

فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۶، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۰، شماره پیاپی ۱۰۲

E. Fattahi
M. Vazifedost

ابراهیم فتاحی: عضو هیأت علمی پژوهشکده هواشناسی کشور

مجید وظیفه دوست: استادیار گروه کشاورزی، دانشگاه گیلان

شماره مقاله: ۸۳۰

E.mail: Efattahi23@gmail.com

شماره صفحه پیاپی ۱۷۴۲۳-۱۷۴۰۳

برآورد دمای سطح برف و گستره پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS (مطالعه موردی حوضه‌های استان گلستان)

چکیده:

بخش عظیمی از بارش‌ها در مناطق کوهستانی حوضه‌های آبریز استان گلستان به صورت برف است. در نتیجه، آب حاصل از ذوب برف نقش مهمی در ایجاد رواناب سطحی، تغذیه آبهای زیر زمینی و ایجاد سیل به عهده دارد. پوشش برف معرف میزان آب ذخیره شده در حوضه‌های کوهستانی است و پایش زمانی و مکانی سطح پوشیده شده از برف و عمق آب معادل برف از اهمیت بسیار بالایی در مدل‌های هیدرولوژیک دارد. در این مطالعه به منظور پایش سطح پوشش برف و دمای سطح برف حوضه‌های آبریز استان گلستان از داده‌های سنجنده MODIS طی دوره آماری ۹ ساله (۲۰۰۰-۸) استفاده شده. به منظور تعیین پتانسیل ریزش و ذوب برف از الگوریتم دمای سطح برف با استفاده از باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲، MODIS و برای تشخیص سطوح پوشیده شده برف، شاخص NDSI بکار گرفته شد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد با توجه به دقت زمانی و مکانی تصاویر ماهواره‌ای MODIS و قابل دسترس بودن این تصاویر از طریق اینترنت، برای پایش سطح پوشش برف بسیار مناسب هستند، بنابراین، با اجرای الگوریتم‌های بکار رفته، می‌توان سطوح پوشش برف را به صورت بهنگام پایش کرد و نتایج آن را در مدیریت منابع آب، کشاورزی، گردشگری، مدیریت مخازن و سامانه‌های هشدار سیل به کار گرفت.

واژه‌های کلیدی: سطح پوشش برف، شاخص NDSI، سنجنده MODIS، حوضه‌های استان گلستان

۱- مقدمه

مساحت پوشش برف، پارامتر بسیار مهمی برای چرخه هیدرولوژیک و اقلیم شناسی است. بازتابش ناشی از سپیدایی بالای برف سبب می‌گردد که سطوح برفی، بیشتر انرژی تابشی خورشید را برگردانند. به علت ظرفیت گرمایی بالای برف، سطوح برفی سبب محافظت سطح خاک در برابر جو و کاهش فرآیند گرم شدن در فصل بهار می‌گردد. بنابراین، برف با تحت تاثیر قرار دادن جذب انرژی و گرم شدن حوضه، نقش مستقیمی در مدل‌های گردش جوی در مقیاس ریز اقلیم و بزرگ اقلیم دارد. پوشش برف و رطوبت خاک، مهمترین متغیرها در فرآیند تبادل گرما و رطوبت بین زمین و جو هستند. وجود برف در حوضه تاثیر زیادی بر رطوبت موجود در سطح و در نتیجه جاری شدن رواناب دارد (مایورر و همکاران، ۲۰۰۳).

در ارتفاعات حوضه‌های آبریز، نوع بارش به صورت برف است. که منبع مهم جریان رودخانه‌ها محسوب می‌شود. ذخایر برفی حوضه‌های کوهستانی از منابع مهم و قابل اطمینان کشور محسوب می‌شود. آگاهی از میزان ذخایر برفی در حوضه‌های آبریز برای استفاده آب معادل برف، ذخیره سازی، کنترل سیلاب‌ها و تامین آب مورد نیاز پایین دست لازم است. بنابراین، پایش مکانی و زمانی سطح پوشیده شده از برف و آب معادل برف از اهمیت بالایی در زمینه سامانه‌های هشدار سیل برخوردار است. گستره سطح پوشش برف به عنوان یک متغیر اقلیمی و هیدرولوژیک بسیار مهم برای پیش بینی رواناب در سطوح برفگیر در طول فصل ذوب است (هالم و مارتینک، ۱۹۸۵). وجود برف در حوضه‌های برفگیر، نه تنها بر اقلیم محلی و منطقه ای تاثیر می‌گذارد، بلکه منابع آبی که به صورت آب‌های یخ زده در سطح ذخیره می‌شوند نیز تحت تاثیر قرار می‌دهد

(دیکسون، ۱۹۹۳). بنابراین، پایش زمانی و مکانی سطح پوشش برف سال‌هاست که برای پایش بینی‌های هیدرولوژیک استفاده شده است. استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای به منظور تعیین تغییرات روزانه سطح پوشش برف، دمای برف، عمق آب برف و امکان استفاده از نتایج آن در مدل‌های هیدرولوژیک از قبیل مدل^۱ SRM،^۲ WMS و^۳ HMS-HEC و غیره می‌تواند در تخمین رواناب حاصل از ذوب برف در امر پایش بینی سیل مؤثر باشد.

در سال‌های اخیر استفاده از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای در مدیریت منابع طبیعی، محیط زیست و مدیریت منابع آب رشد چشمگیری یافته است و در زمینه استخراج سطح پوشش برف از تصاویر NOAA و سایر ماهواره‌ها تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است. در این راستا، استفاده از تصاویر سنجنده MODIS به دلیل قدرت تفکیک مکانی قابل قبول و هم قدرت بازنگری زمانی سریع به همراه تنوع باندهای طیفی، آن را در وضعیت مناسبی قرار داده است.

همچنین، به دلیل آلبیدوی بسیار بالای برف در مقایسه با سایر سطوح طبیعی (به جز ابر)، امکان اندازه‌گیری سطح پوشش برف با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای را فراهم آورده است. به دلیل این مشخصه خاص برف، سطح پوشش برف در نخستین تصاویر از ماهواره هواشناسی TIROS-1 در آوریل ۱۹۶۰ به دست آمد (سینگنر و پوپهام، ۱۹۶۳). پس از آن با شروع به کار ماهواره ESSA-3 در اواسط سال ۱۹۶۰ سطوح پوشش برف به صورت هفتگی از تصاویر ماهواره‌ای استخراج شد. از سال ۱۹۶۶ به بعد نیز تخمین سطح پوشش برف در نیمکره شمالی به صورت هفتگی با آغاز به کار سنجنده AVHRR که بر روی ماهواره NOAA نصب شده بود، ادامه یافت (ماتسون و همکاران، ۱۹۸۶).

