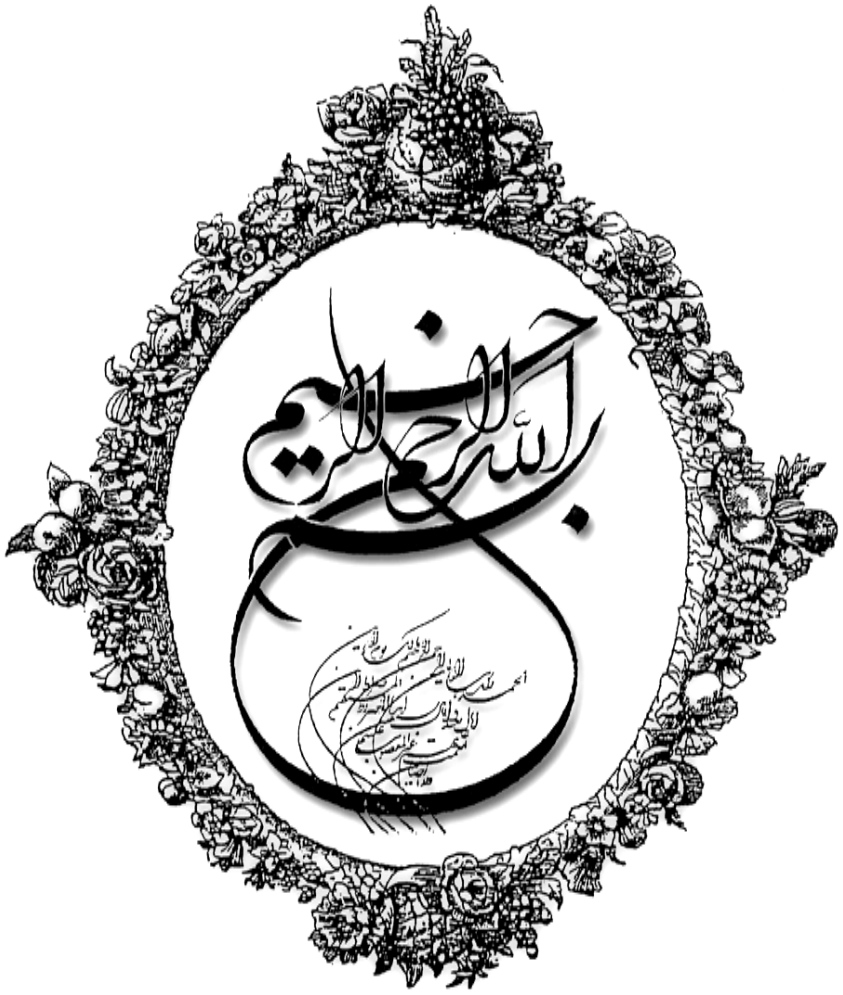
بسم الله الرحمن الرحیم

مدیریت تحصیلات تکمیلی
دانشکده منابع طبیعی
گروه مرتع و آبخیزداری

پایان نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته آبخیزداری

ارزیابی کارایی مدل SWAT در شبیه سازی دبی رواناب و بار رسوب حوزه آبخیز رودخانه دویرج در استان ایلام

اساتید راهنما
دکتر نصراله بصیرانی
دکتر حاجی کریمی

استاد مشاور
دکتر علیرضا مقدم‌نیا

تهیه و تدوین
حیدر ابراهیمی

خرداد ۹۰

تقدیم به

پدر و مادر عزیز و بزرگوارم،

به پاس تعبیر عظیم و انسانیشان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.

به نام آنکه آدمی را با گل خویش سرشت

سپاس نامه

حمد و سپاس خداوندی است را که برایش آغازی نیست، پروردگاری که بقایش را پایانی نیست

و سپاس بی نهایت خدایی را که شکفتگی عمیق من و باران مداوم و بی حد و حصر او مرا قامت در زیر خیمه شکرش باز داشته است و دست یاری هر لحظه او در نشیب و فراز صخره های صعب زندگی مرا از اندیشه پرتگاه ها ناسپاسی واگذاشته است و عادت به روشنایی نور او در جاده زندگی، سپاس این همه را از یادم برده است. چگونه شکر او گویم که سراپای وجودم غرق در نعمت های اوست، خدایی که دریای بی انتهای بخشش است؛ و شکر و سپاس بنام آن کرامت بی انتها و عزت نفس بی منتهی که اندیشه ره سپردن در مسیر ارتقاء علم و ایمان و معرفت را به انسان ارزانی داشت و به لطف و بنده نوازی خلق را از بادیه گمراهی به سرحد هدایت رسانید.

و سپاس خدایی را که پدر و مادری مهربان و فداکاری به بنده عطا فرمود و اساتیدی دلسوز و فرهیخته برایم قرار داد.

بر خود لازم می دانم از تمام اساتیدی که راه علم آموزی را در مکتبشان هرچند با قدم های کوچک، آموختم کمال سپاسگزاری و قدردانی را بجا آورم.

از زحمات و راهنمایی های عالمانه اساتید راهنمای محترم این پژوهش آقایان دکتر نصرالله بصیرانی و دکتر حاجی کریمی و همچنین جناب آقای دکتر علیرضا مقدم نیا استاد مشاور این پایان نامه تشکر و قدردانی کنم.

