



## Journal of Environmental Research

Vol. 13, No. 26, Autumn & Winter 2023

Journal Homepage: [www.iraneiap.ir](http://www.iraneiap.ir)  
Print ISSN: 2008-9597 Online ISSN 2008-9590

### Comparison of the Performance of MODIS Sensors of Terra and Aqua Satellites in Monitoring the Trend of Snow Cover Changes in Tehran Province Using Time Series of Remotely Sensed Data

Document Type  
Research Paper

Received  
2021/12/15

Accepted  
2023/04/15

Armaghan Ardalani<sup>1</sup>, Behzad Rayegani<sup>2\*</sup>, Hamid Goshtasb<sup>3</sup>, Bagher Nezami<sup>4</sup>, Ali Jahani<sup>5</sup>

1 Senior Expert in Environmental Science and Engineering, Land-Use Assessment and Planning, Faculty of Environment, Karaj, Iran

2 Associate Professor, Department of Environmental Hazards and Assessment, Institute of Environment and Sustainable Development, Tehran, Iran

3 Associate Professor, Department of Natural Environment and Biodiversity, Faculty of Environment, Karaj, Iran

4 Associate Professor, Department of Biodiversity and Biosafety, Institute of Environment and Sustainable Development, Tehran, Iran

5 Associate Professor, Department of Environmental Hazards and Assessment, Institute of Environment and Sustainable Development, Tehran, Iran

DOI: 10.22034/eiap.2023.170005

#### Abstract

The study of snow cover changes, as one of the sources of water supply is very important. The purpose of this study is to investigate the trend of snow cover changes in Tehran province using MODIS sensor images of Terra satellite and Aqua satellite (since 2003) until the end of 2018 and compare the performance of MODIS sensor in these two satellites. The trend of snow cover satellite images changes was determined by ETM analyzer of TerrSET software, their significance was determined by non-parametric methods of Mann-Kendall significance test. Then, the satellite images were validated by analyzing the data trend of synoptic stations in Tehran province using regression methods. Also, the trend of snow cover changes obtained from Terra satellite was compared with the trend of snow cover changes obtained from Aqua satellite by Kappa index. And the time series of these two satellites were compared by the correlation coefficient of Linear Modeling analysis. According to the results, changes in total days with monthly, annual and seasonal snow cover (autumn and winter) have a significant decreasing trend in a scattered manner in most parts of Tehran province. Seasonal trend analysis (STA) showed a delay in the start of days with snow cover and its shift from late January to late March. The correlation coefficient of MODIS sensor time series between two satellites in most parts of Tehran province was 99% and showed high similarity. Validation results showed that the trend of snow cover satellite images changes is 85% similar to the trend of synoptic stations snow cover data changes in Tehran province.

**Keywords:** Time series analysis, Correlation coefficient, Kappa index, Mann- kendall, Synoptic station

\* Corresponding author

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

## Introduction

One of the important forms of precipitation in the hydrological cycle of mountainous regions is snow, which provides drinking and agricultural water resources in the form of delayed flows in high water seasons and minimal flows in low water seasons and plays a valuable role in energy production. Since ice and snow have a great power in reflecting the sunlight shining on their surface, they play an important role in order to prevent global warming. Global cooling is influential. To measure snow, data from synoptic snow measurement stations and satellite images are used. However, due to the limited number of meteorological stations and the point nature of their measurements, they are not a suitable representative for studying a continuous phenomenon such as snow (Borhani Darian et al., 2004). Also, field measurement and sampling of snow is not cost-effective due to its high cost and time-consuming nature. Compared to the above methods, remote sensing technology has a lower cost overall and has made the problem of accessing high places easy. Revealing and describing the process of changes over time is the first essential step in determining the driving forces and understanding the mechanism of changes (Niroumand and Bozorgnia, 1992). In this regard, research has been carried out, for example For example, we can refer to the investigation of changes in snow cover in Iran's snowy regions using the data of Modis sensor (Ebrahimi et al., 2012), the effect of climate change on the runoff caused by snow melting in the upstream of the Zayandehroud river using the daily and eight-day snow cover images of the MODIS sensor (Ahmadi et al., 2015), Analysis of snow cover changes from MODIS satellite image spectroscopy (Kinay and Masoudian, 2017). The results of the mentioned research showed that about 50% of the runoff in spring and summer is snow melting. With climate change and temperature increase, the snow level has decreased. The purpose of this article is to evaluate the trend of changes in satellite images of snow cover during 16 years and compare its results with the trends obtained from the data of synoptic stations.

## Methodology

Terra and Aqua satellite images were pre-processed separately, then monthly and annual snow images were obtained using the Earth Trend Modeler analyzer (Eastman, 2016). Using Mann-Kendall analysis, the trend of snow cover changes was obtained monthly and annually (Kendall, 1975). In addition, by using the STA analyzer, the trend of seasonal changes and displacement at the beginning of the days with snow cover was also determined. Moreover, the MODIS sensor was compared in Terra and Aqua satellites by Kappa index and correlation coefficient. In order to compare the trend of changes obtained from the images with the trend obtained from the data; the data of synoptic stations that had days with snow cover were obtained by regression analysis of their changes. The trend of changing of land surface temperature annually was taken by the ETM analyzer and Mann-Kendall test to determine the effect of the temperature trend on the snow cover trend.

## Results and Discussion

Based on the results, changes in the total number of days with monthly, annual and seasonal snow cover have had a significant decreasing trend in most parts of Tehran province. The analysis of seasonal changes showed a delay in the beginning of days with snow cover and its displacement from the end of January to the end of March. In order to identify the ecological effects, the trend of snow cover changes was investigated in the protected areas and national parks of Tehran province. Based on all the maps obtained, more changes were seen in the protected area of Virgin compared to other protected areas of Tehran province. The results of comparing the trend of annual changes of land surface temperature with the trend of changes in the total number of days with the annual snow cover showed the opposite relationship between these two variables, each point with a significant increase in temperature showed a significant decrease in the snow cover and vice versa. According to Cohen's theory, if the Kappa index is above 0.7, two variables have an acceptable similarity (Cohen, 1960). If the images of Terra satellite snow cover changes are used as a reference, the index is 0.72 for increasing areas and 0.70 for decreasing areas. The analysis of the correlation coefficient (R) of the time series of two satellites in most parts of Tehran province is in the red range with a correlation coefficient of 0.99, which indicates the high similarity of the MODIS sensor of Terra satellite and Aqua satellite with each other. Firozkoh, Shemiran, Damavand and Abali stations had data on the number of days with snow cover. Based on the results obtained from the regression analysis of the data of the days with snow cover of the synoptic stations and comparing it with the satellite images of the changes of the total days with snow cover, an 85% similarity was seen between the changes of the satellite images and the ground data. It was more similar to the process of data changes of synoptic stations than Aqua satellite. The results of comparing the

trend of annual changes of land surface temperature with the trend of changes in the total number of days with the annual snow cover showed the opposite relationship between these two variables, each point with a significant increase in temperature showed a significant decrease in the snow cover and vice versa.

### Conclusion

Based on the results obtained by comparing the images of the annual temperature changes with the total number of days with annual snow cover, the areas that have an increasing trend in the temperature images have a decreasing trend in the snow cover images, which shows the inverse relationship between the land surface temperature parameter and the snow cover parameter. Undoubtedly, with the increase in temperature, the precipitation pattern of the region has changed and the winter precipitation regime has changed from snow to rain. This issue reduces the snow reserve in the catchment area of the study area and shows the vulnerability of water sources depending on snow melting. Since the discharge of many rivers is dependent on snow cover, it is necessary to look for solutions to better manage water resources and improve its exploitation methods, especially in agriculture and industry in Tehran province. A significant decreasing trend for the snow cover parameter was seen sporadically and mostly in the Virgin protected area of Tehran province, which was in line with the trend of changes obtained from the synoptic stations and (Azizi and Roushani, 2008) research. It is suggested to investigate the effect of changes in snow cover in protected areas on the migration and movement of species and its effect on the process of changes in reproduction, abundance and diversity of species. The method used in this research can be used as a comprehensive method for future studies regarding the identification of climate change trends using remote sensing data, especially in cases where the information of the study area is limited, uncertain and difficult to access physically and in the field be used.

### References

- Ahmadi, A.; Khoramian, A. & Safavi, H.R. 2015. Assessment of climate change impacts on snow-runoff processes a case study: Zayandehroud river basin.
- Azizi, G. & Roushani, M. 2008. Using Mann-Kendall test to recognize of climate change in Caspian Sea southern coasts.
- Borhani Darian, A.; Zaherpour, J. & Marj, F. 2004. Snowflake models predict catchment flow using RS and GIS. *Int. J. Ind. Eng. Prod. Manag.* 15.
- Cohen, J. 1960. A Coefficient of Agreement for Nominal Scales. *Educ. Psychol. Meas.* 20, 37–46. <https://doi.org/10.1177/001316446002000104>
- Eastman, J.R. 2016. *Idrisi TerrSet*. Worcester, MA Clark Univ. 2–7.
- Ebrahimi, H.; Gheiby, A. & Malakooti, H. 2012. Trend of Snow Cover Detection Using Satellite Data From MODIS over Snow-Rich Areas in Iran. *Nivar* 36, 3.
- Kendall, M.G. 1975. *Rank Correlation Methods*. Charles Griffin, London.—References. *Sci. Res. Publ.* Retrieved March 31, 2020.
- Kinay, M.K. & Masoudian, S.A. 2017. Exploring the Role of Land Surface Temperature on Distribution of Snow Coverage in Iran by Remote Sensing Data. *Geogr. Dev. Iran. J.* 15, 189–204.
- Niroumand, H. & Bozorgnia, A. 1992. *Time series Analysis*.