-
1. Snow Runoff Model
 2. Watershed Management System
 3. Hydrology Modeling System

تولیدات منطقه ای پوشش برف، با دقت مکانی یک کیلومتر، به صورت عملیاتی و در ۳۰۰۰ تا ۴۰۰۰ حوضه در آمریکای شمالی توسط مرکز ملی سنجش از دور انجام پذیرفت (کارول، ۱۹۹۰). نصب سنجنده MODIS در سال ۱۹۹۹ بر روی فضا پیمای Terra از داده‌های ماهواره ای MODIS انقلابی را در زمینه دقت مکانی و زمانی تولید نقشه‌های پوشش برف به وجود آورده است (کارل و همکاران، ۲۰۰۱) بطوری که امروزه نقشه‌های برف تولید شده از سنجنده MODIS کل زمین را به صورت روزانه پوشش داده، با دقت مکانی ۵۰۰ متر ارائه می شوند، الگوریتم‌های استفاده شده در تولید این نقشه‌ها از طیف انعکاس یافته در باندهای ۴ و ۶ برای تولید شاخص نرمال شده برف (NDSI) استفاده می کنند (هال و همکاران، ۲۰۰۲). مالچر و هیدینگر (۲۰۰۱) با استفاده از تصاویر ماهواره ای MODIS، سطح پوشش برف زیر حوضه‌های کشور اتریش را استخراج و با استفاده از مدل SRM رواناب ناشی از ذوب برف این حوضه‌ها را شبیه سازی کردند. سانگون و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS و AVHRR سطح پوشش برف حوضه‌های ریو گراند را تخمین زدند و با استفاده از مدل SRM رواناب ناشی از ذوب برف این حوضه را برآورد کردند.

طی سال‌های اخیر استفاده از داده‌های ماهواره ای در سطح ایران نیز رشد چشمگیری داشته است و بسیاری از محققان در زمینه مطالعه و برآورد سطح پوشش برف حوضه‌های کوهستانی از این راهکار بهره‌مند شده‌اند. پر همت (۱۳۸۱) با انجام تغییراتی در الگوریتم سیمپسون و همکاران (۱۹۹۸) و ترکیبی از روش‌های تحلیل آستانه‌ای و تحلیل چند طیفی - سطح پوشش برف را با استفاده از باندهای ۳، ۲ و ۴ سنجنده AVHRR ماهواره NOAA برای حوضه کارون استخراج کرد. قنبر پور (۱۳۸۱) چگونگی تعیین سطح پوشش برف به کمک داده‌های دور سنجی را تشریح و قابلیت تصاویر ماهواره‌های NOAA در تعیین پارامترهای هیدرولوژیکی برف را در مناطق کوهستانی بررسی و کاربرد آن در پیش بینی رواناب ناشی از ذوب برف را مورد بحث قرار داده است. نجف

زاده و همکاران (۱۳۸۳) تغییرات سطح پوشش برف بخشی از حوضه زاینده رود را با استفاده از تصاویر ماهواره ای NOAA بررسی کردند و برای شبیه سازی جریان رود خانه مدل SRM را بکار گرفتند. دینی و همکاران (۱۳۸۶) به منظور بررسی سطوح برفگیر در البرز مرکزی از داده‌های ماهواره ای MODIS و AVHRR استفاده کردند. رسولی و ادهمی (۱۳۸۶) در تحقیقی با استفاده از تصاویر ماهواره ای سنجنده MODIS و بر اساس الگوریتم‌های مختلف سطح پوشش برف حوضه آبریز آجی چای را محاسبه کردند. بررسی نتایج مطالعات انجام شده حاکی از قابلیت بالای پردازش تصاویر ماهواره‌ای در زمینه برآورد سطح پوشش برف حوضه‌های کوهستانی و مناطق برف گیر است، در این تحقیق به منظور پایش سطح پوشش برف حوضه‌های آبریز استان گلستان از داده‌های ماهواره‌ای به دست آمده از سنجنده MODIS طی یک دوره آماری ۹ ساله (۲۰۰۸-۲۰۰۰) استفاده شد.

۲- داده‌ها و روش کار

۲-۱- داده‌ها

سنجنده MODIS قابلیت تصویر برداری روزانه در ۲ باند قابل رویت با دقت مکانی ۲۵۰ متر، ۵ باند مادون قرمز با دقت مکانی ۵۰۰ متر و ۲۹ باند حرارتی باند حرارتی با دقت مکانی ۱۰۰۰ متر را داراست. در تحقیق حاضر، به منظور پایش زمانی و مکانی سطح پوشش برف، از داده‌های سنجنده MODIS با فرمت رستری و برای یک دوره آماری ۹ ساله از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ به صورت فواصل زمانی ۸ روزه و با دقت مکانی ۵۰۰ متر جمع آوری و استفاده شد.

۲-۲- روش کار

۲-۲-۱- ترسیم خطوط همدمای صفر و ۳ درجه به منظور تعیین خط برف خط همدمای صفر درجه بیانگر آستانه شروع ذوب بوده خط همدمای ۳ درجه آستانه ریزش برف را بیان می دارد (فتاحی، ۱۳۷۷). با توجه به محدود بودن تعداد ایستگاه‌های دماسنجی در منطقه مورد مطالعه، برآورد خط برف با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های موجود از دقت بالایی برخوردار نبود، بنابراین در این مطالعه به منظور بررسی و ترسیم خط همدمای صفر و ۳ درجه سانتی گراد از داده‌های ماهواره ای MODIS استفاده شد. بدین منظور، تولیدات ماهواره ای دمای سطح زمین با گام‌های زمانی ۸ روزه سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸ با فرمت HDF استخراج شد و پس از تبدیل فرمت HDF به تصویر، تصحیحات هندسی و کالیبره کردن و اعمال مختصات زمین UTM، اطلاعات مربوط به دمای سطح زمین به صورت روزانه استخراج گردید.

