



مجله

و

GIS ایران



سال سوم، شماره اول، بهار ۱۳۹۰
Vol.3, No.1, Spring 2011

سنجش از دور و GIS ایران
Iranian Remote Sensing & GIS

۷۱-۹۰

جداسازی ابر از برف در تصاویر MODIS، با استفاده از الگوریتم Snow Map و الگوریتم ماسک ابر

سمیه طالبی اسفندارانی*^۱، سید کاظم علوی پناه^۲، عباس علیمحمدی سراب^۳، حسن روستا^۴

۱. کارشناس ارشد سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۲. استاد گروه سنجش از دور و GIS، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۳. استادیار گروه نقشه برداری و ژئوماتیک، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی

۴. کارشناس ارشد سنجش از دور، دانشکده فنی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۹/۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۲/۱۶

چکیده

پوشش برف حدود ۵۰ میلیون کیلومتر مربع از سطح نیم کره شمالی را تشکیل می‌دهد و بنابراین به خاطر آلودگی بالا و رسانش گرمایی پایین تأثیر عمده‌ای در بیلان انرژی زمین دارد. همچنین قسمت اعظم ذخایر آبی مورد استفاده انسان از پوشش برف، به‌ویژه در مناطق کوهستانی جهان، تأمین می‌شود. از جمله محدودیت‌های نقشه‌های برفی که از باندهای مرئی و مادون قرمز حرارتی استفاده می‌کند تاریکی ابر است و شناسایی ابرها به دو دلیل لازم است: یکی برای نشان دادن مناطقی که ابر سطح‌شان را می‌پوشاند، و دیگری به منظور جلوگیری از خطاهایی که به دلیل شناسایی نادرست ابر به عنوان برف به وجود می‌آید. در این مطالعه تصاویر سنجنده MODIS به دلیل قدرت تفکیک مکانی مناسب در برف‌سنجی، بازنگری زمانی سریع و تعداد زیاد باندهای طیفی مورد استفاده قرار گرفت. منطقه مورد مطالعه محدوده البرز مرکزی و دارای چندین ایستگاه برف‌سنجی است. با بررسی الگوریتم‌های مختلف تعیین سطح برف، سرانجام الگوریتم Snow Map بر تصاویر اعمال شد. با توجه به اینکه محدودیت اصلی در الگوریتم Snow Map، عدم توانایی آن در جداسازی برخی ابرهاست، برای رفع این مشکل الگوریتم ماسک ابر لیبرال بر تصاویر اعمال شد و نتایج آن با تصاویر حاصل از اعمال الگوریتم Snow Map بدون ماسک ابر لیبرال با استناد بر داده‌های ایستگاه‌های برف‌سنجی و کمک پارامتر ارتفاع مقایسه گردید. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم Snow Map توانایی جداسازی ابرهای ارتفاع بالا و ابرهای دارای ذرات یخ را ندارد و آنها را به عنوان برف طبقه‌بندی می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهد زمانی که ماسک ابر لیبرال استفاده شود، دقت الگوریتم Snow Map در مقایسه با زمانی که ماسک ابر جدید استفاده نمی‌شود ۱۰ درصد افزایش می‌یابد و از طبقه‌بندی برخی ابرها در کلاس برف جلوگیری می‌کند.

کلیدواژه‌ها: برف، MODIS، نقشه برف، ماسک ابر.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، کیلومتر ۱۰ جاده مخصوص کرج، خیابان شهید عاشری، خیابان شهید شفیعی، مرکز تحقیقات کم‌آبی و خشکسالی در کشاورزی و منابع طبیعی،

تلفن: ۴۴۹۰۱۸۰۱

Email: so.talebi@gmail.com

۱- مقدمه

پوشش برفی‌اند؛ چرا که بازتابش زیاد برف تباین خوبی با بیشتر سطوح طبیعی (به غیر از ابرها) ایجاد می‌کند. بنابراین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌سازی در محیط GIS¹ می‌توان به تهیه نقشه‌های پوشش برفی، ارزیابی تغییرات سطح پوشش برف با سری‌های زمانی مختلف، شناسایی برف از سایر عوارض، و مدل‌سازی آن در سطح حوضه پرداخت. این امر فرایند تصمیم‌گیری را برای مهندسان و مدیران هیدرولوژی آسان می‌سازد. هدف این تحقیق به‌دست آوردن سطح پوشیده از برف به‌وسیله داده‌های ماهواره‌ای است. یکی از مسائلی که در برف‌سنجی ماهواره‌ای اهمیت می‌یابد، انتخاب نوع سنجده است. برخی از سنجنده‌های نوری که تا کنون در برف‌سنجی استفاده شده‌اند، عبارت‌اند از سنجنده‌های مستقر بر ماهواره‌های هواشناسی TIROS-1² (1960)، ESSA-3³، ماهواره‌های NOAA⁴ (1966)، لندسست (MSS)⁵ و (ETM)⁶ (1998) و سنجنده MODIS⁷ (2000). هر سنجنده دارای ویژگی‌های منحصر به‌فردی است و باید از میان آنها سنجنده‌ای انتخاب شود که قدرت تفکیک طیفی و زمانی و مکانی مناسب را برای برف‌سنجی داشته باشد. با توجه به اینکه برف پدیده‌ای است که تغییرات سطح آن با گذشت زمان جدی است، می‌بایست سنجنده‌ای انتخاب شود که قدرت تفکیک زمانی مناسبی داشته باشد. از آنجا که برف‌سنجی در سطوح وسیع صورت می‌گیرد و سطح برف اصولاً یکنواخت است، استفاده از قدرت تفکیک مکانی سنجنده MODIS مناسب و بصره است. از لحاظ قدرت تفکیک طیفی یکی از بهترین سنجنده‌های نوری برای مطالعه برف و جداسازی برف از پدیده‌هایی مانند ابر - که از لحاظ

ذخایر برفی در حوضه‌های کوهستانی از منابع آبی پراهمیت و قابل اطمینان کشورند، که شناخت دقیق کمیت این منابع به لحاظ ارزش روزافزون آب شیرین و نیز به واسطه بهره‌برداری از منابع آب ضروری است. طبق بررسی‌های به‌عمل آمده حدود ۶۰ درصد آب‌های سطحی و ۵۷ درصد آب‌های زیرزمینی کشور در مناطق برف‌گیر جریان دارند (رایگانی، ۱۳۸۴). آب حاصل از ذوب برف، می‌تواند رطوبت خاک و ذخیره آب زیرزمینی و منابع آب دریاچه‌ها و رودخانه‌ها را تأمین کند. با توجه به اینکه پوشش برف از مهم‌ترین منابع تأمین‌کننده آب است، پیش‌بینی دقیق و زمان‌بندی رواناب برف برای مدیریت کارآمد و تصمیم‌گیری در مورد توزیع آب، لازم و ضروری است. در صورتی که رواناب برفی محاسبه گردد و ذخیره آبی توده برفی به‌وسیله محاسبه سطح برف‌گیر به‌دست آید، با برنامه‌ریزی صحیح می‌توان از این رواناب‌ها بهره‌جست. بنابراین برای مدیریت منابع آبی در مناطق خشک پایش مداوم این منابع به منظور برنامه‌ریزی در مصرف آب جزو الزامات و ضروریات به شمار می‌آید.

فناوری سنجش از دور دارای کاربردهای فراوانی در مطالعات مختلف محیطی و منابع زمینی - از جمله در زمینه یخ و برف - است. وسعت این کاربردها به‌دلیل مزایای فراوان و منحصر به‌فرد از قبیل تصاویر هم‌زمان در چند طول‌موج مختلف، تکرار تصاویر، پوشش وسیع، امکان استفاده از رایانه و دیگر سخت‌افزارهای ویژه برای تعبیر و تفسیر اطلاعات و دارا بودن سیستم جمع‌آوری اطلاعات با بررسی و مطالعه سریع در زمان کوتاه برای منطقه و سیستم مشخصی است. بنابراین فناوری سنجش از دور با آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی پیوسته و با دقت بالاتر و هزینه کمتر می‌تواند خلأ آمارهای هیدرولوژیکی برف را پر کند. البته استفاده از داده‌های زمینی در کنار داده‌های ماهواره‌ای می‌تواند کارایی داده‌های ماهواره‌ای را در زمینه برف‌سنجی افزایش دهد. ماهواره‌ها ابزارهای مناسبی برای اندازه‌گیری

1. Geographic Information System
2. Television & Infra Red Observation Stallite
3. Environmental Science Service Administration
4. National Oceanic & Atmospheric Administration
5. Multispectral Scanner
6. Enhanced Thematic Mapper
7. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

می‌پذیرند و خطای اصلی در هر دوی آنها وجود ابر است. آنان همچنین اشاره می‌کنند که نقشه‌های تهیه‌شده MODIS دقت بهتری در مقایسه با نقشه‌های بالا دارند. Barnett و Killen (2003) برای آبیگر دیوگراند مطالعات پوشش برف MODIS را طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۱ انجام دادند و نتایج آنها را با روش‌های اندازه‌گیری زمینی یا SNOTEL^۱ و مدل‌های گسترش برف یا NOHRSC مورد مقایسه قرار دادند. سپس اشاره کردند که روش NOHRSC با پوشش برفی تهیه‌شده به وسیله MODIS ۸۶ درصد تطابق داشته‌اند؛ ولی MODIS دقت بیشتری داشته و به واقعیت نزدیک‌تر بوده است. همچنین MODIS، ۹۴ درصد و NOHRSC، درصد با روش SNOTEL تطابق داشته‌اند. به‌طور کلی، متوسط دقت نقشه پوشش برفی MODIS در شرایط غیرابری ۸۸ درصد بوده و ۱۲ درصد خطا نشان داده است. در نهایت این نتیجه به دست آمده است که بیشترین خطای مربوط به نقشه‌های تهیه‌شده از طریق MODIS در ابتدا و انتهای دوباره بارش برف است و در هنگامی که سطح تماماً پوشیده از برف است و فاقد سطوح مخلوط (ابر)، تطابق با واقعیت و برداشت زمینی یا SNOTEL بسیار بالاست. با توجه به تحقیقات انجام‌شده، می‌توان گفت که استفاده از سنجنده MODIS و شاخص NDSI در تهیه نقشه برف مناسب است؛ اما مشکل وجود ابر در تصاویر و طبقه‌بندی آن در کلاس برف، از موانع مهم در این راه به‌شمار می‌آید.

