محاسبه تغییرات نقشه‌های پوشش برفی تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در دوره‌های فاقد تصویر

بهزاد رایگانی*، سید جمال‌الدین خواجه‌الدین، سعید سلطانی کوپایی و سوسن براتی[۱]

(تاریخ دریافت: ۸۵/۷/۱۲ ؛ تاریخ پذیرش: ۸۶/۷/۴)

چکیده

برف یکی از منابع بزرگ آب در بیشتر نقاط دنیا می‌باشد. آب معادل پوشش برفی حدود یک سوم از آب مورد نیاز برای فعالیت‌های کشاورزی و آبیاری را در سراسر کره زمین تأمین می‌کند. برآورد میزان آب و یا محتوای آبی پوشش برفی و تخمین رواناب ناشی از ذوب برف یک از فعالیت‌های عمده هیدرولوژیست‌ها به‌حساب می‌آید. برای محاسبه رواناب ناشی از ذوب برف، روش‌های مختلفی ارائه و پیشنهاد شده است که اکثر این روش‌ها نیاز به پایش پیوسته سطح پوشیده از برف دارند. امروزه پایش مداوم این سطح توسط داده‌برداری‌های ماهواره‌ای و با استفاده از روش‌های مبتنی بر سنجش از دور صورت می‌گیرد. تصاویر ماهواره‌ای MODIS به‌دلیل دقت زمینی بهتر(۲۵۰ متر) و تعداد باندهای بیشتر برای این منظور مناسب‌تر از تصاویر سنجنده‌های دیگر مانند NOAA می‌باشد. به همین علت در این تحقیق برای تهیه نقشه پوشش برفی از تصاویر MODIS و شاخص NDSI استفاده شد. یکی از مشکلات عمده در پایش سطوح برف‌دار ابری بودن سطح منطقه است، بنابراین در این پژوهش به کمک مدل رقومی ارتفاعی منطقه(DEM) و ایجاد روابط رگرسیون میان درجه حرارت، ارتفاع و تصویر جهت شیب، تغییرات سطوح برف‌دار در تاریخ‌هایی که تصاویر MODIS موجود نبود یا به‌عبارت دیگر تصاویر ابری بودند، به‌دست آمد. بدین منظور برای روز ۵ اسفند ۱۳۸۲ که دارای تصویر مناسب بود از این روش سطح پوشیده از برف برآورد گردید که در مقایسه با تصویر مذکور درستی و صحت روش مورد استفاده، تأیید گردید.

واژه‌های کلیدی: برف، نقشه‌های سطح پوشیده از برف، تغییرات سطح پوشیده از برف، سنجش از دور، تصاویر MODIS، شاخص نرمال شده تمایز برفی(NDSI)

مقدمه

بیش از ۳۰ درصد از سطح زمین به‌صورت فصلی پوشیده از برف و۱۰ درصدآن به‌وسیله یخچال‌های دایمی پوشیده شده است(۸). هم‌چنین بیش از ۴۰٪ نیم‌کره شمالی در زمستان به‌صورت فصلی پوشیده از برف می‌باشد. آلبیدوی زیاد برف به همراه گسترش سطحی زیاد آن، تأثیر زیادی بر بودجه تابشی زمین دارد(۱۴). از نظر اقلیم شناسان و هواشناسانی که تغییرات اقلیمی و اتمسفری را مطالعه می‌کنند در یک دید جهانی، پایش برف یک ضرورت است. زیرا خصوصیات فیزیکی درون برف بر تغییرات روزانه و اقلیمی و حتی تغییرات بلند مدت اقلیمی تأثیر می‌گذارد(۷). در اغلب کشورهای نیم‌کره شمالی برف منبع اصلی آب برای

۱. به ترتیب کارشناس ارشد، دانشیار، استادیار و دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مرتع‌داری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:bhz_ray@yahoo.com

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.44.25.5]

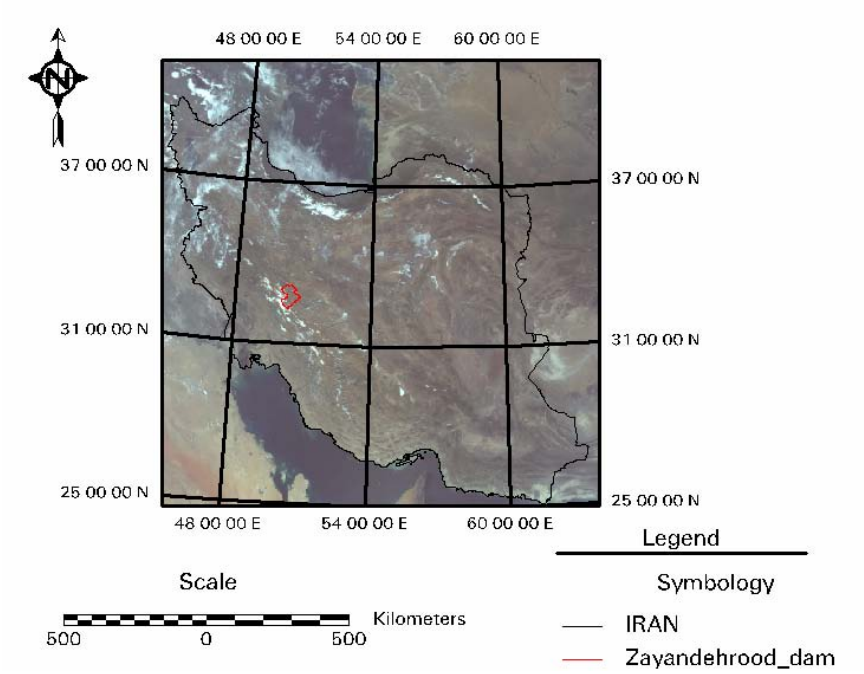
فعالیت‌های اقتصادی، پوشش اجتماعی و رشد و توسعه آنها می‌باشد(۱۶). آب معادل پوشش برفی حدود یک‌سوم آب مورد نیاز بخش کشاورزی را در سرتاسر جهان تأمین می‌کند(۱۲). در بیشتر مناطق شمالی نیم‌کره شمالی و مناطق آلپی، رواناب برف هم بر دبی حداکثر لحظه‌ای تأثیر دارد و هم یک بخش مهم دبی سالیانه می‌باشد (۲۰). ذوب برف، رطوبت خاک و ذخیره آب زیر زمینی و منابع آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها را تأمین می‌کند(۱۳). برف برای جذب توریست در زمستان ، ذخیره آب آن برای تولیدات انرژی آبی و آبیاری و در محیط‌های استپی برای جلوگیری از سقوط بهمن‌های برفی پایش آن ضروری می‌باشد(۲۱). برف در بعضی نقاط باعث جلوگیری از فرسایش می‌شود. به‌عنوان مثال به‌جای گذاشتن بخشی از محصول کشاورزی در زمین در طی زمستان باعث به تله انداختن برف شده و رطوبت وارد شده به زمین از طریق ذوب برف باعث چسبندگی ذرات خاک گردیده و مانع از فرسایش خاک می‌شود(۱۸). ضخامت برف در امتداد سطح پوشیده از برف و مقدار یخ آن که سطح خاک را می‌پوشاند، برای حیات موجودات زنده به‌خصوص در محیط‌های توندرا مهم می‌باشد. ضخامت برف و ویژگی‌های نوری آن، مقدار تابش فعال فتوسنتز را در کنترل دارد. پوشش برفی در صورتی که در موقع نامناسب بر جای گذاشته شود می‌تواند مانع لانه‌سازی پرندگان شده و یخ تشکیل شده میان برف و خاک مانع چرای چهارپایانی مثل گوزن شده و بر جمعیت میکروارگانیزم‌ها تأثیر می‌گذارد(۶). سیکل‌های زندگی تعدادی از موجودات زنده وابسته به برف بوده و برف یک حائل برای تغییرات انرژی میان اتمسفر و پوشش گیاهی است(۱۱). بنابراین پایش پیوسته سطح پوشیده از برف از نظر مطالعات اقلیمی، اکولوژیکی و هیدرولوژیکی اهمیت ویژه‌ای دارد. اکثر روش‌های کارآمد بررسی تغییرات زمانی پوشش برفی، پایش از راه دور به‌وسیله ماهواره می‌باشند(۱۵).خوشبختانه خصوصیات فیزیکی برف، استفاده از سنجش از دور را ممکن ساخته است(۱۵).

به‌دلیل نیاز به پایش مداوم سطح برفگیر، استفاده از ماهواره‌هایی که دوره بازگشت تصاویر آنها کوتاه است(۹)، مانند NOAA با داشتن چندسری داده از یک منطقه در روز و Moderate Resolution Imaging Spectrodiometer (MODIS) با یک سری داده از یک منطقه پس از گذشت حداکثر دو روز، معمول است. سنجنده MODIS در مقایسه با Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) قدرت تفکیک زمینی بهتری داشته و باندهای طیفی بیشتری دارد و در ضمن تفکیک ابر در تصاویر این سنجنده بهتر انجام می‌گیرد، به همین علت در یک تصویر دارای ابر و برف از نظر تفکیک با این ماهواره مشکل کمتری پیش می‌آید(۳). اما در صورت ابری بودن منطقه، پایش مداوم سطح پوشیده از برف به‌وسیله ماهواره‌های غیر راداری امکان‌پذیر نمی‌باشد(۹).

