



Classification and analysis of normalized difference vegetation index data in Dez, Karun, and Karkheh watersheds

Harir Sohrabi¹, Yahya Esmailpour^{*2}, Rasool Mahdavi Najafabadi³, Ommolbanin Bazrafshan⁴, Hossein Zamani⁵

1. Ph.D., Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, university of Hormozgan, Bandarabbas, Iran, Email: hsohrabi90@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandarabbas, Iran, Email: y.esmaeilpour@hormozgan.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandarabbas, Iran, Email: ra_mahdavi2000@yahoo.com
4. Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandarabbas, Iran, Email: o.bazrafshan@hormozgan.ac.ir
5. Assistant Professor, Department of Statistics, Faculty of Sciences, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran, Email: zamani.huni@hormozgan.ac.ir

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p>Article type: Research Paper</p> <p>Article history Received: 15 June 2023 Revised: 29 August 2023 Accepted: 31 August 2023 Published online: 06 October 2023</p> <p>Keywords: Maximum likelihood algorithm, Great Karun watershed, NDVI, Supervised classification, Landsat.</p>	<p>Vegetation as a natural component plays a significant role in increasing permeability, improving soil, reducing evaporation, and reducing the runoff and thus reducing the possibility of flooding. The use of new technologies such as remote sensing and geographic information system to study plant ecosystems and prepare land cover maps is necessary to know the effectiveness of these tools and to identify the best methods of their use. The purpose of this research is to investigate the vegetation cover using the NDVI and compare the performance of three supervised classification methods, the maximum likelihood method, the minimum distance from the mean, and the parallelepiped method in a part of the Great Karun watershed. To this end, TM and ETM images of Landsat satellite were used in one interval and NDVI in a 10-year interval (May 2008 to May 2018) with the help of supervised classification and maximum likelihood algorithm. The above data were prepared and analyzed using ENVI4.2 software, and the effectiveness of each method was evaluated with the overall accuracy index and Kappa coefficient. Based on the results in the maximum likelihood method, the overall accuracy rate is 90.35% and the Kappa coefficient is 0.878, in the minimum distance method, the distance from the mean is 74.32% and its Kappa coefficient is 0.675, and in the parallelepiped method, the overall accuracy is 67.09% and the Kappa coefficient was calculated as 0.593. Based on the results, the maximum likelihood method has the highest level of accuracy in satellite data group classification. Moreover, the results showed that in the 10-year period in Dez, Karun, and Karkheh watersheds, the spectral reflectance related to vegetation has decreased by 7.4%, 10.64%, and 13.83%, respectively. The results of this research can be effective for the practical use of the analysis that was done in relation to the studies of runoff and flood. According to the process of vegetation changes due to natural or human factors, the need for proper management in this area seems necessary.</p>

Citation: Sohrabi, H., Esmailpour, Y., Mahdavi Najafabadi, R., Bazrafshan, O., & Zamani, H. (2023). Classification and analysis of normalized difference vegetation index data in Dez, Karun, and Karkheh watersheds. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 11(3), 54-71.

DOI: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.4.4

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association

© Author(s)



*Corresponding author: Yahya Esmailpour

Address: Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, university of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

Tel: +989126313731

Email: y.esmaeilpour@hormozgan.ac.ir



Classification and analysis of normalized difference vegetation index data in Dez, Karun and Karkheh watersheds

Harir Sohrabi¹, Yahya Esmaeilpour^{*2}, Rasool Mahdavi Najafabadi³, Ommolbanin Bazrafshan⁴, Hossein Zamani⁵

1. Ph.D., Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, university of Hormozgan, Bandarabbas, Iran, Email: hsohrabi90@gmail.com
2. Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandarabbas, Iran, Email: y.esmaeilpour@hormozgan.ac.ir
3. Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandarabbas, Iran, Email: ra_mahdavi2000@yahoo.com
4. Associate Professor, Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Bandarabbas, Iran, Email: o.bazrafshan@hormozgan.ac.ir
5. Assistant Professor, Faculty of Sciences, Department of Statistics, University of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran, Email: zamani.huni@hormozgan.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Suitable vegetation cover causes 50% of precipitation to penetrate into the soil and amplification Groundwater aquifers and reducing soil erosion. Therefore, the positive effects of vegetation in reducing runoff and water erosion and reducing erosion and soil loss as a result of the establishment of suitable and stable vegetation have been accepted and proven in the research literature as a scientific principle and it has been shown that the the average volume of runoff in different conditions of vegetation has a significant difference with each other. Vegetation of an area has an inverse relationship with the volume of runoff produced because vegetation acts as a protective shield for the soil. In addition, in many studies, the efficiency of the NDVI has been confirmed as one of the most useful tools for studying vegetation. One of the fields of interest of researchers in the research related to the application of remote sensing in vegetation studies is the review and comparison of different supervised classification algorithms for the assessment of vegetation cover and its distribution.

Methodology: In terms of water resources, the Great Karun Watershed is one of the most important watersheds in the country, and the frequency of rainfall, especially in the headwaters of this watershed, has created a significant potential for surface and underground water resources. This watershed covers about 4.2% of the country's total area. The Great Karun watershed is also one of Iran's open basins with an area of 67,257 square kilometers and its main river is Karun. The normalized difference vegetation index has been the first and most famous index to identify vegetation in remote sensing and identifies vegetated surfaces with high absorption and low reflectance in red (RED) and nearinfrared (NIR) wavelengths, respectively. After the primary processing is done on the satellite images, it is time to classify the images using the supervised method. In this study, in order to perform the classification, first, for each class, small areas in the image, in terms of reflective values, their figures were uniform and had good distribution, were selected as training samples for classification. Since to detect complications in satellite images, it is necessary to display them in a recognizable way for the human eye, True and false color images and images existing in Google Earth were used. Algorithm selection and application is the most important step of classification. Types of classification are divided into supervised and unsupervised. In this study, the supervised method and the algorithm of maximum likelihood, minimum distance from the mean, and parallelepiped were used. The evaluation of the spectral reflectance of the classes and their resolution can be done at the same time by sampling the pixels as a pattern of spectral or informational classes. Therefore, to ensure the accuracy of the classification, the accuracy of the classification was evaluated. One of the most

***Corresponding author:** Yahya Esmaeilpour

Address: Department of Natural Resources Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, university of Hormozgan, Bandar Abbas, Iran.

Tel: +989126313731

Email: y.esmaeilpour@hormozgan.ac.ir

common ways to express classification accuracy is to prepare a classification error matrix. In an error matrix, parameters of overall accuracy, producer accuracy, user accuracy, and kappa coefficient are calculated.

Results and Discussion: Supervised classification of satellite data was done using three methods: Maximum Likelihood, Minimum Distance to Mean, and Parallelepiped. For this purpose, by using the collected educational samples, the satellite images are classified and then the accuracy of each classification is checked with the help of the remaining educational samples, its error matrix is formed and the overall accuracy values, Kappa coefficient Also, each error class of commission and omission was calculated for each method. The results showed that the best results of the classification related to the supervised classification were obtained using the maximum likelihood method, which shows an overall accuracy value of 90.35 and a Kappa coefficient of 0.878. In contrast, the Parallelepiped method has provided the least accurate results (overall accuracy = 67.09 and Kappa coefficient = 0.593). After going through the calculation steps, finally, the vegetation map of the studied areas was prepared using the NDVI in the time periods of 2008 to 2018, i.e. one year before the flood. Then, in order to determine the rate of vegetation changes, the map of vegetation changes in three watersheds of Dez, Karkheh, and Karun was examined in a ten-year period. The results of this section showed that during the study period, the vegetation cover in Dez, Karkheh, and Karun watersheds decreased by 7.4%, 10.64%, and 13.83%, respectively.

Conclusion: According to the findings of the research, the greatest decrease in vegetation cover was seen in the Karkheh, Karun, and Dez watersheds, respectively. On the other hand, the highest observed rainfall and floods during the study period were reported in the Karkheh watershed, which according to the NDVI results also had the greatest decrease in vegetation cover. The results of this research show that the NDVI vegetation cover index can be effective in studies related to watershed management in order to understand vegetation changes and studies related to the relationship between watershed ecosystem components and their hydrological performance.

Ethical Considerations

Data Availability Statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Funding: This research has not received financial support.

Authors' contribution: Harir Sohrabi (data collection, methodology) Yahya Esmaeilpour and Rasool Mahdavi Najafabadi (data analysis, conceptualization, supervision, writing, review, and editing), Ommolbanin Bazrafshan and Hossein Zamani (methodology and prepared figures and tables), All authors reviewed the manuscript.

Conflicts of interest: The author of this paper declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Acknowledgment: The authors are grateful to the Islamic Republic of Meteorological Organization for providing data.

طبقه‌بندی و بررسی داده‌های شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش گیاهی در حوزه‌های آبخیز دز، کارون و کرخه

- حریر سهرابی^۱، یحیی اسماعیل‌پور^{۲*}، رسول مهدوی نجف‌آبادی^۳، ام‌البنین بذرافشان^۴، حسین زمانی^۵
۱. دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، هرمزگان، ایران، hsohrabi90@gmail.com
 ۲. دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران، y.esmaeilpour@hormozgan.ac.ir
 ۳. دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران، ra_mahdavi2000@yahoo.com
 ۴. دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران، o.bazrafshan@hormozgan.ac.ir
 ۵. استادیار گروه آمار، دانشکده علوم پایه، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران، zamani.huni@hormozgan.ac.ir

