


GES	Journal of Geography and Environmental Studies, 11 (43), Autumn 2022 https://ges.iaun.ac.ir ISSN: 2008-7845  20.1001.1.20087845.1401.11.43.2.3
-----	---

Research Article

Examining Snow Cover Changes in Relation to Drought Using Remote Sensing Techniques and GIS (Case Study of the West and East Azerbaijan Provinces)

Hooshmand, Fahimeh (Corresponding Author)

PhD Student, Department of Geography, Larestan Branch, Islamic Azad University, Larestan, Iran
 hooshmand_fahim@yahoo.com


Afifi, Mohammad Ebrahim

Assistant Professor, Department of Geography, Larestan Branch, Islamic Azad University, Larestan, Iran

Abstract

In this research, to determine the changes in the level of snow cover in relation to drought, satellite data has been used in order to determine the snow cover and meteorological station data has been applied to estimate the drought. In this regard, at the first stage, satellite data was collected from NASA's Web site from 1385 to 1395, and after geometric and atmospheric corrections based on the NDSI index and using of bands 4 and 6, was applied to determine the level of snow cover and drought rate has been estimated based on SPI index. Studies of snow cover reveal that the level of snow cover has been reduced and this is proportional to the drought rate, and the prevailing trend in the level of snow cover and SPI is a downward trend. However, in spite of the prolonged and increased SPI index, the level of snow cover has been reduced or vice versa. The reason for this can be investigated through the type of precipitation during these years and it is possible that most type of the precipitation, during the years in which snow cover has been less, has been rainy type and in the drought years with increased snow cover, type of downfall has been more snowy.

Keywords: Snow cover, Drought, Normalized Difference Snow Index, Standard Precipitation Index.

<p>Citation: Hooshmand, F; Afifi, M.E. (2022) Examining Snow Cover Changes in Relation to Drought Using Remote Sensing Techniques and GIS (Case Study of the West and East Azerbaijan Provinces), Journal of Geography and Environmental Studies, 11 (43), 24-40. Dor: 20.1001.1.20087845.1401.11.43.2.3</p>	
<p>Copyrights: Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granded to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.</p>	

مقاله پژوهشی

بررسی تغییرات سطح پوشش برف در ارتباط با خشکسالی در دهه‌های اخیر با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه‌ی موردی استان‌های آذربایجان غربی و شرقی)

فهیمة هوشمند*

دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران

محمد ابراهیم عقیفی

استادیار، گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران

چکیده

در پژوهش حاضر جهت بررسی تغییرات سطح پوشش برف در ارتباط با خشکسالی از داده‌های ماهواره‌ای به منظور تعیین سطح پوشش برف و داده‌های ایستگاه هواشناسی به منظور برآورد خشکسالی استفاده شده است. در این راستا داده‌های ماهواره‌ای سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ از سایت ناسا تهیه گردید و پس از اعمال تصحیحات هندسی و اتمسفری بر اساس شاخص نرمال شده برف^۱ و استفاده از باندهای ۴ و ۶ جهت تعیین سطح پوشش برف مورد استفاده قرار گرفته است و با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده^۲، نرخ خشکسالی برآورد گردیده است. مطالعات سطح پوشش برف نشان داده که از میزان سطح پوشش برف کاسته شده و این مساله متناسب با نرخ خشکسالی است و بطور غالب روند سطح پوشش برف و شاخص استاندارد شده بارش روند نزولی دارد. اما در سال‌هایی دیده شده که با وجود ترسالی و افزایش شاخص SPI از میزان سطح پوشش برف کاسته شده و یا برعکس. دلیل این امر را می‌توان در نوع بارش در طی این سالها جستجو نمود و احتمال داد که بیشتر بارش‌ها در سالهای ترسالی که سطح پوشش برف کم بوده، از نوع باران بوده و در سالهایی که خشکسالی بوده و پوشش برف افزایش داشته، نوع بارش بیشتر برف بوده است.

کلمات کلیدی: پوشش برف، خشکسالی، شاخص نرمال شده برف، شاخص بارش استاندارد شده.

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۳/۱۷

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۰/۰۴/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۰۳

نویسنده مسئول: فهیمة هوشمند، دانشجوی دکتری، گروه جغرافیا، واحد لارستان، دانشگاه آزاد اسلامی، لارستان، ایران، hooshmand_fahim@yahoo.com

1. NDSI

2. SPI

مقدمه

ذخایر برفی حوضه‌های کوهستانی از منابع مهم و قابل اطمینان کشور محسوب می‌شود. آگاهی از میزان ذخایر برفی در حوضه‌های آبریز برای استفاده آب معادل برف، ذخیره‌سازی، کنترل سیلابها و تامین آب مورد نیاز پایین دست لازم است. بنابراین، پایش مکانی و زمانی سطح پوشیده شده از برف و آب معادل برف از اهمیت بالایی در زمینه سامانه‌های هشدار سیل برخوردار است. گستره سطح پوشش برف به عنوان یک متغیر اقلیمی و هیدرولوژیک بسیار مهم برای پیش‌بینی رواناب در سطوح برفگیر در طول فصل ذوب است (فتاحی، ۱۳۹۰).

بعنوان مثال نتایج تحقیقاتی در حوزه آبخیز ستلج هندوستان حاکی از تاثیر سطح مناطق پوشیده از برف در برآورد رواناب می‌باشد. بر این اساس سطح پوشش برف متغیر با اهمیتی در پیش‌بینی رواناب ناشی از ذوب برف در حوزه‌های آبخیز بزرگ مانند حوزه آبخیز ستلج می‌باشد. (Ramamoorthi, 1987) لازم به ذکر است که پوشش‌های برفی ایران عمدتاً از نوع فصلی هستند و تنها در برخی از ارتفاعات بسیار بالا پوشش‌های دائمی برف دیده می‌شود (جلوخوانی نیارکی، ۱۳۸۱). از طرف دیگر، خشکسالی یک پدیده طبیعی و معمولاً پرتکرار است که اثر آن با کاهش میزان بارش مشخص می‌شود. تداوم و تکرار خشکسالی و یا وقوع خشکسالی با شدت زیاد منجر به کاهش کمی و کیفی منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌شود. یکی از جنبه‌های مهم خشکسالی در فصل سرد کاهش بارش برف و در نتیجه کاهش ذخایر آبی است. شناخت رابطه‌ی بین خشکسالی و سطح پوشش برف می‌تواند مدیران و برنامه‌ریزان را در جهت برنامه‌ریزی بهتر منابع آبی یاری دهد. مطالعه و اندازه‌گیری تغییرات سطوح برف گیر به عنوان یکی از منابع تامین آب بسیار حائز اهمیت است. با توجه به شرایط سخت فیزیکی محیط‌های کوهستانی امکان اندازه‌گیری دائم زمینی جهت تخمین منابع برفابی و تشکیل پایگاه داده وجود ندارد. به همین جهت استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه جهت شناسایی مناطق برفگیر و استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت مدلسازی تغییرات، ابزارهای قدرتمندی به شمار می‌روند (علوی پناه، ۱۳۹۵). داده‌های سنجنش از دور می‌توانند ارزیابی‌های بهتری از محدوده‌های پوشش برف در حوضه‌های آبریز نسبت به روش‌های مساحی سنتی ارائه دهند.

تهیه نقشه‌های پوشش برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای از آوریل ۱۹۶۰ توسط سنجنده TIROS-1 آغاز شده است اما با گذشت چند دهه از آغاز بکارگیری تصاویر ماهواره‌ای و سنجنده‌ها و تکنیک‌های مختلف جهت تهیه نقشه پوشش برف، همچنان درخواست برای افزایش دقت و سرعت این نقشه‌ها وجود دارد (متکان و همکاران، ۱۳۸۷). در سطح جهان مطالعات زیادی در خصوص سنجنش برف و برآورد سطح حاصل از آن با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS انجام گرفته است. از جمله این مطالعات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

طاهری شهرآئینی و همکارانش (۱۳۸۰) در مقاله‌ای نتایج آماری بدست آمده از ارتباط بین مساحت سطح و پوشش برف در حوضه آبریز رودخانه هیرمند در اواخر فصل بارش برف و مساحت سطح آب در هامونها در سیستان در اواسط بهار را ارائه داده‌اند. الماس‌پور و همکاران (۱۳۸۳) در تحقیقی تاثیر قدرت تفکیک‌پذیری اطلاعات ماهواره‌ای در تعیین سطح تحت پوشش برف را مورد بررسی قرار داده‌اند. بدین منظور سنجنده AVHRR ماهواره NOAA قدرت تفکیک‌پذیری اسمی معادل ۱۱۰۰ متر و سنجنده TM ماهواره لندست با قدرت تفکیک‌پذیری اسمی معادل ۵,۲۸ متر انتخاب و مقایسه کرده‌اند. شریفی و همکارانش (۱۳۸۵) در تحقیقی به تحلیل رابطه عمق برف با ارتفاع در حوضه صمصامی که یکی از سرشاخه‌های کارون است، پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهند که تاثیر ارتفاع روی عمق برف به طبقات ارتفاعی بستگی دارد. دینی و همکارانش (۱۳۸۵) در تحقیقی از داده‌های NOAA و MODIS به منظور شناسایی سطوح برف‌گیر ارتفاعات البرز مرکزی استفاده کرده‌اند.

