Sari Agriculture Sciences and Natural Resources University

Journal of Watershed Management Research, Vol. 16, Issue 1, 2025 p: 84-106

OPEN ACCESS

Research Paper

Investigating Surface Changes in Snow Cover Concerning Land Surface Temperature, Evapotranspiration, and Vegetation Cover in the Aras Basin

Aboozar Sadeghi[1], Bromand Salahi[2] and Roghaye Azari Sanjebad[3]

1- Ph.D. student in Geomorphology, Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran
2- Professor, Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran, (Corresponding Author: salahi@uma.ac.ir)
3- M.Sc. student in Climatology, Department of Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Received: 04 June 2024 Revised: 16 September 2024 Accepted: 09 October 2024

Extended Abstract

Background: The climate change phenomenon and its effects and consequences have become a challenging issue for managers and planners, especially for water resources. Currently, climate change has attracted the attention of scientists due to its effects on human societies. Snow plays an important role in the protection of biodiversity, and changes in the amount of snow cover affect animal and plant life as well as the structure of ecosystems. Snow cover is very important in mountainous areas. Since snow is considered solid water, it is an important source for providing drinking water. Because snow cover contains a lot of air, it is a weak conductor of heat, thus the snow cover can protect agricultural products and trees from extreme cold. The current research aims to investigate changes in snow cover concerning land surface temperature, evapotranspiration, and vegetation cover components in the Aras Basin using MODIS sensor data products in annual, seasonal, and monthly periods.

Methods: The studied area is the Aras Basin, which is considered a part of the western Caspian Lake sub-basin and forms the political border between Azerbaijan, Iran, Turkey, and Armenia countries. In this research, Terra satellite images were used to calculate snow cover, land surface temperature, vegetation cover, and evapotranspiration. In this way, the annual average, monthly average, and seasonal average were calculated for each of the mentioned variables based on the solar date. Daily products of snow, vegetation, surface temperature, and 8-day evapotranspiration product of the Terra satellite were used here. Finally, the images were transferred to the ArcMap 10.8 environment for calculation. To calculate the averages of the studied variables in the period of 2011-2018, 8644, 8642, 8325, and 1058 images were processed for snow cover, land surface temperature, vegetation cover, and evapotranspiration, respectively, using coding in Google Earth Engine.

Results: The results showed that the hottest and highest temperatures were in 2000, 2001, and 2014, respectively, during 2000-2022, with the average maximum temperatures of 42, 40, and 40 °C. The coldest year of the studied statistical period was 2017, with average maximum and minimum temperatures of 35 and 1 °C, respectively. The highest average amount of greenness belonged to the years 2019 and 2021 with a value of 0.44, and the lowest average amount of greenness was recorded for the years 2007 and 2003 with a value of 0.34. In the studied years, 2019 and 2022 had the lowest and the highest annual averages of evapotranspiration, respectively. The evapotranspiration in 2018 was at the highest (20.96) and the lowest (3.57 kg/m3), levels, respectively. In 2022, evapotranspiration was 37.42 in the highest state and 2.60 kg/m3 in the lowest state. In all the studied years, the southeastern and northern parts of the studied basin had the highest average evapotranspiration. In 2018, the maximum and the minimum average land surface temperatures were equal to 37.12 and 0.14 °C, respectively. In 2022, the maximum temperature of the land surface temperature was 39.80 and its minimum was 5.66 °C. As can be seen, there is a direct relationship between temperature and evapotranspiration in these years. During the years 2000-2022, the lowest and the highest averages of NDSI were observed in 2000 (17.31) and 2017 (26.23). In all the studied years, the most snow-bearing areas were the high-altitude areas located in the southern, southeastern, and southwestern parts of the Aras Basin.

Copyright ©2025 Sadeghi et al. Published by Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 Unported License, which allows users to read, copy, distribute, and make derivative works for non-commercial purposes from the material, as long as the author of the original work is cited properly.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]

Conclusion: The results of the survey of the surface temperature maps showed that the years 2000 and 2001 started with average maximum temperatures of 42.37 and 40.20 °C, respectively, and continued with a decrease in the average maximum temperature. In 2020 and 2021, the maximum temperature reached 39 °C, after which evapotranspiration also changed according to the land surface temperature. The trend of changes in the vegetation cover of the Aras Basin generally shows an increase in vegetation cover during the 22 years, but the trend of changes in the snow cover has been a slight decrease. Higher temperatures are seen in the low and flat parts of the northeast and northwest of the Aras Basin, and lower temperatures occur in the high areas of the southeast and west of the basin. Evapotranspiration is often observed in the northern and southeastern parts of the Aras Basin, which has more snow cover. Although these parts have higher altitudes and lower temperatures than the other regions, they have more evapotranspiration. Winter and autumn are the snowy seasons of the study area. The highest amount of snow cover was in February with an area of 37234.32 km^2 and the lowest was in August with 4.71 m^2. The high areas with snow cover (southeast, west, and north of the basin) had snow cover even in the years when the surface average snow cover was at its lowest.

Keywords: Aras Basin, Evapotranspiration, Land Surface Temperature, Modis Sensor, Snow Cover Level

How to Cite This Article: Sadeghi, A., Salahi, B., & Azari Sanjebad, R. (2025). Investigating Surface Changes in Snow Cover Concerning Land Surface Temperature, Evapotranspiration, and Vegetation Cover in the Aras Basin. *J Watershed Manage Res,*16(1), 84-106. DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مقاله پژوهشی

بررسی تغییرات سطحی پوشش برف در ارتباط با دمای سطح زمین، تبخیر و تعرق و پوشش گیاهی در حوضه آبخیز ارس

ابوذر صادقی[۱]، برومند صلاحی[۲] و رقیه آذری سنجبد[۳]

۱- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
۲- استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران، (نویسنده مسوول: salahi@uma.ac.ir)
۳- دانشجوی کارشناسی ارشد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵ تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۶ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۸
صفحه ۸۴ تا ۱۰۶

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: پدیده تغییر اقلیم و اثرات و پیامدهای ناشی از آن به موضوعی چالش‌برانگیز برای مدیران و برنامه‌ریزان به‌ویژه در ارتباط با منابع آب تبدیل شده‌اند. در حال حاضر، تغییر اقلیم به‌علت اثرگذاری در جوامع بشری، مورد توجه دانشمندان قرار گرفته است. برف نقش مهمی در حفاظت تنوع زیستی دارد و تغییرات میزان پوشش برف، حیات جانوری و گیاهی و نیز ساختار اکوسیستم‌ها را متأثر می‌سازد. پوشش برف در مناطق کوهستانی دارای اهمیت زیادی است. ازآنجایی‌که برف آب جامد محسوب می‌شود، منبع مهمی برای تأمین آب آشامیدنی است. چون پوشش برف مقدار زیادی هوا را در خود دارد، هادی ضعیفی برای گرما است لذا پوشش برف قادر است محصولات کشاورزی و درختان را در مقابل سرماهای شدید محافظت کند. هدف پژوهش حاضر، بررسی تغییرات پوشش سطحی برف در ارتباط با مؤلفه‌های دمای سطح زمین، تبخیر و تعرق و پوشش گیاهی در حوضه آبخیز ارس با استفاده از محصولات داده‌های سنجنده مودیس به‌صورت بازه‌های زمانی سالانه، فصلی و ماهانه است.

مواد و روش‌ها: محدوده موردمطالعه حوضه ارس است که بخشی از زیرحوزه آبخیز غرب دریاچه‌ی خزر تلقی می‌شود و مرز سیاسی بین کشورهای آذربایجان، ایران، ترکیه و ارمنستان را تشکیل می‌دهد. در این پژوهش، برای محاسبه پوشش برف، دمای سطح زمین، پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق، از تصاویر ماهواره Terra استفاده شد، به این صورت که برای هرکدام از متغیرهای مذکور، میانگین سالانه، میانگین ماهانه و میانگین فصلی بر اساس تاریخ شمسی محاسبه شد. از پروداکت‌های روزانه برف، پوشش گیاهی، دمای سطح زمین و پروداکت ۸ روزه تبخیر و تعرق ماهواره Terra استفاده شد. در نهایت، تصاویر برای محاسبه به محیط ArcMap10.8 انتقال داده شدند. برای محاسبه میانگین‌های متغیرهای مورد مطالعه در دوره ۱۳۷۹-۱۴۰۱، با استفاده از کدنویسی در گوگل ارث انجین، برای پوشش برف، دمای سطح زمین، پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق به‌ترتیب از ۸۶۴۴، ۸۶۴۲، ۸۳۲۵ و ۱۰۵۸ تصویر مورد پردازش قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که بین سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۷۹، گرم‌ترین و بیشترین دما به‌ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۳ با میانگین بیشینه دمایی به‌ترتیب ۴۲، ۴۰ و ۴۰ درجه سلسیوس بوده است. سال ۱۳۸۷ با میانگین بیشینه دمایی ۳۵ درجه سلسیوس و کمینه دمایی ۱ درجه سلسیوس، گرم‌ترین سال دوره آماری مورد مطالعه بود. بیش‌ترین میزان میانگین سبزینگی مربوط به سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۴۰۰ با مقدار ۰/۴۴ و کم‌ترین میزان میانگین سبزینگی مربوط به سال‌های مربوط به ۱۳۸۶ و ۱۳۸۲ با مقدار ۰/۳۴ بود. در سال‌های مورد مطالعه، سال ۱۳۸۸ کم‌ترین میانگین سالانه تبخیر و تعرق و سال ۱۴۰۱ بیش‌ترین میانگین سالانه تبخیر و تعرق را داشتند. تبخیر و تعرق در سال ۱۳۸۸ در بالاترین حالت، ۲۰/۹۶ و در کم‌ترین حالت، ۳/۵۷ کیلوگرم در مترمکعب بود. تبخیر و تعرق در سال ۱۴۰۱ در بیش‌ترین حالت، ۳۷/۴۲ و در کم‌ترین حالت، ۲/۶۰ کیلوگرم در مترمکعب بود. در همه سال‌های مورد مطالعه، بخش‌های جنوب شرقی و شمال حوضه مورد مطالعه بیشترین میانگین تبخیر و تعرق را داشتند. در سال ۱۳۸۸، بیشینه میانگین دمای سطحی زمین برابر با ۳۷/۱۲ و کمینه آن برابر با ۰/۱۴ درجه سلسیوس بود. در سال ۱۴۰۱، بیشینه دمای سطح زمین، ۳۹/۸۰ و کمینه آن ۵/۶۶ درجه سلسیوس بود. همان طور که مشاهده می‌شود، در این سال‌ها بین دما و تبخیر و تعرق رابطه مستقیمی وجود داشت. طی سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۷۹، میانگین NDSI در سال ۱۳۷۹ کم‌ترین مقدار (۱۷/۳۱) و در سال ۱۳۹۶ بیش‌ترین مقدار (۲۶/۲۳) را دارا بود. در همه سال‌های مورد مطالعه، بیش‌ترین مناطق برف‌گیر مناطق ارتفاعی بلند واقع در قسمت‌های جنوبی و جنوب شرقی و جنوب غربی حوضه آبخیز ارس بود.

نتیجه‌گیری: نتایج بررسی نقشه‌های دمای سطح زمین نشان دادند که سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ با میانگین بیشینه دمایی ۴۲/۳۷ و ۴۰/۲۰ درجه سلسیوس شروع شدند و با کاهش میانگین بیشینه دمایی ادامه پیدا کردند. در سال‌های ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰، بیشینه دمایی به ۳۹ درجه سانتی‌گراد رسید که به‌دنبال آن، تبخیر و تعرق نیز با توجه به دمای سطح زمین تغییر پیدا کرد. روند تغییرات پوشش گیاهی حوضه آبخیز ارس در حالت کلی نشان‌دهنده افزایش پوشش گیاهی در طول دوره ۲۲ ساله است اما روند تغییرات پوشش برفی روند کاهشی ملایمی داشته است. دماهای بالاتر در قسمت‌های پست و هموار شمال شرق و شمال غرب حوضه آبخیز ارس و دماهای پایین‌تر در مناطق مرتفع جنوب شرقی و غرب حوضه دیده می‌شوند. تبخیر و تعرق اغلب در بخش‌های شمالی و جنوب شرقی حوضه آبخیز ارس که سطح پوشش برفی بیش‌تری دارند، مشاهده می‌شود. این قسمت‌ها با اینکه ارتفاع بیشتری دارند و دمای کم‌تری نسبت به بقیه مناطق داشتند ولی دارای تبخیر و تعرق بیشتری بودند. زمستان و پاییز فصول برف‌گیر منطقه مورد مطالعه هستند. بیش‌ترین میزان سطح پوشش برف در بهمن‌ماه با مساحت ۳۷۲۳۴/۳۲ کیلومترمربع و کم‌ترین آن در مردادماه با ۴/۷۱ مترمربع بوده‌اند. مناطق مرتفع دارای پوشش برفی (جنوب شرق، غرب و شمال حوضه) حتی در سال‌هایی که میانگین سطحی پوشش برف در کم‌ترین حالت خود قرار داشته است، دارای پوشش برف بودند.

واژه‌های کلیدی: تبخیر و تعرق، حوضه آبخیز ارس، سطح پوشش برف، دمای سطح زمین، سنجنده مودیس

مقدمه

در دهه‌های اخیر، تغییر اقلیم اثرات گسترده‌ای بر جنبه‌های گوناگون مناطق کوهستانی و سامانه‌های اکولوژیکی و اجتماعی آن داشته است (Bahrami Pichaghchi *et al.*, 2020). پدیده تغییر اقلیم، اثرات و پیامدهای محتمل ناشی از آن به موضوعی چالش‌برانگیز برای مدیران و برنامه‌ریزان به‌ویژه در ارتباط با منابع آب تبدیل شده‌اند. این پدیده، به علت جوانب و اثرات مختلف آن در حال حاضر در مرکز توجه دانشمندان جهان قرار گرفته است (Salahi *et al.*, 2023). گستره‌های یخ و برف موجود در قطب‌ها و مناطق کوهستانی

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]

