



## Research Paper

**Investigating Surface Changes in Snow Cover Concerning Land Surface Temperature, Evapotranspiration, and Vegetation Cover in the Aras Basin**Aboozar Sadeghi<sup>1</sup>, Bromand Salahi<sup>2</sup> and Roghaye Azari Sanjebad<sup>3</sup>

- 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/m<sup>3</sup>), levels, respectively. In 2022, evapotranspiration was 37.42 in the highest state and 2.60 kg/m<sup>3</sup> 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.



**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<sup>2</sup> and the lowest was in August with 4.71 m<sup>2</sup>. 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



## 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<sup>۱</sup>، برومند صلاحی<sup>۲</sup> ID و رقیه آذری سنجبد<sup>۳</sup>

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 پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۱۸

تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۶  
صفحه ۸۴ تا ۱۰۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۱۵

## چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** پدیده تغییر اقلیم و اثرات و پیامدهای ناشی از آن به موضوعی چالش برانگیز 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. از آنجایی که 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 مورد مطالعه حوضه ارس است که بخشی از زیرحوضه 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 هر کدام 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 ArcMap 10.8 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 به ترتیب از ۸۶۴۴، ۸۶۴۲، ۸۳۲۵ و ۱۰۵۸ تصویر مورد پردازش قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که بین سال‌های ۱۴۰۱-۱۳۷۹، گرم‌ترین و بیشترین دما به ترتیب مربوط به سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۳ با میانگین بیشینه دمایی به ترتیب 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 سبزیگی مربوط به سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۴۰۰ با مقدار ۰/۴۴ و کم‌ترین میزان میانگین سبزیگی مربوط به سال‌های 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 ۲۷/۱۲ 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. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در این سال‌ها بین دما و تبخیر و تعرق رابطه مستقیمی وجود داشت. طی سال‌های ۱۳۷۹-۱۴۰۱، 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 به دنبال 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 شرقی، 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

آن به موضوعی چالش برانگیز 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

در دهه‌های اخیر، تغییر اقلیم اثرات گسترده‌ای بر جنبه‌های گوناگون مناطق کوهستانی و سامانه‌های اکتولوژیکی و اجتماعی آن داشته است (Bahrani Pichaghchi et al., 2020). پدیده تغییر اقلیم، اثرات و پیامدهای محتمل ناشی از

۱۶ یا ۱۸ روزه برای نیازهای کوتاه‌مدت نقشه‌برداری برف، به‌خصوص در مناطق ابری کافی نیست (Hall et al., 2014). در حالی که 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 (Riggs & Hall., 2017) می‌شود.

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 ۱۳۷۹-۱۳۹۹ 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، طوری که 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

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 این که 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 بازتاب 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 مادون قرمز 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). به‌عنوان مثال، مجموعه لندست، با وضوح مکانی ۳۰ متر در باندهای مرئی، نزدیک و مادون قرمز کوتاه، برای کاربردهای برف در کوهستان ایده‌آل است. با این حال، فاصله زمانی تکرار

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 قابل توجهی 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 به ترتیب 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 بهار 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 افزایش یافته 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 (MOD10A2) MODIS 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 قابل توجهی 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 هر کدام 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 قابل توجهی را در طول سال/روز ۰/۵۴ در شبه‌جزیره برونسویک در طول دوره ۲۰۲۰ - ۲۰۰۰ نشان داد، کاهش قابل توجهی 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

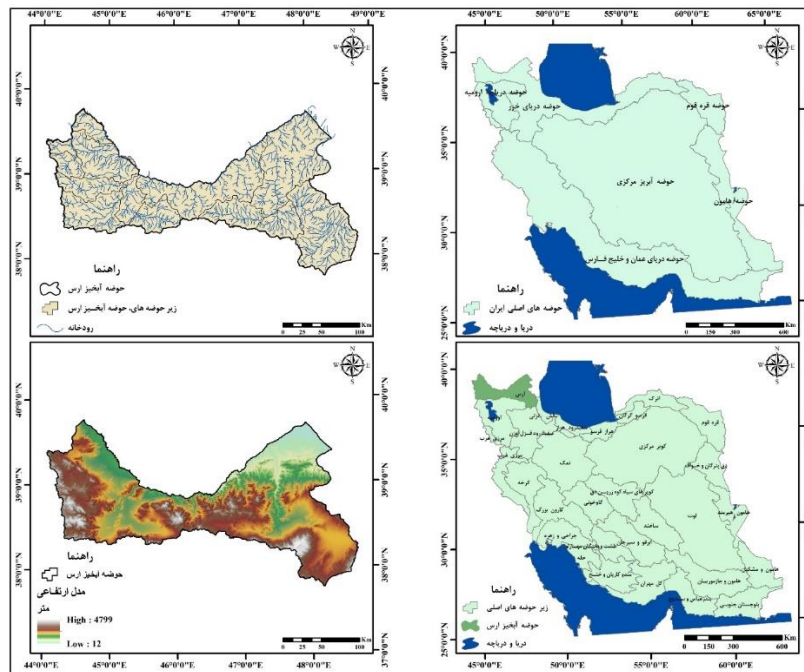
پراکنده در اکثر نقاط استان تهران بودند. آنالیز روند تغییرات فصلی تأخیر در شروع روزهای همراه با پوشش برف و جا به جایی آن از اواخر ماه دی به اواخر ماه اسفند را نشان داد. اصغری و صادقی (Asghari & Sadeghi, 2021) به بررسی تغییرات برف حوضه ارس با استفاده از داده‌های Terra Snow بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ برای 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 قابل توجهی 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 به ترتیب 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 بهار 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 افزایش یافته 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 (MOD10A2) MODIS 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

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 تأمین‌کننده 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.

عادی دانلود، دسته‌بندی و پردازش آن‌ها در نرم‌افزارهای تحت دستک‌تاپ 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 زیرحوضه آبخیز غرب دریاچه‌ی خزر تلقی می‌شود که مرز سیاسی بین کشورهای آذربایجان، ایران، ترکیه و ارمنستان را تشکیل می‌دهد. حوضه 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



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز ارس (نگارندگان، ۱۴۰۲)  
Figure 1. Geographical location of the Aras Basin (Authors, 2023)

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 گوگل ارث

## روش پژوهش

مجموعه داده تصویب‌برداری وضوح متوسط اسپکتروادیومتر (MODIS) با وضوح مکانی ۵۰۰ متر برای ارزیابی پوشش برفی حوزه‌های دارای مساحت ۱۰/۰۰۰ کیلومترمربع و بیشتر مناسب است (Asghari *et al.*, 2021; Saraskanrood *et al.*, 2023). 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

ارتفاعی، شیب، سایه‌روشن و جهت شیب) در شکل ۴ نمایش داده شده‌اند.