دمای سطح زمین پارامتر بسیار مهمی در تعیین خط برف است، زیرا که معمولاً دمای سطح زمین با دمای هوا در ارتفاع ۲ متری تقریباً برابری می کند و دمای هوا نیز بازگو کننده شکل بارش است. معمولاً فرض می شود که در دمای هوای کمتر از ۳ درجه شکل بارش به صورت برف است، بنابراین با استفاده از دمای هوا می توان نقاطی را که دارای پتانسیل ریزش برف است، تعیین نمود. در تولید داده‌های ماهواره‌ای دمای سطح زمین از الگوریتم‌های مختلفی استفاده می شود که می توان به الگوریتم پرایس (۱۹۸۴) که بسیار مشهور است، اشاره کرد. در این الگوریتم دمای سطح برف با استفاده از باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲ MODIS و با به کارگیری رابطه زیر محاسبه می شود:

(۱)

$$T_s = T_{b31} + 1.8(T_{b31} - T_{b32}) + 48(1 - \varepsilon) - 75\Delta 5$$

در این معادله:

T_s دمای سطح برف به کلوین

برآورد دمای سطح برف و گستره پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS..... / ۱۵۵

Tb_{31,32} دمای تابندگی (brightness temperature) در باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲ به کلوین است.

ϵ و $\Delta\epsilon$ به ترتیب متوسط و تفاضل قابلیت انتشار سطحی (surface emissivity) هستند که از رابطه‌های زیر با داشتن شاخص گیاهی NDVI محاسبه می‌شوند.

$$\epsilon = \frac{\epsilon_{31} + \epsilon_{32}}{2}$$

$$\epsilon_{31} = 0.9897 + 0.029 \ln(NDVI)$$

$$\Delta\epsilon = \epsilon_{31} - \epsilon_{32} = 0.01019 + 0.01344 \ln(NDVI)$$

در معادله ۱ دمای تابندگی از تبدیل داده‌های سطح 1B باندهای حرارتی MODIS در کانال‌های ۳۱ و ۳۲ با استفاده از عکس معادله پلانک تهیه می‌شود. داده‌های سطح B MODIS در باندهای حرارتی ۳۱ و ۳۲ به صورت داده‌های رادیانس کالیبره شده ذخیره می‌شوند و در نتیجه داده‌های رادیانس توسط عکس معادله پلانک به دمای تابندگی تبدیل می‌شوند.

(۲)

$$Tb = C_2 V / \ln(1 + (C_1 V^3) / E)$$

$$C_1 = 1.1910659 \times 10^{-5} \text{ mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-4})$$

$$C_2 = 1.438833 \text{ (cm} \cdot \text{K)}$$

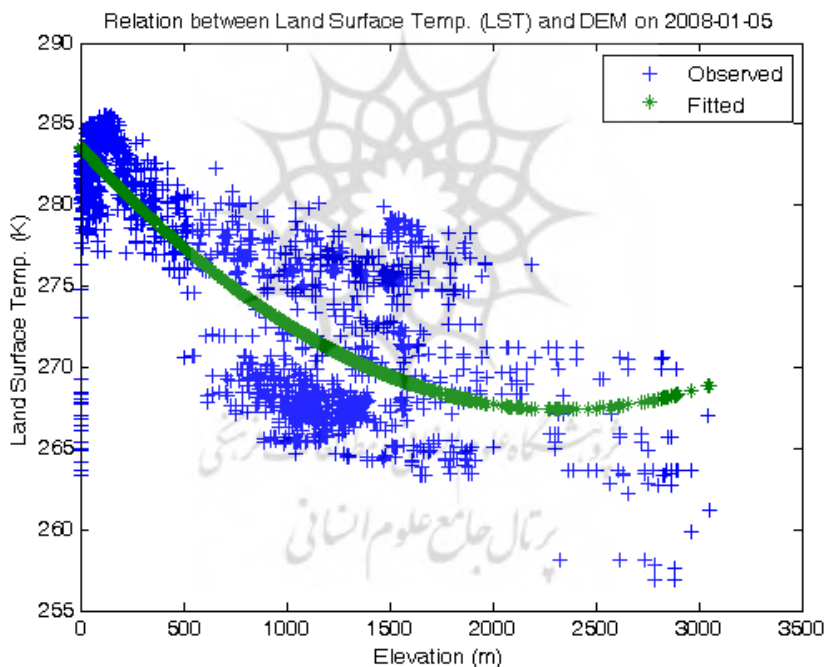
طول موج مرکزی باند $v \text{ (cm}^{-1}\text{)}$ =

رادیانس سنجنده $E \text{ (mW}/(\text{m}^2 \cdot \text{sr} \cdot \text{cm}^{-1}\text{)}) =$

دمای تابندگی $Tb \text{ (K)} =$

به منظور تعیین خط برف صفر درجه، پیکسل‌هایی که دمای سطح آنها صفر و کمتر از صفر درجه سانتیگراد (۲۷۳ درجه کلوین) و برای خط ۳ درجه پیکسل‌هایی که دمای سطح آنها ۳ درجه و یا کمتر است، به عنوان پیکسل‌های برفی تعیین شد.

از آنجایی که در تولیدات دمای سطحی به دست آمده از سنجنده MODIS به علت وجود ابر در برخی مواقع، دمای سطحی بعضی از پیکسل‌ها محاسبه نشده بود و در نقشه دمای سطحی نیز این پیکسل‌ها دارای مقدار نبودند، با مقایسه نقشه ارتفاعی DEM با نقشه دمای سطحی، رابطه بین دما و ارتفاع در آن روز استخراج شد و بهترین منحنی بین این دو پارامتر برازش داده شد و نقاط بدون مقدار در نقشه دمای سطحی با استفاده از رابطه بدست آمده بین ارتفاع و دما دارای مقدار گردید. شکل ۱ رابط بین دما و ارتفاع به صورت نمونه در روز ۲۰۰۸-۰۱-۰۵ نشان داده شده است:



شکل ۱- رابطه بین دمای روزانه سطحی (تولیدات مودیس) با ارتفاع در تاریخ ۲۰۰۸-۰۱-۰۵ در حوضه آبریز گلستان

نقشه ارتفاعی منطقه نیز با استفاده از داده‌های رقومی ارتفاع که از سایت SRTM و با دقت مکانی ۹۰ متر قابل برداشت می‌شود، استخراج گردید.