همچنین از استاد گرانقدر جناب دکتر احمد پهلوانروی که زحمت داوری این پایان نامه را بر عهده گرفتند سپاسگزاری می نمایم.

از آقای دکتر کریم عباسپور، آقای مهندس حسین اکبری و خانم مهندس سارا مقنیان و دوستان و همکلاسی های عزیزم آقایان بهمن عالیشوندی، محسن فراهی مقدم، سید علی موسوی، محسن حسین خانی، کاظم عابدین زاده و محمد میرطاهری و خانمها هاجر ایزدی و الهام کاکایی و تمامی کسانی که در انجام این تحقیق مرا یاری کردند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

حیدر ابراهیمی

مهرماه ۱۳۹۰

چکیده

اهمیت آب و خاک در زندگی بشر و نقش آن در شکل گیری اجتماعات و رشد و تمدن بشری بر کسی پوشیده نیست. پایش و ارزیابی منابع آب را می‌توان یکی از مهمترین اقداماتی دانست که برای افزایش آگاهی و شناخت دربارهٔ شرایط منابع آب کشور باید انجام پذیرد. از آنجایی که پدیده فرسایش و رسوب یکی از پیچیده‌ترین فرآیندهای طبیعی بوده و عوامل زیادی در آن دخیل می‌باشد، شناخت کامل عوامل موثر در این پدیده کاری بسیار مشکل است. هدف از این پژوهش مدل‌سازی و ارزیابی عملکرد مدل پیچیده SWAT در شبیه‌سازی رواناب و بار رسوب و بهینه سازی پارامترهای این مدل و تعیین حساسیت و میزان تأثیر هر یک از آن‌ها در تولید رواناب و بار رسوب ماهانه حوزه آبخیز دویرج در غرب ایران به منظور پیش‌بینی رواناب و بار رسوب، با توجه به محدودیت داده و اهمیت شبیه‌سازی رواناب و بار رسوب به دلیل وجود سد مخزنی دویرج در خروجی و اراضی حاصلخیز در پایین دست حوزه می‌باشد. این تحقیق با استفاده از مدل مفهومی – نیمه‌توزیعی SWAT و الگوریتم SUFI2 انجام شده است. مدل SWAT به دلیل بهره گیری از بیشترین تعداد پارامترهای موثر بر جریان و بار رسوب استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی بسیار کاربردی می‌باشد. برای واسنجی مدل داده‌های دوره آماری ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۰ و برای اعتبارسنجی آن دوره آماری ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ مورد استفاده قرار گرفت. جهت تجزیه و تحلیل نتایج از شاخص‌های آماری R^2، bR^2 و ضریب نش- ساتکلیف (NS) استفاده شد. به طور کلی نتایج مربوط به شبیه‌سازی رواناب و بار رسوب در اولین اجرای مدل SWAT و بررسی شاخص‌های ارزیابی کارایی این مدل نشان می‌دهند که در اولین اجرا و با مقادیر اولیه پارامترهای آن، دارای دقت قابل قبولی برای شبیه سازی دبی رواناب و بار رسوب حوزه آبخیز رودخانه دویرج نمی‌باشد. اما پس از واسنجی مدل با استفاده از الگوریتم SUFI2 ضرایب R^2، bR^2 و NS برای مرحله واسنجی رواناب به ترتیب ۰/۷۵، ۰/۷۴ و ۰/۶۵ و برای مرحله اعتبارسنجی آن ۰/۸۶، ۰/۵۰ و ۰/۲۴ و این ضرایب برای مرحله واسنجی بار رسوب به ترتیب ۰/۶۳، ۰/۶۲۲ و ۰/۳۳ و برای مرحله اعتبارسنجی آن ۰/۷۴، ۰/۵۲۲ و ۰/۰۵ برآورد شدند. بررسی نمودارهای مربوط مراحل واسنجی و اعتبارسنجی مدل نیز نشان می‌دهد که زمان وقوع دبی اوج و دبی پایه و همچنین زمان وقوع بار رسوب حداکثر و حداقل به خوبی مدل‌سازی شده است. به طور کلی نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی دبی رواناب و بار رسوب ماهانه حوزه آبخیز رودخانه دویرج پس از واسنجی رضایتبخش می‌باشد. بر اساس نتایج آنالیز حساسیت پارامترهای مدل، پارامترهای چگالی خاک در حالت مرطوب (SOL_BD)، ظرفیت آب قابل دسترس خاک (SOL_AWC)، ضریب α آب پایه برای ذخیره ساحلی کانال (ALPHA_BNK) و شماره منحنی در شرایط رطوبتی متوسط (CN2) از پارامترهای بسیار مهم در تعین میزان دبی رواناب خروجی از حوزه شناخته شدند که از بین آن‌ها عامل چگالی خاک در حالت مرطوب (SOL_BD)، به عنوان حساس‌ترین پارامتر تشخیص داده شد. همچنین چهار پارامتر ضریب مانینگ رودخانه اصلی (CH_N2)، عامل مربوط به فرسایش‌پذیری خاک در معادله جهانی هدررفت خاک (USLE_K)، عامل مربوط به عملیات حفاظت خاک در معادله جهانی هدررفت خاک (USLE_P) و ضریب مانینگ برای جریان سطحی (OV_N) از پارامترهای بسیار مهم در تعیین میزان بار رسوب خروجی از حوزه شناخته شدند که از بین آن‌ها عامل، USLE_K به عنوان حساس‌ترین پارامتر تشخیص داده شد.

