

بررسی تاثیر تغییرات کاربری اراضی بر کیفیت آب رودخانه مارون با استفاده از *GIS* و *RS*

خسرو شفیعی مطلق^۱، جهانگیر پر همت^۲، حسین صدقی^۳، مجید حسینی^۴

۱- مربی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دهدشت، دهدشت، ایران. - kh_shafieimotlaq@yahoo.com

۲- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۳- استاد و مدیر گروه تخصصی علوم و مهندسی آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

۴- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

چکیده

مدیریت صحیح حوضه‌های آبخیز کشور یکی از مهم‌ترین روش‌های استفاده بهینه از منابع آب و خاک می‌باشد برای این کار نیاز به اطلاعات جامع از روش‌های متفاوت مدیریتی و اجرایی است. چند دهه اخیر برآورد درست و به موقع از وضعیت کمی و کیفی رواناب یکی از دغدغه‌های مدیریت‌های کلان کشور به حساب می‌آید. این پروژه مدل‌سازی و ارزیابی و کارایی مدل *SWAT* در شبیه‌سازی رواناب ماهانه، تحلیل حساسیت، بهینه‌سازی پارامترهای حساس، بررسی تاثیر تغییر کاربری اراضی در طی چهار دهه اخیر بر کمیت و کیفیت رودخانه مارون در ایستگاه خروجی حوزه آبخیز مارون (ایدنک) در استان کهگیلویه و بویراحمد می‌باشد. برای این مقصود از مدل نیمه توزیعی *SWAT* و برنامه‌ی *SUF2* و در قالب بسته نرم‌افزاری *SWAT CUP* برای تحلیل حساسیت، واسنجی، صحت‌سنجی و آنالیز عدم قطعیت بهره گرفته شد. در این تحقیق ابتدا نقشه تغییر سطح کاربری‌های اراضی موجود و همچنین نقشه خاک و پوشش گیاهی در حوضه آبخیز مارون در طی چهار دوره ده ساله از سال ۱۹۸۰ تا سال ۲۰۱۰ با استفاده از سنجنده‌های *TM* و *ETM* ماهواره‌ی لندست مشخص شد. آمار مشاهداتی ایستگاه هیدرومتری ایدنک بعنوان ایستگاه مبنا در طی سالهای ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۰ طی چهار دوره ده ساله مورد استفاده قرار گرفت. مقایسه اثر گزینه‌های مدیریتی کاربری اراضی بر مؤلفه‌های مختلف چرخه هیدرولوژیکی و همچنین مقادیر مختلف رواناب نشان می‌دهد طی چهار دهه اخیر سناریوی بدبینانه اتفاق افتاده با ادامه روند تخریبی در کاربری اراضی به سمت حالت قهقرایی مقادیر مختلف رواناب افزایش و نفوذپذیری و آب‌گذری به آبخوان‌های سطحی و عمیق، کاهش می‌یابد.

واژه های کلیدی : کاربری اراضی، مدل *SWAT*، *SUF2*، حوزه‌ی مارون .

مقدمه

مدیریتی و اجرایی است . در کشور ما بیشتر حوضه‌های آبخیز، به ویژه حوضه‌های آبخیز کوهستانی، فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری به تعداد کافی می‌باشند که این امر هرگونه برنامه ریزی عمرانی و مدیریتی را با مشکل و یا حتی با شکست

مدیریت صحیح حوضه‌های آبخیز کشور یکی از مهم‌ترین روش‌های استفاده بهینه از منابع آب و خاک می‌باشد برای این کار، نیاز به اطلاعات جامع از روش‌های متفاوت

مواجه می‌سازد. برای مقابله با این مسأله، دست اندرکاران و محققان آب و آبیاری راه‌حل‌های مختلفی نظیر فرمول‌های تجربی و مدل‌های ریاضی و کامپیوتری عرضه کرده‌اند که تاکنون هیچ کدام نتوانسته راه‌حل مطلوبی ارائه دهند. عقیده بر این است که شبیه سازی پدیده‌های هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبخیز می‌تواند راه‌حل بهینه‌ای برای آنها باشد (Rostamian et al 2010). چند دهه اخیر برآورد درست و به موقع از وضعیت کمی و کیفی رواناب یکی از دغدغه‌های مدیریت‌های کلان کشور به حساب می‌آید. به طور کلی درک و پیش بینی فرایندهای تولید و انتقال جریان به خروجی حوضه یکی از اساسی ترین مباحث در علم هیدرولوژی محسوب می‌شود (سلمانی حسین ۱۳۹۰). شبیه سازی بارش- رواناب یکی از موارد کلیدی در علوم هیدرولوژی و مدیریت محیط زیست به شمار می رود. در سال‌های اخیر نیاز به منابع آبی به سرعت در حال رشد است. افزایش تقاضای منابع آبی نیاز به مدیریت یکپارچه و پایدار آب حوضه و درک درست از بیلان آبی دارد (انوار، ۲۰۱۰). این مدل‌ها کاربردهای فراوانی به خصوص در علوم طبیعی و نظام مهندسی دارند (میرآب زاده و قبادی نیا، ۱۳۸۴). مدل‌های هیدرولوژیکی برای غلبه بر این مشکل به وجود آمده‌اند و در سطح حوضه‌های آبخیز دنیا به کار گرفته شده‌اند، با استفاده از این مدل‌ها تغییرات مؤلفه‌های زیادی از چرخه پیچیده آب بررسی شده است (امین و غفوری روز بهانی، ۱۳۸۱). از آن جایی که نتایج حاصل از بعضی از مدل‌ها با مقادیر واقعی تطبیق داشته از این رو استفاده از مدل‌ها در مطالعات حوضه آبخیز افزایش یافته است. حسین سلمانی (۱۳۹۰) اثر تغییرات کاربری در مقدار رواناب را در حوضه آبریز قزاقلی استان گلستان را با استفاده از مدل SWAT شبیه سازی نمود و نتیجه این مدل می تواند به عنوان ابزاری موثر در بررسی اجزا هیدرولوژیکی حوضه قزاقلی در پاسخ به تغییرات کاربری اراضی متناظر

