



فصل‌بندی روزهای برفپوشان ایران زمین به کمک داده‌های دورسنجی

محمد صادق کیخسروی کیانی: دانشجوی دکترا دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

ابوالفضل مسعودیان*: استاد دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

وصول: ۱۳۹۴/۵/۲۵ پذیرش: ۱۳۹۵/۱/۲۱، صص ۴۸-۳۳

چکیده

در این پژوهش، داده‌های روزانه دو سنجنده مودیس ترا و مودیس آکوا برای فصل‌بندی پوشش برف در ایران زمین به کار گرفته شد. داده‌های این دو سنجنده در تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و به صورت رقومی در دسترس است. داده‌های به‌کارگرفته‌شده در این پژوهش، خردترین تفکیک موجود داده‌های سنجنده مودیس است. برای فصل‌بندی پوشش برف ایران زمین، نخست داده‌های رقومی پوشش برف در محیط نرم‌افزار متلب گردآوری و سپس چند الگوریتم روی داده‌ها به منظور کاهش ابرناکی به کار بسته شد. پس از آماده‌سازی داده‌ها، آرایه میانگین بلندمدت دوازده ماه خورشیدی از فروردین تا اسفند در نرم‌افزار متلب محاسبه شد. ابعاد این آرایه ۱۲×۷۵۴۱۵۰۲ بود که سطرهای آن نماینده هر ماه و ستون‌های این آرایه نماینده یاخته‌های مکانی در ایران است. در گام بعدی فواصل اقلیدسی یاخته‌ها به کمک روش ادغام وارد در نرم‌افزار متلب محاسبه شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد که روی هم رفته در ایران زمین چهار فصل برفپوشان دیده می‌شود: فصل بی‌برفی شامل ماه‌های اردیبهشت تا خرداد؛ فصل گذار شامل ماه‌های فروردین و آبان؛ فصل پوسته برفپوشان شامل ماه‌های آذر و اسفند و فصل هسته برفپوشان که شامل ماه‌های دی و بهمن می‌شود. همچنین برای هر یک از فصول اقلیمی و هر کدام از ماه‌های خورشیدی شمار روزهای برفپوشان و مساحت‌های آنها بررسی شد. مطالعات نشان داد بیشترین گستره مساحت روزهای برفپوشان یک روزه در ماه دی دیده می‌شود. در این ماه، روزهای برفپوشان یک روزه ۱۵ درصد از گستره کشور را پوشش می‌دهند. در گام پایانی، رابطه میان شمار روزهای برفپوشان و ارتفاع برای هر یک از فصول اقلیمی به کمک مدل رقومی ارتفاع ایران (Dem) محاسبه گردید. یافته‌ها گویای آن بود که در هر یک از فصول اقلیمی، این رابطه متفاوت است.

واژه‌های کلیدی: روزهای برفپوشان، سنجنده مودیس ترا، سنجنده مودیس آکوا، فصل‌بندی، ایران

مقدمه

فراورده‌های دورسنجی گوناگونی از ماهواره‌های زمین‌آهنگ و قطب‌چرخ به جامعه علمی معرفی شده است (رمانو و همکاران^۸، ۲۰۰۳؛ دی‌رویتر و همکاران^۹، ۲۰۰۶؛ زائو و فراندس^{۱۰}، ۲۰۰۹؛ هال و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۰). پژوهشگران بسیاری، داده‌های سنجنده مودیس ترا و مودیس آکوا را برای بررسی وضعیت پوشش برف به کار گرفته‌اند که در ادامه به آنها اشاره می‌شود. جین و همکاران^{۱۲} (۲۰۱۴) برای بررسی وردش پوشش‌های برفی در فلات لوئس در کشور چین داده‌های سنجنده مودیس ترا و مودیس آکوا را برای بازه زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ به کار گرفتند. یافته‌ها نشان داد کمترین میزان پوشش برف از ماه می تا ماه آگوست دیده می‌شود، در حالی که بیشترین مساحت پوشش برف به میزان ۱۲۴۲۰۰۰ کیلومتر مربع در ماه ژانویه مشاهده می‌شود (جین و همکاران، ۲۰۱۴، ۱). کو و همکاران^{۱۳} (۲۰۱۳) برای واکاوی ویژگی‌های انباشت و گدازش برف در حوضه رودخانه لاسا دره مالیا از داده‌های برف سنجنده مودیس در تفکیک زمانی ۸ روزه بهره گرفتند. یافته‌ها نشان داد گدازش برف در ماه مارس اندک بوده است، به آرامی در ماه آوریل افزایش و از میانه ماه می به آرامی، کاهش می‌یابد (کو و همکاران، ۲۰۱۳، ۱ و ۵). دهری و همکاران^{۱۴} (۲۰۱۱) برای ارزیابی ویژگی‌های فصلی پوشش برف در آبگیر رودخانه سوات در کشور پاکستان، داده‌های سنجنده مودیس

گستره پوشش برف، فراسنج اقلیمی و آبشناختی بسیار مهمی برای پیش‌بینی رواناب در پهنه‌های برفگیر در فصل گدازش برف است. اندازه‌گیری و پیش‌بینی گستره برف برای بهبودبخشی به پیش‌بینی‌های اقلیمی و تصمیم‌گیری‌های مرتبط با مدیریت آب بسیار اهمیت دارد؛ به‌ویژه در پهنه‌های کوهستانی که بخش بزرگی از آب مورد نیاز را فراهم می‌کنند (موت و همکاران^۱، ۲۰۰۵). دوام و ماندگاری پوشش برف در یک پهنه، فارغ از ژرفا و عمق آن نشان‌دهنده شرایط اقلیمی آن منطقه است (لیدر و لوف^۲، ۱۹۹۷). برف یکی از منابع اساسی فراهم‌کننده آب شیرین و یکی از مؤلفه‌های مهم چرخه آب‌شناسی به شمار می‌رود (تکلی و تکلی^۳، ۲۰۱۲، ۵۵۳). گستره و وردش‌پذیری پوشش‌های برفی فراسنج‌های مهمی در سامانه‌های آبشناختی و آب و هواشناسی در مقیاس کلان است (یودناتس و همکاران^۴، ۲۰۰۷ و برون و آرم‌استرانگ^۵، ۲۰۱۰). ایستگاه‌های اندازه‌گیری به‌خصوص در پهنه‌های کوهستانی و مناطق دورافتاده برای اندازه‌گیری برف یا وجود ندارد و یا این که شمار آنها بسیار اندک است. برای این منظور، داده‌های دورسنجی پوشش برف راهکار جایگزینی برای به دست آوردن آگاهی و اطلاعات از پوشش‌های برفی در مقیاس منطقه‌ای و جهانی است (هال و همکاران^۶، ۲۰۰۵؛ برون و آرم‌استرانگ^۷، ۲۰۱۰). برای این هدف

⁸ - Romanov et al.

⁹ - De Ruyter et al.

¹⁰ - Zhao and Fernandes

¹¹ - Hall et al.

¹² - Jin et al.

¹³ - Qiu et al.

¹⁴ - Dahri et al.

¹ - Mote et al.

² - Leathers and Luff

³ - Tekeli and Tekeli

⁴ - Udnaes et al.

⁵ - Brown and Armstrong

⁶ - Hall et al.

⁷ - Brown and Armstrong

همکاران^۳ (۲۰۱۱) برای بررسی ویژگی‌های فصلی پوشش برف در منطقه نپال و پهنه‌های پیرامون آن داده‌های سنجنده مودیس ترا را برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ به کار گرفتند. بررسی‌ها نشان داد در فصل زمستان میزان پوشش برف در گروه ارتفاعی ۴۰۰۰-۳۰۰۰ نسبت به کمربند ارتفاعی ۵۰۰۰-۴۰۰۰ و ۶۰۰۰-۵۰۰۰ بیشتر است، اما در فصول دیگر سال با افزایش ارتفاع در گروه‌های ارتفاعی یادشده، میزان برف با بالا رفتن ارتفاع، افزایش می‌یابد (ماسکی و همکاران، ۲۰۱۱، ۳۹۵). هدف از پژوهش حاضر، فصل‌بندی ماه‌های برف‌پوشان در ایران به کمک داده‌های دورسنجی پوشش برف است؛ یعنی این که وضعیت پوشش برف در فصول اقلیمی محاسباتی بررسی و روشن می‌شود در چه ماه‌هایی نباید انتظار پوشش برف داشت، چه ماه‌هایی نقش ماه‌های گذار را دارند و در چه ماه‌هایی بیشترین مقدار پوشش برف دیده می‌شود. پژوهش کنونی را می‌توان نخستین پژوهش در کشور دانست که این موضوع را بررسی می‌کند. یافته‌های این پژوهش می‌تواند در بخش‌های مختلف هواشناسی، آبشناسی و... سودمند باشد.