کره زمین بخش مهم و کلیدی از سیستم آب و هوایی زیست‌کره را تشکیل می‌دهند. گسترش یا کاهش این سطوح به علت بالابودن میزان آلبیدوی آن‌ها، به‌صورت معنی‌داری بر بیلان انرژی کره زمین تأثیرگذار است (Ghasemi, 2022). برف یکی از اشکال مهم بارش در چرخه هیدرولوژی مناطق کوهستانی است که در تأمین منابع آب شرب و کشاورزی به‌صورت جریان‌های تأخیری در فصول پرآبی و جریان‌های حداقل در فصول کم‌آبی نقش ارزنده ایفا می‌کند (Raeisi *et al.,* 2017). همچنین، برف نقش مهمی در حفاظت تنوع زیستی دارد و تغییرات میزان پوشش برف، حیات جانوری و گیاهی و نیز ساختار اکوسیستم‌ها را متأثر می‌سازد. پوشش برف در مناطق کوهستانی دارای اهمیت زیادی است (Omidvar *et al.,* 2022). پوشش‌های برفی در نواحی کوهستانی، بزرگ‌ترین منبع تأمین آب شیرین برای اکوسیستم‌های محیطی است (Wipf *et al.,* 2015). به‌گونه‌ای که در حوزه‌های آبریز، بیش از ۹۰ درصد رواناب‌های آن، از ذوب برف‌های کوهستان تأمین می‌شود و یا این‌که کوهستان‌ها بیش از ۲ برابر دشت‌های مسطح در تأمین آب زیرزمینی و سطحی نقش دارند (Voigt *et al.,* 2010). در مناطق کوهستانی، بخش زیادی از بارش‌های سالانه به‌صورت برف است که منبع مناسبی برای جریان‌های رودخانه‌ای قلمداد می‌شود، لذا شناخت این منابع در بهره‌برداری بهینه از منابع آب ضروری است. پایش پوشش برف و کسب اطلاعات دقیق از توزیع فضایی آن در پیش‌بینی وضعیت هوا و مدل‌سازی‌های آب‌شناختی و اقلیمی ضروری است (Husler *et al*., 2012). پوشش برف در مناطق کوهستانی با بازتابش بالا، تأثیر فراوانی بر اقلیم محلی، کاهش تابش خالص سطحی و انتقال انرژی دارد (Valashedi & Bahrami Pichaghchi, 2023). پوشش برفی یک جزء حیاتی از کریوسفر است که با اقلیم در مقیاس‌های محلی، منطقه‌ای و جهانی در ارتباط است (Chen *et al.,* 2018). مناطق پوشیده از برف در ارتفاعات پایین‌تر (< حدود ۱۵۰۰ متر از سطح دریا) در عرض‌های میانی به تغییرات اقلیمی حساس هستند زیرا دماهای سطحی نزدیک به نقطه ذوب هستند (Aguirre *et al.,* 2018). تغییرات در رفتار فصلی پوشش برف، مانند الگوهای ذوب، رطوبت خاک و در دسترس بودن آب، می‌توانند بر جوامع گیاهی و همچنین چرخه هیدرولوژیکی حوضه‌ها و اکوسیستم‌های آن‌ها تأثیر مستقیم داشته باشند (Walker *et al.,* 1993). برف به‌دلیل بازتاب زیاد در ناحیه مرئی طول‌موج الکترومغناطیسی (۴۰۰ – ۷۰۰ نانومتر) برای چشم انسان روشن به‌نظر می‌رسد، در حالی که جذب بالاتری در بخش‌هایی از محدوده نزدیک و مادون‌قرمز میانی دارد (Tedesco, 2014). چندین داده سنجش از دور (مانند: AVHRR، MODIS، VIIRS و Landsat) می‌توانند میزان پوشش برف را در زمان و مکان مختلف نشان دهند (Lillesand *et al.,* 2015). به‌عنوان‌مثال، مجموعه لندست، با وضوح مکانی ۳۰ متر در باندهای مرئی، نزدیک و مادون‌قرمز کوتاه، برای کاربردهای برف در کوهستان ایده‌آل است. بااین‌حال، فاصله زمانی تکرار ۱۶ یا ۱۸ روزه برای نیازهای کوتاه‌مدت نقشه‌برداری برف، به‌خصوص در مناطق ابری کافی نیست (Hall *et al.,* 2014). درحالی‌که MODIS (طیف‌سنجی تصویربرداری با وضوح متوسط)، با وضوح فضایی ۲۵۰ متر و ۵۰۰ متر، پوشش برف را در یک وضوح زمانی روزانه از سال ۲۰۰۰، با استفاده از یک الگوریتم پوشش برف خودکار توسعه یافته است رصد می‌شود (Riggs & Hall., 2017).

پژوهشگران تحقیقاتی را در داخل و خارج از کشور در رابطه با این موضوع انجام داده‌اند. اصغری و همکاران (Asghari *et al.,* 2023) با استفاده از MODIS به بررسی تغییرات سطح پوششی برف در رابطه با ارتفاع و دمای سطح زمین در حوضه آبریز دریاچه ارومیه بین سال‌های ۱۳۹۹–۱۳۷۹ پرداختند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان دادند که بین دمای سطح زمین و پوشش سطحی برف رابطه معکوس وجود داشت؛ همچنین، بین پوشش برف سطح زمین و طبقات ارتفاعی رابطه مستقیمی وجود داشت، طوری‌که در ارتفاعات بیشتر از ۳۰۰۰ متر مقدار سطح پوشش برف بیش از ۹۸٪ نسبت به منطقه بود. در ارتفاعات کم‌تر از ۲۰۰۰ متر، میانگین سالانه دما بین ۲۱ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد بود، اما در ارتفاعات بالاتر از ۳۵۰۰ متر، میانگین سالانه دما حدود ۷ الی ۱۳ درجه گزارش شد. جمس و همکاران (Jems *et al.,* 2023) به بررسی تغییرات فضایی گستره برف در البرز مرکزی پرداختند. در این مطالعه، تغییرات برف را برای سال‌های ۱۹۸۵، ۱۹۹۵، ۲۰۰۵، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ با استفاده از تصاویر لندست مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که پهنه‌های برفی از سال ۱۹۸۵ تا ۲۰۲۰ سیر نزولی داشت، به گونه‌ای که در زمستان از ۱/۶۸ در سال ۱۹۸۵ به ۰/۹۸ میلیون هکتار در سال ۲۰۲۰، در پاییز از ۰/۸۴ در ۱۹۸۵ به ۰/۱۵ میلیون هکتار در ۲۰۲۰ رسید. در زمستان و پاییز، پوشش برفی در بخش شرقی البرز مرکزی کاهش شدیدی نسبت به بخش غربی داشت. در زمستان سال ۱۹۸۵، برف از دامنه ارتفاعی ۱۵۰۰ متر شروع می‌شد، اما در سال ۲۰۲۰ به ۲۵۰۰ متری رسید. در تابستان، برف در سال ۱۹۸۵ در ارتفاعات بیش از ۳۹۰۰ متری بود، اما در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۰ به بیش از ۴۲۰۰ متری در قله‌ها مشاهده گردید. فرجی و همکاران (Faraji *et al.,* 2023) به بررسی تحلیل فضایی سطح پوشش برف در غرب ایران با استفاده از MODIS پرداختند. در این پژوهش، بازه زمانی ۲۰۰۱–۲۰۲۰ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج این پژوهش نشان از روند کاهشی در مساحت پوشش برف در فصل زمستان داشتند. نتایج تحلیل فضایی نشان دادند که جهت بیضی سه‌برابر انحراف استاندارد مکانی شمال غربی به جنوب شرقی، بیش از ۹۹ درصد پراکندگی برف به تبعیت از آرایش مکانی ارتفاعات، بارش در این راستا گسترش داشت. اردلانی و همکاران (Ardalani *et al.,* 2022) به تغییرات پوشش برف استان تهران در بازه زمانی ۱۳۸۱ تا سال ۱۳۹۷ با استفاده از MODIS پرداختند. آن‌ها نشان دادند که تغییرات مجموع روزهای همراه با پوشش برف ماهانه، سالانه و فصلی (پاییز و زمستان) دارای روند معنی‌دار کاهشی به‌صورت

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]

پراکنده در اکثر نقاط استان تهران بودند. آنالیز روند تغییرات فصلی تأخیر در شروع روزهای همراه با پوشش برف و جا به جایی آن از اواخر ماه دی به اواخر ماه اسفند را نشان داد. اصغری و صادقی (Asghari & Sadeghi, 2021) به بررسی تغییرات برف حوضه ارس با استفاده از داده‌های Terra Snow بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ برای ماه‌های آذر، دی و بهمن پرداختند. نتایج مطالعات نشان دادند که کم‌ترین مساحت برفی مربوط به ۱۱ بهمن سال ۱۳۹۰ برابر با ۰/۴۲۵ کیلومترمربع و بیش‌ترین مساحت برفی برابر ۳۷۰۱۱/۰۰ کیلومترمربع مربوط به ۳ دی سال ۱۳۸۱ بود. همچنین، نمودار کلی آن‌ها نشان داد که مساحت سطحی برف از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ روند نزولی داشت. در خارج از کشور نیز دراج و همکاران (Sing *et al.,* 2023) به بررسی تغییرات فضایی و زمانی گیاهان در رابطه با برف در قسمت غرب هیمالیا با استفاده از داده‌های MODIS در سامانه GEE پرداختند. این تجزیه و تحلیل کاهش قابل‌توجهی را در پوشش جنگلی (۲۱۴ هکتار در سال) در این قسمت نشان می‌دهد. از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۹، کاهش و افزایش پوشش جنگلی فضایی–زمانی را در حوضه باسی به‌ترتیب در ۷۵۰۴ هکتار (۶/۶٪) و ۱۸۱۹ هکتار (۱/۶٪) مشاهده کردند. علاوه بر این، یک همبستگی منفی قوی (r = -0.65) بین پوشش جنگلی و تبخیر و تعرق (ET) مشاهده شد. برای اولین بار، این مطالعه بررسی کاملی از تنوع فضایی و زمانی جنگل و علفزارها و تعامل آن‌ها با عوامل آب و هوایی برف با استفاده از GEE برای هیمالیای غربی فراهم کرد. ژانگ و وانگ (Zhang & wang, 2023) به تغییرات دینامیک پوشش برف بهار در شمال شرقی چین پرداختند. تغییرات پوشش برف بهار در شمال شرقی چین تأثیر عمیقی بر عملکرد محصول غلات محلی و حتی امنیت غذایی کشور داشتند. آن‌ها در این مطالعه ویژگی‌های فضایی و زمانی و مکانیزم‌های اساسی تغییرپذیری پوشش برف بهاره در شمال شرقی چین در طول سال ۱۹۸۳–۲۰۱۸ را بر اساس داده‌های پوشش برف گرفته‌شده از ماهواره و محصولات تجزیه و تحلیل مجدد جوی بررسی کردند. به‌طور خاص، به‌دنبال فاز منفی پیوند از راه دور جو الگوی قطبی–اوراسیا، یک گردش چرخندی برجسته بر روی شمال شرقی چین ظاهر می‌شود که با افزایش انتقال بخار آب و کاهش دمای هوا از طریق کاهش تابش خورشیدی و تشدید فرارفت سرد، ریزش برف بر روی شرق چین را افزایش می‌دهد. در نتیجه، پوشش برف بر روی شمال شرقی چین افزایش‌یافته است. فلیپ و همکاران (Felipe *et al.,* 2023) به پایداری برف و روندهای ارتفاع خط برف در یک حوضه‌ی کوهستانی در مرکز اندز شیلی و تطابق آن‌ها با متغیرهای هیدروکلیماتیک پرداختند. آن‌ها در این مطالعه، از ۲۲ سال (۲۰۰۰–۲۰۲۱) داده‌های ۸ روزه پوشش برف MODIS (MOD10A2) برای تحلیل تغییرات سالانه و فصلی در مساحت پوشش برف، ارتفاع خط برف (SLE) و پایداری برف (SP) در حوضه رودخانه یسو در شیلی مرکزی و ارتباط SP و SLE با متغیرهای هیدرومتئورولوژیک و شاخص‌های اقلیمی استفاده کردند. کاهش ۳۴ کیلومترمربع از مساحت پوشش برف در ارتفاعات پایین در بهار و ۸۶/۵ کیلومترمربع در ارتفاعات میانی در تابستان در مقایسه با دوره ۲۰۲۱–۲۰۱۶ نسبت به ۲۰۰۰–۲۰۰۴ مشاهده شد؛ روندهای SP در مقیاس سالانه یک کاهش قابل توجه در ۸۹٪ منطقه و میانگین ۳/۶ روز کمتر پوشش برف در سال نشان دادند؛ روند به بالا و قابل‌توجهی از ۲۱ متر در سال در SLE سالانه یافت شد؛ SP و SLE سالانه با متغیرهای هیدرومتئورولوژیک سالانه بسیار مرتبط بودند و متغیرهای برف در بهار و تابستان با جریان خشک بسیار مرتبط بودند. این روش ممکن است به‌عنوان یک ابزار ارزشمند برای شناسایی روندهای سطوح پوشش برف و ارتباط این تغییرات با تغییرات اقلیمی یا دیگر تأثیرات انسانی در تحقیقات آتی عمل کند. فرانسیسکو و همکاران (Francisco *et al.,* 2023) به بازسازی پوشش برف در شبه‌جزیره برونسویک، پاتاگونیا، با استفاده از داده‌های MODIS به صورت تفسیر زمانی پرداختند. روش‌های متعددی بر اساس محصولات داده‌های ماهواره‌ای برای برآورد ویژگی‌های پوشش برف وجود دارند که هرکدام مزایا و معایب خود را دارد. نتایج آن‌ها صحت‌سنجی ۹۸ درصدی را بین آشکارسازی برف MODIS و اندازه‌گیری‌های زمینی برف در ایستگاه هواشناسی خودکار، با مقادیر پوشش برف جزئی بین ۲۰٪ و ۵۰٪ نشان می‌دهند که بیانگر رابطه نزدیکی بین برف و نوع پوشش گیاهی است. اگرچه تعداد روزهای برفی فصلی روند افزایشی قابل‌توجهی را در طول سال/روز ۰/۵۴ در شبه‌جزیره برونسویک در طول دوره ۲۰۲۰ – ۲۰۰۰ نشان داد، کاهش قابل‌توجهی در سال/روز ۴/۶۴ در سال ۲۰۲۰ – ۲۰۱۰ مشاهده شد.

بررسی تغییرات پوشش برف اهمیت زیادی دارد و دلایل مختلفی برای این اهمیت وجود دارند، از جمله در مدیریت منابع آب که پوشش برف به‌عنوان یکی از منابع اصلی آب در بعضی مناطق است. آب حاصل از ذوب برف تأمین‌کننده آب رودخانه‌ها دریاچه‌ها و آب‌های زیرزمینی است. همچنین، پوشش برف یکی از شاخص‌های مهم در تغییرات اقلیمی است که کاهش یا افزایش غیرطبیعی برف نشان‌دهنده تغییرات اقلیمی است. همچنین، آگاهی از تغییرات پوشش برف در مدیریت سیلاب اهمیت دارد به این شکل که ذوب سریع برف می‌تواند منجر به سیلاب‌های ناگهانی شود. همچنین، بسیاری از مناطق فعالیت‌های اقتصادی مانند کشاورزی، گردشگری و ورزش‌های زمستانی به‌میزان سطحی پوشش برف وابسته هستند. بر اساس اهمیت پوشش برف، به بررسی پژوهش تغییرات در این حوضه پرداخته شد.

در این پژوهش از چهار پروداکت سنجنده مودیس (برف، پوشش گیاهی، دمای سطح زمین و تبخیر و تعرق) ماهواره ترا استفاده شد که سه تا از این پروداکت‌ها (برف، دمای سطح زمین و پوشش گیاهی) روزانه و یکی (تبخیر و تعرق) ۸ روزه بودند و در محیط سامانه GEE پردازش شدند. با توجه به کدنویسی روزها و ماه‌ها دقیقاً بر اساس تاریخ شمسی انتخاب شدند تا نتایج دقیقاً بر اساس ماه و فصل تاریخ شمسی باشند نه معادل قراردادن با تاریخ‌های میلادی انجام شود. همچنین، در این پژوهش با توجه به بازه زمانی انتخاب شده در کل تقریباً ۲۶۶۶۹ تصویر مورد محاسبه قرار گرفتند که در حالت

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

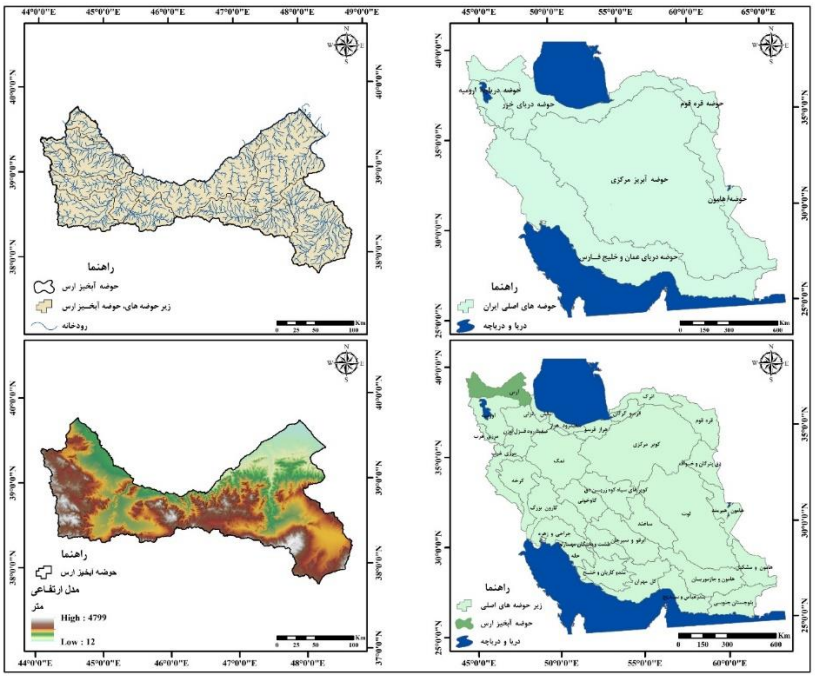
[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]

عادی دانلود، دسته‌بندی و پردازش آن‌ها در نرم‌افزارهای تحت دسکتاپ زمان زیاد را می‌طلبید.

