

شناسایی برف‌خوان‌های ایران

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

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۵/۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۹

چکیده

داشتن آگاهی‌های بهنگام و درخور اعتماد از منابع اصلی پوشش برف کشور می‌تواند راه‌گشای بسیاری از مشکلات مربوط به مسائل آب در ایران باشد. هدف از پژوهش کنونی شناسایی و بررسی ویژگی‌های جغرافیایی برف‌خوان‌های ایران است. بدین منظور، داده‌های دو سنجنده مودیس ترا و مودیس آکوا برای بازه زمانی ۱۳۸۲-۱۳۹۳ به صورت روزانه و در تفکیک مکانی 500×500 متر از تارنمای سازمان فضایی امریکا دریافت شد. همچنین، مدل رقومی ارتفاع ایران هماهنگ با تفکیک و سیستم تصویر داده‌های پوشش برف به کار گرفته شد. پیش از به کارگیری داده‌ها برخی پردازش‌ها بر روی داده‌های روزانه به منظور کاستن از اثر ابرناکی انجام گرفت و در نهایت یک پایگاه نوین بر روی ایران به کمک یک کاسه‌سازی داده‌های سنجنده‌های مودیس ترا و مودیس آکوا ساخته شد. بررسی‌ها نشان داد در ایران به طور کلی سه برف‌خوان بزرگ وجود دارد که عبارت‌اند از: برف‌خوان البرز؛ برف‌خوان شمال غرب؛ و برف‌خوان زاگرس؛ و بیشینه شمار روزهای برف‌پوشان در این سه برف‌خوان به ترتیب ۱۵۳، ۱۳۲، و ۱۲۷ روز در سال است. بررسی‌ها نشان داد شرایط ناهمواری نقش برجسته‌ای در پراکنش پوشش در برف‌خوان‌های ایران دارد و اینکه ناگزیر بیشترین پوشش برف در بلندترین بخش‌های کشور وجود دارد تصور درستی نیست.

کلیدواژه‌ها: ایران، برف‌خوان، سنجنده مودیس آکوا، سنجنده مودیس ترا.

مقدمه

در ارتفاعات حوضه‌های آبریز بارش‌ها بیشتر به شکل برف است و انباشت آن آب مورد نیاز رودخانه‌ها را در فصول گرم فراهم می‌کند. آگاهی درست و بهنگام از منابع برف در کشور برای مهار سیلاب‌ها، برآورد آب معادل برف، و فراهم‌ساختن آب مورد نیاز مناطق فرودست ضروری است. گستره و وردش‌پذیری پوشش‌های برفی فراسنج‌های مهمی در سامانه‌های آب‌شناختی و آب و هواشناسی هستند (یودنائس و همکاران، ۲۰۰۷؛ برون و آرم‌استرانگ، ۲۰۱۰). پوشش برف رفتارهای متفاوت زمانی و مکانی از خود بروز می‌دهد (تانی، ۱۹۹۶؛ بلوشل، ۱۹۹۹؛ یوانگ و وو، ۱۹۹۹؛ لنینگ و همکاران، ۲۰۰۸؛ مانس و همکاران، ۲۰۰۸). ارزیابی درست و مناسب پوشش برف در مقیاس‌های خرد و کلان از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (آندرتون و همکاران، ۲۰۰۲). آگاهی ناکافی از منابع آب در ارتفاعات مناطق کوهستانی نگرانی‌های فزاینده‌ای را به سبب تغییرات آب و هوایی به دنبال دارد؛ زیرا بسیاری از رودخانه‌های بزرگ از دل همین کوهستان‌ها سرچشمه می‌گیرند. به سبب اثر آرایش ناهمواری‌ها و گوناگونی ارتفاعات در پهنه‌های کوهستانی، آب و هوای این

مناطق - چه در زمان و چه در مکان - بسیار وردش پذیر است. در گذشته اطلاعات درباره برف در مناطق کوهستانی فقط محدود به ایستگاه‌های پراکنده در این نواحی بود. نخستین نقشه‌های ماهواره‌ای پوشش برف در سال ۱۹۶۶ برای نیمکره شمالی توسط پایگاه نوا فراهم شد. با فراهم آمدن داده‌های ماهواره‌ای و بهبود آن‌ها، نقشه‌های ماهواره‌ای پوشش برف نیز از دقت بسیار زیادی برخوردار شده‌اند (هال و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۸۱). داده‌های دورسنجی پوشش برف از آن جهت که پوشش زمانی و مکانی مناسبی به دست می‌دهند برای واکاوی تغییرات پوشش برف به‌ویژه در پهنه‌های کوهستانی - که داده‌های کافی در دست نیست - بسیار ارزشمندند. مطالعات بسیاری به کمک داده‌های سنجنده مودیس انجام گرفته که در ادامه به آن‌ها اشاره شده است. کرجسی و همکاران (۲۰۱۵) ویژگی‌های فصلی پوشش برف را در ده حوضه در کشور سلواکی به کمک داده‌های سنجنده‌های مودیس تررا و مودیس آکوا واکاوی کردند. بررسی‌ها نشان داد گستره‌های چشم‌گیر پوشش برف از ماه دسامبر آغاز می‌شود و در ماه‌های ژانویه و فوریه به بیشینه خود می‌رسد. ماسکی و همکاران (۲۰۱۱) برای بررسی ویژگی‌های فصلی پوشش برف در منطقه نپال و پهنه‌های پیرامون آن داده‌های سنجنده مودیس تررا را برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ به کار گرفتند. بررسی‌ها نشان داد در فصل زمستان میزان پوشش برف در گروه ارتفاعی ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ متر بیشتر از گروه‌های ارتفاعی ۴۰۰۰ تا ۵۰۰۰ و ۵۰۰۰ تا ۶۰۰۰ متر است. اما در دیگر فصول سال با افزایش ارتفاع در گروه‌های ارتفاعی یادشده میزان برف با افزایش ارتفاع افزایش می‌یابد (ماسکی و همکاران، ۲۰۱۱: ۳۹۱ و ۳۹۵). خادکا و همکاران (۲۰۱۴) برای ارزیابی پوشش برف در ارتفاعات و فصول مختلف در حوضه تاماکوشی در کوهستان‌های هیمالیا از داده‌های سنجنده مودیس برای بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ بهره گرفتند. بررسی این پژوهشگران نشان داد مقدار پوشش برف در زیر ارتفاع ۴۵۰۰ متر از تراز دریا چندان چشم‌گیر نیست. در فصول زمستان و بهار در ارتفاعات بالاتر از ۴۵۰۰ متر میزان پوشش برف بسیار چشم‌گیر است؛ این در حالی است که در فصل تابستان فقط ارتفاعات بالاتر از ۵۵۰۰ متر از پوشش برف چشم‌گیر برخوردارند (خادکا و همکاران، ۲۰۱۴: ۵۱ و ۵۴). در شماری از پژوهش‌ها نیز مسئله برف‌مرز واکاوی شده است. در پژوهشی هارشبرگر و همکاران (۲۰۱۰) برای آشکارسازی وردش برف‌مرز در حوضه رودخانه بیگ‌وود در بخش‌های غربی امریکای شمالی برای روز اول ماه آوریل سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۰۵ از داده‌های برف‌سنجنده مودیس و داده‌های مدل رقومی ارتفاع در تفکیک مکانی ۳۰ متر بهره گرفتند. یافته‌ها نشان داد کمترین ارتفاع برف‌مرز مربوط به سال ۲۰۰۵ با ارتفاع ۱۹۵۶ متر بود (هارشبرگر و همکاران، ۲۰۱۰: ۱۲۸۸ و ۱۲۹۰). یانگ و همکاران (۲۰۱۲) برای بررسی وردش برف‌مرز در مناطق غربی سیچوان در کشور چین داده‌های سنجنده مودیس را در تفکیک زمانی هشت‌روزه و برای سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۸ به کار گرفتند. بررسی‌ها نشان داد ارتفاع برف‌مرز طی این بازه زمانی در برخی سال‌ها دارای کاهش و در برخی دیگر نیز دارای افزایش بوده است. برای نمونه در سال ۲۰۰۲ ارتفاع برف‌مرز ۴۹۹۸ متر و در سال ۲۰۰۶، ۵۰۵۸ متر بوده است (یانگ و همکاران، ۲۰۱۲: ۱۳۲۹ و ۱۳۳۴).

مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای بررسی برف‌خوان‌های ایران داده‌های سنجنده‌های مودیس تررا (MOD10A1) و مودیس آکوا (MYD10A1) برای بازه زمانی ۱۳۸۲-۱۳۹۳ روزانه به کار گرفته شد. دلیل کوتاهی دوره مورد مطالعه نبود داده‌های برف‌سنجنده مودیس آکوا برای پیش از سال ۱۳۸۲ است. یکی از مشکلاتی که همواره مانع بزرگی برای پایش پوشش برف است مسئله ابرناکی است. ابرناکی موجب می‌شود تا پوشش‌های زیرین برف از دید ماهواره پنهان بماند. برای کاستن از ابرناکی و رصد بهتر پوشش برف، پژوهشگران شیوه‌ها و راهکارهای گوناگونی پیشنهاد داده‌اند. یکی از شیوه‌هایی که برای کاستن ابرناکی انجام می‌شود عبارت است از ترکیب و یک‌کاسه‌سازی داده‌های سنجنده مودیس تررا و سنجنده مودیس آکوا. ماهواره تررا در ساعت ۳۰: ۱۰ دقیقه از فراز منطقه گذر می‌کند؛ این در حالی است که ماهواره آکوا در ساعت ۳۰: ۱۳ دقیقه، یعنی با سه ساعت تأخیر، از روی منطقه عبور می‌کند. ممکن است ماهواره تررا هنگام صبح یاخته‌ای را به‌عنوان یاخته ابری شناسایی کند؛ اما همان یاخته بعد از ظهر توسط ماهواره آکوا به‌عنوان یاخته برفی شناسایی

شود، در این حالت پوشش ابر هنگام صبح سبب می‌شود تا پوشش برفی زیرین از دید ماهواره پنهان بماند. در این حالت می‌توان یاخته‌هایی را که توسط ماهوارهٔ ترا صبح‌هنگام به‌عنوان یاخته‌های ابری و در بعدازظهر توسط ماهوارهٔ آکوا به‌عنوان یاخته‌های برفی شناسایی شده‌اند بازشناخت و یاخته‌هایی را که دارای این شرط‌اند به یاخته‌های برفی تبدیل کرد. بسیاری از پژوهشگران اجرای این کار، یعنی یک‌کاسه‌سازی داده‌های دو ماهواره، را پیشنهاد کرده‌اند. برخی پژوهشگران (وانگ و همکاران، ۲۰۰۹؛ وانگ و شی، ۲۰۰۹؛ برجرون و همکاران، ۲۰۱۳؛ پاراجکا و بلوشل، ۲۰۰۸؛ شی و همکاران، ۲۰۱۴؛ زانگ و همکاران، ۲۰۱۲؛ کی و لیو، ۲۰۱۴؛ دایاتز و همکاران، ۲۰۱۴) از این روش به منظور کاهش پوشش ابر و برآورد هرچه بهتر پوشش برف بهره‌جسته‌اند. یکی دیگر از روش‌های کاستن ابرناکی به‌کار بستن پالایه^۱ بر روی داده‌های رقومی پوشش برف است. در این روش اگر در روز نخست سنجنده یاخته‌ای را به‌عنوان یاختهٔ برفی شناسایی کند و در روز دوم این بار همان یاخته توسط ماهواره به‌عنوان یاختهٔ ابری شناسایی شود و در روز سوم ماهواره با گذر از روی پهنه همان یاخته برفی شناسایی کند، روشن می‌شود با احتمال بسیار بالا پوشش ابر در روز دوم بر فراز آن یاخته سبب شده تا پوشش برف زیرین از دید ماهواره پنهان بماند؛ در این حالت می‌توان با اجرای یک پالایهٔ زمانی سه‌روزه بر روی داده‌های عددی به‌طور چشم‌گیری اثر ابرناکی را کاهش داد. برخی پژوهشگران به‌کار بستن پالایه را پیشنهاد کرده‌اند (دایاتز و همکاران، ۲۰۱۳؛ دایاتز و همکاران، ۲۰۱۴؛ زانگ و همکاران، ۲۰۱۲؛ گی‌فور و باردوسی، ۲۰۰۹). در پژوهش حاضر دو روش شرح‌داده‌شده در بالا - که بسیاری از پژوهشگران آن‌ها را پیشنهاد داده‌اند - بر روی کل سری زمانی به منظور کاهش ابرناکی اعمال شد. کلیهٔ این مراحل در نرم‌افزار متلب کدنویسی شد. با توجه به اینکه داده‌های پوشش برف دو سنجنده از ۱۳۸۲/۱/۱ تا ۱۳۹۳/۱۲/۲۹ واکاوی شد و با توجه به اینکه در هر آرایه برای هر روز بیش از ۳۴ میلیون کد وجود داشت، در این پژوهش برای آماده‌سازی، کاستن از ابرناکی و واکاوی داده‌ها بر روی شمار انبوهی کد پردازش انجام شد. در داده‌های عددی با فرمت اچ دی اف^۲ برای هر پدیده یک کد تعریف شد. برای نمونه، برای ابر کد ۵۰، برای برف کد ۲۰۰، و برای زمین کد ۲۵ تعریف شد. در این پژوهش کدهای ۲۰۰، که نمایندهٔ پوشش برف‌اند، پردازش شدند.

یافته‌های پژوهش

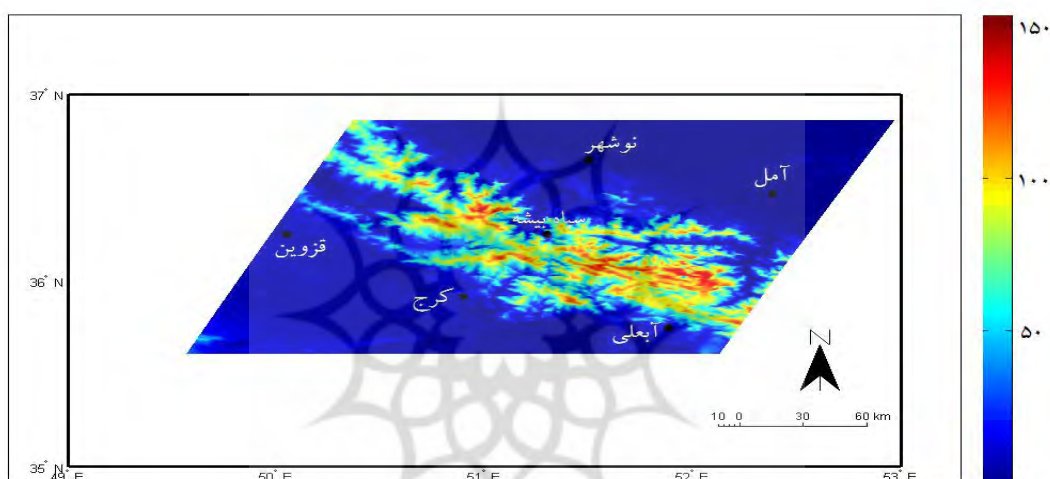
آگاهی از پهنه‌هایی که در ایران برای نشست برف مناسب‌اند از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. در همین راستا، کوشش شده تا گستره‌هایی از ایران زمین، که برای انباشت برف مناسب‌اند، شناسایی شوند. برف‌خوان به پهنه‌ای گفته می‌شود که با داشتن شرایط مناسب سراسر یا بخش بزرگی از سال پوشیده از برف است و سرچشمهٔ رودهای فصلی یا دائمی است. در ایران به طور کلی سه برف‌خوان بزرگ وجود دارد. برف‌خوان‌های بزرگ کشور عبارت‌اند از: برف‌خوان البرز، برف‌خوان شمال غرب، و برف‌خوان زاگرس؛ در ادامهٔ مقاله به آن‌ها پرداخته شده است.

