

## سهم برآورد رواناب ناشی از ذوب برف در تامین نیاز آبی اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گزی، استان کردستان

سید پدram نی‌نوا<sup>۱\*</sup>، کاکا شاهی<sup>۲</sup>، صلاح‌الدین زاهدی<sup>۳</sup> و هیرش انتظامی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> کارشناس ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، <sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران، <sup>۳</sup> استادیار پژوهشی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی کردستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، سنندج، ایران و <sup>۴</sup> دانشجوی دکتری مخاطرات اقلیمی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۹

### چکیده

با توجه به اهمیت و نقش پوشش برف در مدیریت و تامین منابع آبی حوضه‌های کوهستانی، مطالعه حاضر با استفاده از مدل SRM و تصاویر سنجنده مادیس، برای برآورد رواناب ناشی از ذوب برف و مدل CROPWAT، به‌منظور تعیین نیاز آبی اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گزی واقع در استان کردستان با هدف تعیین سهم برآورد رواناب حاصل از ذوب برف این زیرحوضه در تامین نیاز آبی اراضی زراعی آن، طی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ انجام شده است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد، مدل SRM قادر به برآورد رواناب ناشی از ذوب برف با ضریب تبیین و درصد تفاضل حجمی به‌ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۱۴ برای سال واسنجی ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۲ و ۰/۹۶ و ۰/۶۶ برای سال اعتبارسنجی ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۳، می‌باشد. همچنین، نتایج حاصل از مدل CROPWAT، میزان نیاز آبی اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گزی را برابر ۱۹۳۹۳۷۱ متر مکعب در سال بیان داشت که در نهایت سهم رواناب ناشی از ذوب برف بر اساس این نیاز برآوردی نسبت به سال واسنجی، برابر با توان ۱۰۰ درصدی این رواناب در تامین نیاز آبی اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گزی است که بر مبنای این مطالعه، می‌توان به ارائه الگویی برای برنامه‌ریزی مدون براساس موجودیت آب در این زیرحوضه پرداخت.

**واژه‌های کلیدی:** تصاویر سنجنده مادیس، حوضه کوهستانی، سطح پوشش برف، مدل CROPWAT، مدل SRM

### مقدمه

رواناب حاصل از آن در حوضه‌های کوهستانی و مرتفع، عامل مهم و کنترل‌کننده رژیم جریان محسوب می‌شود (Nazmfar و Moradi، ۲۰۱۶). همچنین، رواناب ناشی از ذوب برف در آب‌دهی بیشینه لحظه‌ای و آب‌دهی سالیانه حوضه کوهستانی و برف‌گیر، مشارکت داشته و حدود یک سوم آب مورد نیاز بخش کشاورزی را در سرتاسر جهان تامین می‌کند (Vazifedoust و

برف یکی از انواع مختلف بارش است که از چگالش توده‌های هوایی مرطوب در طی صعود و در شرایطی که دمای هوا کمتر از نقطه انجماد باشد، ایجاد می‌شود (Mokhtari Motlagh و همکاران، ۲۰۱۳). ذوب برف تامین‌کننده رطوبت خاک، ذخیره آب زیرزمینی و منابع آب دریاچه‌ها و رودخانه‌هاست و

همکاران، ۲۰۱۰). لذا، می‌توان گفت، رواناب حاصل از ذوب برف، منبع آبی بسیار مهمی در بیشتر مناطق کره زمین محسوب می‌شود (Raighani و همکاران، ۲۰۱۱). طبق بررسی‌های به‌عمل آمده، ۶۰ درصد آب‌های سطحی و ۵۷ درصد آب‌های زیرزمینی کشور نیز در مناطق برف‌گیر قرار داشته، از آب حاصل از ذوب برف تغذیه می‌کنند (Najafieigdir و همکاران، ۲۰۰۷). حال با توجه به این‌که از کل آب‌های موجود در کره زمین، فقط بخش بسیار کوچکی از آن سالانه به‌طور فعال در چرخه هیدرولوژی مشارکت سریع داشته، منابع آب تجدیدشونده دنیا را به‌وجود می‌آورند، لذا، در هر زمان و مکانی باید تنها بر اساس موجودیت آب در همان شرایط طبیعی برنامه‌ریزی کرد و این کار تنها با شناخت قوانین حاکم بر گردش آب در طبیعت می‌تواند صورت گیرد (Alizadeh، ۲۰۰۸). به‌عبارت دیگر، فقط بر اساس قوانین هیدرولوژی و علوم وابسته به آن می‌توان انتظار بهترین بهره‌برداری از منابع آب‌های هر منطقه را داشت، زیرا که منابع آب‌های سطحی یکی از سرمایه‌های قابل تجدید کشور است که باید از آن بیشترین استفاده را به‌عمل آورد (Alizadeh، ۲۰۰۸). شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب حاصل از ذوب برف در عرصه‌های مختلفی از جمله تامین آب شرب، کشاورزی و صنعت، کنترل و هشدار سیل، تفرجگاه‌ها و مدیریت مخازن تولید برق و کشتیرانی کاربرد دارد (Bloschl و همکاران، ۱۹۹۱؛ Moussavi و همکاران، ۱۹۹۰؛ US Army Corp of Engineers، ۱۹۹۸). اما داده‌های برف‌سنجی مورد نیاز در شبیه‌سازی جریان‌های حاصل از ذوب برف و یا مشارکت باران و برف در بسیاری از حوزه‌های آبخیز به‌ویژه حوزه‌های کوهستانی مرتفع در دسترس قرار نمی‌گیرد (Porhemmat و همکاران، ۲۰۰۵). بنابراین، برای پیش‌بینی زمان واقعی و اقلیمی رواناب‌ها، غالباً از مدل‌های هیدرولوژیکی شبیه‌سازی رواناب استفاده می‌شود که عموماً بر اساس بارش باران و ذوب برف عمل می‌کنند. در بیشتر مواقع، کار با داده‌های این مدل‌ها سخت و پیچیده است، اما مدل‌هایی وجود دارد که توانسته‌اند با سهولت بیشتر شرایط مختلف هیدرولوژیکی را برآورده کنند (Fattahi و همکاران، ۲۰۱۱). مشهورترین آن‌ها، SRM

(Martinec، ۱۹۷۵)، UBC (Quick، ۱۹۹۵) و PRMS (Leavesley، ۱۹۸۳) هستند که در بین تمام این مدل‌ها، مدل رواناب ذوب برف (SRM)<sup>۱</sup> با استفاده از مساحت پوشش برف به‌عنوان ورودی، دارای بیشترین کاربرد در زمینه پیش‌بینی و شبیه‌سازی رواناب حوزه‌های کوهستانی است (Fattahi و همکاران، ۲۰۱۱). اما باید توجه داشت که همگام با ارائه مدل محاسبه رواناب حاصل از ذوب برف نیاز به پایش مداوم سطح پوشیده از برف نیز دارد تا رواناب حاصله با دقت مناسب برآورد شود (Raighani و همکاران، ۲۰۱۱). لذا، بیشتر روش‌های کارآمد پایش گستردگی برفی، با استفاده از پایش راه دور و استفاده از ماهواره انجام می‌شود (Raighani و همکاران، ۲۰۱۱). بر اساس امکان مدل‌سازی ذوب برف با استفاده از مدل SRM و سنسور از دور در خارج و داخل کشور می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد. Khan و همکاران (۲۰۱۶) به مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوزه آبخیز سد خانپور با استفاده از مدل رواناب ذوب برف در شمال پاکستان پرداختند. آنان اظهار داشتند، برای مدل‌سازی فرایند ذوب برف حوزه از برخی مدل‌ها مانند HBV<sup>۲</sup>، UBC<sup>۳</sup> (دانشگاه بریتیش کلمبیا) و SRM (مدل رواناب ذوب برف) استفاده می‌شود که در این مطالعه از SRM استفاده شده است. حوزه آبخیز خانپور به‌عنوان منطقه مورد مطالعه آنان انتخاب و برای سال هیدرولوژیکی ۲۰۰۵ واسنجی شد. دبی روزانه رودخانه و بارش باران روزانه در واسنجی منطقه مورد مطالعه و همچنین، تصاویر ماهواره مادیس برای پیش‌بینی پوشش برف حوزه خانپور استفاده شد. نتایج واسنجی نشان داد که کارایی مدل ۸۸ درصد است، اما نتایج اعتبارسنجی بسیار دلگرم‌کننده نبود و کارایی ضعیف نتایج اعتبارسنجی به‌شدت به‌عنوان نتیجه پوشش کم‌برف در حوزه آبخیز معرفی شد که بر اساس آن نتیجه‌گیری شد که SRM نمی‌تواند به خوبی برای پوشش کم‌برف کار کند. Karimi و همکاران (۲۰۱۶) به مقایسه مدل‌های SRM و WetSpa برای شبیه‌سازی رواناب ذوب برف حوزه