با استفاده از نقشه دمای بدست آمده، پیکسل‌های با پتانسیل بارش برف؛ یعنی پیکسل‌هایی که دمای سطحی آنها کمتر از ۲۷۳ و یا ۲۷۶ درجه بود، به تفکیک منطقه ارتفاعی و هر زیر حوضه تعیین شد که در شکل‌های ۲ تا ۳ نمونه نقشه‌های خط برف صفر و ۳ درجه به نمایش گذاشته شده است:

۲-۲-۲- الگوریتم مورد استفاده در استخراج سطوح پوشیده شده از برف

الگوریتم نقشه برف (Snow map) به منظور تشخیص سطوح پوشیده شده از برف با دقت مکانی ۵۰۰ متر و به صورت ممتد در هر بار چرخش طراحی شده است. توسط این الگوریتم داده‌های روزانه و ۸ روزه برف و با مقیاس جهانی تولید می‌شود (هال و همکاران، ۲۰۰۲) در این الگوریتم برای تشخیص سطوح پوشیده شده از برف از شاخص سطح برف و یا NDSI کمک گرفته می‌شود. به علت انعکاس پایین برف در باندهای مادون قرمز و انعکاس بالا در باندهای مرئی، این شاخص می‌تواند در تشخیص پوشش برف از سایر پدیده‌ها بسیار مفید باشد. شاخص NDSI با داده‌های MODIS با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

(۳)

$$NDSI = \frac{\text{band}4 - \text{band}6}{\text{band}4 + \text{band}6}$$

در تهیه نقشه پوشش برف زمانی که پیکسل دارای NDSI بزرگتر و یا مساوی ۰.۴ است به عنوان پیکسل برفی در نظر گرفته می‌شود و در صورتی که کمتر از ۰.۴ باشد، به عنوان پیکسل عاری از برف فرض می‌گردد.

در این شاخص پیکسل‌هایی که تقریباً ۵۰ درصد یا بیشتر توسط برف پوشیده شده‌اند، دارای NDSI حداقل ۰.۴ هستند. از آنجایی که آب نیز ممکن است دارای یک NDSI حدود ۰.۴ باشد، یک آزمایش دیگر نیز برای جداسازی آب و برف صورت می‌پذیرد. آب و برف به دلیل اینکه بازتابش آب در باند ۲ کمتر از ۱۱ درصد است، قابل تفکیک هستند. بنابراین اگر بازتابش باند ۲ بزرگتر از ۱۱ درصد باشد و NDSI هم بیشتر از ۰.۴ باشد، آن پیکسل به عنوان برف در نظر گرفته می‌شود و اگر بازتابش باند ۴ مودیس کمتر از ۱۰ درصد باشد، پیکسل به عنوان برف در نظر گرفته نمی‌شود (کلاین و همکاران، ۱۹۹۸).

برف خالص دارای یک NDSI بالاست، اما مقدار NDSI در پیکسل حاوی برف که با سایر پدیده‌ها مخلوط می‌شوند، کاهش می‌یابد. برف در پیکسل‌های مختلط دارای مقدار کمتری در مقایسه با پیکسل‌های خالص است و پیکسل‌های خالص برف با توجه به مقدار بالای NDSI آنها قابل تشخیص است. در مکان‌های جنگلی، تعداد زیادی از پیکسل‌های محتوی برف دارای یک NDSI کمتر از ۰.۶ هستند. به منظور اینکه پیکسل‌های محتوی برف در این مناطق جنگلی به درستی کلاسه بندی شوند، یک حد آستانه پایین‌تر NDSI در نظر گرفته می‌شود. در این حالت‌ها، شاخص‌های NDSI و NDVI به طور مشترک به منظور تشخیص جنگل‌های عاری از برف با جنگل‌های حاوی برف استفاده می‌شوند.

پیکسل‌های جنگلی دارای مقادیر NDVI بالاتری در مقایسه با پیکسل‌های غیر جنگلی هستند. بنابراین با کاربرد همزمان NDVI و NDSI، استفاده از مقادیر پایین‌تر NDSI به عنوان شاخص برف در مناطق جنگلی بدون اینکه کارایی الگوریتم در مناطق غیر جنگلی پایین آید، امکان پذیر است.

در این الگوریتم پیکسل‌های ابری در هر دو داده روزانه و ۸ روزه سطح برف، با استفاده از داده‌های ماسک ابر (MoD35-L2) به عنوان حدودی برای تشخیص سلول‌های

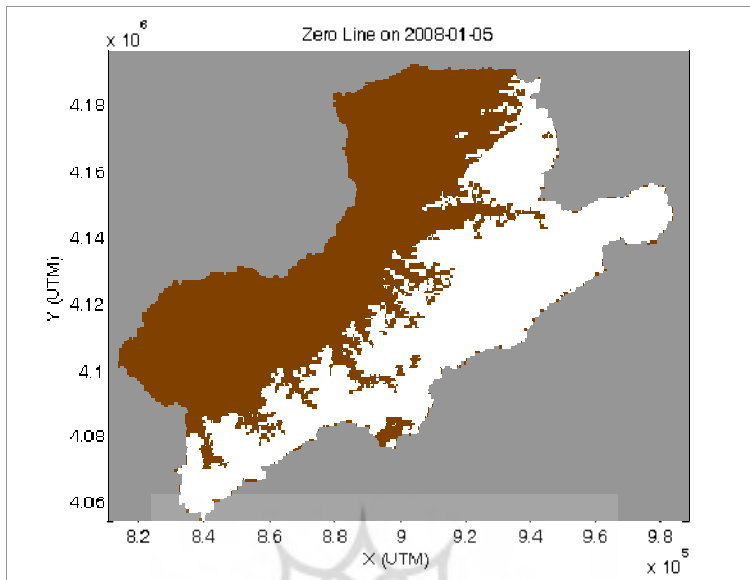
ابری، تعیین می‌گردند. الگوریتم شناسایی ابر شامل یک سری تست‌های طیفی منحصر به فرد و جدید است و در آن از راهکارهای موجود نیز در تشخیص پیکسل‌های ابری استفاده می‌شود (آکرمن و همکاران، ۲۰۰۲).

