

Analysis and monitoring of water resources and drought using a combination of GRACE, MODIS, and Landsat 8 satellite images (Case study: Hamedan city)

Mahdieh Kalhori¹, Meisam Tadayon^{2✉}, Emad Kahrizi³, Mohammad Ghiasvand⁴

1. Ph.D. Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Qom, Qom, Iran. E-mail: M.Kalhori@stu.qom.ac.ir
2. Corresponding author, Department of Geology, University of Isfahan, Isfahan, Iran. E-mail: M.Tadayon@sci.ui.ac.ir
3. Department of Civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering, University of Ayatollah Boroujerdi, Boroujerd, Iran. E-mail: Emad.kahrizi@gmail.com
4. Master's Degree, Department of Civil Engineering and Environment, Faculty of Civil Engineering, Amirkabir University of Technology, Tehran, Iran. E-mail: Mbsh-gh@aut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received 01 Oct 2024
Revised 29 Dec 2024
Accepted 09 Jan 2025
Published 25 Mar 2025

Keywords:
Satellite Image,
Drought Index,
Water Resources Management,
Runoff,
Groundwater Level.

ABSTRACT

Objective: In recent years, the application of satellite-based techniques in the study of hydrological phenomena has been recognized as an effective tool for monitoring water resource conditions. Due to the scarcity of ground-based station data or the lack of sufficient in-situ observations, remote sensing provides a reliable means for collecting large-scale spatial and temporal data. Moreover, by applying appropriate algorithms, the impacts of drought distribution on rangelands and vegetation can be assessed using satellite imagery.

Method: Having access to information on drought spatial distribution within a region enables the identification of its adverse effects on vegetation cover and supports the implementation of mitigation and management strategies. In this study, a combination of Landsat 8, MODIS (Terra), and GRACE satellite imagery was used to investigate variations in drought indices, runoff, and groundwater storage changes in the Hamedan Plain over the period 2003-2016.

Results: The results indicate that the long-term mean runoff in the Hamedan Plain, derived from satellite data, was approximately 0.512 m³/s. In addition, groundwater level variations estimated from the three GRACE data processing centers-CSR, GFZ, and JPL-were 29.52, 31.05, and 35.11 cm, respectively.

Conclusion: Analysis of the NDVI-based drought distribution map revealed that the Hamedan Plain experienced predominantly moderate drought conditions, indicating a generally normal status of vegetation cover during the study period.

Cite this article: Kalhori M, Tadayon M, Kahrizi E, Ghiasvand M. Analysis and monitoring of water resources and drought using a combination of GRACE, MODIS, and Landsat 8 satellite images (Case study: Hamedan City). *Water Resources and Climate Change*. (2025); 1(1): 59-72. <https://doi.org/10.22091/wrcc.2025.11390.1007>.

Introduction

Due to the special climatic conditions of arid and semi-arid regions such as Iran, groundwater is considered a vital and strategic resource. Population growth and increasing need for water, coupled with limited surface water resources, put severe pressure on groundwater resources. This can lead to irreversible consequences for ecosystems and hydrological cycles. Therefore, proper management and careful planning in watersheds are essential to ensure the sustainability of water resources and the preservation of ecosystems dependent on it. The spatial distribution of vegetation is strongly influenced by climatic conditions, especially precipitation and temperature. A drought is a prolonged dry period in the natural weather cycle that can occur anywhere in the world and is a slow-onset disaster characterized by a lack of rainfall and therefore a lack of water.

According to studies, it is estimated that 55 million people worldwide are affected by drought annually, and this drought is the most serious risk to livestock and agricultural products in almost every part of the world. Rising temperatures caused by climate change are making arid regions drier and humid areas wetter. In this study, this study aims to investigate surface and groundwater resources and the distribution and classification of drought in the study area of Hamadan Plain. For this purpose, using extracted images from the MODIS and Grace and Landsat 8 satellites, we investigated the trend of changes in each of the parameters in the period from 2003 to 2016.

Method

Landsat satellites with low spatial resolution and high temporal resolution make it possible to monitor atmospheric changes on a large scale. Climate satellites also play an important role in measuring atmospheric parameters. These data provide researchers with actual evapotranspiration, cumulative precipitation, and runoff. Groundwater is a vital and strategic resource for communities, and it requires careful and continuous management and monitoring. Grace satellite images are an efficient and effective method of monitoring groundwater level fluctuations. In this study, 168 Grace Satellite images from the Hamedan Plain from 2003 to 2016 were analyzed. The Grace satellite, an advanced dual-gravity satellite, was launched by NASA and DLR in 2002, and its scientific mission ended in 2017. The study examines and analyzes satellite images with special precision. This research includes the following stages:

1. Benefit from the advanced Google Earth Platform and JavaScript programming language for satellite image processing. Google Earth Engine, as a powerful and free tool, provides researchers with a wide range of possibilities.
2. Selection and processing of satellite images related to the study area (Hamedan Plain) in a specific period (2003 to 2016), and applying appropriate spatial and temporal filters for the desired area.
3. Analysis of gravitational images of Grace Satellites processed by different centers. Each center processes raw data with its own algorithms, but due to differences in methods, the

resulting values also vary. Therefore, the use of multiple average values and algorithms increases the accuracy of the results.

4. Improving the quality of results by resampling processed data at high spatial resolution (e.g. 300 meters).

To conduct the present study, the Google Earth Engine system and the JavaScript programming language have been used. Google Earth Engine enables users to perform their calculations on large amounts of data without the need for powerful systems. After recalling the Modis product and applying spatial and temporal filters in the first place, in the second place, the cloud mask from the collection of images was taken. In the third place, after selecting the NDVI band, the NDVI average image was created for all months of the year. In the fourth place, after calculating the minimum and maximum values of the NDVI index, the VCI index for 2003 to 2016 was calculated. Finally, to analyze the values of this index and the vegetation status of the region, the VCI map was classified into three classes: no vegetation, medium vegetation, and rich vegetation, and the area of each class was calculated in terms of percentage.

Results

In the surface runoff section, the average discharge of Hamedan Plain from June 2003 to December 2016 was $0.512 \text{ m}^3/\text{s}$ and the highest runoff was related to February, March, and April of each year. Also, a decrease was shown in groundwater level in the Hamadan-Bahar plain by 31.05, 29.52, and 35.11 cm, respectively. Finally, according to the NDVI index, which is the basis for calculating the VCI index, the overall Geezi result was obtained as follows: The area is in a low to moderate vegetation state. Also, according to the results of the VCI classification, the worst conditions were related to June 17, 2008 with a rate of 4.1%, and the best conditions were related to April 23, 2010 with a rate of 86.2%. Also, by examining the indices of VCI, TCI, VHI, SVI, the drought severity of the study area was in the medium category according to the two indices of VCI and TCI and the results of the other two indices indicated severe drought.

Conclusion

This study aimed to investigate the changes in surface and subsurface water resources, considering the severity of drought from 2003 to 2016 in Hamadan city. In summary, based on the results of the Landsat satellite, the long-term average runoff value of the region was $0.512 \text{ m}^3/\text{s}$, with the highest discharge in proportion to the highest rainfall months in the region in February, March, and April. In the analysis of the results of groundwater level changes based on three databases GFZ, CSR, and JPL, the distance between the maximum and the lowest level changes was 29.52, 31.05, and 35.11 cm, respectively. In the last part, TCI drought indices indicate moderate drought and based on vegetation indices, are classified as high drought intensity. Also, based on the classification map, most of the land in Hamadan city was classified as barren and with low vegetation.

Declarations

Ethical Approval

The paper is not currently being considered for publication elsewhere. All authors have been personally and actively involved in substantial work leading to the paper, and will take public responsibility for its content.

Competing interests

Conflict of Interest – None

Availability of data and materials

Data will be made available on the request.

Authors Contributions

Mahdieh Kalhori extracted surface water and drought indices from images of the MODIS and Landsat 8 satellites and analyzed the resulting data. Meisam Tadayan wrote the geology and tectonics parts, extracted the results of groundwater level changes based on three algorithms GFZ, CSR, and JPL, analyzing and interpreted the results. Emad Kahrizi wrote the research background and materials and methods, and prepared a map of the study area. Mohammad Ghiasvand edited the content and arranged tables and charts.

