

مجله مخاطرات محیط طبیعی، سال ششم، شماره یازدهم، بهار ۱۳۹۶

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۵/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۱۲/۱۵

صفحات: ۴۶-۳۳

ارزیابی تغییرات روزهای همراه با پوشش برف در گروه‌های ارتفاعی حوضه‌ی زاینده‌رود

سید ابوالفضل مسعودیان^{۱*}، محمد صادق کیخسروی کیانی^۲

چکیده

هدف از پژوهش حاضر بررسی تغییرات روزهای همراه با پوشش برف (روزهای برفپوشان) در گروه‌های ارتفاعی در حوضه‌ی زاینده‌رود می‌باشد. برای این منظور داده‌های سنجنده‌ی مودیس ترا و مودیس آکوا برای دوره‌ی زمانی ۱۳۸۲ تا ۱۳۹۳ به صورت روزانه و در تفکیک مکانی ۵۰۰ متر از تارنمای ناسا دریافت گردید. همچنین مدل رقومی ارتفاع هماهنگ با سیستم تصویر و تفکیک داده‌های پوشش برف از تارنمای ناسا دریافت و بر روی حوضه استخراج گردید. برای واکاوی هرگونه تغییری در روزهای برفپوشان در کمرندهای ارتفاعی، نخست فراوانی روزهای برفپوشان برای هر طبقه‌ی ارتفاعی از ۱۵۰۰ متر تا ۳۸۵۰ متر در گام‌های ۵۰ متری محاسبه و سپس به کمک آزمون من‌کنندال روند روزهای برفپوشان محاسبه شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد در ماه‌های فروردین و اردیبهشت شمار روزهای برفپوشان در کمرندهای ارتفاعی بلند حوضه یک الگوی کاهشی را نشان می‌دهد. در ماه‌های آبان و آذر شمار روزهای برفپوشان در بسیاری از کمرندهای ارتفاعی رو به افزایش، اما در ماه‌های دی و بهمن شمار روزهای برفپوشان در بسیاری از کمرندهای ارتفاعی رو به کاهش است. بررسی روند تغییرات سهم بارش در حوضه نشان می‌دهد سهم بارش ماه‌های پاییزی رو به افزایش اما سهم بارش ماه‌های زمستانه رو به کاهش است. بنابراین به نظر می‌رسد تغییرات رژیم بارش در حوضه سبب تغییر رژیم برف‌گیری حوضه شده است و روند کاهش پوشش برف همراه با تغییر رژیم برف‌گیری، می‌تواند پیامدهای ناگواری را برای حوضه به دنبال داشته باشد.

واژگان کلیدی: سنجنده‌ی مودیس ترا، سنجنده‌ی مودیس آکوا، آزمون من‌کنندال، حوضه‌ی زاینده‌رود

مقدمه

برف یکی از منابع اساسی فراهم کننده آب شیرین و یکی از مؤلفه‌های مهم چرخه‌ی آب‌شناسی به شمار می‌رود (تکلی، ۲۰۱۲). گستره و وردش‌پذیری پوشش‌های برفی فراسنج‌های مهمی در سامانه‌های آب‌شناختی و آب و هواشناسی در مقیاس کلان است (یودنایس و همکاران، ۲۰۰۷ و برون و آرم‌استرانگ، ۲۰۱۰). برای مناطقی که منبع اساسی آب آن‌ها از انبارهای برفی حاصل می‌شود، مطالعه‌ی روند تغییرات پوشش‌های برفی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. بدین منظور تکیه‌ی تنها به داده‌های زمینی پوشش برف کافی نیست چراکه در بسیاری از بلندی‌ها ایستگاه اندازه‌گیری وجود ندارد و چگالی ایستگاه‌ها هم آن اندازه نیست تا بتوانیم وردش پوشش‌های برفی را پیش‌نماییم. 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، ۲۰۰۵؛ برون و آرم‌استرانگ، ۲۰۱۰). برای این منظور فرآورده‌های دورسنجی گوناگونی از ماهواره‌های زمین‌آهنگ و قطب‌چرخ به جامعه‌ی علمی معرفی شده است (رمانو و همکاران، ۲۰۰۳؛ دی‌رویتز و همکاران، ۲۰۰۶؛ زائو و فراندس، ۲۰۰۹؛ هال و همکاران، ۲۰۱۰). به کمک داده‌های سنجش از دور برف مطالعات بسیاری انجام گرفته که در این میان می‌توان به پژوهش‌های زیر اشاره نمود.

در مطالعه‌ای کی و لیو (۲۰۱۴) برای بررسی روند پوشش برف در منطقه‌ی شینجانگ در کشور چین طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲ داده‌های دو سنجنده‌ی مودیس ترا و مودیس آکوا را بکار گرفته و یک کاسه نمودند. یافته‌ها نشان داد روند پوشش برف برای ارتفاعات گوناگون و فصول مختلف سال متفاوت است. در فصل زمستان ارتفاعات پایین‌تر از ۲۰۰۰ متر و بالاتر از ۴۰۰۰ متر دارای روند کاهش پوشش برف بودند اما در فصل تابستان ارتفاعات بالاتر از ۳۰۰۰ متر روند افزایشی را از خود نشان می‌دادند. در فصل بهار همه‌ی طبقات ارتفاعی دارای روند افزایشی بودند. در فصل پاییز نیز در ارتفاعات بالاتر از ۲۰۰۰ متر روند افزایشی دیده شد (کی و لیو، ۲۰۱۴). چین و همکاران (۲۰۱۴) نیز برای واکاوی روند پوشش‌های برفی در فلات لوئس در کشور چین از داده‌های دو سنجنده‌ی مودیس ترا و مودیس آکوا در تفکیک زمانی ۸ روزه بهره بردند. دوره‌ی زمانی مورد بررسی از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ بود. واکاوی‌ها نشان داد تنها در ۷/۱۶ درصد از این پهنه روند معنادار کاهش شمار روزهای برفپوشان رخ داده است (چین و همکاران، ۲۰۱۴). آکیورک و همکاران (۲۰۱۱) پهنه‌ی زیر برف در حوضه‌ی کاراسو در شرق کشور ترکیه را که به عنوان یکی از سرچشمه‌های رودخانه‌ی فرات است برای دوره‌ی زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۹ پایش و بررسی نمودند. برای بررسی کاهش و یا افزایش پهنه‌ی زیر برف داده‌های فرآورده‌ی مودیس بکار گرفته شد. بررسی‌ها نشان داد در دوره‌ی زمانی یادشده روند کاهش در گستره‌ی برفی این پهنه دیده نمی‌شود (آکیورک و همکاران، ۲۰۱۱). زانگ و همکاران (۲۰۱۲) برای آزمون روند پوشش برف، داده‌های سنجنده‌ی مودیس ترا و آکوا را برای بازه‌ی زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ برای ۴ حوضه در فلات تبت بکار گرفتند. بررسی این پژوهشگران نشان داد روندی در پوشش برف این مناطق دیده نمی‌شود (زانگ و همکاران، ۲۰۱۲). برون و درکسن (۲۰۱۳) برای واکاوی روند پوشش برف در منطقه‌ی اوراسیا در ماه اکتبر داده‌های پوشش برف پایگاه نوا را برای سال‌های ۱۹۸۲ تا ۲۰۱۱ بکار گرفتند. یافته‌ها نشان داد گستره‌ی برف با آهنگ ۵۸۰۰۰۰ کیلومتر مربع در هر دهه رو به افزایش است (برون و درکسن، ۲۰۱۳، ۴). درکسن و برون (۲۰۱۲) روند گستره‌ی برف در نیمکره‌ی شمالی را برای ماه‌های آوریل تا ژوئن و برای دوره‌ی زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۱۱ واکاوی