همکارانش (۱۳۸۷) در پژوهشی به کمک مدل رقومی ارتفاع منطقه^۲ و ایجاد روابط رگرسیون میان درجه حرارت، ارتفاع و تصویر جهت شیب، تغییرات سطوح برف دار در تاریخ‌هایی که تصاویر MODIS موجود نبود به دست آورده‌اند. قربانی زاده خرازی و همکارانش (۱۳۸۸) در یک بررسی با استفاده از مدل ذوب برف و همچنین با استفاده از سناریوهای اقلیمی A و B به پیش‌بینی توزیع زمانی جریان رواناب ناشی از ذوب برف برای نیم قرن آینده در حوضه دز پرداخته‌اند. فتاحی و همکاران (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای به شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه‌های کوهستانی با استفاده از مدل ذوب برف پرداخته‌اند. بنی حبیب و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای سطح برف حوضه سد شاه چراغی با استفاده از تصاویر NOAA-AVHRR را بررسی نموده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که سطح پوشش برف محاسبه شده از تصویر سنجنده AVHRR-3 در حدود ۴ درصد بیشتر از سطح برف محاسبه شده از تصویر سنجنده AVHRR-2 است. میر موسوی و صبوری (۱۳۹۳) به پایش تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده مادیس در منطقه شمال غرب ایران پرداخته‌اند. هال و همکاران (۲۰۰۲)، نقشه‌های برف MODIS کل زمین را به صورت روزانه پوشش داده و با دقت مکانی ۵۰۰ متر ارائه می‌شوند. الگوریتم‌های استفاده شده در تولید این نقشه‌ها از طیف‌های انعکاس یافته در باندهای ۴ و ۶ برای تولید شاخص نرمال شده برف استفاده می‌کنند.

این پژوهش دو هدف رادنبال می‌کند که عبارت‌اند از:

۱- بررسی رابطه‌ی برف و خشکسالی با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی

۲- شناسایی رابطه‌ی سطح پوشش برف با خشکسالی در استان‌های آذربایجان غربی و شرقی.

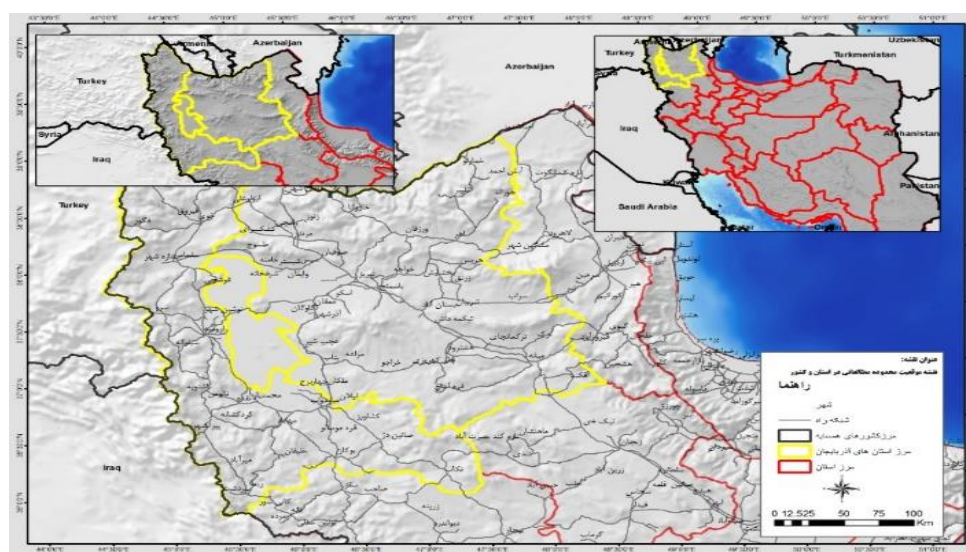
پرسش اصلی تحقیق (مساله تحقیق):

سطح پوشش برف در استان‌های آذربایجان غربی و شرقی در سال‌های خشک نسبت به سال‌های غیرخشک چه تغییراتی داشته است؟

مواد و روشها

موقعیت جغرافیایی و فیزیوگرافی

استان آذربایجان شرقی و غربی از نظر موقعیت جغرافیایی در ۴۴ تا ۴۸،۳۴ و ۳۵،۹ و ۱۶ ثانیه تا ۳۹،۷ قرار دارد. استان آذربایجان غربی در شمال غربی ایران قرار دارد و از شمال به جمهوری آذربایجان و ترکیه، از مغرب به کشورهای ترکیه و عراق، از شرق به استان آذربایجان شرقی و استان زنجان و از جنوب به استان کردستان محدود است. مساحت استان برابر ۳۷،۰۵۹ کیلومتر مربع است که سیزدهمین استان بزرگ کشور محسوب می‌شود و ۲،۲۵ درصد مساحت کل کشور را تشکیل می‌دهد.



شکل (۱): موقعیت محدوده مطالعاتی

1. SRM
2. DEM

محاسبه‌ی سطح پوشش برف

برای آشکارسازی برف در سطح حوضه آبریز محدوده مطالعاتی از شاخص نرمال شده برف استفاده شد. به این شکل سطح پوشش برف اولیه به دست آمد. برای اصلاح این سطح پوشش برف از دمای سطح زمین استفاده شد. در نتیجه با استفاده از شاخص پوشش گیاهی و باندهای حرارتی مادیس و بکارگیری روش پرایس دمای سطح زمین محاسبه شد و در نهایت سطح تحت پوشش برف با استفاده از دمای سطح زمین اصلاح شد. در نتیجه مناطق دارای دمای ۳ درجه سانتیگراد و کمتر به عنوان مناطق برفی در نظر گرفته شد.

در مقایسه با دیگر پوشش‌های سطحی زمین، برف به وسیله دو خصوصیت، متمایز می‌شود. اول بازتاب شدید در بخش مرئی و باند شماره ۴ و دوم، بازتاب کم در مادون قرمز نزدیک یا باند شماره ۶. برای محاسبه و جداسازی برف از دو خصوصیت مذکور می‌توان بهره جست که با ترکیب طیفی امکان عملیات کاملاً خودکار و با صرفه برای تعیین پوشش برف به وجود می‌آید. ترکیب بازتاب مرئی و بازتاب مادون قرمز با طول موج کوتاه در شاخص نرمال شده تمایز برفی به کار می‌رود. به طور کلی برف به وسیله مقادیر بالای شاخص نرمال شده برف از دیگر سطوح زمینی متمایز می‌گردد. در جداسازی پیکسل‌های برفی، مقادیری که شاخص نرمال شده برف بالاتر یا مساوی ۰/۴ دارند، به عنوان برف در نظر گرفته می‌شوند. جنگل‌ها به دلیل سایه انداختن در زیر خود و به دلیل کاهش صورت کسر شاخص مذکور باعث می‌شوند پوشش برف در آن‌ها، شاخص نرمال شده برف کمتر از ۰/۴ داشته باشد. به منظور اصلاح این مشکل در مناطق جنگلی می‌توان شاخص نرمال شده برف را با شاخص پوشش گیاهی^۱ ترکیب نمود. در این صورت مناطقی که شاخص نرمال شده برف کمتر از ۰/۴ دارند ولی شاخص پوشش گیاهی بزرگی دارند (بالاتر از صفر) می‌توانند به عنوان پوشش برفی در مناطق جنگلی به کار روند. روش دیگر بر طرف کردن مشکل فوق استفاده از باند ۷ به جای باند ۶ در محاسبات است. باند ۶ به دلیل سابقه در تعیین ابر انتخاب شده است اما تعدادی از گونه‌های جنگلی بخصوص خزان‌کننده‌ها بازتاب بالای در باند ۶ دارند. این امر باعث می‌شود مقدار شاخص نرمال شده برف پایین آید. به همین خاطر استفاده از باند ۷ می‌تواند یک روش اصلاحی باشد. اما دو ایراد برای استفاده از باند ۷ وجود دارد. اول این که مقادیر شاخص نرمال شده برف برای باند ۷ جنگل‌های مخروطی پوشیده از برف خیلی نزدیک‌تر به شرایط بدون برف می‌باشد و دوم این که باند ۷ نیاز به محاسبه مجدد مقدار آستانه شاخص نرمال شده برف دارد.

به غیر از شاخص نرمال شده برف از دو معیار دیگر برای طبقه‌بندی برف استفاده می‌شود.

بازتاب مطلق باند ۲ بالاتر از ۰/۱۱، این معیار برای جداسازی برف از آب لازم است زیرا آب نیز شاخص نرمال شده برف بیشتر از ۰/۴ دارد.

بازتاب باند ۴ بالاتر یا مساوی ۰/۱۰، این عامل اشیا تاریک را از طبقه‌بندی در واحد برف‌دار جدا می‌سازد، هرچند این اشیا شاخص نرمال شده برف بالاتر از ۰/۴ داشته باشند. با ترکیب مجموع این عامل‌ها و تبدیل تصاویر به صورت صفر و یک و ضرب تصاویر در یکدیگر پیکسل‌های برف‌دار به راحتی جدا می‌شود.

تولیدات سطح پوشش برف توسط سنجنده MODIS

تولیدات داده‌های پوشش برف مادیس که توسط الگوریتم SNOWMAP تولید می‌شود شامل تولیدات پوشش اولیه برف (MOD10-L2) تا تولیدات شبکه روزانه و ۸ روزه سطح پوشش برف با مقیاس جهانی MOD10A1 و MOD10A2 می‌باشند. مشخصات کامل این تولیدات توسط (Hall, Riggs et al., 2002) توضیح داده شده است. تمرکز بیشتر بر روی تولیدات روزانه و ۸ روزه سطح پوشش برف از سنجنده مودیس می‌باشد. لازم به ذکر است که تولیدات ۸ روزه مودیس، حداکثر سطح پوشش برف را در طول یک دوره ۸ روزه نشان می‌دهند.

