بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

دانشکده مهندسی آب و خاک

گروه علوم خاک

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی علوم خاک - فیزیک و حفاظت خاک

تخمین میزان فرسایش و رسوب و هدر روی عناصر غذایی در اثر فرسایش در حوضه گرگانرود با استفاده از مدل SWAT

پژوهش و نگارش

بهروز بهتری‌نژاد

استاد راهنما

دکتر فرشاد کیانی

اساتید مشاور

دکتر علی نجفی‌نژاد

مهندس عبدالرضا کابلی

تابستان ۱۳۹۰

تعهدنامه پژوهشی

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

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 پایان‌نامه (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 پایان‌نامه (رساله) باید با اطلاع و کسب اجازه از استاد راهنما صورت گیرد.

اینجانب **بهروز بهتری‌نژاد** دانشجوی رشته **مهندسی علوم خاک - فیزیک و حفاظت خاک** مقطع **کارشناسی‌ارشد** تعهدات فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده و به آن ملتزم می‌شوم.

خدایا!

تو را سپاس

که باری دیگر رحمت بیکرانت را بر من ارزانی داشتی

تا با سرافرازی به سوی کسانی باز گردم

که همواره دعاگوی سربلندیم هستند

و من هنوز از پس شکر نعمت وجودشان برنیامده ام!

تقدیم به

پدر بزرگوار و مادر مهربانم

که نبض نفس های امروزم را بزرگی روحشان ضربان بخشیده و بودنم، هدیه ی بودن سبز آنها است.

خواهرانم، دوستان خوب روزگار قدکشیدنم و برادرم، که بودنش به زندگی ام رنگ شادی می بخشد.

و

به کسی که خستگی ناپذیر از خوب بودن است، او که بر صفحه زندگی ام همواره باران عشق بارید، همسرم.

براستی که وجودش برایم یعنی زندگی

تقدیر و تشکر

سپاس خداوند یکتا که در تمام لحظات زندگی یاریم نمود و یاد او است آرامش بخش وجودم.

بر دستان پدر و مادر عزیز و مهربانم که پشتیبان همیشگی ام بوده اند بوسه میزنم. از مهسا همسر مهربانم که نوری است پرامید در ظلمت خستگی و ناامیدی نهایت تشکر را دارم. از عزیزانم بنفشه، بهنام و مریم که همیشه بی ریاترین محبت ها را نثارم داشتند تشکر میکنم.

از استاد راهنمای گرامی جناب آقای دکتر فرشاد کیانی به خاطر مساعدت های فراوانشان کمال تشکر را دارم. از اساتید مشاور محترم جناب آقای دکتر نجفی نژاد و جناب آقای مهندس کابلی به جهت تمام محبت ها سپاسگزارم. از اساتید محترم سرکار خانم دکتر ابراهیمی و جناب اقای دکتر موحدی نایینی که زحمت داوری پایان نامه بر دوش انها بوده است بسیار ممنونم. از نماینده تحصیلات تکمیلی جناب آقای دکتر نصرالله نژاد که مدیریت جلسه دفاع ایشان را بر عهده داشتند، تشکرم.

از کارشناسان گروه علوم خاک دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان جناب آقای مهندس علاء الدین و جناب آقای مهندس عجمی تشکرم. از کارکنان محترم اداره کل منابع طبیعی استان گلستان و کارکنان محترم شرکت آب منطقه ای استان گلستان، جناب اقای مهندس فرازجو و جناب آقای مهندس آقابابایی و جناب آقای مهندس اسلامی به خاطر کمک هایشان تشکر میکنم. از اساتید عزیزم جناب آقای دکتر کریمیان و جناب آقای دکتر عباس پور کمال تشکر را دارم.

در پایان از همه دوستانی که در طی این دوران همراه من بوده اند به ویژه آقای مهندس مهدی زاده، خانم مهندس عارفی، آقای مهندس پور علی، آقای مهندس زراعت پیشه، خانم مهندس هاشمی راد، آقای مهندس خالدیان و آقای مهندس همت جو و سایر دوستان و همکلاسی هایم تشکر می نمایم و یاد و خاطره همکاری ها و همراهی های این عزیزان همیشه در ذهن من خواهد ماند.