انجین، برای برف، دمای سطح زمین، پوشش گیاهی و تبخیر و تعرق به ترتیب ۸۶۴۴، ۸۶۴۲، ۸۳۳۵ و ۱۰۵۸ تصویر مورد پردازش قرار گرفتند. همچنین، نقشه‌های توپوگرافی (مدل

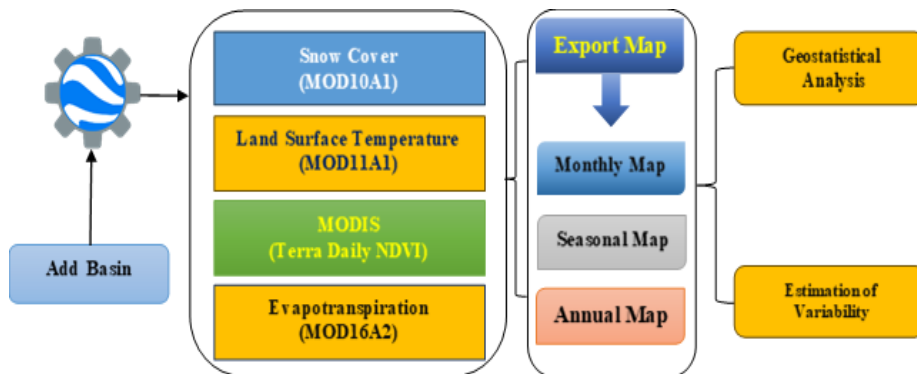
```

4 var modis = ee.ImageCollection('MODIS/061/MOD11A1');
5
6 var lst = modis.select('LST_Day_1km')
7   .filterDate('2000-03-21', '2023-04-21')
8   .filter(ee.Filter.calendarRange(81,111, 'day_of_year'));
9
10 print('lsttt',lst);

```

شکل ۲- بخشی از کد نوشته شده 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)



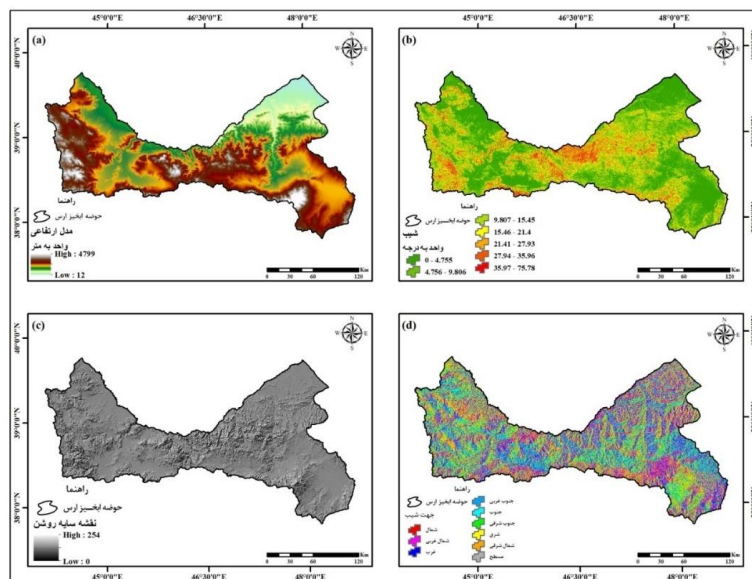
شکل ۳- پروداکت‌ها و نقشه‌های استفاده شده در پژوهش (نگارندگان، ۱۴۰۲)

Figure 3. Products and maps used in the research (Authors, 2023)

جدول ۱- پارامترهای استفاده شده در این پژوهش (نگارندگان، ۱۴۰۲)

Table 1. Parameters used in this study (Authors, 2023)

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



شکل ۴- a: نقشه مدل ارتفاعی، b: نقشه شیب، c: نقشه سایه‌روشن، d: نقشه جهت شیب (نگارندگان، ۱۴۰۲)

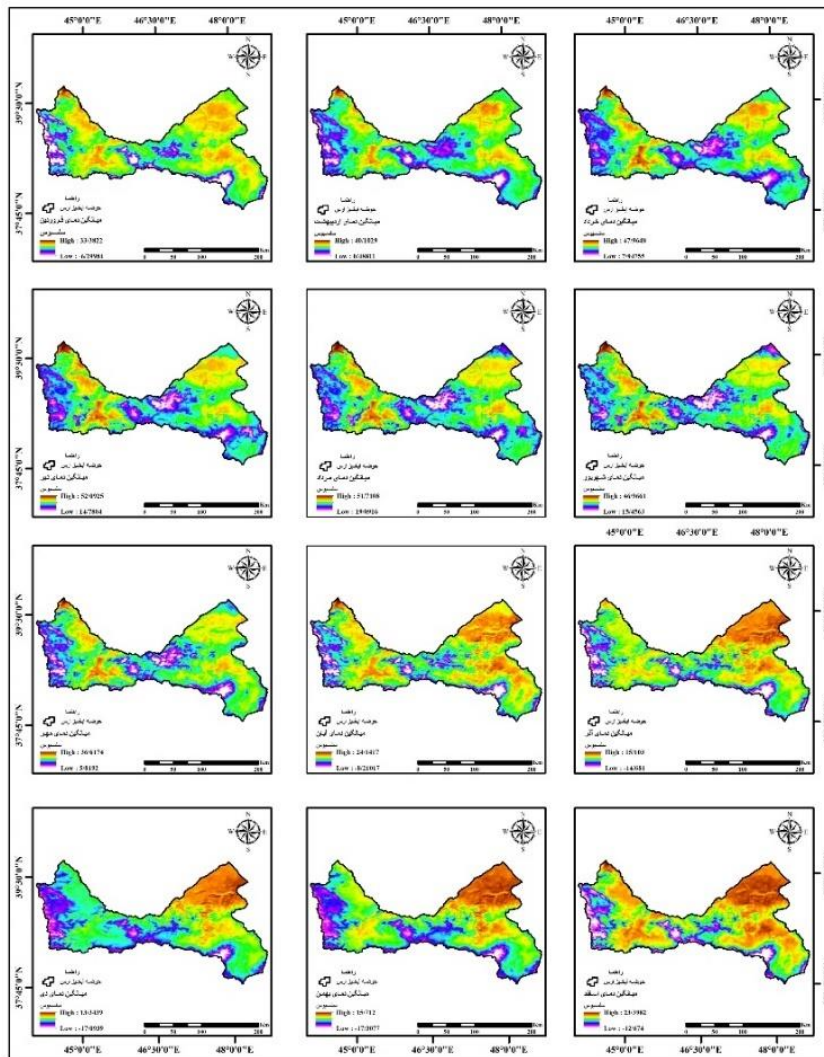
Figure 4. a: Elevation model map, b: Slope Map, c: Bright Shadow map, d: Slope direction map (Authors, 2023)

## نتایج و بحث

### بررسی نقشه‌های دمای سطح زمین

برای بررسی میانگین دمای سطح زمین، محصولات ماهواره ترا (Terra) به صورت ماهانه، فصلی و سالانه در حوزه آبخیز ارس تهیه شدند. برای این پارامتر ۸۶۴۲ تصویر در سامانه GEE دقیقاً بر اساس تاریخ شمسی مورد بررسی قرار گرفتند. شکل ۵ میانگین دمای سطح زمین به صورت ماهانه در حوزه 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 حوزه در کم‌ترین میزان خود

قرار دارد). از لحاظ میانگین دمای ماهیانه، سردترین ماه سال دی و بهمن ماه، با بیشینه دمای به ترتیب 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 آن مناطق پست و هموار حوضه هستند.



