

سطح پوشش برف از روی تصویر ماهواره ای IRS مربوط به تاریخ دیگری از سال آبی مورد مطالعه برآورد گردیده و سپس براساس معیارهای $RMSE$ ، RE و QE صحت سنجی مدل انجام گرفت که نتایج مقدار معیار $RMSE$ را برای مدل دو و چند متغیره به ترتیب برابر $۰/۲$ و $۰/۰۱$ نشان داد.

واژه های کلیدی: ذوب برف، مدل های آماری، مدیریت منابع آب، تصاویر IRS و حوزه آبخیز زرینه رود

برآورد رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از تصاویر ماهواره ای IRS و کاربرد مدل های آماری (مطالعه ای موردی: حوزه ای آبخیز زرینه رود)

محمد سیدی علم آباد^۱، حمیدرضا مرادی^۲ و محمدرضا قنبرپور^۳

تاریخ دریافت: ۸۸/۵/۲۷ تاریخ پذیرش: ۸۸/۱۲/۱۱

مقدمه

آب بزرگ ترین سرمایه طبیعی بشمار می آید، لذا در حفظ و بهره وری بهینه از آن باید نهایت سعی و دقت را نمود. آب نقش مهم و زیر بنایی در پیشرفت و توسعه ای جوامع به عهده دارد و با وجود فراوانی آب در سیاره ای زمین، پراکنش زمانی و مکانی آن موزون نمی باشد. به گونه ای که بسیاری از جوامع به دلیل موقعیت جغرافیایی ویژه ای خود از مشکل کمبود آب رنج می برند [۴]. کشور ایران به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک بیابانی دارای کمبود منابع آب است. اگرچه این مشکل از گذشته های دور نیز وجود داشته است، ولی امروزه با فعالیت های کشاورزی، صنعتی و رشد و توسعه ای شهرنشینی و افزایش سریع جمعیت و تقاضا برای آب، این کمبود بیش از پیش احساس می گردد. این موضوع اهمیت مطالعه ای منابع آب را مبتنی بر حوزه های آبخیز آشکار می سازد. بر اساس بررسی های انجام گرفته حدود ۶۰ درصد آب های سطحی و ۵۷ درصد آب های زیرزمینی کشور در مناطق برف گیر قرار داشته و از آب حاصل از ذوب برف تغذیه می کنند [۳ و ۱۰]. تمرکز دبی ناشی از ذوب برف طی فصل بهار و اوایل تابستان نه تنها باعث ایجاد سیلاب شده و مناطقی وسیع را زیر سیل می برد بلکه باعث هدررفت آب مورد نیاز برای اهداف آبیاری، شرب و تولید نیرو خواهد شد [۲۳]. از سوی دیگر، ذوب برف در تشکیل دبی کل رودخانه مشارکت دارد به همین دلیل برآورد رواناب ناشی از ذوب برف اهمیت زیادی دارد [۱۳]. ضریب انعکاسی بالای برف به همراه پراکنش سطحی بالای آن تاثیر زیادی بر بیلان تابشی زمین دارد [۱۴]. بیش تر روش های کارآمد پایش^۴ گستره ای برفی با استفاده از پایش از راه دور به وسیله ای ماهواره ها می باشد [۱۴]. خوشبختانه ویژگی های فیزیکی برف، پایش این پدیده را از راه سنجش از دور

چکیده

با توجه به امکان پذیر نبودن اندازه گیری ویژگی های برف در مناطق کوهستانی به دلیل صعب العبور بودن، با بکارگیری تصاویر ماهواره ای IRS و استخراج داده های پوشش برفی در حوزه های آبخیز می توان با استفاده از مدل های آماری شامل مدل های رگرسیون دو و چند متغیره رواناب ناشی از ذوب برف را برآورد نمود که در مدیریت منابع آب کاربردی فراوان دارد. این پژوهش در حوزه ای آبخیز زرینه رود به دلیل برخورداری از موقعیتی ویژه در تامین حجم شایان توجهی از آب مصرفی استان آذربایجان غربی انجام شد. در این پژوهش افزون بر یافته های ناشی از سنجش از دور از داده های زمینی بدست آمده از ایستگاههای کلیماتولوژی، برف سنجی و هیدرومتری واقع در حوزه ای آبخیز زرینه رود نیز بمنظور ارائه مدل های رگرسیونی برای تعیین آورد رودخانه ها استفاده شده است. نتایج بدست آمده از ارزیابی دقت مدل رگرسیونی چند متغیره با استفاده از دو معیار دقت کمی شامل ضریب تبیین (R^2) و تفاضل حجم (DV)، مقدار این معیارها را برای سه ماه مورد مطالعه از سال آبی ۲۰۰۶-۲۰۰۷ در حوزه ای آبخیز زرینه رود به ترتیب برابر $۰/۹۴$ و $۱۳/۴۸$ - نشان داد. ارزیابی مدل دو متغیره با استفاده از این دو معیار نیز، مقدار این معیارها را در همین بازه زمانی به ترتیب برابر $۰/۸۱$ و $۱۹/۳۶$ - نشان داد. برای انجام صحت سنجی مدل های آماری،

۱- دانش آموخته ای کارشناسی ارشد رشته ای علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده ای منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، مازندران
m_saedi1225@yahoo.com

۲- نویسنده مسئول و استادیار دانشکده ای منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، گروه مهندسی آبخیزداری، مازندران
morady5hr@yahoo.com

۳- استادیار دانشکده ای منابع طبیعی دانشگاه ساری، گروه مهندسی آبخیزداری، مازندران

ممکن ساخته است [۱۴]. از داده‌های سنجش از دور در بررسی سطح پوشش برف و ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز استفاده‌های زیادی شده است [۱۷]. در سالهای اخیر استفاده از ماهواره‌ها به ویژه ماهواره‌های هواشناسی توانسته است اطلاعات مفیدی راجع به رطوبت هوا، رطوبت خاک، وجود ابرهای باران‌زا، محل ریزش آن‌ها و تشکیل مناطق پرفشار و کم‌فشار در اختیار بشر قرار دهد. دست‌یابی به داده‌های برف‌سنجی مناطق مرتفع از ضرورت و اهمیتی بسیار زیاد برخوردار بوده است. برداشت زمینی داده‌های یاد شده نیازمند وجود شبکه‌ای متراکم از ایستگاههای برف‌سنجی است که نه تنها از لحاظ اجرایی با مشکلاتی مواجه است، بلکه از لحاظ اقتصادی نیز سرویس‌دهی و نگهداری آن‌ها مقرون به صرفه نمی‌باشد [۴]. امروزه فناوری سنجش از دور، از راه تصویربرداری پیوسته، دستیابی به داده‌های یاد شده را امکان‌پذیر ساخته است. ماهواره بهترین وسیله‌ای است که می‌تواند پوشش برفی مناطق وسیعی را که با روش‌های زمینی تعیین محدوده‌ی آن‌ها امکان‌پذیر نیست، در زمان‌های گوناگون نشان دهد [۲۱ و ۲]. به دلیل این که هر یک از سنجنده‌های دورسنجی از مزایا و محدودیتی ویژه برخوردارند، بهتر است در تعیین سطح پوشش برف از چند سنجنده^۱ استفاده شود [۴]. در مجموع داده‌های مناطق پوشیده از برف گرفته شده از ماهواره‌ها و ویژه در حوزه‌ها که پوشش برف موقتی دارند، بسیار مفید است [۲].

