetation changes using MODIS-NDVI time series during ۲۰۰۰-۲۰۱۷ (Case study: Kurdistan province). *Forest and Wood Products*, ۷۲(۳), ۲۰۴-۱۹۳. <https://doi.org/10.۲۲۰۵۹/jfw.۲۰۱۹.۲۷۷۹۴۴.۹۹۵>.
- Mehrani, A. Riazi, B. Mirbagheri, S. A. & Khorasani, N. ۲۰۲۱. Monitoring of vegetation changes in Golestan province and a collection of international wetlands (Alma Gol, Alagol and Aji Gol) and the reasons are based on a two-time analysis of NDVI. <https://doi.org/10.۳۰۴۹۵/iper.۲۰۲۲.۶۷۹۵۰>.
- Miles, V.V. & Esau, I. ۲۰۱۶. Spatial heterogeneity of greening and browning between and within bioclimatic zones in northern West Siberia. *J. Environmental Research Letters*. ۱۱: ۱۱. ۱۱۵۰۰۲. [doi:10.1088/1748-9326/11/11/115002](https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/11/115002).
- Mirahsani M, Salman Mahiny A, Soffianian A, Moddares R, Jafari R. & Mohammadi J. ۲۰۱۸. Evaluation of Vegetation Supply Water Index through Time-Series Images of MODIS Products in Drought Monitoring over Gavkhuni Basin. *Iranian Journal of Applied Ecology*; ۶ (۴): ۳۱-۴۷. [doi: 10.۲۹۲۵۲/ijae.۶.۴.۳۱](https://doi.org/10.۲۹۲۵۲/ijae.۶.۴.۳۱).
- Nadi, M. Dastigerdi, M. Shamgani Mashhadi, B. Hatamipour, M & Mahdavi Amrei, O. ۲۰۲۴. Analysis of Vegetation Trend in Mazandaran Province with Emphasis on Land Use Changes Using MODIS NDVI Time Series. *Journal of Watershed Management Research*. ۱۵(۳۰): ۲۱۲-۲۲۵.
- Naqinezhad A. & Zarezadeh S., ۲۰۱۳, A contribution to flora, life form and chorology of plants in Noor and Sisangan lowland forests. *Journal of Taxonomy and Biosistematics*, ۴: ۳۱-۴۴.
- Pan, N., Feng, X., Fu, B., Wang, S., Ji, F. & Pan, S. ۲۰۱۸, Increasing global vegetation browning hidden in overall vegetation greening: Insights from time-varying trends. *Remote Sensing of Environment*, ۲۱۴, ۵۹-۷۲. <https://doi.org/10.1016/j.rse.۲۰۱۸.۰۵.۰۱۸>.
- Sagheb-Talebi K., Sajedi T. & Pourhashemi M. ۲۰۱۴, Forests of Iran: A Treasure from the Past, a Hope for the Future, ۱۰: ۳۹-۱۵۱.
- Shamsipour, A.A. & Rodger Safari, V. ۲۰۲۰. Investigating the consequences of climate change with a focus on spatial analysis of drought severity in Golestan province with statistical indicators and remote sensing. *Climate Change Research*, 1 (۳), ۶۵-۷۶.
- Talebi, K. S., Sajedi, T., & Pourhashemi, M., ۲۰۱۴, Forests of Iran. A treasure from the past, a hope for the future, ۱۰.
- Wang, J.; Xie, Y.; Wang, X.; Dong, J. & Bie, Q. ۲۰۱۹, Detecting Patterns of Vegetation Gradual Changes (۲۰۰۱-۲۰۱۷) in Shiyang River Basin, *Based on a Novel Framework. Remote Sens.* ۱۱, ۲۴۷۵. <https://doi.org/10.۳۳۹۰/rs۱۱۲۱۲۴۷۵>.
- Willis, K.S., ۲۰۱۵, Remote sensing change detection for ecological monitoring in United States protected areas. *Biological Conservation* ۱۸۲, P.۲۳۳-۲۴۲. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.۲۰۱۴.۱۲.۰۰۶>.
- Wu, D., Wu, H., Zhao, X., Zhou, T., Tang, B., Zhao, W., & Jia, K., ۲۰۱۴, Evaluation of Spatiotemporal Variations of Global Fractional Vegetation Cover Based on GIMMS NDVI Data from ۱۹۸۲ to ۲۰۱۱. *Remote Sensing*, ۶(۵), P. ۴۲۱۷-۴۲۳۹. <https://doi.org/10.۳۳۹۰/rs۶۰۵۴۲۱۷>.
- Yin, T., Zhai, Y., Zhang, Y., Yang, W., Dong, J., Liu, X. & Wang, R. ۲۰۲۳. Impacts of climate change and human activities on vegetation coverage variation in mountainous and hilly areas in Central South of

Shandong Province based on tree-ring. *Frontiers in Plant Science*, ۱۴, ۱۱۵۸۲۲۱.
<https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1158221>.

نسخه پیش انتشار