هدف از پژوهش حاضر، بررسی تغییرات پوشش سطحی برف، در ارتباط با مؤلفه‌های دمای سطح زمین، تبخیر و تعرق و پوشش گیاهی در حوضه آبخیز ارس با استفاده از محصولات داده‌های سنجنده مودیس به‌صورت بازه‌های زمانی سالانه، فصلی و ماهانه است.

محدوده مورد مطالعه

حوضه ارس، بخشی از زیرحوزه آبخیز غرب دریاچه‌ی خزر تلقی می‌شود که مرز سیاسی بین کشورهای آذربایجان، ایران، ترکیه و ارمنستان را تشکیل می‌دهد. حوزه آبخیز ارس بین طول ۴۴ درجه ۰۲ دقیقه تا ۴۸ درجه ۴۷ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۷ درجه ۴۵ دقیقه تا ۳۹ درجه ۴۶ دقیقه واقع شده است. مرتفع‌ترین نقطه در این حوضه ۴۷۹۹ متر و پست‌ترین نقطه با ارتفاع ۱۲ متر قرار دارند. مساحت این حوضه ۳۹۳۸۹/۹۶ کیلومترمربع است. یکی از قطب‌های مهم کشاورزی کشور است و تولیدات متنوعی دارد. همچنین، بخش‌های شمالی سه استان اردبیل، آذربایجان شرقی و آذربایجان غربی را شامل می‌شود. رود ارس و انشعابات و سدهای آن به‌عنوان تأمین کننده اصلی آب این حوضه محسوب می‌شوند. وجود ارتفاعات مختلف و وجود دشت‌های مسطح باعث شده است که علیرغم هم‌عرضی نسبی حوضه، کل حوضه دارای شرایط اقلیمی متنوعی باشد. میانگین بارش کل حوضه مورد مطالعه ۲۵۸/۱۳ میلی‌متر است (Sari Saraf *et al.*, 2011). در شکل ۱، موقعیت جغرافیایی حوضه ارس در ایران، تغییرات ارتفاع و رودخانه‌های آن نشان داده شده‌اند.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز ارس (نگارندگان، ۱۴۰۲)

Figure 1. Geographical location of the Aras Basin (Authors, 2023)

روش پژوهش

مجموعه داده تصویربرداری وضوح متوسط اسپکترورادیومتر (MODIS) با وضوح مکانی ۵۰۰ متر برای ارزیابی پوشش برفی حوزه‌های دارای مساحت ۱۰/۰۰۰ کیلومترمربع و بیشتر مناسب است (Asghari Saraskanrood *et al.*, 2023؛ Arif *et al.*, 2021). در این پژوهش، برای محاسبه برف، دمای سطح زمین (LST)، پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق، از تصاویر ماهواره Terra استفاده شد. با توجه به اینکه هدف پژوهش نشان‌دادن و آشکارسازی تغییرات در بازه زمانی بلندمدت بود و نیاز به تعداد تصاویر بالا بود از داده‌های سنجنده مودیس، ماهواره ترا که به‌صورت روزانه موجود هستند، استفاده شد. به این صورت که برای هرکدام از ۴ پارامتر میانگین سالانه، میانگین ۱۲ ماه و میانگین فصلی بر اساس تاریخ شمسی در سامانه GEE بر اساس دستورات موجود محاسبه شدند تا بر اساس ماه، فصل و سال به بررسی تغییرات پرداخته شود. به عنوان مثال، برای فراخوانی و محاسبه دمای سطح زمین در سامانه GEE از کدنویسی بر اساس شکل ۲ استفاده شد. در این پژوهش، از پروداکت روزانه برف، پروداکت روزانه پوشش گیاهی، پروداکت روزانه دمای سطح زمین و پروداکت ۸ روزه تبخیر و تعرق از ماهواره Terra استفاده شد که در شکل ۳ و همچنین در جدول ۱ اطلاعات کامل پروداکت‌های استفاده‌شده در این پژوهش نشان داده شده است. در نهایت، تصاویر برای محاسبه و خروجی گرفتن به محیط ArcMap10.8 انتقال داده شدند. در این پژوهش، برای محاسبه میانگین‌های مورد مطالعه (۱۳۷۹-۱۴۰۱) با استفاده از کدنویسی داخل گوگل‌ارث

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]

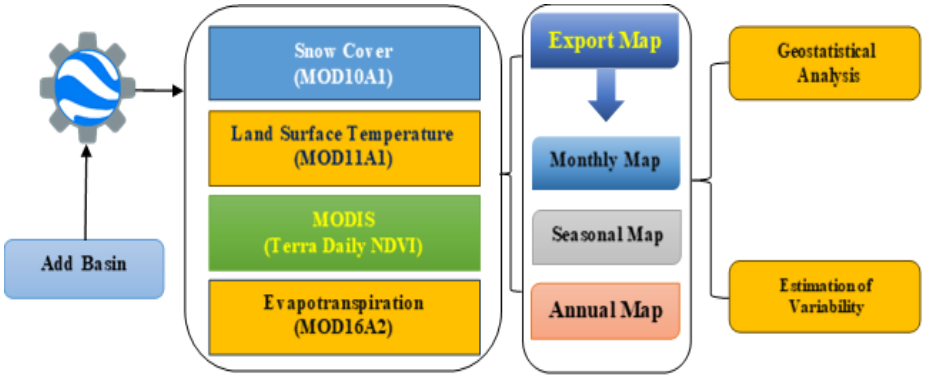
انجین، برای برف، دمای سطح زمین، پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق به‌ترتیب ۸۶۴۴، ۸۶۴۲، ۸۳۲۵ و ۱۰۵۸ تصویر مورد پردازش قرار گرفتند. همچنین، نقشه‌های توپوگرافی (مدل ارتفاعی، شیب، سایه‌روشن و جهت شیب) در شکل ۴ نمایش داده شده‌اند.

```
var modis = ee.ImageCollection('MODIS/061/MOD11A1');

var lst = modis.select('LST_Day_1km')
.filterDate('2000-03-21','2023-04-21')
.filter(ee.Filter.calendarRange(81,111, 'day_of_year'));

print('lsttt',lst);
```

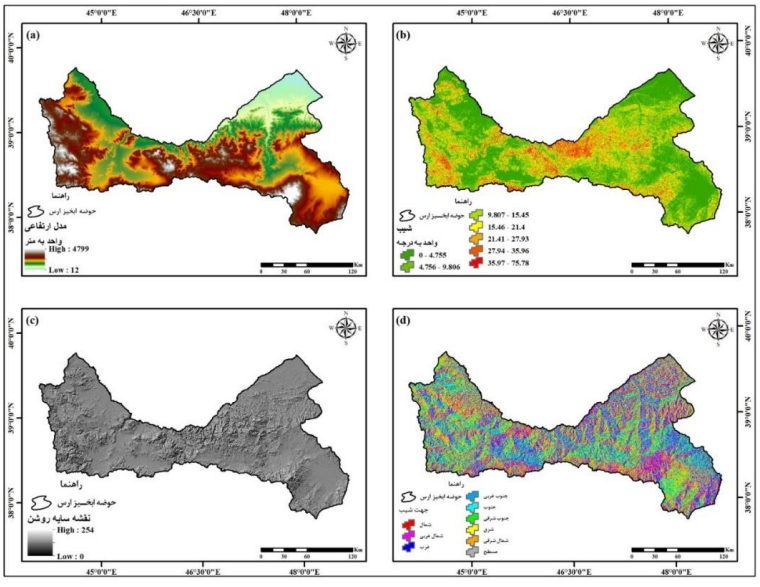
شکل ۲- بخشی از کد نوشته‌شده برای فراخوانی و محاسبه پارامتر دمای سطح زمین (نگارندگان)
Figure 2. A portion of the code written for the retrieval and calculation of the land surface temperature parameter (Authors)



شکل ۳- پروداکت‌ها و نقشه‌های استفاده شده در پژوهش (نگارندگان، ۱۴۰۲)
Figure 3. Products and maps used in the research (Authors, 2023)

جدول ۱- پارامترهای استفاده‌شده در این پژوهش (نگارندگان، ۱۴۰۲)
Table 1. Parameters used in this study (Authors, 2023)

ردیف Row	سنجنده Gauge	ماهواره Satellite	سال‌های مورد بررسی Years under review	توان تفکیک زمانی Spatial Resolution	توان تفکیک مکانی Temporal Resolution	پارامتر Parameters
۱	Mod10A1	ترا	از سال ۱۳۷۹ تا آخر ۱۴۰۱	۱ روزه	۵۰۰ متر	پوشش برف
۲	Mod11A1	ترا	از سال ۱۳۷۹ تا آخر ۱۴۰۱	۱ روزه	۱ کیلومتری	دمای سطح زمین
۳	Mod09GA	ترا	از سال ۱۳۷۹ تا آخر ۱۴۰۱	۱ روزه	۵۰۰ متر	پوشش گیاهی
۴	MOD16A2GF.061	ترا	از سال ۱۳۷۹ تا آخر ۱۴۰۱	۸ روزه	۵۰۰ متر	تبخیر و تعرق



شکل ۴- a: نقشه مدل ارتفاعی، b: نقشه شیب، c: نقشه سایه‌روشن، d: نقشه جهت شیب (نگارندگان، ۱۴۰۲)
Figure 4. a: Elevation model map, b: Slope Map, c: Bright Shadow map, d: Slope direction map (Authors, 2023)

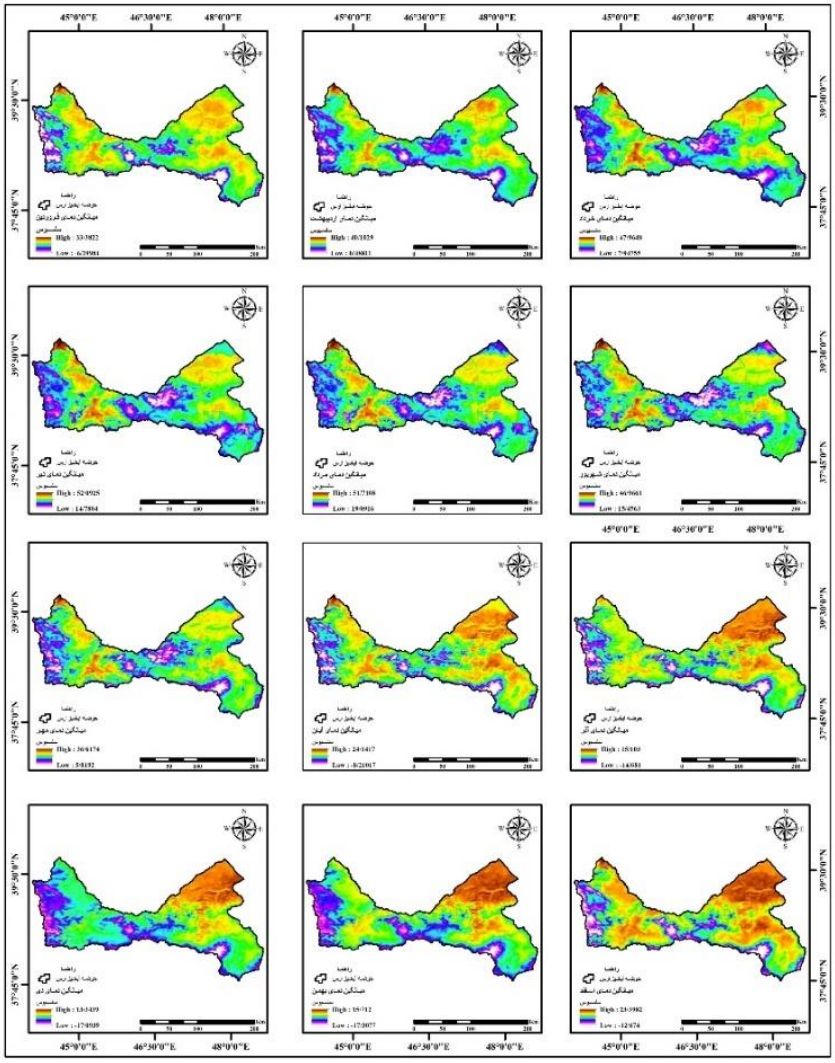
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]

نتایج و بحث

بررسی نقشه‌های دمای سطح زمین

برای بررسی میانگین دمای سطح زمین، محصولات ماهواره ترا (Terra) به‌صورت ماهانه، فصلی و سالانه در حوزه آبخیز ارس تهیه شدند. برای این پارامترف ۸۶۴۲ تصویر در سامانه GEE دقیقاً بر اساس تاریخ شمسی مورد بررسی قرار گرفتند. شکل ۵ میانگین دمای سطح زمین به‌صورت ماهانه در حوضه آبخیز ارس را نشان می‌دهد. میانگین دمای ماهانه شهریور حداکثر ۴۶ و حداقل ۱۵ درجه سانتی‌گراد است (که در این ماه میزان پوشش برف در حوضه در کم‌ترین میزان خود قرار دارد). از لحاظ میانگین دمای ماهیانه، سردترین ماه سال دی و بهمن‌ماه، با بیشینه دمای به‌ترتیب ۱۳ و ۱۵ درجه سانتی‌گراد و کمینه دمای ۱۷- درجه هستند و گرم‌ترین ماه مربوط به تیرماه با بیشینه دمایی ۵۲ درجه است که در مناطق شمال شرقی و شرق حوضه میانگین گرم‌ترین دما و در قسمت‌های غربی و در قسمت‌های میانی شمالی حوضه که دارای ارتفاع بلند هستند سردترین دما مشاهده می‌شوند. بررسی نقشه‌ها نشان می‌دهد که در اغلب ماه‌ها حداقل دما متعلق به مناطق مرتفع و کوهستانی و بیشترین دما از آنِ مناطق پست و هموار حوضه هستند.



