

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ



دانشکده مهندسی عمران
گروه مهندسی آب و محیط زیست
پایان نامه کارشناسی ارشد

مدل سازی رواناب ذوب برف با مدل SRM و با استفاده از RS و GIS
(مطالعه موردی حوضه آبریز سد لار)

سجاد اخوت

استاد راهنما
دکتر سعید گلیان

بهمن ۱۳۹۴

تقدیم به

پدر و مادرم؛

بزرگان زندگی ام، کسانی که محبتان بی‌پایان و چشم‌داشتی و فقط از سر لطف و بزرگی خود نصیب من کردند. پدرم که با همراهی همیشگی خود دوران

تحصیل و پیگیری هایش شوق ادامه دادن را در همه لحظه‌ها به من یادآوری می‌کرد. مادرم که زیباترین خلقت خداوندی است و همیشه شاهد دل‌داری

دادن هایش، نگرانی هایش و غصه خوردن هایش برای خود بودم. منی که قدر دان یک کوشش کوچک از زحمات هایشان نبودم. تقدیم به شمای پدر و

مادر عزیزتر از جانم.

تقدیم به برادرانم، بزرگ‌ترین بخاطر بزرگ‌ترین و کوچک‌ترین بخاطر تحمیش، تقدیم شما باد.

مشکر و قدر دانی؛

اول پاس خدای را که سخوران در ستودن او بماند و شمارندگان، شمردن نعمت های او نتوانند و کوشندگان، حق او را کزاردن نتوانند. و سلام و درود

بر محمد (ص) و خاندان پاک او، طاهران معصوم هم آنان که وجودمان و مدار وجودشان است.

بدون شک در مشکر و قدر دانی اولین کسی که باید از او یاد کرد، معلمی است که در کمال سه صدر، با حسن خلق و فروتنی از هیچ گلی دریغ نکرد و آنچه را

که در توان داشت در حق من رواداشت. در اینجا من، ای معلم، جناب آقای دکتر سعید گلیمان از کجک های شما و از جایگاه استادی شما کمال مشکر

را دارم. تاباشد آینده قدری از زحمات بزرگ شما را هر چند کوچک جبران کنم.

همچنین از آقایان دکتر مهدی عجمی و دکتر رمضان واقعی بخاطر داوری این پایان نامه و جناب آقای دکتر احمد احمدی ریاست محترم دانشکده

عمران دانشگاه صنعتی شاهرود برای کجک در انجام دفاع از پایان نامه نهایت پاس خود را بیان می کنم.

بعد از آن باید از تمام کسانی که در طول این یکسال و چند ماه برای انجام این پایان نامه به من کمک کردند، چه در جمع آوری داده ها و غیره، کمال

مشکر و قدر دانی خود را از این عزیزان ابراز دارم.

تعهد نامه

اینجانب **سجاد اخوت** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - آب دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مدل سازی رواناب ذوب برف با استفاده از مدل SRM با استفاده از GIS و RS تحت راهنمایی دکتر سعید گلپان به عنوان استاد راهنما متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه / رساله توسط اینجانب انجام شده و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه / رساله تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرکی یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام <<دانشگاه صنعتی شاهرود>> و یا <<shahrood university of technology>> به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افراد که در به دست آوردن نتایج اصلی پایان نامه / رساله تاثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه / رساله رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه / رساله ، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ: ۱۳۹۴/۱۱/۲۶

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق و نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحوی مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه / رساله بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

از آنجا که اکثر حوضه های آبریزی که تامین کننده منابع آبی می باشند در مناطق کوهستانی واقع شده اند و نوع بارش در این حوضه ها نیز اکثرا بصورت برف می باشد، تخمین میزان رواناب حاصل از ذوب برف در طول فصول مختلف سال، عامل بسیار مهمی در مدیریت و برنامه ریزی منابع آب این مناطق می باشد. به همین منظور مدل شبیه سازی ذوب برف SRM که امروزه به عنوان یک مدل کاملا عملیاتی و کاربردی در ۲۵ کشور روی بیش از ۷۵ حوضه آبریز مورد استفاده قرار گرفته است، برای شبیه سازی رواناب ذوب برف انتخاب شد.

حوضه ای که در این تحقیق مورد بررسی گرفته است، حوضه آبریز سد لار می باشد که در شمال شهر تهران و در کنار قله دماوند قرار دارد. تمامی اطلاعات هواشناسی و هیدرومتری حوضه برای یک دوره آماری طولانی جمع آوری و ثبت شده است. داده های هیدرومتری و هواشناسی حوضه برای سال های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ جمع آوری گردید.

ابتدا با استفاده از نرم افزار سنجش از دور Erdas، محصول برف MOD10A2 سنجنده MODIS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با این روش سطح پوشش برف که یکی از پارامترهای مهم ورودی مدل SRM می باشد، استخراج گردید. بعد از این مرحله به کمک نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مدل رقومی ارتفاعی حوضه مورد مطالعه با استفاده از نقشه های توپوگرافی منطقه تولید گردید. سپس نقشه های هیپسومتریک حوضه و منطقه بندی آن بر اساس ارتفاع تهیه شد. در مرحله بعد مقادیر بارش و دمای بدست آمده از ایستگاه هواشناسی مستقر در حوضه وارد مدل گردید. مدل ابتدا با استفاده از داده های سال های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ کالیبره شد و بطور میانگین ضریب تبیین ۰/۶۹۸ و تفاضل حجم ۵/۵۵۳ برای آن بدست آمد. همچنین مدل برای سال های ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ اعتبارسنجی شد، و به طور میانگین ضریب تبیین برای آن ۰/۵۵۶ و تفاضل حجم ۱۶/۰۹ بدست آمد.

کلمات کلیدی: مدل SRM، Erdas، سنجنده MODIS، سد لار

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه و کلیات
۱-۱-مقدمه..... ۲	
۲-۱-ضرورت انجام تحقیق..... ۴	
۳-۱-اهداف تحقیق..... ۵	
۴-۱- مروری بر فصل های آینده..... ۶	
	فصل دوم: مرور تحقیقات گذشته
۱-۲- مقدمه..... ۸	
۲-۲- سنجش از دور..... ۸	
۳-۲- تاریخچه کاربرد سنجش از دور در هیدرولوژی برف..... ۹	
۴-۲- تاریخچه مدل شبیه سازی ذوب برف SRM..... ۱۳	
۵-۲- سنجنده MODIS..... ۱۶	
۶-۲- مرور تحقیقات انجام شده در ایران..... ۱۶	
۷-۲- مرور تحقیقات انجام شده در جهان..... ۱۷	
۸-۲- جمع بندی..... ۲۱	

فصل سوم: مواد و روش ها

- ۲۴.....۱-۳-مقدمه
- ۲۴.....۲-۳-مدل SRM
- ۲۴.....۱-۲-۳-تئوری مدل
- ۲۶.....۲-۲-۳-خصوصیات حوضه و ناحیه های ارتفاعی
- ۲۷.....۳-۲-۳-متغیرها
- ۲۷.....۱-۳-۲-۳-درجه حرارت
- ۲۸.....۲-۳-۲-۳-بارش
- ۲۹.....۳-۳-۲-۳-سطح پوشش برف
- ۲۹.....۴-۲-۳-پارامترهای ورودی به مدل
- ۲۹.....۱-۴-۲-۳-ضریب رواناب
- ۳۰.....۲-۴-۲-۳-فاکتور درجه روز
- ۳۱.....۳-۴-۲-۳-گرادیان درجه حرارت
- ۳۲.....۴-۴-۲-۳-درجه حرارت بحرانی
- ۳۳.....۵-۴-۲-۳-سطح مشارکت کننده بارش
- ۳۴.....۶-۴-۲-۳-ضریب فروکش
- ۳۶.....۷-۴-۲-۳-زمان تاخیر

- ۳۶.....۳-۲-۵-ارزیابی مدل
- ۳۷.....۳-۳-ساختار اجرایی مدل
- ۳۹.....۳-۳-۱- معرفی اطلاعات ورودی
- ۴۰.....۳-۳-۲- اجرا و واسنجی مدل
- ۴۱.....۳-۴-آماده سازی داده های مورد نیاز برای ورود به مدل
- ۴۱.....۳-۴-۱- داده های هیدرومتری و هواشناسی
- ۴۱.....۳-۴-۲- داده های ماهواره ای
- ۴۲.....۳-۵- داده های مورد نیاز مدل SRM
- ۴۲.....۳-۵-۱- متغیرهای مورد نیاز مدل
- ۴۲.....۳-۵-۱-۱- سطح پوشش برف
- ۴۸.....۳-۵-۱-۲- دمای هوا
- ۴۸.....۳-۵-۱-۳- بارش
- ۴۸.....۳-۵-۳- پارامترهای ورودی به مدل SRM

فصل چهارم: منطقه مورد مطالعه

- ۵۲.....۴-۱- منطقه مورد مطالعه
- ۵۳.....۴-۲- شبکه هیدرومتری موجود
- ۵۴.....۴-۲-۱- آبدهی رودخانه لار

- ۵۵.....۲-۲-۴- آبدهی رودخانه دلیچای.....
- ۵۶.....۳-۲-۴- آبدهی رودخانه سفیدآب.....
- ۵۷.....۳-۴- تقسیم بندی حوزه آبریز.....

فصل پنجم: اجرا، شبیه سازی و ارزیابی مدل SRM

- ۶۰.....۱-۵- مقدمه.....
- ۶۰.....۲-۵- تغییرات سطح پوشش برف.....
- ۶۳.....۳-۵- تغییرات متوسط دما و باران در حوضه لار.....
- ۶۷.....۴-۵- نتایج اجرا و کالیبره کردن مدل SRM در مدل سازس رواناب ذوب برف.....
- ۷۲.....۵-۵- ارزیابی مدل.....
- ۷۳.....۶-۵- تعیین سهم رواناب حاصل از ذوب برف در آورد رودخانه های حوضه سد لار.....
- ۷۶.....۷-۵- برازش منحنی.....

فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات

- ۸۰.....۱-۶- خلاصه کارهای انجام شده.....
- ۸۰.....۲-۶- نتیجه گیری.....
- ۸۱.....۳-۶- پیشنهادات.....
- ۸۳.....فهرست منابع.....

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل (۱-۲) نمودار بازتابش ابر و برف در طول موج های مختلف تصاویر.....	۹
شکل (۲-۲) نام و مختصات جغرافیایی تعدادی از حوضه های آبریزی که تاکنون مدل SRM در آنها اجرا شده و مورد تایید قرار گرفته است.....	۱۵
شکل (۱-۳) نقشه هیپسومتریک حوضه آبریز سد لار بر اساس تقسیم بندی ارتفاعی ۵۰۰ متر.....	۲۶
شکل (۲-۳) محیط پنجره اصلی مدل WinSRM.....	۳۸
شکل (۳-۳) پنجره ویرایش پارامترهای شبیه سازی.....	۴۰
شکل (۴-۳) تصویر کشور ایران بر اساس ایندکس سنجنده MODIS ماهواره TERRA.....	۴۵
شکل (۵-۳) تصویر خام بدست آمده از سنجنده MODIS در نرم افزار Erdas.....	۴۶
شکل (۶-۳) تصویر سنجنده MODIS پس از تصحیح هندسی در نرم افزار Erdas.....	۴۷
شکل (۷-۳) تصویر نهایی و پردازش شده بوسیله نرم افزار Erdas.....	۴۷
شکل (۱-۴) موقعیت جغرافیایی سد لار نسبت به شهرهای تهران و آمل.....	۵۲
شکل (۲-۴) نقشه حوضه آبریز سد لار و محل سد و رودخانه های ورودی به سد.....	۵۳
شکل (۳-۴) متوسط آبدهی ماهانه رودخانه لار در ایستگاه گزل دره.....	۵۵
شکل (۴-۴) متوسط آبدهی ماهانه رودخانه دلیچای در ایستگاه دلیچای.....	۵۶
شکل (۵-۴) متوسط آبدهی ماهانه رودخانه سفیدآب در ایستگاه سفیدآب.....	۵۷
شکل (۱-۵) نمودار پوشش برفی برای مناطق ارتفاعی در سال ۲۰۰۹-۲۰۱۰.....	۶۱

- شکل (۲-۵) نمودار پوشش برفی برای مناطق ارتفاعی در سال ۲۰۱۰-۲۰۱۱.....۶۱
- شکل (۳-۵) نمودار پوشش برفی برای مناطق ارتفاعی در سال ۲۰۱۱-۲۰۱۲.....۶۲
- شکل (۴-۵) نمودار پوشش برفی برای مناطق ارتفاعی در سال ۲۰۱۲-۲۰۱۳.....۶۲
- شکل (۵-۵) نمودار تغییرات متوسط دمای سطح زمین در سال ۲۰۰۹-۲۰۱۰.....۶۳
- شکل (۶-۵) نمودار تغییرات متوسط دمای سطح زمین در سال ۲۰۱۰-۲۰۱۱.....۶۴
- شکل (۷-۵) نمودار تغییرات متوسط دمای سطح زمین در سال ۲۰۱۱-۲۰۱۲.....۶۴
- شکل (۸-۵) نمودار تغییرات متوسط دمای سطح زمین در سال ۲۰۱۲-۲۰۱۳.....۶۵
- شکل (۹-۵) نمودار بارش باران در سال ۲۰۰۹-۲۰۱۰.....۶۵
- شکل (۱۰-۵) نمودار بارش باران در سال ۲۰۱۰-۲۰۱۱.....۶۶
- شکل (۱۱-۵) نمودار بارش باران در سال ۲۰۱۱-۲۰۱۲.....۶۶
- شکل (۱۲-۵) نمودار بارش باران در سال ۲۰۱۲-۲۰۱۳.....۶۷
- شکل (۱۳-۵) نمودار نتیجه کالیبراسیون مدل SRM برای سال ۲۰۰۹-۲۰۱۰.....۶۹
- شکل (۱۴-۵) نمودار نتیجه کالیبراسیون مدل SRM برای سال ۲۰۱۰-۲۰۱۱.....۷۰
- شکل (۱۵-۵) نمودار نتیجه اعتبار سنجی مدل برای سال ۲۰۱۱-۲۰۱۲.....۷۱
- شکل (۱۶-۵) نمودار نتیجه اعتبار سنجی مدل برای سال ۲۰۱۲-۲۰۱۳.....۷۱
- شکل (۱۷-۵) برازش خطی درصد رواناب برف به متوسط محدوده ارتفاعی.....۷۶

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول (۱-۲) نتایج بدست آمده اجرای مدل SRM در برخی حوضه های کشور های مختلف.....	۱۴
جدول (۱-۳) اعداد صحیح کد گذاری شده و معنی آنها در تولیدات سطح پوشش برف.....	۴۴
جدول (۱-۴) مشخصات و موقعیت ایستگاه های محدوده طرح تحقیقاتی.....	۵۴
جدول (۲-۴) تقسیم بندی حوزه آبریز براساس ارتفاع.....	۵۸
جدول (۱-۵) مقادیر کالیبره شده ی پارامترهای ورودی مدل SRM.....	۶۹
جدول (۲-۵) نتایج ضریب تبیین و تفاضل حجم برای سال های ۲۰۰۹-۲۰۱۳.....	۷۲
جدول (۳-۵) ارتفاع و حجم رواناب ناشی از ذوب برف و باران به تفکیک مناطق ارتفاعی برای سال ۲۰۰۹-۲۰۱۰.....	۷۳
جدول (۴-۵) ارتفاع و حجم رواناب ناشی از ذوب برف و باران به تفکیک مناطق ارتفاعی برای سال ۲۰۱۰-۲۰۱۱.....	۷۴
جدول (۵-۵) ارتفاع و حجم رواناب ناشی از ذوب برف و باران به تفکیک مناطق ارتفاعی برای سال ۲۰۱۱-۲۰۱۲.....	۷۴
جدول (۶-۵) ارتفاع و حجم رواناب ناشی از ذوب برف و باران به تفکیک مناطق ارتفاعی برای سال ۲۰۱۲-۲۰۱۳.....	۷۵
جدول (۷-۵) درصد رواناب برف و باران از کل رواناب ایجاد شده سال های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳.....	۷۵

فصل اول:

مقدمه و کلیات

یکی از منابع بزرگ آب در بیشتر نقاط دنیا برف می باشد، آب موجود در برف در حوضه های کوهستانی و مرتفع عامل مهم و کنترل کننده رژیم جریان محسوب می شود. به همین دلیل در مناطق کوهستانی، هیدرولوژی برف اهمیت و ارزش زیادی دارد، و برآورد میزان آب و یا محتوای آبی موجود در برف و تخمین رواناب ناشی از ذوب برف یکی از مهم ترین فعالیت هایی است که هیدرولوژیست ها انجام می دهند. فعالیت هایی از قبیل تخمین، شبیه سازی و پیش بینی جریان ناشی از ذوب برف و باران که در زمینه های مختلف دارای اهمیت و کاربرد می باشد. برآورد سیل طراحی برای حوضه آبریز و پیش بینی رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از مدل های هیدرولوژیکی بدست می آید. از دیگر موارد کاربرد شبیه سازی و پیش بینی و جریان ناشی از ذوب برف می توان به تامین آب شرب، کشاورزی، صنعت و تفرجگاه ها، تنظیم رودخانه ها، تاسیسات آبی و مدیریت منابع آب اشاره کرد.

درصد بازتاب نور^۱ در برف به همراه گسترش سطحی زیاد آن، تاثیر زیادی بر بودجه تابشی زمین دارد و از نظر اقلیم شناسان و هواشناسانی که تغییرات اقلیمی و اتمسفری را مطالعه می کنند در یک دید جهانی، پایش برف یک ضرورت است. چرا که خصوصیات فیزیکی درون برف بر تغییرات روزانه و اقلیمی و حتی تغییرات بلندمدت اقلیمی تاثیر می گذارد. بعلاوه در اغلب کشورهای نیمکره شمالی، برف منبع اصلی آب برای فعالیت های اقتصادی، پوشش اجتماعی و رشد و توسعه آنها می باشد. ذوب برف، رطوبت خاک و ذخیره آب زیرزمینی و منابع آب دریاچه ها و رودخانه ها را تامین کرده و رواناب حاصل از آن در حوضه های کوهستانی و مرتفع عامل مهم و کنترل کننده رژیم جریان محسوب می شود. رواناب ناشی از ذوب برف درآبدهی حداکثر لحظه ای و آبدهی سالیانه حوضه های کوهستانی و برف گیر مشارکت دارد [۱].

¹¹ - Albedo

در اکثر حوضه های آبریز، آمار و اطلاعات هواشناسی مورد نیاز در شبیه سازی جریان، همانند آمار و اطلاعات برف سنجی معمولاً در دسترس نیست. بنابراین، شبیه سازی و یا پیش بینی رواناب و سیلاب حاصل از ذوب برف با مشکلات فراوانی مواجه بوده و بطور معمول با خطای زیادی روبرو می شود. مهم ترین ویژگی سطح پوشش برف، عمق و چگالی برف است. اگر عمق برف و چگالی آن معلوم باشند، عمق آب معادل برف قابل محاسبه است و با دانستن سطح پوشیده شده از برف می توان حجم کل رواناب ناشی از ذوب برف را تخمین زد. مطالعات متعددی اهمیت اندازه گیری دقیق خصوصیات برف و یخ را به دلیل اینکه با اقلیم زمین و تغییرات اقلیمی مرتبط می باشند نشان داده اند. برف به دلیل فاصله زمانی بین نزول تا زمان پیوستن به ذخایر آب سطحی یا زیرزمینی متفاوت با دیگر ریزش های جوی بوده و از آنجا که ریزش برف، در فصل سرد عمدتاً در ارتفاعات اتفاق می افتد و تا شروع فصل ذوب ذخیره می گردد، لذا ذوب تدریجی برف باعث تغذیه تدریجی منابع آب می شود [۱].

با توجه به این در مدیریت منابع آب، برف منبعی مطمئن در تامین آب بوده و آگاهی از توزیع و مقدار آب موجود در آن، مسئله مهمی در یک مطالعه هیدرولوژی می باشد. آب معادل برف (SWE^۱) به عنوان پارامتر اصلی نشان دهنده ذخیره برفی، در مدل های پیش بینی جریان های رودخانه از اهمیت ویژه ای برخوردار است. این پارامتر به صورت نقطه ای در ایستگاههای برف سنجی اندازه گیری می شود و این داده ها معمولاً دارای تراکم مناسب نبوده و کل حوضه را پوشش نمی دهند. بنابراین برای داده برداری از روش های جدیدی که ارائه شده اند استفاده شده است [۱].

پارامترهای ورودی مدل های شبیه سازی ذوب برف شامل یکسری داده های جوی و خصوصیات مربوط به برف نظیر ارتفاع برف، سطح پوشش برف و غیره می باشند. در یک حوضه آبریز برف گیر، جمع آوری داده های جوی امری تقریباً ساده بوده و می توان با استفاده از ایستگاه های هواشناسی مجاور آن و اعمال یکسری درون یابی های ساده مقادیر آنها را برای منطقه ی مورد نظر بدست آورد. مهم ترین و اصلی ترین پارامتر مورد نیاز این نوع مدل ها، مقادیر مربوط به خصوصیات

^۱ - Snow Water Equivalent

برف می‌باشد و برای جمع‌آوری آنها بایستی یکسری ایستگاه‌های برف‌سنجی با رعایت پراکندگی خاصی در سطح حوضه نصب شوند و داده‌های ثبت شده توسط آنها بایستی بطور متناوب و منظم قرائت و جمع‌آوری شوند.

از آنجا که ایستگاه‌های برف‌سنجی معمولاً از نظر قیمت بسیار پرهزینه می‌باشند و همچنین به علت حساس بودن آنها، هزینه‌ی نگهداری و بازرسی آنها بسیار زیاد می‌باشد. علاوه بر آن، در فصول سرد و برفی دسترسی به اینگونه ایستگاه‌ها بسیار مشکل و در مواردی نیز غیرممکن می‌باشد. لذا محققین از گذشته تا کنون سعی کرده‌اند تکنیک‌های جدیدی ابداع کنند تا جایگزین استفاده از ایستگاه‌های برف‌سنجی گردند که از جمله این روش‌ها، استفاده از داده‌های سنجش از دور می‌باشد که شامل استفاده از تصاویر هوایی، داده‌های تشعشع‌سنجی زمینی، تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای و همچنین استفاده از رادارهای فعال و غیرفعال مستقر بر روی ماهواره‌ها می‌باشد [۲].

امروزه تکنولوژی سنجش از راه دور و تصاویر ماهواره‌ای انقلابی را در عرصه مطالعه سطح پوشش برف بوجود آورده است. بطوریکه اندازه‌گیری‌های سطح گستره برفی در طول زمان به صورت چشم‌گیری دقیق‌تر شده و هر چه بر طول ثبت داده‌های ماهواره‌ای افزوده می‌گردد، تعیین روندهای آماری که به لحاظ اقلیمی اهمیت دارند، آسان‌تر می‌گردد [۱].

۱-۲- ضرورت انجام تحقیق

بخش قابل توجهی از بارش‌ها در حوضه سد لار به صورت برف می‌باشد و در نتیجه آب حاصل از ذوب برف نقش مهمی را در ایجاد رواناب سطحی ایفا می‌کند. پوشش برف معرف میزان آب ذخیره شده می‌باشد و لذا پایش مکانی و زمانی رواناب ناشی از ذوب برف از اهمیت بسیار بالایی در پایش بینی‌های هیدرولوژیکی در این منطقه برخوردار است. مدل‌سازی هیدرولوژیکی بارش-رواناب

در این حوضه با استفاده از مدل¹ SRM و بروز رسانی آنها با استفاده از داده های ماهواره ای سطح پوشش برف و دمای آن، می تواند علاوه بر تخمین رواناب حاصل از ذوب برف، در تعیین سهم رواناب در رود خانه بالادست سد نیز بسیار مفید باشد.

مهمترین ویژگی برف که در مدل های هیدرولوژیکی ذوب برف از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می باشند، سطح پوشش برف و دمای برف هستند. اگر سطح پوشش برف و دمای آن معلوم باشد، با بروز رسانی مدل های هیدرولوژیکی با استفاده از اطلاعات سطح پوشش برف و دمای سطح برف، می توان به تخمین قابل قبولی از رواناب ناشی از ذوب برف به صورت روزانه دست یافت. داده های ماهواره ای اپتیکال می توانند سطح پوشش برف را با دقت مکانی بسیار خوب در شرایط عاری از ابر، نشان دهند. با استفاده از تصاویر بدست آمده از داده های ماهواره ای امکان پایش روزانه سطح پوشش برف با دقت مکانی ۲۵۰ تا ۵۰۰ متر فراهم آمده است.

۱-۳- اهداف تحقیق

- ۱- کالیبراسیون مدل هیدرولوژیکی SRM برای حوضه آبریز سد لار
- ۲- بررسی ارتفاع و حجم رواناب ناشی از ذوب برف و باران در حوضه آبریز و تعیین عامل اصلی رواناب در کل رواناب حوضه در مناطق ارتفاعی مختلف.
- ۳- بررسی دقت شبیه سازی انجام شده با استفاده از سنجنده MODIS

¹- Snowmelt Runoff Modelling

۱-۴- مروری بر فصل های آینده

مراحل انجام این تحقیق و نتایج بدست آمده در شش فصل تنظیم شده اند.