Acknowledgements

The authors would like to thank all participants in the present study.

Funding

This research did not receive any specific grant from funding agencies in the public, commercial, or not-for-profit sectors.

تحلیل و پایش منابع آب و خشک‌سالی با بهره‌گیری از ترکیب تصاویر ماهواره‌ای گریس، مادیس و لندست ۸ (مطالعه موردی: شهرستان همدان)

مهديه کلهری^۱، میثم تدین^۲✉، عماد کهریزی^۳، محمد قیاسوند^۴

۱. کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران. رایانامه: M.Kalhari@stu.qom.ac.ir
۲. نویسنده مسئول، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران. رایانامه: M.tadayon@sci.ui.ac.ir
۳. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آیت‌الله بروجردی، بروجرد، ایران. رایانامه: Emad.Kahrizi@gmail.com
۴. کارشناس ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران. رایانامه: Mbsh-gh@aut.ac.ir

چکیده	اطلاعات مقاله
هدف: امروزه، به‌کارگیری روش‌های ماهواره‌ای در مطالعه پدیده‌های آب‌شنا سی به‌عنوان ابزاری مؤثر برای نظارت بر وضعیت منابع آبی شناخته شده و به‌دلیل کمبود داده‌های ایستگاه‌های زمینی یا عدم وجود اطلاعات کافی، می‌توان از سنجش از راه دور برای جمع‌آوری داده‌ها در مقیاس وسیع استفاده کرد. هم‌چنین با به‌کارگیری الگوریتم‌های مناسب، می‌توان تأثیر توزیع خشک‌سالی بر مراتع و گیاهان را براساس تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی قرار داد. روش: با در دست داشتن اطلاعات مربوط به توزیع خشک‌سالی در یک منطقه، می‌توان از آثار منفی آن بر پوشش گیاهی مطلع شده و اقداماتی برای مقابله با آن انجام داد. در این پژوهش، با استفاده از ترکیب تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، مادیس (ترا) و گریس، تغییرات شاخص‌های خشک‌سالی، رواناب و تغییرات آب زیرزمینی در دشت همدان در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار گرفت. یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهند که متوسط بلندمدت رواناب در دشت همدان براساس داده‌های ماهواره‌ای ۵۱۲/۰ مترمکعب بر ثانیه بوده و تغییرات تراز آب زیرزمینی به‌ازای سه خروجی پایگاه داده (الگوریتم) CSR، GFZ و JPL به‌ترتیب ۲۹/۵۲، ۳۱/۰۵ و ۳۵/۱۱ سانتی‌متر به‌دست آمد. نتیجه‌گیری: با بررسی نقشه توزیع خشک‌سالی NVDI دشت همدان در حالت خشک‌سالی با شدت متوسط بوده که نشان‌دهنده وضعیت نرمال از لحاظ پوشش گیاهی است.	نوع مقاله: مقاله پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۰ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۰/۰۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۰ تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۱/۰۵ کلیدواژه‌ها: تصاویر ماهواره‌ای، شاخص خشک‌سالی، مدیریت منابع آب، رواناب، تراز آب زیرزمینی.

استناد: کلهری مهديه، تدین میثم، کهریزی عماد، قیاسوند محمد. تحلیل و پایش منابع آب و خشک‌سالی با بهره‌گیری از ترکیب تصاویر ماهواره‌ای گریس، مادیس و لندست ۸ (مطالعه موردی: شهرستان همدان). *منابع آب و تغییر اقلیم*. ۱۴۰۴؛ (۱): ۵۹-۷۲.

<https://doi.org/10.22091/wrcc.2025.11390.1007>

۱- مقدمه

خشک سالی به عنوان یک مخاطره طبیعی شناخته می شود و توجه زیست شناسان، بوم شناسان، آب شناسان، هواشناسان، زمین شناسان و دانشمندان کشاورزی را جلب کرده اند.

یک مخاطره طبیعی، تهدیدی از یک رویداد طبیعی در حال وقوع است و تأثیر منفی بر مردم یا محیط خواهد داشت و خشک سالی نوعی از مخاطرات طبیعی است که با افزایش تقاضای آب، شرایط آن بدتر می شود.

در مواقعی که مدت زمان وقوع آن طولانی است، خسارت های ناشی از آن زیاد و در بخش های مختلفی نظیر کشاورزی، زیست محیطی، اقتصادی، اجتماعی دیده می شود.

در مناطقی با بارش های کم و غیریکنواخت اثرات خشک سالی بیش از پیش تشدید شده و به خصوص روی منابع آبی و کشاورزی و پوشش گیاهی نمود بیش تری می یابد.

با توجه به این که از جمله روش های مرسوم بررسی پدیده خشک سالی، استفاده از شاخص های هواشناسی است که با استفاده از داده های ایستگاه های هواشناسی محاسبه می شوند و با توجه به این که این ایستگاه ها در کشورهای مختلف از جمله ایران پراکندگی مناسب نداشته یا این که با کمبود داده مواجه اند و همچنین به منظور غلبه بر مشکلات و محدودیت های بازدیدهای صحرایی برای ارزیابی وضعیت پوشش گیاهی در سال های متمادی، در مقابل این روش ها، فناوری سنجش از راه دور قادر به جمع آوری داده از نواحی وسیع به وسیله سنجنده های مختلف است.

آثار پدیده خشک سالی روی پوشش گیاهی، به صورت تدریجی ظاهر می شود؛ بنابراین اگر با الگوریتمی بر میزان پوشش گیاهی از روی تصاویر ماهواره ای نظارت و پایش شود، می توان با کاهش تدریجی پوشش گیاهی مناطق، پدیده مخرب خشک سالی را به موقع هشداردهی کرد.

امروزه با توجه به اهمیت مدیریت صحیح منابع آب سطحی و زیر سطحی، برآورد کل منابع آبی قابل دسترس در هر حوضه آبریز از مهم ترین وظایف مهندسان به منظور برنامه ریزی، طراحی و مدیریت است. همچنین با توجه به افزایش کاربرد آب های زیرزمینی به ویژه در مناطق خشک و نیمه خشک مانند ایران، مدیریت به کار بردن آب های زیرزمینی بسیار حائز اهمیت است.

براساس آمارهای جهانی، حجم آب ذخیره شده در سفره های آب زیرزمینی حدود ۲۴ میلیون کیلومتر مکعب برآورد شده است که نیمی از آب های شیرین دنیا و حدود ۲/۵ درصد از کل آب های کره زمین است [۱].

آب های زیرزمینی نقش مهمی در حفظ زیست بوم ها و چرخه های آب شناسی و منابع آب ایفا می کنند [۲ و ۳]، به گونه ای که استفاده بی رویه از آب های زیرزمینی منجر به کاهش تراز آنها در بسیاری از مناطق جهان شده است [۴].

افزایش بی رویه جمعیت در دهه های اخیر، افزایش نیاز آبی، محدود بودن آب های سطحی و بهره برداری بیش از اندازه از آب های زیرزمینی باعث به بار آمدن خسارت های جبران ناپذیری به منابع طبیعی کشور شده است.

همچنین آب و هوا یکی از مهم ترین عوامل تأثیرگذار بر شرایط پوشش گیاهی است. توزیع فضایی پوشش گیاهی ارتباط زیادی با شرایط اقلیمی دارد. بارش و دما به طور مستقیم روی بیان آب تأثیر می گذارد و به نوبه خود عامل تغییرات در رژیم رطوبتی خاک و رشد گیاه است.

خشک سالی پدیده ای است اقلیمی که به صورت دوره ای در هر منطقه و با هر شرایط آب و هوایی رخ می دهد.

خشک سالی به معنای اقلیمی آن یعنی مقدار انحراف بارش یک سال در یک محل نسبت به میانگین بلندمدت بارش همان محل.

CHIRPS به‌منظور برآورد رواناب حوضه آبریز گرگانرود- منطقه آق‌قلا بهره بردند [۷].

