



استخراج مدل تجربی ارتباط مساحت آب هامونها با مساحت پوشش برف حوزه آبریز هیرمند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای

حمید طاهری شهرآئینی

کارشناس ارشد دفتر مطالعات آب و محیط زیست، دانشگاه صنعتی شریف

مسعود تجریشی

استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

نادر جلالی

عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری

احمد ابریشم‌چی

دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

برفهایی که در نواحی کوهستانی ریزش می کنند تا زمان شروع ذوب برف در حوزه آبریز انباشته می شوند و گاهی اوقات بین ریزش و زمان ذوب ممکن است ماهها بطول بیانجامد. مدل‌های ذوب برف تجربی مختلفی جهت ارتباط بین مساحت پوشش برف در فصل بارش و حجم یا دبی آب در فصل ذوب برف برای حوزه های آبریز مختلف استخراج شده اند. نظر به اینکه اندازه گیری مساحت پوشش برف در این حوزه ها از مشکلات زیادی برخوردارست و گاهی اوقات برداشت این داده ها خطرناک است، در بسیاری از مدل‌های تجربی مساحت پوشش برف از طریق تصاویر ماهواره ای تخمین زده می شود. اما در مدل‌های تجربی همیشه حجم آب ناشی از ذوب از طریق وسایل اندازه گیری زمینی تعیین شده اند.

حوزه آبریز هیرمند از حوزه های آبریزی است که دارای رژیم برفی - بارانی است و ذوب برف انباشته شده در حوزه، هامونهای هیرمند، صابوری و پوزک و همچنین چاه نیمه ها را تغذیه میکند. در این مقاله نتایج آماری بدست آمده از ارتباط بین مساحت سطح پوشش برف در حوزه آبریز رودخانه هیرمند در اواخر فصل بارش برف و مساحت سطح آب در هامون‌ها در سیستان در اواسط بهار ارائه گردیده است. با اندازه گیری مساحت پوشش برف در فصل بارش برف می توان ارتفاع احتمالی سطح آب هامونها را نیز تخمین زد و در صورتی که احتمال سیلاب در منطقه برود با تخلیه آب هامون‌ها می توان سیلاب را کنترل نمود. همچنین در سالهای خشک، می توان پیشاپیش برنامه ریزی های لازم را بعمل آورد تا وضعیت خشکسالی کمتر دشت سیستان را تحت تأثیر قرار دهد. با کمک این مدل تجربی که از نتایج این مطالعات از حوزه آبریز هیرمند بدست آمده است می توان مدیریت بهتری در مورد وضعیت آب در دشت سیستان اعمال کرد.