## مقایسه عملکرد سنجنده‌های مودیس در ماهواره ترا و ماهواره آکوآ در بررسی روند تغییرات پوشش برف استان تهران به کمک سری‌های زمانی داده‌های دورسنجی

ارمغان اردلانی<sup>۱</sup>، بهزاد رایگانی<sup>۲\*</sup>، حمید گشتاسب<sup>۳</sup>، باقر نظامی<sup>۴</sup>، علی جهانی<sup>۵</sup>

- ۱ فارغ‌التحصیل کارشناسی ارشد علوم و مهندسی محیط زیست گرایش ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشکده محیط زیست، کرج، ایران
- ۲ دانشیار، گروه ارزیابی و مخاطرات محیط زیست، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، تهران، ایران
- ۳ دانشیار، گروه محیط زیست طبیعی و تنوع زیستی، دانشکده محیط زیست، کرج، ایران
- ۴ دانشیار، گروه تنوع زیستی و ایمنی زیستی، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، تهران، ایران
- ۵ دانشیار، گروه ارزیابی و مخاطرات محیط زیست، پژوهشکده محیط زیست و توسعه پایدار، تهران، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۱۰/۰۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۴۰۰/۰۹/۲۴

### چکیده

مطالعه تغییرات پوشش برف به عنوان یکی از منابع تأمین آب، بسیار حائز اهمیت است. هدف از تحقیق حاضر بررسی روند تغییرات پوشش برف در استان تهران با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS ماهواره Terra و ماهواره Aqua از سال ۱۳۸۱ تا پایان سال ۱۳۹۷ و مقایسه عملکرد سنجنده مودیس در این دو ماهواره می‌باشد. روند تغییرات تصاویر ماهواره‌ای پوشش برف با استفاده از تحلیلگر ETM نرم‌افزار TerrSET، معنی‌داری آنها توسط آزمون ناپارامتری من-کندال مشخص شد. سپس اعتبارسنجی تصاویر ماهواره‌ای به کمک تحلیل روند داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استان تهران با استفاده از روش‌های رگرسیونی صورت پذیرفت. همچنین روند تغییرات پوشش برف به دست آمده از ماهواره ترا با روند تغییرات پوشش برف به دست آمده از ماهواره آکوآ توسط شاخص کاپا و سری‌های زمانی این دو ماهواره توسط ضریب همبستگی تحلیل دو سری زمانی مقایسه شد. براساس نتایج، تغییرات مجموع روزهای همراه با پوشش برف ماهانه، سالانه و فصلی (پاییز و زمستان) دارای روند معنادار کاهشی به صورت پراکنده در اکثر نقاط استان تهران بوده است. آنالیز روند تغییرات فصلی (STA) تاخیر در شروع روزهای همراه با پوشش برف و جا به جایی آن از اواخر ماه دی به اواخر ماه اسفند را نشان داد. ضریب همبستگی سری‌های زمانی سنجنده مودیس بین دو ماهواره در اکثر نقاط استان تهران ۹۹٪ بود که نشان‌دهنده شباهت عملکرد این سنجنده در دو ماهواره ترا و آکوآ می‌باشد. نتایج اعتبارسنجی نشان داد روند تغییرات تصاویر ماهواره‌ای پوشش برف شباهت ۸۵ درصدی با روند تغییرات داده‌های پوشش برف ایستگاه‌های سینوپتیک استان تهران دارد. از آنجایی که دبی بسیاری از رودخانه‌ها وابسته به پوشش برف است، باید به دنبال راهکارهایی برای مدیریت بهتر منابع آب و اصلاح روش‌های بهره‌برداری آن، به ویژه در بخش کشاورزی و صنعت در استان تهران بود.

**کلید واژه‌ها:** تحلیل سری زمانی، همبستگی دو سری زمانی، شاخص کاپا، من-کندال، ایستگاه سینوپتیک

## سرآغاز

یکی از اشکال مهم بارش در چرخه هیدرولوژی مناطق کوهستانی، برف می‌باشد که تأمین‌کننده‌ی منابع آب آشامیدنی و کشاورزی به صورت جریان‌های تأخیری در فصول پرآبی و جریان‌های کمینه در فصول کم آبی است و در تولید انرژی نقش ارزنده‌ای ایفا می‌کند. از طرفی، رواناب حاصل از ذوب برف به دلیل نقش تأخیری آن و همزمانی با بارش‌های بهاره منشأ بروز سیلاب‌های مخرب می‌شود و نه تنها مناطق گسترده‌ای را زیر سیل می‌برد، بلکه سبب هدر رفتن آب مورد نیاز آبیاری، شرب و تولید نیرو خواهد شد (Tekeli et al., 2005). از آنجاییکه یخ و برف دارای قدرت زیادی در بازتابش نور خورشید تابیده شده به سطح خود را دارند لذا به منظور جلوگیری از گرم شدن کره زمین، نقش مهمی را ایفا می‌کنند به همین علت است که وجود یا عدم وجود برف و یخ بر گرم شدن یا سرد شدن کره زمین تأثیرگذار است (Rayegani et al., 2008a). تغییرات آب و هوایی، ذوب شدن یخ‌های قطب شمال و جنوب می‌تواند میزان و حجم آب اقیانوس‌ها را افزوده و سبب بالا آمدن سطح آب دریاها و تغییر جریانات اقیانوسی شود. تغییرات در مقدار پوشش برف و یخ کره زمین بر روی درجه حرارت هوا، ارتفاع آب دریاها و اقیانوس‌ها، جریان‌های اقیانوسی و ایجاد طوفان‌های شدید تأثیرگذار است. به طور مثال یخ‌های قطب شمال و جنوب، تنها بر روی جوامع انسانی و محیطی این مناطق محدود نبوده و تبعات و آثار جهانی را به همراه خواهد داشت. همچنین مطالعات متعدد در جهان نشان داده است که در بیشتر نقاط دنیا تغییر اقلیم باعث افزایش دما، کاهش بارندگی، افزایش وقایع حدی و آنتروپی شده است. همچنین در اثر تغییر اقلیم مقدار بارش برف کاهش می‌یابد و طول دوره ریزش برف زودتر به پایان می‌رسد، به همین دلیل حجم رواناب در زمستان افزایش و در بهار کاهش می‌یابد (Ghorbanizadeh Kharazi et al., 2010). با توجه به اهمیت ذوب برف در تشکیل دبی کل رودخانه، پایش سطح برف و برآورد رواناب ناشی از ذوب آن، نقش مهمی در کنترل و مدیریت آب حوضه‌های آبخیز ایفا می‌کند (Gupta et al., 2005). بر این اساس، روش‌های مختلفی برای پایش سطح برف در حوضه‌های آبریز مورد استفاده قرار می‌گیرند. به طور کلی برای سنجش برف از داده‌های ایستگاه‌های برف سنجی و داده‌های تصاویر ماهواره‌ای استفاده می‌شود. در صورت وجود و پوشش قابل قبول ایستگاه‌های هواشناسی و برف سنجی در حوضه و بهره‌گیری از سری کامل

داده‌های آماری، روش‌هایی مانند تعیین ضریب برفی و خط برف با استفاده از داده‌های دما برای تعیین میزان برف حوضه مورد مطالعه کاربرد دارد. اما ایستگاه‌های هواشناسی به دلیل تعداد محدود و ماهیت نقطه‌ای بودن اندازه‌گیری آنها، برای مطالعه پدیده پیوسته‌ای همچون برف، نماینده مناسبی نیست (Borhani et al., 2004). همچنین اندازه‌گیری و نمونه برداری میدانی برف به دلیل هزینه بالا و زمان بر بودن مقرون به صرفه نمی‌باشد. فناوری سنجش از دور در مقایسه با روش‌های فوق، در مجموع دارای هزینه کمتر می‌باشد و مشکل دسترسی به محل‌های مرتفع را آسان ساخته است (Abdollahi et al., 2017; Bahraminejad et al., 2018). همچنین به دلیل تباین خوب بازتابندگی برف با اغلب سطوح، ماهواره‌ها ابزار مناسبی جهت اندازه‌گیری پوشش برف می‌باشند (Johansson et al., 2001). با توجه به اینکه ماهواره‌ها قادر به تصویربرداری از یک سطح در مقاطع زمانی مختلف هستند، در مطالعات برف سنجی این امکان را فراهم می‌کنند که پراکنش زمانی و مکانی برف مورد مطالعه قرار گیرد. سنجش از دور فناوری نمونه‌برداری از تابش الکترومغناطیس است تا به کمک آن بتوان داده‌های مکانمند را تفسیر یا درک نمود که بدین وسیله امکان استخراج اطلاعات درباره عوارض، اشیاء و کلاس‌های سطح زمین، اقیانوس و اتمسفر مهیا می‌شود (Rayegani et al., 2018).

