

تغییرات پوشش برف در رشته‌کوه زاگرس با استفاده از داده‌های روزانه

سنجنده MODIS

پیمان محمدی احمدمحمودی^۱ و اسداله خورانی^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم جغرافیایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

۲. دانشیار، گروه علوم جغرافیایی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

(دریافت: ۹۷/۲/۱۸، پذیرش نهایی: ۹۸/۲/۲۴)

چکیده

هدف از انجام این پژوهش تجزیه و تحلیل روند تغییرات پوشش برف در محدوده رشته‌کوه زاگرس جهت واکاوی نوسانات پوشش برف طی دوره زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۶ است. در این پژوهش از داده‌های روزانه سنجنده MODIS جهت استخراج و بررسی تغییرات سطح پوشش برف (SCA) و برف‌مرز (SL) برای ماه‌های دارای پوشش برف طی سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۱۶ شده است. برای ارزیابی صحت تغییرات پوشش برف از آمار میانگین بارش (بدون تفکیک برف و باران) ایستگاه‌های سینوپتیک قرارگرفته در ارتفاع بالاتر از ۱۵۰۰ متر استفاده شد و جهت ارزیابی دقت تصاویر MODIS در استخراج سطح پوشش برف از ۱۲ فریم تصویر سنجنده ASTER به‌عنوان نقشه صحت زمینی استفاده شد. تحلیل روند تغییرات پوشش برف و برف‌مرز با استفاده از آزمون من-کندال نشان می‌دهد که پوشش برف و برف‌مرز به‌طور کلی چه در سطح معناداری ۹۹ درصد و چه ۹۵ درصد فاقد روند است. بررسی آمارهای پوشش برف همراه نشان می‌دهد که سال ۲۰۰۹ نقطه عطفی در پوشش برف زاگرس به‌شمار می‌رود و از این سال به بعد تا سال ۲۰۱۶ برای تمامی ماه‌ها به‌جز ماه نوامبر تغییرات پوشش برف کاهشی است. بررسی تغییرات میانگین سطح پوشش برف طی سال‌های ۲۰۰۹-۲۰۱۶ نسبت به سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۸ نشان می‌دهد که ماه ژانویه با بیشترین کسری پوشش برف به میزان ۵۵/۱۱- درصدی در دامنه ارتفاعی ۱۱۶۲-۴۲۱۲ و کسری بارش ۴۵/۸۵- برای ایستگاه‌های سینوپتیک مواجه بوده است. ارزیابی دقت تصاویر پوشش برف MODIS نسبت به تصاویر ASTER نیز نشان می‌دهد که مقادیر ضرایب R^2 ، RMSE و MAPE بین سطح پوشش برآوردی توسط هر دو تصویر به ترتیب ۰/۹۹، ۴۹/۳ و ۲۱/۵۱ درصد بوده است.

واژه‌های کلیدی: پوشش برف، زاگرس، MODIS، منابع آب.

۱. مقدمه

ایران که در عرض‌های میانی قرار دارند، جهت کلی کوه‌ها در معرض وزش موج بادهای غربی قرار دارند که منجر به ریزش میزان زیادی بارش برف می‌شود (عباسی و همکاران ۲۰۱۱). میانگین بارش در این محدوده ۵۶۰ میلی‌متر می‌باشد که عمدتاً از نوع برف است (مسعودیان، ۱۳۸۸) در مقایسه با میانگین بارش ایران که ۲۵۰ میلی‌متر است، بیان‌کننده اهمیت این محدوده در تأمین آب ایران است. این محدوده سرچشمه رودخانه‌های دائمی است که به‌سمت سرزمین‌های خشک هم‌جوار می‌رسند (مسیح و همکاران، ۲۰۱۱)، به‌طوری‌که حیات و ممات آبی بیش از ۱۰ میلیون نفر از جمعیت کشور به منابع آبی و آب حاصل از برف محدوده‌ای مانند کوه‌رنگ که محدوده حداکثر بارشی این کوهستان است وابسته است (رحیمی و داناپور،

پوشش برف، بزرگ‌ترین جزء واحد کرایوسفر است که هر سال حدود ۴۶ میلیون کیلومتر مربع (حدود ۱۷/۸ میلیون مایل مربع) از سطح زمین را پوشش می‌دهد و حدود ۹۸ درصد از پوشش برف زمین در نیمکره شمالی واقع شده است (NSIDC). ذخیره و پوشش فصلی برف آب موردنیاز $\frac{1}{6}$ جمعیت دنیا را تأمین می‌کند (بارنت و همکاران، ۲۰۰۵). گسترش و وردش‌پذیری پوشش‌های برفی فراسنج‌های مهمی در سامانه‌های آب‌شناختی و اقلیم‌شناختی است (برون و آرم‌استرانگ، ۲۰۰۸)، همچنین پوشش برف و تغییرات زمانی آن، پارامترهای اساسی در مطالعات هیدرولوژیکی و اقلیم‌شناسی در مناطق با عرض جغرافیایی بالا و متوسط می‌باشد (زانگ و همکاران، ۲۰۱۰). در محدوده رشته‌کوه‌های جنوب و جنوب غربی

(۱۳۹۱). این محدوده ۴۰ درصد آب ایران را در خود جای داده است. به دلیل پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی مانند گردشگری زمستانی، حمل و نقل، محیط زیست، مدیریت زمین، آب و آبیاری و دانستن توزیع پوشش برف در حوضه آبخیز جهت استفاده از مدل های رواناب؛ نظارت و ارزیابی پوشش برف فصلی ضروری است و نیاز به نظارت مستمر دارد (نگی و همکاران، ۲۰۰۹). ایستگاه های زمینی اندازه گیری برف در این مناطق توسعه چندانی ندارند و با توجه به شرایط محیط اندازه گیری در داخل محدوده کوهستانی و برف گیر مشکل و محدوده است، بنابراین نظارت بر تغییرات مکانی پوشش برف منطقه (Snow Cover Area) با مشکل مواجه خواهد شد (فیاض و همکاران، ۲۰۱۳)، افزون بر این اندازه گیری های زمینی توانایی به دست آوردن اطلاعات برف را در مقیاس محلی و زمان کوتاه دارا هستند و در مقیاس منطقه ای و جهانی دقت لازم را ندارند (آتیف و همکاران، ۲۰۱۵). با افزایش سکوهای ماهواره ای، سنجش از دور به عنوان یک ابزار مفید برای نظارت بر پوشش برف از مناطق گسترده، ناهموار و دورافتاده در مقیاس منطقه ای و جهانی اطلاعات سالم و موفقی را به دست می دهد (یانگ و همکاران، ۲۰۱۴). سنجنده MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) نقشه های با قابلیت مشاهده پوشش برفی با استفاده از شاخص پوشش برفی (Normalized-Difference Snow Index) را در مقیاس های وسیع جهت استفاده در مطالعات منطقه ای فراهم می نماید (سالامونسون و اپل، ۲۰۰۴). به دلیل ارائه تصاویر روزانه با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر، تصاویر سنجنده MODIS قرار گرفته بر روی سکوهای ترا و اکوا یک منبع داده مناسب برای برآورد پوشش برف (هال و همکاران، ۲۰۰۲؛ وانگ و همکاران، ۲۰۰۸) به شمار می روند (دوزیر و پینتر، ۲۰۰۴). تفکیک زمانی بالا و مکانی متوسط تصاویر MODIS باعث شده تا پژوهش های زیادی با استفاده از تصاویر MODIS جهت مطالعه، پایش و روند تغییرات

پوشش برف با استفاده از تصاویر این سنجنده صورت گیرد؛ دیتز و همکاران (۲۰۱۲) تغییرات پوشش برف اروپا را طی سری زمانی ۲۰۱۱-۲۰۰۰ با استفاده از تصاویر MODIS مطالعه کردند که نتایج تحقیق آن ها حاکی از کاهش پوشش برف در اروپا بوده است. سونمز و همکاران (۲۰۱۴) پوشش برف ترکیه را با استفاده از تصاویر روزانه سنجنده MODIS در فصول چهارگانه طی سال های ۲۰۱۲-۲۰۰۴ با استفاده از آزمون من-کندال مورد رندیابی قراردادند و فصول بهار و تابستان را دارای روند منفی، پاییز روند مثبت و زمستان را ترکیبی از روند مثبت و منفی دانستند. طاهری و همکاران (۲۰۱۵) روند بارش و پوشش برف و خصوصیات هیدرولوژیکی حوضه آستور (همالیای غربی) را طی دوره زمانی ۲۰۱۲-۲۰۰۰ با تصاویر ۸ روزه پوشش برف سنجنده MODIS مورد مطالعه قراردادند و روند پوشش برف آن را ثابت و بدون تغییر دانستند. هوآنگ و همکاران (۲۰۱۷) پوشش برف فلات تبت را با استفاده از تصاویر روزانه سنجنده MODIS طی دوره زمانی ۲۰۱۴-۲۰۰۱ با استفاده از آزمون ناپارامتریک من-کندال مورد رندیابی قراردادند که نتایج آن ها نشان از کاهش معنی دار سطح پوشش برف در سطح فلات بالآخص نواحی مرتفع آن بود. هدف از انجام این پژوهش آشکارسازی و تحلیل تغییرات از سطح میانگین پوشش برف و روند آن در محدوده رشته کوه زاگرس با استفاده از تصاویر روزانه سنجنده MODIS جهت واکاوی نوسانات پوشش برف در این محدوده است.