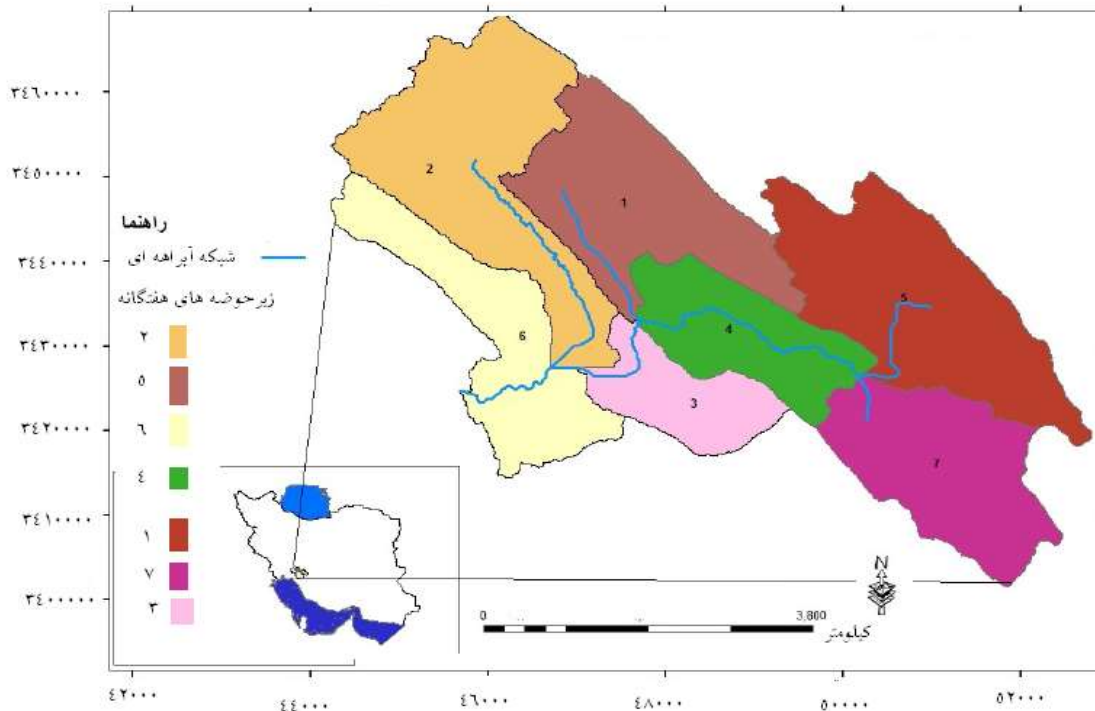
مورد استفاده قرار بگیرد. تغییر کاربری اراضی در یک حوضه می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر چرخه هیدرولوژی و در نتیجه منابع آب حوضه داشته باشد، از این رو شناخت آثار تغییر کاربری اراضی بر پاسخ‌های هیدرولوژی حوضه راهگشای تعیین استراتژی مناسب در توسعه پایدار منابع آب حوضه‌های آبخیز می‌باشد. بنابراین با توجه به اهمیت موضوع و با هدف کمک به مدیریت بهتر منابع آب منطقه، در این پژوهش مدل هیدرولوژیکی حوضه آبریز مارون به کمک مدل نیمه توزیعی SWAT تهیه خواهد شد. بر این اساس با استفاده از اطلاعات هواشناسی، مشخصات خاک، توپوگرافی، دبی مشاهده‌ای خروجی از حوضه، تغییرات در کاربری اراضی و انواع پوشش گیاهی عوامل مؤثر بر تغییرات کمی و کیفی منابع آب در مقیاس حوضه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

روش تحقیق

حوضه آبریز رودخانه مارون در دامنه‌های جنوبی و جنوب غربی زاگرس میانی بین طول شرقی $۵۰^{\circ} - ۵۱^{\circ}$ و عرض شمالی $۳۹^{\circ} - ۳۰^{\circ}$ الی $۲۱^{\circ} - ۳۱^{\circ}$ قرار دارد. این محدوده مطالعاتی تحت نظارت شرکت سهامی آب منطقه‌ای کهگیلویه و بویراحمد می‌باشد. مساحت این محدوده ۳۸۰۱ کیلومتر مربع می‌باشد. حداکثر ارتفاع محدوده $۳۴۰۳/۴$ متر و حداقل آن ۳۹۷ متر می‌باشد. وسعت ارتفاعات $۳۷۰۳/۸۰۴$ کیلومتر مربع و مساحت دشت $۹۷/۱۹۶$ کیلومتر مربع است. ارتفاع متوسط در ارتفاعات $۱۶۸۹/۵۲$ متر و در دشت $۹۸۴/۳۲$ متر می‌باشد (شرکت مدیریت منابع آب ایران ۱۳۸۸). آب و هوای منطقه متأثر از عرض کم جغرافیایی، تغییرات ارتفاعی و مجاورت با خلیج فارس در بخش‌های جنوبی آن می‌باشد. زمین‌شناسی حوضه آبریز رودخانه از سازندهای رخنمون یافته متشکل از ماسه‌سنگ و کنگلومرا و تناوبی از مارن‌های رنگی و آهک‌های سیلتی می

باشد. نوع نزولات در ارتفاعات پایین بیشتر به صورت باران و در ارتفاعات بالاتر به صورت برف می‌باشد. میانگین بارندگی سالانه در این حوزه ۱۵۰ میلیمتر در جلگه‌های

پست ساحلی، تا ۹۰۰ میلیمتر در ارتفاعات شمالی تغییر می‌نماید. شکل ۱ موقعیت منطقه مطالعاتی را نشان می‌دهد.



