

تغییرات سطح پوشش برف حوضه آبخیز کوهرنگ طی سال‌های

۲۰۱۰-۲۰۱۸

شهربانو منجدب مرودشتی^۱، احمد مزیدی*^۲

۱- شهربانو منجدب مرودشتی، دانشجوی دکتری گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، ایران

۲- احمد مزیدی*، دانشیار گروه جغرافیا، دانشگاه یزد، ایران

چکیده

حوضه آبخیز کوهرنگ از مهم‌ترین حوضه‌های برفی کشور محسوب می‌شود و در تأمین آب شرب مناطق وسیعی از کشور نقش بسزایی دارد. هدف از پژوهش حاضر پایش سطح پوشش برف حوضه آبخیز کوهرنگ در بازه زمانی ۲۰۱۰-۲۰۱۸ می‌باشد. بدین منظور از تصاویر سنجنده مودیس استفاده شد و با استخراج شاخص *NDSI*، پوشش برف کل حوضه به تفکیک مناطق ارتفاعی محاسبه و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج پژوهش نشان می‌دهد، میانگین پوشش برف منطقه در طول این دوره ۴۴۰ کیلومترمربع (۳۴ درصد) است. سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۴ به ترتیب کمترین و بیشترین سطح پوشش برف را داشتند. بالاترین میزان پوشش برف در بین ماه‌های سال متعلق به ماه ژانویه (دی) با میانگین ۱۱۳۲/۳ کیلومترمربع (۸۸/۶ درصد) می‌باشد و به طور کلی تغییرات سطح پوشش برف منطقه در طول دوره مطالعاتی کاهشی است که در ماه فوریه (بهمن) بیشترین کاهش مشاهده شد. همچنین بررسی ارتباط بین عامل ارتفاع و سطح پوشش برف نشان دهنده همبستگی مثبت بالایی (۰/۹۸) این دو متغیر نسبت به یکدیگر است. به طوری که بیشترین درصد پوشش برف مربوط به مناطق ارتفاعی بالاتر بوده است. میانگین درصد پوشش برف در طبقات ارتفاعی یک تا شش به ترتیب برابر با ۱۰، ۲۲، ۳۲، ۴۰، ۴۸ و ۵۸ درصد می‌باشد. در انتها از نتایج این پژوهش می‌تواند در راستای برنامه‌ریزی‌های دقیق و مدیریت بهینه منابع آب استفاده کرد

کلید واژه‌ها: حوضه آبخیز کوهرنگ، سطح پوشش برف، نرم افزار انوی، سنجنده MODIS، شاخص *NDSI*.

مقدمه

برنامه‌ریزی برای آینده یک منطقه منوط به شناخت محیط و امکانات موجود برای بررسی و در نهایت تحلیل وضعیت موجود آن منطقه است (حسن‌پور و ابراهیمی، ۲۰۱۴). امروزه میزان مصرف آب نسبت به گذشته افزایش چشمگیری داشته است. رشد جمعیت، ارتقا سطح بهداشت عمومی جامعه و گسترش مناطق شهری از دلایل عمده افزایش مصرف آب نسبت به زندگی سستی بوده است. بخش کشاورزی نقش مهم و استراتژیکی در زمینه اقتصاد هر کشور ایفا می‌کند بنابراین تأمین آب مورد نیاز این بخش نیز از اهمیت بالایی برخوردار است و از دلایل عمده افزایش مصرف آب نیز به شمار می‌رود (فتاحی و همکاران، ۲۰۰۹).

برف از اشکال مهم نزولات جوی است که در مناطق با عرض جغرافیایی بالا و مناطق مرتفع قسمت عمده بارش‌ها را تشکیل می‌دهد و به عنوان مهم‌ترین منبع ذخیره آب آن‌ها مطرح است. برف در تأمین آب آشامیدنی، آب مصرفی بخش کشاورزی و تولید انرژی نقش بسیار با اهمیتی دارد. از سوی دیگر، به دلیل عکس‌العمل کند هیدرولوژیکی برف، رواناب حاصل از آن در تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی نقش اساسی دارد (قنبرپور و همکاران، ۲۰۰۵). علاوه بر این پوشش برف به دلیل آلبیدوی بالا، نور خورشید را به طور موثری منعکس کرده و دمای سطح زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. هیدرولوژی منطقه، رطوبت موجود در خاک و هوا و میزان انرژی سطح نیز از عواملی هستند که تحت تأثیر پوشش برف قرار می‌گیرند (Vikhamar and Solberg, 2003; Maurer et al., 2003; Wang et al., 2008; Berezowski et al., 2015). در راستای برنامه‌ریزی جمع‌آوری داده‌های مربوط به مقدار و پارامترهای مرتبط با برف و همچنین دقت در پایش سطح پوشش برف بسیار با اهمیت است چراکه این شکل مهم بارش در چرخه هیدرولوژیکی نقش بسزایی در فرآیندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی دارد (Vikhamar and Solberg, 2003; Wang et al., 2008). سنجش پوشش برف از راه‌های متفاوتی قابل انجام است که از آن جمله

می‌توان داده‌های گزارش شده از ایستگاه‌های اندازه‌گیری، مدل‌سازی، فناوری عکس‌های ماهواره‌ای را نام برد که هر کدام در کنار مزایای داری معایب خاص خود می‌باشند (Hall et al., 1995; Lindsay et al., 2015). امروزه پیشرفت‌های بسیاری در زمینه دورسنجی حاصل شده است که در نتیجه آن این روش را به عنوان ابزاری قدرتمند و مفید در جهت ارزیابی مناطق غیرقابل دسترس مطرح کرده است. هزینه پایین به دلیل بکارگیری نیروی انسانی و عملیات زمینی کمتر، کم‌رنگ شدن مشکلاتی مانند پراکندگی نامناسب ایستگاه‌ها و داده‌های گم شده نیز از دیگر مزایای این روش است (Dozier, 1989; Rees, 2005; Lidoromi et al., 2015). امروزه با پیشرفت‌های فناوری انواع سنجنده‌های مختلفی با قدرت تفکیک زمانی و مکانی بالا برای پایش برف در دسترس قرار گرفته‌اند که از آن جمله می‌توان به حسگرهای مودیس^۵، لندست^۶، اوهرا^۷، اسپات^۸، استر^۹، ژئوز^{۱۰} و مریس^{۱۱} اشاره کرد (Ramsay, 1998; Hall, 2002; Matkan, 2003; Romanov et al., 2003; Malcher et al., 2003). از میان سنجنده‌های ذکر شده مودیس بیشترین توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است چرا که تصاویر این سنجنده پوشش فضایی جهانی دارد، در عین حال در بازه زمانی کمتر و با دقت مکانی مناسب مناطق را پوشش می‌دهد. پژوهش‌های انجام‌شده نشان داده است با استفاده از داده‌های دورسنجی به منظور محاسبه پوشش برف، مدل‌های ذوب برف روند محاسباتی و کارایی بالاتری را نشان می‌دهند (Seidel et al., 1994; Singh and Jain, 2003).