بهروز بهتری نژاد

چکیده

امروزه، در بیشتر اراضی سرعت فرسایش خاک بیش از سرعت تشکیل خاک است. در نتیجه باعث تهی شدن منابع خاک و کاهش توانایی حاصلخیزی خاک می‌شود. در ایران استان گلستان به علت موقعیت جغرافیایی و اقلیمی آن و تخریب بالای منابع آن و همچنین به علت اینکه سطح وسیعی از اراضی از لس تشکیل شده دارای میزان فرسایش خاک بالایی می‌باشد. یکی از راه‌های تخمین میزان فرسایش و رسوب و بررسی میزان تلفات مواد غذایی خاک استفاده از مدل است. در این مطالعه سعی شده به صورت کمی میزان رسوب‌دهی، فرسایش و هدرروی عناصر غذایی در شرق حوضه آبخیز گرگانرود با استفاده از مدل SWAT 2009 مورد ارزیابی قرار گیرد. مطالعات صحرایی انجام شده شامل جمع آوری نمونه ماهانه آب و رسوب از ایستگاه هیدرومتری تمر و جمع آوری اطلاعات مدیریتی بودند. برای اجرای مدل، داده‌های روزانه بارندگی ٤ ایستگاه هواشناسی شامل ایستگاه های حاجی قوشان، تمر، تنگراه و رباط قره بیل، حداکثر و حداقل دمای هوای روزانه از ٤ ایستگاه تبخیر سنجی گلی داغ، تمر، رباط قره بیل، چشمه خان و پارک ملی گلستان طبق فرمت خاص مدل SWAT تهیه و تنظیم گردید. به منظور ارزیابی مدل SWAT داده‌های روزانه دبی جریان و رسوب، ایستگاه هیدرومتری تمر جمع‌آوری و اقدام به نمونه برداری آب در محل این ایستگاه به صورت دو بار در ماه طی مدت یک سال شد. برای اجرای مدل از نرم‌افزار ArcSWAT 2009، و به منظور واسنجی و اعتبارسنجی داده‌های شبیه‌سازی شده، از برنامه SUFI-2 استفاده گردید. مدل SWAT برای سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰٦ اجرا و واسنجی گردید. همچنین سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ برای صحت‌سنجی مدل استفاده شد. مقادیر ضرایب R^2، NS، r-factor و P-factor برای دبی جریان در مرحله واسنجی به ترتیب ۰/۷۷ و ۰/۷٦ و ۰/۰٦ و ٦۹ و برای اعتبارسنجی ۰/۷۵ و ۰/۷۲ و ۰/۰۵ و ۵۸ بدست آمده است. در شبیه سازی رسوب ضرایب در مرحله واسنجی R^2، NS، r-factor و P-factor به ترتیب ۰/٦۲، ۰/٥٤، ۰/۱۵ و ۱٦ و برای مرحله اعتبارسنجی به ترتیب ٦۱، ۰/۵۵، ۰/۳۵ و ۱۲ بدست آمده که در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی ضرایب قابل قبول می‌باشند. یکی از اثرات بسیار مضر فرایندهای فرسایشی از دست رفتن مواد غذایی خاک به وسیله رواناب و رسوب ناشی از فرسایش می‌باشد که توسط مدلSWAT قابل ارزیابی است. در ین مطالعه عناصر نیتروژن و فسفر مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان دهنده ضرایب R^2، NS، r-factor و P-factor به ترتیب ۰/٦۱، ۰/۵۲، ۰/۷ و ٦۳ برای نیتروژن و به ۰/۷۲، ۰/٦٦، ۰/۵ و ۵۷ برای فسفر است که قابل قبول می‌باشند. مدل وضعیت فرسایش حوضه را با مقدار رسوب ویژه ٦/٤۹ تن در هکتار و فرسایش ۱۰/۲۸ تن در هکتار ارزیابی کرده و نشان داد که مناطق با کاربری زراعی بر روی اراضی شیب‌دار دارای وضعیت بحرانی از نظر فرسایش و رسوب هستند. میزان هدرروی فرم‌های مختلف نیتروژن و فسفر در اثر فرسایش در حوضه برای نیتروژن آلی (٦/۹۹ کیلوگرم در هکتار)، نیترات (۰/۳۵ کیلوگرم در هکتار)، فسفر آلی (۱/۳ کیلوگرم در هکتار)، فسفر محلول (۰/۰۱۵ کیلوگرم در هکتار) و فسفر معدنی (۰/٤۵ کیلوگرم در هکتار) بوده است. مدل SWAT قابلیت ایجاد سناریوهای مختلف جهت بررسی مدیریت‌های گوناگون را دارد، نتایج نشان داد که کاهش ۵۰ درصدی میزان کوددهی به طور میانگین باعث کاهش ۳/۵ درصد نیتروژن آلی، ۵/۳ درصد فسفر آلی، ۳۲ درصد نیترات، ٦٤ درصد فسفر محلول و ۱۷ درصد فسفر معدنی شده است. افزایش ۱۰۰ درصدی میزان کوددهی باعث افزایش ۵/۵ درصد نیتروژن آلی، ٦/۱ درصد فسفر آلی، ۱۰۰ درصد نیترات، ٤۳٤ درصد فسفر محلول و ٤۳ درصد فسفر معدنی شده است.