واژه‌های کلیدی: رواناب، رسوب، مدل SWAT، SUFI2، رودخانه دویرج.

فهرست

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه و کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- ضرورت تحقیق ۵

۱-۳- فرضیات تحقیق ۵

۱-۴- اهداف تحقیق ۵

۱-۵- تعاریف و مفاهیم ۶

۱-۵-۱- تعریف مدل ۶

۱-۵-۲- واسنجی ۶

۱-۵-۳- مدل‌سازی معکوس ۷

۱-۵-۴- عدم قطعیت ۷

۱-۵-۵- تحلیل حساسیت ۸

۱-۵-۶- مروری بر مدل‌های تخمین فرسایش ۹

فصل دوم: مرور منابع ۱۲

۲-۱- مقدمه ۱۳

۲-۲- سابقه تحقیق در خارج از کشور ۱۳

۲-۳- سابقه تحقیق در ایران ۱۹

۲-۳- جمع‌بندی نظرات ارائه شده ۲۲

فصل سوم: مواد و روش‌ها ۲۴

۳-۱- مقدمه ۲۵

۳-۲- معرفی منطقه مورد مطالعه ۲۵

۳-۲-۱- موقعیت جغرافیایی و طبیعی حوزه آبخیز دویرج ۲۵
۳-۲-۲- هواشناسی و اقلیم‌شناسی ۲۶
۳-۲-۳- واحدهای ژئومورفولوژی ۲۷
۳-۲-۴- پوشش گیاهی ۲۷
۳-۲-۵- زمین شناسی ۲۸
۳-۳- معرفی مدل SWAT ۲۹
۳-۴- تئوری مدل SWAT ۳۰
۳-۵- ساختار مدل ۳۱
۳-۵-۱- چرخه هیدرولوژی در مدل SWAT ۳۱
۳-۵-۲- رواناب سطحی ۳۲
۳-۵-۲-۱- روش شماره منحنی ۳۳
۳-۵-۲-۲- رابطه گرین و امپت ۳۵
۳-۵-۳- حداکثر رواناب ۳۷
۳-۵-۳-۱- زمان تمرکز ۳۸
۳-۵-۳-۲- ضریب رواناب ۴۰
۳-۵-۳-۳- شدت بارش ۴۰
۳-۵-۴- تبخیر و تعرق پتانسیل ۴۱
۳-۵-۴-۱- روش پنمن – مانتیس ۴۱
۳-۵-۴-۲- روش پریستلی – تیلور ۴۲
۳-۵-۴-۳- روش هارگریوز ۴۳
۳-۵-۵- آب موجود در خاک ۴۳
۳-۵-۵-۱- نفوذ عمقی ۴۴
۳-۵-۵-۲- جریان جانبی ۴۵
۳-۵-۶- جریان آب زیرزمینی ۴۶
۳-۵-۷- مدل ذوب برف ۴۷
۳-۵-۸- دمای خاک ۴۸
۳-۵-۹- بار رسوب ۴۹
۳-۵-۱۰- مرحله روند یابی در چرخه هیدرولوژی ۴۹
۳-۵-۱۰-۱- روندیابی جریان ۵۰

۲-۱۰-۵-۳- روندیابی رسوب ۵۳
۶-۳- شاخص‌های آماری ارزیابی مدل ۵۴
۱-۶-۳- ضریب تبیین ۵۴
۲-۶-۳- ضریب bR^2 ۵۵
۳-۶-۳- ضریب ناش-ساتکلیف ۵۵
۷-۳- واسنجی، تحلیل حساسیت و آنالیز عدم قطعیت پارامترهای مدل ۵۶
۱-۷-۳- خوارزمیک بهینه‌سازی SUFI-2 ۵۸
۸-۳- ورودی‌های مدل ۵۹
۱-۸-۳- جمع‌آوری داده‌های هواشناسی حوزه آبخیز رودخانه دویرج ۶۰
۲-۷-۳- جمع آوری داده های آبسنجی و رسوب حوزه آبخیز دویرج ۶۲
۳-۸-۳- نقشه های مورد نیاز ۶۳
۱-۳-۸-۳- نقشه رقومی ارتفاع ۶۴
۲-۳-۸-۳- نقشه کاربری اراضی ۶۴
۳-۳-۸-۳- نقشه خاک ۶۵
۴-۸-۳- پارامترها و ضرایب بکار رفته در مدل SWAT ۶۷
فصل چهارم: نتایج و بحث ۶۸
۱-۴- مقدمه ۶۹
۲-۴- ویژگی‌های فیزیکی حوضه ۶۹
۳-۴- نتایج اولین اجرای مدل SWAT ۷۲
۴-۴- واسنجی، آنالیز حساسیت و عدم قطعیت پارامترهای رواناب ۷۹
۱-۴-۴- واسنجی و اعتبارسنجی مدل ۷۹
۲-۴-۴- آنالیز حساسیت پارامترهای موثر بر رواناب ۸۳
۵-۴- واسنجی و آنالیز حساسیت و عدم قطعیت پارامترهای بار رسوب ۸۶
۱-۵-۴- واسنجی و اعتبارسنجی مدل ۸۶
۲-۵-۴- آنالیز حساسیت پارامترهای موثر بر بار رسوب ۹۰
۶-۴- بحث و نتیجه گیری ۹۲
۷-۴- پیشنهادات ۹۶
منابع ۹۹

