بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب

عنوان پایان نامه:

ارزیابی استفاده از مدل ترکیبی SWAT و MODFLOW در بهبود شرایط مرزی در شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی (مطالعه موردی: آبخوان دشت سیلاخور در استان لرستان)

نام دانشجو:

محمد حسین کوچک زاده

استاد راهنما:

فرزین نصیری صالح

دی‌ماه ۹۱

چکیده

از مهمترین منابع عدم قطعیت در شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی ورودی‌های مرتبط با شرایط مرزی می-باشد. این شرایط مرزی شامل چاهها، رودخانه‌ها، زهکش‌ها، تغذیه، تبخیر و تعرق و مرزهای محدوده مدلسازی می‌باشند. اطلاعات مربوط به چاهها، رودخانه‌ها و زهکش‌ها برای یک منطقه عموماً در دسترس بوده و می‌توانند با دقت مناسبی برای مدل تعریف گردند. اما عدم وجود اطلاعات سایر شرایط مرزی از جمله مقادیر تغذیه و تبخیر و تعرق در منطقه، سبب کاهش کارایی مدل‌های آب زیر زمینی می‌شود. در این تحقیق با کاربرد نتایج شبیه سازی آب سطحی با استفاده از یک مدل هیدرولوژیکی، عدم قطعیت‌های مرتبط با مقادیر تغذیه، تبخیر و تعرق، نحوه توزیع آنها در منطقه تا حد امکان کاهش یافته است. با توجه به کالیبراسیون و صحت سنجی مدل آب سطحی در برآورد رواناب حوضه می‌توان فرض کرد که این مدل در برآورد مقادیر تغذیه و تبخیر و تعرق و نحوه توزیع آنها در منطقه نیز درست عمل می‌کند. بنابراین تعیین این مقادیر از روند کالیبراسیون مدل آب زیرزمینی حذف می‌شود.

در این تحقیق از مدل آب سطحیSWAT که مدلی نیمه‌توزیعی و فیزیک محور است برای شبیه‌سازی رواناب حوضه آبریز دشت سیلاخور و تعیین مقادیر تبخیر و تعرق و تغذیه استفاده شد. کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل SWAT با استفاده از آمار دو ایستگاه هیدرومتری تیره دورود و سیلاخور انجام شد. از آمار چهار سال ۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵ برای کالیبراسیون و آمار چهار سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۰۹ برای صحت‌سنجی مدل استفاده گردید. ضرائب همبستگی (R^2) در دوره کالیبراسیون برای دو ایستگاه سیلاخور و تیره دورود به ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۷۷ و برای دوره صحت‌سنجی ۰/۵۳ و ۰/۷ حاصل شد که نشان از انطباق مناسب مدل بر منطقه داشت.

برای شبیه سازی آبخوان دشت سیلاخور از مدل عددی MODFLOW که فیزیک محور است، استفاده شد. با توجه به دوره همپوشانی برای دو مدل SWAT و MODFLOW، از ۹ ماه نخست سال ۱۳۸۸ برای مدلسازی آبخوان استفاده گردید. با استفاده از نتایج حاصل از مدل SWAT برای مقادیر تغذیه و تبخیر و تعرق و نحوه توزیع آنها در منطقه برای دوره مدلسازی مقادیر این دو کمیت از روند کالیبراسیون مدل آب زیرزمینی حذف و مدل کالیبره شد. شاخص‌های میانگین خطای مطلق (۰.۷۴ متر) و مجذور میانگین خطاها (۱.۰۴ متر) بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی تراز آب در ۲۰ چاه مشاهداتی در حالت استفاده از مدل ترکیبی و مقایسه آن با مقادیر حاصل در شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی بدون استفاده از نتایج مدل سطحی، نشان از کارایی روش بکارگرفته شده در افزایش دقت مدلسازی آبخوان منطقه داشت.

کلمات کلیدی : مدل SWAT، مدل MODFLOW، شرایط مرزی، عدم قطعیت، آبخوان دشت سیلاخور

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل۱- کلیات ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- اهداف تحقیق ۲

۱-۳- روش تحقیق..... ۲

۱-۴- مروری بر فصلهای آینده ۳

فصل۲- مفاهیم پایه و مرور تحقیقات مرتبط گذشته ۴

۲-۱- مقدمه ۴

۲-۲- آب زیرزمینی در چرخه هیدرولوژیکی ۴

۲-۳- مدلسازی آب زیرزمینی ۴

۲-۳-۱- مدلهای فیزیکی ۵

۲-۳-۲- مدلهای ریاضی ۵

۲-۴- مفهوم شرایط مرزی در شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی..... ۶