کلمات کلیدی: کیفیت آب، فرسایش، نیتروژن، فسفر، حوضه آبخیز گرگانرود، *SWAT*، استان گلستان

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۱- مقدمه ۲
۲- بررسی منابع ۷
۲-۱- مطالعات انجام شده در کشور ۸
۲-۲- مطالعات انجام شده در خارج از کشور ۱۰
۳- مواد و روش‌ها ۱۹
۳-۱- اندازه‌گیری فرسایش ۲۰
۳-۲- مدل سازی فرایند فرسایش خاک ۲۱
۳-۳-نمونه‌هایی از مدل‌های فرسایش خاک ۲٤
۳-٤- مدل *SWAT* ۲۵
۳-۵- تاریخچه *SWAT* ۲٦
۳-٦- برخی از دلایل انتخاب مدل *SWAT* ۲۸
۳-۷- شرح اجمالی مدل *SWAT* ۲۸
۳-۷-۱-فاز زمین چرخه هیدرولوژی ۲۹
۳-۷-۱-۱- اقلیم ۳۰
۳-۷-۱-۱-۱- شبیه‌ساز اقلیم ۳۱
۳-۷-۱-۱-۲- برف ۳۱
۳-۷-۱-۱-۳- دمای خاک ۳۲
۳-۷-۱-۱-٤- رطوبت نسبی ۳۳
۳-۷-۱-۲- هیدرولوژی ۳۳
۳-۷-۱-۲-۱- ذخیره آسمانه ۳۳
۳-۷-۱-۲-۲- نفوذ ۳٤
۳-۷-۱-۲-۳- پتانسیل تبخیر و تعرق ۳۵
۳-۷-۱-۲-٤- تبخیر و تعرق واقعی ۳٦
۳-۷-۱-۲-۵- رواناب سطحی ۳۷
۳-۷-۱-۲-٦- حداکثر رواناب ٤۱

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۷-۱-۲-۷- آب موجود در خاک ٤٤
۳-۷-۱-۲-۸- جریان آب زیرزمینی ٤٧
۳-۷-۱-۳- پوشش زمین / گیاه ٤٨
۳-۷-۱-۳-۱- واحدهای حرارتی ٤٩
۳-۷-۱-۳-۲- جذب آب توسط گیاهان ٤٩
۳-۷-۱-٤- فرسایش و رسوب ٥٠
۳-۷-۱-٥- مدیریت ٥١
۳-۷-۱-٥-۱- مدیریت آب ٥١
۳-۷-۱-٥-۲- آبیاری ٥١
۳-۷-۱-٥-۳- انتقال آب ٥١
۳-۷-۱-٥-٤- استفاده آب مصرفی ٥١
۳-۷-۱-٥-٥- مناطق شهری ٥٢
۳-۷-۲- فاز روندیابی ٥٢
۳-۷-۲-۱- روندیابی جریان ٥٢
۳-۷-۲-۱-۱- روش ذخیره متغیر ٥٢
۳-۷-۲-۱-۲- روش ماسکینگام ٥٤
۳-۷-۲-۲- روندیابی رسوب ٥٥
۳-۷-۳- چرخه نیتروژن ٥٦
۳-۷-۳-۱- معدنی شدن و تجزیه/غیر متحرک شدن ٥٨
۳-۷-۳-۱-۱- معدنی شدن هوموس ٥٩
۳-۷-۳-۱-۲- تجزیه و معدنی شدن باقی مانده‌های گیاهی ٦٠
۳-۷-۳-۲- نیتریفیکاسیون و تبخیر آمونیومی ٦٠
۳-۷-۳-۳- دی نیتریفیکاسیون ٦١
۳-۷-۳-٤- انتقال نیترات ٦٢
۳-۷-۳-٥- نیتروژن آلی در رواناب سطحی ٦٣