محصول MOD35 یا سنجنده MODIS، از الگوریتم‌هایی است که برای تشخیص ابر به کار می‌رود. این الگوریتم که برای سنجنده MODIS طراحی شده است، در طی زمان به الگوریتم ماسک ابر محافظه‌کار

رفتار طیفی مشابه برف‌اند - سنجنده MODIS است. از جمله هدف‌های طراحی سنجنده MODIS، تعیین انواع ابرها به صورت جهانی است. به همین خاطر باندهای متعددی برای آن در نظر گرفته شده است که برای تعیین انواع پوشش ابرها، ضخامت نوری، اندازه شعاع ذره مؤثر، و فاز حرارتی کاربرد دارد (King et al., 2004; ATDB 1997).

تا کنون از روش‌های مختلفی برای برآورد سطح برف استفاده شده است. برخی از روش‌های به‌کار رفته به‌منظور تهیه نقشه پوشش برف عبارت‌اند از: روش‌های طبقه‌بندی، ترکیب خطی، استفاده از حد آستانه‌ها، روش‌های تصمیم‌مبنا و نظایر اینها.

در تحقیقی که Lanedsa و Ranko (2000) در آزمایشگاه USDA-ARS مرلند آمریکا بر روی منابع آب حاصل از ذوب برف در حوضه پیرینه اسپانیا و با به‌کارگیری داده‌های دورسنجی نوا انجام دادند، نقشه پوشش برف این حوضه با استفاده از ترکیب خطی باندهای یک (۰/۶۳ میکرومتر) و دو (۰/۹۱۲ میکرومتر) تهیه شد. از اشکالات و محدودیت‌های این روش، ناکارایی آن در تصاویر با پوشش ابر است که از ابتدا با فرض فقدان ابر در صحنه، حداکثر بازتابندگی به پیکسل‌های خالص برف تعلق می‌گیرد. این موضوع امکان اختلاط برف با ابر را افزایش می‌دهد. Lee و Klein و Over (2001) نقشه‌های برف حاصل از MODIS را - که در آن شاخص NDSI^۱ استفاده می‌شد - با نقشه‌های تهیه‌شده به وسیله مرکز سنجش

از دور هیدرولوژیکی ملی آمریکا^۲ که از طریق تصاویر NOAA و GOES به صورت خودکار تهیه می‌شوند، با نام اختصاری NOHRSC، در بالادست آبیگر ریوگراند^۳ مورد مقایسه قرار دادند. در مرکز NOHRSC الگوریتم teta به‌کار برده می‌شود. در این الگوریتم، تفاضل دو تصویر طبقه‌بندی، برای تعیین پوشش برف به کار می‌رود. در الگوریتم teta برای هر تصویر باید دو حد آستانه جداگانه معرفی شود. آنها به این نتیجه دست یافتند که هر دوی این نقشه‌ها از شرایط ابری تأثیر

1. Normalized Difference Snow Index
2. National Operational Hydrologic Remote Sensing Center
3. Rio Grande
4. Snowpack Telemetry

۶۴ زیرحوضه است. کمترین ارتفاع در حوضه ۴۸ متر و بیشترین ارتفاع ۵۶۷۱ متر و متوسط ارتفاع ۱۸۷۰ متر است. همچنین کمینه و بیشینه و شیب متوسط منطقه به ترتیب ۵ درصد و ۲۵/۴ درصد و ۲۳/۵۶ درصد است. جهت شیب غالب در منطقه شمالی و جنوب است. از نظر اقلیم نیز منطقه به سه دسته معتدل شمالی، اقلیم سرد و کوهستانی مرکزی و اقلیم نیمه بیابانی در جنوب طبقه‌بندی می‌گردد. از منظر زمین‌شناسی نیز ساختارهای زمین‌شناختی البرز عمدتاً از نوع چین‌های ملایم و ناهماهنگ با روند همگانی شرقی - غربی است. در بخش غربی البرز ساختارها روند شمال غربی - جنوب شرقی دارند، ولی در بخش شرقی روند ساختارها شمال شرقی - جنوب غربی است. این دو روند ناهم‌سان در البرز مرکزی به هم می‌رسند.

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

۲-۲-۱- داده‌های سنجنده MODIS ماهواره

TERRA

سنجنده MODIS دارای تعداد زیادی باندهای طیفی انعکاسی و حرارتی با پهناهای باریک، قدرت تفکیک رادیومتری بالا، عرض نوار و زمان برداشت مجدد مناسب، کالیبراسیون در حین پرواز بسیار قوی و دقیق و قدرت تفکیک‌های زمینی متنوع است (MODIS Homepage) (<http://modis.gsfc.nasa.gov/>) و در بسیاری موارد نیازهای برف‌سنجی ماهواره‌ای را هم تأمین می‌کند و به همین خاطر است که از داده‌های مذکور استفاده شده است. در این تحقیق تصاویر برگرفته از سازمان فضایی ایران و سایت WIST هستند (<https://wist.echo.nasa.gov/wist>). تصاویر استفاده‌شده نیز بر اساس جدول زمانی ۱ تهیه شده‌اند.

شهرت پیدا کرده که محافظه‌کاری خود را بر تعیین ابر قرار داده است. این الگوریتم ماسک ابر (MOD35) ۱۴ باند از ۳۶ باند سنجنده MODIS را برای ۱۸ آزمون طیفی و مکانی استفاده می‌کند. لازم به ذکر است که الگوریتم ماسک ابر علاوه بر حد آستانه‌ای بودن، تصمیم مبنا نیز هست؛ و با توجه به انواع سطوح زمین و مکان جغرافیایی و اطلاعات جانبی، مسیرهای متفاوتی را برای آنالیز انتخاب می‌کند و نتیجه را در محصولی به نام Cloud Mask جمع‌آوری می‌کند (Hall, Riggs, 2002). در سال 2002 Hall و Riggs کم بودن کارایی الگوریتم قدیم ماسک ابر را نشان دادند و استفاده از ماسک ابر جدیدتری (لیبرال) را پیشنهاد کردند. برای کم کردن تأثیر ابر بر پیکسل‌ها و بالا بردن قابلیت طبقه‌بندی برف به عنوان برفی که در زیر ابرهای بسیار نازک یا شفاف قرار گرفته است، چنین ماسک ابری لازم می‌نمود (Zhoa et al., 2005). به عبارت دیگر، برف‌هایی که در زیر ابرهای نازک و شفاف قرار گرفته‌اند، باید به عنوان برف طبقه‌بندی شوند و این با به کار بردن ماسک ابر لیبرال امکان‌پذیر است. علاوه بر جزئیات نتایج آزمون‌ها، نتیجه‌گیری کلی در مورد ابری یا غیر ابری بودن پیکسل نیز از این طریق صورت می‌گیرد. این نتایج در محصولی ۴۸ بیتی ذخیره می‌شوند (Strabala, 1999).

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

محدوده البرز مرکزی از طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۵ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲ دقیقه و مساحت تقریبی ۴۰۰۰۰ کیلومتر مربع را دربرمی‌گیرد و شامل

جدول ۱. جدول زمانی تصاویر تهیه‌شده از داده‌های سنجنده MODIS

سال	۱۳۸۴	۱۳۸۴	۱۳۸۴	۱۳۸۴	۱۳۸۴	۱۳۸۴
ماه	اسفند	اسفند	اسفند	اسفند	اسفند	اسفند
روز	۲	۶	۱۳	۱۷	۲۲	۲۴

جدول ۲. میزان خطای زمین مرجع در هر تصویر

ردیف	تاریخ تصویر	میزان خطای زمین مرجع (پیکسل)
۲	۲ اسفند ۱۳۸۴	۰/۴۵
۳	۶ اسفند ۱۳۸۴	۰/۲۳
۴	۱۳ اسفند ۱۳۸۴	۰/۲۰
۵	۱۷ اسفند ۱۳۸۴	۰/۱۹
۶	۲۲ اسفند ۱۳۸۴	۰/۱۴
۷	۲۴ اسفند ۱۳۸۴	۰/۳۶

۲-۲-۲- مدل رقومی ارتفاع

مدل رقومی ارتفاع (DEM^۲) که از اطلاعات شاتل SRTM^۳ به دست آمده برای تعیین نواحی ارتفاعی حوضه مورد استفاده قرار گرفت. سیستم تصویر این داده‌ها که به فرمت GeoTiff در دسترس بودند، لامبرت بوده است. برای تبدیل این سیستم به سیستم مختصات UTM، از نرم‌افزار PCI Geomatica استفاده شد. با استفاده از DEM منطقه داده‌های شیب و جهت استخراج گردیدند.

۲-۲-۳- داده ایستگاه‌های زمینی

داده ایستگاه‌های برف‌سنجی از محل سازمان آب بخش آب‌های سطحی برگرفته شدند. ایستگاه‌های برف‌سنجی البرز مرکزی در ۵ حوضه لتیان، لار، طالقان، کرج و گلپایگان قرار دارند. آمار ایستگاه‌ها نشان می‌دهد که زمان آماربرداری با زمان تصویربرداری در برخی موارد اختلاف دارد. برای حل این مشکل در تاریخ‌هایی که آمار زمینی در دسترس نبود، عمل درون‌یابی به‌وسیله آمار روزهای قبل و بعد از آن انجام گرفت تا بتوان به آمار تاریخ مورد نظر دست یافت. با توجه به اینکه فقط بودن یا نبودن برف برای بررسی نتایج کافی است، از آمار روزهای قبل و بعد از بارش برف استفاده شد. البته

تصاویر استفاده‌شده در این تحقیق داده‌های MOD09 و MOD02 سنجنده MODIS هستند. تصاویر MOD02 شامل ۳۶ باند سنجنده‌اند و تصاویر MOD09، ۶ باند انعکاسی تصاویر سنجنده MODIS را دربرمی‌گیرند. در تصاویر MOD09GA تصحیحات اتمسفریک بر اساس مدل 6SV^۱ انجام شده است و با توجه به اینکه مدل 6SV از بهترین مدل‌های تصحیحات اتمسفریک تصاویر ماهواره‌ای است، پردازش‌هایی که بر روی تصویر MOD09 اعمال می‌شوند نیز از این لحاظ کمترین میزان خطا را دارند و این موضوع برای محاسبه سطح برف و جداسازی ابراز برف بسیار اهمیت دارد (Vermote et al., 2006).

