بررسی کاربرد نقشههای پوشش برفی حاصل از تصاویر ماهوارهای MODIS در مدلسازی رواناب ذوب برف (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد کرج)

میرحسن میریعقوبزاده^۱* و محمدرضا قنبرپور^۲ دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه مازندران، مازندران، ایران. ^۲دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، مازندران، ایران. تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۰۵/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۲/۱۶

چکیدہ

> **کلیدواژهها:** سطح تحت پوشش برف، تصاویر ماهوارهای، SRM، MODIS ، حوزه آبخیز سد کرج *نویسنده مسئول: میرحسن میریعقوبزاده

E-mail: m.miryaghoobzadeh@gmail.com

۱- مقدمه

برف یکی از اشکال مهم بارش در چرخه هیدرولوژی مناطق کوهستانی بوده که در تأمین منابع آب آشامیدنی و کشاورزی به صورت جریانهای تأخیری در فصول پرآبی و جریانهای کمینه در فصول کم آبی و تولید انرژی نقش ارزنده ایفا میکند. از سوی دیگر رواناب حاصل از ذوب برف به دلیل نقش تأخیری آن منبع اصلی تغذیه سفرههای آب زیرزمینی و در برخی از موارد به دلیل همزمانی با بارش های بهاره منشأ بروز سیلاب های مخرب با حجم جریان بیش از ظرفیت رودخانهها میشود (قنبرپور، ۱۳۸۳). توسعه مدلهای پیش.بینی رواناب حاصل از ذوب برف به تعیین پارامترهای مکانی زیادی نیاز دارد. توزیع بارندگی بویژه توزیع زمانی و مکانی بارش برف، رطوبت خاک برای شکل گیری رواناب لازم هستند. با این وجود این اطلاعات اغلب پراکنده و دارای کیفیت پایینی هستند و برای رفع این کمبودها سنجش از دور دارای پتانسیل خوبی است. از آنجا که انباشت برف در مناطق کوهستانی در طول فصل سرما یکی از منابع مهم انرژی بوده و نیز متغیر هیدرولوژیکی سطح تحت پوشش برف به عنوان یکی از متغیرهای اساسی مدل به شمار میرود، لذا دستیابی به اطلاعات مربوط به برف در مناطق مرتفع حائز اهمیت فراوانی است و تنها از طریق تصویربرداری پیوسته به کمک فن آوری سنجش از دور ممکن است، چرا که برداشت زمینی این اطلاعات نیاز به شبکه متراکمی از ایستگاههای برف سنجی داشته که نه تنها از لحاظ اجرایی با مشکلاتی مواجه است، بلکه از نظر اقتصادی در مورد نگهداری و سرویس آنها مقرون به صرفه نیست. اندازه گیری و سنجش برف در حوزههای کوهستانی و شناخت تغییرات آن به دلیل عدم دسترسی مناسب، تأثیر تنوع ویژگیهای توپوگرافی و فیزیوگرافی در برآورد پارامترهای هیدرولوژیکی برف و ناکافی بودن ایستگاههای هواشناسی در مناطق مرتفع ضرورت کاربرد روشهای غیر مستقیم از جمله تحلیل دادههای دورسنجی را نشانا می هاد با استفاده از تصاویر ماهوارهای و کاربرد الگوریتمهای موجود می توان

سطح تحت پوشش برف را با دقت مناسب استخراج نمود (پرهمت،۱۳۸۱). بر آورد سطح تحت پوشش برف با استفاده از تصاویر سنجش از دور به طور معنیداری روند محاسبه و کارایی مدلهای ذوب برف را بهبود میبخشد (;Kite,1991 (Armstrong and Hardman, 1991; Seidel et al., 1994; Singh and Jain, 2003 برف برای نخستین بار در سال ۱۹۶۰ در خاور کانادا توسط ماهواره TIROS-1 سنجش شد. از آن پس، این سنجش بهوسیله ماهوارههایی با قدرت زمانی بالاتر چون Geostationary Operational Envisat) GEOS) و سرىهاى لندست انجام پذیرفت (Engman et al.,1992). (پذیرفت (کرسیون چندگانه (Multiple Linear Regression) را با استفاده از شاخص NDSI برای بر آورد سطح تحت پوشش برف با استفاده از تصاویر ماهوارهای سنجنده MODIS به کار بردهاند. (2002) Hall & Riggs با آستانه گذاری طیفی بین باندهای انعکاسی و مادون قرمز با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر (۰/۵۵ میکرومتر و ۱/۶۷ میکرومتر) و همچنین نسبت گیری طیفی میان باندهای یاد شده، برف و ابر را در تصاویر سنجنده MODIS جداسازی نمودهاند. (Songwen et al.(2003) با استفاده از تصاویر ماهوارهای MODIS و NOAA رواناب حاصل از ذوب برف حوزههای ریوگراند و ریواجو را با تفاضل حجمی به ترتیب ۱۲/۱ و ۱۰/۳ و با ضریب همبستگی ۷/۰ و ۸۹/۰ شبیهسازی کردهاند. (Salomonson & Appel(2004) با استفاده از دادههای ۳۰ متر لندست به عنوان نقشه صحت زمینی درصد سطح تحت پوشش برف را برای دادههای ۵۰۰ متر سنجنده MODIS محاسبه کردند. (Embreeths et al.(2005) با استفاده از دادههای MODIS و با به کارگیری شاخص پوشش برفی NDSI، نقشه سطح تحت پوشش برف را با ضریب تبیین کلی ۶۲% تا ۸۲% در حوزه آبخیز کاراسو از سرشاخههای رودخانه ائوفراتیس واقع در خاور ترکیه برای استفاده در مدل رواناب حاصل از ذوب برف بر آورد کردهاند.(2005) . Hall et al در تحقیقی خطای حاصل از نقشههای