تاکنون در زمینه پایش سطح پوشیده شده از برف با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به پژوهش Evans و همکاران (۲۰۱۳) اشاره کرد. در این تحقیق حجم برف با استفاده از ساخت مدل رقومی ارتفاع قبل و بعد از بارش اندازه‌گیری شد. با مقایسه مقادیر محاسبه شده با مقادیر داده‌های برداشت میدانی مشخص شد که این روش از دقت بالایی برای محاسبه حجم و ارتفاع برف برخوردار است. Li و همکاران (۲۰۱۸) در تحقیق خود تغییرات سطح پوشش برف فلات تبت و

⁵ ASTER

⁶ GEOS

⁷ MERIS

¹ MODIS

² Landsat

³ AVHRR

⁴ SPOT

انتظامی و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از شاخص‌های NDSI و ۳ و ۴ LSU پوشش برف حوضه آبخیز سقر را مورد ارزیابی قرار داد. در این پژوهش روش LSU با دقت ۹۸ درصد نسبت به NDSI کارآمدتر بود. فلاحی و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از عکس‌های ماهواره مودیس اثر تغییر اقلیم بر سطح پوشش برف حوضه آبخیز منتهی به سد امیرکبیر را مورد بررسی قرار دادند. در پژوهشی دیگر پوشش برف کوهستان سهند را با استفاده از سنجنده ای LOI و از طریق تکنیک‌های شیء‌گرا مورد بررسی قرار دادند (سیفی و قربانی، ۲۰۱۹). در این پژوهش برآورد پوشش برف دره‌ها با استفاده از الگوریتم‌های NDSI، LST، Brightness و NDVI انجام شد. نتایج تحقیق نشان داد الگوریتم‌های استفاده شده دقت بالایی برای تخمین پوشش برف داشتند.

بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد با توجه به اهمیت حوضه آبخیز کوه‌رنگ تاکنون پژوهشی در زمینه پوشش برف حوضه آبخیز کوه‌رنگ با تفکیک مناطق ارتفاعی صورت نگرفته است. در این پژوهش سعی شده است فقدان و کاستی‌های اطلاعاتی در زمینه پوشش برف این منطقه بخصوص در بازه زمانی تعریف شده که نوسانات آبی شدیدی اتفاق افتاده است، بررسی گردد. در نتایج بدست آمده به تفکیک مناطق ارتفاعی سعی شد که از تصاویر بیشتری در ماه‌های بیشتری از سال استفاده شود، بنابراین با استفاده از نتایج این تحقیق می‌توان سطوح پوشش برف را بهنگام پایش و الگو برف این منطقه را با دقت بیشتری مشخص کرد که در نهایت دید بهتر و جامع‌تری به فهم جزئیات تغییرات پوشش برف منطقه به مدیران جهت برنامه‌ریزی بهینه خواهد داد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه، حوضه آبخیز کوه‌رنگ با وسعتی معادل ۱۲۷۹ کیلومتر مربع، می‌باشد (شکل ۱، الف). این حوضه در ۳۱ و ۴۹ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۳۳ دقیقه عرض شمالی و ۵۰ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۲۶ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ شمال شرق قرار دارد و در قسمت شمال

حوضه آبریز ۷ رودخانه این منطقه را با استفاده از تصاویر مودیس استخراج کردند. این محققان از داده‌های سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ برای واسنجی مدل بهره جستند. علاوه بر این تأثیر احتمالی دما و بارش بر تغییرات کسر پوشش برف نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد توزیع پوشش برف با ارتفاعات ارتباط مستقیمی دارد. پوشش برف این منطقه در طول دوره ۱۴ ساله مورد مطالعه حدود ۱/۱ درصد کاهش یافته است به طوری که با افزایش طول جغرافیایی این پدیده شدت یافته است. نتایج نشان داد پوشش برف با دما و بارش نیز ارتباط دارد و بارش مهم‌ترین فاکتور تأثیرگذار بر تغییرات پوشش برف در این منطقه است. Saavedra و همکاران (۲۰۱۸) به پایش سطح پوشش برف و ماندگاری برف در رشته‌کوه آند با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس پرداختند. نتایج نشان داد ماندگاری برف همبستگی بالایی با پارامترهای اقلیمی از جمله بارش و دما داشت و میزان این همبستگی بشدت تحت تأثیر عرض جغرافیایی و ارتفاع قرار می‌گیرد. Orsolini و همکاران، (۲۰۱۹) به برآورد عمق و پوشش برف در فلات تبت پرداختند. با مقایسه نتایج حاصل از مراکز تجزیه و تحلیل جهانی با داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه زمینی، داده‌های عمق برف حاصل از ماهواره‌ای میکروویو و داده‌های سیستم نقشه برداری برف و یخ چند حسگر تعاملی^۱ (IMS) به این نتیجه رسیدند که IMS بیشترین ضریب همبستگی (۰/۷۸) با داده‌های زمینی را دارد. Zhang و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی تغییرات پوشش برف فلات تبت با استفاده از داده‌های سنجنده مودیس و VIIRS^۲ پرداختند، مقایسه آن با داده‌های زمینی نشان داد که مودیس در این منطقه با دقت بیشتری پوشش برف را محاسبه می‌کند.

اقلیم خشک و نیمه خشک ایران، مسئله آب و منابع آبی را به یکی از مهمترین چالش‌های موجود تبدیل کرده است. از این رو برف به عنوان منبع اصلی تأمین آب شیرین در بسیاری نقاط کشور نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. تا به امروز در ارتباط با پوشش برف مناطق مختلف ایران تحقیقات وسیعی انجام شده است. از جمله:

³ Normalized Difference Snow Index

⁴ Linear Spectral Unmixing

¹ Interactive Multisensor Snow and Ice Mapping System

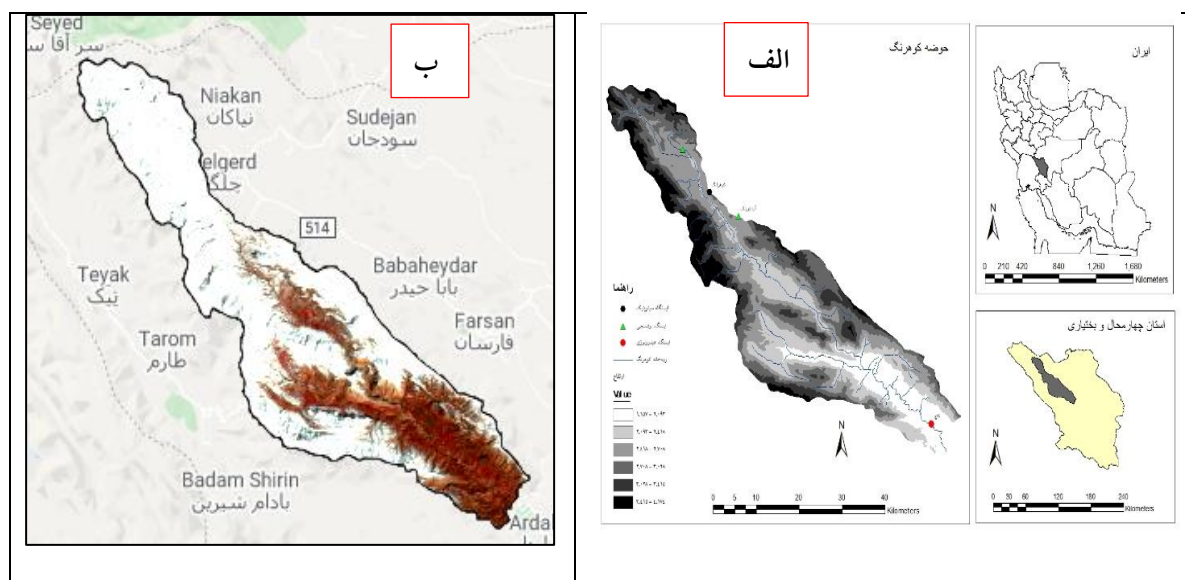
² Visible Infrared Imaging Radiometer Suite