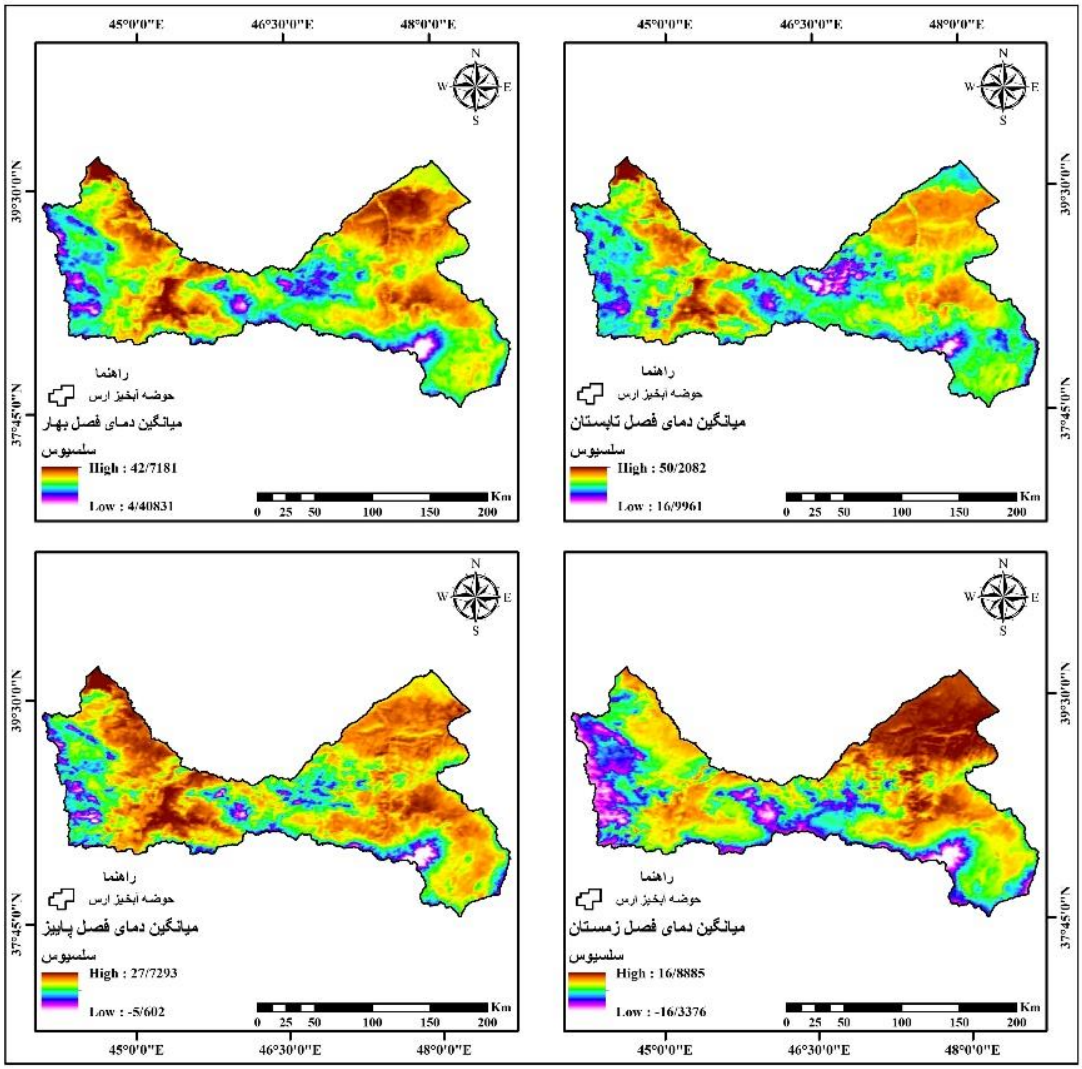
شکل ۵- میانگین ماهانه دمای سطح زمین در حوضه آبخیز ارس
Figure 5. The average monthly land surface temperature of the Aras Basin

همان طور که می‌دانیم، مقدار پوشش برف با دما رابطه معکوس دارد؛ بنابراین، طبق نتایج به‌دست آمده (شکل ۶) فصل تابستان گرم‌ترین فصل است چرا که میانگین دمای سطحی این فصل با بیشینه دمای میانگین ۵۰ درجه سلسیوس و کمینه دمایی آن ۱۶ درجه هستند که بیشترین دما در قسمت‌های پست و هموار و کم‌ترین دما در قسمت‌های مرتفع حوضه به‌چشم می‌خورد. در مقابل، فصل زمستان در بهمن‌ماه با میانگین بیشینه دمایی ۱۶ درجه سلسیوس و کمینه دمایی ۱۶- درجه سلسیوس در این حوضه مشاهده می‌شود. با توجه به نقشه‌ها، مناطق شمال و شمال شرقی گرم‌ترین نواحی منطقه مورد مطالعه هستند. مناطق کوهستانی به‌دلیل مرتفع بودن دمای کم‌تری نسب به مناطق

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]

پست حوضه را دربر می‌گیرند. فصول بهار و پاییز نیز به‌ترتیب با میانگین بیشینه دمایی ۴۲ درجه سلسیوس و کمینه دمایی ۴ درجه سلسیوس، بیشینه دمایی ۲۴ درجه سلسیوس و کمینه دمایی ۵- درجه سلسیوس سردترین ماه‌ها را به‌خود اختصاص داده‌اند.



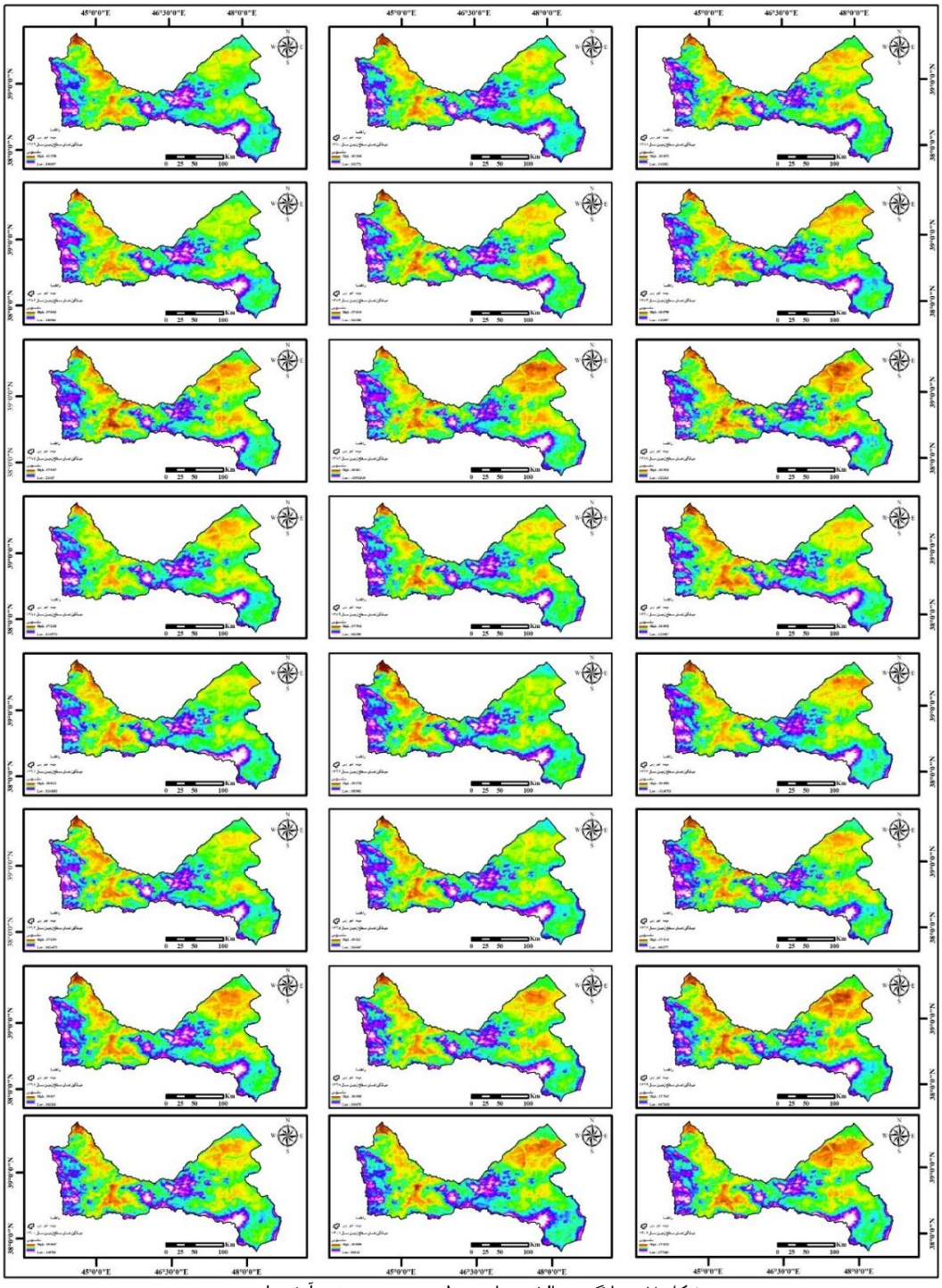
شکل ۶- میانگین فصلی دمای سطح زمین در حوضه آبخیز ارس

Figure 6. Seasonal mean of the land surface temperature in the Aras Basin

در نقشه‌هایی که تهیه شده‌اند بین سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۷۹ گرم‌ترین و بیشترین دما به‌ترتیب مربوط به سال ۱۳۷۹، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۳ با میانگین بیشینه دمایی به‌ترتیب ۴۲، ۴۰ و ۴۰ درجه سلسیوس هستند و گرم‌ترین سال ۱۳۸۷ با میانگین بیشینه دمایی ۳۵ درجه سلسیوس و کمینه دمایی ۱ درجه سلسیوس همراه بود (شکل ۷). در این سال‌ها میانگین پوشش گیاهی به‌ترتیب یعنی ۱۳۷۹، ۱۳۸۰، ۱۳۹۳ و ۱۳۸۷ برابر با ۴۹۰/۰۷، ۱۹۸/۸۳، ۵۳۹/۵۸ و ۱۲۶/۹۷ کیلومترمربع بود و همچنین میانگین پوشش سطحی برف در این سال‌ها به‌ترتیب ۱۱۸۲۷/۶۰، ۱۷۲۹۱/۲۵، ۲۱۱۳۵/۶۶ و ۳۰۴۸۰/۸۰ کیلومترمربع بود. همچنین، در این سال‌ها مقادیر میانگین تبخیر و تعرق به‌ترتیب در بیش‌ترین حالت ۲۱/۸۰، ۲۲/۷۲، ۳۵/۷۴ و ۲۱/۳۳ کیلوگرم در مترمربع (kg/m^2) و در کم‌ترین حالت به‌ترتیب ۳/۱۸، ۲/۸۱، ۳/۱۲ و ۲/۸۵ کیلوگرم در مترمربع بودند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]



شکل ۷- میانگین سالانه دمای سطح زمین در حوضه آبخیز ارس
Figure 7. The annual average of the land surface temperature in the Aras Basin

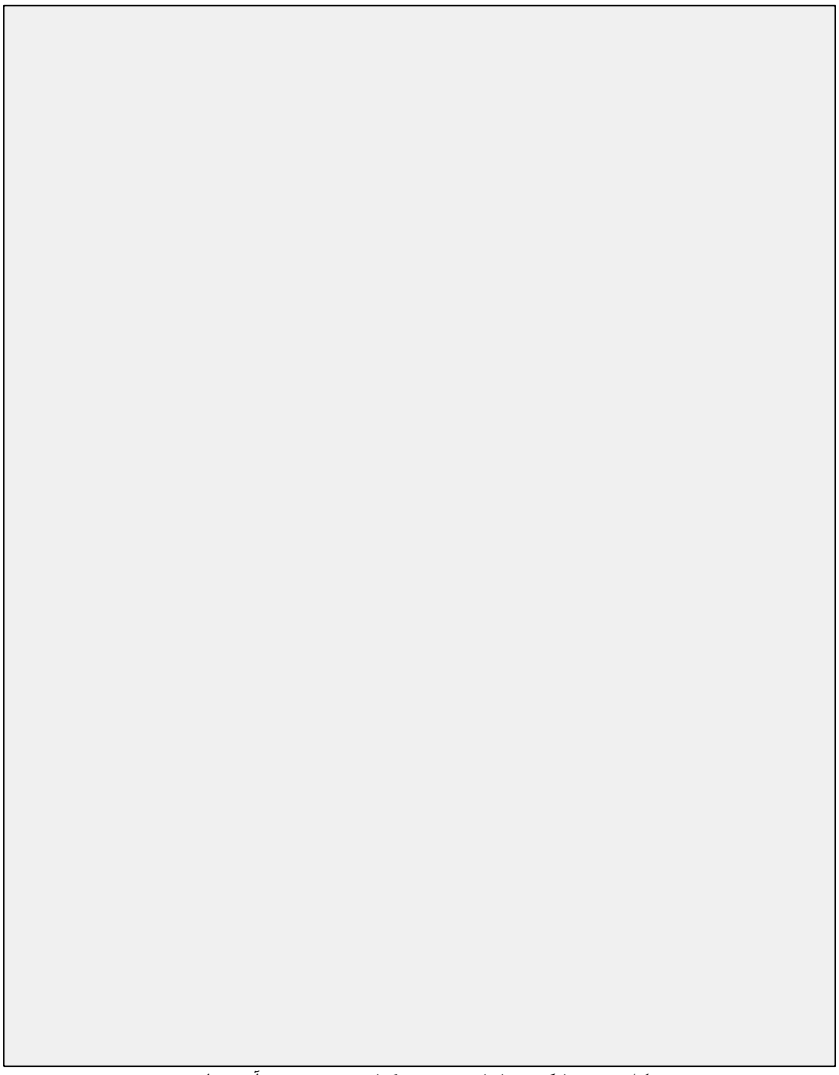
بررسی نقشه‌های پوشش گیاهی

برای بررسی میانگین پوشش گیاهی، محصولات ماهواره ترا به‌صورت ماهانه، فصلی و سالانه در حوزه آبخیز ارس تهیه شدند. برای این پارامتر، ۸۳۲۵ تصویر در سامانه GEE دقیقاً بر اساس تاریخ شمسی مورد بررسی قرار گرفتند. بر اساس شکل ۸، بیش‌ترین مقادیر میانگین سبزینگی ماهیانه تیرماه با بازه ۰/۷۲ و حداقل ۰/۰۹- پس از آن مردادماه با بازه ۰/۶۸ و ۰/۰۴- و در بهمن‌ماه با بازه ۰/۱۸ و ۰/۱۳- کم‌ترین سبزینگی بالای منطقه را دارا هستند. در این ماه‌هاف به‌ترتیب میانگین بیشینه دمایی ۵۱/۵۲،۷۱/۰۹ و ۱۵/۷۱ درجه سلسیوس و کمینه دمایی به‌ترتیب ۱۴/۷۸، ۱۹/۰۹ و ۱۷/۳۰- درجه سلسیوس بودند. مقادیر میانگین تبخیر و تعرق در این ماه‌ها در بیش‌ترین مقدار خود به ترتیب برابر با ۴۵/۶۱، ۴۱/۷۸ و ۱۱/۳۹ کیلوگرم بر مترمربع

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]

و در کم‌ترین مقدار به ترتیب ۱/۵۵، ۱/۰۱ و ۵/۴۴ کیلوگرم بر مترمربع بودند. این مقادیر نشان می‌دهند که علاوه بر ذوب برف، میزان تبخیر و تعرق نیز در دماهای بالاتر افزایش می‌یابد و بخشی از آب حاصل از ذوب برف به تبخیر و تعرق اختصاص یافته، مستقیما به آب سطحی تبدیل نمی‌شود. در این ماه‌ها، مقادیر میانگین سطح پوشش برف نیز به ترتیب برابر با ۲۵/۲۴، ۴/۷۱ و ۳۷۲۳۴/۳۲ کیلومترمربع بودند.