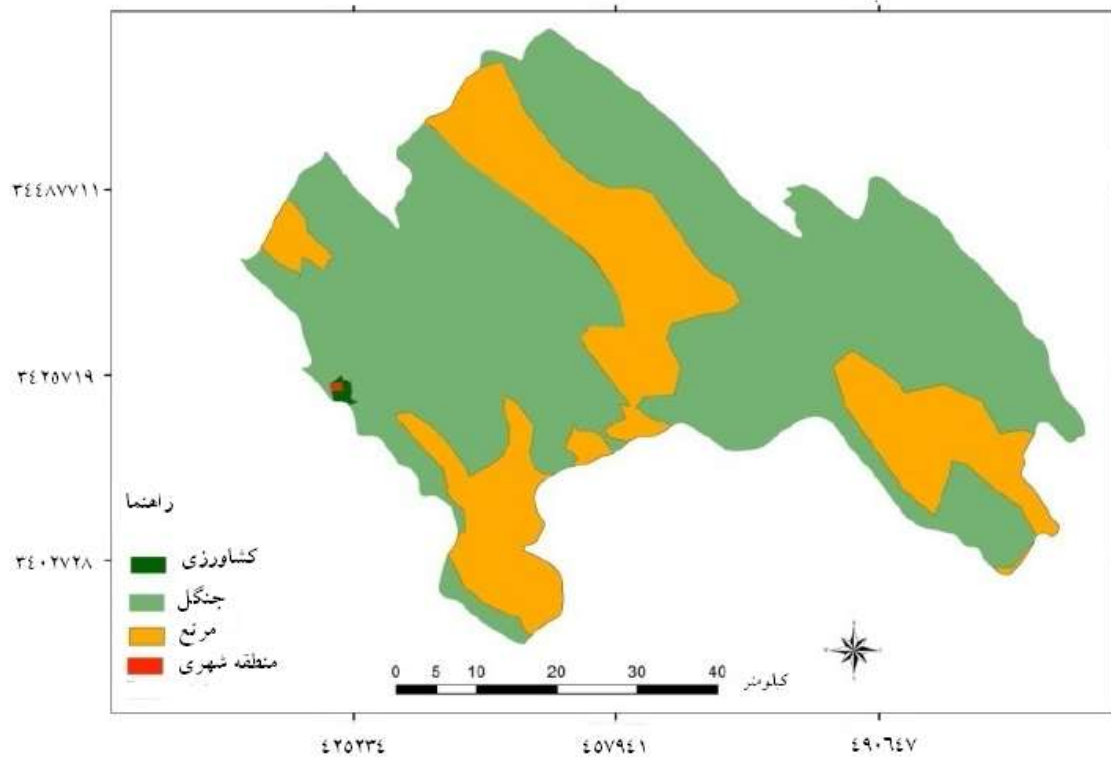
شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

مدل *SWAT* از نظر زمانی یک مدل پیوسته و نیمه توزیعی- فیزیکی است که برای شبیه سازی فرایندهای هیدرولوژیکی در حوزه های آبخیز پیچیده و وسیع با توجه به تغییرات خاک، کاربری اراضی و شرایط آب و هوایی در دوره‌های طولانی مدت کاربرد دارد. این مدل برای شبیه سازی فرایندها و هیدرولوژیکی حوزه نیازمند اطلاعات کاملی از جمله نقشه‌های توپوگرافی، مدل رقومی ارتفاع (*DEM*)، کاربری اراضی، خصوصیات خاک، اطلاعات مدیریتی، داده های هواشناسی مشاهده شده و اطلاعات دیگری از خصوصیات آبخیز است. یکی از موارد مورد نیاز هر شبیه سازی هیدرولوژیکی نقشه کاربری اراضی و

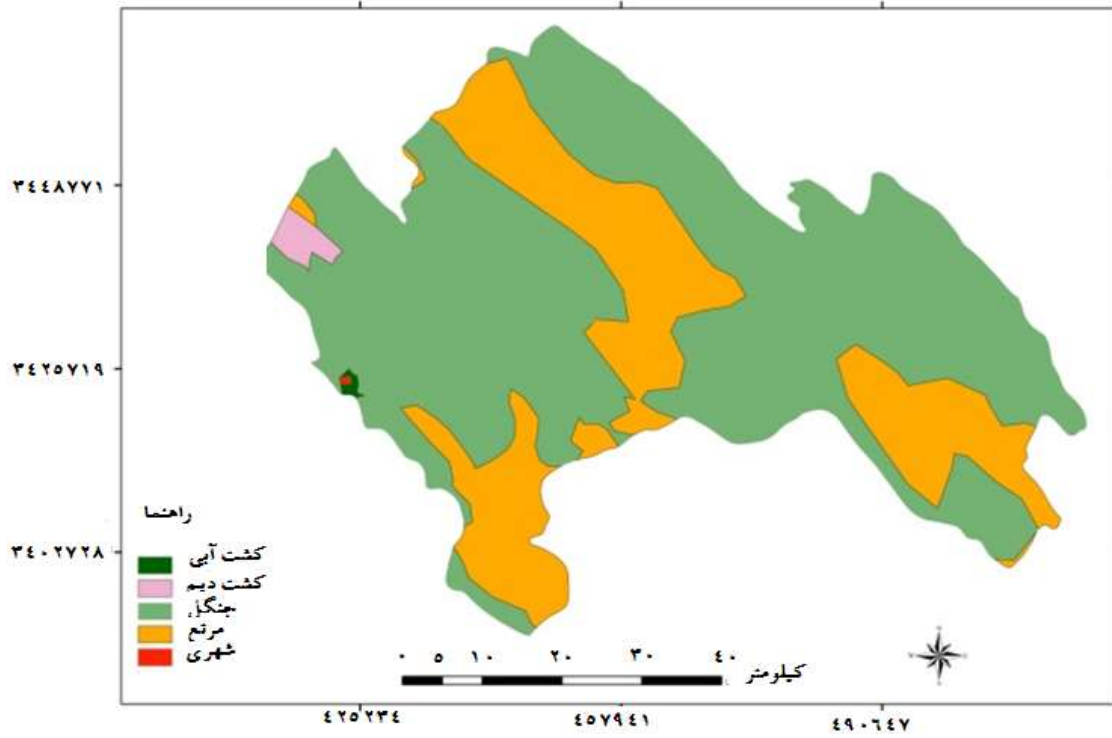
پوشش گیاهی آن حوزه می‌باشد که باید از آن استفاده گردد. در شبیه سازی با مدل *SWAT* نیز نقشه کاربری اراضی یکی از موارد ضروری برای شبیه‌سازی و اجرا کردن مدل می‌باشد. کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین فاکتورهایی است که مقادیر رواناب، تبخیر و تعرق و فرسایش سطحی حوزه را تحت تاثیر قرار می‌دهد. اطلاعات پوشش اراضی، برای بسیاری از فعالیت‌های برنامه ریزی و مدیریت سرزمینی از جمله آمایش سرزمین دارای اهمیت است. امروزه تصاویر ماهواره‌ای و تکنیک‌های سنجش از دور، به دلیل فراهم آوردن داده‌های به‌هنگام و قابلیت بالای آنالیز، تنوع اشکال، رقومی بودن و امکان پردازش کاربرد گسترده-