مشخصات مقاله	چکیده
نوع مقاله: پژوهشی	پوشش گیاهی به‌عنوان یک جزء طبیعی در افزایش نفوذپذیری، اصلاح خاک، کاهش تبخیر و کاهش حجم رواناب و در نتیجه کاهش احتمال جاری شدن سیل در بوم‌سازگان‌های طبیعی نقش به‌سزایی دارد. استفاده از فناوری‌های نوین مانند سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی برای مطالعه بوم‌سازگان‌های گیاهی و تهیه نقشه‌های پوشش زمین، لازمی شناخت کارایی این ابزار و شناسایی بهترین روش‌های کاربرد آن‌ها است. هدف از پژوهش حاضر، مقایسه کارایی سه روش طبقه‌بندی نظارت‌شده روش حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و متوازی السطوح در بررسی پوشش گیاهی با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده‌های TM و ETM ماهواره لندست در سال‌های ۱۳۶۵، ۱۳۷۵ و ۱۳۸۴ و مقایسه کمی مقادیر NDVI در سال‌های ۱۳۸۷ (۲۰۰۸) و ۱۳۹۷ (۲۰۱۸) به‌عنوان دو مقطع زمانی با فاصله ده ساله است. داده‌های فوق با استفاده از نرم‌افزار ENVI4.2 آماده‌سازی و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و میزان کارایی هر روش با شاخص صحت کلی و ضریب کاپا مورد بررسی قرار گرفت. براساس نتایج در روش حداکثر احتمال میزان صحت کلی ۹۰/۳۵ درصد و ضریب کاپا ۰/۸۷۸، در روش حداقل فاصله از میانگین میزان صحت کلی ۷۴/۳۲ درصد و ضریب کاپای آن ۰/۶۷۵ و در روش متوازی‌السطوح صحت کلی ۶۷/۰۹ درصد و ضریب کاپا ۰/۵۹۳ محاسبه شد. براساس نتایج روش حداکثر احتمال بیش‌ترین میزان دقت را در طبقه‌بندی گروه داده‌های ماهواره‌ای دارد. همچنین نتایج نشان داد که در بازه ۱۰ ساله در حوزه آبخیز دز، کارون و کرخه به‌ترتیب بازتاب طیفی مرتبط با پوشش گیاهی ۷/۴، ۱۰/۶۴ و ۱۳/۸۳ درصد کاهش داشته است. نتایج این پژوهش می‌تواند برای استفاده عملی از تحلیل‌هایی که انجام شد در رابطه با مطالعات بحث رواناب و سیل کارایی داشته باشد، باتوجه به روند تغییرات پوشش گیاهی به علل عوامل طبیعی یا انسانی مدیریت صحیح در این منطقه ضروری به نظر می‌رسد.
تاریخچه مقاله دریافت: ۲۵ خرداد ۱۴۰۲ بازنگری: ۷ شهریور ۱۴۰۲ پذیرش: ۹ شهریور ۱۴۰۲ انتشار برخط: ۱۴ مهر ۱۴۰۲	
واژه‌های کلیدی: الگوریتم حداکثر احتمال، حوزه کارون بزرگ، NDVI، طبقه‌بندی نظارت‌شده، لندست.	

استناد: سهرابی، حریر، اسماعیل‌پور، یحیی، مهدوی نجف‌آبادی، رسول، بذرافشان، ام‌البنین، و زمانی، حسین (۱۴۰۲). طبقه‌بندی و بررسی داده‌های شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش گیاهی در حوزه‌های آبخیز دز، کارون و کرخه. سامانه‌های سطوح آبگیر باران، ۱۱(۳)، ۵۴-۷۱.

DOR: 20.1001.1.24235970.1402.11.3.4.4



© نویسندگان

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

* نویسنده مسئول: یحیی اسماعیل‌پور

نشانی: دانشیار گروه مهندسی منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

تلفن: ۰۹۱۲۶۳۱۳۷۳۱

پست الکترونیکی: esmaeilpour@hormozgan.ac.ir

مقدمه

پژوهش‌های بسیاری از داده‌های سنجنده‌های چندطیفی در مطالعات محیطی به صورت موفقیت‌آمیز بهره برده‌اند (علی‌پور و همکاران، ۱۳۹۳؛ فرزادمهر و همکاران، ۱۳۹۷؛ رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۵؛ ظفریان و همکاران، ۱۳۹۷؛ علی‌خواه اصل و فروتن، ۱۳۹۲؛ میرزایی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴). سنجش از دور ابزاری موثر برای کمی‌سازی اثرات اقلیم و توپوگرافی و پایش تغییرات شاخص‌های پوشش گیاهی است (Couteron et al., 2014) و به دلیل مزایایی از قبیل قابلیت پوشش وسیع منطقه مورد مطالعه، امکان برداشت داده با توالی منظم و مکرر، فرمت رقومی مناسب برای پردازش رایانه‌ای و ارزان‌تر بودن نسبت به روش‌های برداشت زمینی به صورت روزافزون در مطالعات علوم محیطی با اهداف گوناگون به کار گرفته شده‌اند (زارع خورمیزی و غفاریان، ۱۳۹۶؛ Tian et al., 2018; Wachendorf et al., 2017; Marcinkowska-Ochtyra et al., 2017).

با توجه به اهمیت پوشش گیاهی، محققان بسیاری بر شناخت رشد و الگوهای مکانی پوشش گیاهی در مناطق مختلف اقدام نموده‌اند (Jin et al., 2008; Suding et al., 2015). نقش پوشش گیاهی به عنوان جزء اصلی بوم‌سازگان در تبادل انرژی، گردش آب و چرخه‌های بیوژئوشیمیایی در سطح زمین بر کسی پوشیده نیست (Peng et al., 2012). پوشش گیاهی به عنوان یک محرک در تغییر شرایط زیستگاهی (Rannow and Neubert, 2014) که با تعادل بخشی به عوامل محیطی سبب پایداری محیط زیست می‌شود، نقش کلیدی در بوم‌سازگان داشته و می‌تواند فرسایش خاک، تولید رواناب، فرآیند نفوذ و خواص خاک را کنترل کند (Cerdà and Doerr, 2005; Keesstra et al., 2009; Keesstra, 2007; Barua and Haque, 2013; Novara et al., 2011; Cadaret et al., 2016; Archer et al., 2016). وجود پوشش گیاهی در سطح آبخیز بر سرعت نفوذپذیری و سرعت رواناب (Cubera and Moreno, 2007) و اجزای چرخه هیدرولوژیک موثر بوده و در صورت داشتن شرایط مناسب می‌تواند باعث کاهش و کنترل سیل خیزی و فرسایش خاک شود (Mohammad and Adam, 2010). امروزه از فرسایش خاک مساله‌ای جهانی و عامل اصلی کاهش حاصل خیزی خاک و کیفیت آب و افزایش پیامدهای ناخوشایند هم‌چون رسوب‌زایی و سیل یاد می‌شود که اهمیت مطالعات در این حوزه آبخیز را دوچندان می‌سازد (Bissonnais et al., 2001; Wildhaber et al., 2011).

با توجه به اهمیت نقش حفاظتی پوشش گیاهی، محققان بسیاری الگوهای زمانی و مکانی تغییرات پوشش گیاهی را مورد بررسی و مطالعه قرار داده‌اند (Suding et al., 2015; Jin et al., 2008). یکی از ابزارهای مناسب مطالعات پوشش گیاهی دورسنجی است که با تکیه بر شاخص‌های گوناگون محاسبه شده از روابط نسبی بین طول موج‌های مختلف دریافت شده توسط سنجنده انجام می‌شوند. به عنوان نمونه قائمی و همکاران (۱۳۸۹)، برای مطالعه پوشش گیاهی منطقه دشت نیشابور ۲۰ شاخص گیاهی از جمله شاخص پوشش گیاهی سبز^۱ (GVI)، شاخص‌های فرورسرخ^۲ (IR₁) و^۳ (IR₂)، شاخص محتوای آب برگ^۴ (LWCI)، شاخص نرمال شده اصلاح شده^۵ (MNI)، شاخص استرس رطوبتی^۶ (MSI) و شاخص نرمال شده تفاضلی پوشش گیاهی^۷ را مقایسه و برتری NDVI را گزارش کردند. در پژوهش‌هایی که مانند تحقیق حاضر با هدف بررسی توزیع و تغییرات پوشش گیاهی انجام می‌شوند منابع بسیاری NDVI را به عنوان مناسب‌ترین شاخص که امکان تشخیص پوشش گیاهی را بیش از سایر شاخص‌ها فراهم می‌کند معرفی شده است (De la Barrera et al., 2017; Jarchow et al., 2017; Wu et al., 2017; Lu et al., 2019; Neinavaz et al., 2020).

روش‌های مطالعاتی در این تحقیقات نیز از تنوع برخوردارند. از جمله می‌توان به تحقیق سفیدیان و همکاران (۱۳۹۴)، که طبقه‌بندی پوشش گیاهی به کمک NDVI را با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌نشده ISOCLUST^۸ و نظارت‌شده حداکثر احتمال انجام دادند و تحقیق رستمی و افضلی (۱۳۹۷)، که تعیین محل و مساحت اراضی مواجه شده با کاهش پوشش گیاهی در اثر آتش‌سوزی را با استفاده از سه روش طبقه‌بندی نظارت‌شده، طبقه‌بندی نظارت‌نشده و تشخیص تغییرات انجام داده و به این نتیجه رسیدند که روش طبقه‌بندی نظارت‌شده دقت بالایی دارد.

¹ Green Vegetation Index

² Infrared Index₁

³ Infrared Index₂

⁴ Leaf Water Content Index

⁵ Leaf Water Content Index

⁶ Moisture Stress Index

⁷ Normalized Difference Vegetation Index

⁸ Iso Cluster Unsupervised Classification

یوسفی و همکاران (۱۳۹۷)، در تولید نقشه تیپ‌های گیاهی مراتع در شهرستان بهبهان با استفاده از روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده با شش الگوریتم شامل متوازی‌السطوح^۱، حداقل فاصله از میانگین^۲، فاصله ماهالانویس^۳، حداکثر احتمال^۴، شبکه عصبی مصنوعی^۵ و ماشین بردار پشتیبان^۶ انجام دادند. نتایج ایشان نشان داد که الگوریتم MLC دارای بیش‌ترین و الگوریتم PP دارای کم‌ترین صحت کلی بوده است. تراهی و میهن‌پرست (۱۳۹۹)، به منظور ارزیابی پوشش گیاهی و پراکندگی آن برای منطقه آبیگ از دو الگوریتم طبقه‌بندی شده شامل حداکثر احتمال و نقشه‌برداری زاویه طیفی^۷ استفاده و الگوریتم MLC را روش مناسب‌تری برای ارزیابی و تخمین پراکندگی پوشش گیاهی شناختند. زارع خورمیزی و غفاریان (۱۴۰۰) نیز در ارزیابی قابلیت طبقه‌بندی نظارت‌شده در تهیه نقشه جوامع گیاهی مراتع جنوب استان یزد، دقت شش الگوریتم طبقه‌بندی متوازی‌السطوح، کم‌ترین فاصله، فاصله ماهالانویس، حداکثر تشابه، شبکه عصبی و ماشین بردار پشتیبان با کرنل شعاعی در تفکیک و تعیین محدوده جامعه گیاهی را مورد بررسی قرار دادند و بر اساس نتایج، الگوریتم حداکثر تشابه و شبکه عصبی را دارای بالاترین و الگوریتم طبقه‌بندی متوازی‌السطوح را دارای کم‌ترین دقت ارزیابی کردند. سفیانیان و مدنیان (۱۳۹۰) به منظور مقایسه روش‌های طبقه‌بندی کننده حداکثر مشابهت و حداقل فاصله از میانگین در تهیه نقشه پوشش اراضی از طبقه‌بندی تصویر با استفاده از الگوریتم‌های حداکثر مشابهت و حداقل فاصله از میانگین استفاده کرده و نشان دادند طبقه‌بندی کننده حداکثر مشابهت نسبت به حداقل فاصله از میانگین برتری دارد. حمزه و عبدالمی (۱۴۰۱)، نیز در آشکارسازی و پایش تغییرات کاربری اراضی نواحی ساحلی عسلویه به این نتیجه دست یافتند که الگوریتم حداکثر احتمال یا روش بیش‌ترین شباهت تحلیل بهتر و دقیق‌تری از داده‌های تصاویر به‌دست می‌دهد.