۳- نتایج

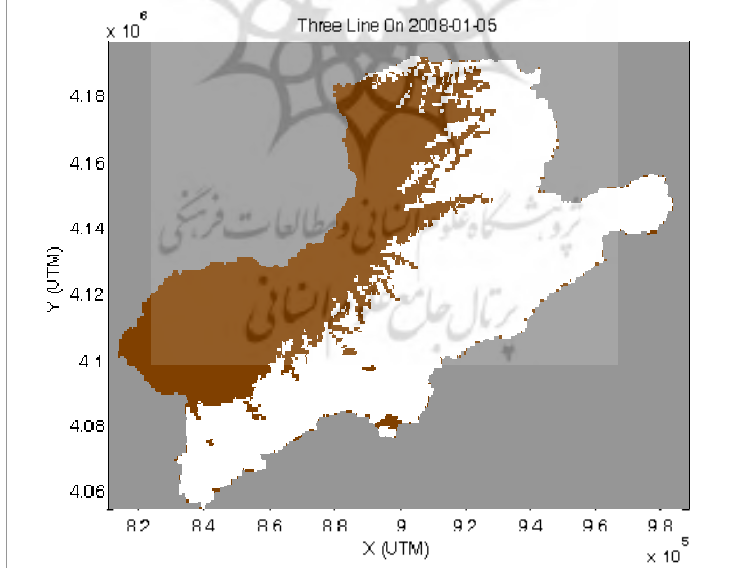
گستره سطح پوشش برف به عنوان یک متغیر اقلیمی و هیدرولوژیک بسیار مهم و برای پیش بینی رواناب سطحی در سطوح برفگیر در طول فصل ذوب برف است. همچنین هر چقدر نسبت رواناب ناشی از ذوب برف به کل رواناب سالانه افزایش یابد، اهمیت پایش سطح پوشش برف نیز بیشتر می‌شود.

در این مطالعه، سطح پوشش برف و دمای سطح برف با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای MODIS برای یک دوره ۹ ساله برای زیر حوضه‌های استان گلستان تخمین زده شد. در ارتفاعات حوضه‌های آبریز مورد مطالعه بارش به صورت برف است و در نتیجه آب حاصل از ذوب برف نقش درخور توجهی در ایجاد رواناب سطحی و ایجاد سیل ایفا می‌کند. همچنین، به لحاظ اینکه بارش برف معرف میزان آب ذخیره شده در حوضه است، لذا پایش مکانی و زمانی سطح پوشیده شده از برف و عمق آب معادل برف از اهمیت بسیار بالایی در مدل‌های هیدرولوژیک به کار رفته در سامانه هشدار سیل منطقه برخوردار است.

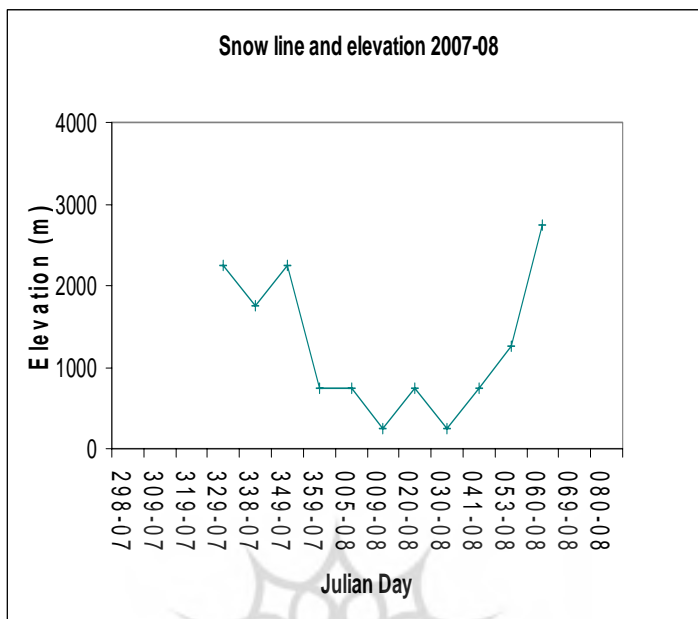
در این مطالعه با استفاده از نقشه دمای به دست آمده، پیکسل‌های با پتانسیل بارش برف (پیکسل‌هایی که دمای سطحی آنها کمتر از ۲۷۳ و یا ۲۷۶ درجه کلوین بود) تعیین گردید. شکل‌های (۴) تا (۵) نمونه‌ای از نقشه‌های خط برف صفر و سه درجه را نشان می‌دهد؛ همان گونه که بیانگر تغییرات سطح برف بر اساس دمای صفر و سه درجه در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۸ است.



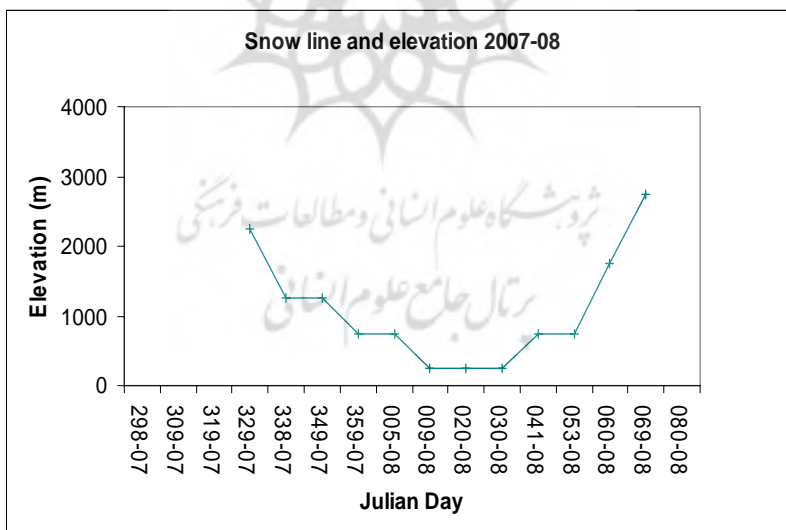
شکل ۲- خط برف صفر درجه با استفاده از داده‌های دمای سطحی مودیس در تاریخ ۲۰۰۸/۰۱/۰۵
مناطقى که در محدوده خط برف صفر درجه قرار می‌گیرند، با رنگ سفید مشخص شده‌اند.



شکل ۳- خط برف ۳ درجه با استفاده از داده‌های دمای سطحی مودیس در تاریخ ۲۰۰۸/۰۱/۰۵
مناطقى که در محدوده خط برف ۳ درجه قرار می‌گیرند با رنگ سفید مشخص شده‌اند.