ای در تمامی بخش‌ها از جمله کشاورزی، منابع طبیعی و تهیه نقشه کاربری اراضی به عنوان نقشه‌های پایه در آمایش سرزمین دارند. در تحقیق حاضر نیز با هدف استخراج کاربری‌های اراضی حوزه آبخیز مارون، ابتدا تصاویر سالهای ۱۹۸۰ و ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ ماهواره‌ی لندست ۷ تهیه شد. پس از رقومی و موزائیک کردن نقشه توپوگرافی، نقشه‌های شیب، جهت شیب و ارتفاع منطقه به منظور شناخت وضعیت منطقه، در محیط نرم افزار *GIS* تولید گردید. متعاقباً عملیات تصحیح و پردازش بر روی

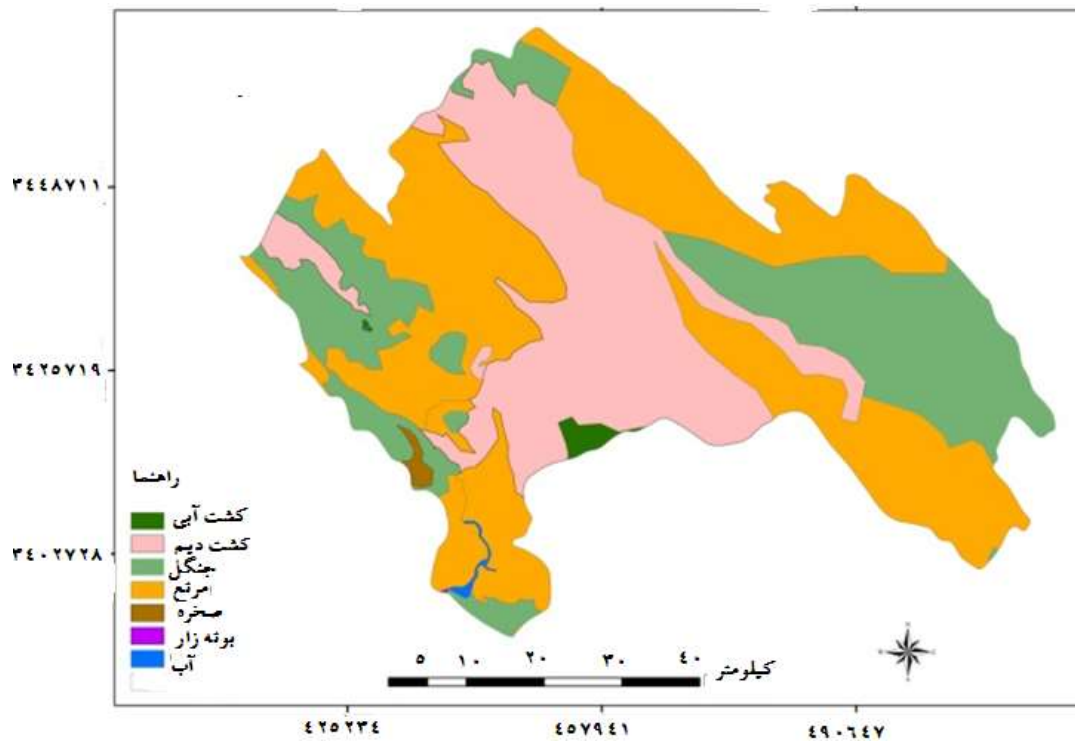
تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از ۳۰ نقطه کنترل زمینی در محیط نرم افزار *Geomatica* انجام شد. سپس با استفاده از طبقه بندی نظارت شده نقشه طبقه‌بندی شده کاربری اراضی حوزه با ترکیب باندهای ۳، ۴، ۵ تولید شد، و پس از اعمال عملیات *filter* نقشه نهایی حاصل شد. نوع کاربری با یک کد چهار رقمی قابل شناسایی توسط مدل مشخص می‌گردد. نقشه کاربری حوزه‌ی آبخیز مورد مطالعه پس از طبقه‌بندی دوباره توسط مدل *SWAT* در شکل‌های ۲ تا ۵ نشان داده شده است.



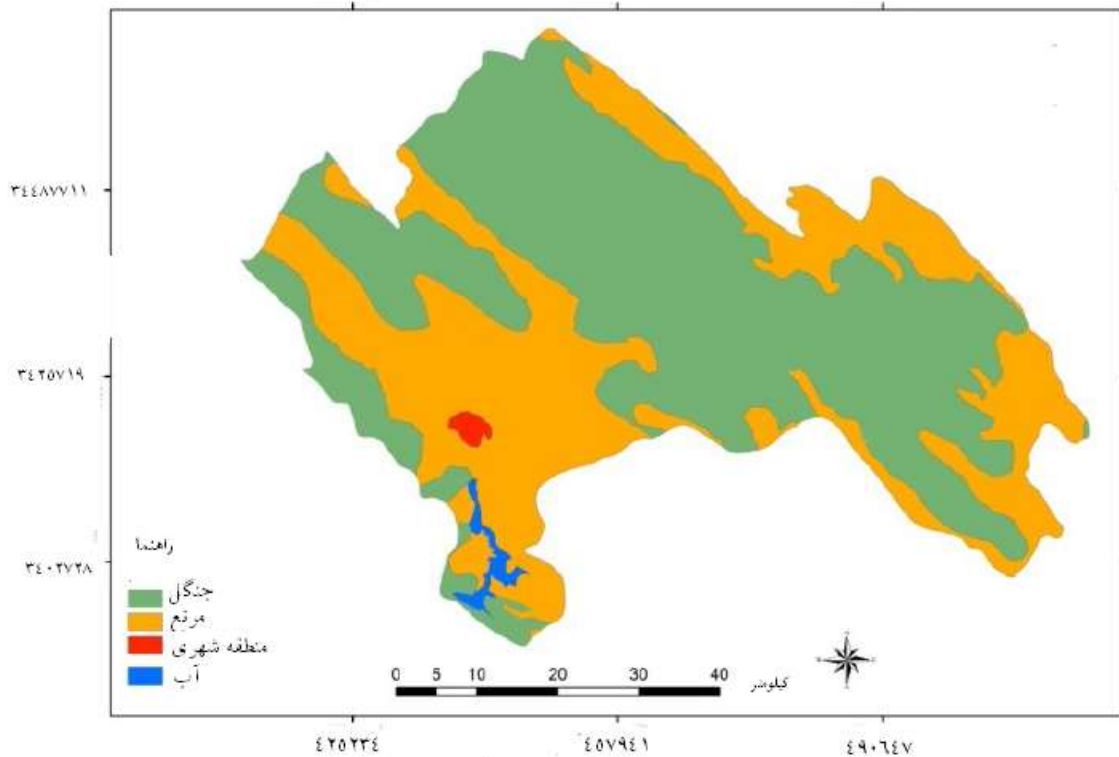
شکل ۲- نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۸۰