با توجه به این‌که پوشش گیاهی سطح زمین یکی از مهم‌ترین شاخص‌هایی است که بر نفوذپذیری، فرسایش و رواناب تولید شده در سطوح آبخیز و در نتیجه عملکرد هیدرولوژیک حوزه‌های آبخیز و مقدار رواناب خروجی موثر است و هم‌چنین با در نظر داشتن این‌که پوشش گیاهی می‌تواند منعکس کننده شرایط اقلیمی و مدیریتی اراضی به‌شمار رود؛ در این پژوهش تلاش شد تغییرات وضعیت پوشش گیاهی در حوزه آبخیز کارون بزرگ با چند روش بررسی شود و روندهای احتمالی موجود نیز جهت گسترش مطالعات مشابه در حوزه‌های آبخیز با تکیه بر شاخص‌های پوشش گیاهی آشکار شود. در راستای این هدف بررسی پوشش گیاهی با بهره‌گیری از NDVI استخراج شده از تصاویر ماهواره لندست در دهه ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ با مقایسه کارایی سه روش طبقه‌بندی نظارت‌شده شامل روش‌های حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و متوازی‌السطوح انجام شد.

مواد و روش

محدوده مورد مطالعه

حوزه آبخیز کارون بزرگ متشکل از حوضه رودهای دز و کارون به ترتیب با مساحت ۲۳۲۳۷ و ۴۳۴۳۹ کیلومتر مربع و در مجموع با مساحت نزدیک به ۶۶۶۷۶ کیلومتر مربع، یکی از مهم‌ترین منابع آبی کشور و بخشی از حوزه آبخیز خلیج فارس به‌شمار می‌آید که در مختصات جغرافیایی ۴۸ درجه تا ۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه طول شرقی و ۳۰ درجه تا ۳۴ درجه و ۵ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. میانگین بلندمدت دمای سالانه ۱۵/۶ درجه سلسیوس بوده که با توجه به وسعت و تنوع ارتفاعی از ۲۶/۷ درجه در جنوب تا حدود ۳/۷- درجه در مناطق کوهستانی و ارتفاعات متغیر است. بارندگی سالانه نیز بین ۱۵۳ تا ۲۰۰۰ میلی‌متر متغیر بوده و میانگین آن ۶۳۲ میلی‌متر است. حوزه آبخیز رودخانه کرخه نیز با مساحت ۵۱۹۱۲ کیلومتر مربع شامل بیش از نیمی از استان‌های لرستان و کرمانشاه و بخش‌هایی از استان‌های کردستان، همدان، ایلام و خوزستان است. متوسط بارش سالانه حوزه آبخیز بالادست سد کرخه حدود ۵۱۰ میلی‌متر، متوسط دمای سالانه ۱۳/۵ درجه سلسیوس در سال است.

¹ Parallelepiped

² Minimum Distance to Mean

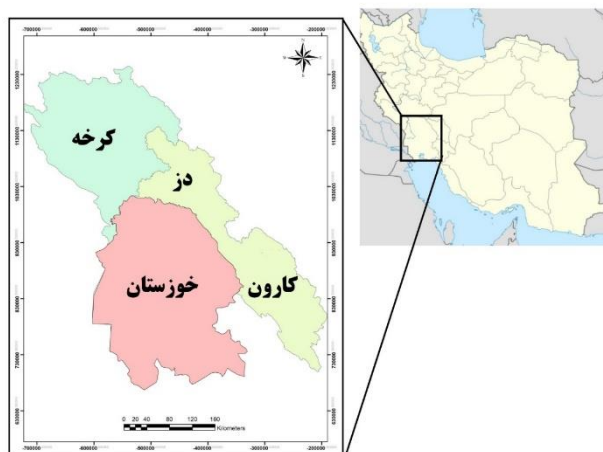
³ Mahalanobis Distance

⁴ Maximum Likelihood

⁵ Artificial Neural Network

⁶ Support Vector Machine

⁷ Spectral angle mapper



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی استان خوزستان و آبخیزهای دز، کارون و کرخه

Figure 1- Geographical location of Khuzestan province and Dez, Karun, and Karkheh watersheds

روش کار

در این مطالعه برای مقایسه عملکرد روش‌های طبقه‌بندی، داده‌های سنجنده‌های TM و ETM+ با فاصله زمانی پنج ساله در سه مقطع زمانی انتخاب شد تا تنوع شرایط برای آموزش و ارزیابی الگوریتم‌ها فراهم شود. برای مقایسه تغییرات کمی شاخص پوشش گیاهی NDVI از تصاویر سنجنده ETM+ در دو مقطع زمانی با فاصله ده ساله منتهی به رخداد سیل فروردین ۱۳۹۸ استفاده شد. پدیده سیل به‌عنوان خروجی هیدرولوژیک حاصل از عملکرد اکوسیستم حوزه آبخیز در نظر گرفته شده و تلاش شده است تا وضعیت پوشش گیاهی در دوره زمانی ده ساله قبل از آن بررسی شود. با توجه به شناخت شرایط اکولوژیک منطقه و مشورت با دیگر کارشناسان ماه خرداد به‌عنوان زمان اوج سبزیگی در منطقه تعیین و تصاویر همه سال‌های مطالعه مربوط به این ماه از وب‌سایت <https://earthexplorer.usgs.gov> دریافت شد (جدول ۱).

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره لندست مورد استفاده

Table 1- Characteristics of the used Landsat satellite images

تاریخ تصویربرداری		سنجنده	لندست	تصاویر استفاده شده
شمسی	میلادی			
1365.03/21	1986.06.11	TM	5	مقایسه روش‌های طبقه‌بندی
1375.03.17	1996.06.06			
1384.03.17	2005.06.07	ETM ⁺	7	مقایسه تغییرات کمی شاخص پوشش گیاهی NDVI
1387.03.11	2008/05/30	ETM ⁺	7	
1397.03.10	2018/05/31	ETM ⁺	7	

شاخص نرمال شده تفاوت پوشش گیاهی^۱ اولین و معروف‌ترین شاخص برای شناسایی پوشش گیاهی در سنجش از دور بوده و سطوح دارای پوشش گیاهی را به ترتیب با جذب بالا و بازتاب پایین در طول موج‌های سرخ^۲ و فرورسرخ نزدیک^۳ مشخص می‌کند (Salvatore et al., 2020; Kaasalainen et al., 2016).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad (1)$$

پس از تعیین محدوده زمانی و مکانی مطالعاتی دریافت، موزاییک و برش تصاویر برای رسیدن به پوشش کامل منطقه مطالعاتی انجام شد. هم‌چنین با توجه به مقاطع زمانی متفاوت سه مرحله پردازش، پردازش و پس پردازش تصاویر در نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام شد. در مرحله پیش پردازش خطاهای موجود در تصاویر شناسایی و اصلاح شد. این خطاها شامل سه دسته خطای سنجنده، خطاهای هندسی و

¹ NDVI: Normalized Difference Vegetation index

² Red Wavelengths

³ Near Infrared

خطاهای مربوط به عوامل جوی موثر در میزان انعکاس رسیده به سنجنده‌ها است (Sekrecka et al., 2019) و در استفاده از اطلاعات رقومی ثبت شده توسط سنجنده‌ها، تصحیح این خطاها ضروری است. در تصاویر و مجموعه داده‌های جدید بعضاً تصحیحات لازم صورت گرفته است اما در این مطالعه به دلیل تفاوت تاریخ تصاویر کنترل و تصحیحات لازم با دقت صورت گرفت. بهبود کنتراست تصاویر نیز به منظور بالا بردن وضوح تصاویر از لحاظ بصری با بهره‌گیری از روش متعادل‌سازی هیستوگرام (2% Linear) انجام شد (جوی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین وجود خطای ناشی از مشکل مکانیکی و فنی در اصلاح‌کننده خطوط اسکن^۱ (SLC) سنجنده ETM⁺ لندست ۷ که منجر به نقص در بخش‌های پیرامونی تصاویر دریافتی از این سنجنده می‌شود، کنترل شد. تصویر سال ۲۰۰۵ با اعمال دستور (Landsat gapfill) در نرم‌افزار ENVI 5.3 اصلاح شد. در مطالعه حاضر به دلیل استفاده از تصاویر ژئورفرنس شده نیازی به استفاده از تصحیح هندسی نبود. در محاسبه رادیانس تصویر ابتدا از طریق تصحیح رادیومتری^۲ مقادیر رقومی هر پیکسل به انرژی رسیده به سنجنده تبدیل شد. سپس تصویر رادیانس به دست آمده در فرآیند تصحیح اتمسفری فلش^۳ وارد شده و اثر اتمسفر از امواج ثبت شده، حذف شد.

پس از پردازش‌های اولیه، طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از روش نظارت‌شده انجام شد. در این مطالعه به منظور انجام طبقه‌بندی، ابتدا برای هر کلاس نواحی کوچکی در تصویر که از حیث مقادیر بازتابی، ارقام آن‌ها حالت یکنواختی داشته و از پراکنش خوبی برخوردار بودند، به‌عنوان نمونه‌های آموزشی انتخاب شد (Eikvil et al., 2009). در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به منظور استخراج نقشه کاربری اراضی، پس از تعیین کلاس‌های کاربری اراضی اقدام به جمع‌آوری نمونه‌های آموزشی می‌شود. حداقل ۱۰۰ پیکسل برای هر کلاس لازم است. محدوده‌های انتخابی باید با فاصله‌ی مناسب از کناره‌های تصویر قرار بگیرند تا در هنگام کلاس‌بندی، پیکسل‌های لبه‌ی تصویر داخل نشوند. از آن‌جا که برای تشخیص عوارض در تصاویر ماهواره‌ای لازم است به‌صورت قابل تشخیص برای چشم انسان نمایش داده شوند از تصاویر رنگی کاذب و حقیقی و همچنین تصاویر موجود در Google Earth استفاده شد. در این فرآیند با ترکیب سه باند مختلف و اختصاص سه رنگ اصلی قرمز، سبز و آبی (RGB) به هر باند تصویر رنگی ساخته شد. در این‌جا ترکیب رنگی کاذب ۲-۳-۴ برای جداسازی انواع پوشش گیاهی و طبقه‌بندی تصاویر استفاده شد. در این ترکیب رنگی رنگ قرمز به باند فرورسرخ، رنگ سبز به باند قرمز و رنگ آبی به باند سبز نسبت داده می‌شود. در نتیجه پوشش گیاهی که حداکثر بازتاب را در باند فرورسرخ دارد، به رنگ قرمز، آب به رنگ آبی و خاک لخت به رنگ سبز دیده می‌شود.

