

Research Paper

## Feasibility of automating the determination of changes in forest areas using satellite images (Case Study: Central Alborz protected area)

Amir Satari Rad<sup>1</sup>, Behzad Rayegani<sup>\*2</sup>, Ali Jahani<sup>2</sup>, Hamid Goshtasb Meigooni<sup>3</sup>

1. Natural Resources Engineering, Environmental Sciences, landuse assessment and remote sensing, College of Environment, Karaj, Iran
2. Faculty of Assessment and Environment Risks Department, Research Center of Environment and Sustainable Development, Tehran, Iran
3. Department of Natural Environment and Biodiversity, Faculty of Environment, Karaj, Iran

### Keywords

Remote Sensing,  
Deforestation, MODIS  
Sensor, NDVI Index,  
Google Earth System

### ABSTRACT

Deforestation is a major global environmental challenge, impacting forests' ecosystems and climate regulation. Northern Iran's forests, rich in plant species, are valuable. Detecting forest changes using multi-temporal data can prevent further destruction. This research aims to identify thresholds for NDVI vegetation index images in MODIS sensors.

The research focused on the Central Alborz protected area, a vast area with over 398 thousand hectares of rich vegetation and over 1100 plant species. The study used MODIS sensor images, NDVI, and MCD12C1 products to analyze vegetation, convert them to monthly images, and apply the PCA algorithm to eliminate errors. The study also checked vegetation homogeneity, forest thresholds, and changes in vegetation using MCD12C1 images and Boolean operations. The findings were validated using Google Earth.

By applying PCA to the images, the amount of noise was reduced to the optimal level while maintaining the original information of the images. The results of investigating the homogeneity of the vegetation in 5 sample areas showed that they are homogeneous in three levels and are deciduous broadleaf forests. The results obtained from calculating the standard deviation and monthly average of forest values indicate that the months of June, July, and August are most suitable for assessing changes in the forest cover within the study area. The threshold for these months was obtained as 8596.55, 8000 and 8497.51 respectively. By applying these thresholds to the images captured in these three months in 2001 and 2016, and then subtracting the images from each other, the pixels that experienced a decrease in forest value were identified. Finally, after performing the Boolean operation, 200 pixels with an approximate area of 1728.23 hectares were identified as changed points with a decrease in forest cover. Upon checking, the overall accuracy for the determined points was found to be 88.5%. Hence, the application of these thresholds enables the automatic detection of changes in forest cover areas in an up-to-date and continuous manner.

In general, the Central Alborz protected area is one of the important forest centers of the country, and according to the results, we have lost a significant number of forests during the 16 years due to various reasons. Also, the results of this research indicate the importance of using automation methods in identifying forest cover changes by applying certain thresholds on the NDVI index images of the Modis sensor in remote sensing.

\*Corresponding Author.

Email Addresses: [behzad.rayegani@gmail.com](mailto:behzad.rayegani@gmail.com)

To cite this article:

Satari Rad, A., Rayegani, B., Jahani, A., & Goshtasb Meigooni, H. (2024). Feasibility of automating the determination of changes in forest areas using satellite images (Case Study: Central Alborz protected area). *Human Ecology*, 2(4), -.



Doi: [10.22034/el.2024.450145.1022](https://doi.org/10.22034/el.2024.450145.1022)



## امکان‌سنجی خودکارسازی تعیین تغییرات مناطق جنگلی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: منطقه حفاظت‌شده البرز مرکزی)

امیر ستاری راد<sup>۱</sup>، بهزاد رایگانی<sup>۲</sup>، علی جهانی<sup>۳</sup>، حمید گشتاسب میگونی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> مهندسی منابع طبیعی علوم محیط زیست، ارزیابی سرزمین و سنجش از دور، دانشگاه محیط زیست، کرج، ایران

<sup>۲</sup> گروه ارزیابی و مخاطرات محیط زیست، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، تهران، ایران

<sup>۳</sup> گروه محیط زیست طبیعی و تنوع زیستی، دانشکده محیط زیست، کرج، ایران.

### چکیده

جنگل‌زدایی یکی از چالش‌های بزرگ زیست‌محیطی جهانی است که بر اکوسیستم‌های جنگلی و تنظیم اقلیم تأثیر می‌گذارد. جنگل‌های شمال ایران، که غنی از گونه‌های گیاهی هستند، دارای ارزش زیادی می‌باشند. شناسایی تغییرات جنگل با استفاده از داده‌های چندزمانه می‌تواند از تخریب بیشتر جلوگیری کند. هدف اصلی این تحقیق شناسایی آستانه‌ها و اعمال آن‌ها بر روی تصاویر شاخص تفاوت گیاهی نرمال شده (NDVI) در سنجنده مودیس و پایش خودکار مناطق جنگلی است.

این تحقیق بر منطقه حفاظت‌شده البرز مرکزی متمرکز بود، منطقه‌ای وسیع با بیش از ۳۹۸ هزار هکتار پوشش گیاهی غنی و بیش از ۱۱۰۰ گونه گیاهی. این مطالعه از تصاویر سنسور MODIS، شاخص NDVI و محصولات MCD12C1 برای تجزیه و تحلیل پوشش گیاهی استفاده کرد و آنها را به تصاویر ماهانه تبدیل نمود. همچنین از الگوریتم PCA برای حذف خطاها استفاده شد. علاوه بر این، همگنی پوشش گیاهی، آستانه‌های جنگلی و تغییرات پوشش گیاهی با استفاده از تصاویر MCD12C1 و عملیات بولی بررسی شدند. نتایج این تحقیق با استفاده از Google Earth اعتبارسنجی گردید. با اعمال PCA روی تصاویر به همراه حفظ اطلاعات اصلی، میزان خطا تا حد مطلوب کاهش یافت. نتایج بررسی همگنی پوشش گیاهی در ۵ منطقه نمونه نشان داد که در سه لایه طبقه‌بندی، همگن بوده و از طبقه جنگل‌های پهن‌برگ خزان‌کننده هستند. نتایج محاسبات انحراف معیار و میانگین ماهانه ارزش جنگل حاکی از آن است که ماه‌های جون، جولای و اوت (۱۱ خرداد الی ۹ شهریور) برای بررسی تغییرات پوشش جنگلی منطقه مورد مطالعه مناسب هستند. آستانه برای این ماه‌ها به ترتیب برابر با ۸۵۹۶/۵۵، ۸۰۰۰ و ۸۴۹۷/۵۱ به دست آمد. با اعمال آستانه‌ها بر روی تصاویر در این سه ماه در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۶ و کسر این تصاویر از یکدیگر، پیکسل‌هایی که ارزش جنگلی خود را ازدست‌داده بودند، مشخص شدند. در نهایت، پس از انجام عملیات بولین، ۲۰۰ پیکسل با مساحت تقریبی ۱۷۲۸/۲۳ هکتار به‌عنوان نقاط تغییر یافته با کاهش پوشش جنگلی شناسایی شد. پس از بررسی، دقت کلی برای نقاط تعیین‌شده برابر با ۸۸/۵ درصد بود. بنابراین با اعمال آستانه‌های تعیین‌شده، امکان تشخیص خودکار تغییرات در عرصه‌های پوشش جنگلی به‌صورت به‌روز و مستمر فراهم است.

به‌طور کلی منطقه حفاظت‌شده البرز مرکزی یکی از مراکز مهم جنگلی کشور است و بر اساس نتایج به‌دست‌آمده طی ۱۶ سال به دلایل مختلف، مقدار قابل توجهی از جنگل‌ها دچار تخریب شده یا ازدست‌رفته است. همچنین نتایج این تحقیق حاکی از اهمیت استفاده از روش‌های خودکار در شناسایی تغییرات پوشش جنگلی با اعمال آستانه‌های معین بر روی تصاویر شاخص NDVI سنجنده مودیس در سنجش‌از‌دور است.

### واژگان کلیدی

سنجش‌از‌دور، جنگل‌زدایی،  
سنجنده مودیس، شاخص  
NDVI، گوگل ارث

## ۱. مقدمه

در حال حاضر، شدت، گستره و اثرات استفاده بشر از منابع طبیعی در طول تاریخ بی‌سابقه است (Ellis et al., 2021). بوم‌سازگان‌ها در سراسر جهان و در مقیاس‌های زمانی و مکانی متفاوت در چند دهه اخیر به دلیل تعامل محیط طبیعی و فعالیت‌های انسان به شدت تغییر کرده‌اند (Winkler et al., 2021; Gholamalifard et al., 2013). امروزه، جنگل‌زدایی گسترده به یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های محیط زیستی جهان تبدیل شده است (Pradhan., 2017). این در حالی است که پوشش گیاهی، نقش کلیدی در تعدیل آب‌وهوای جهانی و تنظیم چرخه‌های مختلف بیوشیمیایی مانند آب و کربن دارد (Ferchichi et al., 2022; Bao et al., 2016). در حال حاضر، وسعت جنگل‌ها در سطح کره زمین تنها برابر با ۴۰ میلیون کیلومتر مربع است که از میان این جنگل‌های باقی‌مانده، حدود ۸۲ درصد از آن‌ها تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی قرار گرفته‌اند (Potapov et al., 2017) و با گسترش ردپای انسان در این نواحی، جنگل‌های دست‌نخورده و بکر به سرعت در حال کاهش است (Venter et al., 2016).