سیر طبیعی سری زمانی را در درازمدت، روند می‌گویند (نیرومند و بزرگ‌نیا، ۲۰۱۰). این روش یکی از بنیادی‌ترین تحلیل‌های سری زمانی برای جست و جوی حضور روندهای بلندمدت است (Sheikh et al., 2011). آشکارسازی و توصیف روند تغییرات در طول زمان، اولین گام اساسی در تعیین نیروهای محرک و شناخت مکانیسم تغییرات است به همین دلیل، اغلب نیاز به استفاده از داده‌های ماهواره‌ای دارد و در این فرایند، تولید نقشه‌هایی با دقت مطلوب، از عناصر مختلف سرزمین یکی از ابزارهای مهم در پایش عرصه‌های منابع طبیعی و محیط زیست به شمار می‌آید (Baugh & Groeneveld, 2006). در گزارشی تأثیرات اولیه پدیده تغییر اقلیم در منطقه میشیگان ایالت الی‌نویژه در ایالات متحده بررسی شد نتایج نشان داد بارش‌های زمستانی با توجه به افزایش دما از برف به باران تغییر یافته و انتظار می‌رود تعداد روزهای برفی تا پایان قرن حاضر در هر سال کاهش یابد همچنین پدیده تغییر اقلیم در سراسر نواحی شمالی ایالات متحده مورد بررسی قرار

مختصات جغرافیایی  $34^{\circ}50'N$  تا  $36^{\circ}10'N$  و  $50^{\circ}20'E$  تا  $53^{\circ}10'E$  با ارتفاع از سطح دریا ۱۳۶۸ متر واقع شده است (Institute of Geographical and Cartographic) (Gitashenasi, 2008). ناهمواری‌های استان تهران را می‌توان به سه قسمت کوهستانی، پایکوهی و دشت تقسیم نمود. ناحیه کوهستانی در استان تهران عموماً ارتفاع بالای ۱۵۰۰ متر را شامل می‌شود. نواحی کوهستانی از جنبه تامین آب و تعدیل درجه حرارت برای نواحی پایکوهی و دشت‌ها حایز اهمیت است. دو عنصر دما و بارش در استان به شدت تحت تاثیر ارتفاع می‌باشند که باعث شده از نظر مکانی میزان دما و بارش در استان تهران یکسان نباشد. سرتاسر ناحیه شمالی استان تهران را کوهستان البرز پوشانده است. استان تهران در بخش مرکزی رشته کوه البرز که از آذربایجان تا خراسان امتداد دارد، واقع شده و این رشته کوه بویژه بخش مرکزی آن مانع از نفوذ رطوبت دریای خزر و بادهای باران زایی است که از شمال و غرب وارد کشور می‌شوند. قسمت اصلی بخش مرکزی رشته کوه البرز به سه دیواره شمالی، میانی و جنوبی قابل تقسیم است. دیواره شمالی که قله مرتفع دماوند در آن واقع شده، در استان مازندران قرار گرفته است؛ اما برخی از ارتفاعات آن در استان تهران قرار دارد. دیواره میانی به عنوان مرتفع‌ترین قسمت رشته کوه البرز، عموماً حد شمالی استان را تشکیل می‌دهد و ارتفاع کوه‌های آن به طرف شرق افزایش یافته و حتی تا ۵۰۰۰ متر نیز می‌رسد. کوه‌های کندوان و پس از آن کوه‌های طالقان در شمال غرب استان تا محل اتصال رود الموت به طالقان رود ادامه می‌یابد. در شمال شرق استان نیز، دیواره میانی با نام رشته ارتفاعات فیروزکوه تا دره فیروزکوه که از جنوب دامنه‌های شرقی آن می‌گذرد، امتداد می‌یابد. دیواره جنوبی، سومین بخش از ارتفاعات البرز مرکزی است که رودخانه‌ی جاجرود کرج آنها را بریده و به سه قسمت جدا از هم تقسیم می‌کند. الف: کوه‌های لواسانات که بین دره‌های رود دماوند و جاجرود قرار دارند و در شمال به دره رود لار محدود می‌شوند. ب: کوه‌های شمیرانات بین سرچشمه‌های جاجرود و کرج واقع شده و قله توچال به ارتفاع ۳۹۳۳ متر بلندترین نقطه آن است. ج: کوه‌های کهار، از غرب دره رودخانه کرج شروع شده و در جنوب طالقان رود به موازات آن ادامه دارند و سرانجام از شمال غربی استان تهران خارج می‌شوند (Guide Atlas of Iran Provinces, 2014). شکل (۱) موقعیت استان تهران را در ایران و جهان نشان می‌دهد. استان

گرفت. در این منطقه با ذخیره برفی فصلی، اقلیم گرم‌تر می‌تواند سبب کاهش ریزش برف و تغییر در زمان ذوب برف گردد (Fassnacht et al., 2016). در این راستا تحقیقات داخلی نیز صورت گرفته است به عنوان مثال می‌توان به بررسی روند تغییرات پوشش برف در مناطق برف‌خیز ایزان با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس (Ebrahimi et al., 2012)، اثر تغییر اقلیم بر رواناب ناشی از ذوب برف در بالادست حوضه آبریز زاینده رود با استفاده از تصاویر روزانه و هشت روزه پوشش برف سنجنده مودیس (Ahmadi et al., 2015)، تحلیل تغییرات پوشش برف از طیف‌سنجی تصویری ماهواره مودیس (Kiany & Masoudian, 2017)، بررسی و پایش تغییرات سطح برف تصاویر ماهواره‌ای MODIS در استان چهارمحال بختیاری (Haghizadeh & Arshia, 2018) اشاره کرد. نتایج پژوهش‌های ذکر شده نشان داد حدود ۵۰ درصد از رواناب در بهار و تابستان را ذوب برف تشکیل می‌دهد با تغییر اقلیم و افزایش دما، سطح برف کاهش یافته است. همچنین بررسی تصاویر ماهواره‌ای سطح پوشیده از برف زیر حوزه قله شاهرخ نشان داد تصاویر ماهواره‌ای مودیس به علت دقت زمینی بهتر (۲۵۰ متر) و شمار باندهای بیشتر برای این منظور مناسب‌تر از تصاویر سنجنده‌های دیگر مانند NOAA می‌باشد (Rayegani et al., 2008b). همچنین شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش برف مودیس جهت بررسی وضعیت پوشش برفی کارآیی مطلوبی دارد. این شاخص در یکی از محصولات مودیس به عنوان سطح سوم به صورت سری زمانی ارائه شده است (Rayegani et al., 2011).

هدف از این مقاله ارزیابی روند تغییرات پوشش برف با استفاده از سنجنده مودیس دو ماهواره ترا و آکوآ توسط آنالیز من-کندال و مقایسه عملکرد و سری زمانی سنجنده مودیس این دو ماهواره توسط شاخص کاپا و ضریب همبستگی می‌باشد. همچنین ارزیابی روند تغییرات فصلی و جابه‌جایی پوشش برف در سال‌های مورد بررسی و آثار اکولوژیکی این تغییرات در استان تهران به عنوان هدف دیگر مورد بررسی قرار گرفته است.

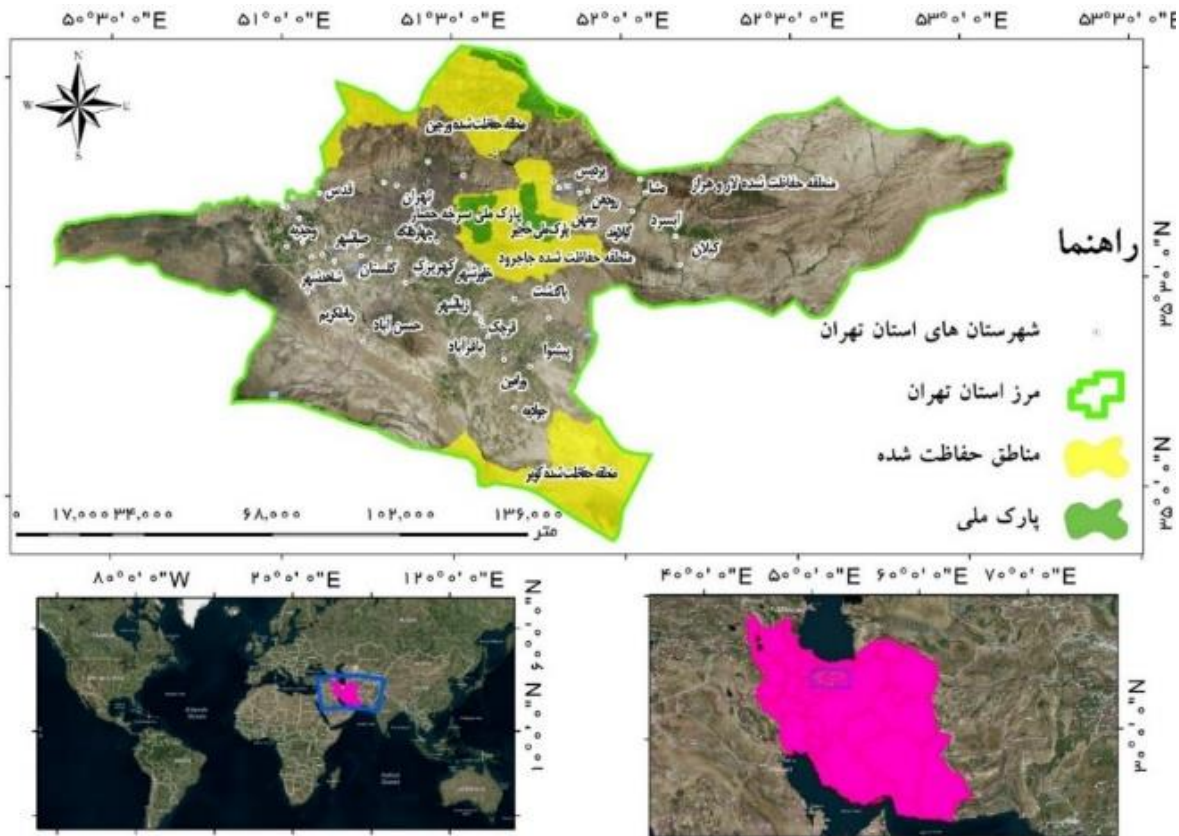
## مواد و روش‌ها

### - منطقه‌ی مورد مطالعه

استان تهران به مرکزیت شهر تهران، با وسعتی حدود ۱۸۸۱۴ کیلومتر مربع، در سیستم مختصات UTM<sup>(۱)</sup> زون ۳۹N و سیستم

استان که حدود ۷۰ هکتار وسعت دارد و مشتمل بر پارک‌های ملی خجیر و سرخه‌حصار است ( Tehran Governorate Land Survey Report, 2009).