اعمال الگوریتم طبقه‌بندی، مهم‌ترین مرحله‌ی انجام طبقه‌بندی است. انواع طبقه‌بندی به دو صورت نظارت‌شده و نظارت‌نشده تقسیم می‌شود که در این مطالعه از روش نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و متوازی‌السطوح استفاده شد. بدین منظور با استفاده از نمونه‌های تعلیمی جمع‌آوری شده تصاویر ماهواره‌ای طبقه‌بندی شده و آن‌گاه میزان صحت هر یک از طبقه‌بندی‌ها به کمک نمونه‌های تعلیمی باقیمانده بررسی، ماتریس خطای آن تشکیل و مقادیر صحت کلی، ضریب کاپا و نیز هر طبقه خطای کمسیون^۴ و امیسیون^۵ برای هر روش محاسبه شد.

در روش حداکثر احتمال که از سایر روش‌های موجود برای طبقه‌بندی دقیق‌تر است میزان کمی واریانس و همبستگی ارزش‌های طیفی باندهای مختلف برای مناطق نمونه محاسبه می‌شود و از همین خاصیت برای ارتباط یک پیکسل طبقه‌بندی نشده به یکی از گروه‌ها یا نمونه‌های طیفی نیز استفاده می‌شود. به بیان دیگر برای بررسی نحوه توزیع ارزش‌های طیفی و احتمال آماری ارتباط یک پیکسل با یکی از گروه‌های نمونه از ماتریکس واریانس و بردار میانگین که خود واریانس و همبستگی ارزش‌های طیفی را تعریف می‌کنند، استفاده می‌شود. با استفاده از عامل شدت احتمال، هر یک از پیکسل‌های تصویر پس از آزمون آماری و محاسبه احتمال تعلق آن‌ها به گروه‌های طیفی نمونه، به گروه مربوطه تعلق می‌گیرد (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۳). این الگوریتم پس از آزمون نرمال بودن داده‌ها در هر طبقه، میانگین داده‌ها را محاسبه می‌کند، سپس پیکسل‌های طبقه‌بندی نشده را در طبقه‌ای قرار می‌دهد که با حداکثر احتمال به آن طبقه تعلق دارند (Lillesand et al., 2015). در روش حداقل فاصله از میانگین پس از مشخص شدن پیکسلی که میانگین ارزش طیفی نمونه‌های انتخابی هر طبقه را به خود اختصاص داده است، فاصله هر پیکسل طبقه‌بندی نشده با پیکسل‌های میانگین مقایسه می‌شود و پیکسل موردنظر به کلاسی تعلق

¹ Scan Line Modifier

² Radiometric Correction

³ Fast Line-of-Sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes

⁴ Comission

⁵ Omission

می‌گیرد که نزدیک‌ترین فاصله را با میانگین آن دارد (Richards, 1999). به‌همین ترتیب تمام پیکسل‌های هر تصویر به طبقات مربوط تعلق می‌گیرند و طبقات مختلف تصویر از هم جدا می‌شوند.

در روش متوازی‌السطوح ابتدا با توجه به دامنه طیفی طبقات نمونه که بر روی تصویر انتخاب شده است واریانس ارزش‌های طیفی محاسبه می‌شود و سپس با استفاده از حداقل و حداکثر ارزش طیفی طبقات نمونه در باندهای مختلف چهار ضلعی‌هایی ایجاد می‌شود که به آن‌ها اصطلاحاً شبکه‌های موازی گفته می‌شود. پس از ایجاد شبکه‌های موازی پیکسل‌های تصویر بسته به اینکه در کدام یک از چهار ضلعی‌ها قرار گیرند طبقه‌بندی و به گروه‌های منطبق با مناطق نمونه تفکیک می‌شوند (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۳). صحت کلی برابر با نسبت تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده یک طبقه به کل پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده در تمامی طبقات است. ماتریس خطا میزان تطابق هر کلاس طبقه‌بندی شده را با واقعیت زمینی نشان می‌دهد و در آن می‌توان میزان قرار گرفتن اشتباهی یک طبقه را در طبقات دیگر مشاهده کرد. قطر ماتریس خطا درصد کلاس‌های درست طبقه‌بندی شده و سایر سلول‌های آن میزان خطای کمیسون (ردیف هر طبقه در ماتریس خطا) و خطای امیسون (ستون هر طبقه در ماتریس خطا) را نشان می‌دهد.

ضریب کاپا نیز تشریح‌کننده میزان تطابق بین نتایج طبقه‌بندی و واقعیت زمینی است با توجه به این نکته که تطابق‌های اتفاقی بوجود آمده، از ملاحظات حذف می‌شوند. پس از طی مراحل محاسباتی در نهایت نقشه پوشش گیاهی مناطق مورد مطالعه با استفاده از NDVI در مقاطع زمانی سال ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ یعنی یک سال قبل از وقوع سیل تهیه شد (شکل ۲). سپس به‌منظور مشخص نمودن میزان تغییرات پوشش گیاهی نقشه تغییرات پوشش گیاهی سه حوضه دز، کرخه و کارون رسم شد.

از میان روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده، روش حداکثر احتمال یکی از پرکاربردترین روش‌های طبقه‌بندی تصاویر محسوب می‌شود (Samaniego et al., 2008). داده‌های طبقه‌بندی شده اغلب ظاهری نقطه‌ای دارند که این امر در نتیجه تغییرات طیفی در طبقه‌بندی پیکسل به پیکسل است. در چنین مواردی برای متعادل‌سازی از فیلترنما استفاده می‌شود. در این مطالعه برای حذف اثرات انفرادی پیکسل‌ها و متعادل‌سازی نتیجه طبقه‌بندی فیلتر حداکثر با ابعاد ۳*۳ مورد استفاده قرار گرفت و اثرات پیکسل‌های منفرد حذف شد. ارزیابی بازتاب طیفی کلاس‌ها و تفکیک‌پذیری آن‌ها هم‌زمان با نمونه‌برداری از پیکسل‌ها، به‌عنوان الگوی کلاس‌های طیفی یا اطلاعاتی قابل انجام است (علوی‌پناه، ۱۳۸۳). لذا برای اطمینان از صحت طبقه‌بندی اقدام به ارزیابی صحت طبقه‌بندی شد (Jog and Dixit, 2015). یکی از متداول‌ترین روش‌های بیان دقت طبقه‌بندی آماده کردن ماتریس خطای طبقه‌بندی است (Lillesand et al., 2015). ماتریس خطا رابطه بین داده‌های مرجع شناخته شده (حقایق زمینی) و نتایج ذی‌ربط یک طبقه‌بندی خودکار را به‌صورت رده به رده مقایسه می‌کند (Lillesand et al., 2015). در یک ماتریس خطا پارامترهای صحت کلی، صحت تولید‌کننده، صحت کاربر و ضریب کاپا محاسبه می‌شود. این پارامترها معمول‌ترین پارامترهای برآورد صحت محسوب می‌شوند. بر این اساس مقادیر این پارامترها به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند.

$$OA = \frac{\sum_{k=1}^N a_{kk}}{\sum_{i,k=1}^N a_{ik}} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^N a_{kk} \quad (2)$$

$$PA = \frac{\sum_{i=1}^N a_{ii}}{att} \quad (3)$$

در رابطه (۲)، OA نشان‌دهنده صحت کلی و N معرف تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی شده و $\sum_{k=1}^N a_{kk}$ نمایه‌ی مجموع کل پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده است و در رابطه (۳)، PA صحت تولیدکننده و att تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده و $\sum_{i=1}^N a_{ii}$ جمع تعداد پیکسل‌هایی که به عنوان نمونه‌های آموزشی آن طبقه مورد استفاده قرار گرفته است.

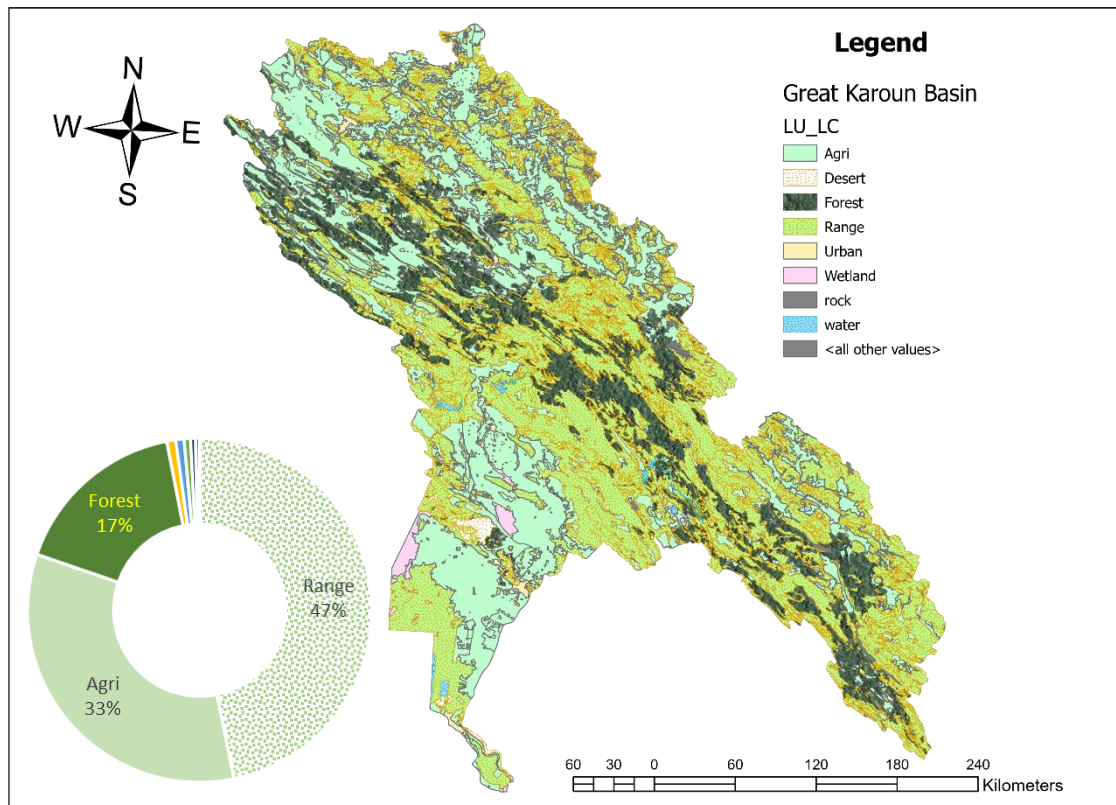
$$UA = \frac{a_{ii}}{\sum_{i=1}^N a_{ik}} \quad (4)$$

$$Kappa = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c} \quad (5)$$

در رابطه (۴)، UA صحت کاربر و a_{ii} معرف تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده و $\sum_{i=1}^N a_{ik}$ مساوی با تعداد کل پیکسل‌های طبقه‌بندی موردنظر است (عسکری‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷؛ Wang et al., 2012) و در رابطه (۵)، P_0 دقت مشاهده شده و P_c توافق مورد انتظار است (Wang et al., 2012).

