نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی سال پانزدهم، شماره ۳۷، تابستان ۹۴

بررسی امکان کاربرد تولیدات سطح برف مودیس در شرایط ابری با استفاده از ترکیب آن با تصاویر مایکرویو

دریافت مقاله:۹۲/۷/۱۱ پذیرش نهایی: ۹۳/۹/۶
صفحات: ۸۹-۷۱

نیما فیاض: دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
Email: nima.fayaz@ut.ac.ir
مجید وظیفه‌دوست: استادیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه گیلان.[1]
Email: majid.vazifedoust@yahoo.com
شهاب عراقی‌نژاد: استادیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران
Email: shahab_araghinejad@yahoo.com

چکیده

با استفاده از تولیدات روزانه و هشت روزه پوشش برف سنجده مادیس، می‌توان تغییرات سطح پوشش برف را در حوضه‌های کوچک و بزرگ و دور از دسترس از سال ۲۰۰۰ مورد مطالعه قرار داد. اما یکی از بزرگترین مشکلات در استفاده از تولیدات سطح پوشش برف از تصاویر مادیس، ابرناکی آسمان می‌باشد که به شدت کاربرد این تولیدات را در شرایط ابری با محدودیت مواجه می‌سازد. در این تحقیق با استفاده از تولیدات هشت روزه سطح برف سنجنده مادیس تغییرات پوشش برفی در حوضه کارون که در غرب ایران قرار دارد، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به منظور غلبه بر محدودیت کاربرد تولیدات سطح برف در شرایط ابری، استفاده همزمان از تصاویر سنجنده نوری مادیس و سنجنده مایکرویو AMSR-E جهت پایش سطح پوشیده از برف در یک دوره یکماهه پیشنهاد گردید. بدین منظور با ترکیب تصاویر روزانه مادیس و AMSR-E وسعت سطح پوشش برف با گام زمانی روزانه استخراج شد و نتایج آن با سطح پوشش برف که از هر کدام از تصاویر مادیس و AMSR-E به تنهایی استخراج شده بود در روزهای ابری و ابر آزاد مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهند که با وجود نفوذ امواج مایکرویو از پوشش ابری، به دلیل قدرت تفکیک مکانی پایین تصاویر AMSR-E، این تصاویر درصد پوشش برف را به طور میانگین ۱۶ درصد نسبت

[1] **.نویسنده مسئول:** استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه گیلان،

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.37.4.2]

به تصاویر مادیس بیشتر نشان می‌دهند. نتایج همچنین نشان می‌دهند که با استفاده از رابطه بین درصد پوشش سطح برف در تصاویر AMSR-E و تصاویر مادیس در روزهای ابرآزاد، اختلاف میانگین سطح پوشش برف از ۱۶ درصد به ۵ درصد کاهش می‌یابد. همچنین نتایج صحت سنجی با استفاده از اطلاعات مربوط به دبی روزانه نشان می‌دهد که همبستگی داده‌های پوشش برف حاصل از تصویر ترکیبی در مقابل دبی با ضریب همبستگی ۰/۶۶ از دقت بالاتری نسبت به تصاویر مادیس با ضریب همبستگی ۰/۵۵ برخوردار هستند.

کلید واژگان: مادیس، سطح برف، AMSR-E، مایکرویو، کارون، ایران

مقدمه

تعیین مقدار پوشش برفی و تغییرات آن در یک دوره زمانی مشخص از اهمیت چشمگیری در برآورد میزان رواناب حوضه و سیستم هیدرولوژیکی منطقه برخوردار است. در مناطق مرتفع برف بخش قابل توجهی از بارش سالانه را تشکیل می‌دهد و رواناب حاصل از ذوب برف یکی از مهمترین منابع تامین آب رودخانه‌ها که بزرگترین منبع آب شیرین است بشمار می‌رود. پایش سطح پوشش برف با استفاده از اندازه‌گیری‌های زمینی یک امر پرهزینه و در برخی موارد غیرممکن می‌باشد. علاوه بر آن بسیاری از ایستگاه‌های برف‌سنجی در مناطق کم‌ارتفاع قرار دارد درحالیکه بخش اعظم بارش برف در مناطق مرتفع رخ می‌دهد. از این رو تعیین دقیق مقدار پوشش برفی در این مناطق به دلیل تعداد محدود مشاهدات میسر نیست. در سال‌های اخیر فن‌آوری سنجش از دور تحولی عظیم در پایش تغییرات سطح پوشش برف با دقت مناسب فراهم کرده است. به عنوان مثال استفاده از تصاویر نوری به طور گسترده جهت استخراج سطح پوشش برف توسط محققان مختلف مورد بررسی قرار گرفته است (ونگ و همکاران[1]، ۲۰۰۸، روتگر و همکاران[2]، ۲۰۰۴؛ ساو و لیو[3]، ۲۰۰۵؛ آولت و همکاران[4]، ۲۰۰۶؛ هال و همکاران[5]، ۲۰۰۷؛ پادل و اندرسون[6]، ۲۰۱۱؛ بورمن و همکاران[7]، ۲۰۱۲، پرهمت و همکاران، ۱۳۶۰،

1 .Wang et al
2. Rutger et al
3. Cao & Liu
4. Ault et al
5. Hall et al
6. Paudel and Andersen
7 Bormann et al

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.37.4.2]

فتاحی و همکاران، ۱۳۹۰، کمالی و همکاران، ۱۳۹۰). قدرت تفکیک زمانی بالا و قابلیت دسترسی آسان، تصاویر مادیس(MODIS[1]) را به یک منبع اساسی جهت پایش تغییرات گستره برفی بدل کرده است. با این حال بزرگترین محدودیت در استفاده از این تصاویر، ابرناکی هوا می‌باشد. به این صورت که در صورت وجود ابر، این تصاویر هیچ‌گونه اطلاعاتی در خصوص مقدار پوشش برف در اختیار ما قرار نمی‌دهد. اما این مشکل تا حدود زیادی با بکارگیری تصاویر مایکرویو مرتفع شده است. استفاده از تصاویر مایکرویو سبب می‌شود که به صورت شبانه‌روزی و در هرگونه شرایط آب و هوایی قادر به تعیین مقدار پوشش برفی باشیم. تنها محدودیت تصاویر مایکرویو، قدرت تفکیک مکانی پایین این تصاویر می‌باشد (پولیاینن[2] ، ۲۰۰۶؛ والدر و همکاران[3]، ۲۰۰۷؛ گائو و همکاران[4]، ۲۰۱۰، دای و همکاران[5]، ۲۰۱۲).