که دارای قدرت تفکیک زمانی (روزانه) و مکانی (۵۰۰ متر) مناسبی است، از لحاظ قدرت تفکیک طیفی نیز یکی از بهترین سنجنده های نوری برای مطالعه برف و جداسازی برف از پدیده هایی مانند ابر که از لحاظ رفتار طیفی مشابه برف اند می باشد (طالبی اسفندرانی و همکاران، ۱۳۹۰). شاخص نرمال شده برف (NDSI) نیز از جمله الگوریتم های با کارایی بالاست که برای انجام تحقیق برف سنجی به صورت گسترده مورد استفاده قرار می گیرد (هال و ریگز، ۲۰۰۲). لذا در پژوهش حاضر به منظور پایش سطح پوشش برف در حوضه کوهرنگ داده های روزانه سنجنده مودیس و شاخص NDSI برای بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۱۰ و در طول سال مورد استفاده قرار گرفت.

شرق استان چهارمحال و بختیاری واقع شده است. ۸۲ درصد از مساحت منطقه کوهستانی و ۱۸ درصد بقیه به صورت دشت است. دامنه ارتفاعی حوضه ۴۰۷۴ تا ۱۶۵۶ متر بوده و ارتفاع متوسط حوضه ۲۷۰۰ متر می باشد که این نشان دهنده مرتفع و برف گیر بودن این حوضه است به طوری که منابع آبهای زیر زمینی این منطقه بسیار غنی بوده و سرچشمه اغلب رودخانه ها از جمله کارون و زاینده رود است.

داده های ماهواره ای مودیس

در انجام تحقیق برف سنجی برای انتخاب سنجنده، ویژگی هایی همچون قدرت تفکیک طیفی، زمانی و مکانی مناسب از اهمیت بالایی برخوردار است. سنجنده مودیس در عین حال



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز کوهرنگ (الف)، پراکندگی پوشش برف حوضه آبخیز کوهرنگ (ب).

نرم افزار تصحیح اتمسفری بر روی آن ها انجام شد. سپس با هدف حذف جابجایی های موجود در تصویر و نقشه منطقه مورد مطالعه، با استفاده از اطلاعات طول و عرض جغرافیایی تصحیح هندسی نیز انجام شد. تصحیح توپوگرافی داده ها نیز به روش لامبرت انجام شد (Tang et al., 2013).

الگوریتم NDSI

شاخص NDSI به دلیل داشتن توانایی برای تفکیک برف از ابر و یخ از طریق طول موج این پدیده ها، به عنوان ابزار

تصحیح تصاویر ماهواره ای

در ابتدا تصحیحاتی روی تصاویر دریافت شده از سنجنده مودیس انجام شد. به دلیل وجود ذرات معلق موجود در هوا، تباین تصاویر دریافتی از سنجنده کاهش می یابد که برای افزایش تباین تصاویر بایستی تصحیحات اتمسفری روی آن ها انجام پذیرد. برای این کار ابتدا تصاویر به محیط نرم افزار انوی^۱ معرفی شدند و با استفاده از الگوریتم فلش موجود در این

^۱ ENVI

وجود دارد و بنابراین جهت جداسازی ابر از برف، (معادله ۴) مورد استفاده قرار می‌گیرد (Hall et al., 2002).

استخراج سطح برف

پس از انجام مراحل فوق، محدوده مورد مطالعه برش داده شد. در نهایت با استفاده از نرم‌افزار آرک جی آی اس^۱ سطح پوشش برف منطقه، با توجه به اندازه پیکسل‌ها و تعداد پیکسل‌های برفی اندازه‌گیری شده و خروجی مورد نظر بدست آمد. بعلاوه حوضه به ۶ طبقه تقسیم شدند که شامل طبقه ارتفاعی ۱ (۲۰۹۲-۱۶۵۶ متر)، طبقه ارتفاعی ۲ (۲۰۹۲-۲۴۱۷ متر)، طبقه ارتفاعی ۳ (۲۴۱۷-۲۷۰۶ متر)، طبقه ارتفاعی ۴ (۲۷۰۶-۳۰۲۳ متر)، طبقه ارتفاعی ۵ (۳۰۲۳-۳۴۰۸ متر)، طبقه ارتفاعی ۶ (۳۴۰۸-۴۰۷۴ متر) است. سطح پوشش برف به تفکیک طبقات ارتفاعی نیز به همین روش محاسبه و در نهایت رابطه بین ارتفاع و سطح پوشش برف مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج و بحث

بررسی تغییرات پوشش برف

در پژوهش حاضر، تصاویر اولیه از سنجنده مودیس در بازه ۹ ساله ۲۰۱۸-۲۰۱۰ دریافت شد. پس از انجام تصحیحات رادیومتری، هندسی و توپوگرافی بر تصاویر از الگوریتم NDSI برای محاسبه سطح پوشش برف استفاده گردید. در ادامه تفکیک پوشش برف از سایر عوارض موجود در تصاویر مانند ابر با استفاده از الگوریتم ذکر شده انجام پذیرفت و در نهایت پوشش برف محاسبه گردید.

میانگین ماهیانه درصد پوشش برف حوضه کوه‌رنگ نشان می‌دهد آغاز ظهور پوشش برف در حوضه آبخیز کوه‌رنگ ماه اکتبر (مهر) است (شکل ۲). در اثر کاهش دمای هوا ریزش‌ها عمدتاً به شکل برف ظهور نموده و تغییرات پوشش برف منطقه به مرور زمان افزایشی می‌شود. بیشترین سطح پوشش برف به صورت میانگین نزدیک به ۸۰ درصد است، بدین معنا که کل سطح حوضه آبخیز مورد مطالعه از برف پوشیده شده است که در ماه ژانویه (دی) حاصل می‌شود. پس از آن و به دنبال افزایش دما، تغییرات پوشش برف نزولی

مورد استفاده در این پژوهش در جهت پایش تصاویر مورد استفاده قرار گرفت. این شاخص با استفاده از (معادله ۱) و در نتیجه بهره جستن از الگوریتم‌های پردازش تصویر، سطح برف را از سایر سطوح تفریق داده و در نهایت میزان سطح پوشش برف را اندازه‌گیری می‌کند.