برای تولید داده‌های ۸ روزه برف از مودیس، هدف الگوریتم به حداکثر رساندن مقدار پیکسل‌های حاوی برف و به حداقل رساندن مقدار پیکسل‌های ابری می‌باشند. یک سلول زمانی که در طی ۸ روز پوشیده از ابر باشد به عنوان سلول ابری لحاظ می‌شود، اگر برف در هر یک از ۸ روز دیده شود، آن سلول در مجموعه‌ی داده‌ی حداکثر گستره‌ی برف^۱ به عنوان برف لحاظ می‌شود، اگر هیچ برفی برای پیکسل دیده نشود یک عدد صحیح منطبق با نوع آن سطح با آن پیکسل داده می‌شود، هر دو تولیدات روزانه و ۸ روزه سطح برف از تولیدات سطح ۳ هستند و یک منطقه‌ای با وسعت $۱۲۰۰ * ۱۲۰۰$ کیلومتر مربع را می‌پوشانند و دارای دقت زمانی ۱ روزه هستند.

پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

داده‌های ماهواره‌ای MODIS در باندهای مرئی و مادون قرمز به منظور تعیین گستره پوشش برف از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ به صورت ۸ روزه جمع‌آوری گردید. اطلاعات فوق به فرمت HDF و از طریق FTP ارائه می‌گردد.

تصحیح هندسی

منظور از تصحیح هندسی در درجه اول، زمین مرجع کردن تصویر یعنی دادن سیستم تصویر و مختصات مناسب به تصویر (ژئورفرنس کردن) می‌باشد. تصاویر به روش استفاده از نقاط کنترل زمینی تصحیح شده و در مرحله بعد برای تصحیح هندسی تصاویر با استفاده از روش نمونه‌برداری مجدد، تصاویر Geo-Coding می‌شوند تا کلیه تصاویر از نظر هندسی با هم تطابق پیدا کنند و شرایط یکسانی را به دست آورند. جهت تصحیح هندسی از ۴۰ نقطه کنترلی استفاده شده و دقت هندسی برابر با ۰٫۳ پیکسل است.

الگوریتم مورد استفاده در استخراج سطوح پوشیده شده از برف

الگوریتم نقشه برف^۲ کلین (۱۹۹۸) و هال و همکاران (۱۹۹۸)، به منظور تشخیص سطوح پوشیده شده از برف با دقت مکانی ۵۰۰ متر و به صورت ممتد در هر بار چرخش طراحی شده است. توسط این الگوریتم داده‌های روزانه و ۸ روزه برف و با مقیاس جهانی تولید می‌شود. در این الگوریتم برای تشخیص سطوح پوشیده شده از برف از شاخص نرمال شده سطح برف کمک گرفته می‌شود. به دلیل انعکاس پایین برف در باندهای مادون قرمز و انعکاس بالا در باندهای مرئی، این شاخص می‌تواند در تشخیص پوشش برف از سایر پدیده‌ها بسیار مفید باشد.

شاخص نرمال شده برف با داده‌های MODIS با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$NDSI = \frac{(band4 - band6)}{(band4 + band6)}$$

استخراج داده‌های سطح پوشش برف

به منظور استخراج سطح پوشش برف استان آذربایجان، ابتدا داده‌های ماهواره‌ای ۸ روزه سطح برف MOD10A2 به فرمت HDF از سایت WIST دریافت گردید، این تصاویر مربوط به شیت H21V05 و H22V05 از سایت WIST می‌باشد. انتخاب این دو شیت به این جهت می‌باشد که تمامی سطح استان را در برمی‌گیرد. سپس در محیط نرم‌افزار Erdas Imagine عملیات Import تصاویر و تبدیل آن به فرمت image انجام گردید و سپس mosaic کردن این دو تصویر نیز انجام و در ادامه پس از عملیات زمین مرجع نمودن در انتها محدوده استان از تصاویر برش داده می‌شود. پس از مراحل فوق با استفاده از Modeler در نرم‌افزار Erdas Imagine با روی هم گذاری تصاویر، در ماه‌های آبان تا فروردین مربوط به هر سال از دوره آماری ۱۵ ساله، سطوح پوشش برف واقعی برای هر یک از این ۶ ماه در طول این دوره آماری مشخص می‌گردند. دریافت داده‌های ماهواره‌ای متناسب با زمان بارش برف بوده که از داده‌های سازمان هواشناسی استفاده شده است. متناسب با زمان بارش برف داده‌های ماهواره‌ای انتخاب شده است. سیستم تصویر داده‌ها WGS84 و سیستم مختصات جغرافیایی جهانی بوده است. پردازش داده‌ها در محیط نرم‌افزار ERDAS ENVI انجام شده است.

1. Maximum Snow Extent
2. Snow Map

تصاویر پوشش برف حاصل شده در هر یک از ماه‌های دوره آماری جهت تلفیق با داده‌های دمای ماهانه (متوسط حداکثرها، متوسط حداقلها و میانگین دما) از ایستگاههای آب و هواشناسی به محیط GIS منتقل می‌شود و در پایان، با روی هم اندازی لایه‌های رستری تولید شده، سطح پوشش برف ۱۵ ساله با لایه رستری خطوط ارتفاعی دمای صفر درجه در نرم‌افزار ArcMap، نقشه‌های واقعی پوشش برف و پتانسیل ارتفاعی دمای صفر درجه بدست می‌آیند.

برآورد خشکسالی با استفاده از شاخص بارش استاندارد شده

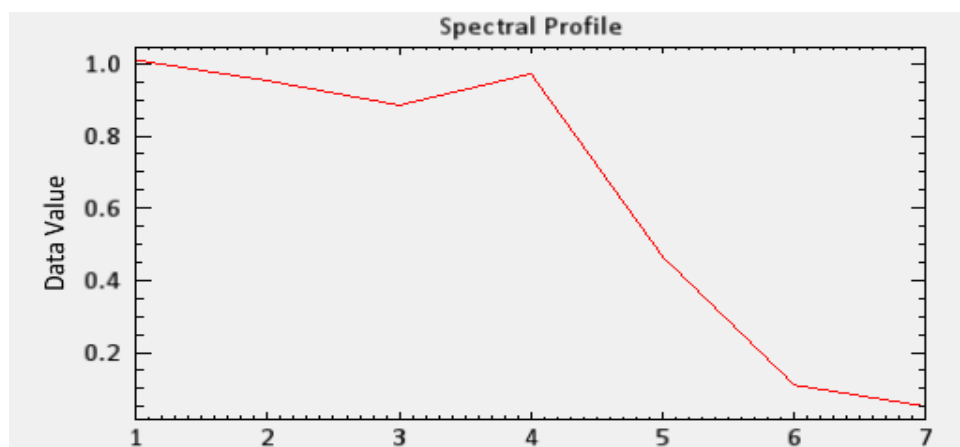
برای بدست آوردن خشکسالی یک منطقه بهترین و ساده‌ترین شاخص، شاخص SPI بوده که با داشتن سطح نزولات جوی در سال می‌توان درصد خشکسالی را محاسبه کرد. شاخص SPI برای هر منطقه براساس ثبت بارندگی‌های طولانی مدت آن محاسبه می‌شود. در ابتدا توزیع آماری مناسب، بر آمار بلندمدت بارندگی‌ها برازش داده می‌شود. سپس تابع تجمعی توزیع با استفاده از احتمالات مساوی به توزیع نرمال تبدیل می‌گردد، بطوریکه استاندارد شده و متوسط آن برای هر منطقه و دوره مورد نظر صفر شود که این توزیع معمولاً گاما در نظر گرفته می‌شود. مقادیر مثبت SPI نشان‌دهنده بارندگی بیشتر از بارش متوسط و مقادیر منفی آن معنای عکس را دارد. طبق این روش دوره خشکسالی هنگامی اتفاق می‌افتد که SPI به طور مستمر منفی و به مقدار ۱- یا کمتر برسد و هنگامی پایان می‌یابد که SPI مثبت گردد بنابراین مدت دوره خشکسالی با شروع و خاتمه ارقام منفی SPI تعیین می‌شود و مقادیر تجمعی SPI نیز بزرگی و شدت دوره خشکسالی را نشان می‌دهد.

جدول (۱): طبقه بندی بارندگی استاندارد شده (SPI)

وضعیت	درصد از نرمال
مرطوب شدید	بزرگتر یا مساوی از ۲
مرطوب متوسط	۱/۵۰ تا ۱/۹۹
کمی مرطوب	۱ تا ۱/۵۰
نرمال	۰/۹۹ - تا ۰/۹۹
خشکی ضعیف	تا -۱/۴۹
خشکی متوسط	۱/۵۰ - تا -۱/۹۹
خشکی شدید	کوچکتر یا مساوی -۲

بررسی ارتباط پوشش برف و خشکسالی

در نهایت پس از استخراج خط برف در سالهای مختلف و همچنین شاخص SPI برای سالهای متمادی بر اساس روش‌های همبستگی روابط بین آنها تبیین گردید.