در این مطالعه با استفاده از تصاویر مربوط به سنجده مادیس اقدام به تعیین سطح پوشش برف برای یک دوره ۱۲ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ شد و تغییرات سطح پوشش برف برای دوره ذکر شده مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه با ترکیب تصاویر مربوط به سنجده مادیس و محصول آب معادل با برف سنجنده AMSR-E[6] (SWE[7]) برای یک دوره یکماهه با استفاده از قدرت تفکیک مکانی بالای تصاویر مادیس و قابلیت نفوذ از ابر تصاویر AMSR-E، دقت تصاویر ترکیبی در تعیین سطح پوشیده از برف مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

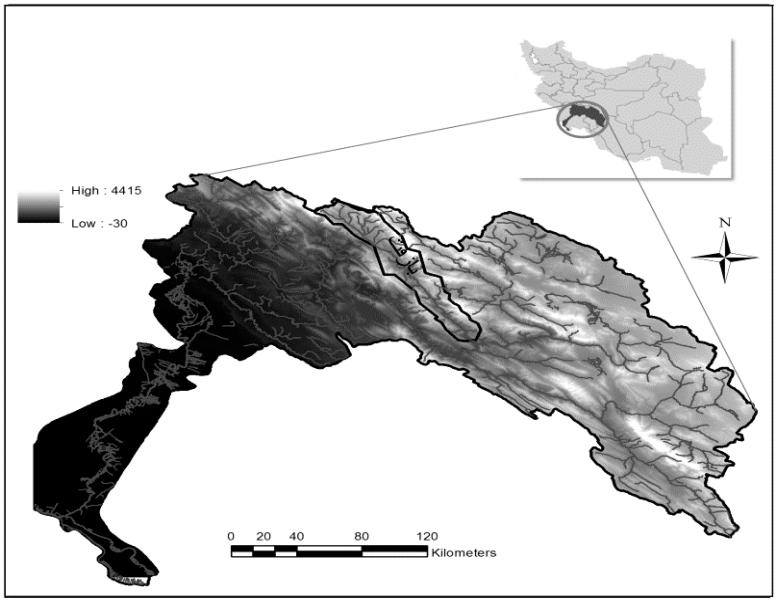
منطقه موردمطالعه:

حوضه آبریز رودخانه کارون در غرب ایران قرار گرفته و بین طول جغرافیایی °۴۸ تا °۵۲ شرقی و عرض جغرافیایی °۳۰ تا °۳۳ شمالی محدود شده است. وسعت این حوضه ۶۰۰۰۰ کیلومتر مربع بوده و بخش عظیمی از آن در مناطق مرتفع و کوهستانی قرار دارد. طول رودخانه کارون ۹۵۰ کیلومتر می‌باشد که به عنوان طولانی‌ترین رودخانه ایران مطرح است. این رودخانه از سلسله کوه‌های زاگرس سرچشمه می‌گیرد و از غرب به شرق حوضه جریان دارد. ۹۵٪ از حوضه کارون در بخش‌های شرقی ارتفاعی بیش از ۱۵۰۰ دارد و در فصل زمستان بارش قابل

1. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
2. Pulliainen
3. Wulder et al
4. Gao et al
5. Dai et al
6. Advanced Microwave Scanning Radiometer for EOS
7. Snow Water Equivalent

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.37.4.2]

توجهی را دریافت می‌کند که عموما به صورت بارش برف می‌باشد و رواناب حاصل از ذوب آن منشا اصلی تامین آب رودخانه کارون است. شکل ۱ حوضه آبریز کارون را نشان می‌دهد. این حوضه از ۱۶ زیرحوضه تشکیل شده است که زیرحوضه بازفت در مناطق مرتفع و کوهستانی این حوضه قرار داشته و رواناب حاصل از ذوب برف آن، بخش قابل توجهی از آب رودخانه کارون را تامین می‌نماید. وسعت این حوضه در حدود ۲۵۰۰ کیلومتر مربع بوده و ارتفاع آن از ۳۰۰۰ متر در سرچشمه و ۸۵۰ متر در خروجی متغیر است. طول رودخانه بازفت در حدود ۹۵ کیلومتر است و دارای جریان دائمی آب در طول سال می‌باشد.



شکل۱- موقعیت و نقشه ارتفاعی حوضه آبریز کارون و زیر حوضه بازفت

داده‌های ماهواره‌ای:

سنجنده مادیس بر روی دو ماهواره ترا و آکوا قرار دارد. این سنجنده دارای ۳۶ باند است که ۱۱ باند آن در محدوده نور مرئی، ۹ باند در محدوده مادون قرمز نزدیک، ۶ باند در مادون قرمز حرارتی، ۴ باند در محدوده مادون قرمز موج کوتاه و ۶ باند در محدوده مادون قرمز امواج بلند، تنظیم شده است. قدرت تفکیک مکانی باندهای سنجنده متفاوت بوده و بین ۲۵۰ متر تا ۱۰۰۰ متر متغیر است. باندهای ۱ و ۲ (۰/۹-۰/۶ میکرومتر)، تصاویر را با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰ متر در نادیر، باندهای ۳ تا ۷ (۲/۱-۰/۴ میکرومتر) تصاویر را با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.37.4.2]

متر و باندهای ۸ تا ۳۶ (۱۴/۴-۰/۴ میکرومتر)، تصاویر را با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر تهیه می‌کنند.

در این مطالعه از تولیدات روزانه (MOD10A1[1]) و هشت روزه (MOD10A2[2]) سنجنده مادیس که بر روی ماهواره ترا قرار دارد جهت پایش سطح برف در محدوده حوضه مورد مطالعه استفاده شده است. سنجنده AMSR-E بر روی ماهواره آکوا قرار داشته و بازپخش‌های مربوط به طیف مایکرویو عوارض زمینی را اندازه‌گیری می‌نماید . تولیدات آب معادل با برف سنجنده AMSR-E حاوی اطلاعات مربوط به مقدار آب ذخیره شده در توده برفی برای دو نیمکره شمالی و جنوبی می‌باشد. سایر مشخصات مربوط به این دو سنجنده در جدول ۱ به اختصار آورده شده است (هال و همکاران، a,b ۲۰۰۶، تدسکو و همکاران[3]، ۲۰۰۴).