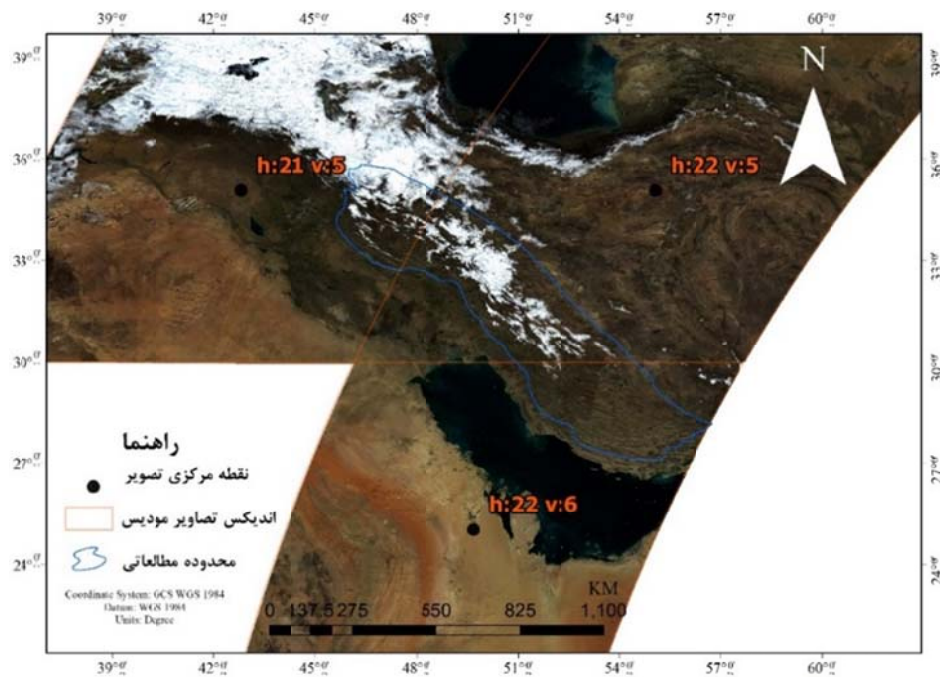
۲. مواد و روش ها

۲-۱. محدوده مطالعاتی

رشته کوه زاگرس به عنوان مانعی در برابر توده های هوا وارد شده از غرب و جنوب غرب عمل می کند (شکل ۱) بنابراین قسمت های واقع شده در شمال و شمال شرق کوه زاگرس بارش کمتری را نسبت به سایر نقاط دریافت می کنند. تأثیر رشته کوه زاگرس در دامنه های غربی

شرایط بارش را به‌دنبال دارد (قاسمی فر و ناصرپور، ۱۳۹۳). این ناحیه دارای سه محدوده بارشی؛ ناحیه کم بارش جنوبی میانگین بارش دریافتی ۲۸۲ میلی‌متر، ناحیه نیمه پربارش زاگرس شمالی؛ میانگین بارش بر روی این ناحیه حدود ۵۰۰ میلی‌متر و ناحیه نیمه پربارش زاگرس جنوبی؛ این ناحیه دامنه‌های غربی زاگرس و بخش‌های پربارش زاگرس را در برمی‌گیرد. میانگین بارش بر روی این قلمرو ۵۶۰ میلی‌متر است. حدود ۴/۴ درصد از مساحت کشور در قلمرو ناحیه نیمه پربارش زاگرس جنوبی جامی‌گیرد و پربارترین رودخانه‌های ایران از همین ناحیه سرچشمه می‌گیرند زیرا گذشته از وسعت و بارش قابل توجه به‌دلیل ارتفاع زیاد، ریزش‌های این ناحیه عمدتاً از نوع برف است و امکان بارش آن فراهم است. ریزش‌های جامد در محدوده زاگرس تأمین‌کننده بخش قابل‌توجهی از آب موردنیاز ایران مرکزی، جلگه خوزستان، مناطق میانی زاگرس و آبخوان‌های زیرزمینی محسوب می‌شود (مسعودیان، ۱۳۸۸).

آشکارتر از سایر نقاط می‌باشد، که دلیل آن فاصله‌ی کمتر نسبت به منبع رطوبتی و قرار گرفتن در مسیر توده‌هواهای واردشده به منطقه می‌باشد (کوثری و همکاران، ۲۰۱۱). حداکثر بارش منطقه در فصل سرد و در دامنه‌های غربی و کمی پایین‌تر از چکاد کوه‌ها واقع شده است، درحالی‌که مقدار حداکثر بارش فصل گرم به‌صورت پراکنده در سطح کوهستان رخ می‌دهد. تأثیر رشته‌کوه زاگرس بر توزیع فضایی بارش در فصل سرد بیشتر از فصل گرم است، زاگرس با واقع شدن بر روی مسیرهای سیکلونی که خاورمیانه را تحت تأثیر قرار می‌دهند، بیشترین رطوبت و بارندگی را در دامنه‌های غربی خود دریافت می‌دارد. این سیکلون‌ها عمدتاً در دوره سرد سال با دو منشأ غربی و جنوب غربی به‌عنوان سیکلون‌های مدیترانه و سودان منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهند (علیجانی، ۱۳۹۱؛ مدرس و سیلوا، ۲۰۰۷). اقلیم در این توده کوهستانی (زاگرس) به‌شدت تحت تأثیر عامل ارتفاع می‌باشد به‌طوری‌که با افزایش ارتفاع دما کاهش یافته و کاهش دما خود تغییر در



شکل ۱. موقعیت محدوده مطالعاتی.

جدول ۱. ایستگاه‌های سینوپتیک قرارگرفته بالاتر از ارتفاع ۱۵۰۰ متر جهت بررسی تغییرات بارش در گستره محدوده مطالعاتی.

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع از سطح دریا
نورآباد	۴۸/۰۰	۳۵/۰۵	۱۸۵۹/۱۰	خمین	۵۰/۰۸	۳۳/۶۵	۱۸۳۵
بروجرد	۴۸/۷۵	۳۳/۹۲	۱۶۲۹	دورود	۴۹/۰۷	۳۳/۴۸	۱۵۲۶/۷۰
ملایر	۴۸/۸۵	۳۴/۲۵	۱۷۷۰/۸۰	ازنا	۴۹/۴۲	۳۳/۴۵	۱۸۷۱/۹۰
الشتر	۴۸/۲۵	۳۳/۸۲	۱۵۶۷/۲۰	بروجن	۵۱/۳۰	۳۱/۹۵	۲۱۹۷
الیگودرز	۴۹/۷۰	۳۳/۴۰	۲۰۲۲	سامان	۵۰/۹۳	۳۲/۴۵	۲۰۵۷
داران	۵۰/۳۷	۳۲/۹۷	۲۲۹۰	سمیرم	۵۱/۵۷	۳۱/۳۳	۲۲۷۴
کوه‌رنگ	۵۰/۱۲	۳۲/۴۳	۲۲۸۵	ایزدخواست	۵۲/۱۲	۳۱/۵۳	۲۱۸۸
شهرکرد	۵۰/۸۵	۳۲/۲۸	۲۰۴۸/۹۰	بوانات	۵۳/۶۷	۳۰/۴۷	۲۲۳۱
لردگان	۵۰/۸۲	۳۱/۵۲	۱۵۸۰	تخت جمشید	۵۲/۹۰	۲۹/۹۳	۱۶۰۵
شهرضا	۵۱/۸۳	۳۱/۹۸	۱۸۴۵/۲۰	نجف آباد	۵۱/۳۸	۳۲/۶۰	۱۶۴۱
آباده	۵۲/۶۷	۳۱/۱۸	۲۰۳۰	ریمله	۴۸/۴۲	۳۳/۶۵	۱۶۵۰
اقلید	۵۲/۶۳	۳۰/۹۰	۲۳۰۰	استهبان	۵۴/۰۷	۲۹/۰۸	۱۶۹۰
یاسوج	۵۱/۶۸	۳۰/۸۳	۱۸۳۱/۵۰	ارسنجان	۵۳/۲۷	۲۹/۹۳	۱۷۰۳
سدردوزن	۵۲/۴۳	۳۰/۲۲	۱۶۲۰	خنداب	۴۹/۱۸	۳۴/۴۰	۱۷۳۹
زرقان	۵۲/۷۲	۲۹/۷۸	۱۵۹۶	تویسرکان	۴۸/۴۳	۳۴/۵۵	۱۷۸۳/۲۰
نیریز	۵۴/۳۳	۲۹/۲۰	۱۶۳۲	فرخشهر	۵۰/۹۳	۳۲/۳۰	۲۰۶۵
نهادند	۴۸/۴۲	۳۴/۱۵	۱۶۸۰	سپیدان	۵۲	۳۰/۲۳	۲۲۰۱
گلپایگان	۵۰/۲۸	۳۳/۴۷	۱۷۸۰	صفاشهر	۵۳/۰۸	۳۰/۵۸	۲۲۵۱
سنقرولیایی	۴۷/۵۸	۳۴/۷۸	۱۷۰۰	زرین شهر	۵۱/۳۶	۳۲/۳۶	۱۶۸۰

۲-۲. دوره زمانی پژوهش

ابتدایی و پانزدهم هرماه محاسبه شد و سپس با محاسبه میانگین سطح پوشش برف روزهای ابتدایی و پانزدهم هرماه، این میانگین به‌عنوان میانگین سطح پوشش برف هرماه در نظر گرفته شده است که در مجموع داده‌های پوشش برف و سایر داده‌های مورد استفاده پژوهش و منبع دریافت آن‌ها شامل جدول ۲، هستند.

دوره زمانی این پژوهش شامل سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۱ است که به دلیل حجم و تعداد زیاد تصاویر و ماهیت ماندگاری پوشش برف، این پارامتر به صورت ۱۵ روزه مورد پایش قرار گرفته است. برای ماه‌های پایش شده (نوامبر، دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس، آوریل، می و ژوئن)، سطح پوشش برف روزهای

جدول ۲. داده‌های مورد استفاده، تعداد و منابع دریافت هرکدام.

منبع دریافت	تعداد	داده مورد استفاده
پایگاه ملی داده یخ و برف (NSIDC)	۷۶۸ فریم	محصولات روزانه پوشش برف MODIS
سازمان هواشناسی کشور	۳۸ ایستگاه	مجموع بارش ماهانه ایستگاه سینوپتیک
Earthexplorer.usgs.gov	۱۴ فریم	لایه رقومی ارتفاع STRM
سازمان فضایی کشور	۱۲ فریم	تصاویر ASTER

متادیتای این محصولات دارای یک کد است که در این پژوهش کد ۲۰۰ که نماینده سطوح پوشیده از برف می‌باشد مورداستفاده قرار گرفته است. در این محصول، پوشش برف با استفاده از ماسک ابر، از ابر جداسازی شده و برای انجام محاسبات ژئومتریک و تحلیل سطح پوشش برف و برف‌مرز مورد پردازش و وکتوری‌سازی (Vector) قرار گرفته است.

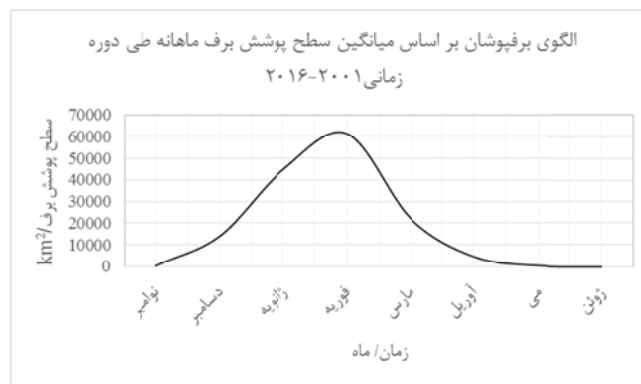
۲-۳-۱. محاسبه الگوی برف پوشان

منظور از ماه‌های برف پوشان، تعداد ماه‌هایی است که رشته‌کوه زاگرس دارای پوشش برف است (کیخسروی کیانی و مسعودیان، ۱۳۹۶) و الگوی برف پوشان با توجه به منبع بارش‌های جامد زاگرس که چه زمانی شروع و چه زمانی خاتمه می‌یابند، نشان می‌دهد که به‌طور کلی زمان شروع ریزش برف، رسیدن به اوج پوشش برف، خاتمه ریزش و زمان ذوب برف‌های ذخیره‌شده در سطح زاگرس در چه ماهی حادث می‌شود. برای محاسبه و استخراج الگوی برف پوشان از میانگین سطح پوشش برف هر ماه، طی ۱۶ سال استفاده شده است. مطابق این الگو (شکل ۲) در ماه نوامبر که زمان آغاز ریزش برف است، میانگین سطح پوشش برف در طول ۱۶ سال، ۲۸۹ کیلومتر مربع، در ماه دسامبر ۱۴۰۳، ماه ژانویه ۴۴۷۷۲/۶۳، ماه فوریه که زمان حداکثر پوشش برف است ۶۱۳۴۱/۵۴، ماه مارس ۲۲۱۸۷، ماه آوریل ۴۴۶۱/۸۱، می ۴۷۸ و ماه ژوئن ۵۵/۸۷ کیلومتر مربع است.

