

سُبْحَانَكَ اللَّهُمَّ



دانشکده: کشاورزی

گروه: آب و خاک

مدل سازی هیدرولوژی حوضه آبریز شیرین دره با استفاده از مدل SWAT

دانشجو: محدثه ایزدی

اساتید راهنما

دکتر خلیل اژدری

دکتر سمیرا اخوان

استاد مشاور

دکتر صمد امامقلی زاده

پایان نامه ارشد جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد

ماه و سال انتشار

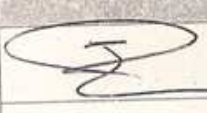
بهمن ۱۳۹۲

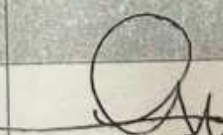
دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده: مهندسی کشاورزی
گروه: آب و خاک

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم محدثه ایزدی
تحت عنوان: "مدل سازی هیدرولوژی حوضه آبریز شیرین دره با استفاده از مدل SWAT"

در تاریخ ۱۱/۱۳۹۲/۳۰ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه
کافی مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی: دکتر خلیل ایزدی
	دکتر سید امینقلی زاده		نام و نام خانوادگی: دکتر سمیرا اخوان

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی:		نام و نام خانوادگی: دکتر روزبه مؤذن زاده
	دکتر شاهین شاهسونی		نام و نام خانوادگی: دکتر زهرا گنجی نوری

تقدیم بہ پدر، مادر و ہمسرم

آنان کہ دوستشان دارم.

سپاس

ستایش کر معلى، هستم كه چگونه انديشيدن رابه من ياموزد، نه چگونه انديشه‌ها را! (دكتر على شيرى)

باشكر و قدردانى از اساتيد محترم، آقاى دكتر خليل اژدى، سركار خانم دكتر سميرا خوان و آقاى دكتر صدام مقل زاده، كه چگونه انديشيدن رابه من آموختند.

باسپاس بى دريغ از همسر مهربانم آقاى موسوى و دوست گران مایه ام خانم زهرا خزاعى كجورى كه مرا صميانه و مشفقانه يارى داده اند.

از اداره منابع طبيعى و سازمان آب منطقه اى خراسان شمالى به خاطر همكارى صميانه كمال شكر و قدردانى را

دارم.

تعهد نامه

اینجانب محدثه ایزدی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کشاورزی- سازه‌های آبی دانشکده مهندسی کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مدل‌سازی هیدرولوژی حوضه آبریز شیرین‌دره با استفاده از مدل SWAT تحت راهنمایی دکتر خلیل اژدری و دکتر سمیرا اخوان متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است 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 تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، 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، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .
- تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

* متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد .

چکیده

مدل‌های شبیه‌ساز در طول چند دهه اخیر جایگاه خاصی در دانش بشری به خود اختصاص داده و کمک فراوانی به عنوان ابزار مدیریتی، پایه‌ای و اجرایی ایفا کرده‌اند. از توانایی‌های این مدل‌ها درک بهتر عوامل موثر در فرآیندهای هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز و پردازش حجم بالای داده‌ها در مدت زمان کوتاه می‌باشد. در این تحقیق از مدل SWAT، برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب حوضه شیرین‌دره استفاده شده است. از آنجا که پارامترهای ورودی مدل زیاد و در نتیجه مقدار خطا و عدم قطعیت در آن بالا می‌باشد، مدل به واسنجی و آنالیز عدم قطعیت نیاز دارد. به همین دلیل از مدل SWAT_CUP و الگوریتم SUFI_2 استفاده شد. برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل از رواناب ایستگاه‌های هیدرومتری قتلیش و قلعه‌بربر استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب حوضه در ایستگاه قتلیش به طور رضایت‌بخشی عمل نموده است. ضریب تبیین $R^2 = 0.62$ و ضریب نش_ساتکلیف $NS = 0.55$ در دوره واسنجی حاکی از رضایت بخش بودن نتایج شبیه‌سازی است. مقدار ضریب تبیین $R^2 = 0.52$ در دوره اعتبارسنجی نیز رضایت‌بخش می‌باشد. مقدار ضریب تبیین $R^2 = 0.37$ و $NS = 0.37$ در مورد رسوب این ایستگاه رضایت‌بخش نیست و نیاز به اجرای مجدد مدل و در نظر گرفتن اطلاعات ورودی بیشتری می‌باشد. نتایج این تحقیق نشان داد که در صورت وجود آمار و اطلاعات کافی از یک دوره طولانی می‌توان نتایج خوبی را برای شبیه‌سازی حوضه‌ها بدست آورد و مدیران اجرایی می‌توانند با تکیه بر این اطلاعات و مدل‌ها، روش‌های پیش‌گیری مناسب در زمان مناسب را در نظر گرفته و حوضه و مردم را از خطراتی مثل سیل و اثرات آن و خشکسالی‌ها تا حدودی حفظ کنند.

کلمات کلیدی: SWAT، رواناب، رسوب، مدل‌سازی، شیرین‌دره.

لیست مقالات مستخرج از پایان نامه

۱. کاربرد مدل SWAT2009 در شبیه‌سازی رسوب رودخانه شیرین‌دره، اولین همایش ملی چالش‌های منابع آب و کشاورزی، انجمن آبیاری و زهکشی ایران- دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، بهمن ۱۳۹۲
۲. کاربرد مدل SWAT2009 در شبیه‌سازی دبی رودخانه شیرین‌دره، پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه شهید بهشتی، بهمن ۱۳۹۲

فهرست:

۱- مقدمه	۱
۱-۱- اهمیت مدل سازی	۱
۱-۲- بیان مسئله	۱
۱-۳- لزوم انجام تحقیق	۲
۱-۴- هدف تحقیق	۲
۱-۵- مدل SWAT	۳
۱-۶- مدل SWAT_CUP	۳
۱-۷- الگوریتم SUFI-2	۴
۱-۸- نحوه تدوین پایان نامه	۴
۲- مروری بر تحقیقات گذشته	۵
۲-۱- مدل سازی رواناب و رسوب	۶
۲-۲- بررسی اثرات سناریوهای مختلف مدیریتی با استفاده از مدل	۱۱
۲-۳- مقایسه SWAT با سایر مدل ها	۱۳
۲-۴- بررسی اثر دقت DEM در مدل SWAT	۱۵
۲-۵- مطالعات آفت کش ها	۱۶
۲-۶- مطالعات نیتروژن و فسفر	۱۶
۲-۷- مطالعات رسوب	۱۸
۲-۸- مطالعات مربوط به ذوب برف و تبخیر و تعرق	۱۹
۲-۹- مطالعات آنالیز حساسیت	۲۰

۲۰.....	۲-۱۰- مطالعات روش‌های واسنجی
۲۲.....	۲-۱۱- مطالعات آنالیز عدم قطعیت
۲۵.....	۳- مواد و روش‌ها
۲۵.....	۳-۱- مدل SWAT
۲۵.....	۳-۱-۱- تاریخچه مدل SWAT
۲۶.....	۳-۱-۲- مؤلفه‌های هیدرولوژیکی مدل SWAT و معادلات حاکم در آن
۲۷.....	۳-۱-۲-۱- رواناب سطحی
۲۸.....	۳-۱-۲-۱-۱- روش شماره منحنی
۲۸.....	۳-۱-۲-۱-۲- روش گرین امپت
۲۸.....	۳-۱-۲-۱-۳- تبخیر و تعرق پتانسیل
۲۹.....	۳-۱-۲-۳- فرسایش
۳۱.....	۳-۱-۳- داده‌های ورودی مدل SWAT
۳۱.....	۳-۱-۳-۱- لایه رقوم ارتفاعی یا DEM
۳۳.....	۳-۱-۳-۲- نقشه خاکشناسی
۳۵.....	۳-۱-۳-۳- نقشه کاربری اراضی
۳۸.....	۳-۱-۳-۴- شبکه آبراهه‌های حوضه
۳۹.....	۳-۱-۳-۵- اطلاعات هواشناسی
۴۰.....	۳-۱-۳-۶- مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی
۴۲.....	۳-۱-۳-۷- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک
۴۳.....	۳-۱-۳-۸- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری
۴۵.....	۳-۱-۳-۹- چشمه‌ها

۴۷.....	۲-۳-۲ مدل SWAT_CUP
۴۷.....	۳-۲-۱ تحلیل عدم قطعیت در مدل
۴۸.....	۳-۲-۲ توابع هدف
۵۰.....	۳-۲-۳ مفهوم مدل SWAT-CUP
۵۰.....	۳-۲-۴ ساختار کلی SWAT_CUP
۵۱.....	۳-۲-۵ مفهوم SUFI-2
۵۴.....	۳-۲-۶ پارامترهای موجود در SWAT-CUP
۵۵.....	۳-۲-۷ آنالیز حساسیت در SUFI_2
۵۵.....	۳-۳ حوضه مورد مطالعه
۵۵.....	۳-۳-۱ موقعیت جغرافیایی حوضه
۵۶.....	۳-۳-۲ امکانات و پتانسیل‌های حوضه
۵۶.....	۳-۳-۳ مشکلات و کمبودهای حوضه:
۵۷.....	۳-۳-۴ موقعیت حوضه در کشور
۵۹.....	۳-۳-۵ هواشناسی
۵۹.....	۳-۳-۵-۱ گردش عمومی جو و خصوصیات اقلیمی منطقه
۵۹.....	۳-۳-۵-۲ بارندگی ماهانه و سالانه
۶۰.....	۳-۳-۶ زمین شناسی
۶۱.....	۴- نتایج و بحث
۶۱.....	۴-۱ نتایج حاصل از مدل SWAT
۶۴.....	۴-۲ نتایج حاصل از مدل SWAT-CUP
۶۴.....	۴-۲-۱ بررسی نتایج شبیه‌سازی رواناب در ایستگاه قتلیش

۷۷.....	۴-۲-۲- بررسی نتایج شبیه‌سازی رسوب در ایستگاه قتلیش
۷۹.....	۴-۲-۳- بررسی عدم قطعیت رواناب شبیه‌سازی‌شده در ایستگاه قلعه بربر
۸۱.....	۵- فصل پنجم: نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات
۸۱.....	۵-۱- نتیجه‌گیری
۸۴.....	۵-۲- پیشنهادات
۸۵.....	۶- پیوست
۸۵.....	۶-۱- پیوست ۱: مراحل گام به گام کار با مدل SWAT
۹۳.....	۶-۲- پیوست ۲: روش کار با مدل SWAT_CUP
۹۷.....	۶-۳- پیوست ۳: بانک اطلاعاتی خاک SWAT
۱۰۰.....	۶-۴- پیوست ۴: مشخصات ایستگاه سینوپتیک بجنورد
۱۰۳.....	۷_ منابع

فهرست جداول

جدول (۱-۳): تقسیم‌بندی خاک‌های حوضه بر اساس نام آن‌ها	۳۵
جدول (۲-۳): انواع کاربری اراضی موجود در حوضه شیرین‌دره	۳۵
جدول (۳-۳): اطلاعات هواشناسی مورد نیاز بانک اطلاعاتی (فایل wgn) در SWAT	۴۰
جدول (۴-۳): مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی در حوضه شیرین‌دره و اطراف آن	۴۱
جدول (۵-۳): مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک در حوضه شیرین‌دره و اطراف آن	۴۲
جدول (۶-۳): مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری در حوضه شیرین‌دره	۴۴
جدول (۷-۳): اطلاعات ورودی مربوط به چشمه‌های حوضه	۴۵
جدول (۸-۳): پارامترهای موجود در SWAT_CUP	۵۴
جدول (۱-۴): نتایج شبیه‌سازی حوضه با استفاده از مدل SWAT را در ایستگاه قتلیش	۶۲
جدول (۲-۴): اجزای بیلان آبی حاصل شبیه‌سازی حوضه شیرین‌دره در ایستگاه قتلیش با استفاده از مدل SAWT	۶۲
جدول (۳-۴): پارامتر بررسی دقت شبیه‌سازی مدل در ایستگاه قتلیش قبل از واسنجی	۶۳
جدول (۴-۴): پارامترهای بررسی دقت شبیه‌سازی مدل برای ایستگاه قتلیش در مرحله واسنجی (۱۳۷۹-۱۳۸۷)	۶۵
جدول (۵-۴): مقدار بهینه پارامترها در واسنجی ایستگاه قتلیش (۱۳۷۹-۱۳۸۷)	۶۶
جدول (۶-۴): پارامترهای بررسی دقت شبیه‌سازی مدل برای ایستگاه قتلیش در مرحله واسنجی و اعتبار سنجی (۱۳۷۹-۱۳۸۴)	۶۸
جدول (۷-۴): مقدار بهینه پارامترها در واسنجی ایستگاه قتلیش (۱۳۷۹-۱۳۸۴)	۶۹
جدول (۸-۴): پارامترهای بررسی دقت شبیه‌سازی مدل برای ایستگاه قتلیش در مرحله واسنجی و اعتبار سنجی (۱۳۷۹-۱۳۸۵)	۷۰

جدول (۹-۴): مقدار بهینه پارامترها در واسنجی ایستگاه قتلیش (۱۳۷۹-۱۳۸۵).....	۷۱
جدول (۱۰-۴) پارامترهای بررسی دقت شبیه‌سازی مدل برای رواناب در ایستگاه قتلیش در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی (بهترین مورد).....	۷۳
جدول (۱۱-۴): مقدار بهینه پارامترها در SWAT_CUP در دوره زمانی ۱۳۷۹-۱۳۸۵ (بهترین مورد).....	۷۴
جدول (۱۲-۴) پارامتر بررسی دقت شبیه‌سازی مدل در ایستگاه قتلیش بعد از واسنجی.....	۷۷
جدول (۱۳-۴) پارامترهای بررسی دقت شبیه‌سازی مدل برای رسوب در ایستگاه قتلیش در دوره واسنجی.....	۷۷
جدول (۱۴-۴) پارامترهای بررسی دقت شبیه‌سازی مدل برای ایستگاه قلعه بربر در دوره واسنجی (۱۳۷۹-۱۳۸۵).....	۷۹

فهرست اشکال

- شکل (۳-۱): چرخه هیدرولوژیکی در مدل SWAT (عباسپور و اخوان (۲۰۱۲)) ۲۷
- شکل (۳-۲): نقشه مدل رقومی ارتفاع حوضه شیرین دره (دقت ۱/۵۰۰۰۰) ۳۲
- شکل (۳-۳): تقسیم‌بندی حوضه شیرین دره بر اساس نوع خاک ۳۴
- شکل (۳-۴): تقسیم‌بندی حوضه شیرین دره بر اساس کاربری اراضی ۳۷
- شکل (۳-۵): نقشه رقومی رودخانه‌های حوضه شیرین دره (اداره منابع طبیعی خراسان شمالی) ... ۳۹
- شکل (۳-۶): موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی در حوضه شیرین دره و اطراف آن ۴۱
- شکل (۳-۷): موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک در اطراف حوضه شیرین دره ۴۳
- شکل (۳-۸): موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه شیرین دره ۴۴
- شکل (۳-۹): موقعیت چشمه‌ها در حوضه شیرین دره ۴۵
- شکل (۳-۱۰): نقشه شیب حوضه شیرین دره ۴۶
- شکل (۳-۱۱): ساختار کلی SWAT_CUP (عباسپور و اخوان، (۲۰۱۲)) ۵۱
- شکل (۳-۱۲): مفهوم عدم قطعیت در SUFI-2 (نظری و همکاران (۱۳۹۰)) ۵۳
- شکل (۳-۱۳): موقعیت استان در کشور (اداره منابع طبیعی خراسان شمالی، ۱۳۸۶) ۵۷
- شکل (۳-۱۴): موقعیت حوضه شیرین دره در استان (اداره منابع طبیعی خراسان شمالی، ۱۳۸۶) ... ۵۸
- شکل (۳-۱۵): عکس هوایی از حوضه شیرین دره (Google Earth, ۱۳۹۲) ۵۸
- شکل (۴-۱): موقعیت زیرحوضه‌ها در حوضه شیرین دره ۶۱
- شکل (۴-۲): مقایسه رواناب اندازه‌گیری شده و رواناب شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT در ایستگاه قتلش قبل از واسنجی (۱۳۸۵-۱۳۷۹) ۶۳
- شکل (۴-۳): نمودار مقایسه رواناب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده و باند عدم قطعیت برای ایستگاه قتلش در دوره واسنجی (۱۳۸۷-۱۳۷۹) (..... ۶۶

- شکل (۴-۴): نمودار مقایسه رواناب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده و باند عدم قطعیت برای ایستگاه قتلش در دوره واسنجی ۱۳۷۹-۱۳۸۴ ۶۹
- شکل (۴-۵): نمودار مقایسه رواناب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده و باند عدم قطعیت برای ایستگاه قتلش در دوره واسنجی ۱۳۷۹-۱۳۸۵ ۷۱
- شکل (۴-۶): نمودار مقایسه رواناب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده و باند عدم قطعیت برای ایستگاه قتلش در دوره واسنجی ۱۳۷۹-۱۳۸۵ (بهترین مورد) ۷۳
- شکل (۴-۷): نمودار رگرسیونی رواناب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای ایستگاه قتلش در دوره ۱۳۷۹-۱۳۸۵ ۷۵
- شکل (۴-۸): مقایسه رواناب مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در ماه‌های ژوئن و دسامبر ۷۶
- شکل (۴-۹): نمودار مقایسه رسوب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده و باند عدم قطعیت برای ایستگاه قتلش در دوره واسنجی ۱۳۷۹-۱۳۸۴ ۷۸
- شکل (۴-۱۰): نمودار رگرسیونی رسوب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای ایستگاه قتلش در دوره واسنجی ۱۳۷۹-۱۳۸۴ ۷۸
- شکل (۴-۱۱): نمودار مقایسه رواناب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده و باند عدم قطعیت برای ایستگاه قلعه بربر در دوره واسنجی ۱۳۷۹-۱۳۸۵ ۸۰
- شکل (۶-۱): نوار ابزار SWAT ۸۵
- شکل (۶-۲): پنجره Project Setup در مدل SWAT ۸۵
- شکل (۶-۳): پنجره Watershed delineator در مدل SWAT ۸۶
- شکل (۶-۴): پنجره مربوط به ورود اطلاعات کاربری اراضی در SWAT ۸۸
- شکل (۶-۵): پنجره مربوط به اطلاعات HRU (HRU Definition) در مدل SWAT ۸۹
- شکل (۶-۶): پنجره مربوط به اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی در مدل SWAT ۹۰

- شکل (۶-۷): پنجره ویرایش پارامترهای عمومی حوضه در مدل SWAT ۹۱
- شکل (۶-۸): پنجره مربوط به بارگذاری و اجرای مدل SWAT ۹۲
- شکل (۶-۹): پنجره ساخت پروژه جدید در SWAT_CUP ۹۳
- شکل (۶-۱۰): پنجره مربوط به انتخاب روش واسنجی در SWAT_CUP ۹۴
- شکل (۶-۱۱): پنجره مربوط به انتخاب محل ذخیره پروژه SWAT_CUP ۹۴
- شکل (۶-۱۲): صفحه Project Explorer در SWAT_CUP ۹۵

فصل اول

مقدمه

۱- مقدمه

۱-۱- اهمیت مدل سازی:

آب در چرخه هیدرولوژیکی در سه فاز گاز (بخار آب)، مایع (آب مخازن و اقیانوس‌ها) و جامد (برف و یخ) یافت می‌شود. بخشی از بارشی که به زمین می‌رسد در زمین نفوذ کرده و بخشی دیگر به صورت رواناب سطحی جریان می‌یابد. رواناب ایجاد شده در یک حوضه آبریز از مهم‌ترین موضوعات در مطالعات هیدرولوژیکی منطقه است، چرا که اکثر فرآیندهای هیدرولوژیکی به طور مستقیم یا غیر مستقیم با آن در ارتباط هستند و به نوعی از آن اثرپذیر می‌باشند. روش‌های مختلفی برای محاسبه رواناب ناشی از برف و باران وجود دارد. یکی از این روش‌ها که امروزه کاربرد فراوانی یافته مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز است.

۱-۲- بیان مسئله

در مسائل مربوط به مهندسی آب و مدیریت حوضه‌های آبریز، شیوه‌های مدل‌سازی هیدرولوژیکی به منظور درک بهتر عوامل موثر در چرخه هیدرولوژیکی در حوضه آبریز بسیار رایج می‌باشد. با تکنیک مدل‌سازی، پارامترهای مختلف کمی و کیفی مورد مطالعه به میزان قابل قبولی ارزیابی شده و نتایج حاصل از مدل به طور واقعی پدیده مورد نظر را که در زمان و مکان می‌تواند اتفاق افتد، نمایانگر می‌سازد. برآورد دقیق رواناب حاصل از حوضه‌های بزرگ، به دلیل وسعت زیاد، دخیل بودن پارامترهای مختلفی چون خاک، پوشش گیاهی و شیب حوضه کار دشواری است. مدل‌سازی تخمین رواناب در اینگونه حوضه‌ها، مقدار کمی واقعی جریان سطحی حوضه را مشخص نموده و الگوی مدیریتی حوضه را تعیین می‌نماید.

تخمین دقیق رواناب و رسوب یک حوضه آبریز، مدیریت رواناب در پایین‌دست حوضه را تسهیل نموده و در اجرای پروژه‌های مختلف کنترل سیلاب نقش پراهمیتی خواهد داشت. شناسایی عوامل

لازم برای تخمین رواناب و کنترل سیلاب‌های مخرب در حوضه‌های بزرگ نیاز به صرف زمان و انرژی زیادی دارد. مدل‌سازی این متغیر، گام مهمی جهت رسیدن به الگوی مدیریتی حوضه خواهد بود که از طریق روش‌های دیگر رسیدن به آن به آسانی حاصل نمی‌شود. در این تحقیق، جهت برآورد رواناب و رسوب ناشی از حوضه‌ی آبریز شیرین‌دره که بزرگ‌ترین زیر حوضه رودخانه اترک می‌باشد از مدل SWAT¹ استفاده شد.

۱-۳- لزوم انجام تحقیق

اگر تعیین دقیق این دو متغیر مهم (رواناب و رسوب) از طریق مدل‌سازی در حوضه با استفاده از داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای و با استفاده از نرم‌افزارهایی مانند مدل SWAT صورت گیرد می‌توان حرکت رواناب و مواد رسوبی را در حالات و شرایط مختلف زمانی و مکانی شبیه‌سازی نمود. چنانچه خروجی حاصل از مدل به صحیح‌ترین روش واسنجی و صحت‌سنجی گردد و همچنین اگر آنالیز حساسیت و عدم قطعیت روی آن اعمال شود، درچنین شرایطی می‌توان به نتایج شبیه‌سازی اعتماد نمود. اگر این امر اتفاق بیفتد، به‌طوری که مدل یادشده چنین توانایی‌هایی دارد، بطور قطع و یقین می‌توان به نتایج بدست آمده اطمینان نموده و هرگونه عملیات کنترلی را در حوضه‌ها به صحیح‌ترین وجه مدیریت نمود.

۱-۴- اهداف تحقیق

۱. کاربرد مدل SWAT برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب حوضه شیرین‌دره
۲. بررسی عملکرد مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب و رسوب حوضه

¹ Soil and Water Assessment Tools

۱-۵- مدل SWAT

این مدل توسط وزارت کشاورزی آمریکا در سال ۱۹۹۵ با حمایت گروه تحقیقاتی دانشگاه ای اند ام^۲ تگزاس توسعه یافت. مدل SWAT جزو مدل‌های هیدرولوژیک نیمه توزیعی، مفهومی و پیوسته است. این مدل برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مختلف مدیریت اراضی بر مقادیر آب، رسوب و مواد شیمیایی_کشاورزی در سطح حوضه‌های آبریز پیچیده و بزرگ با خاک، کاربری اراضی و شرایط مختلف مدیریتی در درازمدت طراحی شده است (آبابایی و سهرابی ۱۳۸۸). علت استفاده از مدل SWAT این است که این مدل، یک مدل پیوسته زمانی و در گام‌های زمانی روزانه، در مقیاس یک حوضه آبریز اجرا می‌شود. در این مدل، علاوه بر شبیه‌سازی فرآیندهای مربوط به هیدرولوژی، فرآیندهای مربوط به رشد گیاه که بر میزان تبخیر و تعرق و رطوبت خاک تأثیر می‌گذارد نیز شبیه‌سازی می‌شوند (اخوان و همکاران ۱۳۸۹).

۱-۶- مدل SWAT_CUP^۳

SWAT - CUP یک برنامه کامپیوتری برای واسنجی مدل SWAT است. این برنامه با روش‌های GLUE, SUFI2, MCMC, PARASOL به SWAT لینک شده و می‌تواند آنالیز حساسیت، واسنجی، صحت‌سنجی و آنالیز عدم قطعیت را انجام دهد. در نسخه شماره ۲ SWAT_CUP توانایی‌های مدل از جمله در موارد زیر بهبود یافته است.

۱. پارامترهای تمام لایه‌های خاک می‌تواند واسنجی شوند.
۲. پارامترهای کاربری اراضی، بافت خاک، واحد هیدرولوژیکی و شیب نیز می‌توانند محاسبه شوند.

^۲ A&M

^۳ SWAT Calibration and Uncertainty Programs

۳. عدم قطعیت بارش در فایل pc.pcp می‌تواند واسنجی شود.

۴. در انتهای فایل‌هایی با پسوند gw، ۲۰ پارامتر معین می‌توانند به صورت

R1,R2,...,R20 برای لینک شدن به سایر برنامه‌های SWAT مشخص شوند (عباسپور

۲۰۱۲).

۷-۱- الگوریتم SUFI-2

در این مطالعه، پارامترهای متفاوتی که در مدل به کار برده می‌شوند نظیر جریان و رسوب، با استفاده از روش معکوس و با استفاده از برنامه ^۴SUFI2 تعیین می‌شوند. برنامه SUFI2 واسنجی و عدم قطعیت را ترکیب می‌کند و سعی می‌کند پارامترهای عدم قطعیت را به نحوی پیدا کند که اکثر داده‌های اندازه‌گیری شده در ناحیه عدم قطعیت تخمین قرار گیرند، در حالی که کوچک‌ترین طیف عدم قطعیت تخمین ممکن را ایجاد می‌کند. عدم قطعیت خروجی مدل به وسیله عدم قطعیت تخمین ۹۵ درصد که در سطح ۲/۵ و ۹۷/۵ درصد تابع توزیع متغیر خروجی که به روش لاتین هاپرکیوب از دامنه مذکور نمونه برداری می‌شود، محاسبه می‌گردد (رستمیان و همکاران، ۱۳۸۷).

۸-۱- نحوه تدوین پایان‌نامه

مطالعه حاضر در قالب پنج فصل تدوین شده است. در فصل دوم پیشینه‌ی تحقیق و مطالعات مشابهی که تاکنون صورت گرفته پرداخته می‌شود. تشریح مدل SWAT و SWAT-CUP، حوضه مورد مطالعه و روش کار موضوع فصل سوم می‌باشد. در فصل چهارم نتایج و بحث آورده شده است و موضوع فصل پنجم نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات می‌باشد.

⁴ Sequential uncertainty fitting ver. 2

فصل دوم

بررسی منابع

۲_ مروری بر تحقیقات گذشته

هرگونه فرسایش در بالادست حوضه آبریز تخریب زیادی در پایین‌دست حوضه به وجود می‌آورد. از معیارهای اساسی مدیریت حوضه، به کمیت درآوردن رواناب حاصله از حوضه و میزان رسوب انتقالی می‌باشد. در این راستا تاکنون مدل‌های مختلفی همچون HEC_HMS، HSPF، و RUSLE به کار گرفته شده است، اما هر یک از این مدل‌ها به نحوی دارای محدودیت بوده‌اند. برای مثال مدل RUSLE قادر به شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف نمی‌باشد. امروزه در سطح جهان از مدل SWAT، به علت توانایی بالایی که در مورد شبیه‌سازی حرکت این دو متغیر دارد، استفاده می‌شود. وقتی کمیت واقعی این دو متغیر از روی مدل‌سازی مشخص شود، انتخاب سازه‌های کنترل سیلاب در بالادست‌های حوضه و همچنین چگونگی مدیریت بخش‌های پایین‌دست آسان شده و به مدیران اجرایی، قدرت بررسی بیشتری داده می‌شود. مطالعات زیادی در مورد مدل SWAT انجام شده است که هر کدام یکی از کاربردهای SWAT را نشان می‌دهد. این مطالعات شامل موارد زیر می‌باشد.

۱. مطالعات مربوط به شبیه‌سازی الگوی آب خاک (گسمن و همکاران ۲۰۰۷)
۲. کاربردهایی در مورد ذوب برف (گسمن و همکاران ۲۰۰۷)
۳. مطالعاتی در مورد سناریوهای آبیاری (گسمن و همکاران ۲۰۰۷)
۴. مطالعاتی در مورد کاربردهای گرین_آمپت^۵ (گسمن و همکاران ۲۰۰۷)
۵. مطالعاتی در مورد کاربرد ترکیب باتلاق‌ها، مخازن و دیگر انبارها (گسمن و همکاران ۲۰۰۷)
۶. مطالعاتی در مورد رسوب (گسمن و همکاران ۲۰۰۷)
۷. مطالعاتی در مورد کاهش آلودگی‌ها^۶ (گسمن و همکاران ۲۰۰۷)

^۶ Pollutant Loss

۸. مطالعاتی در مورد نیتروژن و فسفر (سانتی و همکاران (۲۰۰۱a))
۹. مطالعاتی در مورد آفت کش‌ها (رامارایانان و همکاران (۲۰۰۵))
۱۰. مطالعاتی در مورد اثرات سناریوهای متفاوت بهترین عملیات مدیریتی^۷ و کاربری اراضی روی کاهش آلودگی‌ها (استوارت و همکاران (۲۰۰۶))
۱۱. مطالعاتی در مورد اثرات تغییرات آب و هوا روی هیدرولوژی (گسمن و همکاران (۲۰۰۷)).
- بعضی از این مطالعات در زیر آورده شده است.

۲-۱- مدل سازی رواناب و رسوب

عباسپور و همکاران (۲۰۰۷) از مدل SWAT برای شبیه سازی تمام فرایندهای مؤثر بر کیفیت آب، رسوب و چرخه عناصر غذایی حوضه رودخانه تور، در شمال شرقی کشور سوئیس، با مساحتی حدود ۱۷۰۰ کیلومتر مربع، استفاده کردند. این مطالعه نتایج بسیار خوبی برای شبیه سازی رواناب و نیترات و نتایج نسبتاً خوبی برای شبیه سازی دو هفته یکبار غلظت رسوب و کل فسفر داشت. در این تحقیق برای رواناب مقادیر P-factor بین ۰/۹۱- ۰/۸۹ و مقدار r-factor بین ۰/۷۴ - ۱/۲۰ بدست آمده است. به عبارتی، مدل توانست هیدروگرافهای رواناب و نیترات را به خوبی شبیه سازی کند ولی در مورد رسوب تا حدودی ضعیف عمل کرد.

غلامی (۱۳۸۲) مدل SWAT را برای شبیه سازی متوسط ماهانه رواناب و رسوب حوضه آبخیز امامه (از زیرحوضه های رودخانه جاجرود) به کار برد. نتایج به دست آمده نشان داد که مدل نسبت به پارامترهای فرسایش پذیری خاک و ضریب زبری سطح حساسیت بیشتری در مقایسه با بقیه پارامترهای حوضه آبریز دارد.

⁷ Best Management Practices

رستمیان و همکاران (۱۳۸۷) در حوضه بهشت‌آباد (واقع در کارون شمالی) با استفاده از مدل SWAT اقدام به برآورد مقادیر دبی و بار رسوب کرده و دریافتند که مدل SWAT در برآورد دبی رودخانه عملکرد مناسبی (با مقادیر $p\text{-factor} = ۰/۸۴$ و $R^2 = ۰/۷۷$ و $NS = ۰/۷۴$) داشته، اما در شبیه‌سازی دبی‌های اوج رودخانه موفقیتی نداشته است. همچنین توانایی مدل در برآورد بار رسوب را در حد متوسط ارزیابی نمودند.

آبایی و سهرابی (۱۳۸۸) عملکرد مدل SWAT را در حوضه ی آبریز زاینده رود بررسی کردند و نتیجه گرفتند این مدل می‌تواند تا حدودی ابزار مناسبی در رابطه با شبیه‌سازی شدت جریان رودخانه باشد. این محققین در مرحله اعتبارسنجی مقادیر NS و R^2 را به ترتیب در حدود $۶۹/۱ - ۶۰/۱$ و $۷۰/۸ - ۶۴/۷$ درصد برای ایستگاه‌های مختلف برآورد کردند و بیان نمودند که استفاده از این مدل یا مدل‌های کامپیوتری دیگر به دلیل کاهش هزینه عملیات صحرایی (به منظور اندازه‌گیری پارامترهای مرتبط با کیفیت آب (و به ویژه به دلیل کاهش زمان مورد نیاز برای تحلیل مسائل)) می‌تواند جزو راهکارهای ممکن به منظور ارتقای سطح مدیریت منابع آب و حفظ محیط زیست قلمداد گردد.

اخوان و همکاران (۱۳۸۹) از مدل SWAT، و نیز از روش تحلیل عدم قطعیت SUFI-2 به طور موفقیت‌آمیزی برای شبیه‌سازی رواناب و تخمین مقدار مؤلفه‌های منابع آب (آب آبی، جریان آب سبز و ذخیره آب سبز) حوضه آبریز همدان_ بهار استفاده کردند. این محققین بیان نمودند که، در این شبیه‌سازی، طیف عدم قطعیت برای مؤلفه‌های آب آبی و آب سبز در هر زیرحوضه تخمین زده شده است، زیرا بیان تنها یک عدد برای مؤلفه‌های منابع آب گمراه کننده می‌باشد. این مطالعه اطلاعات مفیدی را در مورد وضعیت واقعی منابع آب موجود فراهم نموده و به تشخیص مناطق مهم به منظور تحلیل‌های دقیق‌تر برای پروژه‌های مدیریت منابع آب مانند تعیین محل دقیق پروژه‌های تغذیه مصنوعی، و امنیت آب کمک می‌کند.

ذهبیون و همکاران (۱۳۸۹) کاربرد مدل SWAT در تخمین رواناب حوضه در دوره‌های آتی تحت تأثیر اقلیم را مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه تأثیر تغییر اقلیم بر جریان خروجی حوضه قره سو در دوره ۲۰۴۰-۲۰۶۹ با مدل HadCM3 از مدل‌های AOGCM تحت سناریوی A2 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. همچنین مدل پیوسته شبیه سازی بارش - رواناب SWAT برای مطالعه وضعیت هیدرولوژی حوضه آبریز تحت شرایط تغییر اقلیم بکار برده شد.

سعادت و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از مدل SWAT اثر تغییر کاربری اراضی را بر روی دبی روزانه در حوضه آبریز کلیسیان مطالعه کردند و پیشنهاد دادند چون مدل برای حوضه‌های با اقلیم مرطوب و جنگلی کارایی زیادی نشان ندارد، فرمول‌های محاسبات تبخیر، نفوذ و آب‌های زیرزمینی، برای این حوضه‌ها در مدل اصلاح شود.

عمانی (۱۳۸۵) از مدل SWAT برای تخمین پتانسیل رسوبات ورودی به مخازن سدها استفاده کرد. ایشان مطالعه خود را بر روی حوضه آبریزی با وسعت ۱۲۰۴۸ هکتار، واقع در شهر ویرجینیا و در بازه زمانی بین سال‌های (۱۹۹۴-۲۰۰۰) انجام دادند. در این مطالعه از اطلاعات اندازه‌گیری شده (دبی جریان و دبی رسوب) سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۰۰ برای واسنجی نتایج استفاده شده است. پس از واسنجی مدل، اطلاعات اندازه‌گیری شده سال‌های ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۵ برای صحت‌سنجی نتایج بکار گرفته‌اند.

چاو و شیرمحمدی (۲۰۰۴) با به کار بردن مدل SWAT، برای یک حوضه‌ی ۳۴۰ هزار هکتاری در ناحیه‌ی کوهپایه‌ای مرلند و استفاده از آمار ۶ ساله هیدرولوژیک و مقادیر غلظت کودهای موجود در آب، مدل را واسنجی نمودند. نتایج نشان داد که مدل SWAT قادر به شبیه‌سازی شرایط هیدرولوژیکی بسیار مرطوب نیست. اما در مجموع SWAT یک مدل حوضه‌ای مناسب برای شبیه سازی درازمدت اهداف مدیریتی است.

