



بررسی تغییرات پوشش برف و دمای سطح زمین با مولفه توپوگرافیکی ارتفاع

مطالعه موردی: حوضه آبریز دریاچه ارومیه

صیاد اصغری سراسکانرود^{۱*}، ابوذر صادقی^۲، الهام ملانوری^۳

۱- صیاد اصغری سراسکانرود، استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده‌ی علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲- ابوذر صادقی، دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳- الهام ملانوری، دانشجوی دکترای آب و هواشناسی، دانشکده‌ی علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۱

چکیده

سطوح دارای پوشش برف (SC) بر تعادل انرژی سطح زمین از طریق بازخورد آلبیدو تأثیر می‌گذارد، و همچنین تأثیر عمده‌ای بر فرآیندهای اقلیمی، فعالیت‌های انسانی و چرخه هیدرولوژی، دارد. دمای سطح زمین (LST) از عناصر اصلی در شناخت اقلیم یک منطقه است که تغییرات و نوسانات آن‌ها در طبقات ارتفاعی مختلف برای بررسی‌های هیدرولوژیکی بسیار کاربردی است. هدف از این مطالعه ارزیابی و بررسی ارتباط دمای سطح زمین و سطح پوشش برف با مولفه توپوگرافیکی ارتفاع در حوضه دریاچه ارومیه می‌باشد. در این پژوهش به علت سهولت دسترسی به داده‌های سنجش‌ازدور و تفکیک مناسب زمانی و مکانی تصاویر ماهواره‌ای تراه، از تصاویر سنجنده مودیس به صورت ماهانه، فصلی و سالانه در بازه زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۹ استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد بین LST و SC رابطه معکوس وجود دارد، همچنین بررسی نقشه‌های SC و طبقات ارتفاعی نشان می‌دهد رابطه مستقیمی بین این دو متغیر وجود دارد، در واقع با افزایش ارتفاع پایداری برف در منطقه افزایش می‌یابد به طوری که در ارتفاعات بیشتر از ۳۰۰۰ متر مقدار سطح پوشش برف بیش از ۹۸٪ نسبت به منطقه است. تغییرات دمای سطح زمین در ارتفاعات مختلف معکوس تغییرات سطح پوشش برف است بنابراین در ارتفاعات کمتر از ۲۰۰۰ متر میانگین سالانه دما ۲۱ تا ۳۵ درجه سانتی‌گراد است، اما در ارتفاعات بالاتر از ۳۵۰۰ متر میانگین دمای سالانه حدود ۷ الی ۱۳ درجه می‌باشد.

کلمات کلیدی: سنجنده مودیس، سطح پوشش برف، دمای سطح زمین، مولفه توپوگرافیکی ارتفاع، حوضه آبریز دریاچه ارومیه.

۱- مقدمه

برف یک پدیده معمول هواشناسی جهانی است که به عنوان یک جزء مهم چرخه هیدرولوژیکی و یک خطر محیط زیست شناخته می شود. خصوصیات پوشش برف و تخمین پارامترهای ژئوفیزیکی برف از اهمیت قابل توجهی در زمینه مدیریت منابع آب دارد (اصغری و مدیرزاده، ۲۰۲۰: ۱۱۶). برف به عنوان یکی از انواع حالت های بارش، به دلیل وجود تأخیر در تبدیل آن به رواناب، تفاوت خاصی با منابع دیگر تامین آب دارد. از طرفی تغییرات پارامترهای دما و بارش بر بیلان آب و انرژی آن حوضه اثر می گذارد (جهانبخش اصل و همکاران، ۲۰۲۱: ۱۸۴). به طوری که تخمین آب معادل برف برای پیش بینی سیلاب، مدیریت مخازن و کشاورزی یک منطقه بسیار حائز اهمیت است (کاراموز و عراقی نژاد، ۲۰۱۴: ۱۶۸). در ۵۰ سال گذشته، دمای متوسط جهانی سطح زمین ۰/۷ درجه سانتی گراد افزایش یافته است (آلن^۱ و همکاران ۲۰۱۳: ۳۶)، در حالی که مساحت پوشش برف در مناطق کوهستانی تنها در ۱۸ سال اخیر تا ۱۳٪ کاهش یافته است (نوتارنیکولا^۲، ۲۰۱۸: ۲). رژیم های برفی فصلی در حال تغییر هستند و هم شرایط زمستانی و هم شرایط فصل رشد را با پتانسیل از دست دادن تنوع زیستی قابل توجه تغییر می دهند (نیتتینن^۳ و همکاران، ۲۰۱۸: ۲). تغییرات آب و هوایی تأثیر زیادی بر تنوع پوشش برف می گذارند (زینالی و همکاران، ۲۰۲۱: ۸۰) در ارتفاعات بالا به دلیل ناهمواری زمین و وجود اقلیم خشن، محدودیت استقرار ایستگاه های هواشناسی وجود دارد. در این شرایط، داده های سنجش از دور پتانسیل بالایی برای تهیه داده های فضایی مناسب به منظور توصیف الگوهای فضایی و زمانی برف دارند.

دمای سطح زمین^۴ یک پارامتر کلیدی در برنامه ریزی هایی از جمله هیدرولوژی، هواشناسی و کشاورزی است (منگ^۵ و همکاران، ۲۰۱۶: ۴۳۰۲). در حال حاضر داده های ایستگاه های هواشناسی مهم ترین مرجع تصمیم گیری در این مورد هستند، با این وجود در اغلب موارد این اطلاعات دقیقی مربوط به سطح نیست و به دلیل اینکه ایستگاه های هواشناسی در اغلب موارد به دلیل فاصله ی نسبتاً زیادی که از یکدیگر دارند قادر نیستند نمونه ی مناسبی برای تعیین دمای کل منطقه باشند. بنابراین یکی از معیارهای مهم برنامه ریزی ناحیه ای و منطقه ای به خصوص در زمینه ی کشاورزی، تعیین دمای سطح زمین است (بایدی^۶ و همکاران، ۲۰۱۳: ۵۱۷). در زمان های گذشته تجزیه و تحلیل دمای رویه زمین به دلیل دسترس نبودن داده های هواشناسی مشکل بود. اما امروزه با پیشرفت های صورت گرفته در سنجش از دور و استفاده از نرم افزارهای مدرن، می توان دمای رویه زمین را از طریق باندهای حرارتی محاسبه کرد (عبدل آتیک^۷ و همکاران، ۲۰۱۹: ۳).

1 Allen
2 Notarnicola
3 Niittynen
4 Land Surface Temperature

5 Meng
6 Buyadi
7 Abdul Athick

در پژوهشی حلبیان و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی ارتباط برف-پوش (SC) و دمای سطح زمین (LST) با مولفه توپوگرافیکی ارتفاع در ارتفاعات البرز مرکز با استفاده داده‌های ماهواره ترا و آکوا در بازه ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۸ پرداخته‌اند نتایج این پژوهش نشان داد ارتباط واضحی بین افزایش ارتفاع و افزایش پوشش برف در ارتفاعات البرز مرکزی وجود دارد؛ ارتباط این دو مولفه، مستقیم بوده است. ولی تغییرات دمای سطح زمین معکوس تغییرات پوشش برف است، که افزایش ارتفاع منجر به کاهش دمای سطح زمین می‌گردد. در پژوهشی دیگری محمودی و همکاران (۲۰۲۱) به ارزیابی رابطه میان دمای سطح زمین و نسبت سطح برف با استفاده از داده‌های سنجنش از دور در حوضه آبخیز کسلیان پرداخته‌اند. در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای مودیس استفاده شده است و به وسیله روابط رگرسیونی، ارتباط دمای سطح در بازه زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۴ ارزیابی شده است. نتایج این تحقیق حاکی از آن است که بررسی الگوی تغییرات دو متغیر طی دوره مطالعاتی نشان می‌دهد تغییرات سطح پوشش برف نسبت به دمای سطح زمین به صورت معکوس و به تدریج در حال افزایش است. در مطالعه‌ای ترابی پوده و همکاران (۲۰۲۱) در بازه زمانی ۲۰ ساله حوضه ماربر اصفهان را با استفاده از سامانه گوگل ارث انجین مورد بررسی قرار دادند که نتایج به دست آمده نشان داد روند تغییرات سطوح پوشش برف طی در دوره زمانی ۲۰۰۰-۲۰۱۹ کاهش یافته است. عقیفی (۲۰۲۱) با استفاده از تصاویر MODIS و با استفاده از شاخص NDSI به بررسی تغییرات سطح پوششی برف و تعیین خط ذوب برف در منطقه کوهستانی یخچال‌های زاگرس پرداخته است. یافته‌های این تحقیق نشان داد ذوب برف ابتدا از ارتفاعات کم شروع می‌شود و سپس برف در ارتفاعات بالا ذوب می‌گردد بنابراین بین ارتفاع و پوشش برفی رابطه مستقیمی وجود دارد. انتظامی و همکاران (۲۰۲۱) بررسی روند تغییرات سطح پوشش برف در حوضه سفیدرود را با استفاده از سنجنش از دور مورد بررسی قرار دادند؛ یافته‌ها نشان می‌دهد سری‌های زمانی سالانه گستره برفی حوضه بیان‌گر روند کاهشی، ولی گاهی روندهای افزایشی ملایم نیز دیده می‌شود. به لحاظ پراکنش مکانی، در مناطق مرکزی و شرقی حوضه روند کاهشی دیده می‌شود و همچنین روندهای فصلی نیز کاهشی است. بیش‌ترین نرخ کاهش مربوط به فصل زمستان است که در برخی مناطق به حدود ۳۳٪ به ازای هر دهه می‌رسد.