تهران از تنوع زندگی جانوری در دامنه‌ی کوه‌ها و دشت‌ها برخوردار است که مهم‌ترین آن‌ها در پارک‌ها و مناطق حفاظت‌شده عبارت‌اند از: مجموعه‌ی حفاظت‌شده‌ی جاجرود در شمال شرق



شکل (۱): نقشه موقعیت منطقه مطالعاتی در ایران و جهان

– داده‌های مورد استفاده

جهت انجام این پژوهش از داده‌های جدول (۱) استفاده شده است:

جدول (۱): جدول داده‌های مورد استفاده

نوع داده	نوع سنجنده	نوع ماهواره	سال‌های مورد بررسی	قدرت تفکیک زمانی	قدرت تفکیک مکانی	پارامتر
تصاویر ماهواره‌ای	مودیس (MOD10A2)	ترا	از سال ۲۰۰۳ تا پایان سال ۲۰۱۸ (۱۳۹۷-۱۳۸۱)	۸ روزه	۵۰۰ متر ورژن ۶ سطح ۳	پوشش برف
	مودیس (MYD10A2)	آکوا	از سال ۲۰۰۳ تا پایان سال ۲۰۱۸	۸ روزه	۵۰۰ متر ورژن ۶ سطح ۳	پوشش برف
	مودیس (MYD11A2)	آکوا	از سال ۲۰۰۳ تا پایان سال ۲۰۱۸	۸ روزه	۱ km ورژن ۶ سطح ۳	درجه حرارت سطح زمین
داده‌های سینوپتیک	به دست آمده از ایستگاه‌های سینوپتیک سازمان هواشناسی استان تهران		از سال ۲۰۰۳ تا پایان سال ۲۰۱۸	ماهانه	ایستگاه‌های سینوپتیک فیروزکوه، شمیران، دماوند و اَبعلی	مجموع تعداد روزهای همراه با پوشش برف

## روش تحقیق

## - روندیابی تصاویر ماهواره‌ای

بر روی محصولات MOD10A2 و MYD10A2 به صورت تفکیک شده در محیط نرم افزار ترست<sup>(۲)</sup> آنالیزهای یکسانی اعمال شد. در مرحله پیش پردازش ابتدا فرمت تصاویر مودیس از HDF به رستری<sup>(۳)</sup> (RST) تبدیل<sup>(۴)</sup> گردیدند سپس تصاویر توسط شیپ فایل استان تهران با یک بافر چند کیلومتری برش<sup>(۵)</sup> داده شدند تا تغییرات فقط در این محدوده به نمایش گذاشته شود. در تصاویر پوشش برف اعداد پیکسل‌ها به اعداد Binary (۰ و ۱) تبدیل گردید که صفر نشان دهنده عدم وجود برف و ۱ نشان دهنده وجود برف می‌باشد. برای حذف اطلاعات زائد، برطرف کردن نواری شدن و تاثیر خطاها در تصاویر ماهواره‌ای از تجزیه مولفه‌های اصلی استفاده شد (Rayegani et al., 2020). در این روش اطلاعات پدیده‌های موجود در باندهای مختلف را جمع‌آوری کرده و آنها را در تعدادی باند یا مولفه کمتر در دسترس قرار می‌دهد. برای انجام PCA<sup>(۶)</sup> از T-Mode استاندارد نشده، برای مجموعه باندها اجرا شد و کامپاننت‌هایی که کمترین مقدار واریانس را تشکیل دادند، شناسایی، سپس تبدیل معکوس T-Mode، برای حذف شدن آن مولفه‌ها انجام شد و مجموعه داده جدید تشکیل گردید. در مرحله پردازش برای تجزیه و تحلیل سری‌های زمانی تصاویر از ابزار طراح روند زمین نرم‌افزار ترست استفاده گردید (Kermani et al., 2018). با استفاده از ابزار ETM<sup>(۷)</sup> می‌توان روندها و الگوهای اخیر را در متغیرهای اساسی سیستم زمین مانند دمای سطح دریا، درجه حرارت اتمسفر، بارش، پوشش گیاهی و امثال آنها کشف نمود. ETM یک ابزار استثنایی برای ارزیابی تغییرات آب و هوایی در سال‌های اخیر است. سری‌های زمانی تصاویر مشاهده‌ی زمین، یک منبع مهمی برای درک دو مورد پویایی و تکامل پدیده‌های محیط زیستی فراهم می‌نماید. در نتیجه ETM بر تجزیه و تحلیل روند و ویژگی‌های پویای این پدیده‌ها متمرکز است (Eastman, 2015). برای تحلیل سری زمانی در ابتدا تصاویر ۸ روزه پیش پردازش شده پوشش برف به تحلیلگر ETM معرفی شد سپس به صورت ماهانه به روش جمع، عملیات تلفیق<sup>(۸)</sup> انجام گرفت. همچنین بر روی تصاویر مجموع روزهای همراه با پوشش برف ماهانه که در مرحله قبل ساخته شد، به صورت سالانه به روش جمع عملیات تلفیق صورت گرفت. تلفیق سری زمانی برای تحلیل‌های روند، طول سری زمانی و قدرت

تفکیک زمانی را می‌کاهد. با این وجود خطاهای ناشی از تغییرات تصادفی و سیستماتیک در ارزش پیکسل‌ها را از بین خواهد برد (Rayegani et al., 2019). طول سری زمانی در تعیین معنی‌داری روند در آزمون آماری دارای اهمیت می‌باشد همچنین این کار، از تحلیل روند، با کاهش چرخه‌های فصلی در سری زمانی پشتیبانی خواهد کرد (Teferi et al., 2015).

## • تغییرات فصلی مجموع روزهای همراه با پوشش برف

به صورت دستی: از تصاویر مجموع روزهای همراه با پوشش برف ماهانه تصاویر مجموع روزهای همراه با پوشش برف ماه‌های اکتبر، نوامبر و دسامبر به عنوان فصل پاییز، همچنین تصاویر مجموع روزهای همراه با پوشش برف ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس نیز به عنوان فصل زمستان جدا و به دو گروه رستری تبدیل گردیدند. سپس هر فصل در هر سال که شامل سه تصویر می‌شد به یک تصویر فراوانی (جمع) تبدیل شد و به تحلیلگر ETM برای ساخت سری زمانی تغییرات فصلی معرفی گردید. مایل بودن محور گردش زمین به دور خورشید نسبت به صفحه استوا (۲۳/۵ درجه انحراف)، موجب تغییر طول روز و شدت تابش و دما (دریافت متفاوت انرژی خورشید) شده که به دنبال آن فصل‌ها بوجود می‌آیند. بنابراین بسیاری از جنبه‌های محیطی مثل فنولوژی گیاهی، دما و بارش، دارای چرخه‌های فصلی هستند. تحلیل روند درون سالانه گویای آن است که متغیری در محیط در حال تغییر است اما زمان این تغییر را نمی‌گویند. به همین دلیل تحلیل روند فصلی<sup>(۹)</sup> در کنار روند بلند مدت، موجب بهبود درک تغییرات می‌شود (Eastman, 2015). هدف از این تکنیک، شناخت روند در ویژگی‌های اساسی چرخه فصلی با کاهش خطاها و تغییرات کوتاه مدت می‌باشد. این روش از دو مرحله تجزیه و تحلیل برای خروجی نقشه روند به شکل منحنی فصلی استفاده میکند که مرحله اول شامل تصویر میانگین سالانه (Amplitude0)، چرخه سالانه (Amplitude1, Phases1)، چرخه میان سالانه (Amplitude2, Phases2) می‌باشند. در مرحله دوم روند خطی با استفاده از شیب میانه تیل-سن<sup>(۱۰)</sup> در هر پیکسل این پارامترها، در طول زمان سنجنده می‌شود. تصاویر مجموع روزهای همراه با پوشش برف ماهانه به بخش آنالیز STA تحلیلگر ETM معرفی شد (Rayegani et al., 2019). در این آنالیز متوسطی از ابتدای دوره و انتهای دوره برای مثال (۵ سال اول و ۵ سال انتهای دوره) با



ارزیابی معنی‌داری و جهت آن را هم زمان می‌دهد. ارزش‌های بحرانی برای فاصله‌ی اطمینان ۹۵٪ (سطح معنی‌داری ۵٪)  $1/96$  و  $2/58$  و برای فاصله اطمینان ۹۹٪ (سطح معنی‌داری ۱٪)  $2/58$  می‌باشد (Eastman, 2015). این روش یک جفت تصویر تولید می‌کند، یک تصویر معنی‌داری (تصویر مقادیر Z) و یک تصویر ثانویه (تصویر مقادیر p) که احتمال اینکه روند مشاهده شده می‌توانست شناسی باشد را نشان می‌دهد. همچنین در این پژوهش از آزمون ضریب همبستگی به عنوان آزمون پارامتریک برای بررسی مناطق معنی‌دار با استفاده از جدول فیشر (جدول ۲) و درجه آزادی (df=n-2) استفاده شد و چنانچه ضریب به دست آمده بزرگتر یا مساوی آن بود همبستگی در آن سطح اعتماد، معنی‌دار تشخیص داده می‌شد. جدول (۲) مقادیر معنی‌داری ضریب همبستگی در درجه آزادی‌های متفاوت را نشان می‌دهد.

هارمونیک ۲ گرفته شد. تحلیل روند فصلی تفاوت ابتدای دوره با انتهای دوره را نشان داد. این آنالیز تغییرات در شروع روزهای همراه با پوشش برف را گزارش کرد.