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۹۰



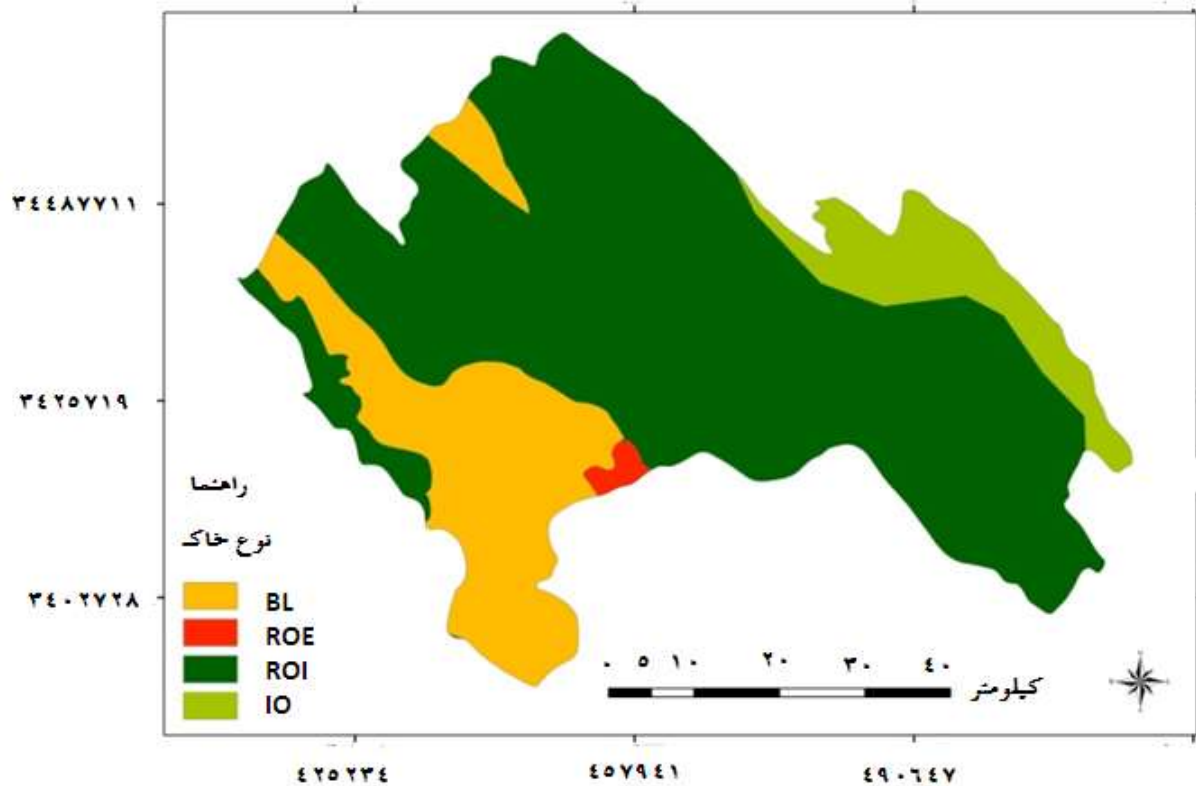
شکل ۴- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۰



شکل ۵- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۰

اقلیمی بارندگی، حداقل و حداکثر دما، تشعشع خورشید، رطوبت نسبی و سرعت باد در پایه زمانی روزانه نیازمند است. داده‌های هیدرولوژیکی برای آنالیز حساسیت، واسنجی، اعتبارسنجی و آنالیز عدم قطعیت مدل‌های هیدرولوژیکی مورد احتیاج می‌باشند. داده‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده در این پژوهش شامل مقادیر دبی روزانه و ماهانه ایستگاه ایدنک واقع در خروجی حوضه می‌باشد. این داده‌ها از آب منطقه‌ای استان خوزستان تهیه شد. در واقع ایستگاه هیدرومتری ایدنک به عنوان ایستگاه مبنا برای مشاهده تغییرات رواناب حوضه می‌باشد.

اطلاعات خاک‌شناسی از اساسی‌ترین اطلاعات مورد نیاز مدل می‌باشد مدل *SWAT* برای شبیه‌سازی حوضه به خصوصیات مختلف فیزیکی- شیمیایی خاک از قبیل بافت خاک، درصد رطوبت در دسترس خاک، هدایت هیدرولیکی، چگالی حجمی، مقدار کربن آلی و... برای لایه‌های مختلف خاک نیازمند است. نقشه دوباره طبقه بندی شده خاک حوزه آبخیز مارون به تبع نقشه کاربری اراضی و نقشه پوشش گیاهی در چهار دهه از سال ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تهیه شد و در شکل ۶ نشان داده شده است. مدل *SWAT* برای شبیه‌سازی حوضه به متغیرهای