رانگو و همکاران [۱۹] با استفاده از یک روش ساده پردازش تصویر در تصاویر NOAA مساحت پوشش برف را طی سال‌های ۱۹۶۹ - ۱۹۷۳ در حوزه‌های آبخیز رودخانه‌های سند و کابل در پاکستان و افغانستان تعیین کردند و توانستند بین مساحت پوشش برف در حوزه‌ی آبخیز و دبی رودخانه رابطه‌ای معنی‌دار پیدا کنند. رامورتی [۱۸] نقش سطح مناطق پوشیده از برف (SCA)^۲ در برآورد رواناب فصل ذوب برف را بررسی نموده و مدل رگرسیون خطی مربوط به آن را با استفاده از درصد مناطق پوشیده از برف برای حوزه‌ی SATLEG هندوستان ارائه کرد. هاوولی و همکاران به نقل از مک کوپین [۱۶]، از مدل‌های رگرسیونی در برآورد رواناب فصل ذوب برف استفاده نمودند. فصل برف دوره‌ای تلقی شد که بیش‌ترین حجم رواناب ذوب برف در آن فصل به وقوع پیوسته بود. نتایج نشان داد که دقت مدل‌های رگرسیونی با افزایش طول دوره آماری به ویژه برای دوره‌های بالاتر از ۶۰ روز ارتباط معنی‌داری دارد. در ارتباط با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS، گوپتا و همکاران [۱۳] با کمک تصاویر ماهواره‌ای IRS^۳ در هندوستان مناطق با پوشش برفی خشک را از تر جدا کردند. در مقایسه بین پوشش برف خشک اندازه‌گیری شده با روش‌های زمینی و پوشش برف خشک برآورد شده از روش حرارتی، مقدار اختلاف از ۱/۷ درصد تا ۴۲/۷ درصد مشاهده شد.

سمادنی [۲۰] با استفاده از مدل بیلان آب رواناب ناشی از ذوب برف را برای ماههای اکتبر تا فوریه در دو حوزه‌ی Valuoja و Gimdalsbyn سوئد شبیه‌سازی نمود. نتایج نشان داد که شبیه‌سازی در حوزه‌ی آبخیز Valuoja در مقایسه با Gimdalsbyn بهتر انجام گرفت و ضریب همبستگی در حوزه‌ی Valuoja و Gimdalsbyn به ترتیب برابر ۰/۸۵ و ۰/۵۵ بدست آمد.

در ایران نیز نجفی و همکاران (۱۳۸۳) رواناب ناشی از ذوب برف را با استفاده از مدل SRM برای حوزه‌ی آبخیز سد مهاباد با ضریب رگرسیون و اختلاف حجمی به ترتیب ۰/۸۵ و ۳/۷۹- درصد برآورد نموده و دقت شبیه‌سازی را در حد قابل قبول ارزیابی نمودند. همچنین آذرهره‌دشت (۱۳۸۴) رواناب ناشی از ذوب برف را با استفاده از فناوری سنجش از دور و روش‌ها GIS برای حوزه‌ی آبخیز رودخانه‌ی قزل‌اوزن مدل‌سازی کرد. نتایج نشان داد که مدل SRM در پیش‌بینی جریان‌ات روزانه در حوزه‌ی آبخیز رودخانه‌ی قزل‌اوزن قابلیت بالایی دارد. مدل‌های پیش‌بینی ذوب برف هر کدام برای نیازهای ویژه و شرایط هیدرولوژیکی مشخصی توسعه یافته‌اند. مدل‌های خیلی کمی می‌توانند در شرایط گوناگون هیدرولوژیکی بکار برده شوند. از جمله مدل‌هایی که به صورت رایج در مسایل مربوط به برف بکار برده می‌شوند شامل مدل^۴ SAARR (1972)،^۵ SRM (1975)،^۶ NWSRFS (1973)،^۷ PRMS (1983) می‌باشد که برخی از این مدل‌ها از جمله مدل SRM به صورت گسترده‌ای هم در شبیه‌سازی و هم برای پیش‌بینی رواناب ذوب برف استفاده شده‌اند [۱۵]. با توجه به این که نوآوری بکار رفته در این پژوهش اولاً استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS-P6 با عرض تصویربرداری وسیع و قدرت تفکیک مکانی و رادیومتری بالا نسبت به سایر تصاویر بکار رفته در زمینه‌ی برآورد سطح پوشش برف می‌باشد و از لحاظ دقت برآورد سطح پوشش برف در سطحی بالا قرار گرفته است که تاکنون در ایران از این تصاویر در این زمینه استفاده نشده است و از سوی دیگر، دوره‌ی تکرار تصویربرداری در تصاویر ماهواره‌ای IRS-P6 حدود یک ماه می‌باشد و تصاویر استفاده شده در این پژوهش کل فصل بارش برف از ماه دسامبر تا ماه مارس را در بر می‌گیرد، بنابراین دقت برآورد رواناب بدست آمده در سطح نسبتاً خوبی قرار گرفته است. ضمن این که استفاده از مدل‌های آماری در برآورد رواناب ذوب برف از دیگر نوآوری‌های این پژوهش بشمار می‌آید که تاکنون در این زمینه در ایران انجام نگرفته است. هدف از انجام این پژوهش برآورد رواناب روزانه‌ی ناشی از ذوب برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای IRS-P6 و با کاربرد مدل‌های رگرسیونی دو و چند متغیره در حوزه‌ی آبخیز زرینه‌رود می‌باشد. همچنین ارزیابی میزان دقت مدل‌های رگرسیونی دو و چند متغیره در

4- Streamflow Synthesis and Reservoir Regulation

5- Snowmelt- Runoff Model

6- National Weather Service River Forecast System

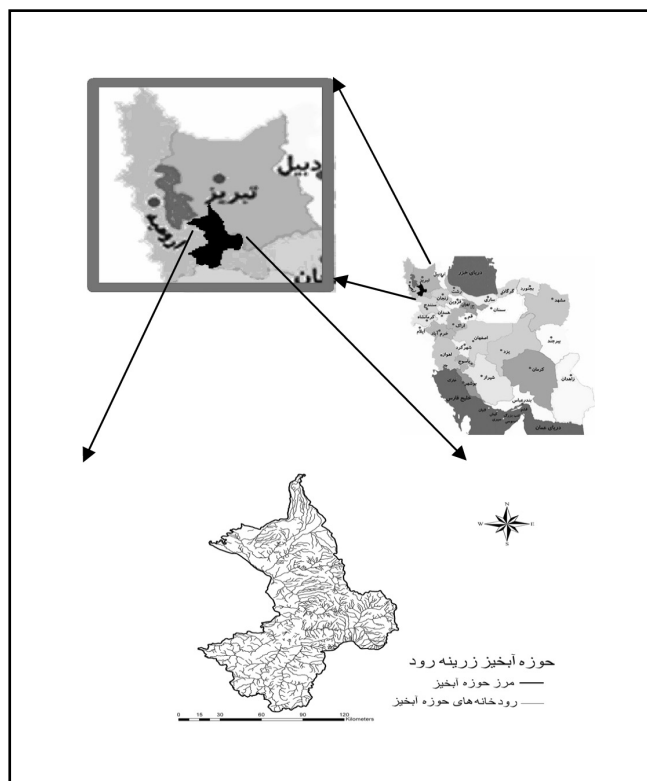
7- Precipitation Runoff Modeling System

1- Multisensor

2- Snow Covered Areas

3- Indian Remot Sensing

است.