$$NDSI = \frac{RG - RSWIR}{RG + RSWIR} \quad (1)$$

$$B_2 \geq 0.1 \quad (2)$$

$$B_4 \geq 0.10 \quad (3)$$

$$NDSI = \frac{B_4 - B_6}{B_4 + B_6} \geq 0.4 \quad (4)$$

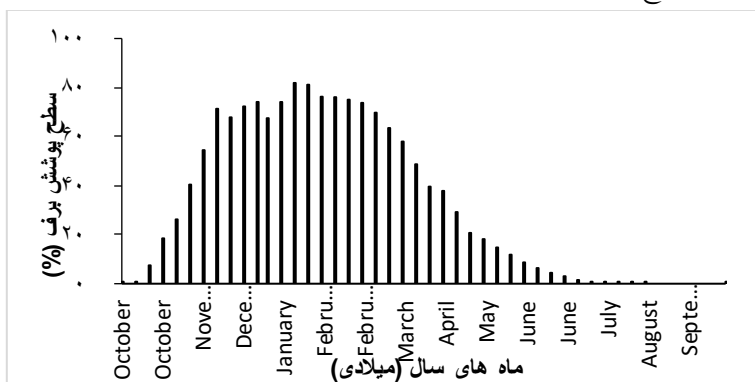
RG انعکاس در طول موج سبز

RSWIR انعکاس در طول موج فرسوخ موج کوتاه

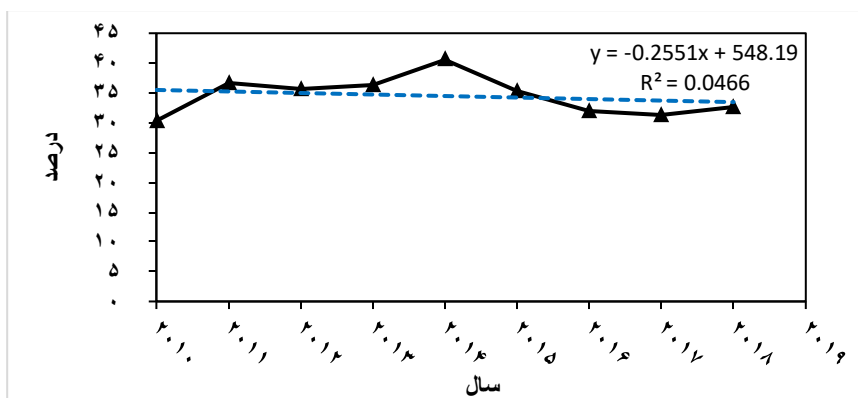
با بکارگیری این شاخص پیکسل‌های موجود ارزش‌گذاری می‌شوند (۱- تا ۱). عدد نسبت داده شده به هر پیکسل نشان‌دهنده وجود و یا عدم وجود برف در آن‌ها است. ارزش‌های زیر صفر مبین عدم حضور برف در پیکسل مورد نظر است این در حالی است که اگر ارزش یک پیکسل بین صفر تا یک بود می‌توان این‌طور برداشت کرد که پیکسل مورد نظر، پوشیده از برف است. بسته به میزان برف و عمق آن عدد تعلق گرفته به هر پیکسل متفاوت است، با نزدیک‌تر شدن اعداد به یک می‌توان این‌طور برداشت نمود که پوشش برف سنگین‌تر و عمق آن نیز بیشتر است. پیاده‌سازی الگوریتم برف سنجی با استفاده از باندهای ۴ و ۶ این سنجنده به طور اتوماتیک انجام می‌گردد. این در حالی است که باند ۲ نیز در محاسبات انجام‌شده نقش دارد و برای تفکیک برف از آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به نکات ذکر شده در بخش فوق، برف در ناحیه انعکاس خوبی در طیف نوری فرسوخ دارد؛ بنابراین اگر پیکسلی در این طیف نوری انعکاسی کمتر از ۰/۱۱ داشت نشان‌دهنده این حقیقت است که به احتمال زیاد هیچ برفی در آن پیکسل حضور ندارد و بر همین اساس نیز در محاسبات بعدی ورود پیدا نخواهد کرد. در ادامه اگر شرایط ذکر شده در (معادله ۳) برقرار بود، ابر نیز در تصاویر

نشان داد بارش و در ادامه تجمع برف در این مناطق از ماه اکتبر (مهر) آغاز شده و در ماه ژانویه (دی) به حداکثر مقدار خود می‌رسد که با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. شکل ۳ تغییرات مساحت مناطق برفی کوهرنگ را برای سال‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد. با توجه به نمودار در بین سال‌های مورد بررسی سال ۲۰۱۴ با بیش از ۵۱۸/۴۴ (۴۰/۵ درصد) کیلومترمربع بیشترین پوشش برفی را دارا بوده است. سال ۲۰۱۰ نیز با میزان ۳۸۷/۵ کیلومترمربع دارای کمترین مساحت برفی در بین این سال‌ها است. سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ با متوسط حدود ۳۱ درصد، کمترین پوشش‌های برف را پس از ۲۰۱۰ به خود اختصاص دادند. با توجه به سیر تغییرات این نمودار، می‌توان این‌طور برداشت کرد که میزان پوشش برف حوضه آبخیز کوهرنگ در این سال‌ها کاهشی بوده است.

می‌شود و در نهایت در اواخر ماه ژوئیه (تیر) تقریباً به صفر می‌رسد. برف ذوب شده به صورت جریان خروجی از حوضه خارج می‌گردد. با توجه به این مسئله که دبی خروجی متأثر از میزان و سرعت ذوب شدن برف است لذا ضرورت مطالعه بر روی تغییرات سطح پوشش برف جهت پیش‌بینی میزان آب در دسترس در فصول خشک سال از اهمیت بالایی برخوردار است. ژانویه (دی) و فوریه (بهمن) به ترتیب با داشتن میانگین پوشش برف ۸۸/۶ و ۸۶/۲ درصد بیشترین پوشش برفی ماهانه را ثبت کردند. بیشترین و کمترین پوشش برفی ماه ژانویه (دی) بترتیب ۱۰۰ و ۵۲/۵ درصد بود که مربوط به ۹ ژانویه (دی) ۲۰۱۴ و یکم ژانویه (دی) ۲۰۱۷ بود. Parajka و Blöschl (2006) و Sorman و همکاران (۲۰۰۷) و Orsolini و همکاران (۲۰۱۹)، به ترتیب در مناطق اتریش، ترکیه و فلات تبت تغییرات سطوح پوشش برف را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج هر سه پژوهش فوق