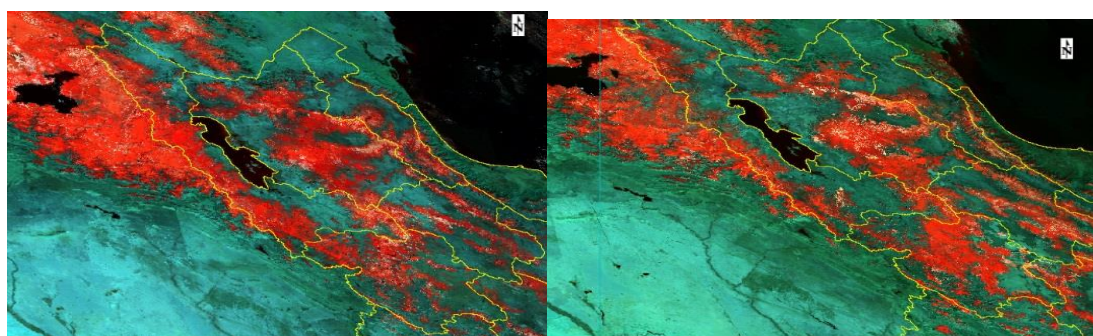


شکل (۲): رفتار طیفی برف در محدوده مطالعاتی

بر اساس شکل ۲ در بالا مشاهده می‌گردد که در باندهای ۱ تا ۷ ماهواره مودیس در باند ۴ برف انعکاس بالا و در باندهای ۶ و ۷ جذب دارد و جهت ترکیب باند RGB باند ۴ متناسب با R و ۶ و ۷ متناسب با G و B است و در نتیجه برف به رنگ قرمز قابل مشاهده است.

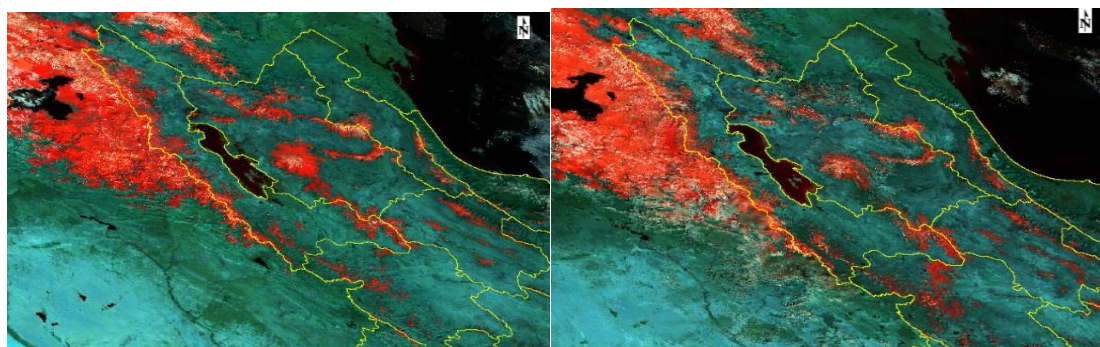
آشکار سازی برف با استفاده از شاخص نرمال شده برف

شکل ۳ تا ۱۳ ترکیب رنگی از پوشش برفی محدوده مطالعاتی می‌باشد که با ترکیب باندهای ۴، ۶ و ۷ به دست آمده است. علاوه بر این محدوده حوضه مورد مطالعه با رنگ زرد مشخص شده است. در این تصویر پوشش برفی منطقه با رنگ قرمز قابل مشاهده می‌باشد. با این وجود این ترکیب توان آشکار سازی کامل برف را نداشته و لازم است که از شاخص نرمال شده برف برای محاسبه دقیق محدوده‌های برفی استفاده شود. شکل زیر رفتار طیفی برف را در محدوده مطالعاتی نشان می‌دهد.



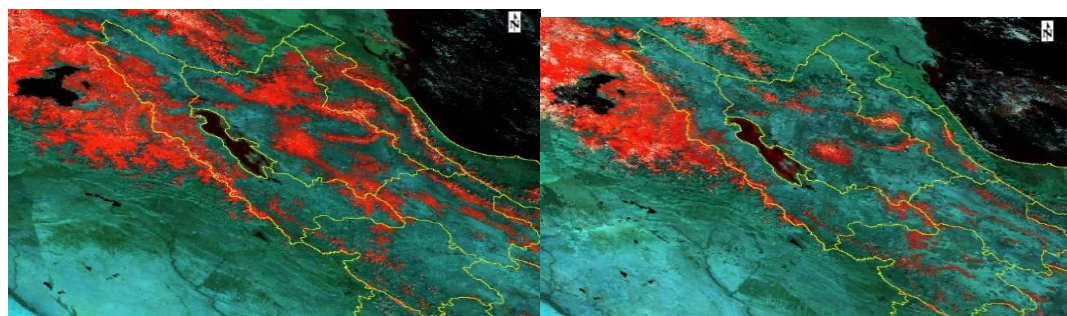
شکل (۳): ترکیب باندهای ۴۶۷ ماهواره مودیس سال ۱۳۸۵

شکل (۴): ترکیب باندهای ۴۶۷ از ماهواره مودیس سال ۱۳۸۶



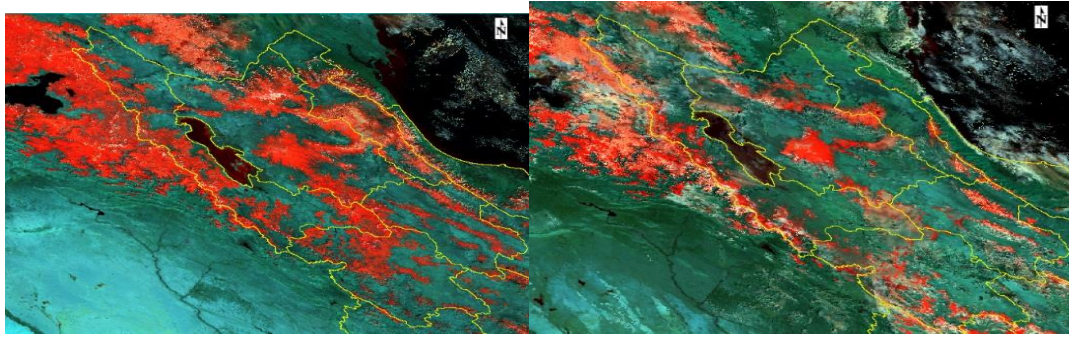
شکل (۵): ترکیب باندهای ۴۶۷ از ماهواره مودیس سال ۱۳۸۷

شکل (۶): ترکیب باندهای ۴۶۷ از ماهواره مودیس سال ۱۳۸۸



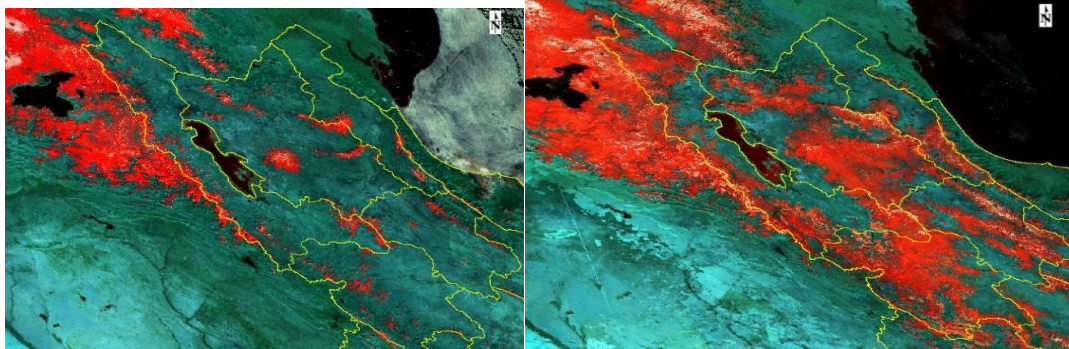
شکل (۷): ترکیب باندهای ۴۶۷ از ماهواره مودیس سال ۱۳۸۹

شکل (۸): ترکیب باندهای ۴۶۷ از ماهواره مودیس سال ۱۳۹۰



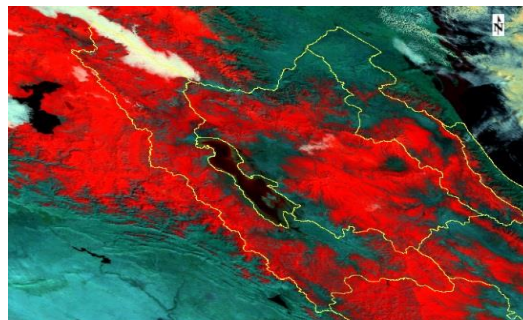
شکل (۹): ترکیب بانندی ۴۶۷ از ماهواره مودیس سال ۱۳۹۱

شکل (۱۰): ترکیب بانندی ۴۶۷ از ماهواره مودیس سال ۱۳۹۲



شکل (۱۱): ترکیب بانندی ۴۶۷ از ماهواره مودیس سال ۱۳۹۳

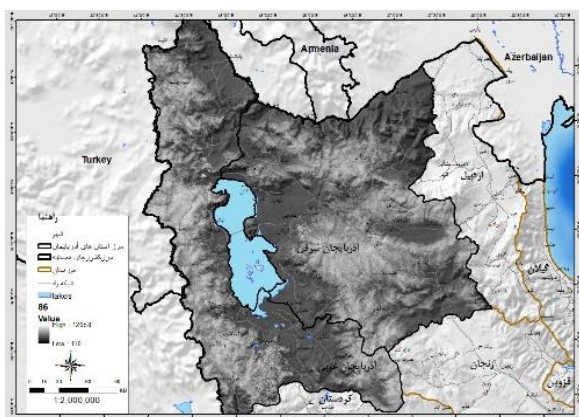
شکل (۱۲): ترکیب بانندی ۴۶۷ از ماهواره مودیس سال ۱۳۹۴