کلاین وهمکاران نقشه‌های برف حاصل از MODIS را با نقشه‌های تهیه شده توسط مرکز سنجش از دور هیدرولوژیکی ملی آمریکا (National Operational Hydrologic Remote Sensing Center)، با نام اختصاری NOHRSC، در بالادست آب‌گیر ریوگراند (RioGrande) مورد مقایسه قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که هر دو این نقشه‌ها از شرایط ابری متأثر شده و خطای اصلی در هر دو آنها وجود ابر می‌باشد. هم‌چنین اشاره می‌کنند که نقشه‌های تهیه شده از MODIS دقت بهتری نسبت به نقشه‌های NOHRSC دارند(۱۷). اکایو و همکاران، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در حوزه آبخیز کراسو(Karasu) ترکیه، نقشه سطح پوشیده از برف را با نقشه‌های حاصل از برداشت زمینی مقایسه نموده و اشاره کرده‌اند که علت اصلی اختلافات ابری بودن منطقه در طول دوره برفی است(۴). بنابراین در مواردی که نیاز به نقشه‌برداری پیوسته پوشش برفی می‌باشد، باید تغییرات این سطوح به طریقی برآورد شود. متأسفانه در ایران نقشه‌برداری از سطوح برفی به‌دلیل هزینه زیاد آن تنها در مطالعات خاص صورت می‌گیرد. با توجه به دریافت روزانه تصاویر ماهواره‌ای MODIS توسط سازمان فضایی ایران، نقشه‌برداری برف با استفاده از این تصاویر نسبت به نقشه‌برداری زمینی و عکس‌های هوایی هم به صرفه بوده وهم با

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.44.25.5]



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

سرعت بیشتری صورت خواهد گرفت. در این تحقیق در ابتدا به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای MODIS و با روش‌های مرسوم تصاویر برفی تهیه شدند و در نهایت به کمک آمار روزانه دما تغییرات این سطوح برفی برآورد شدند، تا به کمک این تغییرات پایش پیوسته این سطوح برفی میسر گردد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

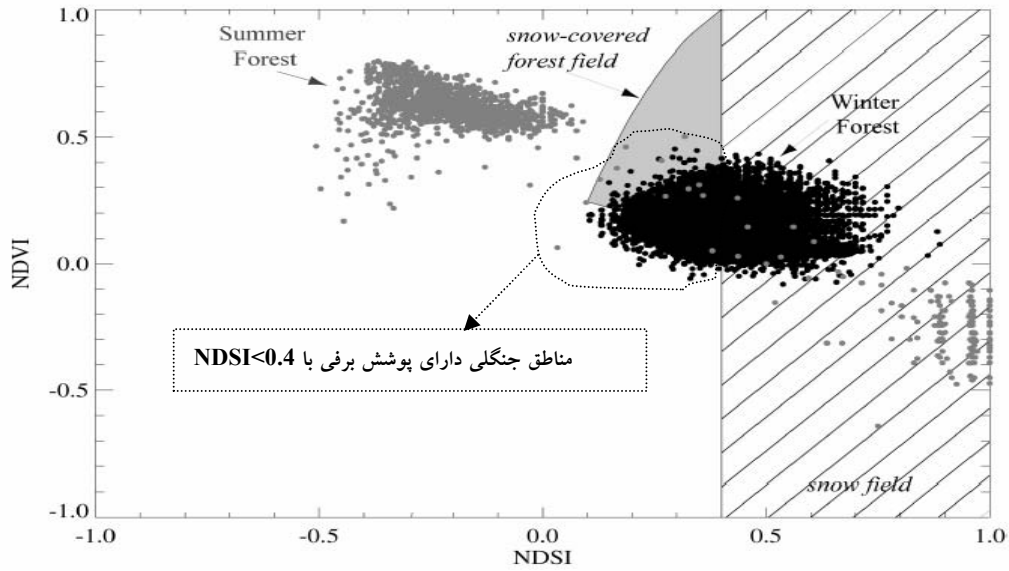
منطقه مورد مطالعه حوزه آبخیز سد زاینده رود می‌باشد که در محدوده ´۰۱-°۵۰ تا ´۵۳-°۵۰ طول شرقی و ´۱۱-°۳۲ تا ´۱۷-°۳۳ عرض شمالی واقع شده است(شکل ۱). مساحت کل حوزه آبخیز سد زاینده رود ۴۲۰۰ کیلومتر مربع و محیط آن ۳۶۰ کیلومتر است. حوزه آبخیز سد زاینده رود بین ارتفاعات حداکثر ۳۹۷۴ متر در جنوب غربی و حداقل ۱۹۷۶ متر قرار دارد، ارتفاع متوسط حوزه ۲۴۷۷ متر است. ۹۵/۶ درصد مساحت حوزه بین ارتفاعات ۳۰۰۰-۱۹۷۶ متر و ۴/۴ درصد بین ارتفاعات ۳۹۷۴-۳۰۰۰ متر واقع است. رودخانه‌های مهم این حوزه، پلاسجان و شاخه اصلی سد زاینده رود هستندکه این دو رودخانه به هم پیوسته و رودخانه زاینده رود را تشکیل می‌دهند. بارندگی در سراسر منطقه متفاوت است به‌طوری‌که در جنوب غربی یعنی چلگرد و کوهرنگ در حدود ۱۴۰۰ میلی‌متر، در شمال غرب یعنی دره کمندان و دره تخت در حدود ۷۰۰ میلی‌متر و در شرق در حدود ۳۰۰ میلمتر است. رژیم بارندگی نیز همانند اکثر نقاط ایران مدیترانه‌ای است یعنی بخش اعظم بارش بین مهر تا اواخر اردیبهشت رخ می‌دهد(۲).

روش تحقیق

در مقایسه با دیگر پوشش‌های سطحی زمین برف به‌وسیله دوخصوصیت متمایز می‌شود. اول، بازتاب شدید دربخش مرئی و باند شماره ۴ و دوم، بازتاب کم در مادون قرمز نزدیک یا باند شماره۶(۱۵). برای محاسبه و جداسازی برف از دو خصوصیت مذکور می‌توان بهره جست که با ترکیب طیفی، امکان عملیات کاملاً خودکار و با صرفه برای تعیین پوشش برف به‌وجود می‌آید. ترکیب بازتاب مرئی و بازتاب مادون قرمز با طول موج کوتاه در شاخص نرمال شده تمایز برفی به‌کار می‌رود. این شاخص از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود(۱۵).

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.44.25.5]



شکل۲. تأثیر جنگل در شاخص نرمال تمایز برفی(۱۴)

$$NDSI = \frac{MODIS۴ - MODIS۶}{MODIS۴ + MODIS۶} \qquad [۱]$$

به‌طور کلی برف به‌وسیله مقادیر بالای NDSI (Normalized Difference Snow Index) از دیگر سطوح زمینی متمایز می‌گردد. در جداسازی پیکسل‌های برفی ، مقادیری که NDSI بالاتر یا مساوی ۰/۴ دارند، به‌عنوان برف در نظرگرفته می‌شوند(۱۴ و۱۶). جنگل‌ها به‌دلیل سایه‌انداختن در زیرخود و به‌دلیل کاهش صورت کسر شاخص مذکور باعث می‌شوند، پوشش برف در آنها ، NDSI کمتر از ۰/۴ داشته باشد. همان‌گونه که در شکل ۲ دیده می‌شود نقاط تیره رنگ که در شکل مشخص شده‌اند، مناطق جنگلی دارای پوشش برفی می‌باشند که در این مناطق NDSI کمتر از ۰/۴وNDVI بیشتر از صفر است(۱۴).

به‌منظور اصلاح این مشکل در مناطق جنگلی می‌توان شاخص NDSI را با NDVI ترکیب نمود. در این صورت مناطقی که NDSI کمتر از ۰/۴ دارند ولی NDVI بزرگی دارند (بالاتر از صفر) می‌توانند به‌عنوان پوشش برفی در مناطق جنگلی به‌کار روند(۱۵). روش دیگر برطرف کردن مشکل فوق استفاده از باند۷ به‌جای باند ۶ در محاسبات است. باند ۶ به‌دلیل سابقه درتعیین ابر انتخاب شده است اما تعدادی از گونه‌های جنگلی به‌خصوص خزان کننده‌ها بازتاب بالایی در باند ۶ دارند. این امر باعث می‌شود مقدار NDSI پایین آید. به همین خاطراستفاده از باند۷ می‌تواند یک روش اصلاحی باشد. اما دو ایراد برای استفاده از باند ۷ وجود دارد. اول این‌که مقادیر NDSI برای باند ۷ جنگل‌های مخروطی پوشیده از برف خیلی نزدیک‌تر به شرایط بدون برف می‌باشد و دوم این‌که باند ۷ نیاز به محاسبه مجدد مقدار آستانه NDSI دارد(۱۴).

به غیر از NDSI از دو معیار دیگر برای طبقه‌بندی برف استفاده می‌شود(۱۴، ۱۵ و ۲۲) .

۱- بازتاب مطلق باند ۲ بالاتر از ۱۱٪ ، این معیار برای جداسازی برف از آب لازم است زیرا آب نیز NDSI بیشتر از ۰/۴ دارد.