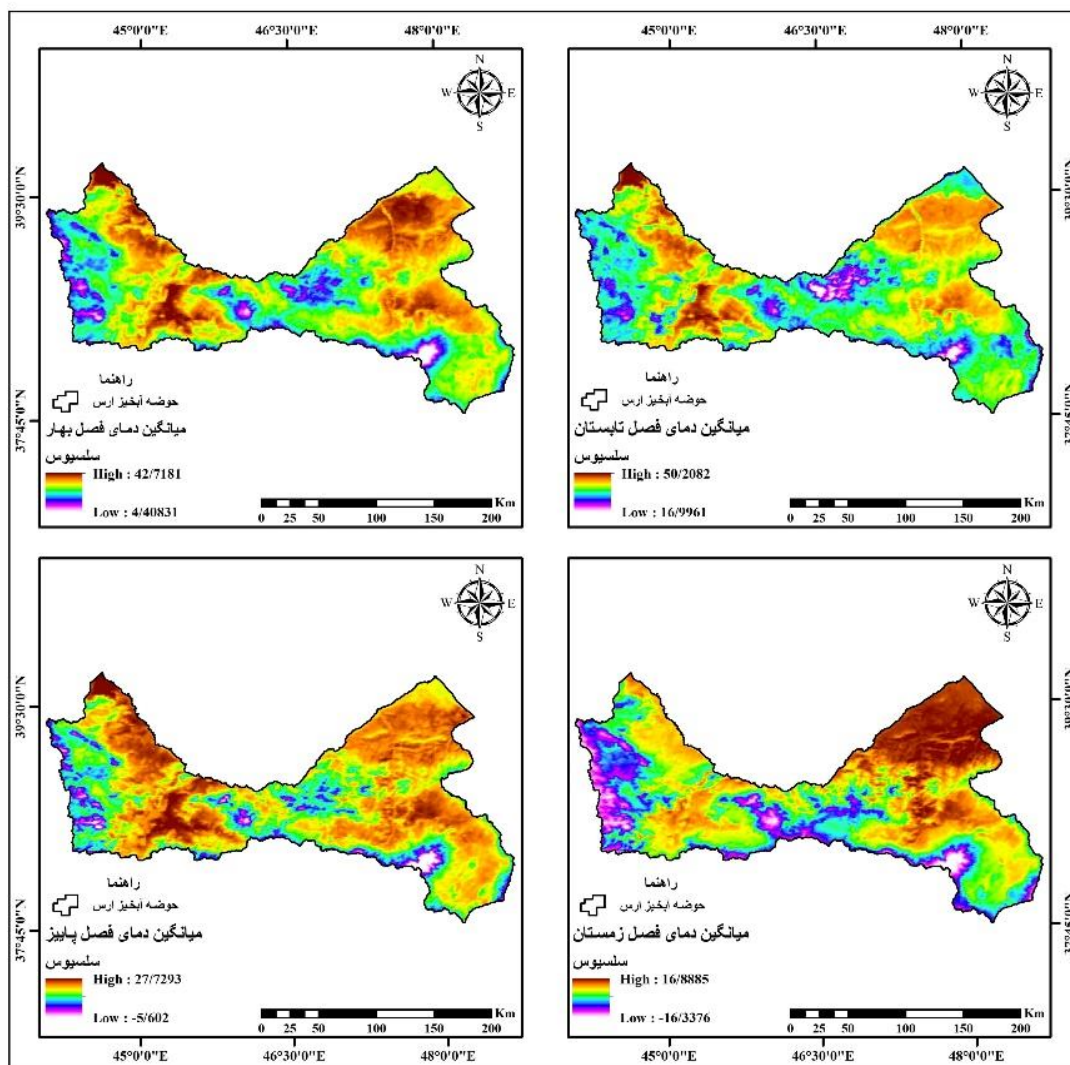
شکل ۵- میانگین ماهانه دمای سطح زمین در حوزه آبخیز ارس  
Figure 5. The average monthly land surface temperature of the Aras Basin

قسمت‌های مرتفع حوضه به چشم 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 به دلیل مرتفع بودن دمای کم‌تری نسبت به مناطق

همان طور که می‌دانیم، مقدار پوشش برف با دما رابطه معکوس دارد؛ بنابراین، طبق نتایج به دست 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

دمایی ۵- درجه سلسیوس سردترین ماهها را به خود اختصاص داده‌اند.

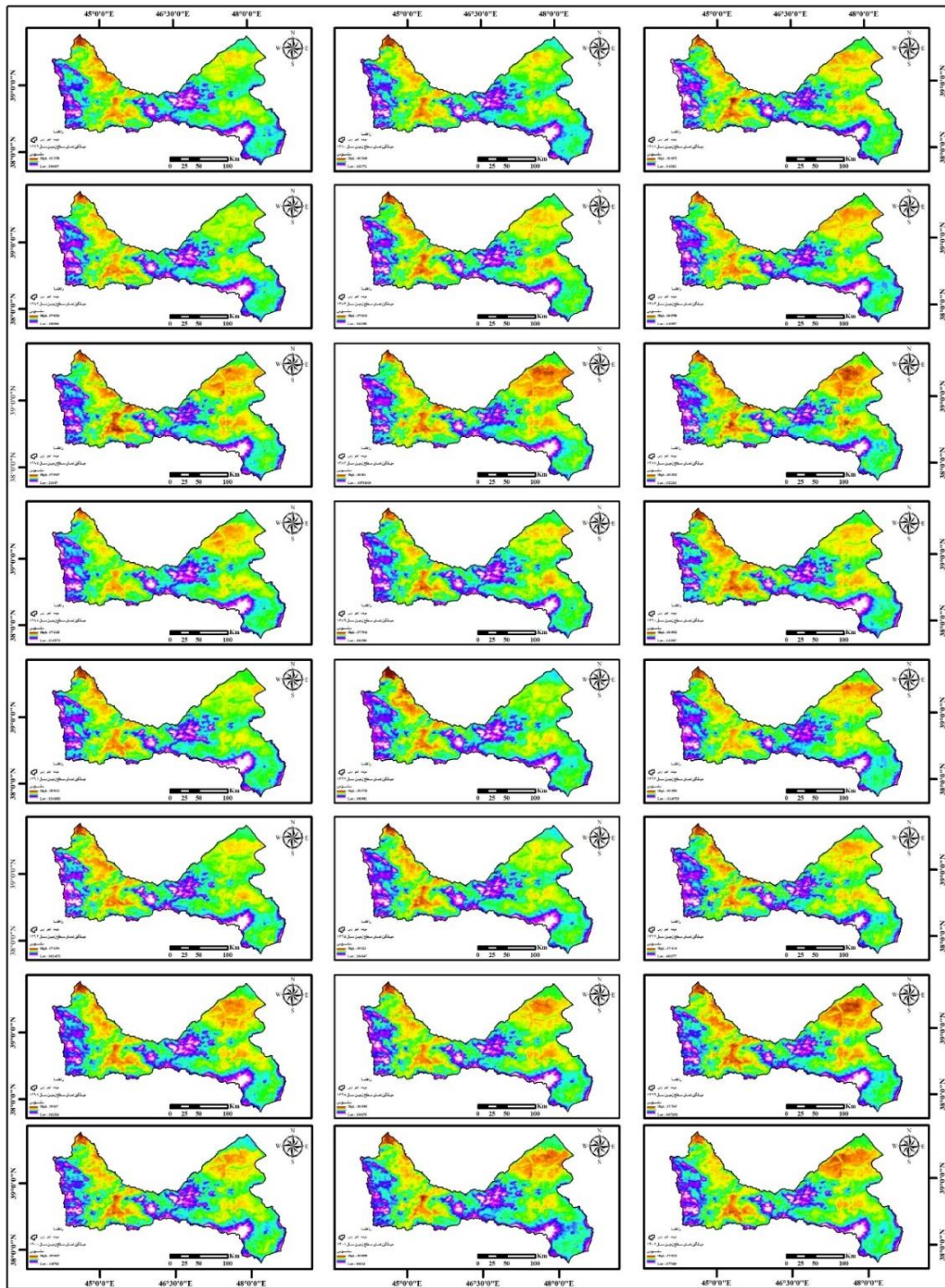
پست حوضه را دربر می‌گیرند. فصول بهار و پاییز نیز به ترتیب با میانگین بیشینه دمایی ۴۲ درجه سلسیوس و کمینه دمایی ۴ درجه سلسیوس، بیشینه دمایی ۲۴ درجه سلسیوس و کمینه



شکل ۶- میانگین فصلی دمای سطح زمین در حوضه آبخیز ارس  
Figure 6. Seasonal mean of the land surface temperature in the Aras Basin

سطحی برف در این سالها به ترتیب ۱۱۸۲۷/۶۰، ۱۷۲۹۱/۲۵، ۲۱۱۳۵/۶۶ و ۳۰۴۸۰/۸۰ کیلومترمربع بود. همچنین، در این سالها مقادیر میانگین تبخیر و تعرق به ترتیب در بیشترین حالت ۲۱/۸۰، ۲۲/۷۲، ۳۵/۷۴ و ۲۱/۳۳ کیلوگرم در مترمربع ( $kg/m^2$ ) و در کمترین حالت به ترتیب ۳/۱۸، ۲/۸۱، ۳/۱۲ و ۲/۸۵ کیلوگرم در مترمربع بودند.

