

صلى الله عليه وسلم





دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دانشکده مهندسی علوم آب و خاک  
گروه مهندسی آب

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد (M.Sc)  
رشته مهندسی آبیاری و زهکشی

**شبیه‌سازی رواناب ناشی از باران و ذوب برف در حوضه‌های کوهستانی**

**برف‌گیر به کمک مدل SRM**

پژوهش و نگارش:

فروغ رحمتی

استاد راهنما:

دکتر موسی حسام

اساتید مشاور:

دکتر امیر احمد دهقانی

دکتر حسین شریفان

مهر ۱۳۹۱



### تعهدنامه پژوهشی

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله) های تحصیلی دانشجویان دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان مبین بخشی از فعالیت های علمی- پژوهشی بوده و همچنین با استفاده از اعتبارات دانشگاه انجام می شود، بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه، دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به موارد ذیل متعهد می شوند:

۱) قبل از چاپ پایان نامه (رساله) خود، مراتب را قبلاً بطور کتبی به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه اطلاع داده و کسب اجازه نمایند.

۲) در انتشار نتایج پایان نامه (رساله) در قالب مقاله، همایش، اختراع و اکتشاف و سایر موارد ذکر نام دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان الزامی است.

۳) انتشار نتایج پایان نامه (رساله) باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب فروغ رحمتی دانشجوی رشته مهندسی آبیاری و زهکشی مقطع کارشناسی ارشد تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می شوم.



تقدیم به پدر عزیزم

او که آفتاب مهرش در آستان قلم جاویدان می درخشد

و

مادر مهربانم او که اصالت تلاش و اراده را بر پیکره آرزوهایم تراشید

سلامتی و شادی اش افزون باد

و

یکانه خواهر نازنینم





## امروز احساس می‌کنم که باید بگویم: خداوند! متکرم

پاس از یاور همیشه یارم، یاور همیشه یادم، مهربانی که هر چه داریم از اوست

خداوند! بدون تو قدم از قدم بر میدارم و آرزوهای کبی فرشی می‌شود زیر پایم برای به توستیدن، تایش می‌کنم زیرا که شایسته تایشی!

استاد بزرگوارم! جناب آقای دکتر موسی حمام! شاکردی در کتب علم و اندیشه‌تان بزرگترین موبت و افتخاریست که نصیبم کردید، و این مشق، به مثابه‌ی سرمشق‌های ارزنده‌تان مستحسنت، صمیمانه‌ترین سپاسم را پذیرا باشید. از مشاور بزرگوارم جناب آقای دکتر امیر احمد دهقانی که در طول انجام این پژوهش با روی گشاده‌پند برای بنده بود و از بختگرمی و مشاورت ایشان بهره‌برده‌ام صمیمانه قدر دانی می‌نمایم. از مشاور محترم جناب آقای دکتر حسین شریفان که از راهنمایی‌های ارزنده‌شان بهره‌مند شدم سپاسگزارم. با تشکر از داوران محترم جناب آقای دکتر طهرسیری و جناب آقای دکتر قربانی که با حضورشان بر کار من ارج نهادند، یاری و بزرگواری‌شان را ارج می‌نم.

با تشکر از اساتید محترم گروه مهندسی آب که شاکردی‌شان برایم افتخاری است که آنها و خداوند را سپاسگزارم که مجال یا نعمت در کتب اساتیدی شاکردی‌کنم که به من آموختند امروز را بی‌آفرینش و بالندگی به فردا نسپارم. از نماینده محترم تحصیلات تکلیفی جناب آقای دکتر قربانی که مدیریت جلد را بر عهده داشتند سپاسگزارم. هم‌اکنون فرصتی است مقننم تا از دوستان و تمام آنان که یاریم کردند، دوستان خوبم خانم مهندس بهناز عرفانیان، جاناتاب خسروانیان به پاس همیاری‌ها، دلگرمی‌هایتان، صمیمانه سپاسگزارم! و همچنین در پایان از دوست بسیار مهربانم خانم مهندس مرگمان سکالو به پاس تمامی زحمات‌هایی که برایم کشیده‌اند سپاسگزار می‌کنم. قدرشاس به شاکردگاران و آرزومند سلامت و سعادت‌تان بسم!!!

در انتها به پاس تبصیر عظیم و انسانی‌شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی‌شان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگار، بهترین پشتیبان است، به پاس قلب‌های بزرگشان که فریادس است، و سرگردانی و ترس در پناشان به شجاعت می‌گراید و به پاس محبت‌هایی بی‌دینشان که هرگز فروکش نمی‌کند، دست‌پدر مادرم را می‌بوسم از خدا به خاطر وجودشان سپاسگزارم.