اللي المحافظ

پوشش برفی سنجنده MODIS را در نیمکره شمالی مورد آزمایش قرار دادند. (2006).Julienne et al استفاده از داده های MODIS تغییرات آلبدو در یخچال های گرینلند را با داده های اندازه گیری شده مورد بررسی قرار دادند. راه چمنی و شفیعی علویجه(۱۳۶۷) طی تحقیقی از سوی وزارت نیرو یک مطالعه موردی به منظور شناخت پتانسیل و امکانات مرکز سنجش از دور و به کارگیری تصاویر ماهواره ای موجود برای برآورد سطح تحت پوشش برفی در محدوده البرز مرکزی بویژه حوزه سد کرج انجام دادند. تصاویر ماهواره لندست سنجنده MSS به تعداد ۷ صحنه در ۳ تاریخ ۲۱/۴ (۱۹۷۹ و ۱۹۷۵/۵۷ و ۱۹۷۵/۵۷ در این مطالعه به کار گرفته شده بود که به منظور برآورد سطح تحت پوشش برف از برگردان تصاویر بر روی کاغذ ترانسپارانت و تغییر مقیاس به صورت دستی و خطوط توپوگرافی استفاده شده بود.

پر همت (۱۳۸۱) در مطالعهای با عنوان مدل تفکیک برف، ابر و زمین در تصاویر ماهوارهای NOAA الگوریتمی ارائه نموده است که بر اساس استخراج آستانه از هیستوگرامهای ارزش دادههای ورودی، تحلیل چند طیفی چند مرحلهای عمل می کند. دینی(۱۳۸۵) در مطالعهای موردی تغییرات سطوح برفی را در ارتفاعات البرز با استفاده از تصاویر سنجندههای MODIS و AVHRR مورد بررسی قرار داده است.

۲- مواد و روشها

در این نوشتار به منظور بررسی کاربرد تصاویر ماهوارهای در مدلسازی ذوب برف، از آمار سال آبی ۸۱–۸۰ در حوزه آبخیز سد کرج استفاده شده است. حوزه آبخیز سد کرج یکی از حوزه های برفگیر در رشته کوه البرز که به دلیل قرار داشتن سد کرج در خروجی حوزه از حوزه های مهم در تأمین منابع آب شهرستان تهران به شمار می رود، است. حوزه آز حوزه های مهم در تأمین منابع آب شهرستان تهران به شمار مربع در پهنه جنوبی رشته کوه البرز مرکزی بین "۲۶/۲۰ ۳۵ ۵۳ تا "۲۸/۲۶ کیلومتر عرض شمالی و "۶/۲۹ ۳۰ ۵۱۰ تا "۲۴/۳۰ ۵۳ ۵۱ مول خاوری واقع شده است. رقوم ارتفاعی آن از ۲۰۱۰ تا ۴۳۰۰ متر متغیر و در آن رودخانه های مهمی چون کرج، شهرستانک، آب ورزن، مورود، سبدک، وارنگه رود، ولیت رود جریان دارند. شکل ۱ موقعیت این حوزه را در پهنه ایران نشان می دهد.

به منظور بررسی کاربرد تصاویر ماهوارهای در مدلسازی جریان رواناب حاصل از ذوب برف از تصاویر ماهوارهای MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) به دلیل قدرت تفکیک زمانی بالا که دارای دوره باز گشت یک روز است، همچنین دارای قدرت تفکیک مکانی بالا نسبت به تصاویر ماهوارههای مشابه است، استفاده شده است. این سنجنده در ۱۸ دسامبر سال ۱۹۹۹ بر روی ماهواره TERRA مستقر و در مدار زمین قرار گرفته است. این پوشش با پر تاب ماهواره Aqua در ۴ MoDIS افزایش چشمگیری یافته است. سنجنده MODIS دارای ۳۶ باند در محدوده طیفی ۴۱/۰ تا ۱۴/۵ میکرومتر بوده و قدرت تفکیک آن در زاویه عمود به سطح زمین ۲۵۰ متر در ۲ باند طیفی، ۵۰۰ متر در ۵ باند و ۱۰۰۰ متر در ۲۹ باند طیفی است. ۲۰ باند آن در ناحیه باند مرئی محدوده ۴۱/۰ الی ۲/۱ میکرومتر بوده و ۱۶ باند طیفی باقیمانده این سنجنده در ناحیه حرارتی بالاتر از ۳/۷ میکرومتر است. باندهای انعکاسی (Reflective solar band) سنجنده MODIS توسط جسم متحرک تابشی و یا صفحه ثابت تابشی و باندهای حرارتی (Thermal emissive band) آن نیز توسط جسم سیاه که در داخل سکو تعبیه شدهاند واسنجی می شوند. ماهواره Aqua دارای ۵ سنجنده از جمله MODIS است و پهنه روبش آن ۲۳۳۰ کیلومتر است. جدول ۱ سری زمانی تصاویر ماهوارهای MODIS به کار رفته در این نوشتار را نشان میدهد.