نمودند. یافته‌ها نشان داد طی دوره‌ی زمانی یاد شده میزان پوشش برف در ماه ژوئن روندی منفی به خود گرفته است. میزان این کاهش ۱۷/۸- درصد به ازای هر دهه بود (درکسن و برون، ۲۰۱۲). برون و رابینسون (۲۰۱۱) روند پوشش‌های برفی در نیمکره‌ی شمالی را طی ماه‌های مارس و آوریل و برای بازه‌ی زمانی ۱۹۲۲ تا ۲۰۱۰ واکاوی نمودند. واکاوی روند نشان داد طی این بازه‌ی زمانی پهنه‌های برفی روند کاهشی چشم‌گیری داشته است و طی ۴۰ سال گذشته این شیب کاهشی، روندی شتابان به خود گرفته است (برون و رابینسون، ۲۰۱۱، ۲۱۹). فاستر و همکاران (۲۰۰۹) برای واکاوی روند پوشش برف در بخش‌های جنوبی و غربی آمریکای جنوبی از داده‌های کهموج ماهواره‌ای برای بازه‌ی زمانی ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۶ بهره بردند. یافته‌ها نشان داد در سطح اطمینان ۰/۹۵ روندی در پوشش برف این مناطق دیده نمی‌شود (فاستر و همکاران، ۲۰۰۹). در پژوهشی آتیف و همکاران (۲۰۱۵) برای بررسی روند تغییرات گستره‌ی پوشش برف در بالادست حوضه‌ی ایندوس از داده‌های سنجنده‌ی مودیس برای بازه‌ی زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ بهره گرفتند. بررسی‌های ایشان نشان داد در دوره‌ی زمانی یادشده روند معنی‌داری در تغییرات گستره‌ی پوشش برف دیده نمی‌شود (آتیف و همکاران، ۲۰۱۵، ۱۲۶). تانگ و همکاران (۲۰۱۳) روند شمار روزهای برفپوشان را در منطقه‌ی فلات تبت بر روی گروه‌های ارتفاعی بالاتر از ۲۵۰۰ متر برای بازه‌ی زمانی ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۳ محاسبه کردند. برای این کار شیب معادله‌ی خط بر روی هر یک از یاخته‌ها محاسبه گردید. واکاوی‌های ایشان نشان داد نزدیک به ۳۴ درصد از منطقه‌ی مورد مطالعه طی این مدت دارای روند کاهشی بوده است اما تنها ۵/۵ درصد از یاخته‌ها دارای روند کاهشی معنادار بوده‌اند. این در حالی بود که نزدیک به ۲۴ درصد از یاخته‌ها روند افزایشی را نشان می‌دادند اما تنها ۳/۹ درصد از یاخته‌ها دارای روند معنادار افزایشی بودند (تانگ و همکاران، ۲۰۱۳).

در ایران برخی مطالعات در رابطه‌ی با پوشش برف به کمک داده‌های دورسنجی انجام گرفته که در ادامه به پاره‌ای از آن‌ها اشاره شده است. در پژوهشی میریعقوب زاده و قنبرپور (۱۳۸۹) داده‌های تصاویر سنجنده‌ی مودیس را برای همانندسازی رواناب در حوضه‌ی آبخیز سد کرج بکارگرفتند. یافته‌ها نشان داد ضریب تعیین میان دبی اندازه‌گیری شده و برآورد شده نزدیک به ۰/۴۷ می‌باشد (میریعقوب زاده و همکاران، ۱۳۸۸، ۱۴۱). فتاحی و همکاران (۱۳۹۰) داده‌های پوشش برف سنجنده‌ی مودیس را در تفکیک زمانی ۸ روزه برای برآورد دبی حوضه‌ی آبریز بازفت بکارگرفتند. بررسی‌ها نشان داد ضریب تعیین میان دبی اندازه‌گیری شده و برآورد شده ۰/۸۲ می‌باشد (فتاحی و همکاران، ۱۳۹۰). در پژوهشی وفاخواه و همکاران (۱۳۹۲) سطح پوشش برف ۱۴ تصویر پوشش برف سنجنده مودیس و پایگاه نوا را در حوضه‌ی آبریز طالقان با یک دیگر مقایسه کردند. یافته‌ها نشان داد خطای برآورد پوشش برف پایگاه نوا در قیاس با سنجنده‌ی مودیس بالاتر است (وفاخواه و همکاران، ۱۳۹۲). در پژوهشی نیز کیخسروی کیانی و مسعودیان (۱۳۹۵) از داده‌های سنجنده‌ی مودیس برای بررسی تغییرات روزهای برفپوشان ایران برای بازه‌ی زمانی ۱۳۸۲-۱۳۹۳ بهره گرفتند. یافته‌های ایشان نشان می‌دهد بیش‌ترین تغییرات کاهشی روزهای برفپوشان بر روی رشته کوه‌های زاگرس دیده می‌شود، در این بخش از کشور شمار روزهای برفپوشان در برخی نقاط تا بیش از ۴ روز در سال در فصل زمستان رو به کاهش است، این در حالی است که در فصل پاییز به طور نسبی شمار روزهای برفپوشان دارای روندی افزایشی است (کیخسروی کیانی و مسعودیان، ۱۳۹۵).

داده‌ها و روش‌ها:

در این پژوهش از داده‌های سنجنده‌های مودیس ترا و مودیس آکوا برای بررسی تغییرات روزهای برفپوشان در حوضه‌ی زاینده‌رود بهره گرفته شد. منظور از روز برفپوشان روزی است که زمین پوشیده از برف است و منظور از شمار روزهای برفپوشان تعداد روزهایی است که زمین دارای برف است. به سبب این که ابرناکی در داده‌های دورسنجی همواره مشکل‌ساز است می‌بایست این پدیده به طریقی تعدیل شود تا بتوان به نتایج بهتری دست یافت. پیش از بکارگیری داده‌های روزانه‌ی پوشش برف هم می‌بایست تا حد امکان اثر ابرناکی را کاهش داد تا بتوان به طور دقیق‌تری پوشش‌های برف را پایش نمود. در داده‌های رقومی پوشش برف با فرمت اچ دی اف^۱ برای هر پدیده یک کد تعریف شده است، برای نمونه کد ۲۵ نماینده‌ی زمین بی برف، کد ۵۰ نماینده‌ی ابر، کد ۲۰۰ نماینده‌ی پوشش برف می‌باشد. بنابراین در این پژوهش کدهای ۲۰۰ که نماینده‌ی پوشش برف هستند پردازش شده‌اند. اما به منظور شناسایی پوشش برف در سنجنده‌ی مودیس از نمایه‌ی نمایه‌ی تفاوت بهنجار شده‌ی برف (NDSI)^۲ بهره گرفته می‌شود. این نمایه برای شناسایی برف و یخ و برای بازشناختن میان برف-یخ و بیشتر ابرها سودمند است. این نمایه به عنوان تفاوت بازتابش در طیف دیدنی و امواج کوتاه فروسرخ بخش بر جمع دو تابش است (جین و همکاران، ۲۰۱۱). در این پژوهش برای کاستن از ابرناکی از دو روش بسیار متداول کاهش ابرناکی بهره گرفته شد. روش اول بر پایه‌ی یک‌کاسه‌سازی داده‌های دو سنجنده‌ی مودیس ترا و مودیس آکوا و روش دوم نیز بر پایه پالایه سه روزه می‌باشد که در ادامه درباره‌ی این دو روش توضیح داده شده است. زمان گذر ماهواره‌ی ترا از روی منطقه ساعت ۳۰: ۱۰ صبح است اما ماهواره‌ی ترا با سه ساعت تأخیر یعنی ساعت ۳۰: ۱ بعد از ظهر از روی منطقه می‌گذرد. ممکن است هنگام صبح ماهواره‌ی ترا یاخته‌ای را به عنوان یاخته‌ی ابری شناسایی کند اما همان یاخته در بعد از ظهر توسط ماهواره‌ی آکوا به عنوان یاخته‌ی پوشیده از برف شناسایی شود. بنابراین با احتمال بالا می‌توان گفت وجود پوشش ابر در هنگام صبح سبب شده تا ماهواره‌ی ترا نتواند پوشش برف زیرین را شناسایی نماید. با انجام کد نویسی برای هر روز مورد بررسی (۱۳۸۲/۱/۱ تا ۱۳۹۳/۱۲/۲۹) داده‌های ماهواره‌های ترا و آکوا مورد بررسی قرار گرفت و وجود این شرط بررسی گردید. و آن دسته از یاخته‌ها که دارای این شرط بودند همگی در ماهواره‌ی ترا تبدیل به یاخته‌های برفی شدند. به این فرآیند در اصطلاح یک‌کاسه‌سازی داده گفته می‌شود و انجام این فرآیند توسط پژوهشگرانی همچون (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) به منظور کاهش اثر پوشش ابر و برآورد هرچه بهتر پوشش برف بکارگرفته شده است. یکی دیگر از روش‌های کاستن از ابرناکی بکارستن پالایه^۳ بر روی داده‌های رقومی پوشش برف می‌باشد. در این روش اگر در روز نخست سنجنده یاخته‌ای را به عنوان یاخته‌ی برفی شناسایی کند و در روز دوم این بار همان یاخته توسط ماهواره به عنوان یاخته‌ی ابری شناسایی شود و در روز سوم ماهواره با گذر از روی پهنه همان یاخته را به عنوان یاخته‌ی برفی شناسایی کند پس روشن می‌شود با احتمال

^۱ - HDF

^۲ - Normalized Difference Snow Index

^۳ - Filter

بسیار بالا وجود 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 انجام یک پالایه‌ی زمانی سه روزه بر روی داده‌های عددی به طور چشم‌گیری اثر ابرناکی را کاهش داد. بکاربستن پالایه توسط پژوهشگرانی همچون (دایاتز و همکاران، ۲۰۱۳؛ دایاتز و همکاران، ۲۰۱۴؛ زانگ و همکاران، ۲۰۱۲؛ گی‌فورو و باردوسی، ۲۰۰۹) پیشنهاد شده است.

پس از آماده‌سازی داده‌های پوشش برف، به کمک مدل رقومی ارتفاع که هماهنگ با تفکیک و سیستم تصویر داده‌های پوشش برف بود. کمربندهای ارتفاعی حوضه‌ی زاینده‌رود با گام‌های ۵۰ متری از کم‌ترین تا بلندترین ارتفاع استخراج گردید و در گام بعدی شمار روزهای برفپوشان به صورت ماهانه برای هر یک از کمربندهای ارتفاعی طی بازه‌ی ۱۳۹۳-۱۳۸۲ محاسبه شد. منظور از روز برفپوشان روزی است که زمین پوشیده از برف است، برای نمونه اگر یک نقطه به طور میانگین در فصل زمستان ۴۰ روز پوشیده از برف باشد گوییم میانگین روزهای برفپوشان این نقطه ۴۰ روز است. اگرچه که این چهل روزی که زمین دارای پوشش برف است ممکن است تنها ناشی از یک ریزش برف باشد، بنابراین روز برفی و روز برفپوشان دو مفهوم کاملاً متفاوت هستند. پس از این مرحله روند تغییرات روزهای برفپوشان به کمک آزمون من‌کندال برای ۴۷ کمربند ارتفاعی محاسبه گردید. با توجه به آن که در ماه‌های تیر تا مهر در حوضه‌ی زاینده‌رود پوشش برفی وجود ندارد. بنابراین نمودارهای روند پوشش برف این ماه‌ها نیامده است. همچنین برای بررسی تغییرات رژیم بارش در حوضه و تأثیر آن بر تغییرات روزهای برفپوشان، داده‌های مرکز آب و هواشناسی بارش جهان (GPCC) برای بازه‌ی زمانی ۲۰۱۳-۲۰۰۳ بکارگرفته شد، یادآوری می‌شود داده‌های این پایگاه بارشی تا سال ۲۰۱۳ میلادی در دسترس است. و به کمک توابع داخلی در نرم‌افزار متلب داده‌هایی که درون حوضه را پوشش می‌داد استخراج گردید. بررسی‌های مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳) نشان‌دهنده‌ی دقت بسیار بالای این پایگاه بارشی در گستره‌ی ایران زمین است. سپس سهم بارش ماهانه‌ی سری زمانی در بارش سالانه محاسبه گردید و در مرحله‌ی بعدی روند تغییرات سهم بارش هر یک از ماه‌ها به کمک آزمون من‌کندال محاسبه گردید.

مراحل محاسبه‌ی این آزمون به شرح زیر است:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k)$$

که با قبول فرض H_0 توزیع در حد $n \rightarrow \infty$ نرمال است. N سری زمانی داده‌ها X_k و X_j داده‌های متوالی k ام و j ام سری است. که در این رابطه $k, j \leq n$ است و $k \neq j$ است و تابع علامت است و تابع علامت از روابط زیر بدست می‌آید:

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } \dots (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } \dots (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } \dots (x_j - x_k) < 0 \end{cases}$$

آزمون آماره‌های S میانگین صفر دارد و واریانس آن نیز از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\text{var}(s) = \frac{n - (n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t-5)}{18} \dots \text{if } \dots n > 10$$

در رابطه‌ی بالا t اندازه‌ی یک بازه‌ی زمانی در سری داده‌هاست و $\sum t$ مجموع سری زمانی داده‌هاست. برای مواردی که مدت سری زمانی داده‌ها بیشتر از ۱۰ باشد ($N > 10$)، آماره‌ی Z استاندارد شده را باید به کمک رابطه‌ی زیر محاسبه کرد.

$$z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{var}(s)}} \dots \text{if } \dots s > 0 \\ 0 \dots \text{if } \dots s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{var}(s)}} \dots \text{if } \dots s < 0 \end{cases}$$