کالیگنان^۵ با استفاده از تصاویر با وضوح تصویر بالا اقدام به ارائه روش جدید سنجش از راه دور به‌منظور شناسایی چاه شبانی (محل آبخور چهارپایان) و استفاده از ردپای حیوانات به‌منظور تخمین عمق آب کردند. آنها پس از واسنجی دقیق روش یادشده با استفاده از داده‌های رایگان لندست و داده‌های اخذشده از Google Earth Pro (SPOT و Worldview) به بررسی آبخوان بزرگ نیجریه (۲۰۰۰۰۰ کیلومتر مربع) که داده‌های آن به‌راحتی به‌دلیل مسائل امنیتی در دسترس نبود، پرداختند. از روش مذکور در دو آبخوان دیگر واقع در نیجریه بهره گرفته‌شده و نتایج صحت‌سنجی شد [۸].

نجفی و اربابی در پژوهش خود از داده‌های بارش ماهانه شش ایستگاه در استان تهران و داده‌های ماهانه بارش ماهواره TRMM با قدرت تفکیک مکانی $0.52^\circ \times 0.52^\circ$ درجه جغرافیایی طی دوره ۲۰۱۹-۱۹۹۸ استفاده کردند. نتایج خروجی شاخص SPI دوازده‌ماهه برای ماهواره TRMM نشان دادند که هم‌خوانی مناسبی با ایستگاه‌های هم‌دیدی داشت و ویژگی‌های خشک‌سالی در ایستگاه‌های مختلف همسو و منطبق با نقاط مختلف شبکه داده‌های ماهواره TRMM بود [۹].

لیو^۶ و همکاران با استفاده از داده‌های بیست‌ساله ماهواره گریس ناسا به بررسی نرخ افت آب زیرزمینی در دره مرکزی کالیفرنیا در بازه ۲۰۰۳ تا ۲۰۲۱ پرداختند. نتایج نشان دادند به‌منظور اطمینان از عملکرد آب زیرزمینی در دره مرکزی کالیفرنیا باید به سرعت برنامه مدیریتی به‌منظور افزایش شدت خشک‌سالی در منطقه اتخاذ کرد [۱۰].

واسکو^۷ و همکاران در گزارشی به بررسی نرخ تغییرات حجم آبخوان دره مرکزی کالیفرنیا در اثر تغییرات

تحلیل خشک‌سالی و پارامترهای متأثر بر آن با استفاده از اطلاعات سنجش از راه دور توانمندی بالایی برای بهبود دانش علمی در مورد خصوصیات خشک‌سالی و تأثیرات این پدیده بر روی پوشش گیاهی دارد.

بروکا^۱ و همکاران با استفاده از سنجنده پیشرفته SCATterometer (ASCAT) ماهواره Metop به بررسی شاخص رطوبت خاک^۲ (SWI) پرداختند. به‌منظور مقایسه، نتایج شاخص SWI با مقادیر الگوی رطوبت خاک به‌دست‌آمده از مدل بارش-رواناب پیوسته (MISDC) مورد سنجش قرار گرفت. سپس نتایج شاخص SWI مقیاس‌شده خطی بر روی نمودار، بر روی نتایج داده‌های مدل، تطبیق داده شد و سپس عملکرد آن در برآورد سیلاب مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج در حوضه‌های کوچک تا متوسط نشان داد، استفاده از شاخص SWI می‌تواند در بهبود برآورد رواناب در زمانی که اطلاعات کمی از رطوبت خاک موجود است کمک شایانی دهد [۵].

برهان^۳ و همکاران به توسعه مفهوم جدیدی به‌منظور استفاده از تصاویر ماهواره‌ای برای پایش خشک‌سالی پرداخت. او با استفاده از داده‌های ماهواره پرنده آتلانتیک به بررسی توزیع مکانی خشک‌سالی پرداختند. هم‌چنین احتمال استفاده از داده‌های زمان واقعی مکانی-زمانی در بخش کشاورزی اتیوپی، بررسی شد. نتایج تحقیقات می‌توانند برای ایجاد تصمیم و اقدام مناسب برای نجات جان میلیون‌ها نفر در اثر خشک‌سالی اثرگذار باشد [۶].

احمدی و همکاران با استفاده از مدل نیمه‌توزیعی IHACRES براساس چهار مدل گردش عمومی جو CGCM3-MR، HadGEM2، CM3-GFDL، CanESM2 از مجموعه مدل‌های گزارش پنجم تغییر اقلیم تحت روش ریزمقیاس‌نمایی آماری^۴ (SDSM) و داده‌های ماهواره‌ای بارش با توان تفکیک بالا ($0.5^\circ \times 0.5^\circ$ درجه قوسی) ماهواره

^۵- Collignan

^۶- Liu

^۷- Vasco

^۱- Brucca

^۲- Soil Wetness Index

^۳- Berhan

^۴- Statistical Downscaling Model

بازتابی از اثر خشک‌سالی بر کشاورزی بود. همچنین شاخص LST به‌عنوان شاخص کارآمد در تعیین شدت اثر خشک‌سالی بر گیاه ذرت و آفتابگردان به‌ترتیب برابر ۸۶ و ۷۱ درصد به‌دست آمد [۱۳].

اسمعیلی و همکاران در پژوهش خود به تحلیل سری زمانی خشک‌سالی کشاورزی شهرستان داراب طی یک دوره ۲۰ ساله (۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹) با استفاده از سنجش از راه دور و استفاده از سامانه Google Earth پرداختند. از ۴۶۰ تصویر ماهواره‌ای مادیس برای محاسبه شاخص وضعیت دمایی^{۱۷} (TCI) و شاخص وضعیت پوشش گیاهی^{۱۸} (VCI) استفاده شد. همچنین، شاخص SPI با استفاده از داده‌های بارش ایستگاه سینوپتیک داراب و نرم‌افزار MATLAB محاسبه شد. نتایج نشان دادند که شهرستان داراب، سال ۱۳۷۹ براساس شاخص TCI و سال ۱۳۹۲ براساس شاخص VCI بیش‌ترین مساحت خشکی را داشتند. همچنین، بیش‌ترین ضریب همبستگی بین شاخص SPI دوازده‌ماهه و شاخص VCI مشاهده شد که نشان‌دهنده کارایی بالای شاخص VCI در ارزیابی خشک‌سالی در این منطقه بود [۱۴].

آرخی و همکاران به بررسی کارایی شاخص‌های منتج از فناوری سنجش از راه دور (VCI، TCI و VHI) در ارزیابی خشک‌سالی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مادیس در مناطق مرکزی ایران پرداختند. در این تحقیق، ارتباط بین شاخص خشک‌سالی هواشناسی (SPI) و شاخص‌های سنجش از راه دور VCI، TCI و VHI در استان‌های اصفهان، چهارمحال و بختیاری، مرکزی و قم بررسی شد. نتایج نشان دادند که شاخص SPI بالاترین همبستگی را با شاخص VCI داشت، که نشان داد تصاویر مادیس و شاخص‌های ساخته‌شده از آن قابلیت لازم برای پایش خشک‌سالی را داشتند [۱۵].

در میزان مصرف منابع آبی در بخش‌های کشاورزی، صنعت و شهری با استفاده از تصاویر ماهواره گریس پرداختند. با بررسی نتایج مشخص شد در بین اکتبر ۲۰۱۵ تا اکتبر ۲۰۱۶، سال ۲۰۱۶ ترسالی و در سال ۲۰۱۸ دارای بارندگی متوسط بود. همچنین با بررسی انجام‌شده آبخوان با کسری ذخیره ۲/۳ میلیون فوت مکعب مواجه بوده که این مقدار کسری ذخیره با استفاده از تصاویر ماهواره گریس ۲/۵ میلیون فوت مکعب برآورد شد [۱۱].

یدیتا^۸ و همکاران با استفاده از روش‌های شبکه عصبی هم‌چون یادگیری ماشین حدی^۹ (ELM) و حافظه بلند کوتاه‌مدت^{۱۰} (LSTM) به بررسی پیش‌بینی بارش-رواناب حوضه آبریز ماهانادهی^{۱۱} هندوستان پرداختند. آنان با استفاده از بارش استخراج‌شده از تصاویر ماهواره به بررسی دقت الگوریتم‌های مذکور پرداخته و نتایج نشان دادند که LSTM در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی پارامتر نش-ساتکلیف برابر ۰/۶۸ و ۰/۶۷ و هم‌چنین نتایج نش-ساتکلیف بارش-رواناب الگوریتم ELM در بازه واسنجی و صحت‌سنجی به‌ترتیب برابر ۰/۸۶ و ۰/۸۷ به‌دست آمد. هم‌چنین آنها از کارایی بارش استخراج‌شده به‌عنوان ورودی به مدل‌های شبکه عصبی به‌منظور تولید رواناب اشاره کردند [۱۲].

