

واکاوی پیوند روزهای برفپوشان با ارتفاع، شیب و وجه‌شیب در ایران زمین

محمدصادق کیخسروی کیانی - دانشجوی دکتری آب و هواشناسی دانشگاه اصفهان
سیدابوالفضل مسعودیان* - استاد آب و هواشناسی دانشگاه اصفهان

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۴/۱۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۴/۰۶/۱۷

چکیده

در پژوهش کنونی برای بررسی پیوند بین روزهای برفپوشان با ارتفاع، شیب و وجه‌شیب از داده‌های دو فرآوردۀ دورسنجی مودیس تررا و مودیس آکوا برای بازۀ زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۲ بهره‌گرفته شد. تفکیک مکانی داده‌های به‌کاررفته در این پژوهش ۵۰۰ است. همچنین داده‌های مدل رقومی ارتفاع ایران (DEM) در تفکیک مکانی ۵۰۰ متر و با سیستم تصویر سینوسی هماهنگ با تفکیک و سیستم تصویر داده‌های مودیس تررا و مودیس آکوا از تارنمای سازمان فضایی ناسا برداشت شد. در داده‌های مدل رقومی ارتفاع (DEM) به‌کاررفته افزون بر ارتفاع نقاط، اطلاعات شیب و وجه‌شیب برای هر یاخته نیز در دسترس است. در این پژوهش نخست میانگین روزهای برفپوشان (روزی که زمین پوشیده از برف است) ایران برای بازۀ زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۲ محاسبه شد و سپس با کدنویسی در نرم‌افزار متلب برای هر طبقۀ ارتفاعی از ارتفاع ۲۹- تا ۵۴۷۶ متری در گام‌های یک‌متری میانگین روزهای برفپوشان همان ارتفاع محاسبه شد. پس از محاسبۀ شمار روزهای برف برای هر طبقۀ ارتفاعی، پیوند روزهای برفپوشان با ارتفاع، شیب و وجه‌شیب بررسی شد. یافته‌ها نشان داد ارتباط بین روزهای برفپوشان با ارتفاع لزوماً رابطه خطی نیست و در گروه‌های ارتفاعی رفتاری متفاوت را از خود نشان می‌دهد.

کلیدواژه‌ها: ایران، سنجنده مودیس تررا، روزهای برفپوشان، سنجنده مودیس آکوا.

مقدمه

برف یکی از گونه‌های ریزش‌های آسمانی است که از چگالش هوای مرطوب و در شرایطی که دمای هوا کمتر از صفر درجه سلسیوس باشد پدیدار می‌شود. اگرچه گسترۀ کوچکی از سطح کرۀ زمین را پهنه‌های کوهستانی در بر گرفته است، همین مناطق در چشم‌انداز آب‌شناختی حوضه‌های آبریز نقشی برجسته دارند و در بسیاری از جاها همین پوشش‌های برفی در کوهستان‌ها منبع اصلی تأمین آب‌های سطحی و زیرزمینی به‌شمار می‌آیند. گسترۀ پوشش برف، فراسنج اقلیمی و آب‌شناختی بسیار مهمی برای پیش‌بینی رواناب در پهنه‌های برف‌گیر در فصل‌گدازش برف است. اندازه‌گیری و پیش‌بینی گسترۀ برف برای بهبودبخشی به پیش‌بینی‌های اقلیمی و تصمیم‌گیری‌های مرتبط با مدیریت آب بسیار مهم است، به‌ویژه در پهنه‌های کوهستانی که بخش بزرگی از آب مورد نیاز را فراهم می‌کنند (موت و همکاران، ۲۰۰۵). دوام و ماندگاری پوشش برف در یک پهنه، فارغ از ژرفا و عمق آن نشان‌دهندۀ شرایط اقلیمی آن منطقه است (لیذر و لوف،

(۱۹۹۷). انباشت و گدازش برف بیشتر از طریق شرایط جوی و همچنین ارتفاع و شیب کنترل می‌شود. ویژگی‌های عوارض زمین که انباشت برف را متأثر می‌سازد عبارتند از: شیب، وجه شیب و سایه (جین و همکاران، ۲۰۰۹: ۷۲). ارتفاع بیشتر به سبب واداشتن هوا به صعود و کاهش دما با افزایش ارتفاع نقش مهمی در پیدایش برف بازی می‌کند (هلفریچ و همکاران، ۲۰۰۷: ۱۵۸۲). مطالعات نشان می‌دهد که در رشته‌کوه‌های راکی، سرینودا و آلپ عوارض فیزیوگرافی همانند تابش، ارتفاع، شیب و وجه شیب ۵۰ تا ۸۰ درصد از تغییرات ژرفای برف را تبیین می‌کنند (بالک و ادلر، ۲۰۰۰: ۲۰۰۰). مارچاند و کیلینویت، (۲۰۰۱). پس از تابش، ارتفاع دومین عاملی است که بیشترین تأثیر را بر پوشش برف می‌گذارد، اما وزن این عامل بسته به مقیاس مکانی متفاوت است (بالک و ادلر، ۲۰۰۰؛ مارکس و همکاران، ۲۰۰۲). در زمینه بررسی نقش ارتفاع، شیب و وجه شیب و اثرگذاری آن بر روی پوشش‌های برفی پژوهش‌هایی انجام گرفته که به آنها اشاره شده است. اندریزی و همکاران (۲۰۰۶) در پژوهشی دریافتند بین آب معادل برف، ارتفاع و وجه شیب در فصول گوناگون پیوند و ارتباط وجود دارد. ایشان نشان دادند که وابستگی آب معادل برف به ارتفاع در فصل پاییز ضعیف‌تر و در بهار نیرومندتر است. افزون بر این آشکار شد که زمان‌های متفاوت گدازش برف در دامنه‌های شمالی و جنوبی در کل فصل زمستان و در ارتفاعات پایین‌تر (ارتفاعات پایین‌تر از ۸۰۰ متر) دیده می‌شود (اندریزی و همکاران، ۲۰۰۶: ۲۰۰۸). یافته‌های گورانگ و همکاران (۲۰۱۱) نشان داد در بوتان بسته به وجه شیب، انباشت برف نیز متفاوت است و دامنه‌های رو به شمال شرق و شمال غرب برای انباشت برف در طی فصول زمستان، تابستان و پاییز مناسب‌اند (گورانگ و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۳۶۹). واکاوی جین و همکاران (۲۰۰۹) در چهار حوضه در مناطق غربی هیمالیا نشان داد تأثیر ارتفاع و وجه شیب بر انباشت برف چشمگیر است. مطالعات ایشان نشان داد میانگین پوشش برف به‌طور خطی با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد. همچنین اگر وجه شیب شمال غربی و شمال شرقی باشد، انباشت برف از ارتفاعات پایین‌تر آغاز می‌شود، چراکه شیب‌های رو به شمال کمتر در معرض آفتاب‌گیری و بادهای گرم هستند که این مسئله سبب ایجاد محیط مطلوب برای انباشت برف می‌شود (جین و همکاران، ۲۰۰۹: ۸۱ و ۸۲). کیوین و همکاران (۲۰۱۲) وردش سالانه پوشش‌های برفی را طی اواخر فصل تابستان در شمال فنلاند به کمک تصاویر ماهواره‌ای لندست بررسی کردند، هدف اصلی ایشان واکاوی نقش عوامل توپوگرافی و اقلیمی بر پوشش‌های برفی در تابستان بود. یافته‌های این پژوهشگران نشان داد عوامل توپوگرافی به‌ویژه ارتفاع و ناهمواری عوارض، نقش برجسته‌ای بر روی پوشش‌های برفی در اواخر تابستان دارد و بیشتر پوشش‌های ماندگار و همچنین تکه‌های برفی در دامنه‌های رو به شمال و رو به شرق دیده می‌شود (کیوین و همکاران، ۲۰۱۲: ۱ و ۶). سنسوی و همکاران (۲۰۱۰) برای بررسی نقش عوامل توپوگرافیک بر گستره پوشش برف در حوضه‌های آبخیز شرق ترکیه، داده‌های سنجده مودیس را برای ماه‌های فوریه تا ژوئن سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ به کار گرفتند. یافته‌های این پژوهشگران نشان داد از اواخر فوریه تا ژوئن پهنه‌های رو به شمال و رو به جنوب به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین گستره برف هستند. همچنین بررسی‌ها نشان داد بالاترین نرخ گدازش برف در طبقه‌ای است که شیب آن ۲۰-۱۰ درجه است (سنسوی و همکاران، ۲۰۱۰، ۵ و ۱۰). بررسی رابطه بین پوشش برف با فراسنج‌های ارتفاع، شیب و وجه شیب در هیچ‌یک از پژوهش‌های انجام‌گرفته درباره پوشش برف در ایران بررسی نشده است. در این پژوهش کوشش شده است تا ارتباط بین روزهای برفپوشان با ارتفاع، شیب و وجه شیب بررسی شود. منظور از روز برفپوشان روزی است که زمین پوشیده از برف است. به بیان روشن‌تر، در این پژوهش می‌خواهیم ببینیم در هر ارتفاعی به‌طور میانگین چند روز از سال