شکل ۶- نقشه خاک منطقه مورد مطالعه

هدف مربوطه از نقشه *DEM* حوضه بدست می‌آید. با توجه به طیف وسیع زیر حوضه‌ها در منطقه مورد مطالعه استفاده از چندین طبقه شیب نسبت به یک شیب یکسان برای تمامی زیر حوضه‌ها اولویت دارد. مقدار کلاس‌های شیب در هر منطقه بسته به خصوصیات توپوگرافی آن منطقه متفاوت می‌باشد. در مطالعات مختلف صورت گرفته در این زمینه طبقه بندی واحدی برای کلاس‌های شیب وجود ندارد. بنابراین کاربر کلاس‌های شیب را براساس توپوگرافی منطقه انتخاب می‌کند. به طور کلی در حوزه آبخیز مورد مطالعه ۴ کلاس شیب (۰-۲، ۲-۱۰، ۱۰-۲۰ و >۲۰ درصد) به مدل معرفی گردید. حوزه آبخیز مارون از نظر شرایط هیدرولوژیکی حوضه‌ای بسیار پیچیده می‌باشد. همچنین آنالیز حساسیت با استفاده از شاخص‌های *t-stat* و *p-value* برنامه‌ی

اجرای مدل *SWAT2012*

در این مطالعه از مدل نیمه توزیعی *SWAT2012* که یک الحاقیه در محیط *GIS* است برای آنالیز و شبیه‌سازی استفاده گردید. اصولاً در مدل *SWAT* پایگاه داده‌ها برای شرایط ایالت متحده آمریکا طراحی شده است. بنابراین برای استفاده این مدل در مناطق دیگر بایستی تغییراتی در این اطلاعات از جمله داده‌های مربوط به خاک (*usersoil.dbf*) کاربری اراضی (*landuse.dbf*)، ایستگاه‌های مولد اقلیمی (*userwgn.dbf*) و همچنین اطلاعات مدیریتی داده شود. داده‌های مربوط به سیستم اطلاعات جغرافیایی توسعه مدل *SWAT* با دو تابع منحصر به فرد توصیف حوضه و تعیین واحد پاسخ هیدرولوژیکی (*HRU*) مشخص می‌گردند. برای تعیین *HRU* از نقشه شیب استفاده می‌شود. کلاس‌های مختلف شیب بر حسب ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه و

SUF12 در بسته نرم‌افزاری *SWA CUP* انجام گرفت. لازم به ذکر است که در این مطالعه دامنه تغییرات پارامترها براساس مقادیر پیش فرض مدل برای حوزه آبخیز مارون تنظیم گردید. در این پژوهش از روش‌های واسنجی خودکار برای شناسایی مقادیر بهینه پارامترهای مدل استفاده گردید. فرایند واسنجی در دو پایه زمانی ماهانه و روزانه و بر روی دبی حوزه مارون صورت گرفت. در ابتدا مدل برای یک دوره مطلوب شبیه سازی شد (دوره *warming-up*) سپس براساس مقادیر اولیه بدست آمده مدل برای یک دوره معین به اجرا درآمد. در کل ۲۷ پارامتر براساس مطالعات مختلف صورت گرفته در این زمینه انتخاب گردید که بعد از تحلیل حساسیت و شناسایی مؤثرترین پارامترها تعداد این پارامترها به ۱۳ پارامتر تقلیل پیدا نمود. کاهش تعداد پارامترها طی تحلیل حساسیت باعث کاهش زمان اجرای مدل و افزایش دقت به واسطه کاهش عدم قطعیت می‌گردد. بدین گونه بعد از شناخت حساس‌ترین پارامترها، مدل با استفاده از پارامترهای حساس مؤثر بر دبی رودخانه به اجرا درآمد. زمانی که واسنجی پایان گرفت برای بررسی دقت مدل کالیبره شده به منظور استفاده در تخمین‌ها و فعالیت مدیریتی بعدی، مدل با استفاده از داده‌های مشاهداتی مستقل (سال‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۷۱ در دهه اول و ۱۹۸۰ و ۱۹۸۱ برای دهه دوم و ۱۹۹۰ و ۱۹۹۱ برای دهه سوم و ۲۰۰۰ و ۲۰۰۱ برای دهه چهارم) بدون تغییر پارامترهای حاصل از واسنجی اجرا گردید.

تحلیل حساسیت

بعد از اجرای اولیه مدل تحلیل حساسیت پارامترهای مدل در خروجی حوضه مورد مطالعه صورت گرفت. در انجام تحلیل حساسیت، تاثیر پارامترهای مختلف بر خروجی مدل بر اساس تابع هدف (در این مطالعه ضریب ناش- ساتکلیف به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شد) به درستی شناخته می‌شود. همان

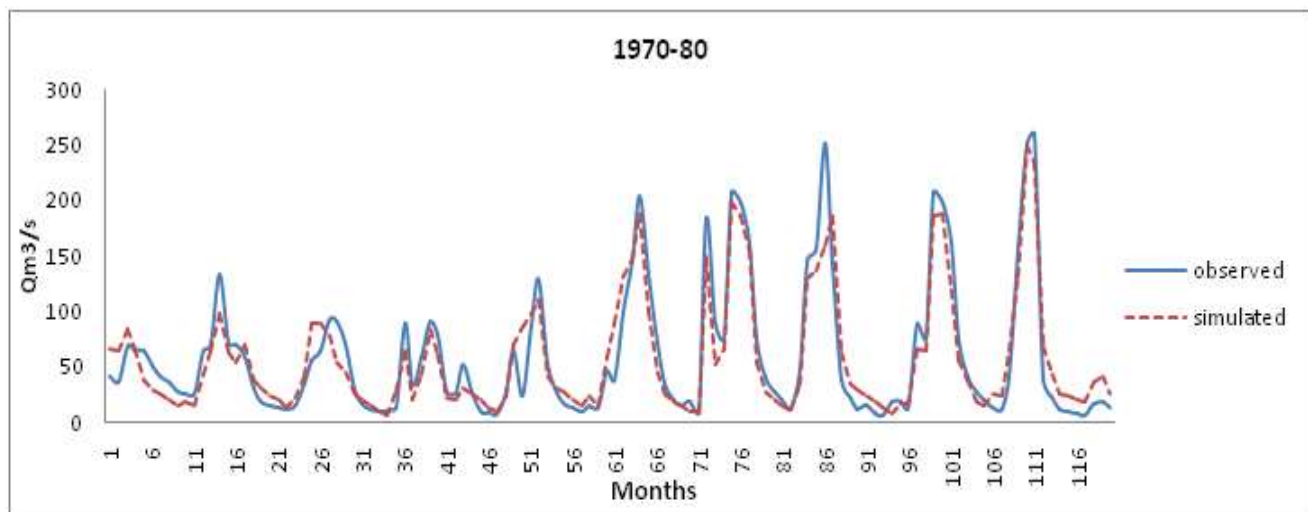
طوری که پیش از این بیان گردید برای تحلیل حساسیت و تعیین اهمیت نسبی هر پارامتر از مدل *SWAT* و روش *LH-OAT* و همچنین بسته نرم‌افزاری *SWAT CUP* و برنامه‌ی *SUF12* در طی دوره واسنجی استفاده گردید. برای انجام آنالیز حساسیت روش "یک پارامتر در هر بار" *One Factor At a Time (OAT)* مورد استفاده قرار گرفت که متعارف-ترین روش برای این کار می‌باشد و محققین مختلفی از جمله *White* و همکاران (۲۰۰۵)، *Jah* و همکاران (۲۰۰۷) و *Feyereisen* و همکاران (۲۰۰۷) از این روش استفاده کرده‌اند. نتایج تحلیل حساسیت انجام گرفته با استفاده از روش *LH-OAT* بر روی ۲۷ پارامتر اولیه نشان داد که حساس‌ترین پارامترهای مؤثر بر دبی حوزه مارون بر پایه زمانی ماهانه با استفاده از نرم‌افزار *SWAT CUP* پارامترهای *CH*- و *CN2* و *K2*، *SMFMN*، *SMFMX*، *SOL-K*، *ALPHA-BF* و *SLSUBBSN* جز حساس‌ترین پارامترهای مؤثر بر دبی حوزه مارون می‌باشند.