شکل ۲- تغییرات میانگین ماهانه ده ساله پوشش برف ۲۰۱۰-۲۰۱۸ حوضه آبخیز کوهرنگ



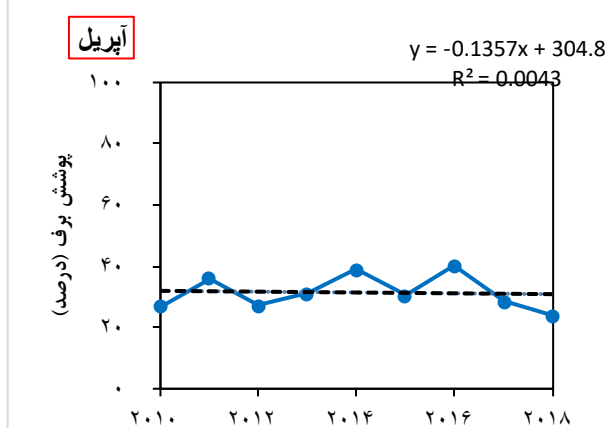
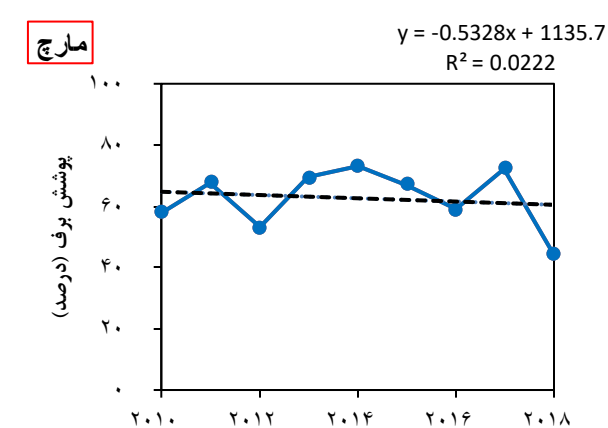
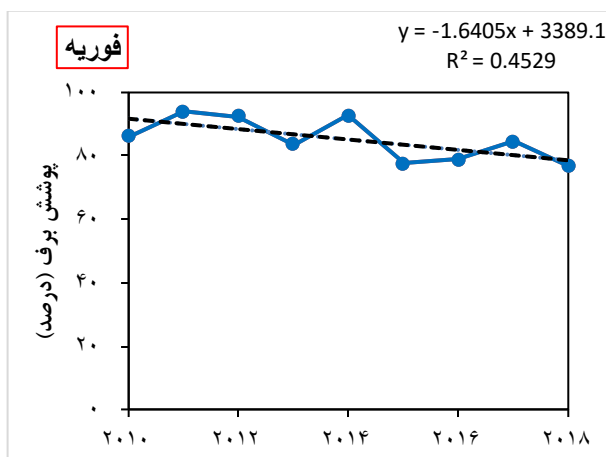
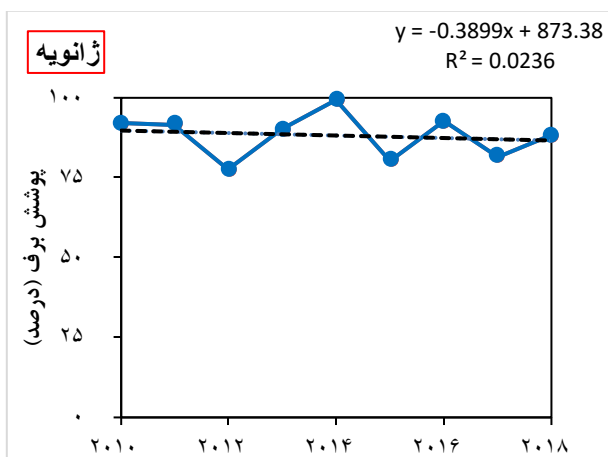
شکل ۳- میانگین درصد پوشش برف سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۱۸ حوضه آبخیز کوهرنگ

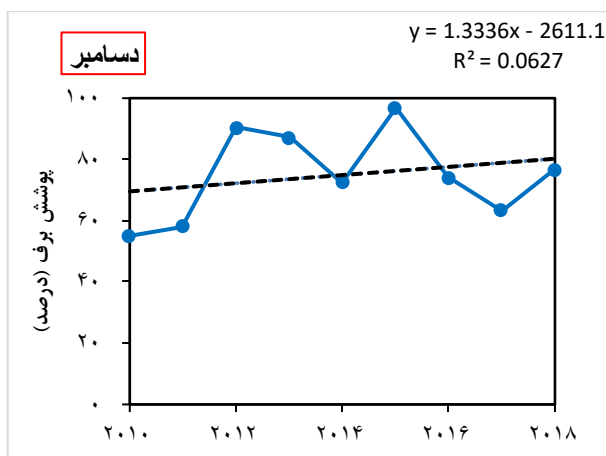
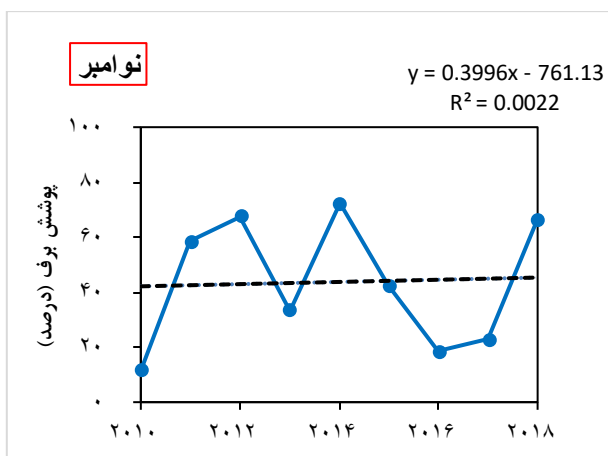
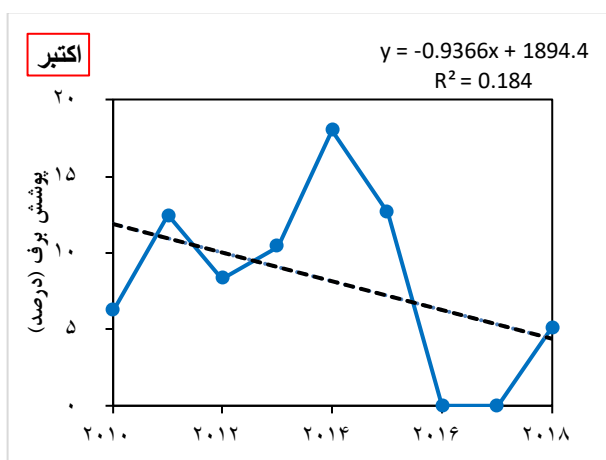
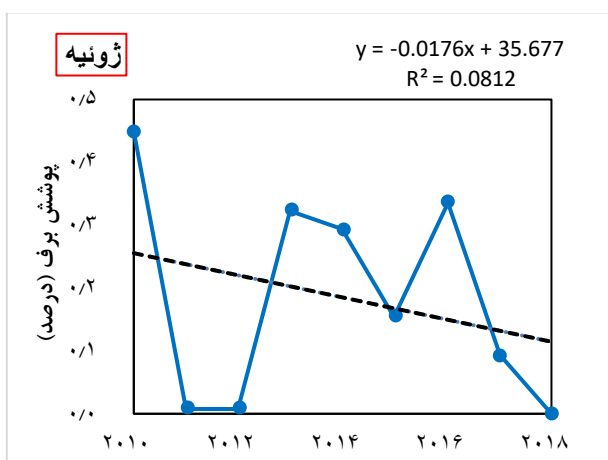
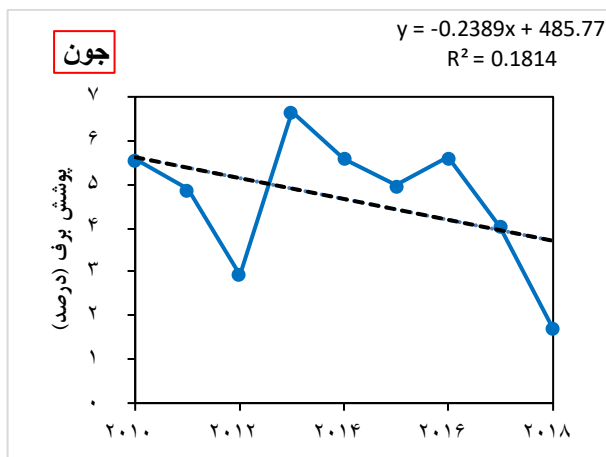
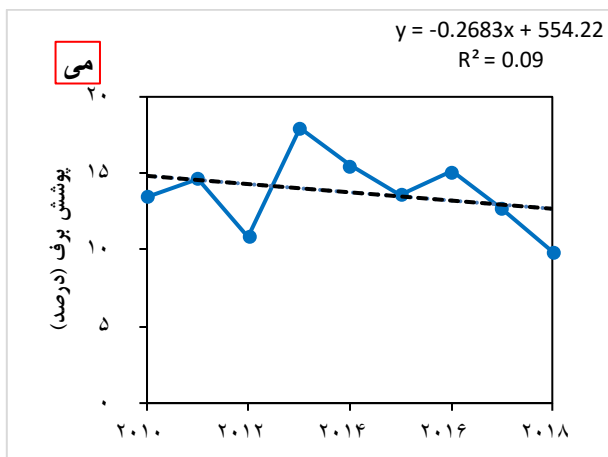
است. به‌طور کلی تغییرات پوشش برف از سال ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ در تمامی ماه‌های سال سیر کاهشی را نشان می‌دهد. برای