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل (۱-۳)- موقعیت حوزه دویرج در ایران و استان ایلام ۲۶

شکل (۲-۳)- نمایی از چرخه هیدرولوژی ۳۲

شکل (۳-۳)- مقایسه بین توزیع رطوبت حاصل از روش گرین –آمپت و توزیع مشاهده شده در خاک ۳۷

شکل (۴-۳)- فرایندهای درون آبراهه ای که توسط مدل SWAT شبیه سازی می‌شوند ۵۰

شکل (۵-۳)- نقشه رقومی ارتفاع حوزه آبخیز دویرج ۶۴

شکل (۶-۳)- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز دویرج ۶۵

شکل (۷-۳)- نقشه کلاس‌های خاک حوزه آبخیز دویرج ۶۶

شکل (۱-۴)- نقشه زیرحوزه‌ها و میان حوزه‌های حوزه آبخیز رودخانه دویرج، ترسیم شده با استفاده از مدل SWAT ۷۰

شکل (۲-۴)- نمودار داده‌های پراکنده مقادیر ماهانه رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده حوزه آبخیز رودخانه دویرج در اولین اجرای مدل SWAT طی دوره زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۰ میلادی ۷۴

شکل (۳-۴)- نمودار داده‌های پراکنده مقادیر ماهانه بار رسوب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده حوزه آبخیز رودخانه دویرج در اولین اجرای مدل SWAT طی دوره زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۰ میلادی ۷۴

شکل (۴-۴)- مقایسه مقادیر ماهانه بارش و رواناب مشاهده شده حوزه آبخیز رودخانه دویرج طی دوره زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۰ میلادی ۷۶

شکل (۵-۴)- مقایسه مقادیر ماهانه بارش و رواناب شبیه‌سازی شده ماهیانه در اولین اجرای مدل SWAT در حوزه آبخیز رودخانه دویرج طی دوره زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۰ میلادی ۷۶

شکل (۶-۴)- مقایسه مقادیر ماهانه رواناب مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در اولین اجرای مدل SWAT در حوزه آبخیز رودخانه دویرج طی دوره زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۰ میلادی ۷۷

شکل (۷-۴)- مقایسه مقادیر ماهانه بار رسوب مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در اولین اجرای مدل حوزه آبخیز رودخانه دویرج طی دوره زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۰ میلادی ۷۷

شکل (۸-۴)- نمودار داده‌های پراکنده مقادیر ماهانه رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده حوزه آبخیز رودخانه دویرج پس از واسنجی مدل SWAT طی دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۰ میلادی..... ۸۱

شکل (۹-۴)- مقایسه مقادیر ماهانه رواناب مشاهده شده و شبیه‌سازی شده پس از واسنجی مدل SWAT حوزه آبخیز رودخانه دویرج طی دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۰ میلادی..... ۸۱

شکل (۱۰-۴)- نمودار داده‌های پراکنده مقادیر ماهانه رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده حوزه آبخیز رودخانه دویرج توسط مدل واسنجی شده SWAT طی دوره اعتبارسنجی (۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ میلادی)..... ۸۲

شکل (۱۱-۴)- نمودار مقادیر ماهانه رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل واسنجی شده SWAT حوزه آبخیز رودخانه دویرج طی دوره اعتبارسنجی (۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ میلادی)..... ۸۲

شکل (۱۲-۴)- باند عدم قطعیت رواناب حوزه آبخیز رودخانه دویرج..... ۸۳

شکل (۱۳-۴)- نمودار داده‌های پراکنده مقادیر ماهانه بار رسوب ماهیانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده حوزه آبخیز رودخانه دویرج پس از واسنجی مدل SWAT طی دوره ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۰ میلادی..... ۸۸

شکل (۱۴-۴)- مقایسه مقادیر ماهانه بار رسوب مشاهده شده و شبیه‌سازی شده پس از واسنجی مدل SWAT حوزه آبخیز رودخانه دویرج طی دوره زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۰ میلادی..... ۸۸

شکل (۱۵-۴)- نمودار داده‌های پراکنده مقادیر ماهانه بار رسوب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده حوزه آبخیز رودخانه دویرج توسط مدل واسنجی شده SWAT طی دوره اعتبارسنجی (۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ میلادی)..... ۸۹

شکل (۱۶-۴)- نمودار مقادیر ماهانه بار رسوب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده توسط مدل واسنجی شده SWAT حوزه آبخیز رودخانه دویرج طی دوره اعتبارسنجی (۲۰۰۱ تا ۲۰۰۴ میلادی)..... ۸۹