قذاریان^{۱۲} و همکاران به بررسی مدیریت الگوی کشت و اثرات خشک‌سالی بر کشاورزی در مقیاس سایت با ترکیب تصاویر ماهواره (لندست-مادیس و سنتینل ۲) و رادار دیافراگم مصنوعی^{۱۳} (SAR) پرداختند. آنها برای تحلیل شرایط منطقه از شاخص‌های اختلاف پوشش گیاهی نرمال شده^{۱۴} (NDVI)، اختلاف رطوبت نرمال‌شده^{۱۵} (NDMI) و شاخص دمای سطح زمین^{۱۶} (LST) بهره بردند. نتایج نشان دادند در فصل رشد بیشینه مقادیر شاخص NDVI و NDMI (۷۰ تا ۷۵ درصد) و مقدار ۶۰ درصد به‌عنوان

^{۱۴}- Normalized Difference Vegetation Index

^{۱۵}- Normalized Difference Moisture Index

^{۱۶}- Land Surface Temperature

^{۱۷}- Temperature Condition Index

^{۱۸}- Vegetation Condition Index

^۸- Yeditha

^۹- Extreme Learning Machine

^{۱۰}- Long Short-Time Memory

^{۱۱}- Mahanadhi

^{۱۲}- Ghazaryan

^{۱۳}- Synthetic Aperture Radar

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای در کاربردهایی مانند کشاورزی، مدیریت منابع آب، پیش‌بینی بلایای طبیعی و نظارت بر تغییرات اقلیمی بسیار مؤثر است.

این فناوری به پژوهشگران کمک می‌کند تا تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر محیط‌زیست را به‌صورت دقیق‌تری پیگیری کنند و تصمیم‌گیری‌های بهتری در مدیریت منابع طبیعی انجام دهند.

این پیشرفت‌ها در تحلیل داده‌های ماهواره‌ای، به درک عمیق‌تر از چالش‌های جهانی و محلی کمک می‌کند [۱۷].

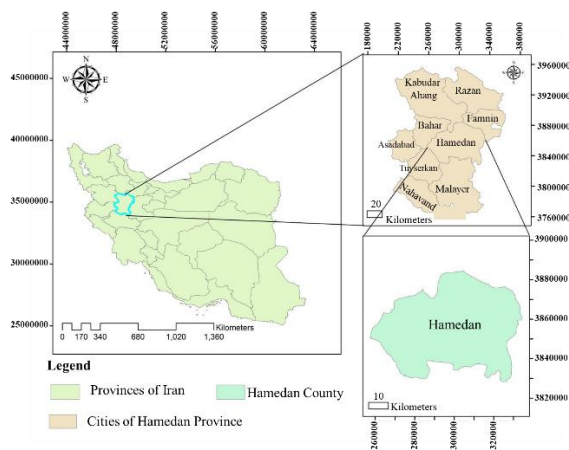


Figure 1. Map of Hamedan city located in Hamedan province

شکل ۱- نقشه شهرستان همدان واقع در استان همدان

۲-۳- زمین‌شناسی

منطقه مورد مطالعه از دیدگاه تکتونیکی در پهنه سنج- سیرجان واقع شده است.

واحدهای سنگی اصلی منطقه توده گرانیتی تا پگماتیتهی الوند به سن ژوراسیک است که به‌طور گسترده بخش ارتفاع ساز جنوبی منطقه را تشکیل داده است [۱۶].

مابقی منطقه مورد مطالعه عموماً دشتهایی است که از رسوبات آبراهه‌ای، رسوبات مخروط افکنه‌ای و تراس‌های آبرفتی به سن کواترنری تشکیل شده است [۱۶].

هدف این پژوهش بررسی تغییرات شاخص‌های خشک‌سالی، رواناب و تغییرات آب زیرزمینی در دشت همدان در بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ بوده است. برای این منظور از ترکیب تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، مادیس (ترا) و گریس برای جمع‌آوری داده‌ها استفاده شده است. در این تحقیق از ترکیب تصاویر ماهواره‌ای مختلف برای مطالعه تغییرات منابع آبی در دشت همدان استفاده شده است. این روش امکان ارائه داده‌های دقیق و جامع‌تری درباره شاخص‌های خشک‌سالی، رواناب و آب زیرزمینی را فراهم می‌کند و در تصمیم‌گیری درباره مدیریت منابع آبی این منطقه به مسئولان کمک می‌کند.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مطالعاتی

حوضه آبریز دشت همدان- بهار با وسعت ۲۴۵۹ کیلومترمربع در دامنه شمالی ارتفاعات الوند واقع شده است. وسعت دشت ۸۸۰ کیلومترمربع و گسترش سطحی آبخوان اصلی دشت ۴۶۸ کیلومترمربع، وسعت ارتفاعات ۱۵۷۹ کیلومترمربع است.

خروجی حوضه در ناحیه شمالی آن (اراضی کوشک‌آباد) واقع و سفره آب زیرزمینی آن با دشتهای کبودآهنگ و قهاوند ارتباط هیدروژئولوژیکی دارد. محدوده دشت (۴۶۸ کیلومترمربع) بین طول شرقی ۴۸° ۱۷' تا ۴۸° ۳۳' و عرض شمالی ۳۴° ۴۹' تا ۳۵° ۰۲' قرار گرفته است.

۲-۲- تصاویر ماهواره

تصاویر ماهواره‌ای ابزارهای قدرتمندی در علوم زمین و محیط‌زیست هستند که امکان پایش گسترده‌تری به تغییرات جغرافیایی و زیست‌محیطی را فراهم آورده‌اند. این تصاویر از دوربین‌های پیشرفته روی ماهواره‌ها گرفته می‌شوند و اطلاعاتی دقیق و به‌موقع درباره وضعیت زمین، منابع طبیعی و تغییرات اقلیمی ارائه می‌دهند.

در همین راستا روش‌های نوین برای مدیریت منابع آب زیرزمینی و مسائل و مشکلات پیش رو وجود دارد که همگی بر استفاده از فناوری‌های نوین همانند استفاده از سامانه مدل‌سازی ریاضی و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی^{۱۹} (GIS) و همچنین روش‌های سنجش از راه دور^{۲۰} (RS) تأکید داشته که می‌تواند در راستای تصمیم‌گیری صحیح به محققان و مدیران کمک کند [۱۸].

۲-۶- ماهواره گریس

یکی از روش‌ها به‌منظور پایش سری زمانی نوسان تراز آب‌های زیرزمینی استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گریس است. این ماهواره براساس تغییرات در جاذبه زمین نوسانات آب‌های زیر زمینی را مورد بررسی قرار می‌دهد. در پژوهش حاضر به استخراج تصاویر دشت همدان شامل ۱۹۲ تصویر ماهواره گریس با گام زمانی ماهانه در بازه ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ پرداخته شد.

این ماهواره که به‌صورت زوج ماهواره ثقل‌سنجی است، توسط ناسا و DLR در تاریخ ۱۷ مارس ۲۰۰۳ از ایستگاهی در روسیه به فضا پرتاب شد و مأموریت علمی آن در ۲۷ اکتبر ۲۰۱۶ به پایان رسید مأموریت گریس شامل دو ماهواره که هم مدار بوده و در ارتفاع ۴۵۰ کیلومتری از تراز زمین و با زاویه میل ۸۹/۵ درجه قرار دارد، است.

فاصله تقریبی دو ماهواره از یکدیگر حدود ۲۲۰ کیلومتر بوده و دارای سامانه راداری در باند K است [۱۹]. به‌منظور انجام پژوهش حاضر از سامانه Google Earth و زبان برنامه‌نویسی JavaScript استفاده شده است.

پس از فراخوانی تصاویر ماهواره‌ای گریس و اعمال فیلترهای مکانی و زمانی، در مجموع ۱۹۲ تصویر برای محدوده مطالعاتی طی بازه زمانی (۲۰۱۶-۲۰۰۳) مورد پردازش قرار گرفت.

گسل‌های اصلی منطقه از نظر فراوانی در درجه اول دارای روند شمال غرب-جنوب شرقی و در درجه دوم دارای روند شمال شرق-جنوب غربی است [۱۶].