تغییرات سطح پوشش برف حوضه آبخیز کوهرنگ در دوره زمانی ماهانه محاسبه و نتایج حاصل در شکل ۴ آورده شده

شیب منفی خط رگرسیون در این ماه‌ها به سطح معنی‌داری نزدیک‌تر است. اگر پوشش برف این ماه به حد مطلوب نرسد، بالطبع با شروع ذوب برف که از ماه فوریه (بهمن) آغاز می‌گردد، سطح پوشش برف گزارش شده در این ماه نیز نسبت به قبل تغییرات کاهش بیشتری را نشان می‌دهد. از علل این وضعیت می‌توان به شروع زود هنگام ذوب برف و در نتیجه کوتاه شدن دوره دوام برف اشاره کرد از دلایل دیگر این امر می‌توان به کاهش بارش و عدم رسیدن به ماکزیمم مقدار پوشش برف در ماه ژانویه (دی) اشاره کرد عزیز و همکاران (۲۰۱۷)، در بررسی تغییرات پوشش برف دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی نیز نتایج مشابهی را گزارش کردند.

بررسی دقیق‌تر این امر خط رگرسیون عبوری محاسبه و معادله‌های آن‌ها نیز بدست آمد. شیب خط برای تمامی ماه‌ها منفی بوده که تأییدی بر تغییرات نزولی سطح پوشش برف است؛ اما تغییرات ذکر شده غیر معنی‌دار بودند. در این میان ماه‌هایی که بیشترین کاهش را داشته‌اند به ترتیب ماه‌های فوریه (بهمن)، اکتبر (مهر)، مارس (اسفند) و ژانویه (دی) بودند. با توجه به موارد ذکر شده پوشش برف در پاییز به‌ویژه اکتبر (مهر) و زمستان به میزان فزاینده‌تری در حال کاهش است؛ بنابراین می‌توان به این نتیجه رسید که ماه‌هایی که بیک پوشش برف را داشته‌اند. ژانویه (دی)، فوریه (بهمن) و مارس (اسفند) تغییرات نزولی بیشتری را نسبت به سایرین تجربه کرده‌اند و





شکل ۴- تغییرات سطح پوشش برف ماهانه حوضه آبخیز کوهرنگ (۲۰۱۰-۲۰۱۸)

است، اما به دلیل تغییرات مکانی زیاد و نیز دشواری در اندازه گیری و جمع آوری اطلاعات، بررسی این پارامتر بسیار مشکل ساز است. شناخت عملکرد هر یک از عوامل توپوگرافی و

تأثیر ارتفاع بر میزان پوشش برف

پیش بینی توزیع مکانی ذخائر برف، برای محاسبه دقیق تر رواناب برف، از اهمیت زیادی در هیدرولوژی برف برخوردار

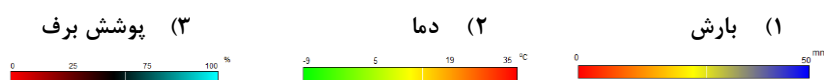
مستقیمی برقرار است، با ضریب همبستگی بالا (۰/۹۸) می‌توان گفت رابطه خطی معنی‌داری بین این دو متغیر وجود دارد که با افزایش ارتفاع بر میزان پوشش برف افزوده می‌شود از این رو می‌توان ارتفاع را به عنوان یک عامل جغرافیای تأثیرگذار در نظر گرفت. در تحقیقی که توسط Saavedra و همکاران (۲۰۱۸) در رابطه با سطح پوشش برف رشته‌کوه آند و تأثیر ارتفاع بر میزان تغییرات برف‌مرزها انجام شد نیز نتایج مشابهی گزارش گردید. علاوه بر این می‌توان اظهار کرد که ارتفاع از عوامل توپوگرافی مؤثر بر میزان و ماندگاری بارش برف و در نتیجه عاملی است که در بررسی‌های پوشش برف بایستی مورد توجه ویژه قرار گیرد. لذا در مناطق مذکور به دلیل بالاتر بودن ارتفاع، نزولات جوی اکثراً به شکل برف بوده و پوشش برف حاصل از این بارش‌ها نسبت به سایر نقاط سنگین‌تر است به دلیل همین میانگین دمایی پایین‌تر، انتظار می‌رود برف پایداری بیشتری داشته باشد و مدت زمان بیشتری بر روی سطح بماند.

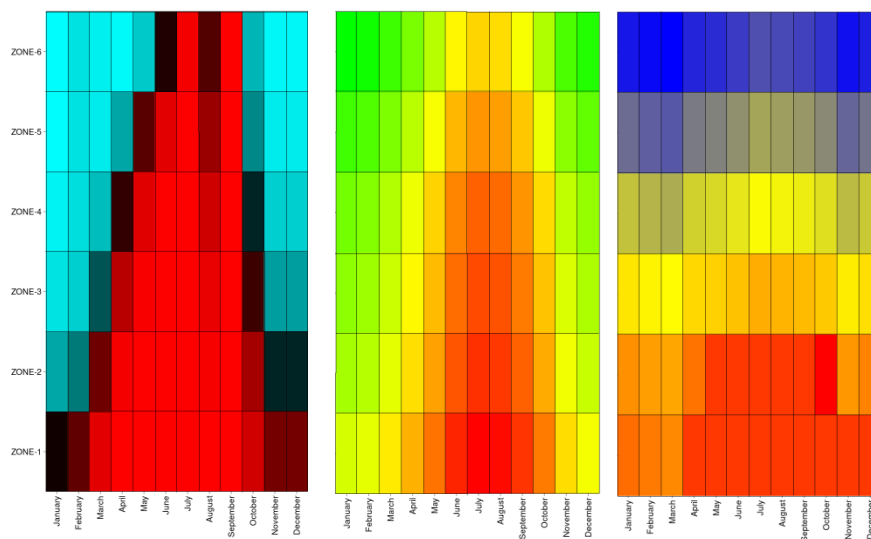
در نهایت می‌توان اظهار کرد که ارتفاع از عوامل توپوگرافی مؤثر بر میزان و ماندگاری بارش برف و در نتیجه عاملی است که در بررسی‌های پوشش برف باید مورد توجه ویژه قرار گیرد. که در این پژوهش سعی بر این شد به این مورد مهم پرداخته شود.

تأثیر آن بر تغییرات برف، از راه‌های بررسی این مسأله است. یکی از این عوامل، ارتفاع می‌باشد که بدلیل سهل‌الوصول بودن آن، بررسی می‌شود.