در فصل بعدی، ابتدا در مورد سنجش از دور و تاریخچه کاربرد آن در هیدرولوژی برف توضیح داده شده است و بعد هم نگاهی به تاریخچه مدل شبیه سازی ذوب برف SRM و بعد از آن در مورد سنجنده MODIS توضیح داده شده است. در بخش آخر هم به مروری بر تحقیقات انجام شده در گذشته هم در ایران و هم در سایر کشور ها در شبیه سازی رواناب ذوب برف و استفاده از مدل SRM و نتایج بدست آمده از این تحقیقات توضیح داده شده است.

در فصل سوم، برخی مدل های هیدرولوژیکی و نحوه برآورد رواناب ناشی از ذوب برف توضیح داده شده اند. بعد از آن مدل SRM معرفی و روابط حاکم و ساختار اجرایی بر آن توضیح داده شده است و بعد از آن داده های مورد نیاز برای اجرای مدل و نحوه آماده سازی آن بیان می گردد.

در فصل چهارم منطقه مورد مطالعه و بعد از آن معرفی ایستگاه های هیدرومتری موجود در منطقه معرفی می گردند.

فصل پنجم، فصل شبیه سازی رواناب ذوب برف می باشد و در آن نحوه انجام شبیه سازی، واسنجی و اعتبار سنجی و پارامتر های موثر و مقادیر بدست آمده برای آنها و همچنین نمودار های مقادیر شبیه سازی و مشاهداتی ارائه خواهد شد. در این فصل معیار های ارزیابی دقت و مقادیر آنها برای بررسی عملکرد مدل در شبیه سازی رواناب آورده شده اند.

فصل ششم، ابتدا خلاصه ای از کل کارهای انجام شده در کل تحقیق گفته می شوند و در ادامه نتایج بدست آمده از این تحقیق بیان خواهد شد. همچنین پیشنهادهایی برای بهبود و توسعه در ادامه ارائه می شود.

فصل دوم :

مرور تحقیقات گذشته

۲-۱- مقدمه

در این فصل علم سنجش از دور و تاریخچه و کاربرد آن در برف سنجی و تاریخچه مدل SRM بیان خواهد شد. و همچنین سنجنده MODIS معرفی می گردد. خلاصه ای از مطالعات انجام شده اخیر در زمینه مدل سازی رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از مدل SRM در ایران و سایر نقاط جهان ارائه می شود.

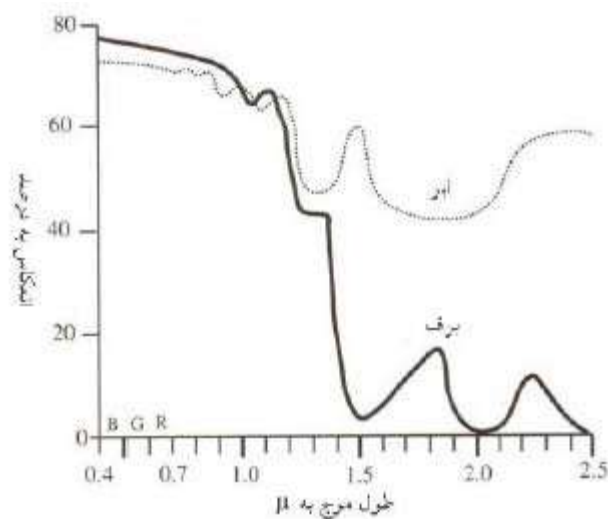
۲-۲- سنجش از دور

سنجش از دور و استفاده از اطلاعات ماهواره ای در چند دهه اخیر رشد چشمگیری یافته است که در رشته های مربوط به علوم زمین کاربرد وسیعی دارد. به خصوص در مواردی که اطلاعات زمینی وجود نداشته و یا به روز نبوده و تغییرات سریع را نشان نمی دهد، می توان از این اطلاعات بهرمنند شد. به دلیل پایش مداوم سطوح برف گیر، استفاده از ماهواره هایی که دوره بازگشت تصاویر آن ها کوتاه است، مانند^۱ AVHRR با داشتن چند سری داده از یک منطقه در روز و MODIS با یک سری داده از یک منطقه پس از گذشت دو روز، معمول است. سنجنده MODIS در مقایسه با سنجنده AVHRR قدرت تفکیک زمینی بهتری داشته و بانده های طیفی بیشتری دارد. در ضمن تفکیک ابر در تصاویر این سنجنده بهتر انجام می گیرد، به همین علت در یک تصویر دارای ابر و برف، تفکیک با این ماهواره مشکل کمتری پیش می آید. اما در صورت ابری بودن منطقه، پایش مداوم سطح پوشیده از برف بوسیله ماهواره های غیرراداری امکان پذیر نمی باشد [۳].

برف در طیف مادون قرمز نزدیک و میانی (۰/۴ تا ۲/۵ میکرومتر) دارای دو نوع انعکاس متفاوت می باشد که محققان را قادر به شناسایی این پدیده از پوشش های اطراف می نماید. در بخش

¹- Advanced Very High Resolution Radiometer

مرئی و مادون قرمز نزدیک طیف الکترومغناطیس، ابر و برف هر دو دارای انعکاس مشابهی هستند ولی در بخش مادون قرمز میانی به ویژه در محدوده ۱/۷۵-۱/۵۵ میکرومتر ابرها انعکاس بالایی را نشان می دهند در حالی که انعکاس برف در این محدوده به شدت کاهش می یابد. در این باند ابرها انعکاس بالایی دارند و در تصاویر سفید دیده می شوند در حالی که برف انعکاس کمتری دارد و تیره دیده می شود. با گذشت عمر برف، انعکاس آن در محدوده مادون قرمز کاهش می یابد در حالی که در محدوده مرئی تفاوتی احساس نمی شود [۳].



شکل (۱-۲) نمودار بازتابش ابر و برف در طول موج های مختلف تصاویر MODIS

۲-۳- تاریخچه کاربرد سنجش از دور در هیدرولوژی برف

استفاده از تکنیکهای سنجش از دور در هیدرولوژی برف از سال ۱۹۶۰ میلادی آغاز شد. اولین کاربرد آنها تشخیص سطح پوشش برف به کمک تصاویر ماهواره‌ای بوده است و تا به امروز نیز هیچ‌گونه سیستم تمام خودکاری برای استفاده از تصاویر سنجش از دور در تعیین پارامترهای مورد

نیاز در هیدرولوژی برف بصورت عملیاتی ارائه نگردیده است [۴]. اولین و قدیمی‌ترین سیستم‌های تصاویر ماهواره‌ای که برای تعیین سطح پوشش برف بکار برده می‌شوند و اکنون نیز از آنها هنوز استفاده می‌شود سیستم با قدرت تفکیک بالا AVHRR و سیستم LANDSAT می‌باشند. در سیستم LANDSAT اندازه هر جزء از تصویر حدود ۳۰ متر می‌باشد و دوره‌ی تناوب عکسبرداری ۱۶ روزه است که وجود پوشش ابر و شرایط جوی نامناسب باعث افزایش طول این دوره می‌شود. به علت قدرت تفکیک بسیار بالای سیستم تصاویر LANDSAT و قابلیت زیاد همپوشانی این تصاویر، حجم هر سری از این تصاویر بسیار زیاد می‌شود، بطوریکه حجم یک سری پیوسته این تصاویر در حدود ۲۰۰ مگابایت می‌باشد. لذا برای تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای مربوط به حوضه‌های آبریز رودخانه‌های بزرگ با یک منطقه‌ی وسیع در طول یک دوره‌ی زمانی با حجم عظیمی از اطلاعات و ارقام روبرو هستیم که مستلزم بکارگیری کامپیوترهایی با قابلیت‌های بالا و حجم حافظه زیاد می‌باشد. اما در عین حال این سیستم تصاویر برای تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای حوضه‌های آبریز کوچک به کمک کامپیوترهای سطح پایین‌تر نیز بسیار مفید تر بوده و اطلاعات بدست آمده بسیار دقیق و کامل خواهند بود.

از دهه ۱۹۶۵ تکنیک‌های کاربرد سنجش از دور در هیدرولوژی برف پیشرفت چشمگیری داشتند. بطوری که در سال ۱۹۷۶ رانگو^۱ و ایتن^۲ توانستند با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای LANDSAT و با استفاده از روش‌های کامپیوتری، سطح پوشش برف را استخراج کنند [۳]. در این زمان هنوز هیچ‌گونه شاخص خاصی برای طبقه‌بندی نوع سطوح پوشیده شده از برف ابداع نگردیده بود. در سال ۱۹۸۱ مارتینک^۳ و رانگو موفق شدند با استفاده از تصاویر LANDSAT MSS حوضه‌های آبریز کوه‌های آلپ را بر اساس پارامتر آب معادل برف پهنه‌بندی کنند. در سال ۱۹۸۴

1- Rango

2- Itten

3- Martinec

کرین^۱ و اندرسون^۲ توانستند با کمک تصاویر ماهواره هواشناسی وزارت دفاع ایالات متحده آمریکا پوشش ابر را از پوشش برف جداسازی نموده و همچنین ابرهای حاوی آب را از ابرهای حاوی کریستال های یخ به خوبی تفکیک نمایند [۳]. در سال ۱۹۸۷، بوم گارتنر^۳ و سیدل^۴ و مارتینک^۵ توانستند روشی را ابداع کنند که در آن با ترکیب تصاویر LANDSAT (با قدرت تفکیک مکانی بالا) و تصاویر AVHRR (با قدرت تفکیک زمانی بالا) سطح پوشش برف با دقت و صحت بیشتری قابل تفکیک بود. در سال ۱۹۸۷ دویزر^۶ و مارکس^۷ توانستند یک روش خودکار ابداع نمایند که در آن بدون آنکه تصاویر ماهواره ای نیازی به رقومی کردن داشته باشند و یا به عبارت دیگر بدون آنکه یکسری فرآیندهای پیش پردازش روی آنها انجام شود، تصاویر بصورت داده های اولیه مدل های هیدرولوژیکی قابل استفاده باشند.

در سال ۱۹۸۹ دویزر توانست با استفاده از طیف های بازتابیده از سطح زمین در باندهای مختلف، سطوح برف و خشکی را در گروه های مختلف طبقه بندی کند، به اینگونه که با استفاده از مقادیر حدی و آستانه طیف های بازتابی در باندهای یک، دو و پنج، سطوح برف را به دو طبقه آفتاب گیر و سایه تقسیم بندی نموده و سطوح ابر را از تصاویر جداسازی نماید و در نهایت در سال ۱۹۸۹ باگیلو^۸ و هولرگد^۹ توانستند اولین مدل رقومی ارتفاع را ارایه کنند که قادر بود با استفاده از تصاویر AVHRR، هر نوع حوضه ی آبریز مورد نظر را بر اساس سطح پوشیده شده از برف، پهنه بندی نماید [۳].

اولین کاربرد عملیاتی از تصاویر ماهواره ای به منظور استخراج سطح پوشش برف در سال ۱۹۹۲ در مرکز ملی سنجش از دور ایالات متحده آمریکا آغاز گردید. در این مرکز با

¹- Crane

²- Anderson

³- Baumgartener

⁴- Seidel

⁵- Martinec

⁶- Doizer

⁷- Marks

⁸- Bagilo

⁹- Holrogd

استفاده از تصاویر ماهواره های قطب گرد مسیر حرکت آن حول یک نصف النهار می باشد مدیریت جوی و اقیانوسی (NOAA^۱) و همچنین ماهواره های زمین ثابت مرکز تحقیقات کاربردی محیط زیست ایالات متحده آمریکا (GOES^۲) نقشه سطح پوشش برف در ۵ رده ارتفاعی برای بیش از ۵۰۰ حوضه اصلی رودخانه های غرب ایالات متحده آمریکا و آلاسکا بطور روزانه تهیه و ارائه می گردید. همچنین اخیرا در این مرکز با استفاده از تصاویر ماهواره ای، نقشه های پوشش برف برای تمام سطح ایالات متحده آمریکا و کانادا به همراه تمامی مرزهای حوضه ها و زیر حوضه ها تهیه شده است [۳].

یکی دیگر از سنجنده هایی که در هیدرولوژی برف کاربرد وسیعی دارند، سنجنده های فعال و غیر فعال میکروویو می باشند که در هرگونه شرایط جوی می توان از آنها به راحتی استفاده نمود. به همین منظور در سال ۱۹۸۷ ماهواره NIMBUS-7 که مجهز به سنجنده های تابش سنج میکروویو چند کاناله (SMMR^۳) با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ کیلومتر مربع بود، به فضا پرتاب گردید. این سنجنده ها قادر بودند امواج میکروویو ارسال شده از زمین را در دامنه فرکانسی ۶/۶ تا ۳۷ گیگا هرتز و در ۵ کانال بصورت دو قطبی دریافت و ثبت نماید. در سال ۱۹۹۳ گودیسون^۴ و واکر^۵ توانستند روشی را ابداع کنند که در آن با استفاده از داده های SMMR برای شرایطی که برف سطح زمین حالت خشک داشت، پارامترهای سطح پوشش برف و همچنین آب معادل برف را استخراج کنند و از این روش برای چمنزارهای کانادا که در آنها ایستگاههای برف سنجی بسیار پراکنده و کم بودند، استفاده کردند. همچنین در اثر تکرار مجدد، آنها به این نکته دست یافتند که از این روش برای مناطقی که برف حالت مرطوب دارد نیز می توان استفاده نمود. در سالهای بعد نیز همکاران آنها توانستند با استفاده از این روش، چمنزارهای هموار و تقریبا یکنواخت کانادا را بر اساس سطح پوشیده

¹-National Ocean and Atmospheric Administration

²-Geostationary Operational Environmental Satellite

³-Scanning Multi-channel Microwave Radiometer

⁴- Goodison

⁵- Walker

از برف پهنه‌بندی نمایند که نقشه‌های حاصل در مقایسه با نقشه‌های ارائه شده توسط مرکز ملی سنجش از دور ایالات متحده آمریکا، از سطح کیفی و دقت بسیار بالایی برخوردار بود.

در سال ۱۹۸۷ یک سنجنده جدید به نام سنجنده تصویرگر خاص امواج میکروویو (SSM/T^1) ارائه گردید که قادر بود امواج میکروویو فعال را در ۴ باند فرکانسی برای دامنه مابین ۱۹/۳ تا ۸۵/۵ گیگا هرتز دریافت و ذخیره نماید. با استفاده از این داده‌ها سطوح پوشیده از برف به راحتی قابل استخراج بودند و همچنین در تکنیک‌های پهنه‌بندی مناطق پوشیده از برف بر اساس آب معادل برف نیز پیشرفت بیشتری حاصل شد که هدف نهایی در این مسیر ارائه یک روش کاملاً عملیاتی و به هنگام برای پهنه‌بندی مناطق پوشیده از برف بر اساس درصد پوشش و آب معادل برف می‌باشد و عمده‌ترین نقص این روش‌ها عدم کارایی آنها برای مناطق غیرهموار و غیر یکنواخت می‌باشد [۳].

۲-۴- تاریخچه مدل شبیه‌سازی ذوب برف SRM

مدل شبیه‌سازی ذوب برف SRM اولین بار توسط مارتینک در سال ۱۹۷۵ به منظور شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب‌های روزانه حاصل از ذوب برف حوضه‌های کوچک کوهستانی واقع در رشته‌کوه‌های آلپ ارائه گردید. از آنجا که معمولاً در این حوضه‌های کوهستانی عمده قسمت بارش از نوع برف می‌باشد و در نتیجه قسمت عمده رواناب خروجی، ناشی از ذوب برف می‌باشند و همچنین در این نقاط استفاده از ایستگاه‌های برف‌سنجی بسیار مشکل و گران می‌باشند، استفاده از این مدل کاربرد وسیعی یافت به طوری‌که در نسخه چهارم آن که در سال ۱۹۹۴ ارائه گردید با استفاده از داده‌های سنجش از دور و تصاویر ماهواره‌ای این مدل برای حوضه‌های کوهستانی وسیع نیز قابل استفاده گردیده است. به گونه‌ای که این مدل برای حوضه‌هایی با وسعت ۱۲۰/۰۰۰ کیلومتر مربع نیز هم‌اکنون بکار گرفته می‌شود. به علت راحتی کاربرد و سادگی ساختار کلی آن، مدل SRM توسط سازمان‌ها و مراکز تحقیقاتی زیادی مورد استفاده قرار می‌گیرد بطوریکه طبق آخرین آمار منتشر شده

¹-Special Sensor Microwave Imager

توسط گروه طراح مدل، این مدل، تا کنون برای بیش از ۸۰ حوضه آبریز واقع در ۲۵ کشور مختلف در سراسر جهان مورد مطالعه و آزمایش قرار گرفته است که در ۲۵ درصد آنها این مدل بصورت کاربردی و عملیاتی در حال اجرا و بهره‌برداری می‌باشد. این مدل در سال ۱۹۸۶ به منظور شبیه‌سازی ذوب برف و رواناب حاصل از آن، توسط سازمان جهانی هواشناسی با موفقیت مورد آزمایش قرار گرفت و در نهایت نیز مورد تایید آن سازمان واقع گردید [۴].

با توجه به اینکه مدل SRM مدل پیوسته است، واسنجی و ارزیابی مدل با استفاده از داده های بارش رواناب روزانه انجام می شود. در این مدل ریزش برف و باران با استفاده از دمای آستانه تفکیک می شود و پوشش برفی حوضه با استفاده از برداشت زمینی و یا استفاده از روش های سنجش از دور و تصاویر ماهواره ای تعیین می گردد [۵]. در جدول (۱-۲) نتایج بدست آمده از اجرای مدل SRM در برخی از حوضه ها در کشورهای مختلف و در شکل (۲-۲) موقعیت تعدادی از حوضه‌هایی که مدل SRM در آنها اجرا شده است، نمایش داده شده اند.

جدول (۱-۲) نتایج بدست آمده از اجرای مدل SRM در برخی از حوضه های کشورهای مختلف [۴]

ردیف	کشور	حوضه	مساحت	محدوده ارتفاعی	R^2	D_v
حوضه (Km^2)						
۱	اسپانیا	سد یولست	۷/۸	۲۱۰۰-۳۰۰۰	۰/۶۹	۵/۵
۲	سوئیس	سدروم	۱۰۸	۱۸۴۰-۳۲۱۰	۰/۷۹	۱/۹
۳	اتریش	اشلایگایز	۱۲۱	۱۷۹۰-۳۵۱۰	۰/۸۶	۸/۷
۴	سوئیس	تینفلکستل	۵۲۹	۱۷۹۰-۴۱۸۵	۰/۵۵	۱۱/۳
۵	شیلی	مپوچو	۶۳۰	۱۰۲۴-۴۴۵۰	۰/۴۲	۲۹/۹
۶	چین	تین شان	۹۵۰	۱۸۸۰-۴۲۰۰	۰/۶۲	۲/۷۸



A	Illecillewaet 51° N, 118.1° W	L	Lago Mar, Pyrenees 42.5° N, 2° E	W	Sai River 36.5° N, 138° E
B	Boise 43.4° N, 116.1° W	M	Feshie, Scotland 57.1° N, 3.7° W	X	Hawea 44.5° S, 169° E
C	Henry's Fork 44.5° N, 111.4° W	N	Durance 44.3° N, 6.2° E	Y	Tillouquit 32° N, 5.8° W
D	Dinwoody 43° N, 109° W	O	Felsburg 46.7° N, 9.5° E	Z	Grande 53.8° S, 68.3° W
E	Kings River 37° N, 119.5° W	P	Lainbachtal 47.3° N, 11.05° E	a	Yellow 34.5° N, 99.5° W
F	Sevier 38° N, 112.5° W	Q	Wintertal 51.7° N, 10.51° E	b	Gongnisi 43° N, 88° E
G	Spanish Fork 40.1° N, 111.4° W	R	Vivelli 60.2° N, 7.1° E	c	Upper Yakima 47.3° N, 121° W
H	Rio Grande 37.4° N, 107.2° W	S	M. Dul 50.7° N, 15.3° E	d	Iskut 67° N, 131.3° W
I	Tupungato, 33° S, 70° W	T	Dunajec 49.2° N, 19.5° E	e	Geehi River 36.2° S, 148.3° E
J	Lago Alumin 38.6° S, 71.1° W	U	Kabul River 34.1° N, 71.2° E	f	Pyandzh 37° N, 62° E
K	W-3 37° N, 82° W	V	Beas 32.1° N, 77.1° E		

شکل (۲-۲) نام و مختصات جغرافیایی تعدادی از حوضه‌های آبریزی که تاکنون مدل SRM در آنها اجرا شده و مورد تایید قرار گرفته است [۴].

۲-۵-سنجنده MODIS

از میان ماهواره های هواشناسی خورشید آهنگ مدار قطبی، با هدف ایجاد نقشه های برفی، در مقایسه با سایر سنجنده ها، MODIS هم قدرت تفکیک مکانی قابل قبول و هم قدرت بازنگری زمانی سریع به همراه تنوع زیادی از باندهای طیفی خاص را عرضه نموده است. این سنجنده روی اولین ماهواره NASA EOS به نام ترا^۱ نصب و در دسامبر ۱۹۹۹ به فضا پرتاب گردید. همچنین این سنجنده روی ماهواره آکوا^۲، که در ۳ می ۲۰۰۲ در مدار مربوطه قرار گرفت، نیز کار گذاشته شده است. سنجنده MODIS دارای ۳۶ باند است که ۱۱ باند آن در محدوده نور مرئی، ۹ باند در محدوده ی مادون قرمز نزدیک، ۶ باند در مادون قرمز حرارتی، ۴ باند در محدوده مادون قرمز موج کوتاه و ۶ باند در محدوده باند مادون قرمز امواج بلند، تنظیم شده است. همچنین در فن آوری سنجنده MODIS باند های مادون قرمز و مادون قرمز نزدیک نیز در محدوده طیف الکترومغناطیس قرار گرفته است. قدرت تفکیک باندهای سنجنده متفاوت بوده و بین ۲۵۰ تا ۱۰۰۰ متر در نوسان است [۱].

۲-۶-مرور تحقیقات انجام شده در ایران

نجف زاده و همکاران در سال ۱۳۸۳ شبیه سازی جریان رودخانه را با مدل SRM انجام دادند. آنها برای تعیین تغییرات سطح پوشش برف از عکس ماهواره NOAA استفاده کردند. آنها نشان دادند که نتایج شبیه سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل SRM و مشاهدات ماهواره از دقت مطلوبی برخوردار است [۶].

نجفی ایگدیر و همکاران در سال ۱۳۸۶ رواناب حاصل از ذوب برف را با استفاده از سنجش دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه شهرچائی ارومیه، شبیه سازی کردند. در این تحقیق سطح

1- Terra

2- Aqua

پوشیده برف منطقه به عنوان مهم ترین متغیر هیدرولوژیکی لازم با استفاده از تصاویر سنجنده AVHRR ماهواره NOAA استخراج گردید. سپس از مدل SRM برای محاسبه رواناب استفاده گردید. در این بررسی داده ها و پارامترهای مذکور به صورت روزانه و برای سال ۱۹۹۶-۱۹۹۷ وارد مدل شدند. برای ارزیابی دقت مدل مقادیر مشاهداتی و محاسباتی مقایسه شدند که شبیه سازی موفق و قابل قبولی را نشان داد. که در آن ضریب تبیین برابر ۰/۸۱ و تفاضل حجمی برابر ۲/۷۵ بدست آمد [۷].

فتاحی و همکاران در سال ۱۳۹۰ رواناب حاصل از ذوب برف را در حوضه آبخیز بازفت که یکی از زیر حوضه های آبریز کارون می باشد، مورد بررسی قرار دادند. به منظور تخمین رواناب حاصل از ذوب برف و بررسی دقت مدل های شبیه سازی در حوضه آبخیز برف گیر بازفت، مدل SRM استفاده شد. اطلاعات ایستگاه هواشناسی، هیدرومتری و پوشش برف آبخیز با استفاده از تصاویر ۸ روزه سنجنده MODIS تهیه و سپس با بکارگیری مدل، میزان دبی بدست آمد. همچنین میزان رواناب خالص ناشی از ذوب برف برآورد گردید. مقایسه رواناب مشاهده ای از اندازه گیری مستقیم و آبنمود موجود با رواناب برآورد شده از مدل SRM، از طریق آزمون R^2 و D_v به ترتیب ۰/۸۲ و ۱۸/۹- درصد را نشان داد که بین ارقام دو روش اختلاف معنی داری وجود ندارد. همچنین نتیجه گیری شد که عواملی چون شرایط فیزیکی حوضه، وجود اطلاعات هواشناسی و هیدرولوژی و دقت اطلاعات اولیه مدل، بسیار حائز اهمیت می باشند [۸].

۲-۷- مرور تحقیقات انجام شده در جهان

کلاین^۱ و همکاران در سال ۲۰۰۱ نقشه های برف حاصل از MODIS را با نقشه های تهیه شده توسط مرکز سنجش از دور هیدرولوژیکی ملی آمریکا (NHRSC^۲)، در بالادست آبیگر ریوگراند

^۱- Kline

^۲- National Hydrologic Remote Sensing Center

مورد مقایسه قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که هر دو این نقشه ها از شرایط ابری متاثر شده و خطای اصلی در هر دوی آنها وجود ابر می باشد [۹].

رانگو^۱ و لاندسا^۲ در سال ۲۰۰۲ با استفاده از مدل SRM رواناب روزانه چندین حوضه را شبیه سازی و پیش بینی کردند. آنها از داده های NOAA-AVHRR برای تعیین پوشش برف استفاده نمودند. حتی در حوضه هایی با داده های دبی و هواشناسی گمشده SRM توانست رواناب ذوب برف را با دقت خوبی تخمین بزند [۱۰].