واژه های کلیدی

تصاویر ماهواره‌ای، مدل ذوب برف، دشت سیستان

مقدمه

برف یکی از فرایندهای مهم سیکل هیدرولوژیکی و تعیین کننده میزان منابع آب در بسیاری از مناطق کوهستانی است. ریزش برف یک فرایند تصادفی است و تغییرات آن بایستی در یک محدوده وسیع در نظر گرفته شود؛ چرا که اقلیم و ارتفاع منطقه می تواند بر میزان ریزش برف تأثیرگذار باشد [۱]. برف نوعی بارش است که بین زمان ریزش و زمان تبدیل شدن آن به رواناب و یا تغذیه آبهای زیرزمینی، اختلاف زمانی (Lag) وجود دارد [۲]. در تحقیقات اخیر ارتفاع بعنوان تنها پارامتر مهم در توزیع پوشش برف در نظر گرفته شده است؛ در حالی که اثرات اروگرافیک، بیشتر به شیب و سرعت باد وابسته اند تا به ارتفاع [۳]. با این حال هیدرولوژیستها اعتقاد دارند که برف بیشتر در ارتفاعات متوسط به بالا و در نواحی کوهستانی ریزش می کند که این برفها در ارتفاعات تا زمان ذوب برف تجمع می یابند که البته گاهی اوقات بین زمان ریزش و زمان ذوب ممکن است چند ماه اختلاف وجود داشته باشد و طی مدت تجمع برف، میزان ذوب برف معمولاً ناچیز است [۲]. در برخی نواحی کوهستانی، تجمع برف از سپتامبر یا اکتبر (اواسط شهریور یا اواسط مهر) شروع و زمان اصلی ذوب شامل ماههای می تا ژولای (اردیبهشت تا تیرماه) می باشد [۴]. رواناب ناشی از ذوب برف، جزء اصلی جریان آب رودخانه ها را در بسیاری از مناطق کوهستانی جهان تشکیل می دهند. رژیم جریان رودخانه ها نشاندهنده میزان تجمع برف در نیمه زمستانی سال و میزان ذوب برف در نیمه تابستانی سال می باشد [۸، ۷، ۶، ۵ و ۲]. در بسیاری از نقاط جهان مطالعه روی رواناب ناشی از ذوب برف در جهت تأمین آب و بررسی طغیان رودخانه ها، یک وظیفه اساسی برای هیدرولوژیستها به شمار می رود. در بعضی مناطق مثل مناطق غرب آمریکا، رواناب ناشی از ذوب برف تقریباً همه نیازهای آب صنعت، زراعت و مصارف بهداشتی را تأمین می کند [۲]. در نروژ چون ۹۹٪ از توان الکتریکی تولیدی از نوع برق آبی می باشد میزان برف از پارامترهای مهم در برنامه ریزی تولید برق بشمار می آید. اطلاعات مربوط به برف تجمع یافته جالبترین مسئله برای مهندسين برق آبی می باشد، چراکه می توانند از آن برای پیش بینی جریان ورودی به منابع و برنامه ریزی جهت مدیریت بهینه نیروگاهها استفاده نمایند [۴]. همچنین اطلاعاتی مثل وسعت و عمق پوشش برف برای تخمین جریان رودخانه ها و مدیریت منابع آب ضروری می باشد [۷].

در رابطه با تخمین رواناب ناشی از ذوب برف دو شیوه اساسی وجود دارد که عبارت اند از مدل‌های شبیه‌سازی و مدل‌های تجربی، که انتخاب هر یک از این روشها منوط به میزان اطلاعات موجود و میزان دقتی است که برای تخمین میزان رواناب مورد نیاز می باشد [۵].

الف. مدل‌های شبیه‌سازی

مدلهای مختلفی در نقاط مختلف جهان برای تخمین رواناب ناشی از ذوب برف استفاده می شوند. بعنوان مثال می توان از مدل SRM (Snowmelt Runoff Model) [۹] و مدل SSARR [۱۰] نام برد. این مدلها بطور مشخص از مساحت پوشش برف استفاده می کنند و احتیاج به داده های بسیار زیادی دارند. مدل‌های دیگر معمولاً برای بدست آوردن جوابهای بهتر، از سطح پوشش برف استفاده می کنند [۱۱].

ب. مدل‌های تجربی

در این روش، بین مشخصه های مختلف برف (مثل عمق، مساحت پوشش، دانسیته و غیره) و حجم رواناب رابطه ای برقرار می شود. البته مدل‌های تجربی که برای یک حوزه آبریز استخراج می شوند فقط برای همان حوزه آبریز کاربرد دارد و قابل استفاده در حوزه های آبریز دیگر نمی باشد [۲]. یک هیدرولوژیست برای اینکه بتواند تخمین خوبی از رواناب ناشی از ذوب برف ارائه کند بایستی به غیر از مساحت پوشش برف، پارامترهای دیگر برف همچون عمق، دانسیته و غیره را نیز در اختیار داشته باشد. البته خوشبختانه تحقیقات نشان داده اند که رابطه بسیار مناسبی بین مساحت پوشش برف و میزان رواناب در بسیاری از حوزه های آبریز برقرار می باشد [۲]. تحقیقات مختلفی برای تعیین مدل تجربی مناسب برای حوزه های آبریز مختلف انجام شده است. Leaf در سال ۱۹۶۹ با استفاده از عکسهای هوایی، روابطی بین مساحت پوشش برف و کل رواناب ناشی از ذوب برف را برای بعضی از حوزه های آبریز ایالت کلرادوی آمریکا بدست آورد [۱۲]. Thompson در سال ۱۹۷۵ با استفاده از پارامترهای بی بعد که نشاندهنده میزان تخلیه سطح پوشش برف و میزان افزایش دبی جریان بودند، و با تعیین این پارامترهای بی بعد برای رودخانه