در نقشه‌هایی که تهیه شده‌اند بین سالهای ۱۳۷۹-۱۴۰۱ گرم‌ترین و بیشترین دما به ترتیب مربوط به سال ۱۳۷۹، ۱۳۸۰ و ۱۳۹۳ با میانگین بیشینه دمایی به ترتیب 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 به ترتیب یعنی ۱۳۷۹، ۱۳۸۰، ۱۳۹۳ و ۱۳۸۷ برابر با ۴۹۰/۰۷، ۱۹۸/۸۳، ۵۳۹/۵۸ و ۱۲۶/۹۷ کیلومترمربع بود و همچنین میانگین پوشش



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

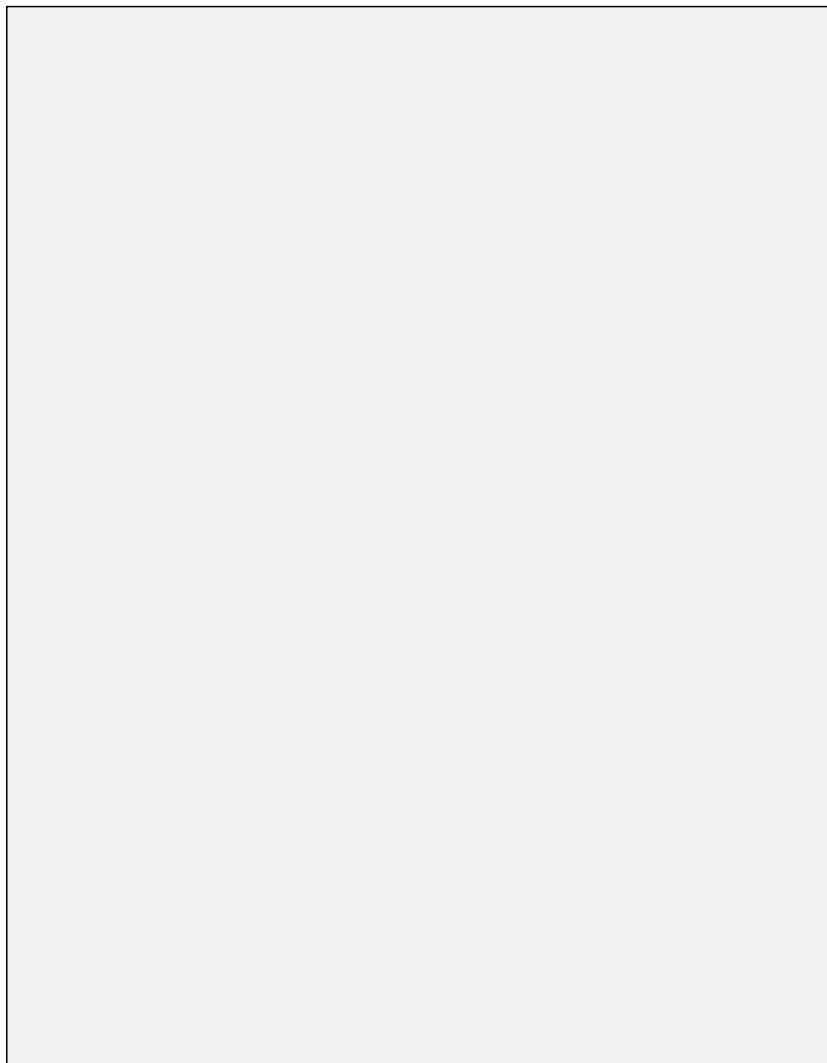
### بررسی نقشه‌های پوشش گیاهی

برای بررسی میانگین پوشش گیاهی، محصولات ماهواره ترا به صورت ماهانه، فصلی و سالانه در حوضه 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 سبزیگی 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 سبزیگی بالای منطقه را دارا هستند. در این ماه‌ها به ترتیب میانگین بیشینه دمایی ۵۱/۵۲، ۷۱/۰۹ و ۱۵/۷۱ درجه سلسیوس و کمینه دمایی به ترتیب 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

تبخیر و تعرق اختصاص یافته، مستقیماً 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 کیلومتر مربع بودند.

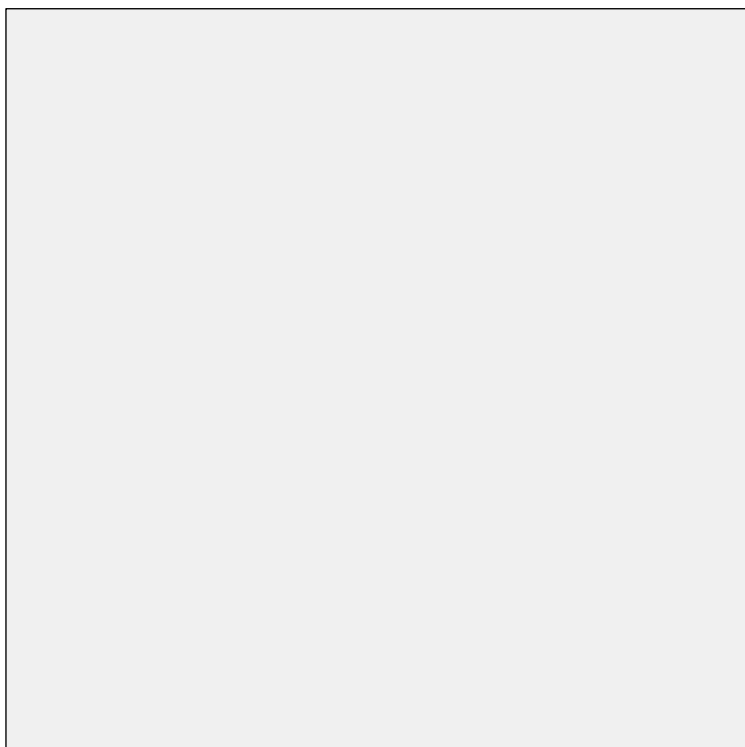
و در کم‌ترین مقدار به ترتیب ۱/۵۵، ۱/۰۱ و ۵/۴۴ کیلوگرم بر مترمربع بودند. این مقادیر نشان می‌دهند که علاوه بر ذوب برف، میزان تبخیر و تعرق نیز در دماهای بالاتر افزایش می‌یابد و بخشی از آب حاصل از ذوب برف به



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

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 به ترتیب زمستان و پس از آن پاییز بود که در این فصل‌ها میانگین مساحت سطحی پوشش برف به ترتیب ۱۶۴۸۴/۹۲ و ۳۶۵۵۳/۱۷ کیلومتر مربع بود و کم‌ترین مساحت سطحی پوشش برف به فصل تابستان با ۱۸/۱۵۰ کیلومتر مربع تعلق داشت.