<sup>1</sup> Snowmelt melt Runoff Model

<sup>2</sup> Hydrologiska Byrans Vattenbalansavdelning

<sup>3</sup> University of British Columbia

استفاده از دو شاخص ضریب تبیین و تفاضل حجمی به ترتیب برابر با ۸۲ و ۱۸/۹- درصد، شبیه‌سازی موفق و قابل قبولی را نشان داد. مقادیر به‌دست آمده، دقت بالای مدل را در برآورد رواناب حاصل از ذوب برف را برای حوضه مذکور نشان داد و نشانگر قابلیت کاربرد مدل برای حوضه‌های دیگر منطقه نیز است. Nouri و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی برآورد رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از مدل SRM در حوزه آبخیز طالقان واقع در استان البرز پرداختند. هدف از این مطالعه، ارزیابی مدل SRM در برآورد رواناب روزانه اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه آب‌سنجی گلینک است. در این پژوهش، ورودی‌های مدل شامل متغیرهای هیدرولوژی، هواشناسی و وضعیت فیزیکی حوزه آبخیز محاسبه شد و ۷۲ گذر از تصاویر ماهواره MODIS، برای تعیین سطح پوشش برف استفاده شد و بعد از اعمال ورودی‌ها به مدل، شبیه‌سازی رواناب انجام گرفت. مقایسه آب‌نمودها از طریق ضریب کارایی نش-ساتکلیف و درصد اختلاف حجم دبی انجام شد. مقادیر ضریب کارایی و درصد اختلاف حجم دبی در ایستگاه گلینک برای دوره واسنجی ۰/۹۵ و ۲/۰۷ درصد و برای دوره صحت‌سنجی ۰/۸۶ و ۴/۸۱ درصد محاسبه شد که نشان داد، مدل با کارایی بالا و کمینه خطا، رواناب حاصل از ذوب برف را برآورد کرده است. Rashidi و همکاران (۲۰۱۷) به برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در حوزه‌های آبخیز استان خراسان شمالی با استفاده از مدل SRM پرداختند. آنان در این مطالعه، برای شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف، اطلاعات برف به‌دست آمده از تصاویر سنجنده مادیس در حوزه آبخیز دربند سملقان را برای سال‌های آبی ۱۳۹۰-۱۳۹۱ (سال واسنجی) و ۱۳۸۹-۱۳۹۰ (سال اعتبارسنجی) مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج کاربرد مدل، شبیه‌سازی موفق و قابل‌قبولی را نشان داد، به‌طوری که در آن مقادیر دو شاخص ضریب تبیین و تفاضل حجمی به ترتیب برابر ۰/۸۸ و ۳/۳- درصد برای سال نخست و ۰/۷۲ و ۰/۳ برای سال بعدی است که در نهایت مقادیر به‌دست آمده، دقت بالای مدل در برآورد رواناب ذوب برف حوضه مورد مطالعه نشان داده است. در کل، جمع‌بندی منابع نشان می‌دهد، انتخاب و استفاده از مدل رواناب ذوب برف (SRM) در بیشتر

آبخیز هورو دهنو در استان لرستان پرداختند. در این مطالعه، مدل‌های WetSpa و SRM در شبیه‌سازی رواناب برفی بررسی شد. داده‌های منطقه‌ای دو ساله حوزه آبخیز هوردهنو (۲۶۳ کیلومتر مربع) در ایران از سپتامبر ۲۰۰۶ تا سپتامبر ۲۰۰۸ انتخاب شد. در این مطالعه، نتایج شبیه‌سازی نشان داد که ضریب کارایی نش-ساتکلیف برای SRM، ۰/۵۴ و ۰/۵۳ برای WetSpa، ۰/۷۷ و ۰/۸ در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی است. از این‌رو، در منطقه مورد مطالعه، بر اساس نتایج کیفی (مقایسه بصری هیدروگراف‌ها به‌عنوان مدل‌های خروجی) و معیارهای ارزیابی از شبیه‌سازی رواناب ذوب برف، WetSpa بهتر از SRM را بهبود بخشید. Shahoei و همکاران (۲۰۱۷) به شبیه‌سازی رواناب روزانه حوضه سنجایی، روانسر کرمانشاه با استفاده از سنجش از دور از طریق مدل SRM و مقایسه نسبت به مدل SWAT پرداختند. تصاویر محدوده پوشش برفی به‌دست آمده از MOD10A2 ماهواره MODIS برای محاسبه SCA<sup>۱</sup> به‌عنوان یک متغیر کلیدی برای SRM در مطالعه استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی در طول دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی از طریق سه شاخص آماری ضریب کارایی نش-ساتکلیف، ضریب تبیین و اختلاف حجم ارزیابی شد و مقایسه هیدروگراف‌های جریان شبیه‌سازی شده و مشاهده‌شده و ضرایب آماری محاسبه‌شده نشان داد که نتایج مدل SRM در شبیه‌سازی رواناب روزانه برای هر دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی قابل‌قبول است (به ترتیب NSE، ۰/۹ و ۰/۹۵)، در حالی که مدل SWAT نتایج ضعیف ارائه داد (به ترتیب NSE، ۰/۱۴ و ۰/۱۶). Fattahi و همکاران (۲۰۱۱) در بررسی شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه‌های کوهستانی با استفاده از مدل SRM، در حوزه آبخیز بازفت به‌عنوان یکی از زیرحوضه‌های آبخیز کارون بزرگ با استفاده از مدل شبیه‌ساز رواناب حاصل از ذوب برف (SRM)، رواناب روزانه حاصل از ذوب برف با استفاده از اطلاعات برف به‌دست آمده از تصاویر هشت روزه سنجنده MODIS، شبیه‌سازی و ارزیابی کردند. نتایج کاربرد مدل، با

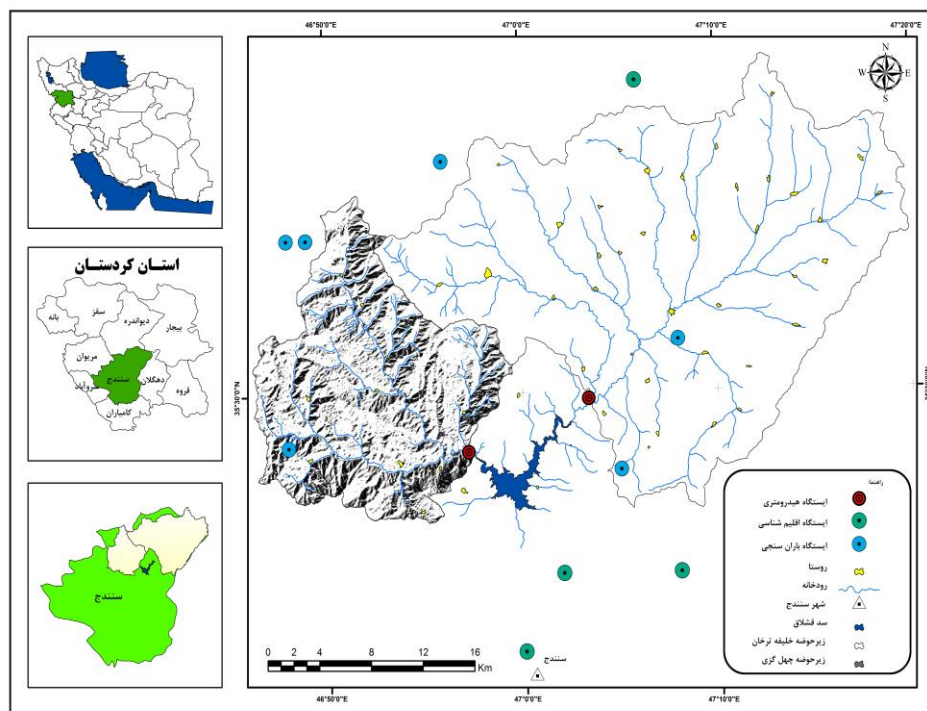
<sup>۱</sup> Snow Covered Area

شمالی و  $46^{\circ} 24' 24''$  تا  $46^{\circ} 59' 32''$  طول شرقی واقع شده است. با توجه به شرایط طبیعی و آب و هوایی، معرف مناطق کوهستانی در نظر گرفته می‌شود (مساحت ۲۷۲۳۳ هکتار و مجهز به یک ایستگاه هیدرومتری). ارتفاع متوسط زیرحوضه مذکور حدود ۲۲۰۰ متر بالاتر از سطح آب‌های آزاد است و همچنین، متوسط بارندگی نیز در این زیرحوضه  $294/2$  میلی‌متر، مساحت مراتع  $23465$  و مجموع زراعت آبی و دیم  $3768$  هکتار است. این زیرحوضه، وجود ۱۵ روستا، همچنین، وجود شیل با بیشترین فرسایش و آهک‌های میکروفسیل‌دار با کمترین فرسایش را در بین سنگ‌های پیوسته، به خود اختصاص داده است. علاوه بر این، نهشته‌های منفصل بستر رودخانه‌ها بیشترین حساسیت را دارند. شکل ۱، موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه، را نشان می‌دهد (Sadeghi و همکاران، ۲۰۰۸).

