

کاربرد تصاویر ماهواره ای NOAA برای تعیین روند تغییرات سطح پوشش برف شمالغرب ایران

ابراهیم فتاحی*، دانشیار پژوهشکده هواشناسی، سازمان هواشناسی کشور

شوکت مقیمی، استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز

مریم خورشیدی، کارشناس سازمان هواشناسی کشور

چکیده

بخش عظیمی از بارش حوضه های شمال غرب ایران به صورت برف می باشد و در نتیجه آب حاصل از ذوب برف نقش مهمی را در ایجاد رواناب های سطحی و تغذیه آب های زیرزمینی دارد. پوشش برف معرف میزان آب ذخیره شده در حوضه های کوهستانی می باشد. بنابراین پایش مکانی و زمانی سطح پوشیده شده از برف، اهمیت بسیار زیادی دارد. هدف این تحقیق، مطالعه تغییرات احتمالی سطح پوشش برف در شمال غرب ایران می باشد، در تحقیق حاضر سطح پوشش برف منطقه مورد مطالعه، با استفاده از تصاویر ماهواره NOAA سنجنده AVHRR استخراج شد. تصاویر سنجنده AVHRR در محیط نرم افزار ERDAS به صورت مرحله ای پردازش و لایه های ابر، برف و زمین از هم جدا شد. سپس پیکسل های لایه برف استخراج و سری های نقشه پوشش برف دوره سرد سال (نوامبر- مارس) برای دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۸۸ با فواصل زمانی پانزده روزه به دست آمد. به منظور بررسی روند تغییرات سطح پوشش برف آزمون ناپارامتریک من- کندال بر روی سری های بدست آمده (۱۰۰ نقشه سطح پوشش برف) انجام شد، و نتایج تحت عنوان $u(t)$ و $u'(t)$ آماره من- کندال ارائه گردید. نتایج مطالعه حاضر، روند معنی داری را برای سطح پوشش برف در منطقه را تایید نمی کند، از نتایج این تحقیق می توان به عنوان سناریو برای مدیریت منابع آب در منطقه استفاده کرد.

واژگان کلیدی:

پوشش برف، سنجنده AVHRR، من- کندال، روند تغییرات، حوضه های کوهستانی، شمال غرب

ایران.

مقدمه

طبق بررسی های انجام شده حدود ۶۰ درصد آب های سطحی و ۵۷ آب های در صد زیر زمینی کشور از ذوب برف تأمین می شود (مشایخی ۱۳۶۹). بیشتر مناطق برف گیر ایران در ارتفاعات کوهستانی قرار دارند که در این مناطق شبکه ایستگاه های دیدبانی و اندازه گیری برف توسعه نیافته است. در نتیجه، مقدار انباشت و ذوب برف در این مناطق به طور دقیق و گسترده اندازه گیری نمی شود. نبود اطلاع کافی و درست از ذخایر برفی موجب می شود که نه تنها از آب حاصل از ذوب برف استفاده بهینه نشود، بلکه خسارت های جبران ناپذیری نیز در پی داشته باشد. بنابراین، پایش مکانی و زمانی سطوح پوشیده شده از برف و آب معادل برف از اهمیت زیادی برخوردار است.

بخش عظیمی از بارش ها در حوضه های شمال غرب ایران نیز به صورت برف می باشد و در نتیجه آب حاصل از ذوب برف نقش مهمی در ایجاد رواناب های سطحی، تغذیه آب های زیرزمینی در این منطقه به عهده دارد. لذا، پایش مکانی و زمانی سطح پوشیده شده از برف، و آب معادل برف در این منطقه ضروری می باشد.