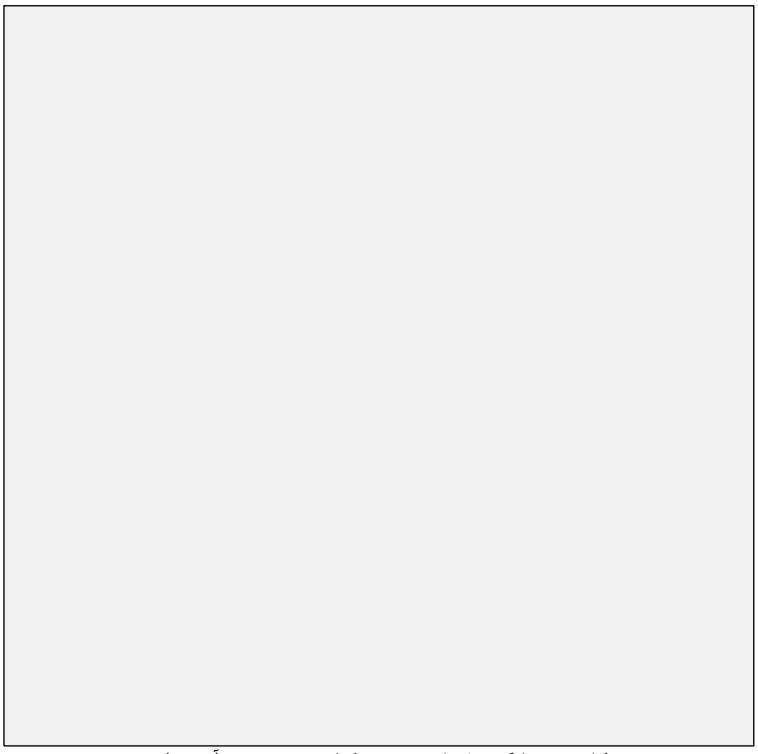


شکل ۸- میانگین ماهانه پوشش گیاهی در حوضه آبخیز ارس
Figure 8. The monthly average of vegetation cover in the Aras Basin

با توجه به شکل ۹، بالاترین مقدار میانگین سبزینگی فصلی با مقادیر ۰/۶۶ و ۰/۰۴- به فصل تابستان تعلق دارد که به‌ترتیب بالاترین مقدار را در کل حوضه مورد مطالعه در بر گرفته است. همان طور که انتظار می‌رود، بعد از تابستان به ترتیب فصل‌های بهار، پاییز و زمستان کم‌ترین مقدار سبزینگی را به‌خود اختصاص داده‌اند. مقادیر میانگین دما به ترتیب برای فصل‌های بهار، تابستان، پاییز و زمستان در بیشینه دمایی ۴۲/۷۱، ۵۰/۲۰، ۲۷/۷۲ و ۱۶/۸۸ درجه سلسیوس و کمینه دمایی ۴/۴۰، ۱۶/۹۹، ۵/۶۰- و ۱۶/۳۰ درجه سلسیوس قرار داشتند که در این فصل‌ها به‌ترتیب مقادیر میانگین تبخیر و تعرق در بالاترین حالت ۲۸/۹۷، ۳۹/۷۱، ۱۰/۶۱ و ۱۰/۷۹ کیلوگرم در مترمربع و در کم‌ترین حالت ۳/۷۱، ۱/۳۲، ۴/۴۶ و ۵/۳۲ بودند. همان طور که انتظار می‌رفت، بیش‌ترین فصل برف‌گیری برای این حوضه به‌ترتیب زمستان و پس از آن پاییز بود که در این فصل‌ها میانگین مساحت سطحی پوشش برف به‌ترتیب ۱۶۴۸۴/۹۲ و ۳۶۵۵۳/۱۷ کیلومترمربع بود و کم‌ترین مساحت سطحی پوشش برف به فصل تابستان با ۱۸/۱۵۰ کیلومترمربع تعلق داشت.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]

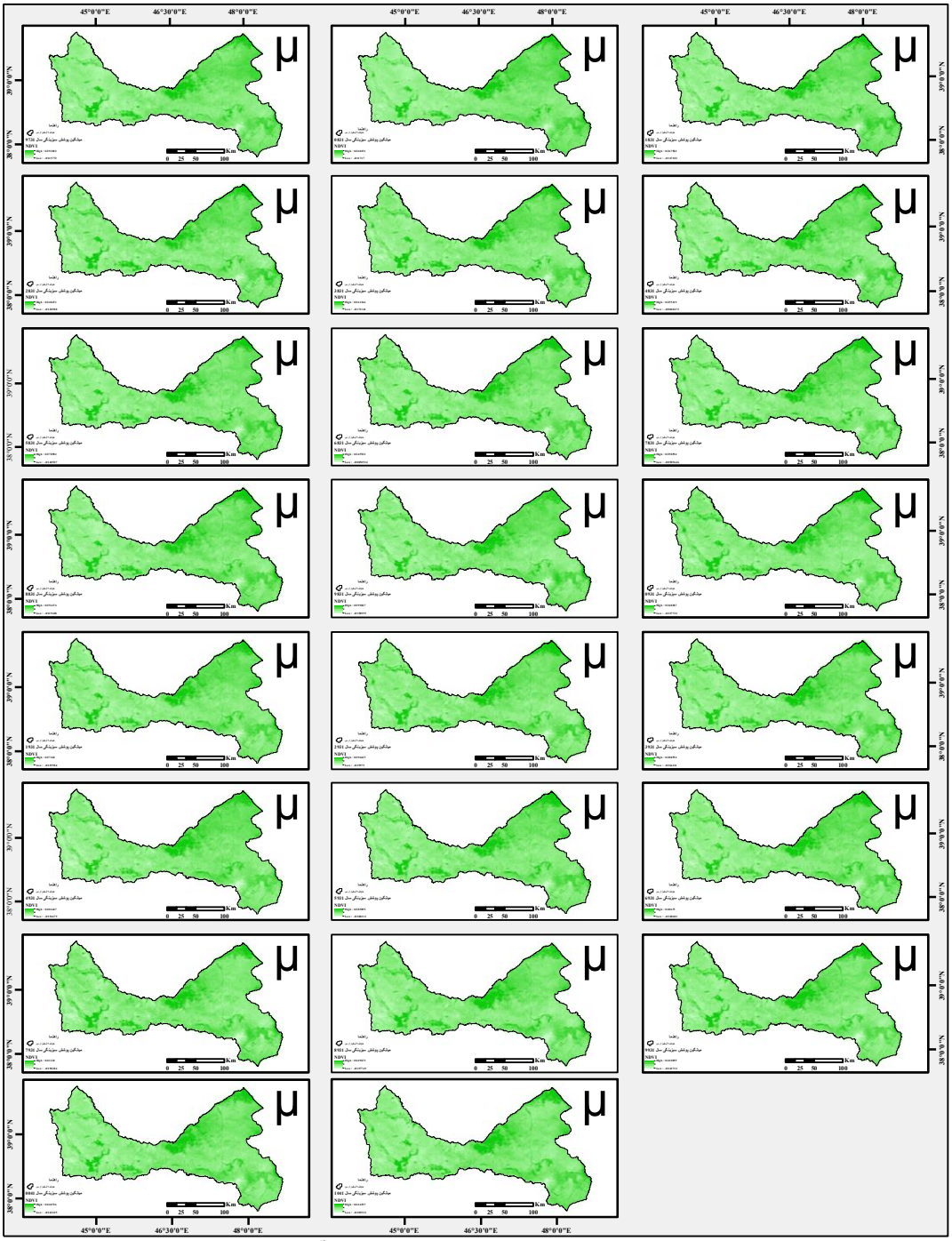


شکل ۹- میانگین فصلی پوشش گیاهی در حوضه آبخیز ارس
Figure 9. The seasonal average of vegetation cover in the Aras Basin

بر اساس شکل ۱۰، بیش‌ترین میزان میانگین سبزینگی مربوط به سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۴۰۰ برابر با ۰/۴۴ است. در مقابل، کم‌ترین مقادیر میانگین سبزینگی مربوط به سال‌های مربوط به ۱۳۸۶ و ۱۳۸۲ با بازه‌های ۰/۳۴ و ۰/۳۴ هستند. با توجه به شکل ۱۷، در سال‌های قبل از آن میزان بارش برف افزایش داشت. در سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۴۰۰، میانگین بیشینه دمای سطح زمین ۳۸/۹۵ و ۳۹/۰۵ و کمینه آن ۱/۹۶ و ۴/۴۵ درجه سلسیوس بودند. همچنین، در این سال‌ها میزان میانگین تبخیر و تعرق در بالاترین حالت برابر با ۲۲/۹۵ و ۲۳/۳۹ و کم‌ترین حالت ۴/۰۵ و ۲/۶۹ کیلوگرم در مترمربع بودند. در این سال‌ها میزان میانگین مساحت سطحی پوشش برفی برای سال ۱۳۹۸ برابر با ۱۵۴۰۶/۲۳ و برای سال ۱۴۰۰ برابر با ۱۹۷۳۶/۰۲ کیلومترمربع بودند. در مقابل، برای کم‌ترین سال‌ها نیز ۱۳۸۶ و ۱۳۸۲، دما در بالاترین حالت برابر با ۳۶/۶۶ و ۳۷/۶۰ و در کم‌ترین حالت برابر با ۰/۰۷- و ۳/۰۰ درجه سلسیوس بود. همچنین، مقادیر میانگین تبخیر و تعرق در این سال‌ها در بالاترین حالت برابر با ۲۱/۷۴ و ۲۱۰/۸۰ و در کم‌ترین حالت ۳/۵۵ و ۳/۳۵ بودند. در این سال‌ها، میانگین مساحت سطحی پوشش برف ۲۹۵۸۲۳/۳۶ و ۲۲۶۲۹/۴۳ کیلومترمربع بود.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]



شکل ۱۰- میانگین سالانه پوشش گیاهی در حوضه آبخیز ارس
Figure 10. The annual average vegetation cover of the Aras Basin

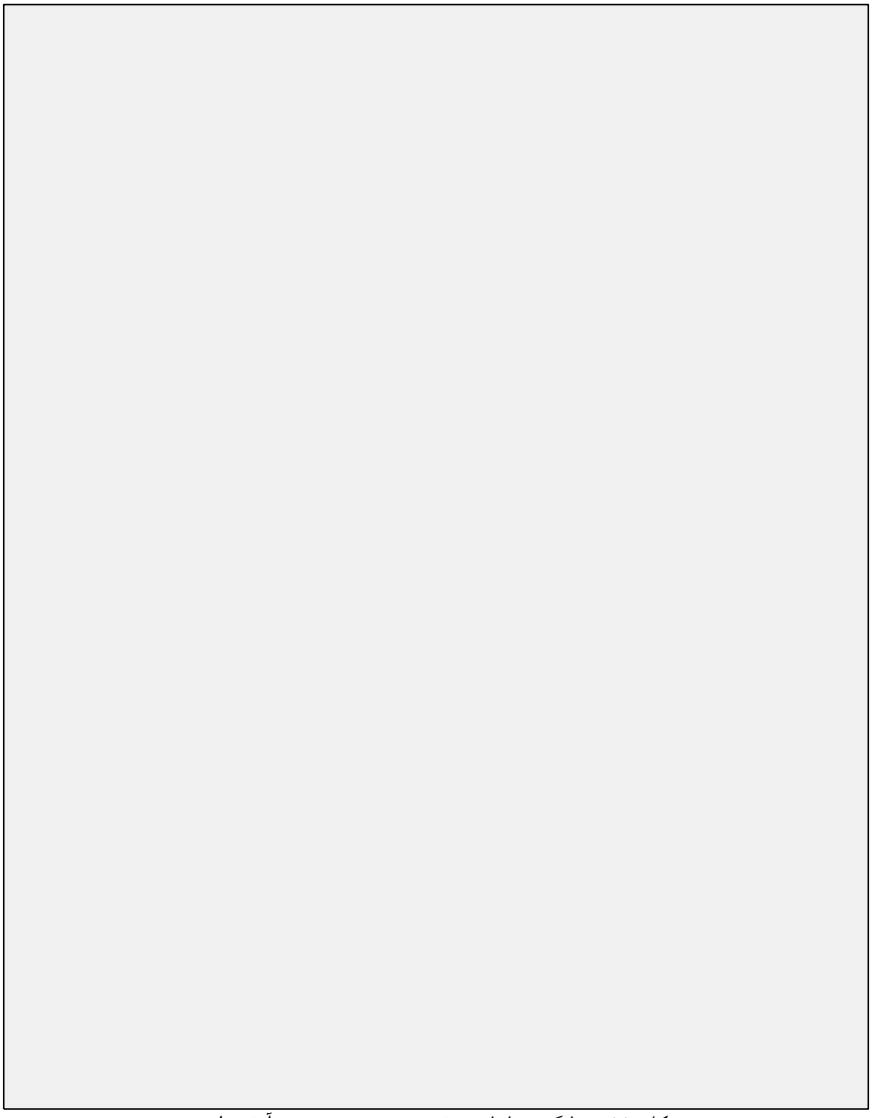
بررسی نقشه‌های تبخیر و تعرق

برای محاسبه این پارامتر، ۱۰۵۸ تصویر در سامانه GEE دقیقاً بر اساس تاریخ شمسی مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به شکل ۱۱، بیش‌ترین مقدار میانگین تبخیر و تعرق ماهیانه مربوط به تیرماه و سپس خردادماه است که بالاترین مقدار آن ۴۵ و ۴۳ همچنین کم‌ترین آن ۱/۵۵ و ۲/۰۸ کیلوگرم در مترمربع هستند. مقدار میانگین تبخیر و تعرق در دی‌ماه نسبت به ماه‌های دیگر سال به حداقل خود رسیده است طوری که در این ماه در بالاترین حالت ۸/۹۸ و در کم‌ترین حالت ۴/۲۰ کیلوگرم در مترمربع است. این اتفاق (تبخیر و تعرق بیش‌تر) در قسمت‌های جنوب شرقی منطقه بیشتر به چشم می‌خورد که در قسمت‌های شرقی و جنوب شرقی بیش‌ترین میزان تبخیر و تعرق وجود دارد. میانگین مساحت سبزینگی در این ماه‌ها به‌ترتیب ۳۷۴۵/۰۵، ۶۲۵۸/۰۸ و ۰ کیلومترمربع است که در این ماه‌ها میانگین بیشینه دمای سطح زمین ۴۷/۵۲،۹۶/۰۹ و ۱۳/۳۴، و میانگین کمینه دمایی ۱۴/۷۸،

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]

۷/۹۴ و ۱۷/۰۹- هستند. همان‌طور که مشاهده و پیش‌بینی می‌شد، تبخیر و تعرق با دمای سطح زمین ارتباط مستقیمی دارد. در این ماه‌ها، مقادیر میانگین مساحت سطحی پوشش برف به‌ترتیب ۲۵/۲۴، ۱۵۱/۴۰ و ۳۵۰۶۱/۶۳ کیلومتر مترمربع بودند.