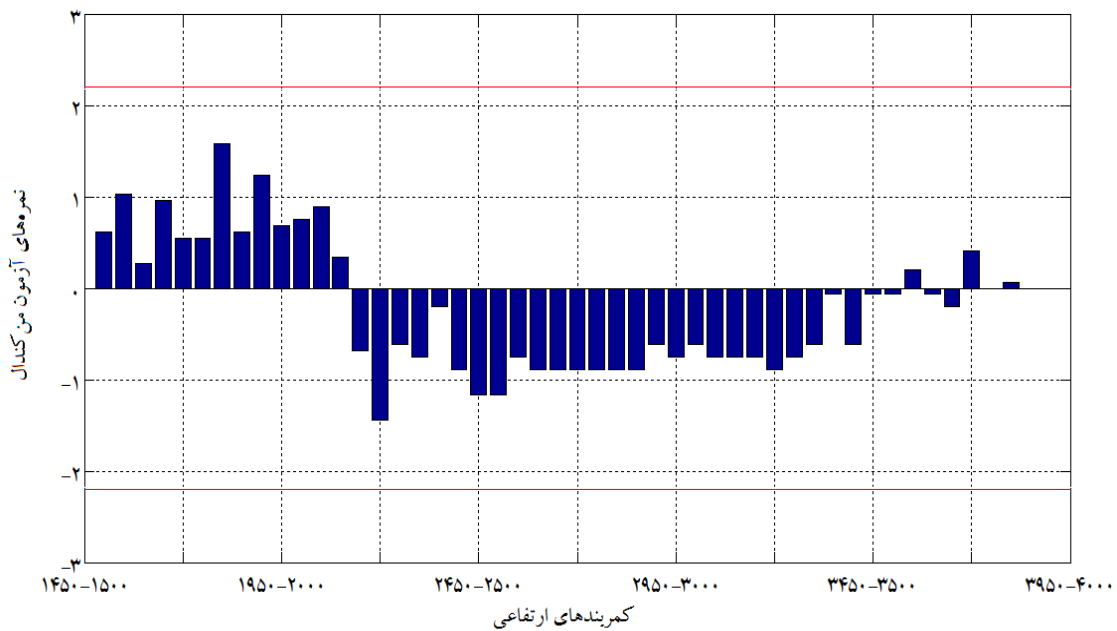
بنابراین در آزمون دو طرفه روند اگر رابطه‌ی $Z \leq Z_{\alpha/2}$ در سطح اطمینان ۹۵٪ برقرار باشد، باید فرض H_0 (تصادفی بودن داده‌ها) را پذیرفت. در غیر این صورت باید فرضیه‌ی H_1 (وجود روند) را پذیرفت (ویوکانادان، ۲۰۰۷، ۱۰۴). در این پژوهش از سطح اطمینان ۹۵٪ برای بررسی روند استفاده شده است.

یادآوری می‌شود که بررسی تغییرات روزهای برفپوشان بر روی ماه‌های خورشیدی انجام گرفته است، این در حالی است که واکاوی تغییرات رژیم بارش حوضه بر روی ماه‌های میلادی انجام شده است چراکه داده‌های بارش این پایگاه جهانی به صورت میلادی در دسترس هستند. و هدف کلی نشان دادن تأثیر تغییرات رژیم بارش بر تغییرات روزهای برفپوشان حوضه است گرچه که ماه‌های خورشیدی و میلادی از دیدگاه زمانی هماهنگ نمی‌باشند.

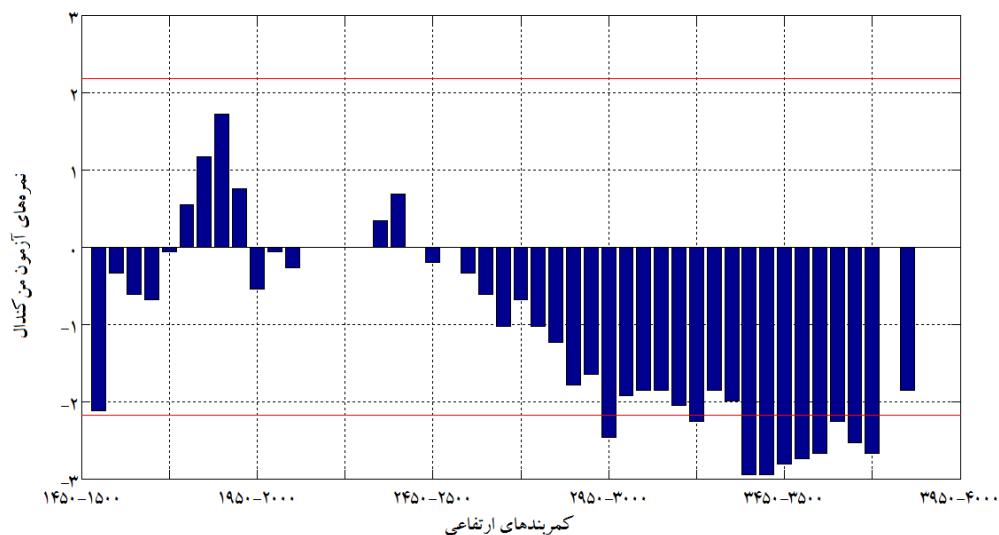
نتایج و بحث:

بررسی روند تغییرات شمار روزهای برفپوشان در ماه فروردین نشان می‌دهد در این ماه تا کمربند ارتفاعی نزدیک به ۲۲۰۰ متر روند الگوی افزایش روزهای برفپوشان دیده می‌شود اما از این کمربند به بالا تغییرات کاهشی وجود دارد البته یادآوری می‌شود که تغییرات افزایشی و یا کاهشی در کمربندهای ارتفاعی در این ماه معنادار نیست چراکه نمره‌ی آزمون من‌کنندال در هیچ کدام از کمربندهای ارتفاعی فراتر از $\pm 2/20$ نمی‌رود (شکل ۱). معناداری روند کاهشی و یا افزایشی به کمک خط سرخ‌رنگ در هر یک از شکل‌ها نمایش داده شده است و سطح اطمینان نیز ۹۵ درصد در نظر گرفته شده است. اما بررسی تغییرات روزهای برفپوشان در ماه اردیبهشت نشان می‌دهد از کمربند ارتفاعی ۲۴۵۰-۲۵۰۰ متر به بالا تغییرات رو به کاهش شمار روزهای برفپوشان دیده می‌شود و در ۱۰ کمربند ارتفاعی روند کاهشی معنادار است. در بخش‌های کم‌ارتفاع‌تر حوضه الگوهای کاهشی و افزایشی دیده می‌شود گرچه که از دیدگاه آماری معنادار نیستند (شکل ۲). نکته‌ی مهمی که می‌بایست به آن توجه داشت این است که در بخش‌های کم‌ارتفاع‌تر حوضه با توجه به کمی برف اگر هم روندی وجود داشت باشد دارای وزن زیادی نیست و چندان