مهم ترین خصوصیات پوشش برف عبارت است از سطح پوشش برف، عمق، چگالی و عمق آب معادل برف (Pomeroy and Gray, 1995;134). اگر عمق برف و چگالی آن معلوم باشند، عمق آب معادل برف قابل محاسبه است و با دانستن سطح پوشیده شده از برف می توان حجم کل رواناب ناشی از ذوب برف را تخمین زد. علاوه بر این، در مطالعات متعددی مثل مقالات فاستر^۱ و همکاران (۱۹۸۷) و کارول^۲ و همکاران به اهمیت اندازه گیری دقیق خصوصیات برف و یخ و ارتباط آن با اقلیم و تغییرات اقلیمی پرداخته شده است. امروزه تکنولوژی سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای فصلی نوین در عرصه مطالعه سطح پوشش برف به وجود آورده است. اندازه گیری های ماهواره ای در طول زمان به صورت چشمگیری دقیقتر شده و به علاوه هر چه طول ثبت داده های ماهواره ها افزایش می یابد؛ تعیین روندهای آماری دارای اهمیت به لحاظ اقلیمی آسان تر می گردد.

طی سال های اخیر استفاده از تصاویر ماهواره ای در مدیریت منابع طبیعی، محیط زیست و منابع آب افزایش یافته است. در این راستا استفاده از تصاویر ماهواره NOAA^۳ سنجنده AVHRR^۴ به دلیل دارا بودن آرشیو داده های تاریخی نسبتاً طولانی و قدرت تفکیک زمانی روزانه برای تهیه نقشه های سطوح برفی از مناطق وسیع اهمیت ویژه ای برخوردار است. علاوه بر این؛ کم هزینه بودن و دسترسی به تصاویر NOAA از جمله مزایای آن محسوب می شود. عمده ترین نقص تصاویر ماهواره NOAA ضعف قدرت تفکیک مکانی آن است به نحوی که کاربرد آن را به مناطق بسیار وسیع محدود می سازد. در زمینه استخراج سطح برف از تصاویر NOAA و سایر ماهواره ها تحقیقات گسترده ای انجام شده است. از جمله سیمپسون^۵ (۱۹۹۸) با ارائه یک الگوریتم توانست پوشش برف را با استفاده از ترکیب باندهای ۲، ۳، ۴ و ۵ سنجنده AVHRR از ابر

1 - Foster

2- Carroll

3 -National Oceanic and Atmospheric Administration

4 - Advanced Very High Resolution Radiometer

5 -Simpson

و زمین جدا سازد. دزیر^۱ و مارکس^۲ (۱۹۸۷) الگوریتمی را برای استخراج سطح پوشش برف از تصاویر ماهواره لندست^۳ TM^۳ ارائه نمودند. رات^۴ (۱۹۸۷) نیز تحقیقاتی را در زمینه استخراج سطح پوشش برف با استفاده از تغییرات بازتاب های طول موج کوتاه ارائه نمود. پرهمت و ثقفیان (۲۰۰۳) با تغییراتی در الگوریتم سیمپسون (۱۹۹۸) توانستند سطح پوشش برف را برای حوضه کارون جهت کاربرد در یک مدل پیش‌بینی جریان استخراج نمایند.