روش‌شناسی

در پژوهش کنونی داده‌های رقومی پوشش برف دو سنجنده مودیس ترا و مودیس آکوا به کار گرفته شد. داده‌های سنجنده مودیس ترا از تاریخ ۱۳۷۸/۱۲/۵ و داده‌های سنجنده مودیس آکوا از تاریخ ۱۳۸۱/۴/۱ در دسترس است. در داده‌های رقومی پوشش برف با فرمت اچ دی اف برای هر یاخته، یک کد تعریف شده است. برای نمونه کد ۲۰۰ نماینده برف، کد ۵۰

ترا را به کار گرفتند. یافته‌ها نشان داد بالاترین میزان پوشش برف در این پهنه در اواخر ماه ژانویه و اوایل فوریه دیده می‌شود و در این هنگام از سال، ۶۴ درصد از مساحت حوضه پوشیده از برف است. کمترین میزان پوشش برف نیز در ماه آگوست دیده شد. در این ماه تنها نزدیک به ۲ درصد از مساحت حوضه آن هم در بلندی‌ها پوشیده از برف است (دهری و همکاران، ۲۰۱۱، ۱۹). شی و همکاران^۱ (۲۰۱۴) برای واکاوی ویژگی‌های فصلی پوشش برف در حوضه رودخانه تریم در غرب کشور چین از داده‌های دو سنجنده مذکور برای بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ بهره بردند. یافته‌ها نشان داد پوشش‌های برفی در این پهنه از ماه مارس شروع به آب شدن می‌کنند تا این که در ماه آگوست پوشش برف به کمترین میزان خود می‌رسد. انباشت برف از ماه سپتامبر آغاز و در ماه فوریه به بیشترین مقدار خود می‌رسد (شی و همکاران، ۲۰۱۴، ۲۴۲). کی و لیو^۲ (۲۰۱۴) برای بررسی ورودش‌های فصلی پوشش برف در منطقه زینجانگ در کشور چین داده‌های دو سنجنده ذکر شده را به کار گرفتند و یک کاسه‌سازی کردند. بررسی‌ها نشان داد اوج پوشش برف در این پهنه در پایان ماه ژانویه دیده می‌شود و در این هنگام از سال نزدیک به ۴۰ درصد از این پهنه به زیر برف می‌رود. زمان گدازش برف از پایان ماه فوریه، آغاز و کمترین میزان پوشش برف در میانه ماه آگوست دیده می‌شود. در این ماه پهنه پوشیده از برف تنها ۳ درصد از کل منطقه را در بر می‌گیرد (کی و لیو، ۲۰۱۴، ۲۰). ماسکی و

¹ - She et al.

² - Ke and Liu

³ - Maskey et al.

ممکن است خطا داشته باشد و برخی یاخته‌ها در عمل در طبیعت برفی نبوده‌اند، اما بر طبق این الگوریتم به کار بسته شده از یاخته‌های ابری به یاخته‌های برفی تبدیل شده‌اند. پاسخ این پرسش این است که بدون به کار بستن الگوریتم کاهش پوشش ابر، به کارگیری داده‌های خام به هیچ وجه منطقی نیست و نتایج نادرستی را به بار خواهد آورد. همان گونه که بسیاری از پژوهشگران به این مسأله اشاره کرده‌اند و پژوهشگرانی همچون *دیانتر و همکاران*^۱ (۲۰۱۳) و *زانگ و همکاران*^۲ (۲۰۱۲) و *گی‌فورو و باردوسی*^۳ (۲۰۰۹) به کارگیری پالایه را به منظور کاهش ابرناکی پیشنهاد کرده‌اند؛ بنابراین در این کوشش نیز از همان الگوریتم برای کاهش پوشش ابر بهره گرفته شد. همچنین یکی دیگر از روش‌هایی که برای کاستن از ابرناکی انجام می‌دهند، عبارت از ترکیب و یک‌کاسه‌سازی داده‌های دو سنجنده مودیس ترا و مودیس آکوا است. ماهواره ترا در ساعت ۱۰:۳۰ دقیقه به وقت محلی و ماهواره آکوا در ساعت ۱۳:۳۰ دقیقه به وقت محلی از روی منطقه می‌گذرد. ممکن است ماهواره ترا هنگام صبح با گذر از روی منطقه یاخته‌ای را به صورت یاخته ابری شناسایی کند، اما در بعدازظهر ماهواره آکوا با گذر از روی منطقه همان یاخته را این بار یاخته برفی شناسد. در این حالت با احتمال بالا وجود پوشش ابر در هنگام صبح، سبب شده است که پوشش برف زیرین از دید ماهواره پنهان بماند، اما چند ساعت بعد با پراکنده شدن ابرها، پوشش برف زیرین نمایان شده و ماهواره آکوا هنگام عبور از منطقه، آن یاخته برفی را به درستی شناسایی

نماینده ابر، کد ۲۵ نماینده نبود برف و... است. دلیل کوتاهی دوره مطالعاتی (۱۳۹۳-۱۳۸۲) نبودن اطلاعات کامل سنجنده مودیس آکوا برای پیش از سال ۱۳۸۲ بود؛ بنابراین دوره زمانی مطالعه از تاریخ ۱/۱/۱۳۸۲ تا ۱۳۹۳/۱۲/۲۹ را پوشش می‌دهد. به سبب این که همواره پوشش ابر، مانع بزرگی در برابر رصد پوشش برف به شمار می‌رود، به کارگیری داده‌های خام رقومی پوشش برف منطقی نیست و لازم است تا برخی پیش‌پردازش‌ها روی داده‌ها به منظور کاهش ابرناکی انجام شود. یکی از روش‌های کاهش پوشش ابر در داده‌های رقومی پوشش برف عبارت از به کارگیری پالایه روی سری روزانه داده‌ها است. الگوریتم این روش به این ترتیب است: اگر ماهواره با گذر از روی منطقه در روز اول، یاخته‌ای را به عنوان یاخته برفی شناسایی کند، سپس در روز دوم با گذر از روی همان منطقه، آن یاخته را این بار به صورت یاخته ابری بشناسد و در روز سوم، همان یاخته مانند روز اول به شکل یاخته برفی شناسایی شود، پس در این حالت با احتمال بالا می‌توان گفت وجود پوشش ابر در روز دوم بر فراز آن یاخته سبب شده است تا پوشش برف زیرین از دید ماهواره پنهان بماند. در این حالت می‌توان وجود این شرط را در سری زمانی داده‌های روزانه بررسی کرد و یاخته‌هایی را که روز قبل و بعد آنها برفی ولی همان روز، ابری هستند، شناخت و به یاخته‌های برفی تبدیل کرد. در این پژوهش برای کاستن از ابرناکی، یک کد برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار متلب نوشته شد. در این برنامه روی کل سری زمانی داده‌های سنجنده مودیس ترا و مودیس آکوا وجود این شرط بررسی شد و یاخته‌های دارای شرایط از یاخته‌های ابری به یاخته‌های برفی تبدیل گردید. شاید این پرسش مطرح شود که انجام این کار

¹ - Dietz et al.

² - Zhang et al.