در مطالعه ای بانرجی و همکاران (۲۰۲۱) به تجزیه و تحلیل اثرات آب و هوای بالا بر پوشش برف در هیمالیا مرکزی با استفاده از سامانه Google Earth Engine پرداخته‌اند. در این مطالعه از داده‌های ماهواره‌ای MODIS-Terra، همراه با تجزیه و تحلیل مجدد (CHIRPS) و محصولات داده Landsat-8 استفاده شده است نتایج این پژوهش نشان دهنده یک رابطه معنی‌دار بین بارش ($R^2 = 0.78$) و پوشش برف در منطقه موجود است و همچنین یافته‌ها حاکی از آن است تجزیه و تحلیل دینامیک پوشش برف در ارتفاعات مختلف، شرایط

کلی هیدرولوژیکی در منطقه را نشان می‌دهد و پیش‌بینی سیل و مدیریت قابل اعتمادتری منابع آب را امکان‌پذیر می‌کند. در پژوهشی بی‌و همکاران (۲۰۲۱) ناهمگونی فضایی و زمانی پوشش برف در کوه‌های قراقرام مرکزی و غربی با استفاده از داده‌های مودیس MODIS از ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ را بررسی کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد وابستگی‌های ارتفاعی قابل توجهی برای درصد پوشش برفی و تاریخ ذوب پوشش برف وجود دارد؛ و همچنین روزهای پوشیده از برف حساسیت مثبت به بارش داشت، اما حساسیت منفی به دمای هوا در هر دو فصل تجمع برف و فصل ذوب برف وجود دارد. سینگ و همکاران (۲۰۲۱) به مطالعه تغییرات پوشش برفی حوضه آبریز بیاس، هیمالیا غربی بین سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۷ پرداخته‌اند که نتایج پژوهش نشان می‌دهد در منطقه مورد مطالعه از ۱۹٪ تا ۹۸٪ متغیر بوده و دما در طول بازه زمانی مورد مطالعه در حال افزایش بوده است. ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) تغییرات پوشش برفی فلات تبت را در ارتباط با دمای سطح زمین مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها نشان دادند که ماندگاری بالای پوشش برف در ارتفاع بالا، تقویت بازخوردهای مثبت مسئول گرم شدن وابسته به ارتفاع در ارتفاعات پایین - میانی را کاهش می‌دهد. کاهش بیشتر پوشش برف و وسعت یخچال در ارتفاعات بالا ممکن است باعث تقویت گرم شدن در فلات تبت شود. بهار دواج و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی پوشش برفی منطقه هندوکش هیمالیا پرداخته‌اند. آن‌ها در مطالعه خود از تصاویر ۸ روزه مودیس استفاده کردند و برای اعتبار سنجی و ارزیابی دقت محصولات برفی از ماهواره‌های Landsat7ETM و Landsat8OLI استفاده شده است. مشخص شد که حداکثر مساحت پوشش برفی در ۲ فوریه ۲۰۰۸ بوده که برابر با ۱ میلیون کیلومترمربع و حداقل مساحت پوشش برفی در ۲۸ جولای ۲۰۱۳ و برابر با ۰,۲۹۳۷۷۵ میلیون کیلومترمربع بوده است.

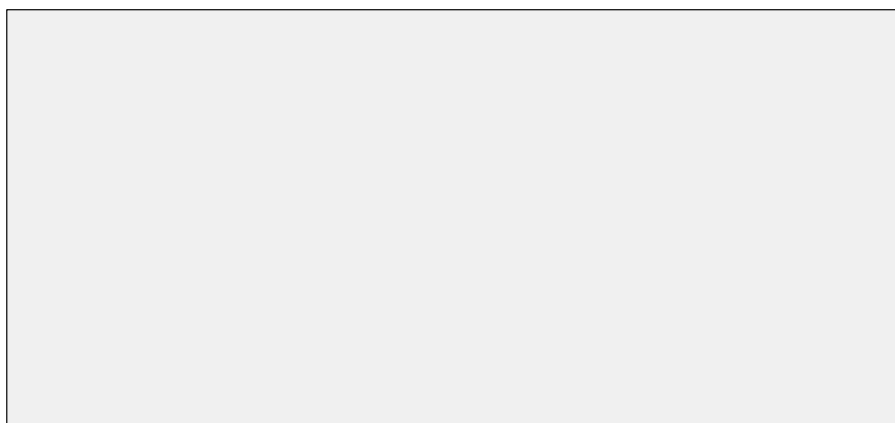
هدف از پژوهش حاضر بررسی ارتباط بین دمای سطح زمین، تغییرات سطح پوشش برف و مولفه ارتفاع در حوضه آبریز دریاچه ارومیه با استفاده از محصولات داده‌های سنجنده مودیس به صورت بازه‌های زمانی سالانه، فصلی و ماهانه است.

۲- مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز دریاچه ارومیه با وسعت ۵۱۸۰۰ کیلومترمربع در ناحیه کوهستانی شمال غربی ایران و بین استان‌های آذربایجان غربی، شرقی، کردستان و قسمت خیلی کوچکی از زنجان واقع شده است. دریاچه ارومیه به عنوان بزرگ‌ترین دریاچه داخلی ایران و از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین اکوسیستم‌های آبی ایران و جهان به

شمار می‌آید. اکوسیستم این دریاچه نمونه‌ای شاخص از یک حوضه آبریز بسته است که کلیه رواناب‌های جاری در رودخانه‌های حوضه به آن تخلیه می‌گردد. این حوضه آبریز در ارتفاعی بین ۱۲۳۱ تا ۳۷۵۵ متر بالاتر از سطح دریا قرار گرفته است که پست‌ترین نقطه آن دریاچه ارومیه و دشتهای وسیع اطراف آن هست (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت منطقه مورد مطالعه

Fig (1): The study area

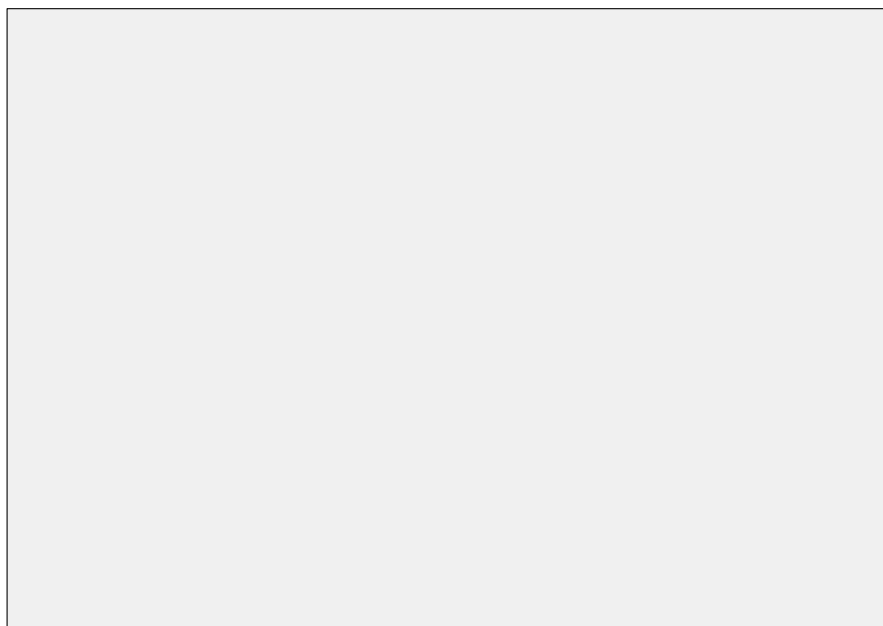
در این مطالعه از سامانه گوگل ارث انجین و تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS برای بررسی تغییرات سطح پوشش برف و دمای سطح زمین استفاده شد. مجموعه داده تصویربرداری وضوح متوسط اسپکترو رادیومتر (MODIS) با وضوح مکانی ۵۰۰ متر برای ارزیابی پوشش برفی هر حوضه که ۱۰۰۰۰ کیلومتر مربع یا مساحت بزرگ‌تر دارد، بسیار مناسب است (آریف و همکاران، ۲۰۲۱: ۲۷). در این پژوهش از تصاویر ماهواره Terra برای محاسبه برف و دمای سطح زمین استفاده شد. به این صورت که ابتدا با استفاده از پروداکت دمای سطح زمین در محیط گوگل ارث انجین میانگین ۱۲ ماه سال‌های مورد مطالعه و سپس به صورت فصلی و در نهایت به صورت میانگین سالانه محاسبه و تصاویر مورد نظر برای دمای سطح زمین استخراج شد؛ سپس با استفاده از پروداکت روزانه برف نیز برای ۱۲ ماه سال‌های مورد مطالعه، فصلی و سالانه محاسبه شد. در نهایت تصاویر برای محاسبه به محیط ArcMap 10.8 انتقال داده شدند؛ که در این نرم‌افزار نیز با استفاده از ابزارهای موجود برای هر کدوم از کلاس‌بندی ارتفاعی منطقه درصد و مساحت پوششی برف استخراج شد. سامانه گوگل ارث انجین، سامانه‌ای نوپا و بسیار کاربردی برای علوم مختلف در سال‌های اخیر محسوب می‌شود که بیشترین حجم داده را در کمترین زمان در اختیار قرار می‌دهد. در این پژوهش برای محاسبه میانگین ۱۲ ماه سال‌های مورد مطالعه

(۱۳۷۹-۱۳۹۹) تقریباً ۷۶۰۰ تصویر با استفاده از کدنویسی داخل گوگل ارث انجین مورد پردازش قرار گرفت. همچنین، برای ایجاد جدول‌ها از داده‌هایی که بصورت اکسل از سامانه گوگل ارث انجین دریافت شده بودند از نرم‌افزار Excel استفاده شد.