برای تعیین مرز برف نسبت به زمین و مساحت محدوده آن مشکلاتی وجود دارد که از مهم ترین آنها تفکیک برف از ابر می باشد. پهنه‌بندی هفتگی پوشش برف در نیمکره شمالی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای NOAA از سال ۱۹۶۱ در ایالات متحده آغاز شد و تا به امروز که دقت مکانی و زمانی این تصاویر افزایش یافته است، ادامه دارد (Carroll et al., 2001). سیمپسون و همکاران (۱۹۹۸) روشی ارائه نمودند که در آن با استفاده از باندهای ۲، ۳، ۴ و ۵ سنجنده AVHRR به صورت خودکار برف از ابر و زمین جدا می شود. مشکل این روش این است که در آن از ضریب هایی استفاده می‌شود که در همه مناطق ثابت نیست و برای کاربردهای متنوع ایجاد مشکل می‌کند. رانگو^۵ و مارتینس^۶ (۱۹۹۹) به منظور شبیه‌سازی جریان روزانه در فصل ذوب برف و پیش بینی رواناب فصلی و ارزیابی پتانسیل تأثیر تغییرات اقلیمی بر سطح پوشش برف و رواناب سطحی از مدل SRM^۷ استفاده کردند. سیدل^۸ و مارتینس (۲۰۰۲) با استفاده از عکس‌های ماهواره ای لندست^۹، اسپات^{۱۰} و نوا^{۱۱}، سطح پوشش برف سیزده حوضه در کشور سوئیس را استخراج و با مدل SRM رواناب برف این حوضه ها را شبیه سازی و اثر تغییر اقلیم را نیز مورد بررسی قرار دادند. سانگون^{۱۲} و همکاران (۲۰۰۳) با استفاده از تصاویر ماهواره ای MODIS^{۱۳} و NOAA سطح پوشش برف حوضه های ریوگراندا را بدست آوردند و با استفاده از مدل SRM رواناب ناشی از ذوب برف این حوضه را محاسبه کردند. همچنین بررسی های انجام شده ثابت می‌کند که رابطه معنی داری بین آنومالی های بارش برف و سطح پوشش برف با سیگنال های اقلیمی وجود دارد؛ برای مثال افرادی مانند کوهن^{۱۴} و سائیتو^{۱۵} (۲۰۰۳) و دری^{۱۶} و همکاران (۲۰۰۵) همبستگی همراه با تاخیر بین سیگنال های هواشناسی با سطح پوشش برف را بدست آورده اند.

پرهمت (۱۳۸۱) ترکیبی از روش های تحلیل آستانه‌ای، بارزسازی و تحلیل چند طیفی -چند مرحله‌ای در تفکیک برف، ابر و زمین با استفاده از باندهای ۳، ۴ و ۲ سنجنده AVHRR ماهواره NOAA به کار برده است. در این روش بارزسازی داده ها با به کارگیری روش‌های نسبت‌گیری و تفاضل‌گیری صورت می‌گیرد. همچنین درجه حرارت باندهای ۳ و ۴ با استفاده از داده‌های رقومی این باندها محاسبه می شود. سپس،

1 - Dozier

2 -Mark

3 - landsat Thematic Mapper

4 - Rott

5- Rango

6- Martinec

7 - Snowmelt Runoff Model

8- Seidel

9 - Landsat

10- Spot

11- NOAA

12- Songweon

13 - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

14 - Cohen

15- Saito

16- Dery

هیستوگرام داده‌های رقومی بارز شده و نیز درجه حرارت باندهای ۳ و ۴ در تعیین آستانه‌ها استفاده می‌شود. این روش پیشنهادی بدون وابستگی به منطقه جغرافیایی و شرایط آب و هوایی برف را از محیط زمین بدون پوشش و نیز محیط پوشیده از ابر جدا می‌کند. قنبرپور (۱۳۸۱) چگونگی تعیین سطح پوشش برف به کمک داده‌های دورسنجی را تشریح و قابلیت تصاویر ماهواره NOAA در تعیین پارامترهای هیدرولوژیکی برف در مناطق کوهستانی و کاربرد آن در پیش‌بینی رواناب ناشی از ذوب برف را مورد بحث قرار داده است. نجف‌زاده و همکاران (۱۳۸۳) تغییرات سطح پوشش برف بخشی از حوضه زاینده رود را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای NOAA مورد بررسی قرار دادند، و برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی جریان رودخانه مدل SRM را به کار گرفتند. رسولی و ادهمی (۱۳۸۶) در تحقیقی با استفاده از تصاویر ماهواره ای سنجنده MODIS و بر اساس الگوریتم‌های مختلف سطح پوشش برف را برای حوضه آبریز آجی چای به دست آوردند. در این مطالعه برای پایش سطح پوشش برف و بررسی روند تغییرات آن از تصاویر ماهواره NOAA سنجنده AVHRR به دلیل ثبت طولانی مدت و داشتن آرشیو داده‌های تاریخی نسبتاً مناسب استفاده شده است. این داده‌ها با قدرت تفکیک ۱/۱ کیلومتر مربع استخراج شده است.