۲-۳. استخراج سطح پوشش برف با داده‌های ماهواره‌ای در این پژوهش از محصولات روزانه پوشش برف (MOD10A1) از ماهواره Terra که از ماه مارس ۲۰۰۰ و (MYD10A1) از ماهواره Aqua که از ژوئیه سال ۲۰۰۲ در دسترس است، به‌منظور استخراج نواحی پوشیده از برف (SCA) در روز ابتدایی و پانزدهم هرماه استفاده شده است. توان تفکیک هر پیکسل این محصول ۵۰۰ متر است که بر اساس الگوریتم Snow Map مطابق رابطه ۱، برای تصاویر MODIS استخراج شده‌اند (هال و همکاران، ۱۹۹۵).

$$NDSI = \frac{Green-SWIR}{Green+SWIR} = \frac{MODIS,b4-MODIS,b6}{MODIS,b4+MODIS,b6} \quad (1)$$

در این رابطه؛ NDSI شاخص نرمال شده پوشش برف است که پس از کسر پوشش ابر، سطوح آبی و سایه‌ها به‌واسطه آستانه‌گذاری، سطح پوشش برف را محاسبه می‌کند، Green طول‌موج سبز است که منطبق بر باند ۴ سنجنده MODIS با پهنای باند ۰/۵۶۵-۰/۵۴۵ میکرون است و SWIR: طول‌موج مادون‌قرمز کوتاه است که منطبق بر باند ۶ سنجنده MODIS با پهنای باند ۱/۶۵۲-۱/۶۲۸ نانومتر است (کلاین و بارنت، ۲۰۰۳). از آنجایی که باند ۶ سنجنده MODIS که بر روی ماهواره Aqua مستقر است غیرفعال است، از باند ۷ با پهنای باند ۲/۱۵-۲/۱۵۵ میکرون برای تولید محصول پوشش برف MYD10A1 استفاده شده است (ریگس و هال، ۲۰۰۴؛ دیست و همکاران، ۲۰۱۲). هر پوشش زمین در فایل



شکل ۲. الگوی برف پوشان زاگرس بر اساس میانگین پوشش برف ماهانه زاگرس طی دوره زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۶.

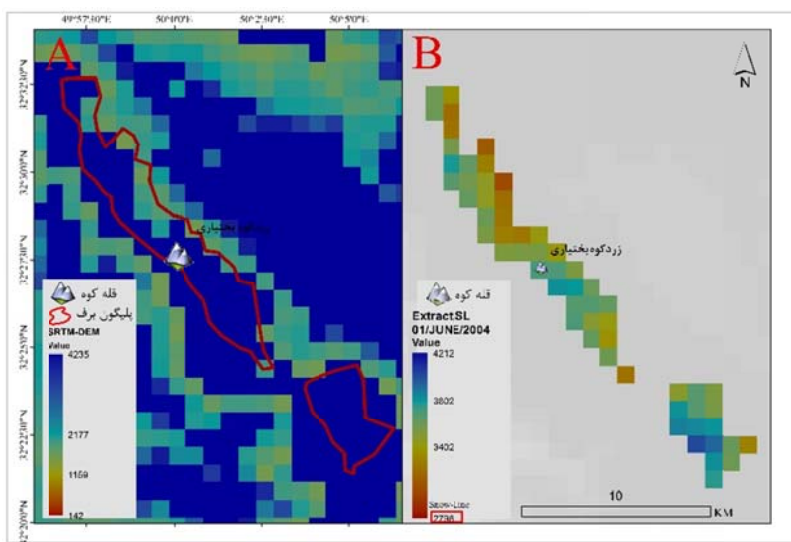
۲-۴. برآورد تغییرات ارتفاعی پوشش برف

برفمرز (Snow Line)، مرز گذار اراضی دارای پوشش برف و اراضی فاقد پوشش برف است و دارای مقیاس‌های زمانی روزانه، ماهانه، سالانه و چندساله است (هانتل و مور، ۲۰۱۲). تغییرات ماهانه و سالانه برفمرز فاکتورهای کلیدی هستند که نشان‌دهنده تغییرات زمانی پوشش برف و مدت‌زمان بارش برف است (کراژکی و همکاران، ۲۰۱۴). در این پژوهش هم‌زمان با بررسی روند تغییرات پوشش برف، روند تغییرات برفمرز نیز مورد مطالعه قرار گرفته است بدین‌صورت که در روز ابتدایی و پانزدهم پایین‌ترین حد ارتفاعی گسترش برف محاسبه و پس از محاسبه میانگین برفمرز این دو تاریخ، عدد به‌دست‌آمده به‌عنوان میانگین برفمرز برای هرماه در نظر گرفته شده است. مطالعه تغییرات برفمرز هم‌زمان با سطح پوشش برف علاوه بر آگاهی از سطوح ارتفاعی برف‌گیر در هر ماه، اثر تغییرات پوشش برف را بر برفمرز در هر ماه نمایان می‌سازد. برای محاسبه برفمرز هم‌زمان با سطح پوشش برف، از مدل رقومی ارتفاع (Digital Elevation Model) با دقت زمینی ۹۰ متر (Shuttle Radar Topography Mission) استفاده شده است. با قرار دادن نقشه‌های پوشش برف بر روی مدل رقومی ارتفاع زمین و برش

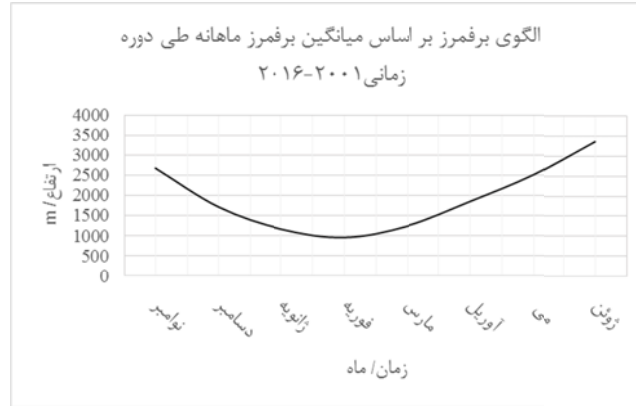
یکسکلهای تحت پوشش برف، سطح ارتفاعی گسترش پوشش برف به‌دست می‌آید که پایین‌ترین مقدار ارتفاعی گسترش پوشش برف، معادل برفمرز است و نمونه استخراج‌شده آن برای تاریخ یکم ژوئن ۲۰۰۴ در شکل ۳، آمده است.

۲-۴-۱. محاسبه الگوی برفمرز

همان‌گونه که الگوی برف‌پوشان ماهانه نمایانگر زمان‌های ریزش، اوج پوشش، ذخیره‌سازی، اتمام ریزش و ذوب ذخیره‌گاه‌های برف است، الگوی برفمرز نیز پایین‌ترین حد ارتفاعی گسترش پوشش برف را هم‌زمان با پوشش برف طی هر ماه نشان می‌دهد. برای محاسبه الگوی برفمرز نیز از میانگین برفمرز هرماه طی ۱۶ سال استفاده شده است. مطابق این الگو (شکل ۴)، در ماه نوامبر که زمان آغازین ریزش برف است پایین‌ترین حد ارتفاعی گسترش توده‌های برف ارتفاع ۲۶۷۷ متر و پس از آن در ماه دسامبر ۱۷۰۸ متر، در ماه ژانویه (اوج ریزش‌های جوی زاگرس) ۱۱۶۲ متر، در ماه فوریه (اوج پوشش برف) ۹۵۶ متر، در ماه آوریل با کاهش بارش برف ۱۲۴۲ متر، در ماه مارس با اتمام بارش برف ۱۸۵۱ متر، در ماه می ۲۵۱۷ متر و در ماه ژوئن معطوف به ارتفاعات بالاتر از ۳۳۶۳ متر است.



شکل ۳. نحوه استخراج هم‌زمان برفمرز با استفاده پلیگون پوشش برف و DEM در تاریخ ۱ ژوئن ۲۰۰۴.



شکل ۴. الگوی برف‌میز با اساس میانگین پوشش برف ماهانه زاگرس طی دوره زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۶.

۱۰ داده باشد، توسط رابطه ۴.

$$\text{var}(s) = \frac{n(n-1)(2n+1) - \sum_{i=1}^m t(t-1)(2t+5)}{18} \quad (4)$$

در این رابطه n : تعداد داده‌های مشاهده‌ای، m : معرف تعداد سری‌هایی است که در آن‌ها حداقل یک داده تکراری وجود دارد و t : بیانگر فراوانی داده‌های با ارزش یکسان می‌باشد.

ج- محاسبه آماره Z مطابق رابطه ۵.

$$Z = \begin{cases} \frac{s-1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } s > 0 \\ 0 & \text{if } s = 0 \\ \frac{s+1}{\sqrt{\text{VAR}(S)}} & \text{if } s < 0 \end{cases} \quad (5)$$

در یک آزمون دو دامنه ($\alpha/2$) جهت روندیابی سری داده‌ها، فرض صفر در صورتی پذیرفته می‌شود که رابطه $|Z| \leq Z_{\alpha/2}$ برقرار باشد. در سطح اطمینان ۹۵ درصد: $Z=1/96$ و در سطح اطمینان ۹۹ درصد $Z=2/54$ در نظر گرفته می‌شود. به‌طورکلی، اگر نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده روند در سری داده‌ها باشد و آماره Z به‌دست آمده مثبت باشد، روند صعودی و اگر Z منفی باشد روند منفی است (زمانی و همکاران، ۱۳۹۳).