شکل (۱۷-۴)- باند عدم قطعیت بار رسوب حوزه آبخیز رودخانه دویرج..... ۹۰

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (۱-۳)- مشخصات ایستگاه‌های استفاده شده در این مطالعه ۶۰
جدول (۲-۳)- بارندگی ماهانه (میلی‌متر) ایستگاه سینوپتیک دهلران ۶۱
جدول (۳-۳)- دمای حداکثر ماهانه (درجه سلسیوس) ایستگاه سینوپتیک دهلران ۶۱
جدول (۴-۳)- دمای حداقل ماهانه (درجه سلسیوس) ایستگاه سینوپتیک دهلران ۶۱
جدول (۵-۳)- رطوبت نسبی متوسط ماهانه (درصد) ایستگاه سینوپتیک دهلران ۶۲
جدول (۶-۳)- بارندگی ماهانه (میلی‌متر) ایستگاه بارانسنجی آبدانان ۶۲
جدول (۷-۳) دبی متوسط ماهانه (مترمکعب بر ثانیه) ایستگاه آبسنجی پل دویرج ۶۳
جدول (۸-۳) رسوب ماهانه (تن) ایستگاه آبسنجی پل دویرج ۶۳
جدول (۹-۳) مشخصات مربوط به کاربری‌های اراضی حوزه دویرج ۶۵
جدول (۱۰-۳) مشخصات مربوط به کلاس‌های خاک حوزه آبخیز دویرج ۶۶
جدول (۱۱-۳)- پارامترهای موثر بر رواناب و بار رسوب در مدل SWAT2005 و محدوده تغییرات آن‌ها ۶۷
جدول (۱-۴)- مساحت و تعداد واحدهای عکس‌العمل هیدرولوژیکی زیرحوزه‌های حوزه آبخیز رودخانه دویرج تهیه شده به وسیله مدل SWAT ۷۱
جدول (۲-۴)- کلاس‌های شیب و مساحت هر یک از آن‌ها در حوزه آبخیز رودخانه دویرج ۷۲
جدول (۳-۴)- نتایج دقت شبیه‌سازی جریان و بار رسوب ماهانه حوزه آبخیز رودخانه دویرج در اولین اجرای مدل SWAT ۷۲
جدول (۴-۴)- مقادیر اولیه پارامترهای بکار رفته در مدل SWAT در اولین اجرای آن ۷۳
جدول (۵-۴)- مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل‌سازی رواناب در مراحل مختلف اجرای مدل SWAT ۸۰
جدول (۶-۴)- پارامترهای موثر در دبی رواناب و مقادیر بهینه، t-stat و p-value آن‌ها ۸۵
جدول (۷-۴)- مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل‌سازی بار رسوب در مراحل مختلف اجرای مدل SWAT ۸
جدول (۸-۴)- پارامترهای موثر در بار رسوب و مقادیر بهینه، t-stat و p-value آن‌ها ۹۱

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه

اهمیت آب و خاک در زندگی بشر و نقش آن در شکل‌گیری اجتماعات و رشد تمدن بشری بر کسی پوشیده نیست. ایران کشوری پهناور، خشک و کم‌باران است که با وجود منابع آبی محدود و قابلیت‌های بالقوه، همواره مشکل کمبود آب آن به عنوان یکی از مهمترین عوامل توسعه مد نظر بوده است. این سرزمین علاوه بر کمبود آب هر ساله شاهد خسارات جبران‌ناپذیری است که بر اثر عدم کنترل آب‌های سطحی در بخش‌های نسبتاً وسیعی اتفاق می‌افتد. با به‌کارگیری و استفاده بهینه از ریزش‌های جوی علاوه بر تأمین آب مورد نیاز مصارف کشاورزی، صنعتی و آشامیدنی، از اثرات مخرب و زیان‌های ناشی از سیلاب کاسته می‌شود. رواناب ناشی از بارندگی در حوزه‌های آبخیز علاوه بر خسارت‌های جانی و مالی ناشی از سیل، باعث فرسایش و از بین رفتن خاک حاصلخیز شده و در نهایت رسوب‌گذاری در سدها را به دنبال دارد.

فرسایش خاک یکی از مهمترین مسائل اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی جهان است. فرسایش خاک و ته‌نشست رسوب، هرچند فرایندهای طبیعی هستند، اما می‌توانند به وسیله فعالیت‌های انسانی مثل جنگل‌تراشی، چرای بیش از حد دام‌ها و مدیریت کشاورزی ناپایدار تشدید شوند. همچنین فرایند فرسایش علاوه بر تخریب منابع طبیعی باعث مسائلی همچون ته‌نشست رسوب در مزارع، دشت‌های سیلابی و سدها می‌شود.

امروزه در بیشتر اراضی، سرعت فرسایش خاک بیشتر از سرعت تشکیل خاک است. در نتیجه باعث تهی‌شدن منابع خاک و کاهش توانایی حاصلخیزی آن می‌شود. این ناهمخوانی بین سرعت تشکیل و هدررفت خاک، غالباً نتیجه فعالیت‌های انسانی می‌باشد. افزایش جمعیت جهان از یک طرف و افزایش تقاضا برای غذا، مسکن و توقعات زندگی ایده آل از طرف دیگر باعث شده است که هدررفت خاک با سرعت بیشتری صورت گیرد.