در سال ۲۰۰۵ تحقیقی توسط ویی چی^۳ انجام گرفت که در آن استفاده از مدل SRM در مکان هایی که تنها یک ایستگاه اندازه گیری دما دارند، مورد ارزیابی قرار گرفت و این نتیجه حاصل شد که استفاده از نصف دمای بیشینه، نتایج بسیار بهتری نسبت به موارد استفاده از دمای میانگین و دمای بیشینه ارائه داده است [۱۱].

جیان^۴ و شو^۵ در سال ۲۰۰۶ اثر تغییر اقلیم را بر پوشش برف در نواحی کوهستانی نیمه مرتفع با استفاده از مدل SRM بررسی کردند. شبیه سازی برای افزایش دمای 4°C انجام شد و نتایج نشان دادند که فصل ذوب برف به جلو کشانده شد، جریان آب در اوایل فصل ذوب افزایش و در اواخر فصل ذوب کاهش می یابد [۱۲].

ویی چی و همکاران در سال ۲۰۰۷ اثر تغییر حوضه آبریز بزرگ، ایستگاه های اندازه گیر پراکنده، رواناب ناشی از ذوب برف و باران و بارش ناهمگن مکانی را بر پارامترها و متغیرهای مدل SRM بررسی کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که [۱۳]:

1- Imerzeel

2- Landesa

3- Yi-chi

4- Jian

5- Shou

-دما گرایش کلی^۱ رواناب شبیه سازی شده را کنترل می کند و بر دقت شبیه سازی تاثیر بسیاری دارد. دمای میانگین روزانه در شبیه سازی خطا ایجاد کرده است در حالی که دمایی برابر $0.5T_{max}$ نتایج قابل قبولی ارائه داده است.

-برای ناسازگاری بین ایستگاه اندازه گیر محدود و بارش باران ناهمگن مکانی، محاسبه بارش باران برای هر ناحیه ارتفاعی غیر واقعی است. برای بهبود این وضعیت، بارش باران محاسبه شده در ضریبی مناسب ضرب شده و با ضریب رواناب تعدیل می شود.

-همراه با دما، بارش باران افزایش می یابد اما نمی تواند بطور کامل بوسیله ایستگاه های اندازه گیر محدود فرابینی^۲ شود و همین مساله دقت نتایج را بدتر می کند.

در سال ۲۰۰۸، ناگلر^۳ و همکاران بررسی هایی را برای مقایسه و همانند سازی داده های هواشناسی و مقادیر مشاهده شده از راه دور، توسط سیستم ها و ابزار های مختلف به منظور شبیه سازی رواناب کوتاه مدت انجام دادند. آنها از مدل نیمه توزیعی SRM برای انجام شبیه سازی در دوره ذوب برف سال های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ استفاده کردند. و از ضریب راندمان NS و اختلاف حجم رواناب برای مقایسه نتایج برای شرایط مختلف بهره برده اند [۱۴].

لی^۴ و ویلیامز^۵ در سال ۲۰۰۸ رواناب ناشی از ذوب برف را در حوضه های آبریز کوهستانی خشک با استفاده از مدل SRM مدل سازی کردند. مدل SRM که از روش شاخص دما استفاده می کند، در این مناطق نتایج قابل قبولی ارائه داد. با این وجود این مدل بیشینه رواناب را نتوانست بخوبی شبیه سازی نماید و مقدار جریان را در زمان پیک جریان کم تخمین زده است [۱۵].

¹- Overall Tendency

²- monitored

³- Nagler

⁴- Li

⁵- Williams

در سال ۲۰۰۹، یانگ^۱ و همکارانش پاسخ جریان رودخانه یوکان^۲ را نسبت به تغییرات پوشش برف فصلی با استفاده از مشاهدات ماهواره ای پوشش برف از پایگاه داده پوشش برف هفته ای NOAA توسط مدل SRM مورد بررسی قرار دادند. آنها در این تحقیق علاوه بر تایید مشاهدات راه دور در برآورد میزان پوشش برف، رابطه قوی بین پوشش برف و جریان رودخانه تشخیص دادند. نتایج نشان داد که تغییرات پوشش برف تابعی از دما بوده بطوری که با کاهش دما به زیر صفر درجه سانتی گراد بر میزان پوشش برف افزوده می شود. نمودارهای پوشش برف SCE و آب معادل SWE نشان می دهند، در پوشش برف ماکزیمم، مقدار آب معادل، مینیمم شده و با کاهش پوشش برف بر میزان آب معادل و تولید جریان افزوده می شود [۱۶].

ایمرزیل^۳ و همکاران مطالعاتی را در زمینه رواناب ناشی از ذوب برف در سال ۲۰۰۹ انجام داده و به نتایج جالبی دست یافتند. آنها با استفاده از مشاهدات ماهواره ای برای پوشش برف و باران به ترتیب توسط بانک داده های MODIS و TRMM و بکارگیری مدل SRM به تطابق خوبی بین مقادیر شبیه سازی و مشاهداتی دست یافتند.

نتیجه مهم این تحقیق این است که، مقادیر بارندگی کمتر از مقدار رواناب برای کل سال هاست. دو احتمال برای این وضعیت در نظر گرفته شده است:

-حالت اول، مقادیر بارش کم تخمین زده شده باشند، اما از مقایسه با آمار سال های گذشته بعید به نظر می رسد.

-حالت دوم، در اثر گرم شدن منطقه ای در دوره شبیه سازی، رواناب یخچال های منطقه افزایش یافته است. این گرم شدن می تواند مرتبط با تغییرات اقلیم در دمای هوا در اثر دخالت بشر باشد. با مطالعات انجام شده، بر میزان این احتمال افزوده شد [۱۷].

1- Yang

2- Yukan

3- Imerzeel

۲-۸- جمع بندی

با توجه به تحقیقات انجام شده با مدل SRM در حوضه های مختلف در جهان و نتایج بدست آمده از آن می توان به این جمع بندی رسید که، مدل برای انجام شبیه سازی رواناب ناشی از ذوب برف، هم برای حوضه های کوهستانی کوچک و هم برای حوضه های بزرگ و با توجه به ویژگی های خاص هر منطقه از جهان قابلیت استفاده را دارد. با توجه به اینکه مدل SRM، مدل مفهومی، قطعی و نیمه توزیعی است که از روش ساده درجه - روز برای تعیین رواناب ناشی از ذوب برف استفاده می کند. این مدل بیشتر برای شبیه سازی ذوب برف استفاده شده است و می تواند رواناب ذوب برف را در دوره های زمانی کوتاه مدت شبیه سازی نماید. همچنین با توجه به مطالعات انجام شده برای تعیین سطح پوشش برف، تصاویر بدست آمده از سنجنده MODIS نتایج قابل قبولی ارائه می دهد. برای کالیبره کردن مدل، از روش دستی و بصورت سعی و خطا انجام می شود تا به نتیجه مطلوب رسید.

فصل سوم :

مواد و روش ها

۳-۱- مقدمه

مدل های بسیاری برای پیش بینی پیوسته جریان در دسترس است، و بسیاری از آنها، قابلیت شبیه سازی رواناب ذوب برف را دارند. روش های مدل سازی رواناب ناشی از ذوب برف در این مدل ها، عموماً جریان و ذخایر در سطح، خاک و آب زیر زمینی را بطور صریح یا مفهومی شبیه سازی می کند.

۳-۲- مدل SRM

۳-۲-۱- تئوری مدل

ذوب برف در رواناب سطحی و میزان نفوذ به صورت ضمنی منظور می شود و از جمله پارامترهایی است که اندازه گیری مستقیم آن در یک سطح وسیع امکان پذیر نیست. زیرا نقاط مرتفع که بیشتر در معرض بارش برف هستند، از امکانات دسترسی کمتری برخوردارند. از این رو باید با فرمول بندی عوامل موثر بر ذوب و انرژی محیط که صرف ذوب می شود، میزان ذوب را محاسبه نمود. به این منظور فرمول ها و مدل های متعددی برای محاسبه ذوب نقطه ای و ذوب حوضه ای ارائه گردیده است. که هر کدام تحت شرایط خاص منطقه ای فرمول بندی و واسنجی می گردد. از جمله این مدل ها، مدل شبیه سازی رواناب ناشی از برف، SRM است.

مدل SRM به منظور مدیریت منابع آب، آبیاری و ذخیره آب، توسط محققان سوئیسی ارائه گردیده است. اساس این مدل روش درجه-روز می باشد. مدل SRM توسط سازمان جهانی هواشناسی برای شبیه سازی مورد آزمایش قرار گرفته است که در مقایسه با سایر مدل ها با داشتن حداقل خطا دقیق ترین مدل برای شبیه سازی ذوب برف تشخیص داده شده است (ماتینگ و رنگو، ۱۹۹۸). در این مدل، رواناب ناشی از بارندگی و ذوب برف در هر روز محاسبه شده و به جریان پایه

محاسبه شده اضافه می گردد و سپس به آبدهی روزانه با استفاده از معادله (۳-۱) تبدیل می گردد.

[۱۸].

$$Q_{n+1} = [c_m \cdot a_n (T_n + \Delta T_n) S_n + c_m P_n] \frac{A \cdot 10000}{86400} (1 - k_{n+1}) + Q_n k_{n+1} (1 - \lambda)$$

که در این معادله :

Q : میزان آبدهی متوسط روزانه (m^3/s)

c : ضریب رواناب که بیان کننده افت ها می باشد و تحت عنوان نسبت رواناب به بارندگی تعریف می

شود. c_s اشاره به ذوب برف و c_r اشاره به بارندگی دارد.

a : فاکتور درجه-روز می باشد و نشان دهنده عمق حاصل از ذوب برف است که در یک درجه-روز

ایجاد می شود ($cm \cdot ^\circ C^{-1} \cdot d^{-1}$).

T : تعداد درجه-روزها ($^\circ C \cdot d$)

S : نسبت سطح پوشیده از برف به مساحت کل

P : میزان بارندگی که در تولید رواناب مشارکت دارد (cm). بدین منظور از یک مقدار فرضی دمای

حد آستانه T_{CRIT} برای تعیین مشارکت بارندگی در تولید رواناب استفاده می شود.

A : مساحت حوضه (km^2)

k : ضریب بازگشت که نشان دهنده کاهش آبدهی در یک دوره بدون ذوب برف یا بارندگی است.

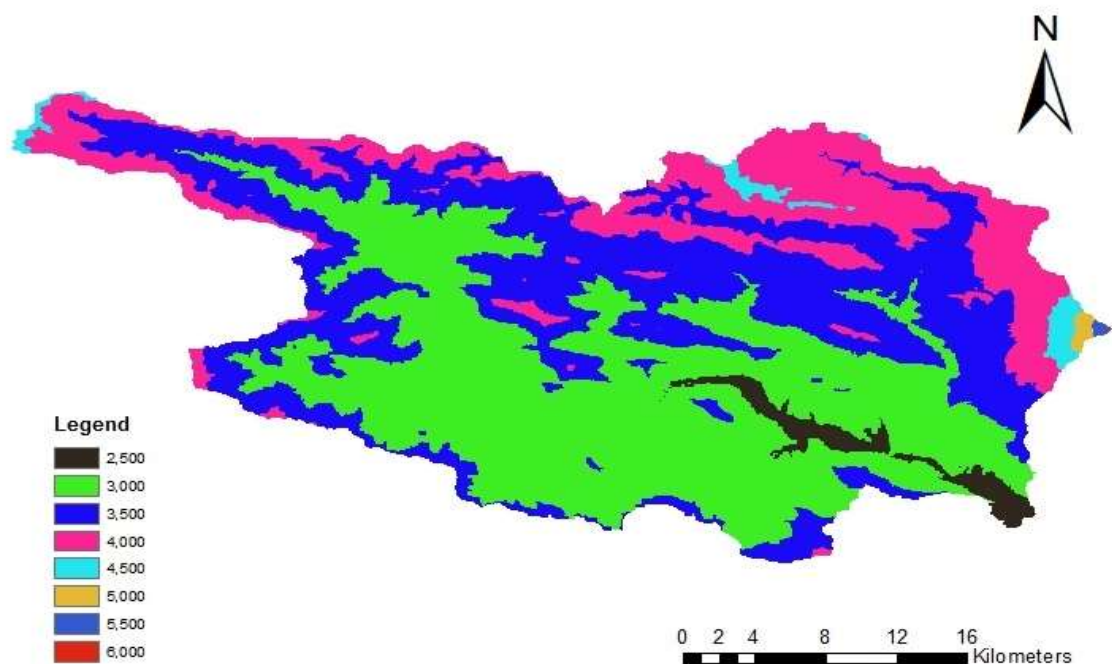
n : توالی روزها در طول محاسبه آبدهی

اطلاعات ورودی به مدل عبارتند از خصوصیات حوضه ای و نواحی ارتفاعی، متغیرها و پارامترها که در

زیر به تشریح آنها می پردازیم:

۳-۲-۲- خصوصیات حوضه و ناحیه های ارتفاعی

مرز حوضه با استفاده از نقشه های توپوگرافی تهیه شده و منحنی های میزان روی آن ترسیم می شود. سپس حوضه بر اساس ارتفاع و سطح حوضه، به ناحیه های ارتفاعی تقسیم شده و منحنی ارتفاع-سطح^۱ برای آن ها رسم می گردد. پارامترهای موثر در ذوب برف ناحیه در متوسط ارتفاع هیپسومتریک هر ناحیه محاسبه می شود. در حوضه های با محدوده ارتفاعی بیش از ۵۰۰ متر (اختلاف ارتفاع بین بالاترین نقطه حوضه و نقطه خروجی)، حوضه به مناطق ارتفاعی در حدود ۵۰۰ متر و یا ۱۵۰۰ فوت تقسیم بندی می شود. ارتفاع هیپسومتریک هر ناحیه می تواند از روی منحنی هیپسومتریک تعیین شود و درجه حرارت ایستگاه مبنا به این ارتفاعات منتقل گردد. تعیین محدوده حوضه ها، محاسبه منحنی هیپسومتریک از روی نقشه های با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ کفایت می کند [۱۸].



شکل (۳-۱) نقشه هیپسومتریک حوضه آبریز سد لار بر اساس تقسیم بندی ارتفاعی ۵۰۰ متر

^۱- Hipsometric

۳-۲-۳- متغیرها

متغیرهای ورودی به مدل شامل متوسط درجه حرارت روزانه، بارش و سطح پوشش برف است که در ادامه شرح داده شده اند:

۳-۲-۳-۱- درجه حرارت

دما به وسیله گرادیان دما به متوسط ارتفاع هیپسومتریک منتقل می گردد. برای کاهش خطا بهتر است از بهترین ایستگاه دماسنجی منطقه برای انتقال دما به نزدیک ترین ایستگاه به مرکز ثقل حوضه استفاده شود. اندازه گیری دقیق دما مشکل است، بنابراین داده های مربوط به یک ایستگاه هواشناسی خوب (هر چند در خارج از حوضه واقع شده باشد) به چندین ایستگاه غیرقابل اعتماد ترجیح داده می شود. به منظور برآورد عمق ذوب برف روزانه تعداد درجه -روزها باید تعیین گردد. درجه حرارت به صورت متوسط و یا حداکثر و حداقل به مدل معرفی می شود. روابط (۲-۳) و (۳-۳) به ترتیب میانگین درجه حرارت و مقدار تصحیح مورد نیاز برای انتقال دما از ایستگاه مبنا تا متوسط ارتفاع هیپسومتریک منطقه را نشان می دهد [۱۸].

$$\bar{T} = \frac{T_{Max} + T_{Min}}{2} \quad (2-3)$$

$$\Delta T = \gamma \cdot (h_{st} - \bar{h}) \frac{1}{100} \quad (3-3)$$

که در آن :

γ : شدت گرادیان دما (درجه سانتی گراد در هر ۱۰۰ متر)

h_{st} : ارتفاع ایستگاه هواشناسی (m)

h : زمانیکه مقدار درجه-روز ($T+\Delta T$) منفی شود، مقدار آن به صورت اتوماتیک به صفر تبدیل می گردد. بنابراین در درجه حرارت های منفی ذوب برف محاسبه نمی گردد.

۳-۲-۳-۲- بارش

بارش از مهمترین متغیرهای ورودی در مدل های هیدرولوژیکی است؛ در مدل SRM، داده های بارش بصورت مقادیر مشاهده ای و روزانه وارد می گردند.

تعمیم بارش نقطه ای برای سطح حوضه های کوهستانی مشکل و پیچیده است. بارش هایی که در ارتفاعات و دمای کمتر از دمای بحرانی اتفاق می افتند، به صورت برف بوده و تاثیر تاخیری در جریان دارند و اگر دما بیشتر از دمای بحرانی باشد، ذوبی های اوج به وقوع می پیوندند. در مدل دو گزینه برای ورود داده های مربوط به بارش وجود دارد. گزینه اول؛ ورود داده ها برای کل حوضه و گزینه دوم؛ به صورت مجزا برای هر منطقه ارتفاعی است. در حوضه های با محدوده ارتفاعی زیاد، اگر از ایستگاه های موجود در ارتفاعات کم استفاده شود، ممکن است مقدار بارندگی کم بر آورده شود، بنابراین پیشنهاد می شود، داده های بارش با یک گرادیان ارتفاعی، برای مثال ۳٪ یا ۴٪ برای هر ۱۰۰ متر، به متوسط ارتفاعات هیپسومتریک مناطق، انتقال پیدا کنند [۱۹].

دمای بحرانی برای تشخیص بارش به صورت باران یا برف، استفاده می شود. اثر تاخیری بارش بصورت برف روی رواناب، در حالت بارش روی حوضه پوشیده شده از برف یا زمانی که بر حوضه بدون برف ببارد، متفاوت است. بارش جدیدی که روی ناحیه پوشیده شده از برف قبلی می بارد بخشی از برف پشته فصلی فرض می شود و تاثیر آن، روی منحنی افت نرمال پوشش برف می باشد. در حالی که، بارش برف جدید روی ناحیه بدون برف بصورت بارش اضلفه شده به ذوب برف، در نظر گرفته می شود و زمان تاخیر یک روزه برای گرم شدن کافی دارد. این بارش، توسط SRM ذخیره می شود و به محض وقوع مقدار کافی درجه - روز ذوب می شود [۱۹].

۳-۲-۳- سطح پوشیده برف

مقطع سطح پوشیده از برف به کل سطح را، نسبت پوشش برف می نامند. سطح پوشش برف در فصل ذوب به تدریج کاهش پیدا می کند. منحنی های پوشش برف می تواند از نقشه های پوشش برف درون یابی گردد. مقادیر روزانه پوشش برف از متغیرهای مهم ورودی به مدل SRM می باشد. نقشه های سطح پوشش برف، با استفاده از مشاهدات زمینی (در حوضه های کوچک)، عکس برداری هوایی (مخصوصا در زمان سیل) و یا به وسیله تصاویر ماهواره ای تهیه می شوند [۱۸].

۳-۲-۴- پارامترهای ورودی به مدل

پارامترهای ورودی به مدل شامل ضریب رواناب برف، ضریب رواناب باران، فاکتور درجه-روز، گرادیان دما، دمای بحرانی، سطح موثر در باران، ضریب فروکش و زمان تاخیر می باشند. هر یک از این پارامترها می توانند با اندازه گیری و یا برا ساس نظرات کارشناسی متخصصان و با استفاده از خصوصیات حوضه، روابط فیزیکی، تجربی و روابط همبستگی برآورد گردند [۱۸].

۳-۲-۴-۱- ضریب رواناب

ضریب رواناب به نسبت رواناب اندازه گیری شده به بارش اندازه گیری شده گفته می شود. در ابتدای فصل ذوب برف تلفات خیلی کم بوده و در مراحل بعدی زمانی که خاک بدون محافظ باشد، در اثر رشد گیاهان تلفات به علت تبخیر و تعرق، برگاب و نفوذ بیشتر می باشد. در اواخر فصل ذوب برف ممکن است جریان مستقیم آبراهه ای ناشی از قطعات برف و باقیمانده توده های متشکل از برف آب دار، در بعضی حوضه ها رایج باشد. که در این صورت تلفات کاهش یافته و ضریب رواناب افزایش پیدا می کند. علاوه بر این ضریب رواناب برف و باران متفاوت می باشند و در برنامه کامپیوتری مقدار ضریب رواناب برف و ضریب رواناب باران از یکدیگر تقکیک شده اند. از میان پارامترهای SRM، ضریب رواناب اولین گزینه برای کالیبره کردن مدل است [۱۸].

ضریب رواناب به دلیل کمبود داده های مشاهداتی، بخصوص ناکافی بودن داده ها در ارتفاعات، بصورت سعی و خطا تعیین می شود. در مدل SRM، مقادیر رواناب ذوب برف، C_s ، و ضریب رواناب باران، C_r ، جداگانه و بصورت ماهانه (در صورت نیاز روزانه)، توسط کاربر تغییر داده می شوند. ضریب رواناب، در شبیه سازی ناموفق، اولین پارامتری است که تغییر داده می شود [۱۸].

۳-۲-۴-۲- فاکتور درجه - روز

فاکتور درجه - روز به صورت مقدار عمق ذوب شده به تعداد درجه-روز تعریف می شود و به شکل رابطه (۳-۴) بیان می گردد [۱۸].

$$M = aT \quad (۳ - ۴)$$

a : فاکتور درجه-روز ($cm \cdot ^\circ C^{-1} \cdot d^{-1}$)

M : عمق ذوب برف روزانه (cm)

T : تعداد درجه - روز ($^\circ C \cdot d$)

مقدار فاکتور درجه - روز را می توان با محاسبه نسبت کاهش آب معادل برف به درجه - روز اندازه گیری شده به دست آورد و این اندازه گیری می تواند به وسیله بالشتک برفی با لایسیمتر و اندازه گیری های رادیو اکتیو برف بدست آید.

در صورت نبودن داده، فاکتور درجه-روز می تواند با استفاده از رابطه تجربی (۳-۵) بدست آید:

$$a = 1.1 \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (۳ - ۵)$$

که در آن :

a : فاکتور درجه-روز ($cm \cdot ^\circ C^{-1} \cdot d^{-1}$)

ρ_s : وزن مخصوص برف

ρ_w : وزن مخصوص آب

با افزایش وزن مخصوص برف، آلبیدو کاهش می یابد و مقدار آب مایع در برف افزایش پیدا می کند، بنابراین وزن مخصوص برف شاخص خوبی برای تعیین خصوصیات ذوب برف است. در حوضه های برفی با نزدیک شدن به پایان تابستان، فاکتور درجه -روز معمولا تا ۰/۶ افزایش می یابد. مدل SRM این قابلیت را دارد که فاکتور های درجه - روز متفاوت برای حداکثر ۸ منطقه ارتفاعی که معمولا ۲ بار در ماه تغییر می کند، به مدل معرفی شود. در برخی مواقع اثر یک پیشامد، مانند بارش برف جدید، مقدار فاکتور درجه - روز باید به صورت دستی اصلاح و وارد مدل گردد تا اینکه شرایط غیرعادی ذوب برف را نشان دهد [۱۸].

۳-۲-۴-۳- گرادیان درجه حرارت

هنگامی که از سطح زمین به طرف بالا صعود می کنیم، هر چه بالاتر برویم دمای هوا کاهش پیدا می کند. نسبت کاهش دما به ارتفاع را گرادیان قائم دما گویند. کاهش دما در ارتفاعات بالاتر به سه دلیل عمده زیر است :

۱- چون منبع اصلی گرما برای هوا، سطح زمین می باشد، بدیهی است با دور شدن از منبع

گرما، دمای هوا کاهش می یابد.

۲- مقدار بخار آب به تدریج که ارتفاع افزایش می یابد، کم می شود. لذا در ارتفاعات بالاتر هوا

نمی تواند گرمای زیادی در خود نگه دارد.

۳- هوا در نتیجه گرم شدن زمین به طرف بالا صعود می کند و در هنگام صعود منبسط شده

و دمای آن کم می شود.

اگر داده های دما مربوط به ایستگاه های هواشناسی واقع در ارتفاعات مختلف، موجود باشد، می توان با استفاده از این داده ها گرادیان دما را محاسبه کرد. در شبیه سازی های مدل SRM معمولاً یک گرادیان دما در حدود ۰/۶۵ درجه سانتی گراد در هر ۱۰۰ متر ارتفاع، در نظر گرفته می شود. برنامه این قابلیت را دارد که یک گرادیان دما برای کل حوضه و با گرادیان های مجزا برای هر منطقه ارتفاعی به مدل معرفی شود. همچنین می توان برای روز هایی که یک وضعیت خاص هواشناسی اتفاق می افتد، مثلاً وارونگی دما، مقدار گرادیان را به صورت دستی تغییر داد [۱۹].

بهتر است که ایستگاه هواشناسی مبنا، در نزدیکی میانگین ارتفاع حوضه قرار داشته باشد، چون در این صورت خطاهای رو به بالا و رو به پایین با هم تعدیل می شوند. به عبارت دیگر اگر ایستگاه در یک ارتفاع پایین قرار داشته باشد، مدل SRM نسبت به مقدار گرادیان حساسیت نشان خواهند داد.