جدول ۱- اطلاعات مربوط به تولیدات سنجنده‌های مادیس و AMSR-E

سنجنده	MODIS		AMSR-E
ماهواره	Terra		Aqua
تولیدات	MOD10A2	MOD10A1	AE_DySno*
قدرت تفکیک زمانی	۸ روز	روزانه	روزانه
قدرت تفکیک مکانی	۵۰۰ متر	۵۰۰ متر	۲۵ کیلومتر
دوره زمانی مورد بررسی	۲۰۰۰-۲۰۱۱	فوریه ۲۰۰۸	فوریه ۲۰۰۸

* AMSR-E/Aqua Daily L3 Global Snow Water Equivalent EASE-Grids

پردازش تصاویرMODIS

شاخص نرمال شده تفاضلی برف NDSI بیانگر تفاضل بازتابش برف در طیف مادون قرمز میانی و طیف مرئی می‌باشد. شاخص ذکر شده از این جهت مورد استفاده قرار می‌گیرد که برف به طور قابل ملاحظه‌ای دارای انعکاس شدیدتری در طیف مرئی نسبت به طیف مادون قرمز میانی دارد (هال و همکاران، ۲۰۰۲). شاخص NDSI با استفاده از داده‌های سنجنده مادیس در باند ۴ (۵۳۰-۶۱۰nm) و باند ۶ (۱۵۵۰-۱۷۵۰nm) توسط رابطه (۱) محاسبه می‌شود:

$$NDSI = \frac{band4 - band6}{band4 + band6} \qquad (۱)$$

1. MODIS/Terra Snow Cover Daily L3 Global 500m Grid
2. MODIS/Terra Snow Cover 8-Day L3 Global 500m Grid
3. Tedesco et al

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.37.4.2]

در تهیه نقشه پوشش برف پیکسل‌های دارای NDSI بزرگتر و یا مساوی ۰/۴ به عنوان پیکسل برفی در نظر گرفته می‌شوند و در صورتی‌که مقدار NDSI کمتر از ۰/۴ باشد، پیکسل‌های موردنظر به عنوان پیکسل غیر برفی فرض می‌گردند. علاوه بر آن، از آنجائیکه پیکسل‌های برفی دارای مقادیر پایین NDVI می‌باشند، الگوریتم پوشش برفی جهت شناسایی برف در مناطق جنگلی از این شاخص استفاده می‌نماید (کلین و همکاران[1]، ۱۹۹۸).

جهت ارزیابی تغییرات پوشش برفی در محدوده مورد مطالعه در بازه زمانی سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ از داده‌های مربوط به تولیدات هشت روزه سنجنده مادیس استفاده گردید. طول دوره زمانی بررسی‌های صورت گرفته از ماه اکتبر تا ماه آوریل می‌باشد که اصلی‌ترین دوره انباشت و ذوب برف می‌باشد. جهت پوشش کامل محدوده مورد مطالعه دو سین از تصاویر مربوط به تولیدات هشت روزه (h21v05 و h22v05) از سایت ناسا دریافت شد و این دو سین با استفاده از اطلاعات هندسی چهار گوشه تصاویر موزائیک گردید تا به عنوان یک تصویر اصلی مورد استفاده قرار گیرد. جهت بدست آوردن تعداد پیکسل‌های برفی و موزائیک نمودن تصاویر از ابزار پردازش تصویر نرم افزار MATLAB استفاده شد. به منظور بررسی تغییرات پوشش برفی از شاخص گستره سطح برف SAE[2] استفاده گردید که به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$SAE = \frac{N_s}{N_t} \times 100 \qquad (۲)$$

در این رابطه Ns تعداد پیکسل‌های برفی و Nt تعداد پیکسل‌های کل موجود در حوضه کارون می‌باشد.

همچنین از داده‌های مربوط به تولیدات روزانه سنجنده مادیس جهت ترکیب با داده‌های مربوط به تصاویر AMSR-E در این مطالعه استفاده شد. داده‌های مورد نظر برای دوره زمانی بین ۳ فوریه و ۴ مارس از سایت ناسا[3] دریافت گردید و پس از موزائیک نمودن تصاویر و تبدیل سیستم مختصات آن‌ها به UTM[4]، میزان پوشش برفی تصاویر با استفاده از نرم افزار ERDAS بدست آمد.

1. Klein et al
2. Snow Area Extent
3. NASA (National Aeronautics and Space Administration)
4. Universal Transfer Mercator

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.37.4.2]

پردازش تصاویر AMSR-E

یکی از مشکلات مربوط به استفاده از تصاویر مادیس ابرناکی آسمان می‌باشد. به این صورت که ابر یک مانع در تشخیص برف می‌باشد که می‌تواند منجر به تخمین نادرستی از مقدار پوشش برفی گردد. یک راه حل مفید برای از بین بردن تاثیر ابر، استفاده از تصاویر AMSR-E می‌باشد چرا که این تصاویر قابلیت تشخیص نوع عارضه قرار گرفته در زیر پوشش ابر به دلیل نفوذ امواج مایکرویو از پوشش ابری را دارد. با این حال قدرت تفکیک مکانی پایین تصاویر AMSR-E (۲۵ کیلومتر) استفاده از این تصاویر را در تخمین سطح پوشیده از برف دچار محدودیت می‌کند. هر پیکسل تصویر AMSR-E شامل ۲۵۰۰ پیکسل سنجنده مادیس می‌باشد، بنابراین با استفاده از پیکسل‌های ۵۰۰ متری سنجنده مادیس می‌توان تغییرات موجود در یک پیکسل AMSR-E را مورد بررسی قرار داد.

به همین منظور در این مطالعه با استفاده از قدرت تفکیک مکانی بالای تصاویر مادیس و قابلیت نفوذ از ابر امواج مایکرویو در سنجنده AMSR-E، اقدام به تهیه یک تصویر ترکیبی پوشش برفی با استفاده از ترکیب تصاویر مربوط به دو سنجنده مادیس و AMSR-E برای یک دوره یک ماهه گردید. جهت تهیه تصویر ترکیبی، داده‌های مربوط به محصول آب معادل با برف سنجنده AMSR-E برای دوره زمانی ۳ فوریه تا ۴ مارس در سال ۲۰۰۸ از سایت NSIDC[1] تهیه گردید. در میان تصاویر گرفته شده، برخی از تصاویر حاوی پیکسل های بدون مقدار بودند که از تصاویر حذف گردیدند. در کل ۲۰ تصویر مشترک بین داده‌های مادیس و AMSR-E در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند. از آنجائیکه مقادیر تصاویر AMSR-E بیان صفر تا ۲۴۰ می باشد، به منظور استفاده از این تصاویر، مقادیر مربوط به پیکسل‌ها به دو گروه تقسیم‌بندی شدند: پیکسل‌های با مقادیر بین ۰-۲۰ به عنوان پیکسهای غیربرفی و پیکسل‌های با مقادیر ۲۱-۲۴۰ به عنوان پیکسلهای برفی در نظر گرفته شدند. سپس با استفاده از روش نزدیکترین همسایه (Nearest Neighbor) به عنوان روش درونیابی، هر تصویر AMSR-E به پیکسل‌هایی با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر بازسازی شدند و در نهایت تعداد پیکسل‌های مربوط به هر کلاس تعیین گردیدند. تصویر ترکیبی بدست آمده توسط تصاویر مادیس و AMSR-E، در این مطالعه با عنوان MOD-AE تعریف گردید. به منظور ترکیب تصاویر مادیس و AMSR-E از الگوریتم زیر در این مطالعه استفاده شده است:

If MODIS=برف then MOD-AE=برف

If MODIS=اراضی then MOD-AE=اراضی

1. National Snow and Ice Data Center

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]

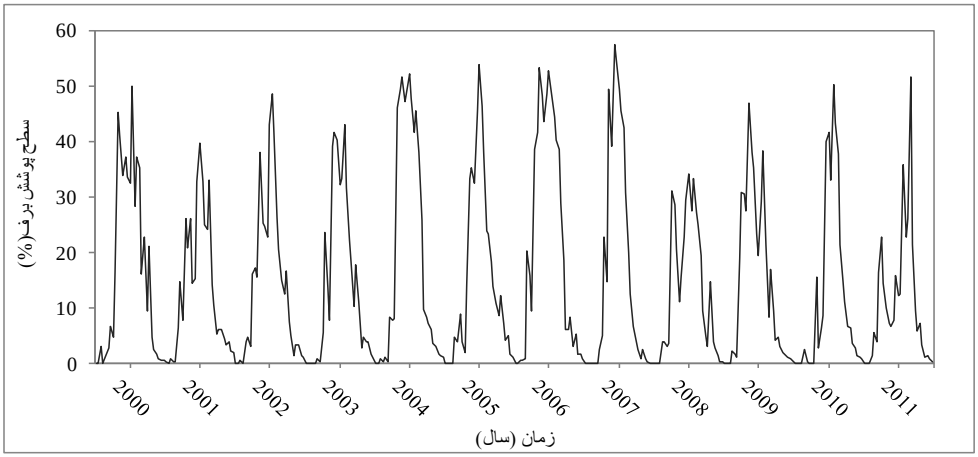
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.37.4.2]

If MODIS=آب then MOD-AE=آب
If MODIS=ابر then MOD-AE=AMSR-E

نتایج

سطح برف MODIS

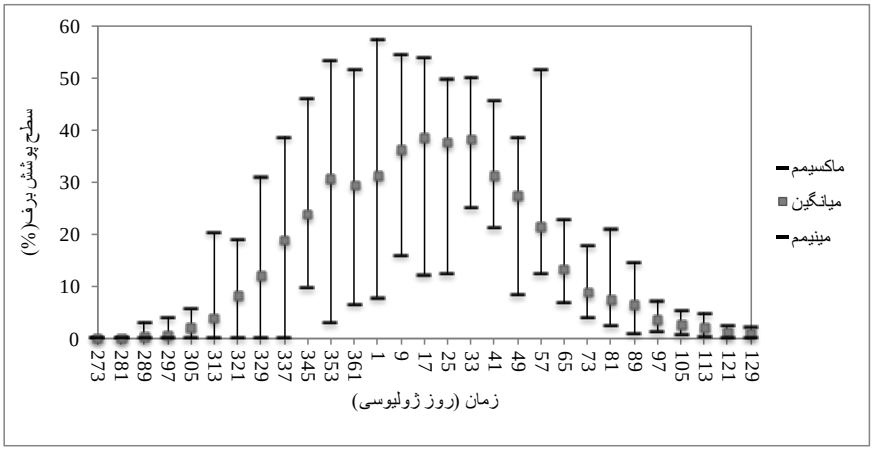
شکل ۲ سری زمانی سطح پوشش برف را در حوضه کارون در طی سال‌های آبی ۲۰۰۱-۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲-۲۰۱۱ نشان می‌دهد. با توجه به این شکل در سال‌های آبی ۲۰۰۴-۲۰۰۳، ۲۰۱۱-۲۰۱۰ و ۲۰۱۲-۲۰۱۱ بیشترین سطح برف در ماه فوریه رخ داده است، در حالیکه در سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۶ و ۲۰۱۰-۲۰۰۹ بیشترین سطح پوشیده از برف در ماه دسامبر مشاهده شده است. در سایر سال‌ها، بالاترین سطح پوشیده از برف در ماه ژانویه روی داده است. همچنین کمترین میزان سطح پوشیده از برف در تمامی سال‌های مربوط به طول دوره آماری مورد بررسی در ماه اکتبر مشاهده شده است. بیشینه و کمینه میزان سطح پوشیده از برف در طی دوره آماری مورد بررسی به ترتیب در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ مشاهده شده است.



شکل (۲). سری زمانی تغییرات پوشش برفی، ۲۰۱۱-۲۰۰۰

مقادیر میانگین، بیشینه و کمینه ۸ روزه سطح پوشیده از برف حوضه کارون در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ در شکل ۳ نشان داده شده است. با توجه به این شکل، میانگین سطح پوشیده از برف نشان می‌دهد که انباشته شدن برف از اواسط اکتبر شروع شده و تا پایان ژانویه ادامه پیدا می‌کند. پس از آن میزان سطح پوشیده از برف شروع به کاهش می‌کند که نشان‌دهنده آغاز ذوب برف از اواسط فوریه است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.37.4.2]



شکل(۳). بیشینه، کمینه و میانگین ۸ روزه پوشش برفی از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱

همچنین تغییرات میانگین سالانه درصد سطح پوشیده از برف در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ با استفاده از شاخص گستره سطح برف SAE در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل (۴). تغییرات میانگین سالانه پوشش برفی، ۲۰۱۱-۲۰۰۰

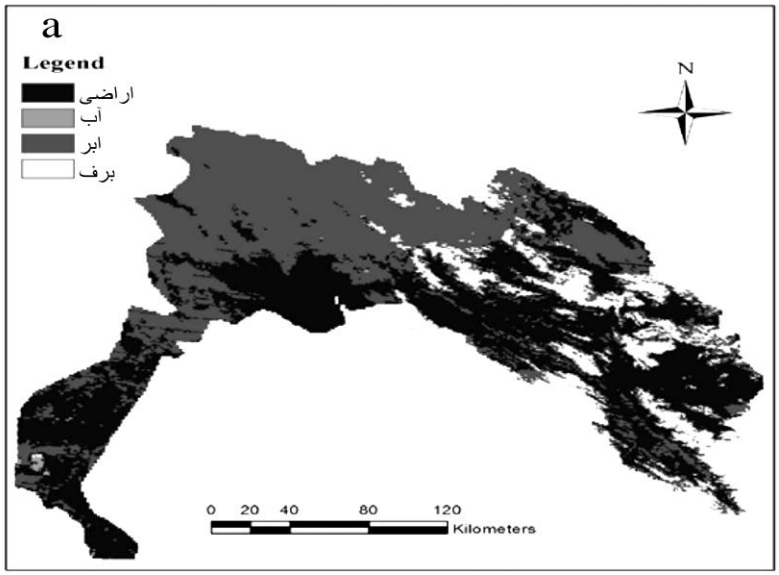
بررسی میانگین سالانه سطح پوشیده از برف در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ نشان‌دهنده تغییرات سطح پوشش برف از ۱۱ درصد در سال ۲۰۱۱ تا ۲۲ درصد در سال ۲۰۰۶ می‌باشد.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.37.4.2]