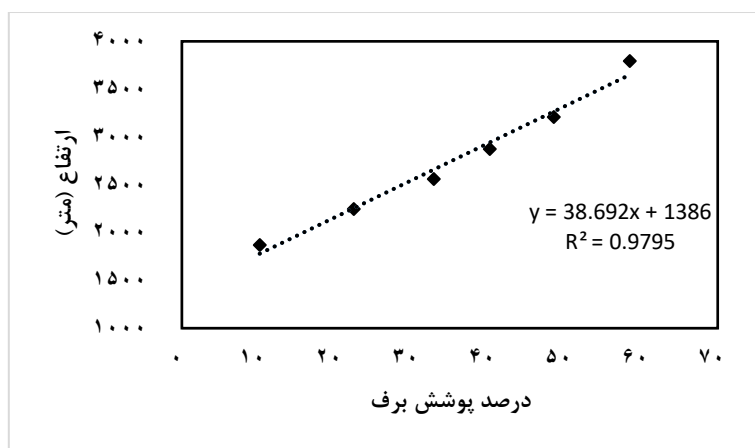
شکل ۵۵ نتایج مربوط به تأثیر طبقات مختلف ارتفاعی را بر پوشش برف حوضه کوه‌رنگ نشان می‌دهد. با توجه به نتایج بدست آمده، در طبقات ارتفاعی بالاتر پوشش برف بیشتر و با زمان ماندگاری بالاتری وجود دارد. پس در طول سال، پوشش برف ارتفاعات بالاتر مدت زمان طولانی‌تری باقی می‌ماند. به طور میانگین در ارتفاعات بیش از ۳۴۰۰ متر در ۹ ماه از سال پوشش برفی وجود دارد و تنها در ماه‌های تابستان تقریباً هیچ پوشش برفی ندارد. در نقطه مقابل طبقات ارتفاعی پایین‌تر هستند، بخصوص در طبقات ارتفاعی ۱۶۵۶-۲۰۹۲ متر که به‌طور میانگین تنها در ۵ ماه از سال دارای پوشش‌های برف پراکنده هستند. به موازات این تغییرات در پوشش برف در مناطق ارتفاعی مختلف تغییرات برف‌مرز نیز هماهنگ با آن در ماه‌های مختلف تغییر می‌کند. برف‌مرز در حوضه آبخیز کوه‌رنگ در ماه‌های سرد سال که ریزش و ماندگاری برف بیشتری دارد در ارتفاع کمتری قرار دارد. در ماه‌های گرم‌تر این ارتفاع افزایش پیدا می‌کند به طوری که ارتفاع برف‌مرز به خارج از ارتفاع حوضه تغییر پیدا می‌کند. در طی دوره مورد مطالعه برای ماه ژانویه که در اغلب سال‌ها دارای بیشترین میزان برف می‌باشد، ارتفاع برف‌مرز به ۲۷۶۷ متر می‌رسد.

شکل ۵۶ نشان می‌دهد که بین دامنه ارتفاعی حوضه (۱۶۵۶-۴۰۷۴ متر) و میانگین پوشش برف در دوره مورد مطالعه ارتباط





شکل ۵: تغییرات میانگین پوشش برف، دما و بارش در طبقات ارتفاعی مختلف حوضه آبخیز کوهرنگ.



شکل ۵- نمودار همبستگی پوشش برف در شش منطقه ارتفاعی حوضه آبخیز کوهرنگ (۲۰۱۰-۲۰۱۸).

نتیجه گیری

با توجه به افزایش جمعیت، زندگی امروزی و پیشرفت تکنولوژی، آب یکی از مهمترین پارامترهای برنامه ریزی در تمام جنبه های زندگی بشر می باشد. ذخایر برف کوهستانی از منابع آبی مهم و مطمئن کشورند، که شناخت دقیق کمیت این منابع با توجه به ارزش روزافزون آب شیرین الزامی است. یکی از مهمترین اشکال نزولات جوی در حوضه آبخیز کوهرنگ برف است و از آنجایی که منابع آب حاصل از برف به صورت تأخیری در دسترس قرار می گیرد، بنابراین در تأمین آب آشامیدنی در فصول کم آبی اهمیت بالایی دارد. امروزه

کاهش نسبت بارش های جامد، سطح پوشش و ماندگاری برف در حوضه آبخیز کوهرنگ مشکلات متعددی در خصوص منابع آب ایجاد نموده و با توجه به وابستگی پهنه وسیعی از مرکز و جنوب غرب کشور به ریزش های جوی این حوضه، بررسی نوسانات سطح پوشش برف منطقه در بازه زمانی ۲۰۱۰-۲۰۱۸ و ارتفاع به عنوان هدف این پژوهش انتخاب گردید. به این منظور تصاویر ماهواره ای دریافت و پس از انجام تصحیحات هندسی، اتمسفری و رادیومتریکی برای استخراج سطح پوشش برف از شاخص NDSI استفاده شد و سپس پوشش برف حوضه بر اساس طبقات ارتفاعی محاسبه و در

سطح پوشش برف توسط ابراهیمی و همکاران، (۱۳۹۱)، میرموسوی و همکاران (۱۳۹۳)، سلیمانی و همکاران، (۱۳۹۷) و بهرامی پیچاقچی و همکاران، (۱۳۹۸) که برترتیب در مناطق برف خیز ایران، منطقه شمال غرب ایران، استان کردستان و شمال البرز مرکزی انجام شده، بدست آمده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد، پوشش برف بشدت تحت تأثیر ارتفاع قرار دارد ضریب همبستگی بین ارتفاع و پوشش برف گویای رابطه مستقیم معنادار آن‌ها است این بدین معناست که با افزایش ارتفاع بر میزان پوشش برف افزوده می‌شود بنابراین ارتفاع یکی از عوامل تأثیر گذار بر پوشش برف می‌باشد. با توجه به نتایج ذکر شده و اهمیت بالای حوضه کوه‌رنگ به عنوان سرچشمه بزرگ‌ترین رودخانه ایران و تامین کننده آب شرب و کشاورزی پهنه وسیعی از کشور، نتایج این تحقیق می‌تواند در جهت برنامه‌ریزی‌های منابع آب منطقه بخصوص در فصول گرم سال بسیار کاربردی و مفید باشد.

منابع

1. Azizi, G., Rahimi, M., Mohammadi, H., & Khoshakhlagh, F. (2017). Spatio-temporal variations of snow cover in the southern slope of central Alborz. *Physical Geography Research*, 49(3), 381-393.
2. Bahrami Pichachchi, H., Raeini, S., & Norouzolahdi, R. (1398), Investigation of changes in snow cover in the north of Central Alborz using MODIS sensor, the third national conference on coastal water resources management, Sari
3. Berezowski, T., Chormański, J., & Batelaan, O. (2015). Skill of remote sensing snow for distributed runoff prediction. *Journal of Hydrology*, 524, 718-732.
4. Dozier, J. (1989). Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper. *Remote Sensing of Environment*, 28(1), 9-22.
5. Ebrahimi, H., Gheibi, A., & Malakouti, H. (2012). Trend of snow cover changes in snowy areas of Iran using Madis sensor data. *Nivar*, 36 (78), 3-10.
6. Entezami, H., Alavipanah, S. K., Darvishi Boloorani, A., Matinfar, H. R., & Chap, K. (2017). Comparison of NDSI and LSU