جنگل‌های شمال ایران از بارزترین اکوسیستم‌های جنگلی کشور هست و به لحاظ تنوع گونه‌های گیاهی جزو جنگل‌های غنی محسوب می‌شوند (Amiri et al., 2009). کشورهای در حال توسعه همچون ایران با بحران‌های محیط‌زیستی ناشی از تخریب شدید منابع طبیعی که پیامدهای آن در سطح ملی و فراملی است، مواجه هستند. همچنین در اکثر مناطق روستایی ایران به‌ویژه در روستاهای با مناطق جنگلی، زندگی روستاییان به جنگل و منابع طبیعی وابسته است (Ghorbani et al., 2012). بنابراین پایش این مناطق امری مهم و حیاتی است و لازم است از ابزارهایی ممکن در این خصوص استفاده کنیم.

در این زمینه می‌توان از سنجش‌ازدور، برای به‌دست‌آوردن لایه‌های اطلاعاتی از پوشش گیاهی استفاده کرد (Rayegani & Goshtasb, 2019). در طی چند دهه گذشته، تصاویر چندزمانه ماهواره‌ای به دلیل در اختیار گذاشتن متغیرهای کلیدی مرتبط با پوشش گیاهی در یک دوره زمانی طولانی و مقیاس مکانی بزرگ (Rhif et al., 2022)، به یک منبع مهم اطلاعاتی برای نظارت بر پویایی پوشش گیاهی (Rayegani et al., 2019; Rayegani et al., 2018) و پیش‌بینی تغییرات و اجرای تدابیر لازم (Sharifi et al., 2013) تبدیل شده است. در عین حال، مقایسه‌های دو یا چند زمانی ممکن است نتوانند نقاط عطف مهم در پویایی سامانه بوم‌سازگان را به‌خوبی نشان دهند (Rebelo et al., 2018)، اما تحلیل سری‌های زمانی با استفاده از مسیرهای زمانی ارزش‌های پیکسل تصاویر، مشاهده جامعی از تغییرات را ارائه می‌دهد. این تحلیل از داده‌های موجود در درازمدت برای محاسبه معیارهای مختلف به‌منظور کمی‌سازی تغییرات سطح استفاده می‌کند (Hostert et al., 2015). از همین رو، اطلاعات حاصل از تحلیل داده‌های سری‌های زمانی، در شناسایی تغییرات از گذشته تا به حال، امری مفید و کارآمد است (Wang et al., 2016). شاخص تفاوت گیاهی نرمال شده NDVI که به‌عنوان یک شاخص اثبات‌شده در تصاویر ماهواره‌ای است که به‌عنوان جایگزینی برای زیست‌توده، میزان و سلامت پوشش گیاهی استفاده می‌شود (Guan et al., 2019; Garcia et al., 2022) و می‌تواند تغییرات تدریجی در درازمدت را به‌خوبی نشان دهد (Rayegani et al., 2011). در بین تمام پروژه‌های رصد زمین، محصولات حاصل از تابش سنج طیفی تصویربرداری با قدرت تفکیک متوسط (سنجده مودیس) به‌عنوان کارآمدترین محصول برای توسعه سری‌های زمانی بلندمدت تغییرات پوشش گیاهی هستند (Ahl et al., 2006). سری‌های زمانی جمع‌آوری‌شده توسط سنجده مودیس ابزاری را جهت نظارت بر سامانه بوم‌سازگان جنگل‌ها (Li et al., 2021; Moon et al., 2021)، کشاورزی (Choudhary et al., 2019)، خشک‌سالی (Klisch & Atzberger, 2016) و طبقه‌بندی گونه‌های گیاهی ارائه می‌دهد. به‌طوری‌که امکان تشخیص دقیق زمانی تغییرات در پوشش گیاهی و سطح را فراهم می‌کند (Tian et al., 2013; Woodcock et al., 2020).

با گذر زمان، افزایش دانش و پیشرفت فناوری، روش‌های شناسایی تغییرات در جنگل‌ها می‌بایست در گستره‌های مکانی و توالی‌های زمانی مختلف بهبود پیدا کنند (Kennedy et al., 2007). دو هدف برای بهبود این روش‌ها مطرح است. اول، این روش‌ها باید بتوانند در توالی‌های زمانی بالا این تغییرات را تشخیص دهند که مجموعه داده‌های بلندمدت سنجده مودیس از سطح زمین، این امکان را فراهم می‌کند. دوم، روش‌های تشخیص تغییرات باید به سمت خودکارسازی پیش بروند. از همین رو نیاز به شناسایی آستانه‌ها برای آشکارسازی

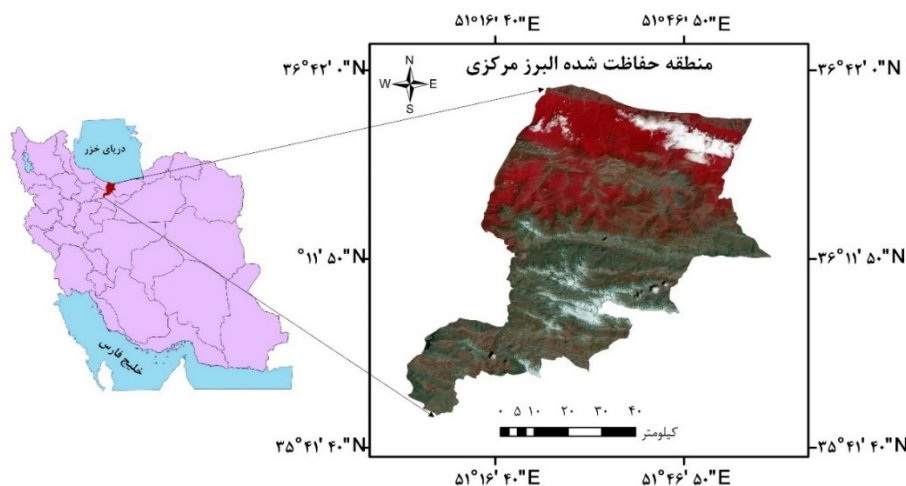
تغییرات به صورت خودکار داریم (Coppin *et al.*, 2004). از طرفی دیگر، شناسایی خودکار پوشش گیاهی، امکانات جدیدی را برای مدل سازی ساختار پوشش گیاهی (از جمله تعریف ویژگی های بیومتریک و زیست توده و غیره) فراهم می کند (Szostak, 2020). در تحقیقی انجام شده توسط Barka و همکاران (۲۰۱۹) با عنوان «کاربرد شاخص NDVI مبتنی بر MODIS برای پایش جنگل و کاربردهای فصلی آن در اروپای مرکزی» با اعمال تابع لجستیک مضاعف روی داده ها، معیارهای فنولوژی را محاسبه کردند و همراه با عوامل توپوگرافی ارتفاع و عرض جغرافیایی، به بررسی رابطه بین پویایی جنگل و شاخص NDVI پرداختند. نتایج آن ها حاکی از وجود بیشترین همبستگی مثبت بین عرض حلقه سالیانه درختان و شاخص NDVI از ۱۲ جولای تا ۱۲ اوت و همبستگی مثبت کمتر برای ماه مارس و آوریل است که نقطه عطفی در مطالعه سلامت جنگل و شناسایی تغییرات به شمار می رود.

چاکرابورتی و همکاران (۲۰۱۸) در پژوهشی، الگوی مکانی روند کاهشی در سبزیگی فصلی جنگل های هند را برای تمام انواع جنگل های این کشور بررسی کردند. این مطالعه با استفاده از داده های سری زمانی تصاویر مرکب ۸ روزه NDVI (با وضوح فضایی ۵۰۰ متر) سنجنده مودیس در بازه زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ انجام شد. تجزیه و تحلیل ها با تمرکز بر تغییرات منفی در هسته های جنگلی و شناسایی نقاط داغ آن ها در مناطق حفاظت شده بزرگ جنگلی صورت گرفت. یافته های این پژوهش می تواند در اولویت بندی انواع جنگل ها و مناطق حفاظت شده برای برنامه های حفاظت از تنوع زیستی و مقابله با تغییرات اقلیمی راهگشا باشد.

هدف اصلی این تحقیق، تعیین و شناسایی آستانه ها و اعمال آن ها بر روی تصاویر شاخص پوشش گیاهی NDVI در سنجنده مودیس و پایش خودکار و به روز نواحی با پوشش جنگلی می باشد. بنابراین داده های سنجنش دور در دستیابی به اهداف ما یعنی شناسایی تغییرات در مناطق جنگلی به صورت خودکار در منطقه مورد مطالعه کمک فراوانی می کند. همچنین شناسایی خودکار تغییرات به ما در بهبود سطح حفاظتی و نظارت پویا و متوالی بر منطقه کمک می کند، به گونه ای که با شناسایی خودکار و به روز نقاط تغییر یافته می توان به جلوگیری از روند تخریب و افزایش سطح حفاظتی در آن نواحی پرداخت.