#### • تحلیل روند طولانی مدت درون سالانه

تحلیل روند درون سالانه یکی از بنیادی‌ترین تحلیل‌های سری زمانی جستجو برای حضور روندهای بلندمدت می‌باشد (Sheikh et al., 2011). در این پژوهش برای شناسایی مناطق دارای روند معنادار از آزمون من-کندال و ضریب همبستگی<sup>(۱۱)</sup> استفاده شد و نقشه مناطق معنادار با شیب افزایشی، مناطق معنادار با شیب کاهشی و مناطق بدون روند معنادار برای هر یک از پارامترها تولید شد. روش من-کندال یک آزمون آماری ناپارامتری است و مزیت آن این است که نمونه‌ها به توزیع خاصی نیاز ندارند (Kendall, 1975). این روش تصویری در مقادیر Z تولید می‌کند که اجازه‌ی

جدول (۲): جدول ضریب همبستگی فیشر (Mahdavi, 2013; Fisher, 1915)

درجه آزادی	۱٪	۵٪	درجه آزادی	۱٪	۵٪
۱	۱/۰۰۰	۰/۹۹۷	۱۳	۰/۶۴۱	۰/۵۱۴
۲	۰/۹۹۰	۰/۹۵۰	۱۴	۰/۶۲۳	۰/۴۹۷
۳	۰/۹۵۹	۰/۸۷۸	۱۵	۰/۶۰۶	۰/۴۸۲
۴	۰/۹۱۷	۰/۸۱۱	۱۶	۰/۵۹۰	۰/۴۶۸
۵	۰/۸۷۴	۰/۷۵۴	۱۷	۰/۵۷۵	۰/۴۵۶
۶	۰/۸۳۴	۰/۷۰۷	۱۸	۰/۵۶۱	۰/۴۴۴
۷	۰/۷۹۸	۰/۶۶۶	۱۹	۰/۵۴۹	۰/۴۳۳
۸	۰/۷۶۵	۰/۶۳۲	۲۰	۰/۵۳۷	۰/۴۲۳
۹	۰/۷۳۵	۰/۶۰۲	۲۱	۰/۵۲۶	۰/۴۱۳
۱۰	۰/۷۰۸	۰/۵۷۶	۲۲	۰/۵۱۵	۰/۴۰۴
۱۱	۰/۶۸۴	۰/۵۵۳	۲۳	۰/۵۰۵	۰/۳۹۶
۱۲	۰/۶۶۱	۰/۵۳۲	۲۴	۰/۴۹۶	۰/۳۸۸

#### – مقایسه رابطه پارامتر دما با پارامتر پوشش برف

برای این منظور از روند تغییرات سالانه دو پارامتر درجه حرارت سطح زمین و پوشش برف با پایه‌های زمانی یکسان استفاده شد. روند تصاویر ۸ روزه سجنده مودیس ماهواره آکوا توسط نرم افزار TerSet با تحلیلگر ETM به دست آمد بدین صورت که ابتدا تصاویر ۸ روزه با عملیات بیشینه‌ارزشی به صورت ماهانه تلفیق شدند سپس تصاویر به دست آمده با عملیات بیشینه‌ارزشی به صورت سالانه تلفیق شد در نهایت با استفاده از آنالیز من-کندال

بررسی منابع نشان می‌دهد که روش‌های ناپارامتری در آزمون روند از کاربرد چشمگیرتری نسبت به روش‌های پارامتری برخوردارند (Rayegani et al., 2019). دلیل این امر را می‌توان نرمال نبودن توزیع نمودار در بازه زمانی طولانی مدت دانست که این امر بستگی به نوع داده‌ی به کار گرفته شده دارد (Sheikh et al., 2011). پس از آن مناطق منحصر به فرد افزایشی و کاهشی در هر یک از شاخص‌های مورد بررسی براساس منطق بولین، طبقه‌بندی<sup>(۱۲)</sup> گردید (Rayegani et al., 2020a).

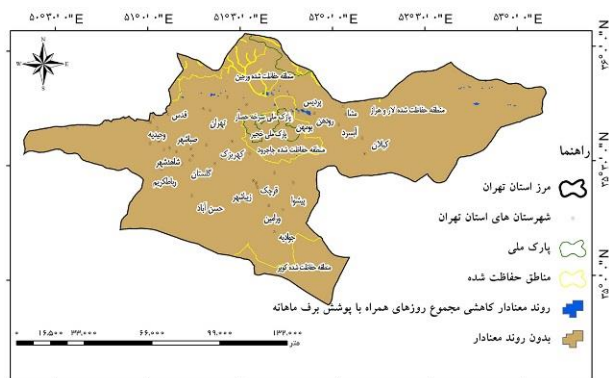
(Fisher, 1915). با استفاده از مختصات جغرافیایی هر ایستگاه، نقاط ایستگاه‌های سینوپتیک بر روی نقشه استان تهران توسط نرم‌افزار ArcGIS جایگذاری شدند سپس تصاویر روند تغییرات پوشش برف اضافه شد. اگر تصویر روی نقطه ایستگاه سینوپتیک دارای روند بود و همچنین داده‌های ایستگاه سینوپتیک که از طریق نمودار پراکندگی، روند آن مشخص شد، نیز دارای روند یکسان بود نتیجه گرفته می‌شود که روند تصاویر ماهواره‌ای با روند داده‌های سینوپتیک ایستگاه‌ها همخوانی دارد.

شکل (۲) روش تحقیق این مقاله را نشان می‌دهد.

### نتایج

#### • روند تغییرات مجموع روزهای همراه با پوشش برف ماهانه

به صورت پراکنده و نقطه‌ای در شرق استان تهران، پردیس، شمال منطقه حفاظت شده جاجرود و جنوب منطقه حفاظت شده ورجین مجموع روزهای همراه با پوشش برف ماهانه همانطور که در شکل (۳) دیده می‌شود روند معنادار کاهشی داشته است.



شکل (۳): نقشه مجموع روزهای همراه با پوشش برف ماهانه سنجنده مودیس ماهواره ترا

#### • روند تغییرات مجموع روزهای همراه با پوشش برف سالانه

شکل (۴) به دست آمده از آنالیز سنجنده مودیس ماهواره ترا نشان می‌دهد در شرق استان تهران (شهرستان فیروزکوه، کیلان و مشا)، رودهن، پردیس، شمال منطقه حفاظت شده جاجرود و منطقه حفاظت شده ورجین به صورت پراکنده، روند سالانه مجموع روزهای همراه با پوشش برف کاهشی بوده است.

تصاویر روند تغییرات حداکثر دمای سالانه به دست آمد و با تصاویر روند تغییرات مجموع روزهای همراه با پوشش برف سالانه مقایسه گردید.

#### – مقایسه سنجنده‌ی مودیس در دو ماهواره‌ی Terra و Aqua توسط شاخص کاپا و آنالیز Linear Modeling

درصد اتفاق نظر بین دو مشاهده‌گر که اغلب در ارزیابی کیفیت مشاهدات، حایز اهمیت می‌باشد شاخص کاپا نام دارد (Cohen, 1960). برای مقایسه دو ماهواره ترا و آکوآ ابتدا پایه‌های زمانی یکسان شد (از سال ۲۰۰۳ تا ۱۳۸۱) تا پایان سال ۲۰۱۸ (۱۳۹۷) برای هر دو ماهواره. سپس جهت مقایسه کارکرد، روندهای سالانه (تصاویر طبقه بندی شده بعد از آنالیز من-کندال) هر دو ماهواره توسط ماژول Crosstab و فعال کردن گزینه شاخص کاپا مقایسه شدند (Rayegani et al., 2020). اگر  $\frac{0}{7} > \text{کاپا}$  باشد دو ماهواره تقریباً خروجی مشابهی داشته‌اند (Barati GHahfarokhi et al., 2009). در این بخش خروجی‌های به دست آمده از دو ماهواره ترا و آکوآ بر اساس طبقه‌بندی آنالیز من-کندال به مناطق دارای روند معنی‌دار افزایشی، کاهشی و بدون روند در کل استان تهران باهم مقایسه شدند. برای مقایسه دو ماهواره از طریق ضریب همبستگی سری‌های زمانی ساخته شده (مجموع روزهای همراه با پوشش برف ماهانه و سالانه از ماهواره ترا و آکوآ رویهم‌گذاری می‌شوند) به بخش Linear Modeling معرفی شد. به عنوان مثال سری زمانی مجموع روزهای همراه با پوشش برف ماهانه ماهواره ترا به عنوان فاکتور مستقل و سری زمانی مجموع روزهای همراه با پوشش برف ماهانه ماهواره آکوآ به عنوان فاکتور وابسته در نظر گرفته شد و ضریب همبستگی به دست آمد. این آنالیز پیکسل به پیکسل سری‌های زمانی دو ماهواره را باهم مقایسه کرده و هرچه ضریب همبستگی (R) بالاتر باشد یعنی در پیکسل‌های مقایسه شده شباهت بیشتری داشته‌اند (Rayegani et al., 2019).