مطالعات برای بررسی توان این مدل در برآورد رواناب ناشی از ذوب برف به‌عنوان هدف اصلی آنان است. لذا، هدف از مطالعه حاضر علاوه بر شبیه‌سازی و برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در زیرحوضه چهل‌گزی واقع در استان کردستان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SRM، به کمک سنجش از دور، کاربردی کردن این برآورد در زمینه مصارف کشاورزی با بهره‌گیری از مدل CROPWAT است که بر مبنای آن می‌توان به ارائه الگویی برای برنامه‌ریزی مدون بر اساس موجودیت آب در زیرحوضه چهل‌گزی پرداخت.

### مواد و روش‌ها

**منطقه مورد مطالعه:** زیرحوضه چهل‌گزی به‌عنوان یکی از زیرحوضه‌ها سد قشلاق سنندج در استان کردستان (پارسل A سد قشلاق)، در موقعیت جغرافیایی بین  $35^{\circ} 25' 03''$  تا  $35^{\circ} 37' 43''$  عرض



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد پژوهش

بهره‌گیری از مدل SRM همگام با سنجش از دور و همچنین، مدل CROPWAT، علاوه بر پارامترها و متغیرهای اجرایی مدل هیدرولوژیکی SRM و تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مادیس به‌منظور استفاده برای

**داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز و نحوه جمع‌آوری**  
آن: پژوهش حاضر، به‌منظور تعیین سهم برآورد رواناب ناشی از ذوب برف در تامین نیاز آبی اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گزی واقع در استان کردستان، با

عامل درجه-روز که عمق ذوب ناشی از یک درجه روز را نشان می‌دهد (سانتی‌متر بر درجه سانتی‌گراد بر روز)،  $T$  تعداد درجه-روز (سانتی‌گراد-روز)،  $\Delta T$  تعدیل دما با استفاده از گرادیان دما به محل متناظر متوسط ارتفاع هیپسومتریک حوضه (سانتی‌گراد-روز)،  $S$  نسبت پوشش برف به کل حوضه،  $C_R$  ضریب رواناب باران،  $P$  بارش مولد رواناب (سانتی‌متر)،  $A$  مساحت زون ارتفاعی مورد نظر (کیلومتر مربع)،  $K$  ضریب فروکش جریان که نشان‌دهنده نرخ کاهش دبی در یک دوره زمانی بدون تاثیر برف است و  $n$  توالی روزها در طی دوره محاسبه (شبیه‌سازی) آبدهی است.

اطلاعات ورودی به مدل عبارت است از خصوصیات حوضه و نواحی ارتفاعی، متغیرها و پارامترها که در فلوچارت زیر برای تخلیص ارائه شده است. فلوچارت الگوریتم مدل در شکل ۲ آمده است (Najafi و همکاران، ۲۰۰۳).

**سطح پوشش برف:** مقدار سطح پوشیده از برف به کل سطح را نسبت پوشش برف می‌نامند. سطح پوشش برف در طول فصل زمستان شکل گرفته، به تدریج در طول فصل بهار و تابستان ذوب می‌شود (Miryaghoobzadeh و همکاران، ۲۰۱۱). مقادیر روزانه پوشش برف از متغیرهای مهم ورودی به مدل SRM است. نقشه‌های سطح پوشش برف با استفاده از مشاهدات زمینی (در حوضه‌های کوچک)، عکس‌برداری هوایی (مخصوصاً در زمان سیل) و یا به‌وسیله تصاویر ماهواره‌ای تهیه می‌شود (Martinec و Rango، ۱۹۹۸؛ Martinec و همکاران، ۲۰۰۸). برای استخراج سطح پوشش برف از تصاویر ماهواره مادیس، شاخص NDSI که از مزیت‌های برف در بازتاب طیفی بالای نوار مرئی و بازتاب پایین آن در محدوده طیفی مادون قرمز برای بارزسازی برف از ابر و نواحی بدون پوشش برف استفاده می‌کند (Nolin و Liang، ۲۰۰۲). Hall و همکاران (۱۹۹۵) شاخص NDSI را طبق رابطه (۲) که اختلاف بازتاب طیفی در نوار مرئی نسبت به نوار مادون قرمز آن به مجموع دو نوار مذکور است، بیان کرده‌اند.

شبیه‌سازی و برآورد رواناب ناشی از ذوب برف، در خصوص تعیین نیاز آبی اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گزی، مساحت اراضی کشت آبی زیرحوضه و پارامترهای اجرایی مدل CROPWAT مورد نیاز است که این داده‌ها و اطلاعات از طریق بازدید میدانی، شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان، سازمان هواشناسی استان کردستان و اداره منابع طبیعی و آبخیزداری استان کردستان در بازه زمانی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ جمع‌آوری و استفاده شده است.

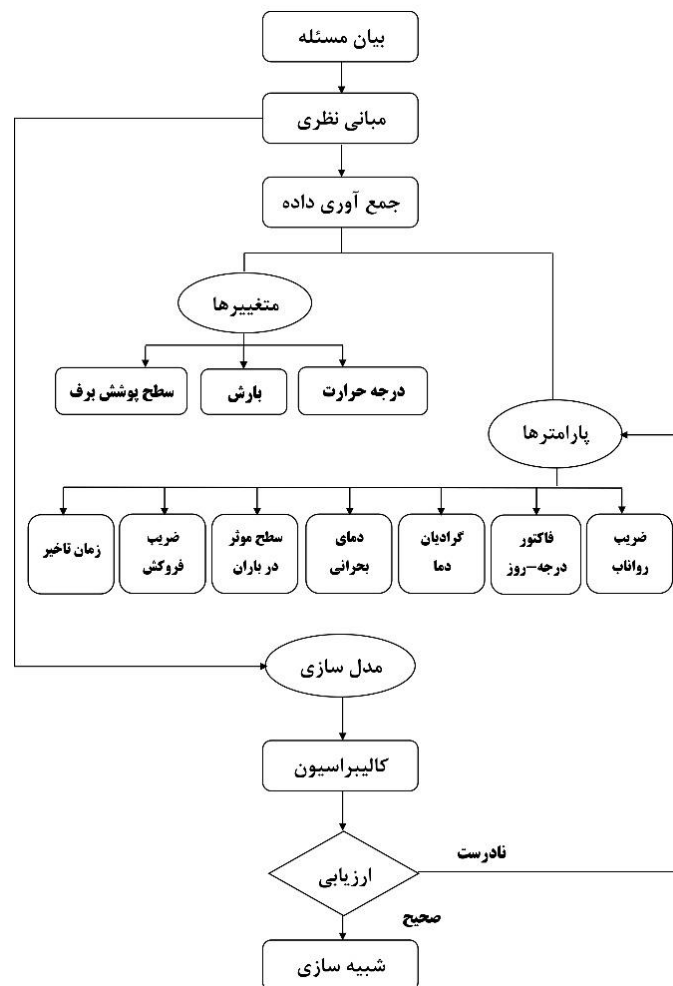
**سنجنده مادیس (MODIS):** از میان ماهواره‌های هواشناسی خورشید آهنگ مدار قطبی، با هدف ایجاد نقشه‌های برفی، در مقایسه با سایر سنجنده‌ها، سنجنده MODIS هم، قدرت تفکیک مکانی قابل‌قبول و هم، قدرت بازنگری زمانی سریع به همراه تنوع زیادی از باندهای طیفی خاص را عرضه کرده است. این سنجنده بروی اولین ماهواره NASA EOS به‌نام TERRA نصب و به فضا پرتاب شد. سنجنده مادیس دارای ۳۶ نوار است که ۱۱ نوار آن در محدوده نور مرئی، نه نوار آن در محدوده مادون قرمز نزدیک، شش نوار در مادون قرمز حرارتی، چهار نوار در محدوده مادون قرمز موج کوتاه و شش نوار در محدوده مادون قرمز امواج بلند تنظیم شده است. همچنین، در فناوری سنجنده مادیس نوارهای مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک نیز در محدوده طیف الکترو مغناطیسی قرار گرفته است. قدرت تفکیک نوارهای سنجنده متفاوت بوده و بین ۲۵۰ متر و ۱۰۰۰ متر در نوسان است (Hemati، ۲۰۱۴).

**مدل SRM:** ساختار اصلی این مدل بر مبنای یک رابطه ریاضی استوار است. محاسبه میزان آب تولید شده در این حوضه، در اثر ذوب برف و بارش باران با استفاده از رابطه (۱) انجام می‌شود (Martinec و همکاران، ۱۹۸۳).

$$Q_{n+1} = [C S n \times a_n (T n + \Delta T n) S n + C R n \times P n] \quad (1)$$

$$\frac{A \times 10000}{86400} (1 + K n + 1) + Q_n K n + 1$$

که در آن،  $Q$  میزان آبدهی متوسط روزانه (مترمکعب بر ثانیه)،  $C_S$  ضریب رواناب برف،  $a$



شکل ۲- مدل هیدرولوژیکی SRM

۱۳۹۲ تا ۱۲ خرداد ماه ۱۳۹۳ (۲۲ نوامبر ۲۰۱۳ تا ۲ ژوئن ۲۰۱۴) برای اعتبارسنجی دریافت، سپس، با استفاده از ابزار MODIS Conversion Toolkit در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 تصاویر را ژئورفرنس کرده و سپس، با استفاده از رابطه (۱) پردازش‌های لازم برای تعیین پوشش برف انجام و آن‌گاه تصاویر نسبت به مرز حوضه برش داده شد و مجدداً با تغییر فرمت تصاویر به TIFF و انتقال به محیط ArcMap، با استفاده از دستور Int جدول ارزش‌گذاری فایل رستر ایجاد و سپس، با تبدیل کردن به فایل وکتوری، مساحت سطح پوشیده از برف در هر طبقه ارتفاعی تعیین شد. قابل ذکر است که جدول ۱ تاریخ تصاویر استفاده شده در بازه زمانی ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ را نشان می‌دهد.