۲-۴- رواناب سطحی

یکی از مهم‌ترین کاربردهای سنجش از راه دور در مطالعات آب و هواشناسی است. بر همین اساس شاخه‌ای به‌نام هواشناسی ماهواره‌ای در سنجش از راه دور تعریف شده است. در این شاخه علمی به‌طورمعمول از تصاویر ماهواره‌های کاربردی هواشناسی استفاده می‌شود.

لندست نخستین ماهواره‌های سنجش از راه دوری در زمینه مطالعات هواشناسی طراحی شده بودند. این دسته از ماهواره‌ها از توان تفکیک مکانی به نسبت پایین و توان تفکیک زمانی بسیار بالا در حد چند دقیقه برخوردار است.

توان تفکیک زمانی بالای داده‌های هواشناسی، برای پایش تغییرات و رخداد‌های جوی طراحی شده است. این رخدادها و تغییرات بسیار کوتاه‌مدت و در مقیاس وسیع بوده و برای پایش دائم آن نیاز به تصاویری با توان تفکیک زمانی بالا است. ماهواره‌های اقلیمی به‌طور رایج برای اندازه‌گیری پارامترهای جوی استفاده می‌شوند.

داده‌های اقلیمی دانشگاه آیداهو آمریکا ترکیبی از داده‌های ماهواره‌ای و زمینی است. از این داده‌ها به صورت ترکیبی برای مطالعه اتمسفر و منابع آب استفاده می‌شود. مهم‌ترین نتایجی که از این داده در دسترس است، تبخیر و تعرق واقعی، شاخص خشکی پالمر، بارش تجمعی و رواناب قابل اشاره است.

۲-۵- آب زیرزمینی

آب زیرزمینی یکی از منابع مهم آبی برای تأمین نیاز در حوزه‌های مختلف شهری، صنعتی و کشاورزی بوده و مدیریت تغییرات تراز و مصارف از این منبع بسیار حائز اهمیت است.

²⁰ - Remote Sensing

¹⁹ - Geographic Information System

به‌منظور انجام پژوهش حاضر از سامانه Google Earth و زبان برنامه‌نویسی JavaScript استفاده شده است.

در مرحله اول پس از فراخوانی نتایج مادیس و اعمال فیلترهای مکانی و زمانی، در مرحله دوم نسبت به ماسک ابر از مجموعه تصاویر اقدام شد.

در مرحله سوم، پس از انتخاب باند NDVI، نسبت به ایجاد تصویر میانگین NDVI برای تمام ماه‌های سال اقدام شد.

در وهله چهارم پس از محاسبه مقادیر کمینه و بیشینه شاخص NDVI، شاخص VCI برای تیرماه از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ برای منطقه دشت همدان مورد محاسبه قرار گرفت.

درنهایت، به‌منظور تحلیل مقادیر این شاخص و وضعیت پوشش گیاهی منطقه، نقشه VCI به سه کلاس فاقد پوشش گیاهی، پوشش گیاهی متوسط و پوشش گیاهی غنی طبقه‌بندی شد و مساحت هر کلاس برحسب هکتار و درصد محاسبه شد (شکل ۲).

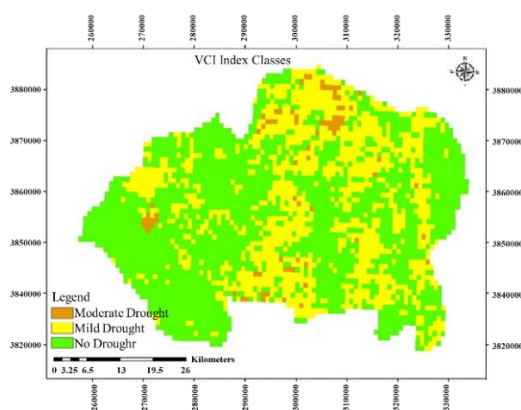


Figure 2. Vegetation Condition Index (VCI) classification map - Hamedan Plain

شکل ۲- نقشه طبقه‌بندی سه‌گانه شاخص وضعیت گیاهی (VCI) - دشت همدان

۲-۸- شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)

شاخص VCI برای نخستین بار توسط کوگان در سال ۱۹۹۵ پیشنهاد شده است [۲۱]. این شاخص نشان می‌دهد که چگونه NDVI ماه جاری به NDVI محاسبه شده

تصاویر ثقل سنجی ماهواره گریس توسط سه مرکز تولید می‌شود. این سه مرکز، سازمان‌های GFZ، JPL و CSR می‌باشند.

در هر یک از مراکز، داده‌های خام ماهواره گریس به داده‌های سطح ۲ تبدیل می‌شوند. خروجی پردازش‌های انجام‌شده، ضرایب هارمونیک کروی میدان گرانش و میدان‌های معاملاتی است که در نهایت منجر به محاسبه تراز آب زیرزمینی می‌شود.

از آنجا که ضرایب تولیدشده در هر مرکز متفاوت است، بنابراین مقادیر تراز آب زیرزمینی نیز متفاوت خواهد بود که راه‌کار اصولی، استفاده از مقادیر میانگین هر سه الگوریتم است تا نتایج مطلوب اخذ شوند.

۲-۷- پایش خشک‌سالی

سنجنده مادیس، یک سنجنده علمی مفید است که در سال ۱۹۹۹ توسط سازمان فضایی آمریکا (ناسا) در مدار زمین، بر روی ماهواره Terra و در سال ۲۰۰۳ بر روی ماهواره Aqua قرار گرفت [۲۰].

این سنجنده هرروز یک پوشش کامل تصویری از زمین در ۳۶ باند طیفی (باندهای ۱ تا ۷ جز باندهای بازتابی هستند و همچنین باندهای ۲۰ تا ۲۳ که جز باندهای تابشی هستند) با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر به‌طور ردیفی و با عرض برداشت ۲۳۳۰ کیلومتر ارائه می‌دهد.

در این مطالعه، از نتایج پوشش گیاهی ۱۶ روزه مادیس (MOD13Q1.006) ماهواره Terra استفاده شده است.

این نتایج از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ در دسترس بوده و در کنار باندهای مختلف، دارای باند NDVI است که از آن در جهت پیشبرد اهداف این تحقیق استفاده شده است.

قدرت تفکیک مکانی این نتایج سنجنده مادیس، ۲۵۰ متر است که امکان پایش وضعیت پوشش گیاهی و خشک‌سالی منطقه مورد مطالعه را فراهم می‌آورد.

در این رابطه، LST دمای سطح پیکسل مورد نظر و LST_{max} بیشینه دما در $NDVI$ مربوط به همان پیکسل و LST_{min} کمینه دمای سطح می‌باشد، مقدار نزدیک به صفر درصد نشان‌دهنده گرمای زیاد است.

۲-۱۰- شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI)

این نمایه ترکیبی است از نمایه‌های VCI و TCI محاسبه شده و برای سلامت پوشش گیاهی به کار برده می‌شود [۲۲].

به عبارت دیگر، اثر ترکیبی تنش رطوبت و گرما بوده و به کمک رابطه (۳) محاسبه شد.

$$VHI = (0.5 \times VCI) + ((0.5 - 1) \times TCI) \quad (3)$$

۲-۱۱- شاخص پوشش گیاهی استاندارد (SVI)

مشابه شاخص VCI بوده و بیانگر رطوبت موجود در گیاه است و از رابطه (۴) طبق EVI به دست می‌آید:

$$SVI = \frac{EVI - EVI_{mean}}{STDevI} \quad (4)$$

که در آن شاخص گیاهی پیشرفته EVI (به عنوان یک محصول گیاهی ماهواره‌ای استاندارد برای طیف سنج های تصویربرداری با وضوح متوسط Terra و Aqua (MODIS) توسعه داده شد [۲۳].

EVI حساسیت بهتری را در مناطق با زیست‌توده بالا فراهم می‌کند و در عین حال تأثیرات خاک و جو را کمینه می‌کند.

از ناحیه بازتاب آبی برای تصحیح سیگنال‌های پس‌زمینه خاک و کاهش تأثیرات جوی از جمله پراکندگی آتروسول استفاده می‌کند.