در تصاویر MOD09 تصحیحات به گونه‌ای اعمال شده‌اند که پخش و جذب اتمسفری کمترین مقدار باشد. البته تصاویر MOD09GA فقط باندهای انعکاسی را دربرمی‌گیرند و بر اساس این نکته که داده‌های دارای طول موج بلندتر کمتر تحت تأثیر ذرات معلق و آئروسول‌ها قرار می‌گیرند و پدیده پخش غیرانتخابی کمتر اتفاق می‌افتد، برای محاسبه دمای درخشندگی از باندهای حرارتی داده‌های MOD02 استفاده شده است. تصحیح هندسی تصاویر MODIS با استفاده از تصویر ترکیب رنگی کاذب به دست آمده از ماهواره لندست با قدرت تفکیک مانی ۳۰ متر انجام گرفته است. جدول ۲ میزان خطای زمین مرجع را برای هر تصویر MODIS نشان می‌دهد.

1. Second Simulation of the Sensor Signal with Solar Spectrum
2. Digital Elevation Model
3. Shuttle Radar Topography Mission

می‌شود، صاف و منظم است و در محلی است که وزش باد به کمترین میزان بوده است؛ تا بتوان بیشترین دقت را در اندازه‌گیری به دست آورد. قدرت تفکیک مکانی خروجی الگوریتم Snow Map و ماسک ابر یک کیلومتر است. در اطراف هر ایستگاه تا شعاع دو کیلومتر حریم در نظر گرفته شده و ۱۳-۹ پیکسل سطح برف در داخل حریم جای گرفته‌اند و بیشترین تکرار از هر پیکسل در هر زون بیانگر برفی یا غیربرفی بودن تصویر سطح برف است. در نهایت سطح برف به دست آمده از الگوریتم Snow Map با و بدون ماسک ابر لیبرال با داده‌های زمینی مقایسه می‌گردد.

عمل درون‌یابی در مورد ایستگاه‌هایی انجام گرفت که تاریخ نمونه‌برداری در آنها به تاریخ تصویر نزدیک بود و ایستگاه مورد نظر در طول دوره آماری (اسفند) پیوسته برف داشت. از بین ایستگاه‌هایی که در آنها نمونه‌برداری انجام شد، ۱۸ ایستگاه این شرایط را داشتند. لازم به ذکر است که برای بررسی بودن یا نبودن برف، از داده‌های عمق برف استفاده شد. ایستگاه‌های اندازه‌گیری در محل‌هایی انتخاب شده‌اند که تا حد امکان از عوارض انسانی مانند ساختمان‌های بلند به دور باشند و بتوان عمق برف را از سطح برف تا سطح زمین اندازه‌گیری کرد. سطحی که برف روی آن اندازه‌گیری

جدول ۳. آمار برف‌سنجی در حوزه لتیان

ردیف	حوزه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	تاریخ اندازه‌گیری	متوسط ارتفاع برف cm	ارتفاع آب چگالی برف cm	چگالی برف %
۱	لتیان	گرماپدر	۵۱-۳۹	۳۹-۵۹	۲۴۰۰	۱۳۸۴/۱۰/۱۳	۶۰/۵	۱۶/۳	۲۶/۹
						۱۳۸۴/۱۱/۰۳	۷۴/۳	۱۷/۳	۲۳/۳
						۱۳۸۴/۱۲/۰۹	۸۲/۸	۳۲	۳۸/۶
۲	لتیان	شمشک	۵۱-۳۰	۶۱-۰۶	۲۷۰۰	۱۳۸۴/۱۰/۱۸	۸۶	۲۳/۳	۲۷/۱
						۱۳۸۴/۱۱/۰۵	۹۴/۳	۳۳/۳	۳۵/۳
						۱۳۸۴/۱۲/۰۹	۷۰	۲۶/۷	۵۲/۴
۳	لتیان	امامه	۵۱-۳۶	۳۵-۵۴	۲۳۵۰	۱۳۸۴/۱۰/۱۴	۷۰	۳۶/۷	۲۷/۲
						۱۳۸۴/۱۱/۰۳	۸۸/۱	۲۴	۳۳/۸
						۱۳۸۴/۱۲/۰۸	۷۱	۲۴	۲۴/۱
۴	لتیان	آهار	۵۱-۳۵	۳۵-۰۰	۲۴۶۰	۱۳۸۴/۱۰/۱۸	۴۹/۸	۱۲	۲۷/۲
						۱۳۸۴/۱۱/۰۳	۱۷/۷	۱۹/۷	۳۳/۸
						۱۳۸۴/۱۲/۰۹	۷۶/۳	۲۶/۳	۳۴/۵
۵	لتیان	گنبد	۵۱-۳۸	۳۵-۵۲	۲۱۰۰	۱۳۸۴/۱۱/۰۴	۳۹/۲	۱۰/۲	۲۶/۰

جداسازی ابر از برف در تصاویر MODIS، با استفاده از الگوریتم Snow Map و الگوریتم ماسک ابر

جدول ۴. آمار برف‌سنجی در حوزه لار

ردیف حوزه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	تاریخ اندازه‌گیری	متوسط ارتفاع برف (سانتی متر)	ارتفاع آب معادل برف (سانتی متر)	چگالی برف (درصد)
					۱۳۸۴/۱۰/۰۹	۳۷/۷	۹/۳	۲۴/۷
۱	لار پلور	۵۲-۰۱	۳۵-۵۳	۲۵۵۰	۱۳۸۴/۱۱/۱۲	۹۵/۳	۲۸/۸	۳۰/۲
					۱۳۸۴/۱۲/۲۵	۳۳/۳	۱۶/۷	۵۰/۲
					۱۳۸۴/۱۰/۱۹	۵۹/۸	۱۸	۳۰/۱
۲	لار امامزاده هاشم	۵۲-۰۱	۳۵-۴۸	۲۵۰۰	۱۳۸۴/۱۱/۱۲	۱۱۴/۳	۳۳/۱	۲۹/۰
					۱۳۸۴/۱۲/۲۵	۷۵/۷	۲۷/۲	۲۵/۹
					۱۳۸۴/۱۰/۱۱	۰	۰	۰/۰
۳	لار برغان	۵۰-۵۶	۳۵-۵۶	۱۶۹۶	۱۳۸۴/۱۱/۱۰	۲۹	۷/۲	۲۴/۸
					۱۳۸۴/۱۰/۱۱	۰	۰	۰/۰
۴	لار سرهه	۵۰-۵۹	۳۶-۰۰	۲۶۵۰	۱۳۸۴/۱۱/۰۳	۲/۷	۶/۵	۲۴/۱
					۱۳۸۴/۱۲/۱۷	۰	۰	۰/۰
					۱۳۸۴/۱۰/۱۴	۰	۰	۰/۰
۵	لار اغتشت	۵۰-۵۲	۳۵-۵۹	۱۹۲۰	۱۳۸۴/۱۱/۰۵	۳۴/۳	۱۰/۳	۳۰/۰
					۱۳۸۴/۱۲/۱۷	۰	۰	۰/۰

جدول ۵. آمار برف‌سنجی در حوزه کرج

ردیف حوزه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	تاریخ اندازه‌گیری	متوسط ارتفاع برف (سانتی متر)	ارتفاع آب معادل برف (سانتی متر)	چگالی برف (درصد)
					۱۳۸۴/۱۰/۲۷	۶۵/۵	۱۹	۲۹/۰
۱	کرج قصر	۵۱-۲۲	۳۵-۵۶	۳۳۲۰	۱۳۸۴/۱۱/۲۴	۷۴	۲۳/۷	۳۲/۰
					۱۳۸۴/۱۲/۲۲	۲۳/۳	۱۰	۴۲/۹
					۱۳۸۴/۱۰/۲۷	۹۳/۷	۲۶	۲۷/۷
۲	کرج یورد مغانی (دیزین)	۵۱-۲۴	۳۶-۰۲	۲۹۹۰	۱۳۸۴/۱۱/۲۴	۱۱۳/۵	۳۵/۵	۳۱/۳
					۱۳۸۴/۱۲/۲۴	۸۰	۲۹/۹	۳۷/۴
					۱۳۸۴/۱۰/۲۶	۶۹/۱	۲۰/۳	۲۹/۴
۳	کرج دوخانی	۵۱-۲۰	۳۶-۰۳	۳۴۲۵	۱۳۸۴/۱۱/۲۴	۷۷/۷	۲۳/۳	۳۰/۰
					۱۳۸۴/۱۲/۲۳	۳۲/۸	۱۵/۳	۴۶/۶
					۱۳۸۴/۱۰/۲۹	۵۷/۹	۱۵/۷	۲۷/۱
۴	کرج هالی چای	۵۱-۱۷	۳۶-۰۶	۲۷۰۰	۱۳۸۴/۱۱/۲۴	۶۶/۳	۲۲	۳۳/۲
					۱۳۸۴/۱۲/۲۳	۲۳/۷	۹/۷	۴۰/۹
					۱۳۸۴/۱۰/۲۶	۵۷	۱۴/۸	۲۶/۰
۵	کرج چوپک	۵۱-۰۷	۳۶-۰۶	۲۱۰۵	۱۳۸۴/۱۱/۲۴	۶۵/۴	۱۹/۴	۲۹/۷
					۱۳۸۴/۱۲/۲۴	۰	۰	۰/۰

سمیه طالبی اسفندارانی و همکاران

جدول ۶. آمار برف‌سنجی در حوزه طالقان

ردیف	حوزه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	تاریخ اندازه‌گیری	متوسط ارتفاع برف (سانتی‌متر)	آب معادل برف (سانتی‌متر)	چگالی برف (درصد)
						۱۳۸۴/۱۰/۱۳	.	.	۰/۰
۱	طالقان	زیدشت	۵۰-۴۱	۳۶-۱۰	۱۷۰۰	۱۳۸۴/۱۱/۱۲	۲۷/۷	۶/۳	۲۲/۷
						۱۳۸۴/۱۲/۱۶	.	.	۰/۰
						۱۳۸۴/۱۰/۱۳	.	.	۰/۰
						۱۳۸۴/۱۱/۱۲	۲۲/۷	۴/۸	۲۱/۱
۲	طالقان	میناوند (کلینک)	۵۰-۳۵	۳۶-۱۰	۲۱۰۰	۱۳۸۴/۱۲/۱۶	.	.	۰/۰
						۱۳۸۴/۱۱/۱۲	۲۰	۳/۸	۱۹/۰
						۱۳۶۴/۱۲/۱۶	.	.	۰/۰
						۱۳۸۴/۱۰/۱۲	.	.	۰/۰
۴	طالقان	جوستان (الیزان)	۵۰-۵۳	۳۶-۱۱	۱۸۹۰	۱۳۸۴/۱۱/۰۴	۳۲	۸/۲	۲۵/۶
						۱۳۸۴/۱۲/۱۶	.	.	۰/۰
						۱۳۸۴/۱۰/۱۲	.	.	۰/۰
۵	طالقان	دوک پل	۵۰-۵۴	۳۶-۱۰	۱۸۱۰	۱۳۸۴/۱۱/۰۴	۳۵/۳	۸/۲	۲۳/۲
						۱۳۸۴/۱۲/۱۶	.	.	۰/۰
						۱۳۸۴/۱۰/۱۲	۳۸/۹	۱۱	۲۸/۳
۶	طالقان	خجیره	۵۰-۵۷	۳۶-۰۷	۲۴۰۰	۱۳۸۴/۱۱/۰۴	۸۲	۲۰/۸	۲۵/۴
						۱۳۸۴/۱۲/۱۶	۸۳	۲۲/۷	۲۷/۳