بیرهانو و همکاران (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای تحت عنوان استفاده از مدل SWAT برای حوضه آبریز کوهستانی حوضه آبریز ورو را مورد بررسی قرار دادند. فایل‌های آماری آب و مدل به مدت ۱۲ سال برای تولید داده‌های هواشناسی مورد استفاده قرار گرفت. فایل‌های مهم شامل: نقشه حوضه، جریان، تعریف پارامترهای زمینی، پوشش، خاک و رواناب سطحی بودند. محاسبات رواناب با استفاده از روش شماره منحنی، انجام شد و از روش مسیریابی ماسکینگام استفاده شد. این مدل بارش و رواناب را بر اساس یک آمار ۱۵ ساله شبیه‌سازی کرد. این مطالعه نشان داد که مدل SWAT، می‌تواند یک ابزار بارش بالقوه برای حوضه‌های مناطق کوهستانی باشد.

کوچک‌زاده و نصیری صالح (۱۳۹۱) طی تحقیقی در لرستان نشان دادند که، نتایج حاصل از مدل و مقادیر مشاهداتی دبی رودخانه در ایستگاه بیاتون، از همبستگی مناسبی برخوردار بوده و در مجموع با توجه به دقت پایین نقشه خاک به کار گرفته شده برای شبیه‌سازی، مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب رودخانه بیاتون عملکرد مناسبی داشته است. همچنین بیان نمودند، از آن‌جا که حساسیت هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز بر حسب شرایط و ویژگی‌هایشان در برابر یک پارامتر خاص کاملاً متفاوت است، در این مطالعه، با توجه به میزان اهمیت رودخانه بیاتون در تأمین آب مورد نیاز کشاورزی منطقه درود-بروجرد، تأثیر پارامترهای موثر در میزان رواناب حوضه مربوطه بررسی شد. نتایج حاصل از این آنالیز، بیانگر اهمیت بالای پارامترهای عمق متوسط کانال اصلی، عمق کف، لایه اول خاک و فاکتور پوشش کانال در رواناب خروجی حوضه می‌باشد. از سوی دیگر، مقایسه پارامترهای با بیشترین و کمترین میزان اهمیت، بیانگر پراکندگی زیاد مقادیر پارامتر در سطح حوضه مربوطه است که لزوم شناخت آن‌ها برای مدیریت بهتر منابع آبی این حوضه متذکر می‌گردد.

بهرامی و همکاران (۱۳۹۰) با مروری بر مطالعات انجام شده، به معرفی مدل نیمه‌فیزیکی SWAT در فرآیندهای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی پرداختند و نتایج خود را اینگونه بیان داشتند که، مدل SWAT می‌تواند رواناب سطحی و فرسایش خاک را با دقت بسیار خوبی شبیه‌سازی نماید. همچنین

مدل SWAT ابزاری مفید را به منظور پیش‌بینی الگوهای ایجاد رواناب سطحی و خطر فرسایش خاک بر آبریز و برنامه‌ریزی آسان جهت مدیریت اراضی پایدار فراهم می‌کند.

با توجه به اطلاعات مورد نیاز مدل SWAT، این مدل را می‌توان برای شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز ایران استفاده کرد، اگر چه عدم وجود نقشه‌های کاربری اراضی و خاک با دقت مناسب و به تناسب زمان، شبیه‌سازی‌های هیدرولوژیکی با استفاده از مدل‌هایی نظیر مدل SWAT بر دقت نتایج تأثیر دارد. امروزه استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی به منظور درک بهتر فرآیندهای هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبریز بسیار گسترش یافته است. مدل SWAT برای پیش‌بینی اثرات فعالیت‌های مدیریتی اراضی بر آب، ایجاد رسوب و عوامل شیمیایی کشاورزی در مقیاس حوضه آبریز با تنوع خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی در بازه زمانی طولانی توسعه یافته است. استفاده از این مدل یا مدل‌های کامپیوتری دیگر به دلیل کاهش هزینه عملیات صحرایی (به منظور اندازه‌گیری پارامترهای مرتبط با کیفیت آب) و به ویژه به دلیل کاهش زمان مورد نیاز برای تحلیل مسائل می‌تواند جزو راهکارهای ممکن به منظور ارتقا سطح مدیریت منابع آب و حفظ محیط زیست قلمداد شود. علاوه بر این با استفاده از این ابزار این امکان برای پژوهشگران و مدیران اجرایی به وجود می‌آید تا سناریوهای مختلف مدیریتی را (که امکان اجرای آن‌ها در زمان کوتاه و بدون صرف هزینه سنگین وجود ندارد) مورد ارزیابی قرار داده و با تحلیل نتایج، بهترین تصمیم را اتخاذ نمایند. هم‌چنین با توجه به اینکه در کشور ما نیاز روز افزون به استفاده از مدل‌های جدید و کامپیوتری می‌باشد این مدل می‌تواند به عنوان جایگزین مناسب برای مدل‌های هیدرولوژیکی موجود مورد ارزیابی و بررسی قرار گیرد.

حسینی و همکاران (۱۳۹۲)، در مطالعه‌ای در استان کرمانشاه بیلان آبی حوضه آبریز قره‌سو را با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی کردند و به این نتیجه رسیدند که، نتایج بدست‌آمده در مقایسه با نتایج سایر تحقیقات مشابه انجام شده در سطح جهان، با وجود چالش‌های مربوط به خصوصیات حوضه آبریز قره‌سو و داده‌های ورودی، دقت شبیه‌سازی قابل قبول و تقریباً مشابه با نتایج سایر

محققین است. آن‌ها پیشنهاد دادند به منظور تعمیم و تثبیت روش به کاربرده شده، شایسته است این روش در تعدادی از حوضه‌های آبریز کشور که دارای خصوصیات متفاوت از نظر توپوگرافی، فیزیوگرافی، اقلیمی و هیدرولوژیکی می‌باشد مورد آزمایش و مطالعه قرار بگیرد تا بتوان با نتایج به دست آمده، دستورالعمل کلی برای شبیه‌سازی جریان رودخانه در حوضه‌های فاقد آمار و داده‌های اندازه‌گیری شده، تدوین و ارائه نمود.

زلکی بدیلی و همکاران (۱۳۹۱)، جهت ارزیابی عملکرد مدل SWAT در شبیه‌سازی دبی ماهانه و بیلان آبی حوضه آبریز سد مارون را مد نظر قرار دادند. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته نتیجه گرفتند که مدل SWAT با توجه به مقادیر $NS = 0.63$ و $R^2 = 0.73$ به خوبی قادر به شبیه‌سازی رواناب حوضه آبریز سد مارون بوده است. پس از واسنجی رواناب خروجی حوضه بر اساس داده‌های مشاهده‌ای ایستگاه منطقه بوسیله برنامه SUFI-2 نتایج با میزان خطای قابل قبولی ارائه گردید.

۲-۲- بررسی اثرات سناریوهای مختلف مدیریتی با استفاده از مدل SWAT

تولسون و شومیکر (۲۰۰۷) گزارش کردند که مدل SWAT می‌تواند به عنوان یک ابزار مناسب برای ارزیابی اثرات دراز مدت روش‌های مدیریتی متفاوت برای کاهش بار فسفر در مخزن کانونزویل شهر نیویورک استفاده شود. آنها مدل را برای تعدادی از روابط مدل، واسنجی و اعتبارسنجی کردند. شپلوت و همکاران (۲۰۰۴) مدل SWAT را به منظور بررسی اثرات سناریوهای مختلف مدیریتی و تغییر کاربری اراضی بر پیش‌بینی رواناب، رسوب و نیترات در آیوا به کار بردند. سناریوهای مربوط به تغییر در مقادیر کود نیتروژن تأثیری بر مقدار رواناب و رسوب نداشته اما بر مقدار نیترات در رواناب اثر داشته است. به طوری که با کاهش ۲۰، ۴۰ و ۶۰ درصد کود نیتروژن مصرفی در مزارع ذرت -سویا به ترتیب مقادیر نیترات سالانه ۲۲، ۰ و ۹۵ درصد کاهش داشته است. همچنین جایگزین کردن گندم به جای ذرت -سویا سبب افزایش مقدار نیترات در اول پاییز می‌شود.

آلانسی و همکاران (۲۰۰۹) برای اعتبار سنجی مدل SWAT، در شبیه‌سازی و پیش بینی رواناب در مالزی مطالعه‌ای انجام دادند، که در آن نتایج شبیه‌سازی در مرحله واسنجی برای پایه زمانی ماهانه با استفاده از ضرایب تبیین (R^2) و نش ساتکلیف (NS) بررسی شد. در این مطالعه پنج سناریو برای مشخص کردن اثرات تغییر کاربری اراضی بر دبی جریان طراحی و نتایج سناریوها بررسی شدند.

فرامرزی و همکاران (۲۰۰۹)، در مطالعه‌ای با استفاده از مدل SWAT برخی اجزای بیلان آب را در کل ایران شبیه‌سازی کرده و ارتباط آنها را با تولید گندم، با در نظر گرفتن عملکرد سدها و اقدامات آبیاری اراضی کشاورزی بررسی کردند. این محققین عنوان کردند که این مطالعه می‌تواند یک پایه قوی برای مطالعات بیشتر در مورد آب و امنیت غذایی، و رویکردهای مدیریت منابع آبی در کشور، و یک روش یکپارچه برای ارزیابی آب سبز و آب آبی در سایر کشورهای خشک و نیمه خشک ایجاد کند.

سعیدی و بهرامی (۱۳۹۰) در مقاله‌ای تحت عنوان مدل‌سازی فرآیند بارش - رواناب در حوضه آبریز سد پیشین برای شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم نتیجه‌گیری کردند که دبی میانگین و دبی حداکثر تحت اثر تغییر اقلیم نسبت به دبی محاسباتی در شرایط فعلی افزایش یافته است که این به دلیل افزایش میانگین بارش در سناریو تغییر اقلیم است. ایشان مشاهده نمودند که، دقت مدل با افزایش تعداد زیرحوضه‌ها بهبود می‌یابد و همچنین زمان اجرا به صورت تصاعدی افزایش می‌یابد.

نیکودل و همکاران (۱۳۹۰)، در مطالعه‌ای اثر طرح‌های مختلف مدیریت آب بر روی رژیم طبیعی جریان در دو دوره زمانی قبل و بعد از احداث سد زاینده‌رود را با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT بررسی کرده و نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل برای دوره پس از تأسیس سد را مورد بحث قرار داده‌اند. ایشان نتیجه‌گیری کردند که وجود مدیریت شدید اعمال شده در برخی ایستگاه‌ها و در دسترس نبودن کافی اطلاعات موجود، باعث تولید نتایج ضعیف و عدم قطعیت زیاد توسط مدل شده است. هرچند که مقدار ضریب همبستگی $0/62$ نتایج شبیه‌سازی را قابل توجیه نشان داده است.

۲-۳- مقایسه SWAT با سایر مدل‌ها

سروری و همکاران (۱۳۹۱) قابلیت استفاده از مدل‌های HSPF و SWAT در شبیه‌سازی رواناب را مورد مطالعه قرار دادند. آنها نتیجه گرفتند که مدل HSPF دبی را با دقت بیشتری شبیه‌سازی می‌کند. علت این موضوع را استفاده از معادله ریچاردز در شبیه‌سازی نفوذ آب در خاک در مدل HSPF دانستند، این در حالی است که مدل SWAT با استفاده از روش منحنی، حجم رواناب و میزان نفوذ آب در خاک را برآورد می‌کند.

صالح و همکاران (۲۰۰۴) مطالعه‌ای روی رودخانه‌ای در تگزاس انجام دادند. هدف از این مطالعه مقایسه دو مدل HSPF و SWAT بر مبنای انحراف از معیار و خطای متوسط بین نتایج شبیه‌سازی و آمار مشاهداتی رواناب و غلظت نیترات موجود در آب بود. هم‌چنین ایشان از معیار E_{NS} (نش-ساتکلیف) برای بررسی کارایی این دو مدل استفاده کردند. این محققان نیز دریافتند دقت شبیه‌سازی دبی روزانه در مدل HSPF بیشتر از دقت مدل SWAT است. آنها نیز علت این موضوع را استفاده مدل HSPF از معادله نفوذ فیلپ اعلام کردند. در این مطالعه هم‌چنین کارایی دو مدل در برآورد غلظت نیترات موجود در آب مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده حاکی از دقت بالای مدل SWAT نسبت به مدل HSPF بود. این محققان علت را به توانایی کم مدل HSPF در شبیه‌سازی فعالیت‌های کشاورزی نسبت دادند.

علوی‌نیا و نصیری صالح (۱۳۸۹) دو مدل HSPF و SWAT در شبیه‌سازی رسوب را در حوضه آبریز ابرو مقایسه کردند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که مدل SWAT تغییرات فصلی رسوب را بهتر از مدل HSPF شبیه‌سازی می‌کند. به طور کلی به علت توانایی کم مدل HSPF در شبیه‌سازی فعالیت‌های کشاورزی این مدل در شبیه‌سازی رسوب در سطح حوضه‌های آبریز نسبت به شبیه‌سازی دبی دقت پایین‌تری دارد.

پورعبدالله (۱۳۸۴) مطالعه‌ای را با هدف مقایسه عملکرد مدل SWAT با مدل RUSLE در شبیه‌سازی فرسایش حوضه‌ای در زیرحوضه امامه انجام داد. نتایج مطالعه نشان داد مدل RUSLE، به دلیل عدم شبیه‌سازی رواناب ناشی از ذوب برف، در تخمین فرسایش حوضه‌ای دقت مناسبی ندارد.

اکبری مجدر و بهره‌مند (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای روش‌های شبیه‌سازی فرسایش و رسوب را در مدل‌های SWAT و WETSPA مورد بررسی قرار دادند و بیان نمودند که مقیاس شبیه‌سازی در مدل SWAT از نظر مکانی نیمه توزیعی است و برای هر واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی بطور مستقل انجام می‌شود. شبیه‌سازی از نظر زمانی پیوسته بوده و دقت آن می‌تواند سالانه، ماهانه و یا روزانه باشد. مقیاس مکانی در WETSPA کاملاً توزیعی بوده و شبیه‌سازی برای هر پیکسل با اندازه دلخواه انجام می‌شود. از نظر زمانی نیز می‌تواند شبیه‌سازی را به صورت ساعتی و یا مقیاس‌های بزرگتر انجام دهد. هر چند که نتایج جزئی‌تر و توزیعی‌تر شناخت ما از سیستم حوزه آبریز را بیشتر می‌کند، ولی الزاماً همیشه این روش مفید نیست، بلکه باید با توجه به هدف تحقیق، نوع مدل و روش شبیه‌سازی را انتخاب کرد تا بتوان با حداقل داده ورودی و صرف هزینه و زمان کمتر، نتیجه دلخواه را کسب کرد.

یکی از جنبه‌های مهم در مدل‌ها تعداد پارامترهای ورودی آنهاست که هر چه کمتر باشد کار با مدل آسانتر خواهد بود از این لحاظ مدل SWAT در زمینه فرسایش و رسوب نیاز به چندین پارامتر دارد. زیاد بودن تعداد پارامترهای ورودی می‌تواند شناخت مدل از طبیعت منطقه را افزایش داده و دقت شبیه‌سازی را نیز بالا ببرد، ولی اجرا و واسنجی این مدل در نقاط مختلف به زمان زیادی نیاز خواهد داشت.

قابلیت‌های مدل SWAT برای شبیه‌سازی فرایندهای مختلف باعث شده است تا این مدل به‌طور گسترده در سطح جهان شناخته شده و مورد استفاده قرار گیرد. تعداد زیاد مطالعات انجام شده با استفاده از مدل SWAT میزان مقبولیت و توسعه این مدل را نشان می‌دهد. با توجه به این که زمان زیادی از ارائه مدل WETSPA نمی‌گذرد این مدل هنوز به اندازه کافی در بین کاربران شناخته شده

نیست. ولی با توجه به دقت و قابلیت‌های این مدل و سهولت استفاده از آن در مقایسه با مدل SWAT می‌توان انتظار داشت که استفاده از این مدل به سرعت گسترش یابد.

۲-۴- بررسی اثر دقت DEM^۸ در مدل SWAT

در مورد بررسی اثر دقت DEM در مدل SWAT می‌توان به پژوهش فیتزهاگ و مک‌کی (۲۰۰۰) اشاره کرد که تغییرات تخمین رسوب مدل را مورد بررسی قرار دادند. ایشان تغییرات تخمین رسوب مدل را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند از آنجاکه اندازه زیرحوضه‌ها به مقیاس DEM وابسته است، اندازه زیرحوضه‌ها در تخمین مقدار رسوب مؤثر می‌باشد. تامپسون و همکاران (۲۰۰۱) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که خطاهای بزرگ در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، اغلب به دلیل تخمین اشتباه ارتفاع عوارض و شیب اتفاق می‌افتد.

جیرانی و همکاران (۱۳۹۰) اثر دقت مکانی نقشه رقومی ارتفاع در واسنجی و برآورد رواناب و رسوب با استفاده از مدل SWAT-CUP را مورد بررسی قرار دادند. واسنجی مدل با کاربرد سه نقشه رقومی ارتفاعی مختلف در برآورد رواناب، به رغم برآوردهای متفاوت از مشخصات فیزیوگرافی که به عنوان مثال برای شیب تا ۴۰ درصد تفاوت داشت، نتایج تقریباً مشابهی را به همراه داشت. به عنوان مثال در ایستگاه پل چهار مقدار ضریب R^2 برای دوره اعتبار سنجی برای اندازه‌های سلولی ۵۰ و ۹۰ و ۱۰۰۰ متر به ترتیب ۵۳، ۵۴ و ۵۳ درصد بدست آمد. علت این امر را در استفاده از منطق مدل‌سازی معکوس در واسنجی دانست. در مورد برآورد بار رسوب، نتایج قدری حساس تر بوده است.

چپلات (۲۰۰۵) با بررسی اثرات نقشه‌های رقومی ارتفاعی با دقت‌های متفاوت در برآورد رواناب و رسوب مدل SWAT، دقت مناسب نقشه DEM را برای حوضه‌ای در آمریکا پیشنهاد کرد.

^۸ Digital Elevation Model

۲-۵- مطالعات آفت کش‌ها

شبیه‌سازی‌هایی از ایزواکسفکونول‌ها توسط رامانارایانان و همکاران (۲۰۰۵) برای چهار حوضه در نبراسکا الکوا و میسوری که در مساحت‌های $۱۴۴۳۳۴/۶ - ۰/۴۹$ کیلومتر مربع طبقه‌بندی شده‌اند، با استفاده از مدل SWAT انجام شده است. بر مبنای مقایسه با اطلاعات اندازه‌گیری‌شده، نتایج صحت‌سنجی رضایت‌بخش بوده است.

کانن و همکاران (۲۰۰۶) گزارش کردند که SWAT به درستی حرکات چهار آفت‌کش را برای حوضه کالورس در انگلیس شبیه‌سازی می‌کند. نتایج زمان‌بندی استفاده و سناریوهای استفاده متفاوت نیز شرح داده شده‌اند. دو سناریو از حرکات سطحی توسط کانن و همکاران (۲۰۰۷a) برای حوضه مشابه شرح داده شده است.

آماییل و همکاران (۲۰۰۶) متوجه شدند که SWAT به زمان‌بندی استفاده آترازین در ۲۸۰۰ کیلومتر مربع حوضه رودخانه جوزف در ایالت ایندیانا شمال شرقی بسیار حساس است. جرم آترازین پیش‌بینی‌شده در خروجی حوضه با بار اندازه‌گیری‌شده برای دوره آوریل تا سپتامبر سال‌های ۲۰۰۳ - ۲۰۰۰ بسیار سازگار بوده است.

۲-۶- مطالعات نیتروژن و فسفر

مطالعات منتشر شده در آمریکا توانایی مدل SWAT را در پیش‌بینی تلفات مواد مغذی نشان می‌دهد. صالح و همکاران (۲۰۰۰)، صالح و دوو (۲۰۰۴)، سانتی و همکاران (۲۰۰۴a)، سانتی و همکاران (۲۰۰۱a)، استوارت و همکاران (۲۰۰۶)، و دی لوزیو و همکاران (۲۰۰۲) مدل را با مقایسه بین تلفات نیتروژن پیش‌بینی‌شده و تلفات نیتروژن اندازه‌گیری‌شده در بالای رودخانه بوسک شمال یا حوضه رودخانه بوسک در تگزاس ارزیابی کردند. همگی آن‌ها نتیجه گرفتند که مدل تلفات نیتروژن را بطور منطقی پیش‌بینی می‌کند، مقادیر NS صحت‌سنجی میانگین ماهانه بزرگتر یا برابر با $۰/۶$ بوده

است. تلفات فسفر نیز بطور رضایت بخشی در این مطالعات، با مقادیر NS صحت سنجی بین ۰/۹۳ - ۰/۳۹ پیش بینی شده است.

چو و همکاران (۲۰۰۴) SWAT را برای حوضه وارنر کریک در مریلند انجام دادند و پیش بینی های فسفر و نیتروژن سالانه رضایت بخشی (مقدار NS برای فسفر ۰/۸ و برای نیتروژن ۰/۹) و ماهانه ضعیفی (مقدار NS برای فسفر ۰/۰۸ و برای نیتروژن ۰/۳۶) را گزارش دادند.

در هند، پیش بینی فسفر و نیتروژن SWAT با استفاده از داده های اندازه گیری شده در میدناپور (بهره و پاندا (۲۰۰۶) و هازاری باق (تری پاتی و همکاران (۲۰۰۳)) بخش های شرقی هندوستان مورد آزمایش قرار گرفته است. هر دو مطالعه نتیجه گرفتند که مدل SWAT می تواند برای شبیه سازی تلفات مواد مغذی بطور رضایت بخشی مورد استفاده قرار گیرد. مقدار $NS = ۰/۷۹$ در تحقیق تری پاتی این موضوع را تأیید می کند.

اخوان و همکاران (۱۳۸۹) سناریوهای مختلف مدیریتی به منظور کاهش آلودگی نیترات را با استفاده از مدل SWAT بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند که با مشخص شدن مناطق بحرانی می توان با استفاده از مدل SWAT اثر بلند مدت سناریوهای مختلف مدیریتی را در منطقه ی بحرانی به منظور کاهش آلودگی نیترات ارزیابی و رتبه بندی کرد. استفاده از این آنالیزها می تواند در مدت زمانی کوتاه انجام شود در حالی که مطالعات مزرعه ای نیاز به سال ها زمان دارد. از طرف دیگر، مشخص کردن منابع نیتروژن آلودگی نیترات مشکل و هزینه بر است. کاربرد مدل این امکان را به کاربر می دهد تا مقدار نیتروژن آلودگی شده از منابع کود حیوانی و کود معدنی را مشخص کند. از طرفی از آنجایی که اکثر پیش بینی های مدل ها دارای قطعیت نبوده و منجر به عدم اطمینان به نتایج مدل می شود در این راستا آنالیز عدم قطعیت می تواند راهگشا باشد که در این مطالعه از الگوریتم SFUT_2 استفاده کردند.

شکرالهی و تجریشی (۱۳۸۷) تحت مقاله‌ای با عنوان مدل‌سازی تغییرات زمانی و مکانی شوری در مقیاس حوضه‌ای با استفاده از روش پویایی سیستم و مدل SWAT (زیرحوضه قره‌سو در دشت‌های ماهیدشت و سنجابی) بیان نمودند که مدل تهیه شده توانایی پیش‌بینی نتایج سناریوهای بهره‌برداری از منابع آب و خاک و تغییرات شوری این منابع را در مقیاس حوضه‌ای داراست. در واقع این مدل یک ابزار مدیریتی برای پیش‌بینی اثرات تصمیمات و برنامه‌های توسعه کشاورزی با دید جامع به مسائل آب و محیط زیست و پایداری آن‌ها می‌باشد.

۲-۷- مطالعات رسوب

صالح و همکاران (۲۰۰۰) ارزیابی جامعی از SWAT برای حوضه رودخانه بوسک شمالی در شمال تگزاس میانی انجام دادند و متوجه شدند که، پیش‌بینی تلفات ماهانه رسوب بخوبی با اطلاعات اندازه‌گیری شده مطابقت دارد اما خروجی‌های روزانه ضعیف بودند. در این تحقیق برای پیش‌بینی تلفات ماهانه رسوب مقدار NS در دوره واسنجی ۰/۸۱ و در دوره اعتبار سنجی ۰/۹۴ گزارش شده است.

سانتی و همکاران (۲۰۰۱a) متوجه شدند که بار رسوب شبیه‌سازی شده SWAT بخوبی با بار رسوب اندازه‌گیری شده برای دو زیر حوضه رودخانه بوسک به جز در ماه مارس مطابقت دارد. مقدار NS در دوره واسنجی ۰/۸ و در دوره اعتبار سنجی ۰/۷ گزارش شده است.

آرنولد و همکاران (۱۹۹۹b) از مدل SWAT برای شبیه‌سازی میانگین بار رسوب سالانه برای پنج حوضه رودخانه بزرگ تگزاس ($569 - 20/593 \text{ km}^2$) استفاده کردند و نتیجه گرفتند که مقدار رسوب پیش‌بینی شده SWAT در مقایسه با مقدار رسوب تخمینی بدست آمده از نمودارها درجه‌بندی منطقی‌تری دارد.

چوو و همکاران (۲۰۰۴) پیش‌بینی رسوب SWAT را برای حوضه وارنر کریک واقع در مناطق جغرافیایی پیدومونت مریلند ارزیابی کردند. نتایج ارزیابی سازگاری قوی بین اندازه‌گیری‌های سالانه و بار رسوب شبیه‌سازی‌شده SWAT نشان داد، اما شبیه‌سازی‌های بار رسوب ماهانه ضعیف بودند. جی و همکاران (۲۰۰۷) متوجه شدند که بار رسوب پیش‌بینی شده توسط مدل SWAT با بار رسوب اندازه‌گیری شده در حوضه رودخانه راکون در لوا در آمریکا سازگار است. عربی و همکاران (۲۰۰۶b) نتایج شبیه‌سازی رسوب رضایت‌بخش SWAT را برای دو حوضه کوچک در هند گزارش دادند. مقادیر NS برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۷۵ حاصل شده است.

۲-۸- مطالعات مربوط به ذوب برف و تبخیر و تعرق

پترسون و هملت (۱۹۹۸) با تحقیقی روی ۳۹/۴ کیلومترمربع از زیرحوضه آریل کریک در شمال شرقی پنسیلوانیا (در آمریکا) گزارش دادند که مدل قادر به محاسبه ذوب برف‌های بزرگ و غیرمعمول نیست.

اسریواستوا و همکاران (۲۰۰۶) با تحقیقی روی ۴۷/۶ کیلومترمربع از زیرحوضه غربی برندی کریک در جنوب غربی پنسیلوانیا گزارش دادند که مدل SWAT به قدر کافی جریان‌های زمستانی را پیش‌بینی نمی‌کند.

وو و جانسون (۲۰۰۷) گزارش دادند که پارامترهای ذوب برف استفاده شده در SWAT به‌وسیله شرایط خشکسالی تغییر داده می‌شوند و پیش‌بینی‌های جریان رودخانه‌ای آن برای ۹۰۱ کیلومتر مربع از رودخانه برنچ انتوناگون در میشیگان وقتی بهبود یافت که واسنجی بر مبنای یک دوره خشکسالی بود.

علیزاده و همکاران (۱۳۹۲) کاربرد مدل SWAT برای برآورد تبخیر-تعرق واقعی در مقیاس سال -حوضه را در حوضه آبریز نیشابور مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داده است که عملکرد

مدل جهت پیش‌بینی جریان رودخانه و عملکرد گیاه کاملاً رضایت‌بخش بوده است به طوری که مقادیر عملکرد مدل در ایستگاه هیدرومتری حسین آباد جنگل به عنوان خروجی حوضه در دوره واسنجی ($R^2 = 0/82$ و $NS = 0/79$) و اعتبارسنجی ($R^2 = 0/71$ و $NS = 0/71$) بیانگر این موضوع می‌باشد.

۹-۲- مطالعات آنالیز حساسیت

اسپرول و همکاران (۲۰۰۰) آنالیز واسنجی/حساسیت ۱۵ پارامتر زمین‌شناسی ورودی SWAT را برای ۵/۵ کیلومتر مربع حوضه در ایالت کنتاکی انجام دادند، نتایج آن‌ها نشان داد که هدایت هیدرولیکی اشباع، فاکتور آلفا جریان پایه، مساحت زهکشی، طول کانال، و عرض کانال حساس‌ترین پارامترها بودند که روی جریان رودخانه‌ای تأثیر گذاشتند.

لنهارت و همکاران (۲۰۰۲) اثرات دو روش متفاوت آنالیز حساسیت را با استفاده از SWAT-G برای یک زیرحوضه مصنوعی بررسی کردند. در یک روش تناوبی، مقادیر ۴۴ پارامتر متفاوت در درصد ثابتی از پارامترهای معتبر با روش معمول مقدار ابتدایی هر پارامتر مقایسه شد. هر دو روش در طبقه‌بندی حساسیت پارامترها نتیجه داد و بنابراین می‌توانند برابر در نظر گرفته شوند.

گرینسون و همکاران (۲۰۰۶b) آنالیز حساسیت ۴۱ پارامتر ورودی SWAT را روی جریان، رسوب، نیتروژن کل و فسفر کل برای زیرحوضه UNBRW و ۳۲۴۰ کیلومتر مربع از زیر حوضه رودخانه ساندوسکی در اوهایو بررسی کردند. نتایج نشان داد که بعضی پارامترها مثل شماره منحنی (CN2) در هر دو حوضه مهم بودند، اما در آنجا تفاوت ناهمسانی در تأثیر دیگر پارامترها بین دو زیرحوضه وجود داشت.

۱۰-۲- مطالعات روش‌های واسنجی

کافی و همکاران (۲۰۰۴) حدود ۲۰ آزمون متفاوت را که بتواند برای محاسبه خروجی جریان رودخانه‌ای SWAT در یک پروسه واسنجی معمول استفاده شوند آماده کردند. آن‌ها استفاده از

ضرایب R^2 و NS را برای آنالیز خروجی‌های ماهانه و توابع هدف میانگین، آزمون ساین^۹، autocorrelation، و cross - correlation را برای ارزیابی خروجی‌های روزانه، مبنی بر مقایسه نتایج جریان رودخانه‌ای SWAT و جریان اندازه‌گیری شده برای زیرحوضه مشابه مطالعه شده توسط اسپرول و همکارانش (۲۰۰۰) را پیشنهاد کردند.

کائو و همکاران (۲۰۰۶) فلوچارتی از مسیر واسنجی معمول را برای واسنجی SWAT مبنی بر پنج خروجی هیدرولوژیکی و سایت اندازه‌گیری چندمنظوره‌ای را در ۲۰۷۵ کیلومترمربع حوضه رودخانه موتواکا در جنوب جزیره نیوزیلند را آماده کردند. نتایج صحت‌سنجی و واسنجی در سرتاسر حوضه در مقایسه با نتایج بدست آمده از شش زیرحوضه قوی‌تر بود.

گاوندر و اورسون (۲۰۰۵) برنامه تخمین اتوماتیک پارامتر (PEST) (Doherty, ۲۰۰۴)) را استفاده کردند و متغیرهای رطوبت خاک، متغیرهای ابتدایی آب زیرزمینی و شماره منحنی رواناب را معین کردند تا تعدادی از پارامترهای حساس در کاربرد SWAT برای دو زیرحوضه کوچک جنوب آفریقا باشد. هم‌چنین آن‌ها گزارش کردند که نتایج واسنجی معمول (دستی) دقیق‌تر از روش PEST است.

حبیبی و اخوان (۱۳۹۱) واسنجی خودکار مدل SWAT را با استفاده از الگوریتم فراکاوشی PSO بر روی حوضه آبریز همدان- بهار انجام دادند. آن‌ها مدل را برای دوره آماری ۲۰۰۰-۲۰۰۸ واسنجی و برای دوره آماری ۱۹۹۱-۱۹۹۹ برای شش ایستگاه هیدرومتری حوضه بر اساس دبی ماهانه اعتبارسنجی نموده و با تابع هدف R^2 مورد ارزیابی قرار دادند. ضریب ناش ساتکلیف بعد از واسنجی بین ۰/۸۶ - ۰/۴۶ و ضریب تبیین R^2 بعد از واسنجی بین ۰/۹ - ۰/۶۲ بوده است. نتایج آن‌ها حاکی از عملکرد قابل قبول الگوریتم PSO بوده است.

^۹ sing

۲-۱۱- مطالعات آنالیز عدم قطعیت

شیرمحمدی و همکاران (۲۰۰۶) آنالیزهای شبیه‌سازی مونت کارلو و خطای first - order یا تقریب (FOE یا FOA) را که دو مسیر معمول‌تری برای انجام آنالیز عدم قطعیت هستند، و روش‌های دیگری، شامل روش mean value first - order reliability، شبیه‌سازی LH با شبیه‌سازی اجباری مونت کارلو، و تخمین احتمال عدم قطعیت (GLUE) را بیان نمودند. آن‌ها سه مطالعه از آنالیزهای عدم قطعیت استفاده شونده توسط SWAT را آماده کردند که به ترتیب مبنی بر روش‌های مونت کارلو، LH- Monte Carlo، و GLUE در زمینه ارزیابی TMDL¹⁰ بودند. آن‌ها گزارش کردند که عدم قطعیت یک موضوع مهم برای ارزیابی TMDL است و اینکه باید برای محاسبه در طی هر دو ارزیابی TMDL و جنبه اجرا بدست آورده شوند. همچنین آن‌ها توصیه‌ای برای بهبود تعریف عدم قطعیت در پروسه TMDL بوجود آوردند.

بنمن و شومافر (۲۰۰۴) یک روش شش مرحله‌ای را توسعه دادند که استفاده از اجراهای مونت کارلو و یک مسیر حساسیت interval - spaced برای کاهش رنج عدم قطعیت‌ها را شامل می‌شد. بعد از کاهش رنج پارامترها، روش آن‌ها دامنه خروجی‌های مدل را بوسیله طبقه بندی اندازه‌ها کاهش می‌داد.

نظری و همکاران (۱۳۹۰) نتایج استفاده از مدل SWAT در حوضه آبریز تالار را به صورت نموداری و مقادیر عددی نشان دادند. ۴۹ درصد مقادیر مشاهده شده مربوط به دبی بین باندهای عدم قطعیت در پیش‌بینی قرار گرفته‌اند و فاکتور d نیز برابر ۱/۶ محاسبه شد. در این تحقیق با استفاده از معیارهای ارزیابی دقت کارایی مدل در شبیه‌سازی برای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی مورد بررسی قرار گرفتند و در دو حالت شبیه‌سازی با گام زمانی روزانه و شبیه‌سازی با گام زمانی ماهانه ارائه شده‌اند.

¹⁰ Total Maximum Daily Load

گرچه مقادیر بدست آمده برای ضریب ناش ساتکلیف حاکی از کارایی پایین مدل SWAT در برآورد رواناب در این تحقیق است ولی از طرف دیگر مقادیر مطلوب معیار r در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی بیانگر عملکرد نسبتاً مناسب مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب است. با این وجود، مقایسه مقادیر متناظر معیارهای r و NS نشان می‌دهد این معیارها برای حالتی که شبیه‌سازی با گام زمانی ماهانه انجام شده، بهبود یافته است. علت آن می‌تواند چنین بیان شود که در حالت ماهانه چون مقدار متوسط ماهانه دبی ارائه می‌گردد، بسیاری از خطاهایی که ناشی از نوسانات روزانه جریان است، حذف می‌شود.

نتایج نشان می‌دهد که مدل SWAT توانسته است در اکثر موارد در طول دوره شبیه‌سازی زمان وقوع دبی‌های پیک را بطور مناسب تشخیص دهد. گرچه مقادیر مشاهداتی اختلاف دارد و مدل، مقادیر دبی‌های پیک را بیشتر تخمین زده است.

دبی شبیه‌سازی شده دارای پیک بالایی در نوامبر سال ۲۰۰۵ (دوره صحت‌سنجی) است. گرچه بررسی بارش در این تاریخ وجود آن را توجیه می‌کند، اما رواناب مشاهداتی در این زمان، دبی پیکی با این شدت را نشان نمی‌دهد. این تفاوت را می‌توان ناشی از خطا در اندازه‌گیری دبی در ایستگاه هیدرومتری و یا عدم در نظر گرفتن برداشت آب برای مصارف کشاورزی و صنعتی دانست.

بررسی بارش در دوره واسنجی نشان می‌دهد، در ماه جولای هر دو سال ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ بارشی رخ داده که منجر به دبی پیک شده است، اما این دبی در سال ۲۰۰۴ در ایستگاه هیدرومتری ثبت نگردیده است. از آنجا که مقدار این دبی قابل توجه است، انجام واسنجی با خطای چشمگیری مواجه شده و بر روی نتایج تأثیر گذاشته است. اما در دوره صحت‌سنجی بدلیل عدم وجود بارش این مشکل وجود ندارد. با این توصیف، مقادیر نامناسب برای NS و اختلاف بین مقادیر ME در دوره واسنجی قابل توجیه به نظر می‌رسد.