۲-1. نقشه پوشش برفی

کر تهیه نمانه پو کمان ارکی عمده روش های رایج عبار تند از روش تفسیر چشمی یا روش

آستانه گذاری بر شدت روشنایی که در این حالت بیشترین درجه روشنایی به برف نسبت داده می شود و روش رقومی که با استفاده از ارقام طیفی هر پیکسل در تصاویر چند طیفی نقشه برف تهیه می شود. روش های کلاسیک تهیه نقشه پوشش برفی بر پایه کنتراست بین ابر و پوشش برفی استوار هستند(جلوخانی، ۱۳۸۳). روش های متعددی بر پایه تفسیر رقومی وجود دارد که برای بر آورد و جداسازی پوشش برفی مورد استفاده قرار می گیرد. در این نوشتار، از روش شاخص پوشش برفی و با استفاده از روش دانش مبنا (Knowledge Base) بر اساس ویژ گی های بازتابش برف و همچنین ابر، زمین و آب نسبت به تهیه نقشه پوشش برفی اقدام شد. روشی را که در آن دانش موجود در داخل یک سری از قوانین فرموله می شود در اصطلاح دانش مبنا نامیده می شود. ۲–۲. ویژگی های بازقابشی برف و شاخص پوشش برفی

:NDSI(Normalized Difference Snow Index)

باز تابندگی سطح برف به شدت از تغییر عواملی چون دانهبندی، شکل، محتوی آب، زبری سطح، ژرفا و ناخالصی برف و همچنین زاویه فرود خورشیدی و زاویه انعکاس تأثیر می پذیرد. افزایش سن برف از میزان باز تابندگی آن در نواحی طیفی مرئی و فروسرخ نزدیک می کاهد که عامل اصلی این کاهش افزایش دانهبندی برف به دلیل ذوب و انجماد دوباره آن است(Barton,2001). میزان امواج کوتاه و بلند که در سطح برف دریافت می شود می تواند منبع مهمی برای فرایند ذوب برف باشد. مهم ترین ویژگی نوری (اپتیک) برف که باعث اختلاف در باز تابش طیفی برف می شود، اختلاف در محدوده طیفی مریی و مادون قرمز است. به منظور بررسی نحوه باز تابش باندهای مورد اشاره در تفکیک برف از ابر و زمین در جهت محور عمود نیمرخ طیفی زده شد و باز تابش عناصر برف، ابر و زمین مورد بررسی قرار گرفت.

سنجنده MODIS نقشههای با قابلیت مشاهده پوشش برفی با استفاده از شاخص پوشش برفی را در مقیاس های وسیع و استفاده سریع در مطالعات منطقهای را فراهم می نماید (NDSI یک Appel, 2004). شاخص پوشش برفی NDSI یک نسبت گیری طیفی است که از اختلاف طیفی باندهای مادون قرمز و باند مرئی در سنجنده MODIS برای تشخیص تغییرات سطح تحت پوشش برف همانند الگوریتم شاخص پوشش گیاهی MODI (Normalized Difference Vegetation Index) استفاده شاخص پوشش گیاهی NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) استفاده می کند (Normalized Difference Vegetation Index) NDVI) استفاده طیفی برف که در باند مرئی دارای بازتاب بالا و محدوده طیفی مادون قرمز دارای بازتاب پایین است، برای بارزسازی برف از ابر و نواحی بدون پوشش برفی استفاده می کند (Hall et al., 2002). شاخص ممانند بسیاری از شاخص همانند بسیاری از می کند (۱/۹۴) به مجموع دو باند یاد شده است که طبق رابطه زیر محاسبه قرمز آن (۱/۹۴) (Hall & Riggs, 2002).

$NDSI = \frac{Band (0.555 \ \mu m) - Band(1.64 \ \mu m)}{Band (0.555 \ \mu m) + Band(1.64 \ \mu m)}$ (1)

طبق مطالعات (2004) Salomonson & Appel برای بر آورد سطح تحت پوشش برف با باندهای ۵۰۰ متر سنجنده MODIS به کار گیری شاخص NDSI کافی است. این الگوریتم همراه با دو آستانه گذاری دیگر مورد استفاده قرار می گیرد: ۱- بازتاب باند ۲ بالاتر از ۱۱ % که این عامل برای جداسازی برف از آب است. ۲- بازتاب باند ۴ بالاتر از ۱۰ % که این عامل اشیای تاریک را از صحنه خارج می کند.

شاخص پوشش بر فی NDSI تنها به انواع خاصی از ابر هایی که دارای ذرات یخ هستند و یا بعضی از ابر هایی که باز تاب آنها مانند برف است، حساس می باشد (Halletal., 1995).

3- نتايج

۳-1. تصحيحات هندسي

زمین مرجع نمودن دادههای ماهوارهای MODIS با توجه به قدرت تفکیک ۵۰۰ متر و با در نظر گرفتن این که هر پیکسل از تصاویر، سطحی معادل ۵۰۰ x ۵۰۰ را می پوشاند در بر آورد سطح تحت پوشش برف بسیار مهم بوده و زمین مرجع نمودن این دادهها حائز اهمیت فراوانی است. تصحیحات هندسی تصاویر ماهوارهای با استفاده از روش تصویر به تصویر (Image to Image Registration) بر مبنای تصویر زمین مرجع شده TM و با معادله درجه یک و روش نزدیک ترین همسایه (Rothoo) معادل استفاده از روش معموع میانگین مربعات با فترون بر بررسی درستی تصحیحات هندسی توسط فرایند زمین مرجع تصاویر با استفاده از لایه آبراهه و مرز حوزه که با توجه به قدرت فرایند زمین مرجع تصاویر با استفاده از لایه آبراهه و مرز حوزه که با توجه به قدرت فرایند زمین مرجع تصاویر از عوارض قابل اطمینان است که در این مورد تصحیحات هندسی اشتباه منجر به ورود دادههای سطح پوشش برف نادرست به مدل و در نتیجه شیه سازی نادرست خواهد شد، استفاده شد. شکل ۲ آزمون دقت فرایند زمین مرجع با استفاده از لایه آبراهههای حوزه را نشان می دهد. همچنین جدول ۲ میزان خطای میانگین مربعات باقی مانده را نشان می دهد. همچنین جدول ۲ میزان خطای

$$= \left(\sum_{k=1}^{\lambda} \left(e_{i\lambda}\right)^{2} / N\right)^{\frac{1}{2}}$$
(Y)