سطح برف ترکیبی MOD-AE

بررسی‌های صورت گرفته بر روی تصاویر مادیس، AMSR-E و تصویر ترکیبی (MOD-AE) نشان می‌دهد که برف، ابر و اراضی بیشترین درصد تشکیل‌دهنده پیکسل‌ها را شامل می‌شوند، درحالیکه آب تنها درصد پایینی از پیکسل‌ها را تشکیل می‌دهد (کمتر از ۱ درصد). شکل ۵ تصویر ترکیبی را به همراه تصاویر مادیس و AMSR-E مربوط به آن برای روز ۱۷ فوریه سال ۲۰۰۸ نشان می‌دهد. مقایسه تصاویر ترکیبی و AMSR-E قابلیت امواج مایکرویو در نفوذ از پوشش ابری را نشان می‌دهد. با این حال همانطور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، در تصویر AMSR-E به دلیل قدرت تفکیک مکانی پایین تصاویر، سهم درصد پیکسلهای برفی بالاتر از مقدار واقعی آن تخمین زده شده است.

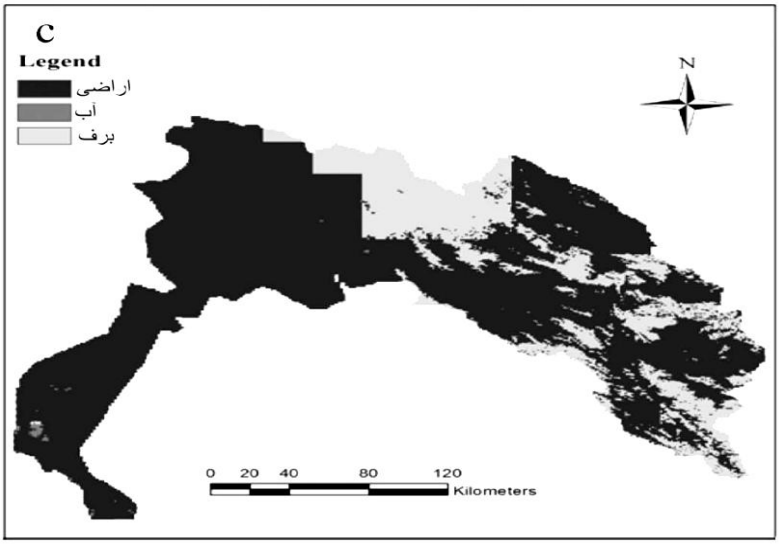


شکل (۵) پوشش برفی مربوط به روز ۱۷ فوریه، سال ۲۰۰۸: MOD10A1 (a)، AMSR-E (b) و (c) MOD-AE

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.37.4.2]



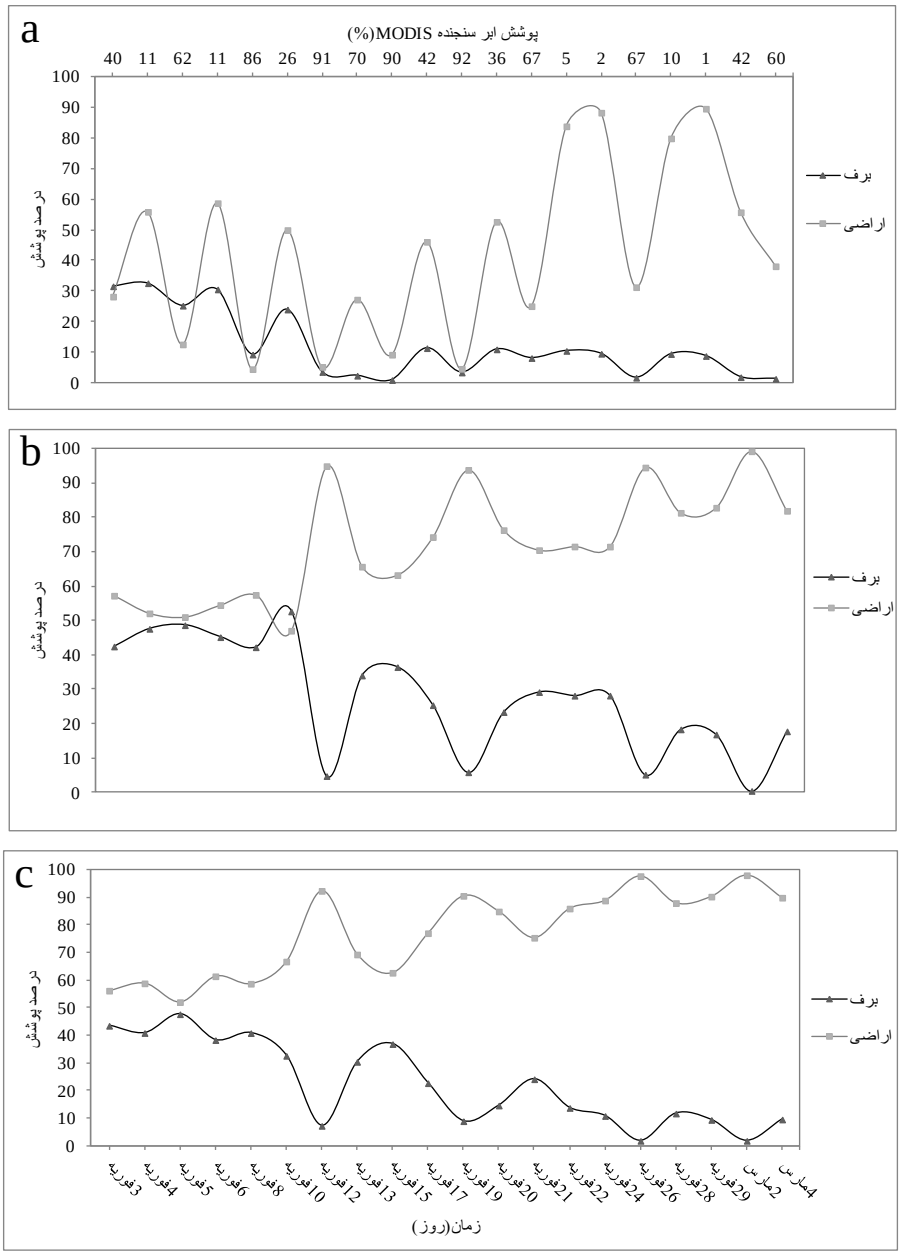


ادامه شکل (۵)