در این مطالعه همچنین برای تهیه مدل ارتفاعی محدوده مورد مطالعه از DSM^۱ داده‌های ALOS که ALOS World 3D - 30m مجموعه داده مدل سطح دیجیتال جهانی با وضوح افقی تقریباً ۳۰ متر است که این مجموعه داده براساس مجموعه داده ۵ متری داده‌های توپوگرافی سطح جهان تهیه شده است (Googleearthengine) بخاطر دقت بالا و رایگان بودن از این داده استفاده شد. در نهایت پس از تهیه این مدل رابطه ارتفاع با دمای سطح زمین و سطح پوشش برف در محیط نرم‌افزار Arc map بررسی شد.

۳- یافته‌ها و بحث

شکل ۲ وضعیت توپوگرافی منطقه، مقدار شیب و جهت شیب را نشان می‌دهد؛ که نواحی مرکزی حوضه و اطراف دریاچه ارومیه مناطق پست و همواری هستند و اطراف حوضه مناطق مرتفع و کوهستانی را تشکیل می‌دهند. در این پژوهش منطقه مورد مطالعه به ۱۰ طبقات ارتفاعی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تقسیم شده است. باتوجه به جدول ۱ مناطق کم ارتفاع مساحت بیشتری از منطقه را در برمی‌گیرند. بیشترین مساحت طبقات ارتفاعی مربوط به ارتفاعات ۱۴۸۳-۱۲۳۱ با مساحت ۱۷۱۰۶ کیلومتر مربع و کمترین مساحت طبقات ارتفاعی مربوط به مناطق مرتفع ۳۷۵۵-۳۵۰۲ با مساحت ۱۱ کیلومتر است. بنابراین مناطق مرتفع حوضه مساحت کمتری دارند.



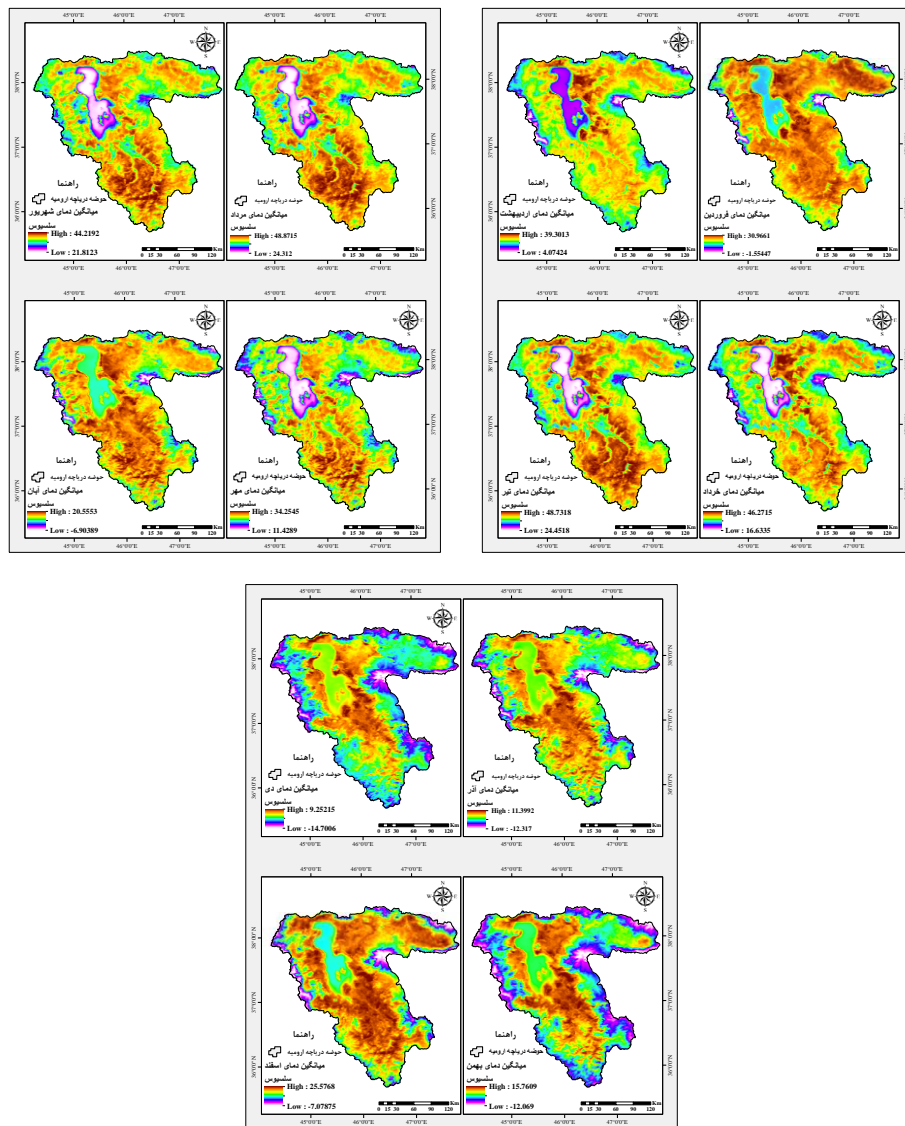
شکل (۲): توپوگرافی حوضه دریاچه ارومیه
Figure (2): Topography of Lake Urmia

جدول (۱): مساحت طبقات ارتفاعی
Table (1): Area of hight classes

طبقه ارتفاعی	مساحت طبقه (KM ²)	درصد طبقه (%)
۱۲۳۱ - ۱۴۸۳	۱۷۱۰۶/۹۸	۳۳/۰۲
۱۴۸۳ - ۱۷۳۵	۱۱۸۲۳/۲۱	۲۲/۸۲
۱۷۳۵ - ۱۹۸۸	۱۰۲۳۸/۲۰	۱۹/۷۶
۱۹۸۸ - ۲۲۴۰	۶۳۴۰/۶۸	۱۲/۲۴
۲۲۴۰ - ۲۴۹۳	۳۴۵۶/۴۲	۶/۶۷
۲۴۹۳ - ۲۷۴۵	۱۷۸۴/۴۶	۳/۴۴
۲۷۴۵ - ۲۹۹۷	۷۲۸/۶۱	۱/۴۰
۲۹۹۷ - ۳۲۵۰	۲۴۵/۶۵	۰/۴۷
۳۲۵۰ - ۳۵۰۲	۶۴/۰۸	۰/۱۲
۳۵۰۲ - ۳۷۵۵	۱۱/۸۲	۰/۰۲

۳-۱- بررسی نقشه‌های دمای سطح زمین به صورت ماهانه، فصلی و سالانه
شکل ۳ نقشه‌ی پراکنش و مقدار دمای سطح زمین در حوضه دریاچه ارومیه به صورت میانگین ماهانه نشان می‌دهد. کمترین مقدار دما مربوط به ماه دی با بیشینه ۹ درجه و کمینه ۱۴- درجه است و بیشترین مقدار دما

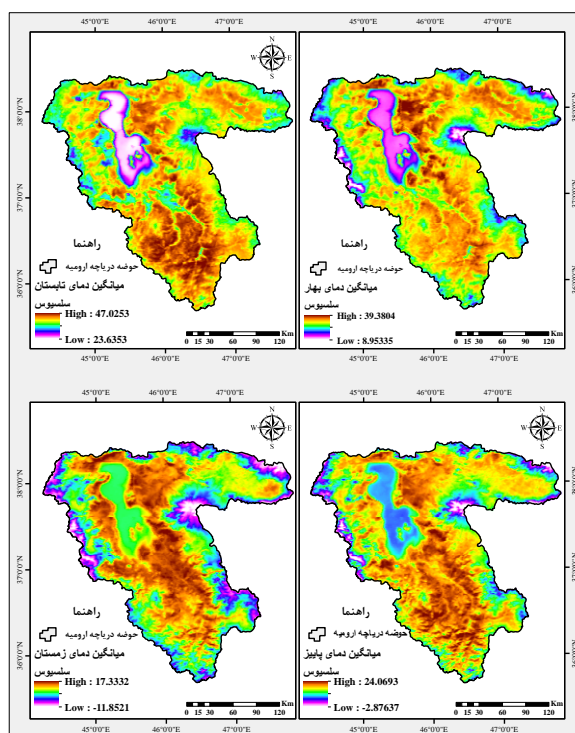
با حداکثر ۴۸ درجه سانتی گراد و حداقل ۲۴ درجه مربوط به ماه‌های تیر و مرداد است. بررسی نقشه‌ها نشان می‌دهد در همه ماه‌ها حداقل مقدار دما مربوط به مناطق مرتفع و کوهستانی هستند و بیشترین دما را مناطق پست و هموار به ویژه اطراف دریاچه ارومیه دارا می‌باشد.