با توجه به اهمیت حوضه آبریز شیرین دره از نظر تهیه آب شهری و همچنین وجود سد در انتهای حوضه و خطر پر شدن سد از رسوب برآن شدیم که حوضه را برای پیش‌بینی خطرات احتمالی در آینده شبیه‌سازی کنیم. با توجه به نتایج تحقیقات انجام شده در مورد مدل SWAT و کاربرد و کارایی بالای این مدل در شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز، به این نتیجه رسیدیم که برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب حوضه آبریز شیرین‌دره می‌توان از مدل SWAT استفاده کرد. تحقیقات محققانی چون دکتر عباسپور و همکاران، دکتر اخوان و همکاران، غلامی و غیره در زمینه رواناب و رسوب اهمیت شبیه‌سازی دو فاکتور رواناب و رسوب و توانایی مدل SWAT را نشان می‌دهد.

فصل سوم

مواد و روش ها

۳_ مواد و روش‌ها

۳-۱- مدل SWAT

۳-۱-۱- تاریخچه مدل SWAT

مدل SWAT از ترکیب مدل‌های مختلف سرویس تحقیقات کشاورزی^{۱۱} و توسعه یافته مدل SWRRB^{۱۲} می‌باشد. از مدل‌های خاصی که در گسترش مدل SWAT نقش اساسی داشته‌اند، می‌توان به مدل CREAMS، GLEAMS و EPIC اشاره نمود.

مدل SWAT در سال ۱۹۷۰ به عنوان مدل تعیین کیفیت آب زیرزمینی پیشنهاد گردید و پس از سال‌ها در شبیه‌سازی، در دانشگاه ای اند ام آمریکا توسعه داده شده است. SWAT94.2، SWAT96.2، SWAT98.1 و SWAT99.2 نسخه‌هایی از مدل SWAT هستند که طی دهه ۹۰ طراحی شده‌اند. آبیاری و عملیات شخم اتوماتیک به عنوان گزینه‌های مدیریتی جدید به مدل SWAT 96.2 اضافه گردید. همچنین محاسبه جریان‌های جانبی و تبخیر و تعرق به روش پنمن - مونتیت نیز برخی از اصلاحات انجام شده بر روی مدل مذکور بود. ذوب برف و چرای دام، استفاده از کودهای کشاورزی و سیستم زهکشی در سال ۱۹۸۴ به مدل SWAT اضافه گردید. در مدل SWAT99.2 فرایند چرخه آلاینده‌های مغذی و تالاب‌ها بهبود یافت. نهایتاً فرایند انتقال باکتری، روش نفوذ گرین - آمپت^{۱۳}، امکان تولید مؤلفه‌های مختلف هواشناسی مانند تابش، سرعت باد، رطوبت نسبی و روش روندیابی ماسینگهام به آن اضافه گردیده و روش‌های محاسبه تبخیر و تعرق بازنگری شد.

¹¹ Agricultural Research Service

¹² Simulator for Water Resources in Rural Basins , (Williams et al., 1985; Arnold et al., 1990)

¹³ Green & Ampt

از مزیت‌های اصلی برنامه SWAT نسبت به برنامه‌های مشابه امکان انجام واسنجی مدل بصورت خودکار می‌باشد. طی آخرین اصلاحات انجام شده کارایی مدل بطور چشمگیری افزایش یافته است؛ بطوری‌که مدت زمان واسنجی و تحلیل حساسیت مدل از چند ماه به چند روز تقلیل یافته است.

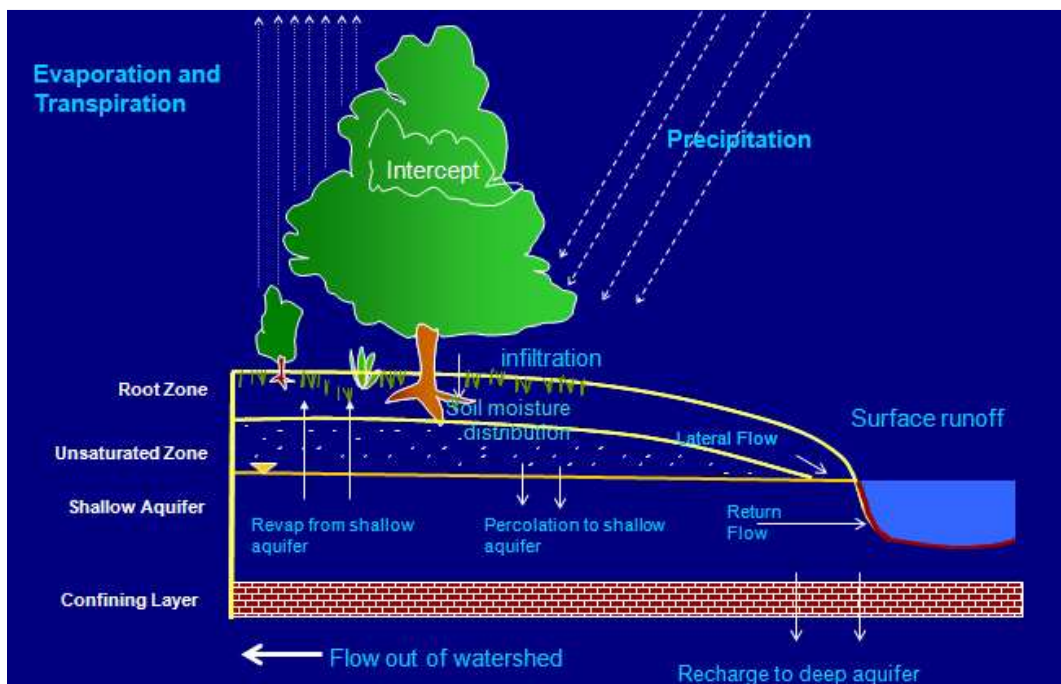
۳-۱-۲- مؤلفه‌های هیدرولوژیکی مدل SWAT و معادلات حاکم در آن

بدون توجه به مسئله‌ای که توسط مدل SWAT مطالعه می‌شود، بیلان آبی، نیروی محرک هر پدیده‌ای است که در حوضه روی می‌دهد. برای پیش‌بینی دقیق جابه‌جایی آفت‌کش‌ها و رسوبات و مواد مغذی؛ چرخه هیدرولوژیک که توسط مدل شبیه‌سازی می‌گردد، باید با آنچه در واقعیت وجود دارد همخوانی داشته باشد. چرخه هیدرولوژیک که در مدل SWAT شبیه‌سازی می‌شود، بر اساس معادله بیلان آب استوار است.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1-3)$$

SW_t مقدار نهایی رطوبت خاک (میلی‌متر آب)، SW_0 مقدار اولیه رطوبت خاک (میلی‌متر آب)، t زمان (روز)، R_{day} مقدار بارش در روز i ام (میلی‌متر آب)، Q_{surf} مقدار رواناب در روز i ام (میلی‌متر آب)، E_a مقدار تبخیر و تعرق در روز i ام (میلی‌متر آب)، W_{seep} مقدار نشت که در روز i ام از نیمرخ خاک وارد منطقه اشباع می‌شود (میلی‌متر آب) و Q_{gw} مقدار آب بازگشتی در روز i ام (میلی‌متر آب) می‌باشد. برخی از مؤلفه‌ها در زیر تشریح شده است. (آبایی و سهرابی، ۱۳۸۸)

شکل (۱-۳) چرخه هیدرولوژیکی را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشخص است، مؤلفه‌های زیادی در چرخه هیدرولوژیکی تأثیرگذار می‌باشد.



شکل (۳-۱): چرخه هیدرولوژیکی در مدل SWAT (عباسپور و اخوان (۲۰۱۲))

۳-۱-۲-۱- رواناب سطحی

رواناب سطحی با استفاده از روش شماره منحنی (۱۹۷۲) یا روش گرین و امپت (۱۹۱۱) محاسبه می‌شود. با توجه به اطلاعات در دسترس در این تحقیق از روش شماره منحنی استفاده شده است. در مدل SWAT هنگامی که اولین لایه خاک یخ بزند یعنی دمای اولین لایه پروفیل خاک به صفر برسد، رواناب سطحی افزایش داده می‌شود. در این شرایط اگر خاک کاملاً خشک باشد نفوذ آب به داخل خاک تا حدودی امکان پذیر است (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۰). تفکیک حوضه به زیرحوضه‌ها، مدل را قادر می‌سازد تا تفاوت در مقدار و شدت تبخیر و تعرق را برای گیاهان و خاک‌های مختلف منعکس کند. رواناب در هر واحد عکس العمل هیدرولوژیکی (HRU^{14}) به طور مستقل محاسبه و روندیابی می‌شود تا در نهایت مقدار کل رواناب حوضه محاسبه گردد. این روش دقت محاسبات را افزایش داده و توصیف فیزیکی بهتری از بیلان آبی حوضه به دست می‌دهد. واحد عکس العمل هیدرولوژیکی

¹⁴ Hydrologic Response Units

زمین‌های یک‌پارچه‌ای هستند که دارای پوشش، خاک و مدیریت یکسانی هستند (آبایی و سهرابی، ۱۳۸۸).

۳-۱-۲-۱-۱- روش شماره منحنی

رابطه شماره منحنی، یک رابطه تجربی است که از سال ۱۹۵۰ برای تخمین مقدار رواناب سطحی در حوضه‌های با کاربری اراضی و خاک‌های مختلف توسعه یافته است. رابطه SCS که رابطه اصلی این روش می‌باشد به شرح زیر است:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} + 0.8S)} \quad (2-3)$$

R_{day} = عمق بارش روزانه (میلی‌متر)، Q_{surf} = ارتفاع رواناب سطحی (میلی‌متر)، S = ضریب نگهداشت رطوبت که از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (3-3)$$

CN = مقدار شماره منحنی است که با توجه به نوع خاک و پوشش گیاهی منطقه تعیین می‌گردد.

۳-۱-۲-۱-۲- روش گرین-امپت:

این روش، نفوذ را تابعی از پتانسیل ماتریک و هدایت هیدرولیکی محاسبه می‌کند. در این رابطه فرض بر این است که پروفیل خاک همگن و رطوبت به طور یکنواخت در خاک توزیع شده است.

۳-۲-۱-۲- تبخیر و تعرق پتانسیل

تبخیر و تعرق پتانسیل به سه روش پنمن-مونتیث (۱۹۶۵)، هارگریوز (۱۹۸۵) و پریستلی-تیلور (۱۹۷۲) محاسبه می‌شود. اطلاعات مورد نیاز در روش پنمن-مونتیث عبارتند از تابش، دمای هوا،

سرعت باد و رطوبت نسبی. در روش‌ها رگریروز فقط به اطلاعات دمای هوا و در روش پریستلی-تیلور به اطلاعات تابش، دمای هوا و رطوبت نسبی نیاز است (رستمیان و همکاران، ۱۳۸۷). از آنجا که ما اطلاعات کافی روزانه از تابش، سرعت باد و رطوبت نسبی نداشتیم، از روش‌ها رگریروز استفاده نمودیم.

۳-۱-۲-۳- فرسایش

پیش‌بینی نرخ فرسایش خاک ناشی از باران و رواناب در مدل SWAT بر مبنای معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شده MUSLE می‌باشد. این معادله فرم اصلاح شده معادله USLE می‌باشد که در آن فاکتور بارندگی یا همان شاخص فرسایش ویشمایر با فاکتور رواناب جایگزین شده است. بنابراین احتیاجی به محاسبه تحویل رسوب نمی‌باشد، زیرا بجای انرژی بارندگی از رواناب سطحی به عنوان عامل فرسایش استفاده شده است. معادله USLE برای پیش‌بینی فرسایش ناشی از رواناب حاصل از ذوب برف به کار نمی‌رود، زیرا فقط فرسایش ناشی از بارندگی را در نظر می‌گیرد. ولی با استفاده از معادله MUSLE محاسبه فرسایش ناشی از ذوب برف امکان پذیر است. همچنین از روی معادله فرسایش نمی‌توان میزان رسوبات انتقال یافته بوسیله نهرها و همچنین رسوبات جمع شده در مخازن سدها را تخمین زد. در مدل SWAT برای محاسبه مقدار فرسایش و رسوب در رودخانه‌ها از روش روندیابی رسوب استفاده می‌شود. در این مدل فرسایش رودخانه‌ها تابعی از حداکثر سرعت جریان آب رودخانه است. همچنین مدل SWAT توانایی محاسبه رسوبات ته‌نشین شده در مخزن سد و مقدار رسوب معلق خروجی را نیز دارد. غلظت رسوب در مخزن سد بر اساس حجم و غلظت جریان ورودی، خروجی و آب باقی مانده در مخزن سد محاسبه می‌گردد. همچنین مقدار رسوبات ته‌نشین شده بر اساس تعادل بین غلظت رسوب و متوسط اندازه قطر ذرات رسوب محاسبه می‌شود (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۰).

معادله USLE نمی‌تواند فرسایش ناشی از رواناب حاصل از ذوب برف را محاسبه کند، زیرا این معادله تنها فرسایش ناشی از برخورد ذرات باران با خاک را شبیه‌سازی می‌کند، در صورتی که استفاده از MUSLE این امکان را فراهم می‌آورد (علوی نیا و همکاران، ۱۳۸۹).

$$sed = 11.8 \left(Q_{surf} q_{peak} area_{hru} \right)^{0.56} K_{usle} C_{usle} P_{usle} L S_{usle} C_{FRG} \quad (4-3)$$

Sed = میزان رسوب در یک روز (تن)، Q_{surf} = رواناب سطحی (میلیمتر در هکتار)، $Area_{hru}$ = مساحت واحدهای هیدرولوژیکی همگن (هکتار)، K_{usle} = فاکتور فرسایش USLE خاک، C_{usle} = فاکتور مدیریتی، P_{usle} = فاکتور روش‌های حفاظتی، $L S_{usle}$ = فاکتور توپوگرافی، C_{FRG} = فاکتور ذرات درشت‌دانه. روندیابی رسوب نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود

$$sed_{ch} = sed_{ch,i} - sed_{dep} + sed_{deg} \quad (5-3)$$

Sed_{ch} = رسوب معلق در مسیر (تن)، $Sed_{ch,i}$ = رسوب معلق در مسیر در آغاز جریان (تن)، Sed_{dep} = رسوب ترکیب شده در مسیر (تن)، Sed_{deg} = رسوب تجزیه شده در مسیر (تن). در نهایت مقدار رسوبی که از مسیر خارج می‌شود از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود

$$sed_{out} = sed_{ch} \frac{V_{out}}{V_{ch}} \quad (6-3)$$

Sed_{out} = مقدار رسوبی که از مسیر خارج می‌شود (تن)، V_{out} = حجم جریان خروجی در فاصله زمانی (متر مکعب)، V_{ch} = حجم آب در هر مسیر (متر مکعب).

جریان آب در سطوح جریان و کانال‌ها، جریان با سطح آزاد است و از رابطه مانینگ محاسبه می‌شود. در مدل SWAT ذوب برف تابعی از دمای هوا و دمای توده برف است. در این مدل، ذوب برف به صورت یک تابع خطی از تفاضل بین متوسط دمای توده برف و حداکثر دمای هوا، در نظر گرفته می‌شود. رواناب سطحی در هر زیرحوضه، از جمع رواناب سطحی محاسبه شده برای هر واحد

هیدرولوژیکی، به روش متوسط وزنی بدست می‌آیند. جریان شبیه‌سازی شده برای هر زیرحوضه از طریق شبکه رودخانه‌های حوضه آبریز اصلی روندیابی می‌شود، که در مدل SWAT روندیابی در رودخانه از دو روش ماسکینگهام^{۱۵} و ذخیره‌ی متغیر^{۱۶} انجام می‌شود. شبکه رودخانه‌های حوضه‌ی آبریز را نیز می‌توان از روی مدل رقومی و یا از روی فایل شبکه‌ی آبراهه‌ها ایجاد کرد (نیتش و همکاران، ۲۰۰۵). آمار و اطلاعات مدیریتی حوضه، مثل مدیریت کشاورزی شامل زمان کشت، آیش، زمان و دوره‌های آبیاری و غیره نیز می‌توان به مدل معرفی نمود. اما در این پروژه این اطلاعات به مدل معرفی نشده است. از آنجا که آمار دقیق و منسجمی از این مدیریت‌ها موجود و یا کافی نبوده است، این اطلاعات برای مدل تعریف نشده است.

۳-۱-۳- داده‌های ورودی مدل SWAT

به طور کلی براساس فرمت داده‌ها، اطلاعات مورد نیاز برای شبیه‌سازی به سه دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از لایه‌های اطلاعاتی، فایل‌های اطلاعاتی (dbf یا txt) و پارامترهای ورودی که به صورت عددی وارد می‌گردد. در ضمن مدل شامل یک پایگاه اطلاعاتی است که در آن اطلاعات مربوط به شبیه‌سازی رشد گیاهان، روش‌های شخم زدن، انواع آفت کش‌ها و سایر اطلاعات مدیریتی ذخیره شده است.

۳-۱-۳-۱- لایه رقوم ارتفاعی یا DEM

این لایه باید بصورت شبکه و سیستم مختصات جغرافیایی مشخص به مدل وارد شود. نرم افزار SWAT با در نظر گرفتن این رقوم ارتفاعی قادر به تعیین محل آبراهه‌ها، رودخانه‌ها و حوضه آبریز هرکدام از آنها با دقت دلخواه می‌باشد. بدین ترتیب که با وارد کردن مقدار «حداقل مساحت دلخواه»،

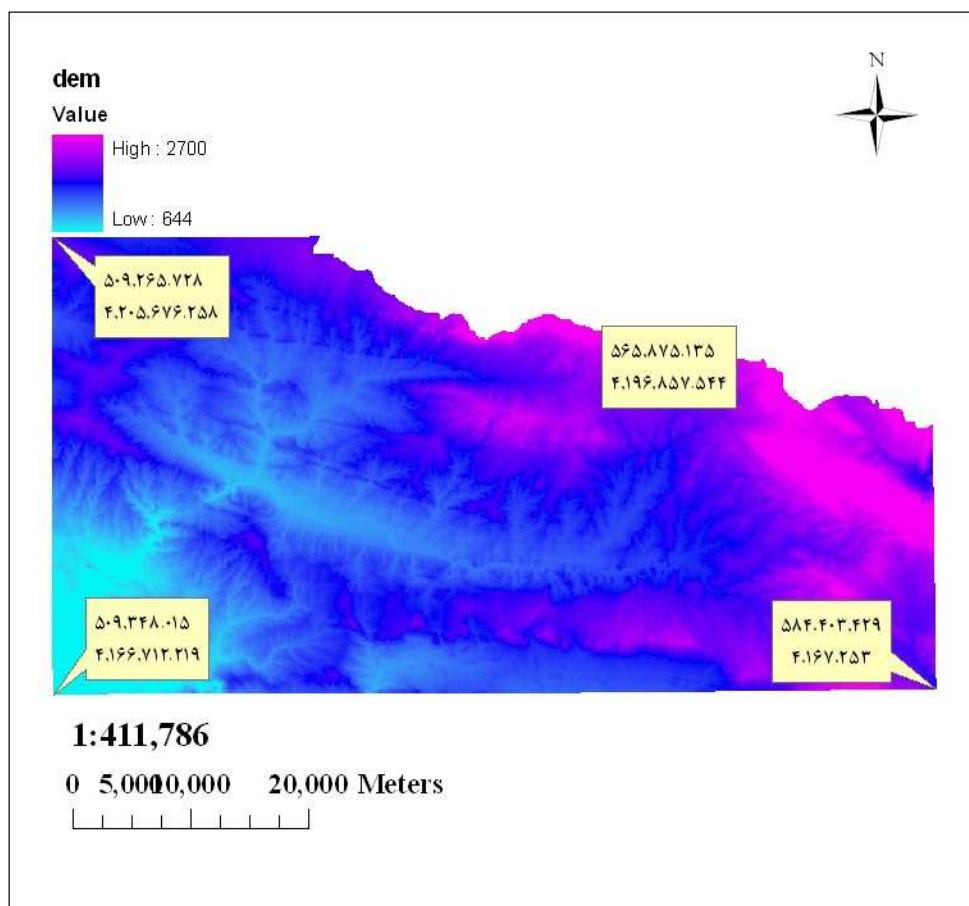
¹⁵ Muskingum Method

¹⁶ Variable Storage

منطقه مورد نظر به زیرحوضه‌های کوچک‌تر تقسیم می‌گردد، به‌طوری‌که مساحت هیچ یک از زیرحوضه‌ها از مقدار حداقل تعیین شده توسط کاربر، کمتر نشود.

به منظور اینکه همه زیرحوضه‌هایی که در حوضه موجود است و مدل از روی DEM قادر به تشخیص آن‌ها می‌باشد، در نظر گرفته شوند، از حداقل مقدار پیشنهادی مدل یعنی ۸۱۰ هکتار، استفاده شد.

این نقشه از سایت (www.geographybank.blogfa.com) با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰، تهیه شده است. این نقشه ارتفاع نقاط را با استفاده از رنگ‌ها به ما نشان می‌دهد. رنگ آبی ارتفاعات کمتر (حداقل ۶۴۴ متر) و رنگ صورتی ارتفاعات بیشتر (تا حداکثر ۲۷۰۰ متر) را نشان می‌دهد.

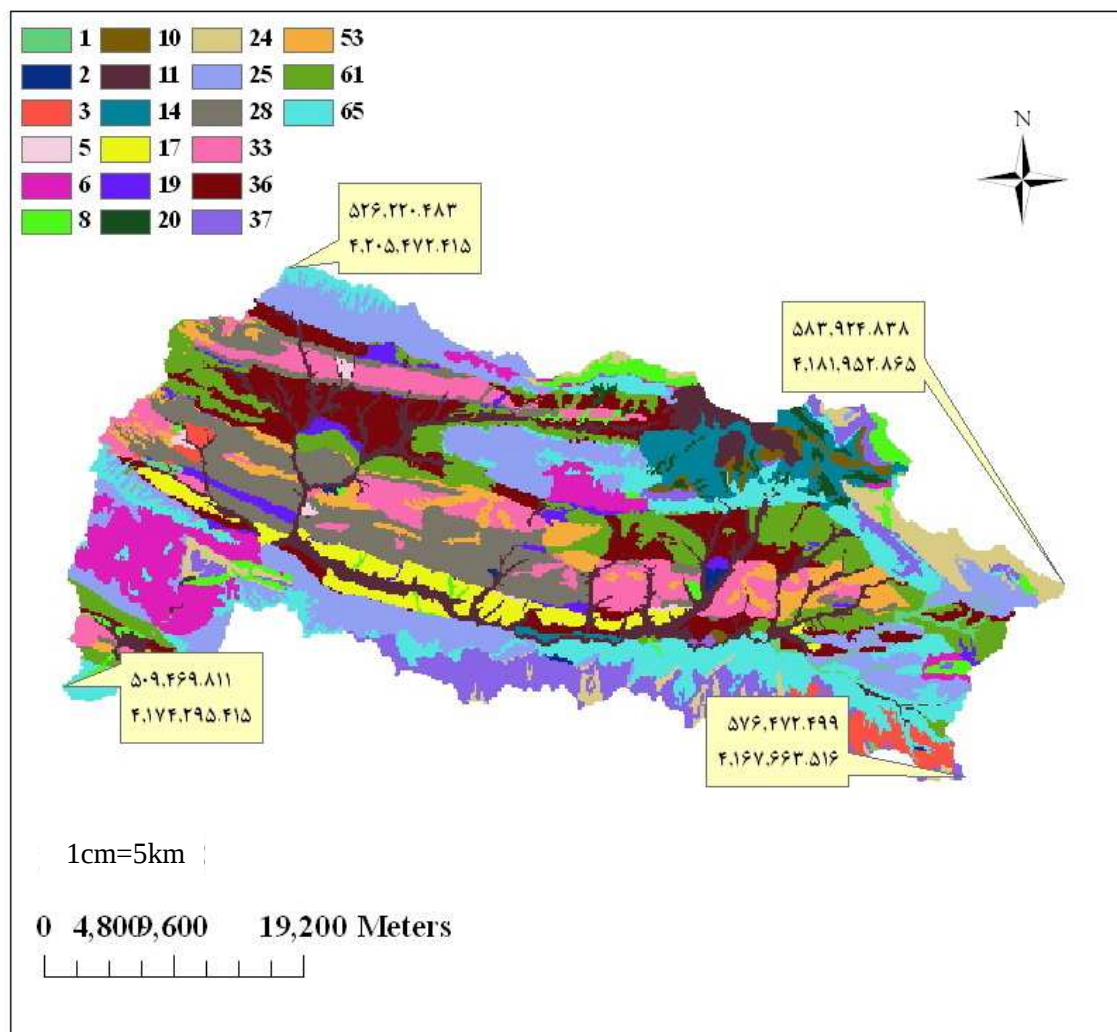


شکل (۳-۲): نقشه مدل رقومی ارتفاع حوضه شیرین‌دره (دفت ۱/۵۰۰۰۰)

۳-۱-۳-۲- نقشه خاک‌شناسی

در این مرحله مدل SWAT نقشه خاک منطقه را یا بصورت shape و یا به فرم grid از کاربر دریافت می‌کند. جدول اطلاعات مربوط به این نقشه می‌بایست به فرمی که در راهنمای مدل آمده است تهیه شود. این جدول مشخص کننده نام و مساحت هر واحد اراضی می‌باشد.

پس از دریافت نتایج آزمایشگاهی پروفیل‌های خاک شاهد و تلفیق نتایج حاصله از سایر بخش‌های مطالعاتی (ژئومورفولوژی، سنگ شناسی، فیزیوگرافی، اقلیم، فرسایش، پوشش گیاهی) نقشه‌های نهایی ترسیم می‌شود. نقشه ابتدایی که تهیه شد نقشه‌ای با جزئیات کافی برای مدل SWAT نبود. پس این نقشه با توجه به گزارشات موجود در مطالعات خاک‌شناسی حوضه و اطلاعات پروفیل‌های خاک، با استفاده از نرم افزار GIS تکمیل و آماده‌سازی شد. نقشه خاک حوضه شیرین‌دره به صورت شکل (۳-۳) درآمده است. این نقشه شامل ۳۳ نوع پلیگون خاک یا واحد اراضی (گزارشات آبریزداری منابع طبیعی خراسان شمالی) است. این نقشه توسط فایل SOL.txt که حاوی اطلاعات جدول (۳-۱) است به بانک اطلاعاتی SWAT وصل شد.



شکل (۳-۳): تقسیم‌بندی حوضه شیرین‌دره بر اساس نوع خاک

از جمله اطلاعاتی که در بان اطلاعاتی SWAT وجود دارد، می‌توان به گروه هیدرولوژیکی خاک، درصد شن، سیلت و رس، عمق پروفیل خاک، عمق حداکثر ریشه‌دهی گیاه، هدایت هیدرولیکی خاک، هدایت الکتریکی خاک، چگالی خاک، فاکتور فرسایش‌پذیری USLE خاک اشاره کرد. اطلاعات مربوط به خاک‌های حوضه در پیوست ۳ آمده است.

جدول (۳-۱): تقسیم‌بندی خاک‌های حوضه بر اساس نام خاک‌ها

VALUE	NAME	VALUE	NAME
1	KA111	33	KA171
2	KA112	36	KA181
3	KA113	37	KA211
5	kA121	53	KA212
6	KA122	61	KA213
8	KA123	65	KA221
10	KA131	66	KA222
11	KA132	67	KA223
14	KA133	68	KA231
17	KA141	69	KA232
19	KA142	70	KA241
20	KA143	71	KA242
24	KA151	72	KA251
25	KA161	73	KA261
28	KA162	74	KA262
77	KA811	75	KA411
78	KAX11	76	KA511

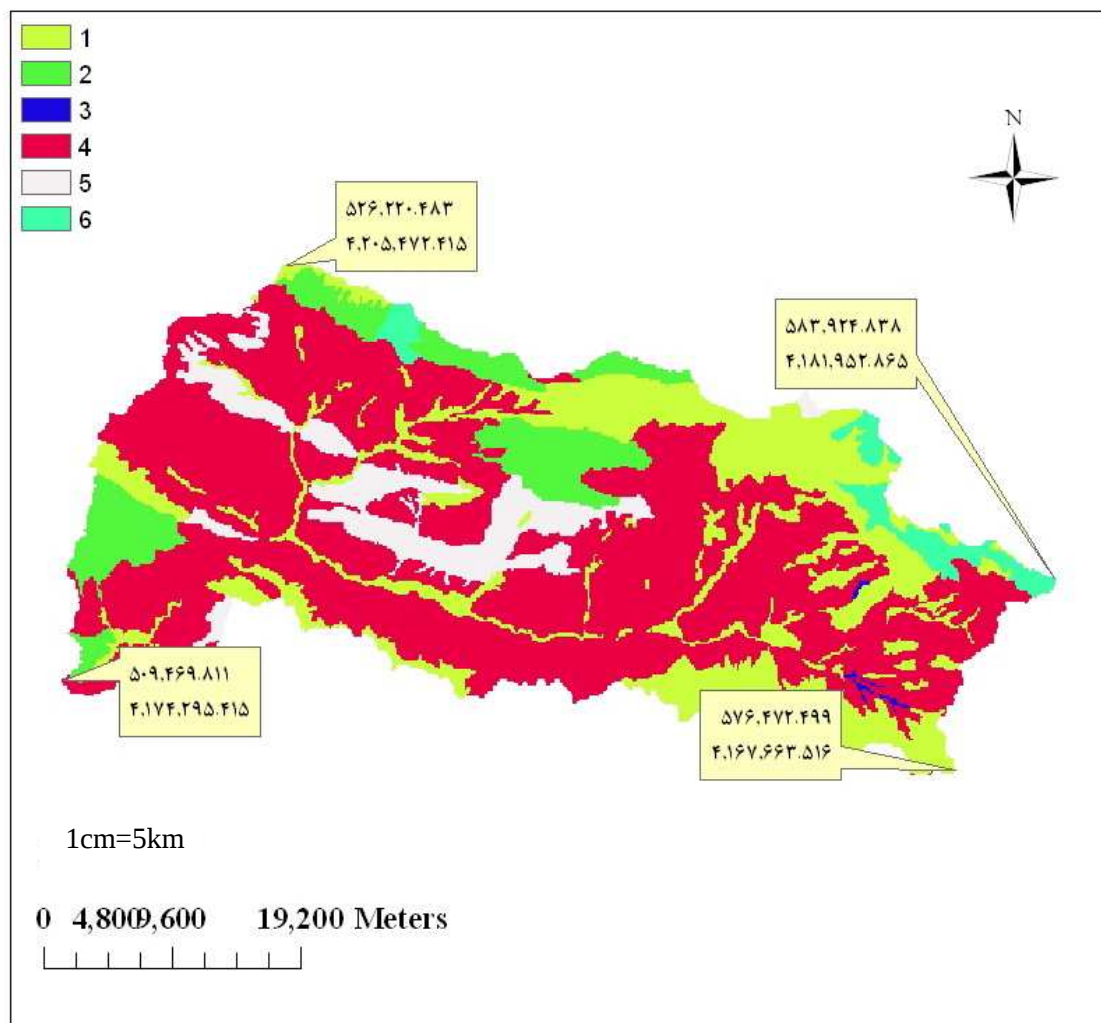
۳-۳-۱-۳- نقشه کاربری اراضی

نقشه کاربری اراضی منطقه را نیز می‌توان بصورت تعیین وسعت و نام پوشش‌های گیاهی مختلف در زیرحوضه تعیین نمود. هریک از پوشش‌های گیاهی تعریف شده در مدل بصورت کد چهار حرفی در قسمت مربوطه وارد می‌گردد.

منظور از کاربری کنونی اراضی، نحوه استفاده از اراضی در حال حاضر می‌باشد. تفکیک و جداسازی کاربری‌های مختلف اراضی در منطقه مورد مطالعه براساس تفسیر عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و مطالعات صحرایی انجام می‌گیرد. لازم به ذکر است که برای جداسازی انواع کاربری‌ها و ترسیم نقشه کاربری، نوع غالب استفاده از اراضی با توجه به تفسیر عکس‌های هوایی، تصاویر ماهواره‌ای و پیمایش‌های صحرایی مورد توجه قرار گرفته است (مطالعات توجیهی آبخیزداری و منابع طبیعی تجدید شونده حوضه آبریز شیرین دره ۱۳۸۶) کاربری کنونی اراضی حوضه آبریز شیرین دره پس از تعیین شامل، زراعت آبی، زراعت دیم، باغات بصورت پراکنده، مرتع، جنگل و مناطق مسکونی می‌باشد. نقشه کاربری اراضی با توجه به بانک اطلاعاتی SWAT تهیه شد. این نقشه با فایل LUC.dbf به بانک اطلاعاتی SWAT وصل می‌شود. این فایل حاوی اطلاعات جدول (۳-۲) است.

حدود ۰/۴ از وسعت حوضه را مناطق مسکونی تشکیل می‌دهد که بیشتر مناطق مسکونی در این حوضه، روستایی است و به کار کشاورزی در حاشیه رودخانه اصلی مشغول هستند. در نظر نگرفتن نقاط مسکونی در این حوضه یک فرضیه و ساده‌سازی برای مدل است و قطعاً محدوده عدم قطعیت را افزایش داده است. مدل توانایی دسته‌بندی اراضی کشاورزی را نیز دارد. به این معنی که می‌توان نوع محصولی که در این اراضی کشت می‌شود و یا نوع مراتع و حتی نوع درختان جنگلی (خزان‌دار یا همیشه سبز) را نیز به مدل معرفی کرد. ولی از آنجا که نقشه دقیقی از این موارد در دسترس نبوده این کار صورت نگرفته است و این مسئله قطعاً محدوده عدم قطعیت را افزایش داده است.

شکل (۳-۴) نقشه کاربری اراضی را نشان می‌دهد. هم چنین جدول (۳-۲) بر اساس فرمت مدل نسبت به کاربری اراضی تنظیم گردیده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در این جدول برای هر گروه کاربری یک عدد به نام Value اختصاص داده شده است و مدل با این اعداد به نقشه متصل شد.



شکل (۳-۴): تقسیم‌بندی حوزه شیرین‌دره بر اساس کاربری اراضی

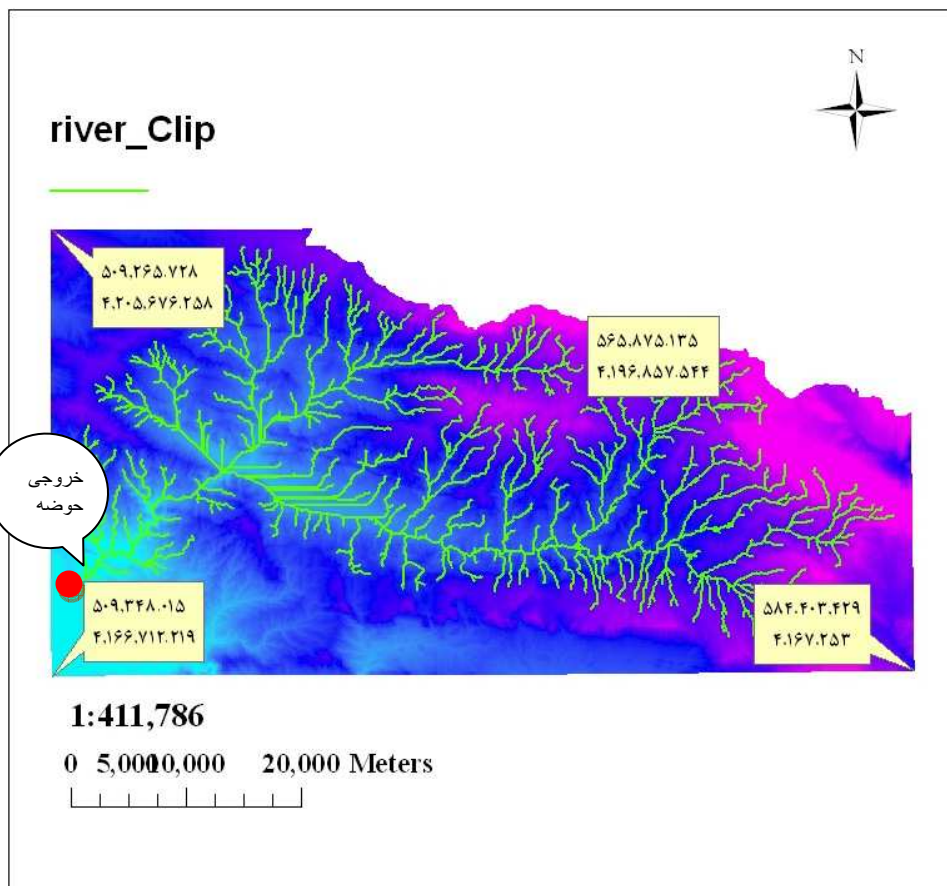
جدول (۳-۲): انواع کاربری اراضی موجود در حوزه شیرین‌دره

VALUE	LANDUSE	شرح
1	AGRL	زمین‌های کشاورزی (دیم و آبی)
2	FRST	جنگل‌های مختلط (خزان‌دار و همیشه سبز)
3	ORCD	باغ
4	PAST	مرتع
5	RNGE	زمین‌های پوشیده از چمن
6	WEWO	زمین‌های مرطوب

۳-۱-۳-۴- شبکه آبراهه‌های حوضه

وارد کردن شبکه آبراهه‌های حوضه اختیاری است و در صورت وجود می‌توان از آن در مدل استفاده نمود، در غیر این صورت محل آبراهه‌ها با استفاده از لایه DEM بدست می‌آید.