شکل ۶ تغییرات درصد سهم پیکسلهای با پوشش برف، ابر و اراضی را در تصاویر مادیس، AMSR-E و تصاویر ترکیبی در طول دوره ۲۰ روزه مورد بررسی، نشان می‌دهد. از آنجائیکه آب درصد پایینی از منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد، میزان تغییرات آن در شکل ۶ نشان داده نشده است.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.37.4.2]



شکل (۶). درصد پوشش برف، اراضی و ابر، سال ۲۰۰۸: MOD10A1 (a)، AMSR-E (b) و (c) MOD-AE

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]

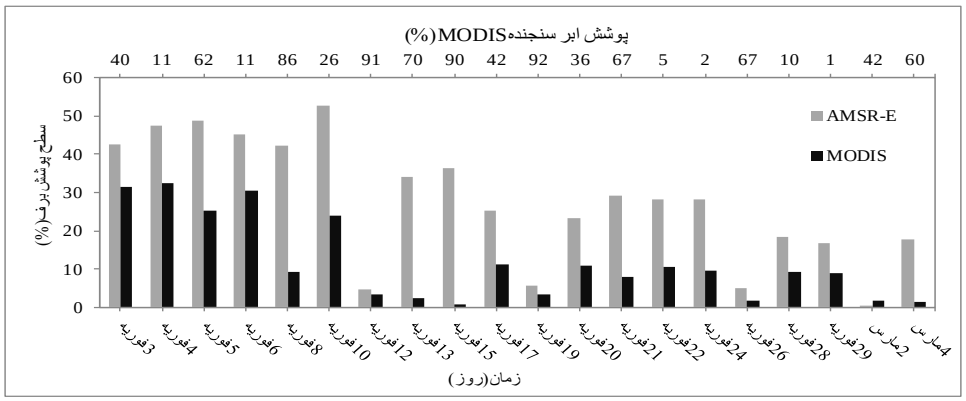
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.37.4.2]

همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، درصد پوشش برف در روزهای ابرآزاد، از مقدار AMSR-E به مقدار MOD-AE کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده تخمین بالای پوشش برف در تصاویر AMSR-E می‌باشد. بیشترین کاهش درصد پوشش برف در روزهای ۱۰، ۲۲ و ۲۴ فوریه روی می‌دهد، زمانیکه تصویر مادیس درصد پوشش ابر پایینی را نشان می‌دهد. درصد کاهش سطح برف در این ۳ روز به ترتیب برابر با ۲۰٪، ۱۴٪ و ۱۷٪ می‌باشد. با توجه به شکل ۷ میانگین درصد پوشش سطح برف در طی ۲۰ روز ذکر شده برای تصاویر مادیس، AMSR-E و تصویر ترکیبی به ترتیب برابر با ۱۱/۸٪، ۲۸٪ و ۲۲٪ می‌باشد. در طی این ۳ روز به دلیل قدرت تفکیک مکانی پایین تصاویر AMSR-E بسیاری از پیکسل‌هایی که اراضی هستند، در تصویر AMSR-E برف در نظر گرفته می‌شوند.

نتایج نشان می‌دهند که مقدار پوشش برفی در تصویر ترکیبی در طول دوره ۲۰ روزه مورد بررسی (۳ فوریه تا ۴ مارس) بین ۲ تا ۴۸ درصد متغیر است که کمترین درصد پوشش سطح برف به میزان ۲ درصد در روز ۲ مارس و بیشترین مقدار آن در روز۵ فوریه به میزان ۴۸ درصد می باشد.

همچنین مقدار بیشینه، کمینه و میانگین درصد پوشش برف به ترتیب برابر با ۳۲/۵، ۰/۸۸ و ۱۱/۸ درصد برای تصاویر مادیس و ۵۳، ۰/۳۶ و ۲۸ درصد برای تصاویر AMSR-E می‌باشد. ترکیب تصاویر مادیس و AMSR-E سبب حصول مقدار میانگین پوشش برفی به میزان ۲۲ درصد می‌گردد.

شکل ۷ نشان می‌دهد که در طی روزهای ابرآزاد که تصویر مادیس تخمین صحیحی از مقدار پوشش برف دارد، تصاویر AMSR-E درصد پوشش برف بالاتری را نسبت به تصاویر مادیس نشان می‌دهند.



شکل (۷). تغییرات روزانه پوشش برفی، سال ۲۰۰۸

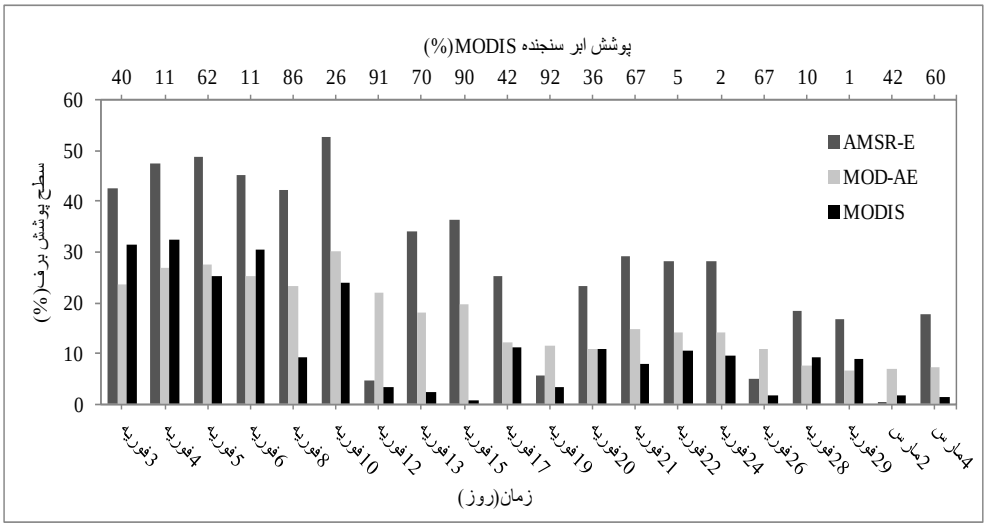
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.37.4.2]

به همین منظور در این مطالعه با استفاده از همبستگی خطی بین درصد پوشش سطح برف در تصاویر مادیس و AMSR-E در روزهایی که مادیس درصد ابر پایینی را نشان می‌دهد، رابطه بین درصد پوشش سطح برف در تصاویر مادیس و AMSR-E با ضریب همبستگی ۰/۸۹ استخراج گردید (رابطه ۲):

$$y = 0.6605 \times x - 4.4679 \quad (۳)$$

در این رابطه x بیانگر مقدار درصد پوشش برف در تصویر AMSR-E و y بیانگر مقدار درصد پوشش برف تصویر مادیس معادل با آن می‌باشد.