³ - Gafurov and Bardossy

آرایه نماینده زمان (دوازده ماه خورشیدی) و ستون‌ها نماینده یاخته‌های مکانی (تعداد یاخته‌های 500×500 متری که سراسر ایران را می‌پوشاند) هستند. سپس برای شناسایی ماه‌هایی که الگوی مکانی تعداد روزهای برفپوشان آن‌ها بیشترین همانندی را به یکدیگر داشت، فواصل اقلیدسی میان دوازده ماه محاسبه گردید. بعد از آن با روش ادغام وارد گروه‌بندی ماه‌های سال انجام گرفت. محاسبات نشان داد که ماه‌های سال را بر حسب همانندی الگوی مکانی تعداد روزهای برفپوشان می‌توان به چهار بخش تقسیم کرد. در گام بعدی برای بررسی نقش ارتفاع در پراکنش روزهای برفپوشان، مدل رقومی ارتفاع ایران (Dem) در تفکیک مکانی 500×500 متر و با سیستم تصویر سینوسی هماهنگ با تفکیک و سیستم تصویر داده‌های برف از تارنمای ناسا دریافت شد. در این مرحله برای بخش‌های مختلف سال، پیوند میان روزهای برفپوشان و ارتفاع بررسی گردید. در شکل ۱ نقشه مدل رقومی ارتفاع ایران (Dem) در تفکیک مکانی 500 متر و با سیستم تصویر سینوسی آمده است. همچنین برای هر یک از چهار فصل اقلیمی، مناطقی که ماندگاری پوشش برف داشتند، شناسایی شد. در فصل بی‌برفی پهنه‌هایی که بیش از ۳۵ روز پوشش برف داشتند، شناسایی و میانگین ارتفاع این پهنه‌ها از تراز دریا محاسبه شد. برای فصول گذار، پوسته برفپوشان و هسته برفپوشان پهنه‌هایی که بیش از ۵۰ درصد از مواقع (بیش از ۳۰ روز برفپوشان) پوشش برف داشتند، شناسایی و میانگین ارتفاع آنها از تراز دریا محاسبه گردید. در ادامه درباره فصول گذار، پوسته و هسته برفپوشان و تعاریف آنها توضیحات لازم ارائه شده است.

کرده است. از این تفاوت چندین ساعته در زمان گذر این دو ماهواره به منظور کاستن از ابرناکی می‌توان بهره برد. این پژوهشگران ترکیب و یک‌کاسه‌سازی داده‌های دو ماهواره را پیشنهاد داده‌اند: وانگ و همکاران^۱ (۲۰۰۹)؛ وانگ و زی^۲ (۲۰۰۹)؛ برجرون و همکاران^۳ (۲۰۱۳)؛ پاراجکا و بلوشی^۴ (۲۰۰۸)؛ شی و همکاران^۵ (۲۰۱۴)؛ زانگ و همکاران^۶ (۲۰۱۲)؛ کی و لیو^۷ (۲۰۱۴) و دایترز و همکاران^۸ (۲۰۱۴).

در این پژوهش نیز از همین الگوریتم بهره گرفته شد. با توجه به این که طول دوره مطالعه برای دو ماهواره از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۳ بوده که دربردارنده ۴۳۸۳ روز است و با در نظر گرفتن این که 34560000 یاخته، منطقه ایران را پوشش می‌دهد، بنابراین در این پژوهش روی شمار انبوهی از کدها، پردازش‌های آماری و روی بیش از ۹۰۰ میلیارد داده، محاسبات عددی انجام شد.

برای برش‌زدن یاخته‌هایی که درون مرز جغرافیایی ایران قرار می‌گرفت از تابع اینپولیگون در محیط نرم‌افزار متلب بهره گرفته شد. پس از اعمال این تابع، 7541502 یاخته درون مرز ایران واقع شد. در گام بعدی نقشه‌های 4383 روز، بررسی، محاسبه و در نهایت میانگین‌گیری شد. محاسبه نقشه‌های میانگین فراوانی پوشش برف نیز جزء مراحل زمانبر این پژوهش بود. پس از این مرحله نقشه‌های میانگین ماهانه تعداد روزهای برفپوشان به صورت آرایه‌ای به ابعاد 12×7541502 آرایش داده شد. سطرهای این

¹ - Wang et al.

² - Wang and Xie

³ - Bergeron et al.

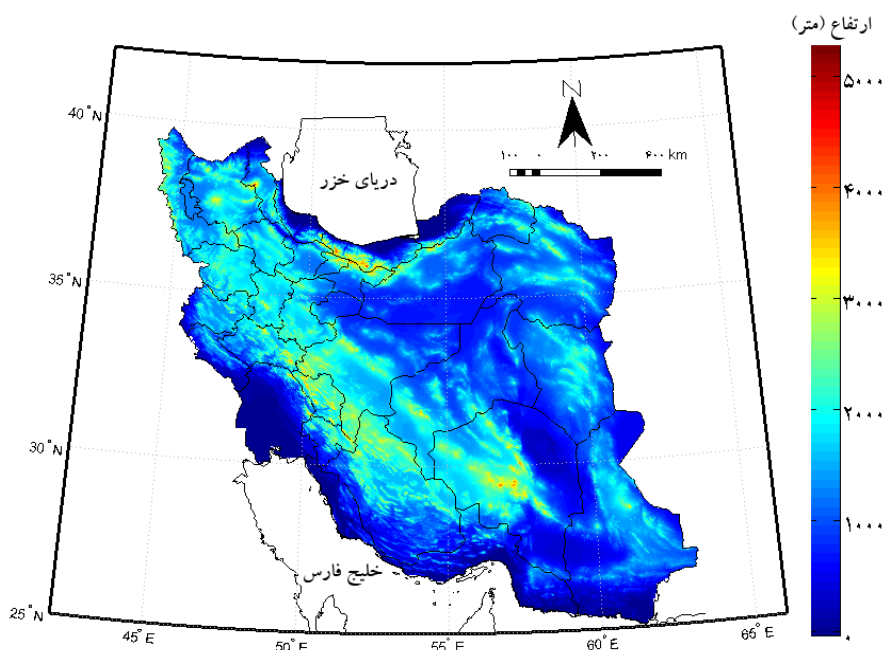
⁴ - Parajka and Bloschi

⁵ - She et al.

⁶ - Zhang et al.

⁷ - Ke and Liu

⁸ - Dietz et al.

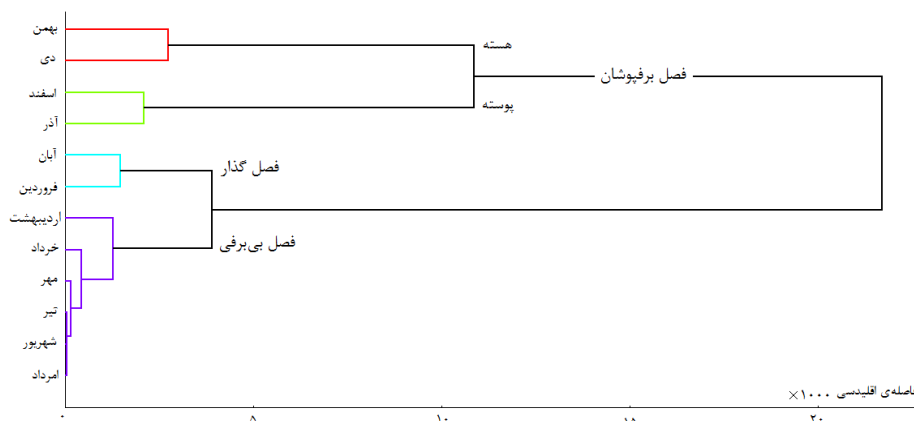


شکل (۱): نقشه مدل رقومی ارتفاع (Dem) ایران در تفکیک مکانی ۵۰۰ متر با سیستم تصویر سینوسی