## چکیده

برف و برفاب در حوضه‌های کوهستانی و مرتفع عامل مهم کنترل کننده‌ی رژیم جریان محسوب شده و به عنوان منبع اصلی تأمین آب نقش بسیار مهمی را ایفاء می‌نمایند. به همین دلیل در مناطق کوهستانی هیدرولوژی برف اهمیت و ارزش زیادی دارد. علاوه بر این تخمین، شبیه‌سازی و پیش‌بینی جریان ناشی از ذوب برف و باران در زمینه‌های مختلف مانند تأمین آب شرب، کشاورزی، کنترل و هشدار سیل و ... دارای کاربرد می‌باشد. در این تحقیق از مدل کامپیوتری SRM که بر مبنای روش درجه-روز استوار است جهت شبیه‌سازی جریان در حوضه آبریز صوفی‌چای واقع در استان آذربایجان شرقی استفاده شده است. این مدل رواناب ذوب برف را با استفاده از پارامترهای هیدرولوژی، هواشناسی و وضعیت فیزیکی حوضه برآورد کرده و همراه با مقادیر مشاهداتی، به صورت نمودار و عددی ارائه می‌کند. در تحقیق حاضر داده‌ها و پارامترهای مذکور به صورت روزانه و برای سال (۱۳۸۸-۸۹) وارد مدل SRM شدند که مدل مذکور با آنالیز آنها رواناب را محاسبه نمود. برای ارزیابی دقت مدل مقادیر مشاهداتی و محاسباتی مقایسه شدند که شبیه‌سازی موفق و قابل قبولی را نشان داد که در آن ضریب تعیین ( $R^2$ ) برابر ۰/۹۳ و تفاضل حجمی ( $D_v$ ) برابر ۰/۵۵ درصد می‌باشد. مقادیر فوق دقت بالای مدل را در برآورد رواناب ذوب برف برای حوضه مذکور نشان می‌دهد که نشانگر قابلیت کاربرد مدل برای حوضه‌های دیگر منطقه می‌باشد. مقدار خطای برآورد دبی و حجم در شرایط بارش باران (سیلابی) نسبت به شرایط بدون باران افزایش می‌یابد یعنی خطای مدل در شرایط سیلابی بیشتر است و مقدار متوسط ضریب رواناب باران در حوضه آبریز صوفی‌چای برابر با ۰/۹ و مقدار متوسط ضریب رواناب برف برابر با ۰/۹ است.

**واژه‌های کلیدی:** حوضه صوفی‌چای، ذوب برف، رواناب، شبیه‌سازی، SRM.

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فصل اول - مقدمه .....
۲	۱-۱- کلیات .....
۲	۲-۱- برف .....
۲	۳-۱- خصوصیات برف .....
۲	۱-۳-۱- دانسیته برف .....
۳	۲-۳-۱- آب معادل برف .....
۳	۳-۳-۱- کیفیت برف .....
۳	۴-۳-۱- کیفیت حرارتی برف .....
۴	۵-۳-۱- ضریب برف .....
۴	۶-۳-۱- ضریب انباشت برف .....
۴	۴-۱- رابطه دما و امکان ریزش برف .....
۴	۵-۱- آلبیدو یا ضریب بازتاب .....
۵	۶-۱- اهمیت و ضرورت هیدرولوژی برف .....
۸	۷-۱- ذوب برف .....
۹	۱-۷-۱- مراحل ذوب برف .....
۹	۱-۱-۷-۱- مرحله گرم شدن .....
۱۰	۲-۱-۷-۱- مرحله رسیدن .....
۱۱	۳-۱-۷-۱- مرحله خروجی .....
۱۱	۸-۱- انواع روش‌های محاسبه رواناب ذوب برف .....
۱۱	۱-۸-۱- روش شاخص دما .....
۱۲	۲-۸-۱- روش بیلان انرژی .....
۱۳	۳-۸-۱- روش دما- تشعشع .....
۱۴	۴-۸-۱- روش هماهنگی جریان .....
۱۵	۵-۸-۱- استفاده از روش‌های آماری .....
۱۵	۶-۸-۱- استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANNs) .....