نتایج و بحث

بررسی وضعیت پوشش سطح زمین با توجه به نقشه‌های کاربری اراضی موجود و مجموعه داده رستری کاربری/پوشش سطح زمین تهیه شده با تصاویر Sentinel-2 (Karra et al., 2021) نشان داد که بخش عمده اراضی منطقه مورد مطالعه زیر پوشش گیاهان مرتعی و جنگلی قرار دارد که در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- وضعیت پوشش سطح زمین در منطقه مورد مطالعه
Figure 2- Land cover status in the study area

در این پژوهش طبقه‌بندی نظارت‌شده داده‌ها با استفاده از سه روش حداکثر احتمال، حداقل فاصله از میانگین و متوازی‌السطوح انجام گرفت. به منظور مقایسه و ارزیابی عملکرد هریک از سه روش طبقه‌بندی ماتریس خطای آن‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در این نتایج دیده می‌شود بهترین کارایی مربوط به طبقه‌بندی نظارت‌شده با استفاده از روش حداکثر احتمال است که درستی کلی ۹۰/۳۵ و ضریب کاپای ۰/۸۷۸ داشته است. در مقابل روش متوازی‌السطوح توانایی کم‌تری برای انطباق پیش‌بینی با واقعیت زمینی داشته و نتایجی با درستی کلی ۶۷/۰۹ و ضریب کاپای ۰/۵۹۳ را ارائه داده است. این نتایج، با نتایج Davis و همکاران (۲۰۰۲) و De laet و همکاران (۲۰۰۷) هم‌سانی دارد. این امر می‌تواند به علت ماهیت روش حداکثر احتمال باشد. از نظر فنی روش حداکثر احتمال هم‌وارپانس و هم‌کواریانس الگوهای طبقات طیفی را به‌طور کمی مورد بررسی قرار می‌دهد، بنابراین، از آن‌جا که این روش بر اساس پارامترهای آماری محکم‌تری استوار بوده (Lillesand et al., 2004) و همچنین نسبت به دو روش دیگر به کم بودن تعداد نمونه‌های آموزشی و نیز توزیع غیرنرمال آن‌ها حساسیت کم‌تری دارد (Triepke et al., 2008) که باعث شده است که در بین روش‌های به‌کار برده شده در این مطالعه دقیق‌ترین نتایج را ارائه دهد.

جدول ۲- ماتریس خطا، صحت کلی و ضریب کاپا به دست آمده از روش‌های مختلف

Table 2- Error matrix, overall accuracy, and Kappa coefficient obtained from different methods

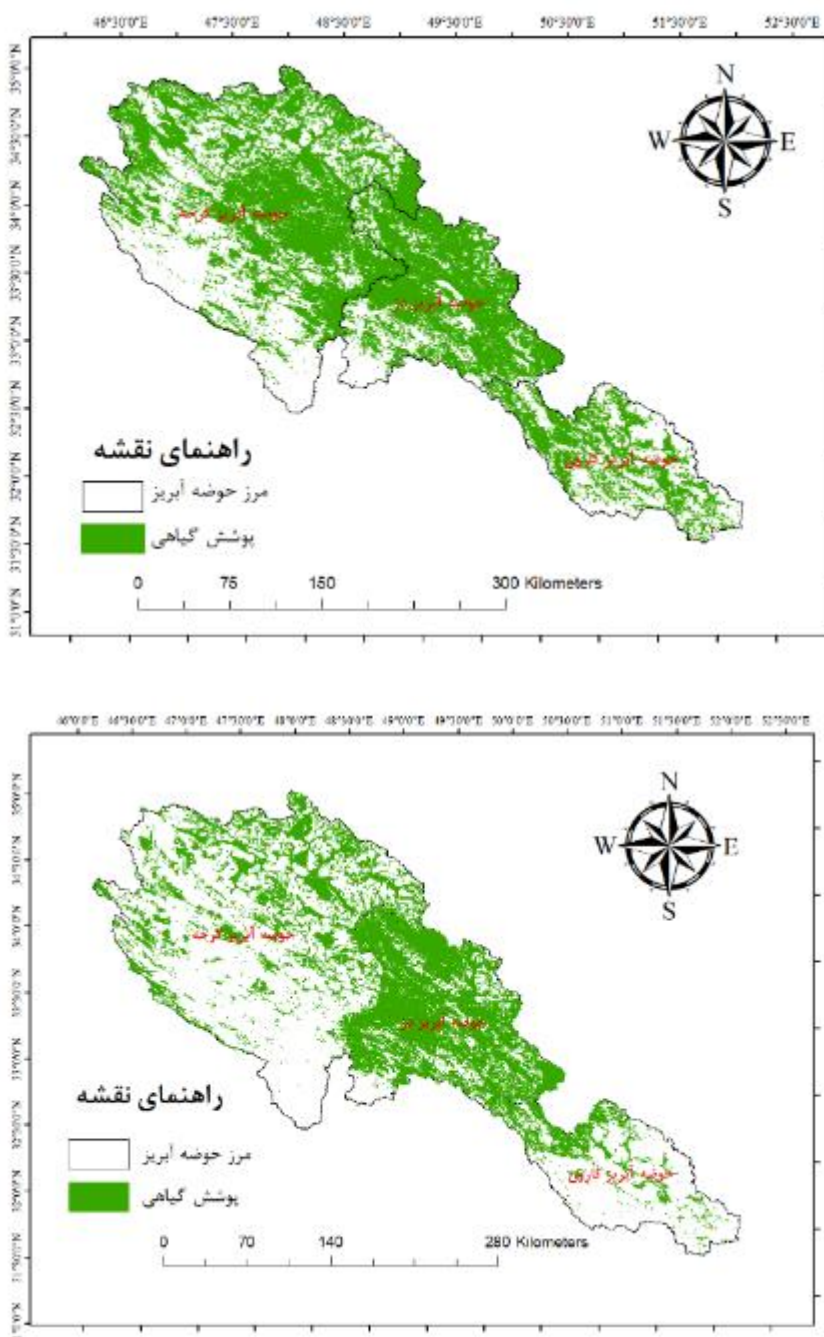
ضریب کاپا	درصد صحت کلی	
0.878	90.35	حداکثر احتمال
0.675	74.32	حداقل فاصله از میانگین
0.593	67.09	متوازی‌السطوح

بخش بعدی نتایج این تحقیق بر تغییرات پوشش گیاهی در منطقه مورد مطالعه تمرکز داشت که با مقایسه تصاویر خرداد ۱۳۸۷ و خرداد ۱۳۹۷ (به ترتیب ماه می ۲۰۰۸ و ۲۰۱۸) در نرم‌افزار ENVI انجام شد و نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است. نقشه‌های حاصل از شاخص پوشش گیاهی NDVI این دو مقطع زمانی مربوط به حوزه‌های آبخیز دز، کرخه و کارون در شکل ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳- خروجی تغییرات آماری ENVI برای تغییرات پوشش گیاهی در سه حوزه مورد مطالعه

Table 3- The output of ENVI statistical changes for vegetation changes in the three studied watersheds

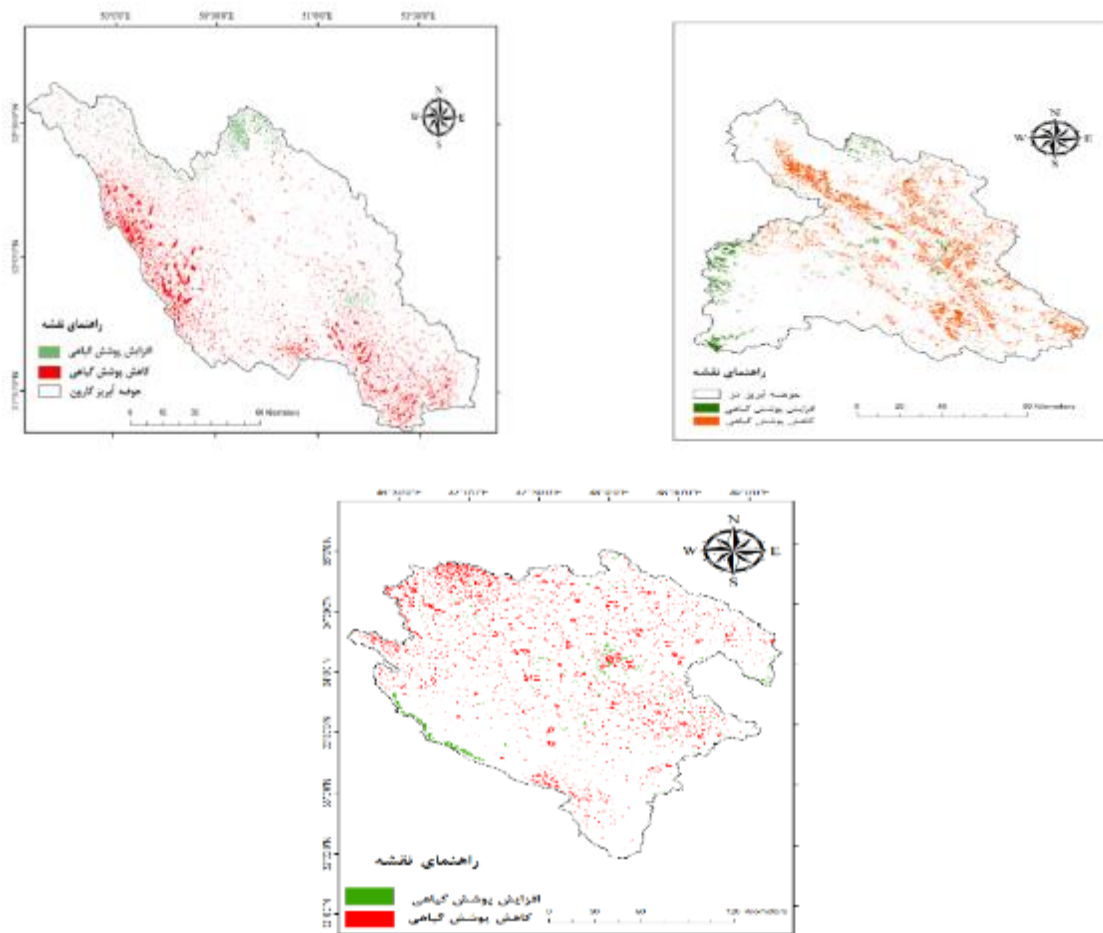
حوضه	درصد کاهش پوشش گیاهی
دز	7.398
کارون	10.641
کرخه	13.831



شکل ۳- نقشه پوشش گیاهی حوزه‌های آبخیز دز، کرخه و کارون در خرداد ۱۳۸۷ و خرداد ۱۳۹۷ با بهره‌گیری از NDVI

Figure 3- Vegetation map of Dez, Karkheh, and Karun watersheds in May 2008 and May 2018 using NDVI

در گام بعدی تفاوت کمی مقادیر NDVI در تصاویر دو مقطع زمانی ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷ محاسبه و به صورت نقشه‌هایی که مناطق دارای افزایش، کاهش و ثبات پوشش گیاهی را به ترتیب با سه رنگ سبز، قرمز و سفید نشان داده‌اند در شکل ۴ ارائه شده است.