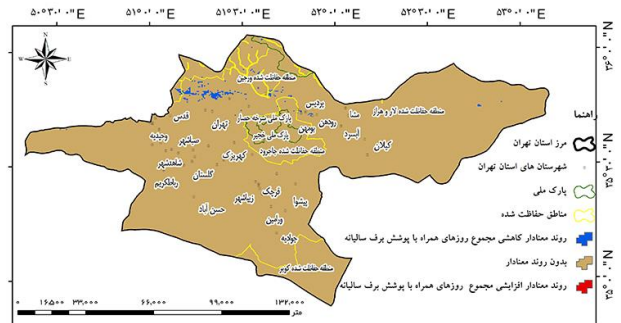
#### – اعتبارسنجی تصاویر ماهواره‌ای با داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استان تهران

داده‌های سینوپتیک ماهانه حداقل دما از سازمان هواشناسی دریافت شد. نمودار پراکندگی برای هر ایستگاه کشیده و خط روند بر روی آن ترسیم گردید سپس ضریب  $r$  به دست آمد و از طریق جدول ضریب همبستگی فیشر روند آن ایستگاه مشخص شد

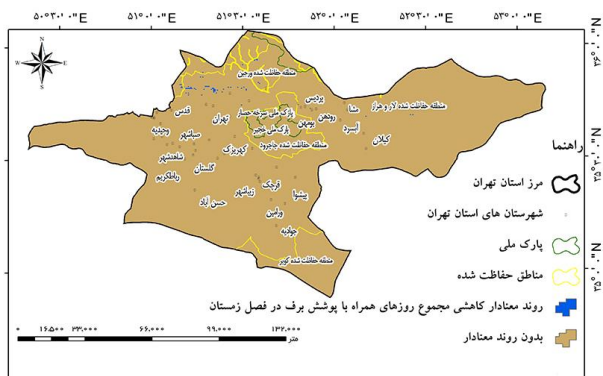


شکل (۲): روش کلی تحقیق

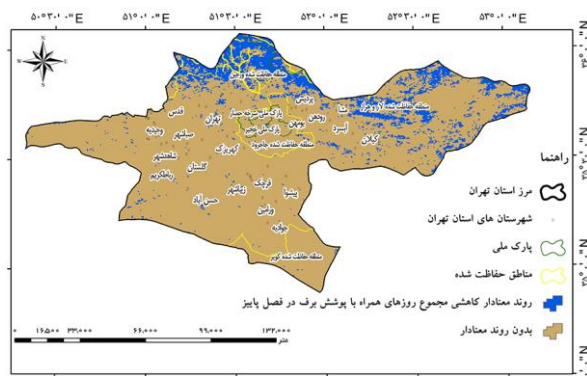
- تغییرات فصلی روزهای همراه با پوشش برف به صورت دستی
- الف. روند تغییرات مجموع روزهای همراه با پوشش برف در فصل پاییز
- روند تغییرات مجموع روزهای همراه با پوشش برف در فصل پاییز با توجه به شکل (۵) در اکثر نقاط استان تهران به ویژه در شمال و شرق استان کاهش یافته است.



شکل (۴): نقشه مجموع روزهای همراه با پوشش برف سالانه سنجنده مودیس ترا ماهواره ترا



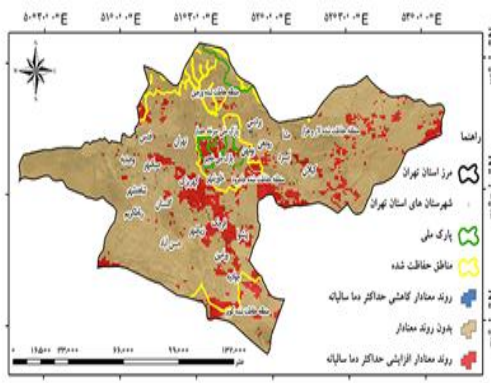
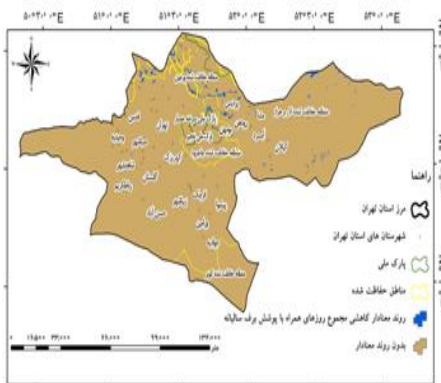
شکل (۶): نقشه مجموع روزهای همراه با پوشش برف فصل زمستان سنجنده مودیس ماهواره ترا



شکل (۵): نقشه مجموع روزهای همراه با پوشش برف فصل پاییز سنجنده مودیس ماهواره آکوآ

• نتایج مقایسه تصویر روند تغییرات حداکثر دمای سالانه با مجموع روزهای همراه با پوشش برف سالانه باتوجه به شکل (۷) بین روند تغییرات حداکثر درجه حرارت سطح زمین سالانه و روند تغییرات مجموع روزهای همراه با پوشش برف سالانه رابطه عکس وجود دارد.

ب. روند تغییرات مجموع روزهای همراه با پوشش برف در فصل زمستان  
تغییرات مجموع روزهای همراه با پوشش برف در فصل زمستان تقریباً بدون روند معنادار بوده به جز شمال غرب استان تهران (شهرستان‌های کن و سولقان روستاهای واریش و وردیج) و شرق استان تهران (شهرستان فیروزکوه) که در شکل (۶) نمایش داده شده است.



شکل (۷): سمت راست نقشه حداکثر دما سالانه و سمت چپ نقشه روند تغییرات مجموع روزهای همراه با پوشش برف سالانه

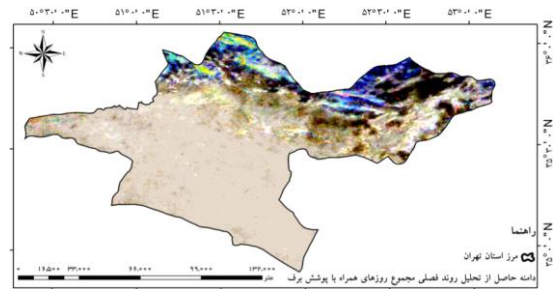
همراه با پوشش برف برای ماهواره آکوآ (شکل ۸) و ماهواره ترا (شکل ۹) به دست آمد:  
قسمت‌های خاکستری رنگ به لحاظ تغییرات فصلی بدون روند معنادار هستند (Eastman, 2015). و هر بخش در قسمت‌های رنگی، تفسیر مربوط به خود را دارد. مطابق شکل (۱۰) در نواحی که در نقشه دامنه حاصل از تحلیل روند فصلی مجموع روزهای همراه با پوشش برف رنگ مشکی نمایان شده دو پیک برفی وجود داشته است. پیک اول برای ۵ سال ابتدایی (۲۰۰۳-۲۰۰۷) در

• نتایج تغییرات فصلی روزهای همراه با پوشش برف با آنالیز STA  
از تصاویر مجموع روزهای همراه با پوشش برف ماهانه با هارمونیک ۲ و متوسط ۵ سال از ابتدا و انتهای دوره، آنالیز روند فصلی (STA) گرفته شد. این آنالیز به ما شکل کلی تغییرات را نشان داد. همچنین نشان داد، ۵ سال ابتدای دوره (۲۰۰۳-۲۰۰۷) و ۵ سال انتهای دوره (۲۰۱۴-۲۰۱۸) چه تفاوتی دارند. از آنالیز STA نقشه دامنه حاصل از تحلیل روند فصلی مجموع روزهای

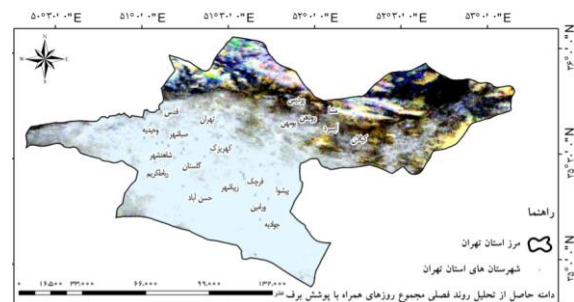
(۲۰۱۸-۲۰۱۴) بین ماه مارس و آوریل بوده است؛ که نشان می‌دهد، شروع روزهای همراه با پوشش برفی به تاخیر افتاده و یک جابجایی برفی رخ داده و بجای اوایل زمستان برف در اواخر فصل زمستان بیشتر دیده می‌شود. همچنین مجموع روزهای همراه با پوشش برف در ۵ سال انتهایی کمتر شده است. پیک دوم که در تابستان رخ داده به دلیل وجود قله در آن ناحیه است. رنگ قهوه‌ای، کرم و آبی تیره نیز با دو پیک برفی زمان شروع روزهای همراه با پوشش برفی به تاخیر افتاده بود اما بین مجموع روزهای همراه با پوشش برف در ۵ سال ابتدایی و انتهایی اختلاف کمتری وجود داشت. رنگ‌های سبز و آبی روشن نیز با یک پیک برفی نشان دهنده تاخیر در شروع روزهای همراه با پوشش برفی بودند.

#### • مقایسه شباهت سنجنده مودیس در دو ماهواره‌ی Terra و Aqua

در شکل (۱۱) بر اساس نتایج به دست آمده از آنالیز Linear Modeling و تحلیل ضریب همبستگی (R) سری‌های زمانی دو ماهواره در اکثر نقاط استان تهران در محدوده قرمز رنگ با ضریب همبستگی ۰/۹۹ بوده که نشان‌دهنده شباهت بالای سنجنده مودیس ماهواره ترا و ماهواره آکوآ با یکدیگر می‌باشد.