۲-۶. ارزیابی صحت و دقت

در ایران زمین به‌طورکلی مناطقی که میانگین سالانه دمای رویه آن‌ها از ۳۰ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر باشد مناسب

۲-۵. تحلیل روند

جهت بررسی روند تغییرات پوشش برف و برف‌میز طی همراه از آزمون ناپارامتریک من-کندال استفاده شده است. این آزمون به‌طور گسترده‌ای جهت تشخیص روند در علوم زیستی به کار می‌رود (توروس، ۲۰۱۲). اثرپذیری ناچیز این روش از مقادیر حدی که در برخی از سری‌های زمانی مشاهده می‌شود از مزایای استفاده از این روش است. فرض صفر این آزمون بر تصادفی بودن و عدم وجود روند در سری داده‌ها دلالت دارد و پذیرش فرض یک (رد فرض صفر) دال بر وجود روند در سری داده‌ها می‌باشد (حجرام و همکاران، ۱۳۸۶). مراحل محاسبه آماره Z این آزمون به شرح زیر است:

الف- محاسبه اختلاف بین تک‌تک مشاهده‌ها با همدیگر و اعمال تابع علامت (sgn) و استخراج پارامتر S مطابق رابطه ۲.

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (2)$$

در این رابطه n : تعداد مشاهدات سری و x_j و x_k به ترتیب داده‌های j ام و k ام سری می‌باشند. تابع علامت نیز مطابق رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

$$\text{sgn}(x) = \begin{cases} +1 & \text{if } (x_j - x_k) > 0 \\ 0 & \text{if } (x_j - x_k) = 0 \\ -1 & \text{if } (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (3)$$

ب- محاسبه واریانس در صورتی که تعداد داده‌ها بیشتر از

نشست برف است و این دمای رویه منطبق بر ارتفاعات بالای ۱۷۰۰ متر است (کیخسروی کیانی و مسعودیان، ۱۳۹۶ب). جهت بررسی تغییرات رخ داده در بارش محدوده زاگرس به منظور ارزیابی صحت تغییرات رخ داده در پوشش برف که نتیجه بارش است، از آمار بارش مربوط به ایستگاه‌های سینوپتیک که بالاتر از ۱۵۰۰ متر قرار دارند (جدول ۱)، استفاده شده است. حدود $\frac{3}{4}$ این ایستگاه‌ها ارتفاعی بالاتر از ۱۷۰۰ متر داشته و برخی از این ایستگاه‌ها مانند ایستگاه لردگان که کمتر از ۱۷۰۰ متر ارتفاع دارند به سبب قرارگیری در هسته و یا مجاورت کانون‌های برف گیر مورد استفاده قرار گرفته‌اند ولی در مجموع تمامی ایستگاه‌ها بالاتر از ۱۵۰۰ متر از سطح دریا قرار گرفته‌اند. به دلیل ناهماهنگی در گزارش میزان ریزش برف در بین ایستگاه‌های زمینی محدوده مطالعاتی، داده‌های مورد استفاده شامل تمام اشکال ریزش‌های جوی در این ایستگاه‌ها است. پوشش برف سطحی به هم پیوسته است. بنابراین مقادیر بارش ماهانه تمامی ایستگاه‌های معرفی شده طی زمان‌های متناظر با هم جمع شده تا میانگین مجموع بارش برای هر ماه برای محدوده زاگرس مطابق با زمان داده‌های پوشش برف به دست آید.

حال و دوزیر دقت کلی محصول پوشش برف MODIS را در شرایط آسمان صاف و بدون ابر ۹۳ درصد دانسته‌اند که این میزان دقت در مناطق گوناگون با توجه به شرایط سطح زمین از جمله توپوگرافی متفاوت است (حال و ریگس، ۲۰۰۷). راه حل معمول در بررسی میزان دقت داده‌های دورسنجی مقایسه با داده‌های قابل اطمینان زمینی است. جهت بررسی دقت این نقشه‌ها در محدوده مطالعاتی، ایستگاه‌های برف سنجی دارای مشکلاتی از جمله: کمبود ایستگاه‌های برف‌سنجی بالأخص در ارتفاعات، عدم ارائه آمار در مقیاس زمانی منظم مانند ماهانه و سالانه، تازه تأسیس بودن برخی ایستگاه‌ها، مشخص نبودن تاریخ ریزش برف در ایستگاه‌ها، زیرا برف‌سنج‌ها مقادیر بارش برف را به صورت تجمعی اندازه‌گیری می‌کنند و قرائت منظمی در روز و یا ماه

ندارند و مهم‌تر اینکه ایستگاه‌های زمینی مقادیر بارش برف را اندازه‌گیری می‌کنند در حالی که سطح پوشش برف پارامتری فضایی است. روشی که اغلب در مناطقی که مشکل نقشه صحت زمینی جهت ارزیابی دقت محصول پوشش برف سنجنده MODIS و ارتقاء دقت آن در برآورد سطح پوشش برف صورت می‌گیرد، استفاده از تصاویر سنجنده‌های با قدرت تفکیک مکانی بالاتر همچون ASTER و ETM به عنوان نقشه صحت زمینی است (سالامونسون و اپل، ۲۰۰۴؛ چوالیر و همکاران، ۲۰۱۱؛ شمس و همکاران، ۱۳۸۹). در این پژوهش از ۱۲ فریم تصویر سنجنده ASTER در گستره محدوده مطالعاتی، (شکل ۵) که دارای حداقل مقدار ابرناکی هستند به عنوان نقشه صحت زمینی استفاده شده است. جهت برآورد سطح پوشش برف در مناطق کوهستانی با استفاده از تصاویر ASTER از معادل شاخص NDSI برای باندهای سنجنده ASTER مطابق رابطه ۶ استفاده شده است (شفیع‌زاده مقدم و همکاران، ۱۳۸۹).

$$NDSI = \frac{Green-SWIR}{Green+SWIR} = \frac{ASTER,b1-ASTER,b4}{ASTER,b1+ASTER,b4} \quad (6)$$

در این رابطه؛ NDSI شاخص نرمال شده پوشش برف است که پس از کسر ابر، آب و سایه، سطح پوشش برف را محاسبه می‌کند، Green: طول موج سبز است که منطبق بر باند ۱ سنجنده ASTER با پهنای باند ۰/۵۲۰-۰/۶۰۰ نانومتر است و SWIR: طول موج مادون قرمز کوتاه است که منطبق بر باند ۴ سنجنده ASTER با پهنای باند ۰/۸۶۰-۰/۷۶۰ نانومتر است. در الگوریتم استخراج سطح پوشش برف برای تصاویر MODIS، جهت تفکیک آب از برف و اشیاء تاریک که مقادیر استخراج شده پوشش برف را دچار خطا می‌کند، ۲ آستانه گذاری دیگر صورت می‌گیرد؛ ۱- بازتاب باند ۲ بالاتر از ۱۱ درصد که این عامل برای جداسازی برف از آب است و ۲- بازتاب باند ۴ بالاتر از ۱۰ درصد که این عامل اشیاء تاریک را از صحنه خارج می‌کند (میریعقوب‌زاده و قنبرپور، ۱۳۸۹). در آستانه‌گذاری‌های صورت گرفته معادل باند ۲ سنجنده

تصاویری که دارای تاریخ برداشت مشترکی هستند مانند ۲۰۰۲، ۲۰۰۴ و غیره، تاریخ برداشت مشترک است ولی محدوده برداشت در سطح رشته کوه زاگرس متفاوت است، با توجه به اینکه تصاویر ASTER به صورت رایگان در اختیار کاربران قرار نمی‌گیرند، در استفاده از تصاویر ASTER محقق اختیار چندانی ندارد.

به منظور ارزیابی نسبت خطای پوشش برف محاسبه شده با تصاویر MODIS نسبت به پوشش برف محاسبه شده با تصاویر ASTER از شاخص‌های ارزیابی خطا شامل؛ ضریب تعیین (R^2)، میانگین مربع جذر خطاها (RMSE) و میانگین درصد خطای مطلق (MAPE) مطابق روابط ۷، ۸ و ۹ استفاده شده است (آندرسون، ۱۹۷۹).

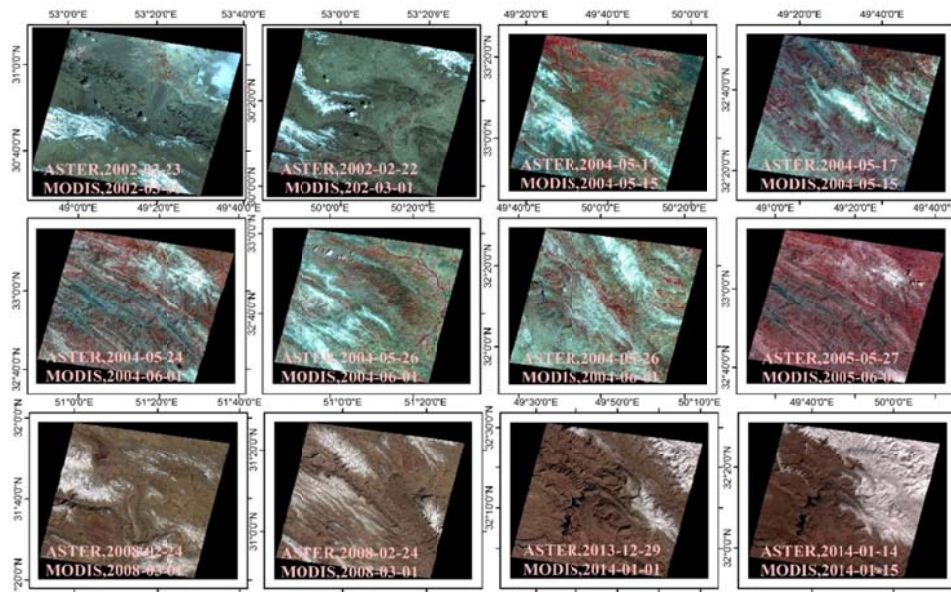
$$R^2 = \frac{\sum_{t=1}^h [(F_t - \bar{F})(A_t - \bar{A})]^2}{\sum_{t=1}^h (F_t - \bar{F})^2 \sum_{t=1}^h (A_t - \bar{A})^2} \quad (7)$$

$$RMSE = \left[\frac{\sum_{t=1}^h (A_t - F_t)^2}{h} \right]^{1/2} \quad (8)$$

$$MAPE = \left[\frac{\sum_{t=1}^h \left| \frac{A_t - F_t}{A_t} \right|}{h} \right] \times 100 \quad (9)$$

در این روابط؛ A_t : سطح پوشش برف محاسباتی با تصاویر ASTER به عنوان نقشه صحت زمینی، F_t : سطح پوشش برف محاسباتی با تصاویر MODIS و h : تعداد داده‌ها می‌باشد که برابر با ۱۲ است.

