



وردش‌های فضایی - زمانی روزهای برف‌پوشان در پهنه شمال غرب ایران با

استفاده از داده‌های دورسنجی

عباس کاشانی، برومند صلاحی، امیرحسین حلییان، بتول زینالی

دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۱۴ / پذیرش: ۱۴۰۲/۱۲/۱۳ / دسترسی اینترنتی: ۱۴۰۳/۰۴/۰۶

چکیده

پیشینه و هدف یکی از مهم‌ترین منابع قابل اطمینان آب در جهان، ذخایر برفی حوضه‌های کوهستانی است. اطلاع از حجم و میزان ذخایر برفی در حوضه‌های آبریز، برای کنترل سیلاب‌ها و تأمین آب ضروری است. پایش مکانی و زمانی برف‌پوش اهمیت زیادی دارد. بخش زیادی از بارش‌های پهنه شمال غربی ایران به‌صورت برف است و آب حاصل از آن، نقشی اساسی در بروز رواناب‌های سطحی و تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی دارد. پوشش برف معرف میزان آب ذخیره شده در حوضه‌های کوهستانی است لذا تعیین سطح پوشش برف در پهنه شمال غربی ایران و واکاوی تغییرات آن در ارتباط با مؤلفه‌های محیطی دیگر ضروری به نظر می‌رسد. تکنیک سنسج از دور و تصاویر حاصل از آن به‌عنوان ابزاری کارآمد در تعیین سطح پوشش برف محسوب می‌شوند.

عباس کاشانی^۱، برومند صلاحی^۲ (✉)، امیرحسین حلییان^۳، بتول زینالی^۴

۱. دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران.
۲. استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران.
۳. استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران.
۴. استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، ایران.

پست الکترونیکی مسئول مکاتبات: salahi@uma.ac.ir

علاوه بر وردش‌های فضایی و زمانی برف‌پوش، ارتباط بین دو مؤلفه فنولوژیک برف‌پوش (سطوح برف‌پوش (SCAs)^۱) و تعداد روزهای برف‌پوشان (SCDs^۲) و ارتباط شمار روزهای برف‌پوش با مؤلفه توپوگرافیکی ارتفاع در پهنه شمال غربی ایران از دیگر اهداف این پژوهش است.

روش تحقیق در این پژوهش، به‌منظور واکاوی وردش‌های فضایی - زمانی روزهای برف‌پوشان در گستره شمال غربی ایران، از داده‌های نسخه ششم سنجنده مادیس ترا و مادیس آکوا به‌صورت روزانه برای ۲۰۲۰-۲۰۰۳ بهره گرفته شد. برای واکاوی وردش‌های فضایی- زمانی برف‌پوش در روی قلمرو مورد بررسی، از کاشی H21v05 هر دو سنجنده مادیس ترا و اکوا که شمال غربی ایران را در بر می‌گیرند استفاده شد. با توجه به دوره‌های زمانی مذکور و استفاده هم‌زمان از هر دو فرآورده سنجنده مادیس ترا و مادیس آکوا و درهم‌آمیزی آن دو در بازه زمانی مشترک و به‌منظور کاهش مسئله ابرناکی که موجب پنهان ماندن پوشش برف از دید ماهواره می‌شود، از هر دو فرآورده استفاده شد. بدین ترتیب، برای واکاوی وردش‌های فضایی زمانی برف‌پوش در پهنه شمال غربی ایران، دوره ۲۰۲۰-۲۰۰۳ (۶۵۴۴ روز) در نظر گرفته شد. قبل از استفاده از داده‌های روزانه برف‌پوش،

1-Snow-Covered Areas
2-Snow-Covered Days

آهنگ شمار روزهای برف‌پوشان با میزان افزایش ارتفاع در ماه‌های مختلف سال متفاوت است. در بازه بلندمدت، بیشینه سطوح SCAs در SCDS بین ۲۰ تا ۴۰ روز در این منطقه توزیع شده است که گستره‌ای در حدود ۴۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع را در بر می‌گیرد. در بازه بلندمدت، در تمامی طبقات ارتفاعی، با افزایش ارتفاع بر SCDS افزوده می‌شود و بین آن‌ها ارتباط مستقیم و افزایشی آشکاری وجود دارد.

نتیجه‌گیری یافته‌ها نشان از افزایش SCDS در ماه‌های نوامبر، دسامبر و ژانویه دارد. بیشینه SCDS در ژانویه مربوط به توده کوهستانی سبلان و سپس سهند دارد. پهنه شمال غربی شاهد کاهش شمار روزهای برف‌پوشان از ژانویه تا مارس است. کاهش SCDS در ماه‌های بهار و تابستانه نیز متأثر از دو عامل عرض جغرافیایی و ارتفاع می‌باشد. بیشینه مطلق SCDS در این منطقه با ۱۶۰ روز در سال در بلندی‌های سبلان مشاهده می‌شود. بررسی تغییرات روزهای برف‌پوشان در ماه‌های مارس و آوریل نشان از کاهش SCDS در طبقات ارتفاعی بلند دارد. در عین حال، الگوی افزایشی SCDS در نوامبر و دسامبر را در بسیاری از کمربندهای ارتفاعی نشان می‌دهد. واکاوی ارتباط SCAs و SCDS در ماه‌های مختلف مشخص کرد که در پهنه‌های دارای SCDS بیشتر (ارتفاعات) به سبب کاهش سطوح توپوگرافی، از SCAs کاسته شده است. ارتباط وردش‌های SCDS با ارتفاع نیز نشان داد که کمینه SCDS در تمامی باندهای ارتفاعی (حتی ارتفاعات بالای ۳۵۰۰ متر با ۴ روز) در اوت و بیشینه آن در دسامبر با ۲۲ روز در ارتفاع ۳۵۰۰ متر روی داده است. SCDS با افزایش ارتفاع در مناطق کوهستانی ۳۵۰۰ تا ۴۰۰۰ متری، به دلیل افزایش شیب زمین و ناپایداری SC بر روی سطوح پرشیب کاهش می‌یابد.

واژگان کلیدی ارتفاع، روزهای برف‌پوشان، سطوح برف‌پوشان، سنجنده مادیس، شمال غرب ایران.

به‌منظور کاهش اثر ابرناکی، پیش‌پردازش‌های ضروری بر روی آن‌ها انجام شد. بدین منظور، سه الگوریتم ادغام و ترکیب داده‌ها، پالایه همسایگی فضایی و پالایه زمانی بر روی داده‌های خام اولیه اعمال شد. داده‌ها به تفکیک هر ماه پردازش و فرایند برآورد میانگین بسامد روزهای برف‌پوشان به‌صورت ماهانه و در کل دوره زمانی مورد بررسی انجام شد. به‌منظور هماهنگ‌سازی تفکیک فضایی داده‌های برف‌پوش، متناسب با ماهیت و نوع داده، از روش بازآرایی شبکه‌ای (تغییر اندازه یاخته‌های داده‌های رستری نزدیک‌ترین همسایه) برای داده‌های برف‌پوش و روش میان‌یابی دوسویه برای داده‌های مدل رقومی ارتفاع استفاده شد. برای الگوی رقومی ارتفاع، از مدل رقومی سطحی (DSM) سازمان اکتشافات فضایی ژاپن استفاده شد. در ادامه، ارتباط بین دو مؤلفه فنولوژیک برف‌پوش (SCAs و SCDS) و پیوند شمار روزهای برف‌پوش با مؤلفه ارتفاع مورد تحلیل قرار گرفت.

نتایج و بحث بررسی‌ها نشان از کاهش شمار روزهای برف‌پوشان در ماه‌های زمستانه دارد، البته، این کاهش در بیشینه SCDS مارس در مقایسه با فوریه ملایم‌تر از فوریه به نسبت ژانویه است. کاهش شمار روزهای برف‌پوشان در ماه‌های زمستانه می‌تواند توزیع رواناب را در گستره مطالعاتی تحت تأثیر قرار داده و با ایجاد ناهنجاری، پیامدهای نامناسبی را از نظر بیلان آبی در منطقه به همراه داشته باشد. پردازش‌ها نشان دادند که سپتامبر، اوت، جولای و اکتبر دارای کمترین نرخ SCDS ماهانه در شمال غرب ایران هستند. در گستره شمال غرب ایران، پس از سپتامبر، اوت، جولای و اکتبر که با نزول SCDS همراه بوده است، مقدار SCDS در نوامبر و دسامبر روندی صعودی به خود می‌گیرد و این روند افزایشی به‌ویژه در تمامی توده‌ای کوهستانی نسبتاً مرتفع و بسیار مرتفع تا ژانویه استمرار یافته آشکار دارد. در این دوره زمانی، بیشینه SCDS در واحدهای کوهستانی بسیار بلند همچون سهند و سبلان، قندیل، تخت سلیمان و چهل چشمه از ۲۵/۸-۱۵ روز متغیر است که نشان از افزایش چشمگیر این مؤلفه فنولوژیک برف به پیروی از عامل ارتفاع در پهنه مطالعاتی دارد. به‌طورکلی، بررسی ارتباط SCDS با مؤلفه توپوگرافیکی ارتفاع نشان از پیوند مثبت و نیرومند بین این دو متغیر محیطی دارد؛ اما

مقدمه

برف شکلی از بارش است که به دلیل تأخیر زمانی بین زمان وقوع آن و زمان تولید رواناب و تغذیه‌ی سفره آب زیرزمینی رفتار متفاوتی با دیگر شکل‌های بارش دارد. ویژگی‌های فیزیکی برف، سبب شده است که پایش این پدیده از راه سنجش‌ازدور امکان‌پذیر شود. در واقع، ماهواره بهترین وسیله‌ای است که می‌تواند پوشش برفی مناطق گسترده‌ای را که با روش‌های زمینی تعیین محدوده آن‌ها امکان‌پذیر نیست، در زمان‌های گوناگون نشان دهد (۲۴). وجود برف در حوضه‌های برف‌گیر، بر اقلیم محلی، منطقه‌ای و منابع آب اثر دارد لذا پایش آن اهمیت زیادی دارد.

پوشش برفی با انعکاس بخشی از تابش ورودی خورشید، در حفظ بیلان تابشی زمین هم اهمیت دارد (۱۲ و ۳۲). بخش زیادی از سطح نیمکره شمالی در زمستان زیر پوشش برف است (۲۰) (۱۵). برف‌پوش در عرض‌های متوسط و بالا در تأمین رواناب سطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی اهمیت دارد (۱ و ۱۲). در نروژ و سوئیس برف‌پوش نقش مهمی در تأمین الکتریسیته دارد (۲۷). هنگام استفاده از مدل‌های رواناب ناشی از ذوب برف، اطلاع از میزان برف‌پوش و آب معادل برف مهم است (۴). نوسانات عمق برف بر رشد گیاهان هم اثرگذار است (۸). از دهه ۱۹۶۰، سطح برف‌پوش‌ها کاهش یافته است (۳) (۱۵). فوستر و همکاران (۷) معتقدند که نوسانات آب و هوایی منجر به ذوب بیشتر برف و کاهش سطح برف‌پوش شده است. پنگ و همکاران (۱۹) دریافتند که عمق برف در جنوب و شمال مدار ۴۰ درجه، کاهش و افزایش داشته است. داده‌های دورسنجی برف‌پوش به سبب پوشش فضایی-زمانی مناسب برای واکاوی تغییرات این پدیده محیطی به‌ویژه در محیط‌های کوهستانی که داده‌های کافی وجود ندارد بسیار ارزشمند هستند. بدین سبب پژوهش‌های متعددی به کمک این داده‌های دورسنجی انجام شده که در ادامه بدان اشاره می‌شود. مولگ و همکاران (۱۶) با بررسی پوشش برف در نواحی کوهستانی ایتالیا بر دقت تصاویر ترکیبی ترا و آکوا صحه گذاشتند. کی و لیو (۱۳) با بررسی پوشش برف منطقه شین جانگ چین نشان

دادند که روند تغییرات پوشش برف در ارتفاعات و فصول مختلف فرق دارد. ساودرا و همکاران (۲۲) با پایش برف‌پوش منطقه کوهستانی آند با تصاویر ماهواره‌ای نشان دادند که در دیواره شرقی آند، کاهش برف‌پوش مشهود است. نوتارینکولا (۱۷) نیز معتقد است که به علت تغییرات افزایشی دمای جهانی، بخش زیادی از مناطق کوهستان جهان در حال کاهش زمان ماندگاری برف‌پوش است.

در ایران، الحسینی المدرسی و همکاران (۲) خصوصیات فیزیکی برف (سطح، عمق و حجم برف) را در ارتفاعات شمال تهران به کمک تصاویر ترا سارایکس (Terra SAR-X) و مادیس در دوره زمانی اکتبر ۲۰۱۲ تا می ۲۰۱۳ با استفاده از روش تداخل سنجی تفاضلی راداری برآورد کردند. کیخسروی کیانی و مسعودیان (۱۴) با استفاده از داده‌های ماهواره مادیس، برف‌خوان‌های ایران را شناسایی و مطالعه کردند. حلبیان و صلحی (۱۰) نیز نشان دادند که در البرزی مرکزی، دمای سطح زمین و برف‌پوش در فصول زمستان و پائیز دارای روندی معکوس دارند. در مجموع، پژوهش‌های فوق نشان می‌دهد که داده‌های دورسنجی در زمینه برآورد گستره و وردش‌پذیری پوشش برف که فراسنج‌های مهمی در سامانه‌های آب‌شناختی و آب و هواشناسی هستند بسیار توانمند بوده و می‌توانند نمایی از الگوی پراکنش برف و تغییرات فنولوژیک این پدیده محیطی مشتمل بر مساحت پوشیده شده از برف، مدت زمان مانایی پوشش برف، اولین روز برف‌پوشان، آخرین روز برف‌پوشان، ارتفاع برف‌مرز را فراهم آورند.