۲- بازتاب باند ۴ بالاتر و مساوی ۱۰٪ ، این عامل اشیاء تاریک را از طبقه بندی در واحد برف دار جدا می‌سازد، هرچند این اشیاء NDSI بالاتر از ۴ /۰ داشته باشد. با ترکیب مجموع این عامل‌ها و تبدیل تصاویر به‌صورت صفر و یک و ضرب تصاویر در یکدیگر پیکسل‌های برف دار به‌راحتی جدا می‌شود.

در این تحقیق پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای MODIS فاقد ابر برای یک فصل برفی و آماده‌سازی این تصاویر، به کمک شاخص NDSI و دو معیار باند ۲ و باند ۴ ، پیکسل‌های

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.44.25.5]

جدول۱. تاریخ‌های ۱۴ گذر سفارش داده شده

شماره گذر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
تاریخ	۱۳۸۲/۱۰/۲۶	۱۳۸۲/۱۱/۱	۱۳۸۲/۱۱/۱۹	۱۳۸۲/۱۱/۲۱	۱۳۸۲/۱۲/۱	۱۳۸۲/۱۲/۵	۱۳۸۲/۱۲/۱۰	۱۳۸۲/۱۲/۲۱	۱۳۸۲/۱۲/۲۶	۱۳۸۲/۱۲/۲۷	۱۳۸۳/۱/۱	۱۳۸۳/۱/۶	۱۳۸۳/۱/۶	۱۳۸۳/۱/۸

برف‌دار جدا شدند و به کمک آنها تصاویر سطح پوشیده از برف به‌دست آمد. به‌منظور برآورد تغییرات سطوح برف‌دار در دوره‌های فاقد تصویر، از آمار ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه استفاده شد. بدین ترتیب که در ابتدا معادلات رگرسیون میان پارامترهای دمایی و ارتفاع استخراج شدند و با اعمال این روابط در مدل رقومی ارتفاعی (DEM) منطقه، برای دوره مورد بررسی تصاویر درجه حرارت روزانه به‌دست آمدند. سپس سه تصویر سطح پوشیده از برف متوالی فاقد ابر که از آنالیز تصاویر MODIS تهیه شده بودند و در فاصله میان آنها بارش برفی اتفاق نیافتاده بود، انتخاب شدند. تصویر دوم کنار گذاشته شد و با تقسیم‌بندی منطقه به واحدهای ارتفاعی، شیب و جهت شیب و به کمک تصاویر درجه حرارت روزانه، برآوردهای تغییرات سطح پوشیده از برف در فاصله زمانی تصویر اول و سوم انجام گرفت و با تصویر واقعی دوم مقایسه شد. در نهایت به کمک نتایج اولیه با استفاده از روشی ساده برای تمامی روزها تغییرات سطح پوشیده از برف برآورد شد.

داده‌های مورد استفاده

به‌منظور انجام مراحل مختلف این تحقیق از داده‌های مختلفی استفاده شد که در ادامه به ذکر آنها خواهیم پرداخت.

الف) داده‌های ماهواره‌ای MODIS

داده‌های ماهواره‌ای MODIS در دو سال ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ مورد بررسی قرار گرفتند و مشاهده شد که داده‌های ماهواره‌ای MODIS در سال ۱۳۸۲ به‌علت داشتن ابر کمتر و پراکنش زمانی بهتر، برای این مطالعه مناسب‌تر می‌باشند. با توجه به عدم کارایی داده‌های دارای ابر(۵)، تصاویری سفارش داده شدند که در آنها یا ابر وجود نداشت یا میزان پوشش ابری آنها کم بود. این داده‌ها شامل ۱۴ گذرMODIS به شرح زیر می‌باشند(جدول۱).

عملیات آماده سازی شامل تصحیح مرجع جغرافیایی، تصحیح هندسی، تصحیحات اتمسفری، ثبت تصاویر به یک تصویر واحد و تبدیل قدرت تفکیک زمینی تمامی باندهای مورد استفاده به ۲۵۰ متر(Spatial Resolution Merge)، بر روی این تصاویر انجام شد، تا آماده استفاده گردند(شکل۳).

ب) تصاویر DEM و مرز منطقه مورد مطالعه

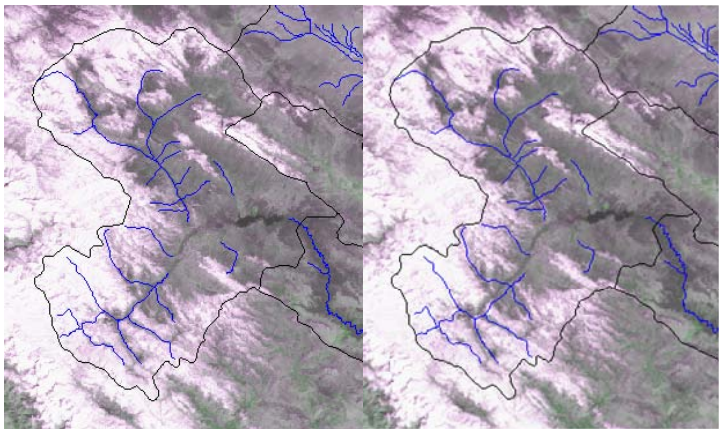
به‌منظور تهیه نقشه شیب، جهت شیب و تخمین دماهای روزانه در ارتفاعات مختلف از مدل رقومی ارتفاعی منطقه(DEM) تهیه شده از نقشه‌های رقومی توپوگرافی سازمان جغرافیایی ارتش ایران، استفاده گردید. لازم به ذکر است که به‌علت اندازه پیکسل حداقل تصاویر MODIS معادل ۲۵۰ متر، تصویر رقومی بر پایه اندازه پیکسل ۲۵۰ متر تهیه و سپس برای ایجاد تصاویر مذکور از آنها استفاده شد. هم‌چنین به‌منظور برش منطقه مورد مطالعه، با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۵۰۰۰۰ : ۱ مرز منطقه ترسیم و رقومی‌گردید.

ج) داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی

با توجه به ابری بودن اغلب روزها در دوره مورد بررسی و عدم امکان استفاده از تصاویر MODIS در تمامی روزها، پایش پیوسته دوره برفی می‌بایست با بررسی تغییرات سطوح برف‌دار انجام می‌گرفت. برای اینکار از داده‌های درجه حرارت روزانه ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شد. آمار ایستگاه‌های مورد

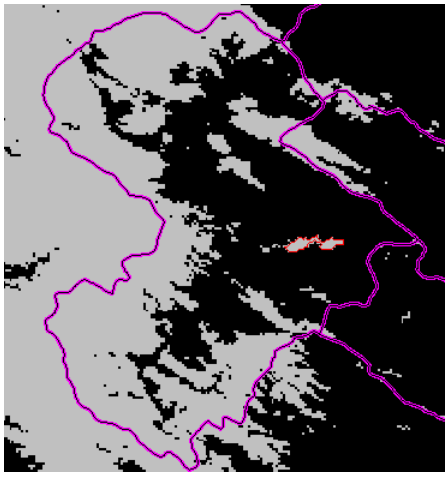
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.44.25.5]



ب الف

شکل۳. تصویر ثبت یافته(ب) و تصویر قبل از ثبت(الف)



شکل۴. برف جدا شده توسط شاخص NDSI

استفاده شامل قلعه شاهرخ، تیران ، سینگرد، سد زاینده رود ۱ ، سد زاینده رود ۲ ، چادگان، بادیجان و دامنه بودند. پس از بررسی همگنی و صحت داده‌های مورد نیاز با توجه به اندازه‌گیری درجه حرارت‌های روزانه در تمامی این ایستگاه‌ها، از این داده‌ها، گرادیان‌های قائم درجه حرارت حداکثر و متوسط برای تمامی روزهای مورد بررسی به‌دست آمد و به‌وسیله آنها تصاویر درجه حرارت روزانه تهیه شدند.

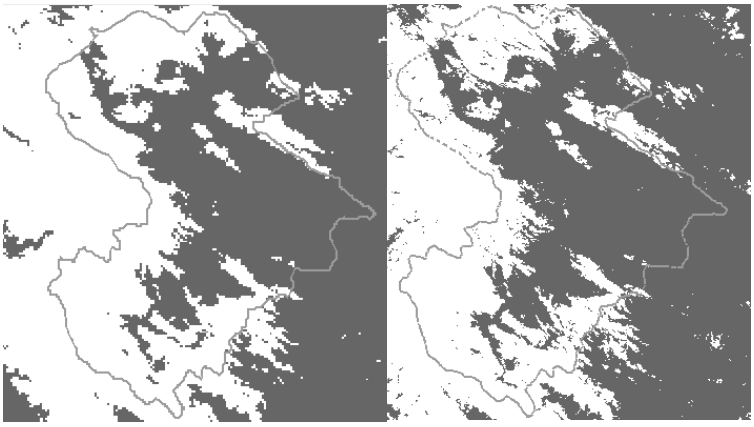
نتایج و بحث

تهیه تصاویر سطح پوشیده از برف

برای استخراج پیکسل برف‌دار در یک تصویر خاص از شاخص NDSI استفاده شد. بدین ترتیب که این شاخص به‌صورت معادله‌ای بر تصویر اعمال شده و اعداد بالاتر و مساوی ۰/۴ به‌عنوان پیکسل شرطی برف جدا شدند. همان‌گونه که در شکل ۴ با رنگ قرمز مشخص است، سطح دریاچه به‌وسیله این شاخص به‌عنوان برف در نظر گرفته شده است. بنابراین برای تفکیک آب از برف و هم‌چنین برای تفکیک مناطق تاریک و سایه دار از برف از بازتاب‌های باند ۴ برای اشیاء تاریک و باند ۲ برای آب استفاده شد(۱۴، ۱۵ و ۲۲). بدین ترتیب که با عملیات تغییر ارزش پیکسل‌ها و یا Recode بازتاب خالص باند ۲ بالاتر از ۱۱ درصد بازتاب کل به‌عنوان شرط باند ۲ و بازتاب خالص باند ۴ مساوی یا بیشتر از ۱۰ درصد بازتاب کل