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
۹-۱- کاربرد تصاویر ماهواره‌ای در مطالعات برف.....	۱۵
۱۰-۱- رواناب حاصل از ذوب برف.....	۱۶
۱۰-۱-۱- اندازه‌گیری مستقیم رواناب حاصل از ذوب برف.....	۱۸
۱۰-۱-۲- روش پیش‌بینی یا اندازه‌گیری غیرمستقیم محاسبه رواناب حاصل از ذوب برف.....	۱۸
۱۰-۲-۱- تحلیل همبستگی رواناب با عوامل ذوب.....	۱۸
۱۰-۲-۲- تحلیل همبستگی بر اساس شاخص‌های گرمایی.....	۱۹
۱۰-۲-۳- تحلیل همبستگی بر اساس شاخص دما.....	۱۹
۱۰-۳- محاسبه رواناب با اعمال ضریب رواناب.....	۲۰
۱۱-۱- انتخاب مدل.....	۲۱
۱۱-۱-۱- انواع مدل‌های ذوب برف و مقایسه آنها.....	۲۳
۱۱-۲- ویژگی‌های برجسته‌ی مدل WinSRM.....	۲۳
۱۲-۱- جنبه‌های نو بودن تحقیق.....	۲۴
۱۳-۱- اهداف تحقیق.....	۲۴
۱۴-۱- فرضیه‌های تحقیق.....	۲۵
۱۵-۱- روش و مراحل انجام پایان نامه:.....	۲۵
۱۶-۱- فصل‌بندی پایان‌نامه.....	۲۶
فصل دوم- بررسی منابع.....	۲۷
فصل سوم- مواد و روش‌ها.....	۴۷
۳-۱- توضیح مدل WinSRM.....	۴۸
۳-۱-۱- اهداف و قابلیت‌های مدل.....	۴۸
۳-۱-۲- ساختار مدل.....	۴۹
۳-۱-۳- اطلاعات مورد نیاز برای اجرای مدل SRM.....	۵۰
۳-۱-۳-۱- خصوصیات حوضه آبریز و ناحیه‌های ارتفاعی.....	۵۱
۳-۱-۳-۲- متغیرهای ورودی.....	۵۱



## فهرست مطالب

<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
۳-۴-۵- محدوده ارتفاعی حوضه و ناحیه‌بندی ارتفاعی حوضه.....	۸۰
۳-۴-۶- تعیین ارتفاع متوسط هیپسومتریک هر ناحیه ارتفاعی برای ورود به مدل.....	۸۰
۳-۵- نقشه شیب.....	۸۱
۳-۶- آمار دبی.....	۸۵
۳-۷- آمار بارندگی.....	۸۵
۳-۷-۱- باران‌سنجی حوضه آبریز صوفی‌چای.....	۸۵
۳-۷-۲- برف‌سنجی حوضه آبریز صوفی‌چای.....	۸۶
۳-۷-۳- هیدرومتری حوضه آبریز صوفی‌چای.....	۸۶
۳-۸- آماده کردن داده‌ها جهت ورود به مدل به صورت روزانه.....	۸۹
۳-۸-۱- متغیرهای ورودی.....	۸۹
۳-۸-۱-۱- دما $T$ .....	۸۹
۳-۸-۱-۲- بارندگی $P$ .....	۹۰
۳-۸-۱-۳- مساحت پوشش برفی $SCA$ .....	۹۰
۳-۸-۱-۳-۱- پهنه بندی $SCA$ به کمک تصاویر مودیس $Modis$ .....	۹۱
۳-۸-۱-۳-۲- درون‌یابی زمانی $SCA$ .....	۹۳
۳-۸-۲- پارامترهای ورودی.....	۹۳
۳-۸-۲-۱- ضریب رواناب برف و باران.....	۹۳
۳-۸-۲-۲- فاکتور درجه روز.....	۹۴
۳-۸-۲-۳- دمای بحرانی $T_{crit}$ .....	۹۴
۳-۸-۲-۴- ضریب فروکشی جریان.....	۹۵
۳-۸-۲-۵- زمان تأخیر.....	۹۶
<b>فصل چهارم - نتایج و بحث</b> .....	<b>۹۷</b>
۴-۱- مقدمه.....	۹۸
۴-۲- واسنجی مدل.....	۹۸

## فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۹۹	۳-۴- آماره‌های ارزیابی مدل.....
۱۰۰	۴-۴- صحت‌سنجی مدل با شبیه‌سازی رواناب.....
۱۰۱	۴-۴-۱- شبیه‌سازی فصلی حوضه با تفکیک ارتفاعی.....
۱۰۱	۴-۴-۲- شبیه‌سازی فصلی حوضه بدون تفکیک ارتفاعی.....
۱۰۲	۴-۴-۳- شبیه‌سازی سالانه حوضه با تفکیک ارتفاعی.....
۱۱۳	۴-۵- تحلیل نتایج شبیه‌سازی رواناب.....
۱۱۴	۴-۶- نتایج.....
۱۱۵	فصل پنجم - پیشنهادات.....
۱۱۶	۵-۱- پیشنهادات اجرایی.....
۱۱۶	۵-۲- پیشنهادات پژوهشی.....
۱۱۷	منابع.....