بر اساس آمار منتشره از سوی فائو، میزان فرسایش خاک در کشور ما بین ۱۵ تا ۲۰ تن در هکتار در سال برآورد شده است در حالی که میزان متوسط فرسایش خاک در آمریکا و اروپا کمتر از یک تن در هکتار در سال می‌باشد. طبق یک تحقیق که توسط جلالیان و همکاران صورت گرفته است متوسط فرسایش خاک در ایران ۲۵ تن بر هکتار در سال برآورد شده است که حدوداً ۳.۴ برابر متوسط فرسایش جهانی است (رستمیان، ۱۳۸۵).

پایش و ارزیابی منابع آب را می‌توان یکی از مهمترین اقداماتی دانست که برای افزایش آگاهی و شناخت درباره‌ی شرایط منابع آب کشور باید انجام پذیرد و نتایج این گونه بررسی‌ها در برنامه-ریزی و مدیریت صحیح منابع آب مورد استفاده قرار می‌گیرد (جعفری و ترابیان،۱۳۸۴).

سیستم حوزه آبخیز تنظیم‌کننده کمیت و کیفیت چرخه آب است. مشکلاتی که در عصر حاضر در این چرخه پدیدار آمده است هزینه‌ای است که انسان به خاطر عدم شناخت صحیح این چرخه پیچیده و نیز نداشتن برنامه‌ریزی در طرح‌ها به لحاظ ارتباط بین مدیریت آب و تحولات جوامع متحمل شده است. برای مدیریت صحیح حوزه های آبخیز نیاز به اطلاعات جامع و کاملی از روش‌های اجرایی و مدیریتی متفاوت می‌باشد. در کشور ما اکثر حوزه‌های آبخیز بویژه حوزه‌های آبخیز کوهستانی و صعب‌العبور فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری به تعداد کافی می‌باشند و هر گونه برنامه‌ریزی عمرانی و مدیریتی را با مشکل مواجه می‌سازند. برای مقابله با این معضل دشوار و پرهزینه، متخصصین علم آبخیزداری، هیدرولوژیست‌ها و محققین منابع آب راه‌حل‌های مختلفی ارائه کرده‌اند. عقیده بر این است که شبیه سازی فرایندهای هیدرولوژیکی در حوزه‌های آبخیز می-تواند راه‌حل بهینه‌ای برای مدیریت صحیح آن‌ها باشد. شناخت چرخه هیدرولوژی در مقیاس حوزه‌ای برای مدیریت حوضه ضروری به نظر می‌رسد. مدل‌های هیدرولوژی برای مسایلی همچون توسعه و مدیریت حوضه و ارزیابی منابع آب از اهمیت خاصی برخوردارند.

هدف از مدل یافتن تصویر و بازنمودی است که به سادگی نمایانگر حقایق و پدیده‌ها باشد. مدل ریاضی توصیف‌کننده رفتار یک سیستم به زبان ریاضی می‌باشد. مدل‌های ریاضی دارای کاربردهای فراوانی بخصوص در علوم طبیعی و نظام مهندسی می‌باشند (میرآب‌زاده و قبادی‌نیا، ۱۳۸۴). پیشرفت نرم‌افزارهای رایانه‌ای و شناخت فرایندهای حاکم بر حوزه‌های آبخیز امکان استفاده از انواع مدل‌های ریاضی را فراهم می‌کند. از آنجاییکه نتایج حاصل از بعضی مدل‌ها با مقادیر واقعی تطبیق داشته است استفاده از مدل‌ها در مطالعات حوزه آبخیز افزایش یافته است.

دلایل متعددی برای پاسخ به این سؤال که چرا باید فرآیندهای هیدرولوژیکی بارش-رواناب را مدل‌سازی نمود وجود دارد. پاسخ اصلی این سؤال، محدودیت روش‌های اندازه‌گیری در هیدرولوژی می‌باشد. در حقیقت، فرد قادر نیست هر چیزی راجع به سیستم‌های هیدرولوژیکی را که می‌خواهد بداند، اندازه‌گیری کند زیرا فقط تعداد محدودی از روش‌های اندازه‌گیری و همچنین دامنه‌ای محدود از اعداد در اختیار اوست. بنابراین به روشی احتیاج است تا به وسیله آن بتوان آمار موجود را برای حوزه‌های بدون آمار و یا مکان‌هایی که اندازه‌گیری در آن‌ها امکان‌پذیر نیست تعمیم داد و به تغییرات هیدرولوژیکی آینده دست پیدا کرد و این یک روش موثر برای توسعه علم است (بون،۲۰۰۱). مدل‌های هیدرولوژی برای مسائلی همچون توسعه و مدیریت حوضه و ارزیابی منابع آب از اهمیت خاصی برخوردارند. بررسی تأثیر تغییرات اقلیمی روی منابع آب و تولید محصولات کشاورزی با استفاده از مدل‌های حوزه‌ای امکان‌پذیر است. بنابراین توسعه و تکمیل مدل‌های هیدرولوژی برای فهم اثرات متقابل بین اقلیم و سیستم هیدرولوژی و همچنین برای طیف وسیعی از مشکلات زیست‌محیطی و منابع آب ضروری به نظر می‌رسد (رستمیان، ۱۳۸۵).