که در آن eiλ: مقادیر باقیمانده ناشی از اختلاف میان پیکسل.های زمین مرجع و

RMSE

پیکسل،های تصحیح نشده، N: تعداد کل پیکسل،ها

۲-۳. بررسی میزان بازتابش عناصر زمین و برف در تصاویر ماهوارهای MODIS

با در نظر گرفتن این مطلب که پایش برف به دلیل متغیر بودن زمانی و مکانی (Temporal and Spatial variable) برف که تابع شرایط ذوب و بارش دوباره است و نیز به دلیل عدم نقشهبرداری زمینی (Snow Telemetery) پدیده یاد شده در نتیجه تهیه نقشه دقت زمینی برای بررسی دقت تفسیر رقومی امکان پذیر نیست(Townshend, 1996). به منظور تعیین درستی دانش مربوط به ویژگیهای باز تابشی برف و سایر پدیدهها و نیز میزان دقت شاخص پوشش برفی در تصاویر ماهواره ای MODIS برای بر آورد سطح تحت پوشش برفی و ورود اطلاعات پوشش برف به مدل MODIS (Snow Melt Runoff Model) میزان اختلاف در باز تابش باندهای پیشنهادی در جهت عمود بر سطح منطقه مورد مطالعه نیمرخبرداری و نتایج مقایسه شد. منظور از نیمرخ استخراج اطلاعات درجه روشنایی در طول یک برش مشخص از نقطه a تاط در تصویر است. محور افقی در نیمرخ تعداد پیکسل های مقطع و محور عمودی مقادیر دادههای ورودی در هر پیکسل از تصویر را نشان می دهد.

3-3. برآورد سطح تحت پوشش برفی

میزان سطح تحت پوشش برف در تصاویر ماهواره ای MODIS بعد از تصحیحات هندسی با استفاده از شاخص پوشش برفی و با آستانه گذاری طیفی بر روی باندهای ۲ و ۴ و تفکیک عناصر ابر و زمین از تصاویر محاسبه شد. شکل ۸ سطح تحت پوشش برف را در دوره آماری به کار رفته را نشان می دهد.

مقادیر سطح تحت پوشش برف در حوزه آبخیز سد کرج در سال آبی ۸۱–۸۰با استفاده از طبقهبندی شاخص پوشش برفی طبق جدول ۳ بهدست آمده است.

3-4. درونیابی سطح تحت پوشش برف

در این تحقیق مساحت حوزه آبخیز سد کرج جهت مدلسازی رواناب حاصل از ذوب برف به ۵ زون ارتفاعی با حدود طبقات (Altitude Range) ۵۰۰ متر در محیط GIS تق**ایم بلک کر** مطلع تلاک پوشش برف در هر یک از زونهای تفکیک شده بهدست

آمد. سپس سطح تحت پوشش برف به روزهای فاقد تصاویر ماهوارهای دورزیابی شد. سطح تحت پوشش برف در حوزه آبخیز سد امیرکبیر توسط درونیابی و برونیابی از سری زمانی تصاویرماهوارهای MODIS بر اساس الگوریتم ارائه شده توسط Malcher &Heidinger(2001) محاسبه شد. ماهواره حامل سنجنده MODIS به صورت روزانه از سطح زمین تصویربرداری مینماید اما به دلیل هزینهبر بودن تهیه تصاویر ماهوارهای و همچنین زمانبر بودن پردازش و استخراج روزانه سطح تحت پوشش برف در حوزههای آبخیز عملاً امکان استفاده روزانه از تصاویر ماهوارهای منتفی است. انتخاب تاریخ تصاویر ماهوارهای به دلیل ماهیت پیچیده برف و تغییرات زمانی و مکانی آن بسیار مهم بوده و میتواند دقت تعیین سطح پوشش برف را تحتتأثیر خود قرار دهد. مضاف بر این که عامل تغییرات دمایی نیز در این بین بسیار حیاتی است و با در نظر داشتن روند ذوب در فصل ذوب برف که پیش تر به آن اشاره شد، عامل دما در ذوب برف بیشتر از پدیدههای دیگر مانند بارش باران بر روی برف پشته و یا مقادیر پر توافشانی در روند ذوب شدن برف پشته تأثیر گذار است. برون یابی سطح پوشش برف نيز با توجه به تعيين دماي ريزش برف در هر يک از زونهاي ارتفاعي تعيين مي شود. در آخر، با در نظر گرفتن تمامی این عوامل سطح تحت پوشش برف با درونیابی و برونیابی سطح پوشش برف استخراج شده از تصاویر ماهوارهای MODIS بهدست میآید. بر اساس الگوریتم مالچر عامل ذوب تابعی از درجه حرارت بحرانی و فاکتور درجه– روز است و طبق معادله زیر بیان می شود (Malcher & Heidinger, 2001) : $\Delta M(t_1, t_2) = \sum (aT)$ رابطه (۳)

که در آن: ∆M: ژرفای تجمعی ذوب برف، a:فاکتور درجه–روز و T: دمای بحرانی است.