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۷-٤- چرخه فسفر ٦٤
۳-۷-٤-۱- معدنی شدن و تجزیه/ غیر متحرک شدن فسفر ٦٧
۳-۷-٤-۱-۱- معدنی شدن هوموس ٦٨
۳-۷-٤-۱-۲- تجزیه و معدنی شدن باقی مانده‌های گیاهی ٦٩
۳-۷-٤-۲- جذب فسفر معدنی ۷۰
۳-۷-٤-۳- آبشویی ۷۲
۳-۷-٤-٤- انتقال فسفر آلی و معدنی متصل به رسوب در رواناب سطحی ۷۳
۳-۸- واسنجی ۷٤
۳-۹- مدل سازی معکوس ۷٤
۳-۱۰- آنالیز عدم قطعیت ۷۵
۳-۱۰-۱-اساس مفهومی آنالیز عدم قطعیت *SUFI-2* ۷٦
۳-۱۰-۲- الگوریتم *SUFI-2* ۷۷
۳-۱۱-ارزیابی مدل ۸۲
۳-۱۱-۱- ضریب نش- ساتکلیف (*NSE*) ۸۲
۳-۱۱-۲- ضریب R^2 ..... ۸۳
۳-۱۱-۳- *r-factor* و *p-factor* ۸۳
۳-۱۲- معرفی حوضه مورد مطالعه ۸٤
۳-۱۲-۱- توپوگرافی و فیزیوگرافی حوضه ۸۵
۳-۱۲-۲- داده‌های هیدرولوژیک مورد نیاز در مدل‌های هیدرولوژی ۸٦
۳-۱۲-۳- هیدرولوژی آب‌های سطحی ۸۷
۳-۱۳- جمع آوری اطلاعات عمومی هواشناسی حوضه آبخیز گرگانرود ۹۰
۳-۱۳-۱- بارش ۹۰
۳-۱۳-۲ درجه حرارت ۹۰
۳-۱٤- جمع‌آوری اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری ۹۱
۳-۱۵- جمع‌آوری اطلاعات نمونه‌های آب و خاک ۹۱

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۳-۱۶- جمع‌آوری اطلاعات زراعی و مدیرتی ۹۳
۳-۱۷- آنالیز آزمایشگاهی نمونه‌های آب ۹٤
۳-۱۸- نقشه های مورد نیاز جهت ورود به مدل *SWAT* ۹٤
۳-۱۹- روش انجام تحقیق ۱۰۰
٤- نتایج ۱۰۳
٤-۱- مقدمه ۱۰٤
٤-۲- اجرای اولیه مدل *SWAT* ۱۰۷
٤-۳- کالیبراسیون مدل ۱۱۰
٤-٤- واسنجی رواناب روزانه حوضه گرگانرود با استفاده از نرم‌افزار *SUFI-2* ۱٤۷
٤-۵- اعتبارسنجی رواناب روزانه حوضه گرگانرود با استفاده از برنامه *SUFI-2* ۱٤۹
٤-٦- واسنجی رسوب روزانه حوضه گرگانرود با استفاده از نرم افزار *SUFI-2* ۱۵۰
٤-۸- اعتبارسنجی رسوب روزانه حوضه گرگانرود با استفاده از برنامه *SUFI-2* ۱۵۲
٤-۹- واسنجی هدررفت روزانه نیتروژن و فسفر حوضه گرگانرود با استفاده از نرم‌افزار *SUFI-2* ۱۵٤
٤-۱۰- دبی، رسوب و فرسایش زیرحوضه‌ها ۱۵٦
٤-۱۱- هدررفت عناصر غذایی ۱۵۹
٤-۱۲- سناریوهای مدیریت کوددهی ۱٦٤
٤-۱۲-۱- نتایج سناریوها ۱٦٤
۵- بحث و نتیجه‌گیری ۱٦۷
۵-۱- نتیجه‌گیری در بخش آماده سازی داده‌ها و اجرای مدل *SWAT* ۱٦۸
۵-۲- نتیجه‌گیری در بخش شبیه‌سازی رواناب ۱۷۰
۵-۳- نتیجه‌گیری در بخش شبیه‌سازی رسوب و فرسایش ۱۷۳
۵-٤- نتیجه‌گیری در بحث شبیه‌سازی هدرروی نیتروژن و فسفر ۱۷۵
۵-۵- نتیجه‌گیری در بحث شبیه‌سازی سناریوها ۱۷۸
۵-٦- نتیجه‌گیری کلی ۱۸۱

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

۵-۷- پیشنهادات پژوهشی ۱۸۲
۵-۸- پیشنهادات اجرایی ۱۸۳
منابع ۱۸۵
ضمیمه- مشخصات جزیی زیرحوضه‌ها ۱۹۷