زمین پوشیده از برف است و چه ارتباطی بین روزهای برفپوشان و ارتفاع دیده می‌شود. همچنین ارتباط بین روزهای برفپوشان و وجه شیب و درجه شیب بررسی می‌شود. برای روشن تر شدن این مسئله چند نمونه موردی نیز از کوه‌های سهند، کرکس و لاله‌زار آورده شده است.

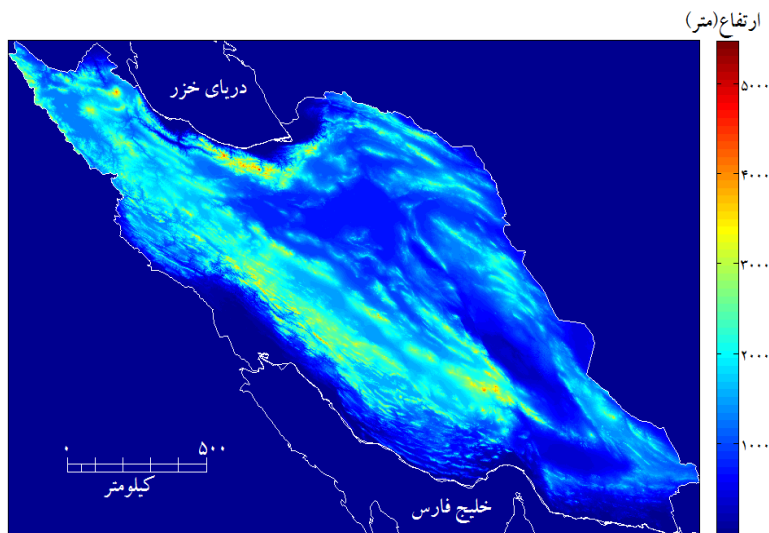
مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر برای بررسی پیوند برف با ارتفاع، شیب و وجه شیب در گام نخست، داده‌های رقومی برف سنجنده‌های مودیس تررا و مودیس آکوا برای بازه زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۲ از تارنمای مودیس به نشانی زیر در پانوشت^۱ برداشت شد. داده‌های سنجنده مودیس تررا از تاریخ ۱۳۷۸/۱۲/۵ و داده‌های سنجنده مودیس آکوا از تاریخ ۱۳۸۱/۴/۱ در بازه زمانی روزانه در دسترس است. در داده‌های رقومی پوشش برف مودیس برای وضعیت هر یاخته یک کد تعریف می‌شود. برای نمونه کد ۲۰۰ نماینده برف، کد ۵۰ نماینده ابر، کد ۲۵ نماینده نبود برف و ... است. دلیل کوتاهی دوره مطالعاتی (۱۳۹۳-۱۳۸۲) نبود اطلاعات کامل سنجنده مودیس آکوا برای پیش از سال ۱۳۸۲ است. بنابراین دوره زمانی مورد مطالعه از سال ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۳ را پوشش می‌دهد. به‌کارگیری داده‌های روزانه به‌صورت خام و بدون پردازش بر روی آنها منطقی نیست و ممکن است موجب خطا شود، چراکه ابرناکی در داده‌ها موجب می‌شود تا نتوان پوشش‌های زیرین برف را شناسایی کرد. در این پژوهش، برای برطرف ساختن و تعدیل اثر ابرناکی، دو الگوریتم را در محیط نرم‌افزار متلب بر روی داده‌های روزانه به‌کار بستیم. یکی از کارهایی که می‌توان برای تعدیل اثر ابرناکی انجام داد، به‌کارگیری پالایه (Filter) سه‌روزه بر روی داده‌های رقومی هر کدام از سنجنده‌های مودیس تررا و مودیس آکوا است. در این الگوریتم اگر در روز اول ماهواره با گذر از روی منطقه یاخته‌ای را به‌عنوان یاخته برفی شناسایی کند، در روز دوم با عبور از منطقه همان یاخته را این بار به‌عنوان یاخته ابری شناسایی کند، اما روز سوم با گذر از آن منطقه، همان یاخته را مانند روز اول به‌عنوان یاخته برفی شناسایی کند، با احتمال زیاد می‌توانیم بگوییم وجود پوشش ابر در روز دوم موجب شده تا آن یاخته پوشیده از برف توسط پوشش‌های ابر از دید ماهواره پنهان بماند و پوشش ابر موجب شده تا ماهواره نتواند پوشش برف زیر ابر را شناسایی کند. در این حالت می‌توان تک‌تک روزها را یاخته به یاخته بررسی و وجود این شرط را بررسی کرد و یاخته‌هایی را که دارای این شرط هستند شناسایی و آنها را به یاخته‌های برفی تبدیل کرد. البته ممکن است این کار (تبدیل یاخته‌های ابری روز دوم به یاخته‌های برفی) با خطا همراه باشد، اما به‌کار نگرفتن این الگوریتم برای کاستن از ابرناکی و استفاده از داده‌های خام با خطای بسیار بیشتری همراه است. در مجموع درستی این روش موجب می‌شود تا بتوانیم از ابرناکی بکاهیم. در این پژوهش با نوشتن یک کد در نرم‌افزار متلب وجود این شرط بر روی سری زمانی داده‌های سنجنده مودیس تررا و مودیس آکوا بررسی شد. با توجه به اینکه دوره زمانی برای هر کدام از سنجنده‌ها دربردارنده ۴۳۸۳ روز بود و هر روز مورد بررسی شامل ۳۴۵۶۰۰۰۰ کد بود، برقراری شرط بر روی بیش از ۳۰۰ میلیارد کد بررسی شد و یاخته‌هایی که دارای این شرط بودند، از یاخته‌های ابری به یاخته‌های برفی تبدیل شدند. به‌سبب اینکه شمار