نهایت رابطه ارتفاع و پوشش برف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد بیشترین و ماندگارترین پوشش برف حوضه در مناطق شمالی و غربی آن شکل می‌گیرد که با نقشه توپوگرافی منطقه همخوانی دارد. به طور میانگین در حوضه کوه‌رنگ بارش برف از اواخر اکتبر (مهر) آغاز می‌شود، به تدریج و با ورود به ماه‌های سردتر، سطوح پوشیده شده از برف گسترش یافته و نهایتاً در ماه‌های ژانویه (دی) و فوریه (بهمن) به بیشینه مقدار خود می‌رسد. پس از آن و تا اواخر ماه ژوئیه (تیر) شاهد ذوب برف هستیم بطوری که در ماه‌های آگوست (مرداد) و سپتامبر (شهریور) تقریباً هیچ‌گونه پوشش برفی در حوضه مشاهده نمی‌شود. بررسی تغییرات سالانه پوشش برف نشان می‌دهد، سطح پوشش برف حوضه در دوره مورد مطالعه کاهش داشته و کمترین مقدار پوشش برف در سال‌های ۲۰۱۰، ۲۰۱۷ و ۲۰۱۸ ثبت شده است. در این تغییرات کاهشی ماه‌های دارای پیک پوشش برف که شامل ژانویه (دی)، فوریه (بهمن) و اکتبر (مهر) بودند بیشترین تأثیر منفی را داشتند. نتایج مشابهی در بررسی

- Methods in Estimation of Snow Cover by MODIS (Case Study: Saghez Watershed Basin). *Physical Geography Research Quarterly*, 49(2), 207-219.
7. Evans, J., & Kruse, F. (2013). Snow Depth Retrieval Using Ku-Band Interferometric Synthetic Aperture Radar (Insar). Paper presented at the 36th Conference on Radar Meteorology, USA.
 8. Falahati, F., Alijani, B., & Saliqueh, M. (2018). Investigating the effect of climate change on snow cover with the approach of water resources management in the coming decades (Case study: Basin of watershed leading to Amir Kabir dam). *Scientific Journal of Rescue and Relief*, 9(3), 68-79.
 9. Fattahi, E., Noohi, K., & Delavar, M. (2009). Investigation of snow cover surface of southwestern basins of Iran in relation to climate signals. *Quarterly Journal of Geographic Research*, 24(95), 109-1.
 10. Ghanbarpour, M. R., Mohseni, S. M., & Ahmadi, H. (2005). An evaluation of regions effective in accumulation and persistence of snow cover and snowmelt contribution in runoff. *Iranian Journal of Natural Resources*, 58(3), 505-513.

11. Hall, D., Riggs, G., Salomonson, V.V., DiGirolamo, N.E., & Bayr, K. (2002). MODIS snow-cover products. *Remote Sensing of Environment*, 83(2), 181-194.
12. Hall, D. K., Riggs, G. A., & Salomonson, V. V. (1995). Development of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data. *Remote Sensing of Environment*, 54(2), 127-140.
13. Hall, D. K., Riggs, G. A., Salomonson, N. E., & Bayr, K. J. (2002). MODIS snow-cover products. *Remote Sensing of Environment*, 83(1-2), 181-194.
14. Hasanpour Darvishi, H., & Ebrahimi, H. (2014). Effect of snow effect on runoff simulation in catchment area (Case study: Neyshabour catchment basin). *Irrigation and Drainage Journal of Iran*, 8(4), 864-857.
15. Li, C., Su, F., Yang, D., Tong, K., Meng, F., & Kan, B. (2018). Spatiotemporal variation of snow cover over the Tibetan Plateau based on MODIS snow product, 2001–2014. *International Journal of Climatology*, 38(2), 708-728.
16. Lindsay, C., Zhu, J., Miller, A. E., & Wilson, T. L. (2015). Deriving snow cover metrics for Alaska from MODIS. *Remote Sensing*, 7(10), 12961-12985.
17. Lldoromi, A., Habibnejad Roshan, M., Safai Sha, M., & Oghli Ali, D. (2015). Application of MODIS Sensor and NDSI Index to Produce Snow Cover Map (Case Study of Bahar Watershed, Iran). *Geographical Space*, 15(50), ۱۰۴۰-۲۰.
18. Malcher, P., Floricioiu, D., & Rott, H. (2003). Snow mapping in Alpine areas using medium resolution spectrometric sensors. Paper presented at the IGARSS 2003. 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings (IEEE Cat .No. 03CH3747).
19. Matkan, A. (2003). Snow depth estimation in Iran, using: Dmsp Fii-Ssm/I Satellite data. *Geography*, 2(1), 8-27.
20. Maurer, E. P., Rhoads, J. D., & Lettenmaier, D. P. (2003). Evaluation of snow-covered area data product from MODIS. *Hydrological Processes*, 17(1), 59-71.
21. Mirmousavi, S.H., & Saboor, L. (2014). Monitoring the Changes of Snow Cover by Using MODIS Sensing Images at North West of Iran. *Geography and Development Iranian Journal*, 12(35), 181-200.
22. Orsolini, Y., Wegmann, M., Dutra, E., Liu, B., Balsamo, G., Yang, K., & Senan, R. (2019). Evaluation of snow depth and snow cover over the Tibetan Plateau in global reanalyses using in situ and satellite remote sensing observations. *The Cryosphere*, 13(8), 2221-2239.
23. Parajka, J., & Blöschl, G. (2006). Validation of MODIS snow cover images over Austria. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10(1), 679-689.
24. Ramsay, B. H. (1998). The interactive multisensor snow and ice mapping system. *Hydrological Processes*, 12(10-11), 1537-1546.
25. Rees, W. G. (2005). *Remote sensing of snow and ice*: CRC press.
26. Romanov, P., Tarpley, D., Gutman, G., & Carroll, T. (2003). Mapping and monitoring of the snow cover fraction over North America. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 108(D16).
27. Saavedra, F. A., Kampf, S. K., & Sibold, J. S. (2018). Changes in Andes snow cover from MODIS data, 2000–2016. *The Cryosphere*, 12(3), 1027-1046.
28. Seidel, K., Brusch, W., & Steinmeier, C. (1994). Experiences from real time runoff forecasts by snow cover remote sensing. Paper presented at the Proceedings of IGARSS'94-1994 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.
29. Seifi, H., & Gorbani, I. (2019). Estimating snow cover trends using Object-Oriented Methods and images received from OLI and TIRS sensors (Case Study: Sahand Mountain). *Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 28(109), 77-91.
30. Singh, P., & Jain, S. (2003). Modelling of streamflow and its components for a large Himalayan basin with predominant snowmelt yields. *Hydrological sciences journal*, 48(2), 257-276.
31. Şorman, A., Akyürek, Z., Şensoy, A., Şorman, A., & Tekeli, A. (2007). Commentary on comparison of MODIS snow cover and albedo products with ground observations over the mountainous terrain of Turkey. *Hydrology and Earth System Sciences*, 11(4), 1353-1360.
32. Solaimani, K., Darvishi, S., Shokrian, F., rashidpour, M. (2018). Monitoring of temporal-spatial variations of snow cover using the MODIS image (Case Study: Kurdistan Province). *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 10(3), 77-104.
33. Tang, B.-H., Shrestha, B., Li, Z.-L., Liu, G., Ouyang, H., Gurung, D. R., & San Aung, K. (2013). Determination of snow cover from MODIS data for the Tibetan Plateau region.

- International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 21, 356-365 .
34. Vikhamar, D., & Solberg, R. (2003). Subpixel mapping of snow cover in forests by optical remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 84(1), 69-82 .
35. Wang, X., Xie, H., & Liang, T. (2008). Evaluation of MODIS snow cover and cloud mask and its application in Northern Xinjiang, China. *Remote Sensing of Environment*, 112(4), 1497-1513 .
36. Zhang, H., Zhang, F., Che, T., & Wang, S. (2020). Comparative evaluation of VIIRS daily snow cover product with MODIS for snow detection in China based on ground observations. *Science of The Total Environment*, 138-156.