۱-۲- ضرورت تحقیق

حوزه آبخیز رودخانه دویرج یکی از حوزه‌های بزرگ استان ایلام می‌باشد. در داخل این حوضه شهر آبدانان و چندین روستا وجود دارد. بخش بزرگی از مساحت این حوضه را زمین‌های کشاورزی تشکیل می‌دهد. همچنین در خروجی این حوضه یک سد مخزنی در حال احداث می‌باشد. طغیان این رودخانه در فصول مرطوب باعث ایجاد سیلاب‌های مخرب در اراضی پایین دست و دشت حاصلخیز موسیان می‌گردد. با توجه به مسائل فوق‌الذکر، انجام مطالعات در زمینه شبیه سازی و پیش‌بینی رواناب و بار رسوب در این حوضه به منظور مدیریت و کنترل آن‌ها ضروری می‌باشد.

۱-۳- فرضیات تحقیق

با بررسی مطالعات صورت گرفته در سایر نقاط جهان فرضیاتی که برای این تحقیق در نظر گرفته شده است شامل موارد زیر می‌باشند:

۱- مدل SWAT[1] قادر است دبی رواناب و بار رسوب رودخانه دویرج را با دقت قابل قبول شبیه سازی کند.

۲- از بین عوامل موثر بر دبی رواناب و بار رسوب، به ترتیب فاکتور CN[2] و فرسایش-پذیری خاک (K) خاک حساسترین عوامل می‌باشند.

۱-۴- اهداف تحقیق

جامع‌نگری، لازمه دستیابی به توسعه پایدار در کلیه زمینه‌های سازندگی در کشور می‌باشد. در بخش آبخیزداری، مهمترین چالش موجود تلفیق اقدامات مکانیکی و فعالیت‌های بیولوژیک و اجرایی دقیق برای جلوگیری از فرسایش و پیامدهای آن در حوزه‌های آبخیز می‌باشد. بنابراین

[1] - Soil and Water Assessment Tool
[2] - Curve Number

جهت انجام برنامه‌های حفاظتی در منطقه، وجود یک مدل که میزان رواناب، فرسایش و رسوب را در زمان‌ها و مکان‌های معین تعیین نماید، می‌تواند نقش بسزایی در حفظ منابع آب و خاک داشته باشد. اهداف این تحقیق عبارتند از:

۱- واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT برای شبیه‌سازی دبی رواناب و بار رسوب رودخانه دویرج.

۲- تجزیه و تحلیل عدم قطعیت متغیرهای رواناب و بار رسوب.

۱-۵- تعاریف و مفاهیم

۱-۵-۱- تعریف مدل

مدل وسیله‌ای است که بخشی از واقعیت را شبیه‌سازی می‌کند. به طور کلی هدف از مدل، مشخص‌کردن عملکرد و رفتار یک پدیده حقیقی تحت شرایط معین می‌باشد. مدل یک پدیده را در ساده‌ترین حالت ممکن بررسی می‌کند و در صورت موفق‌بودن می‌توان آن را به حالت‌های پیچیده تعمیم داد. در این حالت می‌توان پدیده‌های بسیار پیچیده را تفسیر نمود و پیشگویی‌های صحیحی به عمل آورد. ایجاد مدل ریاضی برای یک سیستم فیزیکی با تعریف یک مدل مفهومی آغاز می‌شود. یک مدل ریاضی شامل واکنش‌های به‌هم پیوسته‌ای است که در حقیقت مکانیسم-های شناخته شده‌ای هستند که در سیستم رخ می‌دهند (رستمیان، ۱۳۸۵).

۱-۵-۲- واسنجی

واسنجی عبارت است از تعدیل و اصلاح پارامترهای ورودی مدل، به نحوی که بهترین برازش را با داده‌های مشاهده‌ای داشته باشد. البته اصلاح داده‌های ورودی غیر منطقی نیست چون این داده‌ها دارای دقت بالایی نیستند و معمولاً یک دامنه مطمئن برای اعتبار داده‌ها وجود دارد واسنجی در واقع حل یک مسئله معکوس است(رستمیان، ۱۳۸۵).

۳-۵-۱- مدل‌سازی معکوس

در روش مدل‌سازی معکوس از خروجی‌های اندازه‌گیری شده مدل‌های شبیه‌سازی، برای تخمین پارامترهای ورودی مدل استفاده می‌شود. مدل‌سازی معکوس در سال‌های اخیر به عنوان یک روش مناسب در بسیاری از شاخه‌های علوم زمین و محیط زیست مورد استفاده قرار گرفته است. شاید به این خاطر است که اندازه‌گیری مستقیم پارامترها وقت‌گیر، پرهزینه و اغلب با محدودیت‌های زیادی مواجه است و اندازه‌گیری بعضی از پارامترهای خروجی نسبت به اندازه‌گیری بعضی از پارامترهای ورودی آسان‌تر است (رستمیان، ۱۳۸۵).