۲-۵- مروری بر مطالعات قبلی ۷

۲-۵-۱- مطالعات با استفاده از مدل SWAT ۷

۲-۵-۲- مطالعات با استفاده از مدل MODFLOW ۱۰

۲-۵-۳- مطالعات با استفاده از مدل ترکیبی SWAT و MODFLOW ۱۱

فصل۳- مواد و روش انجام تحقیق ۱۴

۳-۱- مقدمه ۱۴

۳-۲- معرفی مدل SWAT..... ۱۴

۳-۲-۱- چرخه هیدرولوژیکی در مدل SWAT ۱۵

۳-۲-۱-۱- فاز خشکی چرخه هیدرولوژیکی در مدل SWAT ۱۵
۳-۲-۱-۲- فاز روندیابی چرخه هیدرولوژیکی در مدل SWAT ۱۸
۳-۲-۲- روابط حاکم در فرآیندهای بیلان آب در مدل SWAT ۱۹
۳-۲-۲-۱- فرآیندهای اقلیمی ۱۹
۳-۲-۲-۲- فرآیندهای هیدرولوژیکی ۲۰
۳-۳- نرم‌افزار ArcSWAT ۲۱
۳-۳-۱- تفکیک حوضه به واحدهای کوچکتر ۲۲
۳-۳-۲- وارد کردن مؤلفه‌های اقلیمی به نرم‌افزار ArcSWAT ۲۳
۳-۳-۳- وارد کردن مؤلفه‌های هیدرولوژیکی به نرم‌افزار ArcSWAT ۲۴
۳-۳-۴- تنظیمات اجرایی مدل SWAT در نرم‌افزار ArcSWAT ۲۴
۳-۴- نرم‌افزار SWAT-CUP ۲۵
۳-۵- معرفی مدل MODFLOW ۲۷
۳-۵-۱- حل معادله جریان آب زیرزمینی در MODFLOW ۲۹
۳-۵-۲- بسته‌های محاسباتی در مدل MODFLOW ۳۲
۳-۵-۲-۱- بسته‌های BCF و LPF ۳۳
۳-۵-۲-۲- بسته چاه (WEL) ۳۳
۳-۵-۲-۳- بسته تغذیه (RCH) ۳۴
۳-۵-۲-۴- بسته مرز با هد عمومی (GHB) ۳۴
۳-۵-۲-۵- بسته رودخانه (RIV) ۳۴
۳-۵-۲-۶- بسته زهکش (DRN) ۳۶
۳-۵-۲-۷- بسته تبخیر و تعرق (EVT) ۳۶
۳-۵-۲-۸- مقایسه کیفی بسته‌های تنش ۳۷
۳-۵-۲-۹- بسته‌های محاسباتی (SIP,PCG,DE4) ۳۸
۳-۶- نرم‌افزار GMS ۴۰

۳-۷- الگوریتم تحقیق ۴۱
۳-۷-۱- شرح فلوچارت ۴۱
۳-۸- منطقه مورد مطالعه ۴۴
۳-۹- جمع‌آوری اطلاعات ۴۶
۳-۹-۱- اطلاعات مورد نیاز برای مدل SWAT ۴۷
۳-۹-۱-۱- کاربری اراضی ۴۷
۳-۹-۱-۲- نقشه خاک منطقه ۴۸
۳-۹-۱-۳- مدل ارتفاعی رقومی منطقه (DEM) ۴۹
۳-۹-۱-۴- داده‌های آب و هوایی ۴۹
۳-۹-۲- اطلاعات مورد نیاز برای مدل MODFLOW ۵۱
فصل۴- ارائه و تحلیل نتایج ۵۳
۴-۱- مقدمه ۵۳
۴-۲- شبیه‌سازی هیدرولوژیکی منطقه مطالعاتی با استفاده از مدل SWAT ۵۳
۴-۲-۱- تفکیک حوضه به واحدهای کوچکتر ۵۳
۴-۲-۲- معرفی مؤلفه‌های اقلیمی به مدل SWAT ۵۵
۴-۲-۳- معرفی مؤلفه‌های هیدرولوژیکی به مدل SWAT ۵۵
۴-۲-۴- معرفی اطلاعات روندیابی چرخه هیدرولوژیکی به مدل SWAT ۵۵
۴-۲-۵- اجرای مدل SWAT و کالیبراسیون آن ۵۵
۴-۲-۶- نتایج نهایی شبیه‌سازی مدل SWAT ۵۸
۴-۳- شبیه‌سازی آبخوان دشت سیلاخور با استفاده از مدل ترکیبی SWAT و MODFLOW ۶۳
۴-۳-۱- تعیین مرزهای آبخوان دشت سیلاخور ۶۴
۴-۳-۲- انتخاب سال مبنا برای تهیه بیلان آبی ۶۴
۴-۳-۳- معرفی آمار و اطلاعات عوامل مؤثر بر آبخوان به نرم‌افزار ۶۵
۴-۳-۳-۱- ارتفاع سطح زمین و سنگ بستر آبخوان ۶۵

۴-۳-۳-۲- ضرائب هیدرودینامیکی آبخوان ۶۶
۴-۳-۳-۳- رودخانه‌ها ۶۶
۴-۳-۳-۴- چاه، چشمه و قنات ۶۷
۴-۳-۳-۵- تبخیر و تعرق ۶۸
۴-۳-۳-۶- تغذیه ۷۰
۴-۳-۳-۷- چاههای مشاهداتی ۷۱
۴-۳-۳-۸- تعیین مرز با پتانسیل معلوم، هد عمومی و مرزهای نفوذناپذیر ۷۱
۴-۳-۴- اجرای مدل آب زیرزمینی در دوره پایدار ۷۳
۴-۳-۵- کالیبراسیون مدل آب زیرزمینی در شرایط پایدار ۷۳
۴-۳-۵-۱- آنالیز حساسیت مدل ۷۸
۴-۳-۶- کالیبراسیون مدل آب زیرزمینی در شرایط ناپایدار ۷۸
۴-۴- شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی با استفاده از مدل MODFLOW ۷۹
فصل۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۸۹
۵-۱- مقدمه ۸۹
۵-۲- روند کلی تحقیق ۸۹
۵-۳- نتیجه‌گیری ۹۰
۵-۴- پیشنهادها ۹۱
مراجع ۹۲

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱ : بسته‌های موجود در مدل MODFLOW و دسته‌بندی آنها ۳۳

جدول ۳-۲ : کاربری اراضی محدوده مورد مطالعه ۴۷

جدول ۳-۳ : انواع بافت خاک در منطقه مورد مطالعه ۴۸

جدول ۳-۴ : مشخصات ایستگاههای مورد استفاده در تحقیق ۵۰

جدول ۴-۱ : مشخصات ایستگاههای هیدرومتری و زیرحوضه‌های مربوطه در مدل ۵۶

جدول ۴-۲ : پارامترهای مورد کالیبراسیون در مدل SWAT و دسته مربوطه ۵۷

جدول ۴-۳ : معیارهای ارزیابی دقت شبیه‌سازی ۵۸

جدول ۴-۴ : شاخصهای دقت شبیه‌سازی دبی ماهانه برای ایستگاه سیلاخور ۵۹

جدول ۴-۵ : شاخصهای دقت شبیه‌سازی دبی ماهانه برای ایستگاه تیره دورود ۵۹

جدول ۴-۶ : پارامترهای کالیبراسیون به ترتیب اهمیت و مقادیر نهایی آنها ۶۲

جدول ۴-۷ : مقادیر ضرائب هیدرودینامیکی آبخوان دشت سیلاخور از آزمایشات پمپاژ ۶۶

جدول ۴-۸ : نتایج حداکثر تبخیر و تعرق مدل SWAT برای محدوده آبخوان ۶۹

جدول ۴-۹ : نتایج تغذیه مدل SWAT برای محدوده آبخوان ۷۰

جدول ۴-۱۰ : تراز مشاهداتی و محاسباتی حاصل از کالیبراسیون برای دوره پایدار مدل (متر) ۷۶