## ۲. منطقه مورد مطالعه

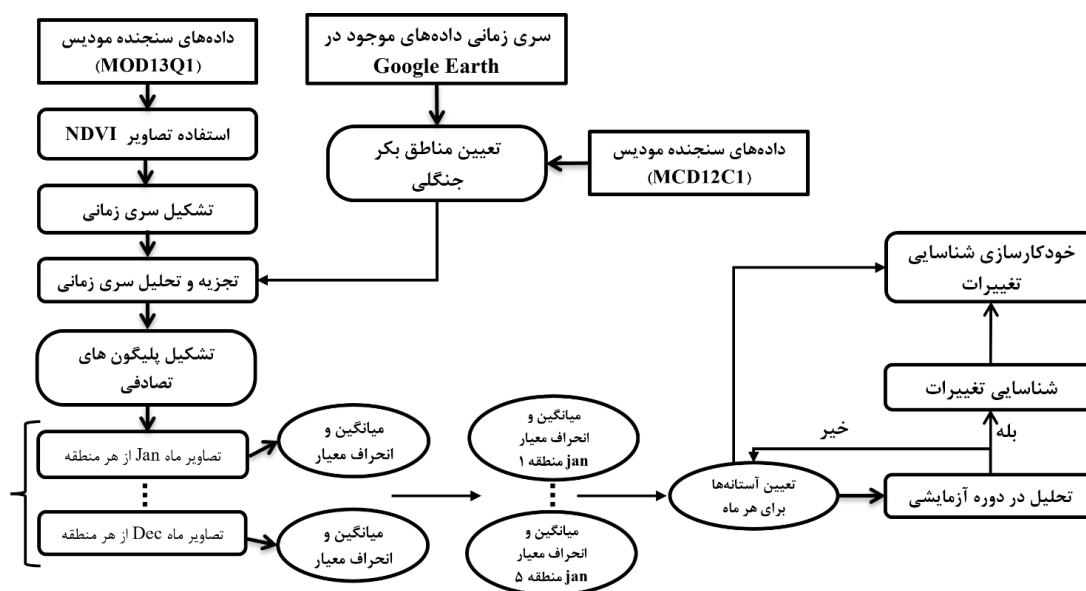
منطقه حفاظت شده البرز مرکزی با ۳۹۸۸۲۶ هکتار در محدوده شمالی ایران (شکل ۱)، میان ۳ استان البرز، تهران و مازندران قرار دارد. این منطقه در بین طول های جغرافیایی ۵۱ درجه و ۲ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۱ دقیقه شرقی و عرض های جغرافیایی ۲۵ درجه و ۴۷ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۰ دقیقه شمالی، واقع شده است (Darvishsefat, 2007). از نظر پوشش گیاهی یکی از ذخیره گاه های ژنتیکی مهم ایران محسوب می شود. شمار گونه های گیاهی این منطقه حدود ۱۱۰۰ گونه از ۵۷ خانواده می باشد (Hassani and Bastenegar., 2015).



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه حفاظت شده البرز مرکزی در شمال ایران

## ۲-۲. روش کار

در این تحقیق، از محصول MOD13Q1 سنجنده مودیس و شاخص تفاوت گیاهی نرمال شده (NDVI) با تفکیک مکانی ۲۵۰ متر استفاده شد. این شاخص در مقایسه با شاخص‌های دیگر آثار تغییرات بازتاب پس‌زمینه در مناطق با سطح پوشش گیاهی بالا به‌خصوص نواحی جنگلی را به‌خوبی نشان می‌دهد (Dallimer *et al.*, 2011). در طی دوره ۱۶ ساله از منطقه مورد مطالعه در مجموع ۳۶۸ تصویر از شاخص NDVI با قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روزه یافت شد. به‌منظور به حداقل رساندن تأثیرات اتمسفر، زاویه تابش خورشید و ابرها از روش حداکثر ارزش ترکیبی (MCV)، با، در بازه‌های زمانی استفاده شد (Zewdie *et al.*, 2017). بنابراین با انتخاب بیشترین ارزش از بین دو پیکسل در دو تصویر ۱۶ روزه، یک پیکسل در تصویر ماهانه (۳۰ روزه) شکل گرفت. به همین ترتیب، تعداد تصاویر از ۳۶۸ به ۱۹۲ تصویر، کاهش یافت. با استفاده از تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) با ۲۵ مؤلفه جهت برطرف‌سازی خطاهای باندی استفاده شد. همچنین به‌منظور بررسی همگنی پوشش گیاهی از تصاویر محصول MCD12C1 سنجنده مودیس با تفکیک مکانی ۵۶۰۰ متر و تفکیک زمانی یک‌ساله در سه لایه با طرح‌های طبقه‌بندی برنامه بین‌المللی ژئوسفر - بیوسفر (IGBP)، دانشگاه مریلند (UMD) و طرح مشتق شده مودیس (LAI) استفاده شد (شکل ۲).

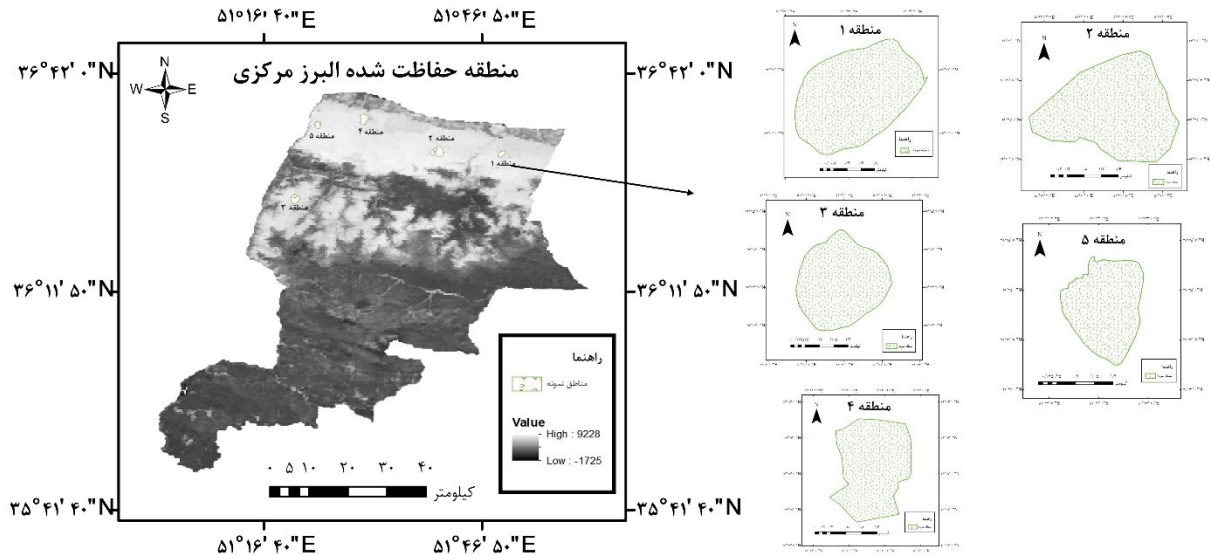


شکل ۲. روش تحقیق

با استفاده از سامانه گوگل ارث و قابلیت سری زمانی آن، همراه با تفسیر چشمی، ۵ ناحیه جنگلی تقریباً بکر و دست‌نخورده از منطقه مورد مطالعه در طی دوره ۱۶ ساله (شکل ۳) به‌صورت تصادفی انتخاب شد. در مجموع ۳۴۰ پیکسل به‌عنوان نمونه از کل منطقه شناسایی (جدول ۱) و با کمک تصاویر MCD12C1، نوع پوشش گیاهی این مناطق جهت بررسی همگنی، استفاده شد.

جدول ۱. شمار پیکسل‌های مناطق منتخب جنگلی

| منطقه ۱ | منطقه ۲ | منطقه ۳ | منطقه ۴ | منطقه ۵ | مجموع پیکسل‌ها |
|---------|---------|---------|---------|---------|----------------|
| ۳۳      | ۸۸      | ۵۹      | ۳۰      | ۱۰۳     | ۳۴۰            |



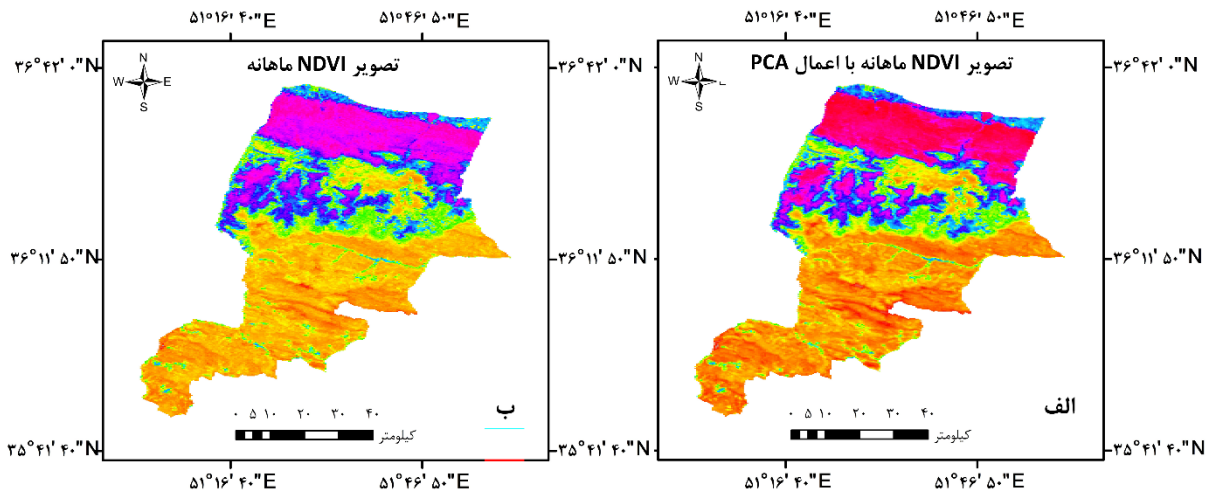
شکل ۳. نقشه محل قرارگیری مناطق نمونه منتخب در منطقه حفاظت شده البرز مرکزی