روش شناسی تحقیق

۱- معرفی منطقه

منطقه مورد مطالعه با وسعت تقریبی ۱۲۰۵۰۰ کیلومتر مربع بین ۳۴ درجه و ۵۸ دقیقه تا ۳۹ درجه و ۴۹ دقیقه عرض شمالی و ۴۴ درجه و ۳ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۹ دقیقه طول جغرافیایی گسترده شده است. این منطقه از شمال به جمهوری آذربایجان و ارمنستان، از غرب به ترکیه و عراق، از شرق به جمهوری آذربایجان و استان گیلان و از جنوب به استان‌های کردستان و زنجان محدود می‌شود. این منطقه از نظر طبیعی واحد جغرافیایی مشخصی است و از نظر سیاسی به سه استان آذربایجان غربی، آذربایجان شرقی و اردبیل تقسیم شده است. شکل شماره (۱) محدوده و پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱) محدوده و پراکندگی ایستگاه‌های مورد مطالعه

محاسبات بر روی مقادیر حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای توسط نرم افزار ERDAS انجام گردیده که شامل ۱۰۰ تصویر در یک دوره ۲۰ ساله از منطقه می‌باشد.

۲- تعیین سطح پوشش برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

امروزه فن آوری سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای مرحله جدیدی در عرصه مطالعه سطح پوشش برف به وجود آورده است. به طوری که، استفاده از این فن آوری در مدیریت منابع آب از جمله روش هایی است که برای تعیین سطوح پوشش برف در سطح حوضه ها به کار می رود.

در زمینه استخراج سطح برف از تصاویر NOAA و سایر تصاویر ماهواره ای تحقیقات وسیعی انجام شده است. از جمله سیمپسون (۱۹۹۸) با ارایه یک الگوریتم توانست سطح پوشش برف را با استفاده از ترکیب باندهای ۵،۴،۳،۲ سنجنده AVHRR از ابر و زمین جدا سازد. دزیر و ماکس (۱۹۸۷) الگوریتمی را برای استخراج سطح پوشش برف از تصاویر ماهواره ای لندست TM ارایه نمودند .

پرهمت (۱۳۸۱) ترکیبی از روش های تحلیل آستانه ای، بارزسازی و تحلیل چند طیفی را برای تفکیک برف، ابر و زمین با استفاده از باندهای ۴،۳،۲ سنجنده AVHRR ماهواره NOAA به کار برده است. در این مطالعه از تصاویر سنجنده AVHRR ماهواره NOAA و الگوریتم ارایه شده توسط پرهمت (۱۳۸۱) برای تعیین پوشش برف استفاده شد. در محدوده طیفی باند ۳ بازتاب برف کم تر از ابر می باشد و در محدوده باند ۴ درجه حرارت ابر کم تر از برف می باشد بعبارتی بازتاب طیفی برف که عکس درجه حرارت است کم تر از ابر می‌باشد. بنابراین، در تفاضل درجه حرارت و یا نسبت این دو باند اختلاف بارزتر است و برف از ابر قابل تشخیص می‌گردد.

الف) برآورد سطح تحت پوشش برف

اطلاعات مورد نیاز این بخش از تصاویر ماهواره‌ای NOAA سنجنده AVHRR گرفته شد و از الگوریتم پرهمت (۱۳۸۱) جهت تعیین سطح پوشش برف استفاده شد. علاوه بر این، جهت پردازش تصاویر از نرم افزارهای ENVI و ERDAS بهره‌گیری شده است.

