

یادداشت فنی

نظارت بر پوشش برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS (مطالعه موردی حوزه آبخیز قره‌چای)

مهتاب صفری شاد^{۱*}، محمود حبیب‌نژاد روشن^۲، علیرضا ایلدرمی^۳ و میرحسن میریعقوب‌زاده^۴

چکیده

در حوزه‌های آبخیز تعیین سطح پوشش برف به‌عنوان یکی از پارامترهای مهم برف‌سنجی، نقش مهمی در بررسی‌های هیدرولوژی و اقلیمی دارد. در بررسی سطح پوشش برف و ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز از داده‌های سنجش از دور استفاده شد. در این پژوهش برای تهیه نقشه پوشش برف از تصویرهای MODIS و شاخص NDSI استفاده شد. در الگوریتم برف‌سنجی، با تعریف شاخص NDSI جداسازی برف انجام شد اما با توجه به عدم توانایی این شاخص در جداسازی برف از سایر منابع رطوبتی، با تعریف حدود آستانه برای باندهای ۲، ۴ و ۶ این مسئله حل شد. در پایان با استفاده از الگوریتم مالچر سطح پوشش برف برای روزهای بدون تصویر در نظر گرفته شد. نتایج نشان از توانایی شاخص NDSI در جداسازی پیکسل‌های دارای برف همراه با اعمال آستانه‌های ذکر شده، دارد. نقشه‌های سطح پوشیده از برف در این پژوهش با احتساب خطای شاخص NDSI به طور متوسط کمتر از ۲۰ درصد خطا به دست آمد. در نهایت مساحت پوشش برف برای سال آبی ۱۳۸۵-۱۳۸۶ به کمک الگوریتم مالچر و شاخص NDSI برای سه زون ارتفاعی با اختلاف ارتفاع ۵۰۰ متر محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم برف‌سنجی، الگوریتم مالچر، حوزه آبخیز قره‌چای، MODIS، NDSI.

ارجاع: صفری شاد م.، حبیب‌نژاد روشن م.، ایلدرمی ع. و میریعقوب‌زاده م. ح. ۱۳۹۴. نظارت بر پوشش برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای MODIS (مطالعه موردی حوزه آبخیز قره‌چای). مجله پژوهش آب ایران. ۱۹: ۱۷۵-۱۷۹.

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۲- دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.
۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر.
۴- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

*نویسنده مسئول: mahtabsafari66@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۲/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۲/۱۶