شکل ۱ - نقشه‌ی موقعیت جغرافیایی حوزه‌ی آبخیز زرينه رود در استان و کشور

ایجاد تصاویر طبقه‌بندی شده IRS

تصاویر IRS استفاده شده در این پژوهش از سنجنده Awifs سری ماهواره‌ی منابع زمینی هندوستان IRS-P6 می‌باشد. این تصاویر از قدرت تفکیک طیفی بالایی برخوردار بوده و برای تهیه‌ی نقشه‌های پوشش برف مناسب هستند. مشخصات ماهواره IRS-P6 در جدول (۱) آمده است [۶]. برای تعیین سطح پوشش برف (SCA) حوزه‌ی آبخیز زرينه رود در فصل بارش برف در سال آبی ۲۰۰۶-۲۰۰۷، از سه تصویر ماهواره‌ای IRS مربوط به روزهای بیستم دسامبر، هفدهم ژانویه و یکم فوریه استفاده گردید. تصحیح هندسی^۱ چهار باند هر کدام از این تصاویر در محیط نرم‌افزار atica-geom PCI ۱۰.۹ با بیش از ده نقطه‌ی کنترل زمینی^۲ و با روش نزدیک‌ترین همسایه^۳ در سیستم مختصات متریک^۴ و با خطای جذر میانگین مربعات^۵ کم‌تر از ۰/۵ انجام گرفت. تصاویر ماهواره‌ای IRS تصحیح شده به‌داخل نرم‌افزار ۱۰.۳ ILWIS وارد گردید و هیستوگرام حاصل از ترکیب باندهای هر تصویر ترسیم گردیده و

برآورد رواناب روزانه ناشی از ذوب برف و مقایسه‌ی نتایج بدست آمده از آن‌ها با یکدیگر در حوزه‌ی مورد نظر، از دیگر اهداف این پژوهش است. منطقه‌ی مورد مطالعه در این پژوهش در بخش مواد و روش‌ها تشریح گردیده و همچنین چگونگی ایجاد تصاویر طبقه‌بندی شده IRS، عملیات تحلیل مکانی جهت استخراج محدوده‌ی حوزه‌ی آبخیز زرينه رود، تهیه‌ی نقشه‌های پوشش برف از تصاویر طبقه‌بندی شده IRS، برآورد رواناب روزانه‌ی ناشی از ذوب برف با استفاده از مدل‌های رگرسیونی دو و چند متغیره و در نهایت ارزیابی و صحت‌سنجی این مدل‌ها نیز در این بخش مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بدست آمده از تصاویر ماهواره‌ای IRS و همچنین نتایج بدست آمده از مدل‌های رگرسیونی در بخش نتایج آورده شده و در بخش بحث و نتیجه‌گیری مورد تحلیل قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه‌ی مورد مطالعه

حوزه‌ی آبخیز رودخانه‌ی زرينه رود (سد بوکان) در شمال غربی ایران و در جنوب شرقی دریاچه‌ی ارومیه واقع شده است (شکل ۱). این حوزه‌ی آبخیز در مختصات جغرافیایی ۴۵° - ۴۷° تا ۴۵° - ۴۷° طول شرقی و ۳۰° - ۳۵° تا ۳۵° - ۳۶° عرض شمالی گسترده شده است. مساحت حوزه‌ی آبخیز زرينه رود حدود ۱۳۸۹۰ کیلومتر مربع است. سد مخزنی زرينه رود روی رودخانه‌ی زرينه رود در استان کردستان و در فاصله‌ی ۸۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان میاندوآب و در شرق شهرستان بوکان احداث شده است. رودخانه‌ی زرينه رود از دامنه‌های شمالی کوه‌های چهل چشمه در نزدیکی مرز عراق سرچشمه گرفته و پس از جمع‌آوری جریان‌های سطحی تعدادی از شاخه‌های مهم مانند ساروق چای، خورخوره چای، سقزچای و آجرو از جنوب به سمت شمال جریان یافته و در نهایت به دریاچه‌ی ارومیه می‌ریزد [۷]. میانگین سالانه‌ی بارندگی حوزه‌ی آبخیز زرينه رود حدود ۵۲۷ میلیمتر برآورد شده و بیش‌ترین بارندگی در ماه‌های اسفند تا اردیبهشت است که حدود ۴۷ درصد از بارش سالانه را در بر گرفته و تنها ۷ درصد از بارندگی در ماه‌های خرداد تا مهر انجام می‌گیرد. میانگین سالانه‌ی دما در محل سد زرينه رود ۱۲/۴ درجه‌ی سانتی‌گراد برآورد شده که از حدود ۱/۸ - درجه‌ی سانتی‌گراد (بهمن ماه) تا ۲۶/۵ درجه‌ی سانتی‌گراد (مردادماه) متغیر است.

حوزه آبخیز سد بوکان دارای اقلیمی نیمه‌خشک و از نوع سرد کوهستانی می‌باشد. از لحاظ وضعیت برف‌خیزی منطقه، درصد بالایی از مقادیر بارش‌های سالانه، بویژه در فصل‌های پاییز و زمستان، به‌صورت برف ریزش می‌کند [۵] و با توجه به عملکرد سامانه‌های جوی سینوپتیک حاکم در منطقه و نقش توپوگرافی محلی، حد پایداری عنصر برف در طول سال، بویژه در مناطق مرتفع حوزه‌ی آبخیز، نسبت به سایر مناطق جغرافیایی کشور متفاوت

- 1- Geometric Correction
- 2- Ground Control Point
- 3- Nearest neighbour
- 4- UTM
- 5- RMSE

همبستگی بین باندهای گوناگون این تصاویر مورد بررسی قرار گرفت. برای انجام بارزسازی^۱ مناسب ترین ترکیب از باندهای هر تصویر که بیشترین وضوح و تباین^۲ را در تصویر ایجاد نمودند با توجه به همبستگی بین باندها انتخاب و برای ایجاد تصاویر ترکیبی^۳ IRS استفاده گردید. بمنظور انجام طبقه بندی تصاویر از روی هر کدام از این تصاویر نمونه های طیفی^۴ تهیه شد [۱]. نمونه های طیفی مربوط به هر تصویر، امکان طبقه بندی پیکسل های موجود در تصویر را فراهم نمود.

جدول ۱- ویژگی های سنجنده های گوناگون از ماهواره IRS-P6

IRS-P6			نام ماهواره
AWIFS	LISS-III	LISS-IV	نام سنجنده
۶۰-۷۰	۲۳/۵	۵/۸	توان تفکیک مکانی (متر)
۷۰۰	۱۴۰	۲۳/۹	عرض تصویر برداری (کیلومتر)
۴	۴	۳	تعداد باندها
۰/۵۲-۰/۵۹ ۰/۶۲-۰/۶۸ ۰/۷۷-۰/۸۶ ۱/۵۵-۱/۷۰	۰/۵۲-۰/۵۹ ۰/۶۲-۰/۶۸ ۰/۷۷-۰/۸۶ ۱/۵۵-۱/۷۰	۰/۵۲-۰/۵۹ ۰/۶۲-۰/۶۸ ۰/۷۷-۰/۸۶ ۱/۵۵-۱/۷۰	محدوده طیفی (میکرون)
۱۰- Bit	۷- Bit	۷- Bit	توان تفکیک رادیومتری

به دلیل قدرت تفکیک مکانی بالای تصاویر ماهواره ای IRS، از روی نمونه های طیفی ایجاد شده از هر تصویر با استفاده از روش طبقه بندی نظارت نشده^۵ و کلاستر بندی^۶ تصویر، پیکسل های موجود در تصویر طبقه بندی گردیدند. در این حالت پیکسل های تصویر در دو طبقه^۷ به صورت برف و غیر برف طبقه بندی شدند [۱]. به این ترتیب تصویر طبقه بندی شده^۸ تشکیل گردید که در آن برف از غیر برف تفکیک شده است.