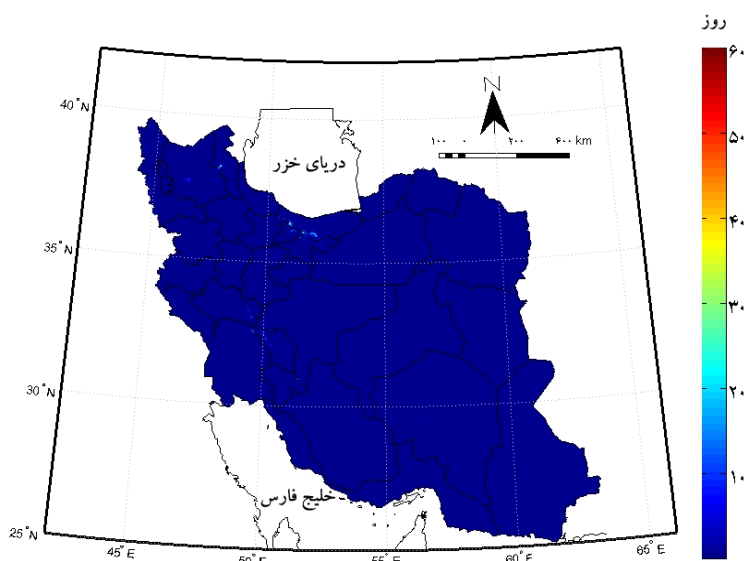
یافته‌های تحقیق

محاسبه فواصل اقلیدسی و گروه‌بندی ماه‌های سال (با روش ادغام وارد) نشان داد که ماه‌های سال را بر حسب همانندی الگوی مکانی تعداد روزهای برفپوشان به چهار بخش می‌توان تقسیم کرد. منظور از روز برفپوشان روزی است که زمین پوشیده از برف است. فصول اقلیمی محاسبه شده به این شرح است: فصل بی‌برفی که ماه‌های اردیبهشت تا مهر را شامل می‌شود؛ فصل برفپوشان که خود به زیرفصل هسته و

پوسته بخش می‌شود؛ هسته فصل برفپوشان، ماه‌های دی و بهمن و پوسته فصل برفپوشان، ماه‌های آذر و اسفند را دربرمی‌گیرد. ماه‌های فروردین و آبان نقش فصل گذار را دارند. فروردین فصل گذار از فصل برفپوشان به فصل بی‌برفی و آبان فصل گذار از فصل بی‌برفی به فصل برفپوشان است. در شکل ۲ دارنمای ماه‌های برفپوشان ایران نشان داده شده است. در شکل‌های ۳ تا ۶ وضعیت روزهای برفپوشان ایران زمین برای هر یک از فصول اقلیمی آمده است.



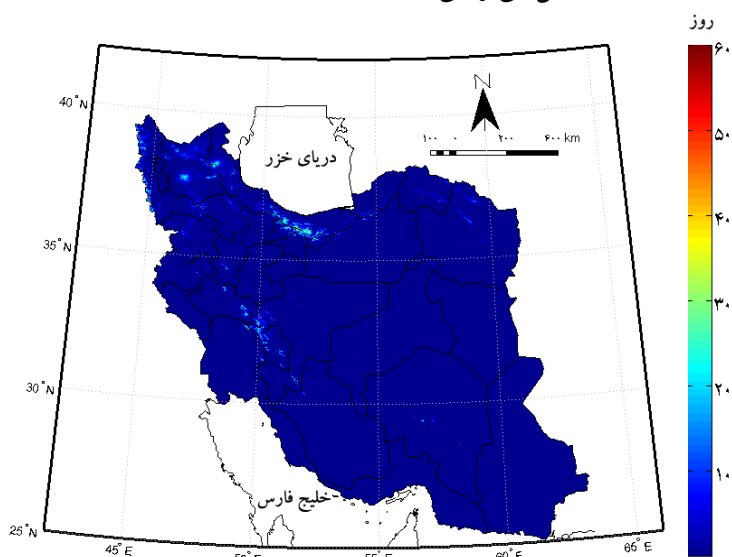
شکل (۲): دارنمای ماه‌های برفپوشان ایران



شکل (۳): شمار روزهای برفپوشان ایران در فصل بی‌برفی (اردیبهشت تا مهر)

۱۸/۹ کیلومتر مربع از مساحت کشور بیش از ۳۵ روز، پوشش برف دارند. میانگین ارتفاع این مناطق از تراز دریا ۴۴۶۳ متر است. این میانگین ارتفاع نشان می‌دهد که دما نقش مهمی در پوشش‌های برفی دارد. در این فصل، کمترین ارتفاع که دست‌کم ۳۵ روز برفپوشان دارد، ۳۹۵۵ متر است. در فصل بی‌برفی که به نوعی نماینده ماه‌های گرم سال است، پوشش‌های شایان توجه برف محدود به نواحی بسیار پراارتفاع کشور است.

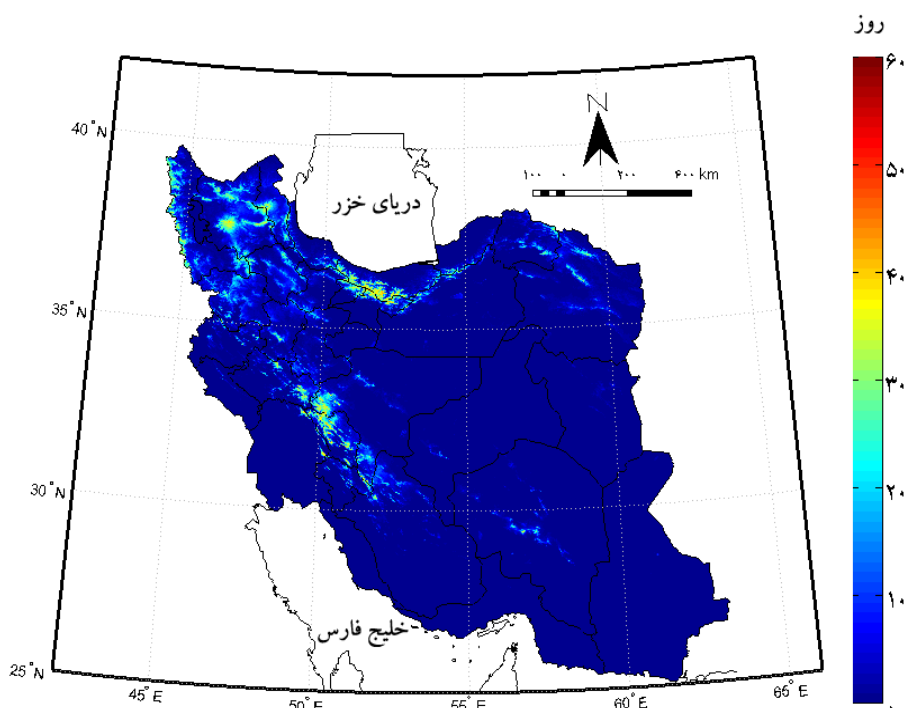
در فصل بی‌برفی که ماه‌های اردیبهشت تا خرداد را شامل می‌شود، شمار روزهای برفپوشان بسیار کم و بیشتر در بلندی‌های مرتفع کشور دیده می‌شود. در این فصل، پوشش برف به طور محدود و پراکنده تنها روی رشته کوه‌های البرز، زاگرس و کوه‌های سهند و سبلان مشاهده می‌شود. پوشش برف در این موقع از سال در رشته کوه‌های البرز بیشتر از مناطق دیگر است. شکل ۳ نمایش‌دهنده پراکنش روزهای برفپوشان کشور در این فصل است. محاسبات نشان داد در فصل بی‌برفی



شکل (۴): شمار روزهای برفپوشان در فصل گذار (فروردین و آبان)

برف شده‌اند (شکل ۴). محاسبات نشان داد در فصل گذار ۵۴/۳۹ کیلومتر مربع از کشور بیش از ۵۰ درصد از مواقع (بیش از ۳۰ روز برفپوشان) پوشش برف دارد و میانگین ارتفاع این مناطق از تراز دریا ۳۶۰۷ متر است. در این فصل کمترین ارتفاعی که در آن ۵۰ درصد از مواقع (بیش از ۳۰ روز برفپوشان) پوشش برف وجود دارد، ۳۱۸۷ متر است.