ب) جدا سازی زمین از ابر و برف

با استفاده از باندهای ۲، ۳ و ۴ تصاویر سنجنده AVHRR ماهواره NOAA چهار پارامتر محاسبه شدند که عبارتند از: آلبيدوی باند ۲ (σ_2) ، درجه حرارت باند ۴ (T_4) ، حاصل ضرب آلبيدوی باند ۲ و مولفه بازتاب باند ۳ (R) و اختلاف درجه حرارت باند ۳ و باند ۴ (dT) .

جهت تشخیص و جداسازی زمین از ابر و برف در هر یک از هیستوگرام ها مقادیر آستانه‌ای برداشت می شود؛ که این مقادیر آستانه‌ای مرز تقریبی بین برف و ابر با زمین می باشند. در صورت برقراری دو شرط ذیل:

$$T_4 \leq T_{4TH}, a_{2th}, R \geq R_{TH}$$

$$T_4 \leq T_{4TH}, a_2 \geq a_{2th}, dT \leq dT_T$$

می توان دو تصویر داشت که یکی برف و لکه های احتمالی از ابر و دیگری ابر و لکه های احتمالی از برف را در بردارد. حال با ترکیب این دو تصویری حاصل می شود که پوشش ابر و برف بدون زمین می باشد و چون به مقادیر واقعی باند ۳ و ۴ نیاز می باشد در مرحله بعد قسمت های بدون زمین این باندها توسط تصویر برف و ابر اخیر جدا شده و به مرحله بعدی وارد می شوند؛ که به آنها باند ۳ و ۴ بدون زمین گفته می شود.

ج) جدا سازی ابر از برف

با محاسبه نقشه رقومی پارامترهای γ و σ و روابط $\gamma = T_3 - T_4$ و $\sigma = \frac{F_4}{\sqrt{F_3}}$ به وسیله باندهای ۳ و ۴ بدون زمین می توان مقادیر آستانه ای در نقاط عطف هیستوگرام آنها یافت که مرز بین ابر و برف را مشخص می کنند و در نتیجه رابطه $\sigma \leq \sigma_{Th}$ ، $\gamma \leq \gamma_{Th}$ پیکسل های دارای ابر حذف شده و سطح تحت پوشش برف ظاهر می شود.

د) کاربرد پیکسل های حاصل در بررسی تغییرات اقلیمی

پیکسل های پوشش برف هر تصویر استخراج می گردد. که در این تحقیق پیکسل ها شامل ۱۰۰ تصویر در یک دوره ۲۰ ساله بوده است. تصاویر انتخابی در بین تصاویر اولیه از بهترین تصاویر از نظر تاریخ و زمان وقوع ریزش برف می باشند. سپس، داده های حاصل از پیکسل های مساحت برف توسط آزمون ناپارامتریک من-کندال برای ارزیابی روندها در سری های اقلیمی به کار گرفته شد. این روش مناسب ترین روش جهت تحلیل نوسانات تغییرات و روندها در سری های زمانی اقلیمی می باشد.

۳- آزمون آماری (آزمون ناپارامتریک من - کندال)

در آزمون های آماری، روند فرض صفر عبارت از این است که سری مورد بررسی دارای روند نیست. در حالی، که فرض مقابل بیانگر آن است که سری دارای روند می باشد. به منظور شناسایی روندهای یکنواخت و دارای جهت مشخص در سری های زمانی سطح پوشش برف از آزمون من-کندال استفاده شد. آزمون من کندال یکی از آزمون های ناپارامتریک است که برای بررسی وجود روند خطی یا غیر خطی به کار برده می شود. برای هر سری X_i ، رتبه های آن در نظر گرفته می شود. سپس، در مقایسه های هر رتبه با سایر رتبه ها در صورتی که $i > j$ و $y_i > y_j$ باشد به مقدار T یک واحد اضافه می گردد پس از انجام کلیه مقایسات آماره $t = \sum n_i$ محاسبه می شود. امید ریاضی و واریانس t از روابط زیر قابل محاسبه است.