تصویر ماهانه برای هر ۵ منطقه نمونه، در طی دوره ۱۶ ساله جدا و برآورد میانگین و انحراف معیار هر پیکسل از تصاویر همراه در طی این دوره برای این مناطق محاسبه شد. در نهایت از میانگین و انحراف معیار تصاویر همراه از ۵ منطقه نمونه یک میانگین گرفته شد. بنابراین با استفاده از محاسبه میانگین و انحراف معیار میزان پراکندگی داده‌های غیرمعمول نیز به دست آمد. به طوری که تقریباً ۹۵ درصد داده‌ها بین  $\pm 2$  انحراف معیار و ۹۹ درصد داده‌ها بین  $\pm 3$  انحراف معیار قرار دارد و در نتیجه آستانه‌های مناطق جنگلی برای همراه به دست آمد (Nejad et al., 2018). با آزمون و خطای، بهترین ضریب انحراف معیار تعیین و از میانگین کل کسر شد. در نتیجه عدد آستانه همراه به دست آمد. از سه ماه‌رویشی که دارای کمترین انحراف معیار و بیشترین ارزش هستند به عنوان شاخص برای شناسایی پوشش جنگلی تعیین استفاده شد.

آستانه‌های حاصل بر روی تصاویر ماهانه در سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۶ در کل منطقه حفاظت شده البرز مرکزی اعمال شد. با کسر تصاویر سال ۲۰۰۱ از ۲۰۱۶ نواحی تغییر یافته با از دست دهی یا تخریب پوشش جنگلی تعیین شد. به علت احتمال وجود خطا در تصاویر، تصویر حاصل هر سه ماه با استفاده از عملیات بولین و عملگرهای or و and روی هم قرار گرفتند و مناطق جنگلی که در طی ۱۶ سال دچار تخریب یا تغییر کاربری شده‌اند، شناسایی و مشخص شدند. در واقع عملگر and موقعیتی را نشان می‌دهد که هر دو پیکسل نمایانگر ارزش جنگل هستند و عملگر or نمایانگر موقعیتی است که حداقل یکی از دو پیکسل ارزش جنگل را نشان دهد. پس از صحت‌سنجی نقاط تغییر یافته با استفاده از سامانه گوگل ارث و تعیین آستانه‌ها برای پوشش جنگلی و اعمال آن‌ها، بر روی مجموعه داده‌های NDVI محصول MOD13Q1 سنجنده مودیس، امکان شناسایی خودکار این تغییرات به صورت مداوم و به روز فراهم شد.

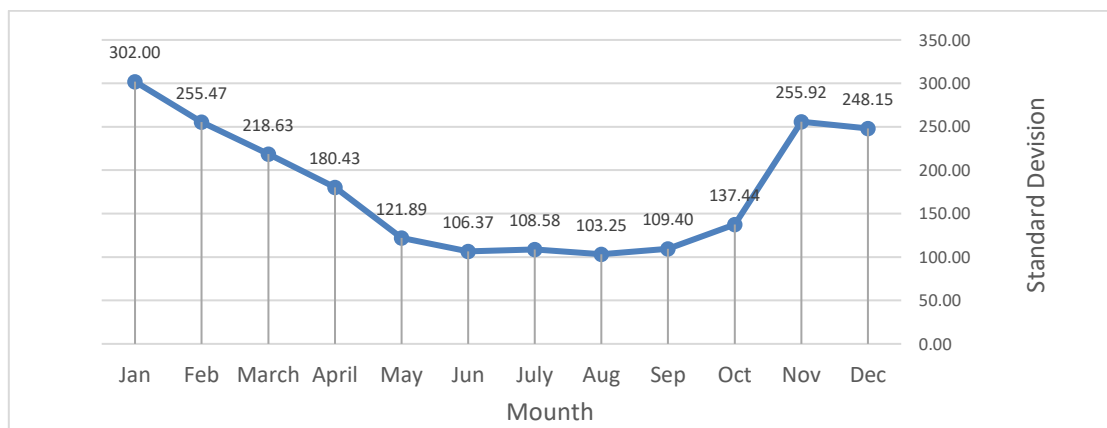
### ۳. یافته‌های پژوهش

با اعمال آنالیز PCA با ۲۵ مؤلفه روی تصاویر ماهانه NDVI آن خطای باندی تصاویر تا حد مطلوبی حذف و اطلاعات اصلی حفظ شد. شکل ۴، تصویر (الف) اعمال آنالیز PCA روی شاخص NDVI و تصویر (ب) شاخص NDVI را قبل از اعمال آنالیز را نشان می‌دهد.

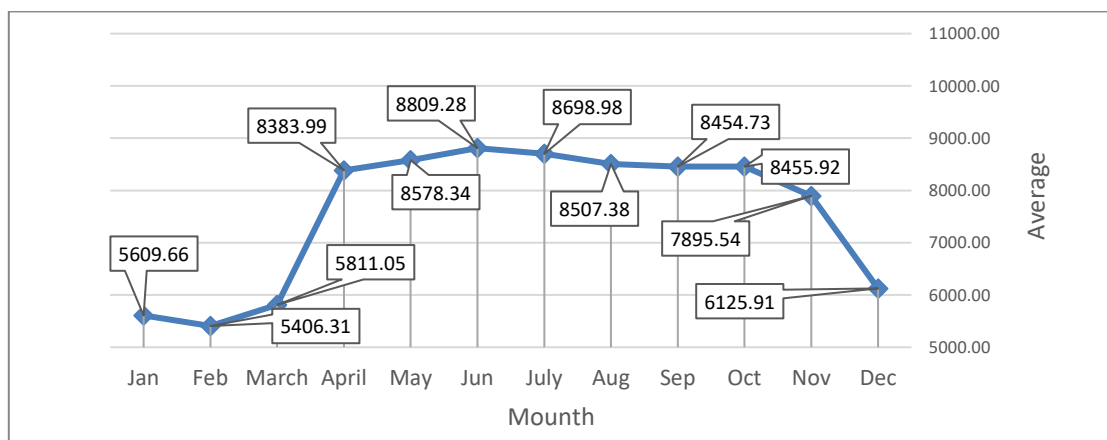


شکل ۴. الف) شاخص NDVI ماهانه با اعمال آنالیز PCA و ب) شاخص NDVI ماهانه بدون اعمال آنالیز PCA

نتایج حاصل از بررسی همگنی پوشش گیاهی ۵ منطقه نمونه نشان داد، در هر سه لایه محصول MCD12C1، همگن بوده و از نوع جنگل‌های پهن‌برگ خزان‌کننده می‌باشند. بر اساس نمودار شکل ۵ و ۶، کمترین انحراف معیار میانگین ماهانه و بیشترین میانگین ماهانه ارزش جنگل مناطق نمونه، متعلق به ماه‌های میلادی جون، جولای و اوت (۱۱ خرداد الی ۹ شهریور) است. از همین رو، تصاویر ماهانه این سه ماه جهت بررسی تغییرات پوشش جنگل در منطقه حفاظت‌شده البرز مرکزی استفاده شد.



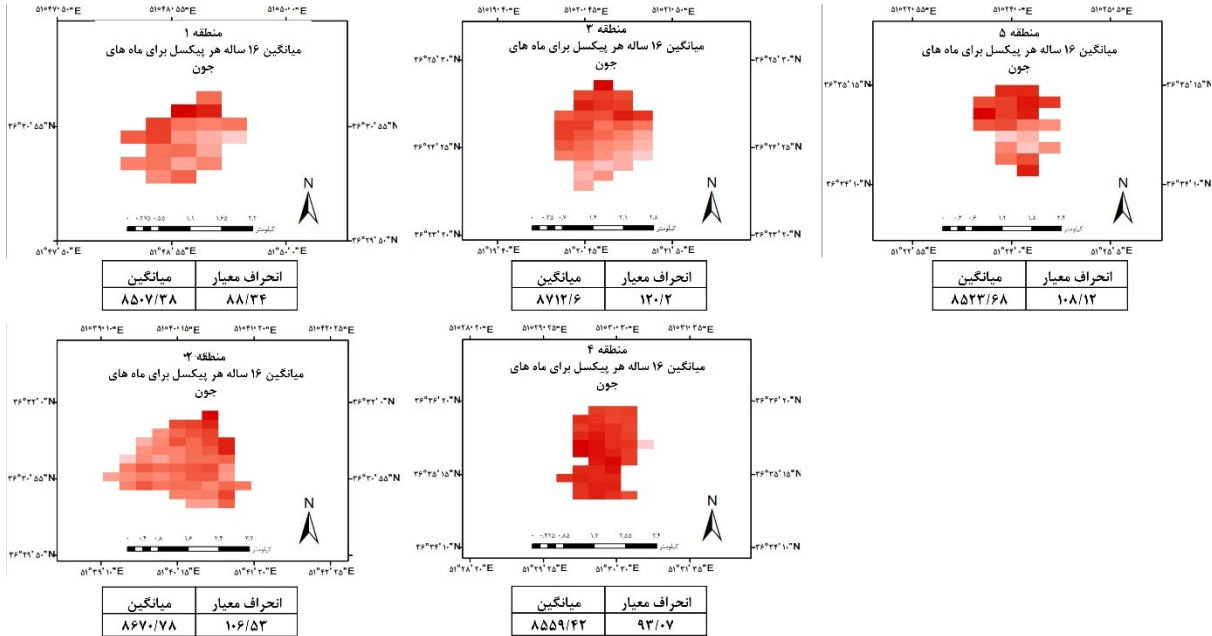
شکل ۵. انحراف معیار میانگین ماهانه مناطق نمونه