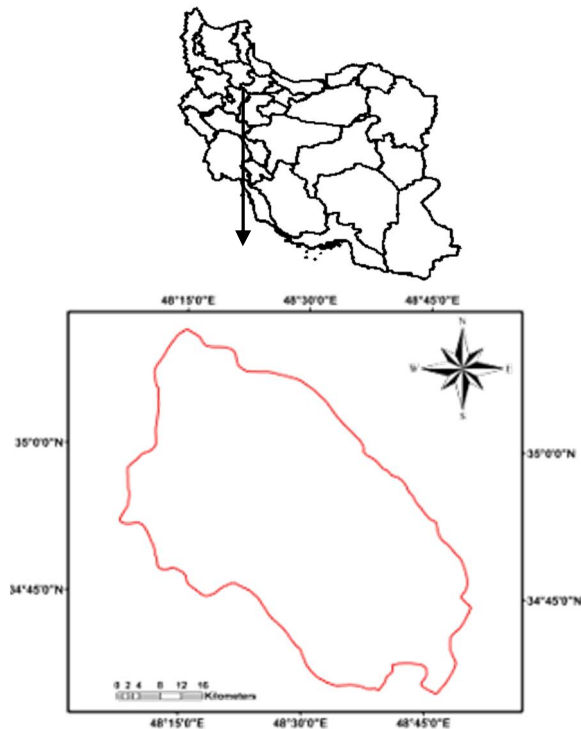
مقدمه

پوشش برف و تغییرات زمانی آن، از پارامترهای اساسی در بررسی‌های هیدرولوژیکی و اقلیم‌شناسی در مناطق با عرض جغرافیایی بالا و متوسط هستند (ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰). سطوح برفی دارای تغییرات زیادی نسبت به زمان است، در نتیجه پایش آن نیازمند استفاده از تصویرهای با قدرت تفکیک زمانی بالا است. هال و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی ۱۰ ساله تولیدات پوشش برفی سنجنده MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) و ۳۰ ساله داده‌های هواشناسی و هیدرومتری در ریوگراند ریور در غرب مرکزی وایومینگ (غرب ایالات متحده آمریکا) برای بررسی زمان‌گیری ذوب برف و با توجه به اینکه عرضه آب به میزان بیش از هفتاد درصد در غرب ایالات متحده ناشی از ذوب برف است، پرداختند. علاوه بر این، رابطه قوی بین درصدی از حوزه که از برف پوشیده شده بود و حداکثر جریان آبی ماهانه نشان داد که نقشه‌های پوشش برفی سنجنده MODIS برای پیش‌بینی و شبیه‌سازی جریان آبی مفید است و می‌تواند برای بهبود مدیریت منابع آب در مناطق مستعد خشکسالی در غرب ایالات متحده استفاده شود. در این پژوهش با توجه به برف‌گیر بودن زیر حوزه مورد بررسی با استفاده از تصویرهای سنجنده MODIS و به کمک آمار روزانه دما در دوره آماری ۲۰۰۵-۲۰۰۷ تغییرات سطح پوشش برف برآورد شد تا به کمک این تغییرات پایش این سطوح برفی میسر شود.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش بخشی از حوزه آبخیز قره‌چای با مساحت تقریبی ۱۴۰۰ کیلومترمربع به‌عنوان بررسی موردی انتخاب شد. این زیرحوزه در دامنه‌های شمالی الوند بین عرض جغرافیایی ۳۴°۴۹' تا ۳۵°۱۵' شمالی و طول جغرافیایی ۴۸°۱۷' تا ۴۸°۳۱' شرقی است (شکل ۱). حداکثر و حداقل ارتفاع حوزه به‌ترتیب ۳۳۷۲ متر در رشته کوه الوند و ۱۷۱۰ متر در محل خروجی حوزه است. در این پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و تصویرهای سنجنده MODIS (ماهواره ترا) استفاده شد. این سنجنده هر روز یک پوشش کامل تصویری از زمین در ۳۶ باند طیفی (باندهای ۱ تا ۷ که جز باندهای انعکاسی هستند و همچنین باندهای ۲۰ تا ۲۳ که جز

باندهای تابشی هستند) با قدرت تفکیک مکانی ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰ متر به‌طور ردیفی و با دیدی به عرض ۲۳۳۰ کیلومتر، پوشش می‌دهد که این خصوصیات برای بررسی‌های برف‌سنجی لازم است.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران

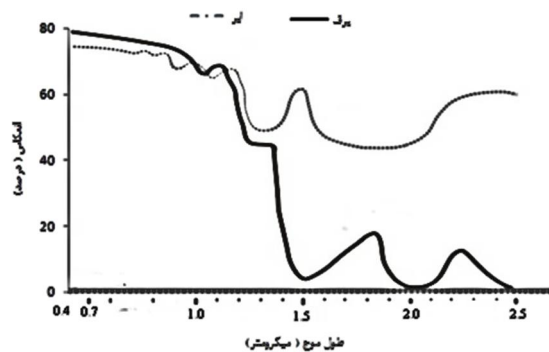
شاخص پوشش برفی NDSI یک نسبت‌گیری طیفی است که برای تشخیص تغییرات سطح تحت پوشش برف استفاده می‌شود (هال و همکاران، ۱۹۹۵) و همانند بسیاری از روش‌های نسبت‌گیری طیفی اثرات اتمسفر را کاهش می‌دهد (هال و همکاران، ۲۰۰۲). در بخش مرئی و مادون قرمز نزدیک طیف الکترومغناطیسی ابر و برف، هر دو دارای انعکاس مشابهی هستند ولی در بخش مادون قرمز میانی به خصوص در محدوده ۱/۵۵ تا ۱/۷۷ میکرومتر ابرها انعکاس بالایی را نشان می‌دهند در حالیکه انعکاس برف در این محدوده به شدت کاهش می‌یابد (شکل ۲). NDSI از نسبت اختلاف بازتابندگی باند مرئی b_4 (باند چهار سنجنده MODIS) و مادون قرمز میانی b_6 (باند شش سنجنده MODIS) تقسیم بر مجموع بازتابندگی در این دو باند به دست می‌آید (رابطه (۱)) (هال و همکاران، ۲۰۰۲):

$$NDSI = \frac{band_4 - band_6}{band_4 + band_6} \quad (1)$$

باند ۲ داشته باشد، با اعمال این آستانه برف از آب جدا می‌شود (زانگ، ۲۰۰۸). همچنین برای جلوگیری از قرارگیری اشیاء تیره به‌عنوان برف باید باند ۴ بزرگ‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد (کلاین و همکاران، ۱۹۹۸).