عملیات تحلیل مکانی

در محیط نرم افزار Arc GIS 9.2 مراحل آماده سازی داده ها انجام گرفته و عملیات تحلیل مکانی نظیر تبدیل نقشه های توپوگرافی

- 1- Image Enhancement
- 2- Contrast
- 3- Map list
- 4- Sample Set
- 5- Unsupervised Classification
- 6- Clustering
- 7- Cluster
- 8- Mapcluster

آنالوگ شامل ۲۷ شیت نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ به فرمت رقومی جهت استخراج محدوده ی حوزه و تعیین خط برف، ایجاد مدل رقومی ارتفاع^۹ (شکل ۶) و استخراج محدوده ی حوزه ی آبخیز زرينه رود انجام گرفت. در این مرحله به ترتیب عملیات تغییر فرمت داده ها، تلفیق لایه ها، اعمال تصحیحات هندسی، استخراج پارامترهای هیدرولوژیکی (از جمله تعیین محدوده ی حوزه آبخیز و شبکه ی آبراهه ها) صورت پذیرفت [۵].

تهیه نقشه های پوشش برف از تصاویر IRS

بمنظور ایجاد نقشه ی پوشش برف حوزه ی آبخیز زرينه رود، نقشه ی مرز حوزه ی آبخیز پس از یکسان سازی سیستم مختصات با تصاویر طبقه بندی شده منطقه، روی این تصاویر قرار گرفته و برش داده شد و به این ترتیب نقشه های پوشش برف حوزه ی آبخیز مربوط به تاریخ های ذکر شده از روی تصاویر ماهواره ای IRS تهیه گردید [۱۰، ۲ و ۸]. در این مرحله با هدف کاهش نقش بازتابش پیکسل های منفرد از فیلتر بارزسازی اکثریت^{۱۰} استفاده شد [۵]. گفتنی است که نقشه ی برفی نهایی در فرمت باینری بوده و از منطق بولین پیروی می کند و در این مدل، کل تصویر به دو پهنه ی برفی و بدون برف طبقه بندی شد. با توجه به این که سطح پوشش برف مهم ترین عامل در برآورد رواناب روزانه ناشی از ذوب برف با استفاده از مدل های آماری دو و چند متغیره است، دقت نقشه های طبقه بندی شده، با استفاده از میزان رواناب بدست آمده از مدل و مقایسه ی آن با رواناب اندازه گیری شده ی حوزه ی آبخیز بدست آمد.

کاربرد مدل های آماری

برای برآورد رواناب روزانه ناشی از ذوب برف از متغیرهای سطح پوشش برف، شاخص درجه- روز و رواناب روزانه اندازه گیری شده حوزه ی آبخیز زرينه رود در ایستگاه سد بوکان که خروجی حوزه ی آبخیز می باشد، استفاده شد. موقعیت ایستگاههای سینوپتیک و برف سنجی حوزه ی آبخیز زرينه رود بر روی نقشه ی مناطق شهری در شکل (۲) نشان داده شده است. به این منظور از داده های ماههای دسامبر، ژانویه و فوریه از سال آبی ۲۰۰۶-۲۰۰۷ استفاده شد. برای یک جامعه ی آماری معادله ی رگرسیون خطی دو متغیره به صورت رابطه ی $y = a + bx$ می باشد که در آن a و b ضرایب رگرسیون، x متغیر مستقل و y نیز متغیر وابسته می باشد. با برآورد ضرایب a و b معادله ی رگرسیون خطی دو متغیره مشخص خواهد شد و در این صورت میزان تغییرات y بر حسب تغییرات x به صورت کمی در می آید (۹). برای برآورد رواناب روزانه ناشی از ذوب برف از راه مدل رگرسیون خطی دو متغیره، ابتدا لازم است که سطح پوشش برف برای سایر روزهایی که تصاویر ماهواره ای IRS برداشت نشده است برآورد گردد. بدین منظور رابطه ی رگرسیونی به

9- Digital Elevation Model

10- Majority Filter

جدول ۲- ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی ایستگاههای سینوپتیک و برف سنجی حوزه ی آبخیز زرينه رود

نام ایستگاه	ارتفاع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی
آتیان	۱۴۵۰	۴۶°۳۰'	۳۶°۱۳'
صفاخان	۱۴۷۵	۴۶°۳۲'	۳۶°۲۵'
قبقلو	۱۵۰۰	۴۶°۱۰'	۳۶°۱۱'
سد بوکان	۱۵۲۰	۴۶°۳۲'	۳۶°۲۵'
آلاسقل	۱۷۵۰	۴۷°۰۲'	۳۶°۲۹'
چارتاغ	۲۵۰۰	۴۷°۱۷'	۳۶°۲۸'
شیخ چوپان	۱۸۰۰	۴۵°۵۴'	۳۶°۱۴'
گور بابا	۲۲۱۰	۴۶°۵۲'	۳۶°۱۴'
مقانعق	۱۵۰۰	۴۶°۲۵'	۳۷°۲۰'

برآورد شده از رگرسیون در مرحله ی قبل، در این معادله رواناب ناشی از ذوب برف به صورت روزانه برای تمامی روزهای مربوط به ماههای دسامبر، ژانویه و فوریه از سال آبی ۲۰۰۶-۲۰۰۷ برآورد شد [۱۸]. معادله ی رگرسیون خطی چند متغیره با بیش از دو متغیر پیش بینی که مدل درجه ی اول خطی با $p-1$ متغیر پیش بینی نامیده می شود به صورت رابطه ی زیر است:

$$b_2, b_1, a, \text{ که در آن } b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_{p-1} x_{p-1} + a = y$$

و b_{p-1} ضرایب رگرسیون و $x_1, x_2, \dots, x_{p-1}$ متغیرهای مستقل و y نیز متغیر وابسته می باشد. در صورت برآورد ضرایب رگرسیونی در این معادله، معادله ی رگرسیون خطی چند متغیره بدست خواهد آمد که در آن میزان تغییرات y بر حسب تغییرات متغیرهای پیش بینی $x_1, x_2, \dots, x_{p-1}$ به صورت کمی در می آید (۹). بر این اساس افزون بر مدل رگرسیون دو متغیره، ارتباط بین متغیرهای شاخص درجه - روز، میانگین درجه حرارت روزانه و سطح پوشش برف با رواناب روزانه حوزه به صورت مدل رگرسیون چند متغیره نیز بدست آمد.

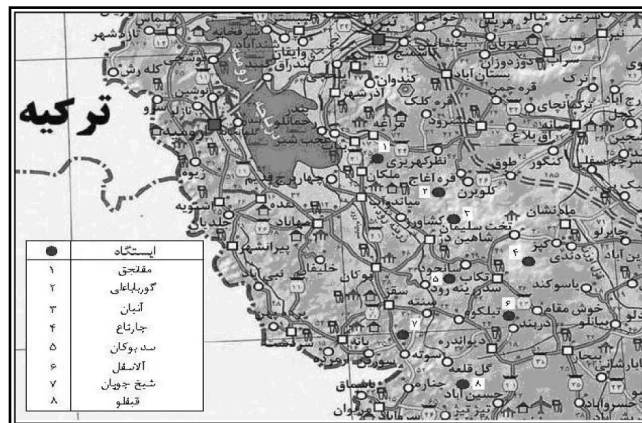
ارزیابی و صحت سنجی مدل های آماری

رواناب روزانه ی محاسبه شده از راه مدل رگرسیونی با رواناب روزانه اندازه گیری شده حوزه ی آبخیز، به وسیله ی دو معیار دقت کمی شامل ضریب تبیین (R^2) و تفاضل حجم (DV) مورد مقایسه قرار گرفته [۲۳؛ ۲۲ و ۱۵] و دقت مدل دو و چند متغیره در برآورد رواناب خروجی حوزه مورد بررسی قرار گرفت. این ضرایب از راه روابط ۲ و ۳ قابل محاسبه هستند.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_i')^2} \quad (2)$$

که در آن: Q_i دبی رواناب روزانه اندازه گیری شده، Q_i' دبی

صورت خطی بین سطح پوشش برف بدست آمده از تصاویر ماهواره ای IRS با رواناب روزانه اندازه گیری شده ی حوزه ی آبخیز زرينه رود مربوط به همان روزها در ایستگاه سد بوکان و در محیط نرم افزار SPSS ۵.۱۱ برقرار گردید [۱۸].