Conejos در ایالت کلرادو آمریکا، یک رابطه لگاریتمی بین این پارامترها تعیین نمود [۱۳]. Rango و همکاران در سال ۱۹۷۵ با استفاده از تصاویر ماهواره LANDSAT، ارتباط بین درصد پوشش برف برای حوزه های مختلف کوهستانی رودخانه Wind در ایالت وایومینگ در آمریکا و میزان کل رواناب ناشی از ذوب برف را بصورت یک رابطه خطی نشان دادند [۱۴]. همچنین Rango و همکاران در سال ۱۹۷۷ با استفاده از یک روش ساده پردازش تصویر روی تصاویر NOAA با قدرت تفکیک ۴ کیلومتر، مساحت پوشش برف راطی سالهای ۱۹۷۳-۱۹۶۹ در حوزه های آبریز رودخانه های ایندوس (Indus) و کابل (Kabul) در پاکستان تعیین کردند و توانستند بین مساحت پوشش برف باقیمانده در حوزه آبریز و دبی رودخانه یک رابطه خطی برقرار کنند [۱۵]. میزان رواناب ناشی از ذوب برف در رودخانه Amudarya که دارای حوزه آبریزی به بزرگی ۳۰۹۰۰۰ کیلومترمربع می باشد، از طریق سرعت ذوب برف تخمین زده شد [۱۶]. همچنین در مطالعه دیگری Vostriakova بین میزان درصد سطح پوشش برف و حجم رواناب ناشی از ذوب برف طی فصل بهار درحوزه آبریز رودخانه های Ob و Enisey رابطه ای برقرار نمود [۱۷]. Ostrem و همکاران از داده های ماهواره ای جهت تعیین ارتباط بین مساحت پوشش برف باقیمانده در حوزه و رواناب ناشی از ذوب برف در کشور نروژ استفاده کردند [۱۲]. در سال ۱۹۸۲، Tarar کار مشابهی را در حوزه های رودخانه های ایندوس و Jhelum برای سالهای ۱۹۷۵-۱۹۷۸ با استفاده از عکسهای دارای قدرت تفکیک بالای LANDSAT انجام داد [۱۹]. Chemutova و Prokacheva در سال ۱۹۸۲ با کمک رابطه هایی بین مساحت پوشش برف ودبی رواناب، وضعیت ومشخصات سیلاب را در حوزه آبریز Chara (4150 km^2) پیش بینی نمودند [۲۰]. Dey و همکاران در سال ۱۹۸۳ با استفاده از داده های NOAA با قدرت تفکیک ۱ کیلومتر و با اضافه کردن ۶ سال داده به کار Rango و همکاران [۱۵]، به روابط جدیدی برای حوزه های آبریز ایندوس و کابل دست یافتند [۲۱]. قابلیت اعتماد این پیش بینی ها، حدود ۸۸ درصد بوده و پیشنهاد این محققین آن بوده که این ارتباط های ساده سازی شده فقط موقعی می توانند برای تخمین مشخصات سیلاب استفاده شوند که سیستم اندازه گیری مناسب و به تعداد کافی در نواحی کوهستانی وجود نداشته باشد [۲۲]. در حوزه های آبریزی که آب ناشی از ذوب برف به دریاچه هایی در پایین دست می ریزد و عامل اصلی تغذیه دریاچه هاست، می توان مدل تجربی جهت ارتباط بین مساحت پوشش برف و مساحت دریاچه های پایین دست (که خود شاخصی از میزان آب ناشی از ذوب برف می باشد) تعیین نمود. نظر بر اینکه در اینگونه حوزه ها نیازهای مختلف آب از ذخیره آب در دریاچه ها تأمین می شود، با اطلاع از میزان احتمالی مساحت سطح دریاچه ها در تابستان می توان جهت مدیریت مصرف آب استفاده نمود. همچنین درمواقعی که احتمال وقوع سیلاب می رود، می توان با تخلیه مقداری از آب دریاچه ها، از ظرفیت دریاچه ها بعنوان عامل کنترل سیلاب استفاده نمود.