برف‌خوان البرز

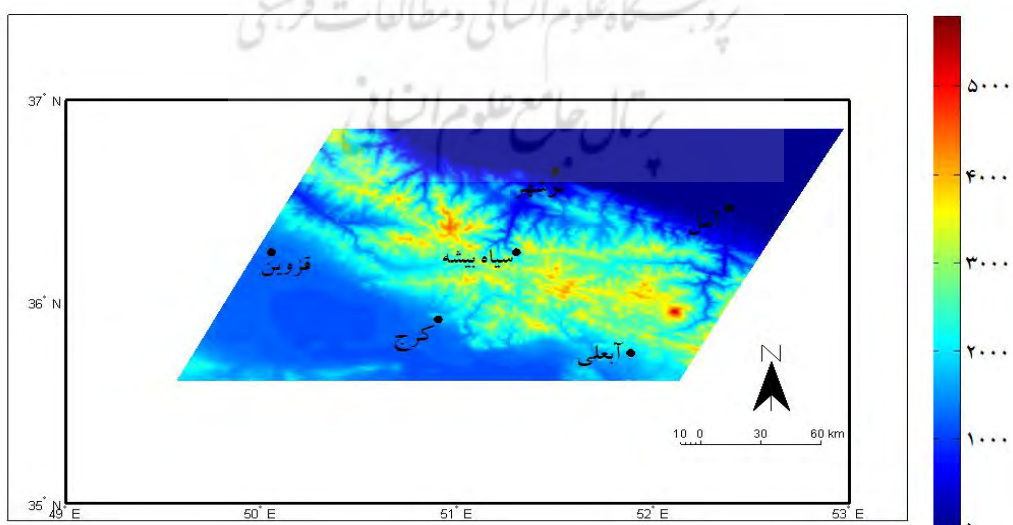
برف‌خوان البرز بلندترین برف‌خوان کشور است. این برف‌خوان سرچشمهٔ رودهای مهمی مانند هراز و طالقان است. با مقایسهٔ مدل رقومی ارتفاع و نقشهٔ فراوانی بلندمدت شمار روزهای برف‌پوشان این برف‌خوان، نقش ارتفاع در پراکندگی پوشش برف بیش از پیش برای ما روشن می‌شود. برای روشن‌تر شدن پیوند میان ارتفاع و روزهای برف‌پوشان، آهنگ تغییرات ارتفاع و روزهای برف‌پوشان در راستای غرب به شرق و شمال به جنوب برای این برف‌خوان محاسبه شد (شکل‌های ۳ و ۴). همان‌گونه که دیده می‌شود، روزهای برف‌پوشان هماهنگی بسیار زیادی با ارتفاعات - چه در راستای

1. Filter
2. HDF

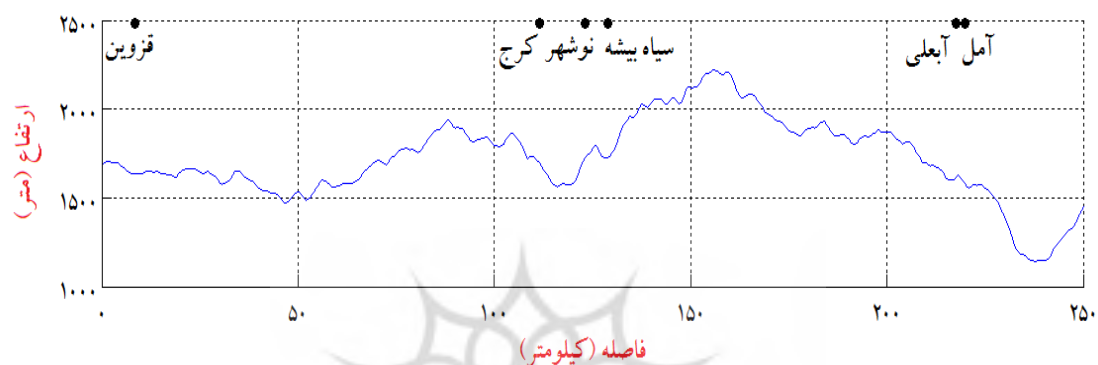
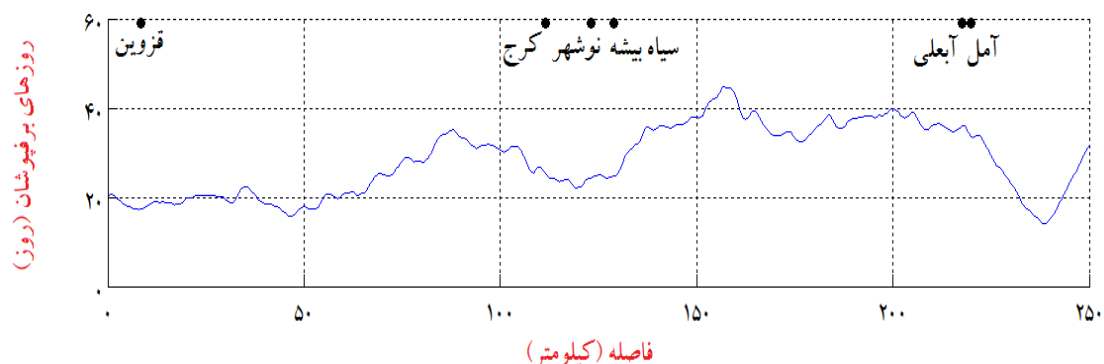
شمال به جنوب و چه در راستای غرب به شرق- از خود نشان می‌دهد. بیشترین شمار روزهای برف‌پوشان کشور در این برف‌خوان با ۱۵۳٫۵ روز در نقطه‌ای در علم‌کوه دیده می‌شود. بررسی ویژگی‌های جغرافیایی کانون این برف‌خوان نشان می‌دهد که وجه شیب آن رو به سوی شمال غرب است. نکته جالب این است که ارتفاع کانون این برف‌خوان ۴۱۸۱ متر است (جدول ۱)؛ این در حالی است که پهنه‌های بسیاری از کشور دارای ارتفاع بسیار بیشتری هستند و اینکه الزاماً همیشه با افزایش ارتفاع بر شمار روزهای برف‌پوشان افزوده می‌شود تصور نادرستی است. نکته مهمی که در اینجا یادآوری می‌کنیم آن است که این احتمال وجود دارد که محل واقعی برف‌خوان با محلی که مودیس شناسایی کرده است دارای اختلاف باشد؛ زیرا تفکیک داده‌های سنجده مودیس ۵۰۰ متر است؛ یعنی اینکه مودیس در گام‌های فضایی ۵۰۰ متری پوشش‌های برفی را شناسایی می‌کند. همچنین، یافته‌های کیخسروی کیانی و مسعودیان (۲۰۱۶) نشان می‌دهد در فصل زمستان در بخش‌های رشته‌کوه‌های البرز شمار روزهای برف‌پوشان رو به کاهش است؛ این مسئله می‌تواند پیامدهای زیست‌محیطی در این برف‌خوان به دنبال داشته باشد.