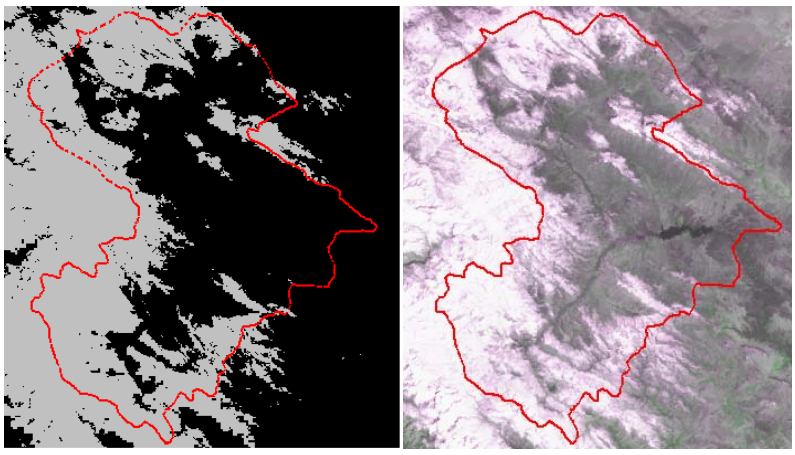
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.44.25.5]



ب الف

شکل۵. استفاده از معیار بازتاب باند ۲ (الف) و بازتاب باند ۴ (ب) برای جداسازی برف



ب الف

شکل۶. تصویر واقعی MODIS(الف) و برف جدا شده توسط روش NDSI (ب)

به‌عنوان شرط باند ۴، به‌صورت یک و صفر درآمده و در تصویر NDSI ضرب شدند تا تصویر نهایی سطح پوشیده از برف به‌دست آید(شکل ۵ و ۶).

با مقایسه تصاویر واقعی MODIS و تصویر برف جداشده توسط شاخص نرمال شده تمایز برفی مشاهده شد، این شاخص به‌خوبی سطوح برف‌دار را جدا می‌نماید(شکل۶). در ایران نقشه‌برداری سطوح برف‌دار انجام نمی‌شود تا به کمک آنها بتوان دقت این شاخص را برآورد کرد، ولی با توجه به مطالعه‌ای که در آب‌گیر ریوگراند روی پوشش برف MODIS در طی سال‌ها ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۱ انجام گرفته، می‌توان به‌طور کلی و متوسط دقت نقشه پوشش برفی MODIS در شرایط غیر ابری را ۸۸ درصد در نظر گرفت(۵).

برآورد تغییرات سطح برف در طی دوره‌های فاقد تصویر

برای برآورد تغییرات سطح پوشیده از برف، در ابتدا با توجه به اهمیت جهت شیب در میزان انرژی دریافتی و به‌دنبال آن میزان ذوب(۱۰)، مطالعه‌ای روی تغییرات روزانه درجه حرارت در شیب‌های مختلف به‌وسیله سه تصویر NOAA که متعلق به سه مقطع زمانی از یک روز یعنی صبح، بعد ازظهر و شب بودند، انجام شد. لازم به ذکر است که در منطقه مورد مطالعه (احتمالاً در کل ایران)، میزان درجه حرارت در شیب‌های مختلف روی زمین، اندازه‌گیری نمی‌شود و می‌توان درجه حرارت سطح زمین

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.44.25.5]

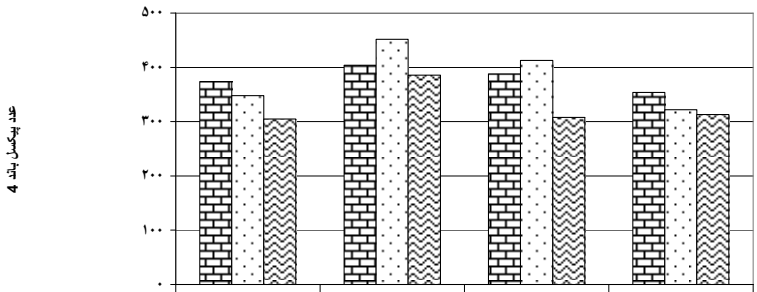
(Land Surface Temperature) را با استفاده از باندهای حرارتی(۴ و ۵) سنجنده AVHRR به کمک روش‌های مختلف SP (Split Plot) انجام داد(۱). همین دلیل از باندهای حرارتی برای بررسی رابطه در شیب‌های مختلف و تغییرات این رابطه در طی یک روز استفاده شد. در این مطالعه به‌منظور به‌دست آوردن رابطه مورد اشاره، پس از آماده‌سازی سه تصویر بالا، سه یال که در آنها چهار جهت شیب به‌صورت واضح وجود داشتند در سه نقطه از منطقه مورد مطالعه انتخاب شدند. در هر یال سه طبقه شیب ۰ تا ۸، ۸ تا ۱۵ و ۱۵ تا ۳۰ درصد جدا شد و سپس چهار نقطه که ارتفاع تقریباً مشابهی در هر یک از این طبقات شیب داشتند و به کمک DEM به‌دست آمدند و هر یک متعلق به یک جهت شیب بودند، انتخاب شده و عدد مربوط به پیکسل در باندهای ۴ و ۵ استخراج گردید و با هم مقایسه شدند(شکل۷).

این عمل برای هر سه مقطع روز تکرار شد تا روابط و تغییرات این روابط میان شیب‌های مختلف در طی روز به‌دست آید. با مقایسه تمامی این نقاط در طی روز، رابطه منطقی مشاهده نشد. شکل ۷ نتایج حاصل از مقایسه بازتاب‌های باند ۴ در جهت‌های مختلف شیب را در سه مقطع زمانی برای یکی از یال‌های مورد بررسی را نشان می‌دهند. ضمن مشاهده نشدن رابطه میان جهت شیب‌ها در مقاطع مختلف زمانی روز، روند آنها نیز برای سه یال انتخاب شده نامشخص و غیر قابل استناد بود. به همین خاطر از ایجاد رابطه درجه حرارت با جهت شیب صرف نظر شد.

به‌منظور تخمین تغییرات سطح برف، در صورتی‌که بین دو تصویر متوالی موجود، برف نباریده بود، به‌صورت زیر عمل شد:
در ابتدا سه تصویر متوالی که هیچ‌گونه بارش برف در فاصله زمانی میان آنها اتفاق نیفتاده بود و هم‌چنین هیچ‌گونه مشکل تابش‌سنجی و نویز در آنها وجود نداشت(۱، ۵ و ۱۰ اسفند) انتخاب شدند. تصویر دوم یا ۵ اسفند برای ارزیابی هر مرحله آزمون مدل کنار گذاشته شد تا برآوردها با واقعیت مقایسه شده و روشی که کمترین خطا در برآورد تغییرات سطح برف را دارد، انتخاب شود. سپس بخشی که بین دو تصویر۱ و ۱۰ اسفند برف پسروی کرده بود، از کل منطقه جدا شد و به‌عنوان سطح عمل در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که جدا سازی سطح تغییرات و پیش‌بینی‌ها روی آن در مورد روش نهایی نیز به‌کار گرفته شد تا خطای احتمالی تنها در سطح تغییر یافته باشد نه کل منطقه. به‌منظور برآورد تغییرات سطح پوشیده از برف، استدلال برآورد بر پایه این منطق استوار بود که نهایت تغییر در یک بازه زمانی، در گرم‌ترین روز موجود در این بازه زمانی اتفاق می‌افتد یعنی برف تا بالاترین ارتفاع عقب نشینی می‌کند. بنابراین در تمامی مراحل آزمایشی اولیه و نهایی نیاز بود، روز گرم در هر نوع طبقه‌بندی یا حتی هر نوع روش به‌صورت جداگانه در هر واحد یا جزء محاسباتی، مشخص شده و سایر روزها به‌وسیله مقایسه با این روز گرم به‌دست آیند. تمامی تصویرهای درجه حرارت، به‌وسیله تصویر رقومی ارتفاعی و با استفاده از گرادیان قائم درجه حرارت ایجاد شدند، بنابراین تنها عواملی که مستقیم یا غیر مستقیم در ارتباط با تصویر رقومی می‌باشند را می‌توان در روش برآورد تغییرات وارد نمود که شامل میزان شیب و ارتفاع هستند. در شروع کار و برای تعیین تغییرات ابتدا منطقه مورد مطالعه به چند طبقه شیب تقسیم شد، به‌علت اندازه پیکسل مینیمم حدود ۲۵۰ متر، حداکثر شیب در منطقه در حدود ۱۲۰ درصد به‌دست می‌آید که درصد کمی از کل منطقه شیب بالای ۳۰ درصد دارا بود. به همین دلیل منطقه به چهار طبقه شیب با طبقات صفر تا ۱۵ درصد، ۱۵ تا ۳۰ درصد، ۳۰ تا ۵۰ درصد و بیش از ۵۰ درصد تقسیم شد و سپس با صفر و یک نمودن هر طبقه و ضرب آن در تصویر رقومی ارتفاعی، ارتفاع متوسط هر طبقه شیب به‌دست آمد و بر طبق آن هر طبقه شیب به دو واحد بالاتر و پایین‌تر از ارتفاع متوسط آن واحد تبدیل شد، در نهایت هشت واحدکاری تشکیل شد. طبیعی است که هر یک از این هشت واحد به‌عنوان واحدهای عمل جداگانه بودند و بررسی‌ها در این واحدها به‌صورت جداگانه انجام می‌گرفت. درحقیقت می‌توان این‌گونه بیان نمود که روز گرم در هر یک از این نواحی جداگانه