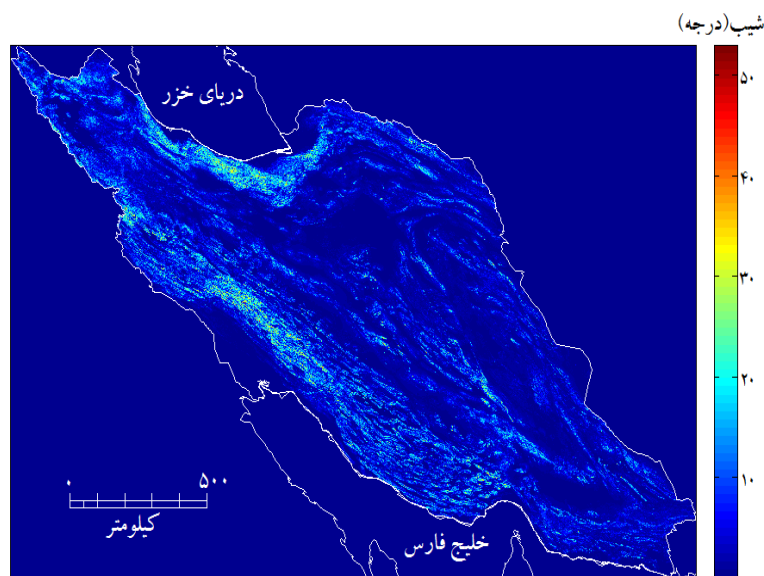
¹ -<http://reverb.echo.nasa.gov/reverb/>

انبوهی از کدها می‌بایست پردازش می‌شد، انجام این کار یعنی به‌کار بستن پالایه (Filter) زمان‌بر و طولانی بود. به‌کارگیری پالایه (Filter) بر روی داده‌ها توسط پژوهشگرانی همچون دایاتز و همکاران (۲۰۱۳)، دایاتز و همکاران (۲۰۱۴)، زانگ و همکاران (۲۰۱۲) و گی‌فورو و باردوسی (۲۰۰۹) پیشنهاد شده است. اما الگوریتم دیگری که بر روی داده‌های خام رقومی برای کاستن از ابرناکی به‌کار بسته شد، عبارت بود از ترکیب و یک کاسه‌سازی داده‌های دو سنجنده، که در ادامه نیز دربارهٔ این روش توضیح می‌دهیم. ماهوارهٔ تررا در ساعت ۱۰:۳۰ دقیقه به وقت محلی از فراز استوا می‌گذرد، این در حالی است که ماهوارهٔ آکوا در ساعت ۱:۳۰ دقیقه بعدازظهر بر فراز استوا عبور می‌کند. از این اختلاف زمانی می‌توان برای کاهش ابرناکی بهره گرفت. ممکن است ماهوارهٔ تررا هنگام صبح با عبور از منطقهٔ یاخته‌ای را به‌عنوان یاختهٔ ابری شناسایی کند، در بعدازظهر ماهوارهٔ آکوا با گذر از روی منطقه، همان یاخته را به‌عنوان یاختهٔ برفی شناسایی کند، در این حالت می‌توان یاخته‌هایی را که دارای این شرط هستند، یعنی هنگام صبح توسط ماهوارهٔ تررا به‌عنوان یاختهٔ ابری و هنگام بعدازظهر توسط ماهوارهٔ آکوا به‌عنوان یاختهٔ برفی شناسایی شده‌اند، بازشناخت. با کدنویسی در نرم‌افزار متلب این امکان فراهم شد تا بتوانیم یاخته‌هایی را که دارای این شرط بودند، شناسایی کنیم. انجام این کار نیز جزء مراحل دشوار این پژوهش بود. با توجه به اینکه طول دورهٔ آماری مورد مطالعه برای هر کدام از ماهواره‌های تررا و آکوا در بردارندهٔ ۴۳۸۳ روز بود و تعداد ۳۴۵۶۰۰۰۰ کد برای هر روز می‌بایست پردازش می‌شد، بنابراین در این مرحله نیز بر روی بیش از ۳۰۰ میلیارد کد در سری زمانی این شرط بررسی شد. این مرحله نیز جزء مراحل زمان‌بر این پژوهش بود. پژوهشگران بسیاری ترکیب و یک کاسه‌سازی داده‌های دو سنجنده به‌منظور تعدیل اثر ابرناکی را پیشنهاد کرده‌اند (وانگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ وانگ و زی، ۲۰۰۹؛ برجرون و همکاران، ۲۰۱۳؛ پاراجکا و بلوشی، ۲۰۰۸؛ شیپی و همکاران، ۲۰۱۴؛ زانگ و همکاران، ۲۰۱۲؛ کی و لیو، ۲۰۱۴؛ دایاتز و همکاران، ۲۰۱۴). بنابراین در این پژوهش نیز از همان الگوریتمی که این پژوهشگران استفاده کرده‌اند، بهره گرفتیم. پس از اینکه این دو الگوریتم بر روی کل سری زمانی داده‌های سنجنده‌های مودیس تررا و آکوا اعمال شد، پردازش داده‌ها برای بررسی رابطهٔ بین برف، ارتفاع، شیب و وجه شیب آغاز شد. به این منظور نخست لازم بود فراوانی بلندمدت روزهای برفپوشان کشور محاسبه شود. برای محاسبهٔ نقشهٔ بلندمدت فراوانی روزهای برفپوشان کشور، برای هر روز از سال طی بازهٔ زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۲ نقشهٔ فراوانی روزهای برفپوشان محاسبه شد؛ یعنی برای ۴۳۸۳ روز بررسی شده، نقشهٔ برفپوشان محاسبه و در نهایت نیز میانگین بلندمدت فراوانی روزهای برفپوشان ایران زمین از روی ۴۳۸۳ روز بررسی شده محاسبه و در نهایت میانگین‌گیری شد. شکل ۴ وضعیت بلندمدت فراوانی روزهای برفپوشان کشور را نشان می‌دهد. همان‌گونه که اشاره شد، تفکیک داده‌های پوشش برف به‌کارگرفته‌شده در این پژوهش ۵۰۰ متر بود. برای بررسی رابطهٔ بین شمار روزهای برفپوشان با ارتفاع، شیب و وجه شیب به یک مدل رقومی ارتفاعی (DEM) نیاز داشتیم که تفکیک آن همانند داده‌های پوشش برف ۵۰۰ متر و سیستم تصویر آن نیز سینوسی باشد. برای این منظور مدل رقومی ارتفاع (DEM) با مشخصات یادشده، از تارنمای سازمان فضایی ناسا دریافت شد. در مدل رقومی ارتفاع (DEM) افزون‌بر داده‌های ارتفاع برای هر یاخته در تفکیک ۵۰۰ متر، اطلاعات درجهٔ شیب و وجه شیب نیز در دسترس است. در شکل ۱ مدل رقومی ارتفاعی ایران (DEM) با سیستم تصویر سینوسی به نمایش گذاشته شده است. در گام بعدی نیز کد دیگری در نرم‌افزار متلب نوشته شد. در این برنامه برای هر گروه ارتفاعی از ارتفاع ۲۹-