نقشه رقومی رودخانه با مقیاس ۱/۵۰۰۰۰ از اداره منابع طبیعی خراسان شمالی تهیه شد. شکل (۳-۵) نقشه رودخانه‌های حوضه را روی نقشه DEM نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در صورت نبود نقشه رودخانه‌ها می‌توان از MUSK استفاده کرد. MUSK پلیگونی است که حدود جغرافیایی مرز حوضه را مشخص می‌کند و به مدل محل قرارگیری حدودی حوضه مورد نظر را نشان می‌دهد. در صورت موجود نبودن MUSK و رودخانه‌های حوضه، مدل SWAT از روی نقشه DEM شبکه رودخانه‌ای را ترسیم و محاسبه می‌کند و وارد کردن شبکه رودخانه‌ها و یا MUSK از جهت بالا بردن دقت در ترسیم شبکه آبراهه‌های حوضه می‌باشد.



شکل (۳-۵): نقشه رقومی رودخانه‌های حوضه شیرین‌دره (اداره منابع طبیعی خراسان شمالی)

۳-۱-۳-۵- اطلاعات هواشناسی

شامل کلیه اطلاعات مشتق شده از آمار ایستگاه‌های سینوپتیک، باران‌سنجی و دماسنجی مانند بارش، دما، شدت بارش نیم ساعته و نقطه شبنم ماهانه می‌باشد. این اطلاعات در فایل با پسوند wgn^{۱۷} ذخیره می‌گردد. پارامترهای ذخیره شده در این فایل برای تولید داده‌های هواشناسی روزانه که لازم است شبیه‌سازی شوند مانند رطوبت نسبی، سرعت باد و تابش روزانه یا برای بازسازی آمار مفقود روزانه به کار می‌روند. همچنین به مختصات ایستگاه‌های سینوپتیک و بارانسنجی نیاز است. اطلاعات مورد نیاز برای بانک اطلاعاتی هواشناسی SWAT در جدول (۳-۳) آمده است. لازم به ذکر است که مدل SWAT از داده‌های باران و دمای نزدیکترین ایستگاه هواشناسی هر زیر حوضه استفاده می‌کند.

¹⁷ Weather generation

زمانی که ایستگاه‌ها دارای خلا آماری باشند از مدل WXGEN استفاده می‌کند. این مدل مجموعه‌ای

از داده‌های اقلیمی را برای هر زیرحوضه شبیه‌سازی می‌کند. (اخوان و همکاران، ۱۳۸۹)

جدول (۳-۳): اطلاعات هواشناسی مورد نیاز بانک اطلاعاتی (فایل wgn) در SWAT

شرح پارامتر	واحد اندازه‌گیری	حداکثر مقدار	حداقل مقدار	نام پارامتر
عرض جغرافیایی ایستگاه	درجه	۹۰	-۹۰	WLATITUDE
ارتفاع ایستگاه هواشناسی	متر	۵۰۰۰	۰	WELEV
تعداد سال‌های با ماکزیموم داده بارش نیم‌ساعته	عددی	۱۰۰	۵	RAIN_YRS
ماکزیموم دمای هوا برای ماه	درجه سانتی‌گراد	۵۰	-۳۰	TMPMX
مینیموم دمای هوا برای ماه	درجه سانتی‌گراد	۴۰	-۴۰	TMPMN
انحراف استاندارد ماکزیموم دمای هوا برای هر ماه	درجه سانتی‌گراد	۱۰۰	۰/۱	TMPSTDMX
انحراف استاندارد مینیموم دمای هوا برای هر ماه	درجه سانتی‌گراد	۳۰	۰/۱	TMPSTDMN
مقدار میانگین بارش برای هر ماه	[mm/dd]	۶۰۰	۰	PCPMM
انحراف استاندارد بارش روزانه برای هر ماه	[mm/dd]	۵۰	۰/۱	PCPSTD
ضریب انحراف ^{۱۸} بارش روزانه برای هر ماه	عددی	۲۰	-۵۰	PCPSKW
احتمال روزهای مرطوب بعد از یک روز خشک برای هر ماه	ضریب	۰/۹۵	۰	PR_W1
احتمال ی روزهای مرطوب بعد از یک روز مرطوب برای هر ماه	ضریب	۰/۹۵	۰	PR_W2
میانگین تعداد روزهای بارانی در هر ماه	عددی	۳۱	۰	PCPD
ماکزیموم بارش نیم‌ساعته در تمام دوره ثبت شده برای هر ماه	میلی‌متر	۱۲۵	۰	RAINHHMX
میانگین تابش خورشیدی روزانه در هر ماه	عددی	۷۵۰	۰	SOLARAV
میانگین دمای نقطه شبنم در ماه	درجه سانتی‌گراد	۲۵	-۵۰	DEWPT
میانگین سرعت باد در ماه	متر بر ثانیه	۱۰۰	۰	WNDV
نام ایستگاه		۰	۰	STATION
طول جغرافیایی ایستگاه		۱۰۰۰۰۰۰	۰	Xpr
عرض جغرافیایی ایستگاه		۱۰۰۰۰۰۰	۰	Ypr
طول جغرافیایی ایستگاه	درجه	۱۸۰	-۱۸۰	WLONGITUDE

۳-۱-۳-۶- مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی

با توجه به اینکه هر چه تعداد ایستگاه‌های باران‌سنجی در منطقه بیشتر باشد، مدل حوضه را بهتر

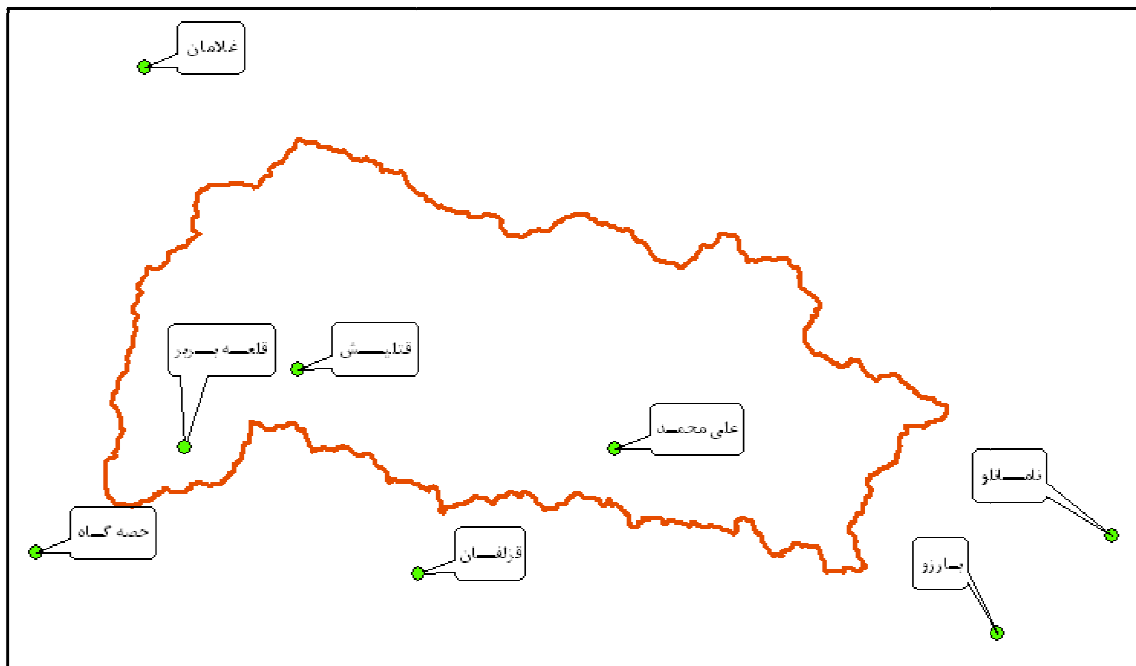
شبیه‌سازی می‌کند، لذا از میان ایستگاه‌های باران‌سنجی موجود در استان، تعداد ۸ ایستگاه که

¹⁸ Skew coefficient

بیشترین نزدیکی را به حوضه شیرین دره داشته و آمار کافی از بارندگی را داشته‌اند، انتخاب کردیم. مشخصات این ایستگاه‌ها به همراه متوسط بارش در دوره آماری مذکور در جدول (۳-۴) آمده است. در شکل (۳-۶) موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی در حوضه مشخص می‌باشد.

جدول (۳-۴): مشخصات ایستگاه‌های باران‌سنجی در حوضه شیرین دره و اطراف آن

شماره	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	دوره‌ی آماری	بارش متوسط (میلیمتر)
۱	علی محمد	۵۵۴۵۲۵	۴۱۷۸۰۰۸	۱۳۰۰	۱۹۹۸/۹/۲۳ - ۲۰۰۹/۹/۲۲	۱/۰۱
۲	قرلفان	۵۳۷۰۰۰	۴۱۶۷۰۰۰	۱۰۵۲	۱۹۹۸/۹/۲۳ - ۲۰۰۹/۹/۲۲	۰/۷۱
۳	حصه گاه	۵۰۳۱۳۲	۴۱۶۸۸۰۸	۸۰۰	۱۹۹۸/۹/۲۳ - ۲۰۰۹/۹/۲۲	۰/۹۷
۴	نامانلو	۵۹۸۶۱۴	۴۱۷۰۳۴۴	۱۸۳۰	۱۹۹۸/۹/۲۳ - ۲۰۰۹/۹/۲۲	۱/۰۳
۵	بارزو	۵۸۸۴۸۵	۴۱۶۱۷۴۳	۱۴۲۳	۱۹۹۸/۹/۲۳ - ۲۰۰۹/۹/۲۲	۰/۸۷
۶	قتلیش	۵۲۶۲۹۲	۴۱۸۵۱۲۳	۹۷۷	۱۹۹۸/۹/۲۳ - ۲۰۰۹/۹/۲۲	۰/۶۶
۷	غلامان	۵۱۲۸۰۱	۴۲۱۱۸۹۴	۱۲۳۹	۱۹۹۸/۹/۲۳ - ۲۰۰۹/۹/۲۲	۰/۷۳
۸	قلعه بربر	۵۱۶۳۱۵	۴۱۷۸۱۶۵	۷۷۰	۱۹۹۸/۹/۲۳ - ۲۰۰۹/۹/۲۲	۱/۱۲



شکل (۳-۶): موقعیت ایستگاه‌های باران‌سنجی در حوضه شیرین دره و اطراف آن

آمار روزانه بارندگی، دمای حداکثر و دمای حداقل این ایستگاه‌ها به صورت جداگانه با فرمت dbf آماده شدند.

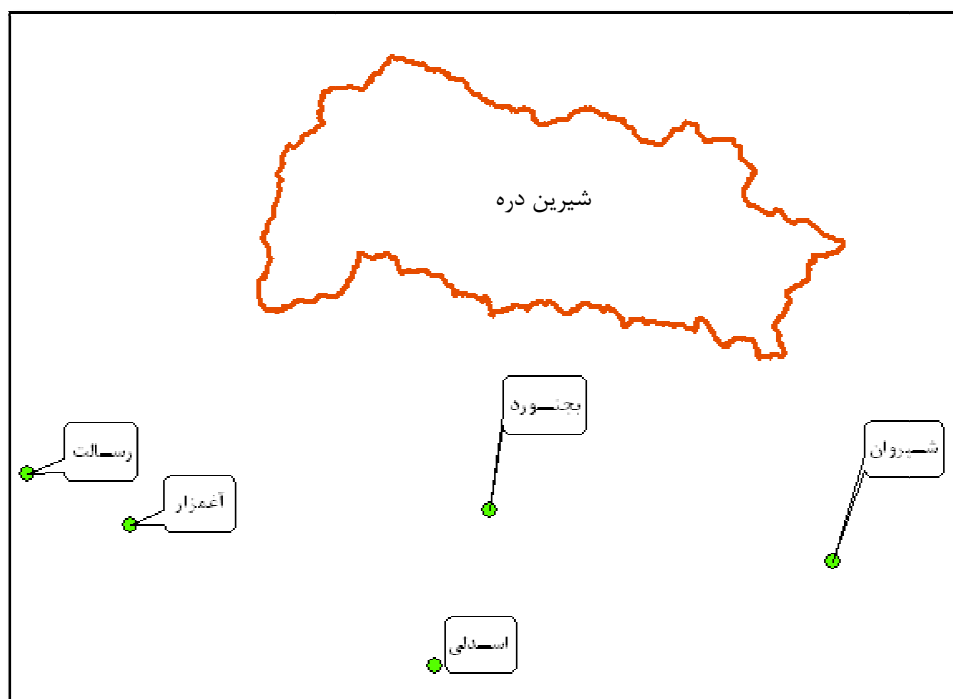
در گزارشات خروجی از مدل SWAT مشاهده شد که مدل از ایستگاه باران‌سنجی حصه‌گاه استفاده نکرده است و تنها برای یک زیرحوضه از ایستگاه نامانلو بهره برده است. مدل برای شبیه‌سازی، به فراخور نزدیکی به هر زیر حوضه، از سایر ایستگاه‌ها استفاده نموده است.

۷-۳-۱-۳- مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک

در حوضه مورد مطالعه ایستگاه سینوپتیک وجود نداشته است، لذا از آمار و اطلاعات ایستگاه‌های سینوپتیک مجاور حوضه استفاده نمودیم. نزدیکترین ایستگاه به حوضه ایستگاه بجنورد می‌باشد. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول (۵-۳) گزارش شده است. موقعیت این ایستگاه‌ها در قیاس با حوضه در شکل (۷-۳) مشخص می‌باشد.

جدول (۵-۳): مشخصات ایستگاه‌های سینوپتیک در حوضه شیرین‌دره و اطراف آن

شماره	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	دوره آماری
۱	بجنورد	۳۷/۴۷	۵۷/۳۲	۱۰۹۱	۱۹۹۸/۹/۲۳ - ۲۰۰۹/۹/۲۲
۲	آغمزار	۳۷/۴۶	۵۶/۹۲	۵۶۷	۱۹۹۸/۹/۲۳ - ۲۰۰۹/۹/۲۲
۳	اسدلی	۳۷/۲۹	۵۷/۳۶	۱۸۰۰	۱۹۹۸/۹/۲۳ - ۲۰۰۹/۹/۲۲
۳	شیروان	۳۷/۴۱	۵۷/۹۴	۱۱۳۴	۱۹۹۸/۹/۲۳ - ۲۰۰۹/۹/۲۲
۵	رسالت	۳۷/۵۲	۵۶/۷۷	۸۴۲	۱۹۹۸/۹/۲۳ - ۲۰۰۹/۹/۲۲



شکل (۷-۳): موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک در اطراف حوضه شیرین‌دره

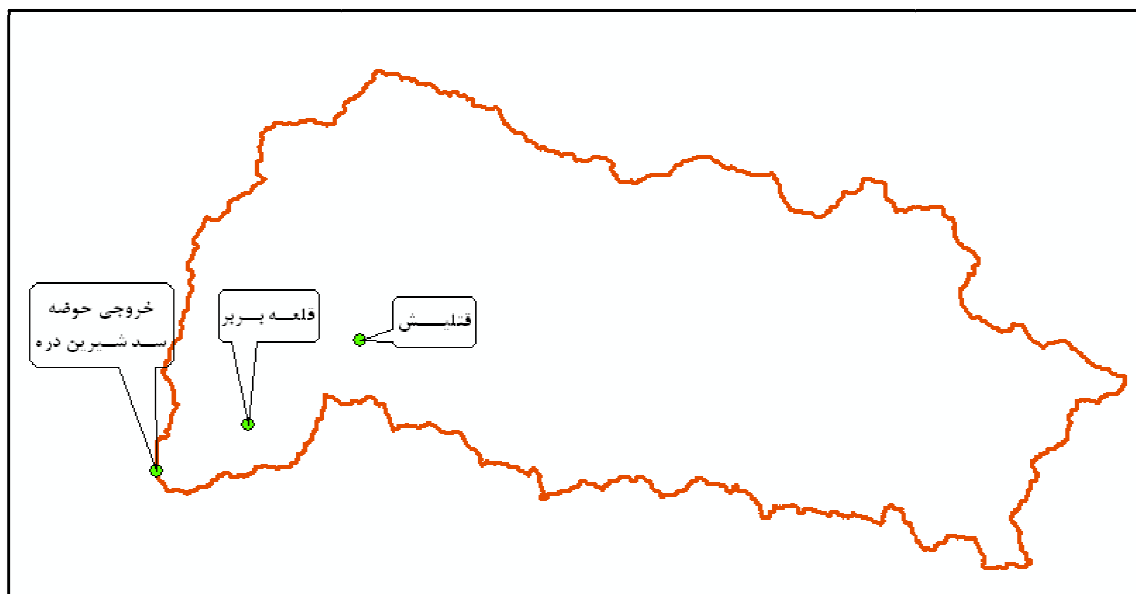
با بررسی جداول خروجی مدل، مشاهده شد که از میان ایستگاه‌های سینوپتیک وارد شده در بانک اطلاعاتی SWAT، مدل تنها از ایستگاه بجنورد برای شبیه‌سازی استفاده کرده است. علت این امر نزدیک‌تر بودن این ایستگاه به حوضه می‌باشد. اطلاعات این ایستگاه در پیوست ۴ آمده است.

۳-۱-۳-۸- مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری

برای دستیابی به نتایج قابل قبول و نسبتاً مورد اعتماد برای یک تجزیه و تحلیل درست از وضعیت حوضه، اولین قدم بررسی ایستگاه‌هایی است که آمار و اطلاعات از آن جمع‌آوری می‌شود. در حوضه مورد مطالعه دو ایستگاه هیدرومتری به نام‌های قتلیش و قلعه بربر وجود دارد. ایستگاه قتلیش حدوداً در میانه حوضه و ایستگاه قلعه بربر در نزدیکی خروجی حوضه قرار دارند. مشخصات این ایستگاه‌ها در جدول (۶-۳) گزارش شده است.

جدول (۳-۶): مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری در حوضه شیرین دره

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	دوره آماری	دبی متوسط (مترمکعب بر ثانیه)
قتلیش	۵۷/۱۷	۳۷/۴۹	۹۶۰	۱۹۹۸/۹/۲۳ - ۲۰۰۸/۹/۲۲	۰/۸
قلعه بربر	۵۷/۱۱	۳۷/۵	۷۷۰	۱۹۹۸/۹/۲۳ - ۲۰۰۹/۹/۲۲	۲/۱۵



شکل (۳-۸): موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه شیرین دره

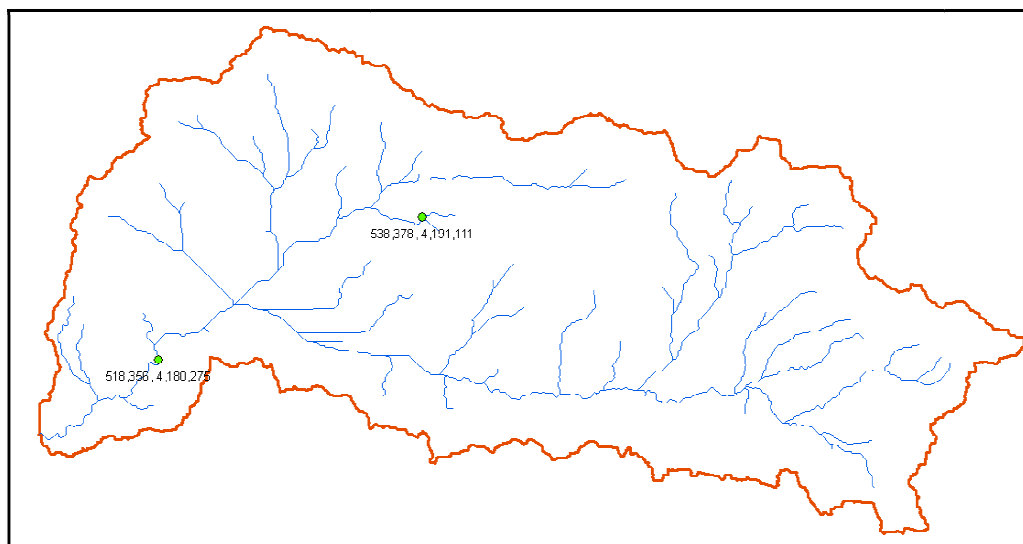
در خروجی حوضه شیرین دره، سد شیرین دره قرار دارد که فاقد ایستگاه هیدرومتری می‌باشد، به همین دلیل ایستگاه قلعه بربر به عنوان خروجی حوضه در نظر گرفته شد. این ایستگاه نزدیک‌ترین ایستگاه به خروجی حوضه می‌باشد. فاصله این ایستگاه تا سد حدود ۸ کیلومتر می‌باشد که می‌توان نتایج این ایستگاه را با نتایج خروجی حوضه، مشابه در نظر گرفت. همانطور که در بحث عدم قطعیت در فصل سوم بیان شد این مسئله از فرضیات مدل می‌باشد و قطعاً در نتایج شبیه‌سازی شده تأثیر داشته است. پس از اجرای مدل نتیجه شد که ایستگاه قتلیش ۶۶ زیرحوضه را زهکشی می‌کند و ۳۵ زیر حوضه دیگر توسط ایستگاه قلعه بربر زهکشی می‌شود.

۳-۱-۳- چشمه‌ها

درون حوضه چشمه‌سارهایی وجود داشته‌اند که دبی پایه رودخانه را تأمین می‌کردند. برای سهولت در کار دو چشمه‌سار مهم را به صورت دو چشمه جداگانه با دبی ثابت در نظر گرفته و به مدل معرفی کردیم. مشخصات این دو چشمه در جدول (۳-۷) آورده شده است. درون حوضه، قنات و چاه‌هایی نیز هستند که یقیناً سهمی در کاهش و یا افزایش رواناب در رودخانه دارند. ولی به دلیل نبود آمار دقیق از این نقاط، از وجودشان چشم‌پوشی شده است. این ساده‌سازی عدم قطعیت را افزایش داده است.

جدول (۳-۷): اطلاعات ورودی مربوط به چشمه‌های حوضه					
دبی (مترمکعب بر ثانیه)	نوع	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی (متریک)	عرض جغرافیایی (متریک)
۰/۲۶۳	D	۳۷/۸۷	۵۷/۴۴	۴۱۹۱۱۱۱	۵۳۸۳۷۸
۰/۴۵۳	D	۳۷/۷۷	۵۷/۲۱	۴۱۸۰۲۷۵	۵۱۸۳۵۶

D: یک نماد برای معرفی چشمه در مدل SWAT می‌باشد.

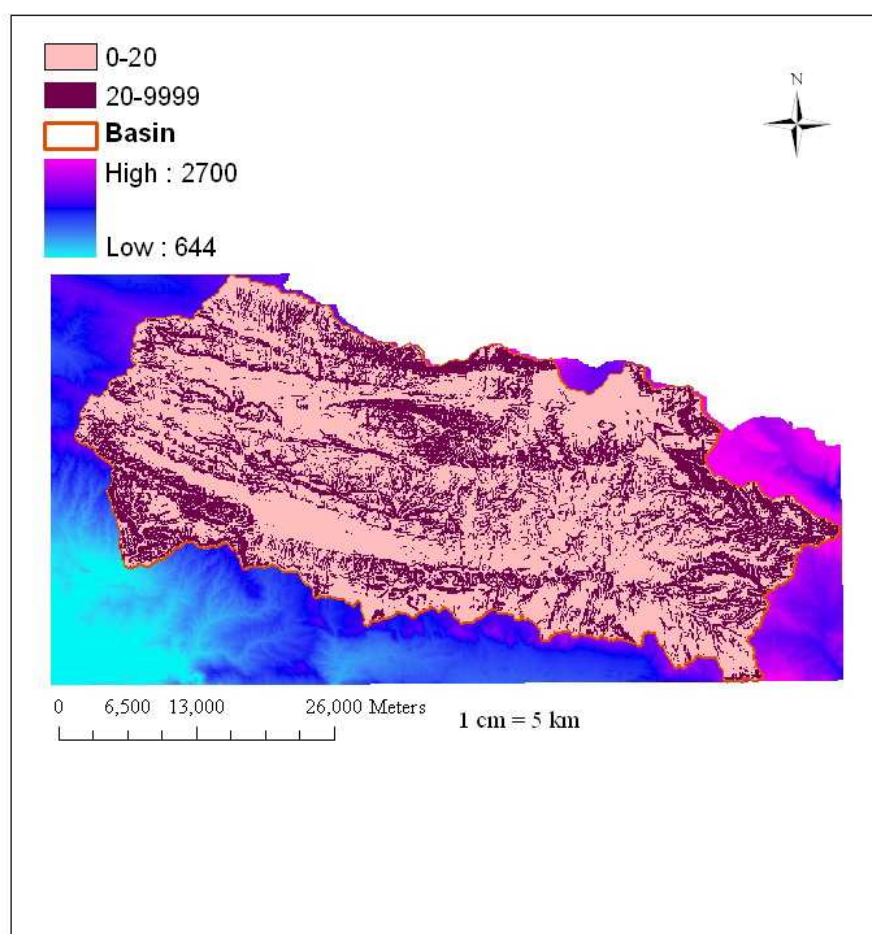


شکل (۳-۹): موقعیت چشمه‌ها در حوضه شیرین‌دره

برای اجرای مدل به اطلاعات گفته شده نیازمندیم. با در دست داشتن این اطلاعات و آماده‌سازی آن‌ها مدل آماده اجرا شدن می‌باشد. با وارد کردن DEM حوضه، شبکه آبراهه‌ها، منابع ورودی آب و

خروجی‌های حوضه^{۱۹}، مرز حوضه توسط مدل بسته شده و اطلاعات توپوگرافی حوضه مثل ارتفاعات و درصد مساحتی که آن ارتفاع در حوضه دارد را گزارش می‌کند.

به دلیل این که شیب متوسط حوضه ۲۰٪ است (مطالعات آبخیزداری، ۱۳۸۶)، این عدد به مدل داده شد تا از روی نقشه رقوم ارتفاعی، نقشه شیب توسط خود مدل رسم شود. نقشه شیب‌بندی حوضه در شکل (۳-۱۰) نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۰): نقشه شیب حوضه شیرین‌دره

با وارد کردن نقشه خاک‌شناسی و کاربری اراضی و نقشه شیب حوضه، مدل حوضه را به ۱۰۱ HRU تقسیم کرد، که در این تحقیق تعداد HRU با تعداد زیرحوضه‌ها برابر شد.

¹⁹ Outlet

۳-۲- مدل SWAT_CUP

۳-۲-۱- تحلیل عدم قطعیت در مدل

منظور از تحلیل عدم قطعیت در یک مدل، تعیین مشخصات آماری خروجی‌های آن مدل به عنوان تابعی از عدم قطعیت پارامترهای ورودی است. عدم قطعیت در مباحث علمی به معنای دامنه‌ای از تغییرات است که می‌توان برای یک پارامتر در نظر گرفت. از آنجا که فقط تعداد محدودی از داده‌ها اندازه‌گیری و از طرفی سیستم‌های فیزیکی معمولاً بوسیله معادلات پیوسته مدل‌سازی می‌شوند، لذا هیچ مسأله هیدرولوژیکی معکوسی وجود ندارد که به طور منفرد قابل حل باشد (زلکی بدیلی و همکاران، ۱۳۸۹).

عدم قطعیت ساختاری مدل می‌تواند ناشی از وضعیت‌های زیر باشد.

۱. عدم قطعیت‌های مدل در نتیجه ساده‌سازی در ساختار مدل. برای مثال، فرضیات در معادله

جهانی کاهش خاک برای تخمین اتلاف رسوب یا فرضیات در محاسبه سرعت جریان در یک

رودخانه یک نوع ساده‌سازی برای حل معادلات هستند.

۲. عدم قطعیت‌های مدل به دلیل پروسه‌هایی که در طبیعت رخ داده ولی در مدل در نظر گرفته

نمی‌شود، مثل فرسایش بادی، فرسایش ناشی از لغزش زمین.

۳. عدم قطعیت‌های مدل در نتیجه پروسه‌هایی که در مدل در نظر گرفته می‌شوند ولی رخداد

آن‌ها در حوضه برای مدل‌ساز ناشناخته است، مثل شکل‌های متنوع منابع، انتقال آب، آبیاری

و یا مدیریت تأثیرگذار روی کیفیت آب.

۴. عدم قطعیت مدل در نتیجه پروسه‌هایی که برای مدل ناشناخته‌اند و در مدل هم در

نظر گرفته نمی‌شود، مثل ساختمان‌های بزرگ مقیاسی همچون جاده‌ها، سدها، پل‌ها و تونل‌ها

که می‌توانند به طور چشمگیری روی آنالیز مدل تأثیرگذار باشد. (عباسپور، ۲۰۱۲)

۳-۲-۲- توابع هدف

یکی از مهم‌ترین مراحل واسنجی انتخاب تابع هدف مناسب است. تابع هدف مناسب، تابعی است که بتواند تا حد امکان هیدروگراف مشاهداتی و شبیه‌سازی را به هم نزدیک کند. ضریب R^2 نشان‌دهنده همخوانی بین مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی با استفاده از روش رگرسیونی است و مقدار آن بین صفر تا یک می‌باشد. نش-ساتکلیف (NS) اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی را نشان می‌دهد و مقدار این فاکتور بین یک تا منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند (حبیبی و اخوان، ۱۳۹۱). توابع هدف مختلف، نتایج واسنجی مختلفی تولید می‌کنند. توابع هدفی که در مدل SWAT_CUP و روش SUFI2 وجود دارند، در فایل observed.sf2 قابل مشاهده هستند. این توابع به صورت زیر می‌باشند.

1. Mult

$$g = \frac{\sum_i (Q_m - Q_s)_i^2}{n_Q} * \frac{\sum_i (S_m - S_s)_i^2}{n_s} * \quad (۳-۶)$$

2. Sum

$$g = w_1 \sum_{i=1}^{n_1} (Q_m - Q_s)_i^2 + w_2 \sum_{i=1}^{n_2} (S_m - S_s)_i^2 + \quad (۳-۷)$$

$$w_1 = \frac{1}{n_i \sigma_i^2}$$

W_1 ، واریانس متغیرهای اندازه‌گیری شده است.

3. R^2

(۳-۸)

$$R^2 = \frac{[\sum_i (Q_{m,i} - Q_m^-)(Q_{s,i} - Q_s^-)]^2}{\sum_i (Q_{m,i} - Q_m^-)^2 \sum_i (Q_{s,i} - Q_s^-)^2}$$

اگر بیش از یک متغیر داشته باشیم آنگاه تابع هدف از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$W_1 = \frac{1}{n_i \sigma_i^2} \quad (9-3)$$

4. Chi2

$$\chi^2 = \frac{\sum_i (Q_m - Q_s)_i^2}{\sigma_Q^2} \quad (10-3)$$

اگر بیش از یک متغیر داشته باشیم آنگاه تابع هدف از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$g = \sum_i w_i x_i^2 \quad (11-3)$$

5. NS

$$NS = 1 - \frac{(\sum_i (Q_m - Q_s)_i^2)}{\sum_i (Q_{m,i} - Q_m^-)^2} \quad (12-3)$$

اگر بیش از یک متغیر داشته باشیم آنگاه تابع هدف از فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$g = \sum_i w_i NS_i \quad (13-3)$$

6. bR²

$$g(B) = \begin{cases} |b|.R^2 & \text{for } b \leq 1 \\ |b|^{-1}.R^2 & \text{for } b > 1 \end{cases} \quad (14-3)$$

7. SSQR

$$g(B) = \sum_{j=1,n} [Q_{j,measured} - Q_{j,simulated}]^2 \quad (15-3)$$

در روابط بالا، Q_m مقادیر اندازه‌گیری شده رواناب، $\bar{Q}_m$ متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده رواناب، Q_s مقادیر شبیه‌سازی شده رواناب، $\bar{Q}_s$ متوسط مقادیر شبیه‌سازی شده رواناب و n تعداد مشاهدات است. i شماره تکرار، σ_i^2 واریانس i امین متغیرهای اندازه‌گیری شده و b شیب خط رگرسیونی می‌باشد. برای مطالعه بیشتر به راهنمای SWAT_CUP مراجعه شود.

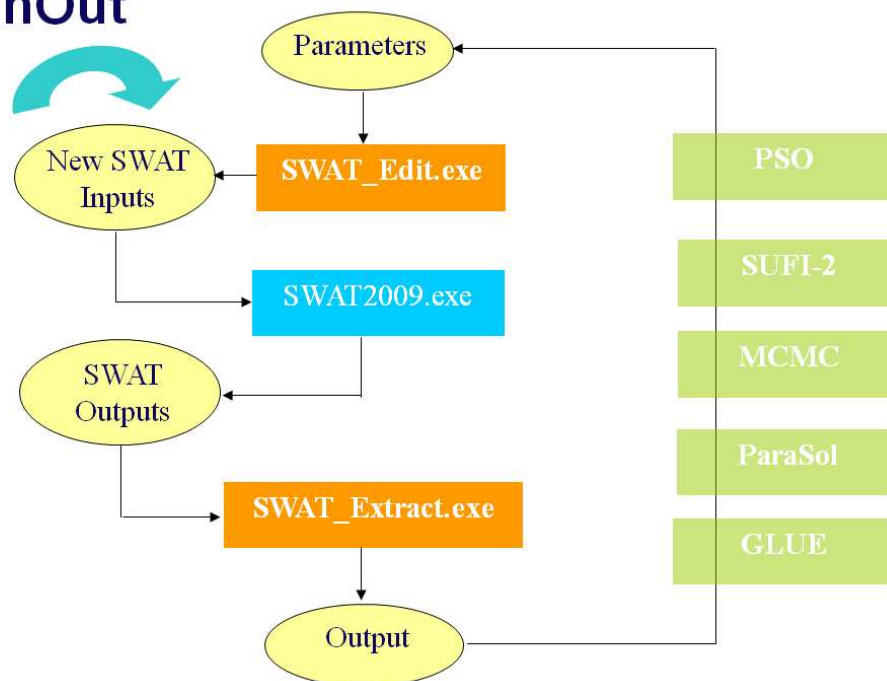
۳-۲-۳- مفهوم مدل SWAT-CUP

با توجه به فیزیکی بودن مدل SWAT، پارامترهای زیادی برای انطباق آن با شرایط منطقه لازم است. مدل SWAT نیازمند داده‌های گوناگون جهت اجرا می‌باشد که هر یک به علت عدم قطعیت‌های دخیل در آن‌ها نیازمند واسنجی هستند. از طرفی در مرحله واسنجی باید امکان اصلاح فرضیات مدل را با توجه به خصوصیات حوضه فراهم کرد (زللکی و همکاران، ۱۳۸۹). به منظور اطمینان از اینکه مدل ایجاد شده با اتفاقاتی که در واقعیت می‌افتد رفتار یکسانی دارد و در واقع نمونه معتبری از واقعیت است، لازم است آزمون‌های مختلفی بر روی مدل انجام شود. پس از اطمینان از صحت مدل می‌توان به نتایج حاصل از مدل برای سناریوها و پیش‌بینی‌های انجام شده توسط مدل اعتماد کرد (شکرالهی و تجریشی، ۱۳۸۷). برای این منظور از مدل SWAT-CUP استفاده می‌شود.

۳-۲-۴- ساختار کلی SWAT_CUP

در شکل (۱۱-۳) مراحل کار مدل SWAT_CUP را نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که با ورود فایل TxtInOut حاصل از مدل SWAT، در مدل SWAT_CUP، پروژه اولیه مدل ساخته می‌شود.

TxtInOut



شکل (۱۱-۳): ساختار کلی SWAT_CUP (عباسپور و اخوان، ۲۰۱۲)

۳-۲-۵- مفهوم SUFI-2

مدل SWAT_CUP به منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT از پنج روش SUFI2،

GLUE، MCMC، PSO و ParaSol استفاده می‌کند.