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱- موقعیت ایستگاه‌های باران سنجی و تبخیر سنجی مورد استفاده ۹۰
جدول ۳-۲- مقایسه میانگین خصوصیات شیمیایی خاک در کاربری‌های مختلف ۹۳
جدول ۳-۳- میزان کود دهی مورد تایید اداره جهاد کشاورزی استان گلستان در سال زراعی ۹۰-۸۹ ..... ۹٤
جدول ۳-٤- اطلاعات مربوط به ورودی‌های مدل ۹۵
جدول ٤-۱- پارامترهای مورد استفاده در تحلیل حساسیت جهت استفاده در کالیبراسیون مدل *SWAT* ۱۱۱
جدول ٤-۲- مقادیر بهینه محدوده پارامترها ۱٤٦
جدول ٤-۳- نتایج واسنجی رواناب روزانه برای ایستگاه هیدرومتری تمر ۱٤۷
جدول ٤-٤- نتایج اعتبارسنجی رواناب روزانه برای ایستگاه هیدرومتری تمر ۱٤۹
جدول ٤-۵- نتایج واسنجی رسوب روزانه برای ایستگاه هیدرومتری تمر ۱۵۱
جدول ٤-٦- نتایج اعتبارسنجی رسوب روزانه برای ایستگاه هیدرومتری تمر ۱۵۲
جدول ٤-۷- نتایج واسنجی هدر رفت روزانه نیتروژن و فسفر برای ایستگاه هیدرومتری تمر ۱۵۵
جدول ٤-۸- مقادیر رواناب، رسوب و فرسایش هر زیر حوضه ۱۵۷
جدول ٤-۹- میزان فرسایش و رسوب در هر یک از پوشش اراضی ۱۵۸
جدول ٤-۱۰- میزان میانگین هدر رفت سالانه نیتروژن در زیر حوضه های آبخیز گرگانرود ۱٦۰
جدول ٤-۱۱- میزان میانگین هدر رفت سالانه فسفر در زیرحوضه های آبخیز گرگانرود ۱٦۱

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۳-۱- چرخه هیدرولوژی پایه مطالعات مدل *SWAT* ۳۰
شکل ۳-۲- آبخوان‌های محدود و غیر محدود ٤۷
شکل ۳-۳- چرخه نیتروژن در مدل *SWAT* ۵۷
شکل ۳-٤- روابط بین اجزا چرخه نیتروژن در مدل *SWAT* ۵۸
شکل ۳-۵- چرخه فسفر در مدل *SWAT* ٦۵
شکل ۳-٦- روابط بین اجزا چرخه فسفر در مدل *SWAT* ٦٦
شکل ۳-۷- مفهوم عدم قطعیت برنامه *SUFI-2* ۷۷
شکل ۳-۸- نقشه موقعیت حوضه آبخیز گرگانرود در کشور و استان گلستان ۸۵
شکل ۳-۹- نقشه طبقات ارتفاعی ۸٦
شکل ۳-۱۰- نقشه شبکه آبراهه‌های حوضه آبخیز تمر ۸۹
شکل ۳-۱۱- موقعیت ایستگاه‌های باران سنجی و تبخیر سنجی مورد استفاده در منطقه ۹۱
شکل ۳-۱۲- ایستگاه هیدرومتری تمر ۹۲
شکل ۳-۱۳- نقشه *DEM* منطقه ۹۵
شکل ۳-۱٤- نقشه شبکه جریان ۹٦
شکل ۳-۱۵- نقشه کاربری اراضی ۹۷
شکل ۳-۱٦- نقشه خاک ۹۸
شکل ۳-۱۷- نقشه شیب منطقه ۹۹
شکل ٤-۱- شماره و موقعیت زیر حوضه‌ها در منطقه ۱۰۵
شکل ٤-۲- موقعیت کلی *HRU* ها در منطقه ۱۰٦
شکل ٤-۳- دبی شبیه‌سازی شده قبل از واسنجی (۲۰۰٦-۱۹۹۹) ۱۰۷
شکل ٤-٤- رسوب شبیه‌سازی شده قبل از واسنجی (۲۰۰٦-۱۹۹۹) ۱۰۸
شکل ٤-۵- دبی شبیه‌سازی شده قبل از اعتبارسنجی (۲۰۱۰-۲۰۰۷) ۱۰۸
شکل ٤-٦- رسوب شبیه‌سازی شده قبل از اعتبار سنجی (۲۰۱۰-۲۰۰۷) ۱۰۹
شکل ٤-۷- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر شماره منحنی *SCS* برای شرایط رطوبتی متوسط ۱۱۳