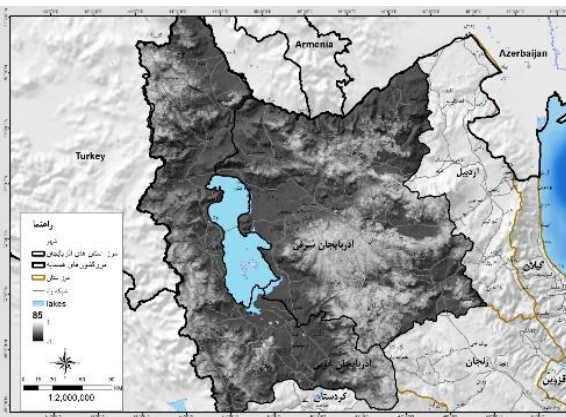
شکل (۱۳): ترکیب بانندی ۴۶۷ از ماهواره مودیس سال ۱۳۹۵

در کاربرد شاخص نرمال شده برف پیکسلهایی با ارزش -1 تا $+1$ ایجاد خواهد شد که ارزشهایی که از -1 تا صفر می‌باشند نشان دهنده مناطقی است که برف در آنها وجود ندارد و از صفر تا $+1$ مناطقی را شامل می‌شود که برف با توجه به سنگینی و سبکی بسته به عمق آن ضرایب مثبت را به خود اختصاص می‌دهد. هر قدر عمق برف بیشتر باشد، عدد مورد نظر به 1 نزدیکتر و هر چه کم عمق‌تر باشد به صفر متمایل می‌شود. الگوریتم نقشه برفی MODIS از باندهای ۴ و ۶ این سنجنده بطور اتوماتیک جهت استخراج شاخص برفی تفاضلی نرمال شده اجرا می‌گردد.

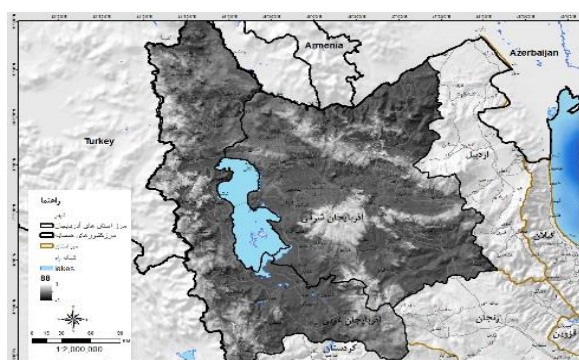
به منظور انتخاب کارآمدترین روش جهت پایش پوشش برف، ابتدا، نقشه‌های شاخص نرمال شده برف برای ماه‌های مورد نظر، استخراج گردید و سپس محدوده‌های برفی از سایر محدوده‌ها تفکیک شد. نقشه شماره ۱۴ تا ۲۴ حاصل اجرای این عملکرد می‌باشد که به عنوان نمونه ارائه شده است. نقشه‌های برفی نهایی تهیه شده در فرمت باینری بوده و از منطق بولین پیروی می‌کند. در مدل شاخص نرمال شده برف کل تصویر به دو پهنه برفی و بدون برف طبقه‌بندی می‌گردد لکه‌های روشن نشان‌دهنده پوشش برف و نواحی تیره فاقد برفند. در شکل‌های زیر شاخص نرمال شده برف از سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۶ نمایش داده می‌شود.



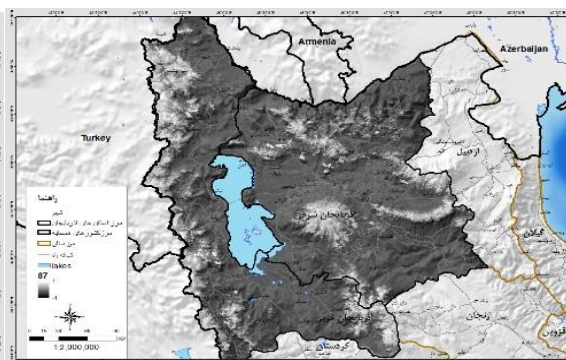
شکل (۱۴): شاخص NDSI برای سال ۱۳۸۵



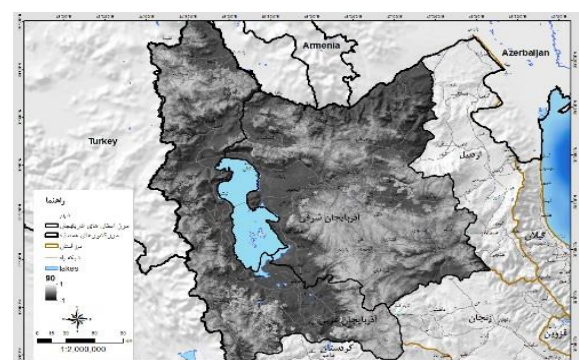
شکل (۱۵): شاخص NDSI برای سال ۱۳۸۶



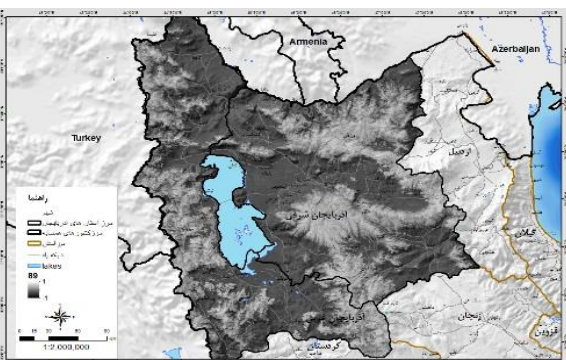
شکل (۱۶): شاخص NDSI برای سال ۱۳۸۷



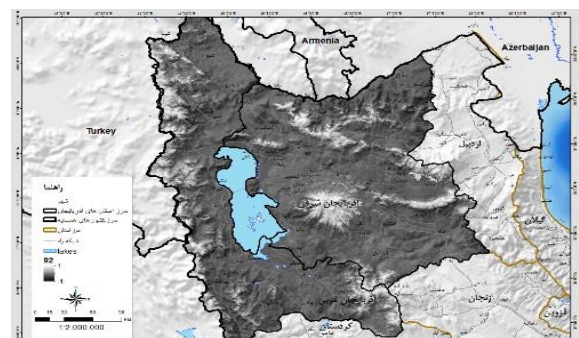
شکل (۱۷): شاخص NDSI برای سال ۱۳۸۸



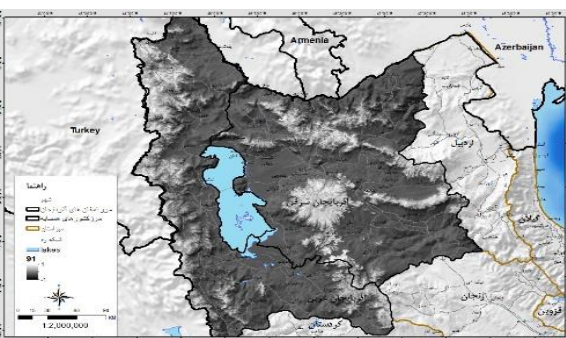
شکل (۱۸): شاخص NDSI برای سال ۱۳۸۹



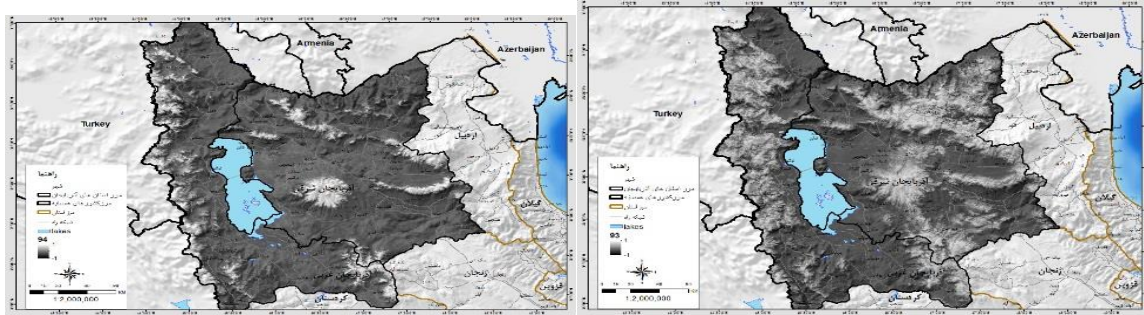
شکل (۱۹): شاخص NDSI برای سال ۱۳۹۰



شکل (۲۰): شاخص NDSI برای سال ۱۳۹۱

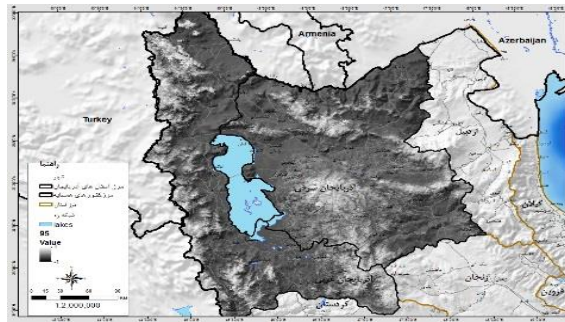


شکل (۲۱): شاخص NDSI برای سال ۱۳۹۲



شکل (۲۲): شاخص NDSI برای سال ۱۳۹۳

شکل (۲۳): شاخص NDSI برای سال ۱۳۹۴



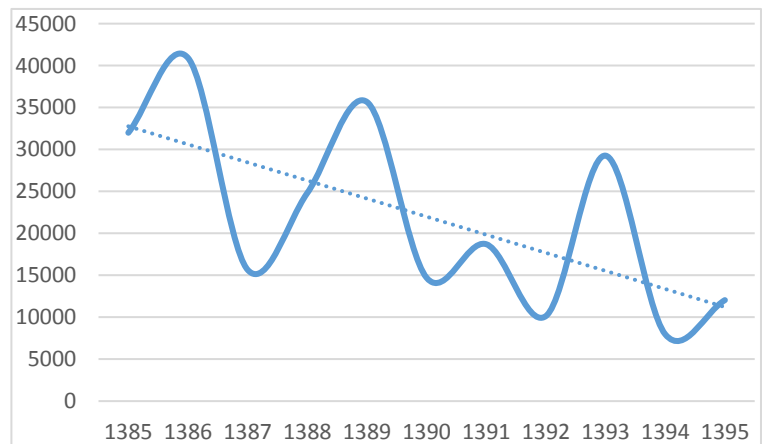
شکل (۲۴): شاخص NDSI برای سال ۱۳۹۵

پس از اجرای شاخص نرمال شده برف بر روی داده‌های ماهواره‌ای محدوده‌هایی که دارای برف است با تبدیل آنها به لایه‌های وکتوری مساحت آنها برآورد گردیده است و در شکل زیر قابل مشاهده است. همچنین مساحت پوشش برف برای سال‌های مختلف نیز برآورد گردیده است.