حوزه آبریز رودخانه هیرمند نیز جزء این دسته از حوزه های آبریز است و آب ناشی از ذوب برف در این حوزه، هامونهایی را در پایین دست تغذیه می کند. آب مصرفی در دشت سیستان از طریق همین آب ذوب برف تأمین می شود. از طرفی از آنجا که اطلاعات هیدرولوژیکی و اطلاعات سیستم های اندازه گیری در این حوزه آبریز در دسترس نمی باشد، با ساخت مدل تجربی ذوب برف بر پایه استفاده از عکسهای ماهواره ای می توان در جهت مدیریت بهینه سیستم آبی منطقه اقدام نمود.

منطقه مورد مطالعه

کشور افغانستان در آسیای مرکزی واقع شده و از غرب به ایران، از شمال به ازبکستان، ترکمنستان و تاجیکستان و از شرق و جنوب به پاکستان محدود می شود. حوزه آبریز رودخانه هیرمند که در کشور افغانستان واقع شده، بزرگترین حوزه آبریز این کشور است و قسمت انتهایی سمت شرق رشته کوه هیمالیا، نواحی برف گیر بالادست این حوزه آبریز را تشکیل می دهد. رژیم جریان رودخانه هیرمند برفی و بارانی است. قسمت بالادست حوزه آبریز هیرمند و مناطق برفگیر حوزه و موقعیت آن در کشور افغانستان در شکل ۱ نشان داده شده است. رودخانه هیرمند در حدود مرز جنوب شرقی خود با ایران به چاه نیمه ها و هامون های هیرمند، پوزک و صابوری می ریزد و در صورت پرشدن این سه هامون، پس از سرریز شدن آب از هامون هیرمند از طریق رود شیله به گودزره در افغانستان می ریزد. شکل ۱ این هامونها و موقعیت آنها را نیز نشان می دهد.

اطلاعات استفاده شده

داده های ماهواره ای استفاده شده در این مطالعات مربوط به اطلاعات سنجنده AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) ماهواره های NOAA-12 و NOAA-14 می باشند که تصاویر ماه فوریه سالهای ۱۹۹۷-۲۰۰۰ میلادی جهت تعیین مساحت پوشش برف در حوزه آبریز و تصاویر ماه می سالهای ۱۹۹۷-۲۰۰۰ جهت تعیین مساحت سطح آب هامونها مورد استفاده واقع شده اند. تصاویر ماهواره ای مذکور به صورت ۸ بیتی بوده و تماماً از مرکز سنجش از دور ایران (IRSC) تهیه شده اند. همچنین جهت پردازش تصاویر ماهواره ای از نرم افزار ILWIS 2.2 [۲۳] استفاده شده است. جهت تعیین خط الرأس حوزه آبریز رودخانه هیرمند از نقشه های توپوگرافی کشور افغانستان با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰۰ استفاده شده است.

روش کار

الف) استخراج سطح هامونها:

وجود خواص جذبی طول موجهای کوتاه توسط آب و میزان انعکاس کم آن نسبت به خاک، جهت جداسازی مناطق آبی پایین دست حوزه آبریز هیرمند از تصویر باند ۲ ماهواره NOAA استفاده شد و مناطق دارای انعکاس کم در این تصویر به عنوان مناطق آبی در نظر گرفته شدند. باتوجه به اینکه هر پیکسل از تصاویر ماهواره NOAA دارای مساحتی حدود $1/1 \times 1/1$ کیلومتر مربع است، با تعیین تعداد پیکسل های حاوی مناطق آبی، سطح کل مناطق آبی محاسبه گردیده اند. در این مطالعه جهت تعیین آستانه انعکاس مناطق آبی، از ترسیم هیستوگرام تعداد پیکسل برحسب مقادیر تصویر استفاده شده و نظر به اینکه در این هیستوگرام هر پدیده ای به صورت یک پیک ظاهر می شود، سطوح آبی از خاک جدا شده اند [۲۴].