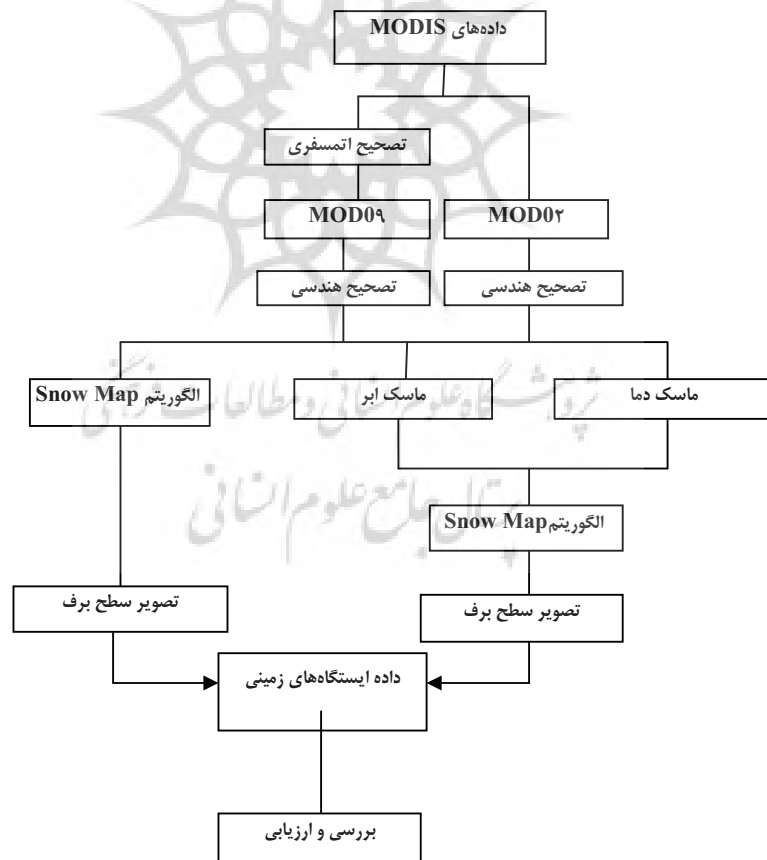
جدول ۷. آمار برف‌سنجی در حوزه گلپایگان

ردیف	حوزه	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	تاریخ اندازه‌گیری	متوسط ارتفاع برف (سانتی‌متر)	ارتفاع آب معادل برف (سانتی‌متر)	چگالی برف (درصد)
۱	گلپایگان	سراب هنده	۵۰-۵۱	۳۳-۲۳	۲۱۰۰	۱۳۸۴/۱۱/۰۳	.	.	۰/۰
۲	گلپایگان	اختخوان	۵۰-۰۵	۳۳-۲۵	۲۱۰۰	۱۳۸۴/۱۰/۰۶	۱۶/۲	۲/۵	۱۵/۴
						۱۳۸۴/۱۱/۰۳	.	.	۰/۰
						۱۳۸۴/۱۰/۰۶	۲۴/۲	۴/۵	۱۸/۶
						۱۳۸۴/۱۱/۰۳	۳۴/۲	۸/۲	۲۴/۰
۳	گلپایگان	دره ساری	۴۹-۵۸	۱۴.۳۳	۲۳۰۰	۱۳۸۴/۱۱/۳۰	۵۲/۷	۲۳/۲	۴۴/۰
						۱۳۸۴/۱۲/۱۵	۳۷	۱۵/۷	۴۲/۴

جداسازی ابر از برف در تصاویر MODIS، با استفاده از الگوریتم Snow Map و الگوریتم ماسک ابر



شکل ۱. موقعیت ایستگاه‌های برف‌سنجی در البرز مرکزی



شکل ۲. شکل جریان روش تحقیق

Hall,) NDSI بر اساس این رابطه تعریف می‌شود (Hall, 1995):

رابطه (۱)

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

الگوریتم Snow Map شامل این آستانه‌گذاری‌هاست که در آن باند ۴ و باند ۶ بازتابندگی در باندهای ۴ و ۶ سنجنده MODIS است (Hall, 1995).

رابطه (۲) اگر $NDSI \geq 0.4$ (۱)

رابطه (۳) و $MODIS\ band2 > 0.11$ (۲)

رابطه (۴) و $MODIS\ band4 \geq 0.4$ (۳)

در نمایه NDSI، برای تشخیص برف و یخ و همچنین برای جداسازی برف / یخ از بیشتر ابرهای انباشته استفاده می‌شود. این نمایه در واقع معیاری برای مقدار نسبی خواص تفاضلی است که از بازتابندگی بین باندهای مرئی و مادون قرمز طول موج کوتاه برف انجام می‌پذیرد. برف خالص دارای NDSI بالاست، ولی با مخلوط شدن آن با دیگر مواد (نظیر خاک، دود و جز اینها) از میزان آن کاسته می‌شود. معیار حد آستانه باند ۴ سنجنده MODIS برای جلوگیری از برف تشخیص داده شدن پیکسل‌های دارای بازتابش بسیار کم در طول موج مرئی - مثلاً درختان سرو تیره - است. آب و ابر نیز به‌وسیله حد آستانه ۱۱ درصد برای باند ۲ سنجنده MODIS تفکیک‌پذیر است. در نهایت، همان‌گونه که ذکر شد، نقش اصلی تعیین برف بر عهده NDSI است (Hall et al., 1998). الگوریتم Snow Map به‌رغم مزایای متعددی که دارد با محدودیت‌هایی نیز همراه است. یکی از محدودیت‌ها که ریشه در رفتار مشابه ابر با برف دارد، این است که پوشش برف همواره از ابر تفکیک‌پذیر نیست و برخی از ابرها رفتاری کاملاً مشابه برف از خود بروز می‌دهند. این الگوریتم به طور کامل توان تشخیص تمام ابرها از برف را ندارد. (البته این مشکل با به‌کار گرفتن الگوریتم Cloud Mask تا حدود زیادی برطرف‌شدنی است). نکته دیگر در مورد این الگوریتم، در زمین‌های ساحلی مرطوب است، که از لحاظ سفیدی و روشنی مشابه پوشش برف عمل

شکل ۱. نحوه پراکنش ایستگاه‌های برف‌سنجی در ۵ حوضه در منطقه البرز مرکزی را نشان می‌دهد.

۲-۳- روش تحقیق

در شکل ۲ مراحل انجام تحقیق در قالب چارت آورده شده است.

۲-۳-۱- الگوریتم Snow Map

الگوریتم نقشه برف MODIS معروف به الگوریتم Snow Map الگوریتمی از نوع تصمیم‌مبنا، با استفاده از آزمون‌های گروهی حد آستانه‌ای است که در سال ۱۹۹۸ ارائه شده است و برای شناسایی برف در تصاویر استفاده می‌شود. این الگوریتم از لحاظ محاسباتی دارای حجم بسیار کم است و از لحاظ مفهومی کاملاً ساده است و از این رو درک این مطلب که محصول چگونه تولید شده است. برای کاربر آسان است و از طرفی هم این الگوریتم کارایی مناسبی دارد و در سطح جهانی از آن استفاده می‌شود (Hall et al., 1998).

به‌طور کلی خصوصیات این الگوریتم عبارت‌اند از:

۱- دقت این روش برای انواع مختلف سطوح پوشیده از برف در مقایسه با دیگر روش‌های تعیین سطح برف مانند طبقه‌بندی نظارت‌شده و طبقه‌بندی نظارت‌نشده و روش‌های Sup Pixel بالاتر است؛ البته در صورتی که از داده‌های تصحیح اتمسفری شده استفاده گردد» (Dadashi, 2008).

۲- این روش الگوریتمی کاملاً اتوماتیک است.

۳- این الگوریتم قابل استفاده برای تمام مناطق است و در سطح جهانی اجراشدنی است.

۴- این روش ساده و گویاست؛ و بنابراین تفهیم آن برای کاربران راحت است.

در الگوریتم Snow Map از شاخص تفاضلی نرمال‌شده (NDSI) استفاده می‌شود. به دلیل انعکاس پایین برف در باندهای مادون قرمز و انعکاس بالا در باندهای مرئی، این شاخص می‌تواند در تشخیص پوشش برف از دیگر پدیده‌ها بسیار مفید باشد. شاخص