سطح تحت پوشش برف با توجه به دمای بحرانی، بر اساس رابطه زیر تعیین میشود (نجف زاده، ۱۳۸۳):

$$S(t_n) = S(t_{n-1}) - \frac{S(t_1) - S(t_2)}{\Delta M(t_1, t_a) + \Delta M(t_b, t_2)} \cdot \Delta M(t_{x-1}, t_x)$$
 (f)

که در آن (s(t_n): مساحت تحت پوشش برف در روز nم، M۸: میزان ذوب، t, روز شروع ذوب، t, روز خاتمه ذوب، t_a, ظامله زمانی بدون ذوب، tx فاصله زمانی دارای ذوب است. **۳–۵. شبیه سازی رواناب حاصل از ذوب برف**

در این نوشتار برای مدل سازی رواناب حاصل از ذوب برف در حوزه آبخیز سد کرج از مدل SRM که سطح تحت پوشش برف را از طریق تصاویر ماهواره ای تأمین و به عنوان یکی از متغیرهای اساسی وارد مدل می نماید، استفاده شده است. مدل های کمی در زمینه هیدرولوژی وجود دارند که از داده های سنجش از دور به عنوان ورودی اطلاعات استفاده می کنند. یکی از مدل هایی که از داده های دور سنجی به صورت مستقیم استفاده می کنند مدل هیدرولوژیکی SRM است (1996, Parine & معورت این مدل برای اولین بار توسط (1975) SRM است (1996, Rango). در حوزه های کوهستانی آلپ ارائه شده و نسخه تحت ویندوز آن در سال ۲۰۰۳ ارتفا یافته است. برای محاسبه جریان ناشی از بارش باران و ذوب برف در این مدل نیاز به نواحی ارتفاعی به عنوان ویژگی های فیزیکی حوزه و دما، بارش، سطح تحت پوشش نواحی ارتفاعی به عنوان ویژگی های فیزیکی حوزه و دما، بارش، سطح تحت پوشش نرف، جریان اندازه گیری شده به عنوان متغیرهای ورودی و ضریب جریان برف، نرف، ضریب فرو کش جریان و زمان تأخیر به عنوان پارامترهای ورودی به مدار. در بارش، ضریب فرو کش جریان و زمان تأخیر به عنوان پارامترهای ورودی به مدل. ایستگاه سیرابه دلیل قرار داشتن در قسمت تقریبا" خورجی حوزه وه مچنین به علت دارا

تا وجاد ال

بودن آمار کامل و دقیق به عنوان ایستگاه معرف در نظر گرفته و دادههای دبی اندازه گیری شده در این ایستگاه وارد مدل شد. با محاسبه و ورود اطلاعات متغیرها و پارامترهای یاد شده، مدل هیدرولوژیکی رواناب حاصل از ذوب برف (SRM)اجرا شد. میزان دبی محاسبه شده توسط مدل و نیز جریان اندازه گیری شده توسط ایستگاه در شکل ۱۰ نشان داده شده است.

میزان خطای حاصل از مدلسازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از آزمون مقایسه میانگینها (t-test)، ۴۷۵، محاسبه شده است. با توجه به مقادیر بهدست آمده از نمایه آماری t-test دیده میشود که دبی اندازه گیری شده و مشاهداتی اختلاف معنیداری در سطح ۹۵%ندارند. مقادیر ضریب تبیین و تفاضل حجم حاصل از مدلسازی ذوب برف نیز به ترتیب ۶۶۷۸، و ۱۲۹۲، محاسبه شده است.

۴- بحث و نتیجهگیری

شاخص پوشش برفی به دلیل در نظر گرفتن اختلاف طیفی ما بین پدیدههای با بازتابش نزدیک به برف مانند ابر الگوریتم قابل قبولی را ارائه میدهد. با در نظر گرفتن این که مدل رواناب حاصل از ذوب برف به دادههای روزانه سنجش از دور برای مدلسازی رواناب حاصل از ذوب برف نیازمند است و نیز این مطلب که به کار گیری روش های متعدد حتی با دقت بالاتر مستلزم صرف وقت و هزينه است قابل توجه بوده و در تهيه نقشه پوشش برفی روزانه برای مدلسازی ذوب برف مورد استفاده قرار می گیرد. از عواملی که موجب تغییر در بر آورد سطح تحت پوشش برفی حاصل از شاخص NDSI می شود، تغییر پذیری در اندازه دانههای برف است. همچنین تغییر در زاویه دید سنجنده و درجات روشنایی برف ناشي از ناهمساني پوشش برف و تغيير شرايط جوي مي تواند در تجزيه طيف توسط شاخص پوشش برفی خطا ایجاد نماید. نتایج پژوهشگران نشان میدهد که تغییرات سطح پوشش برف و شاخص پوشش برفی به صورت معنیداری به یکدیگر وابستهاند بویژه زمانی که به صورت منطقهای و در سطح وسیع مورد استفاده قرار می گیرد. با توجه به پروفیل های بازتابشی باندهای شاخص پوشش برفی می توان چنین نتیجه گرفت که باندهای یاد شده در شاخص پوشش برفي توان جداسازي برف را از ساير پديدهها مانند زمين و ابر را دارا است. آستانه گذاری های یاد شده بر روی باندهای ۴ و ۶ نیز برف رااز سایر منابع رطوبتی جداسازی مینماید که نتایج حاصل با تحقیقات (Salomonson & Appel(2004) در سه حوزه آبخیز در کانادا، آلاسکا و سیبری و همچنین با تحقیقات (Hall et al.(2002 مطابقت دارد. با توجه به نتایج حاصل از نیمرخ تصاویر تاریخهای ۲۰۰۱/۱۲/۲۵ و ۲۰۰۲/۲/۲ و ۲۰۰۲/۳/۲ میتوان چنین نتیجه گیری کرد که میزان بازتابش طیفی سطح برف در ناحیه باند مرئی بالاتر از پدیده زمین و میزان بازتابش برف در ناحیه باند مادون قرمز نسبت به زمین بسیار کم است، با توجه به این که باند مادون قرمز حامل اطلاعات دمایی است و برای مطالعه آن لاز م است تا میزان تابش رسیده به سنجنده به میزان تابش از پدیده تصحیح شود اما بدون تبدیل دمای روشنایی (Brightness Temperature) به دمای درخشندگی (Radiance) میتوان چنین نتیجه گیری نمود که میزان دمای سطح (Surface Temperature) زمین از برف بیشتر است. با توجه به نتایج حاصل از نیمرخ در تصاویر ۲۰۰۲/۱/۶ و ۲۰۰۲/۴/۳۰ می توان چنین ابراز داشت که میزان بازتابش طیفی ابر بسیار نزدیک به برف بوده و میزان بازتابش زمين در مرتبه دوم قرار مي گيرد. در ناحيه باند مادون قرمز دماي روشنايي ابر و برف از زمین کمتر است همچنین نتایج، گویای آن است که میزان دمای روشنایی ابر از برف نیز کمتر است که این مسئله میتواند از قرارگیری ابر در ناحیه ارتفاعی بالاتر ناشی شود. سنجنده MODIS با دارا بودن باند مادون قرمز میانی و با ترکیب با باندهای