اعمال رابطه بدست آمده بر روی مقادیر سطح پوشیده از برف در تصویر AMSR-E در طی ۲۰ روز مورد بررسی، منجر به درصد پوشش برفی برابر با ۱۷ درصد در مقایسه با میانگین درصد پوشش برف ۲۸ درصد در تصویر AMSR-E می‌شود (شکل ۸).



شکل (۸). تغییرات روزانه سطح پوشش برف پس از اعمال رابطه (۲)، سال ۲۰۰۸

شکل ۸ نشان می‌دهد که استفاده از قدرت تفکیک مکانی بالای تصویر مادیس در روزهای ابرآزاد، به طور موثر می‌تواند تاثیر قدرت تفکیک مکانی پایین تصاویر AMSR-E را در تخمین صحیح درصد پوشش سطح برف در روزهای ابری کاهش دهد.

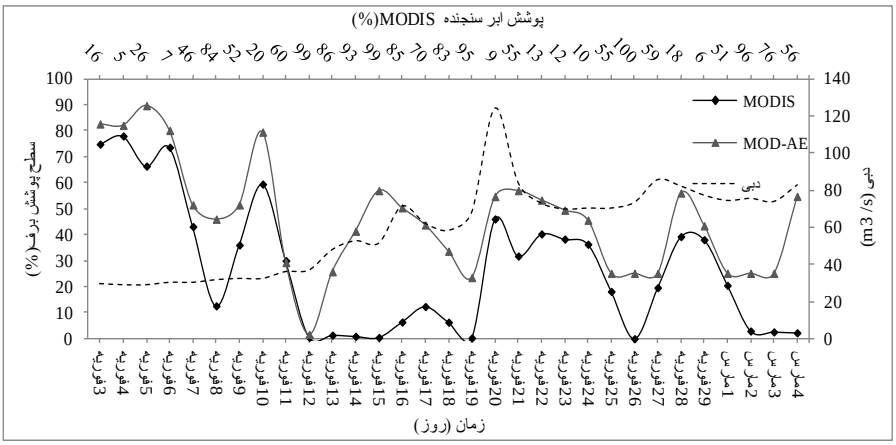
[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.37.4.2]

صحت سنجی

دقت نتایج سطح پوشش برف مربوط به تصاویر مادیس، AMSR-E و تصویر ترکیبی با استفاده از دبی روزانه مورد بررسی قرار گرفت. از آنجائیکه رواناب خروجی زیرحوضه بازفت مربوط به رواناب ذوب برف تنها همین زیرحوضه می‌باشد، از دبی روزانه این زیرحوضه جهت صحت سنجی نتایج مربوط به سطح پوشیده از برف استفاده گردید.

شکل ۹ نشان‌دهنده تغییرات میزان دبی روزانه زیرحوضه بازفت به همراه درصد پوشش برف تصاویر مادیس و تصویر ترکیبی مربوط به این زیرحوضه در ماه فوریه می‌باشد. از آنجائیکه مقدار پوشش برفی حاصل از تصاویر AMSR-E در زیر حوضه بازفت به دلیل مساحت کم این زیرحوضه دارای تغییرات شدیدی می‌باشد، درصد پوشش برفی این تصاویر در شکل ۹ نشان داده نشده است. جهت ارزیابی پوشش برفی و مقدار دبی در یک بازه زمانی مشترک، مقادیر سطح پوشش برف در روزهایی که داده‌ای وجود ندارد از طریق درونیابی خطی بدست آمد.



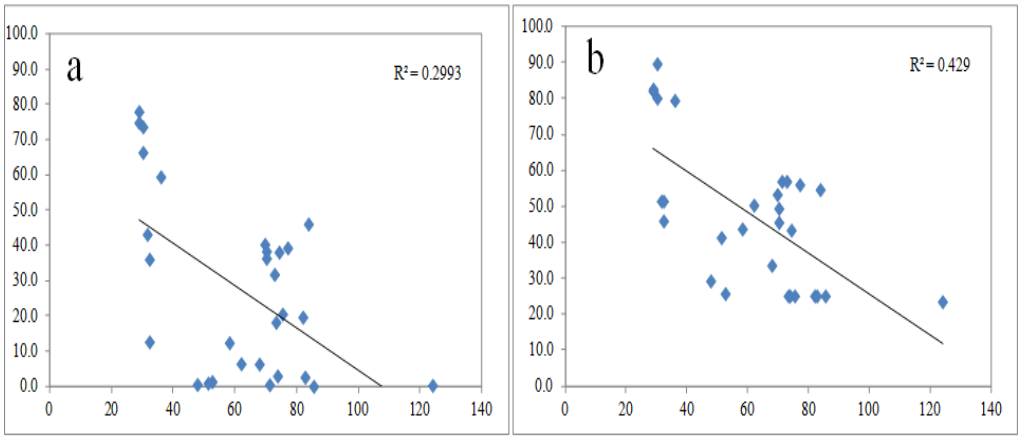
شکل (۹). تغییرات روزانه سطح پوشش برف و دبی در زیرحوضه بازفت، سال ۲۰۰۸

همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، از ابتدا تا پایان ماه فوریه، میزان سطح پوشیده از برف در تصاویر مادیس و تصویر ترکیبی به ترتیب ۵۳٪ و ۳۴٪ کاهش داشته و در مقابل میزان دبی در طی این دوره ۱۷۶٪ افزایش را نشان می‌دهد.

همبستگی داده‌های مربوط به سطح پوشیده از برف و مقدار دبی در تصاویر مادیس و تصویر ترکیبی در شکل ۱۰ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، درصد

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.37.4.2]

پوشش برف در تصویر ترکیبی با ضریب همبستگی ۰/۶۶ در مقایسه با تصویر مادیس با ضریب همبستگی ۰/۵۵ از همبستگی بالاتری برخوردار است.