بنابراین شناسایی ابر در تصاویر بسیار مهم و ضروری است. برای جداسازی محدوده ابر در تصاویر از الگوریتم ماسک ابر استفاده می‌شود. الگوریتم ماسک ابر MOD35 را اکرمین و همکاران، در سال ۱۹۹۸ ارائه کردند. الگوریتم MOD35 بر اساس مقدار گرفتگی سطح زمین بر اثر وجود ابر یا ذرات گرد و غبار این الگوریتم مناطق آب و خشکی و اتمسفر را تشخیص می‌دهد و آنها را بازیابی می‌کند (Strabala, 2003). در این فرایند بر اساس نوع زمین و موقعیت جغرافیایی و ورود داده‌های کمکی الگوریتم ماسک ابر ۱۴ باند از ۳۶ باند سنجنده MODIS را برای ۱۸ آزمون طیفی و مکانی استفاده می‌کند (Riggs & Hall, 2002). در سال ۲۰۰۲، Riggs و Hall کم بودن کارایی الگوریتم قدیم ماسک ابر را نشان دادند و استفاده از ماسک ابر جدیدتری (لیبرال) را پیشنهاد کردند (Hall & Riggs, 2002). برای کم کردن تأثیر ابر بر پیکسل‌ها و بالا بردن قابلیت طبقه‌بندی برف به عنوان برفی که در زیر ابرهای بسیار نازک یا شفاف قرار گرفته، چنین ماسک ابری لازم بود (Zhou et al., 2005). این الگوریتم توان تحلیل پیکسل‌های سطح زیرین ابرهای نازک و شفاف را دارد. از دیگر کاربردهای این الگوریتم آن است که تعیین می‌کند آیا محدوده مورد نظر تاریک است یا نه؛ و زمانی که محدوده مورد نظر تاریک باشد، الگوریتم نقشه برفی به کار برده نمی‌شود. محدوده مورد نظر زمانی به صورت تاریک معرفی می‌گردد که زاویه اوج خورشیدی ثبت شده در محصول ماسک ابر بیشتر از ۸۵ درجه باشد. این الگوریتم به نام الگوریتم ماسک ابر لیبرال شهرت دارد. در واقع الگوریتم ماسک ابر لیبرال به صورت زیرمجموعه‌ای از آزمون‌های طیفی الگوریتم قدیم ماسک ابر (MOD35) را استفاده می‌کند. قبل از انجام الگوریتم Snow Map به عنوان یکی از مراحل پیش‌پردازش، ماسک ابر لیبرال در تصاویر اعمال می‌شود. با توجه به مشابهت‌های طیفی ابر و برف اعمال یک ماسک روی تصاویر بسیار لازم و ضروری به نظر می‌رسد. این ماسک بدین صورت عمل می‌کند که یک

می‌کنند. آنچه که می‌تواند برف را از این اراضی جدا کند، دمای آنهاست و از این بابت لازم است. علاوه بر باندهای انعکاسی ۵۰۰ متر از باندهای حرارتی ۱۰۰۰ متری نیز استفاده شود و در نتیجه توان تفکیک ۵۰۰ متری الگوریتم را کاهش می‌دهد. «با به کارگیری باندهای ۳۱ و ۳۲ می‌توان برف را از زمین‌های مرطوب ساحلی تفکیک کرد. با توجه به اینکه ماسک ابر و ماسک دما قبل از انجام الگوریتم Snow Map بر روی تصاویر اعمال شده‌اند، لذا مقداری از منابع خطا در الگوریتم Snow Map از بین رفته است.»

شرایط لازم برای پیکسل‌های تصویر به منظور اعمال الگوریتم Snow Map این گونه است:

پیکسل‌ها باید دارای بازتابش سطح Level 1B باشند (داده‌های سطح Level 1B، عملیات زمین‌مرجع و الگوریتم‌های تصحیحات رادیومتریک در مورد آنها انجام شده است)؛ و نیز باید بر روی خشکی یا بر روی آب‌های محصور در خشکی باشند، در روشنایی روز تصویربرداری شده باشند (تصاویر روزانه باشد)، با ابر پوشیده نشده باشند (اعمال الگوریتم ماسک ابر) و دمای تقریبی پیکسل‌ها کمتر از ۲۸۳ درجه کلوین باشد (اعمال ماسک دما).

۲-۳-۲- جداسازی ابر

در برف‌سنجی با تصاویر ماهواره‌ای، وجود ابر در تصاویر از این لحاظ نامناسب است که: ابرها اطلاعات سطح زیرین‌شان را پنهان می‌کنند؛ و دوم اینکه ابر موجب ایجاد سایه بر روی منطقه می‌شود و بازتابندگی را تغییر می‌دهد؛ و از طرفی هم در صورتی که ابرها از تصویر جدا نشوند، به عنوان برف طبقه‌بندی می‌گردند و دقت نقشه برفی را پایین می‌آورند.

ابرها و برف معمولاً در محدوده مرئی و مادون قرمز نزدیک دارای خصوصیات انعکاس طیفی مشابه‌اند و خصوصیات دمایی به تنهایی قادر به تفکیک آنها از یکدیگر نیست؛ چون ابرها ممکن است گرم‌تر یا سردتر از سطح برف باشند (Singh and Singh, 2001).

در این تحقیق با توجه به اینکه منطقه برفی مورد نظر ما در روی خشکی قرار دارد و بالطبع جداسازی برف از ابر بر روی خشکی دارای اهمیت جدی است و نیز با توجه به اینکه کلیه تصاویر برگرفته از سنجنده MODIS گذر مربوط به روز هستند، در الگوریتم ماسک ابر لیبرال حد آستانه‌های مربوط به خشکی در زمان روز بر روی تصاویر اعمال شد. ضمناً پیکره‌های آبی قبل از انجام پردازش‌ها از روی تصویر حذف شدند. در شکل ۳ اعمال انجام‌شده در قالب الگوریتم ماسک ابر لیبرال ارائه گردیده‌اند.

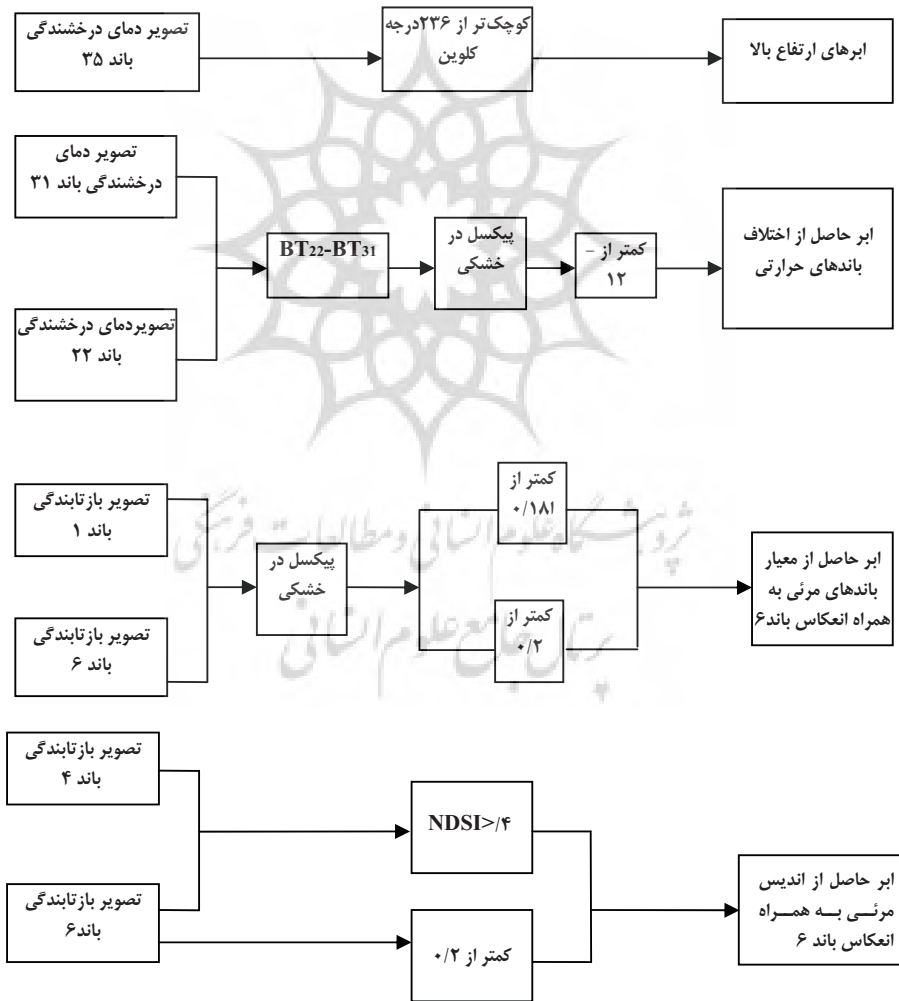
پیکسل ابری است، در صورتی که فقط یکی از این شرایط موجود باشد:

- معیار ابرهای ارتفاع بالا پیکسل را ابری نشان دهد.

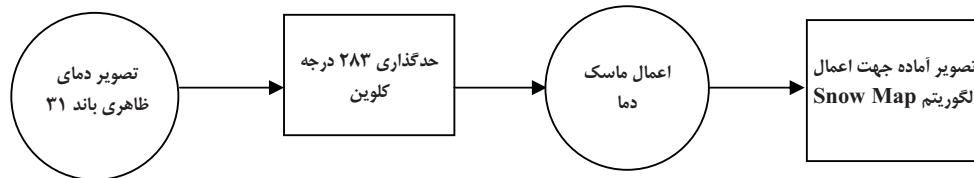
- معیار اختلاف حرارتی حاکی از وجود ابر باشد.

- معیار بازتابندگی باند مرئی در حالی وجود ابر را در پیکسل نشان دهد که بازتابندگی باند ۶ (۱/۶۵۲-۱/۶۲۸ میکرومتر) بیشتر از ۲۰ درصد باشد و حد آستانه معیار باند مرئی به کار گرفته شده باشد.

- NDSL بزرگ‌تر یا مساوی ۰/۴، و بازتابندگی باند ۶ بیشتر از ۲۰ درصد باشد (Riggs and Hall, 2002).



شکل ۳. الگوریتم ماسک ابر لیبرال



شکل ۴. مراحل اعمال ماسک حرارتی

۲-۳-۳- ماسک دما

ماسک دما آخرین پیش پردازش قبل از اعمال الگوریتم Snow Map است. این ماسک در ۳ اکتبر ۲۰۰۱ معرفی شد و باعث گردید که بسیاری از پوشش‌های ناصحیح که به عنوان برف طبقه‌بندی می‌شدند از بین بروند. ایجاد این تداخل به علت وجود آئروسول‌ها و مخلوط برف و شن در خطوط ساحلی است. در ویرایش سوم MODIS حد آستانه ۲۷۷ درجه کلون استفاده می‌شد، در حالی که در ویرایش چهارم حد آستانه ۲۸۳ درجه کلون به کار رفته است. هر پیکسلی از باند ۳۱ سنجنده MODIS که دمای آن بیشتر از حد آستانه در ویرایش چهارم باشد به عنوان برف طبقه‌بندی نمی‌شود (Kamanpoon, 2004). ماسک دما برای از بین بردن ابهام بین برخی بدنه‌های آبی، شن و ابر با برف است (Zhou et al., 2005). بخش با استفاده از حرارت ظاهری محاسبه‌شده برای باند ۳۱ و قرار دادن در آستانه ۲۸۳ درجه کلون معیار ماسک دما نیز بعد از اعمال الگوریتم ماسک جدید ابر و قبل از اعمال الگوریتم Snow Map اعمال می‌شود (شکل ۴).