مرئی می تواند برف را از انواع پدیده های ابر و زمین تفکیک نماید. با توجه به قدرت تفکیک نسبتا" پایین تصاویر MODIS نسبت به تصاویر با قدرت تفکیک بالا مانند لندست فرایند زمین مرجع بایستی با دقت بالایی صورت پذیرد. تصاویر ماهوارهای کار محکاری لاریک باری به عنوان یکی از منابع مهم آب در حوضه های کشور

بویژه حوضههای کوهستانی می تواند اطلاعات بسیار با اهمیتی را در اختیار مدلهای هیدرولوژیکی قرار دهد. در تحقیق راه چمنی و شفیعی (۱۳۶۷) از تصاویر سنجنده MSS در طی ۳ تاریخ استفاده کرده بودند. با توجه به قدرت تفکیک مکانی بالای تصاویر ماهواره لندست نسبت به تصاویر سنجندههای هواشناسی از لحاظ مدلسازی هیدرولوژیکی به دلیل تغییرات مکانی و زمانی زیاد پدیده برف قدرت تفکیک زمانی تصاویر با تعداد زیاد در فصل انباشت و ذوب برف نیز در مدلسازی هیدرولوژی برف حائز اهمیت فراوان است. تصاویر ماهوارهای MODIS با قدرت تفکیک زمانی یک روز پتانسیل لازم در بر آورد بهتر سطح تحت پوشش برفی را دارا هستند.

اعتبار سنجی نقشه های سطح تحت پوشش برف حاصل از داده های سنجش از دور با داده های برف سنجی دارای محدودیت فراوانی است. به عنوان نمونه می توان دلایل زیر را برای محدودیت داده های اندازه گیری زمینی در اعتبار سنجی نقشه های حاصل عنوان نمود: ۱- از لحاظ مکانی داده های برف سنجی و دور سنجی دارای شرایط یکسان نیست. ۲- تشتک برف سنجی نسبت به داده های سنجش از دور با قدرت تفکیک مکانی ۵۰۰ متر اندازه کوچک تری را دارا هستند.

۳- دادههای برفسنجی تنها می توانند برف و زمین را از یکدیگر تفکیک نمایند.
 ۴-میاننقاط کنترل زمینی وقدرت تفکیک مکانی دادههای ماهواره ای اختلاف وجو ددارد.
 ۹-میارت دیگر سطح یک پیکسل ۵۰۰×۵۰۰ متر بوده که نقاط کنترل زمینی سطح کمتری را پوشش می دهند بنابراین ممکن است درصدی از سطح یک پیکسل دارای برف نباشد.
 ۵- تداوم بین دادههای برف سنجی زمینی موجود نیست. بنابراین دادههای اندازه گیری زمینی یکی از گزینه های کمتر عملی در اعتبار سنجی نقشه های پوشش برفی ناشی از رمینی یاد.
 دادههای دور سنجی زمینی موجود نیست. بنابراین دادههای اندازه گیری دمینی یکی از گزینه های کمتر عملی در اعتبار سنجی نقشه های پوشش برفی ناشی از دادههای دور سنجی است (Simpson et al., 1998).