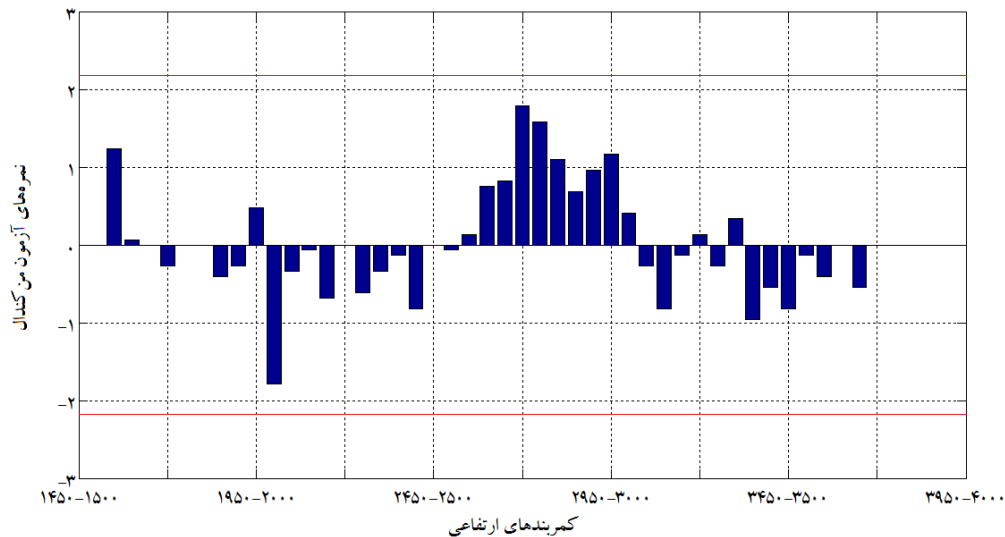
نمی‌تواند نقش مهمی را در تراز آبی حوضه بازی کند. اما در هر حال وجود یک الگوی کاهشی پایدار در کمربندهای پرارتفاع حوضه‌ی زاینده‌رود در ماه اردیبهشت نشانگر رخداد تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر در حوضه‌ی زاینده‌رود است و یک هشدار جدی است که نمی‌توان به سادگی از آن عبور کرد. اما بررسی تغییرات روزهای برفپوشان در ماه خرداد نشان می‌دهد در کمربندهای پایینی و بالایی حوضه‌ی زاینده‌رود الگوی کاهشی دیده می‌شود این در حالی است که در بخش‌های میانی حوضه در کمربندهای میان ۲۶۰۰-۲۵۵۰ تا ۳۰۵۰-۳۰۰۰ الگوی افزایش شمار روزهای برفپوشان دیده می‌شود، اما یادآوری می‌شود که در هیچ کدام از کمربندهای ارتفاعی در این ماه روند معنادار افزایشی و یا کاهشی دیده نمی‌شود (شکل ۳).



شکل ۱: تغییرات روزهای برفپوشان در کمربندهای ارتفاعی حوضه در ماه فروردین



شکل ۲: تغییرات روزهای برفپوشان در کمرندهای ارتفاعی حوضه در ماه اردیبهشت

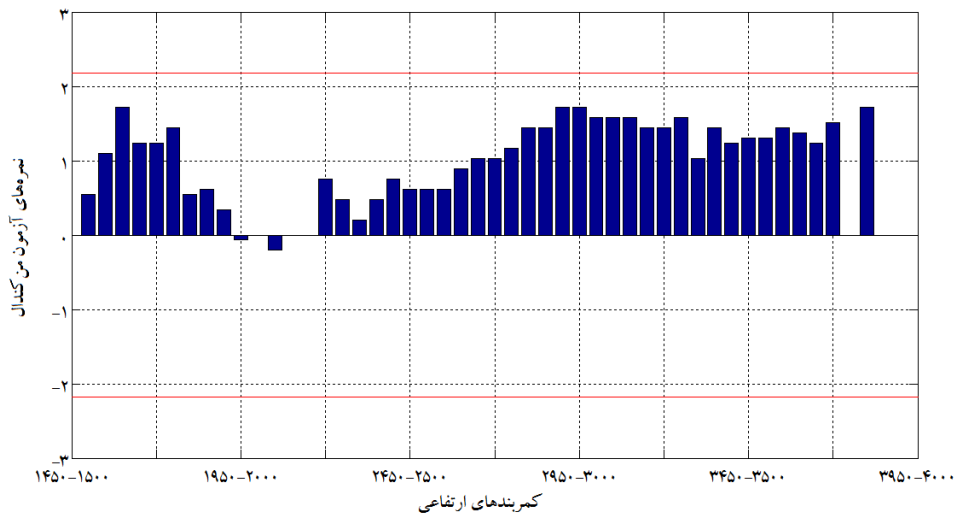


شکل ۳: تغییرات روزهای برفپوشان در کمرندهای ارتفاعی حوضه در ماه خرداد

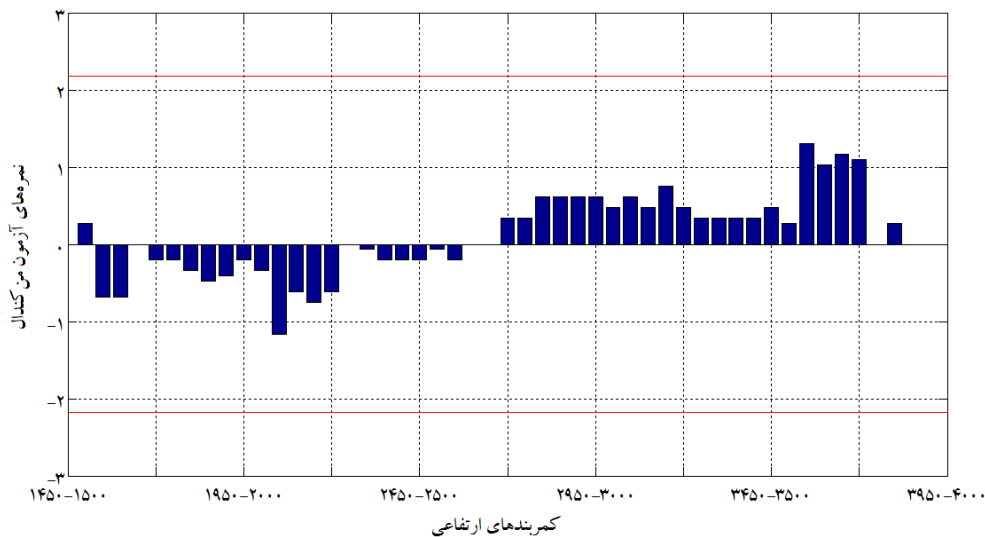
بررسی روند تغییرات شمار روزهای برفپوشان در ماه آبان گویای آن است که در این ماه به جز دو کمرند ارتفاعی، دیگر کمرندهای ارتفاعی الگوی افزایش روزهای برفپوشان را از خود نشان می‌دهند اما در هیچ کدام از آن‌ها روند معناداری دیده نمی‌شود (شکل ۴).

این که در تمامی کمرندهای ارتفاعی الگوی افزایش شمار روزهای دیده می‌شود نشانگر تغییر سازوکارهای اقلیمی در حوضه می‌باشد. بررسی تغییرات سهم بارش به کمک داده‌های مرکز آب و هواشناسی بارش جهان نشان می‌دهد رژیم

بارش در حوضه دستخوش تغییر شده است و سهم قابلی از بارش سالانه در ماه‌های پاییزی رخ می دهد (شکل ۹). ارزیابی تغییرات روزهای برفپوشان در ماه آذر نشان می‌دهد از کمربند ارتفاعی ۲۷۰۰-۲۷۵۰ متر به بالا شمار روزهای برفپوشان در همه‌ی کمربندها یک الگوی افزایشی را نشان می‌دهد این در حالی است که از کمربند ارتفاعی یادشده به پایین الگوی کاهش شمار روزهای برفپوشان دیده می‌شود اما در هیچ کدام از کمربندهای ارتفاعی روند معناداری دیده نمی‌شود.