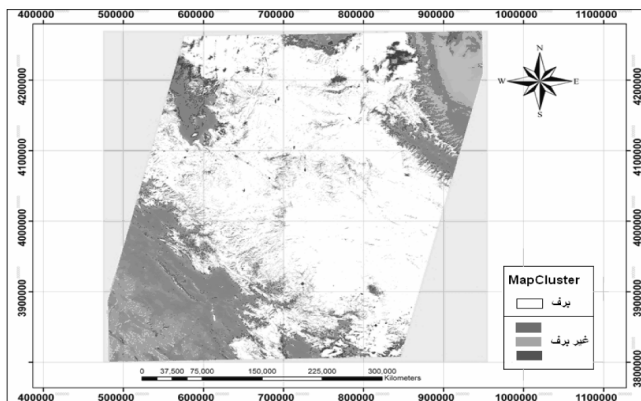
شکل ۲ - موقعیت ایستگاه های سینوپتیک و برف سنجی حوزه ی آبخیز زرينه رود بر روی نقشه مناطق شهری

با قرار گرفتن رواناب اندازه گیری شده کلیه روزها در این رابطه سطح پوشش برف برای سایر روزهای این سه ماه برآورد شد [۱۸]. چگالی برف همانند دیگر ویژگی های برف در طی سه روز در ماههای گوناگون از فصل ریزش برف در ایستگاه سد بوکان اندازه گیری شده و شاخص درجه - روز ۲۷ برای هر ماه عدد مشخصی را نشان می دهد [۱۵]، بنابراین برای هر یک از ماه های دسامبر، ژانویه و فوریه با توجه به چگالی برف اندازه گیری شده در این ایستگاه، این شاخص از راه رابطه ی ۱ بدست آمد:

$$\alpha = 1.1 \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} \right) \quad (1)$$

که در آن: α شاخص درجه - روز بر حسب سانتی متر بر درجه سانتی گراد در روز، ρ_s و ρ_w به ترتیب چگالی برف و چگالی آب بر حسب گرم بر سانتی متر مکعب می باشند. برخی از ویژگی های ایستگاههای سینوپتیک و برف سنجی حوزه ی آبخیز زرينه رود شامل ارتفاع، طول و عرض جغرافیایی این ایستگاهها در جدول (۲) آورده شده است.

بین مقادیر شاخص درجه - روز محاسبه شده و سطح پوشش برف بدست آمده از تصاویر ماهواره ای IRS ارتباط برقرار گردید. از سوی دیگر، ارتباط بین همین مقادیر شاخص درجه - روز با دبی رواناب روزانه اندازه گیری شده در روزهای مربوط به تصاویر ماهواره ای IRS نیز بدست آمد. از تلفیق این دو رابطه، رابطه ی نهایی بدست آمد که این معادله ارتباط بین سطح پوشش برف و دبی رواناب روزانه حوزه، با توجه به شاخص درجه - روز می باشد و در آن، x (سطح پوشش برف و y) رواناب روزانه حوزه است. با جایگذاری مقادیر سطح پوشش برف بدست آمده از تصاویر ماهواره ای IRS و همچنین



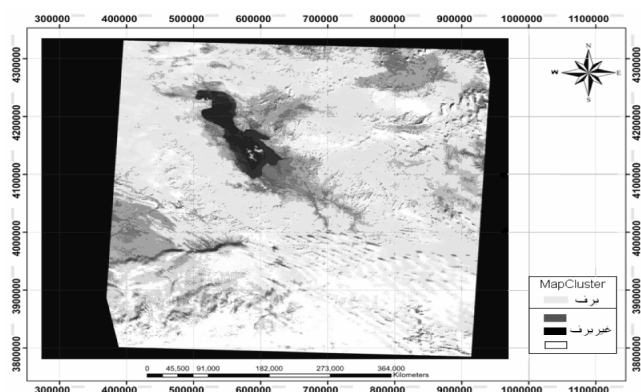
شکل ۴- تصویر طبقه بندی شده IRS منطقه مورد تحقیق
در تاریخ ۲۰۰۷/۱/۱۷

روش طبقه بندی نظارت نشده و کلاستر بندی پیکسل های تصویر را نشان می دهند که در آن تصاویر در دو طبقه به صورت برف و غیر برف تفکیک گردیده اند. شکل های ۸ تا ۱۰ نقشه های پوشش برف حوزه ی آبخیز زرينه رود در تاریخ های گوناگون را نشان می دهند. از راه نقشه های پوشش برف مقادیر سطح پوشش برف حوزه ی آبخیز زرينه رود به صورت جدول (۳) بدست آمد. رابطه ی رگرسیونی خطی بین سطوح پوشش برف حاصل از تصاویر ماهواره ای IRS با رواناب روزانه اندازه گیری شده حوزه ی آبخیز زرينه رود در ایستگاه سد بوکان به صورت رابطه ی ۴ بدست آمد.

$$y = 16329/16 - x \quad 3358/17 \quad (7)$$

که در آن: (x) رواناب روزانه اندازه گیری شده و (y) سطح پوشش برف بدست آمده از تصاویر ماهواره ای IRS می باشد. میزان ضریب تبیین در این معادله برابر ۰/۸۶ بدست آمد.

با استفاده از رابطه ی ۷ از راه رواناب روزانه اندازه گیری شده در روزهای بدون تصویر، سطح پوشش برف مربوط به این روزها برآورد شد. سپس با توجه به مقادیر چگالی برف اندازه گیری شده در ایستگاه سد بوکان، شاخص درجه- روز به صورت جدول (۴) به دست آمد.



شکل ۵- تصویر طبقه بندی شده IRS منطقه مورد تحقیق
در تاریخ ۲۰۰۷/۲/۱

رواناب روزانه محاسبه شده، میانگین دبی اندازه گیری فصل مورد مطالعه و n شماره دبی روزانه می باشد.

$$D_{V[\%]} = [(V_R - V_{\bar{R}}) / V_R] \times 100 \quad (3)$$

که در آن: V_R حجم سالانه یا فصلی رواناب اندازه گیری شده و $V_{\bar{R}}$ حجم سالانه یا فصلی رواناب محاسبه شده می باشد. برای انجام صحت سنجی برآورد رواناب روزانه ناشی از ذوب برف با استفاده از مدل رگرسیونی، سطح پوشش برف از تصاویر ماهواره ای IRS مربوط به تاریخ بیست و پنجم فوریه از سال آبی ۲۰۰۶-۲۰۰۷ برآورد شده و در مدل های آماری بدست آمده وارد گردید و سپس با استفاده از معیارهای RE ، $RMSE$ و QE (روابط ۴، ۵ و ۶) رواناب شبیه سازی شده با رواناب واقعی حوزه مورد مقایسه قرار گرفت.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z(x_i) - \hat{z}(x_i)]^2} \quad (4)$$

که در آن $RMSE$ ، مجذور میانگین مربعات خطا؛ $z(x_i)$ ، مقدار مشاهده ای متغیر وابسته؛ $\hat{z}(x_i)$ ، مقدار تخمینی متغیر وابسته و n تعداد مشاهدات می باشند.