شکل (۳): میانگین ماهانه دمای سطح زمین

Figure (3): Average monthly temperature of the earth's surface

بررسی نقشه‌های میانگین فصلی دما نشان می‌دهد بیشترین مقدار دما در منطقه در فصل بهار ۳۹ درجه و کمترین مقدار ۸ درجه است. در فصل تابستان بیشترین و کمترین مقدار به ترتیب ۴۷ و ۲۳ درجه سانتی‌گراد است. بیشترین دما در فصل پاییز ۲۴ درجه و کمترین ۲- درجه می‌باشد. در فصل زمستان بیشترین مقدار دما ۱۷ درجه و کمترین مقدار ۱۱- درجه است. (شکل ۴). مناطق کوهستانی به دلیل مرتفع بودن دمای کمتری دارند ولی مناطق مرکزی حوضه و اطراف دریاچه ارومیه به دلیل این که مناطق پست و هموار هستند دما بیشتری را دارا می‌باشد. در فصل بهار و تابستان اطراف دریاچه ارومیه به دلیل وجود پوشش گیاهی دمای نسبتاً کمی دارد ولی در فصل پاییز و زمستان به دلیل خشک شدن پوشش گیاهی در این مناطق بیشترین مقدار دما را دارند.



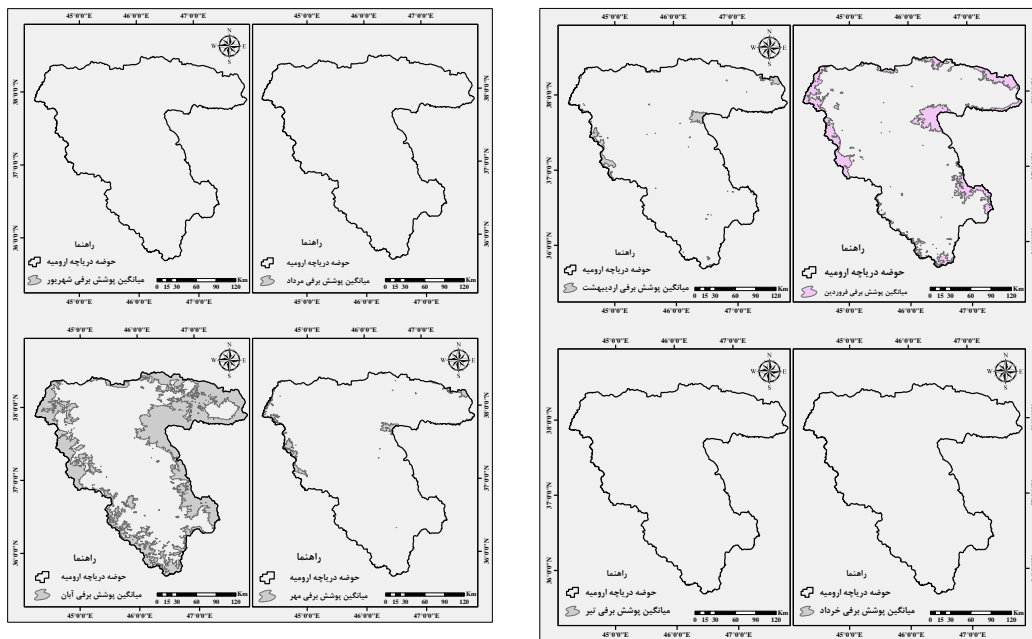
شکل (۴): میانگین فصلی دمای سطح زمین

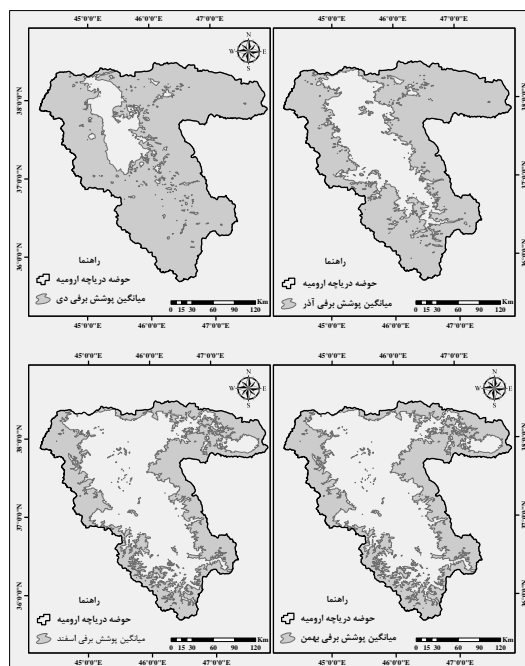
Figure (4): Seasonal average temperature of the earth's surface

۲-۳- بررسی سطح پوشش برف به صورت ماهانه، فصلی و سالانه

شکل ۵ چگونگی سطح پوشش برف به صورت ماهانه در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. با شروع بارش برف از مهر ماه مساحت سطح پوشش برف در منطقه افزایش یافته و در دی ماه به بیشترین حد می‌رسد. مساحت سطح پوشش برف در دی ماه ۴۴۹۸۷ کیلومتر مربع می‌باشد در این ماه تقریباً در کل حوضه به جز

سطح دریاچه ارومیه و اطراف دریاچه برف وجود دارد. بعد از دی، بهمن با مساحت ۴۱۳۸۴ دارای بیشترین سطح پوشش برف در منطقه است. با گرم شدن هوا از ابتدای سال و ذوب برف‌ها از مساحت سطح پوشش برف کاسته می‌شود به طوری که در ماه‌های فروردین و اردیبهشت مساحت پوشش برف در منطقه اندک و فقط در اطراف حوضه وجود دارد؛ مساحت سطح پوشش برف در ماه‌های فروردین و اردیبهشت به ترتیب ۵۸۸۸ و ۱۰۲۸ کیلومتر مربع می‌باشد. از خرداد تا شهریور برف‌ها به طور کامل ذوب شده و هیچ برفی در منطقه وجود ندارد.





شکل (۵): میانگین ماهانه سطح پوشش برف

Figure (5): Monthly average snow cover level

شکل ۶ چگونگی پراکندگی سطح پوشش برف به صورت فصلی را نشان می‌دهد با توجه به این شکل در فصل بهار با افزایش تدریجی دما و ذوب شدن برف‌ها در منطقه سطح پوشش برف خیلی کمی وجود دارد که مساحت آن ۱۹۲۲ کیلومتر مربع است. به علت کم بودن میزان مساحت کوهستانی در منطقه مساحت سطح پوشش پایداری کمتری دارد بنابراین همان‌طوری که نقشه‌های ماهانه نیز نشان دادند در فصل تابستان با افزایش دما، همه برف‌ها ذوب شده است. در فصل پاییز با سرد شدن هوا و افزایش بارش به صورت برف مساحت سطح پوشش برف افزایش می‌یابد مساحت سطح پوشش برف در فصل پاییز ۲۵۴۰۵ کیلومتر مربع می‌باشد. در فصل زمستان مقدار پوشش برف به اوج خود می‌رسد که مساحت آن ۴۱۶۵۳ کیلومتر مربع در منطقه می‌باشد. به‌طور کلی بررسی نقشه‌ها نشان می‌دهد. با افزایش دما مساحت سطح پوشش برف کاهش پیدا می‌کند، بنابراین تغییرات مکانی، زمانی دمای سطح زمین در برآورد تغییرات سطح برف بسیار موثر است (محمودی و همکاران ۲۰۲۱: ۲). محققینی همچون ویلماسون^۱ و همکاران (۲۰۱۷) تیوبلت^۲ و همکاران (۲۰۲۰) نیز به همبستگی معکوس بین دما و سطح پوشش برف اشاره کرده‌اند.

1- Williamson

2- Thiebault



شکل (۶): میانگین فصلی سطح پوشش برف

Figure (6): Seasonal average snow cover level

۳-۳- بررسی ارتباط دما و پوشش برف با مولفه ارتفاع

بعد از محاسبه و ارزیابی دمای سطح زمین در منطقه‌ی مورد مطالعه به بررسی ارتباط این متغیر با مولفه توگرافیکی ارتفاع پرداخته شد. همان‌طور که انتظار می‌رود، دما به شدت تحت تأثیر ارتفاع قرار دارد (بانرجی و

همکاران، ۲۰۲۱: ۵). باتوجه به جدول ۲ دما در مناطق با ارتفاع کمتر از ۲۰۰۰ متر در ماه‌های تیر، مرداد و شهریور به بالاتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد اما در مناطق با ارتفاع بیشتر در ماه‌های گرم سال به کمتر ۳۰ درجه نیز کاهش می‌یابد. با افزایش ارتفاع دما در ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند به زیر صفر درجه کاهش پیدا می‌کند و همچنین در ارتفاعات بالاتر ماه‌های دارای میانگین دمای کمتر از صفر درجه افزایش می‌یابد به طوری که در ارتفاعات بالاتر از ۳۵۰۰ تقریباً ۶ ماه از سال دارای دمای پایین تر از صفر درجه می‌باشد. جدول ۳ میانگین ۲۰ ساله فصلی دما و ارتباط آن با ارتفاع را نشان می‌دهد این جدول نیز گویای این است که با افزایش ارتفاع دمای میانگین فصلی کاهش پیدا میکند. در مناطق پست میانگین دما در فصل بهار حدود ۳۰ درجه، در فصل تابستان حدود ۴۰ درجه، در پاییز حدود ۲۰ درجه و در فصل زمستان حدود ۸ درجه است اما در مناطق مرتفع و ارتفاعات بالای ۳۰۰۰ متر دما در فصل تابستان کمتر از ۳۰ درجه است و فصل‌های دیگر دارای دمای کمتر از ۱۵ درجه هست؛ و در فصل زمستان میانگین دما حتی به منفی ۱۰- درجه نیز می‌رسد. به‌طور کلی بررسی ارتباط دما و مولفه ارتفاع نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع پیوسته دما کاهش پیدا می‌کند، تقریباً در همه جای سطح کره‌ی زمین مناطق کوهستانی دمای کمتری نسبت به مناطق پست و هموار دارا می‌باشد. معمولاً به ازای هر ۱۰۰ متر افزایش ارتفاع دمای هوا ۰/۵ یا ۰/۶ درجه سانتی‌گراد کاهش پیدا می‌کند (کاوایانی و علیجانی، ۲۰۰۹: ۱۱۷) محققینی همچون حلبیان و همکاران (۲۰۲۰)، مرادی و همکاران (۲۰۱۶) بانرجی و همکاران، (۲۰۲۱). نیز به ارتباط معکوس LST با مولفه ارتفاع اشاره کرده‌اند.