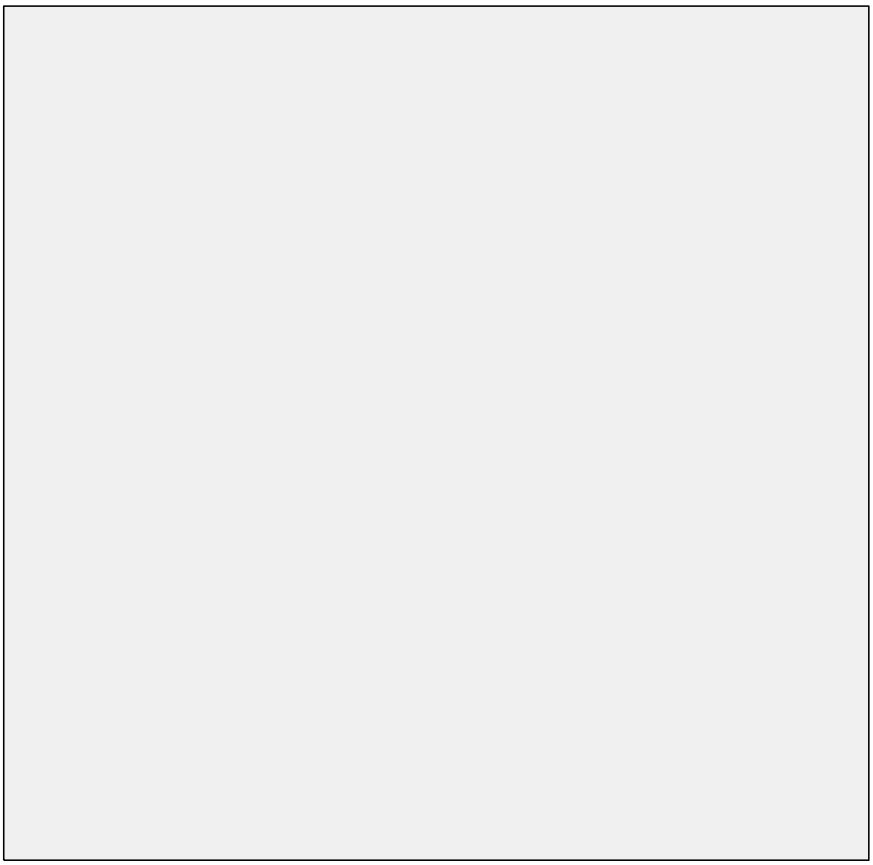


شکل ۱۱- میانگین ماهانه تبخیر و تعرق در حوضه آبخیز ارس
Figure 11. The average monthly evapotranspiration in the Aras Basin

بر اساس شکل ۱۲، بیش‌ترین میانگین تبخیر و تعرق در فصل تابستان در بالاترین حالت ۳۹/۷۱ و کم‌ترین حالت ۱/۳۲ کیلوگرم در مترمربع است. بیش‌ترین میزان تبخیر و تعرق در قسمت‌های شرق، شمال شرقی و شمال حوضه و کم‌ترین تبخیر و تعرق در فصل پاییز که در بالاترین حالت ۱۰/۶۱ و کم‌ترین حالت ۴/۴۶ کیلوگرم در مترمربع و در بخش جنوب شرقی وجود دارند که این بخش برف‌گیری بالایی را دارد. در این فصل‌ها، میانگین سبزینگی برابر با ۳۷۱۲/۲۶ و ۱۸/۳۱ کیلومترمربع بود. در این فصول، به‌ترتیب میانگین بیشینه دمای سطح زمین ۵۰/۲۰ و ۲۷/۷۲ درجه سلسیوس و کمینه دمای سطح زمین ۱۶/۹۹ و ۵/۶۰- بودند. میانگین سطحی پوشش برف در فصل تابستان ۱۸/۵۰ و در فصل پاییز برابر با ۱۶۴۸۴/۹۲ کیلومترمربع است. همان‌طور که در نقشه‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۱۱)، بیش‌ترین تبخیر در جنوب شرقی و سپس مرکز شمال بیش‌ترین تبخیر و تعرق مشاهده می‌شود.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]

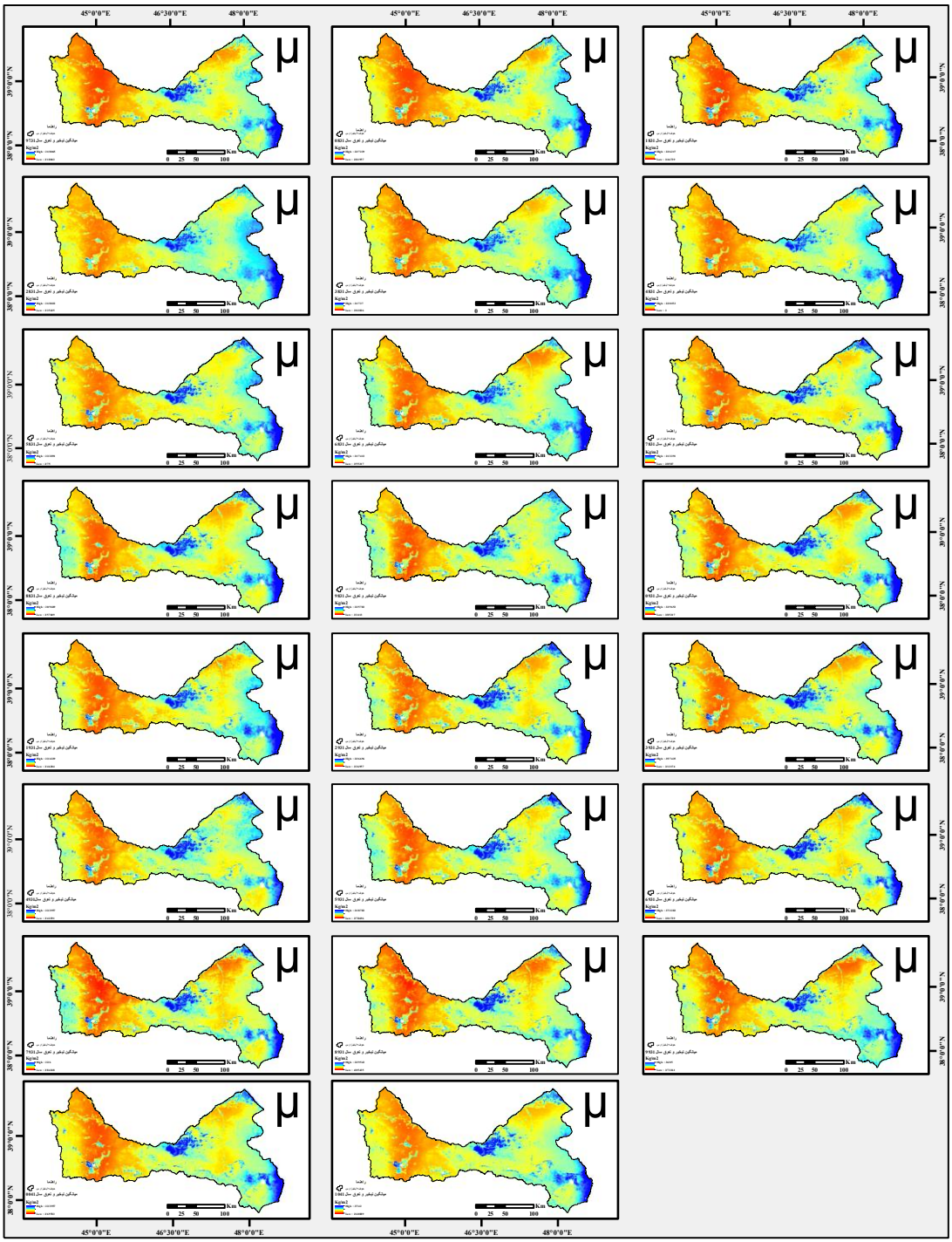


شکل ۱۲- میانگین فصلی تبخیر و تعرق حوضه آبخیز ارس
Figure 12. Seasonal mean of evapotranspiration of the Aras Basin

با توجه به شکل ۱۳، میانگین سالانه تبخیر و تعرق بین سال‌های مورد مطالعه در حوضه موردنظر سال ۱۳۸۸ کم‌ترین و سال ۱۴۰۱ بیش‌ترین تبخیر و تعرق را داشتند. تبخیر و تعرق در سال ۱۳۸۸ در بالاترین حالت ۲۰/۹۶ و کم‌ترین حالت ۳/۵۷ کیلوگرم در مترمکعب بود و در سال ۱۴۰۱ در بیش‌ترین حالت ۳۷/۴۲ و کم‌ترین حالت ۲/۶۰ کیلوگرم در مترمکعب بود. در طول همه سال‌های مورد مطالعه، قسمت‌های جنوب شرقی و شمال حوضه دارای بیشترین میانگین تبخیر و تعرق در حوضه هستند. در سال ۱۳۸۸ میانگین دمای سطحی زمین بیشینه آن ۳۷/۱۲ و کمینه آن ۰/۱۴ درجه سلسیوس بود و در سال ۱۴۰۱ بیشینه دمای سطح زمین ۳۹/۸۰ و کمینه آن ۵/۶۶ درجه سلسیوس بودند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بین دمای تبخیر و تعرق در این سال‌ها رابطه مستقیمی وجود داشت. همچنین در سال ۱۳۸۸، میانگین سطحی پوشش برف ۲۱۸۵۳/۴۷ کیلومترمربع و در سال ۱۴۰۱ مساحت سطحی برابر با ۲۱۵۰۲/۸۳ کیلومترمربع بودند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]



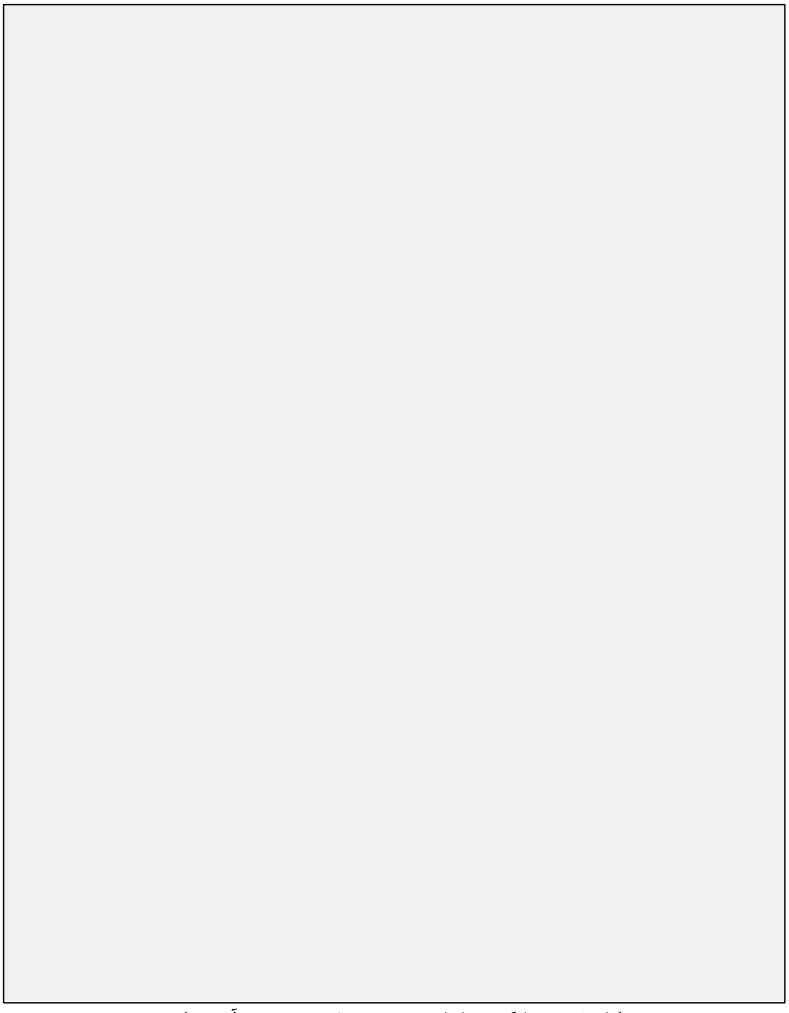
شکل ۱۳- میانگین سالانه تبخیر و تعرق در حوضه آبخیز ارس
Figure 13. The average annual evapotranspiration in the Aras Basin

بررسی نقشه‌های سطحی پوشش برف

برای محاسبه این پارامتر، ۸۶۴۴ تصویر در سامانه GEE دقیقاً بر اساس تاریخ شمسی مورد بررسی قرار گرفتند. با توجه به شکل ۱۴، در حوضه آبخیز ارس بیش‌ترین ماه برف‌گیر بهمن‌ماه است که میانگین مساحت برفی این ماه برابر با ۳۷۲۳۴/۳۲ کیلومترمربع و پس از آن دی‌ماه با میانگین مساحت سطحی ۳۵۰۶۱/۶۳ کیلومترمربع است و کم‌ترین میزان میانگین سطحی پوشش برف در ماه مرداد که میانگین آن ۴/۷۱ کیلومترمربع است. میانگین بیشینه دمای سطحی زمین در ماه بهمن ۱۵/۷۱ و کمینه آن ۱۷/۳۰- درجه سلسیوس و در دی‌ماه بیشینه آن ۱۳/۳۴ و کمینه آن ۱۷/۰۹- هستند. در مردادماه، میانگین بیشینه دمای سطح زمین ۵۱/۷۱ و کمینه آن ۱۹/۰۹ درجه سلسیوس هستند. در بهمن‌ماه، میانگین تبخیر و تعرق در بالاترین حالت ۱۱/۳۹ و کم‌ترین

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]

حالت ۵/۴۴ کیلوگرم در مترمربع و در دی‌ماه در بالاترین حالت ۸/۹۸ و در کم‌ترین حالت ۴/۲۰ کیلوگرم در مترمربع و در مردادماه ۴۱/۷۸ و کم‌ترین حالت ۱/۰۱ کیلوگرم در مترمربع هستند. در بهمن و دی‌ماه، میانگین سطحی پوشش برف را در بیش‌تر مناطق حوضه می‌توان مشاهده کرد ولی در مردادماه فقط در مناطق مرتفع حوضه در قسمت‌های جنوبی می‌توان مشاهده کرد.

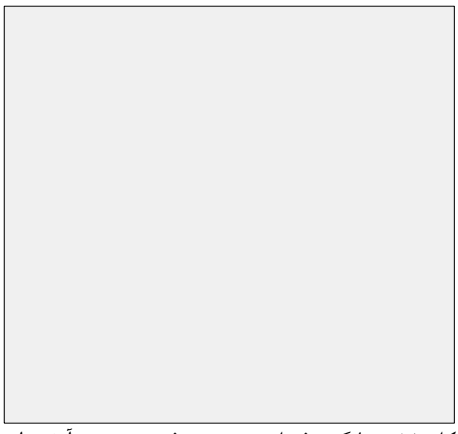


شکل ۱۴- میانگین ماهانه پوشش برف در حوضه آبخیز ارس
Figure 14. The average monthly snow cover in the Aras Basin

با توجه به شکل ۱۵، مقدار میانگین پوشش برف فصلی در حوضه مورد مطالعه در فصل زمستان در بالاترین مقدار خود قرار دارد. میانگین مساحت سطحی پوشش برف در فصل زمستان ۳۶۵۵۳/۱۷ کیلومترمربع و پس از آن پاییز با ۱۶۴۸۴/۹۲ کیلومترمربع بیش‌ترین فصول برف‌گیر در این حوضه هستند و فصل تابستان با میانگین ۱۸/۵۰ کیلومترمربع سطحی پوشش برف کم‌ترین مقدار را دارد. در فصل زمستان، میانگین بیشینه دما ۱۶/۸۸ و کمینه آن ۱۶/۳۳- درجه سلسیوس هستند، و در فصل پاییز بیشینه دمایی برابر با ۲۷/۷۲ و کمینه آن ۵/۶۰- هستند. در فصل تابستان میانگین بیشینه دما ۵۰/۲۰ و کمینه آن ۱۶/۹۹ درجه سلسیوس هستند. در فصل زمستان، میانگین تبخیر و تعرق در بالاترین حالت ۱۰/۷۹ و کم‌ترین حالت ۵/۳۲ کیلوگرم در مترمربع در فصل پاییز نیز این میانگین ۱۰/۶۱ و ۴/۴۶ کیلوگرم در مترمربع هستند. در فصل تابستان، میانگین تبخیر و تعرق به ۳۹/۷۱ و ۱/۳۲ کیلوگرم در مربع رسیده است. تقریباً منطقه جنوب شرقی حوضه که بالاترین ارتفاع معادل ۴۷۹۹ متر است، دارای پوشش برف حتی در فصل تابستان است.