نتایج و بحث

در شکل ۳ نقشه‌های پوشش برف نشان داده شده است. یادآور می‌شود نقشه‌های پوشش برف حاصله به‌صورت باینری تهیه شده‌اند، بدین معنی که هر نقشه شامل دو عرصه پوشیده از برف و بدون برف است. نتایج نهایی حاصله در جدول ۱ ارائه شده است.

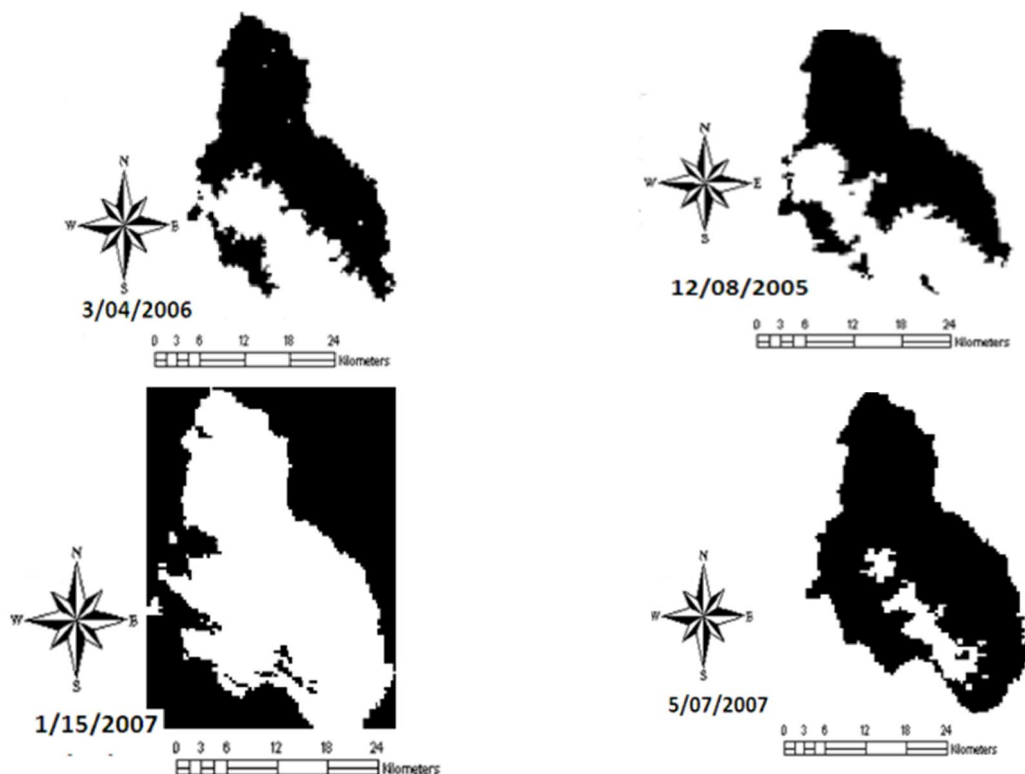


شکل ۲- منحنی انعکاس طیفی برف و یخ (جانسون، ۲۰۰۰)

برای جلوگیری از قرار گرفتن آب در گروه برف، با اعمال آستانه $b_2 > 0/11$ سطوح برفی از سطوح آبی تفکیک شد. از آنجایی که آب نمی‌تواند بازتاب بیش از ۱۱ درصد در

جدول ۱- مساحت پوشش برف استخراج شده از تصاویرهای سنجنده MODIS

تاریخ تصویربرداری	مساحت پوشش برف (km ²)	تاریخ تصویربرداری	مساحت پوشش برف (km ²)
۲۲ نوامبر ۲۰۰۶	۱۲۵۱/۱۰۹	۱۸ دسامبر ۲۰۰۵	۴۸۲/۵
۳۱ ژانویه ۲۰۰۶	۱۰۸۸/۱۲	۴ مارس ۲۰۰۶	۴۳۶/۹
۴ مارس ۲۰۰۷	۸۱۶/۹۷	۹ آوریل ۲۰۰۶	۲۳۳/۷۸
۷ می ۲۰۰۷	۱۴۶/۷۰	۲۲ ژانویه ۲۰۰۶	۱۳۴/۳
۱۵ ژانویه ۲۰۰۷	۱۲۱۲/۲۳	۲۶ دسامبر ۲۰۰۶	۱۲۷۱/۹۸
۱۱ آوریل ۲۰۰۶	۱۳۴/۱	۴ دسامبر ۲۰۰۶	۵۱۶/۰۴