جدول (۲): میانگین ۲۰ ساله ماهانه دما

Table (2): 20-year average monthly temperature

اسفند	بهمن	دی	آذر	آبان	مهر	شهریور	مرداد	تیر	خرداد	اردیبهشت	فروردین	ماه / ارتفاع
۱۷/۸۰	۸/۸۴	۳/۴۳	۶/۴۱	۱۴/۸۳	۲۵/۹۶	۳۴/۳۴	۳۸/۴۷	۳۸/۶۴	۳۶/۱۲	۲۹/۳۵	۲۳/۲۹	۱۴۸۳-۱۲۳۱
۲۰/۱۹	۶/۲۰	۰/۳۴	۵/۱	۱۵/۶۱	۲۸/۷۵	۳۸/۷۶	۴۳/۶۹	۴۳/۴۹	۳۹/۹	۳۱/۲۸	۲۵/۵۴	۱۷۳۵-۱۴۸۳
۱۶/۲۰	۲/۲۰	-۱/۸۸	۳/۲۴	۱۴/۱۰	۲۷/۳۶	۳۶/۳۷	۴۲/۲۴	۴۱/۹۲	۳۸/۰۳	۲۹/۴۱	۲۳/۷۶	۱۹۸۸-۱۷۳۵
۱۱/۴۱	-۰/۶۴	-۳/۷۵	۱/۰۱	۱۱/۷۹	۲۵/۴۳	۳۵/۶۹	۴۰/۴۵	۴۰/۰۱	۳۵/۷۳	۲۷/۰۱	۲۰/۸۳	۲۲۴۰-۱۹۸۸
۶/۶۹	-۳/۲۳	-۵/۵۴	-۱/۴۵	۹/۴۱	۲۳/۲۸	۳۳/۶۸	۳۸/۵۵	۳۷/۶۸	۳۳/۰۱	۲۴/۳۷	۱۷/۳۶	۲۴۹۳-۲۲۴۰
۱/۹۹	-۵/۰۵	-۷/۲۳	-۳/۸۲	۶/۷۵	۲۱/۲۹	۳۱/۸۵	۳۶/۸۰	۳۵/۵۸	۳۰/۶۳	۲۱/۷۴	۱۳/۱۴	۲۷۴۵-۲۴۹۳
-۰/۹۸	-۶/۵۳	-۸/۶۸	-۵/۶۹	۴/۰۴	۱۹/۶۰	۳۰/۱۶	۳۵/۰۴	۳۳/۳۹	۲۸/۲۴	۱۸/۸۷	۸/۶۴	۲۹۹۷-۲۷۴۵
-۳/۰۳	-۷/۹۷	-۱۰/۴۰	-۷/۳۲	۱/۱۳	۱۷/۸۸	۲۸/۲۴	۳۳/۰۱	۳۱/۱۴	۲۵/۷۴	۱۵/۲۸	۴/۶۲	۳۲۵۰-۲۹۹۷
-۴/۶۰	-۹/۳۰	-۱۱/۴۱	-۸/۸۵	-۱/۷۵	۱۶/۳۱	۲۶/۹۲	۳۱/۵۳	۲۹/۴۲	۲۱/۲۳	۱۱/۵۸	۱/۷۹	۳۵۰۲-۳۲۵۰
-۶/۱۶	-۱۱/۰۱	-۱۳/۴۱	-۱۰/۱	-۵/۱۵	۱۲/۱۳	۲۴/۴۰	۲۹/۱۵	۲۶/۱۶	۱۷/۶۸	۶/۵۱	-۰/۵۸	۳۷۵۵-۳۵۰۲

جدول (۳): میانگین ۲۰ ساله فصلی دما

Table (3): 20-year average seasonal temperature

ارتفاع	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
۱۲۳۱-۱۴۸۳	۳۰/۲۰	۳۷/۳۱	۱۷/۵۲	۱۰/۴۲
۱۴۸۳-۱۷۳۵	۳۳/۲۳	۴۱/۸۱	۱۸/۷۸	۸/۸۶
۱۷۳۵-۱۹۸۸	۳۱/۴۱	۴۱/۴۰	۱۷/۰۷	۵/۲۹
۱۹۸۸-۲۲۴۰	۲۸/۹۸	۳۸/۶۵	۱۴/۲۴	۱/۶۸
۲۲۴۰-۲۴۹۳	۲۶/۱۵	۳۶/۵۶	۱۱/۶۹	-۱/۴۷
۲۴۹۳-۲۷۴۵	۲۳/۴۳	۳۴/۶۴	۷/۸۲	-۴/۴۲
۲۷۴۵-۲۹۹۷	۲۰/۶۳	۳۲/۷۲	۶/۶۰	-۵/۹۶
۲۹۹۷-۳۲۵۰	۱۷/۶۷	۳۰/۶۸	۴/۴۰	-۷/۶۵
۳۲۵۰-۳۵۰۲	۱۴/۸۴	۲۹/۱۸	۲/۱۴	-۹/۸۴
۳۵۰۲-۳۷۵۵	۱۰/۹۸	۲۶/۶۶	-۰/۹۹	-۱۰/۷۵

جدول ۴ نوسانات درصد سطح پوشش برف در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد؛ با توجه به این جدول در طبقات ارتفاعی بالا درصد میانگین پوشش برف افزایش می‌یابد. سطح پوشش برف به شدت به ارتفاع و به دنبال آن زاویه شیب وابسته است (بانرجی و همکاران ۲۰۲۱). به طوری که در ارتفاعات بیشتر از ۳۰۰۰ متر به جز ماه‌های گرم سال (خرداد، تیر، مرداد، شهریور) و ماه مهر، در مابقی ماه‌ها بیشتر از ۹۷٪ سطح زمین پوشیده از برف است اما در طبقات ارتفاعی پایین سطح پوشش برف کاهش می‌یابد. طبقات ارتفاعی ۱۲۳۱-۱۴۸۳ با وجود اینکه مساحت بزرگی (جدول ۱) از منطقه را تشکیل می‌دهد اما سطح پوشش برف در این طبقه ارتفاعی بسیار اندک است به دلیل اینکه مساحت زیادی از این منطقه را دریاچه ارومیه تشکیل می‌دهد و به دلیل ارتفاع کم این منطقه فقط در ماه دی حدود ۶۲ درصد از منطقه برف دارد؛ بنابراین با افزایش ارتفاع سطح پوشش برف در مناطق مختلف افزایش می‌یابد. یی و همکاران (۲۰۲۱) و عفیفی و همکاران (۲۰۲۱) شارما و همکاران (۲۰۱۴) گورونگ و همکاران (۲۰۱۷) همچنین یک همبستگی فضایی قوی بین سطح پوشش برف و ارتفاع را گزارش کرده‌اند.