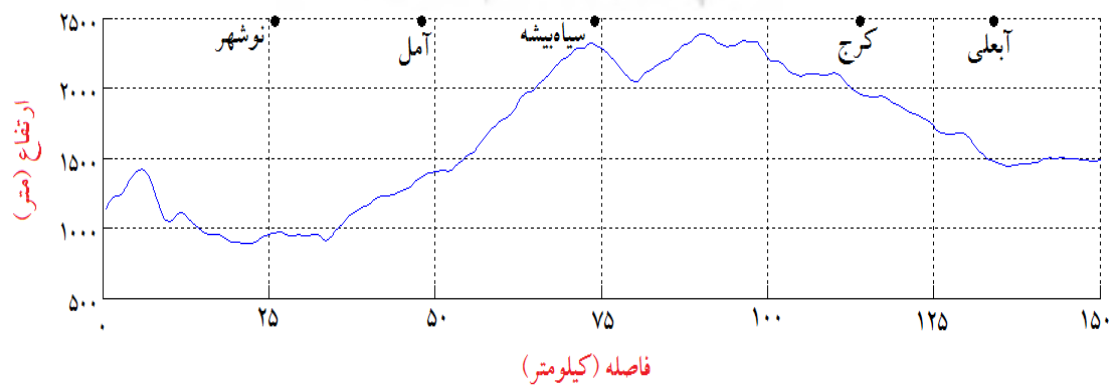
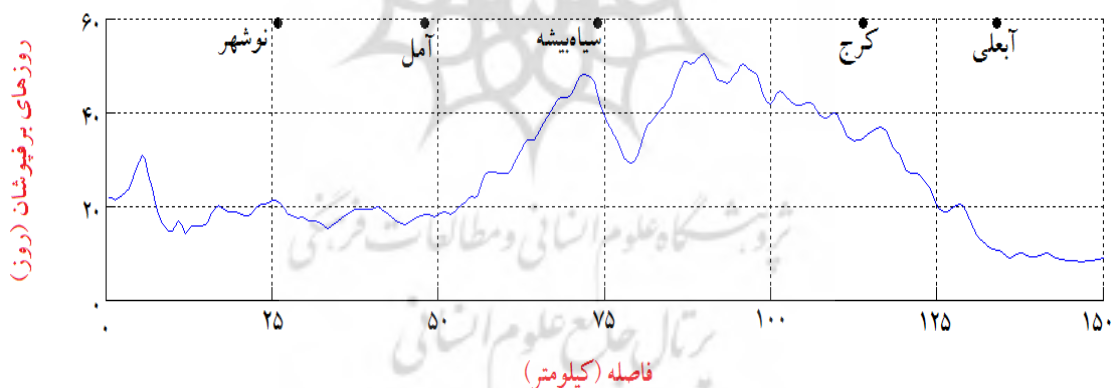
شکل ۱. نقشه پراکنش روزهای برف‌پوشان برف‌خوان البرز (روز در سال)



شکل ۲. نقشه مدل رقومی ارتفاع برف‌خوان البرز (ارتفاع - متر)



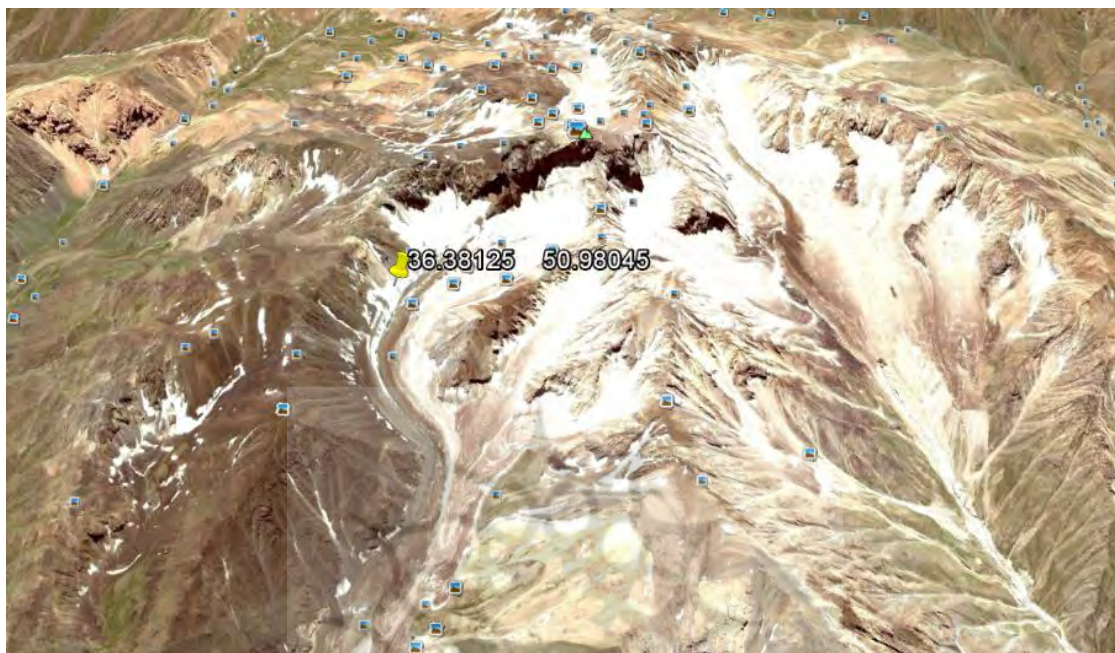
شکل ۳. آهنگ تغییرات شمار روزهای برف‌پوشان و ارتفاع در راستای غرب به شرق (برف‌خوان البرز)



شکل ۴. آهنگ تغییرات شمار روزهای برف‌پوشان و ارتفاع در راستای شمال به جنوب (برف‌خوان البرز)

جدول ۱. ویژگی‌های جغرافیایی کانون برف‌خوان البرز

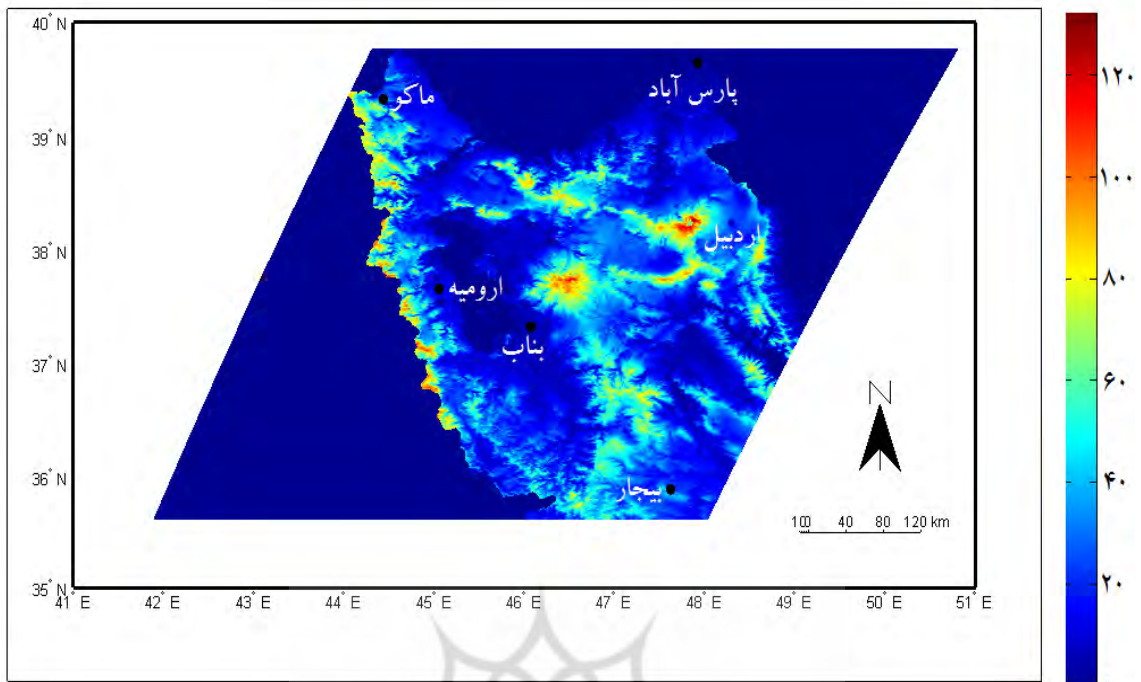
شمار روزهای برف‌پوشان	ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	وجه شیب	تندی شیب
۱۵۳٫۵	۴۱۸۱	۳۶٫۳۸۱۲۵	۵۰٫۹۸۰۴۵	۳۲۳	۱۶