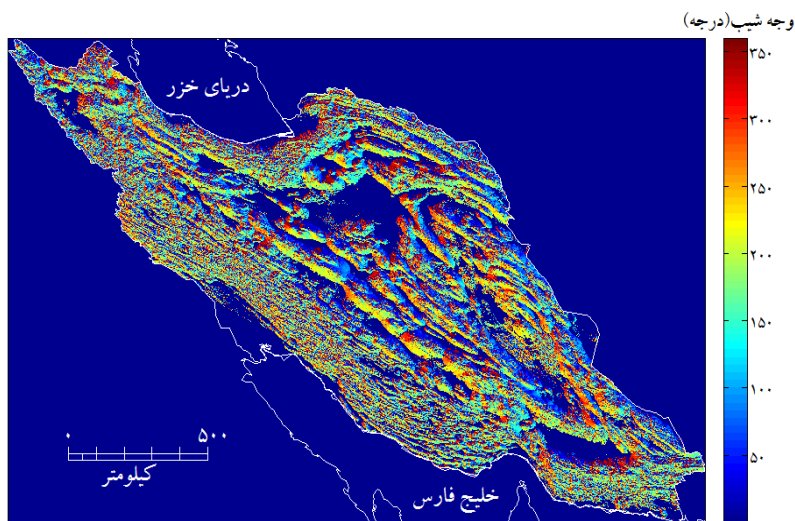
متر تا ۵۴۷۶ متر با گام‌های ارتفاعی یک‌متری، میانگین روزهای برفپوشان محاسبه شد. یادآوری می‌کنیم که کمترین و بیشترین ارتفاع از روی مدل رقومی ارتفاع (DEM) ایران در تفکیک ۵۰۰ متر به‌ترتیب ۲۹- و ۵۴۷۶ متر بود. برای بررسی دقیق رابطه بین برف-ارتفاع گام‌های ارتفاعی به فاصله یک‌متری تعریف شد. به بیان روشن‌تر اینکه در هر ارتفاع به‌طور میانگین چند روز از سال زمین پوشیده از برف است محاسبه شد. با توجه به گام‌های ارتفاعی از ۲۹- متر تا ۵۴۷۶ متر از تراز دریا، بر روی ۵۵۰۶ طبقه ارتفاعی، به‌طور میانگین شمار روزهایی که زمین پوشیده از برف است، بررسی شد. در گام بعدی نیز رابطه وجه شیب و برف بررسی شد، که برای این منظور یک کد در محیط نرم‌افزار متلب تعریف شد که طی آن به کمک این برنامه برای هر وجه شیب از ۱ تا ۳۶۰ درجه، شمار روزهای برفپوشان بررسی شد. همچنین کد دیگری در نرم‌افزار متلب تعریف شد که به کمک آن شمار روزهای برفپوشان برای هر درجه شیب محاسبه شد. در شکل‌های ۲ و ۳ به‌ترتیب نقشه درجه شیب و وجه‌شیب ایران زمین به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۱. نقشه مدل رقومی ارتفاع (DEM) ایران با سیستم تصویر سینوسی



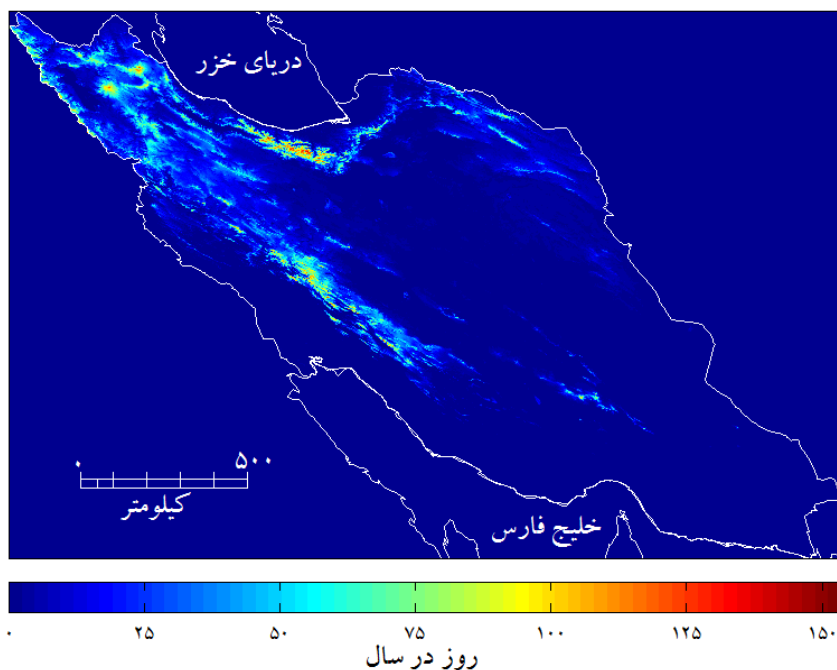
شکل ۲. نقشه پراکنده‌گی درجه شیب ایران با سیستم تصویر سینوسی