جدول ۴-۱۱ : شاخصهای دقت شبیه‌سازی آب زیرزمینی در حالت استفاده از مدل ترکیبی و مدل MODFLOW ۸۶

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ : الگوریم مورد استفاده در تحقیق Luo و همکاران برای ترکیب مدلهای SWAT و MODFLOW ۱۲

شکل ۳-۱ : نمایی از چرخه هیدرولوژیکی در مدل SWAT ۱۶

شکل ۳-۲ : چرخه انتقال آب در مدل SWAT ۱۸

شکل ۳-۳ : ساختار کلی برنامه SWAT-CUP ۲۶

شکل ۳-۴ : نمایی از شش سلول مجاور سلول i,j,k ۳۱

شکل ۳-۵ : فلوچارت مدل MODFLOW برای شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی ۳۲

شکل ۳-۶ : ایده‌آل سازی محاسبه ضریب انتقال بستر رودخانه برای سلولی خاص ۳۶

شکل ۳-۷ : مقایسه کیفی بسته‌های تنش در مدل عددی MODFLOW ۳۸

شکل ۳-۸ : فلوچارت مورد استفاده در تحقیق ۴۲

شکل ۳-۹ : شماتیک نحوه تخصیص مقدار تغذیه در هر HRU به سلولهای MODFLOW در آن ۴۳

شکل ۳-۱۰ : شماتیک نحوه تخصیص مقدار تبخیر و تعرق در هر HRU به سلولهای MODFLOW در آن ۴۳

شکل ۳-۱۱ : (الف) حوضه‌های درجه دو و موقعیت حوضه آبریز کارون بزرگ (ب) موقعیت محدوده دورود – بروجرد در حوضه آبریز کارون بزرگ (ج) منطقه دورود- بروجرد ۴۴

شکل ۳-۱۲ : شبکه زهکشی منطقه دورود- بروجرد و موقعیت رودخانه‌های اصلی در آن ۴۵

شکل ۳-۱۳ : حوضه مورد مطالعه در تحقیق ۴۶

شکل ۳-۱۴ : نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه ۴۸

شکل ۳-۱۵ : نقشه پهنه‌بندی خاک منطقه مورد مطالعه ۴۹

شکل ۳-۱۶ : مدل ارتفاعی رقومی مورد استفاده در تحقیق ۵۰

شکل ۳-۱۷ : موقعیت ایستگاههای مورد استفاده در منطقه ۵۱

شکل ۴-۱ : زیرحوضه‌های تولیدی توسط مدل SWAT برای منطقه مورد مطالعه ۵۴

شکل ۴-۲ : HRUهای تولیدی توسط مدل SWAT برای منطقه مورد مطالعه ۵۴

شکل ۴-۳ : فلوچارت محاسباتی فرآیندهای هیدرولوژیکی در مدل SWAT (روشهای بکارگرفته شده در تحقیق با علامت ✓ مشخص شده است)..... ۵۶

شکل ۴-۴ : نمودار مقایسهای رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده با استفاده از مدل SWAT برای ایستگاه سیلاخور(ماهانه) ۶۰

شکل ۴-۵ : مقایسه مقادیر رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با استفاده از SWAT برای ایستگاه سیلاخور (الف) دوره کالیبراسیون (ب) دوره صحت سنجی..... ۶۰

شکل ۴-۶ : نمودار مقایسهای رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازیشده با استفاده از مدل SWAT برای ایستگاه تیره دورود (ماهانه) ۶۱

شکل ۴-۷ : مقایسه مقادیر رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده با استفاده از SWAT برای ایستگاه تیرو دورود (الف) دوره کالیبراسیون (ب) دوره صحت سنجی..... ۶۱

شکل ۴-۸ : محدوده معین شده برای آبخوان دشت سیلاخور و موقعیت آن نسبت به منطقه مورد مدل در SWAT..... ۶۴

شکل ۴-۹ : تراز بستر آبخوان مورد مدل..... ۶۶

شکل ۴-۱۰ : پراکندگی چاههای تخلیه در منطقه ۶۸

شکل ۴-۱۱ : Hruهای محدوده آبخوان در مدل SWAT ۶۹

شکل ۴-۱۲ : موقعیت چاههای مشاهداتی موجود در محدوده مطالعاتی ۷۱

شکل ۴-۱۳ : مرزبندی نهایی استفاده شده در مدل آب زیرزمینی..... ۷۲

شکل ۴-۱۴ : هیدروگراف معرف تراز ایستایی آب برای دشت در سال ۱۳۸۸..... ۷۴

شکل ۴-۱۵ : مناطق پلیگونی تعریفی در GMS ۷۵

شکل ۴-۱۶ : مقادیرنهایی هدایت هیدرولیکی حاصل از کالیبراسیون مدل برای مناطق پلیگونی (متر در روز) ۷۵

شکل ۴-۱۷ : (الف) مقادیر تراز ایستایی مشاهداتی و محاسباتی ارائهشده توسط GMS برای دوره پایدار (ب) شاخصهای کالیبراسیون ارائه‌شده توسط مدل GMS ۷۶

شکل ۴-۱۸ : نمایی کلی از محیط GMS و مدلسازی انجام شده..... ۷۷

شکل ۴-۱۹ : بیلان دشت سیلاخور در دوره پایدار ۷۷

شکل ۴-۲۰ : تغییرات میانگین خطاهای مطلق هد محاسباتی نسبت به ضریب تغییرات..... ۷۸
شکل ۴-۲۱ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۱ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۰
شکل ۴-۲۲ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۲ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۰
شکل ۴-۲۳ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۳ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۰
شکل ۴-۲۴ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۴ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۱
شکل ۴-۲۵ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۵ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۱
شکل ۴-۲۶ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۷ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۱
شکل ۴-۲۷ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۹ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۲
شکل ۴-۲۸ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۱۱ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۲
شکل ۴-۲۹ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۱۲ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۲
شکل ۴-۳۰ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۱۳ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۳
شکل ۴-۳۱ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۱۴ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۳
شکل ۴-۳۲ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۱۵ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۳
شکل ۴-۳۳ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۱۶ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۴
شکل ۴-۳۴ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۱۷ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۴
شکل ۴-۳۵ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۱۸ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۴
شکل ۴-۳۶ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۱۹ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۵
شکل ۴-۳۷ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۲۰ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۵
شکل ۴-۳۸ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۲۱ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۵
شکل ۴-۳۹ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۲۴ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۶
شکل ۴-۴۰ : تغییرات سطح آب پیزومتر شماره ۲۵ در نه ماه نخست سال ۱۳۸۸..... ۸۶
شکل ۴-۴۱ : مقادیر نهایی آبدهی ویژه در دوره ناپایدار..... ۸۷
شکل ۴-۴۲ : تغییرات میانگین خطاهای مطلق هد محاسباتی نسبت به ضریب تغییرات آبدهی ویژه..... ۸۷