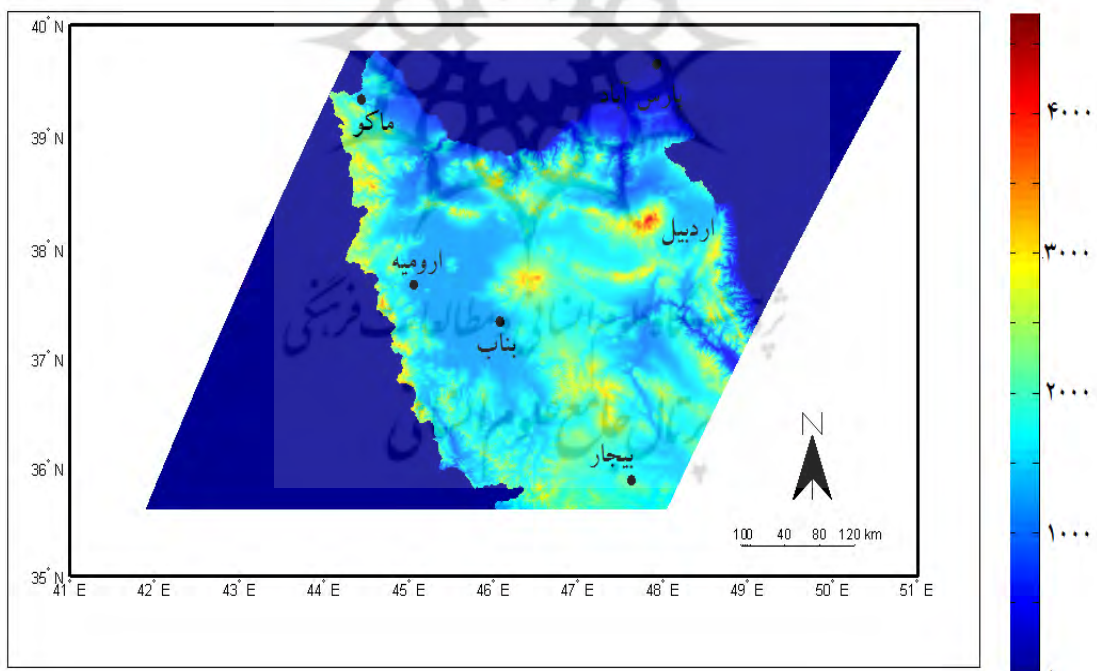
شکل ۵. نمایی از کانون برف‌خوان البرز

برف‌خوان شمال غرب

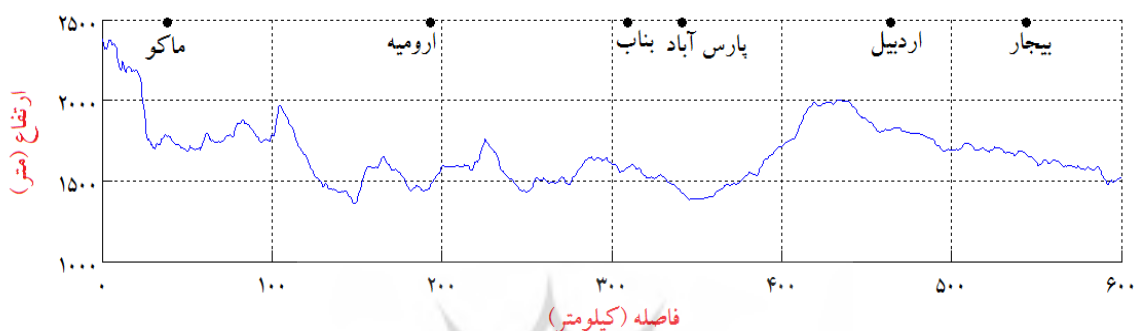
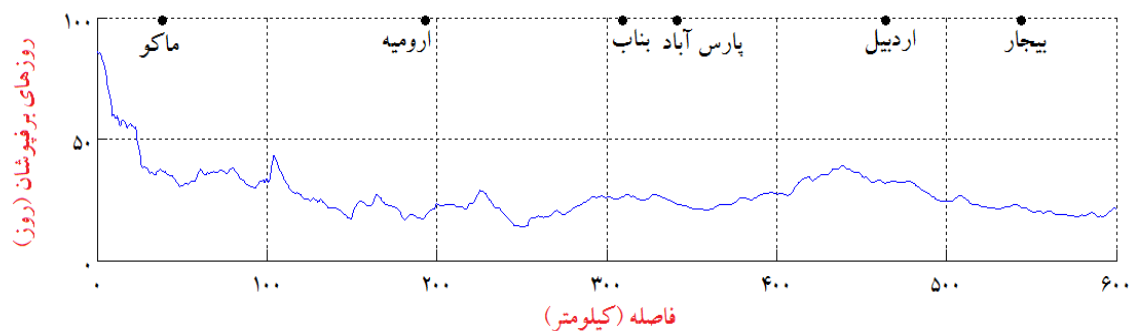
یکی دیگر از برف‌خوان‌های مهم ایران زمین برف‌خوان پهنه شمال غرب است. برخی از رودهای مهم که از دل این برف‌خوان سرچشمه می‌گیرند عبارت‌اند از: رودهای زربینه‌رود، قزل‌اوزن، و تلخه‌رود. در شکل‌های ۸ و ۹ آهنگ تغییرات شمار روزهای برف‌پوشان و ارتفاع در راستای غرب به شرق و شمال به جنوب آورده شده است. همان‌گونه که این نمودارها نشان می‌دهد، روزهای برف‌پوشان هماهنگی بسیار زیادی با ارتفاعات دارند. بررسی کانون این برف‌خوان نشان می‌دهد بیشترین شمار روزهای برف‌پوشان با ۱۳۲/۲۵ روز در سال در نقطه‌ای در کوه سبلان دیده می‌شود. وجه شیب کانون این برف‌خوان شمال شرقی است. یافته‌های کیخسروی کیانی و مسعودیان (۱۳۹۵) گویای آن است که در بخش‌های شمال غرب ایران در فصل زمستان تغییرات افزایشی و کاهش‌ی شمار روزهای برف‌پوشان دیده می‌شود و اوضاع روند تغییرات پوشش برف در این برف‌خوان در مقایسه با برف‌خوان البرز و زاگرس بهتر است.



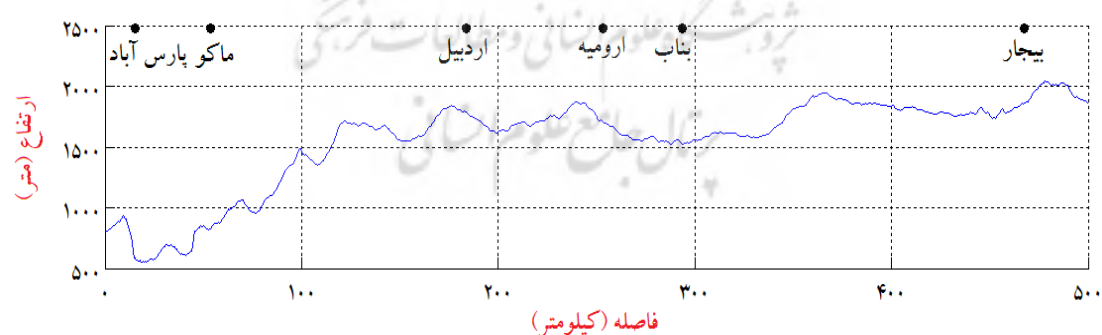
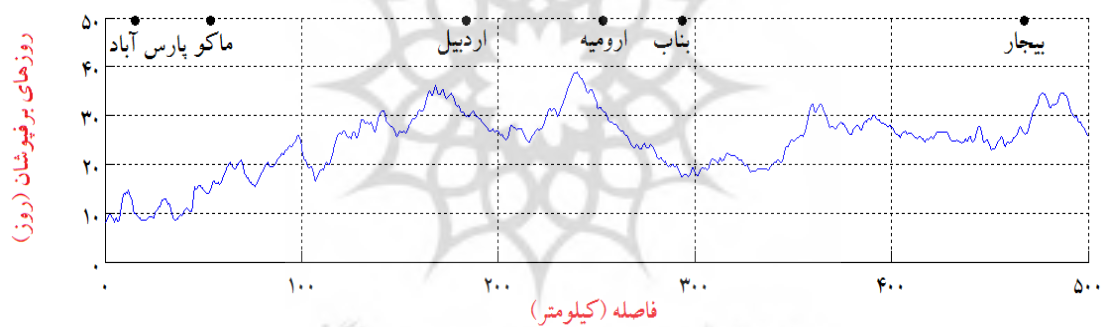
شکل ۶. نقشه پراکنش روزهای برف‌پوشان برف‌خوان شمال غرب (روز در سال)