شکل ۳. نقشه پراکنده‌گی وجه شیب ایران با سیستم تصویر سینوسی

یافته‌های پژوهش

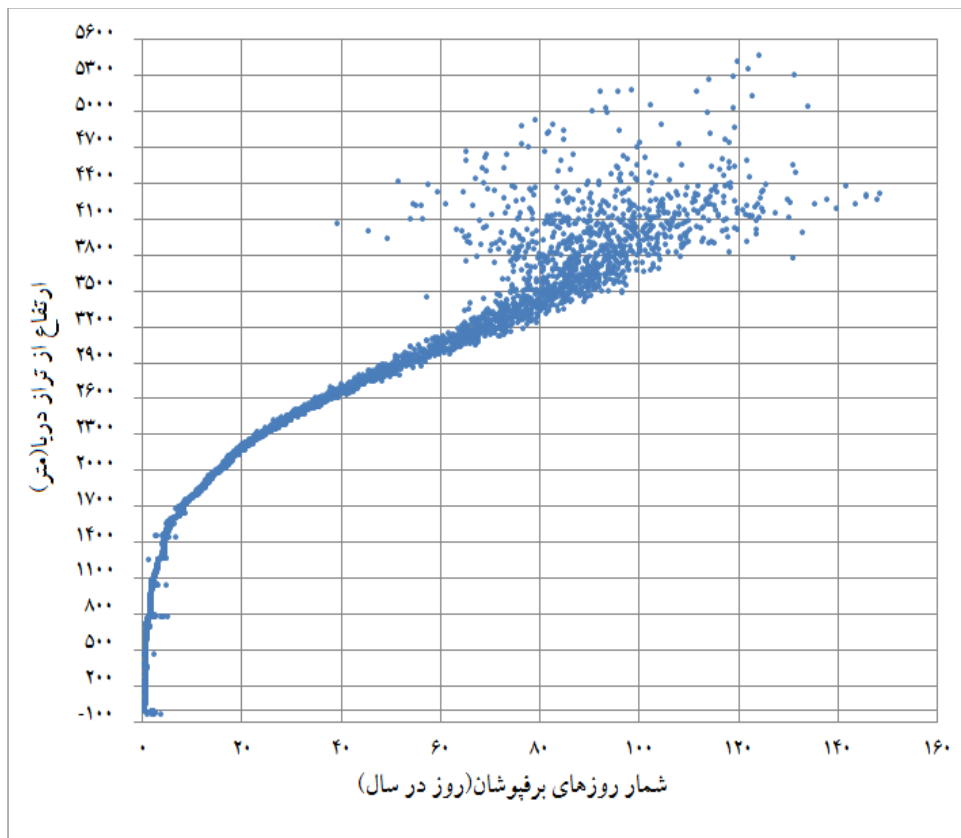
محاسبه فراوانی بلندمدت روزهای برفپوشان ایران نشان داد که توزیع ارتفاعات نقش مهمی در پراکنش روزهای برفپوشان دارد. شکل ۴ وضعیت فراوانی بلندمدت روزهای برفپوشان در کشور را نشان می‌دهد. بیشترین فراوانی روزهای برفپوشان در کشور در دامنه‌های شمالی البرز دیده می‌شود. پس از این ناحیه دامنه‌های زاگرس میانی و ارتفاعات شمال-غرب از بیشترین فراوانی روزهای برفپوشان برخوردارند. همچنین در بخش‌هایی از استان کرمان یعنی در بلندی‌های هزار و لاله‌زار و نیز در بلندی‌های خراسان فراوانی روزهای برفپوشان چشمگیر است.



شکل ۴. نقشه بلندمدت فراوانی روزهای برفپوشان ایران با سیستم تصویر سینوسی

پیوند ارتفاع-روزهای برفپوشان

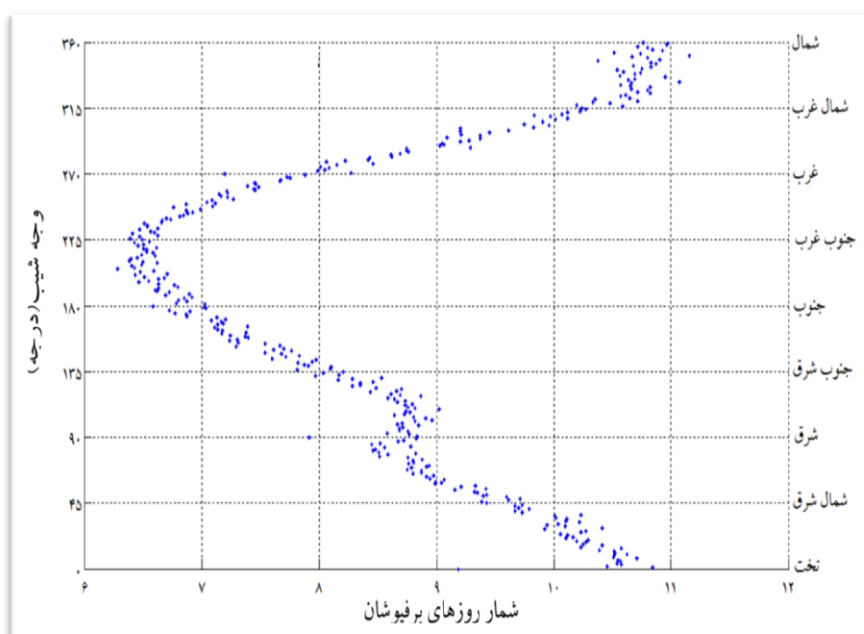
با افزایش ارتفاع و در پی آن کاهش دمای هوا، شرایط برای ماندگاری پوشش برف مهیاتر می‌شود. بررسی رابطه بین روزهای برفپوشان و ارتفاع در ایران نشان می‌دهد با افزایش ارتفاع بر شمار روزهای برفپوشان نیز افزوده می‌شود. نکته جالبی که در شکل ۵ دیده می‌شود آن است که، افزایش شمار روزهای برفپوشان با افزایش ارتفاع، تا ارتفاع به‌خصوصی دیده می‌شود و پس از آن نظم خود را از دست می‌دهد. روی هم‌رفته ارتباط روزهای برفپوشان با افزایش ارتفاع دارای سه الگوی متفاوت است. همان‌گونه که در شکل ۵ می‌بینیم به‌طور کلی تا ارتفاع نزدیک به ۷۰۰ متر شمار روزهای برفپوشان افزایشی از خود نشان نمی‌دهد. این مسئله گویای آن است که تا این ارتفاع شرایط دمایی برای نشست پوشش برف مناسب نیست. از ارتفاع نزدیک به ۷۰۰ تا ۱۷۰۰ متر روند کند افزایش روزهای برفپوشان با افزایش ارتفاع به چشم می‌خورد. در این کمربند ارتفاعی شرایط دمایی برای نشست برف مهیاتر است. اما از ارتفاع تقریبی ۱۷۰۰ تا ۳۲۰۰ متر روند افزایش روزهای برفپوشان با افزایش ارتفاع به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. در واقع می‌توانیم بگوییم که شرایط مناسب دمایی در ایران زمین برای انباشت برف در واقع از ارتفاع تقریبی ۱۷۰۰ متری از تراز دریا آغاز می‌شود. از ارتفاع تقریبی ۳۲۰۰ متر به بالا افزایش شمار روزهای برفپوشان با افزایش ارتفاع نظم خود را از دست می‌دهد و الگوی پراکنده‌ای را از خود نشان می‌دهد.



شکل ۵. رابطه ارتفاع و شمار روزهای برفپوشان در ایران

پیوند وجه شیب-روزهای برفپوشان

همان‌گونه که می‌دانیم هر واحد از سطح در وجه شیب‌های مختلف مقدار انرژی متفاوتی را دریافت می‌کند. شیب‌های جنوبی به سبب آفتاب‌گیری بیشتر انرژی خورشیدی بیشتری را دریافت می‌کنند. اما با تغییر وجه شیب به سوی شمال مقدار انرژی دریافتی هر واحد از سطح کاهش می‌یابد. شکل ۶ نشان‌دهنده پیوند بین وجه شیب و روزهای برفپوشان است. همان‌گونه که این شکل نشان می‌دهد، رابطه نیرومندی بین وجه شیب و روزهای برفپوشان در کشور دیده می‌شود. بیشترین شمار روزهای برفپوشان در وجه شیب‌هایی است که در واقع به نوعی بیانگر جهت شمال هستند. هرچه وجه شیب از سوی شمال به سوی شرق و جنوب میل می‌کند، در پی آن نیز شمار روزهای برفپوشان رو به کاهش می‌گذارد، چراکه انرژی دریافتی از خورشید نیز به دنبال این تغییر جهت، افزایش می‌یابد. به‌طور میانگین در وجه شیب‌های شمالی شمار روزهای برفپوشان به ۱۱ روز نیز می‌رسد، این در حالی است که در وجه شیب‌های جنوبی تعداد روزهای برفپوشان به کمتر از ۷ روز می‌رسد. همچنین روشن است که با تغییر وجه شیب از سوی جنوب و جنوب‌غرب به سوی شمال‌غرب و شمال، بر شمار روزهای برفپوشان نیز افزوده می‌شود، چراکه به دنبال تغییر سمت از جنوب به شمال مقدار انرژی دریافتی هر واحد از سطح نیز کاهش می‌یابد.