در فصل گذار که ماه‌های فروردین و آبان را شامل می‌شود، پراکنش روزهای برفپوشان در کشور نسبت به فصل بی‌برفی گسترده‌تر و فراوان‌تر شده است. در این فصل بیشترین فراوانی روزهای برفپوشان در رشته کوه‌های البرز دیده می‌شود. در این موقع از سال ارتفاعات هزار و لاله‌زار نیز پوشش برف دارند. همچنین نواحی کم‌ارتفاع‌تر زاگرس، منطقه آذربایجان و خراسان در قیاس با فصل بی‌برفی دارای پوشش



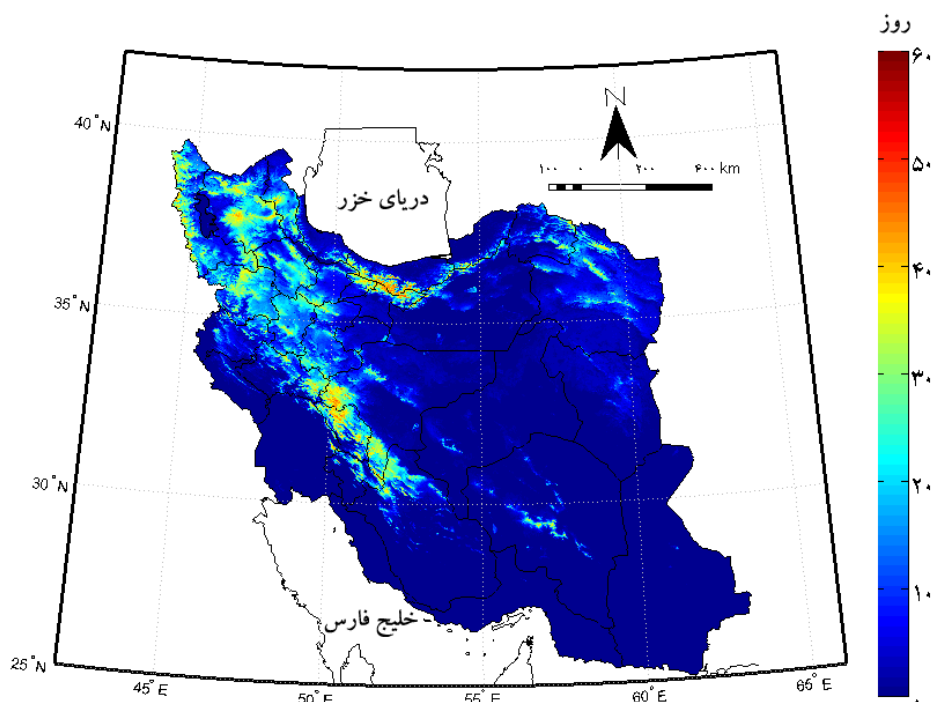
شکل (۵): شمار روزهای برفپوشان در فصل پوسته برفپوشان (آذر و اسفند)

سبلان دیده می‌شود (شکل ۵). در این فصل که روی هم رفته ۶۰ روز طول می‌کشد برخی از بلندی‌های کشور تا ۵۵ روز پوشیده از برف هستند. بررسی‌ها آشکار کرد که در فصل پوسته برفپوشان ۸۹۴۹/۵۷ کیلومتر مربع از کشور بیش از ۵۰ درصد از مواقع (بیش از ۳۰ روز برفپوشان) پوشش برف دارد و میانگین ارتفاع این مناطق از تراز دریا ۳۰۱۵ متر است.

فصل پوسته برفپوشان، ماه‌های آذر و اسفند را شامل می‌شود. در این فصل، فراوانی و نیز گستره روزهای برفپوشان در قیاس با فصل گذار بسیار بیشتر شده است و بسیاری از نواحی پایکوهی نیز در این موقع از سال، پوشش برف دارند. بیشترین فراوانی روزهای برفپوشان در این هنگام در دامنه‌های شمالی البرز، رشته کوه‌های زاگرس و پس از آن روی سهند و

بنابراین دمای سردتر فصل پوسته برفپوشان سبب شده است تا ارتفاع برف کاهش یابد. در شکل (۷) پراکنش ارتفاعاتی که بیش از ۵۰ درصد از مواقع در این فصل پوشیده از برف هستند، نشان داده شده است. این نواحی ارتفاعی به رشته کوه‌های البرز، زاگرس و برخی مناطق شمال غرب محدود می‌باشد.

در طی این فصل حداقل ارتفاعی که این شرایط را دارد ۲۰۳۹ متر است و از این ارتفاع به بالاست که ۵۰ درصد از مواقع پوشش برف وجود دارد. در مقایسه با فصل گذار، میانگین ارتفاعی که در آن ۵۰ درصد از مواقع زمین پوشیده از برف است، کاهش یافته است. در این فصل به طور میانگین ۵۹۲ متر از ارتفاع این مناطق در مقایسه با فصل گذار کاسته شده است.



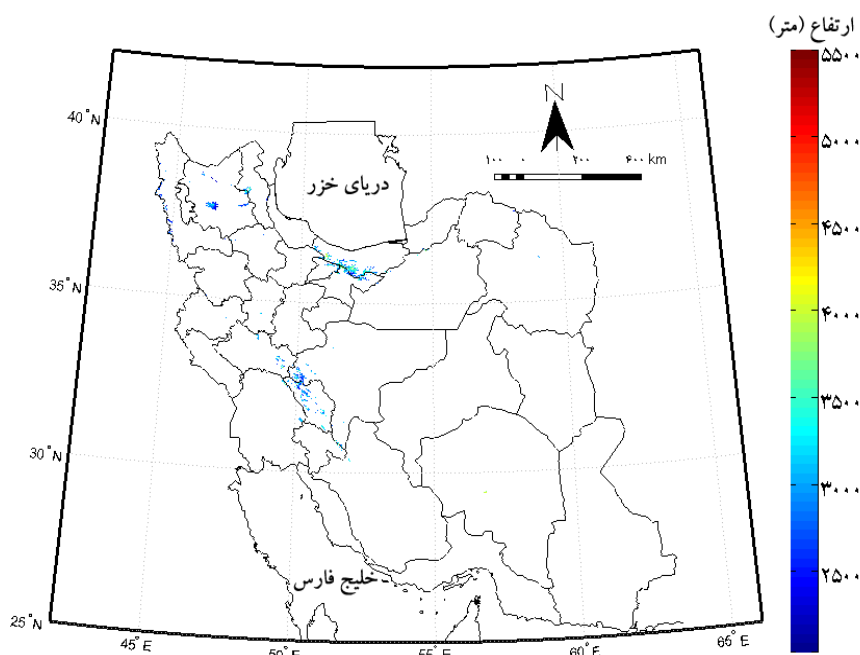
شکل (۶): شمار روزهای برفپوشان در فصل هسته برفپوشان (دی و بهمن)

نقشه‌های پوشش برف مشخص می‌شود که ارتفاع چه تأثیر زیادی در پراکنش روزهای برفپوشان دارد. در این فصل ۴۴۰۳۸/۶۸ کیلومتر مربع از گستره ایران بیش از ۵۰ درصد از مواقع (بیش از ۳۰ روز برفپوشان) پوشش برف دارد. میانگین ارتفاع این مناطق از تراز دریا ۲۶۰۲ متر مربع است. بنابراین نسبت به فصل پوسته برفپوشان میانگین ارتفاع مناطقی که ۵۰ درصد از فصل، پوشیده از برف هستند، ۴۱۳ متر کاهش یافته است. کمترین ارتفاع این مناطق ۱۵۱۹ متر محاسبه شد. یعنی کمترین ارتفاعی که در