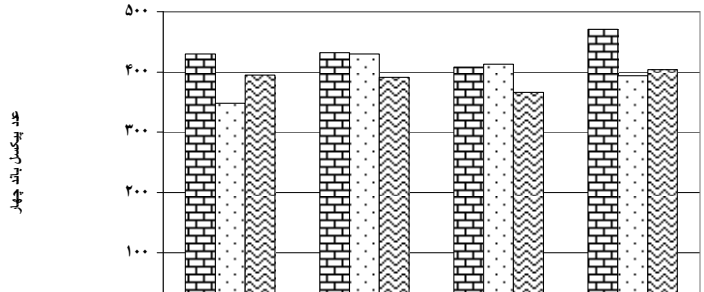
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.44.25.5]



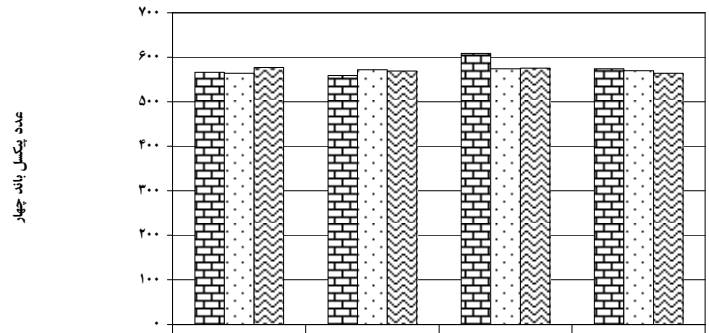
	شمالی	شرقی	جنوبی	غربی
باند ۴ و پر شیب	۳۷۴	۴۰۴	۳۸۸	۳۵۴
باند ۴ و شیب متوسط	۳۴۸	۴۵۲	۴۱۳	۳۲۲
باند ۴ و کم شیب	۳۰۵	۳۸۶	۳۰۸	۳۱۳

(الف)



	شمالی	شرقی	جنوبی	غربی
باند ۴و پر شیب	۴۳۰	۴۳۲	۴۰۸	۴۷۱
باند ۴ و شیب متوسط	۳۴۸	۴۳۰	۴۱۳	۳۹۴
باند ۴ و کم شیب	۳۹۵	۳۹۱	۳۶۶	۴۰۴

(ب)



	شمالی	شرقی	جنوبی	غربی
باند ۴ و پر شیب	۵۶۶	۵۵۹	۶۰۹	۵۷۴
باند ۴ و شیب متوسط	۵۶۴	۵۷۲	۵۷۴	۵۷۰
باند ۴ و کم شیب	۵۷۷	۵۶۹	۵۷۶	۵۶۴

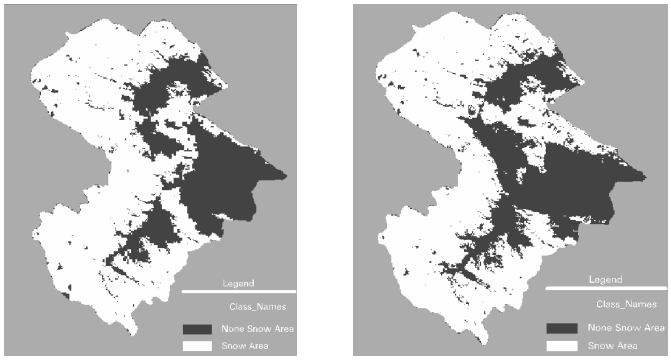
(ج)

شکل۷. مقایسه ارزش پیکسل‌ها در زمان‌های صبح(الف) ، ظهر(ب) و شب(ج) در یکی از یال‌های مورد بررسی

به‌دست آمده و به‌صورت جداگانه با سایر روزها مقایسه و تغییر سطح پوشیده از برف برآورد می‌شود. برای به‌دست آوردن روز گرم نیاز است در ابتدا واحدهای کاری مشخص شود، مثلاً در آزمایش اول یکی از واحد کاری شیب صفر تا ۱۵ درصد و بالاتر از ارتفاع متوسط است، سپس این واحد کاری به‌صورت صفر و یک درآمده در تصویر درجه حرارت (متوسط یا حداکثر بسته به اثر آن در واحد کاری)روزهای مختلف ضرب شده و نتیجه آنها باهم مقایسه شده و روز گرم انتخاب می‌شود. روزی که میانگین درجه حرارت واحدکاری در آن از بقیه روزها بالاتر بود به‌عنوان روز گرم انتخاب شد، بنابراین برای برآورد تغییر

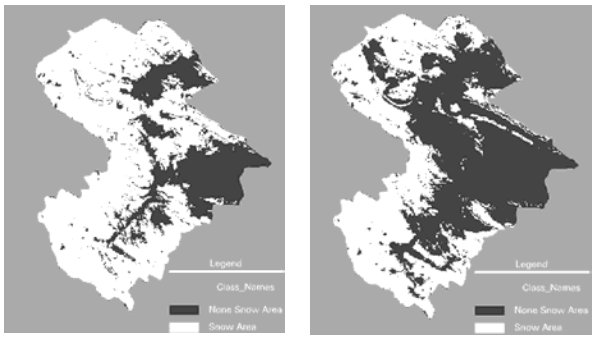
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.44.25.5]



(ب) (الف)

شکل۸. مقایسه تصویر برآورد شده(الف) با تصویر واقعی (ب)



(ب) (الف)

شکل۹. تصویر برآورد شده به‌وسیله متوسط درجه حرارت بیشینه(الف) و حداقل درجه حرارت بیشینه(ب)

سطح برف یک روز خاص، میانگین درجه حرارت هر واحدکاری در روز گرم عامل مقایسه بود و پیکسل‌هایی که از این عدد بالاتر بودند برای روز بعدی حذف می‌شدند(شکل ۸).

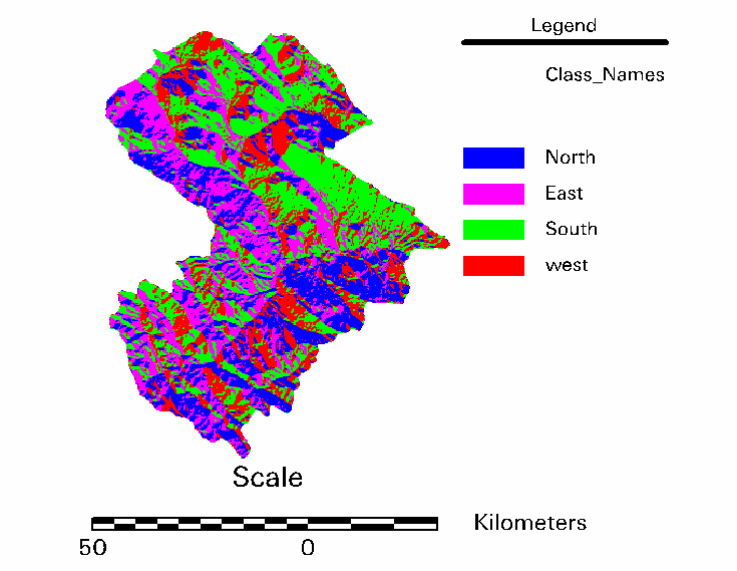
همان‌گونه که در شکل ۸ ملاحظه می‌شود در بخش شرقی منطقه و بخشی از جنوب منطقه تغییرات زیادی دیده می‌شود، هم‌چنین به‌منظور ارزیابی دقت روش از ماتریس خطا استفاده گردید(۱۹). به‌منظور ایجاد ماتریس خطا از ۱۰۲۴ نقطه تصادفی که تنها در منطقه تغییر یافته سطح پوشیده از برف واقع شده بودند، استفاده گردید تا از افزایش دقت به‌صورت کاذب خودداری شود. در مقایسه تصویر حقیقی و تصویر سنتز شده به کمک ماتریس خطا، دقت پیکسل‌هایی که به‌عنوان پیکسل‌های بدون برف جدا شده بودند ۴۶/۶۷ درصد و پیکسل‌هایی که به‌عنوان برف در نظر گرفته شده بودند ۷۶/۷۲ درصد و دقت کل ۶۹/۲۴ درصد به‌دست آمد. به‌منظور بالا بردن دقت در برآورد سطح پوشیده از برف آزمایش‌هایی به شرح زیر انجام گرفت.