مدل CROPWAT: نرم‌افزار CROPWAT یک ابزار کاربردی برای مهندسان کشاورزی (آبیاری و زهکشی، هواشناسی، زراعت و غیره) در انجام محاسبات

$$NDSI = \frac{Band(0/555\mu m) - Band(1/64\mu m)}{Band(0/555\mu m) + Band(1/64\mu m)} \quad (2)$$

$$NDSI = \frac{Band 4 - Band 6}{Band 4 + Band 6}$$

برای تعیین نقشه برف این الگوریتم، سه معیار باید تعیین شود. در نهایت یک پیکسل تصویر MODIS را زمانی می‌توان برف نامید که:

- NDSI آن بزرگ‌تر یا مساوی ۰/۴ باشد.
- بازتاب نوار دوم آن بزرگ‌تر از ۰/۱۱ باشد.
- بازتاب نوار چهارم آن بزرگ‌تر یا مساوی ۰/۱۰ باشد.

حال در این پژوهش، برای تعیین سطح پوشش برف در زیرحوضه چهل‌گزی ابتدا، تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مادیس در بازه زمانی مهرماه تا مهرماه هر سال بررسی شد و از زمان اولین بارش یعنی ۲ آذر ماه ۱۳۹۱ تا ۱۲ خرداد ماه ۱۳۹۲ (۲۲ نوامبر ۲۰۱۲ تا ۲ ژوئن ۲۰۱۳) برای واسنجی و بازه زمانی ۱ آذر ماه

سانتی‌گراد)،  $U_2$  سرعت باد در ارتفاع دو متری (متر بر ثانیه)،  $e_{\alpha} - e_d$  کمبود فشار بخار اشباع (کیلو پاسکال)،  $\Delta$  شیب تغییرات فشار بخار با درجه حرارت (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد)،  $\gamma$  عدد ثابت سایکرومتری (کیلوپاسکال بر درجه سانتی‌گراد) و ۹۰۰ و ۰/۳۴ ضرایب ثابتی هستند که با ثابت فرض کردن ارتفاع گیاه، مقاومت آسمانه و شاخص برگ تعیین شده‌اند.

$$P_{eff} = \frac{P_{tot}(125 - 0.2 P_{tot})}{125} \rightarrow P_{tot} < 250 \text{ mm} \quad (4)$$

$$P_{eff} = 125 + 0.1 P_{tot} \rightarrow P_{tot} > 250 \text{ mm} \quad (5)$$

رابطه (۴) و (۵)، بر اساس روش USDA<sup>۲</sup> برای محاسبه بارندگی موثر در مدل استفاده می‌شود (Yarahmadi, ۲۰۰۳)، که در آن،  $P_{eff}$  بارندگی موثر (میلی‌متر در ماه) و  $P_{tot}$  بارش (میلی‌متر در ماه) است.

$$CWR = ETo \times K_C \times A \quad (6)$$

رابطه (۶) برای محاسبه نیاز آبی محصول استفاده می‌شود (Lashkari و همکاران، ۲۰۰۹) که در آن،  $CWR$  نیاز آبی محصول (میلی‌متر بر دوره زمانی)،  $ETo$  تبخیر و تعرق محصول مرجع (میلی‌متر بر دوره زمانی)،  $K_C$  میانگین مقدار ضریب محصول برای هر مرحله زمانی و  $A$  درصد مساحت کشت شده است.

$$Irr = A \sum_{i=1}^{365} (ETo \times K_C - P_{eff}) \quad (7)$$

رابطه (۷) برای محاسبه نیاز آبیاری محصول استفاده می‌شود (Yarahmadi, ۲۰۰۳) که در آن،  $Irr$  نیاز آبیاری (میلی‌متر بر دوره زمانی)،  $A$  درصد مساحت کشت شده و  $K_C$  ضریب محصول برای تعیین تبخیر و تعرق می‌باشد.

$$IWR = ETo \times K_C - P \quad (8)$$

رابطه (۸) برای محاسبه نیاز خالص آبیاری استفاده می‌شود (Yarahmadi, ۲۰۰۳) که در آن،  $IWR$  نیاز خالص آبیاری مورد نیاز برای تقاضای آب محصول (لیتر بر ثانیه در هکتار) و  $P$  مقدار بارندگی برای

استاندارد برای نیاز آبی گیاه و به‌خصوص سهولت در طراحی و مدیریت برنامه آبیاری است. این نرم‌افزار به زبان Visual Basic به کمک موسسه IIDS<sup>۱</sup> دانشگاه ساوتهمپتون انگلستان نوشته شده است (Bidabadi, ۱۳۸۲). این نرم‌افزار از پنج آیکن به‌عنوان بخش‌های ورود اطلاعات و سه آیکن به‌عنوان بخش‌های محاسبه‌گر تشکیل شده است که داده‌های مورد نیاز بخش ورودی نرم‌افزار کراپ‌وات برای ارائه جدول نیاز آبی و آبیاری گیاه شامل: متوسط کمینه و بیشینه دما، متوسط رطوبت نسبی، متوسط سرعت باد، متوسط ساعت آفتابی در روز، متوسط انرژی بازتاب‌شده از سطح زمین و تبخیر-تعرق پتانسیل به‌عنوان ورودی‌های بخش Climate/ETO، متوسط بارش ماهانه به‌عنوان ورودی بخش Rain، نوع گیاه، تاریخ کشت، تاریخ برداشت، ضریب گیاه و عمق ریشه آن به‌عنوان ورودی‌های بخش Crop، نوع خاک، آب قابل دسترس در خاک، بیشینه سرعت نفوذ باران در خاک، بیشینه عمق ریشه در خاک، درصدی از کل آب قابل دسترس گیاه که در ابتدا از محیط ریشه خارج می‌شود و کل آب قابل دسترس گیاه در ابتدای آبیاری به‌عنوان ورودی‌های بخش Soil و درصد مساحت زیر کشت به‌عنوان ورودی بخش Crop Pattern می‌باشد. شکل ۳، فلوچارت مدل CROPWAT را نشان می‌دهد (Bidabadi, ۲۰۰۳).

برآورد نیاز آبی ( $CWR$ ) و نیاز آبیاری محصول ( $IWR$ ) در مدل CROPWAT با استفاده از رابطه‌های زیر انجام می‌شود (Bidabadi, ۲۰۰۳؛ Lashkari و همکاران، ۲۰۰۹؛ Yarahmadi, ۲۰۰۳).

$$ETo = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_{\alpha} - e_d)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)} \quad (3)$$

رابطه (۳)، معادله فائو-پنمن-مونتیث برای محاسبه تبخیر-تعرق است که در آن،  $ETo$  تبخیر و تعرق سطح گیاه مرجع (میلی‌متر بر روز)،  $R_n$  تابش خالص بر سطح محصول (میلیون ژول بر متر مربع در روز)،  $G$  شدت جریان گرمایی خاک (میلیون ژول بر متر مربع در روز)،  $T$  میانگین درجه حرارت هوا (درجه

<sup>۱</sup> International Irrigation and Development Institute

<sup>۲</sup> U.S. Department of Agriculture

می‌شود (Lashkari و همکاران، ۲۰۰۹).