MODIS باند ۳ با پهنای باند ۰/۷۶۰-۰/۸۶۰ میکرون، در نظر گرفته شده است. برای جداسازی سطح پوشش برف به صورت باینری، آستانه ۰/۴-۱ به عنوان سطح پوشش برف در نظر گرفته شد، همچنین توده‌های آبری که در تصاویر ASTER، در تاریخ ۲۰۰۲/۰۲/۲۳ بر فراز پوشش برف حضور ندارند از تصویر حذف شده‌اند. در مقایسه سطح پوشش برف برآورد شده با تصاویر MODIS و ASTER دو نکته حائز اهمیت است؛ ۱- با توجه به اینکه زمان‌های پایش شده سطح پوشش برف با تصاویر MODIS روزهای ابتدایی و پانزدهم همراه است و تصاویر ASTER دارای برخی ناهماهنگی با این تاریخ‌ها است برای مقایسه پوشش برفی که از تصاویر ASTER استخراج شده با سطح پوشش برف مستخرج از تصاویر MODIS از نزدیک‌ترین تاریخ پایش شده تصاویر MODIS نسبت به تصاویر ASTER استفاده شده است به عنوان مثال سطح پوشش برفی که در تاریخ ۲۰۰۴/۰۵/۲۶ با تصویر ASTER استخراج شده است با سطح پوشش برف ۲۰۰۴/۰۶/۰۱ MODIS مقایسه شده است که این عامل با توجه به ماندگاری پوشش برف به خصوص ارتفاعات در فصل بهار خطایی را در روند مقایسه ایجاد نمی‌کند و قابل چشم پوشی است و ۲-



شکل ۵. تصاویر ASTER مورد استفاده جهت ارزیابی دقت محصولات پوشش برف MODIS. اخذ شده از سازمان فضایی ایران <https://isa.ir>.

۳. بحث و نتیجه‌گیری

۳-۱. بررسی روند تغییرات پوشش برف، برفمرز و بارش

بررسی روند تغییرات پوشش برف با استفاده از آزمون من-کندال نشان می‌دهد که طی دوره مورد مطالعه پوشش برف به‌استثنای ماه نوامبر که دارای روند افزایشی در سطح معناداری ۹۵ درصد است، در تمامی ماه‌های پایش شده دارای تمایل به روند منفی است، اما این روند در هیچ‌کدام از ماه‌های پایش شده در سطح ۹۵ و ۹۹ درصد معنی‌دار نیست (جدول ۳). بررسی روند تغییرات برفمرز نیز نشان می‌دهد که روند برفمرز در راستای عکس تمایل روند پوشش برف است (شکل ۶) ولی در هیچ‌یک از ماه‌های پایش شده روند معناداری را در سطح ۹۵ درصد و یا ۹۹ درصد نشان نمی‌دهد (جدول ۳). روند تغییرات میانگین بارش ماهانه تمامی ایستگاه‌های زمینی، نشان می‌دهد که بارش نیز در سطح معناداری ۹۵ و یا ۹۹ درصد در محدوده رونددار قرار نگرفته است ولی همان جهت تغییرات پوشش برف را دارا است و تنها در ماه می، در سطح معناداری ۹۵ و ۹۹ درصد و در ماه نوامبر در سطح معناداری ۹۵ درصد گرایش به روندی مثبت دارا است.

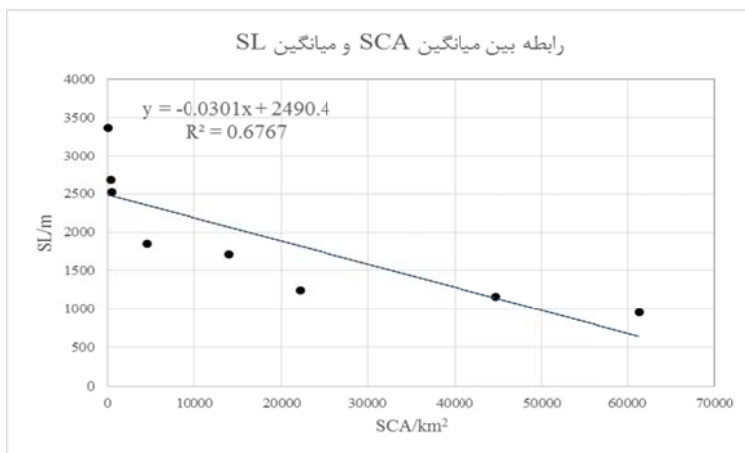
۳-۲. بررسی نوسانات پوشش برف از سطح میانگین

بررسی نمودارهای پوشش برف برای هرماه، طی ۱۶

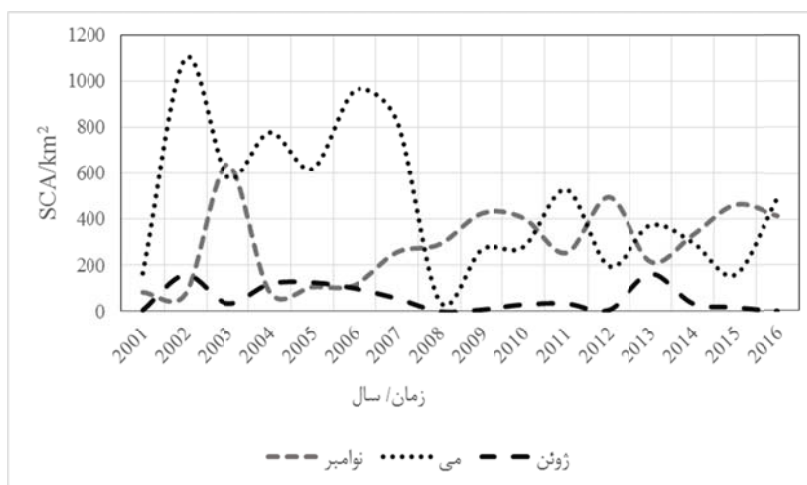
سال (شکل ۷ و ۸) نشان می‌دهد که سال ۲۰۰۹ نقطه عطفی در پوشش برف محدوده زاگرس به‌شمار می‌آید. در ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس، از سال ۲۰۰۹ به بعد شاهد تغییرات کاهشی پوشش برف به نسبت سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۱ هستیم و برای ماه‌های دسامبر، می و ژوئن این روند کاهش پوشش از سال ۲۰۰۸ حادث شده است. بر این اساس بررسی تغییرپذیری میانگین سطح پوشش برف برای سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۹ نسبت به میانگین پوشش برف برای سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۱، مطابق جدول ۴، نشان می‌دهد که بیشترین تغییرات کاهشی پوشش برف، برای ماه ژانویه با ۵۵/۱۱- درصد در دامنه ارتفاعی ۱۱۶۲-۴۲۱۲ متر بوده است. پس از ماه ژانویه بیشترین کسری پوشش برف به ترتیب برای ماه‌های ژوئن با ۵۰/۶۶- درصد در دامنه ارتفاعی ۳۳۶۳-۴۲۱۲ متر، می با ۴۹/۰۴- درصد در دامنه ارتفاعی ۲۵۱۷-۴۲۱۲ متر، مارس با ۲۹/۵۹- درصد در دامنه ارتفاعی ۱۲۴۲-۴۲۱۲ متر، فوریه با ۲۳/۸۲- درصد در دامنه ارتفاعی ۹۵۶-۴۲۱۲ متر، آوریل با ۱۵/۰۴- درصد در دامنه ارتفاعی ۱۸۵۱-۴۲۱۲ و دسامبر با ۲/۶۶- درصد در دامنه ارتفاعی ۱۵۰۰-۴۲۱۲ متر بوده و تنها ماه نوامبر افزایش پوشش ۸۲/۸۵ درصدی را در دامنه ارتفاعی ۲۶۷۷-۴۲۱۲ متر، تجربه کرده است.

جدول ۳. روند تغییرات پوشش برف و برفمرز ماهانه با استفاده از آزمون من-کندال.

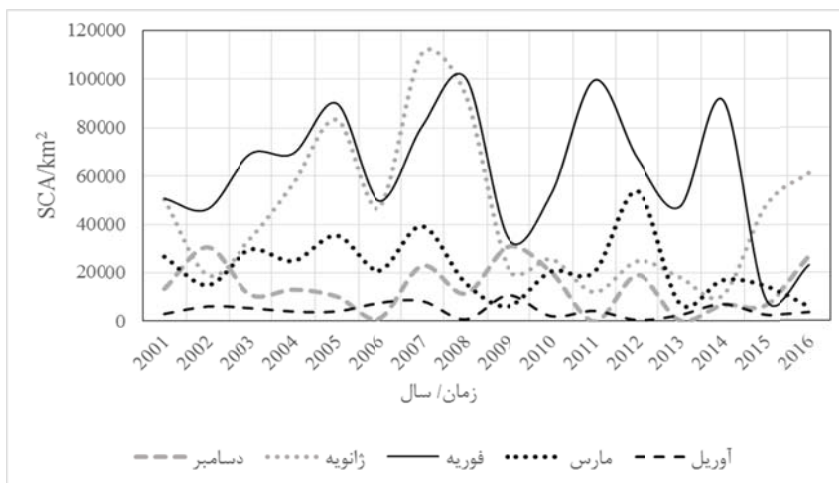
ماه	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن
پوشش برف	۲/۱۲	-۰/۷۷	-۰/۵۶	-۰/۵۰	-۱/۸۵	-۰/۵۹	-۱/۴۰	-۱/۳۱
برفمرز	-۱/۶۷	-۰/۷۷	۰/۳۲	-۰/۰۵	۰/۳۲	۰/۷۷	۱/۳۱	۱/۳۲
بارش	۰/۰۵	-۱/۳۱	-۱/۶۷	-۰/۴۱	۰	-۰/۴۱	۰/۷۷	-۰/۹۹



شکل ۶. رابطه بین الگوی برف‌مزمز (میانگین برف‌مزمز ماهانه دوره ۲۰۰۱-۲۰۱۶) و الگوی برف‌پوشان (میانگین سطح پوشش برف دوره ۲۰۰۱-۲۰۱۶).



شکل ۷. نمودار تغییرات سطح پوشش برف ماهانه طی دوره زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۶ برای ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس و آوریل.



شکل ۸. نمودار تغییرات سطح پوشش برف ماهانه طی دوره زمانی ۲۰۰۱-۲۰۱۶ برای ماه‌های ژوئن، می و نوامبر.

جدول ۴. محاسبه و مقایسه درصد تغییرات میانگین پوشش برف طی روزهای ابتدایی ماه‌های پایش شده در دوره زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۹ و زمان متناظر طی دوره زمانی ۲۰۰۸-۲۰۰۱.