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ٤-٨- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر چگالی توده خاک مرطوب در هر لایه برای دبی ١١٣
شکل ٤-٩- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر چگالی توده خاک مرطوب در هر لایه برای رسوب ١١٤
شکل ٤-١٠- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر آب موجود در هر لایه برای دبی ١١٤
شکل ٤-١١- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر آب موجود در هر لایه برای رسوب ١١٥
شکل ٤-١٢- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر هدایت هیدرولیکی خاک اشباع برای دبی ١١٥
شکل ٤-١٣- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر هدایت هیدرولیکی خاک اشباع برای رسوب ١١٦
شکل ٤-١٤- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب آلبیدو خاک برای دبی..... ١١٦
شکل ٤-١٥- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر درصد تخلخل بدون آنیون‌ها برای دبی ١١٧
شکل ٤-١٦- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر پتانسیل یا ماکزیمم درصد ترک‌های پروفیل خاک برای دبی..... ١١٧
شکل ٤-١٧- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر هدایت الکتریکی لایه اول خاک برای دبی ١١٨
شکل ٤-١٨- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر فاکتور آلفا در بازگشت جریان پایه به آبراهه اصلی برای دبی ١١٨
شکل ٤-١٩- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب فرسایش پذیری خاک برای دبی ١١٩
شکل ٤-٢٠- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب فرسایش پذیری خاک برای رسوب ١١٩
شکل ٤-٢١- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر زمان تأخیر برای بازگشت آب زیر زمینی برای دبی ١٢٠
شکل ٤-٢٢- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر عمق آستانه آب در سفره آب زیرزمینی برای دبی ١٢٠
شکل ٤-٢٣- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب آب زیر زمینی برای دبی ١٢١
شکل ٤-٢٤- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر عمق اولیه آب در سفره آب زیرزمینی برای دبی ١٢١
شکل ٤-٢٥- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب نفوذ لایه پایینی برای دبی ١٢٢
شکل ٤-٢٦- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر عمق اولیه آب برگشتی در سفره آب زیرزمینی برای دبی ١٢٢
شکل ٤-٢٧- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر فاکتور تصحیح رشد پوشش گیاهی برای دبی ١٢٣
شکل ٤-٢٨- نتایج تحلیل حساسیت فاکتور تصحیح تبخیر از سطح خاک برای رسوب ١٢٣
شکل ٤-٢٩- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر فاکتور میانگین طول شیب برای رسوب ١٢٤
شکل ٤-٣٠- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب مانینگ برای دشت‌های سیلابی برای دبی..... ١٢٤
شکل ٤-٣١- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب مانینگ برای دشت‌های سیلابی برای رسوب ١٢٥

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ٤-٣٢- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب مانینگ برای کانال اصلی برای دبی ١٢٥
شکل ٤-٣٣- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب مانینگ برای کانال اصلی برای رسوب ١٢٦
شکل ٤-٣٤- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر فاکتور هدایت هیدرولیکی در کانال اصلی برای دبی ١٢٦
شکل ٤-٣٥- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر فاکتور هدایت هیدرولیکی در کانال اصلی برای رسوب ١٢٧
شکل ٤-٣٦- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب معادله کاربری زمین برای رسوب ١٢٧
شکل ٤-٣٧- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر فاکتور قابلیت فرسایش کانال برای دبی ١٢٨
شکل ٤-٣٨- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر فاکتور قابلیت فرسایش کانال برای رسوب ١٢٨
شکل ٤-٣٩- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر فاکتور پوشش کانال برای دبی ١٢٩
شکل ٤-٤٠- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر فاکتور زمان حرکت جریان از آبراهه فرعی برای رسوب ١٢٩
شکل ٤-٤١- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ماکزیمم ذخیره برگاب برای دبی ١٣٠
شکل ٤-٤٢- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب آلفا جریان پایه جهت ذخیره برای دبی ١٣٠
شکل ٤-٤٣- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر دمای آستانه بارش برف برای دبی ١٣١
شکل ٤-٤٤- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر دمای آستانه بارش برف برای رسوب ١٣١
شکل ٤-٤٥- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر دمای آستانه ذوب برف برای دبی ١٣٢
شکل ٤-٤٦- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر دمای آستانه ذوب برف برای رسوب ١٣٢
شکل ٤-٤٧- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر حداکثر ذوب برف در طول سال برای دبی ١٣٣
شکل ٤-٤٨- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر حداکثر ذوب برف در طول سال برای رسوب ١٣٣
شکل ٤-٤٩- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر حداقل ذوب برف در طول سال برای دبی ١٣٤
شکل ٤-٥٠- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر حداقل ذوب برف در طول سال برای رسوب ١٣٤
شکل ٤-٥١- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب تأخیر دمای توده برف برای دبی ١٣٥
شکل ٤- ٥٢- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب تأخیر دمای توده برف برای رسوب ١٣٥
شکل ٤-٥٣-نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب تأثیر کالیبراسیون جریان پایه برای دبی ١٣٦
شکل ٤-٥٤- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب تأثیر کالیبراسیون جریان پایه برای رسوب ١٣٦
شکل ٤-٥٥- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب تأثیر کالیبراسیون جریان‌های پایین برای دبی ١٣٧