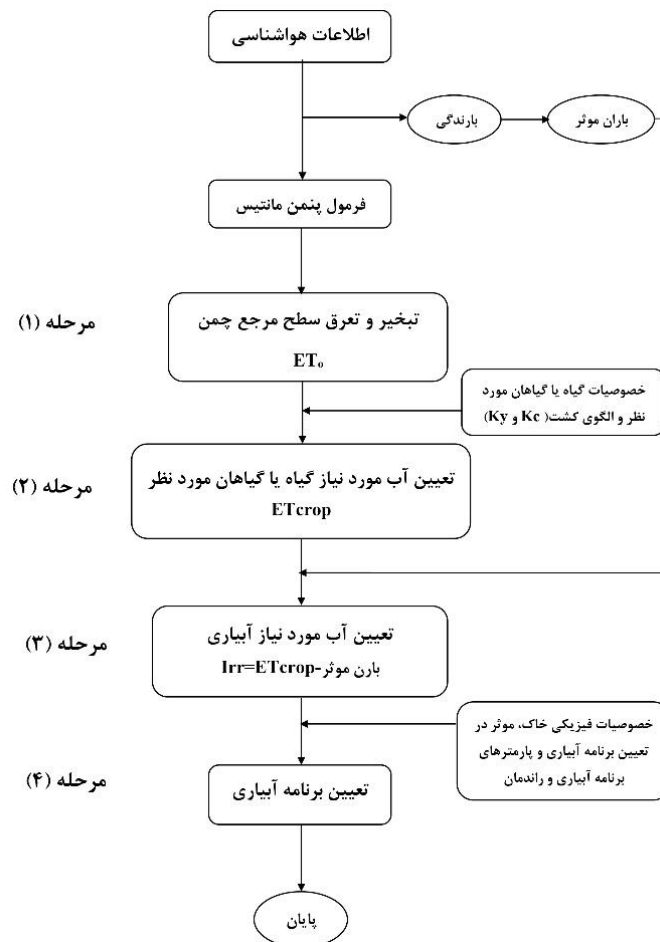
$$U_2 = \frac{4.868}{\ln(67.75Z - 5.42)} \times U_Z \quad (9)$$

که در آن،  $U_2$  سرعت باد در ارتفاع دو متر،  $U_Z$  سرعت باد در ارتفاعی که اندازه‌گیری شده و  $Z$  ارتفاع اندازه‌گیری سرعت باد است.

مدت زمان مورد نظر می‌باشد. از آنجایی که ایستگاه‌های هواشناسی، باد را برحسب نات و در ارتفاع ۱۰ متری ثبت می‌کنند و در مدل کراپوات باد بر حسب کیلومتر در روز و در ارتفاع دو متری مورد نظر است، بنابراین، برای تبدیل داده‌های سرعت باد به فرمت داده‌های مدل کراپ وات از رابطه (۹) استفاده

جدول ۱- تاریخ تصاویر استفاده‌شده سنجنده مادیس در تعیین سطح پوشش برف

ماه	نوامبر	دسامبر	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	می	ژوئن
	۲۲	۸	۱	۲	۶	۷	۱	
روز	۳۰	۱۶	۹	۱۰	۱۴	۱۵	۹	۲
		۲۴	۱۷	۱۸	۲۲	۲۳	۱۷	
			۲۵	۲۶	۳۰		۲۵	



شکل ۳- فلوجارت مدل CROPWAT

سال واسنجی و ۱۳۹۳-۱۳۹۲ به‌عنوان سال اعتبارسنجی) در زیرحوضه چهل‌گزی، عامل پوشش برف با استفاده از تصاویر هشت روزه سنجنده مادیس

روش کلی انجام پژوهش: برای شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف با استفاده از مدل SRM برای فاصله زمانی ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ (۱۳۹۱-۱۳۹۲) به‌عنوان

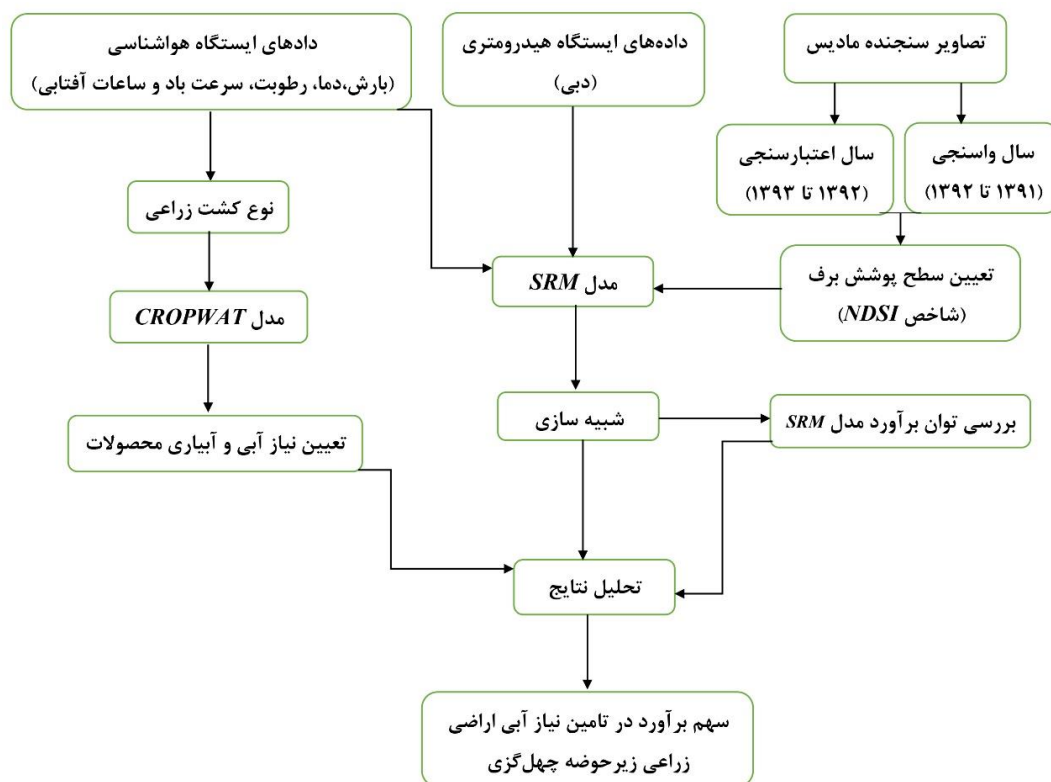


شبهه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف به‌صورت روزانه در نرم‌افزار WinSRM به‌منظور اهداف پژوهش انجام گرفت. سپس، با استفاده از پارامترهای اجرایی مدل CROPWAT، نقش و سهم رواناب شبهه‌سازی شده در تامین نیاز آبی اراضی آبی زیرحوضه چهل‌گزی تعیین و در نهایت، سهم رواناب ناشی از ذوب برف در تامین نیاز کشاورزی بررسی و تعیین شد. شکل ۴، روش کلی انجام پژوهش را نشان می‌دهد.

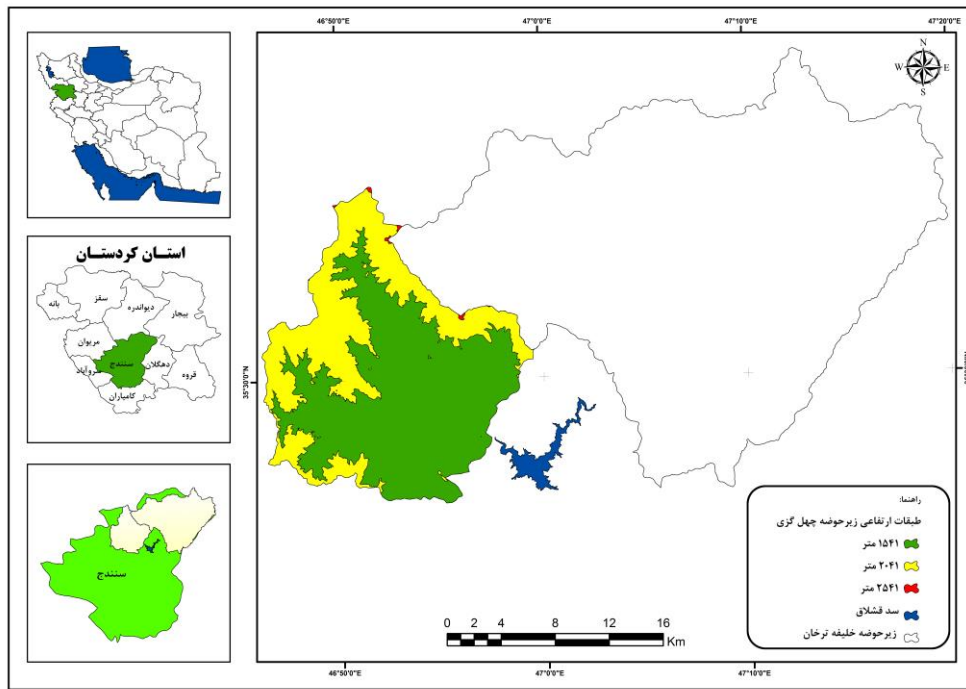
### نتایج و بحث

**خصوصیات فیزیوگرافی زیرحوضه چهل‌گزی، نقشه و جدول هیپسومتری:** با توجه به مدل رقومی، ارتفاع ۳۰ متری زیرحوضه چهل‌گزی، با ارتفاع ۱۵۴۱ متر در نقطه خروجی و ارتفاع ۲۶۹۶ متر در بالاترین نقطه مرزی خود، زیرحوضه به سه ناحیه ارتفاعی ۵۰۰ متری (Sedghi و Moatamedi، ۲۰۱۴) تقسیم شد که شکل ۵، طبقات ارتفاعی و جدول ۲، اطلاعات طبقات ارتفاعی زیرحوضه را نشان می‌دهند.