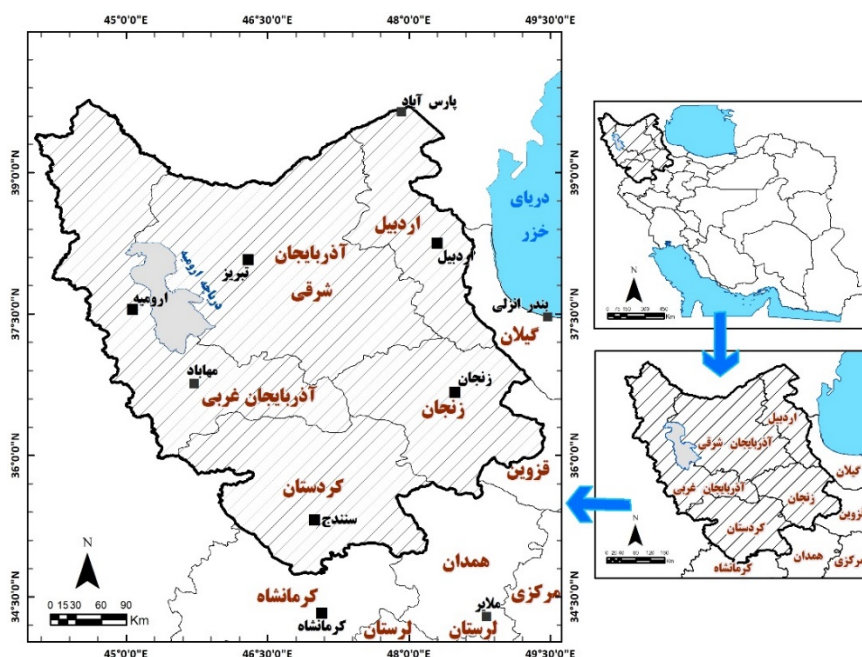
بخش عظیمی از بارش‌ها در پهنه شمال غربی ایران به شکل برف است و انباشت آن آب مورد نیاز رودخانه‌ها را در فصول گرم فراهم می‌کند. در حقیقت، سطوح پوشیده از برف در پهنه شمال غربی نقش عمده‌ای را در ایجاد جریان‌های دائمی و فصلی برای مصارف مختلف و تأمین نیاز آبی در این گستره جغرافیایی فراهم می‌کند. لذا آگاهی درست و بهنگام از ذخایر برفی در پهنه شمال غربی ایران با توجه به پدیده تغییر اقلیم برای مهار سیلاب‌ها، برآورد آب معادل برف و مهیایی آب مورد نیاز مناطق فرودست امری اجتناب‌ناپذیر است. از آن

محدوده مورد بررسی مابین طول جغرافیایی ۴۴ درجه و ۲ دقیقه و ۵۴ ثانیه تا ۴۹ درجه و ۲۶ دقیقه و ۴۸ ثانیه شرقی و جغرافیایی عرض ۳۴ درجه و ۴۱ دقیقه و ۱۷ ثانیه و ۳۹ درجه و ۴۶ دقیقه و ۲۵ ثانیه شمالی شامل استان‌های شمال غربی ایران (اردبیل، آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی، زنجان، کردستان) می‌باشد. ارتفاعات سبلان با ۴۸۱۱ متر و سهند با ۳۷۰۷ متر و کوه‌های ارسباران با ارتفاع ۳۲۲۵ متر و کوه‌های طالش با ارتفاع ۳۳۰۳ متر، یکی از وسیع‌ترین مناطق برف‌گیر ایران و سرچشمه رودخانه‌های بزرگی، چون: ارس، آجی چای (تلخه رود)، قزل‌اوزن، شاهرود، سفیدرود، سیمینه‌رود، زرینه‌رود، قره‌سو و اهر رود را تشکیل می‌دهد. این ارتفاعات دارای تنگه‌های با شیب تند بوده و در فصل بارش حجم زیادی از برف را در خود جای می‌دهند. ارتفاعات برف‌گیر سهند نیز یکی از بزرگ‌ترین منشأهای رودخانه‌های متعددی است که حیات شهری، روستایی و عشایری را تداوم بخشیده است.

جایی که پوشش برف معرف میزان آب ذخیره شده در حوضه‌های کوهستانی است. لذا تعیین سطح پوشش برف در پهنه شمال غربی ایران و واکاوی نوسانات و تغییرات آن در ارتباط با مؤلفه‌های محیطی دیگر ضروری به نظر می‌رسد و در این امر محسوب می‌شوند. در این پژوهش علاوه بر وردش‌های فضایی و زمانی برف‌پوش، ارتباط بین دو مؤلفه فنولوژیک برف‌پوش (سطوح برف‌پوش (SCAS) و تعداد روزهای برف‌پوشان (SCDS)) و ارتباط شمار روزهای برف‌پوش با مؤلفه توپوگرافیکی ارتفاع در پهنه شمال غربی ایران مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است.

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه



شکل ۱. قلمرو مطالعاتی

Fig 1. The study area

داده‌ها و روش‌شناسی

داده‌ها

در این پژوهش برای برف‌پوش از داده‌های فرآورده V006-MOD10A1 ورژن ۶ ماهواره ترا (Terra) و فرآورده v006-MyD10A1 ورژن ۶ ماهواره آکوا (Aqua) در دوره زمانی ۲۰۰۳-۲۰۲۰ استفاده شد که دارای توان تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و توان تفکیکی زمانی روزانه هستند. لازم یادآوری است که داده‌های برف-پوش ماهواره ترا از تاریخ ۲۰۰۰/۰۲/۲۴ و داده‌های ماهواره آکوا از تاریخ ۲۰۰۲/۰۷/۰۴ به صورت عددی تاکنون (با چند روز دیرنگامی) قابل دستیابی است. در این پژوهش برای واکاوی وردش‌های فضایی-زمانی برف‌پوش بر روی قلمرو مورد بررسی از کاشی H21v05 هر دو سنجنده مادیس ترا و اکوا که پهنه شمال غربی ایران را در بر می‌گیرد استفاده شد. با توجه به بازه‌های زمانی فوق و استفاده هم‌زمان از هر دو فرآورده سنجنده مادیس ترا و مادیس آکوا و درهم‌آمیزی آن دو در بازه زمانی مشترک و به منظور کاهش مسئله ابرناکی که موجب پنهان ماندن پوشش برف از دید ماهواره می‌شود از هر دو فرآورده استفاده شد. بدین ترتیب، دوره زمانی مورد نظر در این پژوهش برای واکاوی وردش‌های فضایی، زمانی برف-پوش در پهنه شمال غربی ایران ۲۰۰۳-۲۰۲۰ (۲۰۰۳/۰۱/۰۱ تا ۲۰۲۰/۱۲/۳۱ حدود ۶۵۴۴ روز) در نظر گرفته شد. سیستم تصویر این فرآورده‌ها سینوسی و داده‌ها به صورت رقومی بر اساس شاخص^۱ NDSI با فرمت^۲ HDF در تارنمای search.earthdata.nasa.gov قابل دسترسی است (رابطه ۱ و ۲).
نمایه تفاضلی نرمال شده برف (NDSI) نسبت بین اختلاف دو طیف مادون قرمز و مرئی است (۱۱) (۲۵):

$$NDSI = \left(\frac{G-SWIR}{G+SWIR} \right) \quad [1]$$

در این رابطه G باند سبز (باند ۴) و SWIR^۳ باند مادون قرمز موج کوتاه (باند ۶) است:

$$NDSI = ((band\ 4 - band\ 6) / (band\ 4 + band\ 6)) \quad [2]$$

در این روابط باند G و باند SWIR مربوط به بازتاب در طول موج‌های ۰/۶۶ و ۱/۶۰ نانومتر سنجنده است. بر اساس این نمایه، برف‌پوش در محدوده ۰/۱۰۰-۰ (۰-۱) گزارش می‌شود (۲۱). یاخته‌ای با $NDSI > 0.0$ دارای مقداری برف و یاخته‌ای با $NDSI \leq 0.0$ بدون برف قلمداد می‌شود.

روش‌شناسی

تعیین آستانه NDSI

بر اساس دستورالعمل و راهنمای فرآورده‌های برف‌پوش سنجنده مادیس اگر کاربر بخواهد یک (Snow Cover) SCA (Area) باینری بسازد، می‌تواند آستانه NDSI را برای برف تعیین کند (۲۱). در این زمینه برخی از پژوهشگران نظیر ژانگ و همکاران (۳۱) آستانه حداقل ۰/۱ را برای NDSI منطقی‌تر دانسته و مورد تأکید قرار داده‌اند. لذا با توجه به این موضوع که اساساً ایران کشوری با پوشش برف کم بشمار می‌رود و با در نظر گرفتن موقعیت و شرایط قلمرو مطالعاتی از این آستانه برای برآورد برف‌پوش استفاده گردید. بدین منظور، داده‌های سنجنده مادیس در هر دو ماهواره ترا و اکوا با فرمت hdf به فرمت tif و با آستانه ۰/۱-۱ به باینری و ASCII و با سیستم مختصات جغرافیایی تبدیل گردید. این داده‌ها با بهره‌گیری از زبان کدنویسی پایتون پردازش شد. درعین حال، فرآورده برف بر اساس مرز پهنه مطالعاتی با روش Extract by Mask در محیط پایتون برش داده شد.

روش‌های کاهش اثر پدیده ابرناکی

ترکیب داده‌های ترا و اکوا

بدون اجرای الگوریتم کاهش پوشش ابر، استفاده از داده‌های خام برف‌پوش سنجنده و منطقی نیست. یکی از محدودیت‌های عمده در استفاده از داده‌های روزانه برف‌پوش MODIS، بالا بودن ابرناکی در مناطق کوهستانی است. از آنجایی که زمان گذر ماهواره ترا از فراز استوا ساعت ۱۰:۳۰ صبح و زمان گذر ماهواره اکوا از فراز استوا ساعت ۱:۳۰ بعدازظهر است (این دو ماهواره با سه ساعت اختلاف از روی

1-Normalize Difference Snow Index
2-Hierarchical Data Format
3- Short Wave-Infrared

روش پالایه زمانی نیز بر روی داده‌های ادغامی ترا و اکوا نیز صورت گرفت. در این الگوریتم یاخته‌هایی که توسط سنجنده مادیس ابر تشخیص داده شده بود، ولی همان یاخته در روز پیشین و پسین برف گزارش شده بود؛ آن یاخته ابری نیز در روز مورد بررسی به‌عنوان یاخته برفی در نظر گرفته شد؛ زیرا با احتمال بسیار زیاد ابرناکی در روز میانی بر فراز یاخته مورد نظر موجب پنهان و مخفی ماندن برف‌پوش از دید ماهواره شده است. از این رو، در این پژوهش از الگوریتم پالایه سه‌روزه نیز بر روی سری زمانی داده‌های روزانه‌ی برف‌پوش بهره گرفته شد. در ادامه، پایگاه داده برف‌پوش حاصل از اجرای الگوریتم ادغام و ترکیب داده‌های ترا و اکوا و الگوریتم پالایه فضایی- زمانی بر اساس آستانه ۱-۰/۱ به باینری تبدیل و به ازای هر روز برف‌پوش شناسایی و برآورد گردید.

مدل رقومی ارتفاع (DEM^۴)

برای مدل رقومی ارتفاع (DEM) نیز از داده‌های آژانس اکتشافات فضایی ژاپن (JAXA) به نام ALOS World 3D (AW3D) استفاده شد. این مجموعه داده AW3D30 در پژوهش‌های علمی و آموزش و طراحی سرویس‌های جدید اطلاعات مکانی می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد (۲۶). این مجموعه داده، مدل رقومی سطحی (DSM) با قدرت تفکیک افقی تقریباً ۳۰ متر (در اصل ۱ ثانیه فوسی) می‌باشد که توسط ابزار سنجش از دوری پانکروماتیک برای تصویرسازی استریو به دست آمده است. PRISM یک سنسور نوری است که بر روی ماهواره پیشرفته مشاهده زمین (ALOS) قرار گرفته است. آخرین ورژن ۳/۱ است. این داده‌ها نیز با فرمت tif به ASCII تبدیل و با کمک زبان برنامه‌نویسی پایتون پردازش شد.

بازآرایی شبکه‌ای

با توجه به این‌که تفکیک فضایی داده‌های برف‌پوش ۵۰۰ متر و داده‌های مدل رقومی ارتفاع ALOS ۳۰ متری است، در این پژوهش تفکیک فضایی تمامی داده‌های رقومی مورد

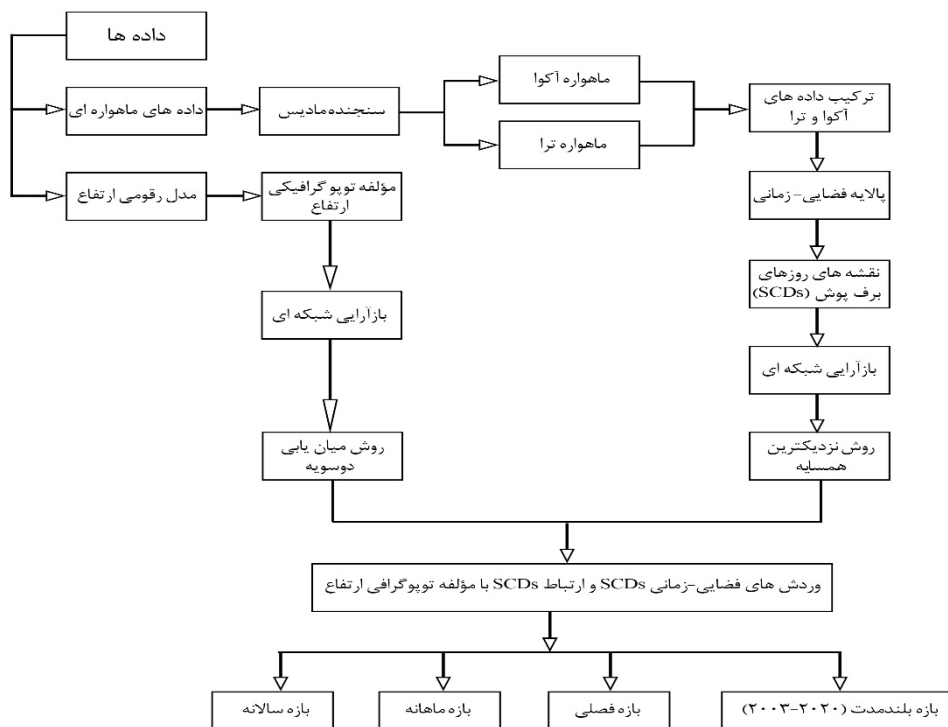
منطقه عبور می‌کنند). لذا با ترکیب فرآورده‌های ترا و اکوا بهتر و دقیق‌تر می‌توان برف‌پوش را تشخیص و شناسایی نمود (۲۸) (۲۳). در این پژوهش در هنگام ترکیب داده‌های دو ماهواره ترا و اکوا، یک یاخته در صورتی که به‌وسیله ماهواره ترا و یا اکوا به‌عنوان یاخته برفی شناسایی شده باشد؛ به‌عنوان یاخته برفی در نظر گرفته می‌شود. امکان دارد ماهواره ترا صبح هنگام و یا ماهواره اکوا بعدازظهر یاخته‌ای را به‌مثابه یاخته ابری شناسایی کند، ولی همان یاخته در بعدازظهر توسط ماهواره اکوا و یا صبح هنگام به‌وسیله ماهواره ترا به‌عنوان یاخته برفی شناسایی شود. به‌بیان‌دیگر، ابرناکی در صبح هنگام و یا در بعدازظهر موجب مخفی ماندن برف‌پوش از دید ماهواره شده باشد. در این شرایط یاخته‌هایی که این حالت را دارند؛ در داده‌های سنجنده‌ی مادیس ترا و اکوا به‌عنوان یاخته‌های برفی تلقی می‌شوند. تنها در صورتی که یاخته‌ای در هر دو ماهواره ترا و اکوا ابر باشد؛ به‌عنوان یاخته ابری در نظر گرفته و طبقه‌بندی می‌شود (۲۳). روش ترکیب داده‌های سنجنده مادیس در دو ماهواره ترا و اکوا با هدف کاهش اثر پدیده ابرناکی و تخمین بهینه برف‌پوش به‌وسیله محققینی همچون پاراجکا و بلوشل (۱۸)، وانگ و همکاران (۲۹)، شی و همکاران (۲۳)، کی و لیو (۱۳) و دایتز و همکاران (۶) توصیه و استفاده شده است.