$$E(t) = \frac{n(n-1)}{4}, \text{Vart} = \frac{n(n-1)(2n+5)}{72} \quad [1]$$

مانند آزمون اسپیرمن مناسب است که مقدار α محاسبه گردد. یعنی،

$$U(t) = [t - E(t)] / \sqrt{\text{var } t} \quad [۲]$$

آن گاه :

$$\alpha_1 = P(|U| > |U(t)|) \quad [۳]$$

فرض صفر در سطح معنی داری α_0 پذیرفته یا قبول می شود برحسب آن که $\alpha_1 > \alpha_0$ یا $\alpha_1 < \alpha_0$.
در سطح معنی داری فوق روند افزایشی یا کاهش می باشد اگر $U(t) > 0$ یا $U(t) < 0$ (Sueyvers, 1990 ; 6).

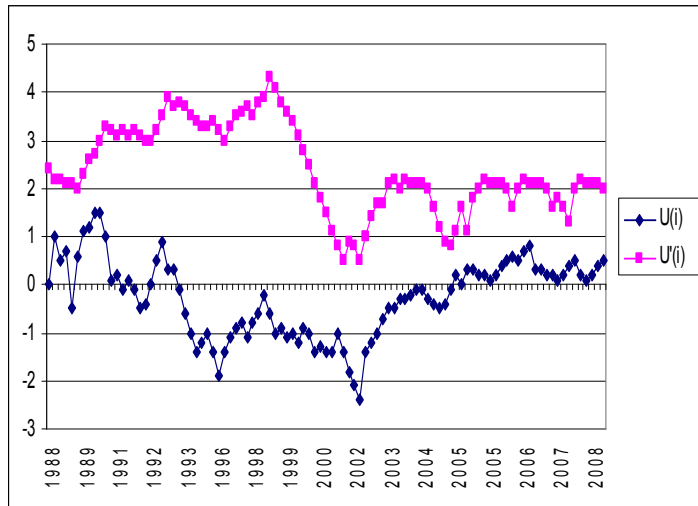
یافته های تحقیق

در تحقیق حاضر به منظور آزمون روند تغییرات احتمالی سطح پوشش برف از تصاویر ماهواره ای NOAA استفاده شد. ویژگی این گونه داده ها در این است که تنها در یک نقطه اندازه گیری نشده است. بلکه، تمامی منطقه مورد مطالعه به صورت سطحی یکپارچه بررسی شده است. بنابراین آثار توسعه شهری و سایر فعالیت های صنعتی و ... در این گونه داده ها وجود ندارد.

نتایج تحقیق حاضر حاکی از عدم روند معنی دار در تغییرات سطح پوشش برف منطقه مورد مطالعه است. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با سایر تحقیقات (که به صورت نقطه ای و صرفاً داده های ایستگاه ها را مورد تحلیل قرار داده اند) دارای ناهمگنی است. باید اشاره کرد که روندهای حاصل شده از مطالعات بسیاری از محققین در سطح کشور بر پایه داده های نقطه ای است و نتایج آنها را می توان تنها به سطح ایستگاه ها نسبت داد، و برای اینگونه از مطالعات نمی توان الگوی جغرافیایی همگن و خاصی را ارائه داد، به همین دلیل در یک ناحیه روندهای به دست آمده از حالت یک جهت برخوردار نیستند، بطوری که برخی از ایستگاه ها روند منفی و برخی دیگر روند مثبت را نشان می دهند. علت این ناهمگنی می تواند ناشی از عوامل انسانی شامل تغییرات مکانی، تغییر ادواتی و ایستگاهی و توسعه و گسترش شهرها باشد. نتایج مطالعه حاضر روند معنی داری را برای سطح پوشش برف در منطقه را تایید نمی کند.

آزمون ناپارامتریک من کندال در مورد سربها انجام و نتایج تحت عنوان $u(t)$ و $u'(t)$ یعنی آماره من کندال در شکل شماره (۲) ارائه شده است. با استفاده از آزمون من - کندال روند در سطح معنی دار ۰.۵٪ در صورتی پذیرفته می شود که $u(t)$ و $u'(t)$ بزرگ تر از $+1/96$ و کوچک تر از $-1/96$ باشد (Sueyvers, 1990 ; 10).