شکل (۱۰) همبستگی داده‌های پوشش برف و دبی: (a) مادیس (b) MOD-AE

نتیجه گیری

در این مطالعه تغییرات مکانی و زمانی سطح پوشش برف طی دوره آماری ۲۰۰۱-۲۰۰۰ تا ۲۰۱۲-۲۰۱۱ در حوضه کارون مورد بررسی قرار گرفت. داده‌های مبنا برای پایش سطح برف در این مطالعه تولیدات ۸ روزه پوشش برف سنجنده مادیس بوده است. از آنجائیکه استفاده از تصاویر مادیس به شدت تحت تاثیر پوشش ابر می‌باشد، در این مطالعه با استفاده از داده‌های مربوط به تولیدات روزانه سنجنده مادیس و محصول آب معادل با برف سنجنده AMSR-E برای یک دوره یکماهه سطح پوشش برف با استفاده از ترکیب این تصاویر بدست آمد. نتایج نشان داد که با توجه به میانگین سالانه سطح پوشیده از برف در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۱ تغییرات سطح پوشش برف از ۱۱ درصد در سال ۲۰۱۱ تا ۲۲ درصد در سال ۲۰۰۶ متغیر می‌باشد. با توجه به نتایج، تصاویر AMSR-E به دلیل قدرت تفکیک مکانی پایین سبب تخمین بالای میزان پوشش برفی نسبت به تصاویر مادیس می‌گردد، بطوریکه میانگین درصد پوشش سطح برف در طی ۲۰ روز ذکر شده برای تصاویر مادیس برابر با ۱۲ درصد و برای تصاویر AMSR-E برابر با ۲۸ درصد می باشد. همچنین نتایج نشان داد که با استفاده از رابطه بین درصد پوشش سطح برف در تصاویر AMSR-E و تصاویر مادیس در روزهای ابرآزاد، می‌توان تخمین دقیقی از مقدار درصد پوشش برفی در روزهای ابری بدست آورد. همچنین با توجه به

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.37.4.2]

نتایج، همبستگی داده‌های پوشش برف و دبی مشاهده شده در تصویر ترکیبی با ضریب تبیین ۰/۴۳ از همبستگی بالاتری نسبت به تصویر مادیس با ضریب تبیین ۰/۳ برخوردار می‌باشند.

منابع و ماخذ

۱-پرهمت جهانگیر، ثقفیان بهرام. (۱۳۸۶). **مقایسه دقت تصاویر ماهواره‌ای AVHRR و TM در تعیین پوشش برفی**، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۶۰، شماره ۲.

۲-فتاحی، ابراهیم، وظیفه دوست مجید. (۱۳۹۰). **براورد دمای سطح برف و گستره پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS (مطالعه موردی حوضه های استان گلستان)**، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره سوم، شماره پیاپی ۱۰۲.

۳-کمالی مرتضی، حجام سهراب، وظیفه دوست مجید. (۱۳۹۰). **بررسی سطح پوشش برف و تاثیر آن بر عملکرد گندم دیم در استان خراسان شمالی**، نشریه علوم و صنایع کشاورزی، جلد ۲۵، شماره ۶.

Ault, T. W., Czajkowski, K. P., Benko, T., Coss, J., Struble, J., Spongberg, A., et al. (2006). ***Validation of the MODIS snow product and cloud mask using student and NWS cooperative station observations in the Lower Great Lakes Region***. Remote Sensing of Environment 105: 341–353.

Bormann, Kathryn J., McCabe, Matthew F., Evans, Jason P. (2012). ***Satellite based observations for seasonal snow cover detection and characterization in Australia***. Remote Sensing of Environment 123: 57–71

Cao, Y. G., & Liu, C. (2005). ***The development of snow-cover mapping from AVHRR to MODIS.*** Geography and Geo-Information Science 21(5): 15–19.

Dai, L., Che, T., Wang, J., Zhang, P. (2012). ***Snow depth and snow water equivalent estimation from AMSR-E data based on a priori snow characteristics in Xinjiang, China.*** Remote Sensing of Environment 127: 14–29.

Gao, Yang, Xie, Hongjie, Yao, Tandong, Xue, Chongsheng. (2010). ***Integrated assessment on multi-temporal and multi-sensor combinations for reducing cloud obscuration of MODIS snow cover products of the Pacific Northwest USA***. Remote Sensing of Environment 114: 1662–1675

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.37.4.2]

Hall, D. K., Riggs, G. A., Salomonson, V. V., DiGirolamo, N. E., & Bayr, K. J. (2002). ***MODIS snow-cover products***. Remote Sensing of Environment 83: 181−194.

Hall, D. K, George A. Riggs, Vincent V. Salomonson. (2006a). ***MODIS/Terra Snow Cover Daily L3 Global 500m Grid, Version 5. Boulder, Colorado USA:*** National Snow and Ice Data Center.

Hall, D. K, George A. Riggs, Vincent V. Salomonson. (2006b). ***MODIS/Terra Snow Cover 8-Day L3 Global 500m Grid, Version 5. Boulder, Colorado USA***: National Snow and Ice Data Center.

Hall, D. K., & Riggs, G. A. (2007). ***Accuracy assessment of the MODIS Snow-cover products***. Hydrological Processes 21: 1534−1547.

Klein, A., G., D.K. Hall and G.A. Riggs. (1998). ***Improving snow-cover mapping in forests through the use of a canopy reflectance model.*** Hydrological Processes 12: 1723-1744.

Paudel, K. P., Andersen, P. (2011). ***Monitoring snow cover variability in an agropastoral area in the Trans Himalayan region of Nepal using MODIS data with improved cloud removal methodology.*** Remote Sensing of Environment 115: 1234–1246

Pulliainen, J. (2006). ***Mapping of snow water equivalent and snow depth in boreal and sub-arctic zones by assimilating space-borne microwave radiometer data and ground-based observations.*** Remote Sensing of Environment 101: 257−269.

Rutger, D., Steven, M., & De, J. (2004). ***Monitoring snow-cover dynamics in northern Fennoscandia with SPOT VEGETATION images***. International Journal of Remote Sensing 25(15): 2933−2949.

Tedesco, Marco, Richard E. J. Kelly, James L. Foster, and Alfred T. C. Chang. (2004). ***AMSR-E/Aqua Daily L3 Global Snow Water Equivalent EASE-Grids V002, Boulder, Colorado USA***: National Snow and Ice Data Center. Digital media.

Wang, X. W., Xie, H. J., & Liang, T. G. (2008). ***Evaluation of MODIS snow cover and cloud mask and its application in Northern Xinjiang, China***. Remote Sensing of Environment 112: 1497−1513.

Wulder, M. A., Nelson, T. A., Derksen, C., & Seemann, D. (2007). ***Snow cover variability across central Canada (1978–2002) derived from satellite passive microwave data.*** Climatic Change 82(1): 113−130.

[Downloaded from ndea10.khu.ac.ir on 2026-11-10]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1394.15.37.4.2]