پالایه فضایی- زمانی

یکی دیگر از راهکارهای کاهش اثر پدیده ابرناکی اجرای پالایه فضایی- زمانی بر روی داده‌های رقومی برف‌پوش است. بهره‌گیری از پالایه برای کاهش اثر ابرناکی توسط پژوهشگران متعددی پیشنهاد شده است (۹) (۳۰) (۵) (۶). الگوریتم این روش بدین صورت است که یک پالایه فضایی با کرنل 3×3 (۹) یاخته) بر روی داده‌های ادغام و ترکیب شده ترا و اکوا اعمال شد. بدین صورت که اگر یاخته مرکزی ابر و بیش از شش یاخته همسایه آن برف را گزارش کرده بودند؛ یاخته مرکزی هم برف در نظر گرفته شد. چنانچه بیش از شش یاخته اطراف یاخته مرکزی پدیده زمین و یاخته مرکزی ابر را گزارش کرده بودند؛ آن یاخته ابری نیز به پدیده زمین تبدیل شد. در ادامه،

میانگین روزهای برف پوش در مقیاس های زمانی ماهانه، فصلی، سالانه و بلندمدت (کل دوره) برآورد و نقشه های پراکنش فضایی برف پوش در این بازه های زمانی ترسیم شد. در ادامه، ارتباط بین دو مؤلفه فنولوژیک برف پوش SCAs و SCDs و پیوند شمار روزهای برف پوش با ارتفاع در گام های ۱۰۰ متری در پهنه شمال غربی ایران مورد واکاوی قرار گرفت. شکل ۲ فلوجارت داده ها و روش پژوهش را نشان می دهد.

استفاده ۲۵۰ متر در نظر گرفته می شود و به منظور هماهنگ-سازی تفکیک فضایی این داده ها از روش های پرکاربرد بازآرایی شبکه ای (Resample) یا تغییر اندازه یاخته های داده-های رستری نزدیک ترین همسایه (Nearest Neighbor) برای داده های برف پوش و میان یابی دوسویه (Nearest Neighbor) برای داده های مدل رقومی ارتفاع متناسب با ماهیت و نوع داده استفاده شد. پس از آماده سازی و تهیه پایگاه داده برف پوش



شکل ۲. فلوجارت داده ها و روش پژوهش

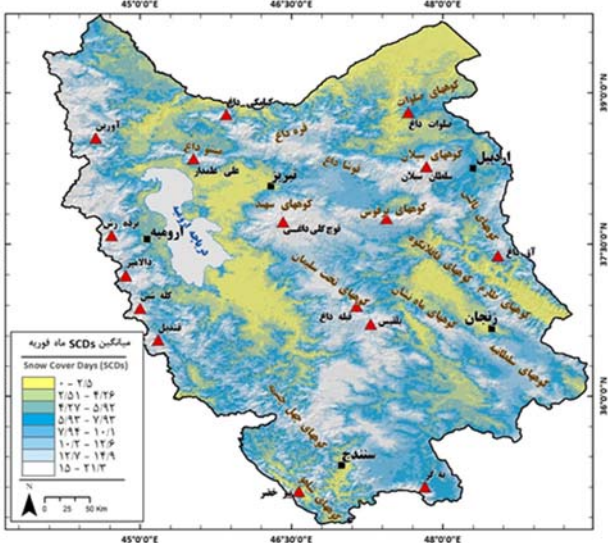
Fig 2. Flowchart of data and research method

نتایج

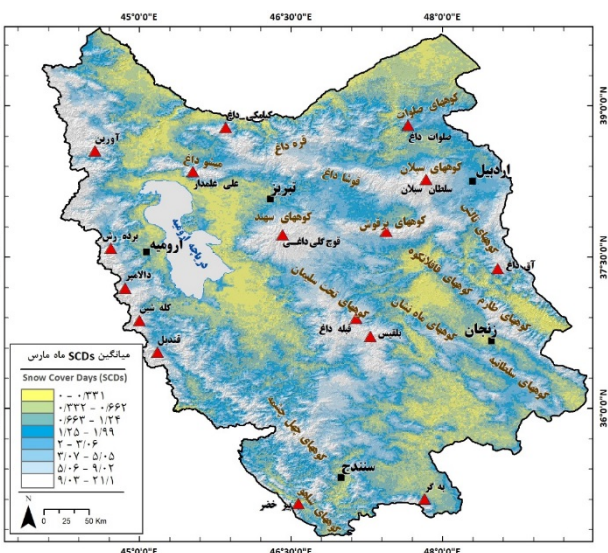
واکاوی وردش‌های فضایی تعداد روزهای برف‌پوش

(SCDs)

متوسط SCDs در ماه ژانویه (۱۱ دی تا ۱۱ بهمن) در کل دوره آماری بین ۰ تا ۲۵/۸ روز متغیر است. نزدیک صفر مربوط به اراضی هموار و پست پیرامون دریاچه ارومیه و دشت مغان است. سایر اراضی بین این دو آستانه متغیر می‌باشند. در شکل ۳ طیف رنگ به سمت سفید، SCDs بیشتر و طیف رنگ به سمت زرد SCDs کمتر را نشان می‌دهد. سیمای کلی نقشه SCDs تبعیت این شاخص محیطی با ارتفاع را به خوبی نشان می‌دهد. توده کوهستانی سهند و سبلان، ارتفاعات قندیل در غرب دریاچه ارومیه و همچنین ارتفاعات زنجان و بخشی از ارتفاعات چهل چشمه کردستان، دارای SCDs بالایی هستند. مطابق با شکل ۴ الگوی کلی SCDs در ماه فوریه (۱۲ بهمن تا ۹ اسفند) مشابه ماه ژانویه است با این تفاوت که مقداری از SCDs به نسبت ماه قبل (ژانویه) کاسته شده است. این موضوع در ماکزیمم SCDs ماه فوریه قابل مشاهده است.

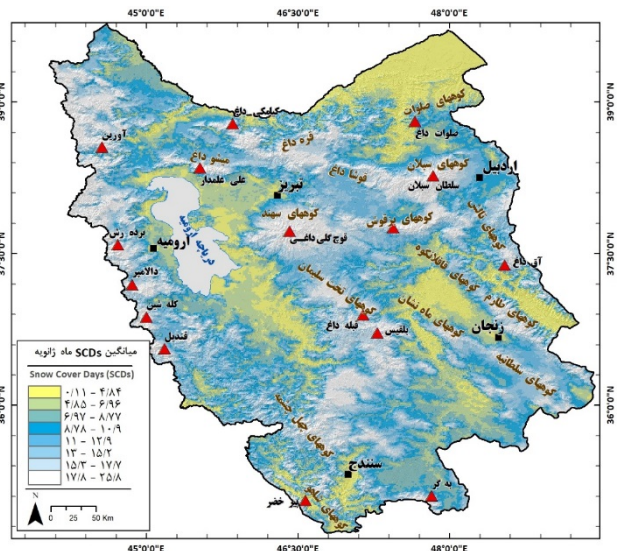


شکل ۴. میانگین ماهانه SCDs در پهنه شمال غربی ایران (فوریه)
Fig 4. Monthly mean of SCDs in the Northwestern region (February)



شکل ۵. میانگین ماهانه SCDs در پهنه شمال غربی ایران (مارس)
Fig 5. Monthly mean of SCDs in the Northwestern region (March)

ماکزیمم SCD ماه فوریه در منطقه شمال غرب معادل ۲۱/۳ ولی در ماه ژانویه این مقدار معادل ۲۵/۸ روز است. بالاترین SCDs در ماه ژانویه مربوط به توده کوهستانی سبلان و سهند می‌باشد

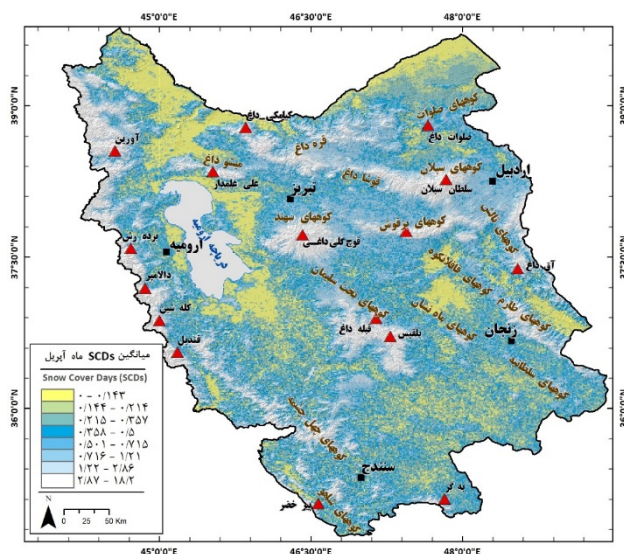


شکل ۳. میانگین ماهانه SCDs در پهنه شمال غربی ایران (ژانویه)
Fig 3. Monthly mean of SCDs in the Northwestern region (January)

بالایی داشته و در ارتفاعات نزدیک به قله سبلان این مقدار به حدود ۲۵ روز نیز می‌رسد.

در ماه جولای (۱۰ تیر تا ۹ مرداد) تعداد روز برف‌پوشان در ارتفاعات شمال غرب به‌طور کامل کاهش می‌یابد. در عمده نواحی، SCDs به کمتر از ۱ روز کاهش یافته است تنها در ارتفاعات سبلان و سهند و تا حدودی در دیواره مرزی غربی در رشته‌کوه‌های قندیل SCD بالاتری مشاهده می‌شود. مشابه الگوی ماه‌های پیش، باند جنوبی منطقه شمال غرب، SCDs پایین‌تری به نسبت باند شمالی نشان می‌دهد. ارتفاعات سبلان به نسبت سایر واحدهای کوهستانی منطقه شمال غربی دارای پایداری بیشتر SCDs بوده که با وجود یخچال‌های طبیعی در این واحد کوهستانی توجیه‌پذیر است (شکل ۹). در ماه اوت که منطبق با ۱۰ مرداد تا ۹ شهریور است، الگوی مشابهی با ماه پیش (جولای) در وردش‌های مکانی SCDs در منطقه شمال غرب ایران مشاهده شد. افت SCDs در این ماه نیز همچنان در منطقه مشاهده می‌شود به‌طوری‌که ماکزیمم SCDs در ارتفاعات سبلان به نسبت ماه قبل ۰/۸ کاهش نشان می‌دهد. افت SCDs در سایر نواحی نیز مشاهده می‌شود. متوسط SCDs در این ماه در عمده اراضی به کمتر از ۰/۶۵ کاهش یافته و این ماه را می‌توان یکی از چهار ماه با پایین‌ترین نرخ SCDs در منطقه شمال غرب ایران دانست (شکل ۱۰).

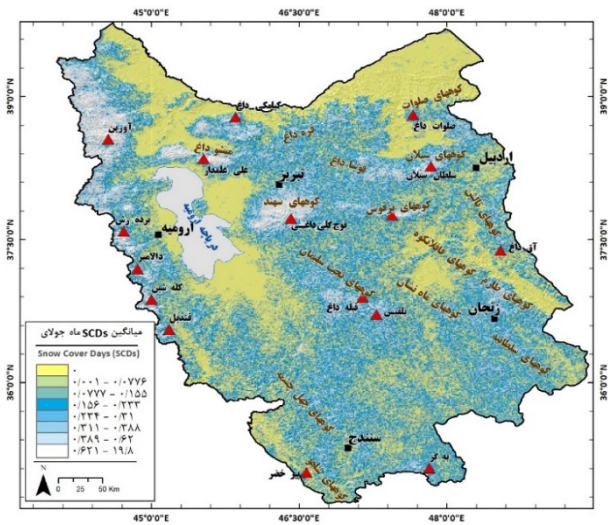
الگوی کلی ماه مارس (۱۰ اسفند تا ۱۱ فروردین)، مشابه ماه‌های ژانویه و فوریه است با این تفاوت که مقداری SCDs به نسبت دو ماه قبل کاهش می‌یابد. این کاهش در بیشینه SCDs مشخص‌تر است. به‌طوری‌که ماکزیمم SCDs ماه ژانویه و فوریه به ترتیب ۲۵/۸ و ۲۱/۳ روز است ولی در این ماه بیشینه SCDs معادل ۲۱/۱ روز است که مربوط به ارتفاعات سبلان و سهند می‌شود. افت ماه مارس به نسبت ماه فوریه در مقدار ماکزیمم SCDs ملایم‌تر از ماه فوریه به نسبت ژانویه است (شکل ۵). بر اساس شکل ۶ که متوسط SCDs ماه آوریل (۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت) را نشان می‌دهد، افت قابل توجه ماکزیمم SCDs در ارتفاعات مشهود است. به‌صورتی که به نسبت ماه قبل یعنی مارس، بیشینه SCDs در ارتفاعات



شکل ۶. میانگین ماهانه SCDs در پهنه شمال غربی ایران (آوریل)

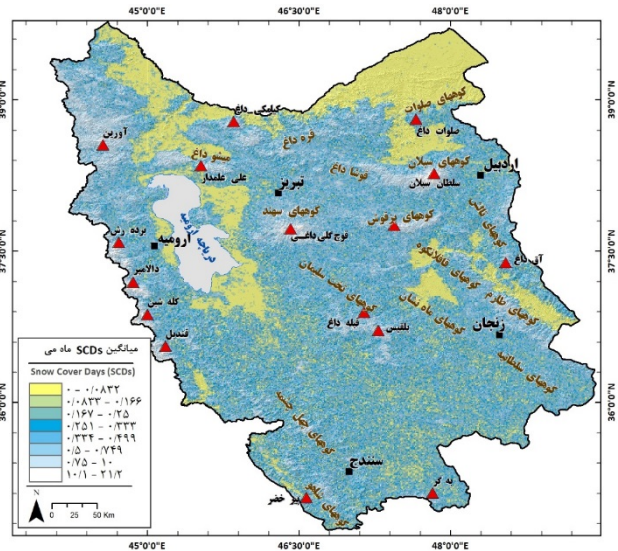
Fig 6. Monthly mean of SCDs in the Northwestern region (April)

همان‌طور که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، افت قابل‌توجهی در SCDs ماه می (۱۱ اردیبهشت تا ۱۰ خرداد) در منطقه شمال غرب مشاهده می‌شود. نواحی دشتی و سطوح هموار و کم ارتفاع پیرامون ارتفاعات، افت قابل‌توجهی از SCDs را تجربه کرده‌اند به‌طوری‌که SCDs در این ماه به‌طور متوسط به کمتر از ۱ روز رسیده است. به‌طور مشخص تنها واحدهای کوهستانی مرتفع و پرحجم همچون سهند، سبلان، بزقوش و ارتفاعات قندیل (خصوصاً بخش شمالی) توانسته‌اند SCDs را در این ماه بالای ۱۰ روز نگه دارند (شکل ۷). همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، SCDs ماه ژوئن (۱۱ خرداد تا ۹ تیر) به‌سرعت در منطقه شمال غرب در این ماه کاهش یافته و تنها به بخش‌های مرتفع و قله‌های اصلی خصوصاً در نیمه شمالی منطقه آذربایجان بالاتر از مدار ۳۷/۵ درجه محدود می‌شود. واحدهای کوهستانی بخش آذربایجان جنوبی همچون ارتفاعات شاهو، چهل چشمه، سلطانیه، ماه‌نشان و تالش، به‌طور مشخص SCDs بیشتری به نسبت ارتفاعات آذربایجان شمالی همچون قندیل (شمالی)، سهند و سبلان، بزقوش و علی‌علمدار از دست داده‌اند. متوسط SCDs ماه ژوئن در عمده اراضی آذربایجان جنوبی به کمتر از ۱ روز کاهش یافته درحالی‌که در آذربایجان شمالی بدنه ارتفاعات همچنان SCD

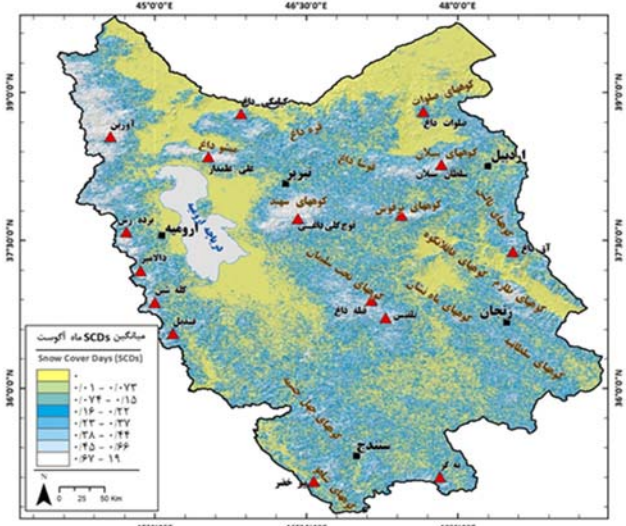


شکل ۹. میانگین ماهانه SCDs در پهنه شمال غربی ایران (جولای)
Fig 9. Monthly mean of SCDs in the Northwestern region (July)

شمال غرب در حدود ۳ روز کاهش می‌یابد. کاهش SCDs در نواحی شمال غرب ایران مشهود است. الگوی کلی ماه آوریل از ارتفاع زمین تبعیت دارد و به‌طورکلی SCDs از ارتفاعات به سمت دشت‌ها به‌شدت کاهش می‌یابد.