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- مقادیر دانسیته برف در شرایط مختلف.....	۳
جدول ۲-۱- مقادیر ضریب رواناب در شرایط مختلف.....	۲۱
جدول ۳-۱- نتایج ارزیابی آماره‌های مقایسه دقت ۱۰ مدل ذوب برف در ۱۰ سال آبی.....	۲۲
جدول ۱-۳- مثالی جهت بررسی روند ذوب برف در حوضه آبریز.....	۵۳
جدول ۲-۳- پارامترهای فیزیکی حوضه.....	۷۲
جدول ۳-۳- ارتفاعات مشخصه حوضه.....	۸۰
جدول ۴-۳- ناحیه‌بندی ارتفاعی مربوط به حوضه.....	۸۰
جدول ۵-۳- مشخصات ایستگاه‌های باران سنجی در حوضه صوفی‌چای.....	۸۶
جدول ۶-۳- مشخصات ایستگاه برف‌سنجی حوضه صوفی‌چای.....	۸۶
جدول ۷-۳- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه صوفی‌چای.....	۸۷
جدول ۸-۳- مساحت پوشیده از برف تمام ناحیه‌های ارتفاعی حوضه صوفی‌چای برای ۸ عدد عکس انتخابی ماهواره مودیس.....	۹۲
جدول ۹-۳- تراز برف تمام ناحیه‌های ارتفاعی حوضه صوفی‌چای برای ۸ عدد عکس انتخابی ماهواره مودیس.....	۹۲



## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

۱۰	شکل ۱-۱- نگهداشت آب در برف.....	
	شکل ۱-۲- حجم منشورها بیانگر خطای متوسط تمام مدل‌های ذوب برف برای کل نتایج بدست آمده در	
۲۲	ده سال آبی.....	
۵۵	شکل ۳-۱- ترتیبی از نقشه‌های پوشش برفی در حوضه فلسبرگ آلباین.....	
۵۶	شکل ۳-۲- افزایش موقت در پوشش برفی که درون‌یابی را با اشتباه مواجه می‌سازد.....	
۶۶	شکل ۳-۳- دامنه تغییرات مقدار ضریب رواناب در حوضه‌های مختلف.....	
۶۷	شکل ۳-۴- زمان‌های تأخیر مختلف و تأثیر آن در برآورد داده‌های ورودی و خروجی.....	
۷۰	شکل ۳-۵- انتخاب سال آبی متوسط مورد مطالعه.....	
۷۱	شکل ۳-۶- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز.....	
۷۱	شکل ۳-۷- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز در سامانه گوگل ارث.....	
۷۳	شکل ۳-۸- نقشه دیجیتالی حوضه صوفی‌چای.....	
۷۴	شکل ۳-۹- نقشه دیجیتالی نواحی ارتفاعی حوضه صوفی‌چای.....	
۷۵	شکل ۳-۱۰- نقشه دیجیتالی حوضه به تفکیک نواحی ارتفاعی اول، دوم، سوم، چهارم.....	
۷۷	شکل ۳-۱۱- خطوط تراز حوضه آبریز صوفی‌چای و نحوه توزیع ارتفاعات.....	
۷۸	شکل ۳-۱۲- منحنی هیپسومترى حوضه صوفی‌چای.....	
۷۹	شکل ۳-۱۳- منحنی آلتیمتری حوضه.....	
۸۱	شکل ۳-۱۴- نمودار متوسط ارتفاع هیپسومترىک هر یک از نواحی ارتفاعی حوضه.....	
۸۲	شکل ۳-۱۵- جدول توصیف نواحی ارتفاعی مدل WinSRM.....	
۸۳	شکل ۳-۱۶- نقشه شیب حوضه صوفی‌چای.....	
۸۴	شکل ۳-۱۷- نقشه جهات شیب حوضه.....	
۸۵	شکل ۳-۱۸- نمودار متوسط ماهانه دبی حوضه صوفی‌چای برای سال آبی منتخب.....	
۸۸	شکل ۳-۱۹- موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری داده‌های هیدرولوژیکی و هواشناسی.....	
۹۵	شکل ۳-۲۰- استخراج محل تقریبی فروکش‌های هیدروگراف با ابزار trace در نرم افزار Microsoft math.....	
۱۰۰	شکل ۴-۱- گزینه‌های فعال خروجی گراف‌های مختلف مدل WinSRM پس از اجرای شبیه‌سازی رواناب.....	
۱۰۱	شکل ۴-۲- همهی متغیرها و پارامترها که به صورت گزارش‌هایی در فایل‌های متنی خلاصه.....	

## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- شکل ۳-۴- هیدروگراف شبیه‌سازی شده برای شبیه‌سازی فصلی حوضه با تفکیک ارتفاعی ..... ۱۰۱
- شکل ۴-۴- هیدروگراف شبیه‌سازی شده برای شبیه‌سازی فصلی حوضه بدون تفکیک ارتفاعی ..... ۱۰۲
- شکل ۵-۴- هیدروگراف شبیه‌سازی در مقابل هیدروگراف مشاهده‌ای حوضه ..... ۱۰۲
- شکل ۶-۴- مساحت پوشیده از برف برای همه نواحی ارتفاعی حوضه ..... ۱۰۳
- شکل ۷-۴- درجه روزهای ناحیه‌ای برای همه نواحی ارتفاعی حوضه ..... ۱۰۳
- شکل ۸-۴- زمان تأخیر برای همه نواحی ارتفاعی حوضه ..... ۱۰۴
- شکل ۹-۴- فاکتور درجه روز برای همه نواحی ارتفاعی حوضه ..... ۱۰۴
- شکل ۱۰-۴- ضریب رواناب برف برای ناحیه ارتفاعی اول حوضه ..... ۱۰۵
- شکل ۱۱-۴- ضریب رواناب باران برای ناحیه ارتفاعی اول حوضه ..... ۱۰۵
- شکل ۱۲-۴- سطح مشارکت کننده در بارش برای همه نواحی ارتفاعی حوضه ..... ۱۰۶
- شکل ۱۳-۴- نمودار عمق بالقوه ذوب برای هر چهار ناحیه ارتفاعی حوضه ..... ۱۰۶
- شکل ۱۴-۴- نمودار عمق ذوب تجمعی ناحیه‌ای در مقابل زمان برای ناحیه ارتفاعی اول حوضه ..... ۱۰۷
- شکل ۱۵-۴- نمودار عمق ذوب تجمعی ناحیه‌ای در مقابل زمان برای ناحیه ارتفاعی دوم حوضه ..... ۱۰۷
- شکل ۱۶-۴- نمودار عمق ذوب تجمعی ناحیه‌ای در مقابل زمان برای ناحیه ارتفاعی سوم حوضه ..... ۱۰۸
- شکل ۱۷-۴- نمودار عمق ذوب تجمعی ناحیه‌ای در مقابل زمان برای ناحیه ارتفاعی چهارم حوضه ..... ۱۰۸
- شکل ۱۸-۴- سهم مشارکت تجمعی هر یک از مؤلفه‌های رواناب شامل برف قبلی و برف تازه و باران در کل رواناب در طول زمان برای ناحیه ارتفاعی اول حوضه ..... ۱۰۹
- شکل ۱۹-۴- سهم مشارکت تجمعی هر یک از مؤلفه‌های رواناب شامل برف قبلی و برف تازه و باران در کل رواناب در طول زمان برای ناحیه ارتفاعی دوم ..... ۱۰۹
- شکل ۲۰-۴- سهم مشارکت تجمعی هر یک از مؤلفه‌های رواناب شامل برف قبلی و برف تازه و باران در کل رواناب در طول زمان برای ناحیه ارتفاعی سوم حوضه ..... ۱۱۰
- شکل ۲۱-۴- سهم مشارکت تجمعی هر یک از مؤلفه‌های رواناب شامل برف قبلی و برف تازه و باران در کل رواناب در طول زمان برای ناحیه ارتفاعی چهارم حوضه ..... ۱۱۰
- شکل ۲۲-۴- مقایسه آب معادل ناحیه‌ای مؤلفه‌های رواناب در طول زمان برای ناحیه ارتفاعی اول حوضه ..... ۱۱۱

## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

- شکل ۴-۲۳- مقایسه آب معادل ناحیه‌ای مؤلفه‌های رواناب در طول زمان برای ناحیه ارتفاعی دوم حوضه ..... ۱۱۱
- شکل ۴-۲۴- مقایسه آب معادل ناحیه‌ای مؤلفه‌های رواناب در طول زمان برای ناحیه ارتفاعی سوم حوضه ..... ۱۱۲
- شکل ۴-۲۵- مقایسه آب معادل ناحیه‌ای مؤلفه‌های رواناب در طول زمان برای ناحیه ارتفاعی چهارم حوضه ..... ۱۱۲