شکل ۴- تغییرات NDVI حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۷
Figure 4- The changes of NDVI in the studied watersheds in 2008 and 2018

بر اساس این نتایج هر سه حوزه آبخیز با کاهش مقادیر شاخص پوشش گیاهی NDVI در حوزه‌های آبخیز دز، کارون و کرخه در سال ۲۰۱۸ نسبت به ۲۰۰۸ به ترتیب حدود ۷/۴، ۱۰/۶ و ۱۳/۸ درصد بوده است. همان‌گونه که دیده می‌شود مقایسه شاخص پوشش گیاهی در مقطع زمانی سال منتهی به سیلاب فروردین ۱۳۹۸ و ده سال پیش از آن نشان‌دهنده بیش‌ترین کاهش پوشش گیاهی در حوزه آبخیز کرخه بوده است. بیش‌ترین بارش و سیلاب جاری در حوضه کرخه گزارش شده که بنا به نتایج NDVI نیز بیش‌ترین کاهش پوشش گیاهی را داشته است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، هرچند با توجه به عدم در بر گرفتن همه عوامل موثر بر وقوع سیل، در نسبت دادن دلیل رخ دادن سیل به صرف کاهش پوشش گیاهی باید جانب احتیاط را رعایت نمود اما وقوع شدت بیش‌تر سیلاب در مسیر رودخانه کرخه هم‌زمان با کاهش بیش‌تر شاخص پوشش گیاهی در حوزه آبخیز کرخه نسبت به حوضه‌های کارون و دز بوده است، می‌توان پوشش گیاهی را به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فاکتورهای طبیعی در کاهش احتمال سیل در نظر گرفت و با ایجاد برنامه‌های مدون در حوضه‌های مذکور این افت پوشش گیاهی را جبران کرده و خطر سیل در سال‌های آینده را به حداقل رسانید. این نتایج با رهیافت‌های بیان شده در مطالعاتی (Zhang et al., 2010a and b) که به‌منظور نشان دادن نقش پوشش گیاهی در کاهش حجم رواناب در کشور چین انجام شده است مطابقت دارد. اشاره کرد که کاهش

۲۰ درصدی حجم رواناب با افزایش پوشش گیاهی منطقه را گزارش نموده‌اند. امری که به دلیل افزایش نفوذپذیری آب در خاک توسط پوشش گیاهی، به تاخیر انداختن شکل‌گیری رواناب و کاهش خطر سیل می‌شود (Nunes et al., 2010). در این‌جا می‌توان پیشنهاد نمود مطالعات جامعی در زمینه چرایی کاهش پوشش گیاهی سطح زمین که در این مطالعه وقوع آن در حوزه‌های آبخیز مورد مطالعه آشکار شد، صورت گیرد تا بتوان علل کاهش پوشش گیاهی اعم از انسانی و طبیعی شامل آتش‌سوزی، تغییر کاربری، بهره‌برداری بیش از حد منابع آب، چرای بیش از حد مجاز و تغییرات اقلیمی را آشکار نمود. آنچه واضح است تغییر پوشش سطح زمین به صورت طبیعی و یا توسط انسان می‌تواند تاثیر به‌سزایی در چرخه هیدرولوژیک داشته و این تاثیر را در قالب افزایش دبی اوج و حجم رواناب سطحی و افزایش خطر سیلاب نشان دهد (Shi et al., 2007). یکی از محدودیت‌های این تحقیق عدم دسترسی به بانک اطلاعاتی مطمئن و برخوردار از دقت کافی در زمینه تغییرات کاربری اراضی بود که یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار در وقوع سیلاب بوده و در پژوهش‌های گوناگون مورد تاکید قرار گرفته است (Nourani et al., 2017; Li et al., 2014; Hung et al., 2020; Leta et al., 2021). متأسفانه مجموعه داده‌های موجود از قبیل داده‌های سنتینل ۲ نیز که در مقیاس جهانی و با دقت نسبتاً مناسب تهیه شده‌اند از قدمت کافی برخوردار نبوده و سال‌های اخیر را پوشش می‌دهند، لذا پیشنهاد به جایی است تا چنین محدودیت‌های اطلاعاتی که مانع بررسی دقیق‌تر مسایل کلیدی منابع طبیعی کشور می‌شود مورد توجه دستگاه‌های مسئول قرار گیرد. در نهایت می‌توان گفت بر اساس نتایج این پژوهش شاخص پوشش گیاهی NDVI می‌تواند با هزینه کم و سرعت و دقت خوب، در مطالعات مرتبط با مدیریت حوزه‌های آبخیز به‌منظور درک تحولات پوشش گیاهی و ارتباط اجزای اکوسیستم حوزه آبخیز و درک بهتر عملکرد هیدرولوژیک کاربرد داشته باشد.

ملاحظات اخلاقی

دسترسی به داده‌ها: داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

حمایت مالی: این پژوهش حمایت مالی دریافت نکرده است.

مشارکت نویسندگان: حریر سهرابی (جمع‌آوری داده‌ها، روش‌شناسی) یحیی اسماعیل‌پور و رسول مهدوی نجف‌آبادی (تحلیل داده‌ها، مفهوم‌سازی، نظارت، نگارش، بررسی و ویرایش)، ام‌البین بذرافشان و حسین زمانی (روش‌شناسی و تهیه شکل‌ها و جدول‌ها)، همه نویسندگان به بررسی نسخه خطی پرداختند.

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: بدین‌وسیله نویسندگان پژوهش حاضر از سازمان هواشناسی کشور، به واسطه‌ی در اختیار قرار دادن آمار هواشناسی منطقه کمال‌سپاس و امتنان را دارد.

منابع

۱. احمدپور، امیر، سلیمانی، کریم، شکری، مریم، و قربانی، جمشید (۱۳۹۳). مقایسه میزان کارایی سه روش رایج طبقه‌بندی نظارت‌شده داده‌های ماهواره‌ای در مطالعه پوشش گیاهی. *سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۵(۳)، ۷۷-۸۹. https://girs.bushehr.iau.ir/article_516651.html
۲. تراهی، ع. انسبه، و میهن‌پرست، علی‌اصغر (۱۳۹۹). ارزیابی قابلیت الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده در تهیه نقشه‌های پوشش گیاهی (مطالعه موردی: آبیک، تهران)، *کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در برنامه‌ریزی*، ۱۱(۱)، ۸۸-۹۹. https://gisrs.semnan.iau.ir/article_675574.html?lang=en
۳. جوی‌زاده، سعید، قمرزاده، میلاد، ابراهیمی، منیژه، و شمس‌آبادی، الهام (۱۳۹۶). آموزش کاربردی ENVI (پایه و پیشرفته)، *انتشارات دانشگاه کیان*.
۴. حمزه، فرهاد، و عبدالهی، هادی (۱۴۰۱). آشکارسازی و پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده و مقایسه پس از طبقه‌بندی (مطالعه موردی منطقه عسلویه). *جغرافیایی سرزمین*، ۷۳(۱۹)، ۸۷-۱۰۸. doi:10.304 95/SARZAMIN.2022.33776.1579
۵. رستمی، محمدعلی، و افضل‌ی گروه، هوشنگ (۱۳۹۷). پایش مزارع دارای بقایای سوخته با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای. *تحقیقات سامانه‌ها و مکانیزاسیون کشاورزی*، ۱۹(۷۰)، ۱۱۱-۱۲۴. doi:10.22092/erams.2018.110464.1189
۶. رضایی‌مقدم، محمدحسین، اندریانی، صغری، ولی‌زاده کامران، خلیل، الماس‌پور، فرهاد (۱۳۹۵). تعیین بهترین الگوریتم استخراج کاربری و پوشش اراضی و کشف تغییرات از تصاویر ماهواره‌ای لندست (مطالعه موردی: حوضه صوفی‌چای مراغه). *فضای جغرافیایی*، ۱۶(۵۵)، ۸۵-۶۵.