شکل ۶. میانگین ماهانه ارزش جنگل مناطق نمونه

### تعیین آستانه ماه ژوئن

نتایج نشان می‌دهد در ماه ژوئن (۱۱ خرداد الی ۹ تیر) میانگین ارزش روشنایی جنگل‌ها در این ماه به‌طور تقریبی بین ۸۸۴۲ - ۸۷۷۳ می‌باشد (شکل ۷) و پس از آزمون خطا با کسر ۲ برابر انحراف معیار از میانگین کل، بهترین آستانه شناسایی پوشش جنگل مقدار ۸۵۹۶/۵۵ به دست آمد (جدول ۲)



شکل ۷. تصویر میانگین ماه ژوئن برای منطقه نمونه در طی دوره ۱۶ ساله (۲۰۰۱-۲۰۱۶)

جدول ۲. آستانه، میانگین و انحراف میانگین ماه جون در دوره ۱۶ ساله

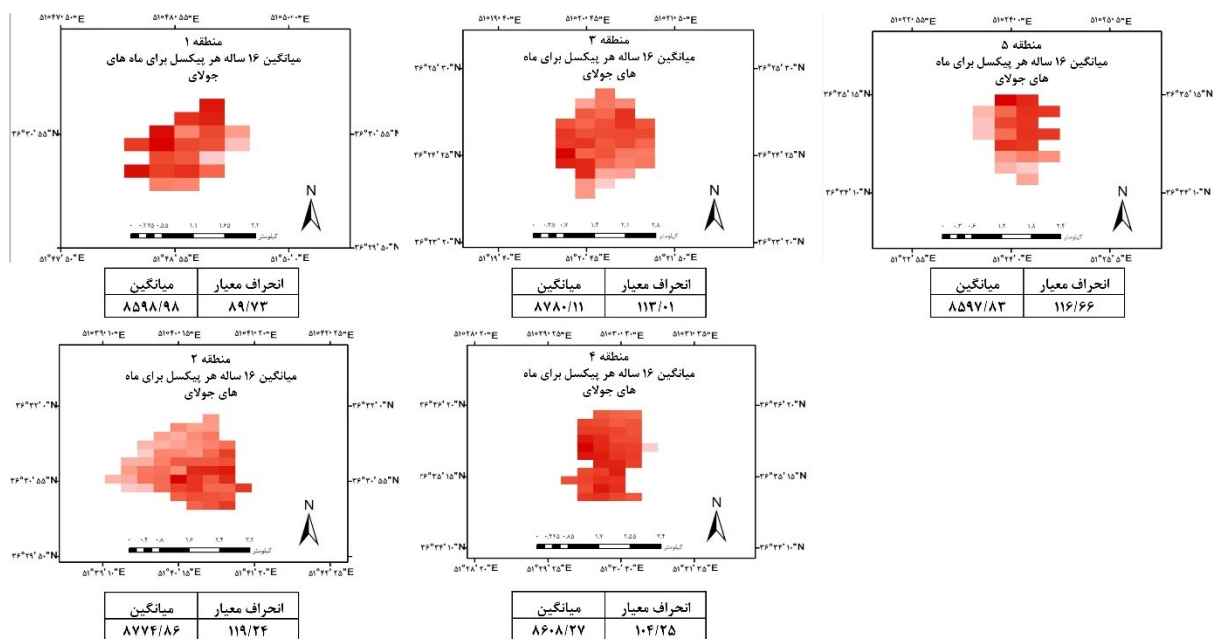
| ژوئن       |                 |                   |                                |
|------------|-----------------|-------------------|--------------------------------|
| میانگین کل | انحراف معیار کل | ضریب انحراف معیار | ضریب انحراف معیار - میانگین کل |
| ۸۸۰۹/۲۷۷   | ۱۰۶/۳۶۵۳        | ۲ SD              | *۸۵۹۶/۵۵                       |

مقدار آستانه\*

### تعیین آستانه ماه جولای

نتایج نشان می‌دهد در ماه جولای (۱۰ تیر الی ۹ مرداد) میانگین ارزش روشنایی جنگل‌ها در این ماه به‌طور تقریبی بین ۸۷۷۹ - ۸۵۹۷ می‌باشد (شکل ۸) و پس از آزمون خطای با کسر ۴ برابر انحراف معیار از میانگین کل، بهترین آستانه شناسایی پوشش جنگل مقدار ۸۰۰۰ دست آمد (جدول ۳).

## امکان‌سنجی خودکارسازی تعیین تغییرات مناطق جنگلی... (رایگانی و همکاران)



شکل ۸. تصویر میانگین ماه جولای برای ۵ منطقه نمونه در طی دوره ۱۶ ساله (۲۰۰۱-۲۰۱۶)

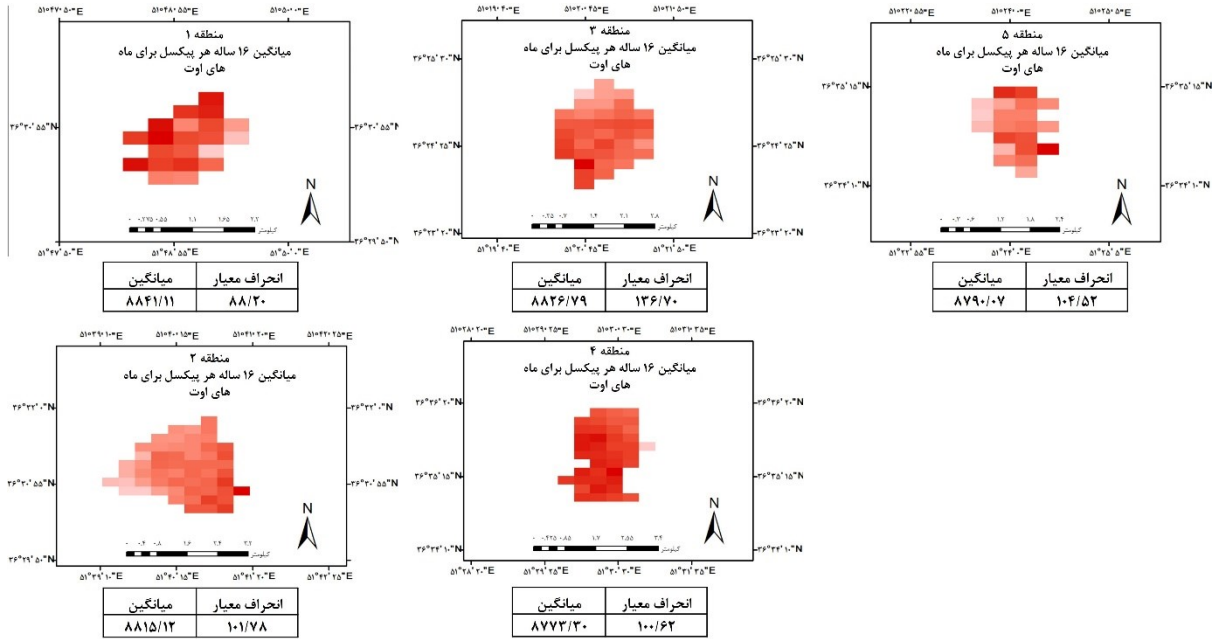
جدول ۳. آستانه، میانگین و انحراف میانگین ماه جون در دوره ۱۶ ساله

| جولای                          |                   |                 |            |
|--------------------------------|-------------------|-----------------|------------|
| ضریب انحراف معیار - میانگین کل | ضریب انحراف معیار | انحراف معیار کل | میانگین کل |
| *۸۰۰۰                          | ۴SD               | ۱۰۸/۵۷۷۳        | ۸۶۷۲/۰۰۹   |

مقدار آستانه\*

### تعیین آستانه ماه اوت

طبق نتایج حاصله در ماه اوت (۱۰ مرداد الی ۹ شهریور)، میانگین ارزش روشنایی جنگل‌ها در این ماه به‌طور تقریبی بین ۸۵۰۶ - ۸۷۱۳ می‌باشد (شکل ۹) و پس از آزمون خطای با کسر ۵/برابر انحراف معیار از میانگین کل، بهترین آستانه شناسایی پوشش جنگل مقدار ۸۴۹۱/۵۱ دست آمد (جدول ۴).