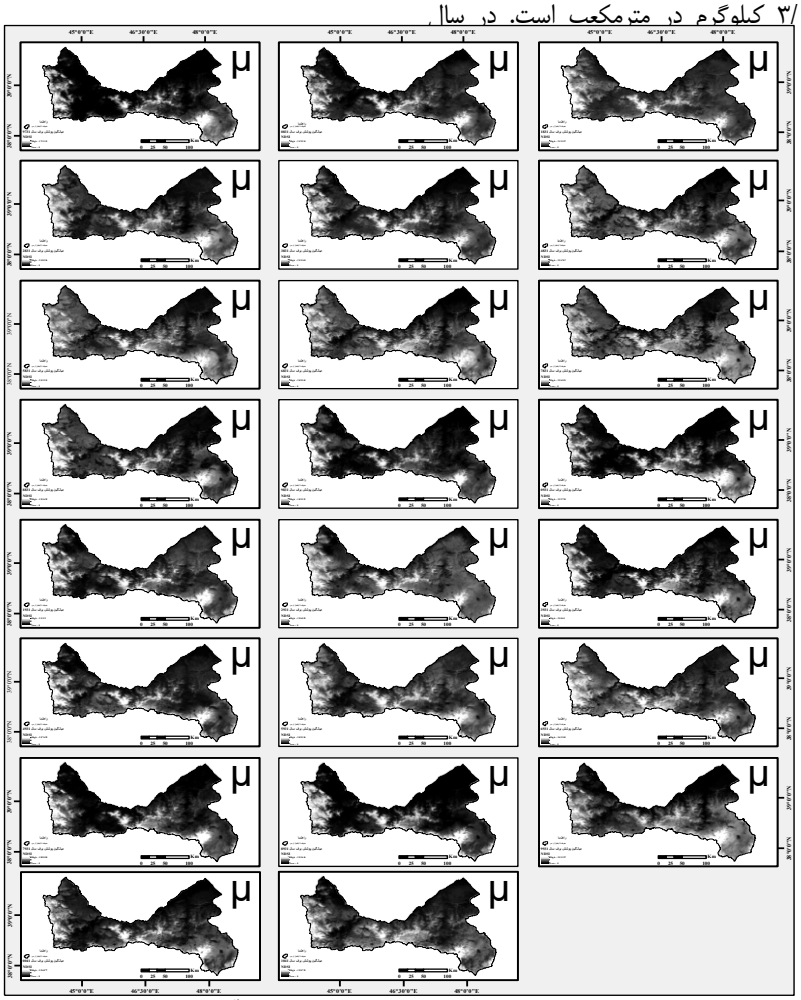
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]



شکل ۱۵- میانگین فصلی پوشش برف در حوضه آبخیز ارس
Figure 15. Seasonal average snow cover in the Aras Basin

با توجه به نقشه‌های پوشش برف طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۴۰۱، میانگین NDSI در سال ۱۳۷۹ کم‌ترین مقدار با ارزش ۱۷/۳۱ و در سال ۱۳۹۶ بیش‌ترین برف با ارزش ۲۶/۲۳ هستند. در سال ۱۳۷۹، میانگین بیشینه دمای سطح زمین ۴۲/۳۷ و کمینه آن ۵/۹۶ درجه سلسیوس هستند. در این سال، میانگین تبخیر و تعرق در بالاترین حالت ۲۱/۸۰ و کم‌ترین حالت ۳/۱۸ کیلوگرم در مترمکعب است. در سال ۱۳۹۶، میانگین بیشینه دما ۳۷/۴۱ و کمینه آن ۴/۰۱ درجه سلسیوس هستند که در این سال میانگین تبخیر و تعرق در بالاترین حالت ۳۷/۲۲ و کم‌ترین حالت ۳/۰۱ کیلوگرم در مترمکعب است. بیش‌ترین مناطق برف‌گیر در همه سال‌ها مناطق ارتفاعی بلند هستند که در قسمت‌های جنوبی و جنوب شرقی و جنوب غربی قرار گرفته‌اند.



شکل ۱۶- میانگین سالانه پوشش برف در حوضه آبخیز ارس
Figure 16. Annual average snow cover in the Aras Basin

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]

با توجه به جدول ۲، میانگین ماهانه NDVI حوضه مورد مطالعه در خردادماه بالاترین مساحت سبزینگی با مقدار ۶۲۵۸/۰۸ کیلومترمربع را دارا است. همان طور که مشاهده می‌شود، با نزدیک‌تر شدن به ماه‌های سرد سال، میزان سبزینگی در حوضه کاهش می‌یابد به گونه‌ای که در ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند، حوضه تهی از پوشش گیاهی است.

جدول ۲- مساحت ماهانه میانگین پوشش گیاهی در حوضه آبخیز ارس (کیلومترمربع)

Table 2. The average monthly area of vegetation cover in the Aras Basin (km^2)

ماه Month	فروردین Apr	اردیبهشت May	خرداد Jun	تیر Jul	مرداد Aug	شهریور Sep	مهر Oct	آبان Nov	آذر Dec	دی Jan	بهمن Feb	اسفند Mar
مساحت Area	389.95	3775.22	6258.08	3745.05	1274.26	855.07	684.41	3.37	0	0	0	0

مطابق با جدول ۳، میانگین پوشش گیاهی در فصل بهار ۳۹۱۸/۹۹ کیلومترمربع بیشترین مقدار را دارد و بعد از آن فصل تابستان با مقدار ۳۷۱۲/۲۶ کیلومترمربع بالاترین NDVI را نشان می‌دهد. فصل پاییز با نمایش ۱۸/۳۱ کیلومترمربع مساحت خبر از کاهش میزان سبزینگی را می‌دهد. این کاهش پوشش گیاهی در فصل سرد سال یعنی زمستان به کم‌ترین مقدار یعنی نبود سبزینگی در این فصل را نشان می‌دهد.

جدول ۳- مساحت فصلی میانگین پوشش گیاهی در حوضه آبخیز ارس (کیلومترمربع)

Table 3. The average seasonal area of vegetation in the Ares basin (km^2)

فصل Season	بهار Spring	تابستان Summer	پاییز Fall	زمستان Winter
مساحت Area	3918.99	3712.26	18.31	0

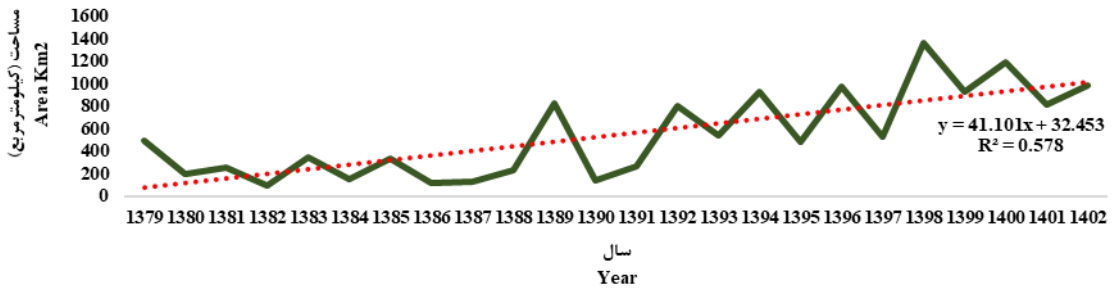
با توجه به جدول ۴ پوشش گیاهی، در سال ۱۳۸۲ مساحتی برابر با ۸۸/۶۴ کیلومترمربع کم‌ترین میزان سبزینگی منطقه مورد مطالعه را داشت چرا که در سال قبل از آن یعنی سال ۱۳۸۱ مقدار NDVI، ۲۵۳/۴۷ کیلومترمربع بود و یک سال بعد از آن (سال ۱۳۸۳)، ۳۴۲/۰۲ کیلومترمربع میزان پوشش گیاهی را نشان می‌دهد. با این تفاسیر سال ۱۳۸۲ در مقایسه با یک سال قبل و بعد و همچنین سال‌های مورد مطالعه یعنی از سال ۱۴۰۱-۱۳۷۹ از کم‌ترین NDVI برخوردار بود.

جدول ۴- مساحت سالانه میانگین پوشش گیاهی در حوضه آبخیز ارس (کیلومترمربع)

Table 4. The average annual vegetation area in the Aras Basin (km^2)

سال Year	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390
مساحت Area	490.07	198.83	253.47	88.64	342.02	146.39	333.21	113.95	126.97	232.38	828.21	143.07
سال Year	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	-
مساحت Area	295.83	808.79	539.58	923.98	479.97	969.86	527.78	1367.69	933.24	1192.43	817.58	-

مطابق با اطلاعات موجود در شکل ۱۷ برای مساحت سالانه منطقه، سال ۱۳۸۹، ۸۲۸/۲۱ کیلومترمربع پوشش گیاهی را داشت که در مقایسه با سال قبل یعنی سال ۱۳۸۸ مقدار سبزینگی ۲۳۲/۳۸ کیلومترمربع و یک سال بعد یعنی سال ۱۳۹۰ به میزان ۱۴۳/۰۷ کیلومترمربع، به یک‌باره زیاد شده است. همچنین، این تغییرات و نوسانات محسوس را می‌توان در سال ۱۳۹۸ با مقدار سبزینگی ۱۳۷۶/۶۹ کیلومترمربع مشاهده کرد، چرا که در سال ۱۳۹۷ یعنی یک سال قبل از آن، مقدار پوشش گیاهی منطقه ۵۲۷/۷۸ کیلومترمربع بود و در سال ۱۳۹۹ این میزان به ۹۳۳/۲۴ کیلومترمربع رسید.



شکل ۱۷- تغییرات سالانه پوشش گیاهی (NDVI) در حوضه آبخیز ارس (کیلومترمربع)

Figure 17. Annual changes in the vegetation cover (NDVI) of the Aras Basin (km^2)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]

همان طور کـه در جـدول ۵ مشـاهده می‌شـود، میـانگین ماهانـه مسـاحت پوشـش بـرف در حوضـه مـورد مطالعـه در مردادماه با ۴/۷۱ کیلومترمربع از برف کم‌تری نسبت بـه بقیـه ماه‌ها برخوردار است، اما در مقابل، ماه بهمن بـالاترین مقـدار ۳۷۲۳۴/۳۲ کیلومترمربع را دارا است.

جدول ۵- میانگین ماهانه مساحت پوشش برف در حوضه آبخیز ارس (کیلومترمربع)

Table 5. Average monthly snow cover area of the Aras Basin (Km^2)

ماه Month	فروردین Apr	اردیبهشت May	خرداد Jun	تیر Jul	مرداد Aug	شهریور Sep	مهر Oct	آبان Nov	آذر Dec	دی Jan	بهمن Feb	اسفند Mar
مساحت Area	29.10005	77.1136	40.151	24.25	71.4	33.7	44.245	10.967	11.29465	63.35091	32.37234	38.25216
درصد Percentage	25.40	2.88	0.38	0.06	0.011	0.018	0.64	2.45	74.80	89.08	94.52	64.01

با توجـه بـه جـدول ۶ بـرای میـانگین فصـلی NDSI در منطقه، همان‌گونه که انتظار می‌رفت فصل سـرد سـال یعنـی زمستان ۳۶۵۳/۱۷ کیلومترمربع بیشترین مقدار پوشش بـرف را دارد. در مقابل، فصل تابستان با ۱۸/۵۰ کیلومترمربع از کـل حوضه کم‌ترین مقدار را دارد.

جدول ۶- میانگین فصلی مساحت پوشش برف در حوضه آبخیز ارس (کیلومترمربع)

Table 6. The seasonal average snow cover area of the Aras Basin (km2)

فصل Season	بهار Spring	تابستان Summer	پاییز Autumn	زمستان Winter
مساحت Area	3699.25	18.50	16484.92	36553.17

مطابق با جدول ۷ در مورد پوشش برف حوضه ارس سـال ۱۳۷۹-۱۴۰۱، سال ۱۳۷۹ با مقدار پوشـش بـرف ۱۱۸۲۷/۶۰ کیلومترمربع از جمله سال‌های کم بارش در بازه زمـانی معـین بود. به مرور بارش در منطقه افزایش یافت به طوری که سال بعد یعنی ۱۳۸۰ میزان NDSI بـه ۱۷۲۹۱/۲۵ کیلومترمربـع و در سال ۱۳۸۱ به ۲۶۴۸۳/۷۲ کیلومترمربع رسید. با توجـه بـه شکل ۱۸، این افزایش بارش به حدی رسید که سال ۱۳۸۷ با مقدار بارش ۳۰۴۸۰/۷۷ کیلومترمربـع نسـبت بـه سـال قبـل (۱۳۸۶، مقـدار ۲۹۵۸۲/۳۶ کیلومترمربـع) بیش‌تـرین حجـم پوشش را داشت و سال بعد از آن در ۱۳۸۸ مقدار پوشش برف به ۲۱۸۵۳/۴۷ کیلومترمربع رسید . این نزول به حـدی رسـید که سال ۱۳۸۹ در بازه زمانی معین‌شده کم‌ترین حجـم یعنـی ۷۰۷۰/۶۳ کیلومترمربع را در حوضه تجربه کرد. دوباره به مرور افزایش حجم پوشش برف را سال بعد در ۱۳۹۰ با ۱۹۹۵۲/۵۰ کیلومترمربع داشت. این روند افزایشی به میزانی رسید کـه در سـال ۱۳۹۲، حـداکثر حجـم NDSI بـا مسـاحت ۳۱۵۱۹/۹۲ کیلومترمربع مشاهده گردید؛ اما در سال ۱۳۹۳ نسبت به سـال ۱۳۹۲ مقدار برف در منطقه با ۲۱۱۳۵/۶۶ کیلومترمربع کم‌تـر شد. در سـال ۱۳۹۶ در حوضـه ارس مقـدار پوشـش بـرف بـا ۳۱۲۷۸/۰۸ کیلومترمربع افزایش یافت، چرا که در سال ۱۳۹۹ دوباره مقدار پوشـش بـرف بـا ۲۴۱۴۵/۲۷ کیلومترمربـع سـیر نزولی به‌خود گرفت.

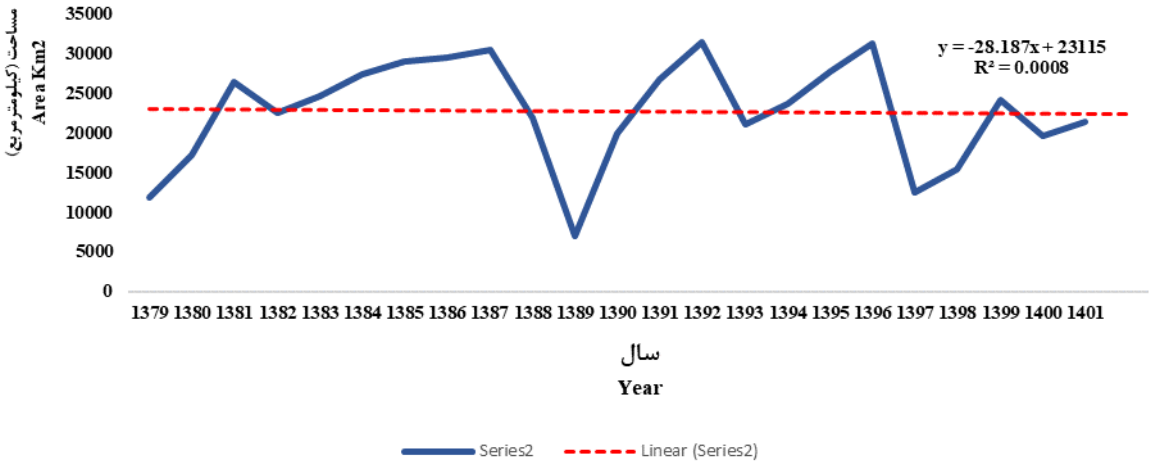
جدول ۷- مساحت سالانه میانگین پوشش برف در حوضه آبخیز ارس (کیلومترمربع)

Table 7. The average annual snow cover area in the Aras Basin (km^2)

سال Year	1379	1380	1381	1382	1383	1384	1385	1386	1387	1388	1389	1390
مساحت Area	11827.60	17291.25	26483.72	22629.43	24664.32	27487.94	29010.85	29582.36	30480.77	21853.47	7070.63	19952.50
درصد Percentage	30.02	43.89	67.23	57.45	62.61	69.78	73.65	75.10	77.38	55.47	17.95	50.65
سال Year	1391	1392	1393	1394	1395	1396	1397	1398	1399	1400	1401	-
مساحت Area	26733.63	31519.92	21135.92	23731.66	27807.59	3127./08	12542.89	1540./23	2414./27	19736.02	21502.83	-
درصد Percentage	67.86	80.02	53.65	60.24	70.59	79.40	31.84	39.11	61.29	50.10	54.58	

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]



شکل ۱۸- تغییرات سالانه پوشش برف (NDSI) در حوضه آبخیز ارس (کیلومترمربع)
Figure 18. Annual snow cover changes (NDSI) in the Aras Basin (Km^2)

نتیجه‌گیری کلی

پوشش برف به‌عنوان یک پارامتر ژئوفیزیکی اساسی برای درک سیستم اقلیمی زمین شناسایی شده است و در طول زمستان حدود ۴۰٪ تا ۵۰٪ از نیمکره شمالی را می‌پوشاند. به‌عنوان یک مخزن طبیعی آب جامد در درون کریوسفر، پوشش برف نقش حیاتی به‌عنوان منبع تأمین آب ایفا می‌کند و با ذوب برف فصلی، آب آشامیدنی تازه را به بیش از ۱۷٪ از جمعیت جهانی می‌رساند (Deng *et al.*, 2024).