در این بررسی دنباله های $u(t)$ و $u'(t)$ بر اساس I رسم شده اند در حالت معنی دار روند در نمودار مربوطه در نقطه شروع پدیده تغییر یکدیگر را قطع می کنند. در حالی که اگر تغییر خاصی وجود نداشته باشد و سری ایستا باشد دنباله ها به صورت موازی عمل خواهند کرد و یا با چند برخورد بطوری که به جهش آنها منجر نشود، در خواهند آمد.



شکل (۲) نتایج مربوط به آزمون روند تغییرات بر اساس من - کندال

نتایج تحقیق حاضر نشان می‌دهد که هیچ گونه روند افزایشی و یا کاهش‌ی معنی‌داری در سطح پوشش برف منطقه مورد مطالعه وجود ندارد.

نتیجه‌گیری

- استفاده و به کارگیری تصاویر ماهواره‌ای NOAA سنجنده AVHRR به علت دارا بودن آرشیو داده‌های طولانی مدت و مناسب و گام زمانی روزانه، می‌تواند در تهیه نقشه‌های سطوح برفی حوضه‌های وسیع و تحلیل روند تغییرات سطح پوشش برف بسیار مناسب باشد.
- تصاویر ماهواره‌ای NOAA و الگوریتم‌های استفاده شده در تحقیق حاضر به منظور تفکیک برف از ابر و زمین مناسب و قابل اعمال می‌باشد.
- استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ابزار مناسب و کارآمدی برای پایش سطح پوشش برف در حوضه‌های کوهستانی (بویژه در حوضه‌های کوهستانی فاقد شبکه هواشناسی و برف‌سنجی) بسیار مناسب است.
- استفاده از اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای NOAA سنجنده AVHRR، برای تحلیل روند تغییرات سطح پوشش برف بسیار مناسب‌تر و کارآمدتر از داده‌های نقطه‌ای (ایستگاه‌ها) می‌باشد.
- به کارگیری از داده‌های تصاویر ماهواره‌ای به صورت منطقه‌ای می‌تواند روند تغییرات را در یک الگوی جغرافیایی همگن آرایه دهد. در حالی که، استفاده از شبکه داده‌های ایستگاه‌ها، روند تغییرات به دست آمده در یک ناحیه همگن ممکن است همسو و یک‌جهته نباشد؛ که این امر ناشی از اثرات عوامل انسانی و غیره می‌باشد.
- از نتایج این تحقیق می‌توان به عنوان سناریویی برای مدیریت منابع آب و پایش بهنگام سطح پوشش برف و آگاهی از ذخایر برفی حوضه‌ها استفاده کرد.