گاهی اوقات لازم است که مقدار گرادیان دما با توجه به منحنی های ذوب برف تصحیح شود. اگر در اثر انتخاب یک گردان را با توجه به اینکه ایستگاه در ارتفاعی بالاتر و یا پایین تر از ارتفاع میانگین منطقه قرار دارد، کاهش یا افزایش داد. گرادیان درجه حرارت برای انتقال درجه حرارت از ایستگاه مبنا به متوسط ارتفاع هیپسومتريک حوضه با هر یک از ناحیه های ارتفاعی به کار می رود. گرادیان درجه حرارت در مدل به صورت ۱۵ روزه (در صورت لزوم) و حتی به صورت تغییرات فصلی به کار گرفته می شود.

۳-۲-۴-۴- درجه حرارت بحرانی

درجه حرارت بحرانی برای تعیین باران یا برف بودن بارش اندازه گیری شده یا پیش بینی شده به کار می رود. اگر $T > T_{CRIT}$ باشد، تاثیر بارش در رواناب فوری بوده، و اگر بارش به صورت باران و همچنین در صورتی که $T < T_{CRIT}$ باشد، بارش به صورت برف می باشد و روی هم انباشته می

گردد و تاثیر آن در رواناب به صورت تاخیری می باشد. در این حالت مدل SRM بارش برف جدید را به عنوان ذخیره نگه می دارد تا روز های گرم بعدی ذوب شود [۱۹].

در برخی موارد ممکن است مدل SRM، رواناب حاصل از بارندگی های شدید را در شبیه سازی در نظر نگیرد. چون در این حالت دمای انتقال یافته به میانگین ارتفاع منطقه از دمای بحرانی کمتر و بارش در مدل به صورت برف شبیه سازی شده است. بنابراین در چنین مواردی باید دمای بحرانی و گرادیان درجه حرارت به طور منطقی تصحیح شده تا برف به باران تبدیل گردد. البته تشخیص دقیق برف و باران مشکل است زیرا دمای استفاده شده در شبیه سازی، دمای میانگین روزانه است در حالی بارش در هر زمانی ممکن است روی داده باشد، روز یا شب، در شرایطی گرم تر و یا سردتر از دمای متوسط روزانه [۱۹].

۳-۲-۴-۵- سطح مشارکت کننده بارش

زمانی که بارش به صورت باران باشد دو نوع رفتار قابل بررسی است. در نوع اول باران روی برف پشته می بارد و در برف پشته نگهداری می شود (برف خشک و عمیق باشد). در این صورت رواناب ناشی از باران فقط در سطوحی که فاقد پوشش برف می باشند، اتفاق می افتد که گفته می شود عمق باران با نسبت سطح بدون پوشش برف به کل سطح کاهش یافته است. در نوع دوم سطح پوشش برفی رسیده و پر آب است در این حالت اگر روی سطح برف ببارد، فرض می شود که همان آب از برف پشته خارج می گردد. بنابراین تمامی آب باران بدون دست خوردگی به رواناب حاصل از ذوب برف اضافه می گردد. از تاثیر ذوب برف توسط باران صرف نظر می گردد. زیرا گرمایی که توسط باران به برف پشته انتقال می یابد بسیار کم می باشد [۱۹].

سطح فعال باران^۱ RCA، در تبدیل بارش به رواناب مهم می باشد. در مدل SRM دو گزینه برای توزیع بارش باران به رواناب تعبیه شده است [۱۹]:

گزینه ۰: در این گزینه فرض می شود که بارش باران روی برف پشته، در فصل انباشت و اوایل فصل ذوب، توسط برف پشته خشک و عمیق، نگهداری می شود. رواناب بارش باران به رواناب ذوب برف فقط از ناحیه بدون برف اضافه می شود، در این حالت گفته می شود عمق بارش باران توسط نسبت ناحیه بدون برف به مساحت کل ناحیه، کاهش داده می شود؛

گزینه ۱: در این گزینه، پوشش برف پر آب و اشباع می شود. در این شرایط، اگر باران روی برف پشته ببارد، فرض می شود که مقدار یکسانی آب از برف پشته آزاد می شود، بنابراین بارش باران برای کل ناحیه منظور شده و به ذوب برف اضافه می شود.

۳-۲-۴-۶- ضریب فروکش

ضریب فروکش یک پارامتر بسیار مهم در مدل SRM است زیرا $(I-k)$ قسمتی از ذوب روزانه می باشد که بلافاصله به رواناب اضافه می گردد. معمولا آنالیز داده های دبی اندازه گیری شده قبلی یک روش خوبی برای تعیین k است. در این روش مقادیر Q_n در مقابل Q_{n+1} (در مواقعی که هیدروگراف جریان حالت فروکش می باشد)، رسم می گردد. باید توجه داشت که k ثابت نیست و با کاهش دبی مقدار k افزایش می یابد [۱۸].

$$k_{n+1} = X \cdot Q_n^{-y} \quad (۳-۶)$$

که X و y با حل معادلات زیر برای حوضه قابل تعیین است :

$$k_1 = X \cdot Q_1^{-y} \quad (۳-۷)$$

$$k_2 = X \cdot Q_2^{-y} \quad (۳-۸)$$

^۱- Rianfall Contribution Area

$$\log k_1 = \log X - y \log Q_1$$

$$\log k_2 = \log X - y \log Q_2$$

و با حل روابط (۷-۳) و (۸-۳) در یک دستگاه معادلات مقدار X و Y پیدا می گردد.

برای حوضه های بدون آمار و با زمانی که داده های دبی اندازه کافی وجود نداشته باشد، X و Y به طور مستقیم با استفاده از اندازه حوضه تعیین می شوند:

$$k_{Nn} = \left[X_M \left(\frac{\bar{Q}_M}{Q_N} \cdot Q_{Nn-1} \right)^{-y_M} \right] \sqrt[4]{A_M/A_N} \quad (9-3)$$

طبق معادله، ضرایب فروکش برای حوضه های بزرگتر، بیشتر است. اگر مقدار افزایش k نسبت به

اندازه حوضه خیلی بزرگ باشد، $\sqrt[8]{A_M/A_N}$ جایگزین $\sqrt[4]{A_M/A_N}$ می شود.

ضریب فروکش نشان دهنده رفتار حوضه در شرایط عادی ذوب برف است. در بارش های

سنگین (یعنی اگر مقدار بارندگی بیش از ۶ سانتی متر باشد)، ضریب فروکش به صورت معادله (۳-۱۰) تعیین می کند [۱۸].

$$k_{n+1} = X(4Q_n)^{-y} \quad (10-3)$$

در این روش مقدار k کمتر شده، بنابراین عکس العمل حوضه نسبت به ورودی ها سریع خواهد بود.

۳-۲-۴-۷- زمان تاخیر

خصوصیات نوسانات روزانه رواناب از طریق تاخیر و به طور مستقیم از هیدروگراف جریان سال های گذشته می تواند تعیین گردد. اگر به طور مثال دبی هر روز در حوالی شب شروع به کاهش نماید، فروکش دبی در حدود شش ساعت از فروکش درجه حرارت تاخیر دارد. بنابراین رابطه ای بین درجه حرارت اندازه گیری شده در روز n ام با دبی بین ساعت ۱۲ روز N ام تا ساعت ۱۲ روز $N+1$ ام وجود خواهد داشت. زمان تاخیر مهم ترین مبنای رابطه زمانی بین پارامتر های مختلف هیدرولوژیکی در مدل سازی حوضه ها می باشد. برای محاسبه زمان تاخیر می توان از روابط تجربی استفاده کرد. برای محاسبه زمان تاخیر، شیب متوسط و طول رودخانه اصلی از مهم ترین پارامترها می باشند [۱۸].

۳-۲-۵- ارزیابی مدل

مدل SRM از یک معیار کیفی، مشاهده تطابق هیدروگراف ها و از دو معیار دقت کمی، شامل ضریب تبیین R^2 و تفاضل حجم D_V استفاده می کند. این ضرایب از طریق معادلات (۳-۱۱) و (۳-۱۲) محاسبه می گردند [۱۸].

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q'_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2} \quad (۳-۱۱)$$

$$D_V = \frac{V_R - V'_R}{V_R} \cdot 100 \quad (۳-۱۲)$$

Q_i : دبی اندازه گیری شده روزانه

Q'_i : دبی شبیه سازی شده روزانه

\bar{Q} : متوسط دبی روزانه برای فصل و یا سال شبیه سازی

n : تعداد مقادیر دبی روزانه

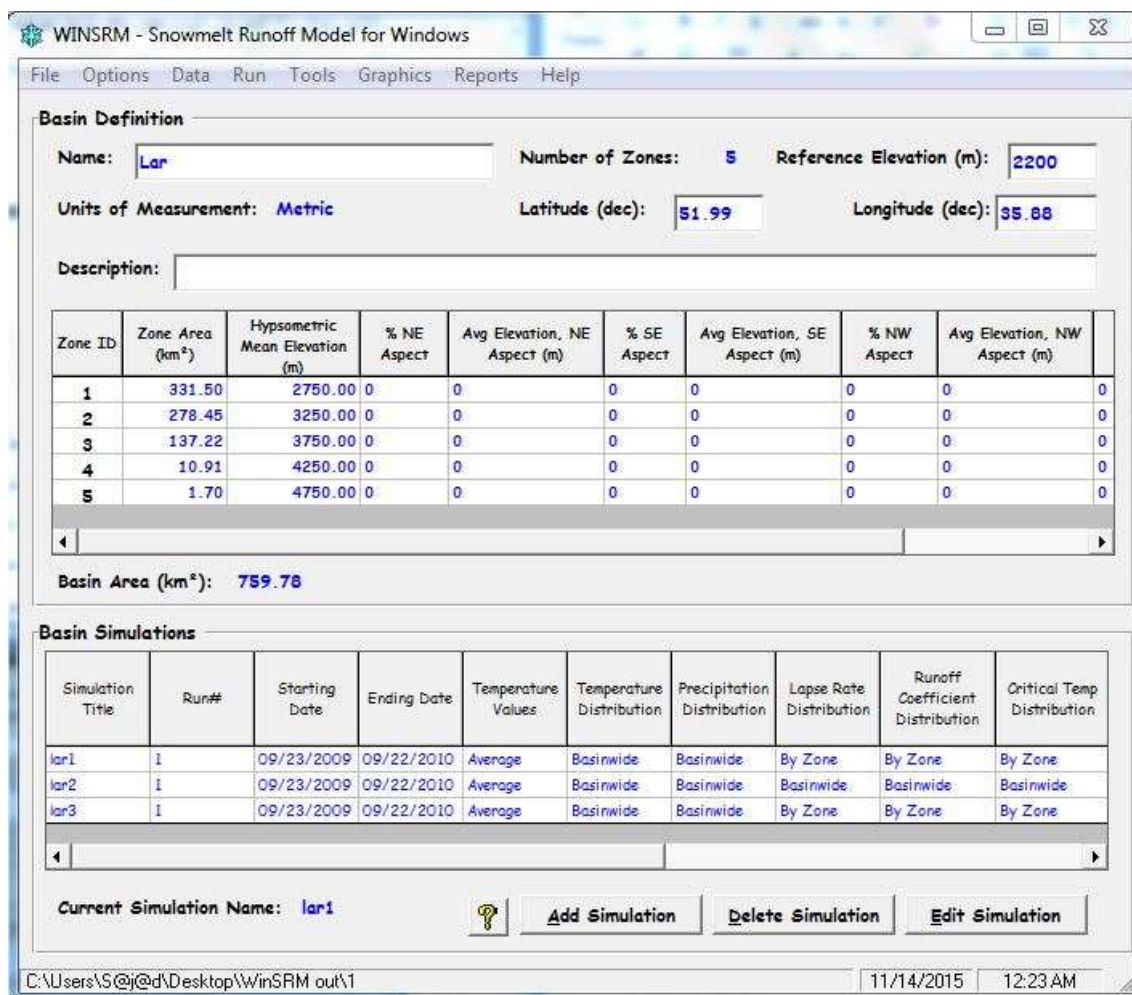
D_V : درصد اختلاف بین کل رواناب اندازه گیری شده و شبیه سازی شده(./)

V_R : حجم رواناب اندازه گیری شده

V'_R : حجم دبی شبیه سازی شده.

۳-۳- ساختار اجرایی مدل

مدل رواناب ذوب برف (Martinec/Rang)، در ابتدا، مدلی به زبان فرترن، برای کامپیوتر های IBM طراحی شد. با توسعه هایی که طی سال ها در این مدل داده شد، در نهایت در ویرایش جدید، محیطی تحت ویندوز، با نام WinSRM 1.12 آماده گردید که ضمن داشتن کلیه قابلیت های مدل های پیشین و همچنین افزایش قابلیت های دیگر، این مدل برای استفاده کاربر، محیطی بسیار ساده با سرعت شبیه سازی بالا فراهم نموده است. در شکل (۳-۲) نمایی از پنجره اصلی این مدل نشان داده شده است.



شکل (۲-۳) محیط پنجره اصلی مدل WinSRM

در این بخش، به نحوه آماده سازی و وارد کردن اطلاعات ورودی مدل، اجرا و انجام واسنجی مدل، اشاره ای کوتاه می شود.

پیش از وارد کردن داده های ورودی، ابتدا اطلاعات اولیه در پنجره اصلی مدل، شامل نام پروژه، تعداد نواحی ارتفاعی، سیستم اندازه گیری، ارتفاع ایستگاه مبنا و غیره بطور صحیح وارد شده، سپس از طریق پنجره ویرایش شبیه سازی ها^۱، مقادیر اولیه پارامترها تعریف می شوند. پس از انجام اعمال فوق، امکان ذخیره اطلاعات فراهم می شود.

^۱- Edit Simulation

۳-۳-۱- معرفی اطلاعات ورودی

در مدل WinSRM، اطلاعات ورودی در دو تعریف متغیرها^۱ و پارامترها^۲، از طریق منوی داده ها^۳ وارد مدل می گردند. تمامی اطلاعات ورودی مدل، در خارج از مدل، به عنوان مثال در نرم افزار Microsoft Office Excel، تهیه شده و وارد مدل می شوند.

-متغیرها

اطلاعاتی که تحت عنوان متغیر به مدل معرفی می شوند، شامل آن دسته از داده هایی هستند که در ایستگاه های اندازه گیری یادداشت می شوند و عبارتند از داده های روزانه دمای هوا (ماکزیمم، مینیمم و میانگین)، بارش، رواناب، پوشش برف.

اطلاعات پوشش برف به صورت درصدی از کل ناحیه و توسط روش های مختلفی تهیه می شود که امروزه استفاده از تصاویر ماهواره ای، کاربرد فراوانی یافته اند.

-پارامترها

پارامترهای مدل از جمله ضریب رواناب c ، فاکتور درجه - روز a و پارامتر افت k ، همانطور که در بخش های گذشته توضیح داده شد، برای هر حوضه با استفاده از خصوصیات حوضه، شرایط آب و هوایی و آمارهای گذشته، از روابط موجود بدست می آیند و به مدل معرفی می شوند. بسته به تاثیر گذاری آنها، این امکان فراهم شده است که مقادیر آنها به طور روزانه برای انجام واسنجی مدل، تغییر داده شوند.

این اطلاعات از طریق پنجره ویرایش پارامترهای شبیه سازی^۴ وارد مدل می شوند.

¹- Variables

²- Parameters

³- Data

⁴- Edit Simulation Variables

Edit Simulation Control Information

Simulation Name:

Run Number:

Snowmelt Period:
 Start Date:
 End Date:

Units:

Temperature:
 Daily Average
 Max/Min Values

Initial Runoff (m³/s):

Rainfall Threshold (cm):

Input by Zone (x=yes):
 Temperature
 Precipitation
 Temperature Lapse Rates
 Runoff Coefficients
 Critical Temperature
 Recession coefficients

Comments:

Initial Parameter Table Values: (Zone 1, Day 1)

Degree Day Factor:	0.3	Runoff Coefficients (Snow):	0.5
Critical Temperature:	0.3	Runoff Coefficients (Rain):	0.5
Temperature Lapse Rate:	0.65	Rainfall Contributing Area:	1
Lag Time to Gage (hr):	9	X recession coefficient:	1.052
		Y recession coefficient:	0.04

Buttons:

Path: C:\Users\S@j@d\Desktop\WinSRM out\2 | Date: 11/14/2015 | Time: 1:02 AM

شکل (۳-۳) پنجره ویرایش پارامترهای شبیه سازی

۳-۲-۳- اجرا و واسنجی مدل

پس از تنظیم شرایط اولیه و وارد نمودن کلیه اطلاعات لازم، از طریق منوی اجرا، مدل اجرا می شود و از طریق منوی گرافیک ها، نتایج ترسیمی و از منوی گزارشات^۱، نتایج عددی، قابل دسترسی هستند و چنانچه نیاز باشد که از نتایج در قالب نمودار یا مقادیر عددی در خارج از محیط

¹- Run
²- Graphics
³- Reports

مدل استفاده شود، مدل این قابلیت را دارد که نمودارها را در فرمت (bmp) و مقادیر عددی را تحت فرمت (txt) در هر آدرسی که کاربر به آن بدهد، ذخیره نماید. واسنجی در این مدل، با پارامتر های مورد نظر، در محدوده فیزیکی تعریف شده توسط کاربر خارج از محیط مدل انجام می گردد و جایگزین پارامتر مورد نظر قبلی خواهد شد. این اعمال تا رسیدن به نتایج قابل قبول، ادامه می یابند.

۳-۴- آماده سازی داده های مورد نیاز برای ورود به مدل

۳-۴-۱- داده های هیدرومتری و هواشناسی

به منظور شبیه سازی بارش-رواناب و تخمین سهم رواناب ناشی از ذوب برف در آورد بالادست سد لار، ابتدا با استفاده از داده های ماهواره ای به دست آمده از سنجنده MODIS در این پروژه سطح پوشش برف در حوضه لار برای یک دوره ۴ ساله برآورد شد. سپس به منظور مدل سازی رواناب، اطلاعات ماهواره ای به دست آمده وارد مدل شبیه سازی رواناب ذوب برف، SRM گردید.

داده های هیدرومتری و هواشناسی مورد نیاز شامل آبدهی روزانه در خروجی های زیر حوضه ها و ایستگاه های هیدرومتری در منطقه، بارش، دما، برای دوره ۴ ساله می باشد که این اطلاعات از ایستگاه های باران سنجی، سینوپتیک و برف سنجی در حوضه جمع آوری گردید.

۳-۴-۲- داده های ماهواره ای

سنجنده MODIS در سال ۲۰۰۰ روی ماهواره Terra قرار گرفت. سنجنده MODIS قابلیت تصویر برداری روزانه در ۲ باند قابل رویت با دقت مکانی ۲۵۰ متر، ۵ باند مادون قرمز با دقت مکانی ۵۰۰ متر و ۲۹ باند حرارتی با دقت مکانی ۱۰۰۰ متر را دارا می باشد. داده های ماهواره ای MODIS در باند های مرئی، مادون قرمز به منظور تعیین گستره پوشش برف از سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ جمع آوری گردید. علاوه بر این سایر تولیدات MODIS از قبیل سطح پوشش برف و دمای سطح

زمین در سالهای ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ به صورت ۸ روزه جمع آوری گردید. اطلاعات فوق به فرمت HDF و از طریق DVD ارائه می گردد.

۳-۵- داده های مورد نیاز مدل SRM

داده های ورودی به مدل شبیه سازی رواناب حاصل از ذوب برف SRM به سه گروه تقسیم بندی می شوند. این سه گروه عبارتند از :

(۱) مشخصات حوضه که مساحت خود حوضه و منحنی ارتفاع- مساحت می باشد که از نقشه های توپوگرافی و DEM بدست می آید.

(۲) متغیرها؛ شامل دما و تعداد درجه-روزها، میزان بارش و سطح پوشش برف می باشد. در این تحقیق سطح پوشش برف با استفاده از تصاویر ماهواره ای MODIS با باند های مرئی و مادون قرمز و با دقت مکانی ۵۰۰ متر به دست می آید. دمای هوا و میزان بارش نیز از داده های مربوط به ایستگاه هواشناسی پلور تامین می گردد.

(۳) پارامترها شامل ضریب رواناب، فاکتور درجه-روز، گرادیان دما، دمای بحرانی، منطقه تحت مشارکت بارندگی و ضریب فروکش می باشد. این پارامترها ابتدا با توجه به مشخصات حوضه و تجربیات قبلی در مدل سازی با استفاده از SRM برآورد شده است و بعد از اجرای مدل برای حوضه لار کالیبره می شوند.

۳-۵-۱- متغیرهای مورد نیاز مدل

۳-۵-۱-۱- سطح پوشش برف

یکی از متغیرهای مورد نیاز برای اجرای مدل SRM سطح پوشش برف می باشد که برای بدست آوردن این متغیر باید از فناوری سنجش از دور استفاده کرد و برای این کار از داده های

سنجنده MODIS استفاده می شود که بعد از پردازش سطح پوشش برف از آن استخراج و به نرم افزار معرفی می گردد. برای پردازش داده های MODIS از نرم افزار Erdas imagine که یکی از نرم افزار های شناخته شده در این حوضه می باشد، استفاده گردید.

یکی از مهمترین الگوریتم ها در تولید نقشه های سطح پوشش برف مورد استفاده قرار می گیرد الگوریتم SNOWMAP می باشد که مجموعه ای از تولیدات پوشش برف را در سطوح مختلف از سنجنده MODIS ارائه می کند. این تولیدات توسط مرکز ملی یخ و برف (NSIDC¹) در مرکز توزیع و نگهداری داده تحت عناوین حداکثر سطح پوشش برف و داده های ۸ روزه سطح برف در دوره های روزانه و ۸ روزه تولید می شوند و دارای دقت مکانی ۵۰۰ متر و ۱۰۰۰ متر می باشند. تولیدات داده های پوشش برف MODIS که توسط الگوریتم SNOWMAP تولید می شود. لازم به ذکر است که تولیدات ۸ روزه MODIS، حداکثر سطح پوشش برف را طول یک دوره ۸ روزه نشان می دهند[۱].

MOD10A2 یک داده ۸ روزه از پوشش برف می باشند که با استفاده از داده های ۲ تا ۸ روزه از MOD10A1 ساخته می شود. زمانی که به هر دلیلی از جمله از دست رفتن داده در ماهواره و یا هر دلیل دیگری داده های کمتر از ۸ روز برای تعیین پوشش سطح برف استفاده می شود. اما اگر در یک دوره ۸ روزه تنها یک روز قابل دسترس باشد داده های ۸ روزه سطح برف تولید نمی شود[۱].

برای تولید داده های ۸ روزه برف از MODIS، هدف الگوریتم به حداکثر رساندن مقدار پیکسل های حاوی برف و به حداقل رساندن مقدار پیکسل های ابری می باشند. یک سلول زمانی که در طی ۸ روز پوشیده از ابر باشد به عنوان سلول ابری لحاظ می شود. اگر برف در هر یک از ۸ روز دیده شود، آن سلول در مجموعه داده حداکثر گستره برف به عنوان برف لحاظ می شود. اگر هیچ

¹- National Snow and Ice Data Centre

برفی برای پیکسل دیده نشود، یک عدد صحیح منطبق با نوع آن سطح به آن پیکسل داده می شود [۱].

جدول (۱-۳) اعداد صحیح کد گذاری شده و معنی آنها در تولیدات سطح پوشش برف

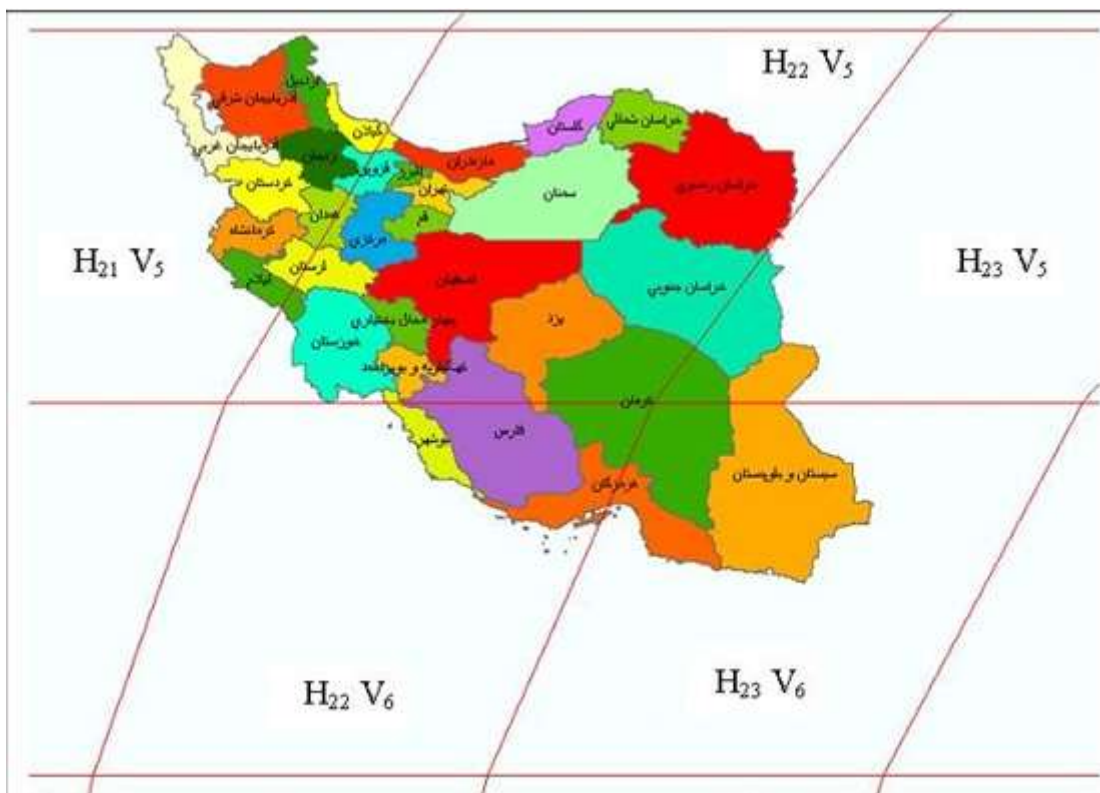
عدد صحیح	معنی یا نوع سطح
۰	داده های گم شده
۱	تصمیم گیری نشده
۴	داده های غلط
۱۱	شب و یا تاریکی
۲۵	اراضی (بدون برف)
۳۷	آب، دریاچه
۳۹	اقیانوس
۵۰	ابر تیره
۱۰۰	یخ و یا دریاچه یخی پوشیده شده با برف
۲۰۰	برف
۲۵۴	سنجنده اشباع شده
۲۵۵	بدون داده

هم تولیدات روزانه و هم تولیدات ۸ روزه سطح برف، یک منطقه ای با وسعت ۱۲۰۰*۱۲۰۰ کیلومتر را می پوشانند و دارای دقت مکانی یک روزه برای MOD10A1 و ۸ روز برای MOD10A2 هستند. دقت مکانی این تولیدات نیز ۵۰۰ متر تا ۱ کیلومتر است [۱].