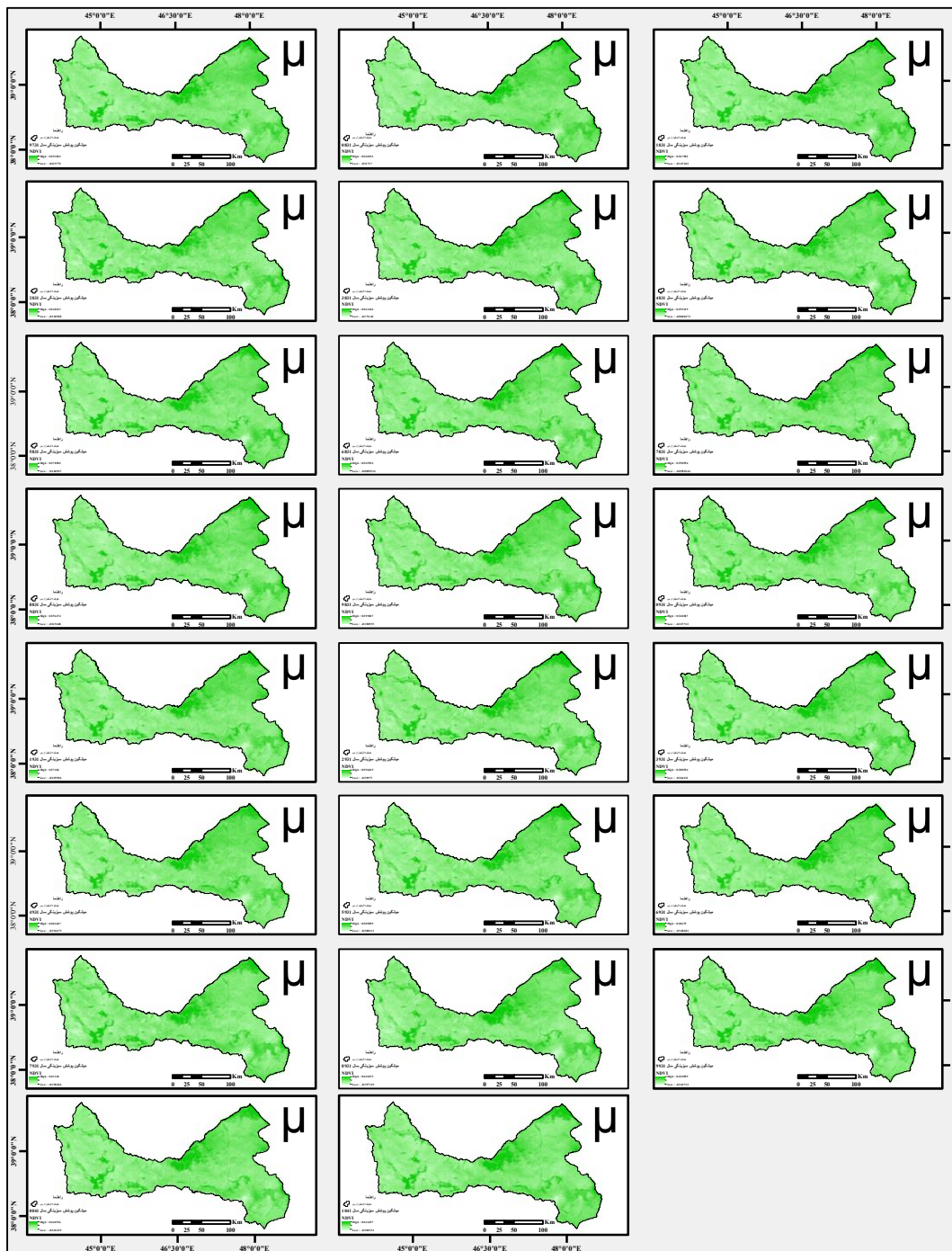
با توجه به شکل ۹، بالاترین مقدار میانگین سبزی‌نگی فصلی با مقادیر ۰/۶۶ و ۰/۰۴- به فصل تابستان تعلق دارد که به ترتیب بالاترین مقدار را در کل حوضه مورد مطالعه در بر گرفته است. همان طور که انتظار می‌رود، بعد از تابستان به ترتیب فصل‌های بهار، پاییز و زمستان کم‌ترین مقدار سبزی‌نگی را به خود اختصاص داده‌اند. 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 به ترتیب



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

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 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.

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 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.



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

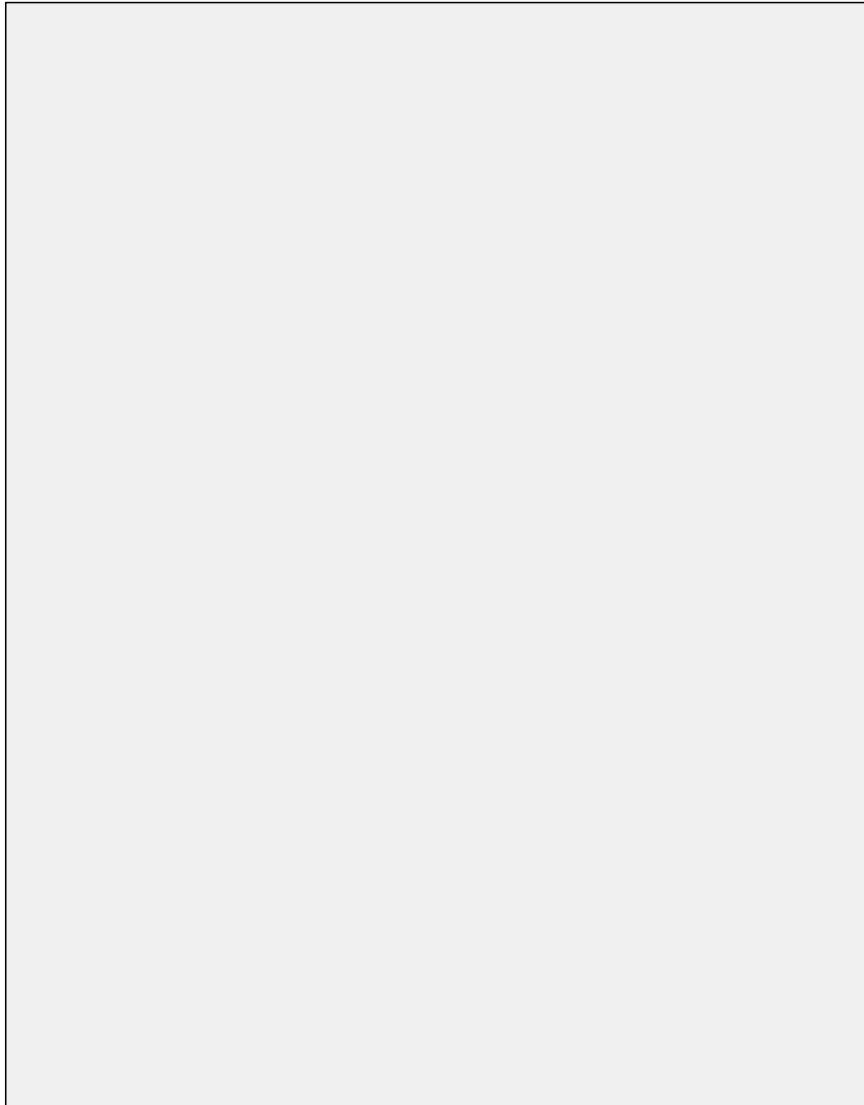
**بررسی نقشه‌های تبخیر و تعرق**

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 سبزیگی در این ماه‌ها به ترتیب 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،

برف به ترتیب ۲۵/۳۴، ۱۵۱/۴۰ و ۳۵۰۶۱/۶۳ کیلومتر مترمربع بودند.