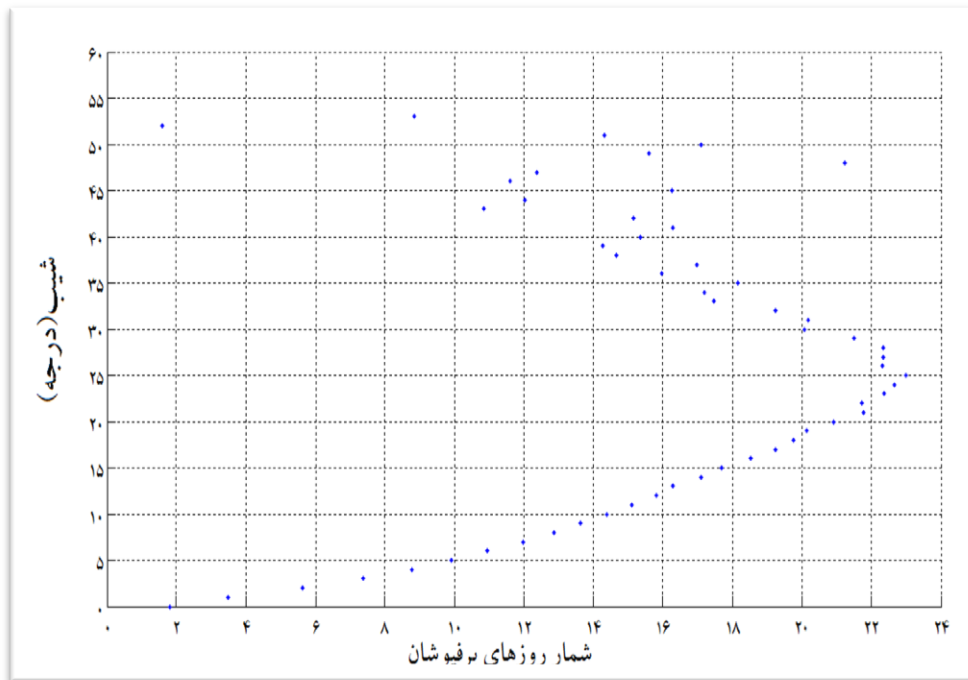


شکل ۶. ارتباط وجه شیب و روزهای برفپوشان در ایران

پیوند درجه شیب-روزهای برفپوشان

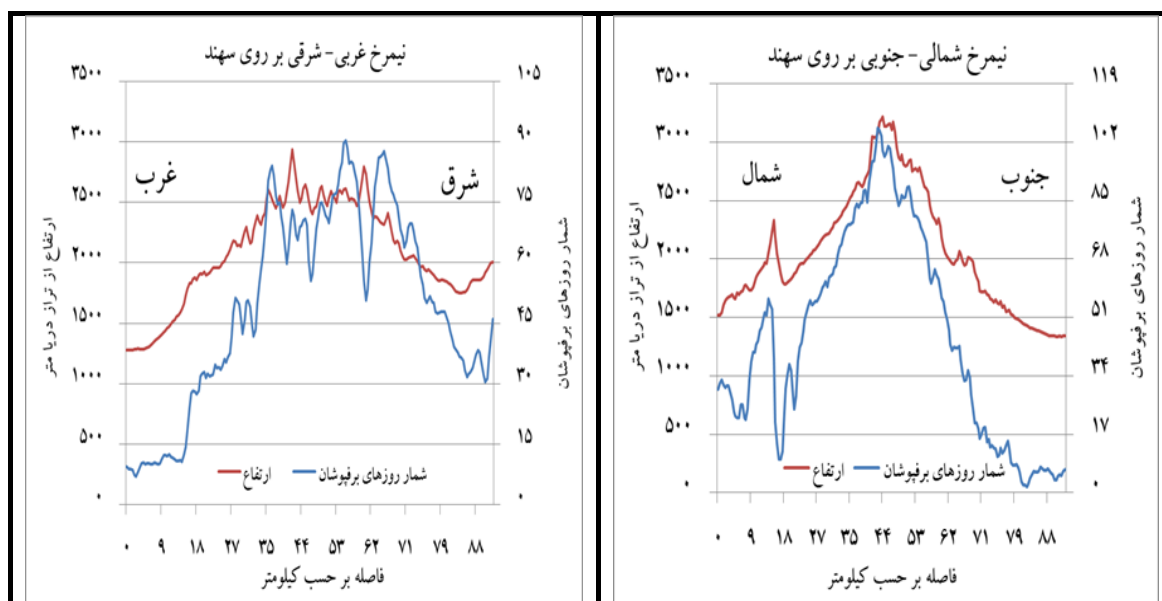
به‌طور کلی هرچه شیب زمین هموارتر باشد، شرایط برای نشست پوشش برف نیز مهیاتر می‌شود. اما بررسی‌ها در ایران نشان داد با افزایش شیب تا ۲۵ درجه، شمار روزهای برفپوشان افزایش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد این مسئله خلاف انتظار باشد، اما این موضوع را این‌گونه می‌توان توجیه کرد که زمین‌های هموار اصولاً در مناطق کم‌ارتفاع قرار گرفته‌اند و زمین‌های کم‌ارتفاع به دلیل گرمای نسبی از شرایط مطلوب دمایی برای ماندگاری برف برخوردار نیستند، اما در زمین‌های

پراارتفاع تر به سبب سرمای نسبی امکان نشست پوشش برف بهتر است، اگرچه درجه شیب نیز در این مناطق در مجموع بیشتر از مناطق کم ارتفاع تر است. همان گونه که شکل ۷ نشان می دهد در درجه شیب ۲۵، بیشترین شمار روزهای برفپوشان دیده می شود. در واقع می توان گفت در ایران درجه شیب ۲۵ درجه مقدار بحرانی را نشان می دهد و با افزایش درجه شیب از این مقدار به بالا، توانش (پتانسیل) برف گیری کاهش می یابد و در شیب های ۲۵ درجه به بالا به سبب شیب زیاد شرایط مناسب برای تجمع برف وجود ندارد.