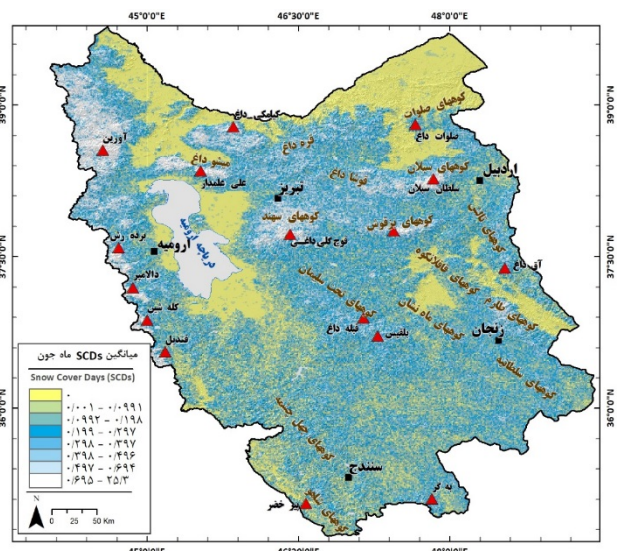


شکل ۷. میانگین ماهانه SCDs در پهنه شمال غربی ایران (می)
Fig 7. Monthly mean of SCDs in the Northwestern region (May)



شکل ۱۰. میانگین ماهانه SCDs در پهنه شمال غربی ایران (اوت)
Fig 10. Monthly mean of SCDs in the Northwestern region (August)

نکته قابل توجه در تغییرات SCDs در این ماه آن است که در عرض‌های جغرافیایی پایین‌تر همچون ارتفاعات چهل چشمه و منطقه کردستان افت SCDs در ارتفاعات مشهود و ملموس‌تر از عرض‌های جغرافیایی بالاتر همچون ارتفاعات تخت سلیمان، سهند و سبلان و ارتفاعات مرزی (مرز ایران-عراق و ایران-ترکیه) رشته‌کوه‌های قندیل است. به‌طورکلی افت SCDs از جنوب به سمت شمال در حال پیشروی است و در این ماه ارتفاعات شاهو، چهل چشمه و سلطانیه با سرعت



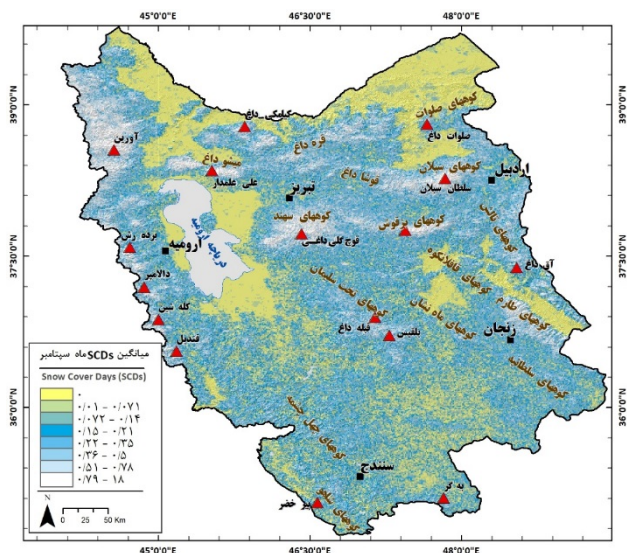
شکل ۸. میانگین ماهانه SCDs در پهنه شمال غربی ایران (ژوئن)
Fig 8. Monthly mean of SCDs in the Northwestern region (June)

نسبتاً سریع SCDs در این ماه می‌شود. افزایش SCDs در این ماه در باند شمالی منطقه در واحدهای کوهستانی قندیل، قره-داغ، سهند، سبلان، بزقوش بارزتر از باند جنوبی است. در باند جنوبی به دلیل شرایط دمایی (گرمای بیشتر در باند جنوبی)، افزایش SCDs به نسبت باند شمالی با تأخیر اتفاق می‌افتد. مطابق با نتایج نشان داده شده در شکل ۱۴، متوسط SCDs در ماه دسامبر (۱۰ آذر تا ۱۰ دی) در منطقه شمال غرب به سرعت افزایش می‌یابد. گستره وسیع‌تری از ارتفاعات و اراضی پیرامونی با افزایش SCDs روبه‌رو می‌شوند. باند جنوبی شامل ارتفاعات چهل چشمه، سلطانیه و ماه‌نشان، کوه‌های طارم و تالش نیز افزایش SCDs را تجربه می‌کنند. افزایش SCDs تقریباً تمام بدنه واحدهای کوهستانی مهم را در بر می‌گیرد. بیشینه SCDs در ناحیه شمال غرب به بالای ۲۵ روز افزایش می‌یابد که عمدتاً منطبق با نواحی مرتفع واحدهای کوهستانی سهند و سبلان، قندیل، تخت سلیمان و چهل چشمه کردستان است.

بیشتری در حال از دست دادن SCDs می‌باشند. به طوری که در شکل ۱۱ ملاحظه می‌شود، متوسط SCDs ماه سپتامبر (۱۰ شهریور تا ۸ مهر) نیز یکی از ۳ ماه با کمترین SCDs در منطقه شمال غرب به حساب می‌آید. الگوی افت SCDs همچنان در منطقه دیده می‌شود. ارتفاعات سبلان به طور متوسط ۱ روز دیگر از SCDs از دست می‌دهند و تقریباً همه اراضی دشتی و هموار و کم ارتفاع و نیمه مرتفع دارای SCDs کمتر از ۰/۵ هستند. ماه سپتامبر به همراه ماه‌های اوت، جولای و اکتبر دارای کمترین نرخ SCDs ماهانه در متوسط بلندمدت دوره آماری مورد بررسی هستند.

همان‌طور که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود، مقدار SCDs در ماه اکتبر (۹ مهر تا ۹ آبان)، تقریباً در همه به کمترین مقدار خود رسیده است. با وجود آن‌که شرایط دمایی رو به کاهش داشته ولی SCD به نسبت ماه‌های پیش در کمینه قرار گرفته است. به دلیل آن‌که هنوز بارش‌های به شکل برف در این ناحیه غالب نشده است، با وجود آن‌که دما کاهش داشته ولی SCDs کاهش نشان می‌دهد. در این ماه بیشینه SCDs در ارتفاعات سبلان در کمترین مقدار خود در طول سال قرار دارد به طوری که SCDs به کمتر از ۱۷ روز کاهش یافته است. در این ماه یخچال‌های طبیعی و یخچال‌های سنگی سبلان در شکننده‌ترین شرایط خود در طول سال قرار دارند و در فاز کامل برداشت قرار گرفته‌اند. از ماه بعد شرایط تغییر نموده و مجدداً بارش‌های برف پائیزی در ارتفاعات این مخازن کوهستانی را تغذیه می‌نماید.

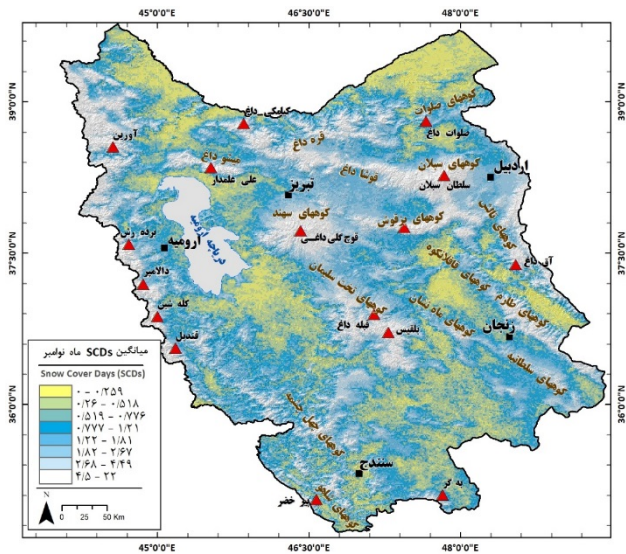
در شکل ۱۳ متوسط ماهانه SCDs ماه نوامبر (۱۰ آبان تا ۹ آذر) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در منطقه شمال-غرب نهایتاً بعد از ۴ ماه متوالی کاهش SCDs، مجدداً افزایش SCDs پائیزی آغاز می‌شود. این افزایش تا چندین ماه آینده نیز ادامه می‌یابد. در این ماه بدنه واحدهای کوهستانی نسبتاً مرتفع مجدداً ۴/۵ روز برف‌پوشان را به طور متوسط تجربه می‌نماید. در ارتفاعات بسیار مرتفع SCDs به بالای ۱۵ روز افزایش می‌یابد. شرایط افت دمای پائیزه به همراه شروع بارش‌ها و ورود بادهای غربی به منطقه باعث افزایش



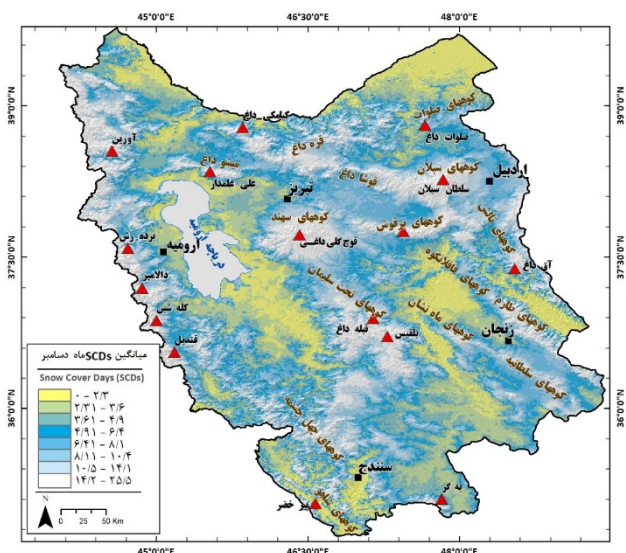
شکل ۱۱. میانگین ماهانه SCDs در پهنه شمال غربی ایران (سپتامبر)

Fig 11. Monthly mean of SCDs in the Northwestern region (September)

بر اساس الگوی بلندمدت SCDs، بیشینه مطلق SCDs در منطقه برابر با ۱۶۰ روز است که عمدتاً مربوط به اراضی بسیار مرتفع و کوه‌های سر به فلک کشیده سبلان و چند قله بسیار مرتفع

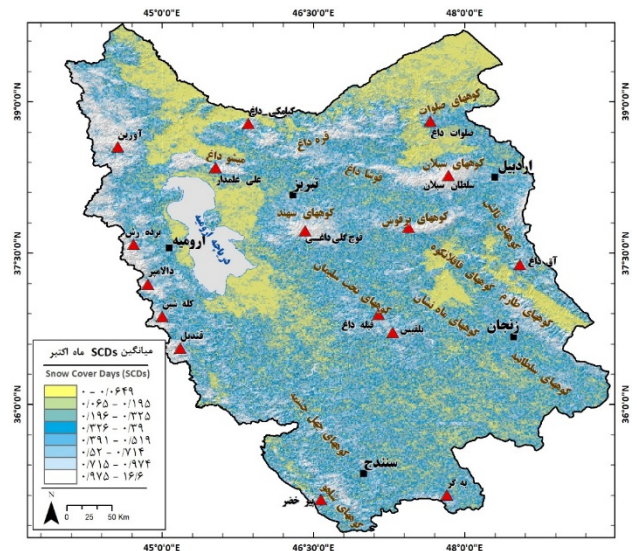


شکل ۱۳. میانگین ماهانه SCDs در پهنه شمال غربی ایران (نوامبر)
Fig 13. Monthly mean of SCDs in the Northwestern region (November)



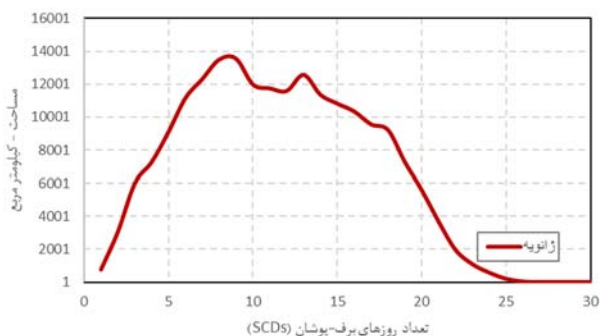
شکل ۱۴. میانگین ماهانه SCDs در پهنه شمال غربی ایران (دسامبر)
Fig 14. Monthly mean of SCDs in the Northwestern region (December)

دیگر می‌گردد و سطح چندانی را در بر نمی‌گیرد. متوسط پهنه‌های SCDs در بازه بلندمدت در منطقه برابر با ۳۲/۹۵ روز با پوشش برفی می‌باشد. نکته دیگر آنکه بین باند شمالی منطقه شامل واحدهای قندیل (خصوصاً قندیل شمالی)، میشو داغ، قره‌داغ، قوش‌داغ، سه‌سند، سبلان و بزقوش و تا حدی تالش شمالی و باند جنوبی شامل واحدهای قندیل جنوبی، ارتفاعات تخت سلیمان، ارتفاعات چهل چشمه کردستان، ارتفاعات سلطانیه و ماه‌نشان زنجان، طارم و تا حدودی تالش جنوبی، اختلاف معنادار مشاهده می‌شود و این اختلاف خصوصاً در سطوح با بیش از ۸۰ روز SCDs محسوس و مشخص است. بین باند شمالی و جنوبی در بدنه ارتفاعات حداقل ۳۰ روز با پوشش برفی اختلاف وجود دارد که این اختلاف در ارتفاعات سبلان به ماکزیمم می‌رسد. در ضمن اراضی پیرامون دریاچه ارومیه در بخش غربی و شمال شرقی نرخ SCDs بلندمدت بالاتری به نسبت اراضی جنوبی و جنوب شرقی نشان می‌دهد. در نهایت ارتباط SCDs با مؤلفه توپوگرافیکی ارتفاع، بسیار قوی بوده و پیوند مثبت و قوی بین این دو متغیر محیطی در بازه بلندمدت مشاهده می‌شود (شکل ۱۵).