مقدار این شاخص در فصل‌های خشک مثل پاییز و زمستان منفی بوده و در فصل‌هایی که گیاه زنده است مثبت است. هم‌چنین جدول‌های ۲ و ۳ طبقه‌بندی شدت

از طریق ثبت داده‌های درازمدت نزدیک می‌شوند. محاسبه این شاخص در رابطه (۱) ارائه شده است:

$$VCI = \frac{(NDVI - NDVI_{min})}{(NDVI_{max} - NDVI_{min})} \quad (1)$$

در این رابطه، $NDVI_{max}$ و $NDVI_{min}$ از طریق داده‌های ثبت‌شده درازمدت (۲۰۲۰-۲۰۰۸) برای تیرماه محاسبه شده است.

مقادیر VCI برحسب درصد بیان می‌شود. زمانی که مقدار VCI برابر ۱۰۰ درصد باشد، مقدار $NDVI$ برای ماه بیشینه است.

وقتی مقدار $NDVI$ به بیش‌ترین مقدار نزدیک می‌شود، وضعیت خشک‌سالی بهبود می‌یابد.

زمانی که VCI به صفر نزدیک می‌شوند، نشان‌گر یک ماه بسیار خشک است و مقادیر کم VCI برای فواصل زمانی پی‌درپی، اشاره به ازدیاد خشک‌سالی دارد. در جدول ۱، طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی با استفاده از شاخص VCI ارائه شده است.

جدول ۱- طبقه‌بندی شدت خشک‌سالی با استفاده از شاخص VCI

Class number	VCI Index (%)	Vegetation condition
1	0-40	Low
2	40-60	Medium
3	More than 60	Rich

۲-۹- شاخص وضعیت دما (TCI)

TCI را نیز کوگان پیشنهاد کرد و الگوریتم محاسباتی آن شبیه VCI است [۲۱]؛ رابطه (۲) برای انعکاس پاسخ حرارتی پوشش گیاهی تعریف شده است که هرچه حرارت بیش‌تر باشد، میزان شدت خشک‌سالی نیز بیش‌تر است:

$$TCI = \frac{NDVI_{max} - LST}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \quad (2)$$

²³- Enhanced Vegetation Index

²¹- Vegetation Health Index

²²- Standard Vegetation Index

میانگین رواناب دشت همدان از بازه ژوئن ۲۰۰۳ تا دسامبر ۲۰۱۶ برابر ۰/۵۱۲ مترمکعب بر ثانیه بوده و بیش‌ترین رواناب مربوط به ماه‌های فوریه، مارس و آوریل هر ساله بود که مصادف بهمن، اسفند و فروردین (سه ماه پربارش) در دشت همدان است.

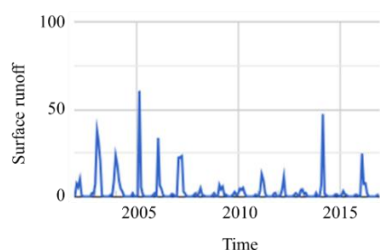


Figure 3. Changes in surface runoff during the period 2003-2016, Hamedan Plain

شکل ۳- تغییرات رواناب سطحی در بازه ۲۰۱۶-۲۰۰۳، دشت همدان

۳-۲- تراز آب زیرزمینی

در ادامه با استفاده از نتایج سه پایگاه داده GFZ، CSR و JPL، تغییرات تراز آب زیرزمینی در دشت همدان در بازه سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ در شکل ۴، مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت.

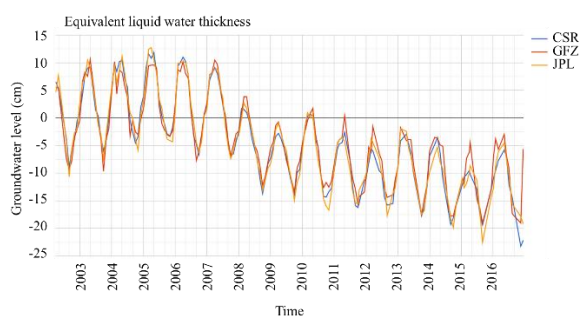


Figure 4. Changes in groundwater level based on data from three centers: GFZ, CSR, and JPL in the period 2003-2016 in the Hamedan Plain

شکل ۴- تغییرات تراز آب زیرزمینی براساس داده‌های سه مرکز GFZ، CSR و JPL در بازه زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۳ در دشت همدان

نتایج حاصل از پایش سری زمانی نوسان تراز آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های مرکز CSR طی بازه زمانی

خشک‌سالی براساس شاخص‌های TCI، VCI، VHI، SVI را ارائه می‌دهند.

جدول ۲- طبقه‌بندی شاخص‌های خشک‌سالی براساس شدت خشک‌سالی

Table 2- Classification of drought indicators based on drought severity

Drought classes	TCI / VCI / VHI
Very severe drought	< 10
Severe drought	< 20
Moderate drought	< 30
Mild drought	< 40
Drought	> 40

جدول ۳- طبقه‌بندی شاخص پوشش گیاهی استاندارد براساس شدت خشک‌سالی

Table 3. Classification of standard vegetation index based on drought severity

Drought classes	SVI
Severe drought	0 – 0.10
Moderate drought	0.10 – 0.25
Mild drought	0.25 – 0.50
Normal	0.50 – 0.75
Favourable	0.75 – 1.00

۳- بحث و بررسی نتایج

در این بخش نتایج تغییرات رواناب سطحی و تراز آب زیرزمینی دشت همدان در بازه ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ ارائه می‌گردد.

هم‌چنین در ادامه با بررسی شاخص‌های خشک‌سالی براساس پوشش گیاهی منطقه و تغییرات دما به طبقه‌بندی خشک‌سالی منطقه دشت همدان براساس تصاویر ماهواره مادیس در بازه ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ پرداخته می‌شود.

۳-۱- رواناب سطحی

در این بخش نتایج استخراج رواناب سطحی دشت همدان براساس تصاویر ماهواره‌ای ترا (Terra) در شکل ۳ ارائه می‌گردد. با توجه به شکل ۳ و بررسی انجام‌گرفته

۳-۳- شاخص‌های خشک‌سالی

(الف) شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)

با توجه به مطالعه انجام گرفته در شهرستان همدان مقادیر متوسط شاخص VCI از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ مورد بررسی قرار گرفت و نتایج در شکل ۵ ارائه می‌گردد. در این شاخص کم‌ترین مقدار ثبت شده در ۱۷ ژوئن ۲۰۰۸ است. با توجه به قرارگیری این زمان در فصل تابستان و رابطه این شاخص با پوشش گیاهی نشان می‌دهد که در این منطقه در این زمان مشکل خاصی وجود داشته که با مقدار ۴/۱ درصد در کلاس خشک‌سالی خیلی شدید قرار دارد. بهترین شرایط در ۲۳ آوریل ۲۰۱۰ است که با مقدار ۸۶/۲ درصد در کلاس بدون خشک‌سالی قرار دارد.

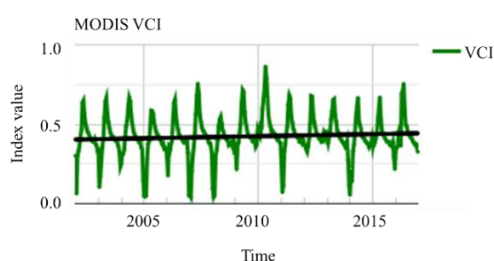


Figure 5. Vegetation Condition Index (VCI)

شکل ۵- شاخص وضعیت پوشش گیاهی (VCI)

(ب) شاخص وضعیت دما (TCI)

مقادیر ماهانه شاخص TCI بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ برای شهر همدان در شکل ۶ ارائه گردیده است.