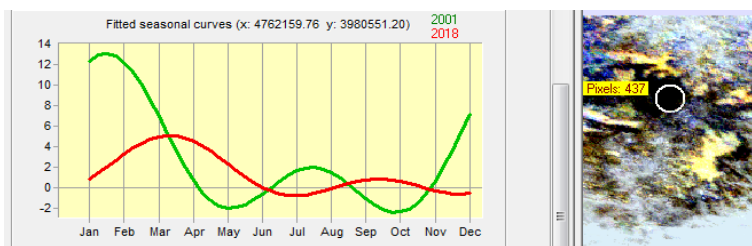


شکل (۸): نقشه دامنه حاصل از تحلیل روند فصلی مجموع روزهای همراه با پوشش برف ماهواره آکوآ

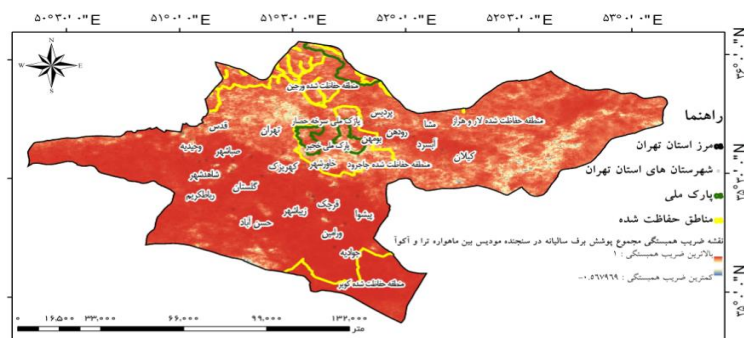


شکل (۹): نقشه دامنه حاصل از تحلیل روند فصلی مجموع روزهای همراه با پوشش برف ماهواره ترا

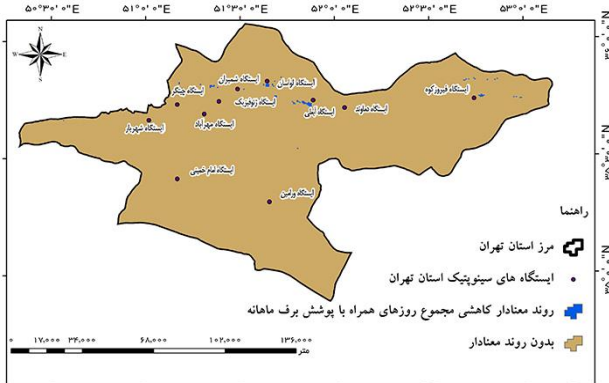
اواخر ماه ژانویه بوده در صورتی که پیک اول برای ۵ سال آخر



شکل (۱۰): نمودار گرته برداری (۱۳) دامنه حاصل از تحلیل روند فصلی مجموع روزهای همراه با پوشش برف در نواحی مشکی رنگ



شکل (۱۱): نقشه ضریب همبستگی مجموع روزهای همراه با پوشش برف سالانه سنجنده مودیس بین دو ماهواره ترا و آکوآ



شکل (۱۲): نقشه اعتبارسنجی روند تغییرات مجموع روزهای همراه با پوشش برف سالانه

### بحث و نتیجه گیری

روند تغییرات پارامتر پوشش برف با استفاده از محصولات سنجنده مودیس ماهواره ترا و آکوآ (MOD10A2 و MYD10A2) در سالهای ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ با تفکیک مکانی ۵۰۰×۵۰۰ متر به دست آمد. به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی دقت تصاویر ماهواره‌ای در استخراج روند پوشش برف، از داده‌های پوشش برف ایستگاه‌های سینوپتیک هواشناسی استان تهران استفاده شد. نتایج نشان داد تغییرات مجموع روزهای همراه با پوشش برف ماهانه و سالانه روند معنادار کاهشی داشته است که با مطالعات (Azizi & Roushani, 2008; Dong & Menzel, 2016; Fattahi & Moghimi, 2019; Malmros et al., 2018; Marchane et al., 2015; Raespour., 2018; Tang et al., 2013) همسو بوده است. همچنین مجموع روزهای همراه با پوشش برف در فصل پاییز در اکثر نقاط کوهستانی استان تهران و در فصل زمستان به صورت پراکنده در شمال غربی و شرق استان تهران روند معنادار کاهشی داشته است. براساس آنالیز STA می‌توان نتیجه گرفت که در شروع روزهای همراه با پوشش برفی در طی سال‌های مورد بررسی تاخیر بوجود آمده است.

براساس نتایج سری‌های زمانی سنجنده مودیس ماهواره ترا و آکوآ در در اکثر نقاط استان تهران دارای ضریب همبستگی بالایی بوده و شباهت مناسبی با یکدیگر داشته است به جز شهر تهران و شرق استان تهران (شهرستان فیروزکوه) که می‌تواند این اختلاف به دلیل مسکونی بودن، دخالت‌های انسانی، آلودگی به دلیل تراکم بیشتر جمعیت و استفاده کشاورزی از زمین‌ها و برداشت محصولات باشد. براساس شاخص کاپا شباهت قابل قبولی در خروجی‌های مناطق طبقه‌بندی شده‌ی معنادار، در کل استان تهران بین دو

نتایج شاخص کاپا نشان داد زمانیکه تصویر روند تغییرات مجموع روزهای همراه با پوشش برف سالانه ترا به عنوان رفرنس قرار گرفت برای مناطق دارای روند افزایشی (کد ۱ جدول ۳) شاخص کاپا ۰/۷۲ و برای مناطق دارای روند کاهشی (کد ۲ جدول ۳) شاخص کاپا ۰/۷ می‌باشد که بر اساس نظریه کوهن اگر شاخص کاپا بالای ۰/۷ باشد دو متغیر از شباهت قابل قبولی برخوردار هستند.

جدول (۳): شاخص kappa برای مجموع روزهای همراه با پوشش برف سالانه ماهواره ترا و آکوآ

شاخص کاپا	طبقه‌بندی
اگر تصاویر ماهواره ترا به عنوان رفرنس قرار گیرند:	
۰ (یک گراند)	(۰/۱۳۲۳)
۱ (مناطق دارای روند افزایشی)	(۰/۷۲۲۲)
۲ (مناطق دارای روند کاهشی)	(۰/۷۰۵۷)
اگر تصاویر ماهواره آکوآ به عنوان رفرنس قرار گیرند:	
۰ (یک گراند)	(۰/۷۰۶۱)
۱ (مناطق دارای روند افزایشی)	(۰/۹۲۸۶)
۲ (مناطق دارای روند کاهشی)	(۰/۱۲۸۳)

### • اعتبارسنجی تصاویر ماهواره‌ای با داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک استان تهران

ایستگاه‌های فیروزکوه، شمیران، دماوند و ابعلی دارای اطلاعات تعداد روزهای همراه با پوشش برف بودند. براساس نتایج به دست آمده از تحلیل رگرسیونی داده‌های روزهای همراه با پوشش برف ایستگاه‌های سینوپتیک و مقایسه آن با تصاویر روند تغییرات مجموع روزهای همراه با پوشش برف ماهواره‌ای شباهت ۸۵ درصدی بین روند تغییرات تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های زمینی دیده شد که در این بین روند تغییرات ماهواره ترا شباهت بیشتری نسبت به ماهواره آکوآ به روند تغییرات داده‌های ایستگاه‌های سینوپتیک داشت. برای مثال شکل (۱۲) تغییرات روزهای همراه با پوشش برف سالانه ایستگاه سینوپتیک دماوند با استفاده از تحلیل‌های رگرسیونی بدون روند معنادار بود با توجه به نقشه با جایگذاری مختصات ایستگاه‌های سینوپتیک روی تصویر روند تغییرات روزهای همراه با پوشش برف سالانه ماهواره ترا که با استفاده از آنالیزهای گفته شده در نرم افزار TerrSet به دست آمد، روندی برای آن نقطه دیده نشد پس روند سالانه ایستگاه دماوند با روند سالانه تصویر ماهواره‌ای در آن نقطه همخوانی داشته است.

برف است، باید به دنبال راهکارهایی برای مدیریت بهتر منابع آب و اصلاح روش‌های بهره‌برداری آن، به ویژه در بخش کشاورزی و صنعت در استان تهران بود. پیشنهاد می‌شود از آنالیز STA به عنوان ابزاری مناسب برای بررسی روند فصلی پوشش برف و جا به جایی زمانی آن استفاده شود همچنین چگونگی تاثیر تغییرات پوشش برف مشخص شده در مناطق حفاظت شده بر مهاجرت و جابجایی گونه‌ها و تاثیر آن بر روند تغییرات زاد و ولد، فراوانی و تنوع گونه‌ای مورد بررسی قرار گیرد. روش مورد استفاده در این تحقیق می‌تواند به عنوان روشی جامع برای مطالعات آبی در خصوص شناسایی روند تغییرات آب و هوایی با استفاده از داده‌های دورسنجی به خصوص در مواردی که اطلاعات منطقه‌ای مطالعاتی محدود، نامطمئن و دسترسی به آن از لحاظ فیزیکی و میدانی سخت است، مورد استفاده قرار گیرد.