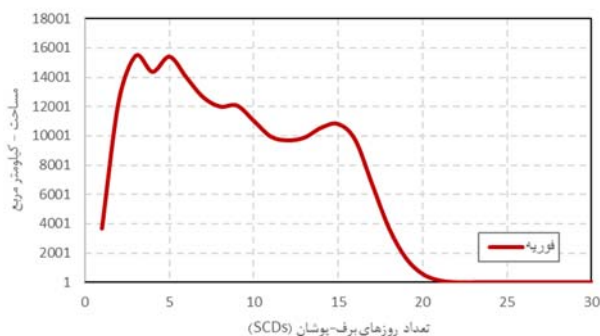
شکل ۱۲. میانگین ماهانه SCDs در پهنه شمال غربی ایران (اکتبر)
Fig 12. Monthly mean of SCDs in the Northwestern region (October)

SCAs یکی در حدود ۵ SCDs روز و دیگری در ۱۵ SCDs روز مشاهده شد. ۵ SCDs روز سطحی در حدود ۱۶۰۰۰ کیلومترمربع و ۱۵ روز در حدود ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع را در بر می‌گیرد. نکته قابل توجه در ارتباط با الگوی تغییرات ماه فوریه در مقایسه با ماه ژانویه آن است که ماکزیمم SCAs در این ماه به سمت SCDs کمتر تمایل می‌یابد.



شکل ۱۶. ارتباط SCAs با SCDs (ژانویه)

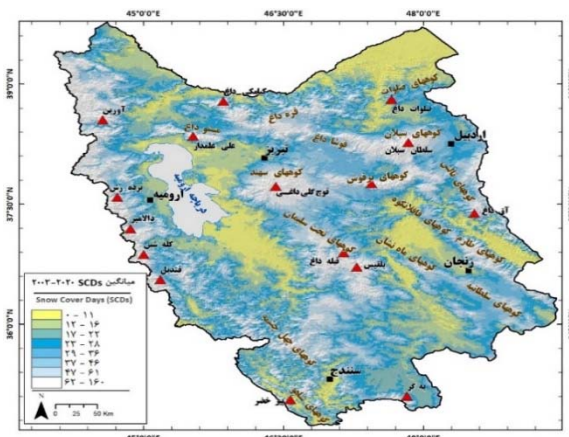
Fig 16. Relationship between SCAs and SCDs (January)



شکل ۱۷. ارتباط SCAs با SCDs (فوریه)

Fig 17. Relationship between SCAs and SCDs (February)

بر اساس شکل ۱۸ که ارتباط SCAs و SCDs را در ماه مارس نشان می‌دهد این‌طور استنباط می‌شود که الگوی کلی تغییرات در این ماه به‌طور کلی به نسبت ماه‌های ژانویه و فوریه تغییر می‌کند. ماکزیمم SCAs در این ماه دارای SCDs کمتر از ۵ روز است. در این ماه SCDs بالاتر از ۱۵ روز دارای SCAs بسیار کمی است. SCDs بین ۵ تا ۱۵ روز دارای SCA در حدود ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع می‌باشد. شکل ۱۹ ارتباط سطوح برف‌پوش با تعداد روزهای برف‌پوشان در ماه آوریل را نشان می‌دهد. الگوی کلی این ماه شباهت بسیار بالایی به الگوی ماه



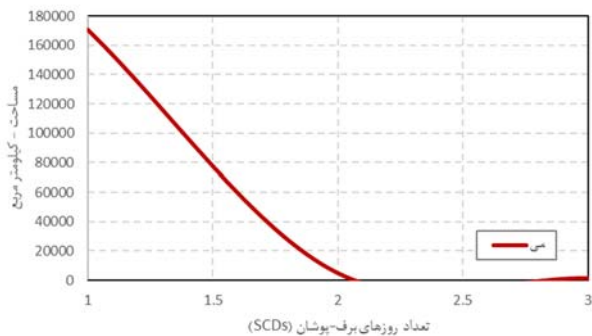
شکل ۱۵. میانگین بلندمدت SCDs در پهنه شمال غربی ایران (۲۰۰۳-۲۰۲۰)

Fig 15. The long-term mean of SCDs in the Northwestern region (2003-2020)

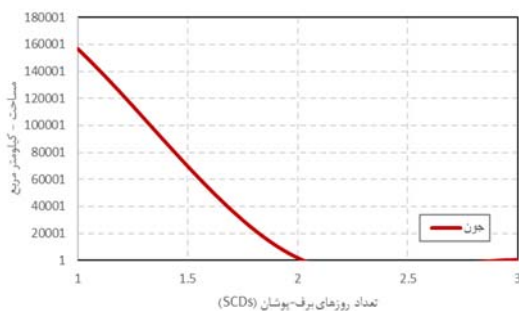
واکاوی ارتباط سطوح برف‌پوش (SCAs) با تعداد روز برف‌پوشان (SCDs)

در این بخش ارتباط بین دو مؤلفه فنولوژیک برف‌پوش شامل سطوح برف‌پوش (SCAs) و تعداد روز برف‌پوشان (SCDs) در بازه زمانی ماهانه مورد بررسی قرار گرفت. بر اساس شکل ۱۶ در ماه ژانویه در منطقه شمال غرب، بیشترین سطوح برفی یا SCAs در حدود ۵ تا ۱۷ روز را شامل می‌شود. این سطوح ۱۰۰۰۰ تا ۱۴۰۰۰ کیلومترمربع را در بر می‌گیرد. SCDs بیش از ۲۰ روز و کمتر از ۵ روز SCAs کمتری به خود اختصاص می‌دهد و به کمتر از ۶۰۰۰ کیلومترمربع می‌رسد. به دلیل آن‌که سطوحی که دارای SCDs بالاتری هستند به ارتفاعات بالاتر مربوط می‌شوند، با افزایش ارتفاع سطوح توپوگرافی کاهش می‌یابد و در نتیجه افزایش SCDs با کاهش SCAs همراه می‌گردد که در شکل ۱۶ به‌خوبی این موضوع مشاهده می‌شود. در نهایت به این موضوع بایستی اشاره شود که در منطقه شمال غرب بیشترین SCAs در منطقه شمال غرب دارای ۸ روز SCDs می‌باشد و این سطح به چیزی در حدود ۱۴۰۰۰ کیلومترمربع بالغ می‌گردد. بر اساس شکل ۱۷ بیشینه SCAs در ماه فوریه به سمت SCDs کمتر در حدود ۵ روز جابه‌جا می‌شود که سطحی برابر با حدوداً ۱۶۰۰۰ کیلومترمربع را به خود اختصاص می‌دهد. در ماه فوریه دو پیک اصلی در

مشابه ماه پیش یعنی می است با این تفاوت که SCAs نواحی و اراضی که دارای SCDs کمتر از ۲ روز هستند حداکثر ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع کاهش نشان می‌دهد.



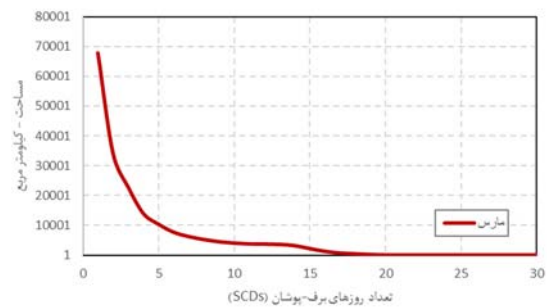
شکل ۲۰. ارتباط SCAs با SCDs (می)
Fig 20. Relationship between SCAs and SCDs (May)



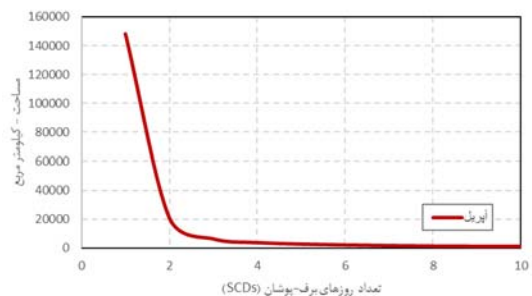
شکل ۲۱. ارتباط SCAs با SCDs (ژوئن)
Fig 21. Relationship between SCAs and SCDs (June)

در مورد ارتباط SCAs و SCDs در ماه جولای بر اساس شکل ۲۲ این‌طور برداشت می‌شود که الگوی این ماه شباهت بسیار بالایی با ماه می و ژوئن نشان می‌دهد. دقیقاً مطابق با دو ماه قبلی، SCAs مناطق و اراضی که دارای SCDs کمتر از ۲ روز هستند، زیاد بوده اما در این ماه ماکزیمم SCAs به مقدار ۱۴۰۰۰۰ کیلومترمربع کاهش می‌یابد. در نتیجه الگوی کلی شباهت زیادی با دو ماه پیشین نشان می‌دهد ولی SCAs که دارای SCDs کمتر از ۲ روز هستند، با ماکزیمم ۲۰۰۰۰۰ کیلومترمربع کاهش همراه می‌گردد. بر اساس شکل ۲۳ که ارتباط SCAs و SCDs ماه اوت را نشان می‌دهد این‌طور می‌توان گفت که الگوی بسیار مشابهی با ماه جولای دارد. سطوحی که کمتر از ۲ روز SCDs دارند، حداکثر ۱۴۰۰۰۰

مارس دارد. بیشترین SCAs مربوط به SCDs کمتر از ۲ روز می‌شود و با افزایش SCDs به بیش از ۲ روز به یک‌باره SCAs به شیب بسیار بالایی، کاهش می‌یابد. در ماه آوریل که برابر با ۱۲ فروردین تا ۱۰ اردیبهشت می‌شود، مطابق با فصل ذوب بهاره بوده و SCAs به شدت رو به کاهش گذاشته و در نتیجه در این ماه، سطوح بسیار زیادی از منطقه تنها کمتر از ۲ روز پوشش برفی یا SCDs دارند.



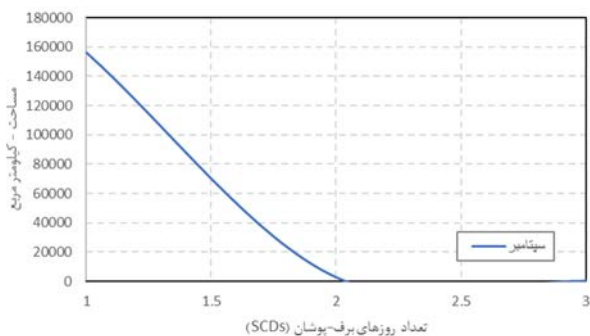
شکل ۱۸. ارتباط SCAs با SCDs (مارس)
Fig 18. Relationship between SCAs and SCDs (March)



شکل ۱۹. ارتباط SCAs با SCDs (آوریل)
Fig 19. Relationship between SCAs and SCDs (April)

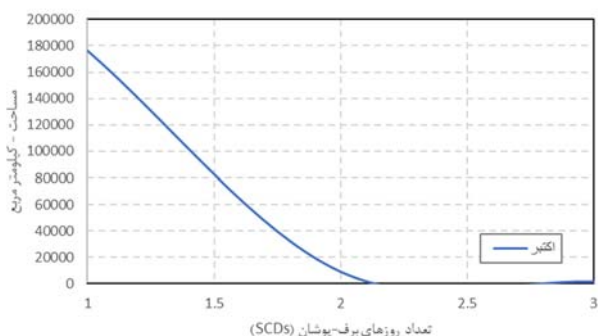
بر اساس شکل ۲۰ الگوی کلی ماه می شباهت زیادی به الگوی ماه آوریل و مارس دارد با این تفاوت که کاهش SCAs در SCDs بیش از ۲ روز مشهود است. در این ماه SCAs نواحی و مناطقی که دارای SCDs برابر و کمتر از ۲ روز هستند، نسبتاً بالا است و ماکزیمم به کمی بیش از ۱۶۰۰۰۰ کیلومترمربع در منطقه مورد بررسی می‌رسد. بر اساس شکل ۲۱ که ارتباط SCAs و SCDs در ماه ژوئن را در مقابل یکدیگر نشان می‌دهد این‌طور برداشت می‌شود که الگوی کلی بسیار

رسد. در نتیجه این ماه حدود ۲۰۰۰۰۰ کیلومترمربع به سطوح برفی که دارای SCDs کمتر از ۲ روز هستند، اضافه می‌شود.



شکل ۲۴. ارتباط SCAs با SCDs (سپتامبر)

Fig 24. Relationship between SCAs and SCDs (September)

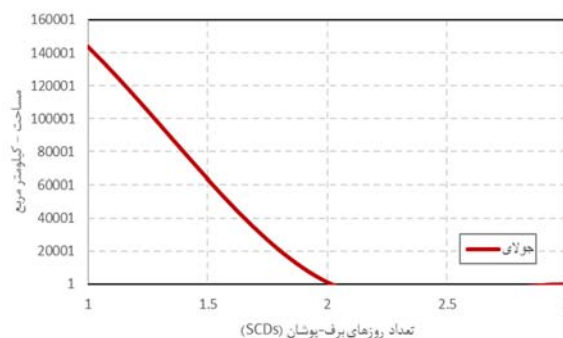


شکل ۲۵. ارتباط SCAs با SCDs (اکتبر)

Fig 25. Relationship between SCAs and SCDs (October)

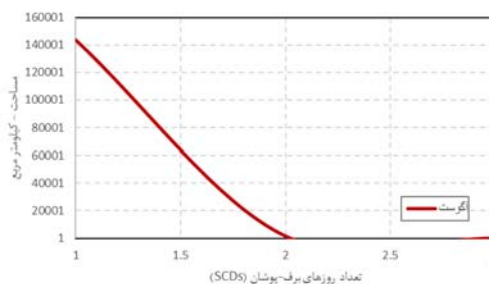
بر اساس شکل ۲۶ در ماه نوامبر مجدداً به صورت معناداری SCAs که دارای SCDs کمتر از ۵ روز هستند، افزایش می‌یابد به این صورت که ماکزیمم این سطوح به ۹۰۰۰۰۰ کیلومترمربع بالغ می‌گردد. SCAs نواحی و مناطقی که دارای SCDs بین ۵ تا ۱۰ روز هستند نیز در این ماه افزایش جزئی نشان می‌دهد و ماکزیمم به ۱۰۰۰۰۰ کیلومترمربع بالغ می‌گردد. ماه نوامبر به لحاظ الگوی فضایی ارتباطی بین SCAs و SCDs آخرین ماه از ماه مارس به بعد است که دارای این الگوی فضایی است و از این ماه به بعد الگوی فضایی ارتباطی SCAs و SCDs در منطقه شمال غرب به طور کلی تغییر می‌کند. بر اساس شکل ۲۷ که ارتباط SCAs و SCDs ماه دسامبر در منطقه شمال غرب را

کیلومترمربع از منطقه شمال غرب را پوشش می‌دهند؛ و افت این سطوح به نسبت ماه قبل ناچیز است.