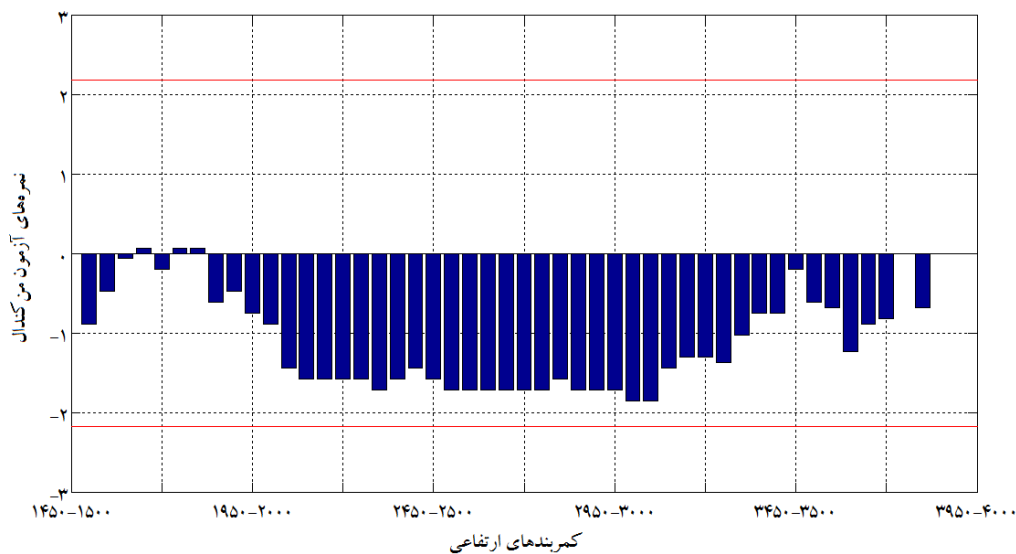


شکل ۴: تغییرات روزهای برفپوشان در کمربندهای ارتفاعی حوضه در ماه آبان

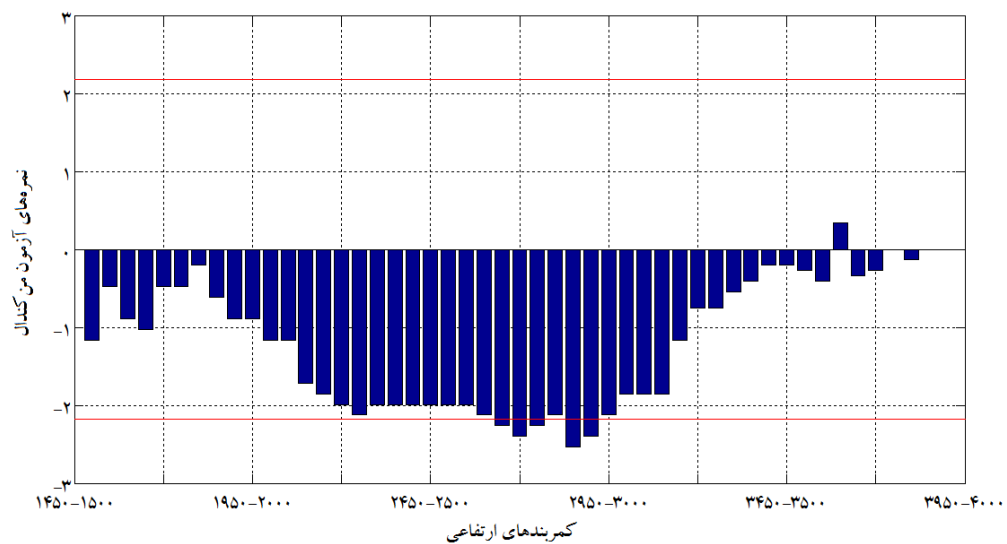


شکل ۵: تغییرات روزهای برفپوشان در کمربندهای ارتفاعی حوضه در ماه آذر

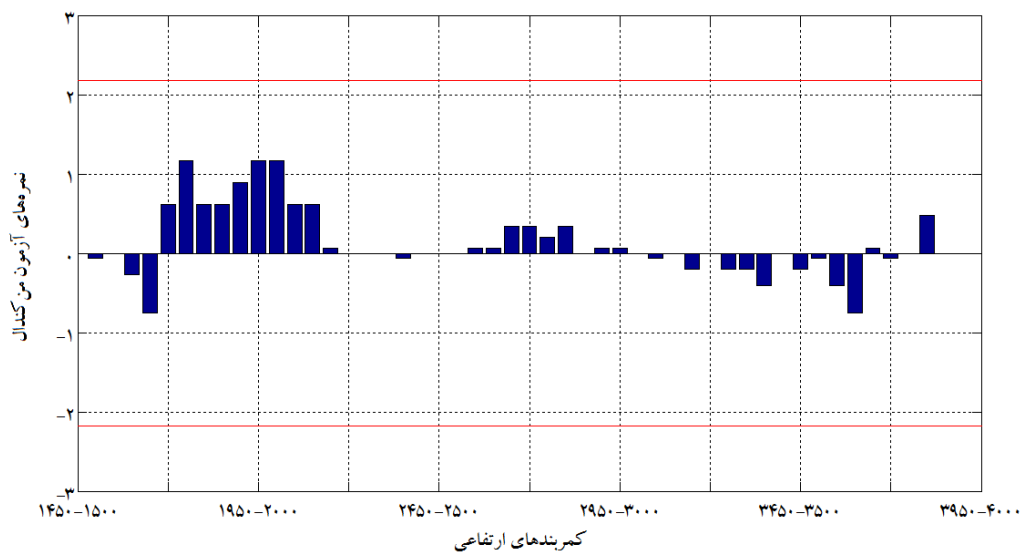
بررسی تغییرات شمار روزهای برفپوشان در دی ماه نشان می‌دهد به جز تعدادی اندک از کمربندهای ارتفاعی در دیگر کمربندها الگوی کاهشی شمار روزهای برفپوشان دیده می‌شود و باز هم مانند برخی از ماه‌ها که درباره‌ی آن‌ها بحث شد در ماه دی نیز وجود الگوهای کاهشی در همه‌ی کمربندها نشانگر تغییر در سازوکارهای اقلیمی در حوضه‌ی زاینده‌رود است. بررسی تغییرات سهم بارش نشان‌دهنده‌ی کاهش سهم بارش زمستانه از مجموع بارش سالانه است (شکل‌های ۹ و ۱۰). روند تغییرات روزهای برفپوشان در ماه بهمن نشان می‌دهد در این ماه به جز یک کمربند ارتفاعی در دیگر کمربندها الگوی کاهشی شمار روزهای برفپوشان دیده می‌شود و مانند دی ماه الگوی کاهشی پایداری در حوضه دیده می‌شود. در ماه بهمن تغییرات کاهشی شمار روزهای برفپوشان در پنج کمربند ارتفاعی معنادار است. بررسی تغییرات روزهای برفپوشان در ماه اسفند نشان می‌دهد در این ماه روند روشنی از الگوهای کاهشی و یا افزایشی دیده نمی‌شود و تغییرات روزهای برفپوشان در حوضه چندان چشم‌گیر نبوده و در هیچ کدام از کمربندها روند معناداری دیده نمی‌شود.