پارامتر	زمان (ماه)	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن
میانگین پوشش برف ۲۰۰۸-۲۰۰۱ (km ²)	۲۰۴/۹۳	۱۴۱۹۲	۶۱۸۰۳/۲۹	۶۹۶۳۶/۱۵	۲۶۰۳۹/۸۵	۴۸۲۴/۶۰	۶۳۳/۴۲	۲۰۴/۹۳	
میانگین بارش ایستگاه‌ها ۲۰۰۸-۲۰۰۱ (mm)	۴۹/۱۸	۱۰۱/۴۷	۹۴/۸۲	۶۲/۷۳	۶۷/۸۵	۶۸/۵۱	۱۳/۴۸	۴۹/۱۸	
میانگین پوشش برف ۲۰۱۶-۲۰۰۹ (km ²)	۳۷۴/۷۳	۱۳۸۱۴/۲۶	۲۷۷۴۱/۹۷	۵۳۰۴۶/۹۲	۱۸۳۳۴/۲۶	۴۰۹۹/۰۲	۳۲۲/۷۶	۳۶/۹۲	
میانگین بارش ایستگاه‌ها ۲۰۱۶-۲۰۰۹ (mm)	۶۹/۱۵	۶۲/۹۶	۵۱/۳۵	۵۷/۶۲	۶۲/۸۸	۵۶/۰۴	۱۸/۲۵	۶۹/۱۵	
درصد تغییرات میانگین پوشش برف ۲۰۱۶-۲۰۰۹ نسبت به ۲۰۰۸-۲۰۰۱	۸۲/۸۵	-۲/۶۶	-۵۵/۱۱	-۲۳/۸۲	-۲۹/۵۹	-۱۵/۰۴	-۴۹/۰۴	-۵۰/۶۶	
درصد تغییرات میانگین بارش ۲۰۱۶-۲۰۰۹ نسبت به ۲۰۰۸-۲۰۰۱	۴۰/۵۹	-۳۷/۹۵	-۴۵/۸۵	-۸/۱۶	-۷/۳۲	-۱۸/۱۹	۳۵/۳۹	۵/۵۰	

دوره زمانی ۱۳۹۳-۱۳۸۲ توسط کیخسروی کیانی و مسعودیان (۱۳۹۶ الف) نشان می‌دهد که در ماه‌های آذر، بهمن، اسفند و فرودین در هیچ‌یک از کمربندهای ارتفاعی کشور روند معناداری در کاهش و یا افزایش پوشش برف مشاهده نمی‌شود و تنها در ماه‌های مهر، آبان و دی روند افزایشی روزهای برف‌پوشان مشاهده می‌شود. مقایسه نتایج این پژوهش با پژوهش صورت گرفته توسط کیخسروی کیانی و مسعودیان نشان می‌دهد که نتایج هر دو پژوهش نشان‌دهنده افزایش پوشش برف برای ماه نوامبر است ولی افزایش پوشش برف دی‌ماه که منطبق بر دسامبر و ژانویه است نقض نتایج این پژوهش است. ازجمله دلایل این مورد می‌توان به گستره محدوده مطالعاتی اشاره کرد، زیرا گستره پژوهش آن‌ها کل ایران و گستره مطالعاتی این پژوهش برف‌خوان زاگرس است. ارزیابی تغییرات روزهای همراه با پوشش برف در گروه‌های ارتفاعی حوضه زاینده‌رود توسط مسعودیان و کیخسروی کیانی (۱۳۹۶) نشان می‌دهد که در ماه‌های آبان و آذر شمار روزهای برف‌پوشان در کمربندهای ارتفاعی حوضه رو به افزایش و در ماه‌های دی و بهمن رو به کاهش است، همچنین بررسی روند تغییرات سهم بارش در حوضه نشان می‌دهد که سهم بارش‌های پاییزه رو به

بررسی تغییرات میانگین بارش ماهانه ایستگاه‌های زمینی طی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۹ نسبت به میانگین بارش سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۱ نیز نشان می‌دهد که ماه ژانویه با تغییرات کاهشی ۴۵/۸۵- درصدی روبه‌رو بوده است. پس از ماه ژانویه، ماه دسامبر با کسری ۳۷/۹۵-، آوریل ۱۸/۱۹-، فوریه ۸/۱۶- و مارس ۷/۳۲- درصدی، روبه‌رو بوده‌اند. بررسی تغییرپذیری ماه‌های دارای افزایش بارش نشان می‌دهد که ماه نوامبر با افزایش ۴۰/۵۹ درصدی بارش برای سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۹ نسبت به سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۱ روبه‌رو بوده است و پس از آن ماه می ۳۵/۳۹ و ژوئن ۵/۵۰ درصد افزایش بارش داشتند. مهم‌ترین نکته‌ای که در تغییرات بارش نسبت به پوشش برف وجود دارد، کاهش پوشش برف برای ماه‌های می و ژوئن و افزایش بارش برای هر دو ماه طی زمان‌های مشابه است که باید در نظر داشت در ماه‌های می و ژوئن شکل ریزش‌های جوی به‌صورت باران هستند که خود به‌واسطه فرآیند آب‌شویی باعث تسریع ذوب توده‌های برف می‌شوند؛ بنابراین افزایش بارش در ماه می و ژوئن در واقع افزایش ریزش‌های مایع است زیرا که در ماه می و ژوئن در محدوده زاگرس بارش جامد در کل وجود ندارد. بررسی روند تغییرات روزهای برف‌پوشان در ایران، طی

افزایش و سهم بارش‌های زمستانه در حوضه رو به کاهش است. نتایج این پژوهش در هماهنگی کامل با پژوهش مسعودیان و کیخسروی کیانی است زیرا مناطق برف‌گیر حوضه آبریز زاینده‌رود، قسمتی از ناحیه مورد مطالعه این پژوهش بوده که هر دو در افزایش پوشش برف و بارش نوامبر و کاهش پوشش برف و بارش زمستانه اتفاق نظر دارند. بررسی روند بارش برف در ایران، توسط ارکیان و همکاران (۲۰۱۴) نشان از روند کاهشی بارش برف برای سال‌های ۲۰۱۱-۱۹۹۶ دارد که این کاهش بارش در سال‌های آینده منجر به کاهش پوشش برف برای مناطق برف‌گیر کوهستانی کشور بالأخص مناطق برف‌گیر زاگرس خواهد شد. نتایج پژوهش ارکیان و همکاران با این پژوهش دارای ۱۱ سال همپوشانی از منظر گستره زمانی است که سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۱ را نیز دارای روند کاهشی بارش برف دانسته است و نتایج پیش‌بینی آن‌ها برای کل کشور بالأخص محدوده زاگرس کاهش سطح پوشش برف برای سال‌های آتی (بعد از ۲۰۱۱) است که نتایج این پژوهش می‌تواند صحت این ادعا باشد. بررسی روند بارش، دما و پوشش برف در رشته کوه زاگرس طی ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس و آوریل توسط زرین استانک و همکاران (۲۰۱۵) نشان از روند نزولی بارش و پوشش برف و روند صعودی دما، طی سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۸۷ دارد، همچنین نتایج پیش‌بینی آن‌ها تا انتهای قرن حاضر میلادی افزایش بین ۱/۱۲ تا ۷/۸۷ درجه سانتی‌گرادی دما و متعاقباً کاهش پوشش برف برای زاگرس است. مقایسه نتایج این پژوهش با دستاوردهای پژوهش زرین استانک و همکاران نیز نتایجی مشابه با مقایسه پژوهش ارکیان و همکاران دارد و در مجموع رسای این نکته است که کاهش بارش و پوشش برف در محدوده زاگرس قبل از سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ حادث شده است.

۳-۳. ارزیابی دقت
بررسی دقت سطح پوشش برف محاسبه شده با استفاده از تصاویر MODIS نسبت به تصاویر ASTER به عنوان نقشه

صحت زمینی (شکل ۹) نشان می‌دهد که سطح پوشش برف استخراج شده با تصاویر MODIS عملکردی مطلوب را در قیاس با تصاویر ASTER در برآورد پوشش برف داشته است طوری که مقدار ضریب R^2 بین آن‌ها برابر با ۰/۹۹ است. همچنین ضریب RMSE مقدار ۴۴/۰۲ کیلومتر مربعی را نشان می‌دهد که با توجه به مجموع سطح پوشش برف برآورد شده توسط تصاویر ASTER مقدار خطای نسبتاً پایینی است. شاخص MAPE نیز نشان می‌دهد که محصول پوشش برف MODIS در قیاس با نقشه‌های صحت زمینی (تصاویر ASTER)، دارای خطای ۲۱/۵۱ درصدی بوده است. توجه به رابطه بین داده‌های MODIS و ASTER همچنین تفاضل دو داده از همدیگر (جدول ۵) نشان می‌دهد که هر چه پوشش برف کمتر باشد اختلاف بین دو داده بیشتر می‌شود و بیشترین اختلاف در برآورد سطح پوشش برف بین تصاویر دو سنجنده، مربوط به زمان انتهایی پوشش برف (می و ژوئن) در سطح رشته کوه زاگرس است. مطالعات پیرامون دقت محصولات روزانه پوشش برف نشان می‌دهد که نتایج دقت این نقشه‌ها شدیداً تحت تأثیر پوشش زمین، شرایط برف و توپوگرافی قرار دارد؛ دقت این تصاویر در ترکیه بین ۸۲-۶۲ درصد، در کانادا ۹۳ درصد، در غرب ایالات یونایتد ۹۴ درصد و برای جنگل‌های همیشه‌سبز در کانادا ۸۰ درصد گزارش شده است (نوتارنیکولا و همکاران، ۲۰۱۳). کلاین و بارنت نیز در نتایج حاصل از بررسی نقشه‌های پوشش برف داده‌های ماهواره‌ای سنجنده MODIS با داده‌های زمینی و مدل‌های توزیع برف، در حوضه آبخیز ریوگراند دریافتند که؛ بیشترین خطای حاصل از این نقشه‌ها مربوط به اوایل و اواخر دوره بارش برف می‌باشد (کلاین و بارنت، ۲۰۰۳). با افزایش سن برف از میزان انعکاس آن در نواحی مرئی و فرورسرخ نزدیک طیف الکترومغناطیسی کاسته شده که عامل اصلی این کاهش بازتاب افزایش دانه‌بندی برف به دلیل ذوب و انجماد دوباره آن است (باراتون و همکاران، ۲۰۰۰)، این کاهش بازتاب باعث کاهش برآورد سطح پوشش برف