شکل ۲۲. ارتباط SCAs با SCDs (جولای)

Fig 22. Relationship between SCAs and SCDs (July)

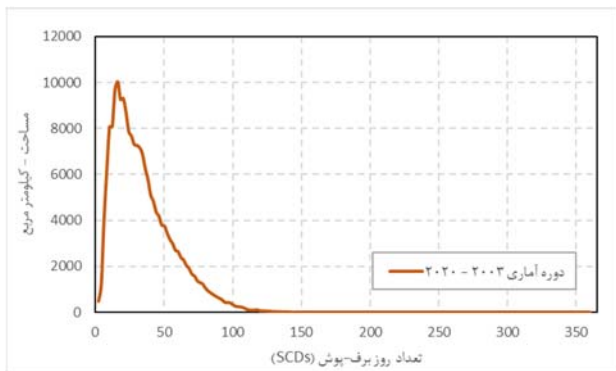


شکل ۲۳. ارتباط SCAs با SCDs (اوت)

Fig 23. Relationship between SCAs and SCDs (August)

بر اساس شکل ۲۴ که ارتباط SCAs و SCDs ماه سپتامبر در منطقه شمال غرب ایران را نشان می‌دهد ذکر این نکته ضروری است که بعد از ۶ ماه کاهش مستمر سطوح برفی در این منطقه اولین ماهی که مجدداً سطوح برفی افزایش نشان می‌دهد مربوط به همین ماه است. در ماه سپتامبر بعد از ماه‌ها مجدداً SCAs که دارای SCDs کمتر از ۲ روز هستند، ۲۰۰۰۰۰ کیلومترمربع در منطقه مورد بررسی افزایش نشان می‌دهد و به مقدار حدوداً ۱۶۰۰۰۰۰ کیلومترمربع بالغ می‌گردد. بر اساس شکل ۲۵ که ارتباط SCAs و SCDs ماه اکتبر در منطقه شمال غرب را نشان می‌دهد این‌طور می‌توان گفت که الگوی کلی وردش‌های این ماه مشابه ۵ ماه پیش است با این تفاوت که در این ماه SCAs نواحی که دارای SCDs کمتر از ۲ روز هستند افزایش نشان می‌دهد و حداکثر به ۱۸۰۰۰۰۰ کیلومترمربع می-

کیلومترمربع را شامل می‌شود. SCAs بین ۵۰ تا ۱۰۰ روز به نسبت کاهش قابل توجه داشته و چیزی در حدود ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ کیلومترمربع را در بر می‌گیرد.



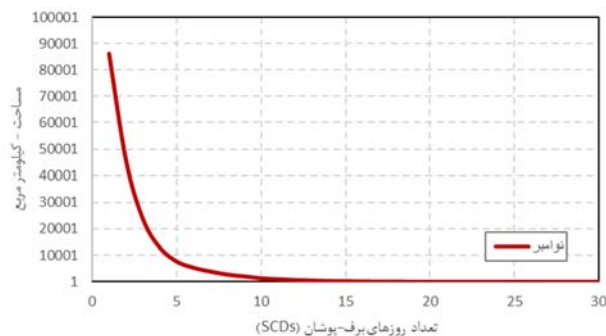
شکل ۲۸. ارتباط SCAs با SCDs در بازه بلند-مدت (۲۰۲۰ - ۲۰۰۳)

Fig 28. Relationship between SCAs and SCDs (2003-2020)

واکاوی ارتباط تعداد روز برف‌پوشان (SCDs) با مؤلفه توپوگرافیکی ارتفاع

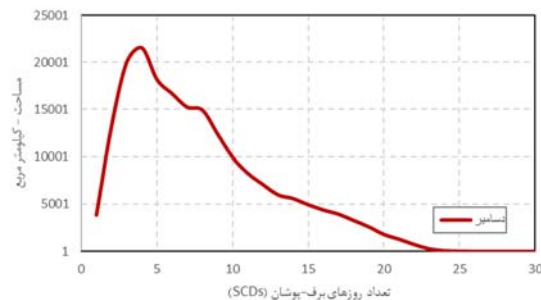
در گام دیگر از تحلیل‌های فنولوژیک برف به بررسی و واکاوی ارتباط تعداد روزهای برف‌پوش با مؤلفه توپوگرافیکی ارتفاع در بازه ماهانه پرداخته شد. شکل ۲۹ ارتباط وردش‌های SCDs با ارتفاع را در منطقه شمال غرب در ماه ژانویه نشان می‌دهد الگوی کلی از افزایش SCDs با ارتفاع حکایت دارد. این ارتباط تا حدوداً ارتفاع ۳۵۰۰ متری مستقیم و افزایشی است. ناهنجاری‌هایی بین تغییرات ارتفاع و تغییرات SCD از ارتفاع ۳۵۰۰ متری تا حدوداً ۴۲۵۰ متری مشاهده می‌شود. از ارتفاع ۲۰۰۰ متری به بعد منطقه در ماه ژانویه دارای بیش از ۱۵ روز SCDs است که البته ماکزیمم در برخی باندهای ارتفاعی به بالای ۲۰ روز نیز تجاوز می‌کند. بر اساس شکل ۳۰ که ارتباط وردش‌های SCDs و ارتفاع ماه فوریه را نشان می‌دهد این‌طور می‌توان گفت که الگوی فضایی بسیار مشابه ماه ژانویه است؛ اما مقادیر مطلق دچار تغییرات کاهشی شده‌اند. تقریباً در تمامی باندهای ارتفاعی در این ماه به نسبت ماه پیش،

نشان می‌دهد به ذکر چند موضوع اشاره می‌شود. نخست آنکه از ماه مارس به بعد، اولین ماهی که الگوی فضایی وردش‌های فنولوژیک SCAs و SCDs به‌طورکلی تغییر می‌کند، ماه دسامبر است. SCAs در نواحی که دارای SCDs بین ۲ روز تا ۱۰ هستند به یک‌باره افزایش قابل توجهی نشان می‌دهد. SCAs در اراضی با SCDs حدوداً ۴ روز در ماکزیمم قرار می‌گیرد و سطحی در حدود ۲۰۰۰۰ کیلومترمربع را پوشش می‌دهد. اراضی با SCDs بین ۵ تا ۱۰ روز نیز سطوح قابل توجهی را در بر می‌گیرد و بین ۱۰ تا ۱۷ هزار کیلومترمربع را شامل می‌شود. اراضی با SCDs بین ۱۰ تا ۲۰ روز نیز چیزی در حدود ۲ تا ۱۰ هزار کیلومترمربع را اشغال می‌نماید.



شکل ۲۶. ارتباط SCAs با SCDs (نوامبر)

Fig 26. Relationship between SCAs and SCDs (November)

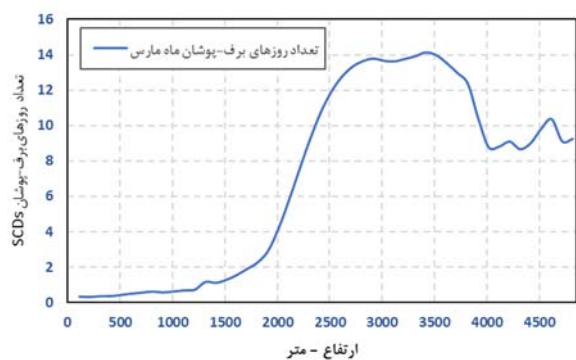


شکل ۲۷. ارتباط SCAs با SCDs (دسامبر)

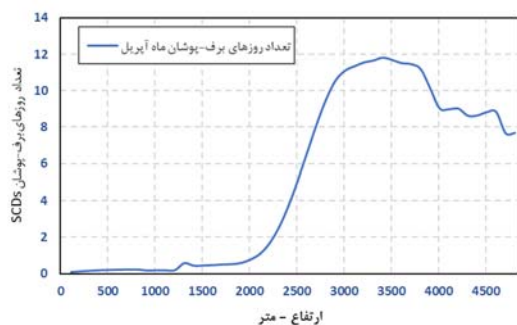
Fig 27. Relationship between SCAs and SCDs (December)

شکل ۲۸ الگوی کلی وردش‌های SCAs در ارتباط با SCDs در منطقه شمال غرب را نشان می‌دهد. بر این اساس، بیشترین SCAs در SCDs بین ۲۰ تا ۴۰ روز در این منطقه توزیع شده است که سطحی در حدود ۴۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰

اراضی کمتر از ۲۰۰۰ متر و بالاتر به شدت افزایش می‌یابد و به چیزی در حدود ۱۰ تا ۱۲ روز می‌رسد. الگوی کلی با الگوی فضایی ماه ژانویه تا مارس شباهت دارد ولی اختلاف SCDs بین اراضی پایین‌تر از ۲۰۰۰ متر و بالاتر از آن به شدت افزایش می‌یابد.



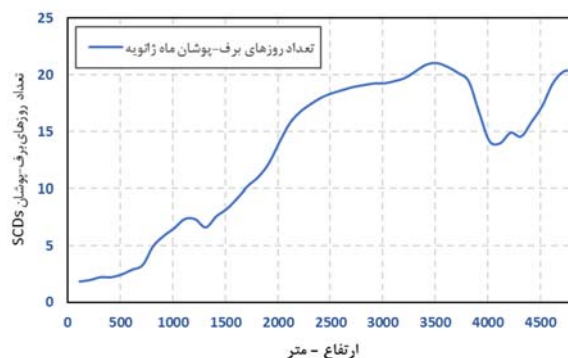
شکل ۳۱. ارتباط وردش‌های SCDs با تغییرات ارتفاعی (مارس)
Fig 31. Relationship between SCDs variations and altitude changes (March)



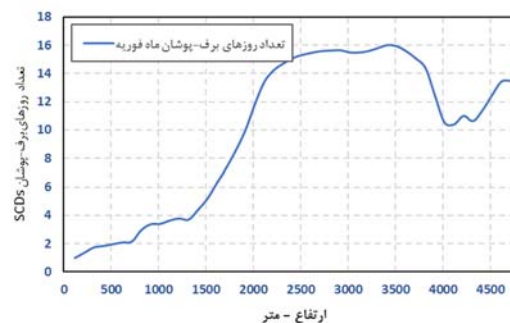
شکل ۳۲. ارتباط وردش‌های SCDs با تغییرات ارتفاعی (آوریل)
Fig 32. Relationship between SCDs variations and altitude changes (April)

بر اساس شکل ۳۳ که ارتباط وردش‌های SCDs با تغییرات ارتفاعی در ماه می را نشان می‌دهد این‌گونه می‌توان اظهار نظر کرد که افت SCDs در تمامی باندهای ارتفاعی مشخص است اما در این ماه ارتفاعات زیر ۲۵۰۰ متر، کاهش بسیار سنگینی در SCDs تجربه می‌کنند. اختلاف SCDs بین اراضی زیر ۲۰۰۰ متر و بالاتر ماکزیمم به حدوداً ۱۴ روز می‌رسد. در این ماه تباین بین اراضی کوهستانی و اراضی هموار و پست و دشت‌های پیرامون، بسیار بالا است. بر اساس شکل ۳۴ می‌توان گفت که در ماه ژوئن افت SCDs در اراضی تا ارتفاع ۳۰۰۰ متر کاملاً محسوس است. الگوی فضایی نمودار به نسبت

بین ۳ تا ۶ روز کاهش SCDs محسوس است. با این وجود الگوی تغییرات نسبی بسیار مشابه ماه ژانویه است.



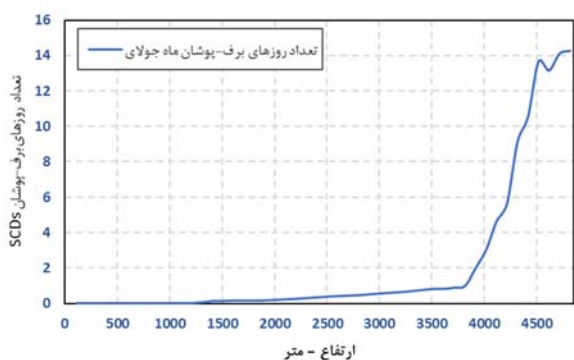
شکل ۲۹. ارتباط وردش‌های SCDs با تغییرات ارتفاعی (ژانویه)
Fig 29. Relationship between SCDs variations and altitude changes (January)



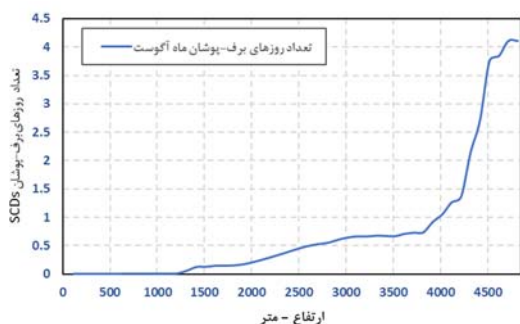
شکل ۳۰. ارتباط وردش‌های SCDs با تغییرات ارتفاعی (فوریه)
Fig 30. Relationship between SCDs variations and altitude changes (February)

بر اساس شکل ۳۱ که ارتباط وردش‌های SCDs با ارتفاع سطح زمین در ماه مارس را نشان می‌دهد این‌طور برداشت می‌شود که الگوی کلی تغییرات مشابه با دو ماه پیش است با این تفاوت که میزان مطلق SCDs در تمامی باندهای ارتفاعی کاهش نشان داده است. کاهش SCDs در ارتفاعات زیر ۲۰۰۰ متر محسوس و به کمتر از ۴ روز کاهش یافته است؛ اما ارتفاعات بالای ۲۵۰۰ متر همچنان بین حدوداً ۱۰ تا ۱۵ روز پوشش برفی را می‌توانند نگهداری کنند. نکته دیگر در افت SCDs قابل توجه در ارتفاعات بالای ۳۵۰۰ متر است. بر اساس شکل ۳۲ که ارتباط وردش‌های SCDs در پاسخ به تغییرات ارتفاع در ماه آوریل نشان می‌دهد باید چنین گفت که اراضی کمتر از ۲۰۰۰ متر به شدت و به یک‌باره با افت مشخص SCD در این ماه روبه‌رو می‌شوند. اختلاف بین SCDs

های اصلی را در بر می‌گیرند. بر اساس شکل ۳۶ افت قابل توجه SCDs در ماه اوت حتی در ارتفاعات بالای ۳۵۰۰ متر نیز مشهود است. در این ماه نواحی کوهستانی بسیار مرتفع نیز بخش مهمی از توان نگهداشت SCDs را از دست داده‌اند. در ماه جولای که در ارتفاعات بالای ۳۵۰۰ متر SCDs ماکزیمم به ۱۴ روز می‌رسید در این ماه به تنها ۴ روز کاهش یافته است. بر این اساس، ماه اوت پایین‌ترین نرخ SCDs در تمامی باندهای ارتفاعی در منطقه شمال غرب ایران است. در این ماه حتی ارتفاعات بالای ۳۵۰۰ متر SCDs ناچیز در حدود ۴ روز را تجربه می‌کنند.