$$RE = \left| \frac{Y_0 - Y_e}{Y_0} \right| \times 100 \quad (5)$$

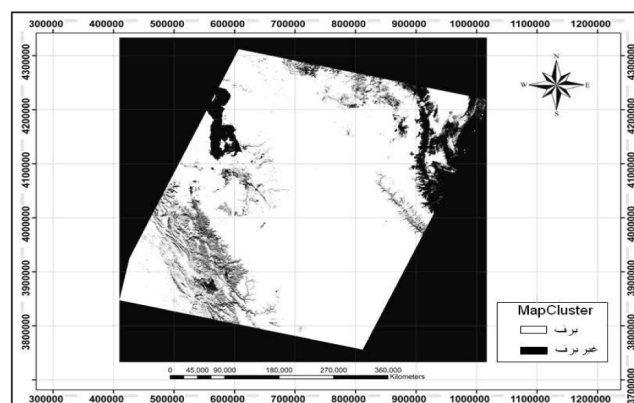
که در آن RE ، خطای نسبی؛ Y_0 ، مقدار مشاهده ای متغیر وابسته؛ Y_e ، مقدار تخمینی متغیر وابسته می باشند.

$$QE = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_0 - \bar{Q}_0) - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_0 - Q_e)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_0 - \bar{Q}_0)^2} \quad (6)$$

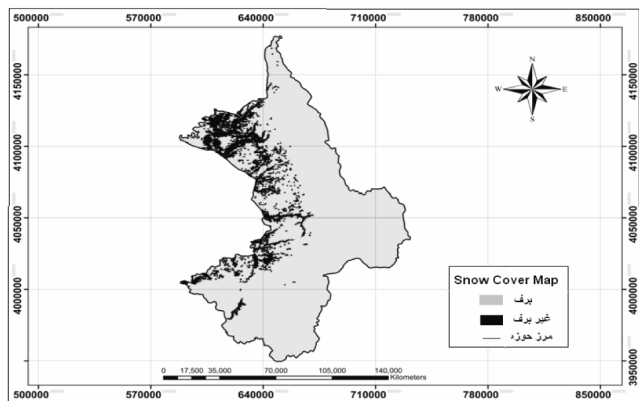
که در آن QE ، ضریب کارایی، Q_0 ، مقدار مشاهده ای متغیر وابسته؛ Q_e ، مقدار تخمینی متغیر وابسته؛ $\bar{Q}_0$ ، میانگین کل مقدار مشاهده ها و n تعداد مشاهدات می باشند.

نتایج

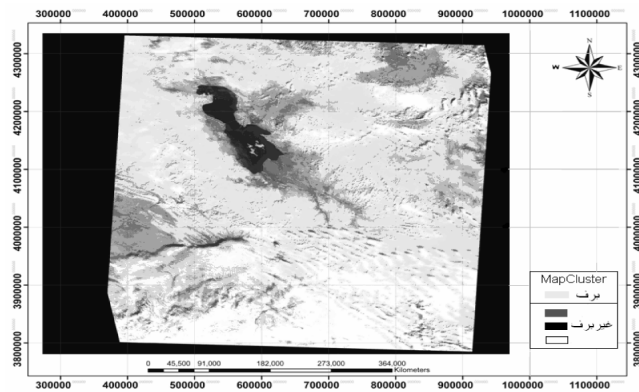
شکل های (۳) تا (۵) تصاویر طبقه بندی شده IRS با استفاده از



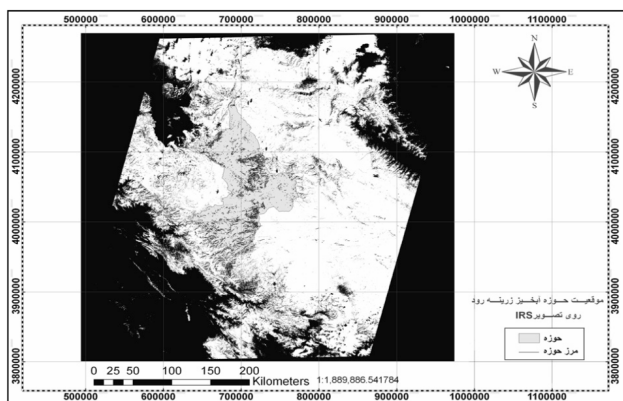
شکل ۳- تصویر طبقه بندی شده IRS منطقه مورد تحقیق
در تاریخ ۲۰۰۶/۱۲/۲۰



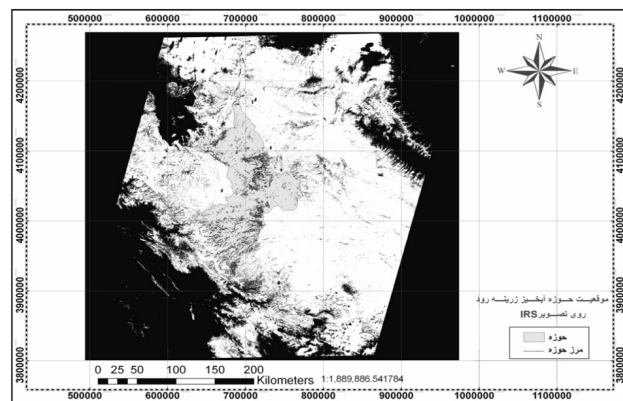
شکل ۸- نقشه پوشش برف حوزه آبخیز زرینه رود
در تاریخ ۲۰۰۶/۱۲/۲۰



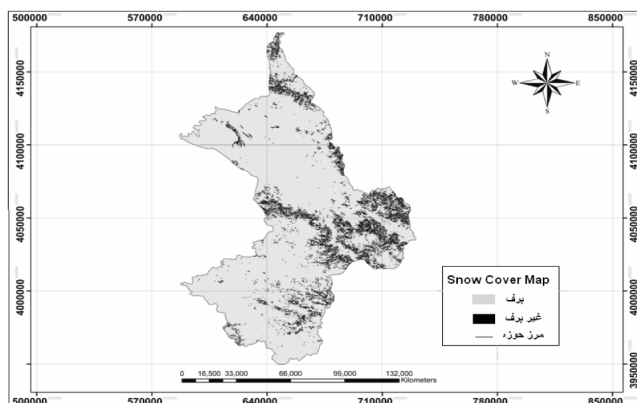
شکل ۶- نقشه مدل رقومی ارتفاع حوزه آبخیز زرینه رود



شکل ۹- نقشه پوشش برف حوزه آبخیز زرینه رود
در تاریخ ۲۰۰۷/۱/۱۷



شکل ۷- موقعیت حوزه آبخیز زرینه رود در تصویر ماهواره ای IRS
در تاریخ ۲۰۰۷/۱/۱۷



شکل ۱۰- نقشه پوشش برف حوزه آبخیز زرینه رود
در تاریخ ۲۰۰۷/۲/۱

جدول ۳- نتایج ناشی از نقشه های پوشش برف بدست آمده از
تصاویر طبقه بندی شده IRS حوزه ی آبخیز زرینه رود

ردیف ماه / سال	روز سطح پوشش	برف حوزه آبخیز (cm)	زرینه رود (km ²)
۱	فوریه / ۲۰۰۷	۲۵	۳۴۲۴/۸۴

معیار ضریب تبیین (R^2) و تفاضل حجم (D_V)، مقدار آن‌ها را برای مجموع سه ماه مورد مطالعه از سال آبی ۲۰۰۶-۲۰۰۷ در حوزه ی آبخیز زرينه رود به ترتیب برابر ۰/۸۱ و ۱۹/۳۶- نشان داد. نتایج بدست آمده از صحت سنجی مدل رگرسیون دو متغیره، با استفاده از مساحت پوشش برف حاصل از تصویر ماهواره ای IRSS (جدول ۴) در تاریخ ۲۵/۲/۲۰۰۷ (شکل ۱۱) مقدار معیار RMSE را برابر ۰/۲ نشان داد. مدل رگرسیون چند متغیره ناشی از ارتباط بین متغیرهای شاخص درجه- روز، میانگین درجه حرارت روزانه و سطح پوشش برف با رواناب روزانه حوزه به صورت رابطه ی ۱۱ بدست آمد.