۴-۵-۱- عدم قطعیت

عدم قطعیت در معنای لغوی مترادف با واژه‌گان شک و تردید است اما در مباحث علمی به معنای دامنه‌ای از تغییرات است که می‌توان به طور منطقی برای یک متغیر در نظر گرفت. به عبارت دیگر عدم قطعیت یک متغیر بازه‌ای از مقادیر برای آن متغیر است. در حالی که خطا عبارت است از اختلاف بین مقادیر یک متغیر با مقادیر واقعی آن که به صورت یک مقدار واحد بیان می‌شود و می‌توان از آن برای تصحیح مقادیر آن متغیر استفاده کرد.

کمبود اطلاعات موجود، تأثیر متغیرهای فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی موجود در سامانه‌های مرتبط با طبیعت، عدم کفایت داده‌ها، خطای موجود در اندازه‌گیری‌ها و غیره می‌توانند دلیلی بر این عدم قطعیت باشند.

وجود عدم قطعیت در این گونه مسائل موجب به وجود آمدن عدم اطمینان در عملکرد سامانه‌ها و عدم امکان قضاوت و تصمیم‌گیری در مورد آن‌ها می‌شود، بنابراین تعیین و برآورد عدم قطعیت مدل‌ها در این گونه مسائل امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر به نظر می‌رسد (دلاور، ۱۳۸۴).

علی‌رغم فعالیت شدید در توسعه و کاربرد مدل‌ها، توجه نسبتاً کمی به بررسی اهمیت عدم قطعیت که تغییرپذیری در مقادیر پارامترهای ورودی را پیش‌بینی می‌کند، شده است. آنالیز عدم قطعیت یکی از اجزای مهم در توسعه و اجرای مدل‌های کامپیوتری برای ارزیابی محیط زیست می‌باشد. فهم کامل عدم قطعیت و علل آن برای تفسیر موثر پیش‌بینی‌های مدل لازم است. در صورت عدم این فهم، کاربران مدل برای استفاده عملی از مدل‌ها باید بعضی از خطاها و عیوب مدل ریاضی را از طریق اصلاح، مدیریت و تغییر پارامترها به صورت تصادفی و اختیاری برطرف سازند (رستمیان، ۱۳۸۵).

۵-۵-۱- تحلیل حساسیت

عبارت است از مطالعه تغییرات کمی و کیفی متغیرهای خروجی مدل بر حسب پارامترهای ورودی، به عبارت دیگر در این تحلیل، پارامترهای موثر در مدل بر اساس نقش آن‌ها در میزان خطای کلی مدل مرتب می‌شوند. از جمله روش‌های معمول برای این کار، روش*های* کلی[1] و روش‌های جزئی[2] را می‌توان نام برد.

در تحلیل حساسیت جزئی، تأثیر یک متغیر ورودی به وسیله ثابت نگه داشتن دیگر متغیرها در مقدار میانگین آن‌ها و میزان تابع خروجی نسبت به متغیرهای ورودی، بررسی می‌شود. اما در تحلیل حساسیت کلی همه متغیرها طبق تابع احتمال مربوطه و در محدوده مجاز خود تغییر می‌کنند و پس از شبیه‌سازی به دفعات زیاد، خروجی مدل در هر مرحله شبیه‌سازی تعیین می‌شود. به منظور تعیین میزان اهمیت متغیرهای ورودی در یک مدل و میزان تأثیر آن‌ها در خطای مدل از تحلیل حساسیت استفاده می‌شود (جمالیزاده تاج‌آبادی، ۱۳۸۷).

[1] - Global
[2] - Local

۶-۵-۱- مروری بر مدل‌های تخمین فرسایش

با توسعه انواع مدل‌های ریاضی و رایانه‌ای در سال‌های اخیر مطالعات گسترده و دامنه‌داری با در نظر گرفتن دورنمای مسائل و مشکلات زیست محیطی آینده صورت گرفته و یا در حال انجام است. مدل‌های شبیه‌سازی در طول چند دهه اخیر جایگاه خاصی در دانش بشری به خود اختصاص داده‌اند. از توانایی این مدل‌ها، پردازش حجم بالای داده‌ها در مدت زمان کوتاه می‌باشد (رستمیان، ۱۳۸۵).

مدل ANSWERS[1]

مدل ANSWERS از نوع مدل‌های قطعی بوده و با استفاده از عامل‌های توزیعی در سطح یک حوزه آبخیز و با استفاده از داده‌های تک‌رخدادی به شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیک می‌پردازد. این مدل برای حوزه‌های کوچک به راحتی قابل استفاده می‌باشد.

مدل ANSWERS برای تک رخدادهای حوضه به کار گرفته می‌شود و قادر است حداکثر سیل، کل حجم رواناب سطحی و فرسایش حاصل از بارندگی‌ها را در حوزه‌های آبخیز کشاورزی پیش‌بینی نماید.

مدل GUEST[2]

مدل GUEST توسط رز در سال ۱۹۸۳ ابداع و سپس در سال ۱۹۹۲ توسط میسرا و رز بسط داده شد. این مدل یک مدل ریاضی – فیزیکی است و برای پیش‌بینی عامل‌هایی نظیر فرسایش-پذیری و تغییرات آن، غلظت رسوب، رواناب، فرسایش خندقی و فرسایش توده‌ای در طول زمان

[1] - Arial Nonpoint Source Watershed Environmental Response Simulation
[2] - Griffith University Erosion System Template