شکل ۳- نمونه‌ای از نقشه‌های سطح پوشش برف استخراج شده از الگوریتم شاخص پوشش برفی در سال‌های آبی ۸۵ - ۸۴ و ۸۶ - ۸۵ (پیکسل‌های سفید، برف و پیکسل‌های تیره، زمین و یخ)

در بررسی‌های مختلف دقت بالا و توافق محصولات پوشش برف سنجنده MODIS با داده‌های زمینی اثبات شده است (به‌عنوان نمونه بررسی‌های سیمیک و همکاران (۲۰۰۴)؛ زو و همکاران (۲۰۰۵)؛ پیو و همکاران (۲۰۰۷) و وانگ و همکاران (۲۰۰۸)). با توجه به موارد ذکر شده می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که در شرایط غیربرفی متوسط دقت تصاویر ماهواره‌ای سنجنده MODIS در برآورد سطح پوشیده از برف را می‌توان بیش از ۸۰ درصد (۸۸ درصد در ریوگراند و ۸۲ درصد در ترکیه) در نظر گرفت و همچنین در ابتدا و انتهای دوره برفی خطای برآورد سطح پوشیده از برف با این سنجنده افزایش می‌یابد (امره و همکاران، ۲۰۰۵ و انگمن و جرنی، ۱۹۹۱). بنابراین نقشه‌های سطح پوشیده از برف در این پژوهش با احتساب خطای شاخص NDSI به طور متوسط کمتر از ۲۰ درصد خطا خواهند داشت.

نتیجه‌گیری

استفاده از روش‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم محیطی به دلیل قابلیت‌های روز افزون روند روبه رشدی داشته است. بدین منظور در پژوهش از روش‌های بالا بهره گرفته شد. با توجه به هزینه‌های بالا در ساخت و تجهیز ایستگاه‌های برف‌سنجی در ارتفاعات و مناطق کوهستانی با ارتفاع زیاد، می‌توان از این داده‌ها در کنار داده‌های ایستگاه‌های زمینی در پروژه‌های مرتبط با منابع آب استفاده کرد (لی و همکاران، ۲۰۰۵).

منابع

- Engman E. T. and Gurney R. J. 1991. Remote Sensing in Hydrology. Chapman and Hall. Cambridge. London. 225 p.
- Emre A. Akyu Z. Orman A. S. Ensoyc A. S. and Orman A. U. 2005. Using MODIS snow cover maps in modeling snowmelt runoff process in the eastern part of Turkey. Remote Sensing of Environment. 97(2): 216-230.
- Hall D. K. Riggs G. A and Salomonson V. V. 1995. Development of the methods for mapping Global Snow Cover Using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer data. Remote Sensing of Environment. 54(2):127-140.
- Hall D. K Riggs G. Salomonson V. V. Digirolamo N. E. and Bayr K. J. 2002. MODIS snow-cover products. Remote Sensing of Environment. 83(1-2):181-194.
- Hall D. K. Foster J. DiGirolamo N. E. and Riggs G. 2011. Snowcover, snowmelt timing

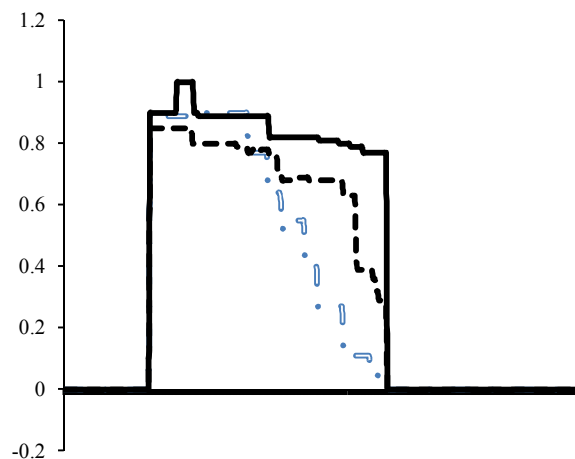
برآورد سطح زیر پوشش برف در روزهای بدون تصویر ماهواره‌ای