۷. زارع خورمیزی، هادی، غفاریان مالمیری، حمیدرضا (۱۴۰۰). ارزیابی قابلیت طبقه‌بندی نظارت‌شده تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در تهیه نقشه جوامع گیاهی مراتع (مطالعه موردی مراتع جنوب استان یزد). حفاظت زیست‌بوم گیاهان، ۹(۱۸)، ۹۳-۱۱۴.
۸. زارع خورمیزی، هادی، غفاریان مالمیری، حمیدرضا (۱۳۹۶). پایش خشکسالی و تأثیر آن بر پوشش گیاهی با استفاده از فناوری‌های سنجش از دور بررسی موردی: استان یزد، سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۴. مدیریت بیابان، ۵(۱۰)، ۶۸-۸۶.
۹. سفیانیان، علیرضا، و مدنیان، ملیحه‌السادات (۱۳۹۰). مقایسه روش‌های طبقه‌بندی‌کننده حداکثر مشابهت و حداقل فاصله از میانگین در تهیه نقشه پوشش اراضی (مطالعه موردی: استان اصفهان). علوم آب و خاک. ۱۵(۵۷)، ۲۵۳-۲۶۴.
<http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-1873-fa.html>
۱۰. سفیدیان، سیما، سلمان ماهینی، عبدالرسول، میرکریمی، سید حامد، و حسن عباسی، نوروزعلی (۱۳۹۴). طبقه‌بندی پوشش گیاهی بر اساس شاخص تالابی به کمک سنجش از دور و نمونه‌برداری زمینی (مطالعه موردی: تالاب بین المللی آلاکل). اکویولوژی تالاب (تالاب)، ۷(۲۴)، ۵-۲۱.
<https://www.sid.ir/paper/174896/fa>
۱۱. ظفریان، الهه، ابراهیمی، عطالله، و امیدپور، رضا (۱۳۹۷). بررسی کارایی روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در پایش تغییرات پوشش اراضی (مطالعه موردی: حوضه آبخیز شهرکرد، چهارمحال و بختیاری). مرتع و آبخیزداری. ۷۱(۳)، ۶۹۹-۷۱۴.
[doi:10.22059/jrwm.2018.244032.1177](https://doi.org/10.22059/jrwm.2018.244032.1177)
۱۲. عسکری‌زاده، دینا، ارزانی، حسین، جعفری، محمد، بذرافشان، جواد، و پرتنایس، آین کولین (۱۳۹۷). بررسی گذشته، حال و آینده تغییرات پوشش گیاهی مراتع البرز مرکزی در ارتباط با تغییر اقلیم. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۹(۳)، ۱-۱۸.
https://journals.iau.ir/article_544812.html
۱۳. علوی‌پناه، سیدکاظم (۱۳۸۳). کاربرد سنجش حرارتی از دور در مطالعات محیط زیست. محیط‌شناسی دانشگاه تهران، ۳۴(۳۰).
https://journal.ut.ac.ir/article_11063.html
۱۴. علی‌خواه اصل، مرضیه، و فروتن الهام (۱۳۹۲). استفاده از روش طبقه‌بندی فازی برای تهیه نقشه کاربری اراضی (مطالعه موردی زیرحوضه آبخیز حبله‌رود). نسان و محیط زیست. ۱۱(۱)، ۴۱-۴۷.
https://he.srbiau.ac.ir/article_3261.html?lang=fa
۱۵. علی‌پور، فریده، آق‌خانی، محمد حسین، عباسپورفرد، محمد حسین، سپهر، عادل (۱۳۹۳). تفکیک محدوده و تخمین سطح زیرکشت محصولات کشاورزی به کمک تصاویر ماهواره‌ای. ماشین‌های کشاورزی. ۴(۲)، ۲۴۴-۲۵۴.
[doi:10.22067/jam.v4i2.34827](https://doi.org/10.22067/jam.v4i2.34827)
۱۶. فرزادمهر، جلیل، و تباکی بجستانی، کاظم (۱۳۹۷). تعیین قابلیت تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ در تخمین سطح زیرکشت زعفران (نمونه موردی: شهرستان تربت حیدریه). زراعت و فناوری زعفران، ۶(۱)، ۴۹-۶۰.
[doi:10.22048/jsat.2017.48518.1194](https://doi.org/10.22048/jsat.2017.48518.1194)
۱۷. قائمی، مرجان، ثنایی‌نژاد، سیدحسین، آستارایی، علیرضا، و میرحسینی، پریسا (۱۳۸۹). بررسی و مقایسه شاخص‌های مختلف گیاهی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺ برای مطالعات پوشش گیاهی دشت نیشابور، خراسان رضوی. پژوهش‌های زراعی ایران، ۸(۱)، ۱۲۸-۱۳۷.
[doi:10.22067/GSC.V8I1.7403](https://doi.org/10.22067/GSC.V8I1.7403)
۱۸. میرزایی‌زاده، وحید، نیک‌نژاد، مریم، و اولادی قادیکلایی، جعفر (۱۳۹۴). ارزیابی الگوریتم‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده غیرپارامتریک در تهیه نقشه پوشش زمین با استفاده از تصاویر لندست ۸. سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، ۶(۳)، ۲۹-۴۴.
https://journals.iau.ir/article_516794.html
۱۹. یوسفی خانقاه، شهرام، رزمجویی، دامون، دهداری، سمیه، و آرمان، نسیم. (۱۳۹۷). تولید نقشه تیپ‌های گیاهی مرتع با استفاده از الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای. مرتع و آبخیزداری (منابع طبیعی ایران)، ۷۱(۳)، ۸۴۷-۸۵۶.
[doi:10.22059/jrwm.2018.250332.1218](https://doi.org/10.22059/jrwm.2018.250332.1218)

References

- Ahmadpour, A., Solaimani, K., Shokri, M., & Ghorbani, J. (2014). Comparison of three common methods in supervised classification of satellite data for vegetation studies. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 5(3), 77-89. https://girs.bushehr.iau.ir/article_516651.html. [In Persian]
- Alavipanah, K. (2004). Application of remote sensing in environmental studies. *Tehran University Publications*, 30(34). https://journal.ut.ac.ir/article_11063.html [In Persian].
- Alikhah-Asl, M., & Forootan, E. (2013). Using Fuzzy classification technique to produce land use map (The sub watershed of Hablehrood). *Human & Environment*, 11(1), 41-47. https://he.srbiau.ac.ir/article_3261.html?lang=en. [In Persian]
- Alipour, F., Aghkhani, M. H., Abbaspour-Fard, M. H., & Sepehr, A. (2014). Demarcation and Estimation of Agricultural Lands Using ETM+ Imagery Data (Case study: Astan Ghods Razavi Great Farm). *Journal of Agricultural Machinery*, 4(2), 244-254. doi:10.22067/jam.v4i2.34827 [In Persian].

5. Archer, N. A., Otten, W., Schmidt, S., Bengough, A. G., Shah, N., & Bonell, M. (2016). Rainfall infiltration and soil hydrological characteristics below ancient forest, planted forest and grassland in a temperate northern climate. *Ecohydrology*, 9(4), 585-600. doi:10.1002/eco.1658
6. Askarizadeh, D., Arzani, H., Jafary, M., Bazrafshan, J., & Prentice, I. C. (2018). Surveying of the past, present, and future of vegetation changes in the central Alborz ranges in relation to climate change. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 9(3), 1-18. https://journals.iau.ir/article_544812.html. [In Persian]
7. Barua, S. K., & Haque, S. M. S. (2013). Soil characteristics and carbon sequestration potentials of vegetation in degraded hills of Chittagong, Bangladesh. *Land Degradation & Development*, 24(1), 63-71. doi:10.1002/ldr.1107
8. Le Bissonnais, Y., Montier, C., Jamagne, M., Daroussin, J., & King, D. (2002). Mapping erosion risk for cultivated soil in France. *Catena*, 46(2-3), 207-220. doi:10.1016/S0341-8162(01)00167-9
9. Cadaret, E. M., McGwire, K. C., Nouwakpo, S. K., Weltz, M. A., & Saito, L. (2016). Vegetation canopy cover effects on sediment erosion processes in the Upper Colorado River Basin Mancos Shale formation, Price, Utah, USA. *Catena*, 147, 334-344. doi:10.1016/j.catena.2016.06.043
10. Cerdà, A., & Doerr, S. H. (2005). Influence of vegetation recovery on soil hydrology and erodibility following fire: an 11-year investigation. *International Journal of Wildland Fire*, 14(4), 423-437. doi:10.1071/WF05044
11. Couteron, P., Hunke, P., Bellot, J., Estrany, J., Martinez-Carreras, N., Mueller, E. N., Papanastasis, V. P., Parmenter, R. R., Wainwright, J. (2014). Characterizing patterns. In: *Patterns of Land Degradation in Drylands*. Springer, New York, NY, USA. 211-245.
12. Cubera, E., & Moreno, G. (2007). Effect of single *Quercus ilex* trees upon spatial and seasonal changes in soil water content in dehesas of central western Spain. *Annals of Forest Science*, 64(3), 355-364. doi: 10.1051/forest:2007012
13. Davis, P. A., Staid, M. I., Plescia, J. B., & Johnson, J. R. (2002). Evaluation of airborne image data for mapping riparian vegetation within the Grand Canyon. *Open File Report*, 02-470. <https://pubs.usgs.gov/of/2002/0470/>
14. De la Barrera, F., & Henríquez, C. (2017). Vegetation cover change in growing urban agglomerations in Chile. *Ecological Indicators*, 81, 265-273. doi:10.1016/j.ecolind.2017.05.067
15. De Laet, V., Paulissen, E., & Waelkens, M. (2007). Methods for the extraction of archaeological features from very high-resolution Ikonos-2 remote sensing imagery, Hisar (southwest Turkey). *Journal of Archaeological Science*, 34(5), 830-841. doi:10.1016/j.jas.2006.09.013
16. Eikvil, L., Aurdal, L., & Koren, H. (2009). Classification-based vehicle detection in high-resolution satellite images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(1), 65-72. doi:10.1016/j.isprsjprs.2008.09.005
17. Farzadmehr, J., & Bajestani, K. T. (2018). Capability of Landsat 8 satellite images to estimate the area under cultivation of saffron (case study: city of Torbat Heydarieh). *Saffron agronomy and technology*, 6(1), 49-60. doi:10.22048/josat.2017.48518.1194. [In Persian]
18. Ghaemi, M., Sanaeinejad, S. H., Astaraei, A. R., & Mirhosseini, P. (2010). Investigating and comparing different plant indices using ETM+ satellite images for vegetation studies in Neyshabour Plain, *Iranian Journal of Field Crops Research*, 8(1), 128-137. doi:10.22067/GSC.V8I1.7403 [In Persian].
19. Hamze, F., & Abdollahi, H. (2022). Detection and monitoring of land use change using supervised classification method and post classification comparison (case study of Assaluyeh area). *Territory*, 19(73), 87-108. doi:10.30495/SARZAMIN.2022.33776.1579. [In Persian]
20. Hung, C. L. J., James, L. A., Carbone, G. J., & Williams, J. M. (2020). Impacts of combined land-use and climate change on streamflow in two nested catchments in the Southeastern United States. *Ecological Engineering*, 143, 105665. doi:10.1016/j.ecoleng.2019.105665
21. Jarchow, C. J., Nagler, P. L., Glenn, E. P., Ramírez-Hernández, J., & Rodríguez-Burgueño, J. E. (2017). Evapotranspiration by remote sensing: An analysis of the Colorado River Delta before and after the Minute 319 pulse flow to Mexico. *Ecological engineering*, 106, 725-732. doi:10.1016/j.ecoleng.2016.10.056
22. Jin, X. M., Zhang, Y. K., Schaepman, M. E., Clevers, J. G. P. W., Su, Z., Cheng, J., ... & van Genderen, J. (2008, July). Impact of elevation and aspect on the spatial distribution of vegetation in the Qilian mountain area with remote sensing data. *International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 37: 1385-1390.
23. Jog, S., & Dixit, M. (2016, June). Supervised classification of satellite images. In *2016 Conference on Advances in Signal Processing (CASP) (pp. 93-98)*. IEEE. doi:10.1109/CASP.2016.7746144
24. Jooizadeh, S., Ghamarzadeh, M., Ebrahimi, M., & Shamsabadi, E. (2017). Applied training ENVI (Basic and advanced). Tehran. Kian University Publications, [In Persian].
25. Kaasalainen, S., Nevalainen, O., Hakala, T., & Anttila, K. (2016). Incidence angle dependency of leaf vegetation indices from hyperspectral lidar measurements. *Photogramm. Fernerkundung Geoinform*, (2), 75-84. doi: 10.1127/pfg/2016/0287