جدول (۲): مساحت برآورد شده توسط شاخص NDSI

سال	مساحت	درصد مساحت
1395	12038	14.56
1394	7966	9.63
1393	29263	35.38
1392	10145	12.27
1391	18705	22.62
1390	14707	17.78
1389	35662	43.12
1388	24808	30.00
1387	15656	18.93
1386	40917	49.48
1385	31994	38.69

شکل (۲۵): نمودار مساحت برف در سال‌های مختلف برای آذربایجان غربی و شرقی



بررسی روند تغییرات خشکسالی

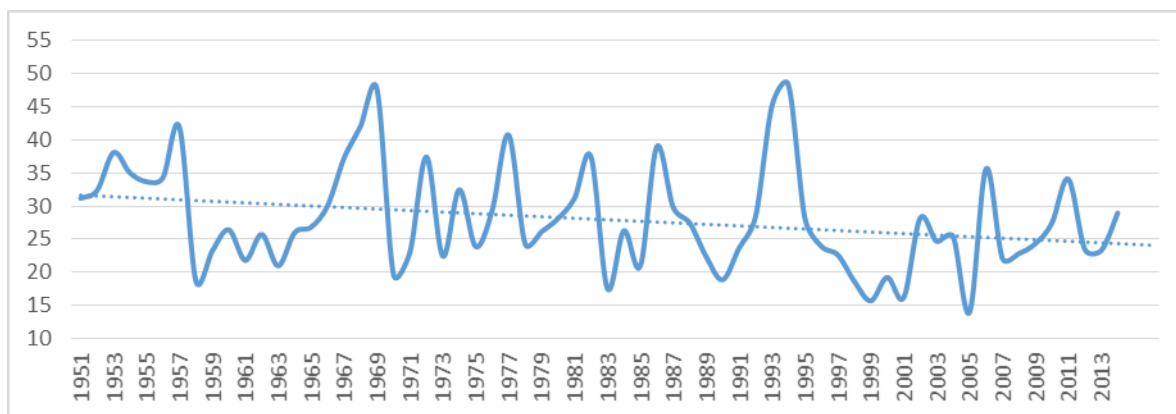
جهت مطالعات و برآورد خشکسالی از شاخص SPI استفاده گردید است. شاخص SPI بر اساس رابطه زیر محاسبه می‌گردد که بر اساس آن: P_i : بارندگی سال، P : متوسط بارش دراز مدت، Q : انحراف معیار

$$SPI = \frac{P_i - \bar{P}}{\sigma}$$

مطالعات و بررسی خشکسالی نشان می‌دهد که به دلیل کاهش نزولات جوی در طی سالیان اخیر استان‌های آذربایجان شرقی و غربی خشکسالی‌های شدیدی را متحمل بوده است. بطوریکه این خشکسالی‌ها از ۱۳۷۹ و ۱۳۸۰ آغاز شده و تنها در چند سال گذشته اندکی از میزان آن کاسته شده است.

آذربایجان شرقی

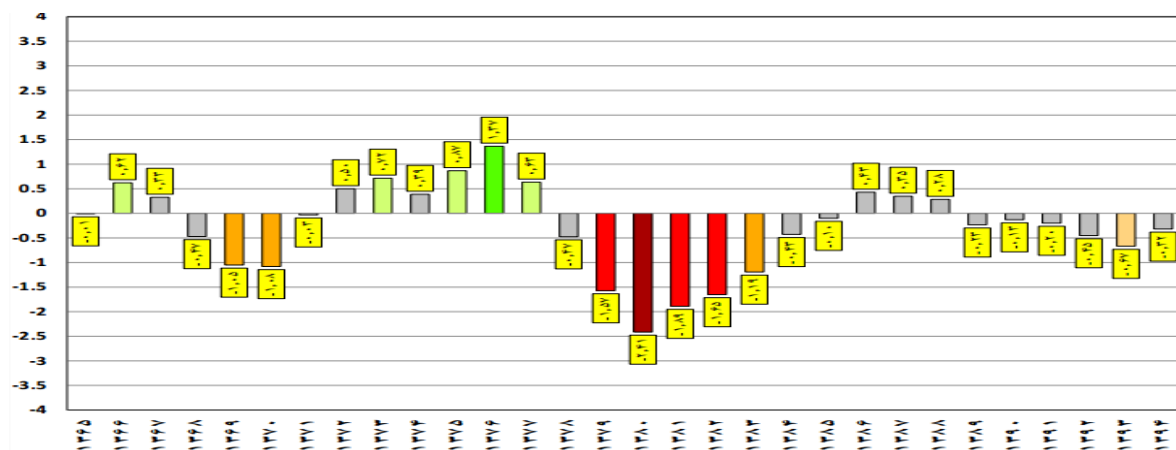
بارندگی در استان آذربایجان شرقی در دهه‌های اخیر نوسانات قابل توجه‌ای داشته و همانطور که در نمودار زیر مشاهده می‌شود میزان بارش سیر نزولی دارد و از سال ۱۳۷۹ وارد مرحله خشکسالی شده است.



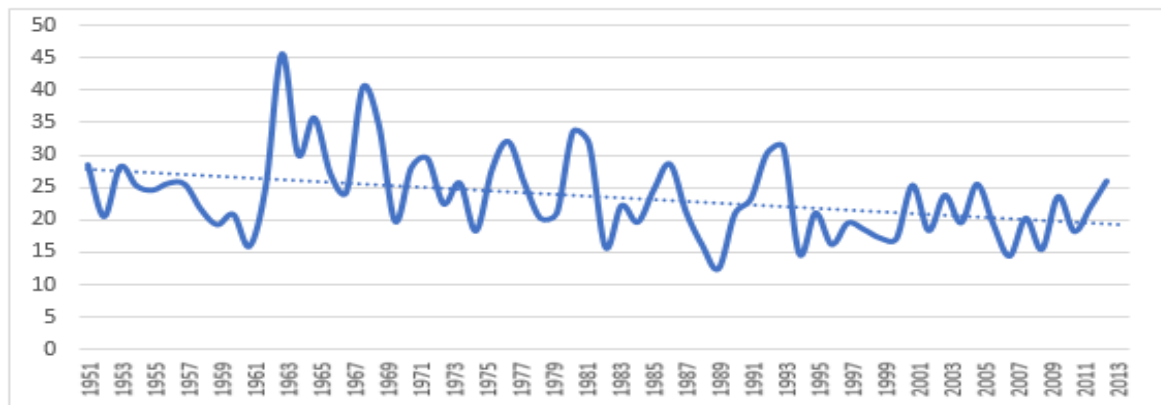
شکل (۲۶): نمودار بارش بلند مدت ایستگاه ارومیه

جدول (۳): مشخصات در بازه زمانی ۳۰ ساله آذربایجان شرقی SPI

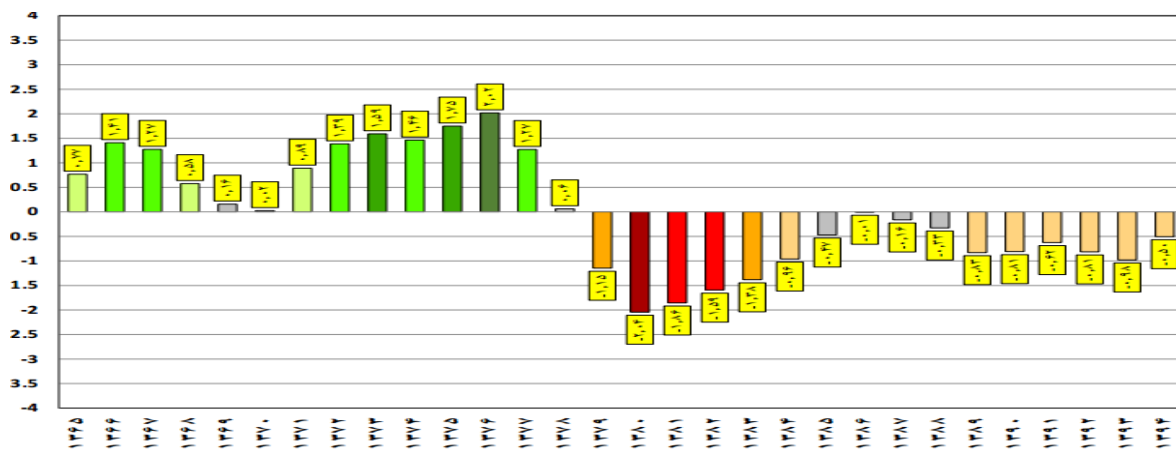
SPI	ترسالی	خشکسالی بسیار شدید	خشکسالی شدید	خشکسالی متوسط	نرمال
ارومیه	8	0	1	4	26
اوربان	8	0	2	5	24
بند	10	1	2	4	22
یل بهراملو	6	0	3	5	25
سلماس	8	0	2	4	25
چویلوجه	8	0	1	5	25
خوی	6	1	0	7	25
گلمانخانه	5	1	0	4	29
قاسملو	8	0	4	2	25
میان‌دوآب	6	3	2	2	26
نقده	7	2	1	4	25