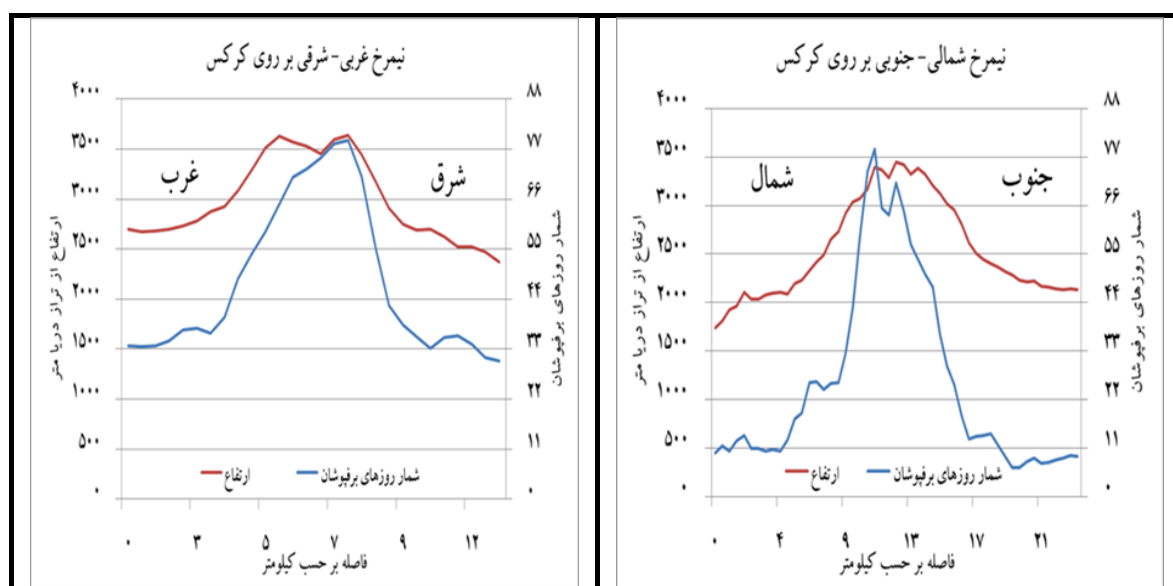
شکل ۷. ارتباط درجه شیب-روزهای برفپوشان در ایران

در ادامه برای روشن تر شدن موضوع چند نمونه موردی از تغییرات روزهای برفپوشان و ارتباط آن با ارتفاع و وجه شیب بر روی کوه های سهند، کرکس و لاله زار آورده شده است. شکل ۸ نماینده نیمرخ شمالی-جنوبی و غربی-شرقی بر روی سهند است. همان گونه که این شکل نشان می دهد رابطه نیرومندی بین روزهای برفپوشان با ارتفاع و وجه شیب دیده می شود. برای نمونه در نیمرخ شمالی-جنوبی سهند می بینیم که فراوانی روزهای برفپوشان در دامنه های شمالی چشمگیرتر است. برای مثال در ارتفاع ۳۰۰۰ متری از تراز دریا در دامنه شمالی سهند نزدیک به ۱۰۰ روز در سال زمین پوشیده از برف است، اما در همان ارتفاع در دامنه جنوبی نزدیک به ۸۵ روز از سال زمین دارای برف است. همین وضعیت در نیمرخ غربی-شرقی سهند دیده می شود. همان طور که شکل ۸ نشان می دهد بر روی سهند روزهای برفپوشان در دامنه های شرقی در مقایسه با دامنه های غربی از فراوانی بیشتری برخوردار است. برای نمونه در ارتفاع ۲۰۰۰ متری در دامنه شرقی ۶۰ روز از سال زمین پوشیده از برف است، اما در همان ارتفاع در دامنه غربی این عدد به حدود ۳۵ روز در سال کاهش می یابد.



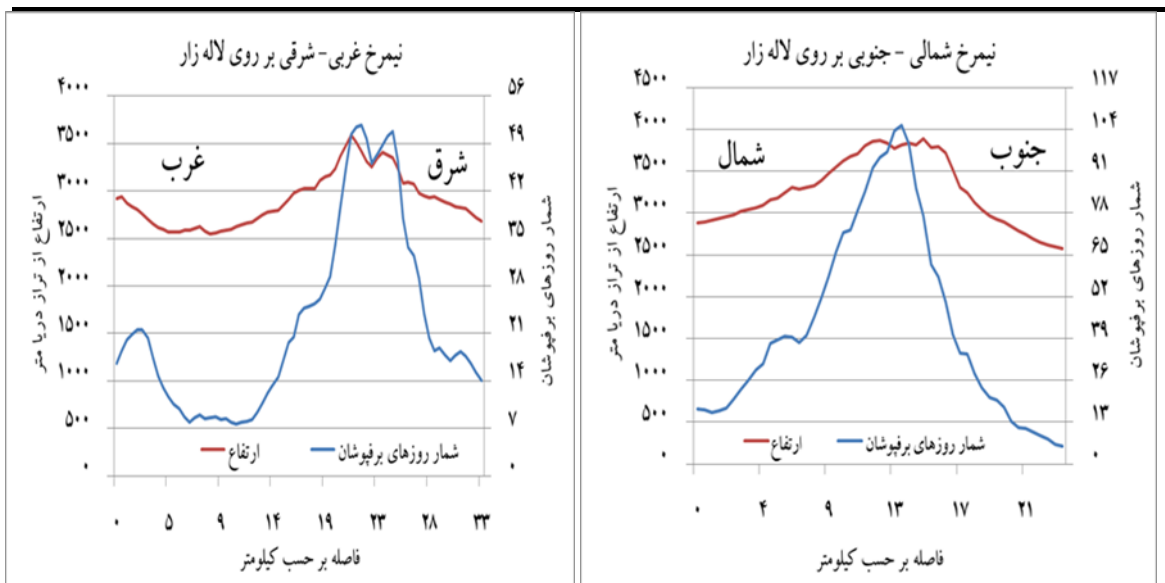
شکل ۸. نیمرخ شمالی - جنوبی و غربی - شرقی بر روی سهند

با دقت در نیمرخ شمالی - جنوبی بر روی رشته کوه کرکس (شکل ۹) می‌بینیم که در دامنه شمالی، فراوانی سالانه روزهای برفپوشان چشمگیرتر است. برای نمونه در دامنه شمالی در ارتفاع تقریبی ۳۲۰۰ متر، نزدیک به ۷۰ روز از سال زمین پوشیده از برف است، این در حالی است که در دامنه جنوبی در همان ارتفاع نزدیک به ۵۰ روز زمین دارای پوشش برف است. در نیمرخ غربی - شرقی کرکس نیز دیده می‌شود که دامنه‌های شرقی از توانایی بیشتری برای تجمع برف برخوردارند.



شکل ۹. نیمرخ شمالی - جنوبی و غربی - شرقی بر روی کرکس

بر روی لاله‌زار نیز این وضعیت دیده می‌شود که دامنه‌های شمالی و شرقی برای نشست برف به سبب دریافت انرژی کمتر مناسب‌ترند (شکل ۱۰). برای نمونه در ارتفاع ۳۱۰۰ متری در دامنه شرقی لاله‌زار، نزدیک به ۴۲ روز در سال زمین دارای پوشش برف است، اما در همان ارتفاع در دامنه غربی حدود ۳۰ روز از سال زمین پوشیده از برف است. بنابراین وجه شیب و ارتفاع در ایران زمین نقش بسیار مهمی در پراکنش پوشش‌های برفی دارد.