در الگوریتم SNOWMAP برای تشخیص سطوح پوشیده شده از برف از شاخص سطح برف (NDSI^۱) کمک گرفته می شود. به دلیل انعکاس پایین برف در باندهای مادون قرمز و انعکاس بالا در باندهای مرئی، این شاخص می تواند در تشخیص پوشش برف از سایر پدیده ها بسیار مفید باشد [۱].

در تهیه نقشه پوشش برف زمانی که پیکسل دارای NDSI بزرگتر و یا مساوی ۰/۴ می باشد. به عنوان پیکسل برفی در نظر گرفته می شود و در صورتی که کمتر از ۰/۴ باشد به عنوان پیکسل عاری از برف فرض می گردد [۱].

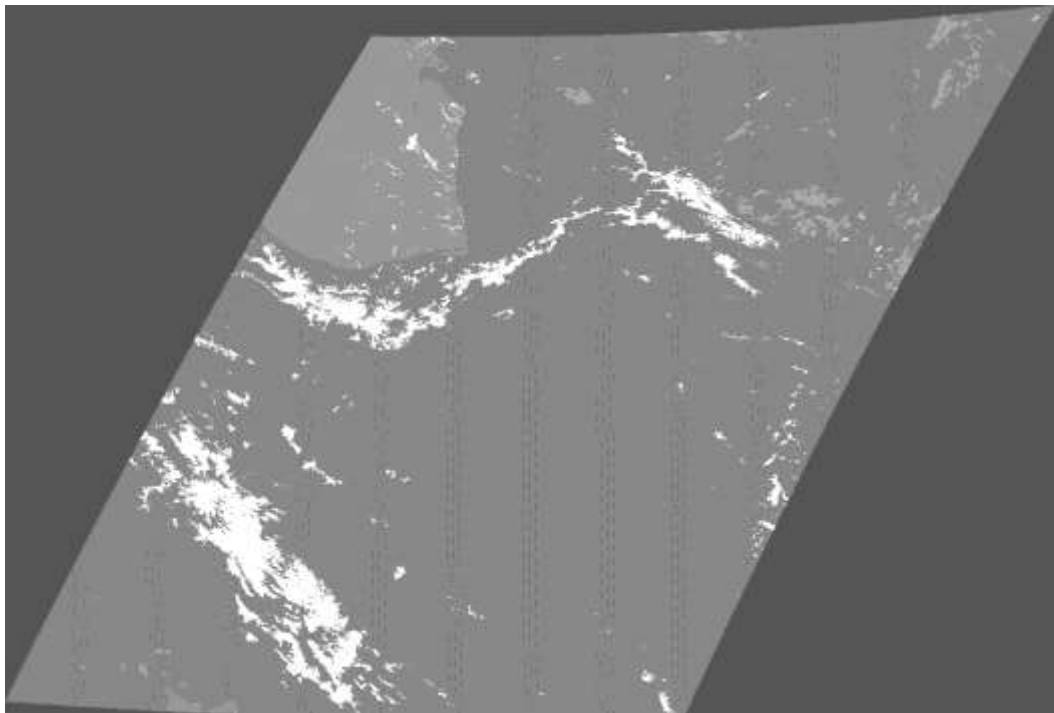
تولیدات MOD10A2 از سایت "nsidc.org" بدست می آیند. با توجه به موقعیت کشور ایران بر اساس ایندکس تصاویر سنجنده MODIS حوضه آبریز سد لار در موقعیت H₂₂ V₅ قرار می گیرد.



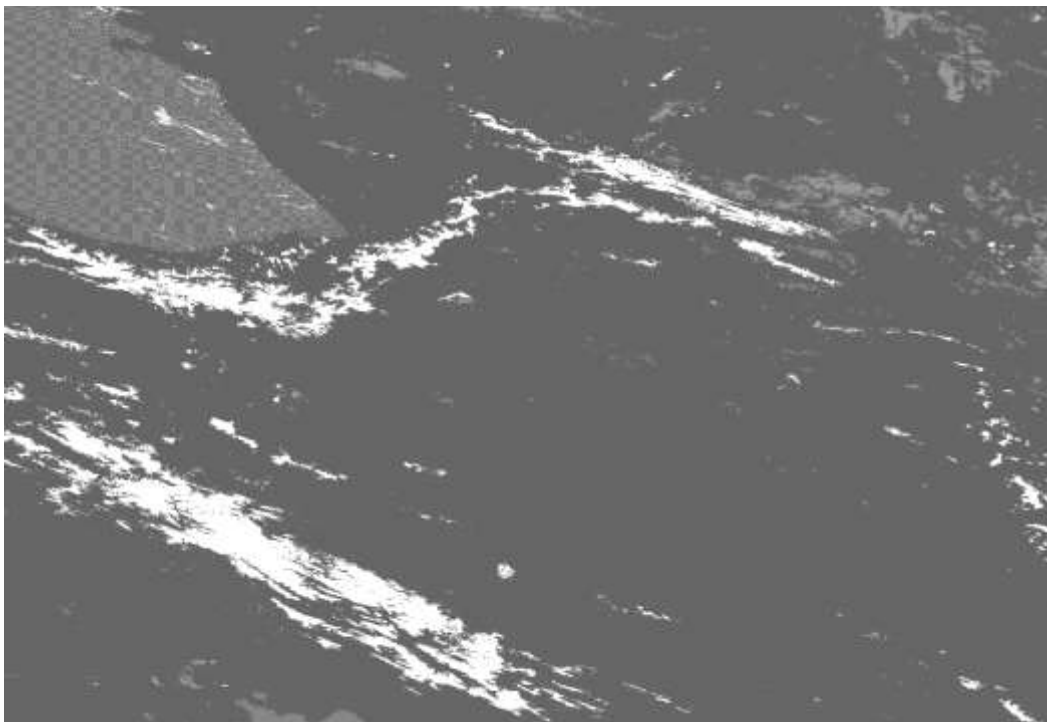
شکل (۳-۴) تصویر کشور ایران بر اساس ایندکس تصاویر سنجنده MODIS ماهواره TERRA

^۱- Normal Difference Snow Index

فرمت فایل های MOD10A2 از نوع HDF می باشد. بعد از دریافت اطلاعات، پردازش آن ها توسط نرم افزار Erdas Imaging انجام و به فایل های HDF به فرمت تصویر تبدیل گردید. در مرحله بعد تعداد پیکسل های با ارزش ۲۰۰ که معرف برف می باشد را از آن استخراج کرده و با توجه به اینکه ابعاد هر پیکسل ۴۸۱*۴۸۱ متر می باشد، مساحت سطوح برفی بدست می آید. تصویر (۳-۵) ، تصویر سنجنده MODIS دریافت شده بعد از تبدیل داده خام HDF به فرمت تصویر می باشد که تصحیح هندسی نشده است. تصویر (۳-۶)، تصویر تصحیح هندسی شده بوسیله نرم افزار Erdas است.



شکل (۳-۵) تصویر خام بدست آمده از سنجنده MODIS در نرم افزار Erdas



شکل (۶-۳) تصویر سنجنده MODIS پس از تصحیح هندسی در نرم افزار Erdas



شکل (۷-۳) تصویر نهایی و پردازش شده بوسیله نرم افزار Erdas

تصویر (۷-۳)، تصویر نهایی و پردازش شده بوسیله نرم افزار Erdas و با فرمت img از حوضه لار است. بعد از پردازش نهایی تصاویر در نرم افزار Erdas، تصاویر در نرم افزار GIS وارد می شوند و بر اساس ارزش پیکسلی از صفر تا ۲۰۰ مرتب می گردند. بعد از تبدیل نقشه برفی حوضه از

حالت رستر^۱ به وکتور^۲، نقشه هیپسومتریک با نقشه برفی ادغام می شود تا سطح پوشیده از برف برای نقاط ارتفاعی مختلف بدست آید.

۳-۵-۱-۲- دمای هوا

مدل در مورد دما به حداکثر و حداقل دمای روزانه و یا میانگین این دو احتیاج دارد(در این تحقیق دمای میانگین در مدل قرار داده شد). اطلاعات مربوط به دما را هم می توان از داده های ماهواره ای استخراج کرد و هم از اطلاعات ایستگاه های هواشناسی استفاده نمود. از آنجا که اطلاعات دمای سطح زمین استخراج شده از تصاویر MODIS در تعیین مقدار رواناب حاصل از ذوب برف از دقت خوبی برخوردار نیستند، در اجرای مدل از داده های دمای مربوط به ایستگاه زمینی استفاده شد، برای این تحقیق از داده های ایستگاه باران سنجی پلور استفاده گردید.

۳-۵-۱-۳- بارش

بارش از مهمترین عوامل موثر در ایجاد رواناب است. با توجه به دمای بحرانی، بارش هایی که در ارتفاعات و در دمایی پایین تر از دمای بحرانی رخ می دهند، به صورت برف بوده و تاثیر تاخیری در جریان رواناب دارند و اگر دما بیش از دمای بحرانی باشد، بارش به صورت باران خواهد بود و دبی های اوج به وقوع می پیوندند. برای بارش از داده های ایستگاه باران سنجی پلور استفاده گردید.

۳-۵-۲- پارامترهای ورودی به مدل SRM

همان طور که قبلا هم توضیح داده شد، پارامترهای ورودی به مدل شامل ضریب رواناب برف، ضریب رواناب باران، فاکتور درجه-روز، گرادیان دما، دمای بحرانی، سطح موثر در باران، ضریب فروکش و زمان تاخیر می باشند. با فرض مقادیر مشخصی برای این پارامترها در ابتدا، مدل برای

¹- Raster
²- Vector

حوضه آبریز سد لار کالیبره شد. برای کالیبره کردن مدل از داده های سال های ۲۰۰۹ تا

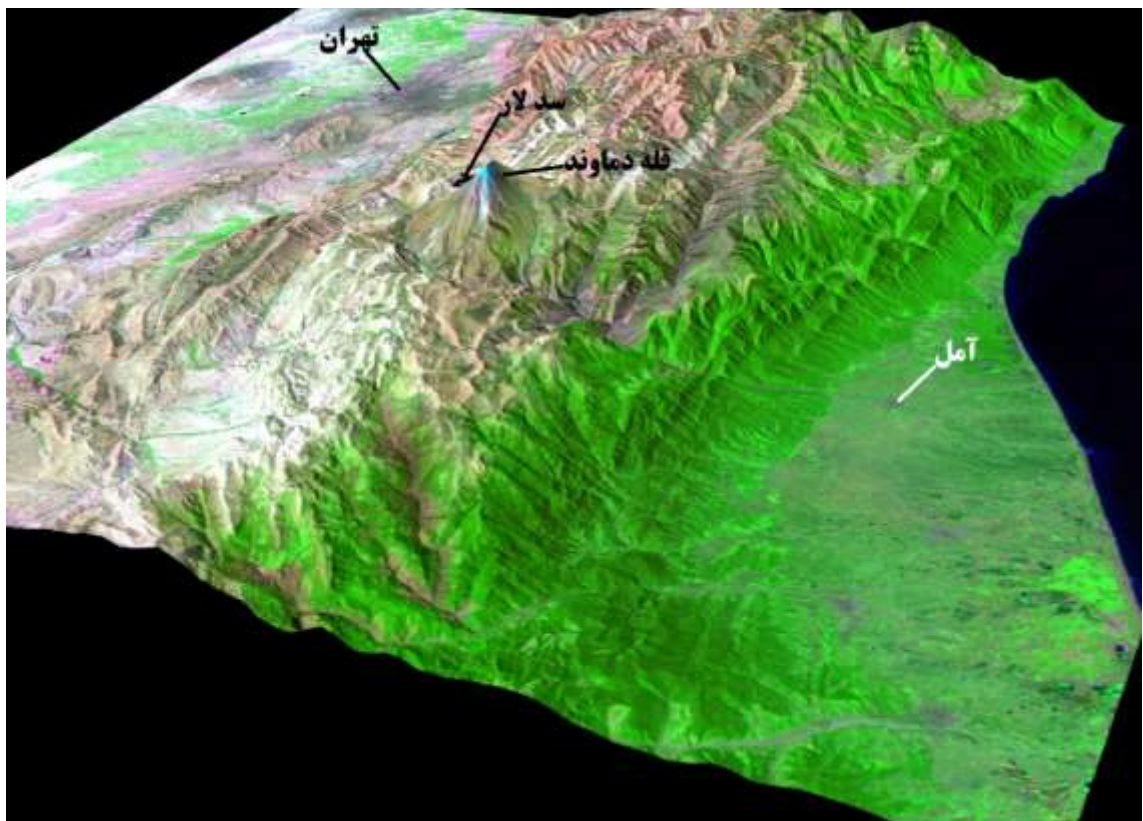
۲۰۱۱ استفاده گردید.

فصل چهارم:

منطقه مورد مطالعه

۴-۱- منطقه مورد مطالعه

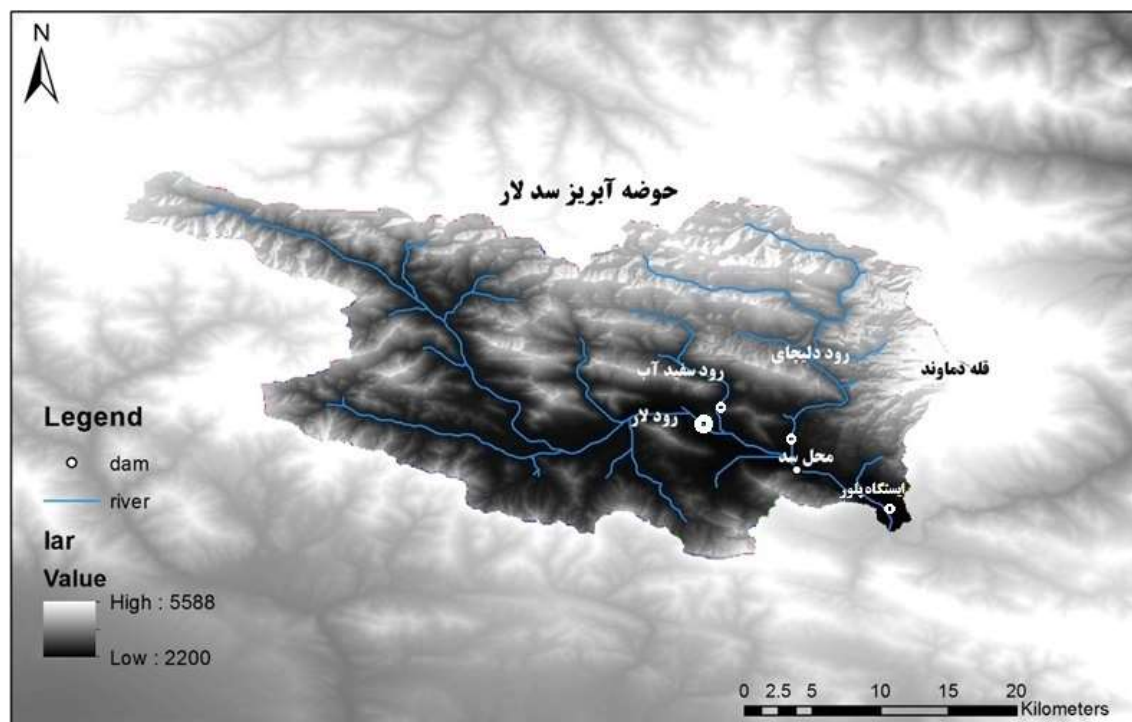
منطقه مورد مطالعه حوضه آبریز سد لار است که در شمال ایران و در میان رشته کوه های البرز مرکزی و در ۷۵ کیلومتری شمال شهر تهران قرار دارد. سد با کاربری شرب، کشاورزی و تولید برق و با ظرفیت ۹۰۰ میلیون متر مکعب احداث گردید. متوسط شیب حوضه ۳/۳۵ درجه و متوسط شیب رودخانه های آن ۱/۱۳ درجه است. طول کل رودخانه های واریزی به سد ۶۷/۲۴ کیلومتر است. موقعیت جغرافیایی سد در محدوده ای با عرض جغرافیایی ۳۵/۸۸ شمالی و طول جغرافیایی ۵۱/۹۹ شرقی و کنار قله دماوند است که قسمت غربی قله در حوضه آبریز سد لار قرار دارد. پوشش گیاهی منطقه مراتع مرغوب و استپی گاه با درخت های پراکنده است. از نظر تقسیمات کشوری محدوده طرح مشترک بین استان تهران و استان مازندران است، ولی اداره آن با آب منطقه ای تهران است.



شکل (۴-۱) موقعیت سد لار نسبت به ۲ شهر تهران و آمل

در روی شکل (۴-۱) موقیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است. مساحت

حوضه سد لار در حدود ۷۵۸ کیلومتر مربع است. حداکثر ارتفاع ۵۵۰۰ متر و حداقل ارتفاع آن ۲۲۰۰ متر از سطح دریا است.



شکل (۴-۲) نقشه حوضه آبریز سد لار و محل سد و رودخانه های ورودی به سد

۴-۲- شبکه هیدرومتری موجود

در منطقه مورد مطالعه که شامل حوضه آبریز سد لار می باشد، سه رودخانه به نام های لار، گزل دره و سفیدآب وجود دارد. از نظر اندازه رودخانه لار بزرگتر از دو رودخانه دیگر است. بعد از رود لار، رود دلچای و کوچکتر از دو رود دیگر، رودخانه سفید آب است. و سه ایستگاه هیدرومتری (آب سنجی) لارگزل روی رودخانه اصلی لار، دلچای روی رودخانه دلچای و سفیدآب روی رودخانه

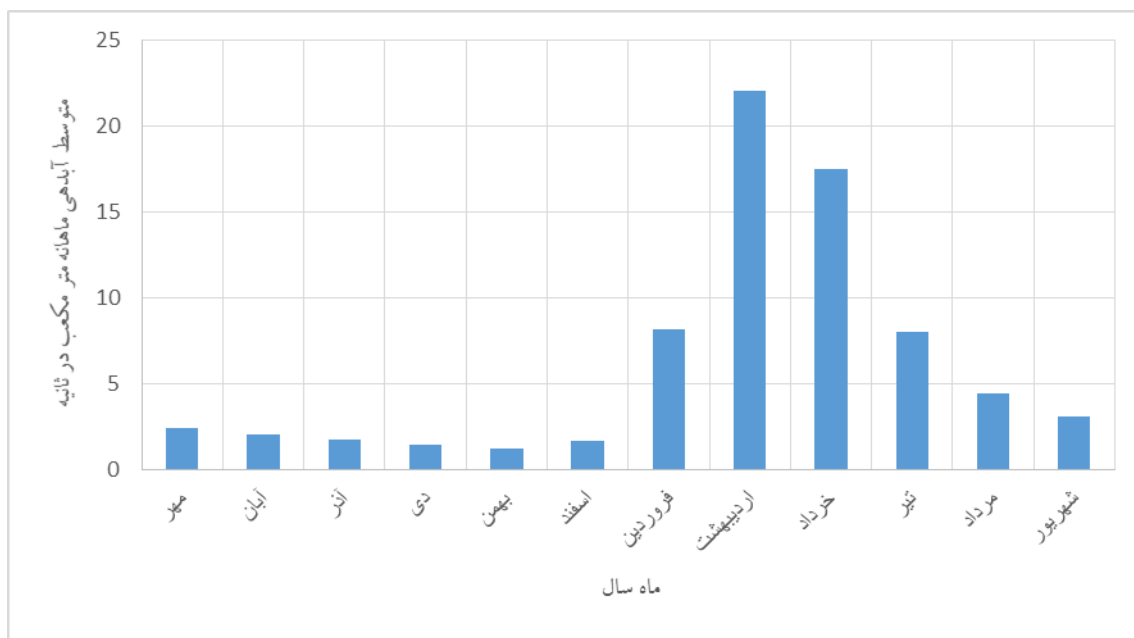
سفیدآب وجود دارد. هر یک از این سه رودخانه به طور مجزا از هم به سد روانه می شوند که برای قسمت دبی مشاهداتی در مدل مجموع دبی سه رودخانه وارد مدل می شود. جدول زیر مشخصات و موقعیت ایستگاه های آب سنجی موجود در محدوده مورد مطالعه را نشان می دهد. همچنین در تصویر (۲-۴) موقعیت ایستگاه ها و رودخانه های ورودی به سد نمایش داده شده است.

جدول (۱-۴) مشخصات و موقعیت ایستگاه های محدوده طرح تحقیقاتی

رودخانه	ایستگاه	سال تاسیس	مساحت حوضه (کیلومتر مربع)	ارتفاع (متر)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
لار	لارگزل	۱۳۶۳	۴۱۰	۲۵۲۰	۳۵/۹۱	۵۱/۸۸
دلیچای	دلیچای	۱۳۵۳	۲۰۶	۲۵۳۹	۳۵/۹۱	۵۱/۹۹
سفیدآب	سفیدآب	۱۳۶۴	۵۴	۲۵۰۸	۳۵/۹۲	۵۱/۹۴

۴-۲-۱-آبدهی رودخانه لار

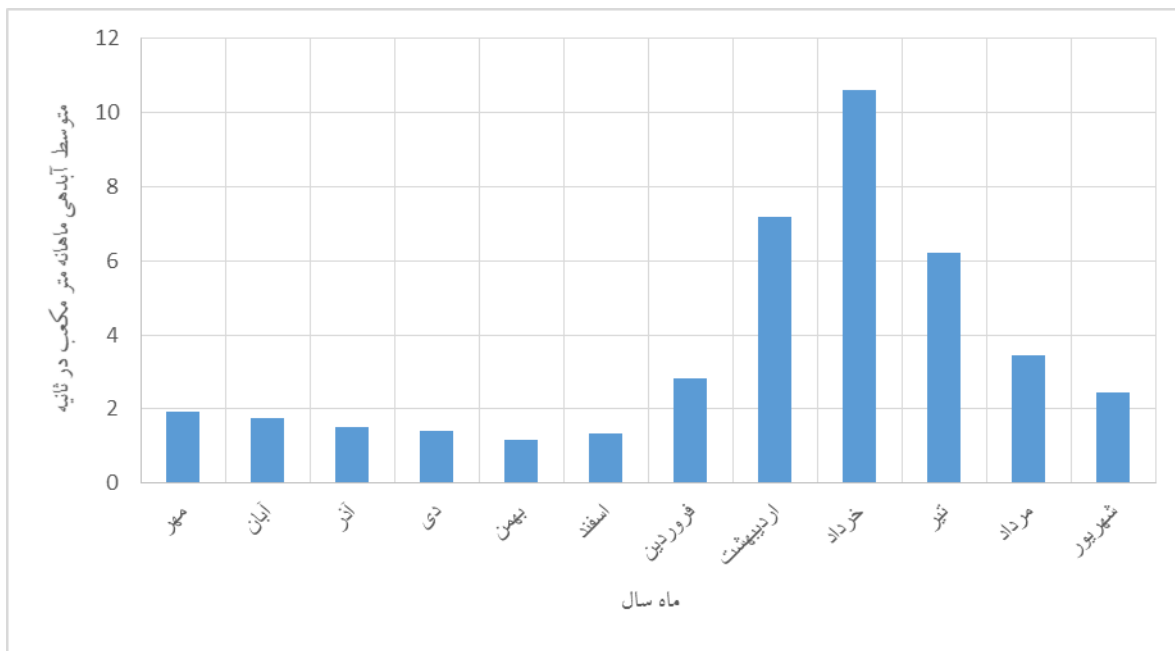
ایستگاه گزل دره روی رودخانه لار دارای ۴۱ سال آمار آبدهی مشاهداتی (از سال ۵۳- ۱۳۵۲ تا ۹۲-۱۳۹۱) می باشد. بر اساس این آمار متوسط آبدهی سالیانه بلند مدت این رودخانه ۶/۱۶ متر مکعب در ثانیه (معادل ۱۹۴/۲۶ میلیون متر مکعب در سال) محاسبه گردیده است. حداقل آبدهی متوسط سالیانه ۳/۳۹ متر مکعب در ثانیه مربوط به سال ۷۹-۸۰ و حداکثر آن با ۱۰/۸۸ متر مکعب در ثانیه مربوط به سال ۹۰-۹۱ است. همچنین حداقل آبدهی متوسط ماهیانه ۱/۲۶ متر مکعب در ثانیه مربوط به ماه بهمن و حداکثر آن با ۲۲/۰۹ متر مکعب در ثانیه مربوط به ماه اردیبهشت است.