به‌دلیل قدرت تفکیک زمانی و طیف مناسب تصاویر با ترکیب نوارهای چهار و شش و کاربرد شاخص NDSI به همراه آستانه‌گذاری‌های لازم با استفاده از نرم‌افزار ENVI<sup>۱</sup> استخراج و پس از انجام عملیات درون‌یابی، نقشه پوشش برف تهیه شده و محاسبه شد. مقادیر دما و بارش روزانه از داده‌های ثبت‌شده ایستگاه‌های هواشناسی منطقه به‌دست آمد و مقادیر دبی روزانه با استفاده از آمار دبی اندازه‌گیری‌شده از ایستگاه هیدرومتری زیرحوضه به مدل وارد شد. همچنین، در مورد پارامترهای ورودی به مدل، مقادیر ضرایب برف و باران، افت محیطی دما و عامل درجه-روز به‌صورت متوسط فصلی و دمای بحرانی و زمان تاخیر برای تمام حوضه، در نظر گرفته شده و سطح مشارکت‌کننده در بارش به‌صورت روزانه به مدل وارد شد. همچنین، برای تعیین ضریب فروکش جریان از رابطه ارائه‌شده به‌وسیله مارتینک و رنگو استفاده شد. در نهایت، پس از استخراج و آماده‌سازی متغیرها و پارامترهای فیزیکی حوضه، این اطلاعات به مدل وارد و فرایند



شکل ۴ - روش کلی انجام پژوهش



شکل ۵- طبقات ارتفاعی زیرحوضه چهل گزی (نقشه هیپسومتری)

جدول ۲- اطلاعات هیپسومتری زیرحوضه چهل گزی

طبقات ارتفاعی	متوسط طبقات (متر)	مساحت واقع در هر طبقه (کیلومتر مربع)	مساحت تصحیح شده (کیلومتر مربع)	درصد مساحت	درصد تجمعی مساحت	حاصل ضرب متوسط طبقات در مساحت
۱۵۴۱-۲۰۴۱	۱۷۹۱	۱۶۹/۶۸۱	۱۶۹/۶۸۴	۶۳/۲۲	۱۰۰	۳۰۳۹۰۴/۰۴۴
۲۰۴۱-۲۵۴۱	۲۲۹۱	۹۸/۲۰۹	۹۸/۲۱	۳۶/۵۹	۳۶/۷۷	۲۲۴۹۹۶/۸۱۹
۲۵۴۱-۳۰۴۱	۲۷۹۱	۰/۵۰۶	۰/۵۰۶	۰/۱۸	۰/۱۸	۱۴۱۲/۲۴۶
جمع		۲۶۸/۳۹۶	۲۶۸/۴۰۱	۱۰۰	-	۵۳۰۳۱۳/۱۰۹

پوشش برف مربوط به ۲۵ آذر ماه است و در کل سال بیشترین سهم پوشش برف مربوط به طبقه ارتفاعی A است. همچنین، سال ۱۳۹۲-۱۳۹۳ دارای بیشترین پوشش سطح برف در بازه زمانی ۱۳۹۱-۱۳۹۳ است. مدل سازی جریان، شبیه سازی: نتایج حاصل از شبیه سازی رواناب حاصل از ذوب برف زیرحوضه چهل گزی در شکل ۶ نشان داده شده است و جدول ۴، نتایج ارزیابی شبیه سازی در دوره واسنجی است. باتوجه به شکل ۶، رواناب شبیه سازی شده (خطوط سبز) و رواناب اندازه گیری شده (خطوط قرمز) است که با توجه به تفسیر مشاهداتی دارای انطباق خوبی نسبت به هم هستند.

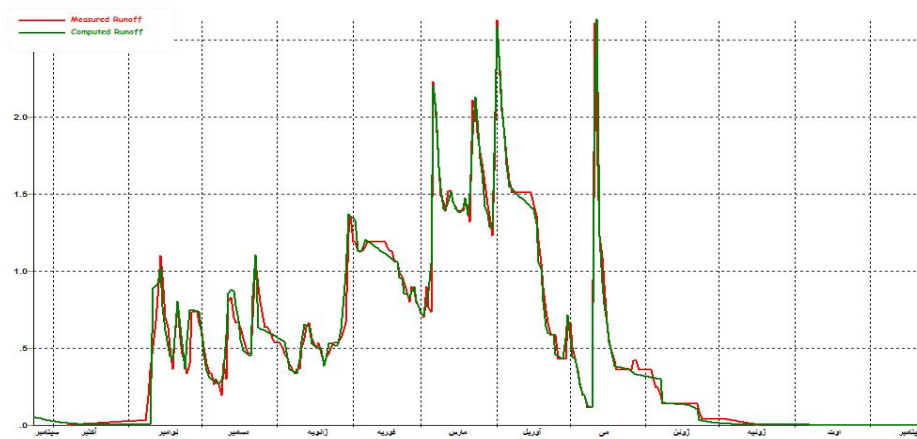
سطح پوشش برف استخراج شده از تصاویر ماهواره ای: در خصوص تعیین سطح پوشش برف در زیرحوضه چهل گزی، جدول ۳، تغییرات سطح پوشش برف در زیرحوضه با فاصله هشت روزه را نشان می دهد. قابل ذکر است، مقدار سطح پوشش برف برای روزهای مابین فاصله هشت روزه تصاویر با بهره گیری از درون یابی تعیین شد.

نتایج حاصل از جدول ۲، گویای این می باشد که در سال ۱۳۹۱-۱۳۹۲ بیشترین سهم پوشش برف مربوط به ۱۴ بهمن ماه است و در کل سال، بیشترین سهم پوشش برف مربوط به طبقه ارتفاعی B است. همچنین، در سال ۱۳۹۲-۱۳۹۳ بیشترین سهم

جدول ۳- سطح پوشش برف طبقات ارتفاعی زیرحوضه چهل گزی

مساحت سطح پوشش برف در گذر زمانی هشت روزه (کیلومتر مربع)

* طبقه ارتفاعی			روز	ماه	سال	* طبقه ارتفاعی			روز	ماه	سال
C	B	A				C	B	A			
.	.	.	۱	آذر	۱۳۹۲	۰/۰۶۲	۰/۶۸۶	.	۲	آذر	۱۳۹۱-۱۳۹۲
.	.	.	۹			۰	۳/۲۸۲	۲/۰۲۷	۱۰		
.	.	.	۱۷			۰	.	.	۱۸		
۰/۳۲	۹۴/۰۰۲	۱۵۳/۸۴۹	۲۵	دی	۱۳۹۲	۰/۰۶۳	۱۱/۴۶۱	۶/۰۴۶	۲۶	دی	۱۳۹۱-۱۳۹۲
۰/۲۷۱	۹۳/۸۲۰	۱۵۰/۲۴۲	۳			۰/۲۰۶	۲۵/۰۰۲	۰/۳۰۸	۴		
.	.	.	۱۱			۰	۴/۱۶۵	۰/۹۴۳	۱۲		
۰/۲۸۸	۹۱/۲۴۹	۱۳۵/۶۸۶	۱۹	بهمن	۱۳۹۲	.	۲/۴۲۷	۰/۲۰۷	۲۰	بهمن	۱۳۹۱-۱۳۹۲
۰/۴۰۲	۸۰/۰۳۱	۲۴/۰۶۹	۲۷			.	.	.	۲۸		
۰/۴۲۹	۶۸/۱۸۳	۵۷/۵۷۸	۵			۰/۳۱۲	۳۴/۵۹۸	۶/۱۸۶	۶		
۰/۴۲۵	۷۲/۲۸۷	۳۶/۲۶۴	۱۳	اسفند	۱۳۹۲	۰/۰۳	۳۰/۲۹۶	۷۹/۳۸۹	۱۴	اسفند	۱۳۹۱-۱۳۹۲
۰/۲۲۴	۵۹/۰۷۸	۳۳/۰۰۷	۲۱			۰/۳۸۵	۴۳/۷۹۲	۴/۹۰۳	۲۲		
۰/۰۵۲	۵۰/۳۰۶	۲۹/۳۲	۲۹			.	.	.	۳۰		
۰/۰۴	۳/۹۲۳	۱/۵۴۸	۷	فروردین	۱۳۹۲	۰/۲۹۵	۱۶/۷۱۶	۰/۰۳۱	۸	فروردین	۱۳۹۱-۱۳۹۲
۰/۱۱	۶/۵۷	.	۱۵			۰/۰۰۱	۳/۹۰۹	۰/۹۹۱	۱۶		
.	۲/۳۳۲	.	۲۳			۰/۰۰۹	۱/۹۴۷	.	۲۴		
.	۰/۲۰۴	.	۲	اردیبهشت	۱۳۹۲	.	.	.	۲	اردیبهشت	۱۳۹۱-۱۳۹۲
۰/۱۱۸	۹۳/۹۰۲	۱۶۸/۰۷	۱۰			.	.	.	۱۰		
.	.	.	۱۸			.	.	.	۱۸		
.	.	.	۲۶	خرداد	۱۳۹۲	.	.	.	۲۶	خرداد	۱۳۹۱-۱۳۹۲
.	.	.	۳			.	۲/۶۴۹	۰/۴۰۴	۳		
.	.	.	۱۱			.	.	.	۱۱		
.	.	.	۱۹	تیر	۱۳۹۲	.	.	.	۱۹	تیر	۱۳۹۱-۱۳۹۲
.	.	.	۲۷			.	.	.	۲۷		
.	.	.	۴			.	.	.	۴		
.	.	.	۱۲	مهر	۱۳۹۲	.	.	.	۱۲	مهر	۱۳۹۱-۱۳۹۲
.	.	.	.			.	.	.	.		
.	.	.	.			.	.	.	.		