شکل ۱۰. نیمرخ شمالی- جنوبی و غربی- شرقی بر روی لاله‌زار

بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش کنونی برای واکاوی پیوند بین روزهای برفپوشان با ارتفاع، وجه شیب و درجه شیب، از داده‌های سنجنده مودیس ترا و مودیس آکوا برای بازه زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۲ به صورت روزانه بهره گرفته شد. یافته‌های این پژوهش نشان داد چندین الگوی متمایز بین ارتفاع و روزهای برفپوشان دیده می‌شود، به گونه‌ای که تا ارتفاع نزدیک به ۷۰۰ متر شمار روزهای برفپوشان افزایشی از خود نشان نمی‌دهد. این موضوع نشان می‌دهد که در ایران تا ارتفاع ۷۰۰ متر شرایط دمایی مناسب برای نشست و تجمع برف وجود ندارد. بنابراین می‌توان گفت تا این ارتفاع نباید چندان انتظار پوشش برف داشته باشیم. همچنین بررسی‌ها نشان داد از ارتفاع نزدیک به ۷۰۰ تا ۱۷۰۰ متر روند کند افزایش روزهای برفپوشان با افزایش ارتفاع به چشم می‌خورد. این موضوع نشان می‌دهد شرایط دمایی در این گروه ارتفاعی برای برف‌گیری بهتر می‌شود. اما از ارتفاع تقریبی ۱۷۰۰ تا ارتفاع تقریبی ۳۲۰۰ متر روند افزایش روزهای برفپوشان با افزایش ارتفاع به‌طور چشمگیری افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان گفت که شرایط مناسب دمایی در ایران زمین برای انباشت برف در واقع از ارتفاع تقریبی ۱۷۰۰ متری از تراز دریا آغاز می‌شود. همچنین بررسی‌ها نشان داد از ارتفاع تقریبی ۳۲۰۰ متر به بالا افزایش شمار روزهای برفپوشان با افزایش ارتفاع نظم نخستین خود را از دست می‌دهد و الگوی پراکنده‌ای را از خود نشان می‌دهد. بررسی پیوند بین روزهای برفپوشان و وجه شیب نشان داد بیشترین شمار روزهای برفپوشان در وجه شیب‌های شمالی است و کمترین روزهای برفپوشان در وجه شیب‌های جنوبی و جنوب‌غربی دیده می‌شود، چراکه در وجه شیب‌های مختلف

هر واحد از سطح مقدار انرژی خورشیدی ثابتی را دریافت نمی‌کند و در وجه شیب‌های شمالی و جنوبی به ترتیب کمترین و بیشترین انرژی خورشیدی دریافت می‌شود. بنابراین شمار متفاوت روزهای برفپوشان در وجه شیب‌های مختلف در ایران ریشه در این مسئله دارد. بررسی درجه شیب نیز نشان داد که شمار روزهای برفپوشان در شیب‌های هموار کم است، این موضوع را می‌توان این‌طور توجیه کرد که شیب‌های هموار اصولاً در زمین‌های کم‌ارتفاع واقع شده‌اند و شرایط دمایی این نواحی کم‌ارتفاع اجازه برف‌گیری مناسب را نمی‌دهد. بیشترین روزهای برفپوشان در شیب ۲۵ درجه دیده می‌شود و در واقع این عدد نشان‌دهنده یک حد بحرانی است و با افزایش درجه شیب از این مقدار به بالا، شمار روزهای برفپوشان کاسته شده و توانایی برف‌گیری دامنه رشته‌کوه‌ها به سبب شیب زیاد کم می‌شود.

منابع

1. Balk BC, Elder K. (2000). Combining binary decision tree and geostatistical methods to estimate snow distribution in a mountain watershed. *Water Resources Research*, No. 36, pp.13–26.
2. 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; *Hydrological Processes*, No. 1, pp. 1-14
3. 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*, No. 6, pp.12752-12775
4. 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*, No. 34 pp. 3879–3902
5. Endrizzi, S . Bertoldi, G . Neteler, M . Rigon, R . 2006, Snow Cover Patterns and Evolution at Basin Scale: GEOTop Model Simulations and Remote Sensing Observations; Eastern snow conference, pp.195-209
6. Gafurov, A . and Bardossy, A . (2009); Cloud removal methodology from MODIS snow cover product, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, No. 13 , pp. 1361–1373
7. Gurung, D . Kulkarni, A . Giriraj, A . Aung, K . Shrestha, B . 2011, Monitoring of seasonal snow cover in Bhutan using remote sensing technique; *Current Science*, No. 101, pp.1364:1370
8. Helfrich, S . McNamara, D . Ramsay, B . Baldwin, T . Kasheta, T . 2007. Enhancements to, and forthcoming developments in the Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System (IMS); *Hydrol. Process*. No. 21, pp.1576–1586
9. Jain, S . Goswami, A . Saraf, K . (2009); Role of Elevation and Aspect in snow distribution in western Himalaya; *Water Resour Manage*; No. 23, pp. 71-83
10. Kivinen, S . Kaarlejarvi, E . Jylh`a, K . R`ais`anen, J . 2012. Spatiotemporal distribution of threatened high-latitude snow bed and snow patch habitats in warming climate; *Environmental research letter*, No. 7 , pp. 1-9
11. Ke, C . Liu, X . (2014); Modis-observed spatial and temporal variation in snow cover in Xinjiang, China; *Climate Research*, No. 59, pp. 15-26
12. Leathers, D . Luff, B . 1997. Characteristics of snow cover duration across the northeast United States of America. *International Journal of Climatology*, No. 17 , pp.1535–1547.
13. Marchand W-D, Killingtveit AA. 2001. Analyses of the relation between spatial snow distribution and terrain characteristics. *Proceedings of the 58th Eastern Snow Conference*. Ottawa, Canada, 14–17 May, 2001.
14. Marks DG, Winstral AH, Seyfried MS. 2002. Simulation of terrain and forest shelter effects on patterns of snow deposition, snowmelt and runoff over a semi-arid mountain catchment. *Hydrological Processes*, No. 16, pp. 3605–3626.
15. Mote, P . Hamlet, A . Clark, M . Lettenmaier, D . 2005. Declining mountain snowpack in western North America. *Bulletin of the American Meteorological Society*, No. 86, pp. 39-49
16. Parajka, J . Bloschi, G . (2008); The value of MODIS snow cover data in validating and calibrating conceptual hydrological models, *Journal of Hydrology*, No. 358, pp. 240-258
17. Sensoy, A . Uysal, G . Sorman, A . Sorman, U . 2010. Topographic effects on snow depletion curves of Upper Euphrates river basin, Turkey , Republic of Macedonia - 25, 29 May 2010pp.1-10
18. 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*; No. 35, pp. 234-252
19. 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*, No. 371, pp. 192-200
20. 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.* No. 23, pp. 419-429
21. 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*, No. 48 pp. 1-22