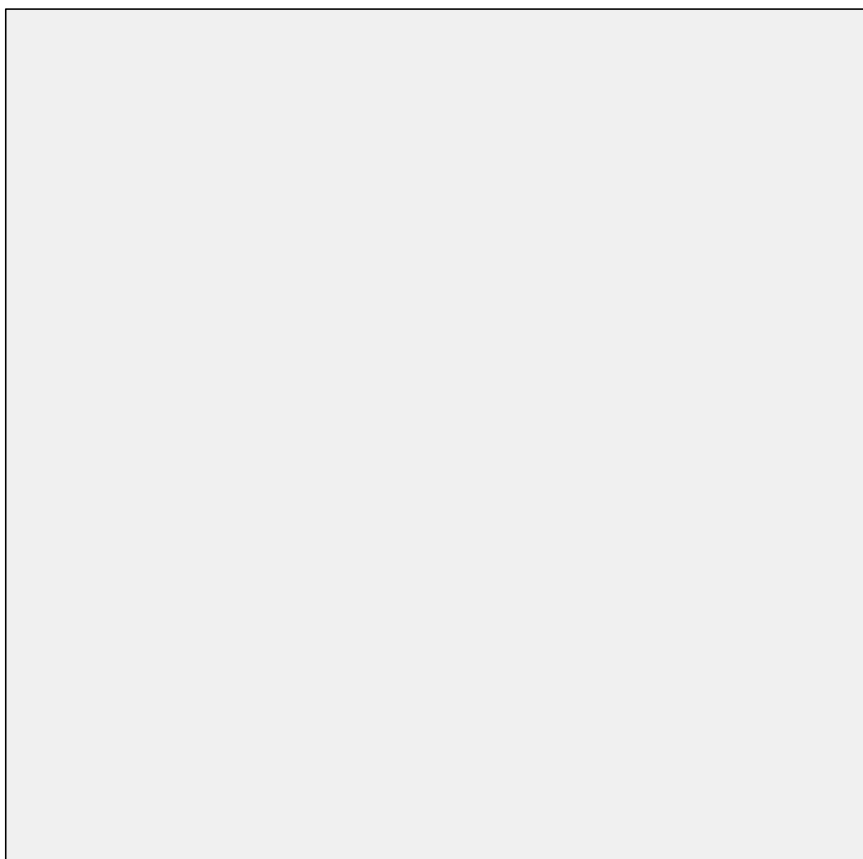
۷/۹۴ و ۱۷/۰۹- هستند. همان طور که مشاهده و پیش بینی می شد، تبخیر و تعرق با دمای سطح زمین ارتباط مستقیمی دارد. در این ماهها، مقادیر میانگین مساحت سطحی پوشش



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

۳۷۱۲/۲۶ و ۱۸/۳۱ کیلومتر مربع بود. در این فصول، به ترتیب 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 کیلومتر مربع است. همان طور که در نقشه ها مشاهده می شود (شکل ۱۱)، بیشترین تبخیر در جنوب شرقی و سپس مرکز شمال بیشترین تبخیر و تعرق مشاهده می شود.

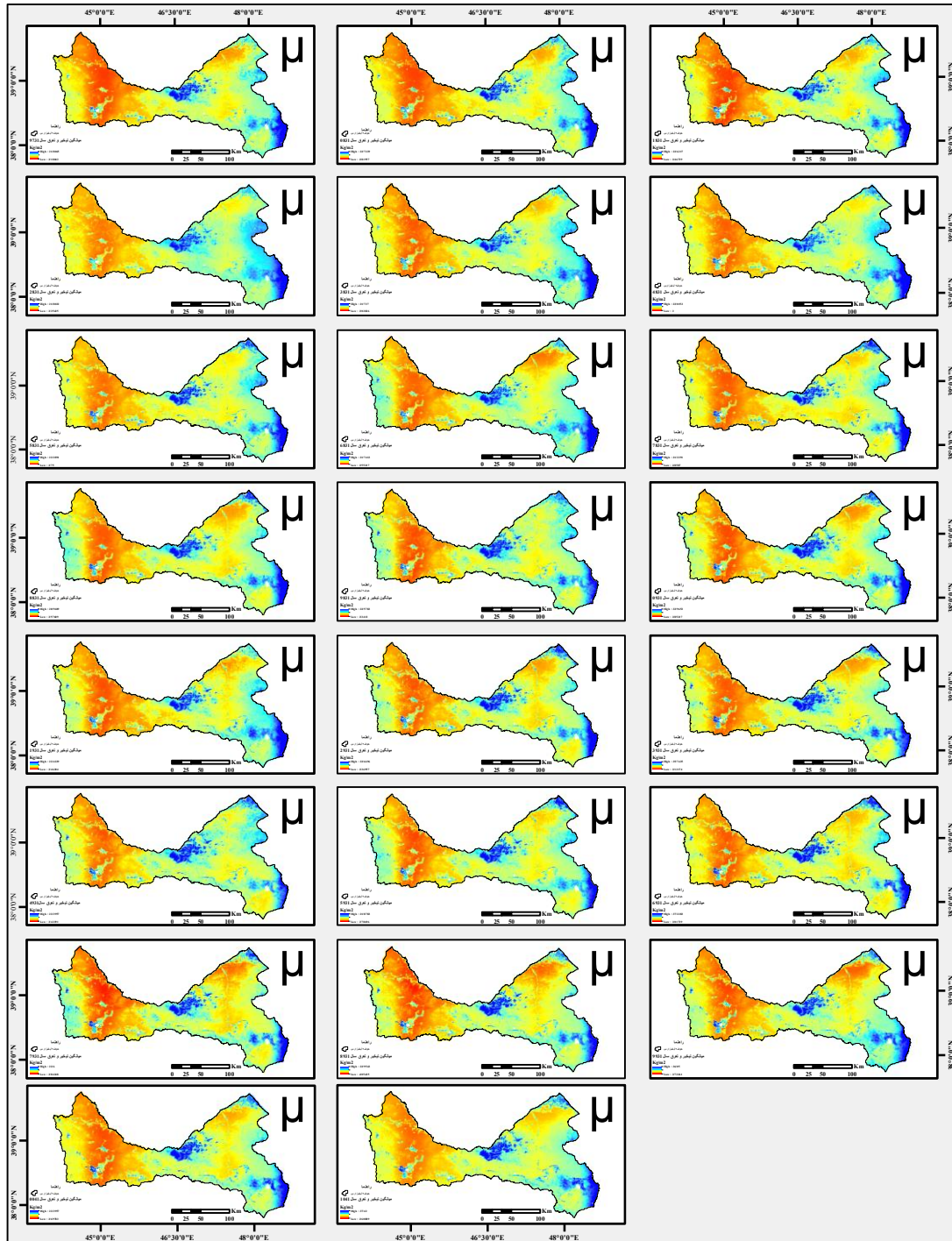
بر اساس شکل ۱۲، بیشترین میانگین تبخیر و تعرق در فصل تابستان در بالاترین حالت ۳۹/۷۱ و کمترین حالت ۱/۳۲ کیلوگرم در مترمربع است. بیشترین میزان تبخیر و تعرق در قسمت های شرق، شمال شرقی و شمال حوضه و کمترین تبخیر و تعرق در فصل پاییز که در بالاترین حالت ۱۰/۶۱ و کمترین حالت ۴/۴۶ کیلوگرم در مترمربع و در بخش جنوب شرقی وجود دارند که این بخش برف گیری بالایی را دارد. در این فصلها، میانگین سبزینگی برابر با



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

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 کیلومتر مربع و در سال ۱۴۰۱ مساحت سطحی برابر با ۲۱۵۰۲/۸۳ کیلومتر مربع بودند.