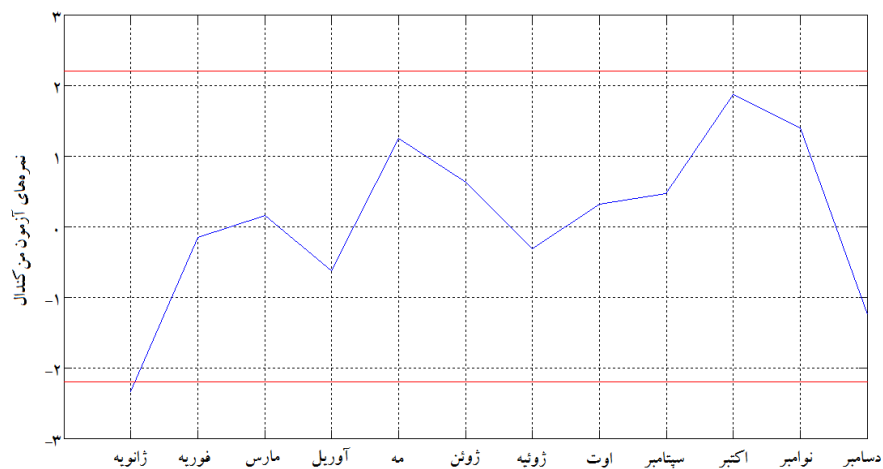
شکل ۶: تغییرات روزهای برفپوشان در کمربندهای ارتفاعی حوضه در ماه دی



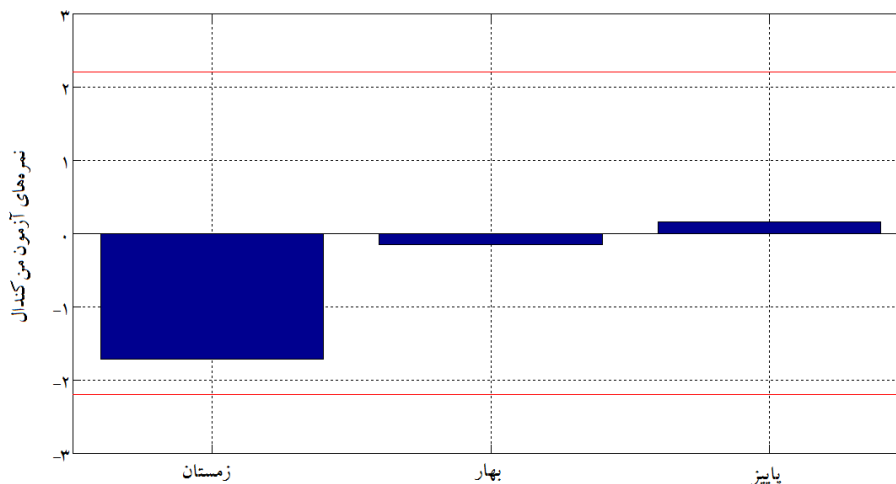
شکل ۷: تغییرات روزهای برفپوشان در کمرندهای ارتفاعی حوضه در ماه بهمن



شکل ۸: تغییرات روزهای برفپوشان در کمرندهای ارتفاعی حوضه در ماه اسفند



شکل ۹: روند تغییرات سهم بارش ماهانه در حوضه‌ی زاینده‌رود



شکل ۱۰: روند تغییرات سهم بارش فصلی در حوضه‌ی زاینده‌رود

نتیجه‌گیری:

هدف از این پژوهش بررسی تغییرات روزهای برفپوشان در حوضه‌ی زاینده‌رود می‌باشد. برای این منظور داده‌های سنجنده‌های مودیس ترا و مودیس آکوا برای بازه‌ی زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۲ به صورت روزانه و در تفکیک مکانی 500×500 متر بکار گرفته شد. بررسی‌ها نشان می‌دهد در ماه‌های فروردین و اردیبهشت در گروه‌های ارتفاعی بلند در حوضه روند کاهش شمار روزهای برفپوشان دیده می‌شود. بررسی روند تغییرات روزهای برفپوشان در ماه‌های پاییزی نشان می‌دهد در ماه‌های آبان و آذر بسیاری از کمربندهای ارتفاعی الگوی افزایش شمار روزهای برفپوشان را نشان می‌دهند، این در حالی است که در ماه‌های دی و بهمن شمار روزهای برفپوشان تقریباً در همه‌ی کمربندها رو به

کاهش گذارده است. با توجه به آن که ذوب پوشش‌های برفی در بالادست حوضه منابع آب پایین دست را در فصول گرم سال فراهم می‌کند، تغییرات کاهش روزهای برفپوشان در فصل زمستان می‌تواند اثرات بدی را به دنبال داشته باشد و توزیع رواناب در حوضه‌ی زاینده‌رود را به یک توزیع غیرنرمال سوق دهد. یافته‌های پژوهش امید (۱۳۹۳) نشان می‌دهد در منطقه‌ی زردکوه طی بازه‌ی زمانی آوریل ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۱ و همچنین سپتامبر ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۱ گستره‌ی پوشش برف تغییرات کاهش داشته است که نشان می‌دهد تغییرات کاهش برف از سال‌های گذشته در سرچشمه‌های رودخانه‌ی زاینده‌رود رخ داده است. همچنین برای بررسی چرایی و خاستگاه روند افزایشی شمار روزهای برفپوشان در پاییز و روند کاهش آن در زمستان تغییرات سهم بارش پاییزه و زمستانه به کمک داده‌های مرکز آب و هواشناسی بارش جهان بررسی گردید. یافته‌ها نشان داد سهم بارش زمستانه نسبت به بارش سالانه در حوضه رو به کاهش اما سهم بارش پاییزه رو به افزایش است. همین موضوع رژیم برف‌گیری حوضه را دستخوش دگرگونی کرده است. این نکته را نیز نباید فراموش کرد که برف‌گیری زمستانه نقش بسیار بیش‌تری در ترازنامه‌ی آبی بازی می‌کند، در ماه‌های زمستانی به سبب وجود شرایط سرمایش کافی، امکان انباشت و ماندگاری پوشش برف نسبت به ماه‌های پاییزه بیش‌تر است. و همچنین پوشش‌های برف زمستانه نقش مهم‌تری را در تأمین منابع آب حوضه دارند، مطالعاتی که در زمینه‌ی بررسی تغییرات دما و بارش و فرین‌های بارشی بر روی حوضه‌ی زاینده‌رود انجام گرفته گویای آن است که بارش حوضه رو به کاهش است. بنابراین افزایش دما، کاهش بارش، تغییرات رژیم بارش و به دنبال این شرایط کاهش منابع برفی در حوضه‌ی زاینده‌رود دست در دست هم سبب شده است تا حوضه‌ی زاینده‌رود با وضعی رو به رو شود که تا به حال سابقه نداشته است. همه‌ی این تغییرات یک زنگ خطر جدی است تا فکری به حال وضع پریشان حوضه‌ی زاینده‌رود بشود.