شکل (۲): روند تغییرات شاخص خشکسالی در آذربایجان شرقی



شکل (۲۸): نمودار بارش بلند مدت ایستگاه ارومیه



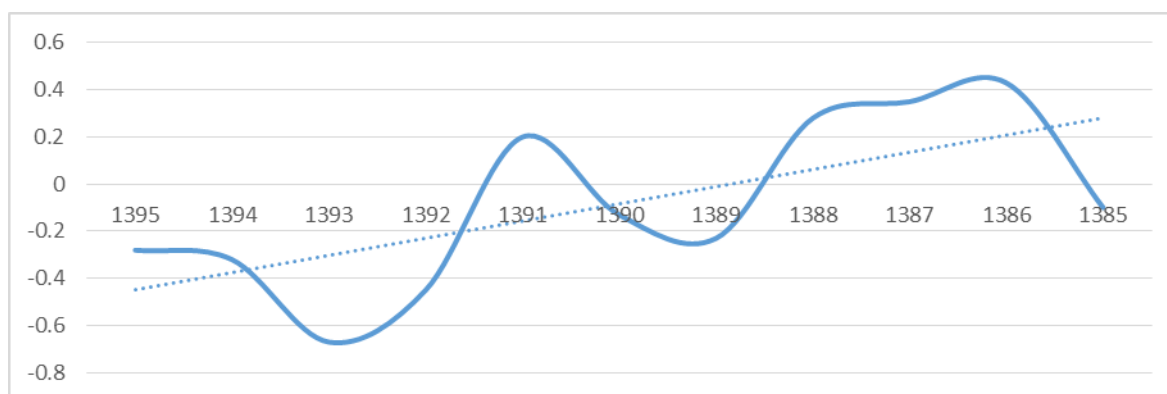
شکل (۲۹): روند تغییرات شاخص خشکسالی در آذربایجان غربی

آذربایجان غربی

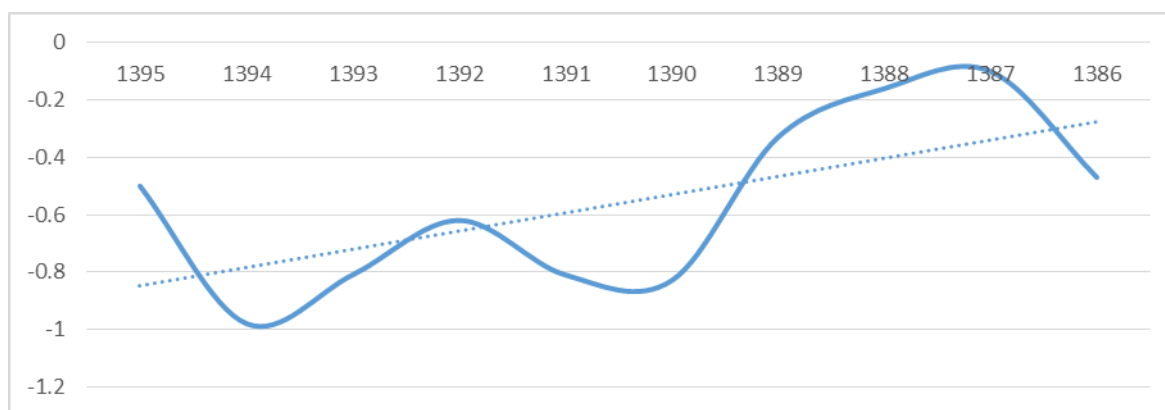
استان آذربایجان غربی نیز مانند استان همجوار شرقی کاهش بارندگی و خشکسالی از سال ۱۳۷۹ تجربه نموده و مطابق با نمودارهای زیر بارندگی روند نزولی داشته است.

بررسی ارتباط پوشش برف و خشکسالی

به منظور بررسی و ارتباط پوشش برف و خشکسالی شاخص SPI برای سالهای ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ برای استانهای آذربایجان شرقی و غربی برآورد گردید. نمودارهای زیر شاخص SPI را نشان می‌دهد. داده‌های اقلیمی مربوط به ایستگاههای کل استان بوده و از میانگین کلی استان استفاده شده است.



شکل (۳۰): شاخص SPI برای استان آذربایجان شرقی



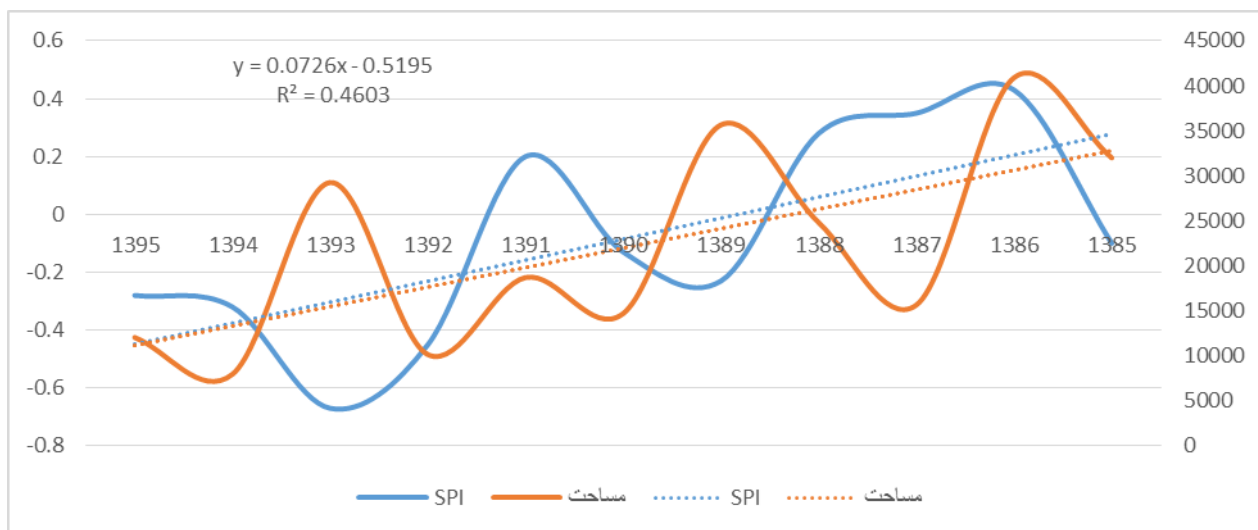
شکل (۳۱): شاخص SPI برای استان آذربایجان غربی

بر اساس نمودارهای SPI دو استان ملاحظه می‌گردد که از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ هر دو استان با خشکسالی مواجه بوده است، با این تفاوت که این میزان در آذربایجان غربی از شدت بیشتری برخوردار است. در ادامه مساحت پوشش برف و شاخص SPI استان آذربایجان شرقی با یکدیگر مقایسه گردید که در نمودار و جدول زیر قابل مشاهده است.

جدول (۴): شاخص SPI و مساحت پوشش برف

سال	SPI	مساحت	نسبت شاخص خشکسالی به سال پیش	نسبت مساحت پوشش برف به سال پیش
1395	-0.28	12038	0.04	4072
1394	-0.32	7966	0.35	-21297
1393	-0.67	29263	-0.22	19118
1392	-0.45	10145	-0.65	-8560
1391	0.2	18705	0.33	3998
1390	-0.13	14707	0.1	-20955
1389	-0.23	35662	-0.51	10854
1388	0.28	24808	-0.07	9152
1387	0.35	15656	-0.08	-25261
1386	0.43	40917	0.53	8923
1385	-0.1	31994	-0.1	31994

جدول بالا رابطه خشکسالی و مساحت پوشش برف را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول سال ۸۶، ۹۱ و ۹۵ با افزایش SPI میزان مساحت پوشش برف افزایش داشته و در سال‌های ۸۷ و ۹۲ با کاهش شاخص SPI مساحت پوشش برف نیز کاهش داشته است. اما نمودار زیر روند دو پارامتر SPI و مساحت پوشش برف را نشان می‌دهد و این نمودار گویای روند کاهشی شاخص SPI و مساحت پوشش برف است.



شکل (۳۲): نمودار مساحت پوشش برف و شاخص SPI

این نمودار نشان می‌دهد که از سال ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ شاخص SPI و مساحت پوشش برف دارای شیب نزولی است. با وجود اینکه در بعضی از سال‌ها با افزایش بارش‌ها، مساحت پوشش برف کاهش داشته است، اما روند نشان می‌دهد که این دو متغیر با یکدیگر رابطه داشته و با کاهش شاخص SPI مساحت پوشش برف نیز با کاهش همراه بوده است. ارتباط معناداری بین شاخص SPI و مساحت پوشش برف وجود دارد و انطباق صد در صدی با نتایج بدست آمده را نشان می‌دهد. به طوریکه همان گونه که در سطور بالا ذکر گردید این رابطه مثبت و کاملاً معنادار می‌باشد و با کاهش شاخص SPI مساحت پوشش برف نیز با کاهش همراه بوده است.