#### یادداشت‌ها

1. Universal Transverse Mercator coordinate system
2. TerrSet
3. Raster
4. MODISCONV Module
5. Window
6. Principal component analysis
7. Earth Trend Modeler
8. Aggregate
9. Seasonal Trend Analysis
10. Thiel-Sen
11. Linear Correlation
12. Reclass
13. Fitted curves

ماهواره دیده شد. بر اساس نتایج اعتبارسنجی شباهت ۸۵ درصدی تصاویر ماهواره‌ای پوشش برف با داده‌های پوشش برف ایستگاه‌های سینوپتیک استان تهران حاکی از هم‌خوانی قابل قبول بین روند تغییرات تصاویر ماهواره‌ای و روند تغییرات داده‌های زمینی است که با مطالعات Soleimani et al., 2018 همسو بوده است. اگرچه ماهواره ترا برای بررسی روند تغییرات پوشش برفی شباهت بیشتری نسبت به ماهواره آکوا در مقایسه با داده‌های زمینی نشان داد. لذا پیشنهاد می‌شود در انتخاب نوع ماهواره برای سنجنده مودیس دقت نمود. به منظور شناسایی اثرات اکولوژیکی، روند تغییرات پوشش برف، در مناطق حفاظت شده و پارک‌های ملی استان تهران بررسی شد. براساس کل نقشه‌های به دست آمده در منطقه حفاظت شده ورجین روند تغییرات بیشتری نسبت به دیگر مناطق حفاظت شده‌ی استان تهران دیده شد. براساس نتایج به دست آمده از مقایسه تصاویر روند تغییرات دمایی سالانه با مجموع روزهای همراه با پوشش برف سالانه، نواحی که در تصاویر دمایی روند افزایشی داشته در تصاویر پوشش برف روند کاهشی داشته است که نشان دهنده رابطه عکس میان پارامتر درجه حرارت سطح زمین با پارامتر پوشش برف می‌باشد. بدون شک با افزایش دما، الگوی بارش منطقه دستخوش تغییر شده و رژیم بارش زمستانه از برف به باران تبدیل شده است. این موضوع باعث کاهش ذخیره برفی در حوضه آبریز منطقه مورد مطالعه می‌باشد و آسیب پذیری منابع آب وابسته به ذوب برف را نشان می‌دهد. از آنجائیکه دبی بسیاری از رودخانه‌ها وابسته به پوشش

#### فهرست منابع

- Abdollahi, A.; Jahani, A.; Rayegani, B. & Mohammadi Fazel, A. 2017. Impact Assessment of Dam Construction on Land Use Changes in the Western and Southern Catchments of Lake Urmia Using Satellite Images. *Environmental Researches*, 8(15), 39-50. (In Persian).
- Ahmadi, A.; Khoramian, A. & Safavi, H. R. 2015. Assessment of Climate Change Impacts on Snow-Runoff Processes Case Study: Zayandehroud River Basin. *Iran-Water Resources Research*, 11(2) (33), -. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=475580>. (In Persian).
- Azizi, G. & Roushani, M. 2008. Using Mann-Kendall Test to Recognise of Climate Change in Caspian Sea Southern Coasts. *Geographical Research Quarterly*, 40(64), -. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=113380>. (In Persian).
- Bahraminejad, M.; Rayegani, B.; Jahani, A. & Nezami, B. 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).

- Borhani Darian, A. & Zaherpour, J. & Fatehi Marj. 2004. Snowflake models predict catchment flow using RS and GIS. *International Journal of Industrial Engineering and Production Management*, 15(2), -. <https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=20384>. (In Persian).
- Barati GHahfarokhi, S.; KHajeddin, S. & Rayegani, B. 2009. Investigation of Land Use Changes in Qale Shahrokh Basin Using Remote Sensing (1975-2002). *JWSS-Isfahan University of Technology*, 13(47), 349-365. (In Persian).
- Baugh, W. & Groeneveld, D. 2006. Broadband Vegetation Index Performance Evaluated for a Low- Cover Environment. *International Journal of Remote Sensing*, 27(21), 4715-4730.
- Dong, C. & Menzel, L. 2016. Producing Cloud-Free MODIS Snow Cover Products With Conditional Probability Interpolation and Meteorological Data. *Remote Sensing of Environment*, 186, 439-451.
- Eastman, J. R. 2015. TerrSet tutorial. Clark Labs, Clark University: Worcester, MA, United States.
- Ebrahimi, H.; Gheiby, A. & Malakooti, H. 2012. Trend of Snow Cover Detection Using Satellite Data From MODIS Over Snow-Rich Areas in Iran. *Nivar*, 78(78), 3-. <https://www.magiran.com/paper/1372456>. (In Persian).
- Fassnacht, S.; Cherry, M.; Venable, N. & Saavedra, F. 2016. Snow and Albedo Climate Change Impacts Across the United States Northern Great Plains. *The Cryosphere*, 10(1), 329-339.
- Fattahi, E. & Moghimi, S. 2019. Investigation of Snow Cover Changes Affected by Climate Change in North West of Iran [Research]. *Journal of Applied researches in Geographical Sciences*, 19(54), 47-63. <https://doi.org/10.29252/jgs.19.54.47>. (In Persian).
- Fisher, R. A. 1915. Frequency Distribution of the Values of the Correlation Coefficient in Samples From an Indefinitely Large Population. *Biometrika*, 10(4), 507-521.
- Ghorbanizadeh Kharazi, H.; Sedghi, H.; Saghafian, B. & Porhemmat, J. 2010. Study on the Effect of Climate Change on Snowmelt Runoff Timing in Karoon Basin. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 3(9), -. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=215908>. (In Persian).
- Gupta, R.; Haritashya, U. K. & Singh, P. 2005. Mapping Dry/Wet Snow Cover in the Indian Himalayas Using IRS Multispectral Imagery. *Remote Sensing of Environment*, 97(4), 458-469.
- Haghizadeh, A. & Arshia, A. 2018. Monitor and Assess the Snow Surface Changes in the Province of Chahar Mahal Bakhtiari. *Journal of Extension and Development of Watershed Managment*, 6(21), 11-. <https://www.magiran.com/paper/1838190>. (In Persian).
- Johansson, B.; Caves, R.; Ferguson, R. & Turpin, O. 2001. Using Remote Sensing Data to Update the Simulated Snow Pack of the HBV Runoff Model. *IAHS PUBLICATION*, 595-597.
- Kendall, M. 1975. Rank Correlation Methods, Charles Griffin, London (1975). There is no corresponding record for this reference.
- Kermani, F.; Rayegani, B.; Nezami, B.; Goshtasb, H. & Khosravi, H. 2018. Assessing the Vegetation Trends in Arid and Semi-Arid Regions (Case study: Touran Protected Area). *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 6(17), 1-14. <https://www.magiran.com/paper/1804084>. (In Persian)
- Kiany, M. K. & Masoudian, S. A. 2017. Exploring the Role of Land Surface Temperature on Distribution of Snow Coverage in Iran by Remote Sensing Data. *Geography and Development Iranian Journal*, 15(49), 189-204. <https://www.magiran.com/paper/1774158>. (In Persian).
- Mahdavi, M. 2013. *Applied Hydrology* (2 ed., Vol. 1). University of Tehran press. (In Persian).
- Malmros, J. K.; Mernild, S. H.; Wilson, R.; Tagesson, T. & Fensholt, R. 2018. Snow Cover and Snow Albedo Changes in the Central Andes of Chile and Argentina from Daily MODIS Observations (2000–2016). *Remote Sensing of Environment*, 209, 240-252.



- Marchane, A.; Jarlan, L.; Hanich, L.; Boudhar, A.; Gascoin, S.; Tavernier, A.; Filali, N.; Le Page, M.; Hagolle, O. & Berjamy, B. 2015. Assessment of Daily MODIS Snow Cover Products to Monitor Snow Cover Dynamics Over the Moroccan Atlas Mountain Range. *Remote Sensing of Environment*, 160, 72-86.
- Raeispour, K. 2018. Monitoring Changes in Iran's Snow Cover Using NDSI Algorithm in TERRA / MODIS Images The Second National Conference on Meteorology of Iran, <https://civilica.com/doc/781052>. (In Persian).
- Rayegani, B.; Arzani, H.; Heydari Alamdarloo, E. & Moghadami, M. M. 2019. Application of Remote Sensing to Assess Climate Change Effects on Plant Productivity and Phenology (Case Study area: Tehran Province). *Rangeland*, 13(3), 450-460. (In Persian).
- Rayegani, B.; Barati, S.; Goshtasb, 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, 100984. (In Persian).
- Rayegani, B.; Barati, S.; Goshtasb, H.; Gachpaz, S.; Ramezani, J. & Sarkheil, H. 2020a. Sand and Dust Storm Sources Identification: A remote sensing approach. *Ecological Indicators*, 112, 106099. (In Persian).
- Rayegani, B.; Barati, S. & Sarkheil, H. 2020b. A Simple Model for PIFs Extraction at Digital Change Detection Approach. *Modeling Earth Systems and Environment*, 1-13. (In Persian).
- 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).
- Rayegani, B.; Khajeddin, S.; Soltani, S. & Barati, S. 2008a. Analysis of MODIS Snow-Cover Map Changes During Missing Data Period. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*. (In Persian).
- Rayegani, B.; Koopani, S. S.; Khajeddin, S. J. & Barati, S. 2011. Estimate of Snowmelt runoff using MODIS data. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 2(4), 35-. <https://www.magiran.com/paper/1341982> (In Persian).
- Rayegani, B.; Soltani Koupaei, S.; Khajeh Aldin, S. J. A. D. & Barati, S. 2008b. Using MODIS Images and NDSI Index for Prepration Snow Cover Maps. *Iranian Journal of Natrual Resources*, 61(3), -. <https://www.sid.ir/en/journal/ViewPaper.aspx?ID=138434> (In Persian).
- Sheikh, V.; Bahremand, A. & Mooshakhian, Y. 2011. A Comparison of Trends in Hydrologic Variables in the Atrak River Basin Using Non-parametric Trend Analysis Tests.
- Tang, B.-H.; Shrestha, B.; Li, Z.-L.; Liu, G.; Ouyang, H.; Gurung, D. R.; Giriraj, A. & San Aung, K. 2013. Determination of Snow Cover From MODIS Data for the Tibetan Plateau Region. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 21, 356-365.
- Teferi, E.; Uhlenbrook, S. & Bewket, W. 2015. Inter-Annual and Seasonal Trends of Vegetation Condition in the Upper Blue Nile (Abay) Basin: Dual-Scale Time Series Analysis. *Earth System Dynamics*, 6(2), 617-636.
- Tekeli, A. E.; Akyürek, Z.; Şorman, A. A.; Şensoy, A. & Şorman, A. Ü. 2005. Using MODIS Snow Cover Maps in Modeling Snowmelt Runoff Process in the Eastern Part of Turkey. *Remote Sensing of Environment*, 97(2), 216-230.