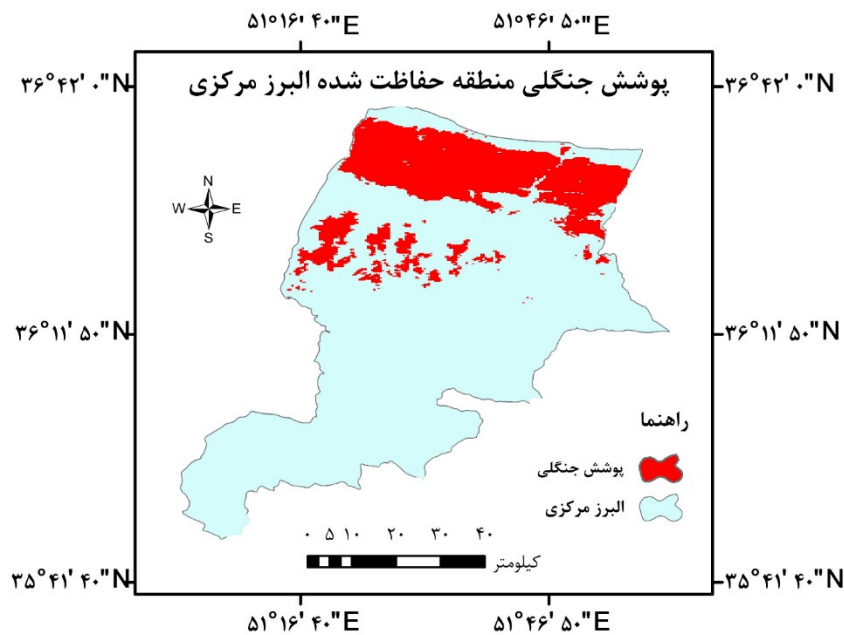
شکل ۹. تصویر میانگین ماه اوت برای ۵ منطقه نمونه در طی دوره ۱۶ ساله (۲۰۰۱-۲۰۱۶)

جدول ۴. آستانه، میانگین و انحراف میانگین ماه اوت در دوره ۱۶ ساله

| اوت                            |                   |                 |            |
|--------------------------------|-------------------|-----------------|------------|
| ضریب انحراف معیار - میانگین کل | ضریب انحراف معیار | انحراف معیار کل | میانگین کل |
| *۸۴۹۱/۵۱                       | ۱SD               | ۱۰۳/۲۵          | ۸۵۹۴/۷۸    |

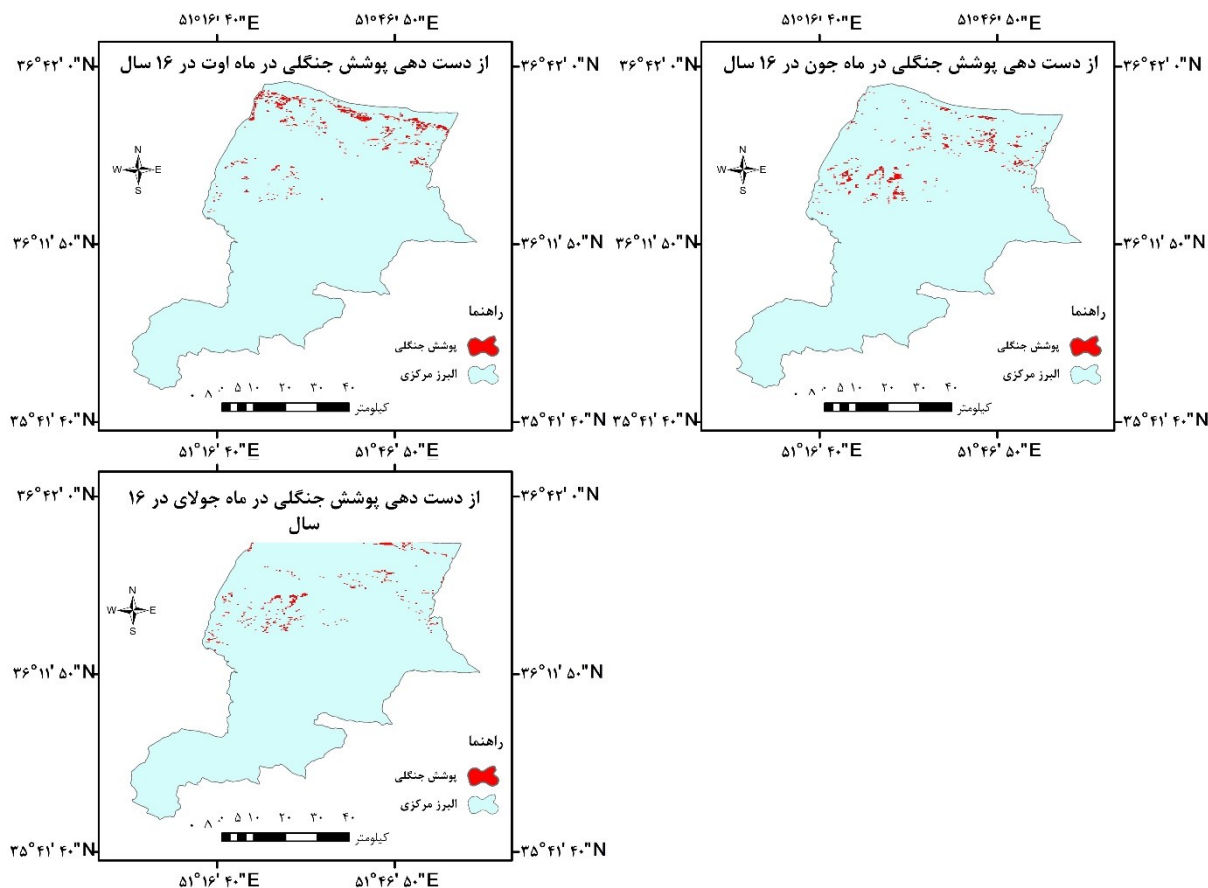
مقدار آستانه\*

با اعمال آستانه‌ها بر روی تصاویر منطقه حفاظت‌شده البرز مرکزی در این سه ماه در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۶ پوشش جنگلی منطقه جدا شد و مانند شکل (۱۰) پیکسل‌های حاوی پوشش جنگلی ارزش ۱ و باقی پیکسل‌ها ارزش صفر گرفتند.



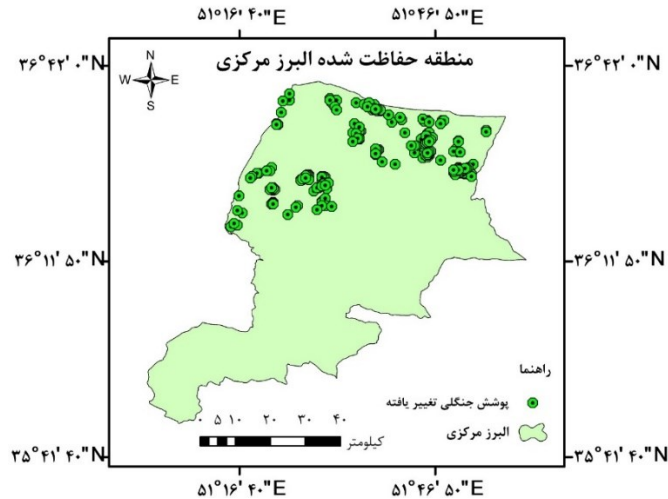
شکل ۱۰. شناسایی پوشش جنگلی با اعمال آستانه‌ها بر روی تصاویر NDVI

با کسر تصاویر سال ۲۰۰۱ از تصاویر سال ۲۰۱۶، پیکسل‌هایی که ارزش پوشش جنگلی خود را از دست داده‌اند مقدار ۱ داده شد. نتایج تفاضل تصاویر ماه‌های جون، جولای و اوت (شکل ۱۱) به ترتیب حاکی از کاهش میزان سطح پوشش جنگل به میزان ۶۲۰۶/۴، ۵۳۷۵ و ۷۴۸۶/۳۵ هکتار می‌باشد.



شکل ۱۱. نقاط تغییر یافته با از دست دهی پوشش جنگلی در سه ماه مختلف در طول ۱۶ سال (۲۰۰۱ - ۲۰۱۶)

در نهایت با انجام عملیات بولین با عملگر or و and به منظور برطرف‌سازی خطاهای ممکن، ۲۰۰ پیکسل با مساحت تقریبی ۱۷۲۸/۲۳ هکتار به‌عنوان نقاط تغییر یافته با از دست دهی یا تخریب پوشش جنگلی شناسایی شدند (شکل ۱۲). به‌منظور اعتبارسنجی، این نقاط در سامانه گوگل ارث مورد بررسی قرار گرفتند که پس از بررسی، صحت کلی برای نقاط برابر با ۸۸/۵ به دست آمد. از همین رو با اعمال آستانه‌های تعیین‌شده به‌واسطه روش‌های مذکور، امکان آشکارسازی خودکار تغییرات در نواحی پوشش جنگلی، به‌صورت به‌روز و مداوم فراهم شد.