شکل (۳-۴) متوسط آبدهی ماهانه رودخانه لار در ایستگاه گزل دره

۴-۲-۲- آبدهی رودخانه دلیچای

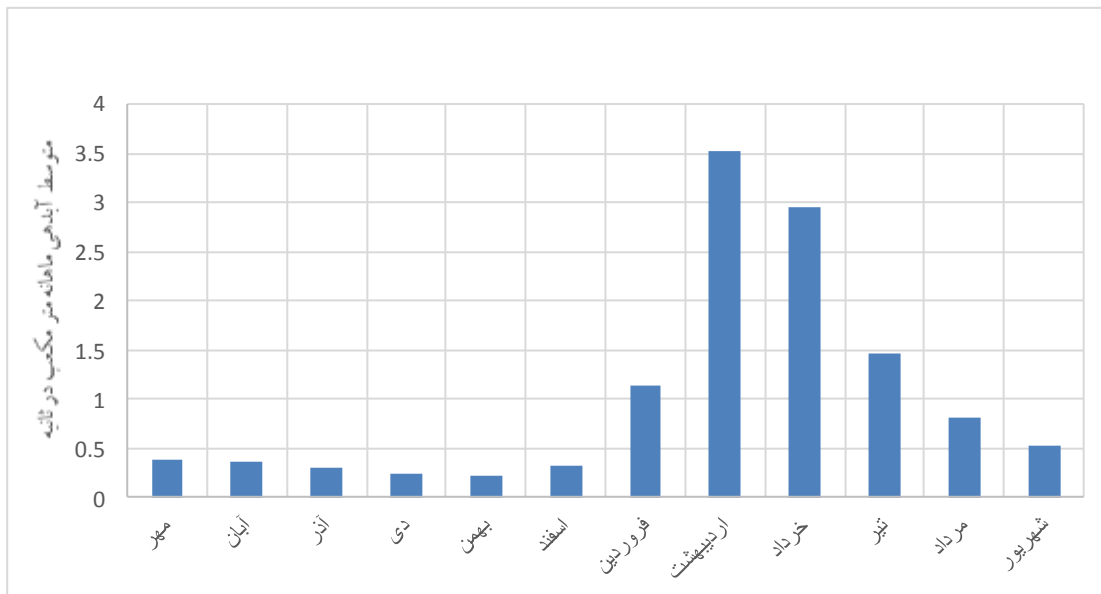
ایستگاه دلیچای که روی رودخانه دلیچای قرار دارد، دارای ۴۱ سال آمار آبدهی مشاهداتی (از سال ۱۳۵۳-۵۳ تا ۱۳۹۱-۹۲) می باشد. بر اساس این آمار متوسط آبدهی سالیانه بلند مدت این رودخانه ۳/۴۸ متر مکعب در ثانیه (معادل ۱۰۹/۷۴ میلیون متر مکعب) در سال محاسبه گردیده است. حداقل آبدهی متوسط سالیانه ۱/۴۵ متر مکعب در ثانیه مربوط به سال ۶۰-۵۹ و حداکثر آن با ۵/۱۹ متر مکعب در ثانیه مربوط به سال ۸۲-۸۱ است. همچنین حداقل آبدهی متوسط ماهیانه ۱/۱۷ متر مکعب در ثانیه مربوط به ماه بهمن و حداکثر آن با ۱۰/۵۹ متر مکعب در ثانیه مربوط به ماه خرداد است.



شکل (۴-۴) متوسط آبدهی ماهانه رودخانه دلیچای در ایستگاه دلیچای

۴-۲-۳- آبدهی رودخانه سفیدآب

ایستگاه هیدرومتری سفید آب که روی رودخانه سفید واقع است، دارای ۲۹ سال آمار آبدهی مشاهداتی (از سال ۱۳۶۴-۶۵ تا ۱۳۹۱-۹۲) می باشد. بر اساس این آمار متوسط آبدهی سالیانه بلند مدت این رودخانه ۱/۰۲ متر مکعب در ثانیه (معادل ۳۲/۱۶ میلیون متر مکعب) در سال محاسبه گردیده است. حداقل آبدهی متوسط سالیانه ۰/۳۵ متر مکعب در ثانیه مربوط به سال ۷۹-۸۰ و حداکثر آن با ۱/۶۲ متر مکعب در ثانیه مربوط به سال ۷۰-۷۱ است. همچنین حداقل آبدهی متوسط ماهیانه ۰/۲۱ متر مکعب در ثانیه مربوط به ماه بهمن و حداکثر آن با ۳/۵۳ متر مکعب در ثانیه مربوط به ماه اردیبهشت است.



شکل (۴-۵) متوسط آبدهی ماهانه رودخانه سفیدآب در ایستگاه سفیدآب

۴-۳- تقسیم بندی حوضه آبریز

با توجه به ویژگی مدل SRM در تقسیم بندی حوضه در محدوده ارتفاعی ۵۰۰ متر، حوضه

آبریز لار به ۵ منطقه تقسیم بندی می شود. در جدول زیر محدوده ارتفاعی با نام و مساحت هر منطقه آمده است.

جدول (۲-۴) تقسیم بندی حوزه آبریز براساس ارتفاع

Zone	محدوده ارتفاعی	مساحت (Km ²)
A	۲۵۰۰-۳۰۰۰	۳۳۱/۵
B	۳۰۰۰-۳۵۰۰	۲۷۸/۴۵
C	۳۵۰۰-۴۰۰۰	۱۳۷/۲۲
D	۴۰۰۰-۴۵۰۰	۱۰/۹۱
E	۴۵۰۰-۵۰۰۰	۱/۷

فصل پنجم:

اجراء، شبیه سازی و ارزیابی

مدل SRM

۵-۱- مقدمه

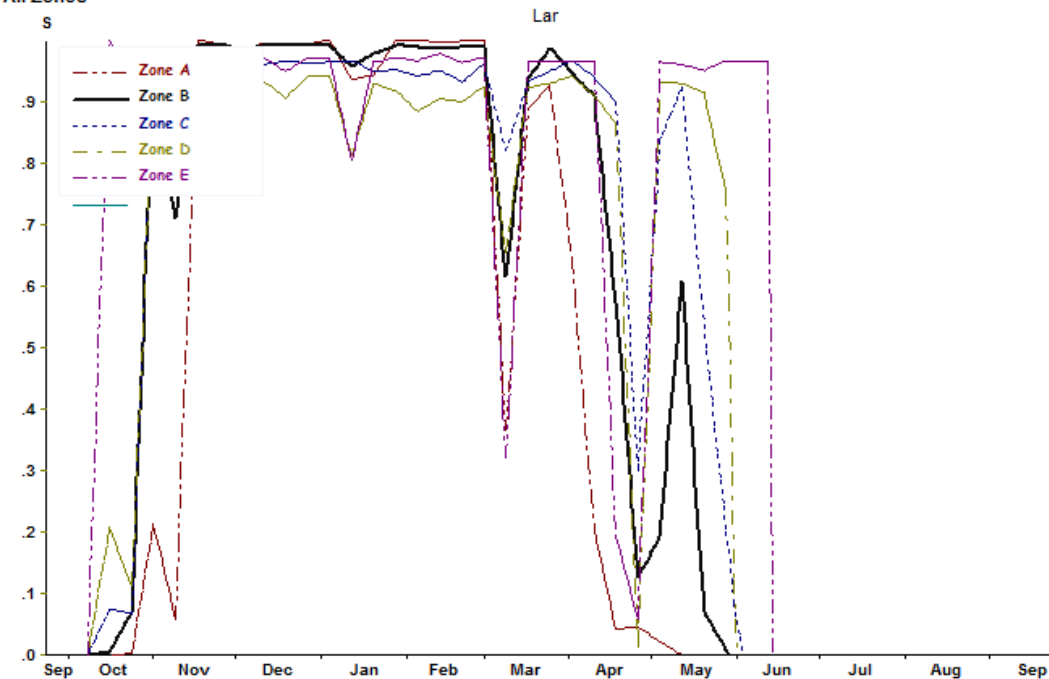
همان گونه که گفته شد به منظور مدل سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه سد لار ابتدا با استفاده از داده های ماهواره ای بدست آمده از سنجنده MODIS سطح پوشش برف در این حوضه بدست آمد. با توجه به اینکه داده های MODIS، ۸ روزه هستند و مدل برای اجرا نیاز به داده های روزانه دارد، بنابراین اطلاعات برف درون یابی می شود. برای درون یابی داده های برفی از درون یابی خطی استفاده می کنیم.

۵-۲- تغییرات سطح پوشش برف

برای استخراج داده های سطح پوشش برف در طول ۴ سال ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳، از ۲۳ سپتامبر (۱ مهر) هر سال تا ۳۰ می (۱۰ خرداد) سال بعد ۳۱ عکس ۸ روزه بدست آمد (۱۲۴ تصویر برای ۴ سال)، که با توجه به فواصل کم از درون یابی خطی استفاده شده است. همان طور که در تصویر (۵-۱) مشاهده می گردد، برف در منطقه از اوایل اکتبر و با کاهش دما، شروع و افزایش می یابد و با نوسانات دما تغییر می کند و با افزایش دما، سطح پوشش برف کاهش یافت. همزمان با افزایش دما و کاهش سطوح برفی رواناب افزایش می یابد و این افزایش در ماه آوریل شروع شده و در ماه ژوئن شروع به کاهش می کند. در تصاویر (۵-۱) تا (۵-۴) می توان تغییرات ۸ روزه سطوح برفی را برای سال های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ مشاهده کرد.

09/23/2009 to 09/22/2010

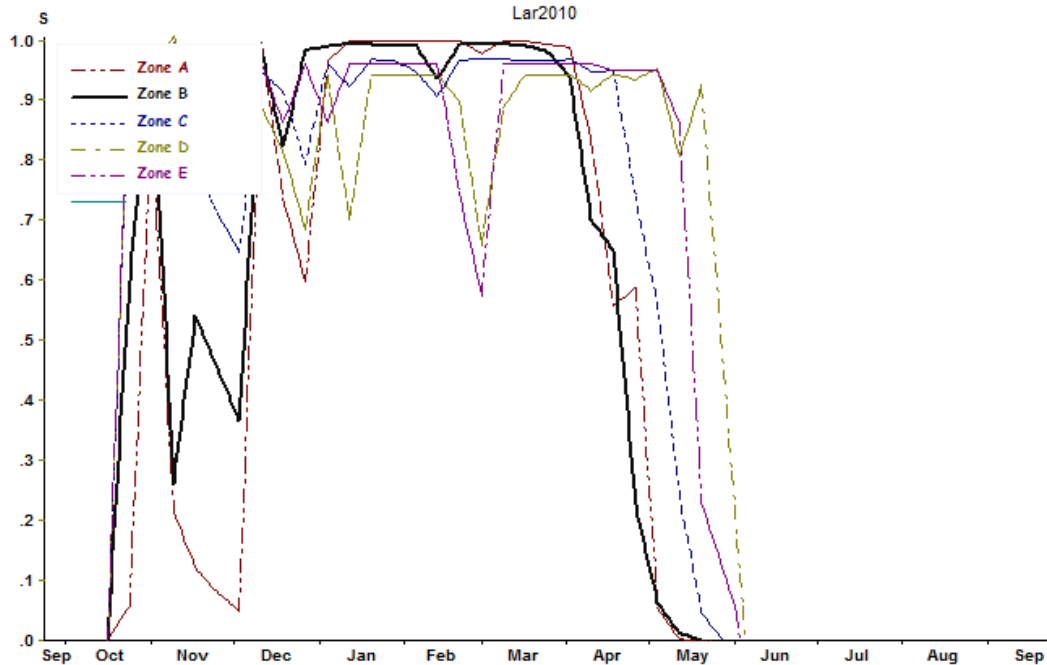
All Zones



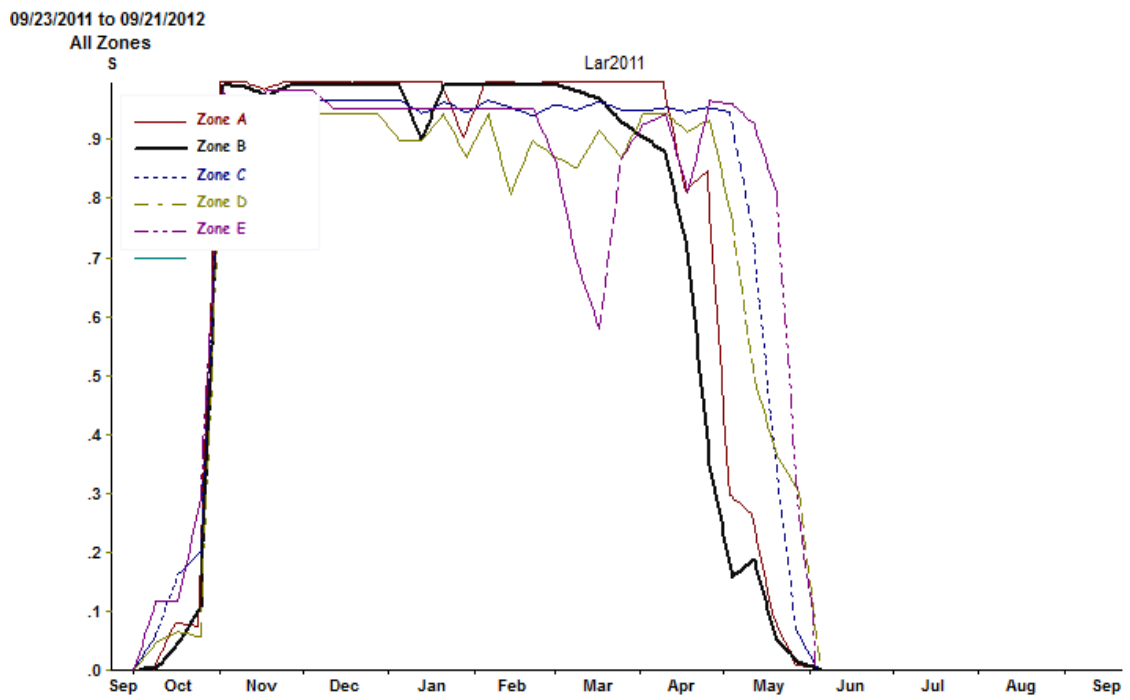
شکل (۱-۵) نمودار پوشش برفی برای مناطق ارتفاعی در سال ۲۰۰۹-۲۰۱۰

09/23/2010 to 09/22/2011

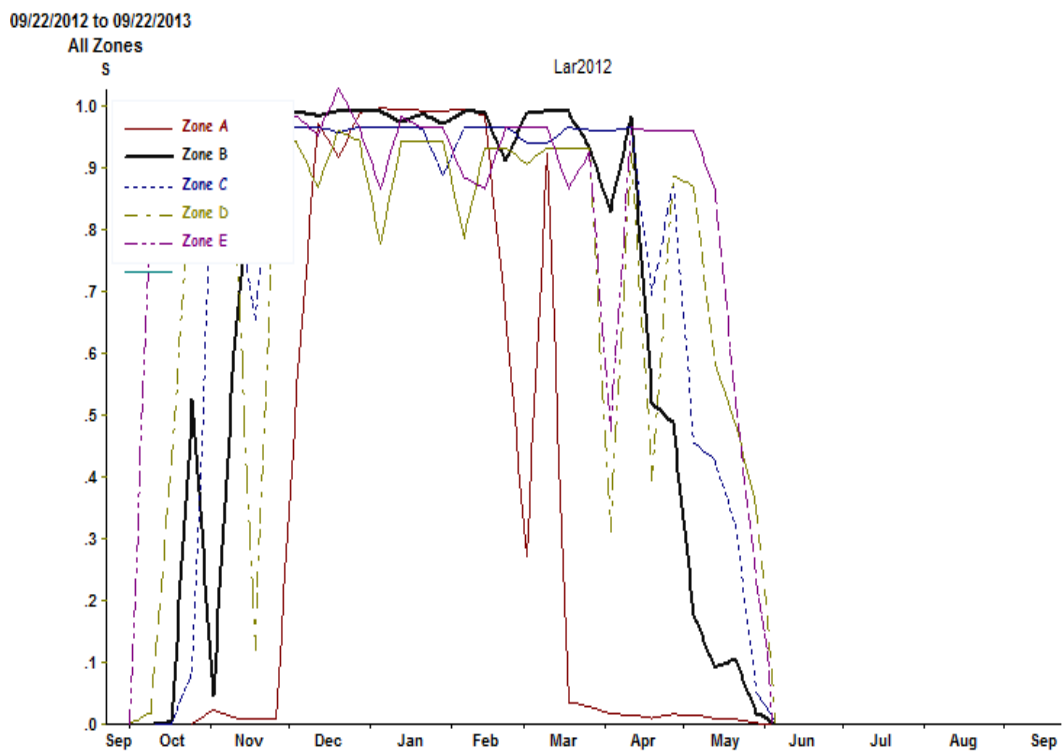
All Zones



شکل (۲-۵) نمودار پوشش برفی برای مناطق ارتفاعی در سال ۲۰۱۰-۲۰۱۱



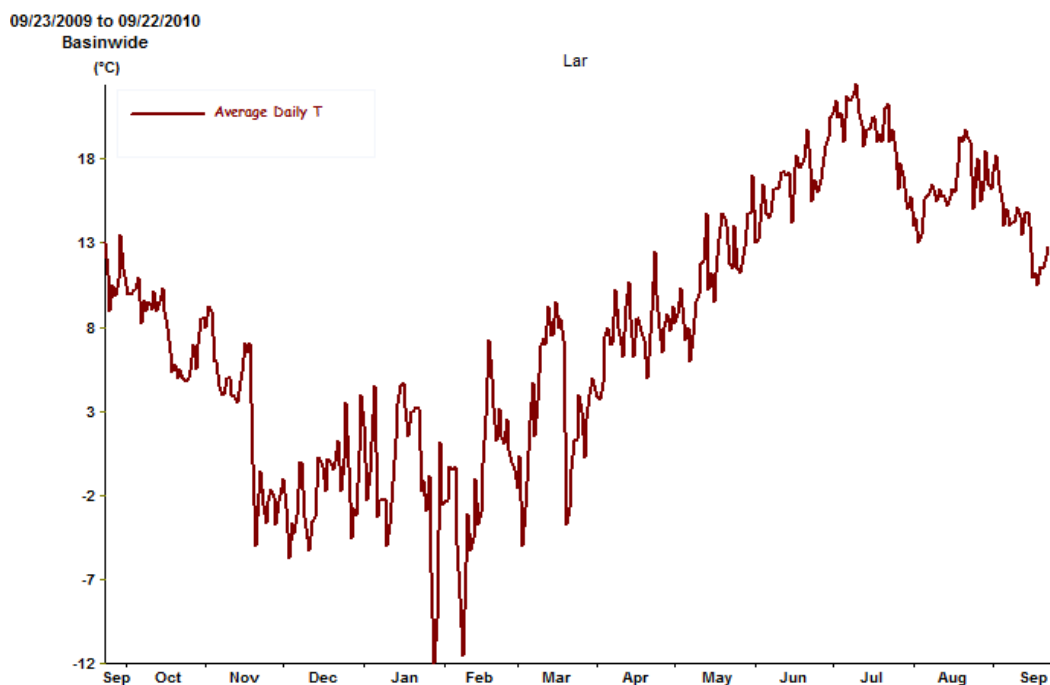
شکل (۳-۵) نمودار پوشش برفی برای مناطق ارتفاعی در سال ۲۰۱۱-۲۰۱۲



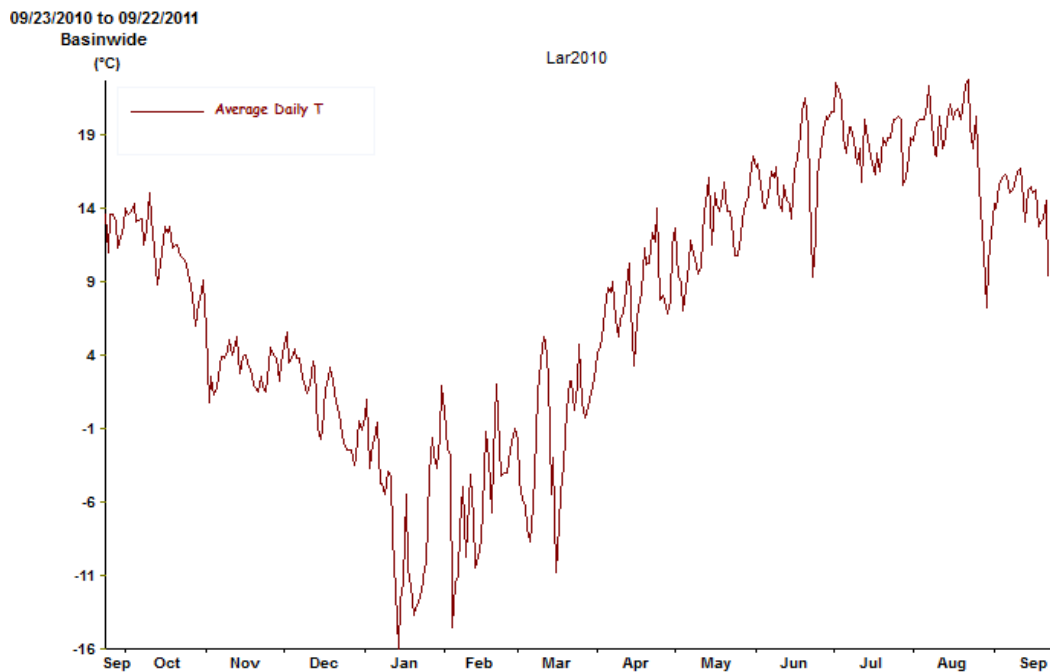
شکل (۴-۵) نمودار پوشش برفی برای مناطق ارتفاعی در سال ۲۰۱۲-۲۰۱۳

۵-۳- تغییرات متوسط دما و باران در حوضه لار

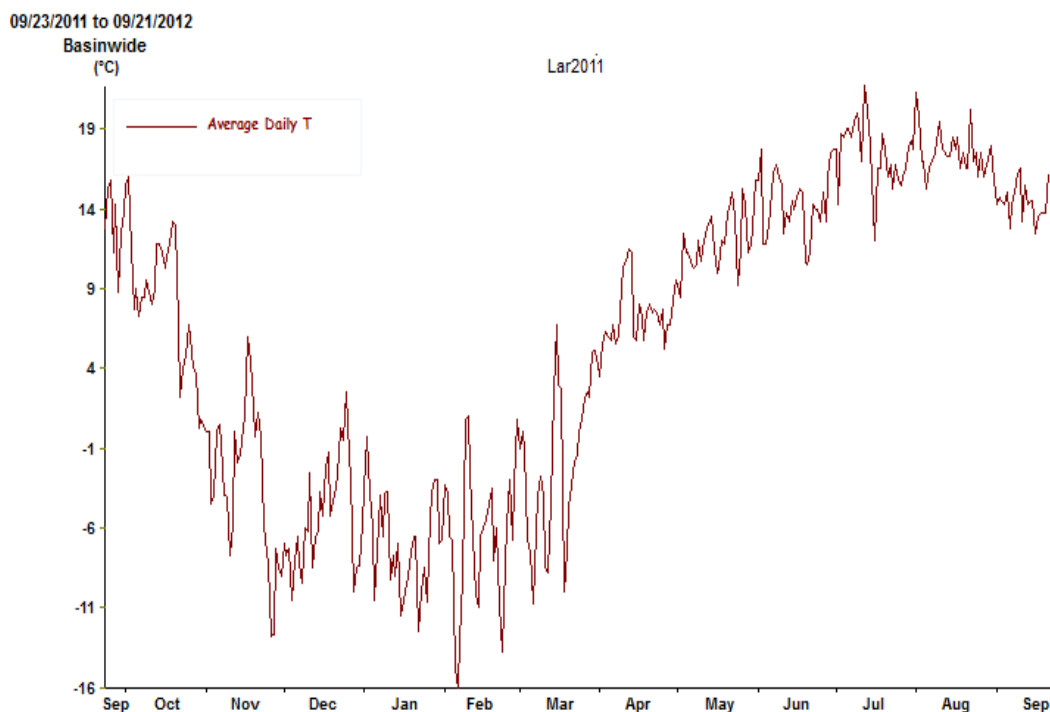
برای دما و بارش از داده های ایستگاه پلور استفاده شد. در شکل های (۵-۵) تا (۸-۵) نمودار تغییرات متوسط دمای سطح زمین و در شکل های (۹-۵) تا (۱۲-۵) نمودار میزان بارش در طی سال های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ نمایش داده شده است.