فهرست منابع

- ۱- پرهمت، جهانگیر (۱۳۸۱)، مدل توزیعی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از داده‌های سنجش از دور و سیستم GIS، رساله دکتری هیدرولوژی و منابع آب. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.
- ۲- دینی، غلامرضا، ضیائیان فیروزآبادی، پرویز، علیمحمدی سراب عباس و سپیده داداشی خانقاه (۱۳۸۶)، بررسی سطوح برفگیر در البرز مرکزی با استفاده از داده های ماهواره‌های MODIS و AVHRR و سامانه اطلاعات جغرافیایی، تحقیقات منابع آب ایران، سال سوم، شماره ۳، زمستان ۱۳۸۶، صص ۱-۸.
- ۳- رسولی، علی اکبر و رسول ادهمی (۱۳۸۶)، محاسبه آب معادل از پوشش برفی با پردازش تصاویر سنجنده MODIS، مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۱۰، پاییز و زمستان ۱۳۸۶، صص ۲۳-۳۶.
- ۴- قنبرپور، محمدرضا (۱۳۸۱)، کاربرد سنجش از دور در تعیین پارامترهای هیدرولوژیکی برف در مناطق کوهستانی، مجله علمی و فنی سازمان هواشناسی کشور، نیوار، شماره ۴۴ و ۴۵.
- ۵- مشایخی، تقی (۱۳۶۹)، استفاده از هیدرولوژی برف در بررسی های منابع آب، دفتر بررسی های منابع آب، بخش آب های سطحی.
- ۶- نجف زاده، رضا، احمد ابریشمچی، مسعود تجریشی و حمید طاهری شهرآیینی (۱۳۸۳)، شبیه سازی جریان رودخانه با مدل ذوب برف، آب و فاضلاب زمستان، شماره ۵۲، سال پانزدهم، صص ۲-۱۱.
- 7- Barrett, E. C, Bailey, J. O., Beaumont, M. .1., Kelly, R. E. J. and Herschy, R. W (1994), *A study on operational snow mapping and monitoring by satellite. Remote Sensing Unit*, Bristol University, Bristol, UK.
- 8- 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
- 9- Cohen, J. and Saito, K (2003), **Eurasian snow cover, more skillful in predicting U.S. winter climate than the NAO/AO?** Geophysical Research Letters 30(23): CLM 3-1–3-4.
- 10- Dery S.J., Sheffield J. and Wood, E.F. (2005), **Connectivity between Eurasian snow extent and Canadian snow mass and river discharge**, Journal of Geophysical Research 110(023106). DOI: 10.1029/2005JD006173.
- 11- Dozier, J. and Mark, D (1987), **Snow Mapping and Classification from Landsat Thematic Mapper Data**, Anals of Glaciology, Vol. 9, Pp: 1-7.
- 12- Dozier J. and Painter, T.H (2004), **Multispectral and hyper spectral remote sensing of alpine snow properties**, Annual Reviews of Earth and Planetary Science, 32, Pp: 465–494.
- 13- Foster J.L., Hall D.K. and Chang A.T.C (1987), **Remote sensing of snow.** EOS Transactions, American Geophysical Union, 68(32), pp: 681–684.

14- Lucas, R. and Harrison, H (1990), **Snow observation by satellite**. Remote Sens. Rev. 4, Pp: 285-348.

15- Pomeroy J.W. and Gray D.M(1995), **Snow cover Accumulation ,Relocation and Management, National Hydrology Research Institute: Environment Canada, NHRI Science Report No. 7, P :134.**

16- Porhemmat, J., Saghafian, B., Sedghi, H., (2003), **Modeling floods caused by snowmelt and rainfall using remotely sensed data and SRM model in Karun sub basins**, Proceedings of the Sixth International River Engineering Conference (6IREC), Ahwaz, Iran.

17- Rango,A. and Martinec, j (1999), **Modeling Snow cover and runoff response to global warming for hydrological years**, World Resources Review, vol.11 ,Pp.79-91.

18- Rott, H. (1987), **Remote Sensing of Snow**, International Association of Hydrological Sciences, Pub. No. 166, Pp: 279-290.

19- Seidel , K. and Martinc, J (2002), **Hydrological Application of Satellite snow cover mapping in the Swiss Alps**, Proceeding of Earsel workshop , Bern, March 11-13 ,Pp: 79-87

20- Simpson J. J., Stitt, J. R. and Sienko, M (1998), **Improved Estimates of the Areal Extent of Snow Cover from AVHRR Data**, Journal of Hydrology, and No. 204, Pp: 1-23.

21- Songweon L., Klein, A.G., and Over, T,M (2003), **An Assessment of the suitability of MODIS snow products for simulating stream flow in the upper Rio Grand River Basin using the snowmelt runoff model**, <http://geog.tamu.edu/klein/publication/in-review/hp-2003b.pdf>

22- Sueyers. R, 1990, on the Statistical Analysis of Series of Observation, wmo, no 415, pp 2 – 15.