شکل ۷. نقشه مدل رقومی ارتفاع برف‌خوان شمال غرب (ارتفاع - متر)



شکل ۸. آهنگ تغییرات غرب به شرق شمار روزهای برف‌پوشان و ارتفاع (برف‌خوان شمال غرب)



شکل ۹. آهنگ تغییرات شمال به جنوب شمار روزهای برف‌پوشان و ارتفاع (برف‌خوان شمال غرب)

جدول ۲. ویژگی‌های جغرافیایی کانون برف‌خوان شمال غرب ایران

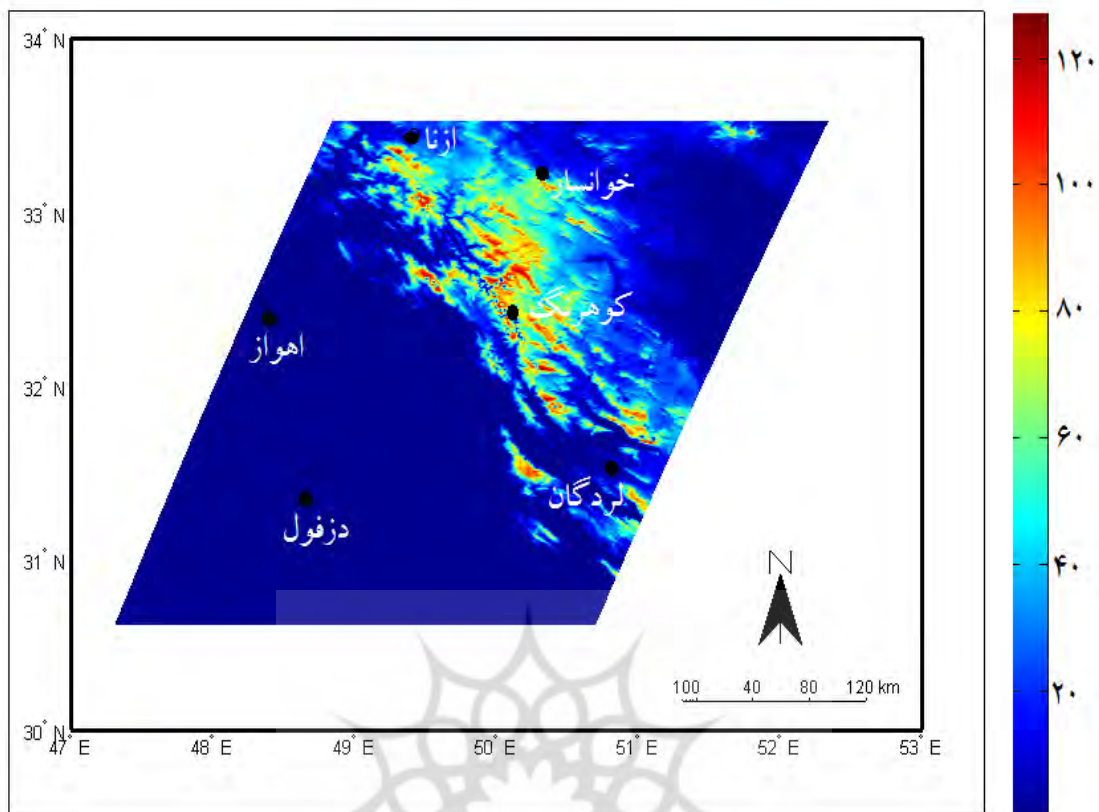
شمار روزهای برف‌پوشان	ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	وجه شیب	تندی شیب
۱۳۲/۲۵	۴۰۵۳	۳۸/۲۷۲۹۱	۴۷/۸۵۹۳۶	۶۱	۲۳



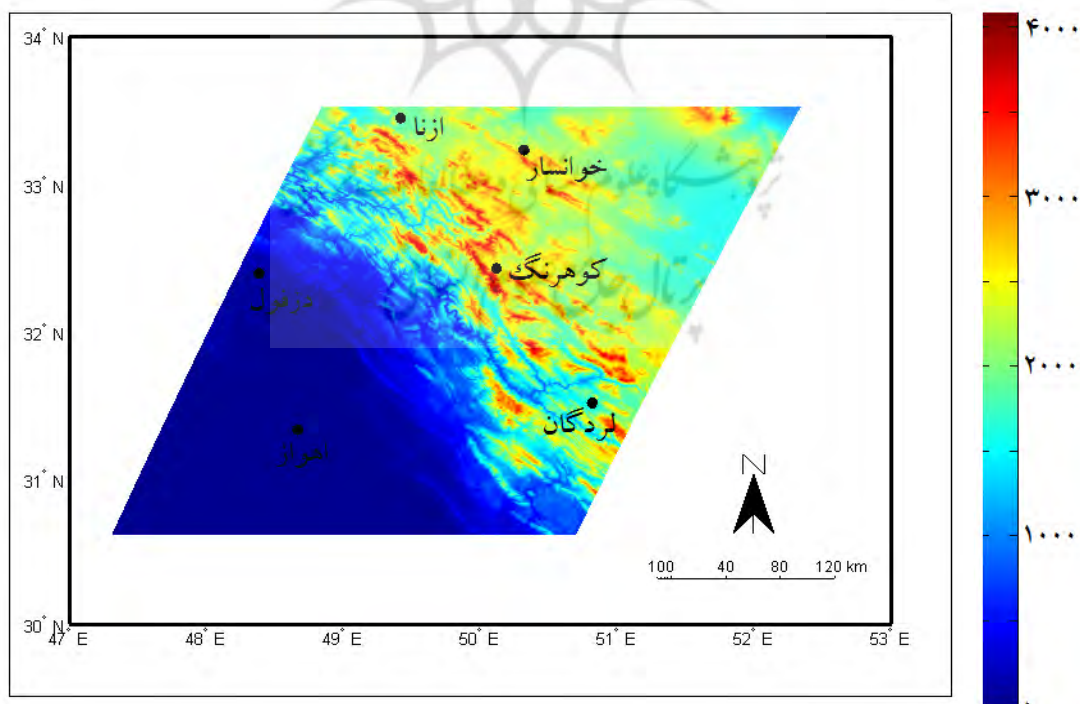
شکل ۱۰. نمایی از کانون برف‌خوان شمال غرب