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ٤-٥٦- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب تأثیر کالیبراسیون جریان‌های پایین برای رسوب ١٣٧
شکل ٤-٥٧- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر زمان تأخیر رواناب برای دبی ١٣٨
شکل ٤-٥٨- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر زمان تأخیر رواناب برای رسوب ١٣٨
شکل ٤-٥٩- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر زمان تأخیر رواناب برای آلودگی فسفر ١٣٩
شکل ٤-٦٠- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب وزنی جهت معادله روندیابی ماسکینگام برای دبی ١٣٩
شکل ٤-٦١- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب وزنی جهت معادله روندیابی ماسکینگام برای رسوب ١٤٠
شکل ٤-٦٢- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر فاکتور تنظیم کننده میزان اوج رسوب در روندیابی کانال برای رسوب ١٤٠
شکل ٤-٦٣- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر نمایی محاسبه برگشت رسوب به مسیر کانال برای رسوب ١٤١
شکل ٤-٦٤- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر خطی برای محاسبه ماکزیمم میزان رسوب برگشتی به مسیر کانال برای رسوب ١٤١
شکل ٤-٦٥- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب دسترسی فسفر برای آلودگی فسفر ١٤٢
شکل ٤-٦٦- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب غنی سازی فسفر آلی برای آلودگی فسفر ١٤٢
شکل ٤-٦٧- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب معدنی شدن فسفر آلی به فسفر محلول در روز برای آلودگی فسفر ١٤٣
شکل ٤-٦٨- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر میزان فسفر آلی رسوبی در روز برای آلودگی فسفر..... ١٤٣
شکل ٤-٦٩- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر غلظت نیتروژن در بارندگی برای آلودگی نیتروژن ١٤٤
شکل ٤-٧٠- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب غنی سازی نیتروژن آلی برای آلودگی نیتروژن ١٤٤
شکل ٤-٧١- نتایج تحلیل حساسیت پارامتر ضریب نفوذ نیتروژن برای آلودگی نیتروژن..... ١٤٥
شکل ٤-٧٢- نتایج شبیه سازی رواناب برای دوره واسنجی (٢٠٠٦-١٩٩٩) ١٤٨
شکل ٤-٧٣- نتایج شبیه سازی رواناب برای دوره اعتبارسنجی (٢٠١٠-٢٠٠٧) ١٥٠
شکل ٤-٧٤- نتایج شبیه سازی رسوب برای دوره واسنجی (٢٠٠٦-١٩٩٩) ١٥٢
شکل ٤-٧٥- نتایج شبیه سازی رسوب برای دوره اعتبارسنجی (٢٠١٠-٢٠٠٧) ١٥٣
شکل ٤-٧٦- نتایج شبیه سازی هدر رفت نیتروژن نیتراتی برای دوره واسنجی ١٥٥

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ٤-٧٧- نتایج شبیه سازی هدر رفت فسفر معدنی برای دوره واسنجی ١٥٦
شکل ٤-٧٨- نمودار مقایسه مقادیر رواناب، رسوب و فرسایش هر زیر حوضه ١٥٧
شکل ٤-٧٩- نقشه شدت فرسایش در حوضه آبخیز گرگانرود ١٥٨
شکل ٤-٨٠- نقشه شدت توزیع رسوب در حوضه آبخیز گرگانرود ١٥٩
شکل ٤-٨١- نمودار هدر رفت سالانه نیتروژن و فسفر در هر سال برای زیرحوضه ١٥ خروجی حوضه آبخیز مورد مطالعه ١٦٢
شکل ٤-٨٢- نمودار هدر رفت سالانه نیتروژن و فسفر در هر سال برای زیرحوضه ٨ (زیرحوضه دارای بیشترین میزان رسوب) ١٦٢
شکل ٤-٨٣- نمودار هدر رفت سالانه نیتروژن و فسفر در هر سال برای زیرحوضه ١٢ (زیرحوضه دارای کمترین میزان رسوب) ١٦٣
شکل ٤-٨٤- نمودار میانگین سالانه رواناب، رسوب، فرسایش و هدر رفت نیتروژن و فسفر زیرحوضه‌های آبخیز گرگانرود ١٦٣
شکل ٤-٨٥- نتایج اجرای سناریوها برای پارامتر بار نیتروژن آلی ١٦٤
شکل ٤-٨٦- نتایج اجرای سناریوها برای پارامتر بار فسفر آلی ١٦٥
شکل ٤-٨٧- نتایج اجرای سناریوها برای پارامتر نیترات در رواناب سطحی ١٦٥
شکل ٤-٨٨- نتایج اجرای سناریوها برای پارامتر بار فسفر محلول در رواناب سطحی ١٦٦
شکل ٤-٨٩- نتایج اجرای سناریوها برای پارامتر بار فسفر معدنی در رسوب ١٦٦