فصل۱- کلیات

۱-۱- مقدمه

برای استمرار یا توسعه بهره‌برداری از آب‌های زیرزمینی، برای انواع مصارف یا اهداف مختلف و همچنین ایجاد هرگونه سازه آبی، لازم است از مجموعه ویژگی‌های کمّی و کیفی لایه‌های آبدار منطقه، اطلاعات کافی جمع-آوری، ذخیره، تحلیل و نتیجه‌گیری شود. نیل به هدف مذکور، تنها با انجام عملیات رفتارسنجی (کیفی و کمّی) آب‌های زیرزمینی امکان‌پذیر می‌شود. در رفتارسنجی کمّی منابع آب، خصوصیات هیدرولیکی لایه آبدار و چگونگی تأثیر عوامل طبیعی و مصنوعی حاکم بر آن مد نظر است. هدف اصلی رفتار سنجی کمّی آب‌های زیرزمینی، بررسی و تعیین میزان اثرات عوامل مختلف موثر بر رفتار لایه‌های آبدار است که به صورت تغییرات سطح آب زیرزمینی از نظر زمانی و مکانی ظاهر می‌شود. این تغییرات یا ناشی از عوامل طبیعی و اقلیمی است و یا متأثر از تنش‌های مصنوعی وارد بر لایه‌های آبدار. اهداف رفتارسنجی معمولاً متأثر از اهداف مطالعه و تحقیق بوده و نتایج آن می‌تواند در سطح محلی، منطقه‌ای و ملی، مطرح شود [۱]. این مطالب مؤید این نکته اساسی می‌باشد که امروزه بایستی برای حل مشکل آب و استفاده بهینه از منابع آب موجود، علاوه بر اتخاذ راهکارهای سخت افزاری از قبیل احداث سدها و آب بندها، به راهکارهای نرم افزاری نیز از قبیل مدیریت بهره‌برداری و توزیع منابع آب موجود توجه خاص مبذول گردد [۲].

پیشرفت در زمینه ساخت کامپیوتر و تهیه نرم افزارهای شبیه ساز، باعث شده که بتوان قبل از استفاده از منابع آب یک منطقه، به راحتی ابتدا سیستم منابع آب منطقه مورد مطالعه را شبیه سازی و سپس رخدادهای مختلف تأثیرگذار بر آن را بررسی کرده و حتی اثر آن را در آینده بر سیستم پیش بینی نمود. سپس با توجه به نتایج حاصل و با تجزیه و تحلیل آنها بهترین حالت استفاده از منابع آب موجود منطقه را انتخاب و از وارد آمدن اثرات منفی بر آن جلوگیری به عمل آورد (کاربرد توامان راهکارهای سخت افزاری و نرم افزاری) [۲].

به منظور استفاده از مدل‌ها در مدیریت پایدار منابع آب، اطمینان از صحت شبیه‌سازی انجام‌شده بسیار مهم است. مدلهای ساخته شده، همواره دارای منابعی از عدم قطعیت متناسب با ساختار مدل و اطلاعات ورودی می-باشند. تلاش در راستای کاهش این منابع همواره از چالش‌های اساسی پیش روی متخصصان مربوطه بوده‌است. در این بین، استفاده از مدل‌های ترکیبی، روشی کارامد برای افزایش دقت در شبیه‌سازی‌ها محسوب می‌گردد. در این تحقیق سعی گردیده تا با استفاده از نتایج حاصل از مدل هیدرولوژیکی SWAT، منابع عدم قطعیت مرتبط با داده‌های ورودی در شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی با استفاده از مدل MODFLOW تا حدی کاهش داده-شود.

۱-۲- اهداف تحقیق

اهداف این تحقیق را می‌توان در موارد زیر خلاصه نمود :

- ✓ شبیه‌سازی هیدرولوژیکی منطقه مطالعاتی با استفاده از مدل سطحی SWAT و استخراج نتایج آن برای تخصیص به شرایط مرزی در مدلسازی آب زیرزمینی
- ✓ مدلسازی آبخوان با استفاده از مدل MODFLOW و نتایج حاصل از مدل SWAT
- ✓ ارزیابی کارایی استفاده از نتایج مدل سطحی برای مدلسازی آب زیرزمینی برای افزایش دقت مدلسازی آبخوان

۱-۳- روش تحقیق

تعریف شرایط مرزی همواره از مهمترین منابع عدم قطعیت در شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی می‌باشد. این شرایط شامل چاه‌ها، تغذیه از منابع سطحی، مرزهای با هد عمومی، رودخانه‌ها، زهکش‌ها و تبخیر و تعرق هستند. از میان شرایط مرزی، عموماً اطلاعات مربوط به چاهها، رودخانه‌ها و زهکش‌ها در دسترس بوده و سایر شرایط طی فرآیند کالیبراسیون قطعی می‌گردند. در صورتیکه بتوان مقادیر تغذیه و تبخیر و تعرق را با دقت مناسبی برای مدل تعریف کرد، می‌توان با قطعی فرض نمودن این منابع اقدام به قطعی‌نمودن مرزها بر اساس تراز آب در چاههای مشاهداتی نمود.