۲-۳-۴- بررسی نتایج

برای بررسی نتایج حاصل از الگوریتم Snow Map بدون ماسک ابر لیبرال و الگوریتم Snow Map همراه با ماسک لیبرال از داده‌های ایستگاه‌های برف‌سنجی و داده‌های توپوگرافی استفاده می‌شود. تعداد ایستگاه‌های برف‌سنجی مناسب برای بررسی ۱۸ ایستگاه است. تعداد ایستگاه‌ها در منطقه محدود است اما به علت فقدان منبع اطلاعات حقیقی جامع‌تر، از آمار این

ایستگاه‌ها استفاده می‌شود و دقت هر تصویر برآورد می‌گردد.

برای ارزیابی نتایج از روش ماتریس خطا استفاده می‌شود. ماتریس خطا از روش‌های ارزیابی نتایج، با استفاده از داده‌های زمینی است.

برای محاسبه صحت کلی از این فرمول استفاده می‌شود (Alavipanah, 1387):

رابطه (۵)

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ii}$$

که OA صحت کلی و N تعداد کل پیکسل‌های آزمایشی و P_{ii} عناصر قطر اصلی ماتریس خطاست.

از داده‌های ارتفاع هم می‌توان برای ارزیابی نتایج استفاده کرد. اساس استفاده از داده توپوگرافی ارتفاع برای ارزیابی نتایج بر این اصل استوار است که در حالت عادی در مورد برف باید با افزایش ارتفاع، درصد فراوانی پیکسل‌های برفی در هر طبقه ارتفاعی افزایش یابد؛ ولی اگر ابر به عنوان برف طبقه‌بندی شده باشد ممکن است این اصل مشاهده نشود، چون پیکسل‌های ابری از این قاعده تبعیت نمی‌کنند و این اصل را بر هم می‌زنند.

حال، این رابطه در تصاویری که الگوریتم Snow Map همراه با ماسک ابر در آنها به اجرا درآمده، مقایسه می‌گردد و نتایج به دست آمده نیز بررسی می‌شوند.

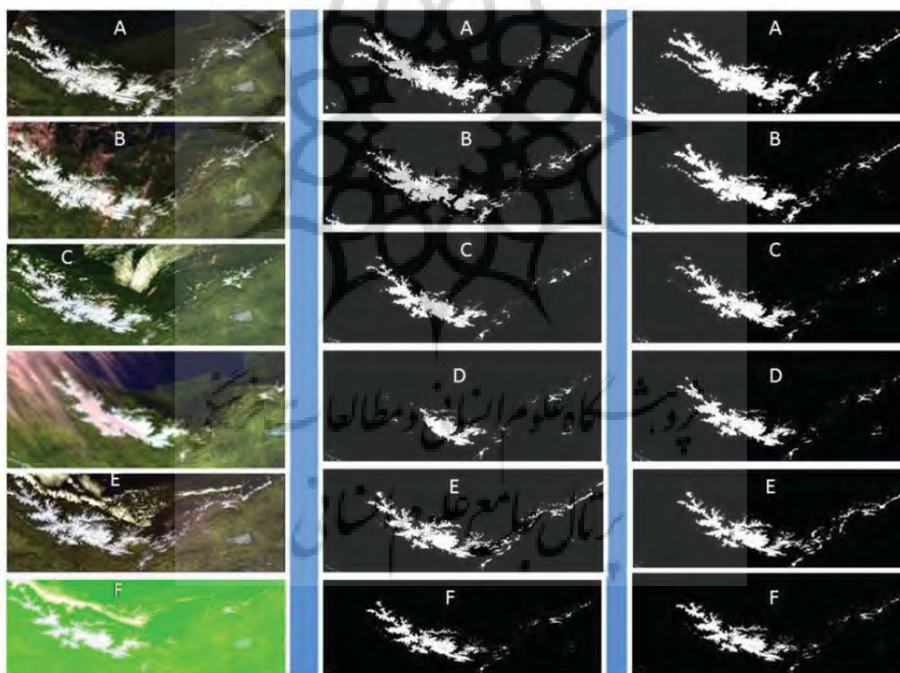
از دیگر راه‌های اطمینان یافتن از نتایج الگوریتم Snow Map و ماسک ابر لیبرال استفاده از شاخص NDSI است. شاخص NDSI در الگوریتم Snow Map نقش اساسی در جدا کردن برف از دیگر پدیده‌ها - به‌ویژه ابر - دارد، مناطقی هستند که الگوریتم

اجرای الگوریتم Snow Map همراه با اعمال ماسک ابر لیبرال، و سمت چپ تصویر رنگی کاذب منطقه است. تصاویر رنگی کاذب با ترکیب باندهای مرئی و مادون قرمز سنجنده MODIS براساس روش میلر و همکاران (۲۰۰۴) ساخته شده است و می‌تواند برف را از ابرهای ارتفاع بالا و پایین جدا کند. در تصاویر رنگی کاذب زمین‌های بدون پوشش برف به صورت تن‌های سبز و برف به رنگ سفید و ابرهای ارتفاع پایین به رنگ زرد روشن و ابرهای ارتفاع بالا به رنگ بنفش ظاهر می‌شود (تصاویر رنگی کاذب بخشی از پژوهش دیگر مؤلفان درباره میزان توانایی تصاویر رنگی کاذب در جداسازی ابر از برف، و اکنون در دست چاپ است).

Snow Map به تنهایی آنها را جزو برف طبقه‌بندی کرده، ولی الگوریتم Snow Map همراه با ماسک ابر آنها را ابر طبقه‌بندی کرده است. دامنه تغییرات NDSI در این دو تصویر با هم مقایسه می‌شوند، و نتیجه این مقایسه‌ها بیانگر میزان توان الگوریتم Snow Map در جداسازی ابر از برف است.

۳- نتایج

تصاویر حاصل از الگوریتم Snow Map، با استفاده از ماسک ابر لیبرال - یا بدون آن - در ماه اسفند در شکل ۵ آمده است. تصاویر سمت راست مربوط به اجرای الگوریتم Snow Map، و تصاویر ستون وسط مربوط به



شکل ۵. سطح برف بدون اعمال ماسک ابر لیبرال (سمت راست) و با اعمال ماسک ابر لیبرال (ستون وسط)، و تصویر رنگی کاذب منطقه (سمت چپ) A, B, C, D, E, F به ترتیب در تاریخ‌های ۲ و ۶ و ۱۳ و ۱۷ و ۲۲ و ۲۴ اسفند ماه سال ۱۳۸۴.

و شاخص NDSI و داده‌های توپوگرافی، جداگانه به ارزیابی نتایج الگوریتم Snow Map به تنهایی و

۴- بررسی نتایج

در اینجا با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های برف‌سنجی

الگوریتم Snow Map آنها را برف طبقه‌بندی می‌کند؛ در حالی که ابر هستند و این مناطق را ماسک ابر می‌تواند تشخیص دهد و به عنوان ابر طبقه‌بندی کند. نتایج ماتریس خطا نشان می‌دهد که دقت الگوریتم Snow Map زمانی که با ماسک ابر همراه گردد بیشتر می‌شود. در کل نتایج الگوریتم Snow Map همراه ماسک ابر لیبرال با داده‌های ایستگاه‌های زمینی مطابقت بیشتری دارد.

از جمله مواردی که در صحت برف‌سنجی تأثیر دارد، وجود ابرهایی است که سطح برف را پوشانده‌اند. این ابرها با استفاده از ماسک ابر لیبرال شناسایی می‌شوند و به عنوان ابر طبقه‌بندی می‌گردند؛ در حالی که در زیر آنها برف وجود دارد و در برف‌سنجی می‌بایست به عنوان برف در نظر گرفته شوند. در تصویر روز دوم اسفند و هفدهم اسفند این حالت مشاهده می‌شود. داده‌های برف‌سنجی حاصل از ایستگاه‌های زمینی و نقاط متناظر آنها در تصویر حاصل از الگوریتم Snow Map همراه با ماسک ابر لیبرال روزهای ۲ و ۱۷ اسفندماه در جدول ۹ آمده است.

الگوریتم Snow Map به همراه ماسک ابر لیبرال پرداخته می‌شود و نتایج به دست آمده از هر روش نیز تفسیر می‌گردد. داده‌های برف‌سنجی حاصل از ایستگاه‌های زمینی و نقاط متناظر آنها در تصویر حاصل از الگوریتم Snow Map و تصویر حاصل از الگوریتم Snow Map به همراه ماسک ابر لیبرال در تاریخ‌های مختلف، در جدول ۸ آمده است. در واقع ماتریس خطا برای هر تصویر ترسیم می‌شود و نتایج بررسی می‌گردند. نتایج نشان می‌دهند در هر دو تصویر ۲۲ و ۲۴ اسفندماه، زمانی که الگوریتم Snow Map بر تصاویر اعمال می‌گردد، تعداد نقاطی که به عنوان برف طبقه‌بندی شده‌اند بیشتر است؛ و زمانی هم که ماسک ابر نیز بر تصاویر اعمال می‌شود، نقاط برفی کاهش می‌یابند. به علاوه، نقاطی که ایستگاه برف‌سنجی و الگوریتم Snow Map به همراه ماسک ابر لیبرال به عنوان غیربرف مشخص کرده‌اند، بیشتر از نقاطی است که ایستگاه برف‌سنجی و الگوریتم Snow Map به عنوان غیربرف در نظر گرفته‌اند. پس می‌توان نتیجه گرفت اینها مناطقی هستند که

جدول ۸. ماتریس خطا بین تصویر حاصل از الگوریتم Snow Map به تنهایی و اطلاعات ایستگاه‌های زمینی و همچنین بین الگوریتم Snow Map به همراه ماسک ابر لیبرال و اطلاعات ایستگاه‌های زمینی در ۲۲ و ۲۴ اسفندماه سال ۱۳۸۴.