در اولین گام از تصویرهای درجه حرارت متوسط روزانه برای کلیه مراحل برآورد استفاده شده بود، بنابراین به‌جای درجه حرارت متوسط از درجه حرارت حداکثر در مرحله بعدی استفاده شد. هم‌چنین به‌منظور اطمینان از انتخاب درجه حرارت متوسط روز گرم، از دمای حداقل روز گرم نیز استفاده شد.

همان‌گونه که در شکل ۹ مشاهده می‌شود که قسمت غربی منطقه به تصویر حقیقی نزدیک‌تر شده و قسمت شرقی آن از تصویر حقیقی دورتر شده است. به‌منظور برآورد دقت و ارزیابی این مرحله نیز از ماتریس خطا و مقایسه تصویر سنتز شده و تصویر حقیقی استفاده گردید. لازم به ذکر است که برای داشتن

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.44.25.5]



شکل ۱۰. تصویر جهت‌های شیب منطقه مورد مطالعه

همگنی در ماتریس خطا در کلیه مراحل آزمایشی از ۱۰۲۴ نقطه تصادفی که در مرحله قبل طول و عرض جغرافیایی آنها ذخیره شده بود، استفاده گردید. در شکل ۹ بخش (ب) دقت پیکسل‌هایی که به‌عنوان پیکسل‌های بدون برف جدا شده بودند ۹۲/۱۶ درصد و پیکسل‌هایی که به‌عنوان برف در نظر گرفته شده بودند ۱۱/۹۶ درصد و دقت کل ۳۱/۹۳ درصد به‌دست آمد، این ارقام برای بخش (الف) به ترتیب ۲۵/۱۰، ۹۳/۵۰ و ۷۶/۴۶ درصد به‌دست آمد.

همان‌گونه که در شکل ۱۰ ملاحظه می‌شود. بخش اعظم قسمت شرقی شیب به سمت جنوب دارد و بخش غربی شیب غیر جنوبی دارد. بنابراین به توجه به شکل‌های (۹ و ۱۰) تا این مرحله می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که برای شیب جنوبی دمای متوسط روزانه و برای شیب غیر جنوبی دمای حداکثر روزانه بهتر جواب می‌دهند. برای آزمایش چگونگی دخالت طبقات شیب در نتایج، با توجه به تصویر شیب، منطقه به پنج طبقه با طبقات صفر تا ۶، ۷ تا ۱۴، ۱۵ تا ۲۹، ۳۰ تا ۴۹ و بالاتر از ۴۹ درصد تقسیم شد و با صفر و یک نمودن هر طبقه، ارتفاع متوسط هر طبقه نیز به‌دست آمده و به‌وسیله آن هر طبقه شیب به دو بخش بالاتر و پایین‌تر از ارتفاع متوسط جمعاً ۱۰ واحد کاری تقسیم شد. لازم به ذکر است که به‌دلیل نیاز به مقایسه با آزمایش اول از نتیجه‌ای که در مرحله قبل به‌دست آمد، یعنی استفاده از درجه حرارت متوسط برای شیب جنوبی و درجه حرارت حداکثر برای شیب غیر جنوبی استفاده نشد.

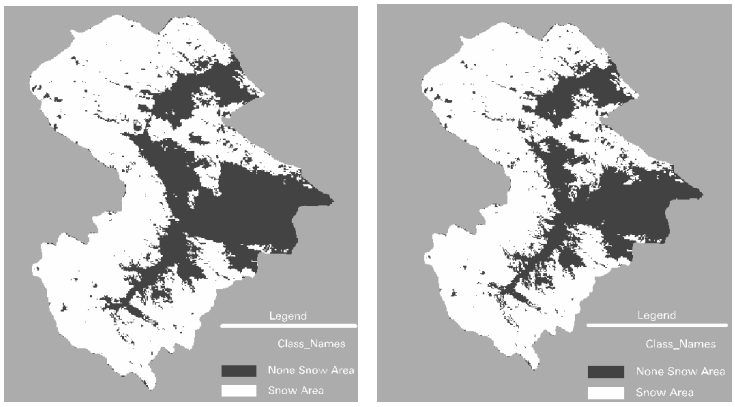
همان‌گونه که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود و با توجه به ارزیابی ماتریس خطا که دقت پیکسل‌های برف‌دار را ۸۲/۳۱ درصد و دقت کل را ۷۱/۴۸ درصد نشان داد و با توجه به دقت کل تصویر سنتز شده ابتدایی معادل ۶۹/۲۴ درصد مشخص گردید که با افزایش طبقات شیب تا حدود ۲ درصد به تصویر حقیقی نزدیک‌تر می‌شویم.

به‌منظور ارزیابی تأثیر تغییرات حدود طبقات شیب، حدود جدید با طبقات صفر تا ۲۰، ۲۰ تا ۴۰، ۴۰ تا ۶۰ و بالاتر از ۶۰ درصد ایجاد شد تا با روش اول و حدود طبقات آن مقایسه شود. دقت پیکسل‌های بدون برف در این مرحله ۴۶/۲۷، دقت پیکسل‌های برف‌دار ۷۸/۰۲ و دقت کل ۷۰/۱۲ درصد به‌دست آمد. همان‌گونه که از اعداد مشخص است و در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود در مقایسه با نتیجه مرحله اول تغییر محسوسی در کل تصویر مشاهده نمی‌شود هر چند که کمتر از یک درصد دقت کل افزایش یافته است.

هم‌چنین به‌منظور ارزیابی استفاده از ارتفاع در ایجاد واحدهای کاری، به جای ارتفاع متوسط هر طبقه شیب از

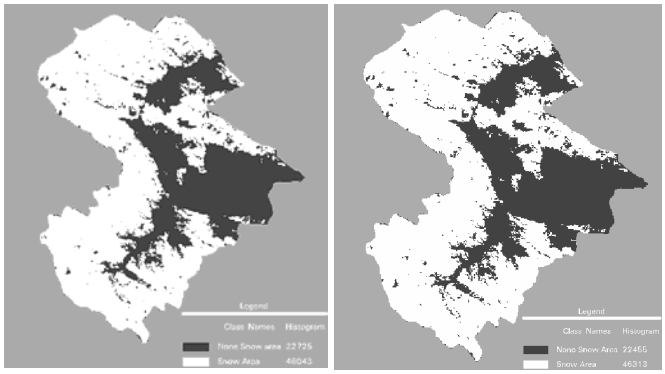
[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.44.25.5]



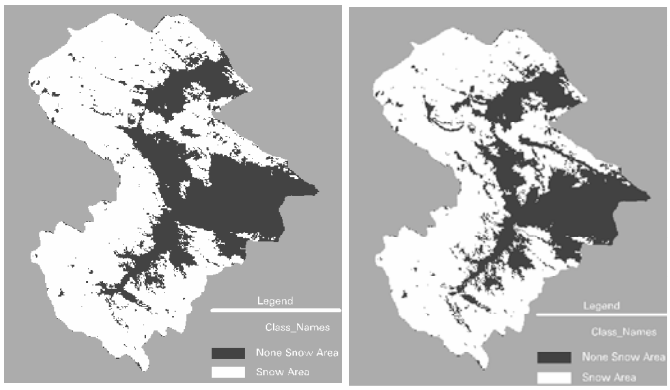
(ب) (الف)

شکل۱۱. مقایسه شیب پنج طبقه(الف) و شیب چهار طبقه(ب)



(ب) (الف)

شکل۱۲. مقایسه تأثیر تغییر در حدود طبقات شیب، تصویر برآورد اولیه (الف)، تصویر با حدود جدید طبقات شیب (ب)

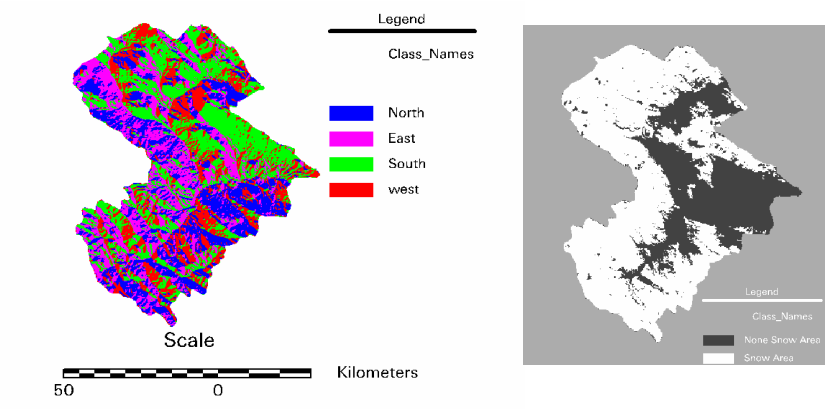


(ب) (الف)

شکل۱۳. مقایسه تغییر در واحد ارتفاعی تصویر متوسط در سطح تغییریافته نه کل منطقه(الف)، تصویر اولیه(ب)

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.44.25.5]



شکل۱۴. اثر جهت شیب در برآورد تغییرات

ارتفاع متوسط هر طبقه شیب ولی تنها در سطح تغییر یافته و نه برای کل منطقه استفاده شد(شکل ۱۳).