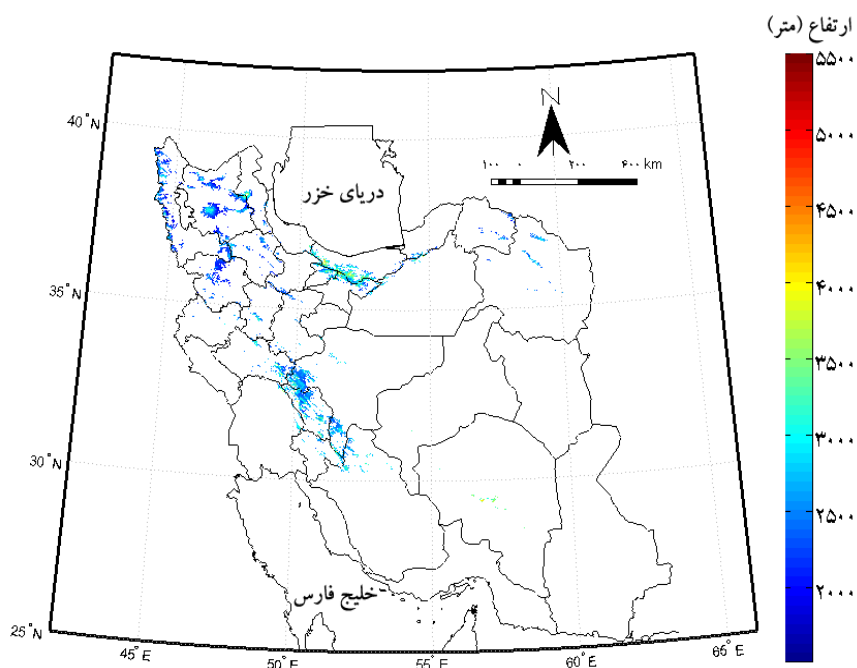
در فصل هسته برفپوشان که شامل ماه‌های دی و بهمن می‌شود، شمار روزهای برفپوشان و گستره آن افزایش یافته است. در این فصل بسیاری از مناطق ایران، پوشش برف دارند. در این موقع سرتاسر نوار غربی کشور در راستای کوه‌های زاگرس پوشیده از برف است. همچون فصول قبلی، بیشترین میزان پوشش برف روی دامنه‌های شمالی البرز دیده می‌شود. در این هنگام از سال پهنه‌های وسیعی از مناطق شمال شرقی ایران نیز برف دارند. با دقت در نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) ایران و مقایسه آن با

مناطق است که ۵۰ درصد از مواقع در فصل هسته برفپوشان پوشیده از برف هستند. این مناطق در راستای رشته کوه‌های زاگرس، البرز، بخش‌هایی از شمال غرب و به طور پراکنده در بلندی‌های کرمان دیده می‌شوند.

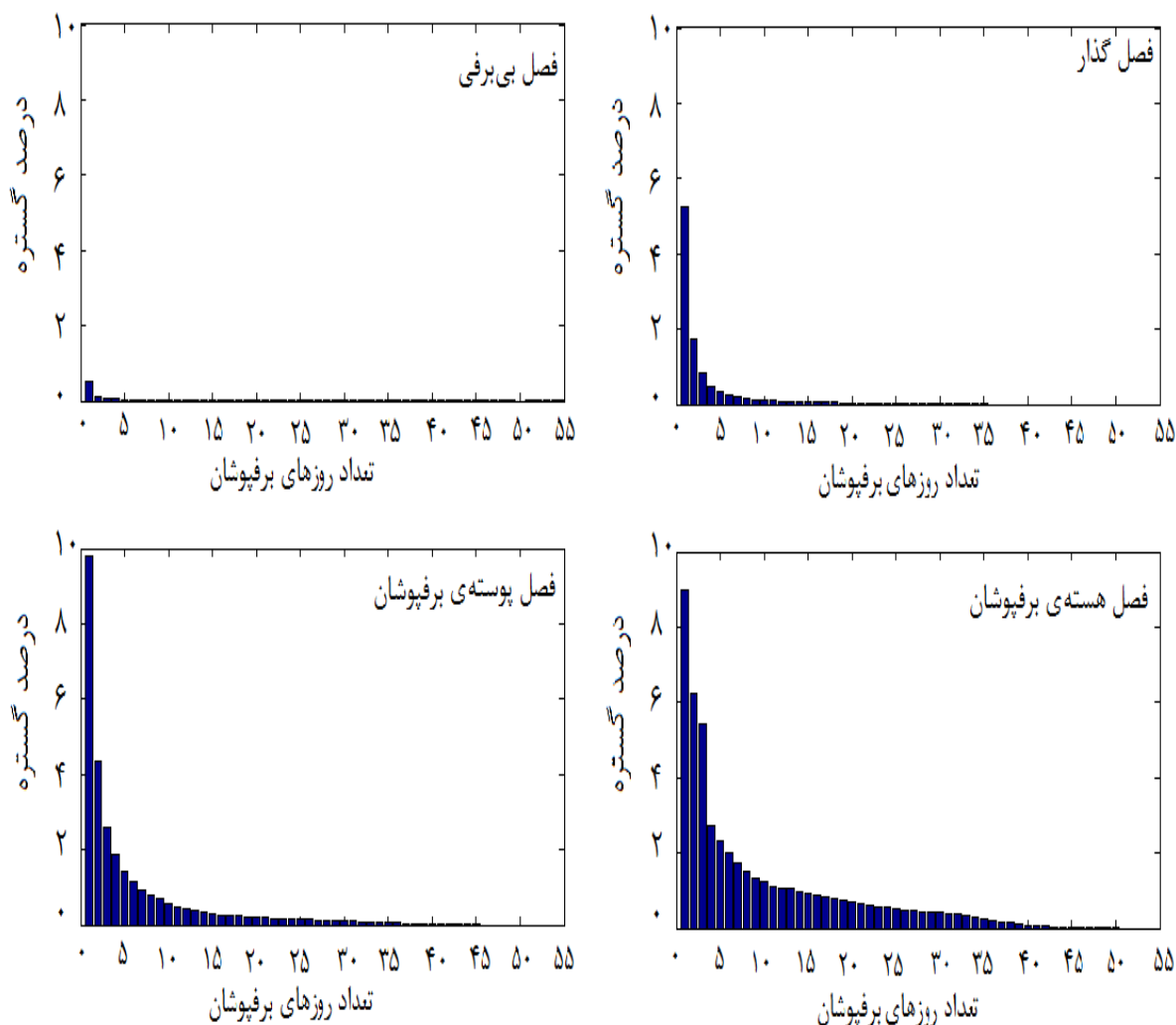
آن دست کم ۵۰ درصد از مواقع زمین پوشیده از برف است از ۱۵۱۹ متر آغاز می‌شود. مشاهده می‌شود که در فصل هسته برفپوشان میانگین ارتفاع این مناطق نسبت به فصول دیگر کمینه است. شکل (۸) نشان‌دهنده پراکندگی



شکل (۷): نقشه پراکندگی ارتفاعاتی که در فصل پوسته برفپوشان بیش از ۵۰ درصد از مواقع پوشیده از برف هستند.



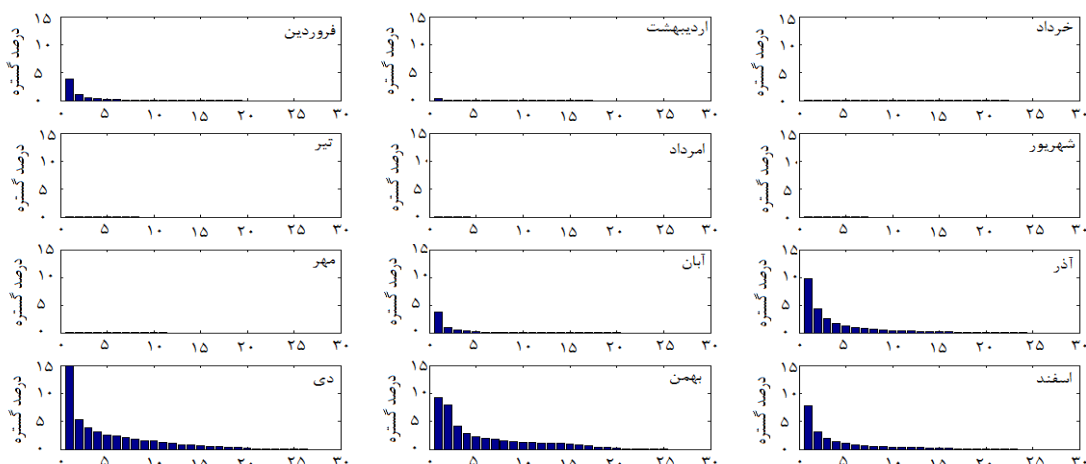
شکل (۸): نقشه پراکندگی ارتفاعاتی که در فصل هسته برفپوشان بیش از ۵۰ درصد از مواقع پوشیده از برف می‌باشند.