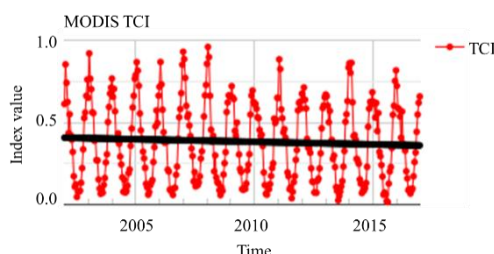


Figure 6. Temperature Condition Index (TCI)

شکل ۶- شاخص وضعیت دما TCI

در این شاخص کم‌ترین مقدار در ۱۳ آگوست سال ۲۰۱۵ است که با مقدار ۱/۵ در کلاس خشک‌سالی خیلی شدید قرار

(۲۰۰۳-۲۰۱۶) در شکل ۴ نشان می‌دهد که کاهش سطح تراز آب زیرزمینی به‌طور کامل مشهود بوده است، به‌گونه‌ای که تراز آب از مقدار ۱۱/۷۹ سانتی‌متر در می ۲۰۰۵ به مقدار ۱۹/۲۶- سانتی‌متر در سپتامبر سال ۲۰۱۶ رسیده است که نشان‌دهنده کاهش تراز آب زیرزمینی به‌میزان ۳۱/۰۵ سانتی‌متر در طول بازه مورد بررسی است.

همچنین، نتایج حاصل از پایش سری زمانی نوسان تراز آب زیرزمینی با استفاده از داده‌های مرکز GFZ طی بازه زمانی (۲۰۰۳-۲۰۱۶) در شکل ۴ نشان می‌دهد که کاهش سطح تراز آب زیرزمینی به‌طور کامل مشهود بوده است، به‌گونه‌ای که تراز آب از مقدار ۱۰/۵۷ در ماه می ۲۰۰۳ به مقدار ۱۸/۹۵- سانتی‌متر در سپتامبر سال ۲۰۱۶ رسیده است.

این نشان‌دهنده کاهش ۲۹/۵۲ سانتی‌متری سطح آب زیرزمینی در بازه ۱۵ سال مورد بررسی است. نوسان تراز آب زیرزمینی در شکل ۴، با استفاده از داده‌های گریس مرکز JPL در بازه زمانی (۲۰۰۳-۲۰۱۶) نیز کاهش سطح تراز آب زیرزمینی را نشان می‌دهد، به‌گونه‌ای که تراز آب از مقدار ۱۲/۷۱ سانتی‌متر در ماه آوریل سال ۲۰۰۳ به مقدار ۲۲/۴- سانتی‌متر در سپتامبر سال ۲۰۱۶ رسیده است.

این میزان کاهش ۳۵/۱۱ سانتی‌متری تراز آب زیرزمینی را در بازه مورد مطالعه نشان می‌دهد. در یک نتیجه‌گیری کلی براساس سه پایگاه داده (الگوریتم) مورد استفاده برای پردازش نوسان سطح آب زیرزمینی به‌ترتیب CSR، CFZ و JPL میزان کاهش سطح تراز آب زیرزمینی در دشت همدان-بهار را ۳۱/۰۵، ۲۹/۵۲ و ۳۵/۱۱ سانتی‌متر نشان داد.

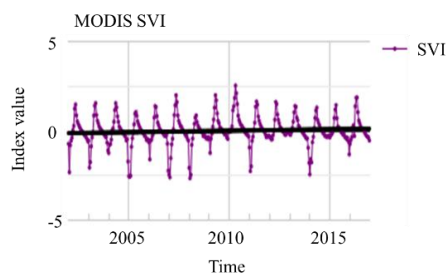


Figure 8. Standard Vegetation Index (SVI)

شکل ۸- شاخص پوشش گیاهی استاندارد (SVI)

جدول ۴- میانگین بلندمدت مقادیر شاخص‌های خشک‌سالی برای شهرستان همدان

Table 4. Long-term average of drought index values for Hamedan city

Index	Value (%)
VCI	0.4
TCI	0.44
VHI	0
SVI	0

با توجه به جدول ۴ هر دو شاخص پوشش گیاهی و پوشش گیاهی استاندارد در طبقه‌بندی خشک‌سالی شدید قرار گرفته که نشان‌دهنده وضعیت اقلیمی منطقه نیز است که روند افزایشی دما و کاهش رواناب در سال‌های مورد مطالعه نیز به‌دست آمد. هم‌چنین براساس شاخص دما، TCI بیانگر وضعیت خشک‌سالی با سطح متوسط است.

در ادامه با استفاده از تصاویر لندست ۸ و با توجه به شاخص NDVI که مبنای محاسبه شاخص VCI است، به طبقه‌بندی محدوده مطالعاتی براساس پوشش گیاهی موجود پرداخته و در قالب نقشه پوشش گیاهی منطقه در شکل ۹ ارائه می‌گردد.

دارد. این بازه زمانی در فصل تابستان قرار دارد و با توجه به وابستگی شاخص با دما، در این زمان دمای زیاد افزایش می‌یابد. بیش‌ترین مقدار نیز در ۱۷ ژانویه ۲۰۰۸ با مقدار بالای ۹۵ درصد ثبت شده است و در این فصل زمستان شرایط بدون خشک‌سالی است.

(پ) شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI)

مقادیر ماهانه شاخص VHI بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ برای شهر همدان در شکل ۷ ارائه گردیده است.

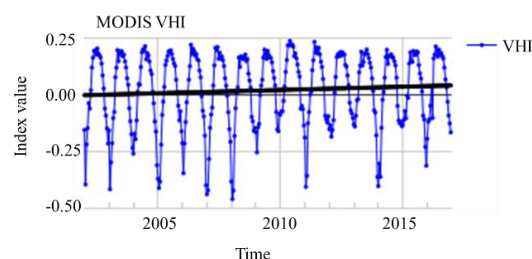


Figure 7. Vegetation Health Index (VHI)

شکل ۷- شاخص سلامت پوشش گیاهی (VHI)

در این شاخص کم‌ترین مقدار در ۱۷ ژانویه ۲۰۰۸ در کلاس خشک‌سالی شدید قرار دارد که دلیل آن پایین بودن مقدار شاخص مربوط به پوشش گیاهی یعنی VCI است و بیش‌ترین مقدار در ۲۵ می ۲۰۱۰ بوده که از نظر پوشش گیاهی هیچ مشکل خشک‌سالی وجود ندارد و از نظر شاخص مربوط به دما در حالت خشک‌سالی خیلی شدید بوده و به همین دلیل این تاریخ نیز در شرایط خشک‌سالی شدید قرار دارد.

(ت) شاخص پوشش گیاهی استاندارد (SVI)

مقادیر ماهانه شاخص SVI بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۶ برای شهر همدان در شکل ۸ ارائه گردیده است. در شاخص SVI کم‌ترین مقدار در ۱۷ ژانویه ۲۰۰۸ است و بیانگر رطوبت پایین در گیاهان است. بیش‌ترین مقدار نیز در ۲۳ آوریل ۲۰۱۰ است.

در نهایت با جمع‌بندی میانگین مقادیر شاخص‌های ارائه‌شده می‌توان آن را در قالب جدول ۴ خلاصه نمود.

مطالعات منابع آب و تغییرات اقلیمی مناطق به عنوان یک بازوی کمکی بهره برد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده و این موضوع مورد تأیید ایشان است.

مشارکت نویسندگان

مهديه کلهری نتایج مربوط به آب‌های سطحی و شاخص‌های خشک‌سالی را از تصاویر ماهواره‌های MODIS و Landsat 8 استخراج کرده و نتایج مرتبط را تحلیل نمود. میثم تدین بخش‌های زمین‌شناسی و تکتونیک را نگارش کرده، نتایج تغییرات سطح آب زیرزمینی را براساس سه الگوریتم GFZ، CSR و JPL استخراج و تحلیل و تفسیر نمود. عماد کهریزی پیشینه پژوهش و بخش مواد و روش‌ها را نگارش کرده و نقشه منطقه مورد مطالعه را تهیه نمود. محمد غیاثوند بخش‌هایی از متن را نگارش و ویرایش کرده و جداول و نمودارها را تنظیم نمود.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

این پژوهش هیچ‌گونه کمک هزینه خاصی دریافت نکرده است.

سپاسگزاری

از داوران محترم به‌خاطر ارائه نظرهای ساختاری و علمی سپاسگزاری می‌شود.