با توجه به هیدرو گراف در سال آبی ۸۱–۸۰ دیده می شود که حجم جریان در فصل ذوب بویژه در ماه آوریل به بیشترین مقدار خود می رسد و از ۱۰ متر مکعب بر ثانیه در ماه های سپتامبر تا مارس (مهر الی اواخر اسفند) به ناگاه به ۳۵ متر مکعب بر ثانیه در ماه آوریل (اواسط فروردین) می رسد. که این میزان دبی در طول فصل بهار ادامه می یابد. هیدرو گراف خروجی در ابتدا بیان گر این مطلب است که عمده بودجه آبی حوزه آبخیز سد کرج از بارش برف تأمین می شود. همچنین اثر تأخیری برف بر روی جریان حوزه را نیز در هیدرو گراف های خروجی دیده می شود که لزوم مدیریت منابع آب این حوزه را نیز در میدرو گراف های خروجی دیده می شود که لزوم مدیریت منابع آب این حوزه را بهار با بارش باران در روزهای گرم این فصل که دمای قطرات باران بالا است را گوشزد می نماید. مدل SRM برای شبیه سازی رواناب حاصل از ذوب برف سطح تحت پوشش برف را در حوزه های که فاقد آمار برف سنجی است، از طریق تأمین این دادهها از تصاویر ماهوارهای فراهم می کند. این مسئله با توجه به این که در ایران در در بیشتر حوزه ها برداشت داده های برفستجی صورت نمی پذیرد یک برتری بسیار عالی به شمار می آید.

ارزیابی جریان شبیه سازی شده با مدل رواناب حاصل از ذوب برف از نقطه نظر توابع ارزیابی که نحوه کارکرد مدل را نتیجه می دهد با دو شاخص ضریب تبیین و Songwen et al. (2003) از تحقیقات (2003) Songwen et al. (2003) د در حوزه آبخیز ریو گراند با تفاضل حجمی ۱۲/۱ و ۱۰/۳ و ضریب تبیین ۱۸/۹ و ۱/ مطابقت می نماید. نتایج حاصل از تحقیقات (2000) Schaper & Seidel که رواناب حاصل از ذوب برف را در حوزه ماسا- بلاتن با مدل SRM با ضریب تبیین ۱۶/۶ و تفاضل حجم ۱۳/۶% به دست آمده است نیز نتایج حاصل از این تحقیق را تأیید می کند.

سپاسگزاری

نگارندگان از داوران محترم که با صبر و شکیبایی مقاله حاضر را نقد و بررسی نمودهاند، تشکر و قدردانی مینمایند.





شکل ۱– موقعیت حوزه آبخیز سد کرج و ایستگاههای هیدرومتری

جدول ۲– میزان میانگین مربعات خطای تولید شده در فرایند زمینمرجع نمودن تصاویر ماهوارهای MODIS

RMSE	تعداد نقاط كنترل	روز	ماہ	سال
•/90•1	۳۸	۲۵	١٢	۲۰۰۱
•////	۲۹	۶	١	77
•/٩٧١٧	34	۲	۲	77
•/9•VA	۴.	۲	٣	77
•/٧٣٩٣	٣٩	۳.	۴	77



شکل ۲- آزمون دقت فرایند زمینمرجع با استفاده از لایه آبراهههای حوزه

جدول۱- ویژگیهای تصاویر MODIS مورد استفاده

ماهواره	روز	ماه	سال	رديف
Terra(am)	۲۵	دسامبر	۲۰۰۱	١
Terra(am)	6	ژانويه	77	۲
Terra(am)	۲	فوريه	77	٣
Terra(am)	۲	مارس	77	۴
Terra(am)	٣.	آوريل	77	۵

جدول ۳- سطح تحت پوشش برف در سال آبی ۸۱-۸۱ در تصاویر MODIS به کیلومتر مربع

سطح تحت پوشش بدون برف	سطح پوشش برف	تاريخ
186/88	692/046	۸۰/۱۰/۴
226/11	524/91	۸۰/۱۰/۱۶
٩٠/٣٢	۵۸۹/۲۹	۸۰/۱۱/۱۳
) • V/V9	V•۶/۸۲	۸۰/۱۲/۱۱
۶۲۰/۳۹	194/77	۸۱/۲/۱۰



شکل ۳- نیمرخ بازتابشی در تصویر تاریخ ۲۰۰۱/۱۲/۲۵ ، الف) باند مرنی ب) باند مادون قرمز میانی





شکل ۴- نیمرخ بازتابشی در تصویر تاریخ ۲۰۰۲/۱/۶ ، الف) باند مرئی ب) باند مادون قرمز میانی



شکل ۶- نیمرخ بازتابشی در تصویر تاریخ ۲۰۰۲/۳/۲ ، الف) باند مرئی ب) باند مادون قرمز میآنیWWW.SID



شکل ۵- نیمرخ بازتابشی در تصویر تاریخ ۲۰۰۲/۲/۲ ، الف) باند مرئی ب) باند مادون قرمز میانی



شکل ۷- نیمرخ باز تابشی در تصویر تاریخ ۲۰۰۲/۴/۳۰ ، الف) باند مرئی ب) باند مادون قرمز





شکل ۸- تغییرات سطح پوشش برف استخراج شده از الگوریتم شاخص پوشش برفی در سال آبی ۸۱–۱۳۸۰ (پیکسل های سفید =برف، پیکسل های تیره= زمین و ابر)



شکل ۹- سطح تحت پوشش برف درونیابی شده به روزهای فاقد دریافت تصاویر ماهوارهای در سال آبی ۸۱-۸۰



شكل ۱۰- جريان شبيهسازي شده توسط مدل SRM

کتابنگاری

- پرهمت، ج.، ۱۳۸۱- مدل توزیعی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از دادههای سنجش از دور، رساله دکتری، واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد تهران.
- جلوخانی نیارکی، م. ، ۱۳۸۲– تهیه نقشه پوشش برف با استفاده از تصاویر ماهواره نوآ، مطالعه موردی حوزه آبخیز سد کرج، پایاننامه کارشناسیارشد، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۲۱ صفحه.
- دینی، غ.، ضیائیان، پ.، فرجزاده، م.، ۱۳۸۵– بررسی تغییرات سطوح برفی در ارتفاعات البرز مرکزی با استفاده از تصاویر سنجندههای MODIS و AVHRR، مجموعه مقالات همایش ژئوماتیک، سازمان نقشهبرداری کشور، ۷ صفحه.
- راهچمنی، ع.، شفیعی علویجه، ر.، ۱۳۶۷– کاربرد تصاویر ماهوارهای در هیدرولوژی برف، گزارش مأموریت به مرکز سنجش از دور ایران، دفتر بررسیهای منابع آب وزارت نیرو.