26. Karra, K., Kontgis, C., Statman-Weil, Z., Mazzariello, J. C., Mathis, M., & Brumby, S. P. (2021). Global land use/land cover with Sentinel 2 and deep learning. *In 2021 IEEE international geoscience and remote sensing symposium IGARSS* (pp. 4704-4707). IEEE. doi:10.1109/IGARSS47720.2021.9553499
27. Keesstra, S. D. (2007). Impact of natural reforestation on floodplain sedimentation in the Dragonja basin, SW Slovenia. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 32(1), 49-65. doi:10.1002/esp.1360
28. Keesstra, S. D., Bruijnzeel, L. A., & Van Huissteden, J. (2009). Meso-scale catchment sediment budgets: combining field surveys and modeling in the Dragonja catchment, southwest Slovenia. *Earth Surface Processes and Landforms*, 34(11), 1547-1561. doi:10.1002/esp.1846
29. Leta, M. K., Demissie, T. A., & Tränckner, J. (2021). Hydrological responses of watershed to historical and future land use land cover change dynamics of Nashe watershed, Ethiopia. *Water*, 13(17), 2372. doi:10.3390/w13172372
30. Li, J., Tan, S., Chen, F., & Feng, P. (2014). Quantitatively analyze the impact of land use/land cover change on annual runoff decrease. *Natural Hazards*, 74(2), 1191-1207. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11069-014-1237-x>
31. Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2004). *Remote Sensing and Image Interpretation*, fifth ed., J. Wiley & Sons, Inc., New York.
32. Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons.
33. Lu, Q., Zhao, D., Wu, S., Dai, E., & Gao, J. (2019). Using the NDVI to analyze trends and stability of grassland vegetation cover in Inner Mongolia. *Theoretical and Applied Climatology*, 135, 1629-1640. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-018-2614-2>
34. Marcinkowska-Ochtyra, A., Zagajewski, B., Ochtyra, A., Jarocińska, A., Wojtuń, B., Rogass, C., & Lavender, S. (2017). Subalpine and alpine vegetation classification based on hyperspectral APEX and simulated EnMAP images. *International Journal of Remote Sensing*, 38(7), 1839-1864. doi:10.1080/01431161.2016.1274447
35. Mirzaei Zadeh, V., Niknejad, M., & Oladi Qadikolaei, J. (2015). Evaluating non-parametric supervised classification algorithms in land cover map using LandSat-8 Images. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 6(3), 29-44. https://journals.iau.ir/article_516794.html [In Persian].
36. Mohammad, A. G., & Adam, M. A. (2010). The impact of vegetative cover type on runoff and soil erosion under different land uses. *Catena*, 81(2), 97-103. doi:10.1016/j.catena.2010.01.008
37. Neinavaz, E., Skidmore, A. K., & Darvishzadeh, R. (2020). Effects of prediction accuracy of the proportion of vegetation cover on land surface emissivity and temperature using the NDVI threshold method. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 85, 101984. doi:10.1016/j.jag.2019.101984
38. Nourani, V., Fard, A. F., Gupta, H. V., Goodrich, D. C., & Niazi, F. (2017). Hydrological model parameterization using NDVI values to account for the effects of land cover change on the rainfall-runoff response. *Hydrology Research*, 48(6), 1455-1473. doi:10.2166/nh.2017.249
39. Novara, A., Gristina, L., Saladino, S. S., Santoro, A., & Cerdà, A. (2011). Soil erosion assessment on tillage and alternative soil managements in a Sicilian vineyard. *Soil and Tillage Research*, 117, 140-147. doi:10.1016/j.still.2011.09.007
40. Nunes, A. N., Coelho, C. D. O. A., De Almeida, A. C., & Figueiredo, A. (2010). Soil erosion and hydrological response to land abandonment in a central inland area of Portugal. *Land Degradation & Development*, 21(3), 260-273. doi:10.1002/ldr.973
41. Peng, J., Liu, Z., Liu, Y., Wu, J., & Han, Y. (2012). Trend analysis of vegetation dynamics in Qinghai-Tibet Plateau using Hurst Exponent. *Ecological Indicators*, 14(1), 28-39. doi:10.1016/j.ecolind.2011.08.011
42. Rannow, S., & Neubert, M. (2014). Managing protected areas in Central and Eastern Europe under climate change. 322p.
43. Rezaei Moghadam, M. H., Andryani, S., Valizadeh Kamran, K. H., Almaspor, F. (2014). Determine the best algorithm for land use and land cover extraction and changes detecting from landsat satellite images (Case Study: Sufi chay Basin of Maragheh). *Geographic Space*, 16(55), 65-85. [In Persian]
44. Richards, J. A., (1999). *Remote Sensing Digital Image Analysis*, Springer-Verlag, Berlin, p. 240.
45. Rostami, M. A., & Afzali Gorouh, H. (2018). Monitoring of Farm with Burned Residues using Satellite Images. *Agricultural Mechanization and Systems Research*, 19(70), 111-124. doi:10.22092/erams.2018.110464.1189. [In Persian]
46. Salvatore, M. R., Borges, S. R., Barrett, J. E., Sokol, E. R., Stanish, L. F., Power, S. N., & Morin, P. (2020). Remote characterization of photosynthetic communities in the Fryxell basin of Taylor Valley, Antarctica. *Antarctic Science*, 32(4), 255-270. doi:10.1017/S0954102020000176

47. Samaniego, L., Bárdossy, A., & Schulz, K. (2008). Supervised classification of remotely sensed imagery using a modified k -NN technique. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 46(7), 2112-2125. doi:10.1109/TGRS.2008.916629
48. Sefidian, S., Mahini, A. R. S., Mirkarimi, S. H., Abasi, N. A. S. (2015). Vegetation Classification Based on Wetland Indicator Using Remote Sensing and Field Survey (Case Study: International Alagol wetland). *Journal of Wetland Ecobiology*, 7(2), 5-22. <https://www.sid.ir/paper/174896/fa>. [In Persian]
49. Sekrecka, A., Kedzierski, M., & Wierzbicki, D. (2019). Pre-processing of panchromatic images to improve object detection in pansharpened images. *Sensors*, 19(23), 5146. doi:10.3390/s19235146
50. Shi, P. J., Yuan, Y., Zheng, J., Wang, J. A., Ge, Y., & Qiu, G. Y. (2007). The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen region, China. *Catena*, 69(1), 31-35. doi:10.1016/j.catena.2006.04.015
51. Soffianian, A., & Madanian, M. A. (2011). Comparison of maximum likelihood and minimum distance to mean classifiers in preparing land cover map (a case study: Isfahan area). *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 15(57), 253-264. <http://jstnar.iut.ac.ir/article-1-1873-fa.html>. [In Persian]
52. Suding, K. N., Farrer, E. C., King, A. J., Kueppers, L., & Spasojevic, M. J. (2015). Vegetation change at high elevation: scale dependence and interactive effects on Niwot Ridge. *Plant Ecology & Diversity*, 8(5-6), 713-725. doi:10.1080/17550874.2015.1010189
53. Tarahi, A. S., Mihanparast, E. (2020). Assessment of the capability of supervised classification algorithms in the preparation of vegetation maps (Case Study: Abyek, Tehran), Application of Geography Information System and Remote Sensing in Planning, 11(1), 88-99. https://gisrs.semnan.iau.ir/article_675574.html?lang=en [In Persian].
54. Tian, S., Zhang, X., Tian, J., & Sun, Q. (2016). Random forest classification of wetland landcovers from multi-sensor data in the arid region of Xinjiang, China. *Remote Sensing*, 8(11), 954. doi:10.3390/rs8110954
55. Triepke, F. J., Brewer, C. K., Leavell, D. M., & Novak, S. J. (2008). Mapping forest alliances and associations using fuzzy systems and nearest neighbor classifiers. *Remote Sensing of Environment*, 112(3), 1037-1050. doi:10.1016/j.rse.2007.07.014
56. Wachendorf, M., Fricke, T., & Möckel, T. (2018). Remote sensing as a tool to assess botanical composition, structure, quantity and quality of temperate grasslands. *Grass and Forage Science*, 73(1), 1-14. doi:10.1111/gfs.12312
57. Wang, K., Xiang, W., Guo, X., & Liu, J. (2012). Remote Sensing of Forestry Studies.
58. Wildhaber, Y. S., Bänninger, D., Burri, K., & Alewell, C. (2012). Evaluation and application of a portable rainfall simulator on subalpine grassland. *Catena*, 91, 56-62.
59. Wu, C., Peng, D., Soudani, K., Siebicke, L., Gough, C. M., Arain, M. A., ... & Ge, Q. (2017). Land surface phenology derived from normalized difference vegetation index (NDVI) at global FLUXNET sites. *Agricultural and Forest Meteorology*, 233, 171-182.
60. Yousefi Khanghah, S., Razmjuee, D., Dehdari, S., & Arman, N. (2018). Producing rangeland vegetation types map using different algorithms of satellite image classification. *Journal of Range and Watershed Management*, 71(3), 847-856. doi:10.22059/jrwm.2018.250332.1218. [In Persian]
61. Zafarian, E., Ebrahimi, A., & Omidipour, R. (2018). Evaluation of the Efficiency of Satellite Imagery Classification Approaches in Monitoring of Land Cover Changes (Case Study: Shahrekord Basin, Chaharmahal va Bakhtiari). *Journal of Range and Watershed Management*, 71(3), 699-714. doi:10.22059/jrwm.2018.244032.1177 [In Persian].
62. Zare Khormizi, H., Ghafarian Malmiri, H.R. (2017). Drought monitoring and its effect on vegetation using remote sensing techniques, case study: Yazd province, *Desert Management Journal*. 5(10), 68-86 [In Persian].
63. Zare Khormizi, H., Ghafarian Malmiri, H.R. (2021). Assessing the Ability of Supervised Classification of Landsat 8 Satellite Images in Mapping Rangelands Plant Community (Case Study: Rangelands of Southern Yazd Province). *Journal of Plant Ecosystem Conversation*, 9(18), 93-114. [In Persian]
64. Zhang, G. H., Liu, G. B., Wang, G. L. (2010a). Effects of Caragana Korshinskii Kom. Cover on runoff, sediment yield and nitrogen loss. *International Journal of Sediment Research*, 25, 245-257.
65. Zhang, X., Yu, X., Wu, S., Liu, H. (2010b). Effects of forest vegetation on runoff and sediment transport of watershed in Loess area, West China. *Frontiers of Forestry in China*, 2(2), 163-16.