در این تحقیق، از نتایج حاصل از مدل SWAT2005 برای مقادیر تغذیه و تبخیر و تعرق، در مدلسازی آبخوان دشت سیلاخور با وسعت ۵۹۰ کیلومترمربع استفاده گردیده‌است. SWAT مدلی نیمه‌توزیعی بوده که اقدام به محاسبه این مقادیر در هر HRU[1] می‌نماید. بدین منظور پس از ایجاد پایگاه داده‌ای نسبتاً کامل از منطقه مطالعاتی برای مدل SWAT (شامل داده‌های هواشناسی و اقلیم، آمار و اطلاعات زمین‌شناسی، نقشه‌های کاربری اراضی، خاک و نقشه ارتفاعی رقومی) اقدام به اجرای مدل برای بازه زمانی هشت ساله ۲۰۰۹-۲۰۰۲ گردید. پس از کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل بر اساس آمار دبی در دو ایستگاه هیدومتری سیلاخور و تیره دورود، مقادیر تغذیه و تبخیر و تعرق از مدل نهایی منطبق بر منطقه استخراج گردید.

برای مدلسازی آب زیرزمینی با استفاده از مدل MODFLOW2000، نیاز به اطلاعات جامع و بروز از عوامل مؤثر بر آبخوان به منظور استفاده در مدل و تعیین سال مبنا می‌باشد. مدلسازی آبخوان دشت سیلاخور با استفاده از اطلاعات موجود و نتایج تغذیه و تبخیر و تعرق حاصل از مدل SWAT برای سال مبنا انجام شده‌است. در نهایت بر اساس مقادیر تراز آب در چاههای مشاهداتی موجود در منطقه، اقدام به منطبق کردن مدل بر آبخوان و نهایی کردن مرزهای محدوده مدلسازی گردیده‌است.

[1] Hydrologic response unit

۱-۴- مروری بر فصل‌های آینده

تحقیق حاضر در پنج فصل تنظیم گردیده‌است. پس از فصل اول که به بیان کلیاتی از موضوع، اهداف و روش تحقیق پرداخته‌است، در فصل دوم مفاهیم پایه از شرایط مرزی در شبیه‌سازی آب زیرزمینی و مروری بر تحقیقات انجام‌شده با استفاده از مدل‌های SWAT و MODFLOW و مدل ترکیبی آنها بیان گردیده‌است. جایگاه تحقیق حاضر در انتهای این فصل ذکر شده‌است.

در فصل سوم، مواد و روش‌های انجام تحقیق بیان شده‌است. در این فصل ابتدا شرحی مختصر از مدل‌های آب سطحی و زیرزمینی مورد استفاده در تحقیق، رابطهای مربوطه و الگوریتم مورد استفاده در تحقیق بیان گردیده و سپس منطقه مطالعاتی و آمار و اطلاعات مورد نیاز و نحوه گردآوری آنها شرح داده شده‌است.

در فصل چهارم، مراحل اجرا و انطباق مدل‌های SWAT و MODFLOW بر منطقه، مقادیر و نحوه استفاده از نتایج مدل SWAT برای تغذیه و تبخیر و تعرق در مدل آب زیرزمینی و ارزیابی روش مورد استفاده شرح داده شده‌است.

فصل پنجم حاوی نتیجه‌گیری و پیشنهادها می‌باشد. در این فصل، نتایج کلی حاصل از تحقیق، روند سپری-شده برای دستیابی به این نتایج و درنهایت پیشنهادهایی در راستای توسعه تحقیق و استفاده از نتایج حاصل از آن ارائه گردیده‌است.

فصل۲- مفاهیم پایه و مرور تحقیقات مرتبط گذشته

۲-۱- مقدمه

شبیه‌سازی با استفاده از مدل‌های عددی با اهداف گوناگون انجام می‌شود. در این بین، نتایج حاصله همواره دارای منابعی از عدم قطعیت مرتبط با ساختار مدل و داده‌های ورودی می‌باشند. در این راستا، تلاش در جهت بهبود این شرایط با استفاده از رویکرد مدل‌های ترکیبی از اهمیت بالایی برخوردار است.

در این فصل، ابتدا مروری کوتاه بر مفاهیم پایه و مفهوم شرایط مرزی در شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی ارائه گردیده و سپس به اهداف برخی از تحقیقات اخیر انجام‌شده با استفاده از مدل‌های SWAT و MODFLOW اشاره گردیده‌است. در نهایت با مروری بر مطالعات انجام شده با استفاده از مدل‌های ترکیبی SWAT و MODFLOW، جایگاه این تحقیق بیان گردیده‌است.

۲-۲- آب زیرزمینی در چرخه هیدرولوژیکی

آب‌های زیرزمینی به آبهایی گفته می‌شود که در لایه‌های اشباع زیر زمین انباشته می‌گردند. این آبها فقط حدود ۴ درصد از مجموعه آبهایی را که فعالانه در سیکل هیدرولوژیکی دخالت دارند تشکیل می‌دهد. با این وجود، حدود ۵۰ درصد جمعیت دنیا از نظر آب شرب متکی به آبهای زیرزمینی می‌باشند. این رقم در ایران به مراتب بالاتر از ۵۰ درصد بوده و می‌توان گفت اکثر شهرها و روستاهای کشور آب مورد نیاز شرب و حتی کشاورزی خود را از منابع آب زیرزمینی تأمین می‌نمایند. جریان آب زیرزمینی در مسیر سیکل هیدرولوژیکی سرانجام وارد دریاچه‌ها و دریاها شده و یا در مسیرهای بسته به کویرها منتهی می‌شود [۳].

به طور کلی از مجموع ۸۶۵ میلیمتر بارندگی که به طور متوسط در هر سال روی خشکی‌های کره زمین ریزش می‌کند، ۵۵۸ میلیمتر آن (۶۵ درصد) بصورت تبخیر و تعرق مجدداً به اتمسفر برگشت می‌کند. از مقدار بقیه، ۱۹۵ میلیمتر (۲۲ درصد بارندگی ها) بصورت رواناب مستقیم وارد رودخانه‌ها می‌گردد و ۱۱۲ میلیمتر (۱۳ درصد بارندگی ها) در خاک نفوذ می‌کند که آبهای زیرزمینی را تشکیل می‌دهد. آبهای زیرزمینی نیز سرانجام از طریق چشمه‌ها و جریان‌های زیرزمینی وارد رودخانه‌ها می‌شوند [۳].