جدول (۴): میانگین درصد ۲۰ ساله پوشش برفی ماهانه

Table (4): 20-year average percentage of monthly snow cover

ماه / ارتفاع	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
۱۲۳۱-۱۴۸۳	۰/۰۰۸	۰/۰۲۱	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴	۱۹/۵۳	۶۲/۰۳	۴۲/۵۱	۰/۵۰
۱۴۸۳-۱۷۳۵	۰/۰۰۷	۰/۰۲۸	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰۱۹	۱۴/۲۴	۳۸/۵۰	۹۷/۴۳	۹۴/۹۵	۲۳/۸۴
۱۷۳۵-۱۹۸۸	۰/۵۵	۰/۰۳۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰۱۱	۳۹/۷۴	۹۶/۴۹	۹۹/۳۷	۹۹/۲۸	۶۹/۸۶
۱۹۸۸-۲۲۴۰	۱۱/۰۲	۰/۹۵	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۲۴	۷۷/۹۶	۹۹/۳۵	۹۹/۶۸	۹۹/۶۸	۹۷/۲۸
۲۲۴۰-۲۴۹۳	۶۶/۲۱	۶/۲۷	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱/۶۲	۹۶/۹۰	۹۹/۴۹	۹۹/۵۲	۹۹/۵۱	۹۹/۴۹
۲۴۹۳-۲۷۴۵	۹۷/۹۴	۲۲/۷۹	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۱۲/۱۳	۹۹/۲۴	۹۹/۲۳	۹۹/۲۳	۹۹/۲۰	۹۹/۲۴
۲۷۴۵-۲۹۹۷	۹۸/۰۴	۳۲/۰۹	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۴۸/۰۳	۹۸/۴۱	۹۸/۴۱	۹۸/۲۲	۹۸/۳۰	۹۸/۳۶
۲۹۹۷-۳۲۵۰	۹۷/۹۷	۹۸/۷۴	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۸۶/۷۱	۹۷/۹۳	۹۷/۹۳	۹۷/۶۴	۹۷/۸۳	۹۷/۹۳
۳۲۵۰-۳۵۰۲	۹۸/۷۵	۹۸/۵۱	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۰/۰	۹۷/۷۴	۹۸/۶۵	۹۸/۶۵	۹۸/۴۲	۹۸/۴۴	۹۸/۶۷

جدول (۵): میانگین ۲۰ ساله فصلی پوشش برف بر حسب درصد

Table (5): 20-year seasonal average of snow cover in percentage

ارتفاع	بهار	تابستان	پاییز	زمستان
۱۲۳۱-۱۴۸۳	۰/۰۰	۰/۰۰	۰/۵۷	۴۴/۸۶
۱۴۸۳-۱۷۳۵	۰/۰۰	۰/۰۰	۴۳/۱۵	۹۴/۳۲
۱۷۳۵-۱۹۸۸	۰/۰۱	۰/۰۰	۷۶/۳۴	۹۹/۰۳
۱۹۸۸-۲۲۴۰	۰/۶۴	۰/۰۰	۹۸/۰۸	۹۹/۶۶
۲۲۴۰-۲۴۹۳	۰/۰۶	۰/۰۰	۹۹/۰۹	۹۹/۵۱
۲۴۹۳-۲۷۴۵	۳۸/۴۹	۰/۰۰	۹۹/۲۳	۹۹/۲۲
۲۷۴۵-۲۹۹۷	۸۷/۴۶	۰/۰۰	۹۸/۶۰	۹۸/۲۲
۲۹۹۷-۳۲۵۰	۹۷/۴۱	۰/۰۰	۹۷/۹۰	۹۷/۶۳
۳۲۵۰-۳۵۰۲	۹۸/۵۵	۰/۰۰	۹۸/۶۶	۹۹/۱۰

در این پژوهش همچنین میانگین مقدار دمای سالانه و سطح پوشش برف از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۹۹ استخراج گردید و سپس رابطه‌ی این دو متغیر با وضعیت توپوگرافیکی منطقه بررسی گردید. جدول ۶ و ۷ نشان می‌دهد در ارتفاعات پست و مناطق کمتر از ۲۰۰۰ متر در همه سال‌های مورد مطالعه دارای دمای ۲۵ تا ۳۱ درجه هست اما هر چه ارتفاع افزایش می‌یابد میانگین دمای سالانه نیز کاهش پیدا می‌کند به طوری که در ارتفاعات بالاتر از ۳۵۰۰ متر میانگین دمای سالانه حدود ۷ الی ۱۳ درجه سانتی گراد می‌باشد. در بین سال‌های مورد مطالعه سال‌های ۱۳۸۱، ۱۳۸۸، ۱۳۹۸، ۱۳۹۹ بیشترین دمای میانگین سالانه در ارتفاعات ۱۲۳۱-۱۷۳۵ با مقدار ۳۱ درجه سانتی‌گراد دارد. همچنین در ارتفاعات بالاتر نیز این سال‌ها دمای بیشتری نسبت به سال دیگر

دارا می‌باشند. به طوری که در ارتفاع ۳۷۵۵-۳۵۰۲ در سال ۱۳۸۸ دما بالاتر از ۱۳ درجه بوده اما در سال‌های دیگر در این ارتفاع دما کمتر از ۱۰ درجه است.

جدول (۶): میانگین سالانه دما از سال ۱۳۷۹-۱۳۸۸

Table (6): Annual average temperature from 2000-2010

سال / ارتفاع	۷۹	۸۰	۸۱	۸۲	۸۳	۸۴	۸۵	۸۶	۸۷	۸۸
۱۲۳۱-۱۴۸۳	۲۸/۴۴	۲۶/۵۱	۲۷	۲۵/۵۳	۲۵/۷۴	۲۶/۴۵	۲۵/۵۲	۲۶/۱۷	۲۵/۶۳	۲۷/۵۷
۱۴۸۳-۱۷۳۵	۳۰/۴۶	۳۰/۲۷	۳۱	۲۹/۶۹	۲۸/۷۸	۳۰/۰۹	۲۸/۵۵	۲۹/۰۶	۲۸/۹۸	۳۰/۷۱
۱۷۳۵-۱۹۸۸	۲۸/۵۶	۲۸/۳۲	۲۸/۹۸	۲۶/۲۷	۲۶/۷۶	۲۸/۰۸	۲۶/۴۰	۲۷/۱۹	۲۷/۳۴	۲۹/۱۵
۱۹۸۸-۲۲۴۰	۲۵/۹۱	۲۵/۳۵	۲۵/۶۵	۲۴/۲۱	۲۳/۹۰	۲۵/۰۱	۲۳/۳۱	۲۴/۱۹	۲۴/۱۷	۲۶/۵۱
۲۲۴۰-۲۴۹۳	۲۴/۲۳	۲۲/۷۰	۲۲/۷۵	۲۱/۵۰	۲۱/۲۴	۲۲/۳۵	۲۰/۳۵	۲۱/۲۵	۲۰/۹۶	۲۱/۲۱
۲۴۹۳-۲۷۴۵	۲۰/۶۰	۲۰/۱۵	۲۰/۱۵	۱۸/۹۸	۱۸/۵۶	۱۹/۷۱	۱۷/۳۷	۱۸/۵۲	۱۷/۷۷	۲۲/۰۸
۲۷۴۵-۲۹۹۷	۱۸/۲۶	۱۷/۵۷	۱۸/۱۷	۱۶/۵۶	۱۵/۸۹	۱۷/۱۵	۱۴/۸۵	۱۶	۱۵/۵۵	۲۰/۱۲
۲۹۹۷-۳۲۵۰	۱۵/۹۶	۱۴/۷۶	۱۵/۱۷	۱۴/۰۲	۱۴/۱۳	۱۴/۴۴	۱۳/۲۳	۱۳/۲۰	۱۲/۴۲	۱۸/۱۱
۳۲۵۰-۳۵۰۲	۱۳/۷۳	۱۲/۴۷	۱۲/۹۹	۱۱/۷۹	۱۱/۱۳	۱۲/۲۰	۱۰/۳۷	۱۰/۹۹	۱۰/۶۱	۱۵/۱۶
۳۵۰۲-۳۷۵۵	۱۱/۰۱	۱۰/۰۵	۱۰/۴۰	۹/۳۲	۸/۴۴	۹/۰۴	۸/۲۰	۸/۶۰	۸/۲۵	۱۳/۶۳

جدول (۷): میانگین سالانه دما از سال ۱۳۸۹-۱۳۹۹

Table (7): Annual average temperature from 2011-2020

سال / ارتفاع	۸۹	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶	۹۷	۹۸	۹۹
۱۲۳۱-۱۴۸۳	۲۶/۶۳	۲۷/۵۳	۲۷/۴۴	۲۸/۴۶	۲۹	۲۷/۵۸	۲۸/۴۴	۲۸/۸۴	۲۶/۹۷	۲۷/۸۷	۲۸/۲۲
۱۴۸۳-۱۷۳۵	۲۹/۰۲	۲۹/۶۹	۲۹/۳۷	۳۰/۵۰	۳۰/۸۶	۳۰/۰۲	۳۰/۴۶	۳۱/۲۰	۳۰/۷۴	۳۱/۰۴	۳۱/۵۳
۱۷۳۵-۱۹۸۸	۲۶/۶۶	۲۶/۹۶	۲۷/۰۷	۲۸/۵۵	۲۸/۸۹	۲۷/۸۰	۲۸/۶۹	۲۹/۳۷	۲۸/۹۸	۲۹/۰۶	۲۹/۸۱
۱۹۸۸-۲۲۴۰	۲۳/۲۶	۲۱/۴۶	۲۴/۲۷	۲۴/۲۵	۲۵/۶۴	۲۴/۷۳	۲۵/۹۱	۲۶/۵۳	۲۵/۹۲	۲۵/۹۰	۲۶/۹۳
۲۲۴۰-۲۴۹۳	۲۰	۲۰/۶۸	۲۱/۶۰	۲۲/۲۴	۲۲/۴۳	۲۱/۹۸	۲۳/۲۴	۲۴/۱۲	۲۲/۹۸	۲۲/۹۷	۲۴/۱۵
۲۴۹۳-۲۷۴۵	۱۶/۹۱	۱۸/۰۴	۱۹/۱۰	۱۹/۲۹	۱۹/۴۰	۱۹/۴۰	۲۰/۶۰	۲۱/۸۲	۲۰/۲۶	۲۰/۳۹	۲۱/۵۷
۲۷۴۵-۲۹۹۷	۱۴/۳۹	۱۵/۹۲	۱۶/۹۱	۱۶/۴۹	۱۶/۷۹	۱۷/۱۷	۱۸/۲۶	۱۹/۸۲	۱۷/۹۵	۱۷/۹۵	۱۹/۳۵
۲۹۹۷-۳۲۵۰	۱۱/۹۰	۱۳/۷۹	۱۴/۸۴	۱۳/۷۲	۱۴/۳۰	۱۴/۷۷	۱۵/۹۶	۱۷/۸۵	۱۵/۷۸	۱۵/۴۳	۱۷/۰۳
۳۲۵۰-۳۵۰۲	۱۰/۰۲	۱۱/۰۷	۱۳/۲۶	۱۱/۳۷	۱۲/۳۶	۱۳/۱۵	۱۳/۷۲	۱۵/۹۹	۱۳/۵۶	۱۲/۹۸	۱۵/۰۶
۳۵۰۲-۳۷۵۵	۷/۴۱	۰/۴۰	۱۱/۳۷	۹/۵۹	۹/۹۸	۱۱/۴۴	۱۱/۰۲	۱۳/۳۸	۱۰/۵۳	۱۰/۱۰	۱۱/۸۰