تاریخ تصویر	ایستگاه برف‌سنجی				درصد دقت	ایستگاه برف‌سنجی و ماسک ابر				درصد دقت
	برف	غیر برف	کل	درصد دقت		برف	غیر برف	کل	درصد دقت	
۱۳۸۴/۱۲/۲۲	برف	۱۲	۲	۱۴	۷۷	برف	۱۲	۰	۱۲	۱۰۰
	غیر برف	۰	۴	۴	۱۰۰	غیر برف	۰	۶	۶	۱۰۰
	کل	۱۲	۶	۱۸		کل	۱۲	۶	۱۸	
	درصد دقت	۱۰۰	۶۶		۸۸	دقت	۱۰۰	۱۰۰		۱۰۰
۱۳۸۴/۱۲/۲۴	برف	۱۲	۲	۱۴	۸۵	برف	۱۲	۰	۱۲	۱۰۰
	غیر برف	۰	۴	۴	۱۰۰	غیر برف	۰	۶	۶	۱۰۰
	کل	۱۲	۶	۱۸		کل	۱۲	۶	۱۸	
	درصد دقت	۱۰۰	۶۶		۸۸	دقت	۱۰۰	۱۰۰		۱۰۰

سمیه طالبی اسفندارانی و همکاران

جدول ۹. ماتریس خطا بین تصویر حاصل از الگوریتم Snow Map به تنهایی، و اطلاعات ایستگاه‌های زمینی و همچنین بین الگوریتم Snow Map به همراه ماسک ابر لیبرال و اطلاعات ایستگاه‌های زمینی در روزهای ۲ و ۱۷ اسفندماه

تاریخ تصویر	ایستگاه برف‌سنجی				درصد دقت	ایستگاه برف‌سنجی و ماسک ابر				درصد دقت
	برف	غیر برف	کل	درصد دقت		برف	غیر برف	کل	درصد دقت	
	Snow Map					Snow map و ماسک ابر				
	برف	۱۵	۲	۱۷	۷۷	برف	۱۲	۰	۱۲	۱۰۰
۱۳۸۴/۱۲/۲	غیر برف	۰	۱	۱	۱۰۰	غیر برف	۳	۳	۶	۵۰
	کل	۱۵	۳	۱۸		کل	۱۵	۳	۱۸	
	درصد دقت	۱۰۰	۶۶		۸۸	دقت	۸۳	۱۶		۸۳
	برف	۱۲	۲	۱۴	۸۵	برف	۸	۰	۸	۱۰۰
۱۳۸۴/۱۲/۱۷	غیر برف	۰	۴	۴	۱۰۰	غیر برف	۴	۶	۱۰	۵۵
	کل	۱۲	۶	۱۸		کل	۱۲	۶	۱۸	
	درصد دقت	۱۰۰	۶۶		۸۸	دقت	۶۶	۱۰۰		۷۷

می‌شود (جدول ۱۰)؛ یعنی الگوریتم Snow Map بدون اعمال ماسک ابر لیبرال نتیجه‌ای تقریباً مشابه با زمانی دارد که ماسک ابر لیبرال بر تصویر اعمال شده است. بدین ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که الگوریتم Snow Map توانایی جدا کردن ابرهای ارتفاع پایین از برف را دارد، زیرا نمودار طیفی ابرهای ارتفاع پایین در باندهای مرئی و مادون قرمز با برف اختلاف دارند.

داده‌های برف‌سنجی حاصل از ایستگاه‌های زمینی و نقاط متناظر آنها در تصویر حاصل از الگوریتم Snow Map و تصویر حاصل از الگوریتم Snow Map به همراه ماسک ابر لیبرال در روز ۱۳ اسفند، در جدول ۱۰ آمده است.

برای نشان دادن میزان توانایی NDSI در جدا کردن ابر از برف در شکل ۸ دامنه تغییرات NDSI در مناطقی که الگوریتم ماسک ابر جدید به عنوان ابر در نظر گرفته شده است با مناطقی که الگوریتم Snow Map به عنوان برف طبقه‌بندی کرده، مقایسه می‌گردد. همان‌طور که در نمودار مشخص است، دامنه تغییرات NDSI در مناطقی که الگوریتم ماسک ابر لیبرال به عنوان ابر طبقه‌بندی کرده است با مناطقی که الگوریتم Snow Map به عنوان برف در نظر گرفته، در

همان‌گونه که در جدول ۹ مشخص است، داده‌های ایستگاه برف‌سنجی با الگوریتم Snow Map به همراه ماسک ابر لیبرال اختلاف دارند. هنگامی که از ماسک ابر لیبرال استفاده می‌شود، ابر قرار گرفته بر روی سطح برف به عنوان ابر ماسک می‌گردد، در حالی که در زیر آن برف وجود دارد و می‌بایست این را در برف‌سنجی به عنوان برف در نظر گرفت. در این حالت دقت الگوریتم Snow Map به همراه ماسک ابر لیبرال در مقایسه با داده‌های زمینی پایین می‌آید. در اینجا می‌توان با توجه به عوامل همسایگی و توپوگرافی و نیز کمک گرفتن از ترکیب رنگی کاذب، ابرهای قرار گرفته روی سطح برف را مشخص ساخت و آنها را جز برف طبقه‌بندی کرد. البته زمانی می‌توان از عوامل همسایگی و توپوگرافی کمک گرفت که ابر قرار گرفته بر روی برف کمتر و کوچک‌تر از سطح برف زیرین آن باشد؛ اما در صورتی که ابر وسیعی روی سطح برف زیرین را کاملاً پوشانده باشد ریسک الگوریتم بالا می‌رود.

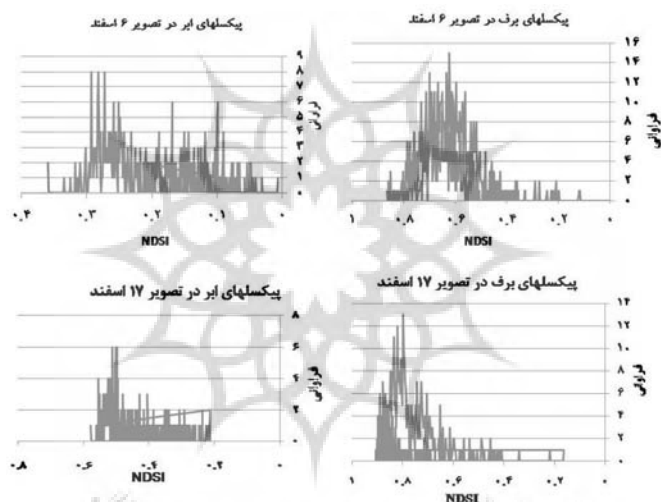
در تصاویری که فقط دارای ابرهای ارتفاع پایین هستند، مانند تصویر روز ۱۳ اسفند، سطح برف بدون اعمال الگوریتم ماسک ابر لیبرال و با اعمال الگوریتم مشابهت زیادی دارد و تغییرات بسیار جزئی دیده

جداسازی ابر از برف در تصاویر MODIS، با استفاده از الگوریتم Snow Map و الگوریتم ماسک ابر

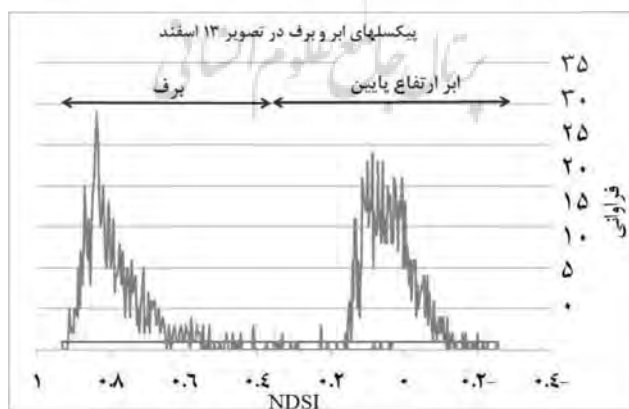
دامنه‌ای از اعداد فصل مشترک دارد. این موضوع
 مشخص می‌سازد که شاخص NDSI در این گونه جاها
 توان جداسازی ابر از برف را ندارد و هر دو عارضه را در
 یک کلاس طبقه‌بندی می‌کند.

جدول ۱۰. ماتریس خطا بین تصویر حاصل از الگوریتم Snow Map به تنهایی و اطلاعات ایستگاه های زمینی و همچنین بین الگوریتم Snow Map به همراه ماسک ابر لیبرال و اطلاعات ایستگاه های زمینی در روز ۱۳ اسفندماه

تاریخ تصویر	ایستگاه				ایستگاه					
	برف	غیربرف	کل	درصد دقت	برف	غیربرف	کل	درصد دقت		
۱۳۸۴/۱۲/۱۳	برف	۱۱	۰	۱۱	۱۰۰	برف	۱۱	۰	۱۱	۱۰۰
	غیر برف	۱	۶	۷	۸۵	غیربرف	۱	۶	۷	۸۵
	کل	۱۲	۶	۱۸		کل	۱۲	۶	۱۸	
	درصد دقت	۹۱	۱۰۰		۹۴	دقت	۹۱	۱۰۰		۹۴



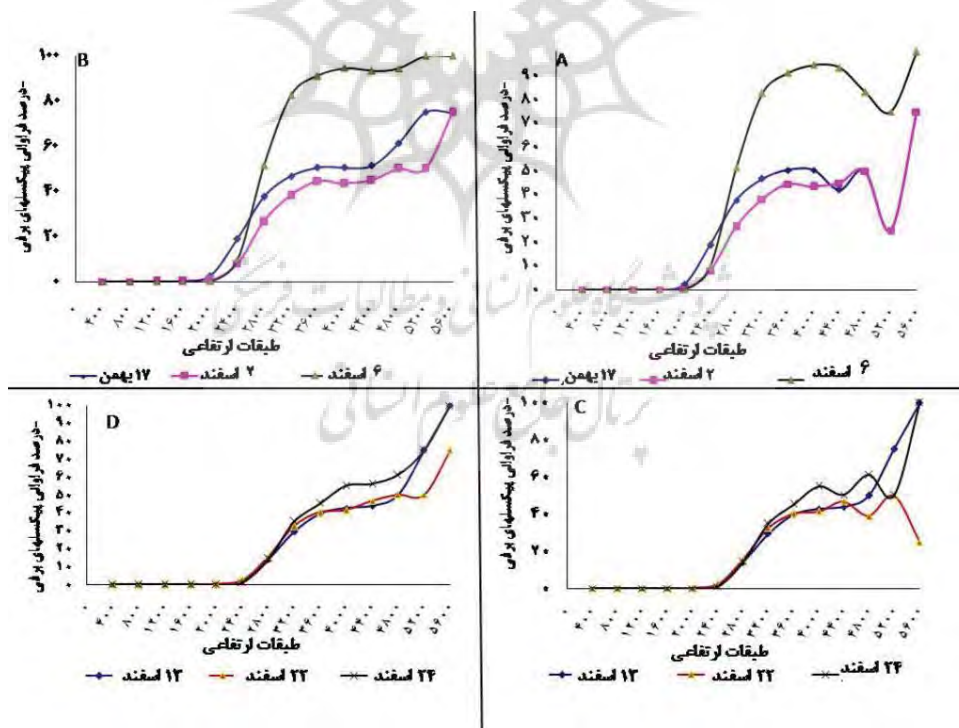
شکل ۶. دامنه تغییرات NDSI در مناطق ابری و برفی در تصاویر روزهای ۶ و ۱۷ اسفند



شکل ۷. دامنه تغییرات NDSI در مناطق ابری و برفی در تصویر روز ۱۳ اسفند

طبقه ارتفاعی بیشتر شود. از این خاصیت می توان برای ارزیابی نتایج اعمال الگوریتم Snow Map به تنهایی و همراه با الگوریتم ماسک ابر لیبرال استفاده کرد. در شکل ۸ درصد فراوانی نسبی پیکسل های برفی در هر طبقه ارتفاعی نشان داده شده است. همان طور که از شکل برمی آید، زمانی که ماسک ابر جدید همراه با الگوریتم Snow Map بر تصاویر اعمال گردد، روند صعودی نمودار در همه جا مشاهده می شود. وقتی ماسک ابر بر تصاویر اعمال می شود، پیکسل های ابری بیشتری شناسایی می گردند و از طبقه بندی شدن در کلاس برف جلوگیری می شود. اما وقتی الگوریتم Snow Map به تنهایی بر تصاویر اعمال شود، چون مقداری از ابرها به عنوان برف طبقه بندی می شوند، در نمودار درصد فراوانی پیکسل های برف و ارتفاع، روند صعودی را نمی توان در همه جا مشاهده کرد.