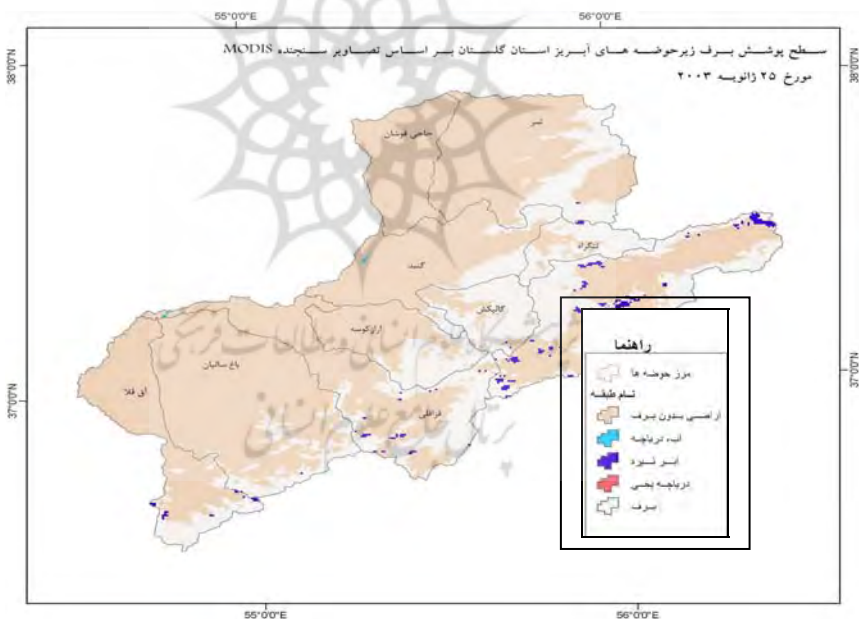


شکل ۴- تغییرات خط برف با ارتفاع برای خط هم دمای صفر درجه در سال ۲۰۰۷-۲۰۰۸

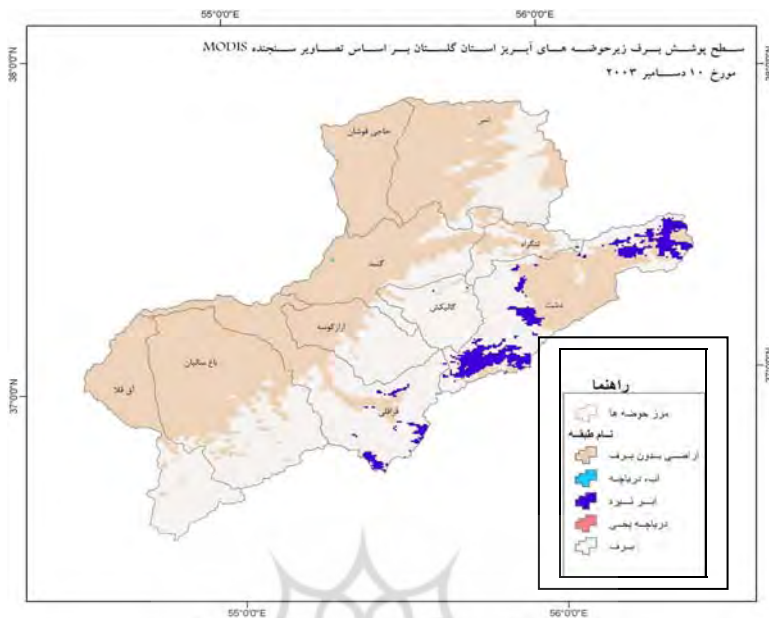


شکل ۵- تغییرات خط برف با ارتفاع برای خط هم دمای صفر درجه در سال ۲۰۰۷-۲۰۰۸

محور Xها در این اشکال نشان دهنده روز ژولیوسی (شماره روز از اول ژانویه) و محور Yها نشان دهنده تعداد کل پیکسل‌های برفی در حوضه است. همان گونه که در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده است، بارش برف در خط صفر درجه و سه درجه از روز ۳۲۹؛ یعنی اواخر ماه نوامبر آغاز می‌شود و تا پایان ماه مارس ادامه می‌یابد. بارش برف در خط صفر و ۳ درجه به حداقل ارتفاع ۲۵۰ متر می‌رسد، درصد تجمعی سطح پوشیده شده از برف در هر منطقه ارتفاعی در شکل‌های ۴ تا ۵ برای خطوط صفر و ۳ درجه نشان داده شده است. همان طور که دیده می‌شود، سطح پوشش برف به ۷۰ درصد کل مساحت حوضه برای خط صفر و ۹۷ درصد کل مساحت در خط سه درجه می‌رسد که بیشترین بارش برف در خطوط ارتفاعی ۱۲۵۰ تا ۲۰۰۰ متر صورت می‌پذیرد.