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



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

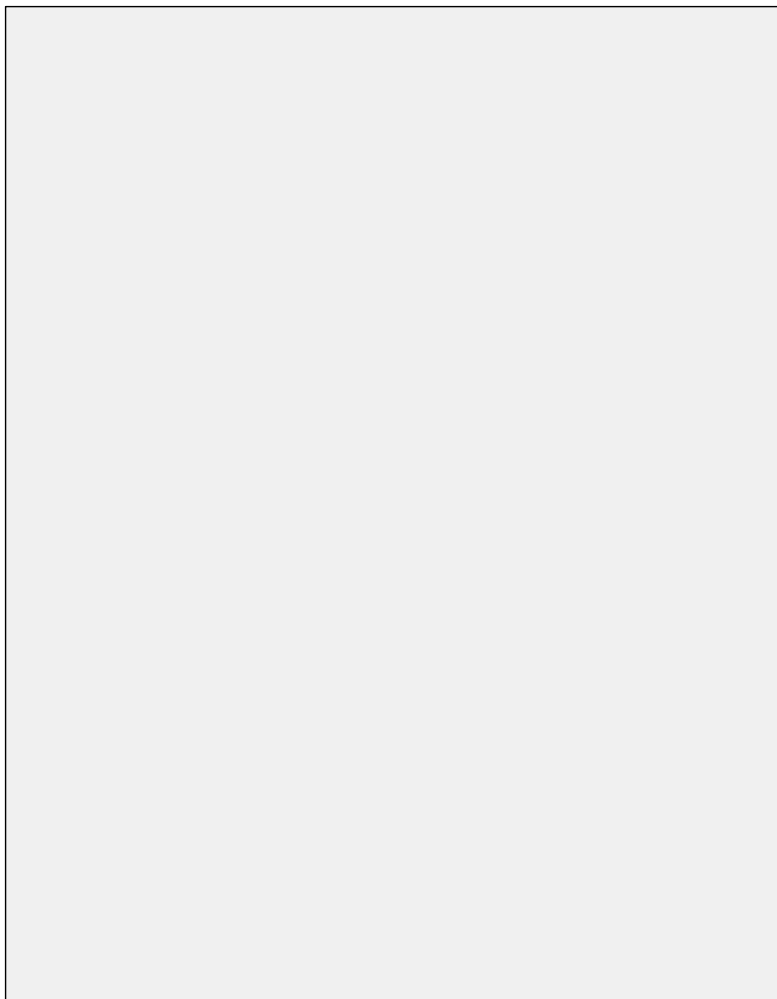
**بررسی نقشه‌های سطحی پوشش برف**

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  $37234/32$  کیلومترمربع و پس از آن دی‌ماه با میانگین مساحت سطحی  $35061/63$  کیلومترمربع است و کم‌ترین

میزان میانگین سطحی پوشش برف در ماه مرداد که میانگین آن  $4/71$  کیلومترمربع است. میانگین بیشینه دمای سطحی زمین در ماه بهمن  $15/71$  و کمینه آن  $17/30$  - درجه سلسیوس و در دی‌ماه بیشینه آن  $13/34$  و کمینه آن  $17/09$  - هستند. در مردادماه، میانگین بیشینه دمای سطح زمین  $51/71$  و کمینه آن  $19/09$  درجه سلسیوس هستند. در بهمن‌ماه، میانگین تبخیر و تعرق در بالاترین حالت  $11/39$  و کم‌ترین

برف را در بیش‌تر مناطق حوضه می‌توان مشاهده کرد ولی در مردادماه فقط در مناطق مرتفع حوضه در قسمت‌های جنوبی می‌توان مشاهده کرد.

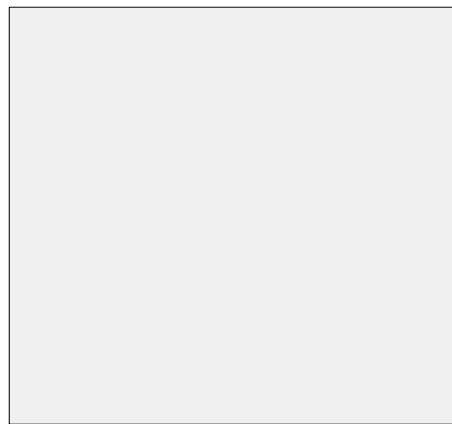
حالت ۵/۴۴ کیلوگرم در مترمربع و در دی‌ماه در بالاترین حالت ۸/۹۸ و در کم‌ترین حالت ۴/۲۰ کیلوگرم در مترمربع و در مردادماه ۴۱/۷۸ و کم‌ترین حالت ۱/۰۱ کیلوگرم در مترمربع هستند. در بهمن و دی‌ماه، میانگین سطحی پوشش



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

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.

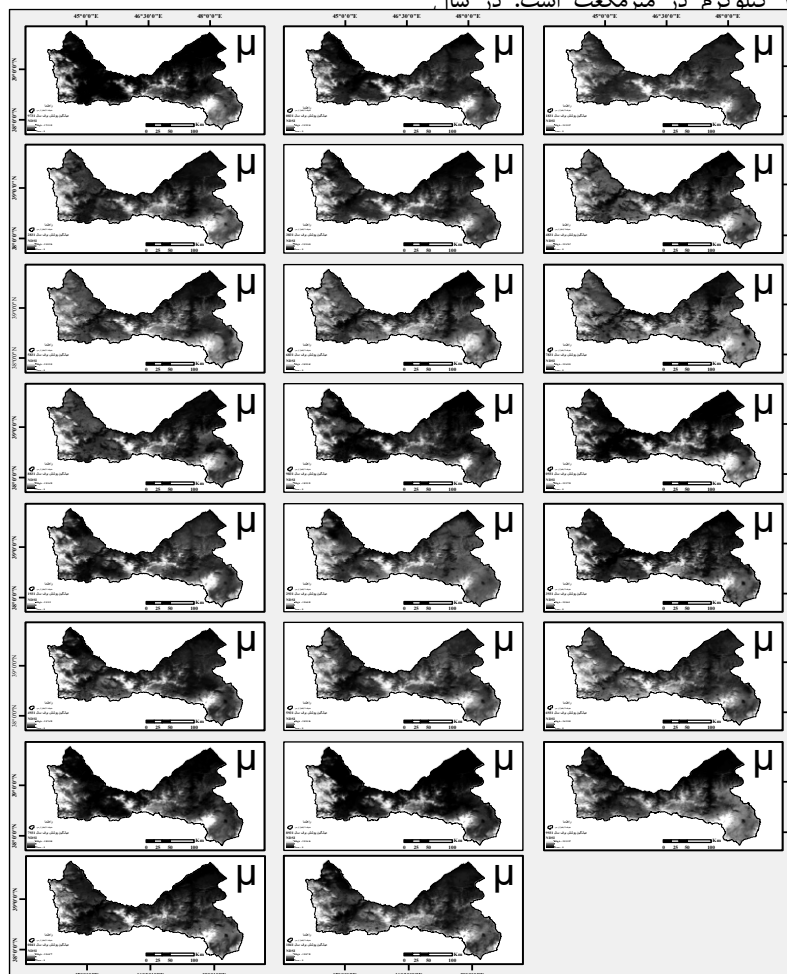
با توجه به شکل ۱۵، مقدار میانگین پوشش برف فصلی در حوضه مورد مطالعه در فصل زمستان در بالاترین مقدار خود قرار دارد. میانگین مساحت سطحی پوشش برف در فصل زمستان ۳۶۵۵۳/۱۷ کیلومترمربع و پس از آن پاییز با ۱۶۴۸۴/۹۲ کیلومترمربع بیش‌ترین فصول برف‌گیر در این حوضه هستند و فصل تابستان با میانگین ۱۸/۵۰ کیلومترمربع 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



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

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.