(۱۱)

$y = 0.189 + 0.064(x_1) - 0.000295(x_2) + 0.000061(x_3)$
که در آن: y رواناب روزانه ی حوزه ؛ x_1 شاخص درجه- روز ؛ x_2 میانگین درجه حرارت روزانه و x_3 سطح پوشش برف می باشد. نتایج ارزیابی مدل رگرسیونی چند متغیره، مقدار دو معیار (R^2) و (D_V) را در همان بازه ی زمانی به ترتیب برابر ۰/۹۴ و ۱۳/۴۸- نشان داد.

همچنین نتایج بدست آمده از صحت سنجی این مدل نیز مقدار معیارهای RMSE، RE و QE را به ترتیب برابر ۰/۱۹، ۰/۲۴، و ۰/۹۹ نشان داد.

بحث و نتیجه گیری

نتایج بدست آمده از ارزیابی دقت مدل رگرسیون چند متغیره که به وسیله ی معیار دقت کمی یا ضریب تبیین (R^2) انجام گرفت، مقدار این معیار را برای مجموع ماه های دسامبر، ژانویه و فوریه از سال آبی ۲۰۰۶-۲۰۰۷ در حوزه ی آبخیز زرينه رود برابر ۰/۹۴ نشان داد و بنابراین با نتایج ناگلر و همکاران [۱۷] در برآورد رواناب ناشی از ذوب برف در چند حوزه ی آبخیز اتریش از جمله حوزه ی آبخیز VENT برای سال آبی ۲۰۰۶ با ضرایب تبیین از

بین مقادیر شاخص درجه- روز محاسبه شده و سطح پوشش برف بدست آمده از تصاویر ماهواره ای IRS ارتباط رگرسیونی به صورت رابطه ی ۵ برقرار گردید که در آن: (x) سطح پوشش برف و (y) شاخص درجه- روز می باشد. میزان ضریب تبیین در این معادله برابر ۰/۷۴ بدست آمد.

$$y = -0.00002x + 0.457 \quad (۸)$$

از سوی دیگر، بین همین مقادیر شاخص درجه- روز با دبی رواناب روزانه اندازه گیری شده در روزهای مربوط به تصاویر ماهواره ای IRS نیز رابطه ای دیگر به صورت رابطه ی ۹ برقرار گردید که در آن ضریب تبیین برابر ۰/۸۲ بدست آمد.

$$y = -0.278x + 0.518 \quad (۹)$$

که در آن: (x) رواناب روزانه ی اندازه گیری شده و (y) شاخص درجه- روز می باشد. از تلفیق این دو رابطه با یکدیگر، رابطه ی نهایی (رابطه ی ۱۰) بدست آمد که این رابطه ارتباط بین سطح پوشش برف و دبی رواناب روزانه حوزه ی آبخیز، با توجه به شاخص درجه- روز است و در آن: (x) سطح پوشش برف و (y) رواناب روزانه حوزه ی آبخیز می باشد.

$$y = 0.0000719x + 0.2194 \quad (۱۰)$$

با جایگذاری مقادیر سطح پوشش برف بدست آمده از تصاویر ماهواره ای IRS و همچنین برآورد شده از رگرسیون در مرحله ی پیش، در این معادله رواناب ناشی از ذوب برف به صورت روزانه برای روزهای مربوط به ماههای دسامبر، ژانویه و فوریه از سال آبی ۲۰۰۶-۲۰۰۷ برآورد شد.

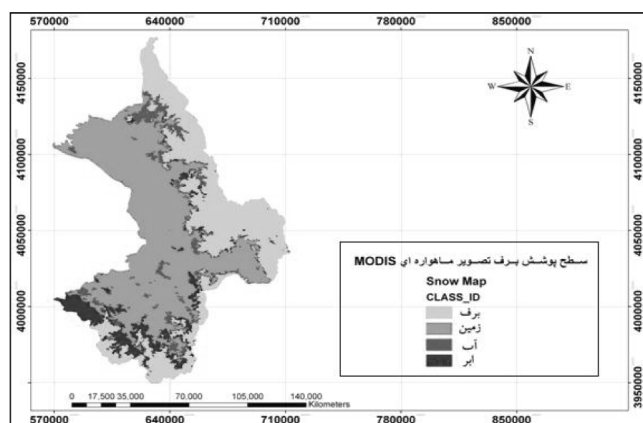
نتایج ارزیابی دقت مدل رگرسیونی دو متغیره با استفاده از دو

جدول ۴ - مقادیر شاخص درجه- روز برای پنج ماه از سال آبی ۲۰۰۶-۲۰۰۷

ماه	اکتبر	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه
شاخص درجه- روز	۰/۱۸	۰/۲۱	۰/۲۳۳	۰/۲۴۰	۰/۳۴۰

جدول ۵- مساحت پوشش برف حاصل از تصویر ماهواره ای IRS در تاریخ ۲۵/۲/۲۰۰۷

ردیف	ماه / سال	روز	سطح پوشش برف حوزه آبخیز زرينه رود (km^2)
۱	دسامبر/ ۲۰۰۶	۲۰	۱۳۵۱۱/۴۰
۲	ژانویه/ ۲۰۰۷	۱۷	۱۲۹۳۷/۵۶
۳	فوریه/ ۲۰۰۷	۱	۷۰۲۶/۴۰



شکل ۱۱- نقشه پوشش برف حوزه آبخیز زرينه رود در تاریخ ۲۵/۲/۲۰۰۷

۰/۹۱ تا ۰/۹۶ با استفاده از مدل رگرسیون خطی چند متغیره مطابقت دارد و مشخص نمود که مدل چند متغیره در برآورد رواناب روزانه ناشی از ذوب برف با توجه به شاخص درجه-روز، میانگین درجه حرارت روزانه و سطح پوشش برف بدست آمده از تصاویر ماهواره ای IRS، از دقتی بالا برخوردار است. طول دوره ی آماری مورد استفاده در این پژوهش ۹۰ روز است که به تقریب کل فصل بارش برف از سال آبی ۲۰۰۶-۲۰۰۷ را در بر می گیرد و این مسئله باعث افزایش دقت مدل در برآورد رواناب روزانه ی ناشی از ذوب برف شده است. نتایج بدست آمده با یافته های هاوولی و همکاران به نقل از مک کوئین [۱۶]، مبنی بر این که دقت مدل های رگرسیونی با افزایش طول دوره ی آماری بویژه برای دوره های بالاتر از ۶۰ روز ارتباطی معنی دارد، مطابقت می کند. نتایج بدست آمده از ارزیابی دقت مدل چند متغیره که از راه معیار دقت کمی یا تفاضل حجم (DV) انجام گرفت، مقدار این معیار را برای مجموع ماه های دسامبر، ژانویه و فوریه از سال آبی ۲۰۰۶-۲۰۰۷ در حوزه آبخیز زربینه رود برابر ۱۳/۴۸- نشان داد که با نتایج حاصل از برآورد رواناب روزانه در حوزه آبخیز آنگران^۱ در کشور ازبکستان به نقل از مارتینس و همکاران [۱۵] با تفاضل حجم (DV) برابر ۱۳/۹- مطابقت می نماید. مدل رگرسیون چند متغیره به دلیل استفاده از متغیرهای تاثیرگذار بیش تر، نتایجی بهتر نسبت به مدل رگرسیون دو متغیره داشته است. میزان دقت این مدل، استفاده از آن را بمنظور برآورد رواناب روزانه ی ناشی از ذوب برف توجیه می کند. همچنین صحت سنجی مدل رگرسیونی نیز نشان داد که در مجموع معیارهای RMSE، RE و QE استفاده از روش خوشه بندی در تصاویر ماهواره ای IRS برای محاسبه ی سطح پوشش برف و برآورد رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از مدل های آماری را تایید می کند. پیشنهاد می شود از مدل های آماری دو و چند متغیره در برآورد رواناب ناشی از ذوب برف برای سایر حوزه های آبخیز کشور استفاده شده و میزان دقت آن ها در این حوزه ها نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

تشکر و قدردانی

از مسئولان محترم سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، سازمان مدیریت منابع آب تهران، سازمان هواشناسی کشور و سازمان آب منطقه ای آذربایجان غربی برای در اختیار قرار دادن داده های لازم تشکر می نمایم.