الگوریتم بهینه سازی در روش SUFI به صورتی است که در گام نخست یک تابع هدف تعریف می‌شود. در این روش می‌توان برای انجام واسنجی تابع هدف را یک متغیره (دبی جریان)، یا چندمتغیره (دبی جریان و رسوب و مواد مغذی) معرفی کرد. گام بعد اختصاص محدوده‌های مجاز برای هر پارامتر می‌باشد. در تعیین حدود اولیه بهتر است که حدود تا حد امکان بزرگ و در عین حال معنی دار باشند. سپس با در نظر گرفتن حدود اولیه، نمونه برداری به روش لاتین‌هاپرکیوب به تعداد نسبتاً زیاد انجام می‌گیرد و در هر بار نمونه‌گیری از حدود پارامترها، مقادیر انتخاب شده به مدل معرفی و اجرا می‌شود و مقدار تابع هدف محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد معیارهای سنجش عدم قطعیت p-factor و r-factor محاسبه می‌شوند. حال آنکه d_x توسط پارامتری به نام r-factor تعیین می‌شود و برابر است با:

$$\overline{d}_X = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (X_U - X_L)_j \quad (۱۶-۳)$$

که K تعداد داده‌های مشاهداتی است. در شرایط ایده‌آل مقدار d_x کوچک و در حد صفر می‌باشد اما به دلیل وجود خطا در اندازه‌گیری و وجود عدم قطعیت‌های زیاد در مدل، چنین مقادیری برای آن بدست نخواهد آمد. مقدار معقول برای d_x توسط پارامتری به نام r-factor تعیین می‌شود که برابر است با:

$$r - factor = \frac{\overline{d}_X}{\sigma_X} \quad (۱۷-۳)$$

که در این رابطه σ_X انحراف معیار مربوط به مقدار اندازه‌گیری شده X می‌باشد. مقادیر کوچک‌تر از مقدار یک برای r-factor مطلوب هستند (جیرانی و همکاران، ۱۳۹۰).

زمانی که عدم قطعیت یک پارامتر افزایش یابد، تحلیل عدم قطعیت آن و محدوده 95PPU نیز افزایش خواهد یافت. در SUFI-2 مدل ابتدا با پیش فرض یک محدوده بازه بزرگ برای پارامترها و محدوده عدم قطعیت زیاد برای پارامترها شروع به کار می‌کند و در گام‌های بعدی با اصلاح محدوده پارامترهای ورودی و کوچک‌تر کردن این محدوده به سمت کوچک نمودن محدوده 95PPU و جواب واحد پیش می‌روند (عثمانی و همکاران (۱۳۸۹)). در SUFI-2 عدم قطعیت در گام‌های متوالی کاهش می‌یابد تا دو شرط زیر برقرار شود:

۱- اکثر داده‌های مشاهده‌ای در سطح 95PPU واقع شوند. (P-factor)

۲- فاصله متوسط بین حد بالا و حد پایین ۹۵ درصد تقسیم بر انحراف معیار داده‌های

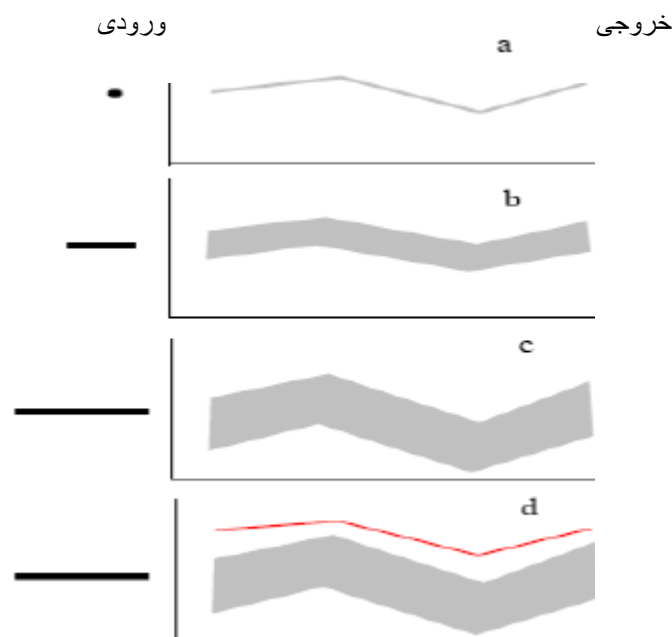
اندازه‌گیری شده تا حد ممکن کوچک شود. (r-factor)

بهترین نتایج در شرایطی رخ خواهد داد که فاکتور P برابر با ۱۰۰ درصد و فاکتور r صفر شود.

مفهوم عدم قطعیت الگوریتم SUFI-2 در شکل (۱۲-۳) ارائه شده است. این شکل نشان می‌دهد که

پارامتر با مقدار واحد باعث ایجاد یک نتیجه واحد برای مدل می‌شود (حالت a). در صورتی که انتشار عدم قطعیت در پارامتر باعث ایجاد ناحیه‌ای از جواب می‌شود (حالت b). هنگامی که عدم قطعیت پارامترهای ورودی افزایش می‌یابد، عدم قطعیت خروجی نیز افزایش می‌یابد (رستمیان و همکاران، ۱۳۸۷). چنانچه حالت d در شکل (۳-۱۲) رخ دهد، مشکل در واسنجی پارامترها نبوده و باید مدل مفهومی مورد ارزیابی مجدد قرار گیرد.

در این نرم افزار کلیه مراحل سعی و خطا توسط مدل صورت گرفته و تنها کاربر می‌بایست محدوده منطقی پارامترهای موثر بر واسنجی را در قسمت مربوطه به مدل معرفی نماید. انتخاب این پارامترها توسط حساسیت‌سنجی اولیه، دقت در روابط حاکم بر شبیه‌سازی رواناب و هم‌چنین بررسی مطالعات مشابه صورت گیرد (نظری و همکاران، ۱۳۹۰).



شکل (۳-۱۲): مفهوم عدم قطعیت در SUFI-2 (نظری و همکاران (۱۳۹۰))

در SUFI2 هدف در برگرفتن بیشترین مقادیر مشاهده‌شده با کمترین ضخامت باند می‌باشد (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲).

۳-۲-۶- پارامترهای موجود در SWAT-CUP

در این مدل پارامترهایی زیادی وجود دارد که می‌توان آن‌ها را در خود برنامه نیز مشاهده کرد. تعدادی از مهمترین پارامترهای مورد نیاز برای مدل‌سازی در جدول (۳-۸) گزارش شده است. انتخاب این پارامترها بر اساس آنالیز حساسیت صورت می‌گیرد.

جدول (۳-۸): پارامترهای موجود در مدل SWAT_CUP

شرح پارامتر	پارامتر	بیشترین	کمترین
شماره منحنی در روش SCS	CN2	۰/۵	-۰/۵
زمان تاخیر جریان زیر زمینی بر حسب روز	GW-DELAY	۵۰۰	۰
ضریب آلفا آب زیرزمینی بر حسب روز	ALFA-BF	۱	۰
ضریب تبخیر آب زیرزمینی	GW-REVAP	۰/۲	۰
حداقل مقدار ذخیره آب در سفره که برای شروع تبخیر آب زیرزمینی از طریق مویینگی لازم است (میلیمتر آب)	REVAPMN	۱	۰
درصد تغذیه سفره عمیق از سفره کم‌عمق یا غیر محصور	RCHRG_DP	۱	۰
حداقل مقدار ذخیره آب در سفره که برای رخ دادن جریان پایه لازم است (میلیمتر آب)	GWQMN	۵۰۰۰	۱۰۰
ظرفیت آب قابل دسترس بر حسب میلیمتر آب در میلیمتر خاک	SOL_AWC()	۰/۵	-۰/۵
هدایت هیدرولیکی خاک (میلیمتر در ساعت)	SOL_K()	۰/۵	-۰/۵
چگالی حجمی خاک (گرم در سانتیمتر)	SOL_BD()	۰/۵	-۰/۵
ضریب رطوبت خاک	SOL_ALB()	۰/۲۵	۰
ضریب جذب آب توسط گیاه	EPCO	۱	۰/۰۱
ضریب تبخیر خاک	ESCO	۱	۰/۰۱
طول شیب متوسط در هر HRU (متر)	SLSUBBSN	۱۵۰	۱۰
ضریب مانینگ برای جریان سطحی	OV_N	۳۰	۰/۰۱
ضریب مانینگ آبراهه اصلی	CH-N2	۰/۵	-۰/۵
هدایت هیدرولیکی بستر آبراهه اصلی (میلیمتر در ساعت)	CH-K2	۵۰۰	۰/۰۱
ضریب آلفا جریان پایه برای ذخیره	ALPHA_BNK	۱	۰
متوسط دمای هوا برای تبدیل باران به برف (درجه سانتی گراد)	SFTMP	۵	-۵
دمای ذوب توده برف (درجه سانتی گراد)	SMTMP	۵	-۵
ضریب ذوب برف در اول تیر	SMFMX	۱۰	۰
حداقل نرخ ذوب برف در طول سال (میلیمتر آب در درجه سانتی گراد)	SMFMN	۱۰	۰
عامل تاخیر دمای برف	TIMP	۱	۰/۰۱
فاکتور تاخیر رواناب سطحی (روز)	SURLAG	۲۴	۱

۳-۲-۷- آنالیز حساسیت در SUFI_2

آنالیز حساسیت در SUFI_2 بر اساس دو فاکتور P_value و t_test بررسی می‌شود. t بیانگر حساسیت (هرچه مقدار آن بزرگتر، میزان حساسیت بیشتر) و P مقدار معنی‌داری (هرچه کوچک‌تر، میزان معنی‌داری بیشتر) را نشان می‌دهد. (علیزاده و همکاران، ۱۳۹۲)

۳-۳- حوضه مورد مطالعه

۳-۳-۱- موقعیت جغرافیایی حوضه

حوضه آبریز شیرین‌دره در استان خراسان شمالی واقع گردیده است. محدوده مطالعاتی شیرین‌دره در موقعیت جغرافیایی $38^{\circ} 0' 0''$ تا $37^{\circ} 38' 53''$ طول شرقی و $57^{\circ} 14' 57''$ تا $57^{\circ} 22' 6''$ عرض شمالی واقع شده است. مساحت این حوضه در مجموع برابر $161213/59$ هکتار است. این حوضه به سد شیرین‌دره با ارتفاع ۶۳ متر با حجم مخزن ۹۱ میلیون مترمکعب منتهی می‌گردد. از نظر توپوگرافی منطقه کوهستانی بوده و ارتفاع از غرب به شرق حوضه افزایش پیدا می‌کند. ارتفاع بلندترین نقطه حوضه آبریز ۲۶۸۷ متر از سطح دریا و در شرق حوضه قرار دارد. متوسط ارتفاع حوضه ۱۴۸۰ متر و متوسط شیب آن برابر ۲۱ درصد گزارش شده است. رودخانه شیرین‌دره از نوع دائمی است. رودخانه اصلی شیرین‌دره از اتصال دو رودخانه بزرگ ایوب و قرق شکل گرفته است که تا محل اتصال به رودخانه اترک وسعتی در حدود ۱۷۵ هزار هکتار دارد. از رودخانه‌های فرعی می‌توان به رودخانه‌های پسین‌دره، پیربزو، میان‌زو، رزقانه، جودر، گیفان بالا، ایزمان، سنجد، برشلان، تفتار و سولدی اشاره نمود. آبریز سد شیرین‌دره به شکل مستطیلی به طول ۷۵ کیلومتر و عرض ۳۷ کیلومتر در فاصله حدود ۶۰ کیلومتری شمال شهرستان بجنورد و در مجاورت مرز ایران با ترکمنستان قرار گرفته است. محیط حوضه برابر $246/753$ کیلومتر می‌باشد.

مجموع اراضی با شیب صفر تا ۱۲ درصد که برای کشاورزی مناسب است در منطقه مورد مطالعه ۴۰۶۳۷/۲۴ هکتار از کل اراضی را شامل می‌شود. از نظر تقسیمات سیاسی حدود ۵۰ درصد حوضه جز شهرستان بجنورد ۴۰ درصد جزء شهرستان شیروان و ۱۰ درصد نیز جزء شهرستان مانه و سملقان می‌باشد. (مطالعات توجیهی آبخیزداری و منابع طبیعی تجدید شونده حوضه آبخیز شیرین دره ۱۳۸۶)

۳-۳-۲- امکانات و پتانسیل‌های حوضه

شیب در ۴۰۶۳۷/۲۴ هکتار از حوضه کمتر از ۱۲ درصد می‌باشد و مناسب برای کشاورزی می‌باشد. سرشاخه‌های اصلی زیرحوضه‌های جنوبی و شمالی حوضه مورد مطالعه به دلیل وجود سنگ‌های آهکی تیرگان، از نظر تأمین مصالح قرضه‌ی سنگی جهت احداث سازه‌های مکانیکی مناسب می‌باشد.

۱. وجود ۸۴ حلقه چاه، ۲۲۰ دهنه چشمه و ۲۶ رشته قنات
۲. میزان تخلیه سالیانه از منابع آب حوضه ۲۳۴۲۵۶۲۴ متر مکعب در سال است. که ۸۹/۳ درصد از منابع آب حوضه توسط چشمه‌ها تخلیه گردیده و چاه‌ها و قنات به ترتیب ۹/۴ و ۶/۷ درصد از منابع آب حوضه را تخلیه می‌نمایند.
۳. وجود ۹۶/۹۹۷ هکتار مناطق نفوذپذیر در حوضه.
۴. وجود آثار و بقایای گونه‌های مرتعی مطلوب که از آن می‌توان در جهت اصلاح مراتع استفاده کرد.

۵. امکان بذر کاری - کپه کاری - بوته کاری در قسمت‌هایی از مراتع

۶. امکان توسعه منابع آب شرب دام در مراتع

۷. امکان ایجاد استخرهای تغذیه

۳-۳-۳- مشکلات و کمبودهای حوضه

۱. فرسایش شدید و ایجاد بدلند در بعضی از زیر حوضه‌ها

۲. شیب متوسط زیاد (بیش از ۳۰ درصد) در بسیاری از مناطق حوضه بویژه در شرق و مناطق

میانی حوضه باعث می گردد زمین های مستعد برای فعالیت های کشاورزی و منابع طبیعی

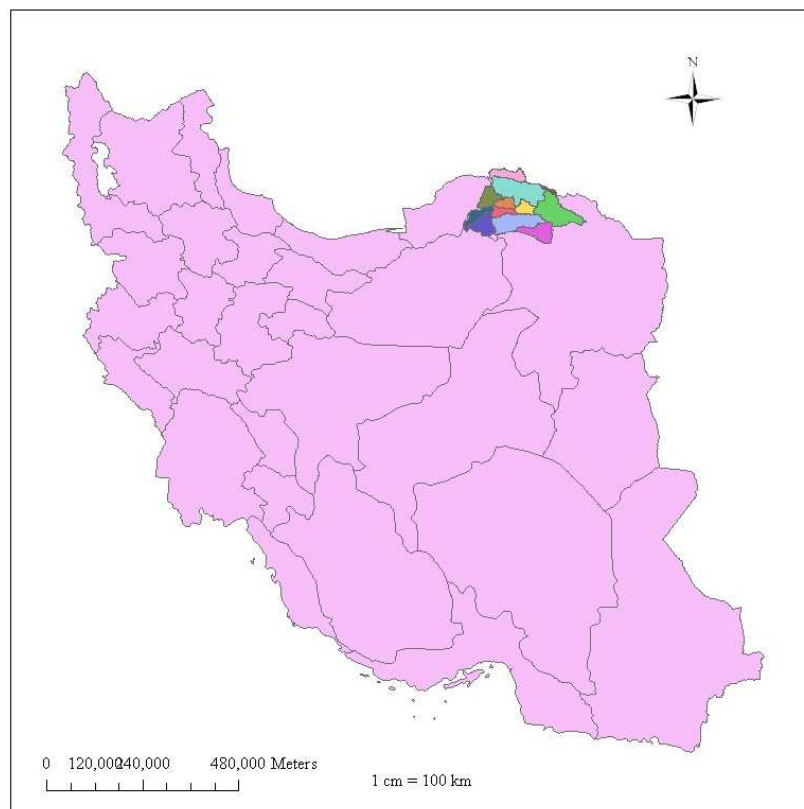
محدود گردد.

۳-۳-۴- موقعیت حوضه در کشور

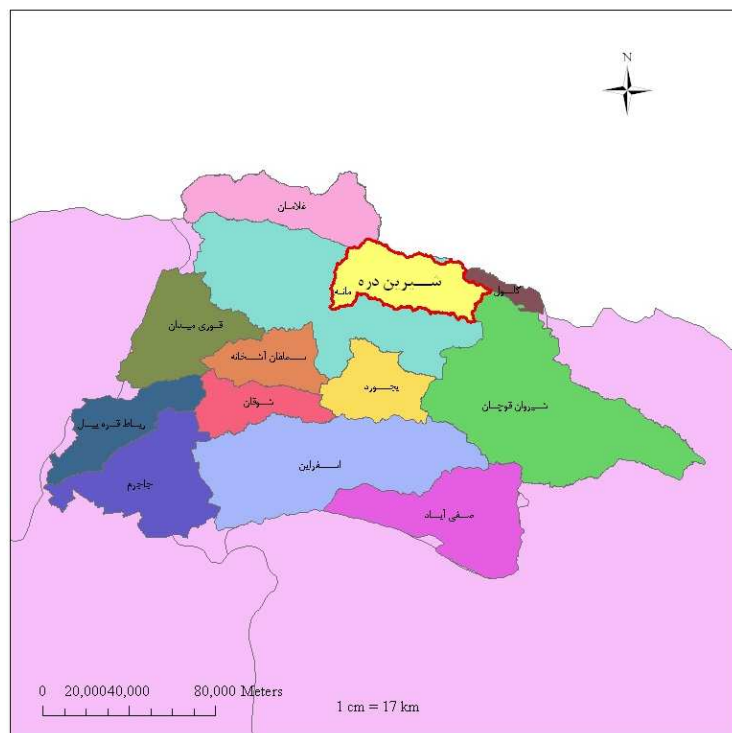
در شکل ۳-۱۴ موقعیت حوضه شیرین دره را در استان خراسان شمالی و شکل ۳-۱۳ موقعیت

استان را در کشور نشان می دهد. موقعیت قرارگیری حوضه بیانگر اهمیت حوضه در استان و کشور

می باشد.

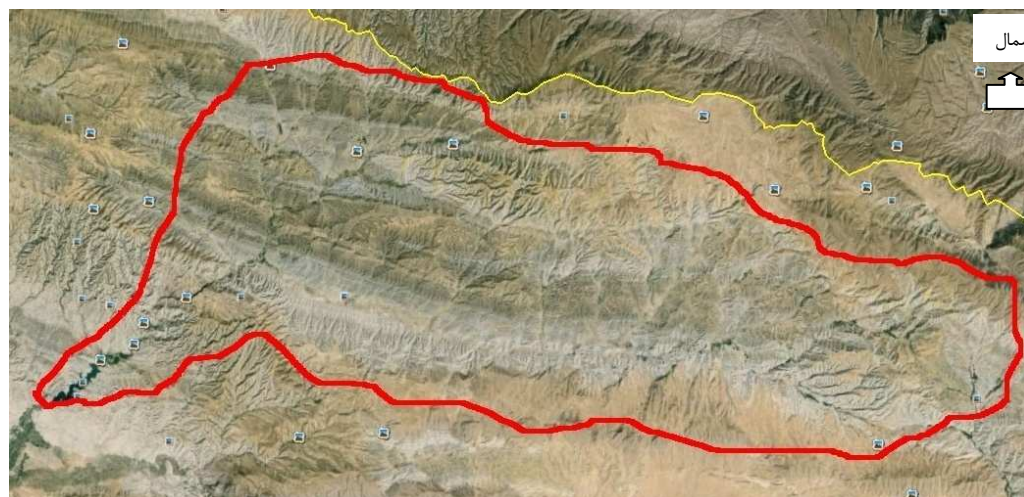


شکل (۳-۱۳): موقعیت استان در کشور (اداره منابع طبیعی خراسان شمالی، ۱۳۸۶)



شکل (۳-۱۴): موقعیت حوزه شیرین دره در استان (اداره منابع طبیعی خراسان شمالی، ۱۳۸۶)

شکل (۳-۱۵) تصویر ماهواره‌ای حوزه را نشان می‌دهد. در این تصویر، تا حدودی شبکه آبراهه‌های حوزه مشخص است.



شکل (۳-۱۵): عکس هوایی از حوزه شیرین دره (Google Earth، ۱۳۹۲)

۳-۳-۵- هواشناسی

۳-۳-۵-۱- گردش عمومی جو و خصوصیات اقلیمی منطقه

عمده سیستم‌هایی که منطقه مطالعاتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، نظیر اکثر مناطق کشور، منشأ غربی دارد. به طور کلی توده هوایی که منطقه مطالعاتی را تحت تأثیر قرار می‌دهد به تفکیک فصول به صورت زیر خلاصه شده است.

در تابستان‌ها: بری تروپیکال از منشأ فلات مرکزی ایران و بحری تروپیکال از اطلس و مدیترانه، بحری قطبی از طریق دریای سیاه و مازندران و بری قطبی از شمال غرب در زمستان‌ها: بری قطبی از مبدأ سبیری، بحری قطبی از شمال غرب و غرب، مدیترانه‌ای از محور غربی و بندرت بری تروپیکال از جنوب غربی (صحرا و عربستان) بدیهی است توده‌های هوایی که از قطاع غربی و شمال غربی به منطقه مطالعاتی می‌رسد، اکثر بارندگی‌های منطقه مطالعاتی را شامل می‌شود.

۳-۳-۵-۲- بارندگی ماهانه و سالانه

طبق یک قاعده کلی، در یک رژیم معین هر چه ارتفاع ایستگاه بیشتر باشد، مقدار بارندگی بیشتر است. این افزایش بارندگی با ارتفاع تا رسیدن به حدی به نام بیشترین بارندگی که از آن به بعد مقدار باران کاهش می‌یابد، پذیرفته می‌شود. این ارتفاع برای فلات ایران که نسبتاً مرتفع است در حد ۳۵۰۰ متر می‌باشد.

در حوضه مورد مطالعه علاوه بر ارتفاع ایستگاه، فاصله محل بارش از هسته‌های پربارش کوهستانی و جهت شیب ارتفاعات نسبت به جبهه‌های مرطوب از عوامل مؤثر در میزان بارندگی می‌باشد.

۳-۳-۶- زمین شناسی

محدوده حوضه آبریز شیرین دره بخشی از پهنه زمین شناختی کپه‌داغ به شمار می‌آید. این

گستره در جنوب غرب کپه‌داغ و با فاصله‌ای اندک در شمال بلندی‌های البرز جای گرفته است.

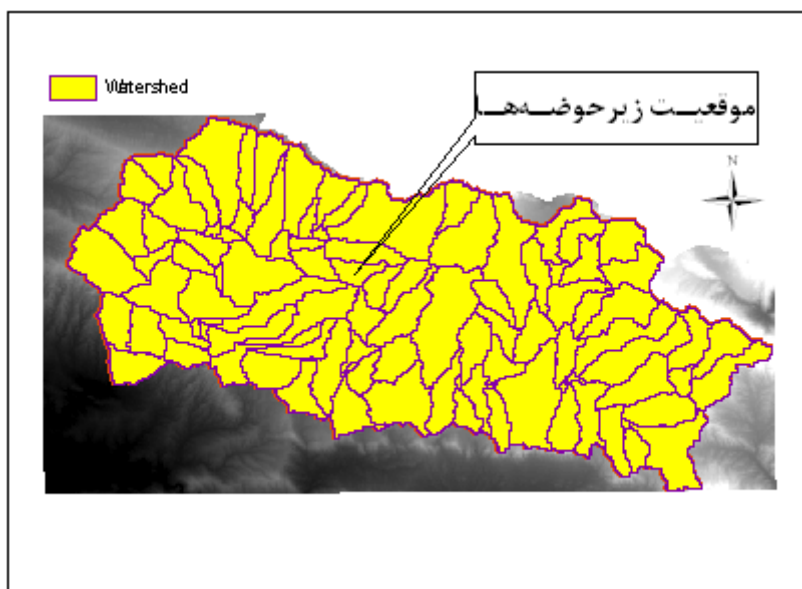
فصل چہارم

بحث و نتائج

۴_ نتایج و بحث

۴-۱- نتایج حاصل از مدل SWAT

برای مدل مشخص شد که شبیه‌سازی‌ها به صورت ماهانه انجام شود و از اطلاعات سه سال اول (۱۳۷۷-۱۳۷۹)، برای گرم شدن استفاده کند. با اجرای SWAT نتایج به صورت یک فایل اکسس با فرمت mdb ذخیره می‌شود. نتایج برای زیرحوضه‌ها، HRUها، رودخانه‌ها، رسوب و مخازن به صورت جداگانه ساخته می‌شود. این اطلاعات برای هر زیرحوضه یا HRU به صورت جداگانه ذخیره می‌شود. SWAT حوضه شیرین‌دره را به ۱۰۱ HRU و زیرحوضه، براساس نقشه‌های خاک و کاربری اراضی و شیب حوضه، تقسیم کرد. در این تحقیق هر زیرحوضه معادل یک HRU در نظر گرفته شده است. که ۶۱ زیرحوضه توسط خروجی قتلش و بقیه توسط خروجی قلعه‌بربر زهکشی می‌شوند. شکل (۴-۱) موقعیت زیرحوضه‌ها و جداول (۴-۱) و (۴-۲) نتایج شبیه‌سازی حوضه با استفاده از مدل SWAT را در ایستگاه قتلش نشان می‌دهد.



شکل (۴-۱) موقعیت زیرحوضه‌ها در حوضه شیرین‌دره

جدول (۴-۱) نتایج شبیه‌سازی حوضه با استفاده از مدل SWAT در ایستگاه قتلیش

شرح	واحد	مقدار	پارامتر
سال	یک سال	۲۰۰۸	YEAR
مساحت	کیلومتر مربع	۹۲۷/۹	AREA
میانگین روزانه جریان خروجی در سال	سانتی متر در ثانیه	۲/۵۷۸	FLOW_OUT
میانگین روزانه تبخیر و تعرق در سال	سانتی متر در ثانیه	۰/۰۰۴۲۷۸	EVAP
میانگین روزانه اتلاف جریان در مسیر آبراهه	سانتی متر در ثانیه	۰	TLOSS
رسوب انتقال یافته در سال	تن	۶۷۸۰۰۰	SED_OUT
نیتروژن آلی خروجی از حوضه در سال	کیلوگرم	۲۸۶۷۰۰	ORGN_OUT
فسفر آلی خروجی از حوضه در سال	کیلوگرم	۴۴۶۸۰	ORGP_OUT
نیترات خروجی از حوضه در سال	کیلوگرم	۹۹۹۳۰۰	NO3_OUT
آلومینیوم خروجی از حوضه در سال	کیلوگرم	۹۷۶۸	NH4_OUT
نیتريت خروجی از حوضه در سال	کیلوگرم	۸۲/۱۷	NO2_OUT
فسفر معدنی خروجی از حوضه در سال	کیلوگرم	۲۴۴۹	MINP_OUT
میزان کلروفیل انتقال یافته در سال	کیلوگرم	۱۴۴۹	CHLA_OUT
نیاز زیستی به اکسیژن کربن‌دار خروجی از حوضه در سال	کیلوگرم	۱۸۰۵۰۰۰۰	CBOD_OUT
میزان اکسیژن حل نشده خروجی از حوضه در سال	کیلوگرم	۴۹۲۰۰۰	DISOX_OUT
میزان ماده حشره‌کش خروجی از حوضه در سال	میلی گرم	۰	SOLPST_OUT

جدول (۴-۲): اجزای بیلان آبی حاصل شبیه‌سازی حوضه شیرین‌دره در ایستگاه قتلیش با استفاده از مدل

SWAT

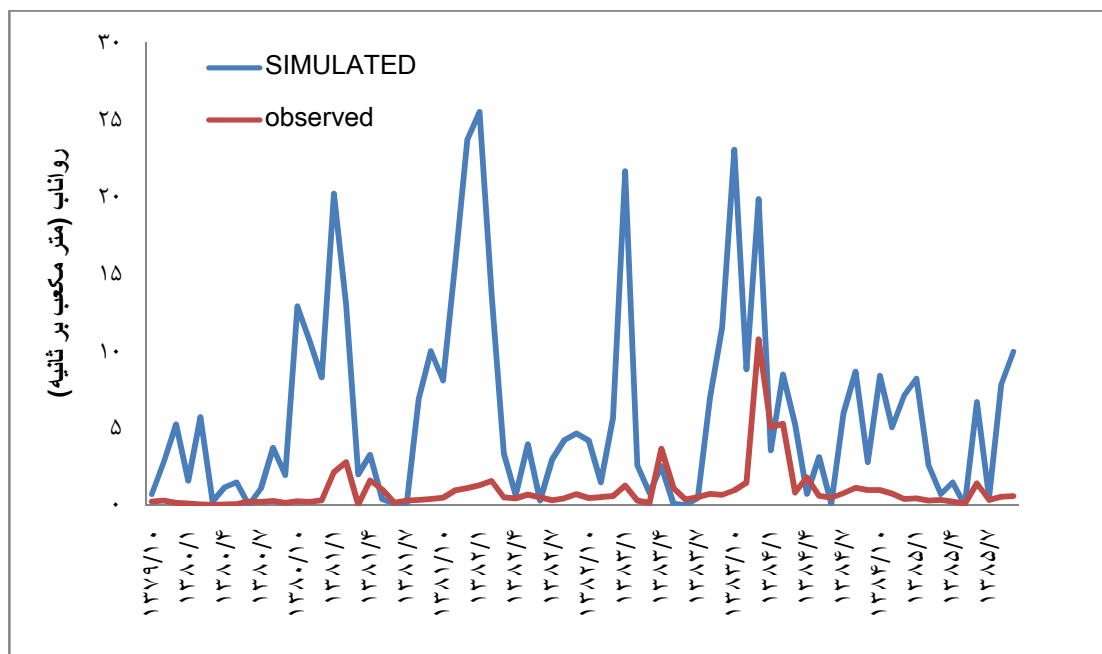
شرح	واحد	مقدار	پارامتر
تبخیر و تعرق واقعی در سال	میلیمتر	۱۱۲/۹۱۲	ET
میزان آب زیرزمینی که از آبخوان کم‌عمق به کانال اصلی می‌پیوندد	میلیمتر	۵/۲۱۴	GW_Q
میزان جریان جانبی که به کانال اصلی می‌پیوندد	میلیمتر	۴۰/۹۶۴	LATQ
پتانسیل تبخیر و تعرق در سال	میلیمتر	۱۵۱۴/۵۱۴	PET
بارندگی در سال	میلیمتر	۱۵۳	PRECIP

تمامی نتایج مدل SWAT در پوشه‌ای به نام TxtInOut ذخیره می‌شود. این پوشه ای است که برای مدل SWAT_CUP قابل شناسایی است.

نتایج شبیه‌سازی مدل قبل از واسنجی در جدول (۳-۴) آمده است. همانطور که داده‌های جدول نشان می‌دهد تفاوت زیادی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و داده‌های اندازه‌گیری مشاهده می‌شود. لذا این موضوع بیانگر این است که نتایج مدل SWAT قبل از واسنجی قابل اطمینان نبوده و واسنجی امری ضروری می‌باشد. این نکته در شکل (۲-۴) واضح می‌باشد.

جدول (۳-۴) پارامتر بررسی دقت شبیه‌سازی مدل در ایستگاه قتلیش قبل از واسنجی

دوره آماری	شرح	انحراف معیار
۱۳۷۹-۱۳۸۵	رواناب اندازه‌گیری شده	۱/۵۲۶۷۳۳
	رواناب شبیه‌سازی شده	۶/۳۰۷۷۹۴



شکل (۲-۴): مقایسه رواناب اندازه‌گیری شده و رواناب شبیه‌سازی شده توسط مدل SWAT در ایستگاه قتلیش قبل از واسنجی (۱۳۷۹-۱۳۸۵)

۴-۲- نتایج حاصل از مدل SWAT-CUP

۴-۲-۱- بررسی نتایج شبیه‌سازی رواناب در ایستگاه قتلیش

منظور از عدم قطعیت یک مدل، تعیین مشخصات آماری خروجی‌های آن مدل به عنوان تابعی از عدم قطعیت پارامترهای ورودی است. از آنجا که همه فرآیندهای تصحیح توزیع دما و بارش تنها در داده‌های اندازه‌گیری شده (شامل عدم قطعیت‌ها) ظاهر می‌شود لذا داده‌های غیرقابل اندازه‌گیری خطای مدل محسوب و عدم قطعیت در پیشگویی مدل وجود دارد (زلکی بدیلی و همکاران، ۱۳۹۱).

جهت انجام واسنجی مدل پارامترهای موثر در میزان رواناب حوضه آبریز بر اساس حساسیت مدل نسبت به آنها انتخاب شدند. چندین تکرار انجام شد تا دامنه این پارامترها تعدیل گردد و یک دامنه مناسب، تا حد ممکن کوچک و نزدیک به واقعیت برای هر پارامتر بدست آید. از مزایای مهم در SWAT_CUP این است که می‌توان پارامترها را برای کاربری اراضی، نوع خاک، شیب، و زیرحوضه‌های مشخص تقسیم‌بندی نمود.

برای مثال مقدار ضریب ضرب شده در مقدار CN2 برای HRUهای شماره ۲۴ تا ۸۷ با بافت خاک شنی_لومی و کاربری اراضی جنگلی ۱/۸۷۹۱۰۲- است.

برای واسنجی از توابع هدف نش ساتکلیف (NS) و ضریب تبیین R^2 استفاده شد. طبق گزارش زو و همکاران در سال ۲۰۰۹ عموماً اگر شاخص ناش_ساتکلیف بیشتر از ۰/۷۵ باشد مدل عالی و کامل، و اگر بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ باشد، رضایت بخش و اگر کمتر از ۰/۳۶ باشد غیر قابل قبول فرض می‌شود (جباری و همکاران، ۱۳۹۱). همچنین طبق گزارش موریاسی اگر ضریب ناش ساتکلیف بیشتر از ۰/۶۵ باشد نتایج واسنجی و اعتبارسنجی خیلی خوب، اگر بین ۰/۵ تا ۰/۶۵ نتایج مناسب و اگر بیشتر از ۰/۵ باشد نتایج واسنجی و اعتبارسنجی رضایت‌بخش است. (موریاسی، ۲۰۰۷)

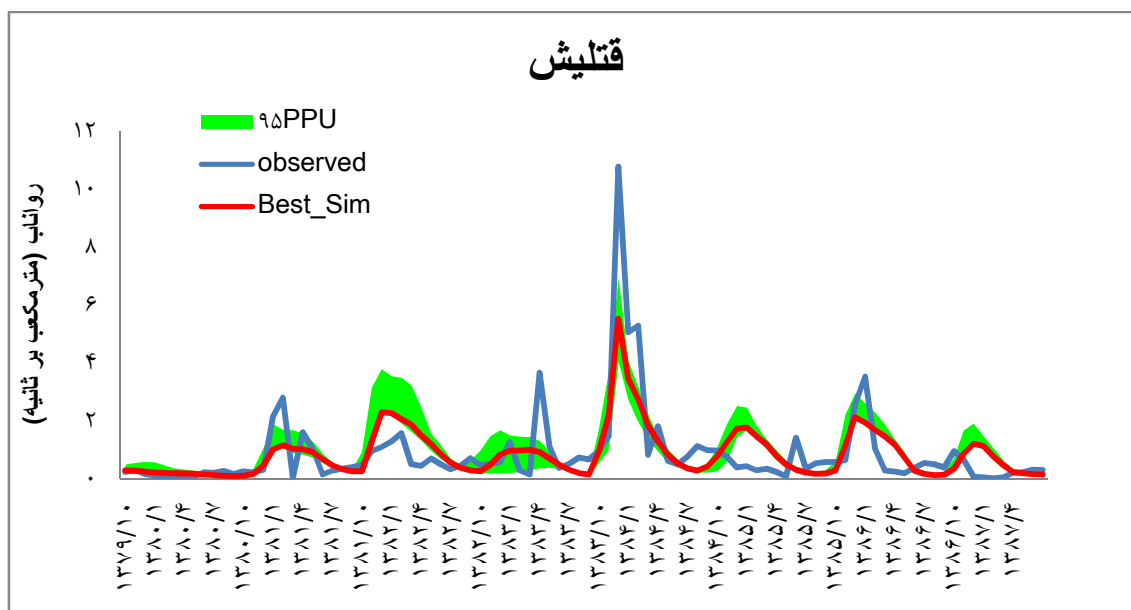
در این تحقیق چندین پروژه SWAT_CUP برای دوره‌های زمانی مختلف ساخته شد. با در نظر گرفتن پارامترهای متفاوت نتایج مختلفی حاصل می‌شود. نتایج این پروژه‌ها به صورت زیر می‌باشد.

۱_ دوره زمانی ۱۳۸۷ - ۱۳۷۹

با توجه به مقدار ضریب نش -ساتکلیف طبق گزارش زو و همکاران در دوره آماری ۱۳۸۷- ۱۳۷۹ مدل سازی رضایت بخش و طبق گزارش موریاسی مدل سازی مناسب می باشد. مقدار نسبتاً کوچک R_factor بیانگر واسنجی خوب رواناب در این حوضه آبریز می باشد. از طرفی مقدار P-factor که نشان دهنده درصد داده های مشاهده ای در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد می باشد، کوچک است و نشان دهنده عدم قطعیت زیاد در پیش بینی هاست. همانطور که در شکل (۴-۳) مشخص است باند عدم قطعیت در پیش بینی نقاط پیک رواناب بیشتر است. همچنین مدل زمان وقوع نقاط پیک رواناب را خوب پیش بینی نموده، اما در شبیه سازی مقدار آن خوب عمل نکرده است. به دلیل این که پروژه برای کل دوره آماری ساخته شده است و آمار کافی برای اعتبارسنجی در دسترس نبوده است نمی توان به مقادیر پارامترها اعتماد کرد و از آن برای شبیه سازی هیدرولوژیکی حوضه در زمان آینده استفاده نمود. مقدار بهینه پارامترها در این شبیه سازی در جدول (۴-۴) آمده است.