۲-۳- مدل‌سازی آب زیرزمینی

به منظور شناخت بهتر منابع آب زیرزمینی و تعیین آثار اجرای طرح‌های مختلف بهره‌برداری بر روی کیفیت و کمیت آب زیرزمینی، تهیه مدل کمّی یا کیفی منبع لازم است. مدلی که به این طریق تهیه می‌شود باید

شرایط و مشخصات کلی منبع را دارا باشد تا بتوان از آن برای پیش‌بینی‌های مختلف استفاده نمود [۴]. در عمل اغلب یک مدل توسعه میابد، بر اساس مشاهدات، آموزش و سپس برای پیش‌بینی رفتار سیستم مدل‌شده بکار می‌رود. در حالت کلی مدلها به دو دسته فیزیکی و ریاضی و آنالوگ تقسیم‌بندی می‌گردند [۵].

۲-۳-۱- مدل‌های فیزیکی

مدل فیزیکی یک ارائه فیزیکی از دنیای واقعی است به نحوی که در ساختار ساده‌تر، خصوصیاتی شبیه به واقعیت دارد. شبیه‌سازهای باران و حوضه‌های آزمایشگاهی، نمونه‌هایی از این دسته مدلها می‌باشند.

۲-۳-۲- مدل‌های ریاضی

مدل ریاضی حاوی یک نگرش یا برداشت ذهنی از دنیای واقعی است که خصوصیات مهم ساختاری واقعیت را حفظ می‌کند [۵]. این مدلها بسته به نوع معادلات به سه دسته مدلهای تجربی[۱] ، احتمالی[۲] و علت و معلولی[۳] دسته‌بندی می‌گردند. مدلهای تجربی حاصل از داده‌های تجربی هستند که بر نوعی معادله ریاضی برازش داده می‌شوند. قانون دارسی مثال خوبی در این مورد است. مدلهای احتمالاتی بر اساس قوانین احتمالاتی و آماری می‌باشند. این مدلها می‌توانند دارای شکل‌ها و پیچیدگیهای گوناگونی باشند که از توزیع احتمالاتی ساده یک خاصیت هیدرولوژیک ساده شروع و به مدلهای پیچیده تصادفی وابسته به زمان ختم می‌شوند. در مدلهای علت و معلولی، که مدلهای آب زیرزمینی را در بر دارد، فرض بر آن است که واکنش‌های آتی آبخوان مورد مطالعه با قوانین فیزیکی حاکم بر جریان آبهای زیرزمینی تعیین شوند. برای مثال، جریان آب زیرزمینی به طرف چاهی که به طور کامل در آبخوان محبوس حفر گردیده‌است، توسط معادله تایس توصیف می‌شود. این دسته از مدلها بر اساس نوع روش حل ریاضی به دو گروه عمده تقسیم‌بندی می‌گردند :

- مدلهای تحلیلی[۴]
- مدلهای عددی[۵]

از مدلهای تحلیلی در شرایط جریان یک بعدی یا دوبعدی و هموژن و بدون درنظر گرفتن تغییرات زمانی و مکانی استفاده می‌شود. در وضعیت‌های پیچیده‌تر نظیر مواقعی که چندین مرز، چاههای زیاد و چندین آبخوان از نظر هیدرولیکی متصل به یکدیگر وجود دارند، کاربرد مدلهای تحلیلی امکان‌پذیر نخواهد بود.

مدلهای عددی قابلیت بیشتری نسبت به مدلهای تحلیلی داشته و امروزه استفاده از آنها به دلیل در دسترس بودن کامپیوتر از بعضی مدلهای تحلیلی پیچیده آسانتر است. پنج روش عددی رایج در مدلسازی آب زیرزمینی عبارتند از :

[1] Empirical Models
[2] Probabilistic Models
[3] Deterministic Models
[4] Analytical Models
[5] Numerical Models

- تفاضل محدود[1]
- اجزای محدود[2]
- تفاضل محدود تلفیقی[3]
- روش معادله انتگرال مرزی[4]
- المان تحلیلی[5]

از دو روش اول به صورت گسترده برای حل مسائل جریان استفاده می‌گردد [۶].

مدل‌های ریاضی آب زیرزمینی از سال‌های ۱۸۰۰ میلادی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. هدف از تهیه مدل ریاضی یک آبخوان، شبیه‌سازی شرایط طبیعی آن با استفاده از یک سری روابط ریاضی می‌باشد. در صورتیکه بتوان شبیه‌سازی آبخوان را به نحو مطلوب انجام داده و با شرایط طبیعی تطبیق داد، به سهولت می‌توان با انجام تغییر در مقدار هر یک از عوامل مؤثر بر آبخوان، اثر آن را بر روی آبخوان در شرایط فعلی و آینده بررسی کرد [۲]. در سال‌های اخیر تهیه مدل آب زیرزمینی به صورت بخش عمده‌ای از پروژه‌های مربوط به بهره‌برداری، حفاظت و پاکسازی آب‌های زیرزمینی عمل کرده است. با ادامه پیشرفت سخت افزاری و نرم‌افزاری رایانه و تهیه سهل‌تر آنها، نقش مدل‌ها در علوم کمّی زمین نظیر هیدروژئولوژی افزایش یافته است. در انواع مختلف مدل‌ها، مدل‌هایی که در گروه پیش‌بینی قرار دارند، همواره بیشترین توجه بخش‌های اجرایی را متوجه خود ساخته‌اند. چرا که این مدل‌ها قادر هستند علاوه بر شبیه‌سازی سیستم سفره و شناسایی خوب آبخوان، عکس‌العمل سفره را در برابر نقش‌های مختلف از قبیل پمپاژ، تغذیه و آلودگی ارائه کنند [۶].