شکل ۱۲. نقشه نقاط پوشش جنگلی تخریب شده در منطقه حفاظت شده البرز مرکزی

#### ۴. بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه از شاخص NDVI محصول MOD13Q1 سنجنده مودیس برای بررسی تغییرات پوشش جنگلی استفاده شده است. مطالعات اخیر به علت اهمیت بسیار بالای شاخص NDVI در پایش و تعیین سلامت پوشش گیاهی (Huang *et al.*, 2020) از این شاخص برای بررسی تغییرات سطح جنگل‌ها استفاده کرده‌اند (Abbasnezhad and Darvishsefat., 2023; Maroufzade and Attarod., 2021; Kiapasha *et al.*, 2017). همچنین در برخی از مطالعات (Novo-Fernández *et al.*, 2018; Olokeoguna *et al.*, 2014) از تصاویر ماهواره لندست با تفکیک مکانی ۳۰ متر جهت پایش تغییرات جنگل استفاده کرده‌اند. این در حالی است از سال ۲۰۰۳ تا سال ۲۰۰۸ تصاویر لندست دچار مشکل شده و نزدیک به ۳۰ درصد داده‌هایشان را از دست داده‌اند و باعث ایجاد وجود خطا در تصاویر شده‌اند که همین امر مانع ایجاد یک سری زمانی کامل در منطقه می‌شود. از طرفی تصاویر محصول MOD13Q1 سنجنده مودیس ماهواره ترا، با قدرت تفکیک زمانی ۱۶ روزه امکان تهیه یک سری زمانی از سال ۲۰۰۱ را فراهم می‌کند که در دسترس است و قابلیت و میزان خطا در نتایج را به واسطه تغییرات کوتاه مدت و ابر گرفتگی‌ها را به حداقل می‌رساند (De Jong *et al.*, 2013). با توجه به نتایج این مطالعه، میزان انحراف معیار بارزش پوشش جنگلی در تصاویر NDVI رابطه معکوس دارد. از همین رو با کاهش میزان ارزش‌ها مقدار انحراف معیار افزایش پیدا می‌کند و به تناسب آن میزان خطا در تعیین آستانه‌ها نیز افزایش می‌یابد. بنابراین از تصاویر NDVI ماه‌های اوت، جون و جولای که کمترین مقدار انحراف معیار و بیشترین ارزش جنگل را داشتند جهت تعیین آستانه‌ها استفاده شد که با نتایج مطالعات Barka و همکاران (۲۰۱۹) و Cano و همکارانش (۲۰۱۷) مطابقت دارد. در این تحقیق به منظور خودکار سازی پایش جنگل از روش شناسایی آستانه‌ها روی تصاویر شاخص NDVI استفاده شد که نیازمند آزمون خطا است. در عین حال، در برخی از مطالعات از الگوریتم‌های BFAST (shiravand *et al.*, 2020)، رگرسیون خطی (Amarnath *et al.*, 2017) و دیگر الگوریتم‌های یادگیری ماشین (Tariq *et al.*, 2023) برای بررسی سطح تغییرات پوشش جنگل استفاده شده است که هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. در عین حال، استفاده از الگوریتم‌های هوش مصنوعی در تعیین آستانه‌ها می‌تواند به نقطه قوتی برای افزایش دقت در پایش تغییرات به صورت خودکار تبدیل شود. همچنین با توجه به تفاضل تصاویر سال ۲۰۰۱ و ۲۰۱۶ از یکدیگر، نتایج حاکی از کاهش قابل توجه سطوح جنگل در منطقه حفاظت شده البرز مرکزی می‌باشد که با نتایج جوانمیری پور و همکاران (۲۰۲۰) در پایش تغییرات حوزه جنگلی ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ در منطقه البرز مرکزی تطابق دارد. به طور کلی، با توجه به کاهش قابل توجهی که در پوشش جنگلی منطقه حفاظت شده البرز مرکزی در طی دوره ۱۶ ساله مشاهده شد، استفاده از مدل شناسایی خودکار تغییرات در سطوح جنگل امری ضروری است. زیرا امکانات لازم جهت پایش به روز و کامل جنگل‌ها را در اختیار مدیران و تصمیم‌گیران در سطح ملی جهت جلوگیری از جنگل زدایی قرار می‌دهد. چراکه به واسطه روش‌های خودکار سازی و مجموعه داده‌های با قدرت تفکیک طیفی و زمانی بالای تصاویر شاخص NDVI سنجنده مودیس، شناسایی به روز و مداوم تغییرات در نواحی جنگلی در هر زمان و هر سطحی امکان پذیر می‌شود.

## ۵. فهرست منابع

1. Abbasnezhad Alchin, A., & Darvishsefat, A. A. 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) (in Persian).
2. Ahl, D.E., Gower, S.T., Burrows, S.N., Shabanov, N.V., Myneni, R.B., Knyazikhin, Y. 2006. Monitoring spring canopy phenology of a deciduous broadleaf forest using MODIS. *Remote Sens. Environ*, 104: 88–95.
3. Alonso, Laura., Rodríguez, Andrés., Picos, Juan ., Armesto, Julia., 2022. Challenges in automatic forest change reporting through land cover mapping. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 96(2): 155–169.
4. Amarnath, G., Babar, S., & Murthy, M. S. R. 2017. Evaluating MODIS-vegetation continuous field products to assess tree cover change and forest fragmentation in India – A multi-scale satellite remote sensing approach. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science* 20 (2), 157–168.
5. Amiri, Mojtaba., D., Dargahi., Habashi, Hashem., D., Azadfar., Nikanm, Solaymani. 2009. Comparison of regeneration density and species diversity in managed and natural stands of Loveh Oak Forest. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 15: 37-48 (in Persian).
6. Bao, Nisha ; Wu, L. & Liu, Shan-jun & Li, Na. 2016. Scale parameter optimization through high-resolution imagery to support mine rehabilitated vegetation classification. *Ecological Engineering*, 97: 130-137.
7. Barka, I., Bucha, T., Molnár, T., Móricz, N., Somogyi, Z., & Koreň, M., 2019. Suitability of MODIS-based NDVI index for forest monitoring and its seasonal applications in Central Europe. *Central European Forestry Journal*, 65(3-4), 206–217.
8. Cano, Emmanuelle., Denux, Jean-Philippe., Bisquert, Mar., Hubert-Moy, Laurence., Chéret, Véronique. 2017. Improved forest-cover mapping based on MODIS time series and landscape stratification. *International Journal of Remote Sensing*, 38(7): 1865-1888.
9. Chakraborty, Abhishek., Seshasai, M.V.R., Reddy, C. Sudhakar., Dadhwal, V.K. 2018. Persistent negative changes in seasonal greenness over different forest types of India using MODIS time series NDVI data (2001–2014). *Ecological Indicators*, 85: 887-903.
10. Choudhary, K., Shi, W., Boori, M.S., Corgne, S. 2019. Agriculture Phenology Monitoring Using NDVI Time Series Based on Remote Sensing Satellites: A Case Study of Guangdong, China. *Optical Memory and Neural Networks*, 28: 204–214.
11. Coppin, P., Jonckheere, I., Nackaerts, K., Muys, B., & Lambin, E. 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 25, 1565–1596.
12. Dallimer, M., Tang, Z., Bibby, P.R., Brindley, P., Gaston, K.J., Davies, Z.G. 2011. Temporal changes in greenspace in a highly urbanized region. *Biology Letters*, 7: 763–766.
13. Darvishsefat, A. A. 2007. *Atlas of protected area of Iran*. Department of the Environment Press, Tehran (in Persian).
14. Ellis, E. C., Gauthier, N., Klein Goldewijk, K., Bliege Bird, R., Boivin, N., Díaz, S., Fuller, D. Q., Gill, J. L., Kaplan, J. O., Kingston, N., Locke, H., McMichael, C. N. H., Ranco, D., Rick, T. C., Shaw, M. R., Stephens, L., Svenning, J.-C., & Watson, J. E. M. 2021. People have shaped most of terrestrial nature for at least 12,000 years. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118 (17).
15. Ferchichi, Aya ., Abbes, Ali ., Barra, Vincent ., Farah, Imed. 2022. Forecasting vegetation indices from spatio-temporal remotely sensed data using deep learning-based approaches: A systematic literature review. *Ecological Informatics*. 68.
16. Garcia, C.L., Teich, I., Gonzalez-Roglich, M., Kindgard, A.F., Ravelo, A.C., Liniger, H. 2019. Land degradation assessment in the Argentinean Puna: Comparing expert knowledge with satellite-derived information. *Environmental Science & Policy*, 91: 70–8.
17. Gholamalifard, M., Joorabian, S.S ., Hosseini, H.K., Mirzaei ,M. 2013. Land Cover Change Modeling of Coastal Areas of Mazandaran Province Using LCM in a GIS Environment. *Journal of Environmental Studies*, 38(4): 109-124 (in Persian).
18. Ghorbani, M., Azarnivand, H., Mehrabi, A., Bastani, S., Jafari, M., & Nayebi, H. 2012. Social network analysis: A new approach in policy-making and planning of natural resources co-management. *Journal of Range and Watershed Management*, 65(4):553-568 (in Persian).
19. Guan, Yanjun., Wang, Juan., Wei, Zhou., Bai, Zhongke., Cao, Yingui. 2022. Identification of land reclamation stages based on succession characteristics of rehabilitated vegetation in the Pingshuo opencast coal mine. *Journal of Environmental Management*, 305.