جدول ۸ و ۹ متوسط سالانه درصد پوشش برف را نشان می‌دهد؛ که در سال‌های مورد مطالعه در طبقات ارتفاعی ۱۴۸۳-۱۲۳۱ درصد سطح پوشش برف میانگین سالانه کمتر از ۱۰ درصد است اما در سال ۱۳۸۶ درصد سطح پوشش برف در این کلاس ارتفاعی افزایش یافته و به ۱۷٪ رسیده است. در ارتفاعات بیشتر از ۳۰۰۰ متر در

تمامی سال‌ها مقدار سطح پوشش برف بیش از ۹۸٪ نسبت به منطقه است. در واقع این جداول گویای این است که سطح پوشش برف با ارتفاع رابطه مستقیم دارد.

جدول (۸): میانگین درصد پوشش برفی سالانه (سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۸)

Table (8): Average percentage of annual snow cover (years 2000-2010)

سال / ارتفاع	۷۹	۸۰	۸۱	۸۲	۸۳	۸۴	۸۵	۸۶	۸۷	۸۸
۱۲۳۱-۱۴۸۳	۰/۷۹	۶/۰۷	۰/۲۰	۶/۵۰	۷/۱۸	۱۰/۹۷	۸/۶۹	۱۷/۸۶	۰/۵۵	۳/۲۲
۱۴۸۳-۱۷۳۵	۲۳/۵۱	۵۱/۶۵	۳۰/۵۱	۴۷/۶۹	۶۵/۴۷	۵۴/۷۳	۷۴/۴۹	۶۲/۹۵	۴/۵۵	۴۰/۳۵
۱۷۳۵-۱۹۸۸	۵۵/۹۹	۸۴/۹۳	۷۳/۴۲	۷۸/۹۲	۸۷/۶۰	۷۸/۱۱	۸۹/۰۱	۷۸/۱۲	۲۳/۳۷	۶۰/۶۸
۱۹۸۸-۲۲۴۰	۸۷/۲۴	۹۷/۸۵	۹۵/۲۲	۹۴/۹۰	۹۶/۰۷	۹۵/۸۲	۹۵/۶۹	۹۳/۸۱	۷۴/۴۳	۸۶/۹۵
۲۲۴۰-۲۴۹۳	۹۷/۰۵	۹۹/۳۱	۹۹/۱۳	۹۹/۱۰	۹۸/۷۹	۹۹/۳۸	۹۸/۶۷	۹۸/۹۱	۹۶/۵۶	۹۷/۴۵
۲۴۹۳-۲۷۴۵	۹۹/۱۵	۹۹/۲۰	۹۹/۲۰	۹۹/۲۲	۹۹/۱۵	۹۹/۲۰	۹۹/۱۷	۹۹/۲۲	۹۹/۱۶	۹۹/۲۳
۲۷۴۵-۲۹۹۷	۹۸/۳۵	۹۸/۲۷	۹۸/۳۶	۹۸/۳۱	۹۸/۳۵	۹۸/۳۵	۹۸/۳۵	۹۸/۲۷	۹۸/۳۴	۹۸/۳۶
۲۹۹۷-۳۲۵۰	۹۸/۰۰	۹۷/۸۴	۹۸/۰۰	۹۷/۸۷	۹۸/۰۰	۹۸/۰۰	۹۸/۰۰	۹۷/۷۷	۹۷/۸۸	۹۷/۷۵
۳۲۵۰-۳۵۰۲	۹۸/۵۶	۹۸/۵۹	۹۸/۵۵	۹۸/۶۰	۹۸/۵۵	۹۸/۵۶	۹۸/۵۶	۹۸/۳۵	۹۸/۵۹	۹۸/۱۵
۳۵۰۲-۳۷۵۵	۹۸/۱۸	۹۸/۱۹	۹۸/۱۹	۹۸/۱۸	۹۸/۱۹	۹۸/۱۹	۹۸/۱۹	۹۸/۱۸	۹۸/۱۸	۹۸/۹۸

جدول (۹): میانگین درصد پوشش برفی سالانه (سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۹)

Table (9): Average percentage of annual snow cover (years 2011-2020)

سال / ارتفاع	۸۹	۹۰	۹۱	۹۲	۹۳	۹۴	۹۵	۹۶	۹۷	۹۸	۹۹
۱۲۳۱-۱۴۸۳	۰/۰۱	۰/۳۴	۶/۵۷	۱/۴۸	۰/۶۵	۳/۲۶	۳۲/۷۱	۰/۰۰	۰/۴۱	۱۰/۴۸	۰/۰۵
۱۴۸۳-۱۷۳۵	۴/۵۰	۴۰/۷۴	۵۵/۵۳	۳۷/۹۷	۱۶/۲۶	۲۰/۰۶	۸۶/۱۶	۲/۱۷	۲۱/۹۴	۵۴/۰۱	۲۵/۱۷
۱۷۳۵-۱۹۸۸	۲۲/۹۲	۸۰/۵۶	۹۲/۶۵	۷۰/۵۹	۵۶/۹۹	۶۵/۰۲	۹۱/۷۱	۱۹/۹۴	۶۶/۵۵	۹۷/۲۵	۵۴/۸۳
۱۹۸۸-۲۲۴۰	۵۸/۶۵	۹۶/۰۸	۹۸/۶۴	۹۱/۳۸	۸۹/۶۴	۹۳/۶۷	۹۶/۷۸	۶۵/۷۷	۹۴/۵۴	۹۴/۹۰	۷۹/۷۰
۲۲۴۰-۲۴۹۳	۸۵/۷۷	۹۸/۳۴	۹۹/۴۶	۹۸/۲۴	۹۸/۲۵	۹۹/۱۵	۹۸/۹۶	۹۲/۵۷	۹۹/۲۲	۹۹/۲۲	۹۵/۷۱
۲۴۹۳-۲۷۴۵	۹۶/۱۲	۹۹/۱۶	۹۹/۲۱	۹۹/۱۹	۹۹/۱۹	۹۹/۱۷	۹۹/۱۸	۹۸/۸۰	۹۹/۲۰	۹۹/۲۰	۹۸/۸۵
۲۷۴۵-۲۹۹۷	۹۸/۱۵	۹۸/۳۵	۹۸/۲۰	۹۸/۳۷	۹۸/۳۵	۹۸/۳۰	۹۸/۳۱	۹۸/۴۲	۹۸/۳۶	۹۸/۳۶	۹۸/۳۶
۲۹۹۷-۳۲۵۰	۹۷/۹۱	۹۸/۰۰	۹۷/۷۰	۹۷/۹۸	۹۸/۰۰	۹۷/۹۵	۹۷/۸۷	۹۷/۹۲	۹۸/۰۰	۹۸/۰۰	۹۸/۰۰
۳۲۵۰-۳۵۰۲	۹۸/۳۴	۹۸/۵۵	۹۸/۲۶	۹۸/۵۶	۹۸/۵۵	۹۸/۳۷	۹۸/۶۰	۹۸/۵۸	۹۸/۵۵	۹۸/۵۵	۹۸/۵۵
۳۵۰۲-۳۷۵۵	۹۸/۱۹	۹۸/۱۹	۹۸/۱۸	۹۸/۱۸	۹۸/۱۹	۹۸/۱۸	۹۸/۱۸	۹۸/۳۵	۹۸/۱۹	۹۸/۱۹	۹۸/۱۹

۴- نتیجه‌گیری

برف یکی از عناصر مهم جو است که پوشش برف بر تعادل انرژی سطح زمین از طریق بازخورد آلbedو و چرخه آب با تغییر فاز تأثیر می‌گذارد. به دلیل اینکه برف بسیار انعکاس‌دهنده‌ی است، نقش مهمی در تنظیم اقلیم کره زمین ایفا می‌کند. در این مطالعه مساحت سطح پوشش برف (SC) و مقدار دمای سطح زمین (LST) به