نجفزاده، ر.، ابریشم چی، ا. و تجریشی، م.، ۱۳۸۳ – شبیهسازی جریان رواناب رودخانه با مدل SRM و با استفاده از دادههای سنجش از دور، مجله آب و فاضلاب، شماره ۵۲. WWW.SID.ir



References

- Armstrong, R., Hardman, M., 1991- Monitoring global snow cover. Proceedings of IGARSS, Remote sensing: Global monitoring for earth management, IEEE, vol. 4, 1947–1949 pp.
- Barton, J. S., Hall, D. K. & Riggs, G. A., 2001- Remote sensing of fractional snow covers using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data, Proceedings of the 57th Eastern Snow Conference, May 17–19, 2000, Syracuse, NY, 171–183 pp.
- Dozier, J., 1989- Spectral signature of alpine snow cover from the Landsat Thematic Mapper, Remote Sensing of Environment, no. 28, 9–22 pp. Engman, E. T. & Gurney, R. J., 1992- Remote Sensing in hydrology, Chapman and Hall, pp. 225
- Ghanbarpour, M. R., Saghafian, B., Saravi, M. & Abaspour, K., 2007- Evaluation of spatial and temporal variability of snow cover in a large mountainous basin in Iran, Nordic hydrology journal, vol. 38, no. 1, 45-58 pp.
- Hall, D. K., Foster, J. L., Salomonson, V.V., Klein, A. G. & Chien, J. Y. L., 2005- Error Analysis for Global Snow-Cover Mapping in the Earth Observation System (EOS) Era, NASA/Goddard Space Flight Center, Greenbelt
- Hall, D. K., Riggs, G. A. & Salomonson, V. V., 1995- Development of the methods for mapping Global Snow Cover Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. Remote Sensing of Environment. no. 54, 127-140 pp.
- Hall, D. K., Riggs, G. A., Salomonson, V. V., DeGirolamo, N. E., Bayr, K. J. & Jin, J. M., 2002- MODIS Snow-cover products. Remote Sensing of Environment, 83, 181–194 pp.
- Julienne, C., Jason, E. & Haran, T., 2006- Evaluation of the MODIS daily snow albedo product over the Greenland ice sheet, Remote Sensing of Environment Journal, vol.105, 155-171 pp.
- Kite, G. W., 1991-Watershed model using satellite data applied to a mountain basin in Canada. Journal of Hydrology, no. 128(1-4), 157-169 pp.
- Malcher, P., Heidinger, M., 2001- Processing and data assimilation scheme for satellite snow cover products in the hydrological model, 28.04. 2004, version 1, Envisnow, EVG1-CT-2001-00052
- Martinec, J. & Rango, A., 1996- Parameter value for snowmelt runoff modeling, J.Hydrology, no. 84, 197-219 pp.
- Nolin, A. & Liang, S., 2000- Progress in bidirectional reflectance modeling and applications for surface particulate media: Snow and soils. Remote Sensing Reviews, no. 14, 307–342 pp.
- Salomonson, V. V. & Appel, I., 2004- Estimating Fractional Snow Cover from MODIS Using the Normalized Difference Snow Index, Remote Sensing of Environment journal, no. 89, 351-360 pp.
- Schaper, J. & Seidel, K., 2000- Modeling daily runoff from snow and glacier melt using remote sensing data. Proceedings of EARSeL-SIG-Workshop Land Ice and Snow, Dresden/FRG, 10 pp.
- Seidel, K., Brusch, W. & Steinmeier, C., 1994- Experiences from Real Time runoff Forecasts by Snow Cover Remote Sensing. Proceedings IGARSS, "surface and atmospheric remote sensing: Technologies, data analysis and interpretation". IEEE, vol. 4, 2090–2093 pp.
- Simpson, J. J., Stitt, J. R. & Sienko, M., 1998- Improved Estimates of Arial Extent of Snow Cover From AVHRR Data, Journal of Hydrology, no. 204, 1-23 pp.
- Singh, P. & Jain, S. K., 2003- Modelling of streamflow and its components for a large Himalayan basin with predominant snow melt yields. Hydrological Sciences Journal, 48, 257–275 pp.
- Songwen, L., Klein, A. G. & Over, T. M., 2003- An assessment of the suitability of modis snow products for simulating stream flow in the upper Rio Grande river basing using the snowmelt runoff model
- Tekeli, A. Emre., Akyurek, Z., Sorman, A. Arda., Sensoy, A. & Sorman, U., 2005- Using MODIS Snow Cover Maps in Modeling Snowmelt Runoff Process in the Eastern Part of Turkey, Remote Sensing of Environment. No. 97, 216-230 pp.
- Townshend, J. R. G., 1992- Land cover, International Journal of Remote Sensing, no. 13, 1319-1328 pp.
- Wilkinson, G. G., 1996- Classification algorithms—where next? In: E. Brivio, P. A. Brivio, & A. Rampini (Eds.), Soft computing in remote sensing data analysis, Singapore: World Scientific, 93-99 pp.