واسنجی مدل

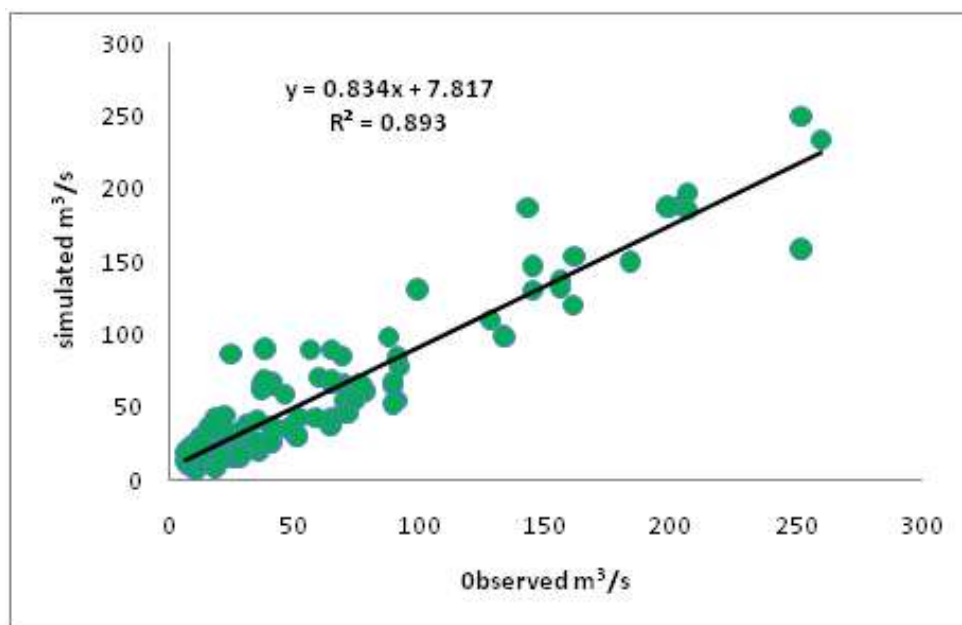
بعد از اجرای اولیه مدل، بسته نرم‌افزاری *SWAT CUP* و برنامه‌های *SUF12* برای واسنجی و تحلیل عدم قطعیت متغیر دبی رودخانه حوزه مارون واقع در خروجی حوضه مورد استفاده قرار گرفت. به طوری که در ابتدا براساس مطالعات مختلف صورت گرفته در این زمینه در حدود ۲۷ پارامتر مؤثر و مهم برای واسنجی انتخاب گردید. دامنه تغییرات پارامترها براساس پیش فرض خود مدل و براساس ایستگاه هیدرومتری ایدنک تنظیم گردید. هر پارامتر تنها در محدوده مجاز تغییرات در مدل وارد گردید و در جهت بهینه‌سازی خروجی‌های مدل شبیه سازی صورت گرفت، بعد از انجام آنالیز حساسیت تعداد پارامترها تقلیل یافت و تنها ۱۳ پارامتر از ۲۷ پارامتر انتخاب شده اولیه مؤثرتر شناخته شد و این پارامترها در مرحله نهایی شبیه سازی وارد مدل شدند

واسنجی بر پایه زمانی ماهانه با استفاده از برنامه‌ی *SUF12* و همچنین ضریب همبستگی بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده نشان داده شده است.

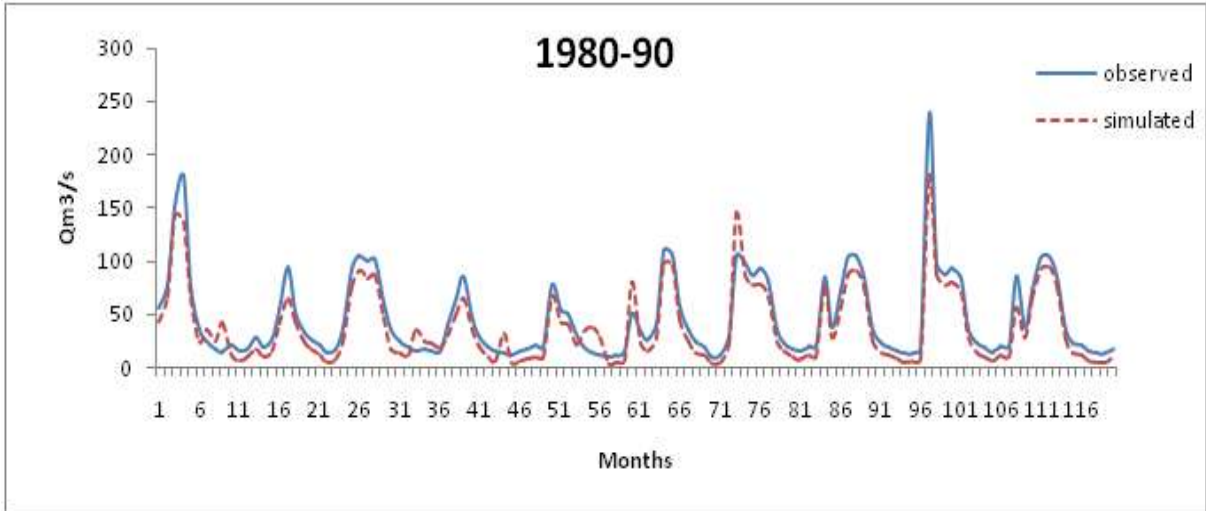
. واسنجی پایه زمانی ماهانه انجام گرفت. در مراحل مختلف به واقعی کردن پارامترهای مختلف پرداخته شد و در نهایت مقادیر بهینه پارامترها جهت شبیه‌سازی رواناب ماهانه حوزه آبخیز مورد مطالعه تعیین شد. در شکل های ۷ تا ۱۳ نتایج