۲-۴- مفهوم شرایط مرزی در شبیه‌سازی جریان آب زیرزمینی

مدل آب زیرزمینی تهیه‌شده برای محدوده‌ای معین می‌بایست تا حد امکان با شرایط واقعی منطقه منطبق بوده تا از آن بتوان به منظور مقاصد پیش‌بینی استفاده نمود. این شرایط برای مدل، با عنوان شرایط مرزی تعریف می‌گردند. به لحاظ محاسباتی، شرایط مرزی جملاتی را به معادله جریان می‌افزایند که بیانگر جریان ورودی و خروجی به سیستم می‌باشند. شرایط مرزی در مدل آب زیرزمینی شامل موارد زیر است [۷]:

- چاه‌ها
- تغذیه از منابع سطحی
- مرزهای با هد عمومی (جریان ورودی آب زیرزمینی)
- رودخانه‌ها

[1] Finite Difference
[2] Finite Element
[3] Integrated Finite Element
[4] Boundary Integral Equation Method
[5] Analytic Elements

- زهکش‌ها
- تبخیر و تعرق

چاهها، جنبه‌هایی معلوم بوده که باعث تخلیه آب از سفره می‌گردند که میزان تخلیه با استفاده از اندازه-گیری‌های محلی تعیین می‌شود. علاوه بر این رودخانه‌ها و زهکش‌ها نیز بر اساس شواهد موجود با دقتی مناسب برای مدل قابل تعریف می‌باشند. در این بین، تعیین مقادیر تغذیه، مرزهای با هد عمومی و مقادیر تبخیر و تعرق به دلیل عدم توزیع یکنواخت در سطح منطقه، همواره با عدم قطعیت‌هایی همراه می‌باشد که مقادیر آنها در طی فرآیند کالیبراسیون مدل، نهایی می‌گردد. در این مطالعه سعی گردیده است تا با استفاده از نتایج خروجی حاصل از یک مدل سطحی (SWAT)، مقادیر این شرایط و نحوه توزیع آنها در سطح منطقه با دقت مناسبی به عنوان ورودی‌های مورد نیاز مدل آب زیرزمینی (MODFLOW)، برای آن تعریف گردد.

۲-۵- مروری بر مطالعات قبلی

۲-۵-۱- مطالعات با استفاده از مدل SWAT

Arnold و همکاران در سال ۲۰۰۰ اقدام به شبیه‌سازی حوضه بالادست رودخانه می‌سی‌سی‌پی با مساحت ۴۹۱۷۰۰ کیلومترمربع با استفاده از مدل SWAT به منظور برآورد میزان تغذیه و تخلیه (جریان پایه) آب زیرزمینی ناشی از رودخانه نمودند. ایشان در تحقیق خود از ۱۳۱ زیرحوضه برای روندیابی رواناب استفاده نمودند. مقایسه نتایج حاصل از مدل با نتایج حاصل از تکنیک جداسازی اتوماتیک تغذیه و جریان پایه از رواناب روزانه نشان داد که مدل مقدار تغذیه سفره از رودخانه را بیشتر برآورد می‌کند در حالیکه جریان پایه در هر دو حالت مقادیر نزدیک بهمی داشتند [۸]. Xue-song و همکاران در سال ۲۰۰۳ اقدام به شبیه‌سازی دبی و رسوب در حوضه رودخانه Huanghe در چین نمودند. آنها در تحقیق خود از بازه زمانی شش ساله ۱۹۹۷- ۱۹۹۲ به منظور کالیبراسیون و بازه زمانی دو ساله ۱۹۹۹- ۱۹۹۸ برای صحت‌سنجی مدل خود بهره گرفتند. آنها در تحقیق خود از نقشه توپوگرافی با دقت ۱/۲۵۰۰۰۰، خاک با دقت ۱/۴۰۰۰۰۰۰ و کاربری زمین با دقت ۱/۱۰۰۰۰۰ استفاده نمودند. نتایج حاصل از این تحقیق کارایی مناسب مدل SWAT در شبیه‌سازی فرسایش خاک و رسوب در حوضه‌های کوهستانی علی رغم دقت پایین نقشه‌های ورودی را نشان داد [۹].

Huisman و همکاران در سال ۲۰۰۴ اثرات تغییر در مقادیر عمق لایه بالایی خاک، تراکم توده خاک[1]، ضریب هدایت هیدرولیکی اشباع خاک و حجم آب موجود در خاک[2] بر روی مقادیر دبی و تبخیر و تعرق، در نتیجه تغییر در کاربری زمین در حوضه‌ای در آلمان را بررسی نمودند. نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر اثر ناچیز تغییر خصوصیات خاک بر روی مقادیر دبی سالانه، تابستان و زمستان و نیز تبخیر و تعرق واقعی در نتیجه تغییر در

[1] Bulk Density
[2] Available Water Content

کاربری زمین از حالت زراعی[1] به مرتع[2] و اثر قوی‌تر تغییر در خصوصیات تقابلی خاک-گیاه بر روی آنها بود [۱۰]. Sun و همکاران در سال ۲۰۰۵ اقدام به استفاده از مدل SWAT به منظور برآورد میزان تغذیه آب زیرزمینی در حوضه‌ای در استرالیا و در مقیاس هر زیرحوضه نمودند. نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر میزان تأثیر بیشتر تغییرات آب و هوا نسبت به کاربری زمین بر روی مقادیر تغذیه داشت. علاوه بر این نتایج تغذیه حاصله از مدل SWAT نسبت به مطالعات پیشین که بر اساس مدلسازی در مقیاس نقطه‌ای[3] اقدام به برآورد تغذیه نموده بودند، مقادیر کمتری را نشان داد که بر اساس پیشنهاد آنها، برای برآورد مقادیر تغذیه در مقیاس حوضه، باید از مدلهای حوضه مقیاس مانند SWAT استفاده نمود. در این مطالعه، مقادیر تغذیه تخمینی تا حد زیادی وابسته به فرضیات مرتبط با عمق ریشه گیاهان و ظرفیت نگهداشت آب در خاک بود [۱۱].