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



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

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.

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

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

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

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.

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

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

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

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.

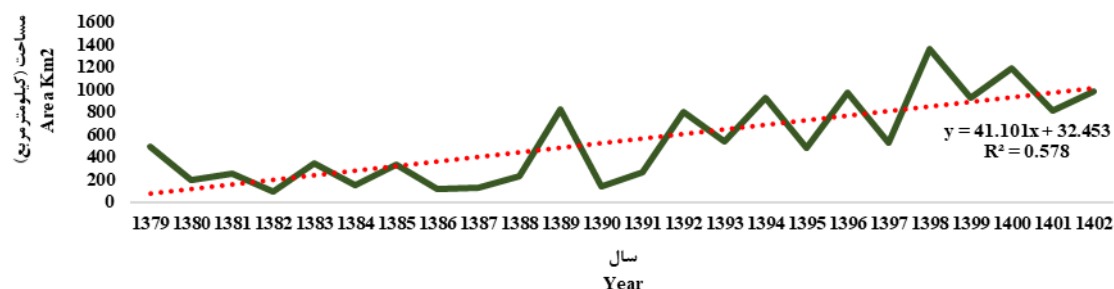
با توجه به جدول ۴ پوشش گیاهی، در سال ۱۳۸۲ مساحتی برابر با ۸۸/۶۴ کیلومترمربع کم‌ترین میزان سبزی‌نگی منطقه مورد مطالعه را داشت چرا که در سال قبل از آن یعنی سال ۱۳۸۱ مقدار NDVI، ۲۵۳/۴۷ کیلومترمربع بود و یک سال بعد از آن (سال ۱۳۸۳)، ۳۴۲/۰۲ کیلومترمربع میزان

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

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	-

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.

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



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<sup>2</sup>)

همان طور که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، میانگین ماهانه مساحت پوشش برف در حوضه مورد مطالعه در مردادماه با ۴/۷۱ کیلومترمربع از برف کم‌تری نسبت به بقیه ماه‌ها برخوردار است، اما در مقابل، ماه بهمن بالاترین مقدار ۳۷۲۳۴/۳۲ کیلومترمربع را دارا است.

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

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 توجه به جدول ۶ برای میانگین فصلی فصلی NDSI در منطقه، همان‌گونه که انتظار می‌رفت فصل سرد سال یعنی زمستان با ۳۶۵۵۳/۱۷ کیلومترمربع بیشترین مقدار پوشش برف را دارد. در مقابل، فصل تابستان با ۱۸/۵۰ کیلومترمربع از کل حوضه کم‌ترین مقدار را دارد.

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

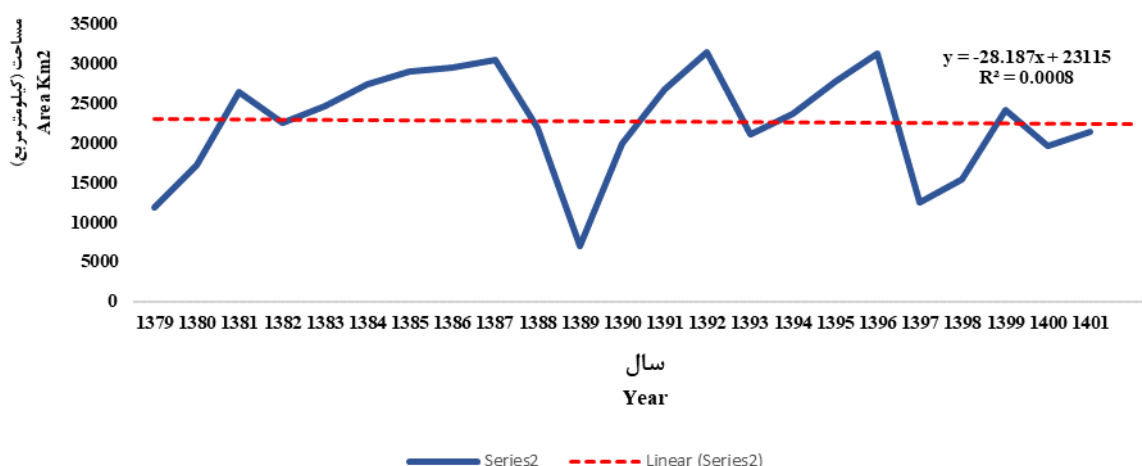
فصل Season	بهار Spring	تابستان Summer	پاییز Autumn	زمستان Winter
مساحت Area	3699.25	18.50	16484.92	36553.17

که سال ۱۳۸۹ در بازه زمانی معین شده کم‌ترین حجم یعنی 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 که در سال ۱۳۹۲، حداکثر حجم NDSI با مساحت ۳۱۵۱۹/۹۲ کیلومترمربع مشاهده گردید؛ اما در سال ۱۳۹۳ نسبت به سال ۱۳۹۲ مقدار برف در منطقه با ۲۱۱۳۵/۶۶ کیلومترمربع کمتر شد. در سال ۱۳۹۶ در حوضه ارس مقدار پوشش برف با ۳۱۲۷۸/۰۸ کیلومترمربع افزایش یافت، چرا که در سال ۱۳۹۹ دوباره مقدار پوشش برف با ۲۴۱۴۵/۲۷ کیلومترمربع سیر نزولی به خود گرفت.

مطابق با جدول ۷ در مورد پوشش برف حوضه ارس سال ۱۳۷۹-۱۴۰۱، سال ۱۳۷۹ با مقدار پوشش برف ۱۱۸۲۷/۶۰ کیلومترمربع از جمله سال‌های کم بارش در بازه زمانی معین بود. به مرور بارش در منطقه افزایش یافت به طوری که سال بعد یعنی ۱۳۸۰ میزان NDSI به ۱۷۲۹۱/۲۵ کیلومترمربع و در سال ۱۳۸۱ به ۲۶۴۸۳/۷۲ کیلومترمربع رسید. با توجه به شکل ۱۸، این افزایش بارش به حدی رسید که سال ۱۳۸۷ با مقدار بارش ۳۰۴۸۰/۷۷ کیلومترمربع نسبت به سال قبل (۱۳۸۶، مقدار ۲۹۵۸۲/۳۶ کیلومترمربع) بیش‌ترین حجم پوشش را داشت و سال بعد از آن در ۱۳۸۸ مقدار پوشش برف به ۲۱۸۵۳/۴۷ کیلومترمربع رسید. این نزول به حدی رسید

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

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	-



شکل ۱۸- تغییرات سالانه پوشش برف (NDSI) در حوزه آبخیز ارس (کیلومتر مربع)  
Figure 18. Annual snow cover changes (NDSI) in the Aras Basin (Km<sup>2</sup>)

### 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 می‌طلبد.

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 آلبو 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 به‌عنوان 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. باین‌حال، 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

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 کاهش یافته بود (Maryanji *et al.*, 2022). همچنین، یافته‌های این پژوهش با نتایج کار غفاری گیلانده و صفریان زنگیر (Ghafari Gilandeh & Safarian Zengir, 2021) مطابقت دارد. آنها تغییرات پوشش برف در استان‌های گلستان، مازندران و گیلان را با استفاده از سنجنده مودیس و ماهواره‌های ترا و آکوا مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که سطح پوشش برفی در این استان‌ها کاهش بود.

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  $37234/32$  کیلومتر مربع و کم‌ترین آن در مردادماه با  $4/71$  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

## 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: 10.21215/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., Alvaro, 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.

- 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., & Raeni-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]
- Raesi, 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., Gholinejad, 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.