منابع:

- امیدی قلعه محمدی، محبوبه، (۱۳۹۳)، بررسی تغییرات سطوح پوشش برف در ارتفاعات زردکوه بختیاری با استفاده از سنجش از دور، دانشگاه سیستان و بلوچستان
- فتاحی، ابراهیم؛ دلاور، مجید؛ قاسمی، الهه، (۱۳۹۰)، شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه‌های کوهستانی با استفاده از مدل SRM (مطالعه‌ی موردی، حوضه‌ی آبریز بافت)، نشریه‌ی تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، شماره‌ی ۲۳، صص ۱۴۱-۱۲۹
- مسعودیان، ابوالفضل؛ کیخسروی کیانی، محمد صادق رعیت پیشه، فاطمه، (۱۳۹۳)، معرفی و مقایسه‌ی پایگاه داده‌ی اسفزاری با پایگاه‌های داده‌ی GPCP، GPCP و CMAP، فصلنامه‌ی تحقیقات جغرافیایی، شماره‌ی پیاپی ۱۱۲، صص ۷۳-۸۸
- میریعیقوب زاده، میرحسن؛ قنبرپور، محمدرضا، (۱۳۸۹)، بررسی کاربرد نقشه‌های پوشش برفی حاصل از تصاویر ماهواره‌ای مودیس در مدل‌سازی رواناب ذوب برف (مطالعه‌ی موردی، حوضه‌ی آبخیز سد کرج). مجله‌ی علوم زمین، شماره‌ی ۷۲، صص ۱۴۸-۱۴۱
- وفاخواه، مهدی؛ محسنی ساروی، محسن؛ مهدوی، محمد؛ علوی پناه، کاظم، (۱۳۹۲)، مقایسه‌ی سطح پوشش برف در تصاویر ماهواره‌ای نوا و سنجنده‌ی مودیس (مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبخیز طالقان). مجله‌ی پژوهش‌های آبخیزداری، شماره‌ی ۹۲، صص ۹۴-۸۰
- Akyurek, Z., Surer, S., & Beser, O. (2011). Investigation of the snow-cover dynamics in the Upper Euphrates Basin of Turkey using remotely sensed snow-cover products and hydro meteorological data. *Hydrological Process*, 25: 3637-3648.
- Atif, I. Mahboob, M. A. Iqbal, J. (2015). Snow cover area change assessment in 2003 and 2013 using MODIS data of the Upper Indus Basin, Pakistan. *Journal of Himalayan Earth Sciences*, 48: 117-128

- Bergeron, J . Royer, A . Turcotte, R . 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*, 28: 4626-4639
- Brown, D . Robinson, D . (2011). Northern Hemisphere spring snow cover variability and change over 1922-2010 including an assessment of uncertainty. *The Cryosphere*, 5: 219-229
- Brown, R. D., Derksen, C. (2013). Is Eurasian October snow cover extent increasing. *Environmental Research Letters*, 8: 1-7.
- Brown R, Armstrong RL., (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.
- de Ruyter de Wildt M, Seiz G, Grün A. (2006). Snow mapping using multi-temporal Meteosat-8 data. *EARSel Proc.* 5: 18-31.
- Derksen, C . Brown, R . (2012). Spring snow cover extent reductions in the 2008-2012 period exceeding climate model projections. *Geophysical Research Letter*, 39: 1-6
- 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: 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 Sensing*, 6: 12752-12775
- Foster, JL . Hall, DK . Kelly, REJ, Chiu, L . (2009). Seasonal snow extent and snow mass in South America using SMMR and SSM/I passive microwave data (1979-2006). *Remote Sensing of Environment*, 113: 291-305
- Gafurov, A . Bardossy, A . (2009), Cloud removal methodology from MODIS snow cover product, *Hydrology and Earth System Sciences*. 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*, 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 Sensing of Environment*, 114: 496-503.
- Jain, S . Thakural, L . N . Singh, R . D . Lohani, A . K . (2011). Snow cover depletion under changed climate with the help of remote sensing and temperature data. *Natural Hazards*, 58: 891-904
- 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*, DOI: 10.1002/joc.4086
- Ke, C . Liu, X . (2014), Modis-observed spatial and temporal variation in snow cover in Xinjiang, China; *Climate Research*, 59: 15-26
- Parajka, J . Bloschl, G . (2008), Spatio-temporal combination of MODIS images – potential for snow cover mapping. *Water Resources Research*, 44: 1-13
- Romanov, P., Tarpley, D., Gutman, G., Carroll, TR. (2003). Mapping and monitoring of the snow cover fraction over North America. *Journal of Geophysical Research*. 108: 1-15
- 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
- Tang, Z . Wang, J . Li, H . Yan, L . (2013). Spatiotemporal changes of snow cover over the Tibetan plateau based on cloud-removed moderate resolution imaging spectroradiometer fractional snow cover product from 2001 to 2011, *Journal of Applied Remote Sensing*, 7: 1-15
- Tekeli, Y . Tekeli, A . E . (2012). A technique for improving MODIS standard snow products for snow cover monitoring over Eastern Turkey. *Arabian Journal of Geoscience*, 5: 353-363
- Udnes H, Alfnes CE, Andreassen LM. (2007). Improving runoff modeling using satellite-derived snow cover area. *Nord. Hydrol.* 38: 21-32
- Vivekanandan, N. (2007). Analysis of Trend in Rainfall Using Non Parametric statistical Methods; *International symposium on rainfall rate and radio wave propagation*, American institute of physics. pp. 101-113.
- 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: 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. *Hydrological Processes*. 23: 419-429
- 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
- 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.

Evaluation of changes in snow-covered days in the elevation levels of Zayanderoud River Basin

Seyed Abolfazl Masoudian*¹, Mohammad Sadegh Keikhosrvai Kiany²

1- Professor of climatology, university of Esfahan

Email: porcista@yahoo.ie

2- PHD student of climatology, university of Esfahan

Received: 2016.08.04

Accepted: 2017.03.05

Abstract

The aim of this study is to examine the changes of snow-covered days in the elevation levels of Zayanderoud River Basin. The MODIS Terra and MODIS Aqua data were applied in the resolution of 500×500 m in the daily time scale from 2003 to 2014. A Digital Elevation Model of the Basin that was the same as snow data both in spatial resolution and projection system was extracted over the Basin. To explore the trend for snow-covered days for each of the elevation levels, first the frequency of snow-covered days was calculated over each of the elevations from 1500 to 3850 meters at the intervals of 50 meter and then the trend was examined using Mann-Kendall trend test. The investigations showed that in April and May the number of snow-covered days indicates a decreasing tendency in the high elevation levels of the Basin. In the months of November and December, the number of snow-covered days has shown a positive tendency over many of the elevation levels. The examinations of changes in precipitation regimes show that the shares of precipitation in the fall months have increased while the shares of winter months have decreased. It seems that the variation of precipitation shares have influenced the snow cover regime of the Basin, and snow cover decreasing trend accompanied by changes in the regime could have adverse effects for the Basin.

Keywords: MODIS Terra, MODIS Aqua, Mann-Kendall Test, Zayanderoud Basin.