Chaubey و همکاران در سال ۲۰۰۵ اقدام به بررسی اثر میزان دقت DEM[4] به عنوان یکی از نقشه‌های ورودی برای مدل SWAT بر دقت شبیه‌سازی با استفاده از این مدل در حوضه‌ای در امریکا نمودند. ایشان در تحقیق خود از DEM با ابعاد پیکسل ۳۰×۳۰ متر، ۱۰۰×۱۰۰ متر، ۱۵۰×۱۵۰ متر، ۲۰۰×۲۰۰ متر، ۳۰۰×۳۰۰ متر، ۵۰۰×۵۰۰ متر و ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر استفاده نمودند. در این تحقیق از مقادیر دبی، نیترات و فسفر سالانه برای کالیبراسیون مدل تهیه‌شده با استفاده از DEM30×30 استفاده شد و نتایج حاصل از این مدل برای ارزیابی میزان دقت نتایج سایر مدلها با مقیاس‌های ورودی متفاوت بکار رفتند. نتایج به دست آمده نشان داد نقشه‌های DEM ورودی با دقت‌های متفاوت در استخراج زیرحوضه‌ها و شبکه جریان در رودخانه مؤثر است. علاوه بر این، افزایش در میزان دقت DEM ورودی منجر به کاهش در مقادیر دبی و نیترات شبیه‌سازی شد. با این حال، مقادیر کلی فسفر واکنش چندانی به میزان دقت نقشه DEM ورودی از خود نشان نداد. نتایج حاصل از این مطالعه بیانگر این مسئله می‌باشد که انتخاب دقت ورودی‌های مدل تا حد زیادی بستگی به دقت مطلوب موردنظر دارد [۱۲]. در تحقیقی مشابه توسط Dixon و همکاران در سال ۲۰۰۹، اثر دقت DEM ورودی در مدلسازی با استفاده از SWAT در حوضه‌ای در امریکا بررسی شد. نتایج حاصل از این تحقیق نیز به مانند تحقیق پیشین، مؤید اهمیت بالای دقت ورودی‌های مدل در نتایج دبی شبیه‌سازی توسط مدل بود [۱۳].

عباسپور و همکاران در سال ۲۰۰۶ از مدل SWAT برای شبیه‌سازی عوامل مؤثر بر کیفیت آب، رسوب و چرخه غذایی در حوضه رودخانه Thur در کشور سوئیس استفاده نمودند. نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر کارایی مناسب مدل در شبیه‌سازی رواناب، نیترات، رسوب و فسفر در منطقه مورد مطالعه بود [۱۴]. Wu و همکاران در سال ۲۰۰۷ اقدام به مقایسه مدل SWAT کالیبره‌شده برای بازه زمانی ۱۹۴۹-۱۹۴۸ معرف دوره خشکسالی با شرایط بازه زمانی ۱۹۷۰-۱۹۶۹ در حوضه‌ای در امریکا نمودند. ایشان در تحقیق خود اثرات تغییر در شرایط آب و هوایی را بر میزان حساسیت و واکنش پارامترهای آب و هوایی مورد بررسی قرار داده و نتایج

[1] Cropland
[2] Pasture
[3] Point Scale Modelling
[4] Digital Elevation Model

حاصل را در یک بازه زمانی شانزده ساله (۱۹۶۵-۱۹۵۰) به عنوان دوره صحت سنجی، بر روی مدل مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر تفاوت در مقادیر پارامترهای تبخیر و تعرق و ذوب برف در دوره خشکسالی با دوره عادی داشت. علاوه بر این مقایسه نتایج جریان پایه حاصله از مدل SWAT و روش تفکیک هیدروگراف[1] حاکی از آن بود که مدل SWAT در مقایسه با روش دوم، قسمت اعظم آب ناشی از ذوب برف را به صورت رواناب لحاظ می‌کند [۱۵]. Lee و همکاران در سال ۲۰۰۷ اقدام به مدلسازی حوضه‌ای در کره جنوبی با استفاده از مدل SWAT و ارائه یک رابطه رگراسیون چندگانه برای دبی و برای بازه زمانی سی ساله مدلسازی به منظور مشاهده نحوه تغییرات شرایط آب و هوایی و حوضه بر روی دبی خروجی آن نمودند [۱۶].

Ullrich و همکاران در سال ۲۰۰۹ اقدام به بررسی سناریوهای مختلف مدیریتی بر رواناب در حوضه‌ای در آلمان نمودند. نتایج حاصل از این تحقیق بیانگر اهمیت بالای نحوه کشت محصولات در میزان رواناب در منطقه مورد مطالعه بود [۱۷]. اخوان و همکاران در سال ۲۰۱۰ اقدام به ارزیابی کارایی مدل SWAT در شبیه‌سازی نیترات در حوضه بهار واقع در همدان (ایران) نمودند. آنها در تحقیق خود ابتدا مدل را بر اساس مشاهدات دبی کالیبره کرده و سپس از مدل کالیبره‌شده برای دبی برای کالیبراسیون مدل برای مقادیر نیترات استفاده کردند. نتایج حاصل از تحقیق آنها، کارایی مناسب مدل SWAT و روش انتخابی در شبیه‌سازی نیترات در حوضه مطالعاتی را نشان داد [۱۸].

میرصانع و همکاران در سال ۱۳۸۸ اقدام به مدلسازی هیدرولوژیکی حوضه کشکان از زیرحوضه‌های کرخه و بررسی عوامل و پارامترهای مؤثر بر این حوضه با استفاده از مدل SWAT نمودند. آنها در تحقیق خود، تأثیر سناریوهای مختلف تغییر کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه را مورد ارزیابی قرار دادند. بر اساس مطالعه آنها، پارامترهای شماره منحنی، ضریب تبخیر خاک و عمق کف لایه اول خاک دارای بیشترین اهمیت در منطقه مورد مطالعه بودند [۱۹]. علوی نیا و همکاران نیز در سال ۱۳۸۹، اقدام به شبیه‌سازی دبی در حوضه آبریز سد اکباتان و تهیه نقشه CN خاک در این حوضه و با استفاده از مدل SWAT کردند [۲۰]. نظری و همکاران نیز در سال ۱۳۸۹، رواناب حوضه آبریز تالار در استان مازندران را با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی کردند. [۲۱]

به عنوان جمع‌بندی نتایج تحقیقات فوق می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد :

- کارایی مناسب مدل SWAT در شبیه‌سازی کمی و کیفی حوضه‌های بزرگ مقیاس در بازه زمانی دراز مدت
- لزوم دقت مناسب نقشه‌های DEM، کاربری اراضی و خاک مورد استفاده به عنوان ورودی مدل و تطابق آنها با بازه زمانی مدلسازی
- اهمیت بالای پارامتر ضریب منحنی (CN2) در شبیه‌سازی رواناب در اکثر مناطق

[1] Hydrograph Separation method