نتیجه گیری

در این پژوهش دو نکته حائز اهمیت بوده است. این دو نکته شامل برآورد سطح پوشش برف و برآورد نرخ خشکسالی در سال‌های اخیر بوده که هر یک از آنها بر اساس داده‌های ماهواره‌ای و داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی برآورد گردیده است. در این راستا در ابتدا داده‌های ماهواره‌ای بر اساس سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵ از سایت ناسا تهیه گردید و پس از اعمال تصحیحات هندسی و اتمسفری بر اساس شاخص نرمال شده برف و استفاده از باندهای ۴ و ۶ جهت تعیین سطح پوشش برف مورد استفاده قرار گرفته. همچنین جهت برآورد نرخ خشکسالی در طی این سالها نیز از داده‌های هواشناسی ایستگاههای سینوپتیک استان‌های آذربایجان غربی و شرقی استفاده شده که داده‌های بارش بلند مدت استخراج شده و با استفاده از شاخص SPI نرخ خشکسالی برآورد گردیده است. مطالعات و برآورد سطح پوشش برف بطور کلی نشان داده که از میزان سطح پوشش برف کاسته شده و این مساله متناسب با نرخ خشکسالی است و بطور غالب روند سطح پوشش برف و شاخص استاندارد شده بارش روند نزولی دارد. اما در سالهایی دیده شده که با وجود ترسالی و افزایش شاخص SPI از میزان سطح پوشش برف کاسته شده و یا برعکس در برخی سالها با وجود کاهش SPI بر میزان سطح پوشش برف افزوده شده است و با وجود خشکسالی، سطح پوشش برف افزایش داشته است. دلیل این امر را می‌توان در نوع بارش در طی این سالها جستجو نمود و احتمال داد که بیشتر بارش‌ها در سالهای ترسالی که سطح پوشش برف کم بوده از نوع باران بوده و در سالهایی که خشکسالی بوده و پوشش برف افزایش داشته نوع بارش بیشتر برف بوده است. داده‌های ماهواره‌ای به دلیل پوشش سراسری و دقت قابل توجه می‌تواند در برآورد سطح پوشش برف بسیار مناسب و کارآمد باشد.

متناسب با روند خشکسالی که شاخص SPI با روند نزولی روبرو است، سطح پوشش برف نیز روند نزولی دارد و متناسب با افزایش خشکسالی، سطح پوشش برف نیز کاهش می یابد، اما باید متذکر بود که این روند بطور مطلق نبوده و در بعضی از سالها روند خشکسالی با پوشش برف مطابق نمی باشد.

پیشنهادات

- ۱- در مطالعات سطح پوشش برف و خشکسالی پیشنهاد می شود نوع بارش تفکیک و بین نرخ خشکسالی و پوشش برف ارتباط برقرار شود و تاثیر خشکسالی بر پوشش برف بصورت مستقل ارزیابی شود. زیرا در مطالعه مشاهده شده که در برخی از سالهای ترسالی پوشش برف کاهش یافته و دلیل آن را می توان تغییر الگوی بارش دانست.
- ۲- علاوه بر سطح پوشش برف، عمق و چگالی آن نیز مطرح بوده که می توان بین تاثیر خشکسالی بر عمق و چگالی برف و در نتیجه آب حاصل از ذوب برف مطالعه نمود و در برنامه ریزی های منطقه ای مد نظر قرار داد.
- ۳- جهت برآورد خشکسالی علاوه بر داده های هواشناسی و روش های اقلیمی، تصاویر ماهواره ای به دلیل پوشش سراسری کارایی قابل توجهی دارد که این داده ها می تواند خروجی های بسیار مناسبی را ارائه دهد.

منابع

- الماس پور، فرهاد، اردبیلی اصل، بهرام، ۱۳۸۲، تعیین حجم ذخایر برفی حوضه های آبریز سدهای اهر، علویان و نهبند، نشریه داخلی سازمان آب منطقه ای استان آذربایجان غربی.
- بنی حبیب، محمد ابراهیم، جمالی، فریماه سادات، ثقفیان، بهرام، ۱۳۹۲، پایش سطح برف حوضه سد شاه چراغی با استفاده از تصاویر سنجنده NOAA-AVHRR، پژوهش های جغرافیای طبیعی، شماره ۳، ص ۲۹-۱۲.
- جلوخوانی نیارکی، معصومه، ۱۳۸۱. تهیه نقشه پوشش برف با استفاده از تصاویر NOAA-AUHR و تکنیک های GIS (مطالعه موردی حوضه آبریز سد کرج)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.
- حسینی، مجید، پرهمت، جهانگیر، ۱۳۸۶، ارزیابی مدل ذوب برف (SRM) در حوضه آبخیز طالقان، چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران.
- دینی، غلام رضا، ضیائیان فیروز آبادی، پرویز و فرج زاده اصل، منوچهر، ۱۳۸۵، بررسی تغییرات سطوح برفگیر در ارتفاعات البرز مرکزی با استفاده از تصاویر سنجنده های MODIS و AVHRR، همایش ژئوماتیک.
- رایگانی، بهزاد، خواجه الدین، سید جمال الدین، سلطانی کوبایی، سعید، ۱۳۸۵، تهیه نقشه های سطح پوشیده از برف با استفاده از تصاویر ماهواره ای مادیس در زیر حوضه قلعه شاهرخ، همایش منطقه ای بهره برداری از منابع آب حوضه های کارون و زاینده رود.
- رایگانی، بهزاد، خواجه الدین، س.ج.، سلطانی کوبایی، س.، براتی، ب.، ۱۳۸۷، محاسبه تغییرات نقشه های پوشش برفی تهیه شده از تصاویر ماهواره ای MODIS در دوره های فاقد تصویر، نشریه علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی)، شماره ۴۴، ص ۳۱۵.
- رسولی، علی اکبر، ادهمی، سلام، ۱۳۸۶، محاسبه آب معادل از پوشش برفی با پردازش تصاویر سنجنده MODIS، جغرافیا و توسعه، شماره ۱۰.
- روشنی، نسرین، ولدان زوج، محمد جواد و یوسف رضایی، ۱۳۸۵، برف سنجی با استفاده از داده های سنجش از دور (مطالعه موردی - منطقه یخچالی علم چال) همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه برداری، تهران.
- شریفی، محمدرضا و آخوندعلی، علی محمد و پرهمت، جهانگیر و محمدی، جهانگرد، ۱۳۸۵، تحلیل رابطه عمق برف با ارتفاع در سراب کارون (حوضه صمصامی)، اولین همایش منطقه ای بهره برداری از منابع آب حوضه های کارون و زاینده رود (فرصتها و چالشها)، شهرکرد،

طاهری شهرآئینی، حمید، تجرشی، مسعود، جلالی، نادر، ابریشم چی، احمد، ۱۳۸۰، استخراج مدل تجربی ارتباط مساحت آب هامونها با مساحت پوشش برف حوزه آبریز هیرمند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سومین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

علوی پناه، سید کاظم، ۱۳۹۵، کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، انتشارات دانشگاه تهران.

فتاحی، ابراهیم، دلاور، مجید، قاسمی، الهه، ۱۳۹۰، شبیه سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه‌های کوهستانی با استفاده از مدل SRM، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی. شماره ۲۳. ص ۱۲۹-۱۴۱.

فتاحی، ابراهیم، وظیفه دوست، مجید، ۱۳۹۰، برآورد دمای سطح برف و گسترش پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS (مطالعه موردی حوضه‌های استان گلستان)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره سوم، شماره پیاپی ۱۰۲.

قربانی زاده خرازی، حسین، صدقی، حسین، ثقفیان، بهرام، پرهمت، جهانگیر، ۱۳۸۸، شبیه سازی زمان جریان رواناب ناشی از ذوب برف تحت شرایط تغییر اقلیم در نیم قرن آینده، چهارمین همایش ملی زمین شناسی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اسلام شهر.

متکان، علی اکبر، ضیائیان فیروز آبادی، پرویز، عاشور لو، داوود، داداشی، خانقاه، سپیده، ۱۳۸۷، ارزیابی شاخص جهانی پوشش برف برای مطالعه سطح پوشش برف در مقیاس منطقه‌ای، مجله علوم محیطی، شماره ۴.

میر موسوی، حسین، صبور، لیلا، ۱۳۹۳، پایش تغییرات پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده مادیس در منطقه شمالغرب ایران، جغرافیا و توسعه. شماره ۳۵، ص ۱۸۱-۲۰۰.

Klein, A. G. (1998); Development and validation of a snow albedo algorithm for the MODIS instrument ", annals of glaciology.

Hall, D.K., A.G. Klein and G.A. Riggs. (1998); Global Snow Cover Monitoring Using MODIS. 27th International , Symposium on Remote Sensing of Environment.

Hall, D.K., Riggs, G.A., Salomonson, V. V. DiGirolamo, N. E. and Bayr, K. J. (2002); MODIS snow-cover product, Remote sensing of Environment, No. 83.

Ramamoorthi, A.S., (1987) Snow Cover Area (SCA) is the Main Factor in Forecasting Snowmelt Runoff from Major River Basins, Proceedings of the Vancouver Symposium, IAHS Publ., 166:187-197.

نحوه ارجاع به مقاله:

هوشمند، فهیمه؛ عقیفی، محمد ابراهیم؛ (۱۴۰۱) بررسی تغییرات سطح پوشش برف در ارتباط با خشکسالی در دهه‌های اخیر با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه‌ی موردی استان‌های آذربایجان غربی و شرقی)، جغرافیا و مطالعات محیطی ۱۱ (۴۳)، ۲۴-۴۰.

Dor: 20.1001.1.20087845.1401.11.43.2.3

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