ب) استخراج سطح پوشش برف:

در این مطالعه، برای جداسازی مناطق خاک و آب، به طور همزمان از تصویر باند ۲ و تصویر دمایی باند ۴ استفاده گردید. همچنین جهت تفکیک بین ابر و برف از تصویری که زمین از آن حذف شده است، به طور همزمان از تصویر تفاضل دمایی باند ۳ و ۴ و نسبت تشعشع باند ۴ به جذر تشعشع باند ۳ استفاده شد. برای تصحیح مناطق برفی و حذف مناطق خاکی احتمالی از تصویر برف، از باند ۲ استفاده شد [۲۴].

ج) مدل تجربی:

مساحت سطح پوشش برف و سطح دریاچه های پایین دست که توسط روشهای فوق الذکر طی سالهای ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۰ میلادی تعیین شده اند، در جدول ۱ نشان داده شده است. با رگرسیون خطی بین داده های جدول ۱، مدل تجربی ذوب برف برای حوزه آبریز هیرمند بصورت رابطه ۱ تعیین می شود. این رابطه در شکل ۲ نشان داده شده است.

$$Y = 0.1116X - 3441.3 \quad (R^2 = 0.94) \quad (1)$$

که در آن $Y =$ مساحت سطح آب هامونها برحسب کیلومتر مربع و $X =$ مساحت سطح پوشش برف برحسب کیلومتر مربع می باشد. همانطور که در رابطه ۱ دیده می شود، این رابطه از ضریب همبستگی بسیار بالایی برخوردار است. این همبستگی با $\alpha = 0.02$ ، معنی دار است. شکل های ۳ و ۴ به ترتیب مساحت پوشش برف و مساحت ماهونها رادرسالهای مختلف نشان می دهد.

بحث

همانطور که قبلاً اشاره شد، مدل های تجربی در مواردی که اطلاعات هیدرولوژیکی کافی از منطقه (مخصوصاً اطلاعات برف) در دسترس نمی باشند مورد استفاده واقع می شود. در مدل های تجربی، معمولاً اطلاعات میزان آب از طریق اندازه گیری تعیین می شدند و فقط مساحت پوشش برف از طریق تصاویر ماهواره ای استخراج می شده اند. اما در مدل تجربی ارائه شده،

اطلاعات میزان آب که به صورت مساحت سطح هامونها ظاهر شده اند نیز توسط تصاویر ماهواره ای استخراج شده اند و از هیچگونه اطلاعات هیدرولوژیکی در این مدل استفاده نشده است. اکنون با داشتن مساحت پوشش برف در زمستان هر سال، می توان وضعیت آورد رودخانه هیرمند به دریاچه های هامون در ایران را پیش بینی کرد و در صورتیکه مساحت پوشش برف زیاد باشد می توان گفت که احتمال وقوع سیل در صورت بروز بارش همزمان بسیار بالا است و برای کنترل سیل می توان چاه نیمه ها و یا آب هامون ها را تخلیه کرد. همچنین در سالهایی که مساحت پوشش برف در افغانستان کم باشد، می توان روی تخصیص میزان آب جهت مصارف مختلف مدیریت هایی را اعمال کرد و نیز می توان الگوی کشت و سطح زیر کشت در منطقه را با توجه به میزان احتمالی سطح دریاچه ها که بیانگر میزان آب ناشی از ذوب برف است، تغییر داد و بطور کلی تصمیمات لازم را در جهت مدیریت بهینه آب دشت سیستان اتخاذ نمود. لازم به ذکر است که کمبود داده باعث شده است که مدل تجربی ارائه شده از دقت کافی برخوردار نباشد، اما این تحقیق نشان می دهد که در صورتیکه داده های کافی وجود داشته باشد می توان مدل تجربی ذوب برف حوزه آبریز رودخانه هیرمند را استخراج نمود. نگارندگان هم اکنون در حال سفارش تصاویر ماهواره ای سالهای دیگر، از طریق خارج از کشور می باشند تا بتوانند مدل ذوب برف مناسبتری را برای حوزه آبریز هیرمند با داده های بیشتر ارائه کنند.

نتیجه گیری

۱- نتایج این مطالعات نشان می دهد که با افزایش داده ها و ایجاد یک رابطه آماری بین سطح پوشش برف در انتهای فصل بارش برف در افغانستان و سطح آب در هامون ها در اواسط بهار، می توان برنامه ریزی منابع آب را در دشت سیستان با دقت بیشتری انجام داد.