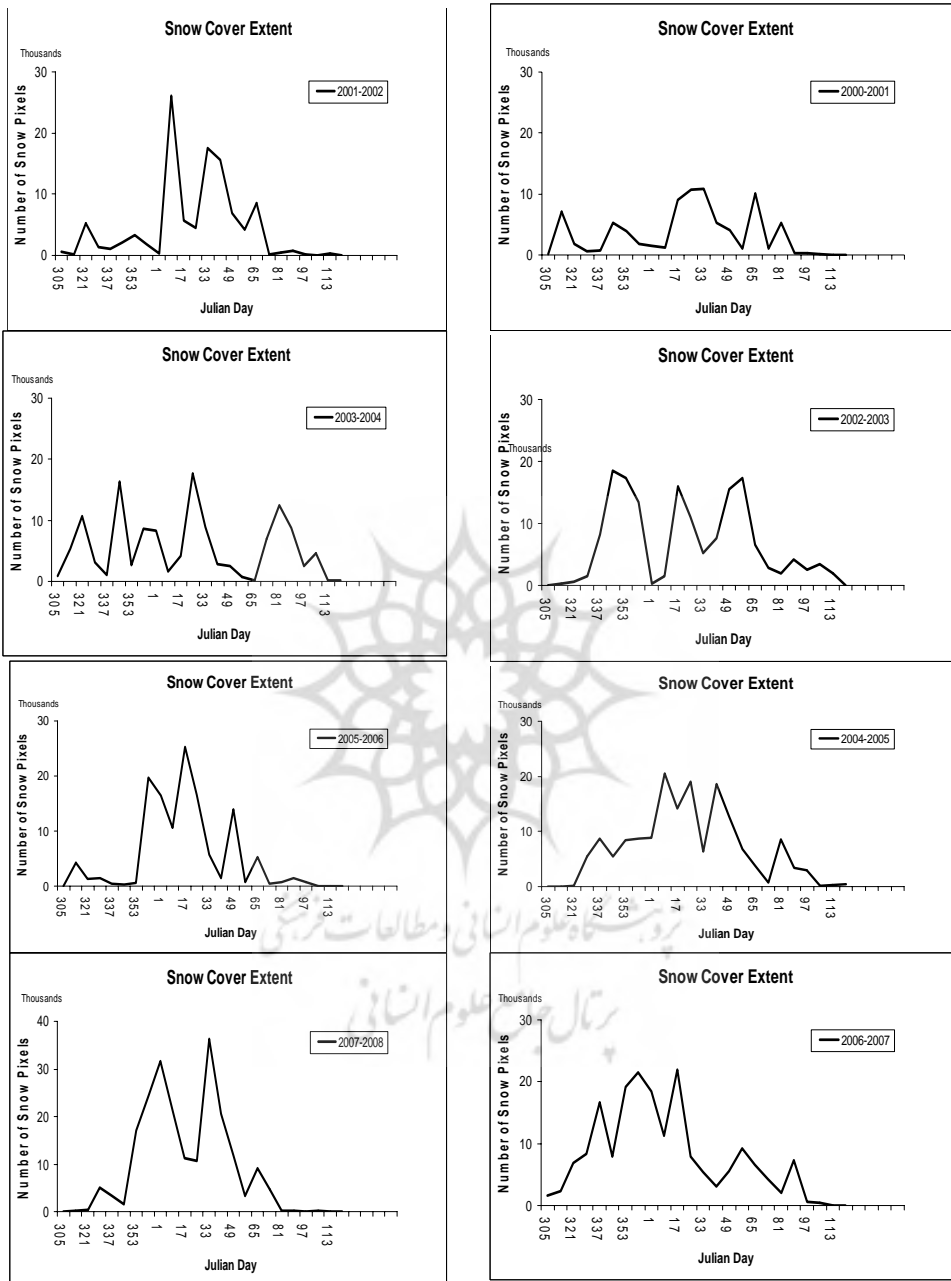


شکل ۶- تغییرات سطح برف طی ۲۵ ژانویه ۲۰۰۳



شکل ۷- تغییرات سطح برف طی ۱۰ دسامبر ۲۰۰۳

شکل‌های ۶ و ۷ نمونه‌ای از سطح پوشش برف زیر حوضه‌های آبریز استان گلستان را براساس تصاویر سنجنده MODIS برای ۲۵ ژانویه و ۱۰ دسامبر ۲۰۰۳ نشان می‌دهد. تغییرات سطح برف طی سال ۲۰۰۱ و ۲۰۰۸ از اول ماه نوامبر تا اول ماه آوریل به صورت ۸ روزه در شکل شماره ۸ نشان داده شده است. از آنجایی که اندازه هر پیکسل در تصاویر مورد مطالعه ۵۰۰×۵۰۰ متر است، سطح پوشیده شده از برف با ضرب تعداد پیکسل‌ها در عدد ۲۵۰،۰۰۰ محاسبه و به منظور پایش و مقایسه زمانی و مکانی گسترده پوشش برف به صورت شکل ۸ خلاصه و ارائه گردید.



شکل ۸- تغییرات سطح برف طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۸ از اول ماه نوامبر تا اول ماه آوریل به

صورت ۸ روزه با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای مودیس (MOD10A2)

نمودارهای فوق روند تغییرات پوشش برف را از شروع دوره سرد تا پایان سطح پوشش برف نشان می‌دهند. با توجه به نمودارهای فوق ملاحظه می‌شود طی دوره سرد سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۰ کمترین و در سال‌های ۲۰۰۸-۲۰۰۷ بیشترین سطح پوشش برف به وقوع پیوسته است. بنابراین، با استفاده از تصاویر MODIS با فواصل مناسب، نظیر هشت روزه امکان پایش زمانی و مکانی پوشش برف و پتانسیل ذخایر برف زمستان میسر شده از نتایج آن می‌توان در زمینه مدیریت منابع آب و سامانه‌های هشدار سیل استفاده کرد.

به منظور بررسی دقت نقشه‌های پوشش برفی نیاز به مقایسه نتایج حاصل از الگوریتم مورد استفاده با داده‌های حاصل از نقشه برداری از سطوح برفگیر انجام نمی‌پذیرد، بنابراین به منظور بررسی صحت و دقت نقشه‌های حاصل از تصاویر MODIS نتایج و مطالعات برخی از محققان را بررسی و تحلیل کردیم.

نتایج مطالعات انجام شده بر روی تصاویر MODIS و استفاده از شاخص NDSI بیانگر دقت بالا و قابل قبول این شاخص است (رایگانی، ۱۳۸۷). لی و همکاران (۲۰۰۱)، با بررسی‌هایی خود داده‌های برف به دست آمده از تصاویر MODIS را با نقشه‌های تهیه شده توسط مرکز سنجش از دور هیدرولوژیک ایالت متحده مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که نقشه‌های تهیه شده از تصاویر MODIS دقت قابل قبولی دارند. بارنت و کلن (۲۰۰۳) برای حوضه آبریز ریوگراند سطوح پوشش برف سال‌های ۲۰۰۱-۲۰۰۰ را با استفاده از تصاویر MODIS مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاصل را با روش‌های اندازه‌گیری زمینی مقایسه کردند، یافته‌های تحقیق آنها نیز نشان داد که دقت سطوح پوشش برف استخراج شده از تصاویر MODIS در شرایط غیر ابری در حدود ۸۸ درصد و خطای حاصل از آنها نیز ۱۲ درصد است.

با توجه به بررسی تحقیقات انجام شده می‌توان بیان کرد که استفاده از تصاویر MODIS راه حل مناسبی برای پایش به هنگام سطوح پوشش برف در حوضه‌های کوهستانی است.

۴- نتیجه گیری

نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که استفاده از تصاویر MODIS و یا ماهواره‌های مشابه، راه حل مفیدی برای پایش زمانی و مکانی پوشش برف و دمای سطح برف برای حوضه‌های کوهستانی است و استفاده از محصولات فوق برای مدل‌های پیش‌بینی هواشناسی و آبشناسی بسیار مهم است. این موضوع در رابطه با محصولات MODIS به علت دارا بودن قدرت تفکیک مناسب و دسترسی آسان و رایگان از طریق اینترنت از جمله اهم امتیازات این سنجنده است که می‌تواند در روند برآورد سطح پوشش برف و برآورد مقادیر آب معادل برف بسیار موثر و سودمند باشد.