به کمک ماتریس خطا، دقت تخمین پیکسل‌های بدون برف ۴۵/۱۰ درصد، دقت پیکسل‌های برف‌دار ۸۱/۵۳ درصد و دقت کل ۷۲/۴۶ درصد به‌دست آمد وهمان‌گونه که در شکل۱۳ ملاحظه می‌شوند و با مقایسه دقت تخمین پیکسل‌های برف‌دار تصویر اولیه معادل ۷۶/۷۲ درصد و دقت کل معادل ۶۹/۲۴ درصد، استفاده از ارتفاع متوسط داخل هر واحد و تنها در سطح تغییر به‌طور محسوسی دقت را بالا برده به سمت تصویر حقیقی سوق می‌دهد.

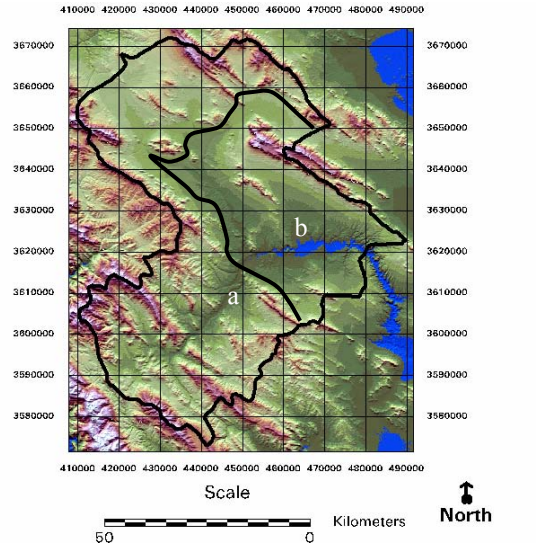
تا این مرحله می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که با افزایش تعداد واحدهای کاری و استفاده از ارتفاع متوسط در سطح تغییر یافته، تصویر برآورد شده به حقیقی تا حدود زیادی نزدیک می‌شود. در نهایت برای استفاده از عامل مهم جهت شیب در برآورد سطح تغییر پوشش برفی پس از طبقه‌بندی شیب هر واحد در دو جهت شیب شمالی و جنوبی تقسیم شدند و برآوردها بر روی آنها صورت گرفت(شکل ۱۴).

در این مورد با توجه به استفاده کلی از درجه حرارت متوسط روزانه بخش شیب جنوبی نزدیک‌تر و سایر جهات شیب دورتر از حالت واقعی خواهند بود. همان‌گونه که در شکل جهت شیب مشاهده می‌شود شیب جنوبی در بخش شرقی منطقه در شکل ۱۴ به واقعیت نزدیک شده است. این تصویر نتایج به‌دست آمده در مورد استفاده از درجه حرارت متوسط روزانه برای شیب جنوبی و درجه حرارت حداکثر روزانه برای سایر شیب‌ها را تأیید می‌نماید.

در پایان آزمایش‌ها به‌طور واضح به نتایج زیر دست یافتیم:

۱. برای رسیدن به شباهت زیاد و دلخواه، کوچک شدن سطح واحدهای عمل و افزایش تعداد آنها می‌تواند یکی از راه‌های قابل استفاده باشد.
۲. استفاده از ارتفاع متوسط هر واحد، تنها در سطح تغییر یافته برای تقسیم بندی هر واحد به دو جزء یا به‌عبارتی دقت در تقسیم واحدها به ایجاد شباهت بیشتر کمک می‌نماید. (این نتیجه پیرو همان نتیجه قبلی است)
۳. جدا نمودن جهت شیب در هر واحد کاری و عملیات مستقل روی آن به ایجاد شباهت بیشتر کمک می‌نماید.
۴. استفاده از درجه حرارت متوسط روزانه برای شیب جنوبی و استفاده از درجه حرارت حداکثر روزانه برای سایر جهات شیب در طبقه‌بندی چهار جهته شیب به ایجاد شباهت بیشتر منجر می‌شود.
۵. همان‌گونه که در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود، منطقه به‌دلیل داشتن شرایط توپوگرافی شدید در بخش جنوبی، غربی و قسمتی از شمال(بخش a) مستقل از بخش شرقی و مناطق اطراف دریاچه (بخش b) است. به‌عبارت دیگر بخش شرقی و کم ارتفاع مرکزی به‌دلیل نداشتن توپوگرافی

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]
[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.44.25.5]



شکل۱۵. DEM رنگ آمیزی شده

شدید، گرمتر از سایر نواحی می‌باشد، به همین خاطر لازم است منطقه بخش‌بندی شده و آنالیزهای ذکر شده به‌طور مستقل در هر بخش انجام گیرد تا نهایت شباهت در تصویر برآورد شده و تصویر واقعی ایجاد گردد.

با در نظر گرفتن مجموعه نتایج کسب شده در مطالعات اولیه به‌منظور برآورد سطح تغییرات پوشش برفی به طریقه زیر عمل شد:

۱. برای رسیدن به بالاترین واحد کاری و بیشترین دقت در طبقه‌بندی واحدهای کاری، به‌جای طبقه‌بندی سطح منطقه از کوچک‌ترین واحد هر تصویر یعنی پیکسل‌ها برای مقایسات روزها و برآورد تغییرات سطح پوشیده از برف استفاده شد.

۲. برای انتخاب گرم‌ترین روز از آمار ایستگاه‌های هواشناسی، میانگین و ماکزیمم درجه حرارت‌های متوسط و حداکثر روزانه پیکسل‌های واقع در سطح تغییر استفاده شد تا با بالاترین دقت روز گرم انتخاب شود.

۳. منطقه به شیب چهار جهته تقسیم شد و آنالیزها برای جهت جنوبی با استفاده از درجه حرارت متوسط روزانه و برای سایر شیب‌ها با استفاده از درجه حرارت حداکثر روزانه انجام گرفت.

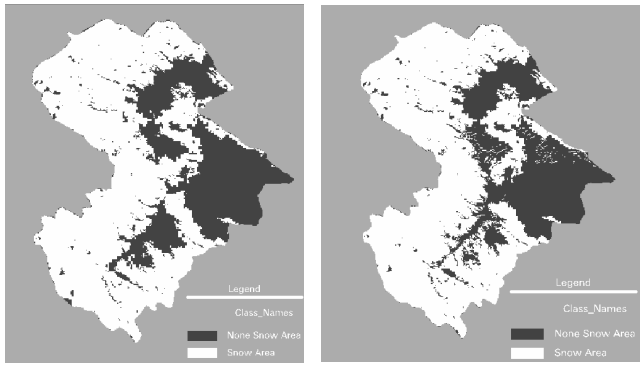
۴. به‌جای استفاده از یک عدد در پیش‌بینی تغییرات سطح برف در هر روز هر پیکسل با پیکسل مشابه خود در گرم‌ترین روز مقایسه و در صورت بالاتر بودن عدد آن برای روز بعدی حذف می‌شد.

۵. منطقه به دو بخش شرقی- مرکزی و غیر شرقی تقسیم شد، برای بخش غیر شرقی از روش بالا برای برآورد تغییرات سطح برف استفاده شد، ولی برای بخش شرقی- مرکزی به‌جای روز گرم که قبلاً روش انتخاب آن اشاره شد، از متوسط تمامی روزهای واقع شده در میان دو تصویر متوالی ۱ و ۱۰ اسفند که به‌صورت یک تصویر درآمده بود، استفاده شد.

در نهایت دقت تخمین پیکسل‌های بدون برف ۷۸/۴۳ درصد، دقت تخمین پیکسل‌های برف‌دار ۹۳/۱۱ درصد و دقت کل ۸۹/۴۵ درصد به‌دست آمد که این میزان خطا در برآورد تغییرات به نظر ایدآل می‌باشد و هم‌چنین در نتیجه‌گیری نهایی کاملاً روشن است که دو تصویر شباهت زیادی به یکدیگر دارند(شکل ۱۶). بنابراین این روش پیشنهادی برای برآورد سطح تغییرات پوشش برفی در روزهای مابین دو تصویر متوالی که در فاصله زمانی میان آنها بارش برف وجود نداشته، به‌کار رفت. با مقایسه چند تصویر

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.44.25.5]



(ب) (الف)

شکل۱۶. مقایسه تصویر نهایی برآورد تغییرات (الف) و تصویر حقیقی(ب)

متوالی دیگر کلیه موارد بالا تأیید شد. بنابراین این روش برای برآورد تغییرات سطح پوشیده از برف در فاصله زمانی دو تصویر متوالی که هیچ‌گونه بارش برفی نداشته‌اند، به‌کار رفت. اما چنان‌که ذکر شد، در حالت دوم وقتی بین دو تصویر متوالی بارش برف داشتیم، آنالیز را به دو بخش تقسیم نمودیم. با توجه به این نکته که اکثر ایستگاه‌های موجود در منطقه در ارتفاع پایین و نزدیک به پایین منطقه بودند یعنی در ارتفاع ۲۱۰۰ متری، مسلم است وقتی در این ایستگاه‌ها برف ریزش نماید در مناطق مرتفع تر نیز برف باریده است، بنابراین یک تصویر از منطقه ساخته شد که در آن تمامی منطقه بجز دریاچه سد پوشیده از برف بود. بدین طریق که از روی تصاویر ماهواره‌ای سطح دریاچه جدا و از تصویر اولیه کل منطقه، کم شد تا محدوده دریاچه سد جدا شود. این تصویر در روزی که بارش برف اتفاق افتاده بود، به‌عنوان تصویر سطح پوشیده از برف در روز برفی به‌حساب می‌آمد. طبیعی است که از روز بارش تا تصویر متوالی دوم به همان روش مورد اشاره تصاویر حدواسط ساخته می‌شدند. اما به‌دلیل نداشتن سطح تغییر و ندانستن چگونگی تغییرات سطح برف در فاصله میان تصویر اول و بارش برف و با در نظر گرفتن این نکته که برف در طی این روزها تغییراتی خواهد داشت و عدم محاسبه این تغییرات میزان برآورد نهایی ذوب و دبی را تحت تأثیر قرار داده و باعث ایجاد خطا در برآورد می‌شود بایستی به طریقی این تغییرات سطح پوشیده از برف برآورد می‌شد.