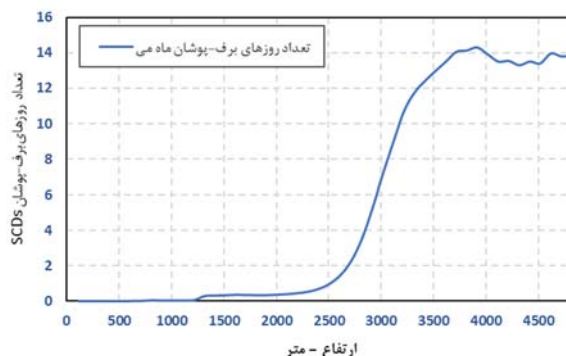
شکل ۳۵. ارتباط وردش‌های SCDs با تغییرات ارتفاعی (جولای)
Fig 35. Relationship between SCDs variations and altitude changes (July)



شکل ۳۶. ارتباط وردش‌های SCDs با تغییرات ارتفاعی (اوت)
Fig 36. Relationship between SCDs variations and altitude changes (August)

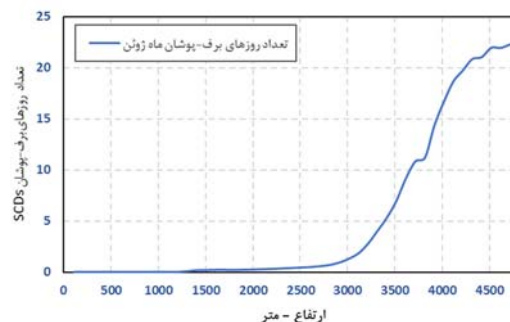
بر اساس شکل ۳۷ کاملاً افزایش SCDs در ماه سپتامبر در باندهای ارتفاعی مرتفع بسیار مشهود است. در این ماه مجدداً SCDs از باندهای مرتفع ارتفاعی شروع به افزایش مشهود می‌کند. به طوری که در این ماه SCDs در ارتفاعات بالای ۳۵۰۰

ماه‌های پیش تغییرات مشخصی نشان می‌دهد. تراکم SCDs بیشتر به سمت کوهستان‌های بسیار مرتفع و بالای ۴۰۰۰ متری متمرکز شده است. الگوی فضایی وردش‌های این ماه را می‌توان اولین نمونه از الگوی ماه‌های گرم در نظر گرفت. همین الگو در ماه‌های گرم بعدی نیز به نحوی مشابه تکرار می‌شود.



شکل ۳۳. ارتباط وردش‌های SCDs با تغییرات ارتفاعی (می)

Fig 33. Relationship between SCDs variations and altitude changes (May)

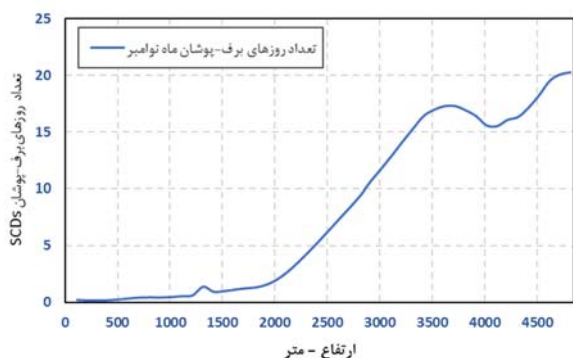


شکل ۳۴. ارتباط وردش‌های SCDs با تغییرات ارتفاعی (ژوئن)

Fig 34. Relationship between SCDs variations and altitude changes (June)

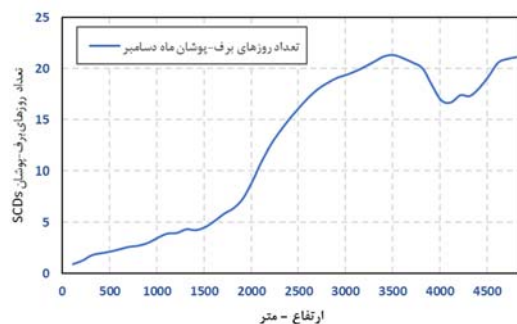
بر اساس شکل ۳۵ افت قابل توجه SCDs در ماه جولای در باندهای مختلف ارتفاعی به خصوص باندهای پائین تر از ۴۰۰۰ متری مشخص است. در این ماه که در اوج تابستان قرار دارد، کاهش SCDs در بیشتر سطوح منطقه مسلط شده به طوری که بیشتر اراضی SCDs کمتر از ۲ روز را تجربه می‌کنند. ارتفاعات سبلان و تا حدی سهند به دلیل برخورداری از ارتفاع بسیار بالا و توان بالا در نگهداشت SCDs باعث شده که در این ماه بتوانند از ارتفاع ۴۰۰۰ متر به بالا SCDs را ماکزیمم تا ۱۴ روز نگهداری نمایند. البته باید به این موضوع توجه داشت که این نواحی سطوح بسیار کم و نزدیک به قله-

حادث می‌شود و الگو و فرم کلی نمودار به الگوی کلی ماه‌های سرد شبیه می‌شود. افزایش SCDs در تمامی باندهای ارتفاعی قابل توجه بوده و در باندهای ارتفاعی ۳۵۰۰ متر به بالا، SCDs به بالای ۱۵ روز و ماکزیمم به ۲۰ روز نیز افزایش می‌یابد. بر اساس شکل ۴۰ الگوی ماه دسامبر کاملاً فرم ماه‌های سرد را به خود گرفته است. خیزش منحنی SCDs در حوالی ارتفاع ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ محسوس است. کاهش SCDs در ارتفاع حدوداً ۴۰۰۰ متری مشهود است. افزایش SCDs در ارتفاعات زیر ۲۰۰۰ متر نیز مشخص است. در این ماه در ارتفاع ۳۵۰۰ متر نرخ SCDs به بالاترین حد یعنی ۲۲ روز افزایش می‌یابد.



شکل ۳۹. ارتباط وردش‌های SCDs با تغییرات ارتفاعی (نوامبر)

Fig 39. Relationship between SCDs variations and altitude changes (November)

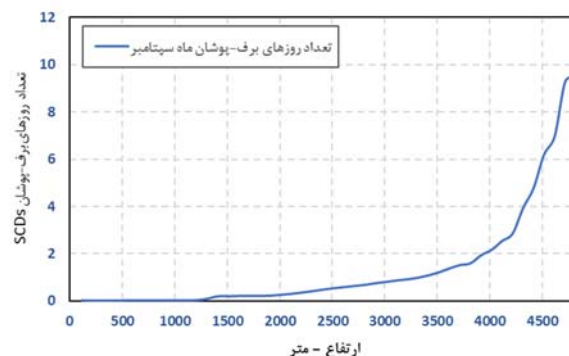


شکل ۴۰. ارتباط وردش‌های SCDs با تغییرات ارتفاعی (دسامبر)

Fig 40. Relationship between SCDs variations and altitude changes (December)

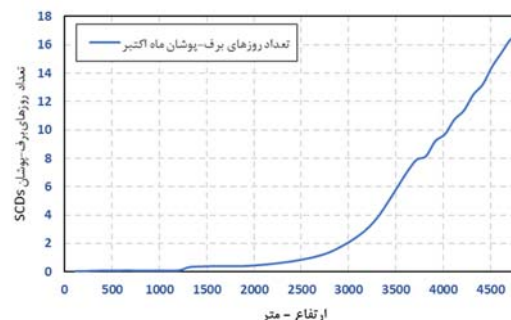
در بازه بلندمدت ۲۰۲۰-۲۰۰۳ به‌طورکلی در همه طبقات ارتفاعی افزایش ارتفاع با افزایش SCDs ارتباط مستقیم و افزایشی نشان می‌دهد؛ اما شیب تغییرات در برخی طبقات کمی ناهنجاری نشان می‌دهد. در ارتفاعات کمتر از ۱۵۰۰ متر، افزایش ارتفاع با شیب ملایم‌تری منجر به افزایش SCDs می-

متر مجدداً از ماکزیمم ۴ روز در ماه اوت به نزدیک ۱۰ روز در ماه سپتامبر افزایش می‌یابد. در این ماه افزایش SCD در ارتفاعات بالای ۴۰۰۰ متر، مشخص و مشهود، در ارتفاعات بین ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ متر متوسط و در ارتفاعات ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر به‌صورت ضعیف حادث شده است. در ارتفاعات زیر ۱۵۰۰ متر هنوز افزایش SCDs در این ماه حادث نشده است. بر اساس شکل ۳۸ که ارتباط SCDs و ارتفاع سطح زمین در ماه اکتبر را نشان می‌دهد چنین می‌توان ادعا نمود که افزایش قابل توجه SCDs در ارتفاعات بالای ۳۵۰۰ متر در این ماه اتفاق می‌افتد. در این ارتفاعات ماکزیمم SCDs به بالای ۱۶ روز افزایش می‌یابد. افزایش در نواحی مرتفع بسیار بیش از اراضی کم ارتفاع است.



شکل ۳۷. ارتباط وردش‌های SCDs با تغییرات ارتفاعی (سپتامبر)

Fig 37. Relationship between SCDs variations and altitude changes (September)



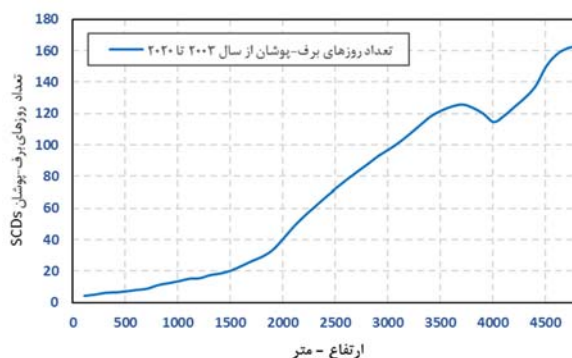
شکل ۳۸. ارتباط وردش‌های SCDs با تغییرات ارتفاعی (اکتبر)

Fig 38. Relationship between SCDs variations and altitude changes (October)

بر اساس شکل ۳۹ چنین می‌توان ادعا نمود که ماه نوامبر اولین ماه از تغییر الگوی SCDs به الگوی ماه‌های سرد است. در این ماه خیزش منحنی SCDs در حوالی ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ متر

مطالعاتی تحت‌الشعاع قرار داده و ضمن سوق آن به‌سوی ناهنجاری، پیامدهای سویی را از نظر بیلان آبی در منطقه به همراه داشته باشد. بررسی تغییرات SCDs در ماه‌های بهاره و تابستانه نقش مهم دو عامل عرض جغرافیایی و ارتفاع را در کاهش این مؤلفه فنولوژی در پهنه شمال غربی آشکار می‌کند. پردازش‌ها نشان می‌دهد که ماه سپتامبر به همراه ماه‌های اوت، جولای و اکتبر دارای کمترین نرخ SCDs ماهانه در پهنه موردبررسی هستند. در گستره شمال غرب پس از ۴ ماه متوالی فوق که با نزول SCDs همراه بوده است، افزایش SCDs در دو ماه پاییزی نوامبر و دسامبر روندی صعودی به خود می‌گیرد و تا ژانویه در زمستان این روند افزایشی به‌ویژه در تمامی توده‌های کوهستانی نسبتاً مرتفع و بسیار مرتفع استمرار آشکار دارد. در این دوره زمانی بیشینه SCDs در واحدهای کوهستانی بسیار بلند همچون توده‌های کوهستانی سهند و سبلان، قندیل، تخت سلیمان و چهل چشمه کردستان از ۸/۲۵-۱۵ روز متغیر است که نشان از افزایش چشمگیر این مؤلفه فنولوژی برف به پیروی از عامل ارتفاع در پهنه مطالعاتی دارد. در بازه بلندمدت، بیشینه مطلق SCDs (معادل با ۱۶۰ روز) غالباً محدود به پهنه‌های بسیار مرتفع و توده کوهستانی سبلان و چندین قله بسیار مرتفع دیگر با گستره نه‌چندان زیاد است. این در حالی است که کیخسروی کیانی و مسعودیان (۱۴) بیشترین شمار روزهای برف‌پوشان را در این منطقه با ۱۳۲ روز در کوهستان سبلان برآورد کرده‌اند. میانگین پهنه‌ای SCDs در بازه بلندمدت در منطقه مطالعاتی برابر با ۳۲/۹۵ روز با پوشش برفی است. به‌طورکلی، بررسی ارتباط SCDs با مؤلفه توپوگرافی ارتفاع نشان از پیوند مثبت و نیرومند بین این دو متغیر محیطی دارد؛ اما آهنگ شمار روزهای برف‌پوشان با میزان افزایش ارتفاع در ماه‌های مختلف سال متفاوت است. بررسی ورودش‌های روزهای برف‌پوشان در ماه‌های مارس و آوریل گویای کاهش روزهای برف‌پوشان در طبقات ارتفاعی بلند در پهنه موردبررسی است. درعین‌حال، نشان از الگوی افزایشی شمار روزهای برف‌پوشان در ماه‌های پاییزی نوامبر و دسامبر در بسیاری از کمربندهای ارتفاعی دارد. واکاوی ارتباط SCAs و SCDs نشان داد که از آنجایی که با افزایش ارتفاع، سطوح توپوگرافی کاهش

گردد درحالی‌که در ارتفاعات ۱۵۰۰ تا ۳۵۰۰ متری این شرایط متفاوت است و افزایش ارتفاع با قدرت بیشتری SCDs را افزایش می‌دهد. یک ناهنجاری محلی در ارتفاع ۳۵۰۰ تا ۴۰۰۰ متری مشاهده می‌شود. در این ارتفاع کمی با افزایش ارتفاع SCDs کاهش می‌یابد که دلیل آن را باید در افزایش شیب زمین و ناپایداری SC بر روی سطوح پر شیب دانست و همچنین عوامل اقلیمی همچون کاهش نسبی ابرناکی و یا کاهش قدرت سیستم‌های بارشی و عدم توان نفوذ این سامانه‌ها به ارتفاعات بسیار بالا و عوامل دیگری از این دست. در الگوی بلندمدت اراضی کمتر از ۱۵۰۰ متر بین ۰ تا ۲۰ روز پوشش برفی را می‌توانند نگهداری کنند. در ارتفاعات بین ۱۵۰۰ تا ۳۵۰۰ روز بین ۴۰ تا ۱۲۰ روز توان نگهداشت پوشش‌های برفی وجود دارد و در ارتفاعات بین ۳۵۰۰ تا بیش از ۴۵۰۰ متر، بین ۱۲۰ تا ۱۶۰ روز در سال توان نگهداشت پوشش برفی وجود دارد (شکل ۴۱).