- پایش به هنگام سطح پوشش برف در حوضه‌های کوهستانی، ذخایر آبی موجود در این حوضه‌ها را نشان می‌دهد. بنابراین، از نقشه‌های سطح پوشش برف می‌توان به عنوان یکی از پتانسیل‌های آبی در رابطه با بهره برداری از منابع آب استفاده کرد.

یکی از نیازهای مهم اطلاعاتی در رابطه با مدل‌های بارش رواناب تعیین بودجه برفی حوضه است. بودجه برفی حوضه در واقع پارامتر متغیری است که با گذشت زمان در طی فرآیند وقوع یک سیلاب تغییر می‌کند. این متغیر باید توسط مدل پیوسته هیدرولوژی شبیه سازی و تعیین شود. استفاده از محصولات تصاویر MODIS به صورت پایش بهنگام یکی از مهمترین و مفیدترین روش‌های محاسبه انباشت (ذخیره برف) و ذوب برف به ویژه در مطالعات پیش‌بینی و هشدار سیل است و می‌تواند به طور گسترده‌ای در این گونه از مطالعات استفاده شود.

منابع

- ۱- پرهت، ج. (۱۳۸۱). "مدل توزیعی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از داده‌های سنجنش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی" رساله دکتری هیدرولوژی و منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات.

برآورد دمای سطح برف و گستره پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجنده MODIS..... / ۱۶۷

۲- دینی، غ، ضیائیان، ب، علیمحمدی، ع و داداشی، س. (۱۳۸۶). "بررسی سطوح برفگیر در البرز مرکزی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای MODIS و AVHRR و سامانه اطلاعات جغرافیایی"، مجله تحقیقات منابع آب، ش ۳.

۳- رایگانی، ب، خواجه الدین، ج، سلطانی، س و براتی، س. (۱۳۸۷). محاسبه تغییرات نقشه‌های پوشش برفی تهیه شده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS در دوره‌های فاقد تصویر "علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی"، شماره ۴۴.

۴- رسولی، ع، ادهمی، س. (۱۳۸۶). "محاسبه آب معادل از پوشش برف با پردازش تصاویر سنجنده MODIS"، مجله جغرافیا و توسعه، ش ۱۱.

۵- فتاحی، ابراهیم. (۱۳۷۴). "مدل تحلیل کمی ذوب برف حوضه سد لتیان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران.

۶- قنبرپور، م. (۱۳۸۱). "کاربرد سنجنش از دور در تعیین پارامترهای هیدرولوژیکی برف در مناطق کوهستانی"، مجله علمی و فنی سازمان هواشناسی کشور، نیوار، شماره ۴۴ و ۴۵.

۷- نجف زاده، ر، ایریشمی، ا، تجریشی، م، طاهری، ح. (۱۳۸۳). "شبیه سازی جریان رودخانه با مدل ذوب برف"، مجله آب و فاضلاب شماره ۱۲.

8-Ackerman, S., Strabala, K., Menzel, P., Frey, R., Moeller, C., Gumley, L., & et al. (2002). Discriminating clear-sky from cloud with MODIS algorithm theoretical basis document (Mod35), p. 112. Available online at: http://www.modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod06.pdf

9- Barnett, A.C. and A.G. Klein, (2003). Validation of daily MODIS snow cover maps of the upper Rio Grand River basin for the 2000-2001 snow year. Remote Sense. Environ.86:162-176.

10-Carroll T., Cline D., Fall G., Nilsson A., Li L. and Rost A. (2001) NOHRSC operations and the simulation of snow cover properties for the coterminous U.S. *Proceedings of the 69th Western Snow Conference*, Sun Valley, 16-19 April 2001.

11-Dickinson, R. E., Henderson-Sellers, A., & Kennedy, P. J. (1993). Biosphere-Atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version 1e as coupled to the NCAR Community Climate Model, NCAR Tech. Note NCAR/TN- 387+STR, 72 pp. Natl. Cent. For Atmos. Res., Boulder, Colo.

12-Hall, D. K., & Martinec, J. (1985). Remote sensing of ice and snow (pp. 1- 189). London Chapman and Hall.

13-Hall, D. K., Riggs, G. A., & Salomonson, V. V. (1995). Development V.V. Salomonson, I. Appel / Remote Sensing of Environment 89 (2004) 351-360 359 of methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data. Remote Sensing of Environment, 54(2), 127-140.

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

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

16-Klein, A. G., & Barnett, A. C. (2003). Validation of daily MODIS snow cover maps of the Upper Rio Grande River Basin for the 2000-2001 snow year. Remote Sensing of Environment, 86(2), 162- 176.

- 17-Maurer, E. P., Rhoads, J. D., Dubayah, R. O., & Lettenmaier, D. P. (2003). Evaluation of the snow-covered area data product from MODIS. *Hydrological Processes*, 17, 59– 71.
- 18-Malcher, P. and Heidinger, M., (2001) "Processing and data assimilation scheme for satellite snow cover products in the hydrological model". Envisnow EVG1-CT-2001-00052.
- 19-Matson M., Roepewski C.F. and Varnadore M.S. (1986) *An Atlas of Satellite-Derived Northern Hemisphere Snow Cover Frequency*, National Weather Service: Washington, p. 75.
- 20-Peres, L.F. and Dacamara, C.C., (2004). "Land surface temperature and emissivity estimation based on the two-temperature method, Sensitivity analysis using simulated MSG/SEVIRI data" *Remote sensing of environmental*, Vol.91.pp.377-389.
- 21-Price, A.G., (1984). "Prediction of snowmelt rates in a deciduous forest". *Journal of hydrology*, 101:pp 145-157.
- 22-Simpson, J.J., R. Stitt and M. Sienko, (1998). "Improved estimates of areal extent of snow cover from AVHRR data", *Journal of hydrology*, No.204, pp. 1-23.
- 23-Singer F.S. and Popham R.W. (1963) Non-meteorological observations from weather satellites. *Astronautics and Aerospace Engineering*, 1(3), 89–92.