تصاویر مورد استفاده برای هر چهار پارامتر مورد استفاده در این پژوهش از سنجنده MODIS مربوط به ماهواره TERRA تهیه شدند که با استفاده از برنامه‌نویسی در سامانه GEE در کم‌ترین زمان در دسترس قرار گرفتند و نیازی به صرف وقت زیاد برای دانلود سپس تصحیحات و سرانجام برای محاسبات نبود. در این پژوهش، تقریباً برای همه چهار پارامتر، ۲۶۶۶۹ تصویر مورد استفاده قرار گرفت که در حالت عادی دانلود، تصحیحات و پردازش آن‌ها زمان و هزینه زیادی را می‌طلبید.

پوشش برف نقش مهمی در تنظیم دمای سطح زمین، تأمین آب موردنیاز پوشش گیاهی و کنترل فرآیندهای تبخیر و تعرق دارد. این تعاملات پیچیده و چندوجهی، اهمیت برف را به‌عنوان یک جز کلیدی در سیستم‌های اقلیمی و زیستی زمین نشان می‌دهد.

پوشش برف با داشتن آلبدو بالا (ضریب بازتاب)، مقدار زیادی از تابش خورشیدی را بازتاب می‌دهد. این امر باعث کاهش دمای سطح زمین در مناطق پوشیده از برف می‌شود. همچنین برف به عنوان یک عایق حرارتی عمل می‌کند که موجب کاهش تبادل حرارت بین زمین و جو می‌شود. این ویژگی کمک می‌کند تا دمای سطح زمین در زیر پوشش برف در طول زمستان کمتر کاهش یابد. ذوب برف در بهار و تابستان می‌تواند باعث کاهش موقتی دمای سطح زمین شود زیرا انرژی خورشیدی برای ذوب برف مصرف می‌شود و به جای گرمایش مستقیم سطح، صرف تغییر فاز آب می‌گردد.

آب حاصل از ذوب برف منبع حیاتی آب برای گیاهان در مناطق مختلف است. این آب به تأمین رطوبت خاک کمک می‌کند که برای رشد و توسعه پوشش گیاهی ضروری است. همچنین در مناطقی با زمستان‌های سخت و پوشش برف سنگین، دوره رشد گیاهان کوتاه‌تر است. بااین‌حال، آب فراوان از ذوب برف می‌تواند رشد سریع گیاهان را در بهار و تابستان تسهیل کند.

پوشش برف از تبخیر آب از سطح زمین جلوگیری می‌کند زیرا سطح برف نمی‌تواند به‌سرعت آب را به جو منتقل کند. این به حفظ رطوبت خاک کمک می‌کند. پس از ذوب برف، رطوبت موجود در خاک افزایش می‌یابد و این می‌تواند منجر به افزایش نرخ تبخیر و تعرق به‌ویژه در ماه‌های گرم‌تر شود. آب ذوب برف برای تعریق گیاهان در دوره‌های رشد آن‌ها بسیار مهم است. تعریق فرآیندی است که طی آن گیاهان آب را از خاک جذب کرده، آن را به جو باز می‌گردانند که به خنک شدن گیاه و محیط اطراف کمک می‌کند.

نتایج بررسی نقشه‌های دمای سطح زمین نشان می‌دهند که از سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ که با میانگین بیشینه دمایی ۴۲/۳۷ و ۴۰/۲۰ درجه سلسیوس شروع شده است با کاهش میانگین بیشینه دمایی ادامه پیدا می‌کند تا در سال ۱۳۹۹ و ۱۴۰۰ دوباره بیشینه دمایی عدد ۳۹ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد که به‌دنبال این تبخیر و تعرق نیز با توجه به دمای سطح زمین تغییر پیدا کرده است. همچنین روند تغییرات پوشش گیاهی در حالت کلی نشان‌دهنده افزایش پوشش گیاهی در طول دوره ۲۲ ساله است؛ اما در روند تغییرات پوشش برفی روند کاهشی ملایم مشاهده می‌شود. دماهای بیش‌تر در قسمت‌های پست هموار که قسمت‌های شمال شرقی و شمال غربی است را نشان می‌دهد. برعکس مناطق کم‌دما مناطق مرتفع مانند جنوب شرقی و غرب منطقه که دارای ارتفاع مرتفعی هستند را نشان می‌دهد. اما تبخیر و تعرق بیشتر در قسمت‌هایی بود که دارای سطح پوشش برفی بیش‌تری بودند که این قسمت‌ها شامل شمال محدوده و جنوب شرقی با این که دارای ارتفاع بیشتری بودند و دمای

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]
[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]

کم‌تری را نسبت به بقیه مناطق داشتند ولی تبخیر و تعرق در این قسمت‌ها به‌مراتب بیشتر بود. زمستان و پاییز فصول برف‌گیر منطقه هستند که بیش‌ترین میزان سطحی پوشش برف در بهمن‌ماه با مساحت ۳۷۲۳۴/۳۲ کیلومترمربع و کم‌ترین آن در مردادماه با ۴/۷۱ مترمربع بود. مناطق مرتفع دارای پوشش برفی حتی در سال‌هایی که میانگین سطحی پوشش برف در کم‌ترین حالت خود قرار داشت، دارای پوشش برف بودند که این قسمت‌ها شامل جنوب شرقی غرب و شمال حوضه هستند. نتایج این پژوهش با نتایج کار مریانجی و همکاران (۱۴۰۱) همخوانی دارند. آنها به بررسی اثر تغییر اقلیم بر بارش برف در شهرستان همدان با استفاده از مودیس پرداختند و نشان دادند که سطح پوشش برف در شهرستان همدان به‌طور قابل توجهی کاهشی بود (Maryanji *et al.,* 2022). همچنین، یافته‌های این پژوهش با نتایج کار غفاری گیلانده و صفریان زنگیر (GhafariGilandeh & SafarianZengir, 2021) مطابقت دارد. آنها تغییرات پوشش برف در استان‌های گلستان، مازندران و گیلان را با استفاده از سنجنده مودیس و ماهواره‌های ترا و آکوآ مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که سطح پوشش برفی در این استان‌ها کاهشی بود.

References

Aguirre, F., Carrasco, J., Sauter, T., Schneider, C., Gaete, K., Gairn, E., Adaros, R., Butorovic, N., Jana, R., & Casassa, G. (2018). Snow Cover Change as a Climate Indicator in Brunswick Peninsula, Patagonia. *Frontiers in Earth Science*, 6, 130.

Ardalani, E., Raygani, B., Gashtaseb, H., Nezami, B., & Jahani, A. (2022). Comparison of the performance of Moody's gauges on the Terra satellite and the Aqua satellite in the study of the trend of snow cover changes in Tehran province with the help of time series of remote sensing data. *Environmental Research*, 13(26), 355-372. [In Persian]

Arif, H., Mehmood, S. A., & Hafiz, H. A. (2021). Appraisal of Spatiotemporal Variations in Snow Cover using Google Earth Engine in Gilgit-Baltistan, Pakistan. *International Journal of Innovations in Science and Technology*, 2(4), 209-223.

Asghari Saraskanrood, S., Sadeghi, A., & Molanouro, E. (2023). Investigation of changes in snow cover and surface temperature with topographic component of elevation Case study (Urmia Lake catchment). *Hydrogeomorphology*, 10(34), 75-53. [In Persian]

Asghari, S., & Sadeghi, A. (2021). Evaluation of Snow Cover Change Trends Using the GEE System in a Time Series from 2000 to 2021 (Case Study: Aras Basin). *The 8th National Conference on Geomorphology: Functions and Necessities.*

Bahrami Pichaghchi, H. , Raeini-Sarjaz, M. and Norooz Valashedi, R. (2020). Investigation of the effect of global warming on temporal and spatial changes of snow cover and its durability in the northern slope of Central Alborz. *Journal of Agricultural Meteorology,* 8(1), 15-25. doi: 10.22125/agmj.2020.200876.1071. [In Persian]

Chen, X., Long, D., Liang, S., He, L., Zeng, C., Hao, X., & Hong, Y. (2018). Developing a composite daily snow cover extent record over the Tibetan Plateau from 1981 to 2016 using multisource data. *Remote Sensing of Environment*, 215, 284-299.

Deng, G., Tang, Z., Dong, C., Shao, D., & Wang, X. (2024). Development and Evaluation of a Cloud-Gap-Filled MODIS Normalized Difference Snow Index Product over High Mountain Asia. *Remote Sensing,* 16(1), 192, 1-22. https://doi.org/10.3390/rs16010192

Singh, D. K., Singh, K. K., Petropoulos, G. P., Boaz, P. S., Jain, P., Singh, S., ... & Sood, V. (2023). Spatiotemporal vegetation variability and linkage with Snow-Hydroclimatic factors in western Himalaya using Remote Sensing and Google Earth Engine (GEE). *Remote Sensing*, 15(21), 5239. https://doi.org/10.3390/rs15215239.

Faraji, A., Kamangar, M., & Ashrafi, S. (2024). Spatial analysis of snow cover in western Iran using satellite imagery. *Journal of Water and Soil,* 38(1), 161-173. https://doi.org/10.22067/jsw.2024.83893.1323 [In Persian]

Felipe, A., Diego, M., Lina, C., Álvaro, O., Ramón, O., Raúl, P. F., & Tomás, R. B O. (2023). Snow Persistence and Snow Line Elevation Trends in a Snowmelt-Driven Basin in the Central Andes and Their Correlations with Hydroclimatic Variables. *Remote Sensing,* 15, 5556. Pp 1-33. https://doi.org/10.3390/rs15235556.

Francisco, A., Deniz, B., Tobias, S., Jorge, C., Christoph, S., Ricardo, J., & Gino, C., (2023). Snow Cover Reconstruction in the Brunswick Peninsula, Patagonia, Derived from a combination of the Spectral Fusion, Mixture Analysis, and Temporal Interpolation of MODIS Data. *Remote Sensing*, 15, 5430, 1-30. https://doi.org/10.3390/rs15225430.

Ghafari Gilandeh, A., & Safarian Zengir, V. (2024). Monitoring and Evaluation of Snow Cover Changes Trend in the Cities of Golestan, Mazandaran and Gilan Provinces. *Journal of Urban Ecology Researches*, 15(4), 23-40. doi: 10.30473/grup.2023.66285.2749 [In Persian]

Ghasemi, A, R. (2022). Investigating Snow Cover Changes in the Koohrang Region of Chaharmahal and Bakhtiari Province Using Landsat Satellite Image Processing. *Innovative Research in Sustainable Water Engineering*, 1(2), 13-25. doi: 10.22103/nrswe.2023.20344.1015. [In Persian]

Hall, D. K., Frei, A., Dery, S., Tedesco, M., & Knight, P. (2014). Remote Sensing of Snow Extent. In Remote Sensing of the Cryosphere. *Wiley-Blackwell: Oxford*, UK, 31–47.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]

Hüsler, F., Jonas, T., Wunderle, S., & Albrecht, S. (2012). Validation of a modified snow cover retrieval algorithm from historical 1-km Avhrr data over the European Alps. *Remote Sensing of Environment*, 121, 497-515.

Jems, H., Yarahmadi, D., Nasiri, A., & Mirhashemi, H. (2023). Monitoring the spatial changes of the snow cover of Central Alborz using the SVM algorithm and landsat images. *Researches in Earth Sciences*, 14(2), 20-37. doi: 10.48308/esrj.2023.103194. [In Persian]

Lillesand, T. M., Kiefer, R. W., & Chipman, J. W. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation*, 7th ed.; John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA, ISBN 9781118343289.

Maryanji, Z., Toulabi Nejad, M., & Dolatshahi, Z. (2022). The Effect of Climate Change on Snowfall and its Prediction in Hamadan County. *Physical Geography Researchs*, 1, 113-129. [In Persian]

Omidvar, K., Seyedi, Sh, M., Mozafari, Gh., & Mozidi, A. (2022). Investigating the Correlative Impact of Climate Change on Snow Cover Characteristics in the Middle Zagros in Relation to Atmospheric Circulation Patterns. *Journal of Climatology Research*, 13(52), 1-20. [In Persian]

Pichaghchi, H. B., Valashedi, R. N., & Raeini-Sarjaz, M. (2022). Statistical Analysis of Time Series of Snow-Covered Area Obtained from Satellite Images in Mazandaran Province. *Journal of Watershed Management Research*, 13(25), 50–61. https:// doi.org/10.52547/jwmr.13.25.50. [In Persian]

Raeisi, M. B., Vafakhah, M., & Moradi, H. R. (2021). Comparison of Degree-Day and Radiation base of Snowmelt Runoff Model (SRM) for Estimating Runoff from Snow Melting. *Journal of Watershed Management Research*, 12(23), 1–11. https://doi.org/10.52547/jwmr.12.23.1 [In Persian]

Riggs, G., & Hall, D. MODIS Snow Products User Guide to Collection 6 National Snow and Ice Data Center: Boulder. *CO, USA*, 2017.

Salahi, B., Saber, M., & Mofidi, A. (2023). Assessment of changes in evapotranspiration in the Aras River watershed under future climate conditions using RCP scenarios. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 15(1), 80-95. [In Persian]

Sari Saraf, B., Gholinejhad, N., & Kamani, A. (2011). Drought and drought survey of the Aras basin using rainfall-based indexes. *Physical Geography Quarterly*, 4(12), 1-15. [In Persian]

Singh, D. K., Singh, K. K., Petropoulos, G. P., Boaz, P. S., Jain, P., Singh, S., ... & Sood, V. (2023). Spatiotemporal vegetation variability and linkage with Snow-Hydroclimatic factors in western Himalaya using Remote Sensing and Google Earth Engine (GEE). *Remote Sensing*, *15*(21), 5239.

Zhang, T., & Wang, X. (2023). Dynamics of Spring Snow Cover Variability over Northeast China. *Remote Sensing*, 15(22), 5330. https://doi.org/10.3390/rs15225330.

Tedesco, M., Tedesco, M., Knight, P., Eds. (2014). Electromagnetic Properties of Components of the Cryosphere. In Remote Sensing of the Cryosphere. *Wiley-Blackwell: Oxford, UK*, 17–29.

Valashedi, R. N, & Bahrami Pichaghchi, H. (2023). Revealing the effect of climate change on Northern reservoir snow plots by CPA method. *Reservoir Engineering and Management*, 15(3), 386-403. [In Persian]

Voigt, T., Füssel, H. M., Gärtner-Roer, I., Huggel, C., Marty, C. & Zemp, M. (2010). Impacts of climate change on snow, ice, and permafrost in Europe: Observed trends, future projections, and socio-economic relevance. *ETC/ACC Technical Paper*, 117 p.

Walker, D. A., Halfpenny, J. C., Walker, M. D., & Wessman, C. A. (1993). Long-Term Studies of Snow Vegetation Interactions. *Bioscience*, 43, 287–301.

Wipf, S., Sommer Korn, M., Stutter, M.I., Wubs, E. J., & Van Der Wal, R., (2015). Snow cover, freeze-thaw, and the retention of nutrients in an oceanic mountain ecosystem, *Ecosphere*, 6(10), 1-16.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-11-07]

[DOI: 10.61882/jwmr.2024.1273]