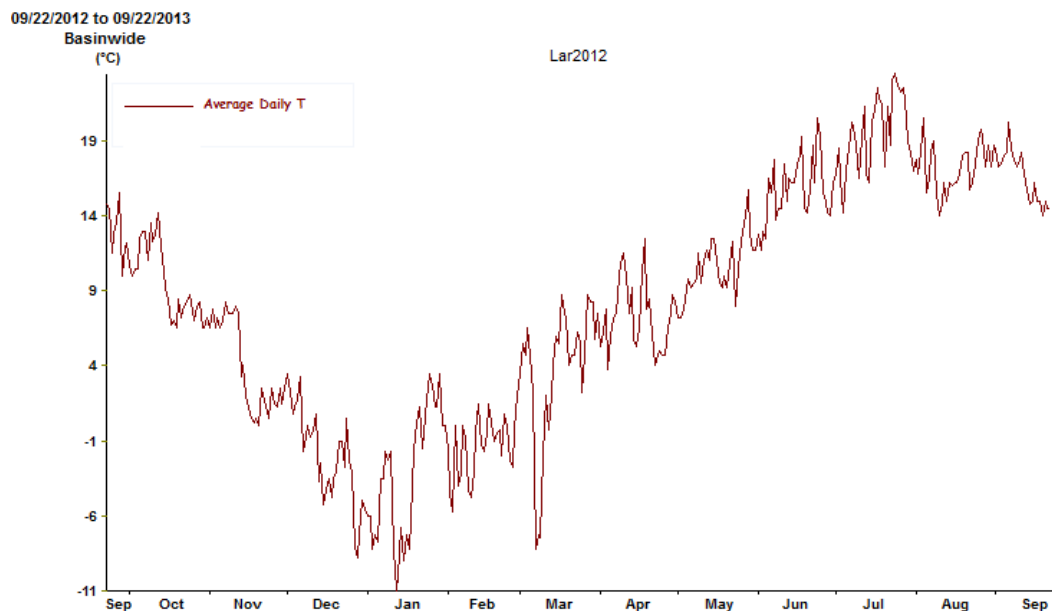
شکل (۵-۵) نمودار تغییرات متوسط دمای سطح زمین در سال ۲۰۰۹-۲۰۱۰



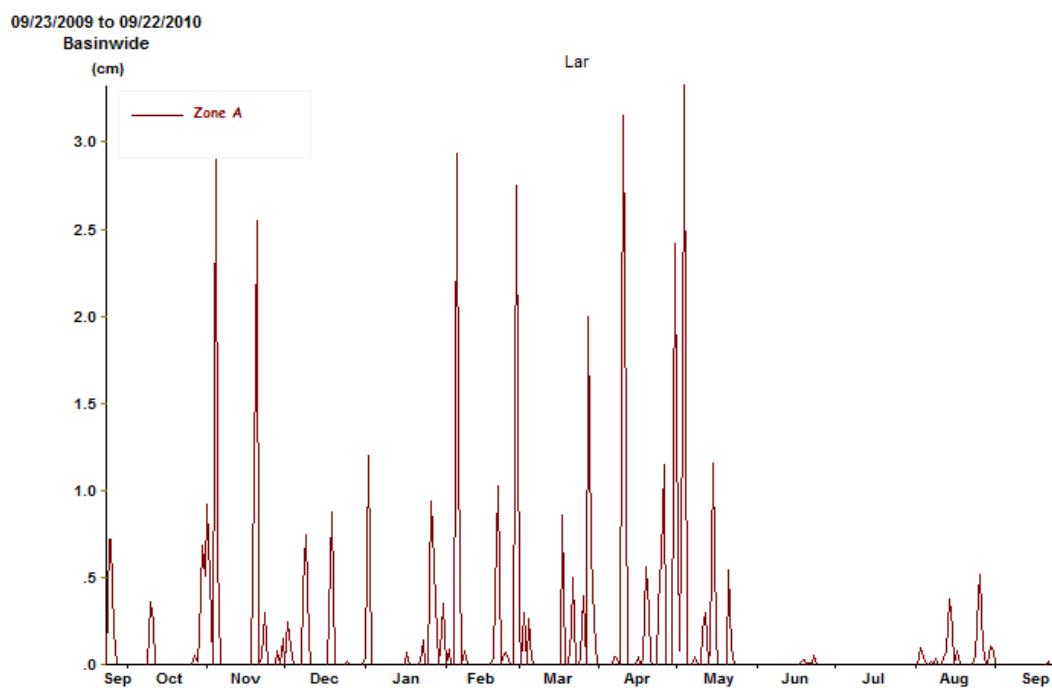
شکل (۵-۶) نمودار تغییرات متوسط دمای سطح زمین در سال ۲۰۱۰-۲۰۱۱



شکل (۵-۷) نمودار تغییرات متوسط دمای سطح زمین در سال ۲۰۱۱-۲۰۱۲



شکل (۸-۵) نمودار تغییرات متوسط دمای سطح زمین در سال ۲۰۱۲-۲۰۱۳



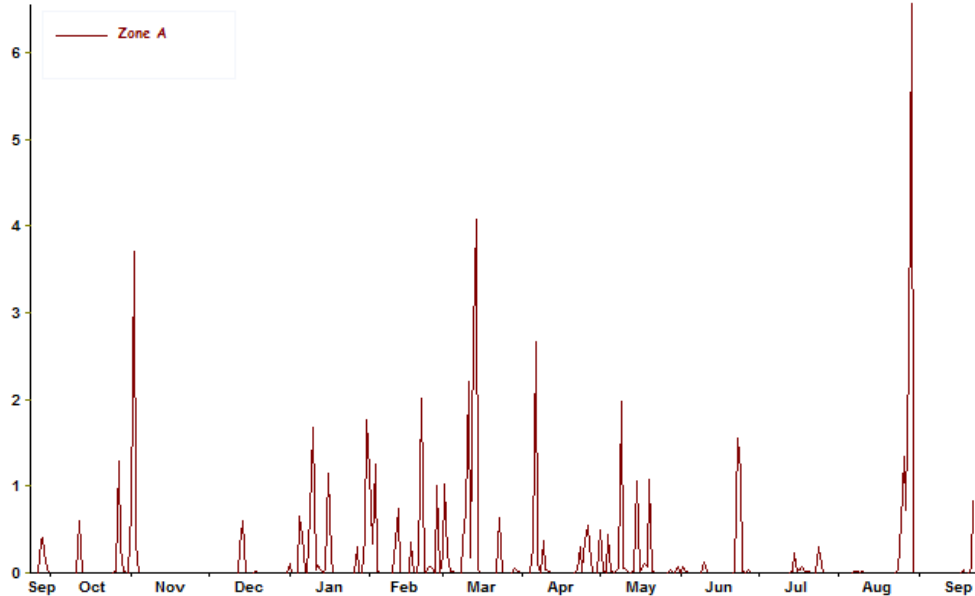
شکل (۹-۵) نمودار بارش باران در سال ۲۰۰۹-۲۰۱۰

09/23/2010 to 09/22/2011

Basinwide

(cm)

Lar2010



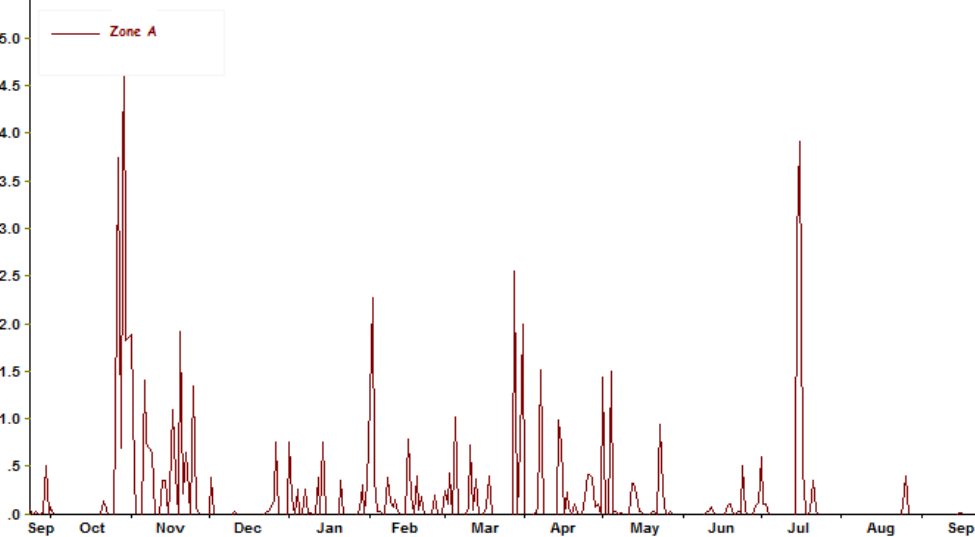
شکل (۵-۱۰) نمودار بارش باران در سال ۲۰۱۰-۲۰۱۱

09/23/2011 to 09/21/2012

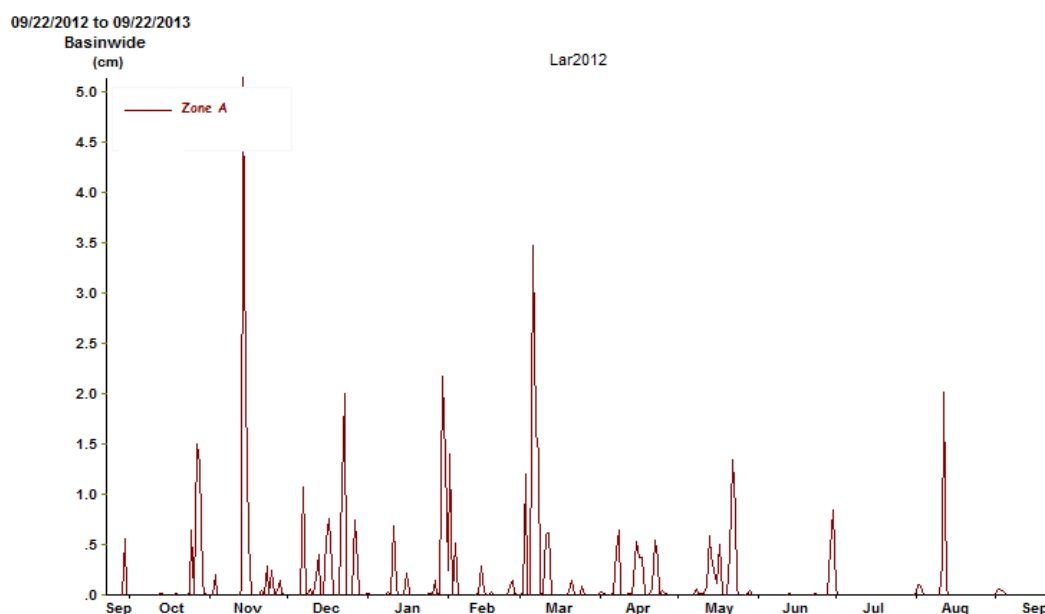
Basinwide

(cm)

Lar2011



شکل (۵-۱۱) نمودار بارش باران در سال ۲۰۱۱-۲۰۱۲



شکل (۵-۱۲) نمودار بارش باران در سال ۲۰۱۲-۲۰۱۳

۵-۴- نتایج اجرا و کالیبره کردن مدل SRM در مدل سازی رواناب ذوب برف

همانگونه که در انتهای فصل دوم توضیح داده شد، کالیبراسیون مدل SRM به صورت دستی می باشد و برای انجام شبیه سازی ذوب برف، ابتدا مدل برای حوضه سد لار کالیبره شد. برای کالیبره کردن مدل از داده های سال های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ استفاده گردید. در شکل های (۵-۱۳) و (۵-۱۴) نتیجه کالیبراسیون مدل برای سال های فوق الذکر نشان داده شده است. نتایج کالیبره مدل و پارامترهای بدست آمده به شرح زیر است:

۱) ضریب رواناب : ضریب رواناب، نسبت رواناب اندازه گیری شده به بارش اندازه گیری شده است. در مدل SRM مقدار ضریب رواناب برف و ضریب رواناب باران از یکدیگر تفکیک شده اند. از میان پارامترهای مختلف مورد استفاده در این مدل، ضریب رواناب اولین گزینه برای کالیبره کردن مدل است. مقدار ضریب رواناب ناشی از برف بین ۰/۴ تا ۰/۹ و ضریب رواناب ناشی از باران بین ۰/۴ تا ۰/۸۵ بدست آمد.

۲) فاکتور درجه - روز : فاکتور درجه - روز از پارامتر های بسیار موثر در شبیه سازی رواناب است. این پارامتر در ماه های مختلف متفاوت بوده و در برخی اثر یک پیشامد، مانند بارش برف جدید، مقدار این پارامتر باید به صورت دستی اصلاح و وارد مدل گردد تا اینکه شرایط غیر عادی ذوب برف را نشان دهد. در این تحقیق فاکتور درجه - روز بین ۰/۲۵ تا ۰/۴۵ متغیر است.

۳) گرادیان درجه حرارت : همان طور که می دانیم با بالا رفتن از سطح زمین دما کاهش می یابد. بنابراین برای اینکه تغییرات دما در ارتفاعات مختلف به واقعیت نزدیک تر باشد باید اطلاعات مربوط به یک استگاه هواشناسی که در ارتفاع مشخصی قرار دارد به محدوده ارتفاعی کل حوضه تعمیم داده شود. بدین منظور از پارامتری به نام گرادیان درجه حرارت استفاده می گردد در شبیه سازی های مدل SRM معمولاً یک گرادیان دما در حدود ۰/۶۵ درجه سانتی گراد در هر ۱۰۰ متر ارتفاع، در نظر گرفته می شود. در این تحقیق نیز گرادیان درجه حرارت همین مقدار لحاظ شد.

۴) درجه حرارت بحرانی : به منظور تعیین باران و یا برف بودن بارش اندازه گیری شده از پارامتری به نام درجه حرارت بحرانی استفاده می شود. در این تحقیق مقدار این پارامتر، بین ۰/۳ تا ۱/۵ درجه سانتی گراد در نظر گرفته شد.

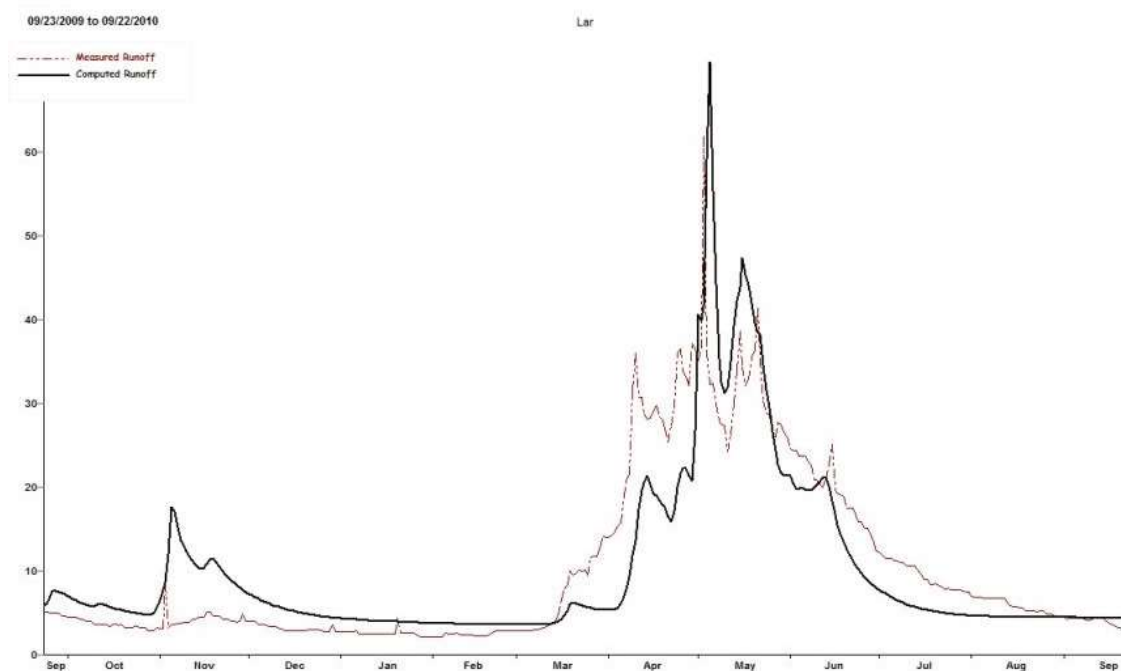
۵) ضریب فروکش : در اجرای مدل SRM مقدار متغیر x ، ۱/۰۸ تا ۱/۱ و متغیر y ، ۰/۳۷ تا ۰/۶۲ در نظر گرفته شد.

۶) زمان تاخیر : با توجه به وسعت حوضه آبریز سد لار زمان تاخیر ۹ ساعت در نظر گرفته شد.

نتایج بدست آمده از کالیبراسیون مدل بصورت خلاصه در جدول (۵-۱) آورده شده است.

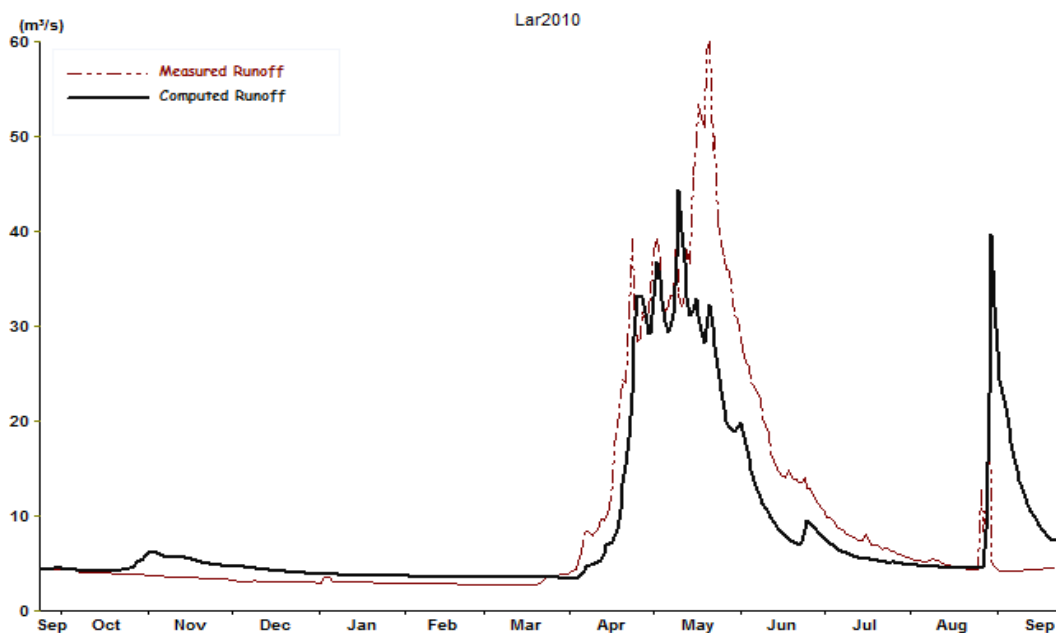
جدول (۵-۱) مقادیر کالیبره شده ی پارامترهای ورودی مدل SRM

مقدار و محدوده	پارامتر
۰/۴-۰/۹	ضریب رواناب برف (C_s)
۰/۴-۰/۸۵	ضریب رواناب برف (C_r)
۰/۴۵-۰/۲۵	فاکتور درجه-روز (α)
۰/۶۵	گرادیان درجه حرارت (γ)
۱/۵-۰/۳	درجه حرارت بحرانی (T_{crit})
۱/۱-۱/۰۸	ضریب فروکش (x)
۰/۰۶۲-۰/۰۳۷	ضریب فروکش (y)
۹ ساعت	زمان تاخیر (T_I)



شکل (۵-۱۳) نمودار نتیجه کالیبراسیون مدل SRM برای سال ۲۰۰۹-۲۰۱۰

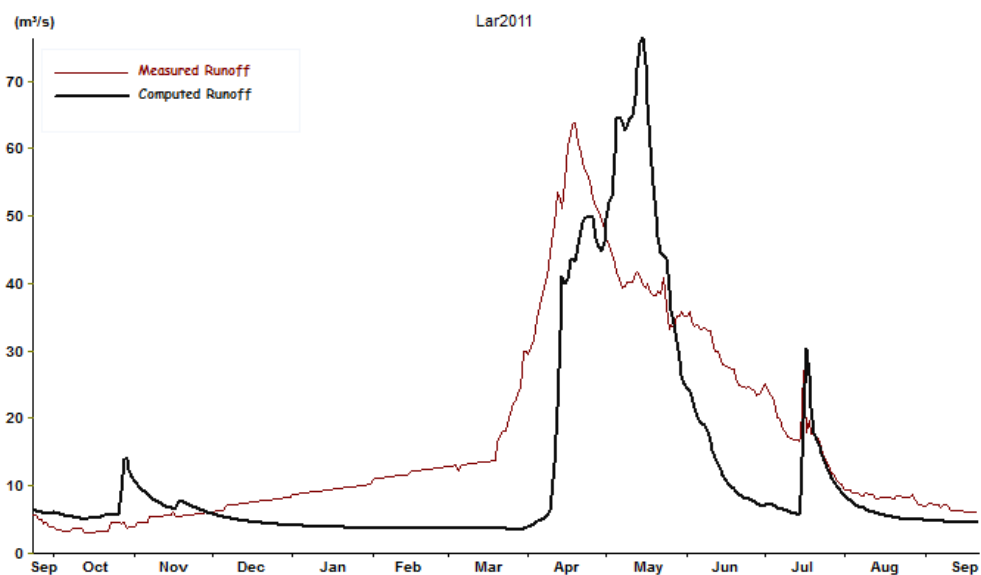
09/23/2010 to 09/22/2011



شکل (۵-۱۴) نمودار نتیجه کالیبراسیون مدل SRM برای سال ۲۰۱۰-۲۰۱۱

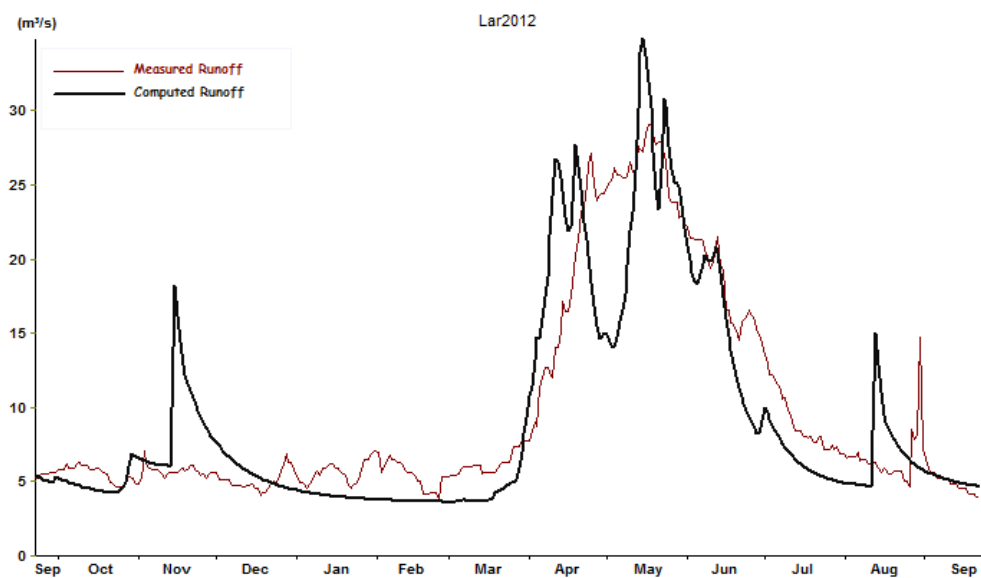
بعد از کالیبره کردن مدل و به منظور مدل سازی رواناب ذوب برف با استفاده از مدل SRM و با توجه به اطلاعات روزانه سطح پوشش برف، دما، بارش و دبی مشاهداتی مدل اجرا و رواناب حاصل از ذوب برف برای حوضه سد لار تعیین گردید. شکل های (۵-۱۵) و (۵-۱۶) نتایج اعتبار سنجی مدل SRM را به ترتیب طی سال های ۲۰۱۱-۲۰۱۲ و ۲۰۱۲-۲۰۱۳ در حوضه آبریز سد لار نشان می دهد.

09/23/2011 to 09/21/2012



شکل (۵-۱۵) نمودار نتیجه اعتبار سنجی مدل برای سال ۲۰۱۱-۲۰۱۲

09/22/2012 to 09/22/2013



شکل (۵-۱۶) نمودار نتیجه اعتبار سنجی مدل برای سال ۲۰۱۲-۲۰۱۳

۵-۵- ارزیابی مدل

بعد از اجرا، واسنجی و اعتبار سنجی مدل SRM، برای ارزیابی دقت مدل، از دو معیار ضریب تبیین (R^2) و تفاضل حجم (D_v) می شود. جدول (۲-۵) مقادیر ارزیابی دقت مدل را در شبیه سازی رواناب با استفاده از مدل SRM نشان می دهد. با توجه به جدول (۱-۲) که نتایج بدست آمده از اجرای مدل SRM در برخی از حوضه های چند کشور مختلف بود، می توان نتایج بدست آمده از اجرای مدل در حوضه سد لار را قابل قبول دانست.