این پژوهش مساحت حوزه آبخیز مورد بررسی به ۳ زون ارتفاعی با حدود طبقات ۵۰۰ متر تقسیم‌بندی و سطح پوشش برف در هر زون به دست آمد. برای به دست آوردن تغییرات سطح پوشش برف در فصل ذوب از عمق تجمعی ذوب (Δ_m) استفاده شد، عمق تجمعی ذوب برف تابعی از فاکتور درجه روز (α) و (T^+) تعداد درجه-روزهای بالاتر از درجه حرارت بحرانی است و در بازه زمانی بین t_1 و t_2 از رابطه (۲) به دست می‌آید (مالچرو همکاران، ۲۰۰۴).

$$\Delta_m(t_1, t_2) = \sum_{t_1}^{t_2} (\alpha T^+) \quad (2)$$

فرض کنید دو عکس ماهواره‌ای در زمان t_1 و t_2 موجود است و سطح پوشش برف استخراج شده در این دو تاریخ به ترتیب $SCA(t_1)$ و $SCA(t_2)$ است. اگر در فاصله زمانی t_A و t_E درجه حرارت پایین‌تر از درجه حرارت بحرانی باشد، ذوب برف متوقف می‌شود. در این حالت سطح پوشش برف در تاریخ (t_x) از رابطه (۳) برآورد می‌شود (مالچرو همکاران، ۲۰۰۴). شکل ۴ سطح تحت پوشش برف درون‌یابی و برون‌یابی شده به صورت روزانه برای سال آبی ۸۶ - ۱۳۸۵، نشان می‌دهد.

$$SCA(t_x) = SCA(t_{x-1}) - \frac{SCA(t_1) - SCA(t_2)}{\Delta_m(t_1, t_A) + \Delta_m(t_2, t_E)} \Delta_m(t_{x-1}, t_x) \quad (3)$$



شکل ۴- سطح تحت پوشش برف درون‌یابی و برون‌یابی شده در سال آبی ۸۶-۱۳۸۵

- and stream power in the Wind River Range Wyoming. *Geomorphology*, In Press, Corrected Proof, Original Research Article Available online 27 March 2011.
6. Jenson J. R. 2000. Remote Sensing of Environment and Earth Resource Perspective. Prentice Hall Series in Geographic Information Science. 690 p.
 7. Klien A. G. Hall D. K. and Riggs G. A. 1998. Improving snow cover mapping in forests through the use of a canopy reflectance model. *Hydrological Processes*. 12(10-11):1723-1744
 8. Lee S. Klein A. G. and Over T. M. 2005. A comparison of MODIS and NOHRSC snowcover products for simulating streamflow using the snowmelt runoff model. *Hydrological Processes*. 19(15):2951-2972.
 9. Malcher P. Heidinger M. Nagler T. and Rott H. 2004. Processing and data assimilation, scheme for satellite snow cover products in the hydrological model: envisnow project. University of Innsbruck. 40 p.
 10. Pu Z. Xu L. and Salomonson V. 2007. MODIS/Terra observed seasonal variations of snow cover over the Tibetan Plateau. *Geophysical Research Letters* 34 L06706, doi: 10.1029/2007GL 029262. 6 p.
 11. Simic A. Fernandes R. Brown R. Romanov P. and Park W. 2004. Validation of Vegetation, MODIS, and GOES + SSM/I snow cover products over Canada based on surface snow depth observations. *Hydrological Processes*. 18(6):1089-1104.
 12. Wang X. Xie H. Liang T. and Huang X. 2008. Comparison and validation of MODIS standard and new combination of Terra and Aqua snow cover products in northern Xinjiang, China. *Hydrological Processes*. 23(3):419-429.
 13. Zhang X. T. Huang X. D. Liang T. G. and Chen Q. G. 2008. Accuracy analysis for MODIS snow data of MOD10A1 in a pastoral area in Northern Xinjiang. *Acta Prataculturae Sin.* 17(2):110-117.
 14. Zhou X. Xie H. and Hendrickx J. M. H. 2005. Statistical evaluation of remotely sensed snow cover products with constraints from stream flow and SNOTEL measurements. *Remote Sensing of Environment*. 94(2):214-231.
 15. Zhang Y. Yann S. and Lu Y. 2010. snow cover Monitoring using MODIS Data in Liaoning Province, Northeastern China. *Remote Sensing*. 2(3):777-793.