شکل (۹): درصد گستره‌ی شمار روزهای برفپوشان در چهار فصل اقلیمی

درصد از گستره‌ی ایران‌زمین را نیز در برمی‌گیرد. یعنی نواحی که یک روز پوشش برف دارند، نزدیک به ۵ درصد از گستره‌ی کشور را پوشش می‌دهند و با افزایش شمار روزهای برفپوشان، گستره‌ی زیر برف هم کاهش می‌یابد. در فصل پوسته‌ی برفپوشان، روزهای برفپوشان یک روزه نزدیک به ۱۰ درصد از مساحت ایران را در برمی‌گیرد و با افزایش شمار روزهای برفپوشان مساحت مربوط به آن کاهش بسیاری را نشان می‌دهد. در فصل هسته‌ی برفپوشان، روزهای برفپوشان، مساحت‌های بیشتری از کشور را در برمی‌گیرند.

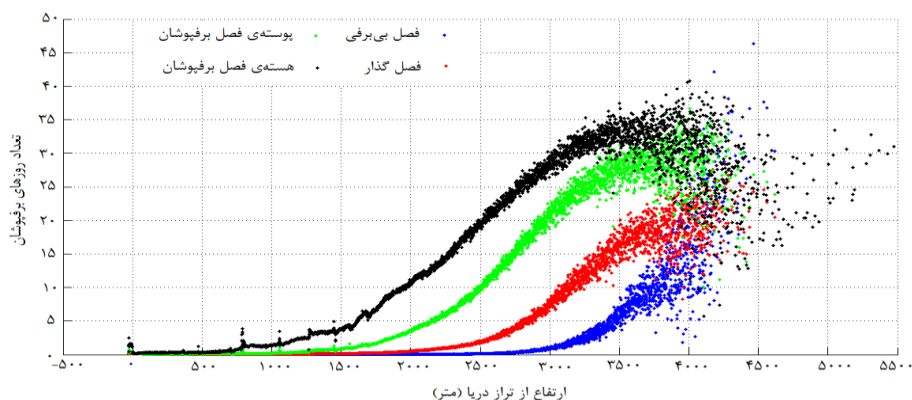
شکل ۹ درصد گستره‌ی روزهای برفپوشان در چهار فصل اقلیمی سال را نشان می‌دهد. در فصل بی‌برفی روزهای برفپوشان یک روزه کمتر از ۱ درصد از گستره‌ی ایران را می‌پوشاند. به بیان روشن‌تر یعنی مناطقی که در فصل بی‌برفی یک روز پوشش برف دارند، کمتر از ۱ درصد گستره‌ی ایران را شامل می‌شوند. در این فصل فراوانی روزهای برفپوشان بسیار اندک است. در فصل گذار، شمار روزهای برفپوشان افزایش بسیار بیشتری را نسبت به فصل بی‌برفی نشان می‌دهد. در این موقع از سال روزهای برفپوشان یک روزه تا ۵



شکل (۱۰): درصد گستره روزهای برفپوشان در ماه‌های سال

آبان‌ماه پوشش می‌دهد. در ماه‌های دی و بهمن بیشترین تعداد روزهای برفپوشان دیده می‌شود و روزهای برفپوشان مساحت‌های بیشتری را نشان می‌دهد. در ماه دی، روزهای برفپوشان یک روزه تا ۱۵ درصد از مساحت کشور را در برمی‌گیرد، اما روزهای برفپوشان دو روزه نزدیک به ۵ درصد از مساحت کشور را پوشش می‌دهد. اختلاف زیادی میان مساحت روزهای یک روزه و دو روزه دیده می‌شود، اما در ماه بهمن روزهای برفپوشان یک روزه و دو روزه از نظر مساحت، اختلاف زیادی با هم ندارند. در ماه اسفند روزهای برفپوشان و مساحت‌های مربوط به آنها نیز دوباره رو به کاهش می‌گذارد. الگوی روزهای برفپوشان اسفندماه به آذرماه، شباهت بالایی دارد.

شکل ۱۰ درصد گستره روزهای برفپوشان را در ماه‌های مختلف سال نشان می‌دهد. پوشش برف از ماه فروردین به بعد کاهش بسیار چشم‌گیری را نشان می‌دهد. ماه فروردین نقش ماه گذار از برف به برفی را دارد. در ماه‌های اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد، شهریور و مهر روزهای برفپوشان مساحت‌های بسیار ناچیزی را در برمی‌گیرد. عملاً در این ماه‌ها پوشش برف بسیار ناچیز است و این ماه‌ها را همان گونه که گفته شد، می‌توان فصل بی‌برفی ایران دانست. ماه آبان نقش ماه گذار از بی‌برفی به برف را دارد. در این ماه، روزهای برفپوشان مساحت‌های بیشتری را نسبت به ماه‌های قبلی در برمی‌گیرد. در ماه آذر، روزهای برفپوشان مساحت‌های بسیار بیشتری را نسبت به



شکل (۱۱): رابطه تعداد روزهای برفپوشان در فصول اقلیمی با ارتفاع در ایران‌زمین

رابطه‌ی شمار روزهای برفپوشان و ارتفاع، یک الگوی پراکنده را از خود نشان می‌دهد. افزایش ارتفاع و به دنبال آن کاهش دما نقش بسیار مهمی در پوشش برف دارد. برای مثال همان‌طور که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود در فصل هسته برفپوشان در ارتفاع ۲۰۰۰ متری از تراز دریا ۱۰ روز زمین پوشیده از برف است، اما در فصل پوسته برفپوشان به‌طور میانگین در ارتفاع ۲۵۰۰ متری از تراز دریا ۱۰ روز برفپوشان وجود دارد و روزهای برفپوشان ۱۰ روزه این بار در ارتفاع ۵۰۰ متر بالاتر دیده می‌شود. با وجود این در فصل گذار در ارتفاع تقریبی ۳۲۰۰ متر ۱۰ روز برفپوشان وجود دارد و در این موقع از سال نسبت به فصل پوسته باید ۷۰۰ متر بالاتر رفت تا به ۱۰ روز برفپوشان رسید. در فصل بی‌برفی به‌طور تقریبی روزهای برفپوشان ۱۰ روزه در ارتفاع ۳۷۰۰ متری دیده می‌شود. بنابراین روشن است که تغییرات دما چه اثر چشم‌گیری در روزهای برفپوشان دارد.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر برای فصل‌بندی روزهای برفپوشان ایران از داده‌های رقومی سنجنده‌های مودیس ترا و مودیس آکوا بهره‌گرفته شد. به‌منظور فصل‌بندی روزهای برفپوشان ایران از تحلیل خوشه‌ای به روش ادغام وارد استفاده شد. محاسبات نشان داد در ایران چهار فصل اقلیمی متمایز وجود دارد: فصل بی‌برفی که ماه‌های اردیبهشت تا خرداد را شامل می‌شود؛ فصل گذار که دربردارنده ماه‌های فروردین و آبان است؛ فصل پوسته برفپوشان که مشتمل بر ماه‌های آذر و اسفند است و در نهایت فصل هسته برفپوشان که ماه‌های دی و بهمن را دربرمی‌گیرد. بررسی‌ها نشان داد ماه فروردین نقش ماه گذار از برف به بی‌برفی و