منابع

۱- آذرهره دشت، ا. ۱۳۸۴. مدل سازی رواناب ناشی از ذوب برف را با استفاده از فناوری سنجش از دور و تکنیک های GIS، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران، دانشگاه تهران: ۱۸۶ ص.

1- Angren

۲- پرهت، ج.، ثقفیان، ج. و صدقی، ح. ۱۳۸۴. بررسی کاربرد مدل SRM در شبیه سازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از داده های ماهواره ای در حوزه های بدون آمار برف (مطالعه موردی حوزه خرسان در کارون)، مجله تحقیقات منابع آب ایران بهار ۱ (۱): ۱-۱۱.

۳- شرکت مدیریت منابع آب ایران (تماب). ۱۳۷۵. بولتن وضعیت منابع آب کشور، سال هشتم، شماره ۱۲: ۸۹ ص.

۴- جلوخانی نیارکی، م. ج. ۱۳۸۱. تهیه نقشه پوشش برف با استفاده از تصاویر NOAA - AVHRR و تکنیک های GIS (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد کرج)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس: ۲۹۱ ص.

۵- رسولی، ع. ا. و ادهمی، س. ۱۳۸۶. محاسبه آب معادل از پوشش برفی با پردازش تصاویر سنجنده MODIS. مجله جغرافیا و توسعه. شماره ۱۰.

۶- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح. ۱۳۸۷. گزارش سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح در مورد تصاویر ماهواره ای IRS: ۵ ص.

۷- سیدی علم آباد، م.، مرادی، ح. ر.، قنبرپور، م. ر. و میریعقوب زاده، م. ج. ۱۳۸۷. بررسی تاثیر ارتفاع از سطح دریا بر عمق برف در حوزه آبخیز سد زربینه رود. مجموعه مقالات سومین همایش یافته های پژوهشی کشاورزی و منابع طبیعی (غرب کشور). دانشگاه کردستان.

۸- قنبرپور م. ر. ۱۳۸۴. بررسی پراکنش مکانی و زمانی سطح پوشش برف و مدل پیش بینی رواناب، پایان نامه دکتری رشته مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تهران: ۲۳۳ ص.

۹- مصداقی، م. ۱۳۸۳. روشهای رگرسیون در تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی، انتشارات آستان قدس رضوی، ۲۹۰ ص.

۱۰- نجفی، م. ر.، شیخی وند، ج. و پرهت، ج. ۱۳۸۳. برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوزه های برف گیر با استفاده از مدل (SRM) مطالعه موردی: حوزه سد مهاباد، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی ۱۱ (۳): ۱۱۱-۱۲۱.

11- Baret, C.K.D.E.G. 1990. Satellite Remote Sensing For Operational Hydrology, issue 2: 211.

12- Clark, M.P., Slater, A.G., Barrett A.P., Hay L.E., McCabe, G.J., Rajagopalan, B. 2006. Assimilation of snow covered area information into hydrologic and land- surface models: Advances in Water Resources, 29: 1209- 1221.

13- Gupta, R.P., Haritashya, U.K. and Singh, P. 2005. Mapping dry/wet snow cover in Indian Himalayas using IRS multispectral imagery: Remote Sensing of Environment, 97: 458- 469.

14- Hall, D.K., Klein, A.G. and Riggs, G.A. 1997. Improving the AIR MODIS Global SNOW-

Himalayan region employing meteorological satellite snow cover observation: *Water Resources Research*, 13: 109-112.

20- Semadeni, D.A. 1997. Monthly Snowmelt modeling for large- scale climate change studies using the degree day approach: *Ecological modeling*, 101: 303-323.

21- 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*, 204: 1-23.

22- Swamy, A.N. and Brivio, P.A. 1996. Hydrological modelling of snowmelt in the Italian Alps using visible and infrared remote sensing: *International Journal of Remote Sensing*, 17 (16): 3169- 3188.

23- Tekeli, A.E., Rekb, Z.A., Sormanc, A.A., Sensoyc, A. and Sorman, A.U. 2005. Using MODIS snow cover maps in modelling snowmelt runoff process in the eastern part of Turkey: *Remote Sensing of Environment*, 97: 216- 230.

Mapping Algoritme, In: *Proceedings of Symposium on IEEE International Geoscience and Remote Sensing (IGARSS97)*, 1-5 March, 1997: 619- 621.

15- Martinec, J., Rango, A. and Roberts, R. 1998. Snowmelt runoff model (SRM) user's manual. *Geographica Bernensia*, Switzerland, University of Bern, 35: 1-42.

16- McCuen, R.H. 1998. *Hydrologic Analysis and Design*, Prentice Hall Pu: 238.

17- Nagler, T., Rott, H. and Malcher, P. 2007. Florian Müller Assimilation of Meteorological and Remote Sensing Data for Snowmelt Runoff Forecasting: *Remote Sensing of Environment*, DOI: 10.1016/j.rse. 2007.07.006.

18- Ramamoorthi, A.S. 1987. Snow cover area (SCA) is the main factor in forecasting snowmelt runoff from major river basins, In: *Proceedings of the Vancouver Symposium? IAHS Publ*, 166: 187-197.

19- Rango, A., Salomonson, V.V. and Foster, J.L. 1977. Seasonal stream flow estimation in the

Abstract**Estimation of Snowmelt Runoff Using IRS Satellite Data and Statistical Models
(The Case Study: Zarinerood Basin)**M. Sayedi Elmabad¹ H. R. Moradi² and M. R. Ghanbarpour³

Due to difficulties in measurements of snow characteristics in mountainous areas, use of IRS satellite images and extracting information of snow cover in watershed is a common practice. These information can be utilized by statistical models such as bivariable and multivariable regression models to estimate the snow-melting runoff. This research was carried out in Zarinerood (Bokan Dam) watershed in West Azarbaijan Province due to its importance in water resources supply.

In this research, in addition to remote sensing data, the data from climatology, snow and hydrological stations are used to present regression models to estimate river runoffs.

The results from multivariable regression models with two criteria such as R^2 and DV (Difference in Volume) for December, January and February of 2006-2007 in Zarinerood watershed are equal to 0.94, -13.48, respectively. The bivariable model for R^2 and DV presented 0.81 and -19.36, respectively. For calibration of statistical models, the level of snow covered areas are measured by IRS satellite images. The results presented based on RMSE, RE and QE criteria. RMSE for bivariable and multivariable regression models is 0.2 and 0.01, respectively.

Keywords: *Snowmelting, Statistical Models, Water Resource Management, IRS Images and Zarinerood Watershed.*

1- Former Master Student, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares university, Noor, Mazandaran, Iran, m_saedi1225@Yahoo.com

2- Assistant professor, Department of Watershed Management Engineering, College of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares university, Noor, Mazandaran, Iran.

3- Assistant professor, Sari Agricultural Science and Natural Resources University, Sari, Mazandaran, Iran.