برف‌خوان زاگرس

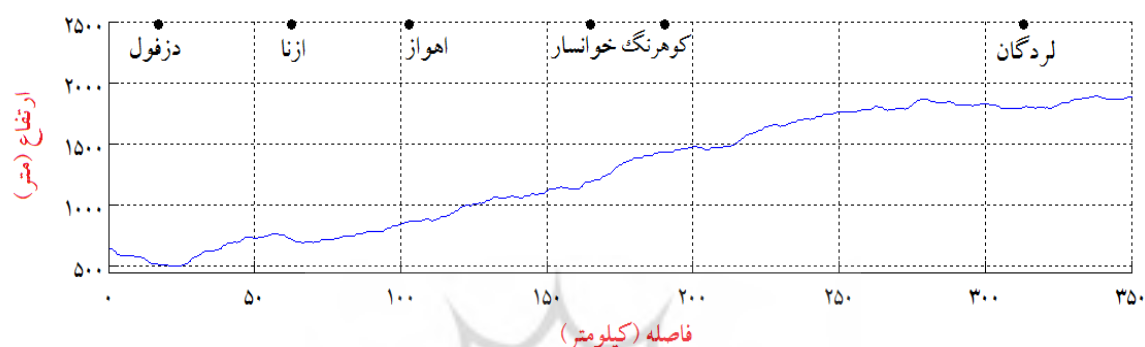
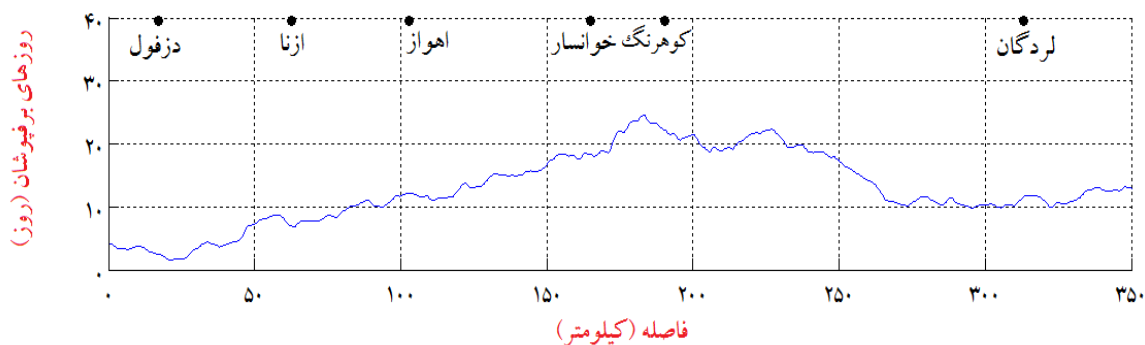
برف‌خوان زاگرس نیز از برف‌خوان‌های بزرگ کشور به‌شمار می‌آید. نکته‌ی درخور شایان در این برف‌خوان آن است که بیشینه‌ی میانگین شمار روزهای برف‌پوشان در این پهنه در میانگین ارتفاعی پایین‌تر از ۱۵۰۰ متر دیده می‌شود و در بخش‌های شرقی، با افزایش ارتفاع، میانگین شمار روزهای برف‌پوشان رو به کاهش می‌گذارد (شکل ۱۳). به‌نظر می‌رسد چرایی این مسئله به سبب کاهش بارش در زاگرس شرقی است؛ زیرا این نواحی در سایه‌ی بارش قرار دارند و همین موضوع موجب کاهش شمار روزهای برف‌پوشان شده است. بررسی ویژگی‌های جغرافیایی کانون این برف‌خوان نشان می‌دهد که بیشترین شمار روزهای برف‌پوشان در این برف‌خوان ۱۲۷/۱۶ روز در سال است. ارتفاع این کانون نیز ۳۳۴۰ متر است که در مقایسه با رشته‌کوه‌های این منطقه دارای ارتفاع کمتری است. وجه شیب کانون این برف‌خوان نیز شمالی است. نکته‌ی شایانی که از یافته‌های این پژوهش برمی‌آید آن است که افزون بر شرایط مناسب آب و هوایی برای ماندگاری پوشش برف به ساختار ناهمواری‌ها نیز باید توجه کرد. اینکه بیشترین شمار روزهای برف‌پوشان کانون برف‌خوان‌های ایران در ارتفاعات نسبتاً پایین‌تر دیده می‌شود به‌روشنی تأییدکننده‌ی این مسئله است. یافته‌های کیخسروی کیانی و مسعودیان (۱۳۹۵) نیز نشان می‌دهد در ارتفاعات بالا در ایران پیوند میان ارتفاع و روزهای برف‌پوشان رابطه‌ی خطی نیست و در برخی موارد با افزایش ارتفاع شمار روزهای برف‌پوشان رو به کاهش می‌گذارد و در عمل به الگویی پراکنده میل می‌کند. یافته‌های کیخسروی کیانی و مسعودیان (۱۳۹۵) نشان می‌دهد بیشترین تغییرات کاهشی شمار روز برف‌پوشان در فصل زمستان در برف‌خوان زاگرس دیده می‌شود؛ این در حالی است که پُرآب‌ترین رودهای ایران از این برف‌خوان سرچشمه می‌گیرد. در بخش‌هایی از زاگرس شمار روزهای برف‌پوشان با آهنگ ۴ روز و بیشتر از ۴ روز رو به کاهش است؛ این مسئله هشدار جدی برای ماست.



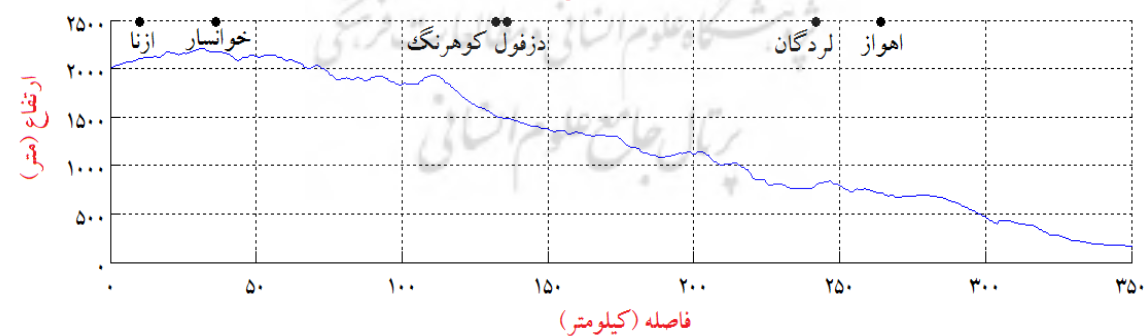
شکل ۱۱. نقشه پراکنش روزهای برف پوشان برف‌خون زاگرس (روز در سال)



شکل ۱۲. نقشه مدل رقمی ارتفاع برف‌خون زاگرس (ارتفاع - متر)



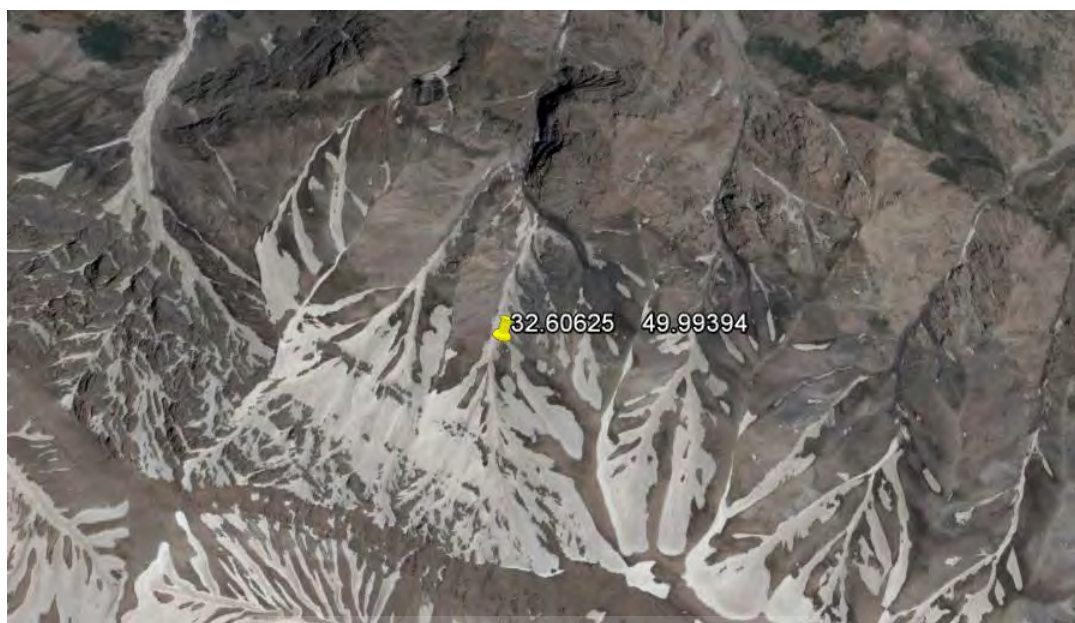
شکل ۱۳. آهنگ تغییرات شمار روزهای برف‌پوشان و ارتفاع در راستای غرب به شرق (برف‌خوآن زاگرس)



شکل ۱۴. آهنگ تغییرات شمار روزهای برف‌پوشان و ارتفاع در راستای شمال به جنوب (برف‌خوآن زاگرس)