صورت ماهانه، فصلی و سالانه با استفاده از محصولات سنجنده مودیس استخراج شد و ارتباط این دو متغیر با طبقات ارتفاعی مختلف در حوضه دریاچه ارومیه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بررسی نقشه‌های ماهانه و فصلی دما حاکی از آن است که مناطق کوهستانی و مناطق با ارتفاع زیاد، به دلیل مرتفع بودن دمای کمتری دارند ولی مناطق مرکزی حوضه و اطراف دریاچه ارومیه که مناطق پست و هموار را در بر می‌گیرد دمای بیشتری دارد؛ به طوری که در طبقات ارتفاعی کمتر از ۱۵۰۰ متر در میانگین فصلی دما در زمستان حدود ۱۰ درجه سانتی‌گراد است اما در ارتفاعات بیشتر از ۳۵۰۰ متر در هیمن فصل به کمتر از ۱۰- درجه سانتی‌گراد رسیده است. میانگین دمای سالانه نیز نشان داد در ارتفاعات پست و مناطق کمتر از ۲۰۰۰ متر در همه سال‌های مورد مطالعه دارای دمای ۲۵ تا ۳۱ درجه هست ولی در ارتفاعات بالاتر از ۳۵۰۰ متر میانگین دمای سالانه ۷ الی ۱۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. بنابراین این نتایج نشان می‌دهد دما با ارتفاع در کل منطقه مورد مطالعه رابطه معکوسی دارد. برعکس مولفه دما، سطح پوشش برف (SC) با ارتفاع رابطه مستقیمی دارد، به طوری که بررسی نقشه‌های ماهانه و فصلی نشان می‌دهد در ارتفاعات بیشتر از ۳۰۰۰ متر در همه فصل‌ها به جز فصل تابستان حدود ۹۸٪ برف وجود دارد، هر چه ارتفاع کاهش پیدا نیز درصد سطح پوشش برف در منطقه کاهش پیدا میکند. در سال‌های مورد مطالعه (۱۳۷۹-۱۳۹۹) میانگین سطح پوشش برف در ارتفاعات کم حدود ۱۰٪ است اما در ارتفاعات بالاتر میانگین درصد سالانه پوشش برف بیشتر ۹۸٪ در منطقه می‌باشد. در این پژوهش با بررسی نقشه‌های SC و LST و بررسی ارتباط این دو مولفه با توپوگرافی منطقه به وضعیت هیدرولوژیکی و اکولوژیکی منطقه پی‌برده شده است. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آینده در مناطق کوهستانی و مرتفع ارتباط این متغیرها سنجیده شود.

۵-منابع

- Abdul Athick, A. S. M., Shankar, K., & Naqvi, H. R. (2019). Data on time series analysis of land surface temperature variation in response to vegetation indices in twelve Wereda of Ethiopia using mono window, split window algorithm and spectral radiance model. *Data in Brief*, 27, 104773. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104773>
- Allen, S. K., Bindoff, N. L., France, F. B., Cubasch, U., Uk, M. R. A., France, O. B., Hesselbjerg, J., Denmark, C., France, P. C., Uk, M. C., Vasconcellos, V., & Feely, R. A. (2014). Technical Summary. *Climate Change 2013 - The Physical Science Basis*, 31–116. <https://doi.org/10.1017/cbo9781107415324.005>
- Afifi, M. (2021). Investigation of changes in snow cover and determination of snowmelt line in mountainous areas using MODIS images and NDSI index (Case study of Zagros glaciers). *Journal of Geography and Environmental Studies*, 10(38), 25-36.
- Asghari, S., Modirzadeh, R. (2020). Estimation of changes in snow depth in Ardabil and Sarein city using Sentinel1 satellite data with Radar interferometry method. *Iran-Water Resources Research*, 16(1), 394-407.
- Arif, H., Mehmood, S. A., & Hafiz, H. A. (2021). Spatiotemporal Variations in Snow Cover using Google Earth Engine in Gilgit-Baltistan, Pakistan. 21(38), 280-286.
- Williamson, S. N., Hik, D. S., Gamon, J. A., Jarosch, A. H., Anslow, F. S., Clarke, G. K. C., & Scott Rupp, T. (2017). Spring and summer monthly MODIS LST is inherently biased compared to air temperature in snow covered sub-Arctic mountains. *Remote Sensing of Environment*, 189, 14–24.
- Bhardwaj, N., Bhaskar, R., Yadav, S., Shukla, S., Mohapatra, M., Aggarwal, S., & Poddar, J. (2022). Snow Cover Mapping Over the Region of Hindu Kush Himalaya (HKH) for 2008–2018 Using Cloud Mitigated Moderate Resolution Spectroradiometer (MODIS) Snow Cover Data. *Sustainable Infrastructure Development*, 105–115. DOI: 10.1007/978-981-16-6647-6_10.
- Buyadi, S. N. A., Mohd, W. M. N. W., & Misni, A. (2013). Impact of Land Use Changes on the Surface Temperature Distribution of Area Surrounding the National Botanic Garden, Shah Alam. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 101, 516–525.
- Entezami, H., Mojarrad, F., Darand, M., Shahabi, H. (2021). Investigating the Changes in Snow Cover in Sefidrood Drainage Basin using Remote Sensing. *Geography and Environmental Sustainability*, 11(2), 1-18. doi: 10.22126/ges.2021.6068.2363
- Hallbian, A., solhi, S. (2020). Snow-cover and Land Surface Temperature investigation, related to the Elevation as a Topographic Factor in the Central Alborz Mountain. *Quantitative Geomorphological Research*, 9(2), 227-249. doi: 10.22034/gmpj.2020.118243
- Jahanbakhsh ASL, S., Aalinejad, M., Sohraabi, V. (2021). The effect of climate change due to snowmelt runoff in Gamasiab basin. *Hydrogeomorphology*, 8(27), 203-183.

- Williamson, S. N., Hik, D. S., Gamon, J. A., Jarosch, A. H., Anslow, F. S., Clarke, G. K. C., & Scott Rupp, T. (2017). Spring and summer monthly MODIS LST is inherently biased compared to air temperature in snow covered sub-Arctic mountains. *Remote Sensing of Environment*, 189, 14–24.
- Karamouz, M., Iraqi Nejad S. (2014). Advanced hydrology. Amirkabir University of Technology Publications (Tehran Polytechnic). *Third edition*.
- Kaviani, M. R., Alijani, B. (2009) Basics of water and meteorology. Samt Publishers. *19th edition*.
- Mahmoudi, H., Pajouhesh, M., Abdollahi, K., Honarbakhsh, A. (2021). Evaluation of Land Surface Temperature and Snow Cover Ratio by Using Remote Sensing Data (Case Study: Kasilian Watershed). *Iranian journal of Ecohydrology*, 8(1), 1-16. doi: 10.22059/ije.2020.307634.1367
- Meng, X., Li, H., Du, Y., Liu, Q., Zhu, J., & Sun, L. (2016). Retrieving land surface temperature from Landsat 8 TIRS data using RTTOV and ASTER GED. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2016-November (July)*, 4302–4305.
- Moradi, M., Salahi, B., Masoodian, S. (2016). Analysis of land surface temperature gradient of Iran using MODIS Terra and Aqua data. *Physical Geography Research Quarterly*, 48(4), 517-532. Niittynen, P., Heikkinen, R. K., & Luoto, M. (2018). Snow cover is a neglected driver of Arctic biodiversity loss. *Nature Climate Change*, 8(11), 997–1001. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0311>
- Notarnicola, C. (2020). Hotspots of snow cover changes in global mountain regions over 2000–2018. *Remote Sensing of Environment*, 243(June 2019), 111781.
- Singh, D. K., Gusain, H. S., Dewali, S. K., Tiwari, R. K., & Taloor, A. K. (2021). *Analysis of Snow Dynamics in Beas River Basin, Western Himalaya Using Combined Terra–Aqua MODIS Improved Snow Product and in Situ Data During Twenty-First Century* (Issue April). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-67932-3_7
- Sharma, V., Mishra, V. D., & Joshi, P. K. (2014). Topographic controls on spatio-temporal snow cover distribution in Northwest Himalaya. *International Journal of Remote Sensing*, 35(9), 3036–3056.
- Thiebault, K., & Young, S. (2020). Snow cover change and its relationship with land surface temperature and vegetation in northeastern North America from 2000 to 2017. *International Journal of Remote Sensing*, 41(21), 8453–8474.
- Torabi Poodeh, H., Yousefi, H., Samadi, A., Arshia, A., Shamsi, Z., & Yarahmadi, Y. (2021). Evaluation of Snow Cover Changes Trend Using GEE and TFPW-MK Test (Case Study: Marber Basin- Isfahan). *Iranian journal of Ecohydrology*, 8(1), 195-204.
- Williamson, S. N., Hik, D. S., Gamon, J. A., Jarosch, A. H., Anslow, F. S., Clarke, G. K. C., & Scott Rupp, T. (2017). Spring and summer monthly MODIS LST is inherently biased

compared to air temperature in snow covered sub-Arctic mountains. *Remote Sensing of Environment*, 189, 14–24.

- Yi, Y., Liu, S., Zhu, Y., Wu, K., Xie, F., & Saifullah, M. (2021). Spatiotemporal heterogeneity of snow cover in the central and western Karakoram Mountains based on a refined MODIS product during 2002–2018. *Atmospheric Research*, 250(September 2020), 105402. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2020.105402>
- Zhang, H., Zhang, F., Zhang, G., Yan, W., & Li, S. (2020). Enhanced scaling effects significantly lower the ability of MODIS normalized difference snow index to estimate fractional and binary snow cover on the Tibetan Plateau. *Journal of Hydrology*, 125795.
- Zeynali, B., Ghale, E., Safari, S. (2021). Extraction of snow-covered area of Sabalan Mountain using Landsat satellite images by object-oriented classification method. *Hydrogeomorphology*, 8(26), 97-79.