جدول (۴-۴): پارامترهای بررسی دقت شبیه سازی مدل برای ایستگاه قتلیش در مرحله واسنجی (۱۳۸۷ - ۱۳۷۹)

R-factor	P_factor	NS(%)	br ² (%)	R ² (%)	تعداد داده ها	دوره آماری
۰/۴۳	۰/۲۸	۵۶	۲۷	۵۹	۹۴	۱۳۷۹ - ۱۳۸۷



شکل (۴-۳): نمودار مقایسه رواناب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده و باند عدم قطعیت برای ایستگاه قتلیش در دوره واسنجی (۱۳۸۷-۱۳۷۹)

جدول (۴-۵): مقدار بهینه پارامترها در واسنجی ایستگاه قتلیش (۱۳۸۷-۱۳۷۹)

مقدار بهینه	نام پارامتر
-۰/۱۳۵۲۶	r_CN2.mgt_____11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101
۰/۴۲۴۵۹۸	r_CN2.mgt____LOAM____PAST__11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101
-۱/۶۸۹۰۶	r_CN2.mgt____SANDY-LOAM____FRST__11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101
-۱/۱۵۳۷۷	r_CN2.mgt_____PAST__11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101
۴۹۲/۹۸۶۶	V__GW_DELAY.gw_____11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101
۰/۵۸۸۹۵۳	v__ALPHA_BF.gw_____11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101
۰/۰۲۴۷۶۳	v__REVAPMN.gw_____11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101
۰/۱۱۷۵۵۹	v__GW_REVAP.gw_____11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101
۰/۲۸۶۶۹۳	v__RCHRG_DP.gw_____11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101
۱۱۰/۶۷۲	v__GWQMN.gw_____11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101
۰/۲۳۴۰۹۵	r_SOL_AWC().sol_____11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101
۱/۰۵۹۴۰۹	r_SOL_AWC().sol_____PAST__11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101

r_SOL_AWC().sol_____WEWO__11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101	-۰/۸۰۰۳۱
r_SOL_K().sol_____11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101	-۰/۹۴۳۸۵
r_SOL_BD().sol_____11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101	-۰/۱۱۴۹
r_SOL_BD().sol_____PAST__11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101	۱/۱۴۲۷۵۴
v_SOL_ALB().sol_____11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101	۰/۰۸۳۴۴۵
v_EPCO.hru_____11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101	۰/۵۶۳۵۳۷
v_ESCO.hru_____11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101	۰/۴۹۱۷۶۸
v_SLSUBBSN.hru_____11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101	۱۴۷/۵۸۹۲
v_OV_N.hru_____11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101	۰/۲۶۸۱۳۴
r_CH_N2.rte_____11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101	-۰/۲۸۳۲۵
v_CH_K2.rte_____11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101	۵۳/۶۲۰۱۴
v_ALPHA_BNK.rte_____11,26-28,32,35,36,39-42,47-51,54-59,62-77,79-97,99,101	۰/۱۱۷۶۵۴
v_SFTMP.bsn	-۰/۴۵۶۵
v_SMTMP.bsn	-۲/۲۱۰۴۲
v_SMFMX.bsn	۱۱/۳۱۰۶۱
v_SMFMN.bsn	۶/۳۳۲۱۲
v_TIMP.bsn	۰/۰۷۸۱۸
v_SURLAG.bsn	۱۰/۶۹۹۳۴

حروف v و r به ترتیب بیانگر تغییرات نسبی و مطلق برای هر پارامتر در حدود مشخص شده

می‌باشند. برای اطلاعات بیشتر می‌توان به راهنمای SWAT_CUP مراجعه نمود.

۲_ در پروژه‌ای دیگر حوضه برای دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۸۴ مورد واسنجی و برای دوره ۱۳۸۸-

۱۳۸۵ مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. با توجه به مقدار ضریب نش -ساتکلیف، طبق گزارش زو و

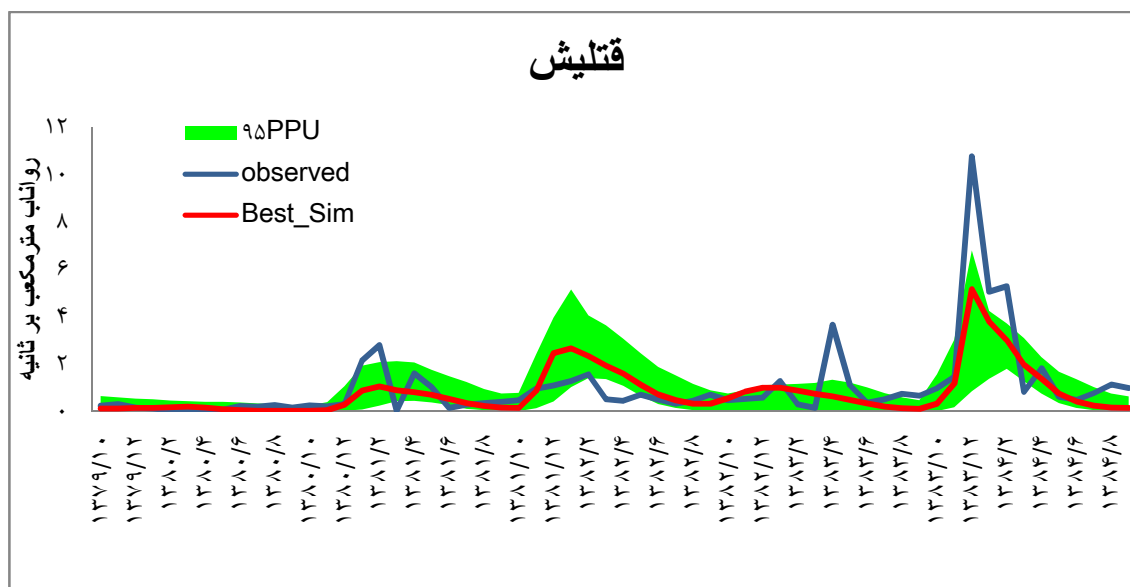
همکاران در دوره آماری ۱۳۷۹-۱۳۸۴ مدل‌سازی رضایت بخش و طبق گزارش موریاسی مدل‌سازی

مناسب می‌باشد. مقدار ضریب تبیین R^2 نیز همین واقعیت را نشان می‌دهد. مقدار نسبتاً کوچک

R_factor بیانگر واسنجی خوب رواناب در این حوضه آبریز می‌باشد. از طرفی مقدار P-factor که نشان‌دهنده درصد داده‌های مشاهده‌ای در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد می‌باشد، به عدد یک تقریباً نزدیک است و عدم قطعیت کمی در پیش‌بینی را نشان می‌دهد. به این معنی که اکثر داده‌های مشاهده‌ای در باند عدم قطعیت قرار گرفته‌اند. به طور کلی حوضه خوب شبیه‌سازی شده است، پس پارامترهای حوضه را مورد اعتبارسنجی قرار دادیم. اما نتایج اعتبارسنجی نشان می‌دهد که مقادیر این پارامترها برای دوره زمانی ۱۳۸۵-۱۳۸۸ جواب‌گو نمی‌باشد، و نمی‌توان از آن برای شبیه‌سازی حوضه در زمان آتی استفاده کرد. علت این موضوع، می‌تواند تغییر در کاربری اراضی و شیوه‌های مدیریتی حوضه و یا تغییر قابل ملاحظه شرایط آب و هوایی در دوره اعتبارسنجی باشد. این موضوع در شکل (۴-۴) نیز قابل مشاهده است.

جدول (۴-۴): پارامترهای بررسی دقت شبیه‌سازی مدل برای ایستگاه قتلش در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی (۱۳۷۹-۱۳۸۴)

R-factor	P_factor	NS (%)	br ² (%)	R ² (%)	تعداد داده‌ها	دوره آماری	
۰/۸۰	۰/۷۳	۵۸	۳۰/۳۲	۶۴	۶۰	۱۳۷۹-۱۳۸۴	واسنجی
۲/۷۶	۰/۸۴	-۱۸	۰/۰۱	۱	۴۴	۱۳۸۵-۱۳۸۸	اعتبارسنجی



شکل (۴-۴): نمودار مقایسه رواناب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده و باند عدم قطعیت برای ایستگاه قتلیش در دوره واسنجی ۱۳۷۹-۱۳۸۴

جدول (۷-۴): مقدار بهینه پارامترها در واسنجی ایستگاه قتلیش (۱۳۷۹-۱۳۸۴)

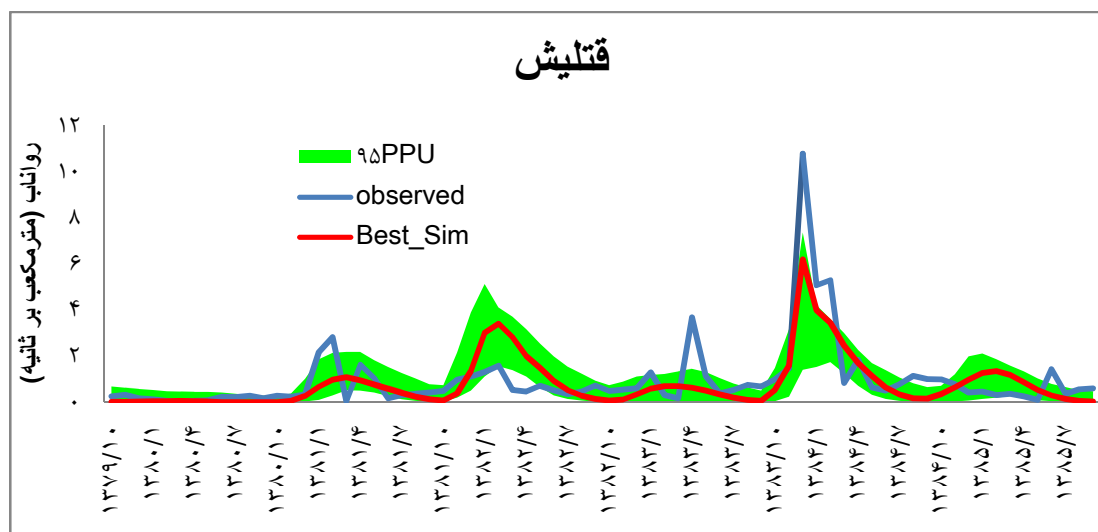
مقدار بهینه	نام پارامتر
-۰/۰۴۱۴۳	r_CN2.mgt
۰/۶۹۹۴۵۹	r_CN2.mgt____LOAM_PAST
-۱/۶۰۱۵۲	r_CN2.mgt____SANDY-LOAM_FRST
-۱/۱۰۲۸۳	r_CN2.mgt____PAST
۴۹۰/۵۸۹۳	V_GW_DELAY.gw
۰/۵۴۹۱۹۸	v_ALPHA_BF.gw
۰/۰۵۴۸۵۶	v_REVAPMN.gw
۰/۱۲۳۳۸۱	v_GW_REVAP.gw
۰/۳۲۸۲۱۲	v_RCHRG_DP.gw
۶۰/۹۸۱۵۱	v_GWQMN.gw
۰/۳۱۰۱۵۵	r_SOL_AWC().sol
۰/۹۲۰۰۶	r_SOL_AWC().sol____PAST
-۰/۷۵۷۴۲	r_SOL_AWC().sol____WEWO
-۰/۹۸۶۹	r_SOL_K().sol
-۰/۲۳۴۹۸	r_SOL_BD().sol
۰/۹۵۴۸۹۶	r_SOL_BD().sol____PAST
۰/۰۷۹۱۳۷	v_SOL_ALB().sol
۰/۶۹۶۷۷۲	v_EPCO.hru
۰/۴۷۴۸۸۷	v_ESCO.hru

v__SLSUBBSN.hru	۱۴۷/۱۸۶۸
v__OV_N.hru	۰/۲۲۰۱۴۷
r__CH_N2.rte	-۰/۵۵۸۷۲
v__CH_K2.rte	۶۶/۲۷۲۵۵
v__ALPHA_BNK.rte	۰/۱۰۸۴۳۵
v__SFTMP.bsn	-۰/۱۷۴۰۲
v__SMTMP.bsn	-۲/۳۳۷۷۱
v__SMFMX.bsn	۹/۲۱۴
v__SMFMN.bsn	۶/۲۶۶۷۳
v__TIMP.bsn	۰/۰۷۹۱۸۸۹
v__SURLAG.bsn	۹/۱۸۹۰۶۶

۳_ برنامه SUFI_2 برای دوره زمانی ۱۳۷۹-۱۳۸۵ اجرا شد. نتایج پارامترهای بررسی دقت شبیه‌سازی مدل برای ایستگاه قتلیش در جدول (۴-۸) آمده است. نتایج این دوره از شبیه‌سازی نیز مثل دو دوره قبل بوده است و نتایج برای شبیه‌سازی رواناب حوضه در دوره آتی مناسب نمی‌باشد. در بهترین مورد از شبیه‌سازی‌ها نتایج جدول (۴-۱۰) حاصل شده‌اند.

جدول (۴-۸): پارامترهای بررسی دقت شبیه‌سازی مدل برای ایستگاه قتلیش در دوره واسنجی و اعتبارسنجی

دوره آماری	R^2 (%)	br^2 (%)	NS (%)	P_factor	R-factor
واسنجی	۵۸	۳۱/۸۳	۵۷	۰/۷۵	۰/۸۴
اعتبارسنجی	۳	۰/۱۵	-۳۱	۰/۴۲	۰/۸۱



شکل (۴-۵): نمودار مقایسه رواناب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده و باند عدم قطعیت برای ایستگاه قتلیش در دوره واسنجی ۱۳۷۹-۱۳۸۵

جدول (۴-۹): مقدار بهینه پارامترها در واسنجی ایستگاه قتلیش (۱۳۷۹-۱۳۸۵)

نام پارامتر	مقدار بهینه
r_CN2.mgt	-۰/۱۴۶۶۹
r_CN2.mgt____LOAM_PAST	۰/۵۴۶۲۲
r_CN2.mgt____SANDY-LOAM_FRST	-۱/۶۹۰۷۷
r_CN2.mgt____PAST	-۱/۲۰۹۸
V_GW_DELAY.gw	۴۹۷/۳۲
v_ALPHA_BF.gw	۰/۵۵۱۶۹۳
v_REVAPMN.gw	۰/۰۶۷۹۱۱
v_GW_REVAP.gw	۰/۱۱۸۴۷۴
v_RCHRG_DP.gw	۰/۲۹۱۳۸
v_GWQMN.gw	۱۱۷/۰۵۶۵
r_SOL_AWC().sol	۰/۱۹۱۰۸
r_SOL_AWC().sol____PAST	۱/۰۲۵۹۷۳
r_SOL_AWC().sol____WEWO	-۰/۷۰۹۷۹
r_SOL_K().sol	-۱/۱۳۴۵۱
r_SOL_BD().sol	-۰/۱۵۹۵۴
r_SOL_BD().sol____PAST	۱/۰۴۲۵۲۸
v_SOL_ALB().sol	۰/۰۹۶۵۶۲
v_EPCO.hru	۰/۶۱۸۱۰۶
v_ESCO.hru	۰/۴۸۶۶۰۳
v_SLSUBBSN.hru	۱۴۷/۰۹۸۴

v__OV_N.hru	۰/۱۳۸۷۴۷
r__CH_N2.rte	-۰/۵۷۹۰۶
v__CH_K2.rte	۶۶/۲۰۰۹۱
v__ALPHA_BNK.rte	۰/۰۹۲۴۹۱
v__SFTMP.bsn	-۱/۷۶۴۸۷
v__SMTMP.bsn	-۱/۹۷۶۷۸
v__SMFMX.bsn	۱۴/۷۶۲۳۲
v__SMFMN.bsn	۵/۱۴۳۹۲۶
v__TIMP.bsn	۰/۰۴۵۸۳۹
v__SURLAG.bsn	۶/۸۵۹۸۷۱

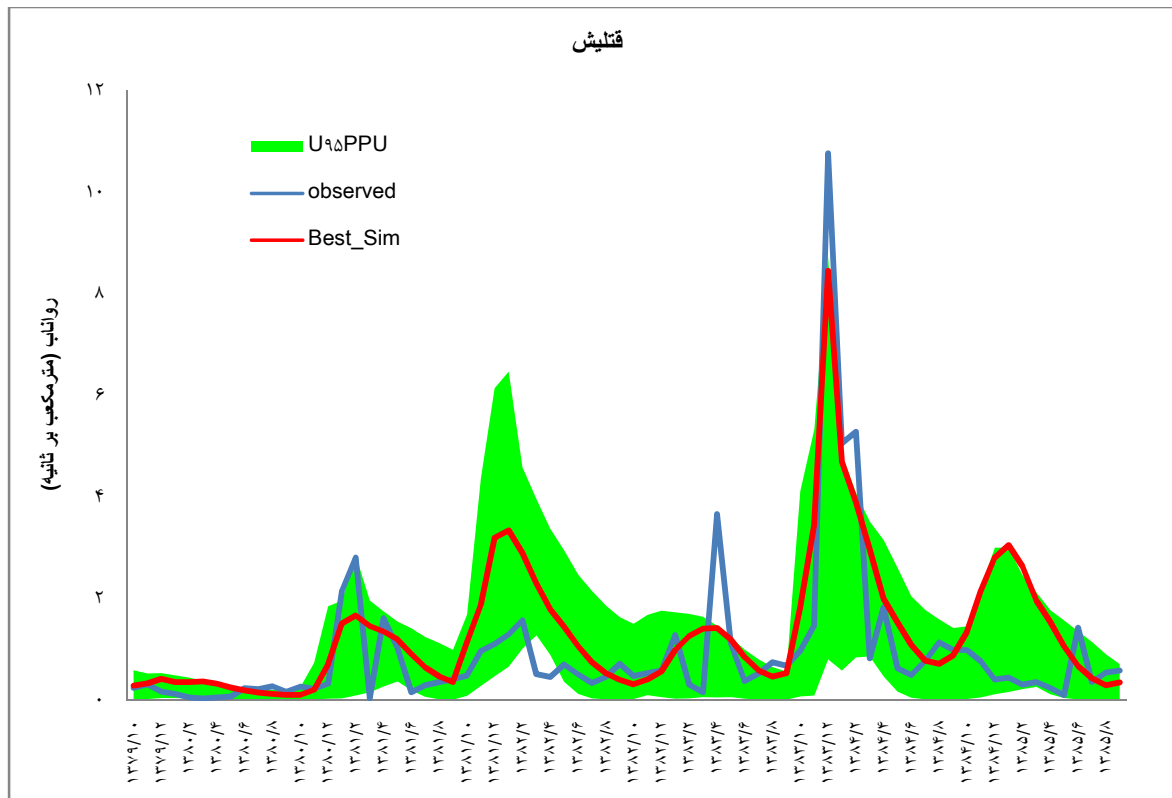
۴_ برای دوره آماری ۱۳۸۵-۱۳۷۹، پروژه دیگری ساخته شد. این پروژه نسبت به سایر پروژه‌ها نتایج بهتری داشت.

نتایج واسنجی مدل، همبستگی مناسب شبیه‌سازی مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده رواناب رودخانه شیرین‌دره در ایستگاه هیدرومتری قتلش را نشان می‌دهد. همانطور که گفته شد، اگر شاخص ناش_ساتکلیف بیشتر از ۰/۷۵ باشد مدل عالی و کامل، و اگر بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ باشد، رضایت بخش و اگر کمتر از ۰/۳۶ باشد غیر قابل قبول فرض می‌شود. مقدار ضریب تبیین R^2 نیز حاکی از نتایج خوب در شبیه‌سازی می‌باشد. با مراجعه به شکل (۴-۶) مشخص می‌شود روند شبیه‌سازی مدل با مقادیر مشاهده‌ای همخوانی دارد.

مدل نقاط مینیموم را نیز به خوبی شبیه‌سازی نکرده است. این خطاها را می‌توان ناشی از خطا در اندازه‌گیری دبی در ایستگاه هیدرومتری و یا در نظر نگرفتن برداشت آب برای مصارف کشاورزی و صنعتی دانست.

جدول (۴-۱۰): پارامترهای بررسی دقت شبیه‌سازی مدل برای رواناب در ایستگاه قتلیش در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی (بهترین مورد)

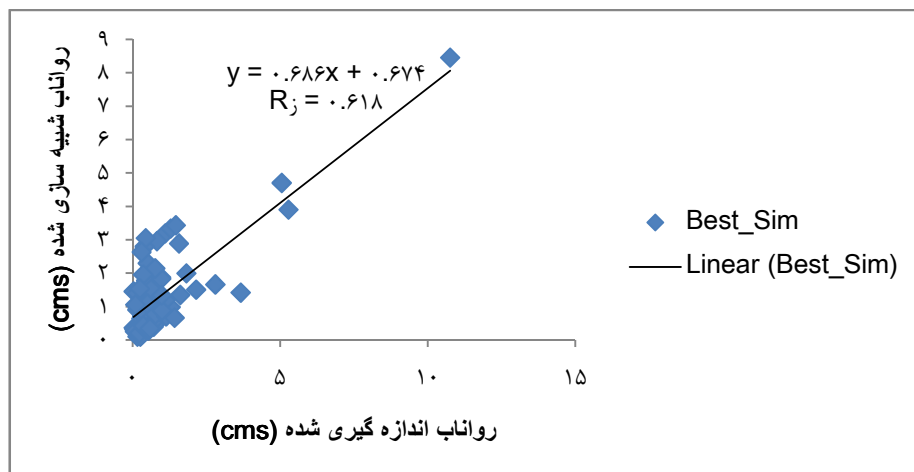
P_factor	NS (%)	br ² (%)	R ² (%)	تعداد داده‌ها	دوره آماری	
۰/۵۴	۰/۴۴	۵۵	۴۲/۴۶	۶۲	۱۳۷۹-۱۳۸۵	واسنجی
۰/۳۳	۰/۳۳	۸	۱۱/۷۳	۵۲	۱۳۸۶	اعتبارسنجی



شکل (۴-۶): نمودار مقایسه رواناب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده و باند عدم قطعیت برای ایستگاه قتلیش در دوره واسنجی ۱۳۷۹-۱۳۸۵ (بهترین مورد)

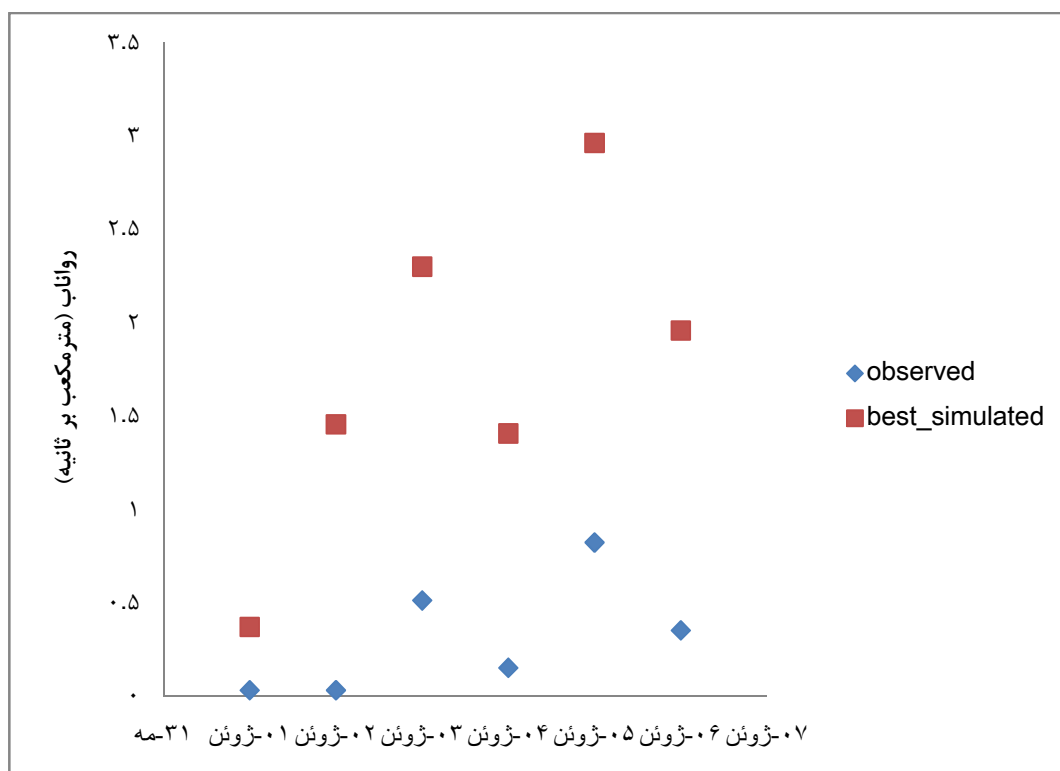
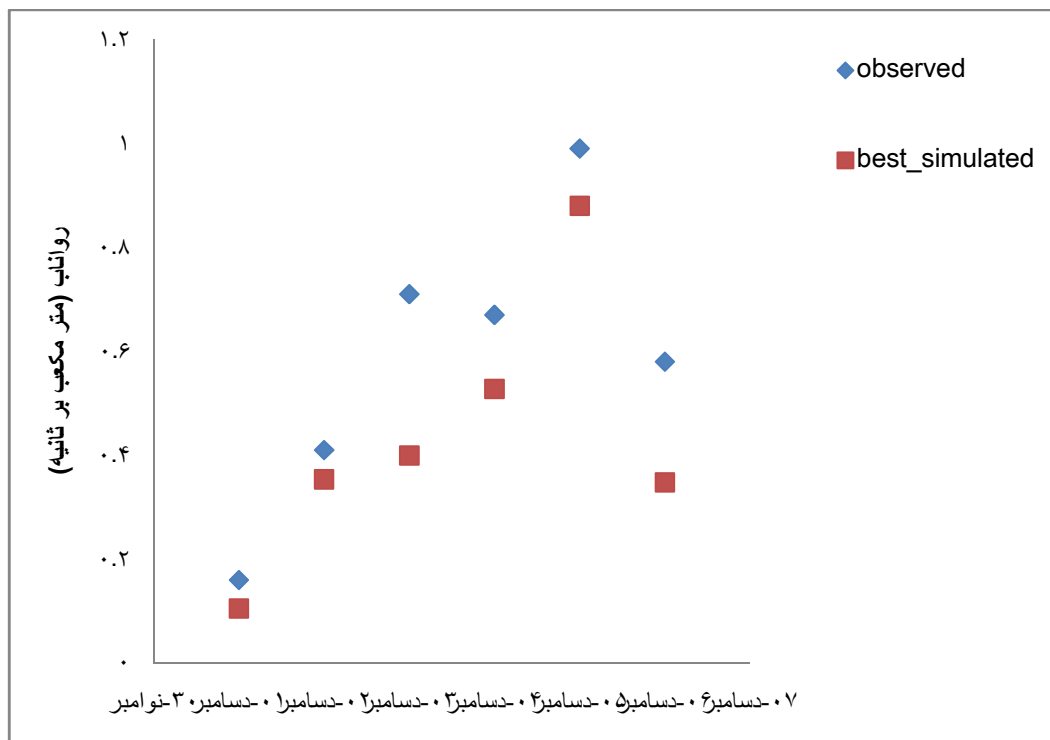
جدول (۴-۱): مقدار بهینه پارامترها در SWAT_CUP درواسنجی دوره زمانی ۱۳۸۵-۱۳۷۹ (بهترین مورد)

نام پارامتر	مقدار بهینه پارامتر
r__CN2.mgt	-۰/۰۵۵۱۵۴
r__CN2.mgt____LOAM__PAST__1-24	۰/۵۱۲۵۶۳
r__CN2.mgt____SANDY- LOAM__FRST__24-78	-۱/۸۷۹۱۰۲
r__CN2.mgt____PAST__78-101	-۱/۲۸۳۷۲۱
V__GW_DELAY.gw	۴۶۷/۰۱۹۶۲۳
v__ALPHA_BF.gw	۰/۵۷۶۶۵۹
v__REVAPMN.gw	۰/۱۲۰۲۹۶
v__GW_REVAP.gw	۰/۱۰۹۱۸۱
v__RCHRG_DP.gw	۰/۲۴۴۵۳۴
v__GWQMN.gw	۲۲۲/۵۸۳۵۱۱
r__SOL_AWC().sol	۰/۳۴۷۱۴
r__SOL_AWC().sol____PAST__1-24	۰/۸۲۳۴۷۶
r__SOL_AWC().sol____WEWO__24-78	-۰/۵۲۰۸۶۸
r__SOL_AWC().sol____78-101	-۰/۶۷۹۸۳۴
r__SOL_K().sol	-۰/۹۶۴۲۲۴
r__SOL_BD().sol	۰/۱۹۰۴۶۱
r__SOL_BD().sol____1-24	۰/۱۸۷۵۰۷
r__SOL_BD().sol____24-78	۰/۷۵۶۶۸۷
r__SOL_BD().sol____PAST__78-101	۱/۱۲۱۴۵۵
v__SOL_ALB().sol	۰/۰۵۶۷۴
v__EPCO.hru	۰/۵۳۲۴۶۳
v__ESCO.hru	۰/۴۱۰۸۲۸
v__SLSUBBSN.hru	۱۵۷/۰۷۴۵۳۹
v__OV_N.hru	۰/۲۳۳۵۸۷
r__CH_N2.rte	-۰/۱۵۱۸۷۵
v__CH_K2.rte	۶۵/۲۳۹۳۷۲
v__ALPHA_BNK.rte	۲۰/۱۰۴۹۴۲
v__SFTMP.bsn	-۰/۸۹۰۳۹۷
v__SMTMP.bsn	-۱/۲۰۱۳۶۷
v__SMFMX.bsn	۱۶/۲۷۷۰۹۴
v__SMFMN.bsn	۵/۲۵۶۴۷۳
v__TIMP.bsn	۰/۰۴۵۲۲۷
v__SURLAG.bsn	۱۰/۶۷۷۴۸۱



شکل (۷-۴): نمودار رگرسیونی رواناب اندازه گیری شده و شبیه سازی شده برای ایستگاه قتلیش در دوره ۱۳۷۹-۱۳۸۵

با توجه به نمودار و مقایسه داده های اندازه گیری شده و شبیه سازی شده (شکل (۷-۴)) مقدار دبی شبیه سازی شده در ماه ژوئن (خرداد) در تمامی سال های واسنجی بیشتر از مقدار واقعی است. چون برداشت آب در مدل لحاظ نشده است، این خطا ناشی از برداشت آب در این ماه برای مصارف کشاورزی می باشد. همچنین میزان دبی شبیه سازی شده در ماه دسامبر (آذر و دی ماه) در تمامی سال ها کمتر از مقدار واقعی است و این خطا می تواند ناشی از ذوب برف و اثرات آن باشد که مدل در شبیه سازی آن ضعیف عمل می کند.



شکل (۸-۴): مقایسه رواناب مشاهده شده و شبیه‌سازی شده در ماه‌های ژوئن و دسامبر

جدول (۱۲-۴) پارامتر بررسی دقت شبیه‌سازی مدل در ایستگاه قتلش بعد از واسنجی

دوره آماری	شرح	انحراف معیار
۱۳۷۹-۱۳۸۵	رواناب اندازه‌گیری شده	۱/۵۲۶۷۳۳
	رواناب شبیه‌سازی شده	۱/۰۶۰۱۷۴

جدول (۱۲-۴) و آمار آن نیز حاکی از شبیه‌سازی خوب و مناسب مدل می‌باشد. از مقایسه این

جدول با جدول (۳-۴) به خوبی تأثیر واسنجی در نتایج شبیه‌سازی مشخص است.

۲-۲-۴- بررسی نتایج شبیه‌سازی رسوب در ایستگاه قتلش

نتایج مربوط به پارامترهای بررسی دقت شبیه‌سازی رسوب ایستگاه قتلش در جدول (۱۳-۴)

آورده شده است. با توجه به گزارش موربایی که با مقدار NS کمتر از ۰/۵ نتایج رضایت‌بخش می‌باشد،

می‌توان بیان داشت که نتایج شبیه‌سازی رضایت‌بخش است. اما مقدار نسبتاً بالای R_factor بیانگر

واسنجی خوب رسوب در این حوضه آبریز نمی‌باشد. از طرفی مقدار P-factor که نشان‌دهنده درصد

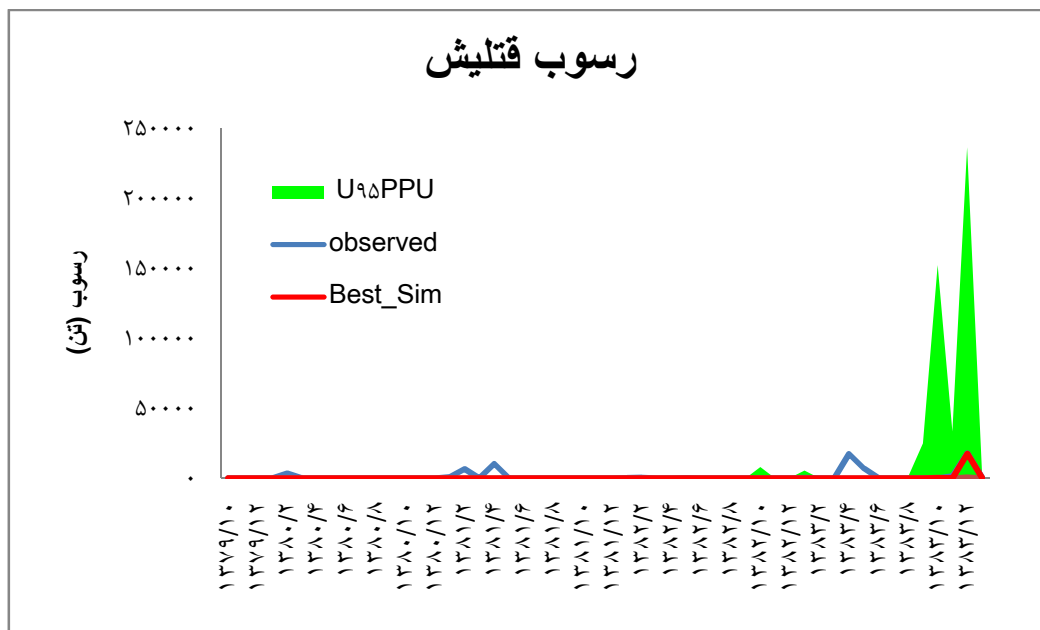
داده‌های مشاهده‌ای در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد می‌باشد، کوچک است و نشان‌دهنده عدم

قطعیت زیاد در پیش‌بینی است. پس با توجه به این مقادیر نمی‌توان به نتایج شبیه‌سازی امیدوار بود و

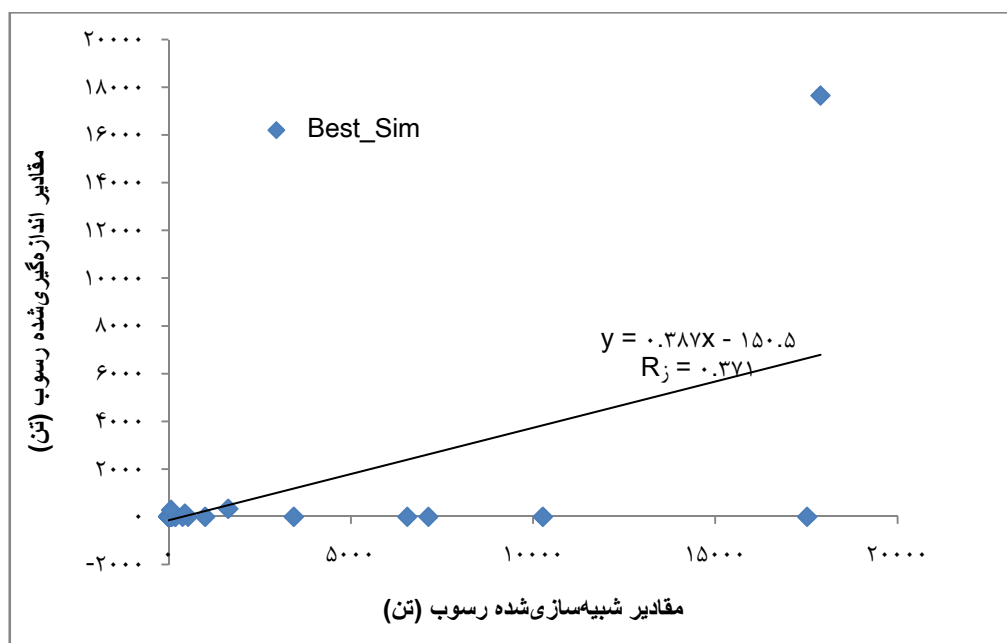
از آن برای شبیه‌سازی آورد رسوب رودخانه در این ایستگاه برای زمان‌های آتی استفاده کرد.