جدول ۳. ویژگی‌های جغرافیایی کانون برف‌خوآن زاگرس

شمار روزهای برف‌پوشان	ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	وجه شیب	تندی شیب
۱۲۷/۱۶	۳۳۴۰	۳۲/۶۰۶۲۵	۴۹/۹۹۳۹۴	۱	۲۴



شکل ۱۵. نمایی از کانون برف‌خوان زاگرس

بحث و نتیجه‌گیری

بررسی برف‌خوان‌های ایران نشان می‌دهد در کشور سه برف‌خوان عمده وجود دارد که بر حسب بیشترین شمار روزهای برف‌پوشان عبارت‌اند از: برف‌خوان البرز، برف‌خوان شمال غرب، و برف‌خوان زاگرس؛ و بیشینه شمار روزهای برف‌پوشان در هر یک از این برف‌خوان‌ها به ترتیب ۱۵۳، ۱۳۲، و ۱۲۷ روز در سال است. یافته‌های اصلی این پژوهش به روشنی نشان می‌دهد همیشه با افزایش ارتفاع شمار روزهای برف‌پوشان افزایش نمی‌یابد و در این زمینه عوامل فیزیوگرافی هم نقش بسیار برجسته‌ای دارد؛ در این میان می‌توان به نقش شیب و وجه شیب اشاره کرد. بررسی‌ها نشان داد آهنگ تغییرات شمار روزهای برف‌پوشان هماهنگی بسیار زیادی با آهنگ تغییرات ارتفاع دارد؛ اما تغییرات شمار روزهای برف‌پوشان و ارتفاع در شرق زاگرس چندان با یکدیگر هماهنگ نیستند و در این بخش از کشور با افزایش ارتفاع بر شمار روزهای برف‌پوشان افزوده نمی‌شود و به نظر می‌رسد دلیل اصلی آن هم کاهش بارش از غرب به سوی شرق در زاگرس است. همچنین، بررسی اطلاعات کانون و قلب هر یک از برف‌خوان‌ها نشان داد که وجه شیب این یاخته‌ها بیشتر رو به سوی شمال است و به سبب دریافت انرژی تابشی کمتر برای ماندگاری پوشش برف مناسب‌اند. برف‌خوان‌های عمده کشور، که به آن‌ها پرداخته شد، سرچشمه رودهای اصلی و مهم کشورند و جزو ذخایر مهم طبیعی کشور به‌شمار می‌آیند و تغییرات ذخایر برفی آن‌ها تحت فشار گرمایش جهانی می‌تواند پیامدهای زیست‌محیطی ناگواری به دنبال داشته باشد. همان‌گونه که به یافته‌های کیخسروی کیانی و مسعودیان (۲۰۱۶) اشاره شد، بیشترین تغییرات کاهش روزهای برف‌پوشان در برف‌خوان زاگرس دیده می‌شود؛ در فصل زمستان آهنگ کاهش ۴ روز و بیشتر از ۴ روز در این برف‌خوان دیده می‌شود و برف‌خوانی که سرچشمه پُرآب‌ترین رودهای کشور است به شدت رو به تهدید است. تغییرات کاهش شمار روزهای برف‌پوشان در برف‌خوان البرز هم وجود دارد؛ اما آهنگ تغییرات کاهش کُندتری در مقایسه با برف‌خوان زاگرس دارد. در برف‌خوان شمال غرب به طور هم‌زمان تغییرات کاهش و افزایشی دیده می‌شود. در هر حال، یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد منابع برفی ایران بسیار محدود است و تحت فشار گرمایش جهانی می‌تواند بیش از گذشته مورد تهدید قرار گیرد. در پژوهش‌های بعدی باید به مسئله تغییرات بارش و دما در برف‌خوان‌های کشور با بهره‌گیری از داده‌های دورسنجی پرداخته شود و بررسی اینکه تغییرات کدام فراسنج اقلیمی بیشترین تأثیر را در منابع برف ایران گذاشته بسیار مهم است و می‌تواند زمینه را برای برنامه‌ریزی‌های بهتر فراهم کند.

منابع

- Anderton, S.P.; White, S.M. and Alvera, B. (2002). Micro-scale spatial variability and the timing of snow melt runoff in a high mountain catchment, *J. Hydrol.*, 268: 158-176.
- Bergeron, J.; Royer, A.; Turcotte, R. and Roy, A. (2013). *Snow cover estimation using blended MODIS and AMSR-E data for improved watershed-scale spring stream flow simulation in Quebec, Canada; Hydrological Processes*, pp. 1-14.
- Blöschl, G. (1999). scaling issues in snow hydrology. *Hydrol. Process.* Vol.13, pp. 2149-2175.
- Brown, R. and Armstrong, R.L. (2010). Snow-cover data measurement, products and sources in snow and climate, In *Physical Processes, Surface Energy Exchange and Modeling*, Armstrong R.L., Brun E. (eds). Cambridge University Press: Cambridge, UK.
- Dietz, A.J.; Kuenzer, C. and 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. and Bardossy, A. (2009). Cloud removal methodology from MODIS snow cover product, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13: 1361-1373.
- Hall, D.; Riggs, G.; Salomonson, V.; Digirolamo, N. and Bayr, K. (2002). MODIS snow-cover products, *Remote Sensing of Environment*, 83: 88-89.
- Harshburger, B.; Humes, K.; Waldon, V.; Blandford, T.; Moore, B. and Dezzani, R. (2010). Spatial interpolation of snow water equivalency using surface observations and remotely sensed images of snow-covered areas, *Hydrological Processes*, 24: 1285-1295.
- Krajci, P.; Holko, L. and Parajka, J. (2015). *Variability of snow covered area and snow line elevation in the main Slovak river basins in winters 2001-2014*, EGU General Assembly 2015.
- Ke, C. and Liu, X. (2014). Modis-observed spatial and temporal variation in snow cover in Xinjiang, China, *Climate Research*, 59: 15-26.
- Keikhosravi Kiany, M.S. and Masoodian, A. (2016). Exploring the relation of snow-covered days with altitude, slope and aspect in Iran, *Natural Geographical Researches*, 1: 1-14.
- Keikhosravi, M.S. and Masoodian, A. (2016). Identification of spatial variations of snow-covered days over Iran based on remote sensing data, *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 17: 69-85.
- Khadka, D.; Babel, M.; Shrestha, S. and Tripathi, N. (2014). Climate change impact on glacier and snow melt and runoff in Tamakoshi basin in the Hindu Kush Himalayan (HKH) region, *Journal of Hydrology*, 511: 49-60.
- Lehning, M.; Löwe, H.; Ryser, M. and Raderschall, N. (2008). Inhomogeneous precipitation distribution and snow transport in steep terrain, *Water Resour. Res.*, Vol. 44.
- Manes, C.; Guala, M.; Löwe, H.; Bartlett, S.; Egli, L. and Lehning, M. (2008). Statistical properties of fresh snow roughness, *Water Resour. Res.*, Vol. 44.
- Maskey, S.; Unlenbrook, S. and 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.
- Parajka, J. and Blöschl, G. (2008). Spatio-temporal combination of MODIS images ° potential for snow cover mapping, *Water Resources Research*, 44: 1-13.
- She, J.; Zhang, Y.; Li, X. and 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.
- Tani, M. (1996). An approach to annual water balance for small mountainous catchments with wide spatial distributions of rainfall and snow water equivalent, *J. Hydrol.*, 183: 205-225.
- Udnaes, H.; Alfnes, C.E. and Andreassen, L.M. (2007). Improving runoff modeling using satellite-derived snow cover area, *Nord. Hydrol.*, 38: 21-32.
- Wang, X. and 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: 192-200.

- 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.
- Yang, J.; Zhao, Z.; Ni, J.; Ren, L. and Wang, Q. (2012). Temporal and spatial analysis of changes in snow cover in western Sichuan based on MODIS images, *Journal of Earth Sciences.*, 55: 1329- 1335.
- Yuang, D. and Woo, M.K. (1999). Representativeness of local snow data for large scale hydrologic investigations, *Hydrol. Process.*, 13: 1977-1988.
- Zhang, G.; Xie, H.; Yao, T.; Liang, T. and 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.