۲- در حوزه های آبریز مشابه حوزه آبریز رودخانه هیرمند که آب ناشی از ذوب برف به دریاچه هایی در پایین دست می ریزند و سطح دریاچه ها بسیار متغیر است، این امکان وجود دارد تا حداقل مدل تجربی با استفاده از ارتباط بین مساحت پوشش برف و مساحت سطح دریاچه ها استخراج نمود.

۳- در اینگونه حوزه های آبریز، مدل های تجربی به همراه امکان تخلیه مقداری از آب دریاچه ها می تواند در جهت مدیریت سیستم آبی دشت هایی که توسط آن حوزه آبریز مشروب می شوند، مورد استفاده قرار گیرد و در مواقع سیلابی از آنها جهت کنترل سیلاب استفاده نمود.

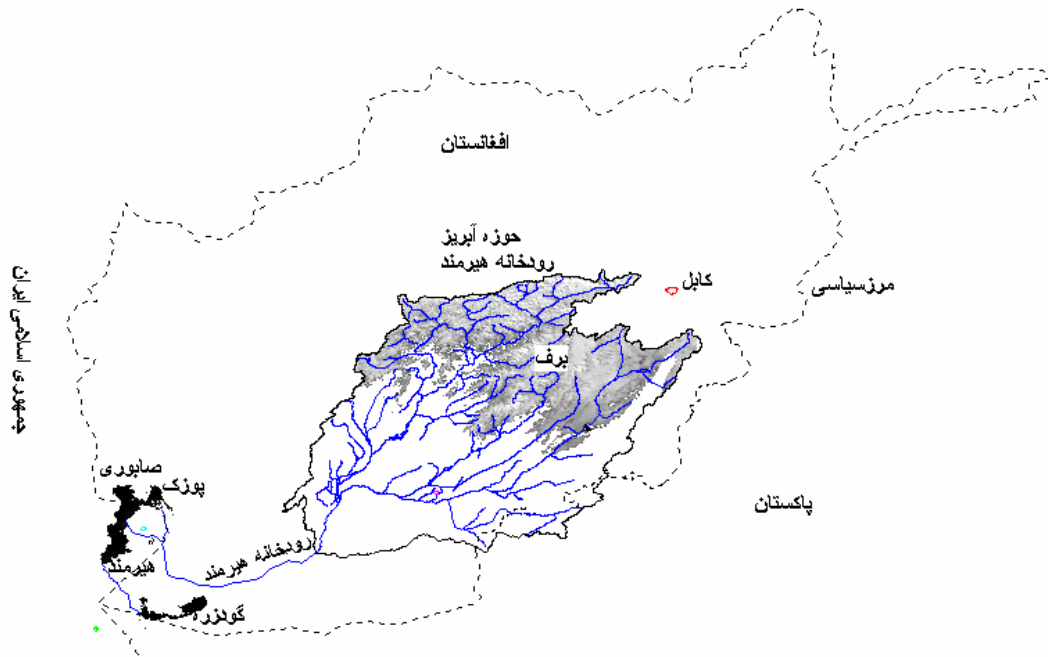
تشکر و قدردانی

لازم میدانیم که از مرکز مطالعات آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف و شرکت آب منطقه ای استان سیستان و بلوچستان، به خاطر مساعدتها و همکاریهایشان تشکر و قدردانی نمائیم.