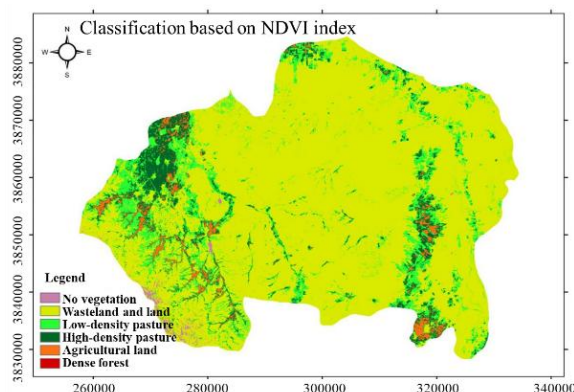


Figure 9. Vegetation health index classification map based on NDVI index - Hamedan city

شکل ۹- نقشه طبقه‌بندی سلامت پوشش گیاهی براساس شاخص NDVI- شهرستان همدان

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش هدف بررسی تغییرات منابع آب سطحی و زیرسطحی با در نظر گرفتن شدت خشک‌سالی در محدوده ۲۰۱۶-۲۰۰۳ در شهرستان همدان بوده است. به‌طور خلاصه براساس نتایج ماهواره لندست، مقدار میانگین درازمدت رواناب منطقه ۵۱۲/۰ مترمکعب بر ثانیه بوده که بیش‌ترین میزان دبی متناسب با بیش‌ترین ماه‌های بارش منطقه در بهمن، اسفند و فرودین به‌دست آمد.

در تحلیل نتایج تغییرات تراز آب زیرزمینی براساس سه پایگاه داده GFZ، CSR و JPL به‌ترتیب فاصله بیش‌ترین تا کم‌ترین تغییرات تراز برابر است با ۲۹/۵۲، ۳۱/۰۵ و ۳۵/۱۱ سانتی‌متر به‌دست آمد.

در بخش آخر شاخص‌های خشک‌سالی TCI نشان‌دهنده خشک‌سالی با شدت متوسط و براساس شاخص‌های پوشش گیاهی در طبقه‌بندی با شدت خشک‌سالی زیاد قرار گرفت.

هم‌چنین براساس نقشه طبقه‌بندی، بیش‌تر اراضی شهرستان همدان در طبقه‌بندی بایر و دارای پوشش گیاهی کم قرار گرفت.

با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش و پژوهش‌های مشابه انجام‌شده برای دیگر مناطق، پیشنهاد می‌شود از اطلاعات ماهواره‌ای و تلفیق آنها با لایه‌های زمین‌شناسی در

References

- [1] Oki T, Kanae Sh. Global hydrological cycles and world water resources. *Science*. 2006 Aug 25; 313 (5790): 1068-1072. <https://doi.org/10.1007/s11269-023-03564-3>.
- [2] Jackson RB, Carpenter SR, Dahm CN, McKnight DM, Naiman RJ, Postel SL, Running SW. Water in a changing world. *Ecological Applications*. 2001 Aug 01; 11 (4): 1027-1045. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2001\)011\[1027:WIACW\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2001)011[1027:WIACW]2.0.CO;2).
- [3] Sophocleous M. Interactions between groundwater and surface water: The state of the science. *Hydrogeology Journal*. 2003 Jan 11; 10: 52-67. <https://doi.org/10.1007/s10040-001-0170-8>.
- [4] Gleeson T, Wada Y, Bierkens MFP, van Beek LPH. Water balance of global aquifers revealed by groundwater footprint. *Nature*. 2012 Aug 8; 488: 197-200. <https://doi.org/10.1038/nature11295>.
- [5] Brocca L, Melone F, Moramarco T, Wagner W, Naeimi V, Bartalis Z, Hasenauer S. Improving runoff prediction through the assimilation of the ASCAT soil moisture product. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2010 Oct 12; 14 (10):1881-1893. <https://doi.org/10.5194/hess-14-1881-2010>.
- [6] Berhan G, Hill Sh, Tadesse T, Atnafu S. Using satellite images for drought monitoring: a knowledge discovery approach. *Journal of Strategic Innovation and Sustainability*. 2011 May 1; 7 (1):135-153.
- [7] Ahmadi M, Dadashi Roudbari A, Deyrmajai A. Runoff estimation using IHACRES model based on CHIRPS satellite data and CMIP5 models (Case study: Gorganroud Basin-Aq Qala area). *Iranian Journal of Soil and Water Research*. 2020 Jun 3; 51 (3): 659-671. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2019.289144.668316> [In Persian].
- [8] Collignon B. A new tool for the remote sensing of groundwater tables: Satellite images of pastoral wells. *Open Geospatial Data, Software and Standards*. 2020 Sep 30; 5 (4): 1-10. <https://doi.org/10.1186/s40965-020-00077-3>.
- [9] Najafi N, Arbabi A. Drought monitoring in Tehran Province using TRMM satellite data. *Iranian Journal of Eco Hydrology*, 2021 Oct; 8 (3): 819-827. <https://doi.org/10.22059/ije.2021.329001.1540> [In Persian].
- [10] Liu P-W, Famiglietti JS, Purdy AJ, Adams KH, McEvoy AL, Reager JT, Bindlish R, Wiese DN, David CH, Rodell M. Groundwater depletion in California's Central Valley accelerates during megadrought. *Nature Communications*. 2022 Dec 19; 13 (7825): 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-35582-x>.
- [11] Vasco DW, Farr TG, Jeanne P, Doughty C, Nico P. Satellite-based monitoring of groundwater depletion in California's Central Valley. *Scientific Reports*. 2019 Nov 5; 9 (16053): 1-14. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52371>.
- [12] Yeditha PK, Rathinasamy M, Neelamsetty SS, Bhattacharya B, Agarwal A. Investigation of satellite precipitation product driven rainfall-runoff model using deep learning approaches in two different catchments of India. *Journal of Hydroinformatics*. 2022 Jan 1; 24 (1): 16-37. <https://doi.org/10.2166/hydro.2021.067>.
- [13] Ghazaryan G, Dubovyk O, Graw V, Kussul N, Schellberg J. Local-scale agricultural drought monitoring with satellite-based multi-sensor time-series. *GIScience and Remote Sensing*. 2020 Jun 16; 57 (5): 704-718. <https://doi.org/10.1080/15481603.2020.1778332>.
- [14] Esmaeili H, Mirmousavi SH, Soheili E. Investigation of agricultural drought time series in Darab city using remote sensing and Google Earth engine system. *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 2022 Feb; 10 (4): 175-192. <https://doi.org/10.22067/geoh.2021.69186.1029> [In Persian].
- [15] Arekhia S, Savasari MB, Emadaddiana S. Investigating the indicators resulting from remote sensing technology in drought assessment using MODIS images (Case study: Qom, Isfahan, Chaharmahal and Bakhtiari, and Markazi Provinces). *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 2022 Nov; 11 (3), 189-224. <https://doi.org/10.22067/geoh.2021.72253.1102> [In Persian].
- [16] Eshraghi SA and Mahmoudi Gharai M. Geology map of Tuyserkan, scale 1:100000, geological survey of Iran. Tehran. 2003.

- [17] Stuart MB, McGonigle AJS, Willmott JR. Hyperspectral imaging in environmental monitoring: A review of recent developments and technological advances in compact field deployable systems. *Sensors*. 2019 Jul 11; 19 (14): 1-17. <https://doi.org/10.3390/s19143071>.
- [18] Vishwakarma CA, Rena V, Singh D, Mukherjee S. Exploration of water resources using remote sensing and geographic information system. *Groundwater Geochemistry*. John Wiley & Sons Ltd.; 2021 Jun 18; <https://doi.org/10.1002/9781119709732.ch18>.
- [19] NASA, Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE), <https://earth.gsfc.nasa.gov/geo/missions/grace>, 2004.
- [20] King MD, Kaufman YJ, Menzel WP, Tanre D. Remote sensing of cloud, aerosol, and water vapor properties from the moderate resolution imaging spectrometer (MODIS). in *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*. 1992 Jan; 30(1): 2-27. <https://doi.org/10.1109/36.124212>.
- [21] Kogan FN. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. *Advances in Space Research*. 1995; 15(11): 91-100. [https://doi.org/10.1016/0273-1177\(95\)00079-T](https://doi.org/10.1016/0273-1177(95)00079-T).
- [22] Zeng J, Zhou T, Qu Y. et al. An improved global vegetation health index dataset in detecting vegetation drought. *Scientific Data*. 2023 May 31; 10: 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02255-3>.
- [23] Tucker CJ. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*. 1979 May; 8(2): 127-150. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(79\)90013-0](https://doi.org/10.1016/0034-4257(79)90013-0).