شکل ۶- شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف در سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۲

جدول ۴- ارزیابی مقادیر واسنجی شده مدل در سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۲

دوره زمانی	مشاهداتی ( $10^6 m^3$ )	محاسباتی Q ( $10^6 m^3$ )	q مشاهداتی ( $m^3 s^{-1}$ )	q محاسباتی ( $m^3 s^{-1}$ )	R <sup>2</sup>	D <sub>v</sub> (درصد)
۱۳۹۱-۱۳۹۲	۱۵/۷۴۱	۱۵/۷۱۹	۰/۴۹۹	۰/۴۹۸	۰/۹۷	۰/۱۴۰۴

**واسنجی:** در فرایند واسنجی، مقادیر پارامترهای مدل به اندازه‌ای تغییر می‌یابند که هیدروگراف مشاهداتی و محاسباتی بهترین برازش را ایجاد کند ( Miryaghoobzadeh و همکاران، ۲۰۱۱) که طی این امر ضریب رواناب باران و دمای بحرانی تغییر داده شد.

**ارزیابی و صحت‌سنجی مدل:** نتایج حاصل از ارزیابی و صحت‌سنجی شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف در زیرحوضه چهل‌گزی در شکل ۷ نشان داده شده است و جدول ۵، نتایج ارزیابی شبیه‌سازی در دوره اعتبارسنجی است.



شکل ۷- شبیه‌سازی رواناب حاصل از ذوب برف در سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۳

باتوجه به شکل ۷، رواناب شبیه‌سازی شده (خطوط سبز) و رواناب اندازه‌گیری شده (خطوط قرمز) است که با توجه به تفسیر مشاهداتی دارای انطباق خوبی نسبت به هم هستند.

با توجه به جدول‌های ۴ و ۵، میزان برآورد رواناب ناشی از ذوب برف با توجه به سال واسنجی ۱۵/۷۱۹ میلیون متر مکعب در سال و با توجه به سال اعتبارسنجی ۲۰/۳۶۹ میلیون متر مکعب در سال تعیین شد.

**تعیین نیاز آبی سالانه اراضی کشاورزی:** با توجه به نوع کشت آبی منطقه و مساحت سطح زیرکشت اراضی آبی زیرحوضه چهل‌گزی در جدول ۶ و بهره‌گیری از نرم‌افزار CROPWAT، نیاز آبی سالانه اراضی کشاورزی زیرحوضه چهل‌گزی در این کشت‌ها، به شرح جدول ۷ است. قابل ذکر است، با توجه به این‌که تاریخ کاشت گندم آبی در مناطق سردسیر برای ارقام با عادت رشد زمستانه نیمه اول مهرماه و برای

ارقام که دارای تیپ رشد بینابین (اختیاری) هستند، نیمه دوم مهرماه مناسب شناخته شده است و زمان برداشت اوایل تا دهه دوم تیر ماه (Seed and Plant Improvement Research Institute، ۲۰۱۵) و همچنین زمان کاشت برای جو در مناطق سرد نیز اواخر شهریور تا نیمه اول مهرماه و زمان برداشت آن زودتر از گندم معرفی شده است (Cereals, legumes and forage crops، ۲۰۱۳). به گونه‌ای که طول دوره رشد جو بهاره ۱۰۰ تا ۱۲۰ روز و طول دوره رشد جو پاییزه ۲۴۰ تا ۲۷۰ روز است (Shafieh Khorshidi و همکاران، ۲۰۱۴). زمان کاشت برای یونجه (گیاه چند ساله) در دو فصل بهار و پاییز انجام می‌گیرد، در پاییزه باید زمانی گیاه را کشت کرد که قبل از سرمای زمستانه گیاه به خوبی در خاک مستقر شود. همچنین توصیه می‌شود، در مناطقی که دارای زمستان‌های سخت هستند، یونجه در بهار کشت شود (نیمه دوم اردیبهشت ماه). قابل ذکر است، یونجه سه تا چهار

مدل معرفی شد. قابل ذکر است، جدول ۶ برگرفته از گزارش مطالعات ارزیابی اجرایی و اثربخشی پروژه‌های آبخیزداری حوزه آبخیز پارسل A سد قشلاق سنندج است.

سال رشد دارد (Khorshidi Shafieh و همکاران، ۲۰۱۴). حال با توجه به اقلیم سرد منطقه در مدل این اطلاعات اعمال شد. همچنین، بر اساس نقشه خاکشناسی خاک منطقه نیز در بخش اعظم Rock Outcrops/Entisols بوده و به‌عنوان بافت متوسط به

جدول ۵- ارزیابی مقادیر اعتبارسنجی شده مدل در سال ۱۳۹۲ تا ۱۳۹۳

دوره زمانی	مشاهداتی ( $10^6 m^3$ )	محاسباتی ( $10^6 m^3$ )	q مشاهداتی ( $m^3 s^{-1}$ )	q محاسباتی ( $m^3 s^{-1}$ )	R <sup>2</sup>	D <sub>v</sub> (درصد)
۱۳۹۲-۱۳۹۳	۲۰/۵۰۵	۲۰/۳۶۹	۰/۶۵	۰/۶۴۶	۰/۹۶	۰/۶۶۵۵

جدول ۶- مساحت زیرکشت در اراضی آبی زیرحوضه چهل‌گری

ردیف	نوع محصول	سطح زیرکشت (هکتار)	درصد کشت
۱	گندم	۱۱۲/۷	۲۸
۲	جو	۳۲/۲	۸
۳	یونجه	۱۲۸/۸	۳۲
۴	شبدر	۳۶/۲	۹
۵	نخود	۳۲/۲	۸
۶	باغات	۶۰/۴	۱۵
	مجموع	۴۰۲/۵	۱۰۰

جدول ۷- نیاز آبی سالانه اراضی کشاورزی زیرحوضه چهل‌گری ۱۳۹۱-۱۳۹۲

موقعیت اراضی	مساحت اراضی (هکتار)	نوع کشت آبی غالب	* میزان نیاز آبی سالانه محصول در یک هکتار (CWR)	* میزان نیاز آبیاری سالانه محصول در یک هکتار (Irr)	* میزان نیاز آبیاری سالانه محصول در مساحت زیرکشت با توجه به راندمان آبیاری
زیرحوضه چهل‌گری	۳۴۲/۱	گندم (Wheat)	۷۰۴۸	۵۸۴۴	۶۵۸۶۱۹
		جو (Barley)	۴۲۷۱	۳۹۶۱	۱۲۷۵۴۴
		یونجه (Alfalfa)	۷۶۷۴	۶۶۰۰	۸۵۰۰۸۰
		** شبدر (Clover)	۷۵۳۸	۴۶۲۰	۱۶۷۲۴۴
مجموع		** نخود (Gram)	۴۵۹۰	۴۲۲۰	۱۳۵۸۸۴
		-	۳۱۱۲۱	۲۵۲۴۵	۱۹۳۹۳۷۱

\* واحد محاسبات: متر مکعب بر هکتار در دوره زمانی و \*\* بر اساس پژوهش موسسه تحقیقات خاک و آب کشور

کردستان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SRM به کمک سنجش از دور در سال واسنجی و اعتبارسنجی، با توجه به جداول ۴ و ۵ گویای انطباق خوب مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده و توان بالای مدل در شبیه‌سازی رواناب است که با نتایج مطالعات Rashidi و همکاران (۲۰۱۷)، Nouri و همکاران (۲۰۱۶)، Akbari و همکاران (۲۰۱۶)، Jahanbakghsh و Asl و همکاران (۲۰۱۶)، Mohtashamzadeh و

خلاصه نتایج جدول ۷، بیانگر این است که سالانه ۱۹۳۹۳۷۱ متر مکعب آب برای کشت زراعی در اراضی آبی زیرحوضه چهل‌گری مورد نیاز است. همچنین، مصرف بالای آب کشت‌های زارعی، به‌ترتیب برای کشت یونجه، گندم، شبدر، نخود و جو براساس سطح زیرکشت آنان است.

مقایسه نتایج: نتایج مطالعه برآورد رواناب حاصل از ذوب برف در زیرحوضه چهل‌گری واقع در استان

در تامین نیاز آبی اراضی زراعی این زیرحوضه بر اساس موجودیت آب، طی سال‌های ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۳ پرداخته است. نتایج پژوهش، از یک‌سو، بیانگر توان خوب مدل در برآورد رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از ضریب تبیین و درصد تفاضل حجمی بوده و از سوی دیگر، بیانگر توان این مقدار حجم از رواناب برآورد شده در تامین نیاز آبی اراضی زراعی زیرحوضه، نسبت به سال واسنجی است که بر مبنای این مطالعه می‌توان به ارائه الگویی برای برنامه‌ریزی مدون بر اساس موجودیت آب در زیرحوضه چهل‌گزی پرداخت. همچنین، باتوجه به اهمیت منابع آب و مدیریت صحیح بهره‌برداری از آن، پیشنهاد می‌شود، ارائه برنامه‌ریزی بر مبنای کلیه زیرحوضه‌های حوزه آبخیز سدشلاق صورت گیرد که خود مستلزم همکاری ادارات و سازمان‌های مربوطه در ارائه داده‌های مورد نیاز و تهیه نقشه کاربری اراضی کلیه زیرحوضه‌های این سد است.