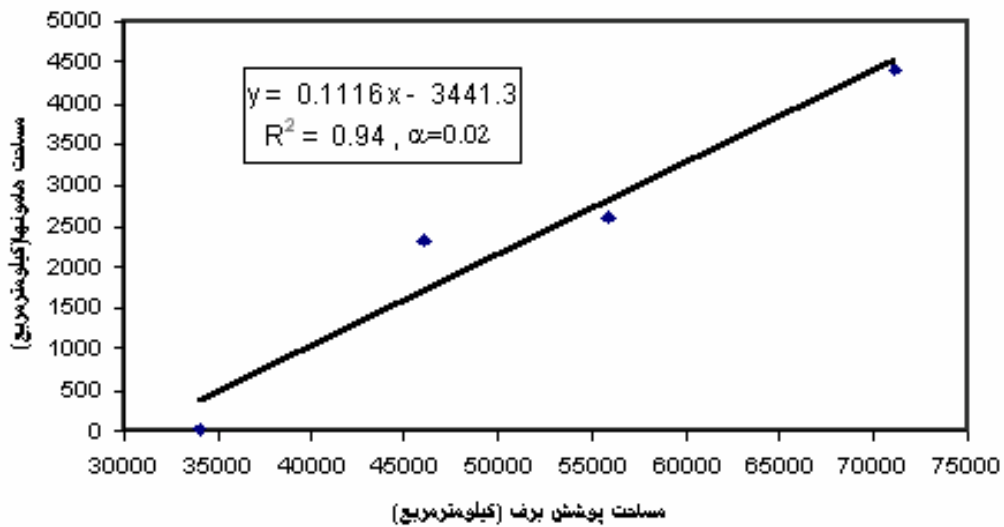
مراجع

- [1] Elder, K., J. Dozier and J. Michaelsen (1991) "Snow accumulation and distribution in an Alpine watershed.", Water Resources Research, Vol. 27, No. 7, pp. 1541-1552.
- [2] Engman, E.T. and R.J. Gurney (1991) "Remote sensing in hydrology.", Chapman and Hall, London.
- [3] Gray, D.M. (1979) "Snow accumulation and distribution.", Proceedings Modelling of Snow Cover Runoff, edited by S.C. Colbek and M. Ray, pp. 3-33, U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory, Hanover, N.H.
- [4] Anderson, T. (1985) "operational snow mapping in Norway", Proceedings of the International Seminar of Remote Sensing Application in Hydrology and Water Resources, Slovak Hydrometeorological Institute and Data System K.U.O., 17-21 June, pp. 84-92.
- [5] Garstka, W. U., L. D. Love, B. C. Goodell and F. A. Berthy (1959) "Factors affecting snow melt and stream flow", US Bureau of Reclamation and U. S. Forest Service, 187 p, Washington D.C.
- [6] Mahani, S. and S. Sorooshian (2000) "Application of remote sensing for hydrological purposes.",