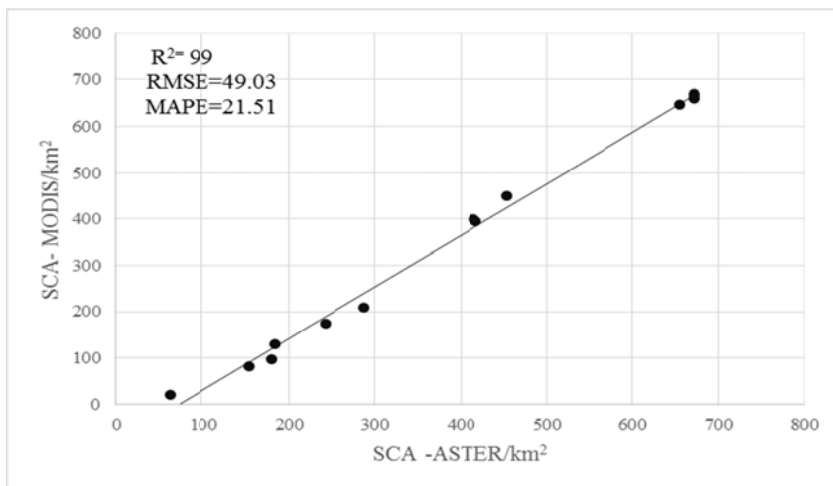
افزایش و سهم بارش‌های زمستانه در حوضه رو به کاهش است. نتایج این پژوهش در هماهنگی کامل با پژوهش مسعودیان و کیخسروی کیانی است زیرا مناطق برف‌گیر حوضه آبریز زاینده‌رود، قسمتی از ناحیه مورد مطالعه این پژوهش بوده که هر دو در افزایش پوشش برف و بارش نوامبر و کاهش پوشش برف و بارش زمستانه اتفاق نظر دارند. بررسی روند بارش برف در ایران، توسط ارکیان و همکاران (۲۰۱۴) نشان از روند کاهشی بارش برف برای سال‌های ۲۰۱۱-۱۹۹۶ دارد که این کاهش بارش در سال‌های آینده منجر به کاهش پوشش برف برای مناطق برف‌گیر کوهستانی کشور بالأخص مناطق برف‌گیر زاگرس خواهد شد. نتایج پژوهش ارکیان و همکاران با این پژوهش دارای ۱۱ سال همپوشانی از منظر گستره زمانی است که سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۱ را نیز دارای روند کاهشی بارش برف دانسته است و نتایج پیش‌بینی آن‌ها برای کل کشور بالأخص محدوده زاگرس کاهش سطح پوشش برف برای سال‌های آتی (بعد از ۲۰۱۱) است که نتایج این پژوهش می‌تواند صحت این ادعا باشد. بررسی روند بارش، دما و پوشش برف در رشته کوه زاگرس طی ماه‌های دسامبر، ژانویه، فوریه، مارس و آوریل توسط زرین استانک و همکاران (۲۰۱۵) نشان از روند نزولی بارش و پوشش برف و روند صعودی دما، طی سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۸۷ دارد، همچنین نتایج پیش‌بینی آن‌ها تا انتهای قرن حاضر میلادی افزایش بین ۱/۱۲ تا ۷/۸۷ درجه سانتی‌گرادی دما و متعاقباً کاهش پوشش برف برای زاگرس است. مقایسه نتایج این پژوهش با دستاوردهای پژوهش زرین استانک و همکاران نیز نتایجی مشابه با مقایسه پژوهش ارکیان و همکاران دارد و در مجموع رسای این نکته است که کاهش بارش و پوشش برف در محدوده زاگرس قبل از سال‌های ۲۰۰۸ و ۲۰۰۹ حادث شده است.

۳-۳. ارزیابی دقت

بررسی دقت سطح پوشش برف محاسبه شده با استفاده از تصاویر MODIS نسبت به تصاویر ASTER به عنوان نقشه

در طول هشت ماه است و در فصل زمستان و دسامبر دقت بیشتر و در بهار، تابستان و نوامبر دقتی به مراتب کمتر دارا هستند.

با استفاده از تصاویر MODIS توسط شاخص NDSI می‌شود در نتیجه دقت ذکر شده در برآورد سطح پوشش برف به واسطه تصاویر MODIS میانگین دقت این تصاویر



شکل ۹. رابطه بین مقادیر سطح پوشش برف برآورد شده بین تصاویر ASTER و MODIS و مقادیر خطای پوشش برف MODIS نسبت به ASTER.

جدول ۵. مقایسه سطح پوشش برف MODIS نسبت به تصاویر ASTER به عنوان نقشه صحت زمینی.

تاریخ	سطح پوشش برف برآورد شده با تصاویر ASTER / km ²	سطح پوشش برف برآورد شد با تصاویر MODIS / km ²	کسری پوشش برف MODIS نسبت به ASTER / km ²
۲۰۰۲/۰۲/۲۳	۴۵۴/۰۹	۴۴۹/۳۹	-۴/۷۰
۲۰۰۲/۰۲/۲۳	۴۱۶	۳۹۸/۵۱	-۱۷/۴۹
۲۰۰۴/۰۵/۱۷	۲۴۲/۳۴	۱۷۲/۹۷	-۶۹/۳۸
۲۰۰۴/۰۵/۱۷	۱۸۰/۱۳	۹۸/۲۸	-۸۱/۸۵
۲۰۰۴/۰۵/۱۷	۱۵۴/۵۳	۸۱/۶۵	-۷۲/۸۸
۲۰۰۴/۰۲/۲۶	۲۸۸/۴۷	۲۰۹/۲۱	-۷۹/۲۶
۲۰۰۴/۰۲/۲۶	۶۷۲/۷۳	۶۵۹/۸۲	-۱۲/۹۰
۲۰۰۵/۰۵/۲۷	۱۸۴/۲۷	۱۲۹/۳۷	-۵۴/۹۰
۲۰۰۸/۰۲/۲۴	۶۲/۵۴	۲۱/۶۵	-۴۰/۸۹
۲۰۰۸/۰۲/۲۴	۶۵۵/۱۰	۶۴۷/۳۸	-۷/۷۲
۲۰۱۳/۱۲/۲۹	۶۷۲/۷۳	۶۶۷/۹۹	-۴/۷۴
۲۰۱۴/۰۴/۱۴	۴۱۷/۶۲	۳۹۵/۶۳	-۲۱/۹۸
مجموع	۴۴۰۰/۵۴	۳۹۳۱/۸۵	-۴۶۸/۷۰

مراجع

- به‌طور کلی رشته‌کوه‌های زاگرس از مهم‌ترین برف‌خوآن‌های ایران است که با قرارگیری در معرض وزش توده‌های هوای غربی و سودانی در فصل سرد میزبان ریزش برف هستند. بررسی روند تغییرات پوشش برف محدوده زاگرس با استفاده از تصاویر روزانه سنجنده MODIS برای ماه‌های برف‌پوشان طی دوره زمانی ۲۰۱۶-۲۰۰۱ نشان می‌دهد که پوشش برف به‌استثنای ماه نوامبر که تمایل به روند مثبت (۹۵٪ معنی‌دار) دارد در سایر ماه‌ها تمایل به روند منفی دارد ولی در هیچ‌یک از این ماه‌ها این روند معنادار نبوده است. بررسی روند برف‌مرز همراه با پوشش برف و روند میانگین بارش ماهانه ایستگاه‌های زمینی زاگرس که بالاتر از ۱۵۰۰ متر از سطح دریا قرار گرفته‌اند نیز تأیید کننده و همسو با روند تغییرات پوشش برف بوده است. بررسی تغییرات میانگین پوشش برف همراه هم نشان می‌دهد که سال ۲۰۰۹ برای ماه‌های زمستانه نقطه عطفی در پوشش برف زاگرس محسوب می‌شود و از این سال تا سال ۲۰۱۶ پوشش برف به‌استثنای ماه نوامبر، برای تمامی ماه‌ها دارای روند کاهشی بوده است. همچنین قیاس میانگین پوشش برف سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۱ و ۲۰۱۶-۲۰۰۹ نشان از تغییرات کاهشی برای تمامی ماه‌ها به‌جز ماه نوامبر طی سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۹ نسبت به ۲۰۰۸-۲۰۰۱ دارد. از این نظر بیشترین کسری متعلق به ماه ژانویه به مقدار ۵۵/۱۱- درصد بوده است. مقایسه میانگین بارش ماهانه ایستگاه‌های زمینی نیز همسو و تأییدکننده نتایج تغییرات میانگین پوشش برف برای تمامی ماه‌ها به‌استثنای ماه‌های بهار (می و ژوئن) است. مقایسه سطوح پوشش استخراج‌شده به‌وسیله تصاویر MODIS در قیاس با تصاویر ASTER به‌عنوان نقشه صحت زمینی، نشان می‌دهد که درصد اختلاف مطلق تصاویر MODIS در استخراج سطح پوشش برف ۲۱/۵۱ درصد بوده است که این مقدار خطا عمدتاً مربوط به زمان انتهایی پوشش برف در رشته‌کوه‌های زاگرس است.
- حجام، س.، خوشخو، ی. و شمس‌الدین وندی، ی.، ۱۳۸۶، تحلیل روند تغییرات بارندگی‌های فصلی و سالانه چند ایستگاه منتخب در حوزه مرکزی ایران با استفاده از روش‌های ناپارامتری، پژوهش‌های جغرافیایی، شماره ۶۴، صص ۱۵۷-۱۶۸.
- رحیمی، د. و داناپور، م.، ۱۳۹۱، تحلیل نوسانات اقلیمی مؤثر بر ارتفاع برف (منطقه کوه‌رنک)، فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی، سال دوازدهم، شماره ۳۸، صص ۷۵-۶۱.
- زمانی، ر.، عبدالهی، س. و میرعباسی نجف‌آبادی، ر.، ۱۳۹۳، تحلیل روند پارامترهای هیدرومتئورولوژیک چهار سد مهم جنوب غرب ایران، مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، شماره ۱۸، صص ۵۵-۷۵.
- شفیع‌زاده مقدم، ح.، مباشری، م. و شایان، س.، ۱۳۸۹، ارتقای دقت برآورد شاخص NDSI و کسر پوشش برف سنجنده MODIS با بکارگیری همزمان سنجنده ASTER، همایش ژئوماتیک ۸۹، تهران، سازمان برداری کشور.
- شمس، م.، مباشری، م. و فاطمی، ۱۳۸۹، بررسی روش تشخیص و استخراج پیکسل‌های برفی در تصاویر مادیس، همایش ژئوماتیک ۸۹، تهران، سازمان نقشه‌برداری کشور.
- علیجانی، ب.، ۱۳۹۱، آب‌وهوای ایران، انتشارات دانشگاه پیام نور، نوبت چاپ یازدهم.
- قاسمی فر، ا. و ناصرپور، س.، ۱۳۹۳، پهنه‌بندی اقلیمی ناحیه زاگرس، دوره ۲۳، شماره ۸۹، صص ۵۴-۶۰.
- کیخسروی کیانی، م. و مسعودیان، ا.، ۱۳۹۶، واکاوی روند تغییرات روزهای برف‌پوشان در ایران بر پایه داده‌های دورسنجی، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۶۵، ۴۹-۶۰.
- کیخسروی کیانی، م. و مسعودیان، ا.، ۱۳۹۶، واکاوی نقش دمای رویه زمین در پراکنش پوشش برف در ایران به کمک داده‌های ماهواره ای، جغرافیا و