با افزایش ارتفاع، دمای هوا نیز کاهش می‌یابد و کاهش دما ماندگاری بیشتر پوشش برف را سبب می‌شود. شکل ۱۱ نشان‌دهنده رابطه روزهای برفپوشان در فصول اقلیمی با ارتفاع در ایران‌زمین است. همان‌گونه که از این نمودار برمی‌آید الگوی رابطه شمار روزهای برفپوشان با ارتفاع در همه فصول مانند هم است؛ یعنی با افزایش ارتفاع، شمار روزهای برفپوشان نیز افزایش می‌یابد، اما رفتار شمار روزهای برفپوشان با میزان افزایش ارتفاع در هر یک از فصول اقلیمی متفاوت است. در هسته فصل برفپوشان آهنگ تغییرات روزهای برفپوشان با افزایش ارتفاع شدیدتر از فصول دیگر است. این فصل، نماینده ماه‌های دی و بهمن است. در این هنگام از سال از ارتفاع تقریبی ۱۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر رابطه خطی نیرومندی میان شمار روزهای برفپوشان و ارتفاع دیده می‌شود و پس از ارتفاع ۳۰۰۰ به بالا الگوی رابطه میان شمار روزهای برفپوشان و ارتفاع، نظم خود را از دست می‌دهد. دلیل برهم‌خوردن رابطه روزهای برفپوشان و ارتفاع در ارتفاعات بلند کشور را می‌توان به سبب تنگی شیب دانست. افزایش شیب زمین موجب می‌شود تا شرایط مناسب برای نشست برف وجود نداشته باشد. فصل پوسته برفپوشان، ماه‌های آذر و اسفند را شامل می‌شود. در این فصل از ارتفاع تقریبی ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر رابطه روزهای برفپوشان و ارتفاع، یک رابطه خطی است. اما از ارتفاع حدود ۳۰۰۰ متر به بالا نظم این رابطه کاهش می‌یابد و یک الگوی پراکنده را از خود نشان می‌دهد. در فصل گذار که ماه‌های فروردین و آبان است از ارتفاع حدود ۲۸۰۰ تا ۳۵۰۰ متر، یک رابطه خطی بین شمار روزهای برفپوشان و ارتفاع وجود دارد. در فصل بی‌برفی که نماینده ماه‌های اردیبهشت تا خرداد است از ارتفاع ۳۲۰۰ متر به بالا

- Hydrological Processes*, 1-14.
- Brown, R., Armstrong, R. L. (2010). Snow-cover data measurement, products and sources in snow and climate. In *Physical Processes, Surface Energy Exchange and Modeling*, Armstrong RL, Brun E (eds). Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- Dahri, Z. Ahmad, B., Leach, J., Ahmad, S. (2011). Satellite-Based Snow cover Distribution and Associated Snowmelt Runoff Modeling in Swat River Basin of Pakistan; *Proceedings of the Pakistan Academy of Sciences* 48: 19–32.
- de Ruyter de Wildt, M., Seiz, G., Grün, A. (2006). Snow mapping using multi-temporal Meteosat-8 data. *EARSeL Proc.* 5: 18–31.
- Dietz, A., 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, 3879–3902.
- Dietz, A., Conrad, C., Kuenzer, C., Gesell, G. and Dech, S. (2014). Identifying Changing Snow Cover Characteristics in Central Asia between 1986 and 2014 from Remote Sensing Data, *Remote Sens*, 6: 12752-12775.
- Gafurov, A., Bardossy, A. (2009). Cloud removal methodology from MODIS snow cover product, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13: 1361–1373.
- Hall, D. K., Kelly, R. E., Foster, J., Chang, A. T. (2005). Estimation of snow extent and snow properties. In *Encyclopedia of Hydrological Sciences*, Anderson MG (ed). Chichester: John Wiley and Sons, Ltd. 2: 811–830.
- Hall, D. K., Riggs, G. A., Foster, J. L., Kumar, S. V. (2010). Development and evaluation of a cloud-gap-filled modis daily snow-cover product. *Remote Sens. Environ.* 114: 496–503.
- Jin, X., Ke, C., Xu, Y. & Li, X. (2014). Spatial and temporal variations of snow cover in the Loess Plateau, China; *International Journal of Climatology*; 1-11.
- Ke, C. & Liu, X. (2014). Modis-observed spatial and temporal variation in snow cover in Xinjiang, China; *Climate Research* 59: 15-26.

ماه آبان نقش ماه گذار از بی‌برفی به برف را دارد. ترسیم الگوهای پراکنش پوشش برف کشور برای هر یک از فصول اقلیمی نشان داد روی هم رفته بیشترین فراوانی روزهای برفپوشان در دامنه‌های البرز و پس از آن در دامنه‌های زاگرس و کوه‌های سهند و سیلان دیده می‌شود. بررسی رابطه‌ی شمار روزهای برفپوشان با ارتفاع در چهار فصل اقلیمی مشخص کرد که الگوی افزایش روزهای برفپوشان در هر یک از فصول، همانند هم است و با افزایش ارتفاع، شمار روزهای برفپوشان افزایش می‌یابد، اما افزایش روزهای برفپوشان با افزایش ارتفاع در هر یک از فصول تا یک ارتفاع به خصوص نظم دارد و از یک ارتفاع معین به بالا نظم خود را از دست می‌دهد؛ چرا که افزایش شیب زمین موجب می‌شود تا شرایط مناسب برای نشست برف وجود نداشته باشد. همچنین مساحت پوشش برف برای هر یک از فصول اقلیمی و ماه‌های سال و برای هر کدام از روزهای برفپوشان محاسبه شد. بررسی‌ها آشکار کرد که در ماه‌های اردیبهشت تا مهر، گستره‌ی پوشش برف روزهای برفپوشان بسیار ناچیز است. بیشترین گستره‌ی برف در ماه دی دیده شد. در این ماه، روزهای برفپوشان یک روزه ۱۵ درصد از گستره‌ی ایران را در بر می‌گیرد. در مجموع یافته‌های این پژوهش شناخت وضعیت پوشش برف ایران زمین را بیشتر کرد. یافته‌های به دست آمده از این نوشتار برای بخش‌های کشاورزی، هواشناسی، وزرات نیرو و... می‌تواند کاربردی و سودمند باشد.

منابع

- Bergeron, J., Royer, A., Turcotte, R. & Roy, A. (2013). Snow cover estimation using blended MODIS and AMSR-E data for improved watershed-scale spring streamflow simulation in Quebec, Canada;

- Hydrology*, 371: 192-200.
- 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 reaserch*, 48: 1-22.
- 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. *J. Geophys. Res.* 114: 1-14.
- Leathers, D. & Luff, B. (1997). Characteristics of snow cover duration across the northeast United States of America. *International Journal of Climatology*, 17: 1535–1547.
- Maskey, S., Unlenbrook, S. & Ojha, S. (2011). An analysis of snow cover changes in the Himalayan region using MODIS snow products and in-situ temperature data; *Climate Change* 108: 391-400.
- Mote, P., Hamlet, A., Clark, M. & Lettenmaier, D. (2005). Declining mountain snowpack in western North America. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 86: 39-49.
- Parajka, J. & Blöschl, G. (2006). Validation of MODIS snow cover images over Austria, *Hydro. Earth Syst. Sci. Discuss*; 3: 1569-1601.
- Qiu, L., You, J., Qiao, F. & Peng, D. (2013). Simulation of snowmelt runoff in ungauged basins based on MODIS: A case study in the Lhasa River basin, *Stoch Environ Res Risk Assess*, 1-9.
- Romanov, P., Tarpley, D., Gutman, G. & Carroll, T. R. (2003). Mapping and monitoring of the snow cover fraction over North America. *J. Geophys. Res.* 108(D16): 8619.
- 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 Remote Sensing*; 35 : 234-252.
- Tekeli, Y. & Tekeli, A. E. (2012). A technique for improving MODIS standard snow products for snow cover monitoring over Eastern Turkey, *Arab J Geosci* 5: 353–363.
- Udnes, H., Alfnes, C. E., Andreassen, L. M. (2007). Improving runoff modeling using satellite-derived snow cover area. *Nord. Hydrol.* 38: 21–32.
- Wang, X., Xie, H., Liang, T. and Huang, X. (2009). Comparison and validation of MODIS standard and new combination of Terra and Aqua snow cover products in northern Xinjiang, China. *Hydro. Process.* 23: 419-429.
- 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*