در شکل ۷ دامنه تغییرات NDSI در تصویر ۱۳ اسفند، که تنها دارای ابرهای ارتفاع پایین است، در مناطقی که الگوریتم ماسک ابر جدید به عنوان ابر در نظر گرفته است، با مناطقی که الگوریتم Snow Map به عنوان برف طبقه بندی کرده است مقایسه می گردد. همان گونه که از نمودار برمی آید، دامنه تغییرات NDSI در مناطقی که الگوریتم ماسک ابر لیبرال به عنوان ابر طبقه بندی کرده با مناطقی که الگوریتم Snow Map به عنوان برف در نظر گرفته است، کاملاً مجزا هستند و این موضوع خود نشان می دهد که شاخص NDSI توانسته است این ابرها را به خوبی از برف جدا کند و در واقع همانند ماسک ابر جدید عمل کرده است. در حالت کلی، با افزایش ارتفاع میزان برف نیز در هر طبقه ارتفاعی بیشتر می شود؛ یعنی اگر پیکسل های ابری و برفی درست طبقه بندی شده باشند، باید با افزایش ارتفاع درصد فراوانی پیکسل های برفی در هر



شکل ۸. درصد فراوانی نسبی پیکسل های برفی در هر طبقه ارتفاعی (سمت راست نمودار تصاویر حاصل از الگوریتم Snow Map هستند، و سمت چپ نمودار تصاویر حاصل از الگوریتم Snow Map به همراه ماسک بر لیبرال)

۴- بحث و نتیجه‌گیری

بررسی داده‌های ایستگاه‌های برف‌سنجی و نتایج الگوریتم Snow Map و ماسک ابر لیبرال مشخص می‌سازد که الگوریتم Snow Map توانایی جداسازی برخی از ابرها را ندارد و آنها را به عنوان برف طبقه‌بندی می‌کند و از این رو دقت نقشه‌های برفی را کاهش می‌دهد. ابرهایی که الگوریتم Snow Map توانایی جداسازی‌شان را ندارد، ابرهایی هستند با ذرات یخ، که از نوع ابرهای ارتفاع بالا هستند. استفاده از الگوریتم ماسک ابر لیبرال تا حدود زیادی این مشکل را برطرف می‌سازد و از طبقه‌بندی برخی از ابرها در کلاس برف جلوگیری می‌کند. با استفاده از الگوریتم ماسک ابر لیبرال متوسط دقت نقشه‌های برفی، در مقایسه با زمانی که از ماسک ابر استفاده نمی‌شود، ۱۰ درصد افزایش می‌یابد. در تصاویری که فقط دارای ابرهای ارتفاع پایین هستند، سطح برف بدون اعمال ماسک ابر و با اعمال ماسک ابر، کم و بیش مشابه به‌دست می‌آید و این نشان می‌دهد که ابرهای یادشده، مشکلی در الگوریتم Snow Map به‌وجود نمی‌آورند و می‌توان آنها را بدون استفاده از ماسک ابر لیبرال از برف متمایز ساخت. به عبارت دیگر، الگوریتم Snow Map توانایی جداسازی اکثر ابرهای ارتفاع پایین را از برف دارد. همچنین مقایسه NDSI در مناطقی که به عنوان برف طبقه‌بندی شده‌اند با نقاطی که به عنوان ابر در نظر گرفته شده‌اند، نشان می‌دهد که شاخص NDSI توانایی جداسازی برخی از ابرها را از برف ندارد و هر دو عارضه را در یک کلاس طبقه‌بندی می‌کند. البته NDSI ابرهای ارتفاع پایین را کاملاً می‌توان از برف تشخیص داد. در مورد پارامتر ارتفاع نیز می‌توان گفت زمانی که ماسک ابر بر تصاویر اعمال می‌شود، پارامتر ارتفاع هر دو صحت نتایج الگوریتم Snow Map به همراه ماسک ابر لیبرال را نشان می‌دهند و در نمودار درصد فراوانی پیکسل‌های برفی در هر طبقه ارتفاعی زمانی که ماسک ابر لیبرال بر تصاویر اعمال شوند، روند صعودی در همه جا به چشم می‌خورد.

از جمع‌بندی موارد ذکرشده، می‌توان به این نتیجه رسید که الگوریتم ماسک ابر می‌تواند برخی از ابرها را که الگوریتم Snow Map توانایی جداسازی آنها از برف را ندارد، متمایز کند. این ابرها عموماً از نوع ابرهای ارتفاع بالا و یخی هستند؛ اما در مورد ابرهای ارتفاع پایین الگوریتم Snow Map در اکثر موارد توانایی جداسازی آنها را از ابر دارد. البته هنوز هم برخی از انواع ابرها وجود دارند که برای الگوریتم ماسک ابر لیبرال امکان جداسازی آنها از برف میسر نیست (Timothy et al; 2002, Riggs and Hall 1384, Taghvakis; 2006).

۵- منابع

- Ackerman, S.A., K.I., Strabala, W.P. Menzel, R.A. Frey, C.C. Moeller, L.E. Gumley, B., Baum, S.W., Seeman, H., Zhang, 1998, **Discriminating Clear-Sky From Cloud With MODIS Algorithm Theoretical Basis**, MODIS Algorithm Theoretical Basis Document Number ATBD-MOD-35, NASA Goddard Space Flight Center.
- Adhami, Salam, 2005, **Application of Remote Sensing and Geographic Information System in Snow Cover (Agichay) A Thesis For The Degree of Master of Science**, Department of Geographic, University of Tabriz.
- Alavipanah, S.K, 2006, **Application of Remote Sensing in The Earth Science (Soil)**, University of Tehran press.
- Alavipanah, S.K., 2006, **Thermal Remote Sensing And Its Application In The Earth Sciences**, University of Tehran press.
- Dadashi khaneghah, Sepideh, 2008, **Appointment of Snow Cover Using Image Processing Techniques**, A Thesis for the

- Degree of Master of Science, Faculty of Earth Science, University of Shahid Beheshti.
- Hall, D.K., A.B., Tait, G.A. Riggs, V.V., Salomonson, J. Chien, Y.L. Andrew, G., Klein, 1998, **Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) for the MODIS Snow-, Lake Ice- and Sea Ice-Mapping Algorithms**, MODIS Algorithm Theoretical Basis Document Number ATBD-MOD-10, NASA Goddard Space Flight Center.
- Ka Man Poon, S., 2004, **Hydrological Modelling Using MODIS Data for Snow Covered Area in the Northern Boreal Forest of Manitoba**, M.Sc. Thesis.
- King, M.D., S., Platnick, P., Yang, G.T. Arnold, M.A. Gray, J.C. Riedi, S.A. Ackerman, K. Liou, 2004, **Remote Sensing of Liquid Water and Ice Cloud Optical Thickness and Effective Radius in the Arctic: Application of Airborne Multispectral MAS Data**, Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Vol 21, 857-875.
- King, M.D., C.S., Tsay, S.E., Platnick, M., Wang, K. Liou, 1997, **Cloud Retrieval Algorithms for MODIS: Optical Thickness, Effective Particle Radius, and Thermodynamic Phase**, MODIS Algorithm Theoretical Basis Document Number ATBD-MOD-05, NASA Goddard Space Flight Center.
- Lee, S., Klein, A.G. and Over, T.M., 2001, **A Comparison of MODIS and NOHRSC Snowcover Products for Simulating Treamflow Using the Snowmelt Run off Model**, in: <http://www.modissnowice.gsfc.nasa.gov>.
- Rayegani, Behzad, 2006, **Investigation on Snow Cover Changes and Estimation Snowmelt Run off Using MODIS Data**, A Thesis for the Degree of Master of Science, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology.
- Riggs, G., D.K. Hall, 2002, **Reduction of Cloud Obscuration in the MODIS Snow Data Product**, 59th EASTERN SNOW CONFERENCE Stowe, Vermont USA.
- Strabala, K., 1999, **MODIS Cloud Mask User's Guide**, User's Guide.
- Singh, P. and Singh, V. P., 2001, **Snow and Glacier Hydrology**, Kluwer Academic Publishers, P. 742.
- Taghvakiyeh, Sina, 2005, **Supervision of Snow Cover Using Satellite Images**, A Thesis for the Degree of Master of Science, Faculty of Technology, University of Tehran.
- Timothy W. Ault, Kevin P., Czajkowski, Teresa Benko et al., **Validation of the MODIS Snow Product and Cloud Mask Using Student and NWS Cooperative Station Observations in the Lower Great Lakes Region**, Elsevier Remote sensing of Environment 105 (2006341-353).
- Vermote, E. and Kotchenova, S., 2006, **Atmospheric Correction for the Monitoring of Land Surface**, Journal of Geophysical Research.
- Zhoua, X., H. Xieb, J.M.H. Hendrickx, 2005, **Statistical Evaluation of Remotely Sensed Snow Cover Products with Constraints from Streamflow and SNOTEL Measurements**, Elsevier Remote sensing of Environment, 214-231.