- توسعه، ۴۹، ۱۸۹-۲۰۴.
- مسعودیان، ا. و کیخسروی کیانی، م.، ۱۳۹۶، ارزیابی تغییرات روزهای همراه با پوشش برف در گروه های ارتفاعی حوضه زاینده رود، مخاطرات محیط طبیعی، شماره ۱۱، صص ۳۳-۴۶.
- مسعودیان، س.ا.، ۱۳۸۸، نواحی بارشی ایران، فصلنامه Sensing and Spatial Information Sciences, 58, 165-168.
- Hall, D. K. and Riggs, G. A., 2007, Accuracy assessment of the MODIS snow products. *Hydrological Processes.*, 21, 1534-1547.
- Hall, D. K., Riggs, G. A. and Salomonson, V. V., 1995, Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data. *Remote sensing of Environment.*, 54, 127-140.
- Hall, D. K., Riggs, G. A., Salomonson, V. V., DiGirolamo, N. E. and Bayr, K. J., 2002, MODIS snow-cover products. *Remote sensing of Environment.*, 83, 181-194.
- Hantel, M., Maurer, C. and Mayer, D., 2012, The snowline climate of the Alps 1961-2010. *Theoretical and Applied Climatology.*, 110, 517-537.
- <http://www.irimo.ir>. (Iran Meteorological Organization).
- <https://nsidc.org>. (National Snow & Ice Data Center).
- Huang, X., Deng, J., Wang, W., Feng, Q. and Liang, T., 2017, Impact of climate and elevation on snow cover using integrated remote sensing snow products in Tibetan Plateau. *Remote Sensing of Environment*, 190, 274-288.
- Klein, A. G. and Barnett, A. C., 2003, Validation of daily MODIS snow cover maps of the Upper Rio Grande River Basin for the 2000-2001 snow year. *Remote Sensing of Environment.*, 86, 162-176.
- Kousari, M. R., Ekhtesasi, M. R., Tazeh, M., Naeini, M. A. S. and Zarch, M. A. A., 2011, An investigation of the Iranian climatic changes by considering the precipitation, temperature, and relative humidity parameters. *Theoretical and Applied Climatology*, 103, 321-335.
- Krajčí, P., Holko, L., Perdigão, R. A. and Parajka, J., 2014, Estimation of regional snowline elevation (RSLE) from MODIS images for seasonally snow covered mountain basins. *Journal of hydrology.*, 519, 1769-1778.
- Masih, I., Uhlenbrook, S., Maskey, S. and Smakhtin, V., 2011, Streamflow trends and climate linkages in the Zagros Mountains, جغرافیا و توسعه، شماره ۱۳، صص ۷۹-۹۱.
- میریعقوبزاده، م. و قنبریور، م.، ۱۳۸۹، بررسی کاربرد نقشه های پوشش برفی حاصل از تصاویر ماهواره های MODIS در مدل سازی رواناب ذوب برف (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد کرج). فصلنامه علمی- پژوهشی علوم زمین، شماره ۷۶، ۱۴۱-۱۴۸.
- Abbasi, F. and Asmari, M., 2011, Climate Change assessment over Zagros During 2010-2039 by Using Statistical Down scaling of ECHO-G model. *Environmental Research Journal*, 5, 149-155.
- Anderson, C., R, 1979, Long-Range Forecasting: From Crystal Ball to Computer.
- Arkian, F., Karimkhani, M. and Taheri, H. R., 2014, Variability and Trends in the Duration and Depth of Snow Cover in Iran in Thirty Years. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, 5, 1-5.
- Atif, I., Mahboob, M. A. and 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 Science*, 48, 117-128.
- Barnett, T. P., Adam, J. C. and Lettenmaier, D. P., 2005, Potential impacts of a warming climate on water availability in snow-dominated regions. *Nature.*, 438, 303-309.
- Barton, J. S., Hall, D. K. and Riggs, G. A., 2000, Remote sensing of fractional snow cover using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data. In *Proceedings of the 57th Eastern Snow Conference.*, 171-183.
- Brown, R. and Armstrong, R. L., 2008, Snow Cover Data: Measurement, Products and Sources. *Snow and Climate.*, 181-216.
- Chevallier, P., Arnaud, Y. and Ahmad, B., 2011, Snow cover dynamics and hydrological regime of the Hunza River basin, Karakoram Range, Northern Pakistan. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15, 2259-2274.
- Dietz, A. J., Wohner, C. and Kuenzer, C., 2012, European snow cover characteristics between 2000 and 2011 derived from improved MODIS daily snow cover products. *Remote Sensing*, 4(8), 2432-2454.
- Dozier, J. and Painter, T. H., 2004, Multispectral and hyperspectral remote sensing of alpine snow properties. *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 32, 465-494.
- Fayaza, N., Vazifedoustb, M. and Araghinejad, S., 2013, Monitoring of snow cover variation using Modis snow product. *International Archives of the Photogrammetry, Remote*

- Iran. Climatic Change., 104, 317-338.
- Modarres, R. and da Silva, V. D. P. R., 2007, Rainfall trends in arid and semi-arid regions of Iran. *Journal of Arid Environments.*, 70, 344-355.
- Negi, H. S., Thakur, N. K., Kumar, R. and Kumar, M., 2009, Monitoring and evaluation of seasonal snow cover in Kashmir valley using remote sensing, GIS and ancillary data. *Journal of Earth System Science.*, 118, 711-720.
- Notarnicola, C., Duguay, M., Moelg, N., Schellenberger, T., Tetzlaff, A., Monsorno, R. and Zebisch, M., 2013, Snow cover maps from MODIS images at 250 m resolution, part 2: Validation. *Remote Sensing.*, 5, 1568-1587.
- Riggs, G. A. and Hall, D. K., 2004, June, Snow mapping with the MODIS Aqua instrument. In *Proc. 61st Eastern Snow Conf.*, 9-11.
- Salomonson, V. V. and Appel, I., 2004, Estimating fractional snow cover from MODIS using the normalized difference snow index. *Remote sensing of environment.*, 89, 351-360.
- Sönmez, I., Tekeli, A. E. and Erdi, E., 2014, Snow cover trend analysis using interactive multisensor snow and ice mapping system data over Turkey. *International Journal of Climatology.*, 34, 2349-2361.
- Tahiri, A. A., Chevallier, P., Arnaud, Y., Ashraf, M. and Bhatti, M. T., 2015, Snow cover trend and hydrological characteristics of the Astore River basin (Western Himalayas) and its comparison to the Hunza basin (Karakoram region). *Science of the Total Environment.*, 505, 748-761.
- Toros, H., 2012, Spatio-temporal variation of daily extreme temperatures over Turkey. *International Journal of Climatology.*, 32, 1047-1055.
- Wang, X., Xie, H. and Liang, T., 2008, Evaluation of MODIS snow cover and cloud mask and its application in Northern Xinjiang, China. *Remote Sensing of Environment.*, 112, 1497-1513.
- Yang, J., Jiang, L., Shi, J., Wu, S., Sun, R. and Yang, H., 2014, Monitoring snow cover using Chinese meteorological satellite data over China. *Remote sensing of environment.*, 143, 192-203.
- Zarenistanak, M., Dhorde, A. G., Kripalani, R. H. and Dhorde, A. A., 2015, Trends and projections of temperature, precipitation, and snow cover during snow cover-observed period over southwestern Iran. *Theoretical and Applied Climatology.*, 122, 421-440.
- Zhang, Y., Yan, S. and Lu, Y., 2010, Snow cover monitoring using MODIS data in Liaoning Province, Northeastern China. *Remote Sensing.*, 3, 777-793.

Snow Cover Changes of Zagros Range in 2001-2016 Using Daily Data of MODIS

Mohammadi Ahmadm Mahmoudi, P.¹ and Khorani, A.^{2*}

1. M.Sc. Student, Department of Geographical science, University of Hormozgan, Bandaabbas, Iran

2. Associate Professor, Department of Geographical science, University of Hormozgan, Bandaabbas, Iran

(Received: 8 May 2018, Accepted: 14 May 2019)

Summary

Snow cover (SC) is the main part of global cryosphere that covers about 46 million square kilometer of earth surface. Seasonal SC and snow storage provides the required water of around 1/6 of world population. About 98 percent of global SC is in the northern hemisphere. Southern and southwestern mountain range of Iran, called Zagros is located in the mid-latitudes that is exposed to the northern hemisphere westerlies resulting in high amount of rain and snowfall. This region contains 40 percent of Iran's water storage. Monitoring and evaluation of seasonal SC is essential for managing winter tourism, transportation, environment, land cover, water and irrigation and also essential in runoff modeling. In our study area snow gauges are insufficient and sparse, therefore monitoring spatial changes of Snow Cover Area (SCA) is difficult. MODIS images lunched on TERRA and AQUA platforms are suitable data source for estimating SC, because they provide daily images with 500 meter spatial resolution. The aim of this study is detecte and analyze SC variations and trends in Zagros mountain range using daily images of MODIS in order to determine SC variation.

In this research, 348 daily products of MODIS for first days of snowy months (Months with some snow on the ground in Zagros; Dec, Jan, Feb, Mar, Apr, May, Jun) are obtained from National Snow & Ice Data Center (NSIDC) to calculate SCA. Digital Elevation Model (DEM) is used to determining snow line (SRTM 90m from Earthexplorer.usgs.gov) and total monthly precipitation of weather stations above 1500 meter elevation of the same period with SC data is used. Snow line is extracted by overlaying DEM on SCA. Then the snow line pattern is determined as the average of snow line for each day during 2001 to 2016. SCA pattern is also extracted as the average of each day during the same period. In order to calculate trends in SCA and Snow Line Man-Kendal test is used. Man-Kendal test is less sensitive too extreme values of time series.

The trends of SC are investigated using Man-Kendal test results show a decreasing trend in January, May and June in 2007-2016. The highest amount of SCA decrease and snow line retrogression for January, May and June are recorded in 1250-4500 m, 2300-4500 m and 3500-4500 m altitude belts, respectively. Based on SC departure from the average, two periods are recognizable: first, from 2001 to 2008, in this period SC is above the average and is more similar to the snow cover pattern of the whole period (2001-2016). Second period from 2009 to 2016, in this period SC is more below the average and is not similar to the snow cover pattern of the whole period (2001-2016). In the second period mean SC reduction compared to the first period in Dec, Jan, Feb, Mar, Apr, May and June are 4, 67.6, 24.5, 21, 10, 47.3 and 48.4 respectively. Mean monthly precipitation changes of weather stations above 1500 meter elevation is similar to the changes of SC changes.

Keywords: Snow Cover, Zagros, MODIS, Water Resources.

*Corresponding author:

khorani@hormozgan.ac.ir