برای برآورد تغییرات سطح برف در این روزها ، یک تصویر متوسط درجه حرارت، هم در مورد درجه حرارت متوسط روزانه و هم در مورد درجه حرارت حداکثر روزانه بین دو تصویر متوالی موجود ایجاد شد، سپس در هر یک از این دو تصویر در سطح تغییر یافته میان همان دو تصویر متوالی ضرب شد و در نهایت متوسط این واحد تغییر یافته هم در مورد درجه حرارت متوسط و هم درجه حرارت حداکثر روزانه به‌دست آمد. در حقیقت متوسط درجه حرارتی که باعث تغییر برف در میان این دو روز متوالی شده بود، به‌دست آمد. این عمل برای تمامی تصاویر متوالی انجام گرفت تا متوسط هر یک از این دو دما که باعث حذف برف شده بودند به‌دست آید. برای محاسبه متوسط کل، متوسط‌های به‌دست آمده در تعداد روزهایی که در تشکیل آن نقش داشتند، ضرب شده به تعداد روزهای کل تقسیم شدند(میانگین وزنی- روزی) تا میانگین کل به‌دست آید. در مورد درجه حرارت متوسط روزانه این عدد برابر ۳/۷۶- و برای درجه حرارت حداکثر روزانه۳/۸۷+ به‌دست آمد. برای محاسبه تغییرات در این قبیل روزها، اگر پیکسلی در یک روز خاص درجه حرارت متوسط بالای ۳/۷۶- و درجه حرارت حداکثر روزانه بالای ۳/۸۷+ داشت، برای روز بعدی حذف می‌شد. به‌دلیل خرابی سنجنده در بعد از تاریخ ۸ فروردین برای بعد از این روز تا اتمام پوشش برفی در منطقه(۳۱ فروردین) بدین شکل تغییرات برف محاسبه شد. بدین ترتیب برای تمامی روزهای مورد آزمایش تصویر سطح پوشیده از برف به‌دست آمد.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.44.25.5]

نتیجه‌گیری

استفاده از تصاویر ماهواره‌ای به‌منظور پایش پدیده‌های طبیعی مانند برف با توجه به کاهش قابل ملاحظه هزینه‌ها و صرفه‌جویی در زمان بسیار موثر خواهد بود. در پایش پیوسته سطح پوشیده از برف نیاز به سنجنده‌هایی است که دوره بازگشت کوتاه مدت دارند. با توجه به اهمیت پایش سطح پوشیده از برف در مباحث مختلف زیست محیطی، اقلیمی و هیدرولوژی، در این تحقیق تلاش شد به کمک تصاویر ماهواره‌ای MODIS سطح پوشیده از برف برآورد شود که تصاویر نهایی برف‌دار بسیار به تصاویر واقعی نزدیک بودند، هم‌چنین سعی شد به کمک روابط ساده و استفاده از پارامترهایی که تقریباً در تمامی ایستگاه‌های هواشناسی اندازه‌گیری می‌شوند، مانند درجه حرارت حداکثر و متوسط روزانه، تغییرات سطح برف به کمک عملیات GIS برآورد شود. هر چند که حذف برف از یک نقطه تابع عوامل بسیاری مانند عمق برف، انرژی دریافتی، که خود تابع عواملی مانند میزان شیب، جهت شیب، زمان و... است، شرایط توپوگرافی و محیطی است، اما استفاده از پارامترهای دمایی با وجود سادگی در عمل جواب خوبی در مقایسه با واقعیت از خود نشان داد، حتی خطای کل برآورد شده در این روش بسیار کم و در حدود ۱۰ درصد به‌دست آمد. بنابراین با توجه به ابری بودن مناطق برفگیر در اکثر طول دوره برفی، استفاده از این روش به‌منظور تهیه تصاویر سطح پوشیده از برف یکی از کاربردهای موثر و مطمئن خواهد بود.

منابع مورد استفاده

۱. علوی پناه، س. ک. ۱۳۸۲. *کاربرد سنجش از دور در علوم زمین*. انتشارات دانشگاه تهران.

۲. مختاری، ا. ۱۳۸۲. بررسی امکان ارائه یک مدل پیش‌بینی کننده شرایط خشک‌سالی و پرآبی در حوضه آبخیز سد زاینده رود بر اساس سطح پوشش برف، رطوبت خاک و تاج پوشش گیاهی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای NOAA-AVHRR. سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، استان اصفهان.

3. Ackerman, S., B. Baum, R. Frey, C. Gumley, P. Menzel, C. Moeller, C. LSchaff, G.A. Riggs, L. Strabala and R. Welch. 1996. Discriminating Clear-Sky from cloud with MODIS. Algorithm Theoretical Basis Document (MOD35), Version 3.0.
4. Akyu, Z., A. Emre, A.S. Ensoyc, A.S. Ormanc and A.U. Orman. 2005. Using MODIS snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in The eastern part of Turkey. Remote Sens. Environ. 97:216 – 230.
5. Barnett, A.C. and A.G. Klein. 2003. Validation of daily MODIS snow cover maps of the Upper Rio Grande River Basin for the 2000-20001 snow year. Remote Sens. Environ. 86:162-176.
6. Blanco, A., S. Gerland, B. Ivanov, J.B. Ørbæk, N.R. Øritsland and J.G. Winther. 1998. Physical and Optical Properties of Snow Covering Arctic Tundra on Svalbard and Its Impact on Biota. International Conference on Snow Hydrology, US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory.
7. Brown, R.D., B. Duchiron, C.R. Duguary, C. Kergomard, F.C. Pivot. 2002. Remote Sensing of Snow Cover for Climate Monitoring in the Canadian Subarctic: A Comparison Between SMMR–SSM/I and NOAA–AVHRR Sensors. 59th EASTERN SNOW CONFERENCE, Stowe, Vermont USA 2002.
8. Dozier, J. 2000. Remote Sensing of Alpine Snow Cover Invisible and Near-Infrared Wavelenghs. NASA Goddard Space Flight Center, USA.
9. Engman, E.T. and R.J. Gurney. 1991. Remote Sensing in Hydrology. Chapman and Hall, Cambridge, London.
10. Fontana, G.D. and F. Gazorzi. 1996. Snowmelt modeling by combining air temperature and a distributed radiation index. J. Hydrol. 181:169-187.
11. Gerry Jones, H.G. 1998. The Role of Snow in the Ecology of Seasonally Snow-Covered Ecosystems: A Review. International Conference on Snow Hydrology. *In*: Hardy, J., M. Albert and P. Marsh, (Eds.), US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory.
12. Goodinson, B.E., A. Rango and A.E. Walker. 2000. Snow and Ice. Remote Sensing in Hydrology and Water Management. Springer Pub., Berlin.
13. Gray, D.M. and L. Zhaoi. 1998. Estimating Snowmelt Infiltration into Frozen Soils. International Conference on

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.44.25.5]

Snow Hydrology, US Army Corps of Engineers, Cold Regions Research & Engineering Laboratory.
14. Hall, D.K., A.G. Klein, and G.A. Riggs. 1997. Improving the MODIS Global Snow-Mapping Algorithm. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings (IGARSS'97), PP.619-621.
15. Hall, D.K., A.G. Klein and G.A. Riggs. 1998. Global Snow Cover Monitoring Using MODIS. 27th International Symposium on Remote Sensing of Environment, pp. 363-366.
16. Horne, F.E., M.L. Kawas. 1997. Physics of the spatially averaged snowmelt process. J. Hydrol. 191:179-207.
17. Klein, A.G., S. Lee and T.M. Over. 2001. A Comparison of MODIS and NOHRSC snowcover products for simulating streamflow using the Snowmelt Runoff Model. http://www.modis-snowice.gsfc.nasa.gov
18. Larney, F. and L.J. Timmerman. 2001.An Introduction to Wind Erosion Control. Alberta Government, Alberta.
19. Lillesand, T. M. 2002. Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley & Sons Pub., Dehli, India.
20. Marsh, P. and M.k. Woo. 1985. Meltwater movement in natural heterogeneous snow covers. Water Resour. 21:1710-1716.
21. Schaneebeli, M. 2002. The Importance of Microstructure of snow in nature and Engineering. Southampton, Ashurst Lodge.
22. Zhang, Y. 2003. Modis and Snow-cover Map. http://www.climate.eas.gatech.edu/yzhang/MODIS_snow.pdf.

[Downloaded from jcpp.iut.ac.ir on 2026-11-14]

[DOR: 20.1001.1.22518517.1387.12.44.25.5]