جدول (۱۳-۴) پارامترهای بررسی دقت شبیه‌سازی مدل برای رسوب در ایستگاه قتلش در دوره واسنجی

دوره آماری	تعداد داده‌ها	R ² (%)	br ² (%)	NS (%)	P_factor
واسنجی	۱۳۷۹-۱۳۸۵	۳۷	۱۴/۳۹	۳۷	۰/۲۱
		۲/۳۴			



شکل (۴-۹): نمودار مقایسه رسوب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده و باند عدم قطعیت برای ایستگاه قتلش در دوره واسنجی ۱۳۷۹-۱۳۸۴



شکل (۴-۱۰): نمودار رگرسیونی رسوب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده برای ایستگاه قتلش در دوره ۱۳۸۴-۱۳۷۹

۴-۲-۳- بررسی عدم قطعیت رواناب شبیه‌سازی شده در ایستگاه قلعه بربر

نتایج مربوط به این ایستگاه با توجه به گزارش موریا سی و زو و همکاران، مقدار ضریب نش _ساتکلیف کم بوده و رضایت بخش نمی‌باشد، مقدار ضریب تبیین نیز کم می‌باشد. مقدار P_factor در این شبیه‌سازی نسبتاً بالا بوده و حاکی از این واقعیت است که داده‌های مشاهده‌ای کمتر در باند عدم قطعیت قرار گرفته‌اند. مقدار R_factor نیز بالا می‌باشد و بیانگر واسنجی ضعیف می‌باشد. مقادیر این پارامترها در جدول (۴-۱۴) آورده شده است. شکل (۴-۱۱) نیز همین موضوع را نشان می‌دهد. واسنجی ضعیف این ایستگاه دلایل مختلفی می‌تواند داشته باشد. این دلایل در زیر لیست شده‌اند.

۱- وجود سد در انتهای حوضه و تأثیر آن روی جریان رودخانه

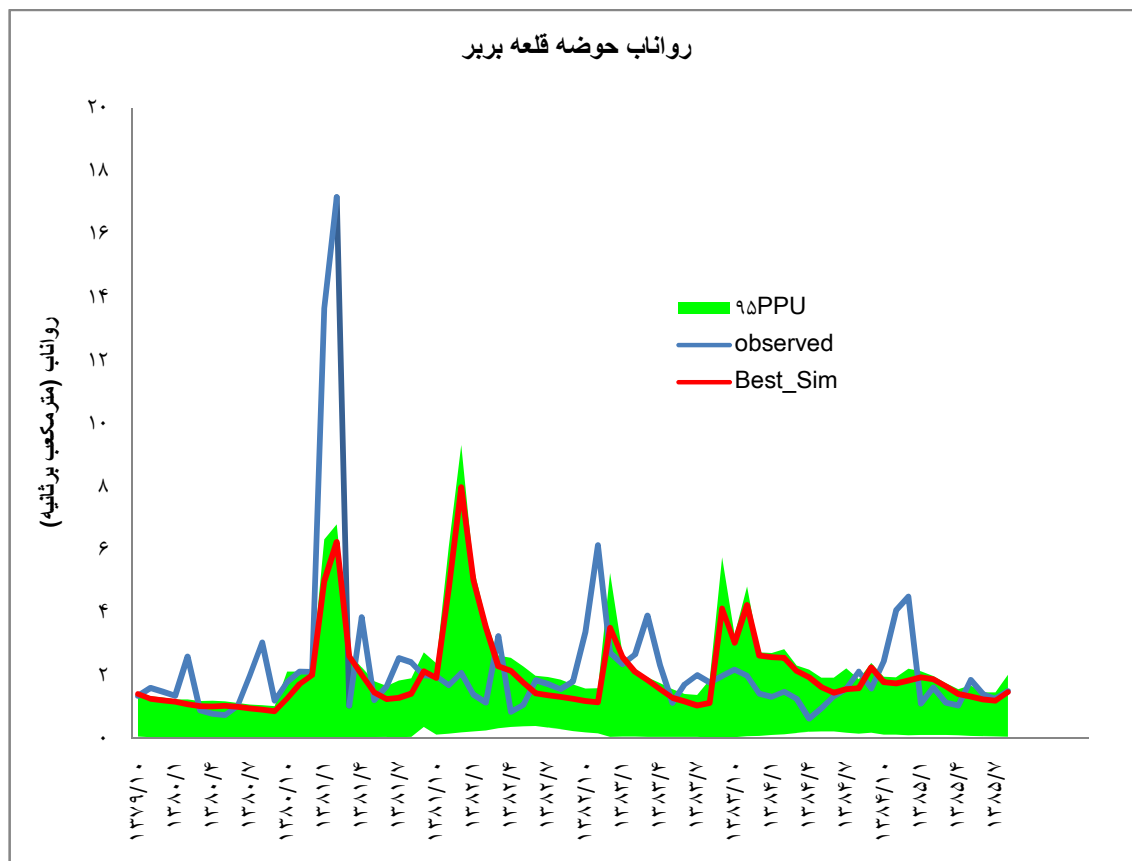
۲- پارامترسازی نامناسب مدل SWAT_CUP. برای این منظور لازم است که مقادیر پارامترها برای خاک، کاربری اراضی و زیر حوضه‌ها دسته‌بندی شود و پارامترهای موثر در هر زیرحوضه شناسایی شوند. این موضوع زمان‌بر است و نیاز به زمان بیشتری برای مطالعه دارد.

۳- برداشت آب برای مصارف شرب و کشاورزی در بالادست حوضه و تأثیر ندادن آن در مدل‌سازی حوضه

۴- کارهای مدیریتی مثل احداث بندها و سدهای گابیونی، مدیریت‌های کشاورزی و غیره که روی حوضه انجام شده ولی در مدل در نظر گرفته نشده است.

جدول (۴-۱۴): پارامترهای بررسی دقت شبیه‌سازی مدل برای ایستگاه قلعه بربر در دوره واسنجی (۱۳۸۵-۱۳۷۹)

R-factor	P_factor	NS (%)	br^2 (%)	R^2 (%)	تعداد داده‌ها	دوره آماری
۰/۹۲	۰/۶۳	۱۹	۵/۷۹	۲۱	۷۱	۱۳۷۹-۱۳۸۵ واسنجی



شکل (۴-۱۱): نمودار مقایسه رواناب اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده و باند عدم قطعیت برای ایستگاه قلعه بربر در دوره واسنجی ۱۳۷۹-۱۳۸۵

با مقایسه این تحقیق با تحقیقاتی همچون مطالعات عباسپور و همکاران (۲۰۰۷)، غلامی (۱۳۸۲)، اخوان و همکاران (۱۳۸۹) و غیره نتیجه شد که نتایج حاصل از این مدل‌سازی با توجه به اطلاعات در دسترس قابل قبول است. پارامترهای بررسی دقت شبیه‌سازی مدل در مورد رواناب حوضه قتلش شبیه‌سازی رضایت‌بخشی را گزارش می‌دهند. اما در مورد رسوب این‌طور نیست، که این نتیجه در سایر تحقیقات نیز حاصل شده و محققین ضعف مدل را در مورد شبیه‌سازی رسوب گزارش داده‌اند.

فصل پنجم

نتیجہ گیری و ارائه شہادات

۵_ نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری

در این تحقیق از مدل مفهومی و نیمه توزیعی SWAT، و نیز الگوریتم SUFI2 در برنامه SWAT_CUP به طور رضایت بخشی برای شبیه سازی رواناب و رسوب حوضه آبریز شیرین دره استفاده شد. هدف اولیه از این مطالعه، بررسی عملکرد مدل SWAT در حوضه شیرین دره بود. نتایج واسنجی در ایستگاه قتلیش نشان می دهد که مدل SWAT می تواند تا حدودی ابزار مناسبی در رابطه با شبیه سازی رواناب و رسوب حوضه باشد.

در کل نتایج نهایی زیر در این تحقیق بدست آمد.

۱- در ایستگاه قتلیش در دوره آماری ۱۳۸۷-۱۳۷۹ مقدار پارامتر نش _ساتکلیف ۰/۵۶ می باشد. طبق گزارش موریاسی مدل سازی رضایت بخش و طبق گزارش موریاسی مدل سازی مناسب می باشد.

۲- در ایستگاه قتلیش در دوره آماری ۱۳۸۴-۱۳۷۹ مقدار پارامتر نش _ساتکلیف ۰/۵۸ می باشد. طبق گزارش موریاسی مدل سازی رضایت بخش و طبق گزارش موریاسی مدل سازی مناسب می باشد. اما مقدار این پارامتر در دوره اعتبارسنجی ۰/۱۸- می باشد و نشان می دهد که از پارامترهای استفاده شده در این دوره نمی توان برای شبیه سازی حوضه در زمان آتی استفاده کرد.

۳- در ایستگاه قتلیش در دوره آماری ۱۳۸۵-۱۳۷۹ مقدار پارامتر نش _ساتکلیف ۰/۵۷ می باشد. طبق گزارش موریاسی مدل سازی رضایت بخش و طبق گزارش موریاسی مدل سازی مناسب می باشد. اما مقدار این پارامتر در دوره اعتبارسنجی ۰/۳۱- می باشد و نشان می دهد که از پارامترهای استفاده شده در این دوره نمی توان برای شبیه سازی حوضه در زمان آتی استفاده کرد.

۴- در پروژه نهایی که برای دوره ۱۳۸۵-۱۳۷۹ در ایستگاه قتلیش اجرا شد، پارامترهای بررسی دقت مدل نسبت به سایر دوره‌ها نتیجه بهتری داشت. مقدار پارامتر نش _ساتکلیف ۰/۵۵ و مقدار ضریب تبیین R^2 در این دوره ۰/۶۲ شد. در این پروژه هرچند که از لحاظ مقدار پارامتر نش _ساتکلیف با سایر پروژه‌ها تفاوت چندانی وجود ندارد، اما نتایج اعتبارسنجی این پروژه حاکی از این واقعیت است که پارامترهای بکار رفته در مدل SWAT_CUP برای شبیه‌سازی حوضه در زمان آتی مناسب می‌باشد. مقدار ضریب تبیین در دوره اعتبارسنجی ۰/۵۲ می‌باشد. علت کاهش مقدار ضریب تبیین و پارامتر نش _ساتکلیف در دوره اعتبارسنجی می‌تواند عملیات مدیریتی که احتمالاً در حوضه اعمال شده است باشد و یا تغییرات آب و هوایی عامل این موضوع باشد.

۵- یکی از محدودیت‌های این مطالعه کمبود اطلاعات مربوط به برداشت و مصارف آب از رودخانه‌های موجود در منطقه بود، که در صورت در دسترس بودن این اطلاعات، شبیه‌سازی رواناب در ماه ژوئن (خرداد) بهتر صورت می‌گرفت.

۶- با توجه به اینکه حوضه کوهستانی است و احتمال یخ‌زدگی زمین‌ها در زمستان وجود دارد، یکی از دلایل ضعف مدل در تخمین حداکثر رواناب می‌تواند استفاده از فرمول SCS در محاسبه رواناب باشد. در مدل هنگامی که رطوبت موجود در هر لایه خاک از گنجایش زراعی بیشتر باشد، مقداری از این آب اضافی باعث ایجاد جریان جانبی می‌شود و قسمتی هم به لایه بعدی نفوذ می‌کند. اما هنگامی که لایه‌ای از خاک یخ زده باشد، در این صورت مدل فرض می‌کند که هیچ جریان جانبی اتفاق نمی‌افتد و لایه خاک می‌تواند آب اضافه بر گنجایش زراعی را تا زمانی که اشباع شود، در خود نگه دارد. سپس فرض می‌کند که رطوبت مازاد بر گنجایش زراعی می‌تواند از لایه اشباع یخ زده به لایه بعدی نفوذ کند. این فرضیات باعث انتقال بخش زیادی از بارش زمستان به جریان سطحی در اوایل بهار می‌شود. بنابراین، یکی از

دلایل شبیه‌سازی جریان بیش از مقدار مشاهده شده به وسیله مدل در اوایل بهار می‌تواند

فرضیاتی باشد که مدل در انتقال جریان در لایه‌های یخ زده و اشباع در نظر می‌گیرد.

۷- با توجه به گزارش موریاسی و همکاران، مدل رسوب ایستگاه قتلش را در حد رضایت‌بخشی

شبیه‌سازی کرده است، اما وجود عدم قطعیت زیاد (مقدار P-factor زیاد) ضعف مدل در

شبیه‌سازی رسوب را نشان می‌دهد.

۸- با توجه به گزارش موریاسی و همکاران و زو و همکاران و مقادیر پارامترهای بررسی دقت

شبیه‌سازی مدل برای ایستگاه قلعه بربر، نتیجه می‌شود که مدل رواناب این ایستگاه را به

خوبی شبیه‌سازی نکرده است و نمی‌توان از پارامترهای استفاده شده در این پروژه

SWAT_CUP، برای شبیه‌سازی حوضه در زمان آبی استفاده کرد.

۹- مشاهده شد که نتایج مدل SWAT قبل واسنجی غیرقابل اعتماد است و بعد از واسنجی

مقادیر شبیه‌سازی شده به مقادیر اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر است.

۱۰- در کل مدل رواناب را در حوضه نسبت به رسوب بهتر شبیه‌سازی می‌کند.

کیفیت نقشه‌های کاربری اراضی و خاک و تغییرات کاربری اراضی حوضه در شبیه‌سازی رواناب و

رسوب حوضه اثر قابل توجهی دارد. یکی از دلایل عدم شبیه‌سازی با دقت بالای رواناب و رسوب در

این تحقیق می‌تواند ناشی از عدم وجود نقشه‌های دقیق خاک و کاربری اراضی و نبود ایستگاه‌های

هواشناسی متعدد در حوضه آبریز مطالعاتی باشد.

۱۱- زیاد بودن تعداد پارامترهای ورودی در مدل SWAT، شناخت مدل از طبیعت منطقه را

افزایش داده و دقت شبیه‌سازی را بالا می‌برد، ولی اجرا و واسنجی مدل به زمان زیادی نیاز

خواهد داشت. مدل برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب حوضه آبریز در مقیاس زمانی بزرگتر دقت

بیشتری دارد. اندازه حوضه آبریز مورد مطالعه در دقت نتیجه مدل کاملاً تأثیرگذار است.

۵-۲- پیشنهادات

با توجه به اهمیت حوضه شیرین‌دره در استان خراسان شمالی، از جهت تأمین آب شهری،

پیشنهاد می‌شود که:

۱- با دقت و صرف زمان بیشتر، و با در دست داشتن اطلاعات آماری و نقشه‌های دقیق‌تر،

میزان رواناب و رسوب حوضه تخمین زده شود. زیرا که اطلاع از میزان رواناب و رسوب

در حوضه و علی‌الخصوص در خروجی حوضه، باعث می‌شود که برنامه‌های مدیریتی

مناسب از جهت کنترل سیلاب و جلوگیری از پرشدن سد توسط رسوب اتخاذ شود.

۲- نقشه‌های خاک‌شناسی و کاربری اراضی دقیق تولید شوند.

۳- ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مناسبی در حوضه و در موقعیت‌های مناسب

ایجاد شوند، تا بتوان با استفاده از مدل‌های پیشرفته حوضه را شبیه‌سازی نمود و برنامه

و طرحی مناسب برای حفظ حوضه از خطرات سیلاب و حجم رسوب اتخاذ نمود. هم

چنین بتوان مقدار منابع آب موجود در حوضه را شناسایی نموده و برنامه‌ای برای میزان

آب در دسترس شهروندان در دوران خشک‌سالی بدست آورد.

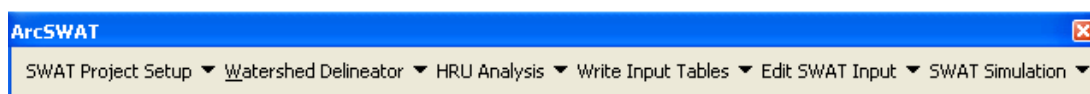
۴- برنامه‌های مدیریتی مناسب جهت کنترل سیلاب در حوضه اعمال شود.

پوست

۶- پیوست

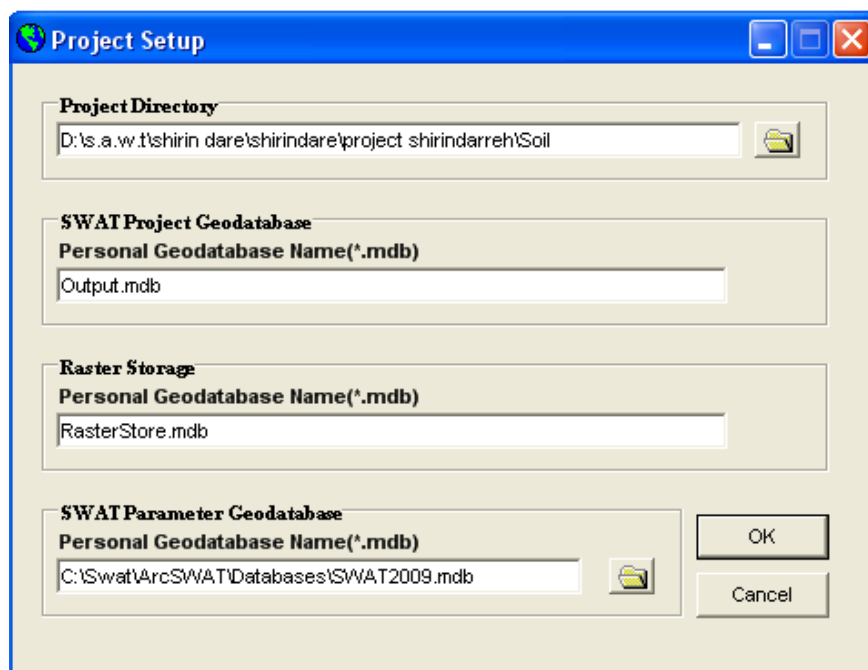
۶-۱- پیوست ۱: مراحل گام به گام کار با مدل SWAT

برای فعال‌سازی SWAT، در کادر اطراف Arc GIS کلیک راست کرده و گزینه Arc SWAT را فعال می‌کنیم. با این عمل، نوار ابزار SWAT، به نوار ابزارهای Arc GIS اضافه می‌شود. این نوار ابزار شامل شش سربرگ می‌باشد. عملکرد هر سربرگ در ادامه توضیح داده می‌شود.



شکل (۶-۱): نوار ابزار SWAT

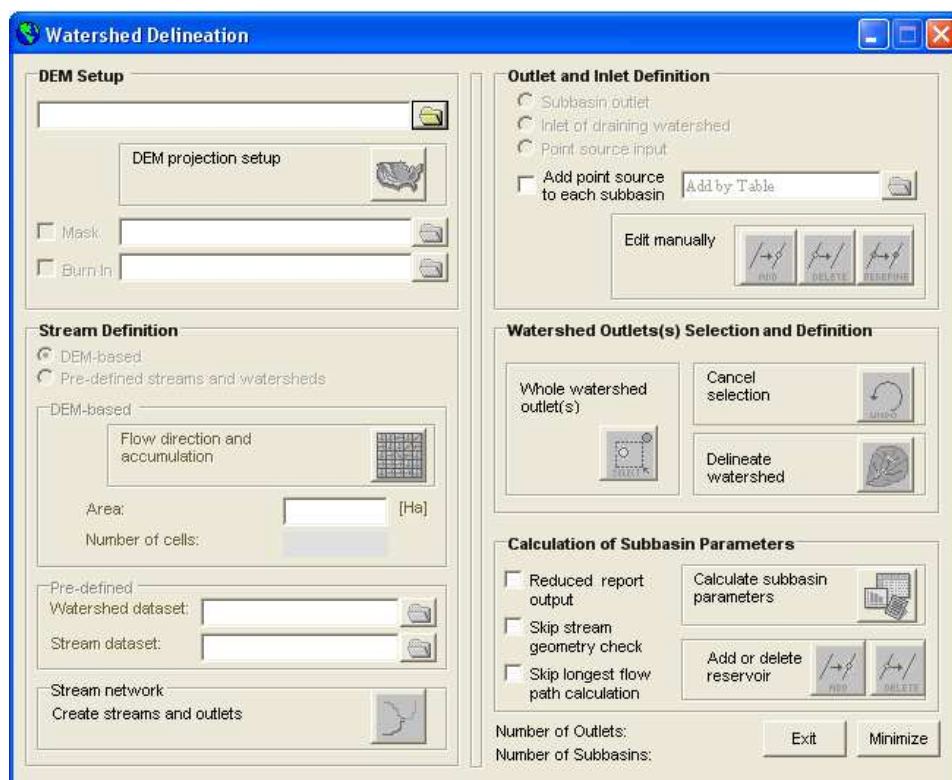
۱- برای شروع و اجرای یک پروژه وارد سربرگ تعریف پروژه SWAT شده و گزینه New SWAT Project را انتخاب می‌کنیم. سؤالی مبنی بر ذخیره کردن پروژه Arc GIS پرسیده می‌شود، گزینه No را انتخاب می‌کنیم، در این صورت پنجره زیر باز می‌شود.



شکل (۶-۲): پنجره تعریف پروژه در مدل SWAT

در این پنجره در قسمت Project Directory مسیر ذخیره شدن پروژه را انتخاب می‌کنیم. سایر قسمت‌ها بصورت پیش‌فرض باقی می‌ماند. با زدن گزینه OK، پروژه SWAT در مسیر داده شده ساخته می‌شود.

۲_ از سربرگ توصیف حوضه موجود در نوار ابزار، گزینه Automatic Watershed delineation را انتخاب می‌کنیم، پنجره ای به شکل ۳-۶ باز می‌شود.



شکل (۳-۶): پنجره توصیف حوضه در مدل SWAT

در قسمت DEM Setup، DEM مربوط به حوضه وارد را وارد می‌کنیم. در قسمت DEM projection setup واحد مربوط به ارتفاع (متر، فوت) انتخاب می‌شود. چنانچه نقشه رودخانه‌های حوضه موجود باشد در قسمت Burn In وارد خواهد شد. در قسمت Stream Definition مساحت حوضه مشخص می‌شود، اگر گزینه Flow direction and accumulation را انتخاب کنیم، بصورت پیش‌فرض عددی را در نظر می‌گیرد، که این عدد قابل تغییر است. با انتخاب کمترین مقدار مساحت، زیرحوضه‌های بیشتری در نظر گرفته می‌شود.

در قسمت Stream network شبکه جریان موجود در حوضه، آبراهه‌های اصلی و فرعی، محل اتصال آن‌ها و خروجی حوضه، توسط مدل، ترسیم می‌شود.

در قسمت Outlet and inlet definition گزینه‌هایی به شرح زیر وجود دارند.

۱. خروجی‌های زیرحوضه (Sub basin outlet)

۲. مدخل زهکش‌های حوضه (Inlet of draining watershed)

۳. منبع نقطه‌ای (Point source input)

در قسمت Add point source to each sub basin می‌توان فایل حاوی مختصات مربوط به خروجی‌های حوضه، منابع آب نقطه‌ای مثل چشمه‌ها یا محل ورود آب از حوضه‌های دیگر (Inlet of draining watershed) را وارد نمود. فرمت فایل‌ها می‌تواند txt یا dbf باشد.

در قسمت Watershed outlets(s) selection and definition محل خروجی حوضه انتخاب می‌شود و با این کار شکل حوضه ترسیم می‌شود.

در قسمت Calculation sub basin parameters پارامترهای مربوط به حوضه محاسبه می‌شود. با زدن دکمه Exit کلیه عملیات ذخیره و این پنجره بسته می‌شود. حال گزارش کامل مربوط به توپوگرافی حوضه و زیر حوضه‌ها در مسیر زیر موجود می‌باشد.

توصیف حوضه Watershed Reports /

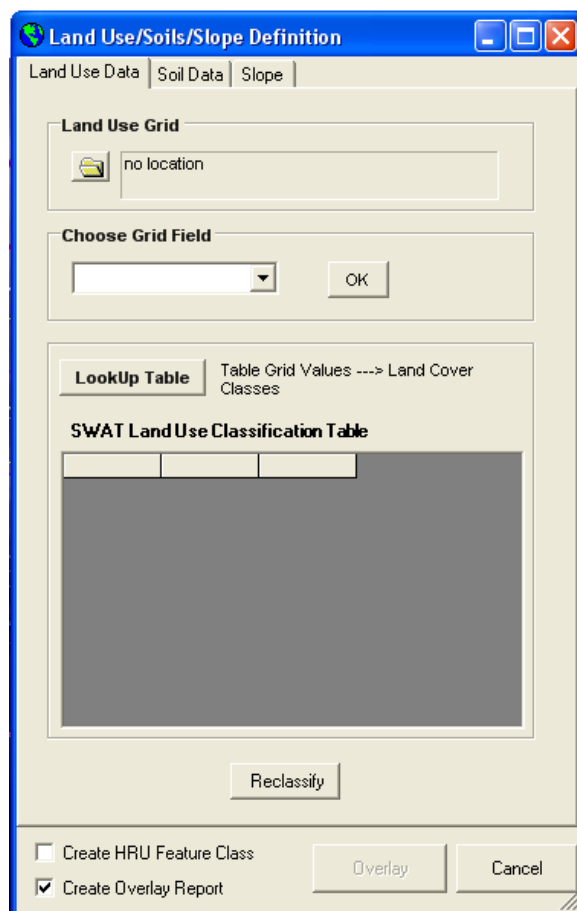
۳_ سربرگ بعدی در نوار ابزار سربرگ HRU Analysis است که خود شامل سه گزینه زیر می‌باشد:

۱. تعریف کاربری اراضی/خاک‌ها/شیب Land use/Soils/Slop Definition

۲. تعریف واحدهای عکس العمل هیدرولوژیکی (HRU Definition)

۳. گزارش‌های آنالیز واحدهای عکس العمل هیدرولوژیکی (HRU Analysis Reports)

بازدن گزینه اول پنجره‌ای به شکل زیر باز می‌شود.



شکل (۴-۶): پنجره مربوط به ورود اطلاعات کاربری اراضی در SWAT

در این پنجره سه سربرگ Land Use Data، Soil Data و Slope وجود دارد.

در سربرگ Land Use Data اطلاعات مربوط به کاربری اراضی وارد می‌شود. در این سربرگ در قسمت Land Use Grid نقشه مربوط به کاربری اراضی وارد می‌شود. در قسمت Choose Grid Field دو گزینه Value و Count وجود دارد. با توجه به فایل dbf یا txt که برای Land Use آماده شده و حاوی حروف چهار حرفی مشخص کننده نوع کاربری اراضی در حوضه است، یکی از دو گزینه Value یا Count انتخاب می‌شود. سپس گزینه Lookup Table فعال می‌شود و باید فایل dbf که حاوی اطلاعات مربوط به کاربری اراضی است وارد شود، آن‌گاه گزینه Reclassify فعال می‌شود.

۴_ در سربرگ Soil Data مشابه سربرگ Land Use Data اطلاعات مربوط به نقشه خاک حوضه

وارد می‌شود.

۵_ در سربرگ Slope Discartelization در قسمت Slope Discartelization دو گزینه زیر وجود دارد.

۱. Single slope

۲. Multiple slope

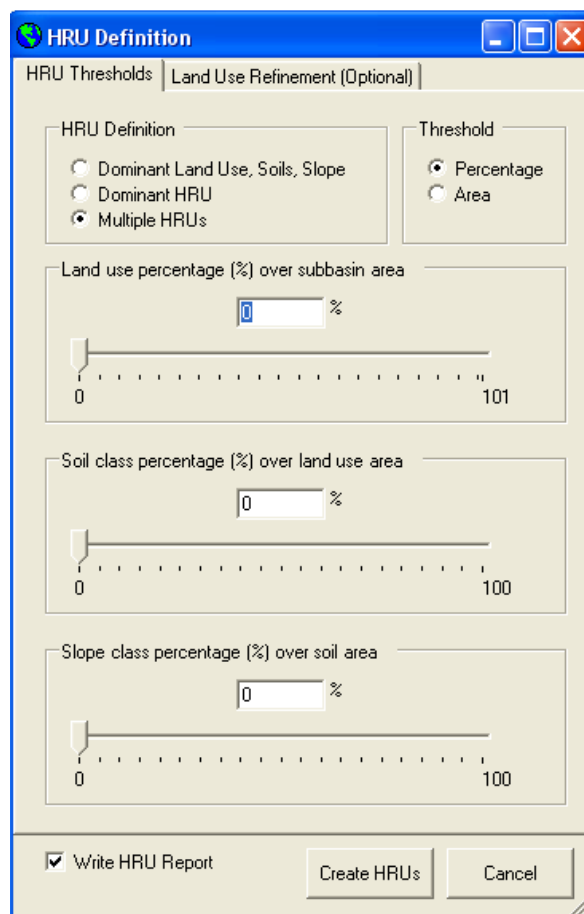
گزینه دوم وقتی استفاده می‌شود که شیب غیریکنواختی در منطقه موجود باشد. با فعال‌سازی آن

گزینه‌های موجود در Slope Classes فعال می‌شود و می‌توان دسته بندی شیب را وارد کرد سپس

گزینه Reclassify و در آخر گزینه Overlay زده می‌شود. با زدن گزینه Overlay پنجره Land

use/Soils/Slop Definition بسته می‌شود.

۶_ حال گزینه HRU Definition موجود در سربرگ HRU Analysis فعال می‌شود.



شکل (۵-۶): پنجره مربوط به اطلاعات HRU (HRU Definition) در مدل SWAT

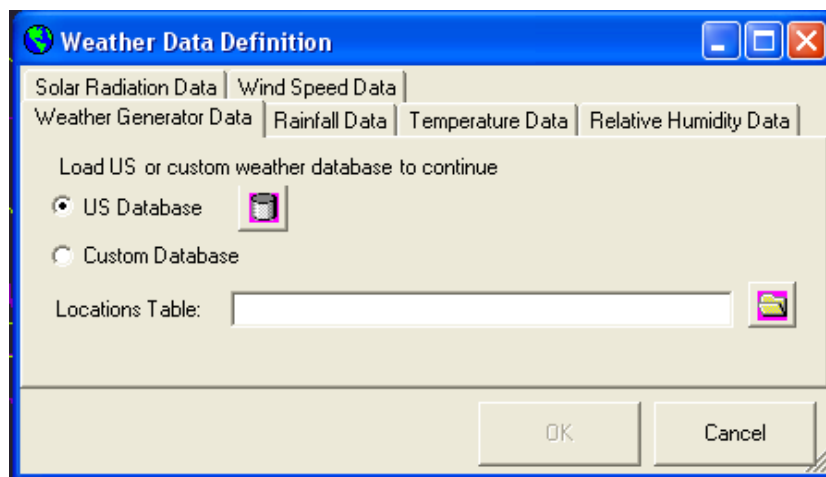
در سربرگ HRU Thresholds مشخص می‌شود که در هر HRU چه عاملی (خاک، کاربری اراضی و

یا شیب) و به چه مقدار (بر حسب درصد یا مساحت) غالب باشد. گزینه اول Landuse، Soils و شیب

غالب را در نظر می‌گیرد. گزینه دوم HRU غالب و در گزینه سوم کاربر می‌تواند برحسب درصد میزان پوشش خاک، کاربری اراضی و شیب در HRU را تعیین کند.

با زدن دکمه Create HRUs این پنجره بسته شده و HRU ها ساخته می‌شوند.

۷_ سربرگ چهارم در نوار ابزار SWAT سربرگ Write Input Tables می‌باشد. گزینه اول این منو Weather stations می‌باشد، با انتخاب آن پنجره‌ای به شکل ۶-۶ باز می‌شود.



شکل (۶-۶): پنجره مربوط به اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی در مدل SWAT

در این قسمت باید مختصات ایستگاه‌های باران‌سنجی و دماسنجی و فایل wgn که از قبل با فرمت dbf آماده شده‌اند را وارد نمود. با زدن دکمه ok این پنجره بسته می‌شود.

۸_ گزینه Write All در سربرگ Write Input Tables فعال شده است. این گزینه تمام جداول و اطلاعات را به بخش خروجی می‌فرستد و فایل‌های ورودی را چک می‌کند. البته در این منو می‌توان تک تک اطلاعات را بارگذاری کرد تا اگر خطایی باشد محل آن را پیدا کرد.

۹_ سربرگ بعدی در نوار ابزار Edit SWAT Input است. از طریق این سربرگ می‌توان روی داده‌هایی که از قبل وارد شده تغییراتی ایجاد نمود. از میان گزینه‌های این سربرگ گزینه watershed data / General Data را انتخاب می‌کنیم. با زدن دکمه Edit Values تمام گزینه فعال می‌شود. در گزینه PET Method روش محاسبه تبخیر و تعرق مربوط به نیاز آبی گیاه قابل تغییر است. با توجه به آمار و اطلاعاتی که در دسترس هست می‌توان روش مناسب را انتخاب کرد.

شکل (۶-۷): پنجره ویرایش پارامترهای عمومی حوضه در مدل SWAT

۱۰_ سربرگ بعدی نوار ابزار، SWAT Simulation می‌باشد با انتخاب گزینه Run SWAT پنجره شکل (۶-۸) باز می‌شود. در قسمت Period of Simulation تاریخ شروع و پایان شبیه‌سازی وارد می‌شود که معمولاً مقدار پیش‌فرض باقی می‌ماند.

در قسمت Printout Setting مشخص می‌شود که شبیه‌سازی‌ها بصورت روزانه، ماهانه و یا سالانه باشند. گزینه NYSKIP تعداد سال‌هایی که برای گرم شدن^{۲۰} مدل در نظر گرفته شده است وارد می‌شود. با زدن دکمه Setup SWAT Run و Run SWAT مدل اجرا شده و نتایج در گزینه Read SWAT Output منوی SWAT Simulation قابل مشاهده می‌باشند.

²⁰ Warm_up

Setup and Run SWAT Model Simulation

Period of Simulation
 Starting Date : 9/23/1998 Ending Date : 9/22/2009 ☐ Simulate Forecast Period

Rainfall Sub-Daily Timestep
 Timestep: [] Minutes

Rainfall Distribution
☒ Skewed normal
☐ Mixed exponential [1.3]

SWAT.exe Version
☒ 32-bit, debug ☐ 32-bit, release
☐ 64-bit, debug ☐ 64-bit, release
☐ Custom (swat2009User.exe)

Forecast Period
 Starting Date : [] Number of Simulations: []

Printout Settings
☐ Daily ☐ Yearly ☐ Print Vel./Depth Output ☐ Print Hourly Output
☒ Monthly NYSKIP : [0] ☐ Print Pesticide Output ☐ Print Soil Storage
☐ Print Water Quality Output ☐ Print Log Flow ☐ Route Headwaters
☐ Print Binary Output ☐ Print Soil Nutrient ☒ Limit HRU Output
☐ Print MGT Output ☐ Print Snow Output

Deposition File: ATM0.ATM

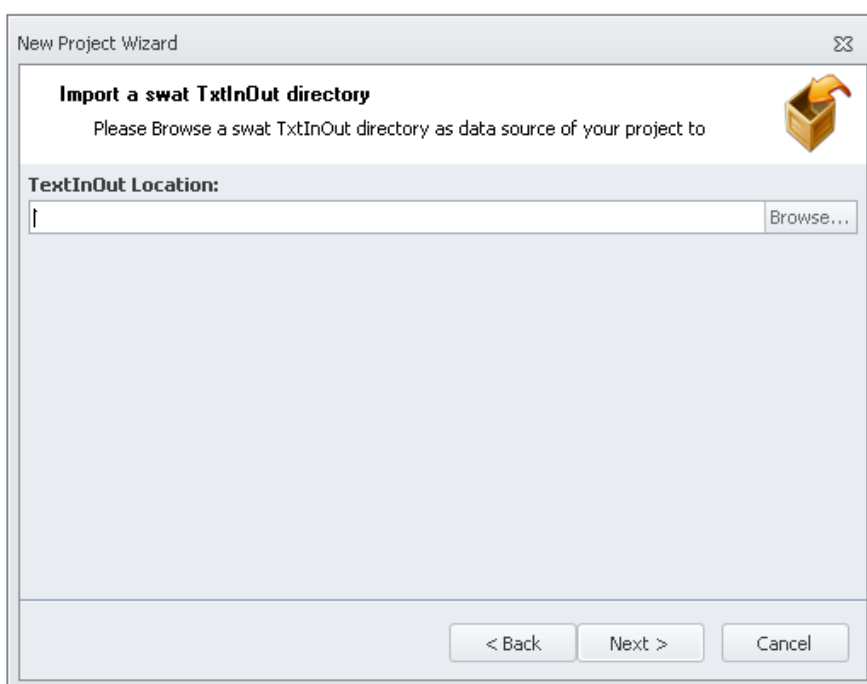
Setup SWAT Run Run SWAT Cancel

شکل (۶-۸): پنجره مربوط به بارگذاری و اجرای مدل SWAT

۲-۶- پیوست ۲: روش کار با مدل SWAT- CUP

برای آماده‌سازی یک پروژه در SWAT- CUP باید فایل TxtInOut را از مسیر فایل پروژه SWAT پیدا کرده و در پنجره شکل ۹-۶ بارگذاری کنیم. این فایل در فایلی که پروژه SWAT ساخته شده وجود دارد. برای مثال محل قرارگیری پروژه شیرین‌دره در زیر آورده شده است. با انتخاب گزینه Browse... وارد مسیر گفته شده می‌شویم و فایل TxtInOut را انتخاب می‌کنیم.