فصل اول

مقدمه

لایه نازک خاک سطحی با ضخامت تنها چند اینچ در سراسر دنیا سرچشمه پیدایش تمدن‌های بشری بوده است. تمدن‌های اولیه که این خاک سطحی حاصلخیز را از دست می‌دادند محکوم به نابودی بودند زیرا ذخیره غذای آن‌ها از بین می‌رفت. فرآیندهای مخرب نظیر فرسایش، بیابانی شدن، اسیدی شدن، شور و قلیایی شدن، متراکم شدن و ایجاد سله در خاک و ... مختل کننده نظم و تعادل اکوسیستم‌ها بوده و امنیت غذایی را به شدت تهدید می‌کند (لال ۱۹۹۹). امروزه، در بیشتر اراضی سرعت فرسایش خاک بیش از سرعت تشکیل خاک است. در نتیجه باعث تهی شدن منابع خاک و کاهش توانایی حاصلخیزی خاک می‌شود. این ناهمخوانی بین سرعت تشکیل و سرعت هدر رفت خاک، غالباً نتیجه فعالیت‌های انسانی می‌باشد (زاگولسکی و جیلارد ۱۹۹۹). فرسایش نه تنها خود خاک را از بین برده و یا حاصلخیزی آن را کاهش می‌دهد، بلکه با ایجاد رسوب مواد در آبراهه‌ها سبب انسداد آن‌ها می‌شود. همچنین با پر کردن مخازن سدها ظرفیت ذخیره آن‌ها را کاهش می‌دهد و در نتیجه عمر مفید آن‌ها را کم می‌کند. فرسایش به این ترتیب به برنامه توسعه کشاورزی که بر پایه این تأسیسات بنا شده است، لطمه وارد می‌سازد (رفاهی ۱۳۸۲).

با در نظر گرفتن این موضوع که در حال حاضر ۳۶ درصد زمین‌های کشاورزی جهان در حال از دست دادن خاک سطحی است، امنیت غذایی ما نیز در معرض خطر قرار دارد (پیمنتل ۱۹۹۷). در جهان فرسایش خاک یکی از عوامل مدنظر در بحث امنیت غذایی می‌باشد.به گزارش فائو در سال ۱۹۹٤ سرعت فرسایش خاک در آسیا و آفریقا حدوداً ۲۰ برابر بیشتر از آمریکا تخمین زده شده است. سازمان خوار و بار جهانی تخمین زده است که ۱٤۰ میلیون هکتار از خاک‌های با کیفیت خوب در آسیا و آفریقا تا سال ۲۰۱۰ فرسوده خواهند شد، مگر آنکه روش‌های بهتر مدیریت اراضی به کار گرفته شوند. به طور کلی یک ششم خاک‌های جهان تحت تأثیر فرسایش هستند (پیمنتل و کونانجو ۱۹۹۸). نقشه برداری تخریب اراضی جهان نشان می‌دهد که بیش از یک چهارم خاک‌های جهان در طی ٤۵ سال اخیر حاصلخیزی خود را از دست داده‌اند. جنگل تراشی و مدیریت کشاورزی ناپایدار، مسئول ۳۰ درصد از تخریب خاک در سطح دنیا می‌باشد (حاج عباسی و همکاران ۱۳۷۳).

پیش بینی می‌شود میزان سرانه اراضی قابل کشت طی سال‌های ۱۹۸٦ تا ۲۰۱۱ از ۰/۳۳ به ۰/۱٤ هکتار کاهش یابد و این در حالی است که برای تأمین نیاز غذایی سرانه و در حد استاندارد، این مقدار در حدود ۰/۵ هکتار می‌باشد (لال و همکاران ۱۹۸۹). بنا بر آمار و اطلاعات موجود، قاره آسیا بیش از