Ghorbanizadeh Kharazi و Fattahi (۲۰۱۴) و همکاران (۲۰۱۱)، در خصوص توان بالای مدل مطابقت دارد. همچنین، نتیجه مطالعه در تعیین سهم رواناب ناشی از ذوب برف در تامین نیاز آبی اراضی کشاورزی زیرحوضه چهل‌گزی با توجه به جداول ۴ و ۷ گویای توان این رواناب در تامین ۱۰۰ درصد مساحت کل اراضی زیرحوضه است که خود گویای نقش معنی‌دار آب حاصل از ذوب برف زیرحوضه در تامین نیاز آبی این اراضی و تولید محصولات کشاورزی است.

### نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر، به برآورد رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از مدل SRM و تصاویر سنجنده مادیس و تعیین نیاز آبی اراضی زراعی زیرحوضه چهل‌گزی واقع در استان کردستان با استفاده از مدل CROPWAT، با هدف تعیین سهم برآورد رواناب حاصل از ذوب برف

### منابع مورد استفاده

1. Akbari, M., E. Ranaei, H. Mirzakhn and A.R. Dargahi. 2016. Simulation of snow melt runoff using SRM hydrology software, case study: Kardeh Dam Basin. Water Engineering, 9(30): 63-74 (in Persian).
2. Alizadeh, A. 2008. Principle of applied hydrology. Imam Reza University Publication, 801 pages (in Persian).
3. Blöschl, G., R. Kirnbauer and D. Gutknecht. 1991. Distribution snowmelt simulation in Alpine catchments, I. Model evaluation on the basis of snow cover patterns. Water Resources Research, 27(12): 3171-3179.
4. Bidabadi, M. 2004. CROPWAT learning of software (for windows) crop water requirement and irrigation planning. Tehran Academic Jihad, 136 pages (in Persian).
7. Fattahi, A., M. Delavar and E. Ghasemi. 2011. Simulation of snow melt runoff in mountainous basins using SRM model, case study of Basoft Basin. Scientific Journals Management System, 20(23): 129-141 (in Persian).
8. Hall, D.K., G.A. Riggs and V.V. Salomonson. 1995. Development of the methods for mapping global snow cover using moderate resolution imaging spectroradiometer data. Remote Sensing of Environment, 54(2): 1-127.
9. Hemati, Z. 2014. Application of SRM model and MODIS data in estimating snow melt runoff, a case study: Zarinchrouh Basin. MSc Thesis, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, 80 pages (in Persian).
10. Jahanbakgsh ASL, S., Y. Dinpajoh, M.H. Aalineghad, Kh. Valizadeh Kamran and M. Parhizkar. 2016. Simulation of snow-melt runoff in Shahrchay basin using the SRM model. Geography and Environmental Planning, 63(3): 1-14 (in Persian).
11. Khan, A., H.N. Hashmi, U.A. Naeem and M.Q.F. Areed. 2016. Hydrologic modeling of Kanpur Dam Watershed using snow melt runoff model. Technical Journal, 21(4): 2-7.
12. Karimi, H., H. Zeinivand, N. Tahmasebipour, A. Haghizadeh and M. Miryaghoubzadeh. 2016. Comparison of SRM and WetSpa models efficiency for snowmelt runoff simulation. Environmental Earth Sciences, 75(8): 664-678.
13. Leavesley, G.H., R.W. Lichty, B.M. Troutman and L.G. Saindon. 1983. Precipitation-runoff modeling system: user's manual. U.S. Geological Survey Water-Resources Investigations Report, 83: 1-207.
14. Lashkari, H., Gh. Keykhsrovi and A. Rezaei. 2009. The analysis of the CROPWAT model efficiency estimating water requirement of wheat in the west of Kermanshah, Islamabad Gharb, Sarpol Zahab

- and Ravansar. 13(1): 247-270 (in Persian).
15. Martinec, J. 1975. Snowmelt-runoff model for stream flow forecasts. *Hydrology Research*, 6(3): 145-154.
  16. Moussavi, M., J. Feyen and G. Wyseure. 1990. Comparison of different structures for a monthly water yield model in seasonally snow-covered mountainous watershed of Iran. *Hydrological Sciences Journal*, 35(5): 535-546.
  17. Martinec, J., A. Rango and E. Major. 2008. *Snowmelt-Runoff Model (SRM) user's manual*. New Mexico State University, 180 pages.
  18. Miryaghoobzadeh, M., M.R. Ghanbarpour and M. Habibnejad Roshan. 2011. Snow melt river flow modeling using SRM model (case study: Karaj Dam Basin). *Iran Water Resources Research*, 7(3): 40-52 (in Persian).
  19. Moatamedi, A. and H. Sedghi. 2013. *Principle of snow hydrology*. Arkane Danesh, 480 pages (in Persian).
  20. Mokhtari Motlagh, P., B. Javani and H. Sharifan. 2013. Estimated seasonal snow melt runoff using SRM model, a case study: Ziarat Basin in Golestan Province. 1st National Conference on Water Resources and Agricultural Challenges. Iranian Irrigation and Drainage Association. Islamic Azad University Isfahan (Khorasgan) Branch (in Persian).
  21. Mohtashamzadeh, R. and H. GhorbanizadehKharazi. 2014. The snowmelt runoff simulation using SRM software and satellite images. *Water Engineering*, 2(2): 151-166 (in Persian).
  22. Nolin, A. and S. Liang. 2000. Progress in bidirectional reflectance modeling and applications for surface particulate media: snow and soils. *Remote Sensing Reviews*, 18(2-4): 307-342.
  23. Najafi, A. 2003. Investigation of the snowmelt runoff in the Orumiyeh region, using modeling, GIS and RS techniques doctoral dissertation. MSc Thesis, ITC, Netherlands, 53 pages.
  24. Najafi Imdir, A., J. Ghodosi, B. Saghafian and J. Porhemmat. 2007. Estimation of snowmelt runoff using remote sensing and geographic information system in Shahrchay Basin of Urmia. *Journal of Natural Resources Engineering*, 76: 177-185 (in Persian).
  25. Nazmfar, H. and M. Moradi. 2016. Simulation of the runoff resulted from snowmelt using of the remote sensing data, a case study: Dehgolan Basin. *Journal of Geography and Planning*, 20(55): 273-289 (in Persian).
  26. Nouri, A., M. Vafakhah and S.K. Alavipanah. 2015. Estimation of snowmelt-runoff using SRM model in Taleghan Watershed. *Environmental Earth Sciences*, 10(3): 163-167 (in Persian).
  27. Porhemmat, J., B. Saghafian and H. Sedghi. 2005. Application of SRM model in snowmelt runoff simulation using NOAA AVHRR images in ungauged basins. *Iran Water Resources Research*, 1(1): 1-11 (in Persian).
  28. Quick, M.C. 1995. *The UBC watershed model*. In: Singh, V.J. (Ed.). *Computer models of watershed hydrology*. Water Resources Publications, Colorado, 233-280.
  29. Raighani, B., S. Soltani Koopani and S.J. Khajeddin. 2011. Estimate of snowmelt runoff using MODIS data. *Journal of Engineering and Watershed Management*, 2(4): 221-236 (in Persian).
  30. Rashidi, M., M. Hajibighoo, M. Sarbazi and M. Ghaderi. 2017. Estimation of snowmelt runoff in northern Khorasan Basin by using win SRM model, a case study: Darband Samalghan Basin. *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(2): 159-171 (in Persian).
  31. Sadeqi, H.R., L. Gholami and A. Khaledi darvishan. 2008. Comparison of sediment delivery ratio estimation methods in Chehelgazi Watershed of Gheshlagh Dam. *Agricultural Sciences and Technology Journal*, 22(1): 141-150 (in Persian).
  33. Shafieh Khorshidi, M., A.A. Asadi and M. Javadi. 2014. *Agriculture*. Sharif Mudorsan Publication, 125 pages (in Persian).
  34. Shahoei, S., J. Porhemmat, H. Sedghi, M. Hosseini and A. Saremi. 2017. Daily runoff simulation in Ravansar Sanjabi Basin, Kermanshah, Iran, using remote sensing through SRM model and comparison to SWAT model. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15(3): 1843-1862.
  35. US Army Corp of Engineers. 1998. *Engineering and design: runoff from snowmelt*. National Government Publication, 75 pages.
  36. Yarahmadi, J. 2003. The integration of satellite images, GIS and CROPWAT model to investigation of water balance in irrigated area. ITC, 56 pages.