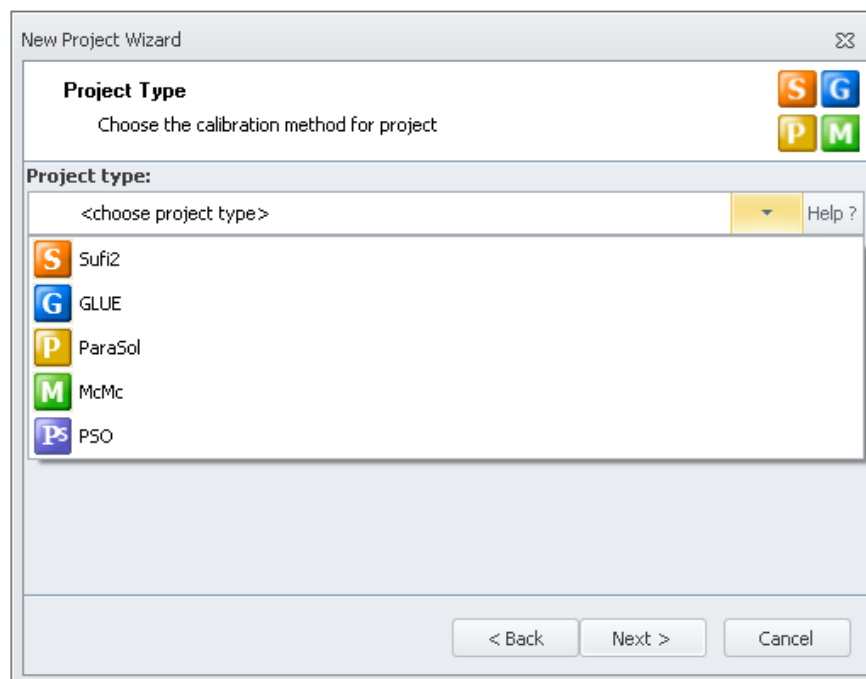
D:\proje shirindare\run swat\aban92\26 ABAN\Scenarios\Default



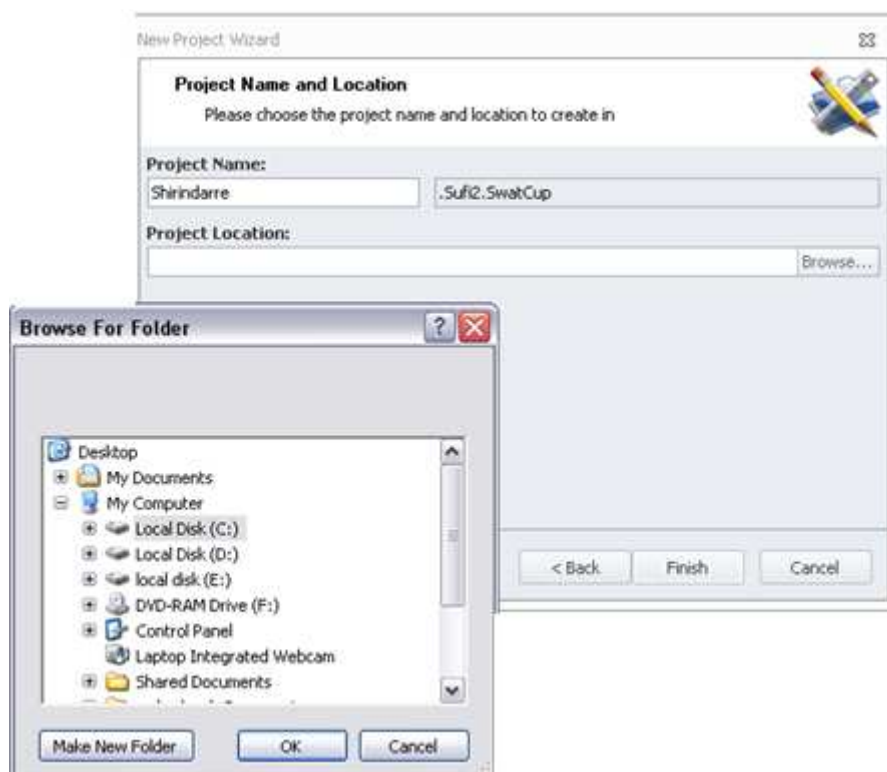
شکل (۹-۶): پنجره ساخت پروژه جدید در SWAT_CUP

در مرحله دوم باید نوع پروژه و محل ذخیره سازی پروژه مشخص گردد (شکل ۱۰-۶) و (شکل ۶-۶).

(۱۱).

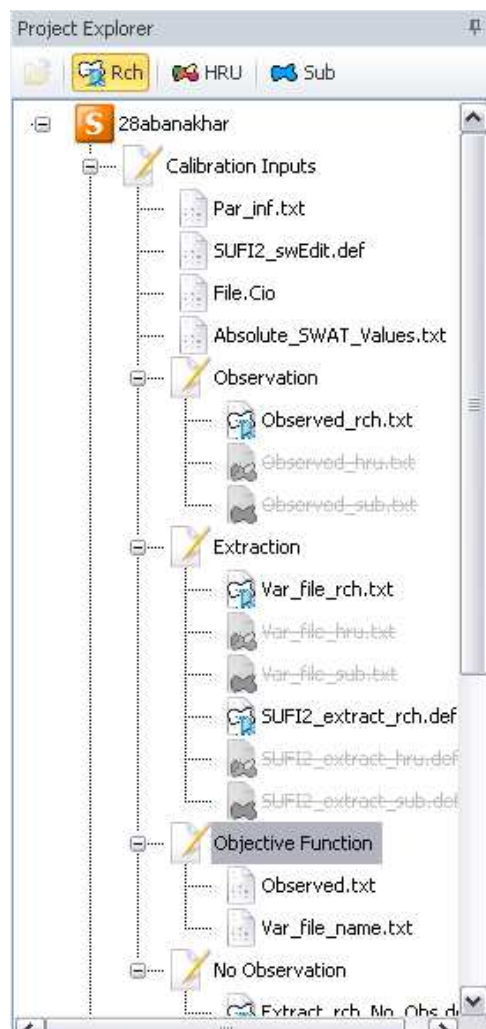


شکل (۶-۱۰): پنجره مربوط به انتخاب روش واسنجی در SWAT_CUP



شکل (۶-۱۱): پنجره مربوط به انتخاب محل ذخیره پروژه در SWAT_CUP

با زدن دکمه Finish پروژه باز می‌شود. حال باید فایل‌های موجود در پروژه، بر اساس آمار مشاهداتی موجود و خواسته ما از پروژه اصلاح گردند. این عملیات در پنجره Project Explorer انجام می‌شود.



شکل (۶-۱۲): صفحه Project Explorer در SWAT_CUP

در قسمت Par_inf.txt پارامترهایی که برای واسنجی انتخاب شده‌اند وارد می‌شود. در قسمت Observation داده‌های مشاهده شده وارد می‌شوند. در قسمت Extraction نام و مشخصات فایلی که باید اطلاعات آن استخراج شود وارد می‌شود. در قسمت Objective Function نوع تابع هدف و داده‌های واقعی مشاهده شده وارد می‌گردد.

برای اجرا و شروع واسنجی کافی است دکمه Calibrate که درنوار ابزار بالای نرم افزار قرار دارد

فشار داده و دکمه Execute all را بزنیم. واسنجی شروع می‌شود.

۳-۶- پیوست ۳: بانک اطلاعاتی خاک SWAT

SNAM	NLAYERS	HYDGRP	SOL_ZMX	ANION_EXCL	SOL_CRK	TEXTURE
KA111	1	D	25.4	0.5	0.5	LOAM
KA113	1	C	1000	0.5	0.5	SANDY- LOAM
KA121	1	C	25.4	0.5	0.5	SANDY- LOAM
KA122	1	C	1000	0.5	0.5	SANDY- LOAM
KA123	1	C	1000	0.5	0.5	SANDY- LOAM
KA131	1	D	25.4	0.5	0.5	LOAM
KA112	1	C	1000	0.5	0.5	LOAM
KA132	1	C	1000	0.5	0.5	LOAM
KA133	1	C	1000	0.5	0.5	LOAM
KA141	1	D	25.4	0.5	0.5	LOAM
KA142	1	C	25.4	0.5	0.5	LOAM
KA143	2	C	800	0.5	0.5	LOAM
KA151	1	D	1000	0.5	0.5	SANDY- LOAM
KA161	1	C	25.4	0.5	0.5	LOAM
KA162	2	C	900	0.5	0.5	SILTY- LOAM
KA171	1	C	25.4	0.5	0.5	LOAM
KA181	1	C	25.4	0.5	0.5	LOAM
KA211	1	D	25.4	0.5	0.5	LOAM
KA212	1	D	1000	0.5	0.5	LOAM
KA213	2	D	450	0.5	0.5	LOAM
KA221	1	D	25.4	0.5	0.5	LOAM
KA222	1	C	1000	0.5	0.5	SANDY- LOAM
KA223	1	C	1000	0.5	0.5	SANDY- LOAM
KA231	1	D	1000	0.5	0.5	SANDY- LOAM
KA232	2	C	720	0.5	0.5	SILTY- LOAM
KA241	1	D	25.4	0.5	0.5	LOAM
KA242	1	C	1000	0.5	0.5	LOAM
KA251	1	C	1000	0.5	0.5	LOAM
KA261	1	D	1000	0.5	0.5	SANDY- LOAM
KA262	1	C	1000	0.5	0.5	LOAM
KA411	3	B	1150	0.5	0.5	SANDY- LOAM
KA511	3	B	1050	0.5	0.5	SILTY- LOAM
KA811	3	B	950	0.5	0.5	LOAM
KAX11	1	A	25.4	0.5	0.5	WATER
SNAM	SOL_AWC1	SOL_K1	SOL_CBN1	CLAY1	SILT1	SAND1
KA111	0.25	240	1	24	38	38
KA113	0.196	600	0.428	12	24	64

KA121	0.25	240	0.6	22	22	56
KA122	0.294	1000	0.589	22	22	56
KA123	0.2352	1100	0.512	12	36	52
KA131	0.25	240	1	24	38	38
KA112	0.49	12	0.693	12	36	52
KA132	0.98	770	1.007	12	40	48
KA133	0.392	800	1.412	16	46	38
KA141	0.25	240	1	24	38	38
KA142	0.25	240	1	24	38	38
KA143	0.392	777	1.863	12	42	46
KA151	0.294	1500	0.509	14	34	52
KA161	0.25	240	1	24	38	38
KA162	0.392	1876	0.913	18	52	30
KA171	0.25	240	1	24	38	38
KA181	0.25	240	1	24	38	38
KA211	0.25	240	1	24	38	38
KA212	0.294	589	0.849	22	36	42
KA213	0.196	912	0.549	24	38	38
KA221	0.25	240	1	24	38	38
KA222	0.2352	1444	0.493	14	28	45
KA223	0.2352	1300	0.413	12	14	74
KA231	0.294	1333	0.386	12	22	66
KA232	0.3528	1000	0.719	26	54	20
KA241	0.25	240	1	24	38	38
KA242	0.392	876	0.496	24	38	38
KA251	0.294	843	0.886	22	30	48
KA261	0.3332	1700	1.036	10	30	60
KA262	0.2156	678	0.245	18	34	48
KA411	0.294	1200	0.513	10	16	72
KA511	0.392	1365	1.561	26	58	16
KA811	0.254	578	0.335	14	48	38
KAX11	0.25	99	0.05	0	0	0
SNAM	SOL_EC1	SOL_Z1	SOL_BD1	ROCK1	SOL_ALB1	
KA111	1.1	25.4	1.2	0	0.23	
KA113	0.73	100	1.4	0.15	0.01	
KA121	1.1	25.4	1.2	0	0.23	
KA122	0.7	150	1.4	0.51	0.03	
KA123	0.87	120	1.4	0.34	0.01	
KA131	1.1	25.4	1.2	0	0.23	
KA112	0.7	250	1.4	1.05	0.0587	
KA132	0.75	500	1.4	0.34	0.01	
KA133	1.3	200	1.4	0.48	0.01	
KA141	1	25.4	1.2	0	0.23	
KA142	1.1	25.4	1.2	0	0.23	
KA143	1.67	200	1.4	0.54	0.05	
KA151	2.65	150	1.4	1.16	0.01	

KA161	1.1	25.4	1.2	0	0.23
KA162	0.61	200	1.4	0.52	0.11
KA171	1.1	25.4	1.2	0	0.23
KA181	1.1	25.4	1.2	0	0.23
KA211	1.1	25.4	1.2	0	0.23
KA212	1	150	1.4	0.17	0.034
KA213	1.16	100	1.4	0.43	0.01
KA221	1.1	25.4	1.2	0	0.23
KA222	0.8	120	1.4	0.26	0.01
KA223	0.72	120	1.4	0.38	0.01
KA231	1.23	150	1.4	0.5	0.02
KA232	1.14	180	1.4	0.14	0.01
KA241	1.1	25.4	1.2	0	0.23
KA242	1.13	200	1.4	0.25	0.01
KA251	1.11	150	1.4	0.15	0.01
KA261	1.25	170	1.4	0.37	0.02
KA262	1.61	110	1.4	0.22	0.03
KA411	1.3	150	1.4	0.77	0.03
KA511	3.78	200	1.4	0.08	0.01
KA811	0.95	150	1.4	0.04	0.01
KAX11	0	25.4	1.72	0	0.23

۴-۶- پیوست ۴: مشخصات ایستگاه سینوپتیک بجنورد

مشخصات ایستگاه سینوپتیک بجنورد							
STATION	WLATITUDE	WLONGITUDE	WELEV	RAIN_YRS	TMPMX1	TMPMX2	TMPMX3
Bojnurd	37.47000122	57.31999969	1091	23	6.199999809	7.699999809	12.10000038
TMPMX4	TMPMX5	TMPMX6	TMPMX7	TMPMX8	TMPMX9	TMPMX10	TMPMX11
19.70000076	24.5	29.79999924	32.29999924	31.89999962	27.89999962	21	14.19999981
TMPMX12	TMPMN1	TMPMN2	TMPMN3	TMPMN4	TMPMN5	TMPMN6	TMPMN7
8.399999619	-3.400000095	-2.700000048	0.899999976	6.599999905	10.80000019	15.19999981	17.89999962
TMPMN8	TMPMN9	TMPMN10	TMPMN11	TMPMN12	TMPSTDMX1	TMPSTDMX2	TMPSTDMX3
16.89999962	12.60000038	6.599999905	2.599999905	-1.600000024	4.900000095	5.5	6.099999905
TMPSTDMX4	TMPSTDMX5	TMPSTDMX6	TMPSTDMX7	TMPSTDMX8	TMPSTDMX9	TMPSTDMX10	TMPSTDMX11
5.900000095	5.199999809	4.199999809	3.400000095	3.400000095	4	4.800000191	5.199999809
TMPSTDMX12	TMPSTDMN1	TMPSTDMN2	TMPSTDMN3	TMPSTDMN4	TMPSTDMN5	TMPSTDMN6	TMPSTDMN7
5	4.5	4.400000095	3.799999952	3.599999905	3.200000048	2.5	2.200000048
TMPSTDMN8	TMPSTDMN9	TMPSTDMN10	TMPSTDMN11	TMPSTDMN12	PCPMM1	PCPMM2	PCPMM3
2.799999952	3.599999905	3.900000095	4	4.400000095	26.5	26.29999924	42.09999847
PCPMM4	PCPMM5	PCPMM6	PCPMM7	PCPMM8	PCPMM9	PCPMM10	PCPMM11
38.70000076	26.60000038	8	9.5	6.599999905	7.599999905	13.10000038	23.29999924
PCPMM12	PCPSTD1	PCPSTD2	PCPSTD3	PCPSTD4	PCPSTD5	PCPSTD6	PCPSTD7
24.79999924	3.950000048	3.150000095	4.420000076	5.849999905	5.170000076	4.840000153	6.840000153
PCPSTD8	PCPSTD9	PCPSTD10	PCPSTD11	PCPSTD12	PCPSKW1	PCPSKW2	PCPSKW3
8.090000153	11.02999973	3.549999952	4.190000057	4.010000229	3.390000105	1.580000043	1.899999976
PCPSKW4	PCPSKW5	PCPSKW6	PCPSKW7	PCPSKW8	PCPSKW9	PCPSKW10	PCPSKW11

1.870000005	1.720000029	2.5	2.880000114	3.309999943	3.990000001	1.5	1.399999976
PCPSKW12	PR_W1_1	PR_W1_2	PR_W1_3	PR_W1_4	PR_W1_5	PR_W1_6	PR_W1_7
3.200000048	0.219999999	0.25999999	0.230000004	0.200000003	0.150000006	0.050000001	0.050000001
PR_W1_8	PR_W1_9	PR_W1_10	PR_W1_11	PR_W1_12	PR_W2_1	PR_W2_2	PR_W2_3
0.039999999	0.039999999	0.100000001	0.150000006	0.200000003	0.449999988	0.389999986	0.550000012
PR_W2_4	PR_W2_5	PR_W2_6	PR_W2_7	PR_W2_8	PR_W2_9	PR_W2_10	PR_W2_11
0.449999988	0.370000005	0.349999994	0.289999992	0.230000004	0.25999999	0.330000013	0.409999996
PR_W2_12	PCPD1	PCPD2	PCPD3	PCPD4	PCPD5	PCPD6	PCPD7
0.409999996	8.800000191	8.5	10.39999962	7.900000095	6	2.099999905	2.099999905
PCPD8	PCPD9	PCPD10	PCPD11	PCPD12	RAINHHMX1	RAINHHMX2	RAINHHMX3
1.299999952	1.700000048	4.099999905	6	7.900000095	2.75	1.960000038	2.339999914
RAINHHMX4	RAINHHMX5	RAINHHMX6	RAINHHMX7	RAINHHMX8	RAINHHMX9	RAINHHMX10	RAINHHMX11
2.170000076	2.079999924	1.340000033	2.5	4.519999981	3.75	1.25	2.329999924
RAINHHMX12	SOLARAV1	SOLARAV2	SOLARAV3	SOLARAV4	SOLARAV5	SOLARAV6	SOLARAV7
2.25	0	0	0	0	0	0	0
SOLARAV8	SOLARAV9	SOLARAV10	SOLARAV11	SOLARAV12	DEWPT1	DEWPT2	DEWPT3
0	0	0	0	0	0	0	0
DEWPT4	DEWPT5	DEWPT6	DEWPT7	DEWPT8	DEWPT9	DEWPT10	DEWPT11
0	0	0	0	0	0	0	0
DEWPT12	WNDVAV1	WNDVAV2	WNDVAV3	WNDVAV4	WNDVAV5	WNDVAV6	WNDVAV7
0	3.130000114	4.039999962	5.010000229	5.159999847	5.5	6.769999981	7.730000019
WNDVAV8	WNDVAV9	WNDVAV10	WNDVAV11	WNDVAV12			
6.349999905	5.010000229	3.619999886	2.880000114	2.690000057			

منابع

۷_ منابع

۱. آبابایی ب و سهرابی ت. (۱۳۸۸)، "ارزیابی عملکرد مدل SWAT در حوضه آبریز زاینده رود"، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک جلد شانزدهم، شماره ۳، ص ۴۱.
۲. اخوان س، عابدی کوپایی ج، موسوی س.ف، عباسپور ک، افیونی م، اسلامیان س.س. (۱۳۸۹)، " تخمین "آب آبی" و "آب سبز" با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبریز همدان- بهار"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال ۱۴، شماره ۵۳، ص ۹.
۳. اخوان س، عابدی کوپایی ج، عباسپور ک، یعقوبی ب، معین ع. (۲۰۱۰)، "تخمین مؤلفه‌های منابع آب حوضه آبریز همدان- بهار با استفاده از مدل SWAT"، مجموعه مقالات نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، ص ۹۶.
۴. باستانی اله آبادی آ، تلوری ع، حسینی م. (۱۳۹۱)، " کاربرد مدل SWAT2009 در شبیه‌سازی رودخانه"، نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
۵. بهرامی م، کاویان ع، روحانی ح. (۱۳۹۰)، " معرفی مدل نیمه فیزیکی SWAT در شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی(مروری بر تحقیقات انجام شده)"، مجموعه مقالات هفتمین ملی علوم و مهندسی آبریزداری، گروه مهندسی مرتع و آبریزداری دانشکده منابع طبیعی دانشگاه اصفهان.
۶. پورعبدالله م و تجریشی م. (۱۳۸۴)، " مدل‌سازی فرسایش حوضه‌ای به کمک مدل‌های RUSLE و SWAT (منطقه مورد مطالعه: زیرحوضه امامه)".
۷. جباری آ، حسینی م ، خسروجردی ا. (۱۳۹۱)، " شبیه‌سازی رواناب حوضه آبریز سنجابی با استفاده از مدل SWAT و GIS"، نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهیدچمران، اهواز.

۸. جیرانی ف، مرید س، مریدی ع، (۱۳۹۰)، " اثر دقت مکانی نقشه رقومی ارتفاع در واسنجی و برآورد رواناب و رسوب با استفاده از مدل SWAT-CUP"، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۱۸، شماره ۱۴، ص ۸۱.
۹. حبیبی ح و اخوان س. (۱۳۹۱)، "واسنجی خودکار مدل هیدرولوژیکی SWAT با استفاده از روش فراکاوشی PSO"، نهمین کنگره مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.
۱۰. حسینی م، بیات ب، زارع آ. (۱۳۹۲)، "شبیه‌سازی بیلان آبی حوضه آبریز قره‌سو استان کرمانشاه"، دومین کنفرانس بین‌المللی مدلسازی گیاه، آب، خاک و هوا، کرمان.
۱۱. رستمیان ر، موسوی س.ف، حیدرپور م، افیونی م، عباسپور ک. (۱۳۸۷)، "کاربرد مدل SWAT2000 در تخمین رواناب و رسوب حوضه بهشت آباد از زیرحوضه‌های کارون شمالی"، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، شماره ۴۶، ص ۵۱۷.
۱۲. زلکی بدیلی ن، صیاد غ.ع، حسینی س.ع، حمادی ک. (۱۳۹۱)، "واسنجی و عدم قطعیت مدل SWAT با استفاده از الگوریتم SUFI-2"، نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه دانشگاه شهید چمران اهواز.
۱۳. سعادت‌تی ح، غلامی ش، شریفی ف، ایوب‌زاده س.ع. (۱۳۸۵)، " بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی در رواناب سطحی مدل شبیه‌سازی"، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۹، شماره ۲، ص ۳۰۱.
۱۴. سعادت‌تی ح. (۱۳۸۱)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد "بررسی اثرات کاربری اراضی روی شبیه‌سازی دبی روزانه با استفاده از مدل SWAT"، دانشگاه تربیت مدرس.
۱۵. سعیدی ر و زهرایی ب. (۱۳۹۲)، " شبیه‌سازی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب ورودی به سد پیشین"، هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.

۱۶. شفیعی م، انصاری ح، داوری ک. (۱۳۸۹)، "مدل سازی هیدرولوژی حوضه آبریز با استفاده از ArcSWAT"، همایش ملی ژئوماتیک ۸۹.
۱۷. شفاعی بجستان م. (۱۳۸۹)، "مبانی و کاربرد مدل های فیزیکی-هیدرولیکی"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
۱۸. عباس پور ک و اخوان س. (۲۰۱۲)، کارگاه آموزشی مدل SWAT و نرم افزار SWAT_CUP، انجمن علمی سیستم های سطوح آبخیز باران، مرکز تحقیقات کشاورزی منابع طبیعی خراسان رضوی، مشهد، اردیبهشت ۱۳۹۱
۱۹. علوی نیا م. (۱۳۸۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "ارزیابی قابلیت استفاده از مدل HSPF در برآورد رسوب و مقایسه آن با مدل SWAT مطالعه موردی حوضه آبریز آبرو"، دانشگاه تربیت مدرس.
۲۰. علوی نیا م و نصیری صالح ف. (۱۳۸۹)، "تهیه نقشه CN خاک بر اساس نتایج شبیه سازی رواناب با استفاده از یک مدل نیمه توزیعی"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد.
۲۱. علیزاده ا، ایزدی ع، داوری ک، ضیایی ع، اخوان س، حمیدی س. (۱۳۹۲)، "برآورد تبخیر-تعرق واقعی در مقیاس سال - حوضه با استفاده از SWAT"، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، جلد ۷، شماره ۲، ص ۲۴۳.
۲۲. عمانی ن. (۱۳۸۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "مدل سازی تخمین پتانسیل رسوب ورودی به مخازن سدها به کمک تصاویر ماهواره ای و مدل SWAT"، دانشگاه تربیت مدرس.
۲۳. غلامی ش. (۱۳۷۹)، "مدل شبیه سازی رسوب روزانه با استفاده از مدل توزیعی SWAT در حوضه های کوهستانی (حوضه آبریز معرف امامه)"، دومین همایش ملی فرسایش و رسوب.

۲۴. مجردح. ا. (۱۳۹۰). "معرفی مدل SWAT"، مجموعه مقالات هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبریزداری، گروه مهندسی مرتع و آبریزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲۵. مجردح. ا. و بهره‌مندع. (۱۳۹۰)، "معرفی روش‌های شبیه‌سازی فرسایش و رسوب در مدل‌های SWAT و WETSPA"، مجموعه مقالات هفتمین همایش ملی علوم و مهندسی آبریزداری، گروه مهندسی مرتع و آبریزداری دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۲۶. مطالعات توجیهی آبخیزداری و منابع طبیعی تجدید شونده حوزه آبخیز شیرین دره، (۱۳۸۹)، وزارت جهادکشاورزی سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری کشور، دفتر مهندسی و ارزیابی طرحها.

۲۷. نظری م، نصیری صالح ف، چاوشیان س. ع، علوی‌نیا م. (۱۳۹۰)، "شبیه‌سازی رواناب بر مبنای عدم قطعیت پارامترهای مدل SWAT با استفاده از الگوریتم تطبیقی ترتیبی عدم قطعیت"، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان

۲۸. نیکودل م، فرامرزی م، سلطانی کوپایی س. (۱۳۹۰) "شبیه‌سازی اثرات هیدرولوژیکی مدیریت منابع آب در حوضه زاینده‌رود با استفاده از مدل SWAT"، پنجمین کنفرانس سراسری آبریزداری و مدیریت منابع آب و خاک، کرمان

29. Abbaspour K.C, Yang J, Maximov I, Siber R, Bogner K, Mieleitner J, Zobrist J, Srinivasan R. (2007), "Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT", **J. of Hydrology.**, 333, PP 413.
30. Abbaspour K. (2009), "SWAT-CUP2; SWAT Calibration and Uncertainty Programs user manual".
31. Alansi A.W., Amin. M., Abdul Halim, Shafri. G and Aimrun W. (2009), "Validation of SWAT model for stream flow simulation and forecasting in Upper Bernam humid tropical river basin", Malaysia, **J. of Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.**, 6, PP 7581.

32. Akhavan S, Mousavi S. F, Abedi-Koupai J, Abbaspour K. C. (2010), "Application of SWAT model to investigate nitrate leaching in Hamadan–Bahar Watershed”, **J. of AGEE**, PP 3737.
33. Arabi M, Govindaraju R. S, Hantush M. M, Engel B. A. (2006b), "Role of watershed subdivision on modeling the effectiveness of best management practices with SWAT", **J. of American Water Resour. Assoc.**, 42(2), PP 513.
34. Arnold J. G, Srinivasan R, Ramanarayanan T.S, Di Luzio M. (1999b), "Water resources of the Texas gulf basin", **J. of Water Sci. Tech.**, 39(3): P 121.
35. Arnold J.G., et al. (2011), “Soil and Water Assessment Tool Input/ Output File Documentation Version 2009”.
36. Behera S. and Panda R. K. (2006), "Evaluation of management alternatives for an agricultural watershed in a su-humid subtropical region using a physical process model", **J. of Agric. Ecosys. Environ.**, 113(1-4), PP 62.
37. Benaman, J. and Shoemaker C. A. (2004), "Methodology for analyzing ranges of uncertain model parameters and their impact on total maximum daily load processes", **J. of Environ. Eng.**, 130(6), PP 648.
38. Birhanu B. Z. (2005), M.Sc Thesis, “Application of SWAT model in simulating the available water resources in Pangani river basin upstream of NYM reservoir” A case study of DD catchment, University of Dar es Sallam, Tanzania.
39. Cao W., Bowden W. B, Davie T, Fenemor A. (2006), "Multi-variable and multi-site calibration and validation of SWAT in a large mountainous catchment with high spatial variability", **J. of Hydrol. Proc.**, 20(5), PP 1057.
40. Chaplot V. (2005), "Impact of DEM mesh size and soil map scale on SWAT runoff, sediment, and NO₃-N loads predictions", **J. of Hydrol.**, 312(1-4), PP 207.
41. Chu T. W. and Shirmohammadi A. (2004), "Evaluation of the SWAT model's hydrology component in the Piedmont physiographic region of Maryland", **J. of Trans. ASAE.**, 47(4), PP 1057.
42. Chu T.W, Shirmohammadi A, Montas H, Sadeghi A. (2004), "Evaluation of the SWAT model's sediment and nutrient components in the piedmont physiographic region of Maryland", **J. of Water Resour. Res.**, 13(2), PP 303.

43. Coffey M. E, Workman S.R, Taraba J.L, Fogle A.W, (2004), "Statistical procedures for evaluating daily and monthly hydrologic model predictions." , **J. of Trans. ASAE.**, 47(1), PP 59.
44. Di Luzio M, Srinivasan R, Arnold J.G. (2002), "Integration of watershed tools and SWAT model into BASINS", **J. of American Water Resour, Assoc.**, 38(4), PP 1127.
45. Faramarzi M, Abbaspour K. C, Schulin R, (2009), "Modelling blue and green water resources availability in Iran", **J. of Hydrol. Proc.**, 23, PP 486.
46. FitzHugh T. W and Mackay D. S, (2000)," Impacts of input parameter spatial aggregation on an agricultural nonpoint-source pollution model", **J. of Hydro.**, 236 (1-2), pp 35.
47. Gassman W.P, Reyes M.R, Green C.H, Arnold J. G. (2005), "SWAT peer-reviewed literature", A review, Proceedings of the 3rd International SWAT conference, Zurich.
48. Gassman P. W, Reyes M. R, Green C.H, Arnold J.G. (2007), "The Soil and Water Assessment Tools: historical development, application, and future Research direction invited review series", **J. of American Society of Agric. Biologic. Engin.**, ISSN0001-2351 50 (4), PP 1211.
49. Geza M. and Cary J. MC. (2007), "Effects of soil data resolution on SWAT model stream flow and water quality predictions", **J. of Envir. Manage.**, 12, PP 321.
50. Govender M. and Everson C. S. (2005), "Modeling streamflow from two small South African experimental catchments using the SWAT model", **J. of Hydrol. Process.**, 19(3), PP 683.
51. Jha M., Gassman P. W, Arnold J.G. (2007), "Water quality modeling for the Raccoon River watershed using SWAT2000", **J. of Trans. ASABE.**, 50(2), PP 479.
52. Kannan N, White S. M, Worral F, Whelan M.J. (2006), "Pesticide modeling for a small catchment using SWAT-2000. J. Environ", **J. of Sci. Health, Part B.**, 41(7), PP 1049.
53. Lenhart T, Eckhard K, Fohrer N, Frede H. G. (2002), "Comparison of two different approaches of sensitivity analysis", **J. of Phys. Chem. Earth .**, 27(9-10), PP 645.

54. Moriasi D. N, Arnold J. G, Van Liew M. W, Bingner R. L, Harmel R. D, Veith T. L (2007), "Model evaluation guideline for systematic quantification of accuracy in watershed simulation", **J. of American Society of Agric. Biologic.Engin. ISSN 0001-2351 Transactions of the ASABE.**, 50(3), PP 885.
55. Neitsch S. L, Arnold J.G, Kiniry J.R, Williams J. R, King K.W. (2005), "Soil and water assessment tool: Theoretical documentation", Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, PP 494.
56. Ramanarayanan T, Narasimhan B, Srinivasan R. (2005), "Characterization of fate and transport of isoxaflutole, a soil-applied corn herbicide, in surface water using a watershed model", **J. of Agric. Food Chem.**, 53(22), PP 8848.
57. Saleh A, Arnold J.G, Gassman P. W, Hauck L.W, Rosenthal W.D, Williams J. R, McFarland A. M. S. (2000), "Application of SWAT for the upper North Bosque River watershed", **J. of Trans. ASAE.**, 43(5), PP 1077.
58. Saleh A, Du B, Trans E. (2004), "valuation of SWAT and HSPF within BASINS program for the upper North Bosque River watershed in central Texas", **J. of ASAE.**, 47(4), PP 1039.
59. Santhi C, Du B, Trans E. (2001a), "Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources", **J. of American Water Resource. Assoc.**, 37(5), PP 1169.
60. Shirmohammadi A, Chaubey I, Harmel R.D, Bosch D.D, Muñoz-Carpena R, Dharmasri C, Sexton A, Arabi M, Wolfe M.L, Frankenberger J, Graff C, Sohrabi T. M. (2006), "Uncertainty in TMDL models", **J. of Trans. ASABE.**, 49(4), PP 1033.
61. Srinivasan R, Ramanarayanan T. S, Arnold J.G, Bednarz S. T. (1998), " Large-area hydrologic modeling and assessment: Part II. Model application", **J. of American Water Resour. Assoc.**, 34(1), PP 91.
62. Stewart G. R, Munster C. L, Vietor D. M, Arnold J.G, McFarland A. M. S, White R, Provin T. (2006), "Simulating water quality improvements in the upper North Bosque River watershed due to phosphorus export through turfgrass sod.", **J. of Trans. ASABE.**, 49(2), PP 357.

63. Tripathi M. P, Panda R. K, Raghuwanshi N. S. (2003), "Identification and prioritisation of critical sub_watersheds for soil conservation management using the SWAT model", **J. of Biosys. Eng.**, 85(3), PP 365.
64. Tolson B. A and Shoemaker C. A, (2007), "Cannonsville reservoir watershed SWAT2000 model development, calibration, and validation", **Hydrol.** 337 (1-2), pp68.
65. Van Liew M. W, and Garbrecht J. (2003), "Hydrologic simulation of the Little Washita River experimental watershed using SWAT", **J. of American Water Resour. Assoc.**, 39(2), PP 413.
66. Williams J.R, Jons C, Dyke P.T. (1984), "A modeling approach to determining the relationship between erosion and soil productivity", **J. of Trans. ASAE.**, 27(1).
67. Wonkim N, Chung M, Seungwon Y, Arnold J. G. (2008), "Development and application of the integrated SWAT –MODFLOW model", **J. of Hydrol.**, 356, PP 1.
68. Yang O, Meng F.R, Zhao Z, Chow T.L, Benoy G, Rees H. W, Bourque A. (2009), "Assessing the impacts of flow diversion terraces on stream water and sediment yields at a watershed level using SWAT model", **J. of Agric, Ecosys. Envir.**, 132, PP 23.

Abstract

Simulation models have special position in science in last decades. This models work as a management tools. Understanding of effect factors in hydrologic watershed process and analysis of data in short period are the capabilities of this models. In this research we used the SWAT model for simulation of runoff and sediment transport in Shirin Darreh watershed. Study of long period effect in watershed is the one of the model application roles. This model needs more data so that error and uncertainty is more. For this reason it needs calibration and uncertainty analysis. For above reasons we used the SWAT_ CUP and SUFI_2 algorithm. For calibration and validation analyses, we use runoff of Ghatlish and Ghalebabar hydrometry station data's. The Results of this study showed that SWAT model simulated runoff in Ghatlish station properly. In this simulation R^2 was 62% and NS was 55%. In calibration of model R^2 was 52%. For simulation sediment transport R^2 was 37% and NS was 37% also and it was not good results. For sediment study it needs more data. Final results of this study showed that for achieving the better results we need long period data. Availability of long time data can helps the managers for controlling the flood and drought with proper models and they can protect the watershed.

Keyword: SWAT, Shirin Darreh, Runoff, Sediment and Modeling.



Shahrood University of Technology

Faculty Agriculture

Hydrology modeling of Shirindarreh watershed with SWAT model

Mohadese Izadi

Supervisor(s):

Dr. Khalil Azhdary

Dr. Samira Akhavan

Dr. Samad Emamgholizadeh

Date: February 2014