- Proceedings of the First Regional Conference on Water Balance, Ahwaz, Iran, pp. 93-104.
- [7] Saraf, A.K., J.L. Foster, P. Singh and S. Tarafdar (1999). "Passive Microwave data for snow – depth and snow-extent estimations in the Himalayan mountains.", *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 20, No. 1, pp. 83-95.
- [8] Seidel, K., C. Ehrlert and J. Martinec (1998). "Effects of climate change on water resources and runoff in an Alpine basin.", *Hydrological Processes*, Vol. 12, No. 10-11, pp. 1659-1669.
- [9] Martinec, J., A. Rango and E. Major (1983) "The snow melt runoff model (SRM) User's Manual.", NASA Reference Publication 1100, Washington, D.C., 110 pp.
- [10] U.S. Army Corps of Engineers (1975) "Program description and user manual for SSARR model - stream flow synthesis and reservoir regulation.", Program 725-K5G0010, North Pacific Division, Portland, Oregon, 188 pp.
- [11] Rango, A. (1985) "Utilization of remote sensing data in hydrological models.", *Proceedings of the International Seminar of Remote Sensing Application in Hydrology and Water Resources*, Slovak Hydro Meteorological Institute and Data System K.U.O.
- [12] Leaf, C.F. (1969) "Aerial photographs for operational stream flow forecasting in the Colorado Rockies.", *Proc. 37 th Western snow conf.*, Salt Lake City, UT.
- [13] Thompson, A.G. (1975). "Utilization of Landsat monitoring capabilities for snow cover depletion analysis.", *Operational Applications of Satellite Snow Cover Observations*, NASA, SP-391. Washington, DC, pp. 113-127.
- [14] Rango, A., V.V. Salomonson and J.L. Foster (1975) "Employment of satellite snow cover observations for improving the seasonal runoff estimates.", *Operational Applications of satellite snow cover observations*, NASA SP-391, Washington, DC, pp. 157-174.
- [15] Rango, A., V.V. Salomonson and J.L. Foster (1977). "Seasonal stream flow estimation in the Himalayan region employing meteorological satellite snow cover observation.", *Water Resources Research*, Vol. 13, pp. 109-112.
- [16] Dzhordzhio, M.V., M.V. Sitnikova and B.K. Tsaref (1980) "The use of satellite imagery for studying snow cover dynamics and estimating new vegetation discharge of the river Amudarya.", *Trans. GGI.*, Vol. 276, pp. 30-34.
- [17] Vostriakova, N.V. (1980) "The experience of using satellite information for the purpose of forecasting mountain rivers runoff exemplified by rivers Ob and Enisey.", *Trans. GGI*, Vol. 276, pp. 51-58.
- [18] Ostrem, G., T. Anderson and H. Odagaard (1981) "Operational use of satellite data for snow inventory and runoff forecast.", *Satellite Hydrology*, American Water Resources Association, Minneapolis, MN, pp. 230-234.
- [19] Tarar R. N. (1982) "Water resources investigation in Pakistan with the help of Landsat imagery snow survey.", *1975-1978 Hydrological Aspects of Alpine and High mountain Areas*, *Proceeding of the exeter symposium*, IAHS Publ., No. 138, pp. 177-190.
- [20] Prokacheva, V. G. and N.P. Chmutova (1982) "On the forecasting of spring snow melt flood volume with the help of satellite information.", *Issledovanie zenliiz kasma*, No. 2, pp. 78-82.
- [21] Dey, B., D.C. Goswami and A. Rango (1983). "Utilization of satellite snow cover observation for seasonal stream flow estimates in the Western Hymolayas.", *Nord. Hydrol.*, pp. 257-266.
- [22] Prokacheva, V.G. and V.F. Usachev (1985). "The use of satellite information in operational hydrology.", *Proceedings of the International Seminar of Remote Sensing Application in Hydrology and Water Resources*, Slovak Hydro Meteorological Institute and Data System K.U.O.
- [23] ILWIS 2.2 (The Integrated Land and Water Information System) (1998) "GIS and remote sensing software package.", ITC, The Netherland.
- [۲۴] مرکز مطالعات آب و محیط‌زیست (۱۳۸۰) "ارائه یک مدل تجربی ذوب برف برای حوزه آبریز رودخانه هیرمند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای"، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی عمران.



شکل ۱: منطقه مورد مطالعه و مختصات آن



شکل ۲: رابطه بین مساحت پوشش برف و مساحت هامونها

جدول ۱: مساحت پوشش برف و مساحت هامونها طی سالهای ۱۹۹۷-۲۰۰۰ میلادی

سال (میلادی)	1997	1998	1999	2000
مساحت پوشش برف (کیلومتر مربع)	55887	71174	46043	34120
مساحت هامونها (کیلومتر مربع)	2601	4416	2335	18



ب) ۱۹۹۸ میلادی (۱۳۷۷ شمسی)



الف) ۱۹۹۷ میلادی (۱۳۷۶ شمسی)



ج) ۱۹۹۹ میلادی (۱۳۷۸ شمسی)

د) ۲۰۰۰ میلادی (۱۳۷۹ شمسی)

شکل ۳: مساحت سطح آب هامونها در اواسط فصل ذوب برف طی سالهای ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۰ میلادی (۱۳۷۶ تا ۱۳۷۹ شمسی)



ب) ۱۹۹۸ میلادی (۱۳۷۶ شمسی)



الف) ۱۹۹۷ میلادی (۱۳۷۵ شمسی)



د) ۲۰۰۰ میلادی (۱۳۷۸ شمسی)



ج) ۱۹۹۹ میلادی (۱۳۷۷ شمسی)

شکل ۴: سطح پوشش برف در حوزه آبریز رودخانه هیرمند در اواخر فصل بارش برف، طی سالهای ۱۹۹۷ تا ۲۰۰۰ میلادی (۱۳۷۵ تا ۱۳۷۸ شمسی)

تا ۲۰۰۰ میلادی (۱۳۷۵ تا ۱۳۷۸ شمسی)