شکل ۴۱. ارتباط ورودش‌های SCDs با تغییرات ارتفاعی (بازه

بلندمدت ۲۰۲۰ تا ۲۰۰۳)

Fig 41. Relationship between SCDs variations and altitude changes (2003-2020)

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی‌ها نشان از کاهش شمار روزهای برف‌پوشان در ماه‌های زمستانه در پهنه شمال غرب ایران دارد، البته، این کاهش در بیشینه SCDs مارس در مقایسه با فوریه ملایم‌تر از فوریه به نسبت ژانویه است. کاهش شمار روزهای برف‌پوشان در ماه‌های زمستانه می‌تواند توزیع رواناب را در گستره

- Climate, 13: 2339–2355. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(2000\)013<2339:NHSCVA>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(2000)013<2339:NHSCVA>2.0.CO;2)
4. Butt M.J, Bilal M. 2011. Application of snowmelt runoff model for water resource management. *Hydrological Processes*, 25: 3735–3747. Doi:<https://doi.org/10.1002/hyp.8099>
 5. Dietz A.J, Kuenzer C, Conrad C. 2013. Snow-cover variability in central Asia between 2000 and 2011 derived from improved MODIS daily snow-cover products. *International journal of remote sensing*, 34(11): 3879– 3902. Doi: <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.767480>
 6. Dietz A, Conrad C, Kuenzer C, Gesell G, Dech S. 2014. Identifying changing snow cover characteristics in central Asia between 1986 and 2014 from remote sensing data. *Remote Sensing*, 6(12): 12752- 12775. DOI: 10.3390/rs61212752
 7. Foster J, Liston G, Koster R, Essery R, Behr H, Dumenil L, Verseghy D, Thompson, S, Pollard D, Cohen J. 1996. Snow cover and snow mass intercomparisons of general circulation models and remotely sensed datasets. *Journal of Climate*, 9: 409-426. DOI: [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1996\)009<0409:SCASMI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1996)009<0409:SCASMI>2.0.CO;2)
 8. Foster J, Sun C, Walker J.P. Kelly R, Chang A, Dong J, Powell H. 2005. Quantifying the uncertainty in passive microwave snow water equivalent observations. *Remote Sensing of Environment*, 94: 187–203. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.09.012>
 9. Gafurov A, Bardossy A. 2009. Cloud removal methodology from MODIS snow cover product, *Hydrol. Earth Syst. Sci*, 13: 1361–1373. Doi: <https://doi.org/10.5194/hess-13-1361-2009>
 10. Halabian, A.H, Solhi S. 2020. Spatiotemporal changes in snow-cover related to the land surface temperature over central Alborz. *Physical Geography*, 47: 53-75. Doi: 20.1001.1.20085656.1399.13.47.4.6 (In Persian).
 11. Hall D, Foster J, Verbyla D, Klein A, Benson C. 1998. Assessment of snow-cover mapping accuracy in a variety of vegetation-cover densities in central Alaska. *Remote Sensing of Environment*, 66(2), 129-137. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(98\)00051-0](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(98)00051-0)
 12. Jain S.K, Goswami A, Saraf A.K. 2008. Accuracy assessment of MODIS, NOAA and IRS data in snow cover mapping under Himalayan conditions. *International Journal of Remote Sensing*, 29: 5863–5878. Doi: <https://doi.org/10.1080/01431160801908129>
 13. Ke C, Liu X. 2014. Modis-observed spatial and temporal variation in snow cover in Xinjiang, China; *Climate Research*, 59:15-26. doi: 10.3354/cr01206
- می‌یابد؛ لذا در پهنه‌های دارای SCDs بالاتر (ارتفاعات) افزایش این مؤلفه فنولوژی برف، کاهش SCAs را به همراه دارد. در بازه بلندمدت، بیشینه سطوح SCAs در SCDs بین ۲۰ تا ۴۰ روز در این منطقه توزیع شده است که گستره‌ای در حدود ۴۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلومترمربع را در بر می‌گیرد. ارتباط وردش‌های SCDs با تغییرات ارتفاعی نیز نشان داد که کمینه نرخ SCDs در تمامی باندهای ارتفاعی در گستره شمال غرب ایران در ماه اوت روی داده است؛ به‌گونه‌ای که حتی ارتفاعات بالای ۳۵۰۰ متر SCDs ناچیز در حدود ۴ روز را تجربه می‌کنند. در ماه دسامبر در ارتفاع ۳۵۰۰ متر نرخ SCDs به بالاترین حد یعنی ۲۲ روز افزایش می‌یابد. در بازه بلندمدت در تمامی طبقات ارتفاعی با افزایش ارتفاع بر SCDs افزوده می‌شود و مابین این دو ارتباط مستقیم و افزایشی آشکاری وجود دارد. این در حالی است شیب تغییرات در برخی طبقات ارتفاعی ناهنجاری‌های اندکی نشان می‌دهد. بدین‌صورت که در ارتفاع ۳۵۰۰ تا ۴۰۰۰ متری با افزایش ارتفاع، SCDs به سبب افزایش شیب زمین و ناپایداری SC بر روی سطوح پرشیب کمی کاهش می‌یابد.
- ### تقدیر و تشکر
- این مقاله بخشی از پایان‌نامه با عنوان «پایش و ارزیابی وردش‌های فضایی - زمانی برف‌پوش در پهنه شمال غربی ایران» در مقطع دکترا در سال ۱۴۰۲ است که با حمایت دانشگاه محقق اردبیلی اجرا شده است.
- ### منابع مورد استفاده
1. Akyürek Z, Sorman A.Ü. 2002. Monitoring snow-covered areas using NOAA-AVHRR data in the eastern part of Turkey. *Hydrological Sciences*, 47: 243–252.
 2. Alhossaini Almodaresi S.A, Hatami J, Sarkargar A. 2016. Calculating the physical properties of snow, using differential radar interferometry and Terra SAR-X and MODIS images. *RS and GIS for Natural Resources*, 7 (2): 59-76. (In Persian).
 3. Brown R.D. 2000. Northern Hemisphere snow cover variability and change, 1915–97. *Journal of*

- remote sensing, 35(1): 234-252. DOI: 10.1080/01431161.2013.866296
24. Simpson J.J, Stitt J.R, Sienko M. 2001. Improved Estimates of the Areal Extent of Snow Cover from AVHRR Data. *Journal of Hydrology*, 204(1-4): 1-23. Doi: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(97\)00087-5](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(97)00087-5)
 25. Sood V, Singh S, Taloor A.K, Prashar S, Kaur R. 2020. Monitoring and mapping of snow cover variability using topographically derived NDSI model over north Indian Himalayas during the period 2008–19. *Applied Computing and Geosciences*, 8 (2020) 100040: 1-9. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.acags.2020.100040>
 26. Takaku J, Tadono T, Tsutsui K. 2014. Generation of high-resolution global DSM from ALOS PRISM, The International Archives of the Photogrammetry. *Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4: 243-248, ISPRS. Doi: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-4-243-2014>
 27. Vikhamar D, Solberg R. 2003. Snow-cover mapping in forests by constrained linear spectral unmixing of MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 88: 309–323. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.06.004>
 28. Wang X, Xie H. 2009. New methods for studying the spatiotemporal variation of snow cover based on combination products of MODIS Terra and Aqua. *Journal of hydrology*, 371(1-4): 192-200. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.03.028>
 29. Wang X, Xie H, Liang T, Huang X. 2009. Comparison and validation of MODIS standard and new combination of Terra and Aqua snow cover products in northern Xinjiang, China. *Hydrological Processes: An International Journal*, 23(3): 419- 429. DOI:10.1002/hyp.7151
 30. Zhang G, Xie H, Yao T, Liang T, Kang S. 2012. Snow cover dynamics of four lake basins over Tibetan Plateau using time series MODIS data (2001-2010). *Water resources research*, 48: 1-22. Doi: <https://doi.org/10.1029/2012WR011971>
 31. Zhang H, Zhang F, Zhang G, Che T, Yan W, Ye M, Ma N. 2019. Ground-based evaluation of MODIS snowcover product V6 across China: Implications for the selection of NDSI threshold. *Science of the Total Environment* 651: 2712–2726. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.10.128>
 32. Zhao H, Fernandes R. 2009. Daily snow cover estimation from advanced very high- resolution radiometer polar pathfinder data over northern hemisphere land surfaces during 1982–2004. *Journal of Geophysical Research*, 114: 1–14. Doi: <https://doi.org/10.1029/2008JD011272>
 14. Keikhosrvai Kiany M.S, Masoudian S.A. 2017. Identification of snow reservoirs in Iran. *Physical Geography Research Quarterly*, 49 (3): 395-408. Doi: 10.22059/JPHGR.2017.212604.1006908 (In Persian).
 15. Lemke P, Ren J, Alley R.B, Allison I, Carrasco J, Flato G, Fujii Y, Kaser G, Mote P, Thomas,R.H, Zang T. 2007. Observations: changes in Snow, ice and frozen ground. In *climate change 2007: The physical science basis. contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change*, S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (Eds.): 337–384 (Cambridge and New York: Cambridge University Press).
 16. Mölg N, Rastner P, Irsara L, Notarnicola C, Steurer C, Zebisch M. 2010. Multi-temporal modis snow cover monitoring over the alpine regions for civil protection applications, *Remote Sensing for Science. Education and Natural and Cultural Heritage* in 30th EARSel symposium, 31st May–3rd June.
 17. Notarnicola C. 2020. Hotspots of snow cover changes in global mountain regions over 2000–2018, *Remote Sensing of Environment*. 243(15): 111781. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111781>
 18. Parajka J, Bloschi G. 2008. The value of MODIS snow cover data in validating and calibrating conceptual hydrological models. *Journal of Hydrology*, 358: 240-258. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.06.006>
 19. Peng S, Piao S, Ciais P, Fang J. 2010. Change in winter snow depth and its impacts on vegetation in China. *Global Change Biology*, 16: 3004–3013. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2010.02210.x
 20. Pepe M, Brivio P.A, Rampini A, Rota Nodari F, Boschetti M. 2005. Snow cover monitoring in Alpine regions using ENVISAT optical data. *International Journal of Remote Sensing*, 26: 4661–4667. Doi: <https://doi.org/10.1080/01431160500206635>
 21. Riggs G.A, Hall D.K. 2015. MODIS Snow Products Collection 6 User Guide, modis-snow-ice.gsfc.nasa.gov: 1-66.
 22. Saavedra F.A, Kampf S.K, Fassnacht S.R, Sibold J.S. 2018. Changes in Andes Mountains snow cover from MODIS data 2000–2016. *Cryosphere* 12: 1027–1046. Doi: 10.5194/tc-2017-72, 2017
 23. She J, Zhang Y, Li X, Chen Y. 2014. Changes in snow and glacier cover in an arid watershed of the western Kunlun Mountains using multisource remote-sensing data, *International journal of*



Spatio-temporal Variations of Snow-covered Days in the Northwest of Iran using Remote Sensing Data

Abbas Kashani, Bromand Salahi, Amirhossein Halabian, Batool Zeinali

Received: 2023-06-04 / Accepted: 2024-03-03 / Available online: 2024-06-26

Abstract

Background and Objective: One of the most important and reliable sources of water in the world is the snow reserves of mountain basins. Knowing the volume and amount of snow deposits in watersheds is essential for flood control and water supply. The spatial and temporal monitoring of snow cover is very important. A large part of the precipitation in the northwestern region of Iran is in the form of snow, and the resulting water plays an essential role in the occurrence of surface runoff and the feeding of underground water tables. Snow cover represents the amount of water stored in mountain basins, so it is necessary to determine the level of snow cover in the northwestern region of Iran and analyze its changes concerning other environmental components. The remote sensing technique and the resulting images are considered an efficient tool in determining the snow cover level.

In addition to the spatio-temporal variations of snow-cover, the relationship between two snow-cover phenological components (snow-cover levels (SCAs) and the number of snow-cover days (SCDs)) and the relationship between the number of snow-cover days and the altitude component in the north-western part of Iran is one of the other goals of this research.

Methodology: In this research to analyze the spatio-temporal variations of snow-covered days in the northwestern region of Iran, the data of the sixth version of Modis Terra and Modis Aqua sensors were used from 2003 to 2020. To analyze the spatio-temporal changes of snow cover on the studied territory, tile H21v05 of both Modis Terra and Aqua sensors, which cover the northwest of Iran, was used. Considering the mentioned periods and the simultaneous use of both Modis Terra and Modis Aqua sensor products and mixing them in a common time frame and to reduce the problem of cloudiness which causes the snow cover to be hidden from the satellite view, both products were used. In this way, the period of 2003-2020 (6544 days) was considered to analyze the spatio-temporal variations of snow-covered in the northwestern region of Iran. Before using the daily snow cover data, to reduce the effect of cloudiness, necessary pre-processing was done on them. For this purpose, three algorithms of data integration and combination, spatial neighborhood filtering and temporal filtering were applied on the primary raw data. The data was processed separately for each month and

A. Kashani¹, B. Salahi²(✉), A. Halabian³, B. Zeinali⁴

1. Ph.D. Student of Climatology, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

2. Professor, Department of Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

3. Associate Professor, Department of Geography, Payame Noor University, Tehran, Iran

4. Professor, Department of Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Iran

e-mail: salahi@uma.ac.ir

the process of estimating the average frequency of snow-covered days was done monthly and in the entire period. To harmonize the spatial separation of snow cover data, according to the nature and type of data, the resample method (changing the size of the nearest neighbor raster data cells) for snow cover data and the bilinear interpolation method for the digital height model data were used. For the digital height model, the Digital Surface Model (DSM) of the Japan Space Exploration Agency was used. Next, the relationship between two snow-cover phenological components (SCAs and SCDs) and the relationship between the number of snow-cover days and the height component was analyzed.

Results and discussion: The surveys show a decrease in the number of snow-covered days in the winter months, of course, this decrease in maximum SCDs in March compared to February is milder than in February compared to January. The decrease in the number of snow-covered days in the winter months can affect the distribution of runoff in the study area and, by creating anomalies, bring unfavorable consequences in terms of the water balance in the region. The analysis showed that September, August, July, and October have the lowest monthly rates of SCDs in northwest Iran. In the north-west of Iran, after September, August, July, and October, which have been associated with the decrease of SCDs, the amount of SCDs in November and December take an increase trend, and this increasing trend is especially in all relatively high mountain massif and this increasing trend, especially in all relatively high and very high mountain massif, has an obvious continuity until January. In time period, the maximum SCDs in very high mountain units such as Sahand and Sabalan, Qandil Mountains, Takht Soleiman, and Chehel Cheshme range from 15-25 days, which shows a significant increase of this snow phenological component following the height factor in the study area. In general, examining the relationship between SCDs

and the topographic component of height shows a positive and strong link between these two environmental variables; but the number of snow-covered days varies with the height increase in different months of the year. In the long term, the maximum levels of SCAs in SCDs are distributed between 20 and 40 days in this region, which covers an area of about 4000 to 10000 square kilometers. In the long term, in all altitude classes, SCDs increase with increasing altitude, and there is a direct and increasing relationship between them.

Conclusion: The findings show an increase in SCDs in the months of November, December, and January. Maximum SCDs are observed in January in Sabalan Mountain and then Sahand. The northwest region sees a decrease in the SCDs from January to March. The reduction of SCDs in the spring and summer months is also affected by the two factors of latitude and altitude. The absolute maximum of SCDs in this region is observed at 160 days/ year in the mountain of Sabalan. Examining the changes in SCDs in March and April shows a decrease in SCDs in high-altitude classes. At the same time, it shows the increasing pattern of SCDs in November and December at many altitude levels. Analysis of the relation between SCAs and SCDs in different months illustrated that SCAs have decreased in regions with more SCDs (heights) due to the reduction of topographic areas. The relation of SCDs and altitude also showed that the minimum of SCDs occurred in all altitude levels (even altitudes above 3500 m with 4 days) in August and the maximum occurred in December with 22 days at the altitude of 3500 m. SCDs decrease with increasing altitude in mountainous areas of 3500 to 4000 m, due to the increase of land slope and instability of SC in steep areas.

Keywords: Altitude, Snow-covered areas (SCAs), Snow-covered days (SCDs), MODIS sensor, Northwest of Iran.