جدول (۲-۵) نتایج ضریب تبیین و تفاضل حجم برای سال های ۲۰۰۹-۲۰۱۳

دوره شبیه سازی	ضریب تبیین (R^2)	درصد تفاضل حجم (D_v)
۲۰۰۹-۲۰۱۰	۰/۶۹۳۸	۲/۴۲۲۷
۲۰۱۰-۲۰۱۱	۰/۷۰۳۳	۸/۶۸۵۱
۲۰۱۱-۲۰۱۲	۰/۳۸۰۵	۲۶/۵۱۶
۲۰۱۲-۲۰۱۳	۰/۷۳۱۵	۵/۶۸۲۹

مقایسه نتایج حاصل از مدل در شبیه سازی رواناب ناشی از بارندگی و ذوب برف در حوضه آبریز سد لار با داده های مشاهداتی طی سال های ۲۰۰۹-۲۰۱۳ حاکی از دقت خوب مدل و قابل قبول با ضریب همبستگی ۳۸ تا ۷۳ درصد می باشد. بالاترین دقت شبیه سازی با ضریب همبستگی بالای ۷۳ درصد و تفاضل حجم ۵/۶ مربوط به سال ۲۰۱۲-۲۰۱۳ و کمترین مربوط به سال ۲۰۱۲-۲۰۱۱ با ضریب همبستگی ۳۸ درصد و تفاضل حجمی ۲۶/۵ است.

با توجه به نمودار های تغییرات دما برای سال های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳ در شکل های (۵-۵) تا (۵-۸) و نمودار های واسنجی و اعتبار سنجی مدل در شکل های (۵-۱۳) تا (۵-۱۶) می توان به این نتیجه رسید که با کاهش دما رواناب کمتر شده و با افزایش متوسط دمای هوا بر میزان رواناب در این منطقه افزوده می شود. و این نشان دهنده پیروی از روند کلی یکسان در داده های مشاهداتی منطقه

است. و می توان به صورت کلی نتیجه گرفت که افزایش دما منجر به افزایش ذوب برف و در نتیجه افزایش میزان آبدهی در منطقه است.

۵-۶- تعیین سهم رواناب حاصل از ذوب برف در آورد رودخانه های حوضه سد لار

مدل SRM این قابلیت را دارد که رواناب حاصل از ذوب برف و رواناب ناشی از بارش باران را از هم تفکیک کند. در جداول (۳-۵) تا (۶-۵) این مقادیر به تفکیک مناطق ارتفاعی و برای سال های ۲۰۰۹-۲۰۱۳ ارائه شده است.

با توجه به توپوگرافی و کوهستانی بودن منطقه ملاحظه می شود رواناب ناشی از ذوب برف سهم بسزایی در کل رواناب ایجاد شده در منطقه دارد.

جدول (۳-۵) ارتفاع و حجم رواناب ناشی از ذوب برف و باران به تفکیک مناطق ارتفاعی برای سال ۲۰۰۹-۲۰۱۰

دوره شبیه سازی		۲۰۰۹-۲۰۱۰	
مناطق ارتفاعی	رواناب ناشی از باران	رواناب ناشی از برف	مناطق ارتفاعی
مساحت (Km ²)	ارتفاع رواناب (Cm)	حجم رواناب (10 ⁴ m ³)	ارتفاع رواناب (Cm)
محدوده ارتفاعی	ارتفاع رواناب (Cm)	حجم رواناب (10 ⁴ m ³)	حجم رواناب (10 ⁴ m ³)
۲۵۰۰-۳۰۰۰	۳۳۱/۵	۲۹/۷۲	۹۸۵۲/۱۸
۳۰۰۰-۳۵۰۰	۲۷۸/۴۵	۱۷/۵۱	۴۸۷۵/۶۵۹۵
۳۵۰۰-۴۰۰۰	۱۳۷/۲۲	۴/۴۸	۶۱۴/۷۴۵۶
۴۰۰۰-۴۵۰۰	۱۰/۹۱	۲/۲۴	۲۴/۴۳۸۴
۴۵۰۰-۵۰۰۰	۱/۷	۰/۹۸	۱/۶۶
جمع	۷۵۹/۷۸	۵۴/۹۳	۱۵۳۶۸/۶۸۹۵
مجموع کل رواناب برف و باران ۱۰^۴ m³ * ۵۷۸۴۶/۷۱۵۶			

جدول (۴-۵) ارتفاع و حجم رواناب ناشی از ذوب برف و باران به تفکیک مناطق ارتفاعی برای سال ۲۰۱۰-۲۰۱۱

دوره شبیه سازی					
۲۰۱۰-۲۰۱۱					
مناطق ارتفاعی		رواناب ناشی از باران		رواناب ناشی از برف	
محدوده ارتفاعی	مساحت (Km ²)	ارتفاع رواناب (Cm)	حجم رواناب (10 ⁴ m ³)	ارتفاع رواناب (Cm)	حجم رواناب (10 ⁴ m ³)
۲۵۰۰-۳۰۰۰	۳۳۱/۵	۲۸/۰۱	۹۲۸۵/۳۱۵	۷۳/۳	۲۴۲۹۸/۹۵
۳۰۰۰-۳۵۰۰	۲۷۸/۴۵	۲۵/۴	۷۰۷۲/۶۳	۵۱/۷۷	۱۴۴۱۵/۳۵۶۵
۳۵۰۰-۴۰۰۰	۱۳۷/۲۲	۱۲/۵۴	۱۷۲۰/۷۳۸۸	۵۹/۳۶	۸۱۴۵/۳۷۹۲
۴۰۰۰-۴۵۰۰	۱۰/۹۱	۵/۲۹	۵۷/۷۱۳۹	۶۵/۰۵	۷۰۹/۶۹۵۵
۴۵۰۰-۵۰۰۰	۱/۷	۱/۵۷	۲/۶۶۹	۵۰/۳۶	۸۵/۶۱۲
جمع	۷۵۹/۷۸	۷۲/۸۱	۱۸۱۳۹/۰۶۶۷	۲۹۹/۸۴	۴۷۶۵۴/۹۹۳۲
مجموع کل رواناب برف و باران $۱۰^۴ \text{ m}^3 * ۶۵۷۹۴/۰۵۹۹$					

جدول (۵-۵) ارتفاع و حجم رواناب ناشی از ذوب برف و باران به تفکیک مناطق ارتفاعی برای سال ۲۰۱۱-۲۰۱۲

دوره شبیه سازی					
۲۰۱۱-۲۰۱۲					
مناطق ارتفاعی		رواناب ناشی از باران		رواناب ناشی از برف	
محدوده ارتفاعی	مساحت (Km ²)	ارتفاع رواناب (Cm)	حجم رواناب (10 ⁴ m ³)	ارتفاع رواناب (Cm)	حجم رواناب (10 ⁴ m ³)
۲۵۰۰-۳۰۰۰	۳۳۱/۵	۲۲/۳۹	۷۴۲۲/۲۸۵	۱۰۵/۸۴	۳۵۰۸۵/۹۶
۳۰۰۰-۳۵۰۰	۲۷۸/۴۵	۱۵/۷۴	۴۳۸۲/۸۰۳	۷۱/۶۵	۱۹۹۵۰/۹۴۲۵
۳۵۰۰-۴۰۰۰	۱۳۷/۲۲	۱۲/۲۲	۱۶۷۶/۸۲۸۴	۷۲/۵۷	۹۹۵۸/۰۵۵۴
۴۰۰۰-۴۵۰۰	۱۰/۹۱	۶/۲۸	۶۸/۵۱۴۸	۶۵/۲۶	۷۱۱/۹۸۶۶
۴۵۰۰-۵۰۰۰	۱/۷	۱/۴۴	۲/۴۴۸	۳۳/۵۹	۵۷/۱۰۳
جمع	۷۵۹/۷۸	۵۸/۰۷	۱۳۵۵۲/۸۷۹۲	۳۴۸/۹۱	۶۵۷۶۴/۰۴۷۵
مجموع کل رواناب برف و باران $۱۰^۴ \text{ m}^3 * ۷۹۳۱۶/۹۲۶۷$					

جدول (۵-۶) ارتفاع و حجم رواناب ناشی از ذوب برف و باران به تفکیک مناطق ارتفاعی برای سال ۲۰۱۲-۲۰۱۳

دوره شبیه سازی ۲۰۱۲-۲۰۱۳					
رواناب ناشی از برف		رواناب ناشی از باران		مناطق ارتفاعی	
حجم رواناب ($10^4 m^3$)	ارتفاع رواناب (Cm)	حجم رواناب ($10^4 m^3$)	ارتفاع رواناب (Cm)	مساحت (Km^2)	محدوده ارتفاعی
۱۹۲۷۳/۱۸۵	۳۰/۹۹	۷۴۲۸/۹۱۵	۲۲/۴۱	۳۳۱/۵	۲۵۰۰-۳۰۰۰
۱۶۱۳۰/۶۰۸۵	۵۷/۹۳	۳۵۴۷/۴۵۳	۱۲/۷۴	۲۷۸/۴۵	۳۰۰۰-۳۵۰۰
۶۶۸۹/۴۷۵	۴۸/۷۵	۸۴۱/۱۵۸۶	۶/۱۳	۱۳۷/۲۲	۳۵۰۰-۴۰۰۰
۵۰۵/۲۴۲۱	۴۶/۳۱	۴۴/۹۴۹۲	۴/۱۲	۱۰/۹۱	۴۰۰۰-۴۵۰۰
۸۴/۰۶۵	۴۹/۴۵	۰/۵۲۷	۰/۳۱	۱/۷	۴۵۰۰-۵۰۰۰
۳۳۶۸۲/۵۷۵۶	۲۳۳/۴۳	۱۱۸۶۳/۰۰۲۸	۴۵/۷۱	۷۵۹/۷۸	جمع
$m^3 \times 10^4$ ۴۵۵۴۵/۵۷۵۶ مجموع کل رواناب برف و باران					

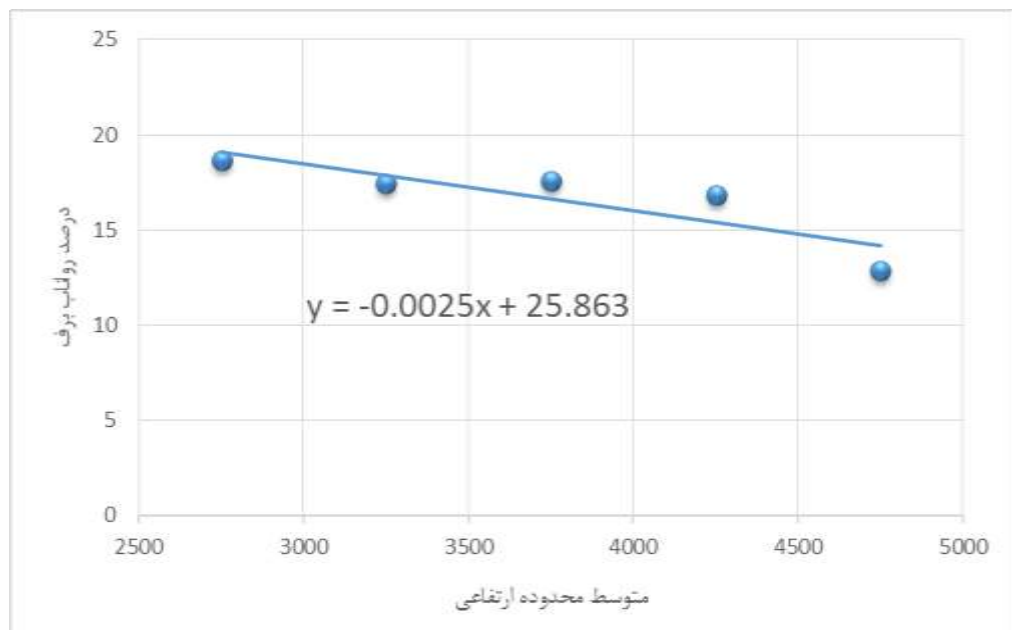
جدول (۵-۷) درصد رواناب برف و باران از کل رواناب ایجاد شده برای سال های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳

درصد رواناب برف	درصد رواناب باران	مجموع رواناب برف (Cm) برای ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳	مجموع رواناب باران (Cm) برای ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۳	محدوده ارتفاعی
۱۸/۶۷	۷/۳۸	۲۵۹/۲۱	۱۰۲/۵۳	۲۵۰۰-۳۰۰۰
۱۷/۴۲	۵/۱۴	۲۴۱/۹۱	۷۱/۳۹	۳۰۰۰-۳۵۰۰
۱۷/۵۵	۲/۵۴	۲۴۳/۶۹	۳۵/۳۷	۳۵۰۰-۴۰۰۰
۱۶/۸۳	۱/۲۹	۲۳۳/۷۱	۱۷/۹۳	۴۰۰۰-۴۵۰۰
۱۲/۸۳	۰/۳	۱۷۸/۱	۴/۳	۴۵۰۰-۵۰۰۰
		۱۱۵۶/۶۲	۲۳۱/۵۲	جمع

برای حوضه لار، برف ۸۳/۳ درصد و باران ۱۶/۷ درصد از رواناب کل را تشکیل می دهند. همانگونه که ملاحظه می شود برف عامل اصلی ایجاد رواناب در حوضه می باشد. با توجه به تقسیم بندی حوضه به ۵ منطقه ارتفاعی در مدل و سهم هریک از مناطق در ایجاد رواناب، با توجه به جدول (۷-۵) در ارتفاعات پایین تر سهم باران در تشکیل رواناب نسبت به سطوح ارتفاعی بالاتر بیشتر است. برای مثال در محدوده ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متری سهم باران در تشکیل رواناب ۷/۳۸ درصد است، در حالی که در ارتفاع ۴۵۰۰ تا ۵۰۰۰ متر ۰/۳ درصد رواناب را تشکیل می دهد. در مورد برف، با توجه به مرتفع بودن حوضه، سهم هریک از مناطق ارتفاعی در تشکیل رواناب اختلاف محسوسی با یکدیگر ندارند و سهم هریک از محدوده های ارتفاعی در رواناب کل نزدیک به هم است.

۷-۵- برازش منحنی

شکل (۷-۵) با توجه به نتایج بدست آمده از جدول (۷-۵)، درصد رواناب برف نسبت به محدوده ارتفاعی به صورت خطی برازش داده شد.



شکل (۷-۵) برازش خطی درصد رواناب برف به متوسط محدوده ارتفاعی

همانگونه که در شکل (۵-۱۷) مشخص است، تغییر درصد رواناب برف نسبت به محدوده ارتفاعی (به سمت ارتفاع بالاتر) زیاد نیست. و خط برازش داده شده با شیب ملایم در حال فروکش کردن است که با توجه به نتایج بدست آمده نشان دهنده تغییرات کم در رواناب ایجاد شده ناشی از برف نسبت به ارتفاع در حوضه لار است.

فصل ششم:

نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱- خلاصه کارهای انجام شده

این تحقیق برای مدل سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه آبریز سد لار با استفاده از مدل SRM انجام شد. برای این کار ابتدا داده های هواشناسی (دما و بارش) و داده های هیدرومتری (دبی) از اداره آب منطقه ای استان تهران جمع آوری گردید. برای تعیین سطح پوشیده از برف، از تکنولوژی سنجش از دور استفاده شد. در این علم با استفاده از تصاویر ماهواره ای و تجزیه و تحلیل آن ها سطح پوشیده از برف بدست آمد. برای این پروژه از تولیدات MOD10A2 سنجنده MODIS استفاده شد. برای پردازش تصاویر در ابتدا با استفاده از نرم افزار Erdas، پیکسل های برفی استخراج شدند. با استفاده از نرم افزار GIS، تصاویر پردازش شده در نرم افزار Erdas با نقشه هیپسومتریک - نقشه تقسیم بندی حوضه آبریز بر اساس ارتفاع مساحت - همپوشانی شده و مساحت مناطق پوشیده از برف برای هر یک از مناطق ارتفاعی بدست آمد. با توجه به اینکه تصاویر سنجنده MODIS به صورت ۸ روزه هستند و مدل SRM برای اجرا نیاز به مساحت روزانه مناطق پوشیده از برف دارد، با درون یابی روزهای فاقد داده، بدست آمد.

برای انجام شبیه سازی رواناب ناشی از ذوب برف با استفاده از مدل SRM ابتدا مدل با استفاده از داده های سال های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۱ کالیبره شد. در مرحله بعد با توجه به کالیبره شدن مدل و بدست آمدن متغیر های مورد نیاز برای اجرای مدل، مدل برای سال ۲۰۱۱ تا ۲۰۱۳ اجرا و اعتبار سنجی شد.

۶-۲- نتیجه گیری

همانطور که ملاحظه شد فرآیند ذوب برف، یک فرآیند بسیار پیچیده بوده و نسبت به شرایط محیطی بسیار حساس می باشد و بدیهی است که شبیه سازی دقیق این چنین فرآیندی نیز بسیار مشکل و پیچیده می باشد. بنابراین استفاده از روش ها و ابزاری که بتواند در عین حالی که دقت و

سرعت محاسبات مربوطه را افزایش می‌دهد، سهل الوصول و ارزان نیز باشد، بسیار ضروری و منطقی به نظر می‌رسد.

برای شبیه سازی ذوب برف از ترکیب سه تکنیک و ابزار مجزا استفاده شد که عبارتند از: سنجش از دور RS، سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و مدل شبیه ساز ذوب برف SRM که هر یک دارای نقاط قوت و ضعف خاص خود می‌باشند. بطور کلی با توجه به اهداف تحقیق، می توان موارد زیر را بیان کرد:

۱- اولین هدف این تحقیق کالیبراسیون مدل SRM برای حوضه لار بود با استفاده از داده های بدست آمده از ایستگاه های زمینی و تصاویر ماهواره ای، متغیر های مورد نیاز برای مدل کالیبره شد.

۲- مدل شبیه ساز ذوب برف SRM برای بررسی رواناب ذوب برف در حوضه آبریز سد لار با توجه به نتایج بدست آمده قابل قبول بوده و رواناب را خوبی مدل سازی می کند.

۳- تصاویر ماهواره ای بدست آمده از سنجنده MODIS، برای بدست آوردن سطح پوشش برف کیفیت خوبی داشته و تاثیر بسزایی در کم کردن هزینه دارد.

۴- استفاده از تصاویر زیاد (۱۲۰ عکس) ماهواره ای علی رغم طولانی کردن زمان تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره ای و درون یابی خطی برای بدست آوردن روزهای فاقد عکس دقت خوبی را در بدست آوردن سطح پوشش برف می دهد.

۳-۶-پیشنهادات:

۱. از آنجا که مدل SRM، برای ۴ سال اجرا و مدل شد، پیشنهاد می گردد که مدل برای دوره آماری طولانی تر برای کم کردن محدوده متغیر های بدست آمده از قبیل ضریب رواناب برف و باران اجرا گردد.

۲. با توجه به دقت خوب مدل در روند یابی ذوب برف و تخمین قابل قبول حجم رواناب با تفکیک باران و برف در این حوضه، مدل در حوضه های دیگر کشور بخصوص حوضه های کوهستانی اجرا و نتایج آن بررسی گردد.
۳. می توان از مدل با توجه به تخمین خوب حجم رواناب برای مدیریت منابع آب کشور بخصوص در مناطق کوهستانی و برف گیر کشور استفاده کرد.
۴. سطح پوشش برفی بدست آمده از تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره ای بدست آمده سنجنده MODIS که با دقت ۵۰۰ متر بود، پیشنهاد می گردد از تصاویر با دقت بالاتر و همچنین تصاویر ماهواره ای سنجنده های دیگر از قبیل AVHRR برای بدست آوردن پوشش برفی استفاده و با نتایج بدست آمده از تحقیق مقایسه گردد.
۵. پیشنهاد می گردد با توجه عدم وجود ایستگاه برف سنجی در حوضه و نتایج بدست آمده از تحقیق یک ایستگاه در این منطقه نصب گردد.
۶. با توجه به نتایج بدست آمده از این مدل بر روی حوضه آبریز سد لار و همچنین نتایج اجرای این مدل در سایر کشورها به نظر می رسد که مدل SRM در حوضه های وسیع تر جدای از نوع رژیم هیدرولوژیکی (برفی یا بارانی) با دقت بیشتری عمل می کند.

منابع

- [۱] وظیفه دوست مجید، سمیع پور فاطمه، اشرف زاده افشین، موسوی سید علی، "تعیین سهم رواناب ناشی از ذوب برف در آورد رودخانه پلرود"، شرکت سهامی آب منطقه ای گیلان، ۱۳۸۹.
- [۲] شهابفر علیرضا، نادری رامین، قیامی علی، "کاربرد سنجش از دور در هیدرولوژی برف"، اولین کنفرانس دانشجویی منابع آب و خاک، دانشگاه ارومیه، ۱۳۸۱.
- [3] Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers, " Engineering and Design Runoff from Snowmelt", Washington, 1990.
- [4] USDA-ARS Hydrology and Remote Sensing Laboratory. "Snowmelt Runoff Model User's Manual", Switzerland, 1998.
- [5] Gómez-Landesa, E., and Rango, A., " Operational Snowmelt Runoff Forecasting in The Spanish Pyrenees Using The SRM Model", USDA-ARS Hydrology Laboratory, Beltsville, Maryland, US.1998.
- [۶] نجف زاده رضا، ابریشم چی احمد، تجریشی مسعود، طاهری شهر آئینی حمید، "شبه سازی جریان رودخانه با مدل ذوب برف"، نشریه آب و فاضلاب ۵۲، ۱۳۸۳
- [۷] نجفی ایگدیر ا، قدوسی ج، ثقفیان ب و پرهمت ج (۱۳۸۶) برآورد رواناب ذوب برف با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوضه شهرچائی ارومیه. (مجله پژوهش سازندگی در منابع طبیعی)، ۷۶: ۱۸۵-۱۷۷.
- [۸] فتاحی ا، دلاور م و قاسمی ا (۱۳۹۰) شبه سازی رواناب ناشی از ذوب برف در حوضه های کوهستانی با استفاده از مدل SRM در حوضه آبریز بازفت. نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، جلد ۲۰، شماره ۲۳، زمستان ۱۳۹۰
- [9] Klein A.G., Lee S. and Over T.M. (2001). A Comparison of MODIS and NOHRSC snowcover products for simulating streamflow using the Snowmelt Runoff Model.

- [10] E.Gomez-Landes, A.Rango , " Operational snowmelt runoff forecasting in the Spanish Pyrenees using the snowmelt runoff model " , Hydrological Processes 16, 1583–1591 ,2002.
- [11] Zhang Yi-chi, Li Bao-lin, Zhou Cheng-hu , " Snowmelt runoff modeling in Kaidu basin using the SRM " , National Natural Science Foundation for Distinguished Young Scholars of China, No.40225004 , 2005.
- [12] WANG Jian¹ & LI Shuo², "Effect of climatic change on snowmelt runoffs in mountainous regions of inland rivers in Northwestern China", Science in China: Series D Earth Sciences Vol.49 No.8 881-888 , 2006.
- [13] ZHANG YiChi, Li BAO Lin, Bao AnMing, ZHOU Cheng Hu, CHEN Xi, ZHANG XueRen , " Study on snowmelt runoff simulation in the Kaidu River Basin " ,Science in China Press, 2007.
- [14] Thomas Nagler , Helmut Rott , Petra Malcher , Florian Muller , "Assimilation of meteorological and remote sensing data for snowmelt runoff forecasting" , Remote Sensing of Environment 112 1408-1420 , 2008.
- [15] Xingong Li, M.W.Williams, " Snowmelt runoff modelling in an arid mountain watershed, Tarim Basin, China", Hydrological Processes 22, 3931–3940, 2008.
- [16] D.Yang, Y.Zhao, R.Armstrong, D.Robinson , " Yukon River streamflow response to seasonal snow cover Changes" , Hydrological Processes 23, 109-121 , 2009.
- [17] W.W.Immerzeel, P.Droogers, S.M.de Jong, M.F.P.Bierkens , " Large-scale monitoring of snow cover and runoff simulation in Himalayan river basins using remote sensing" ,Remote Sensing of Environment 113, 40-49 , 2009.

[18] D.R.DeWalle, A.Rango, " Principles of Snow Hydrology" ,
Cambridge University Press , 2008.

[19] J.Martinec, A.Rango & R.Roberts , "SNOWMELT RUNOFF MODEL
User's Manual: Updated Edition 2007,Windows Version 1.11" , New
Mexico State UniversityLas Cruces, New Mexico, USA , 2007.

Abstract

Since most basins which supply water resources are located in mountainous areas and snowfall is the dominant type of precipitation in these basins, estimation of the runoff resulted from snow melting through various seasons of the year, is an important issue in the management and planning of water resources in these areas. For this purpose, SRM, the snowmelt runoff simulation model, which has been applied for simulating the snowmelt runoff in 25 countries over 75 basins worldwide, was selected at the present study.

The basin which was investigated in this research was Lar Dam Basin which is located in the north of Tehran city and adjacent to the Damavand Peak. All of the meteorological and hydrometric data were collected from 2009 to 2013 period.

First, by using Erdas remote sensing software, the snow data from MOD10A2 product of MODIS sensor, was investigated. Using this method, the snowpack area which is one of the important inputs of SRM model was obtained. After this step, by applying Geographic Information System (GIS), the digital topographic model of the studied basin was created based on topographic maps. Then, the Hypsometric map and its classification were provided based on the elevation of each area. In the next step, the values of precipitation as well as temperature obtained from adjacent meteorological station and were introduced to the model. The model was first calibrated using the data obtained from 2009 to 2011. The coefficient of determination and volumetric difference were 0.698 and 5.553, respectively. The model was validated using the data obtained from 2011 to 2013. The coefficient of determination and volumetric difference for validation period were 0.556 and 16.09, respectively.

Keywords: SRM model, Erdas, MODIS sensor, Lar Dam.



Shahrood University of Technology
Faculty of Civil engineering

Snowmelt runoff modeling with SRM and by GIS and RS
(Case study of Lar Dam basin)

Sajad okhovat

Suervisor

Dr. S. Golian

February 2016