20. Hasani, A, and Bastenegar, M. 2015. Economic evaluation of natural tourism sites, a case study: Central Alborz protected area in Tehran province. *The first international strategic scientific conference on the development of tourism in the Islamic Republic of Iran, challenges and prospects (2015)*. Mashhad.
21. Hostert, Patrick., Griffiths, Patrick., van der Linden, Sebastian., Pflugmacher, Dirk., 2015. Time Series Analyses in a New Era of Optical Satellite Data. *Remote Sensing Time Series*, 25-41.
22. Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., & Shao, G. 2020. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32 (1) 1-6.
23. Javamiripour, M., Karami, J., Henareh Khalyani, J., Karimi, L., Niazifar, H, and Babakhani, N. 2020. Determining and identifying ecosystem uses and forecasting their changes in the forests of northern Iran (Case study: Dohezar and Shehazar Basin, Central Alborz Forest). *Scientific and Research Electronic Journals*. 11(2), 34.1-15 (in Persian).
24. John, Ranjeet., Chen, Jiquan., Lu, Nan., Guo, Ke., Liang, Cunzhu., Wei, Yafen., Noormets, Asko., Ma, Keping., Han, Xing-Guo. 2008. Predicting plant diversity based on remote sensing products in the semi-arid region of Inner Mongolia. *Remote Sensing of Environment*, 112:2018-2032
25. Jong, Rogier., Verbesselt, Jan., Zeileis, Achim., Schaepman, Michael., 2013. Shifts in Global Vegetation Activity Trends. *Remote Sensing*, 5: 1117-1133.
26. Kalpoma, K.; Rahman, A. 2021. *Web-based monitoring of boro rice production using improvised NDVI threshold of modis MOD13Q1 and MYD13Q1 images*. 2021 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium IGARSS, Brussels, Belgium, Brussels, Belgium, 6877-6880.
27. Kennedy, Robert., Cohen, Warren., Schroeder, Todd. 2007. Trajectory-based change detection for automated characterization of forest disturbance dynamics. *Remote Sensing of Environment*, 110: 370-386.
28. Kiapasha, K., Darvishsefat, A., Zargham, N., Attarod, P., Nadi, M., & Schaepman, M. 2017. Greening trend in the Hyrcanian forests using NOAA NADVI time series during 1981-2012. *Forest and Wood Products*, 70(3) (in Persian)..
29. Klisch, A., Atzberger, C. (2016) Operational Drought Monitoring in Kenya Using MODIS NDVI Time Series. *Remote Sensing*, 8.
30. Li, Xuejian., Du, Huaqiang., Zhou, Guomo., Mao, Fangjie., Zhang, Meng., Han, Ning., Fan, Weiliang., Liu, Hua., Huang, Zihao., He, Shaobai., Mei, Ting-Ting. 2021. Phenology estimation of subtropical bamboo forests based on assimilated MODIS LAI time series data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 173: 262-277.
31. Maroufzade, E., & Attarod, P. 2021. Are variations of forest vegetation consistent with trends of meteorological parameters in the northern Zagros region of Iran?. *Iranian Journal of Forest*, 12(4) (in Persian).
32. Moon, M., Seyednasrollah, B., Richardson, A.D., Friedl, M.A. 2021. Using time series of MODIS land surface phenology to model temperature and photoperiod controls on spring greenup in North American deciduous forests. *Remote Sensing of Environment*, 260.
33. Nejad, Meysam., Rayegani, Behzad., Jahani, Ali., Nezami, Bagher. 2018. Proposing an Early-Warning System for Optimal Management of Protected Areas (Case Study: Darmiyan Protected Area, Eastern Iran). *Journal for Nature Conservation*. 46: 79-88 (in Persian).
34. Novo-Fernández, A., Franks, S., Wehenkel, C., López-Serrano, P. M., Molinier, M., & López-Sánchez, C. A. 2018. Landsat time series analysis for temperate forest cover change detection in the Sierra Madre Occidental, Durango, Mexico. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73, 230-244.
35. Olokeoguna, O.S., Iyiolab, O.F., Iyiola, K. 2014. Application of remote sensing and GIS in land use/land cover mapping and change detection in Shasha forest reserve, Nigeria. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL (8): 613-616.
36. Potapov, P., Hansen, M. C., Laestadius, L., Turubanova, S., Yaroshenko, A., Thies, C., Smith, W., Zhuravleva, I., Komarova, A., Minnemeyer, S., & Esipova, E. 2017. The last frontiers of wilderness: Tracking loss of intact forest landscapes from 2000 to 2013. *Science Advances*, 3 (1).
37. Pradhan, P., Costa, L., Rybski, D., Lucht, W., Kropp, J.P. 2017. A systematic study of sustainable development goal (SDG) interactions. *Earth's Future*, 5: 1169-1179.
38. Rayegani B., Sharifi A., Barati S., Nasri M., Saati M. 2011. Comparison the accuracies of different spectral indices for estimation of vegetation cover fraction in sparse vegetated areas. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 14(1): 49-56 (in Persian).
39. Rayegani, B., Barati Gi, Susan., Meigooni, H., Sarkheil, H., Ramezani, J. 2019. An effective approach to selecting the appropriate pan-sharpening method in digital change detection of natural ecosystems. *Ecological Informatics*, 53 (in Persian).

40. Rayegani, B., Goshtasb, H. 2019. vegetation change detection using multi-temporal remotely sensed data during recent three decades by artificial intelligence technique (Case study: protected area of Bashgol). *Journal of Plant Ecosystem Conservation* , 7 (14): 253-274 (in Persian).
41. Rayegani, B., Jahani, A., Satari Rad, A., Shoghi, N. 2018. Predicting of Land Use Changes for 2030 Using Remote Sensing and Landsat Multi-Temporal Images (Case study: Mashhad). *Town and Country Planning*, 10(2): 249-269 (in Persian).
42. Rebelo, Lisa-Maria ., Finlayson, Max., Strauch, Adrian., Rosenqvist, Ake., Perennou, Christian., Tøttrup, Christian., Hilarides, Lammert., Paganini, Marc., Ballhorn, Uwe., Navratil, Peter., Davidson, Nick., Franke, Jonas. 2018. The use of Earth Observation for wetland inventory, assessment and monitoring: An information source for the Ramsar Convention on Wetlands. *Ramsar Technical Report No:10*. Gland, Switzerland: Ramsar Convention Secretariat.
43. Rhif, Manel & Abbes, Ali & Martinez, Beatriz & Jong, Rogier & Sang, Yanfang & Farah, Imed. 2022. Detection of trend and seasonal changes in non-stationary remote sensing data: Case study of Tunisia vegetation dynamics. *Ecological Informatics*, 69.
44. shiravand, H., Khaledi, S., Behzadi, S., & sanjabi, H. A. 2020. Monitoring and assessing the changes in the coverage and decline of oak forests in lorestan province using satellite images and bfast model. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 20 (57),265–280 (in Persian).
45. Szostak, Marta. 2020. Automated Land Cover Change Detection and Forest Succession Monitoring Using LiDAR Point Clouds and GIS Analyses. *Geosciences*, 10(8): 321.
46. Tariq, A., Jiango, Y., Li, Q., Gao, J., Lu, L., Soufan, W., Almutairi, K. F., & Habib-ur-Rahman, M. 2023. Modelling, mapping and monitoring of forest cover changes, using support vector machine, kernel logistic regression and naive bayes tree models with optical remote sensing data. *Heliyon*, 9 (2)
47. Tian, F., Wang, Y., Fensholt, R., Wang, K., Zhang, L., Huang, Y. 2013. Mapping and Evaluation of NDVI Trends from Synthetic Time Series Obtained by Blending Landsat and MODIS Data around a Coalfield on the Loess Plateau. *Remote Sensing* , 5(9): 4255-4279.
48. Vafaei, S., Maleknia, R., Naghavi, H., & Fathizadeh, O. 2022. Estimation of Forest Canopy Using Remote Sensing and Geostatistics (Case Study: Marivan Baghan Forests). *Journal of Environmental Science and Technology*, 24(1): 71-82 (in Persian).
49. Venter, O., Sanderson, E. W., Magrath, A., Allan, J. R., Beher, J., Jones, K. R., Possingham, H. P., Laurance, W. F., Wood, P., Fekete, B. M., Levy, M. A., & Watson, J. E. M. 2016. Sixteen years of change in the global terrestrial human footprint and implications for biodiversity conservation. *Nature Communications*. Vol. 7, Issue 1.
50. Wang, H., Q. Li., Z. Gao., B. Sun., X. Du. 2016. *Assessment of land degradation using time series trends analysis of vegetation indicators in Beijing-Tianjin dust and sandstorm source region*. 2014 IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium, Quebec City, QC, Canada, 753-756
51. Winkler, K., Fuchs, R., Rounsevell, M., & Herold, M. 2021. Global land use changes are four times greater than previously estimated. *Nature Communications*, 12 (1).
52. Woodcock, Curtis., Loveland, Thomas., Herold, Martin., Bauer, Marvin. 2019. Transitioning from change detection to monitoring with remote sensing: A paradigm shift. *Remote Sensing of Environment*, 238.
53. Zewdie, W., Csaplovics, E., & Inostroza, L. 2017. Monitoring ecosystem dynamics in northwestern Ethiopia using NDVI and climate variables to assess long term trends in dryland vegetation variability. *Applied geography*, 79, 167-178.