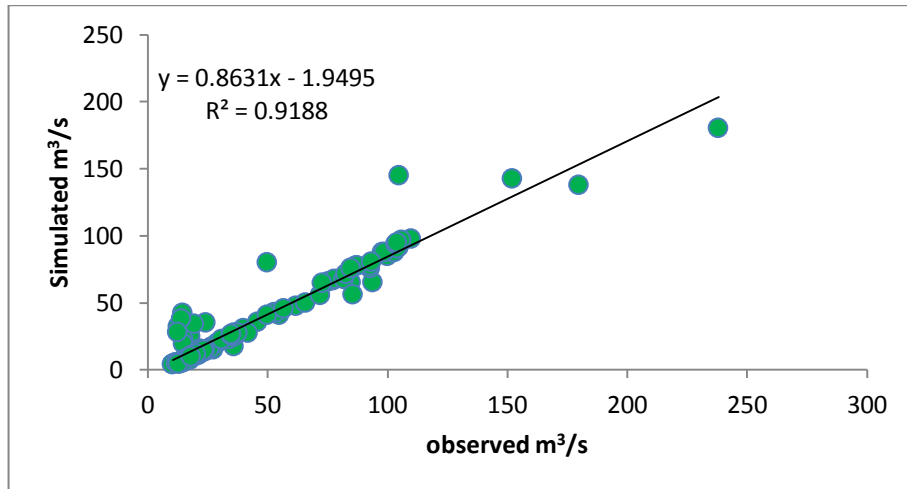
شکل ۷- مقادیر رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده حوزه مارون با استفاده از برنامه *sufi2* در مرحله واسنجی مدل در پایه زمانی ماهانه - دهه اول بازه زمانی



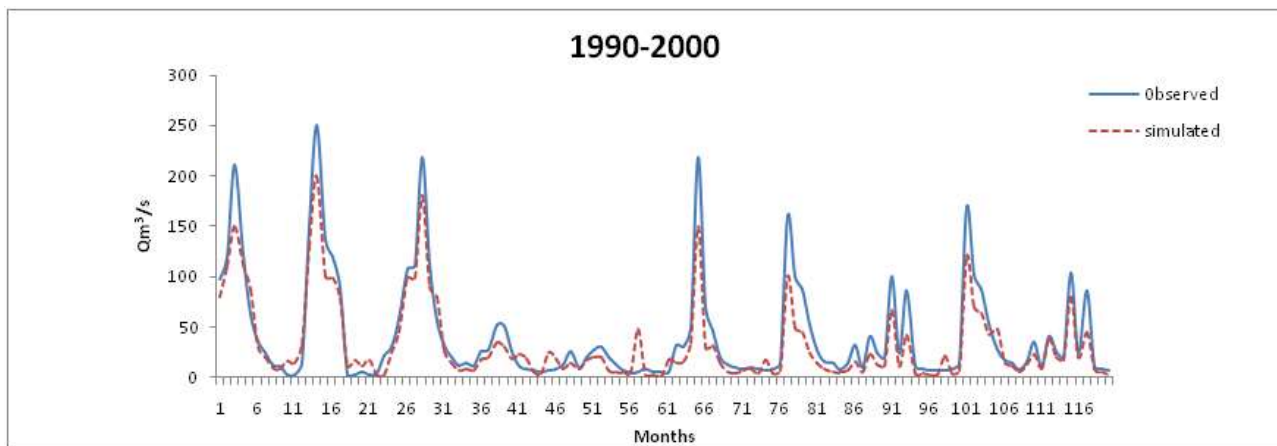
شکل ۸- همبستگی بین رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با استفاده از برنامه *sufi2* در مرحله واسنجی مدل در پایه زمانی ماهانه - دهه اول بازه زمانی



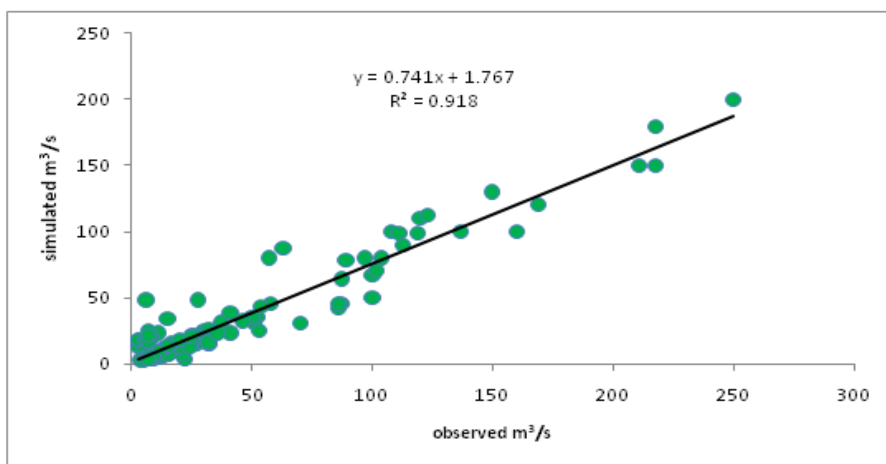
شکل ۹- مقادیر رواناب مشاهده‌ای و شبیه سازی شده حوزه مارون با استفاده از برنامه *sufi2* در مرحله واسنجی مدل در پایه زمانی ماهانه - دهه دوم بازه زمانی



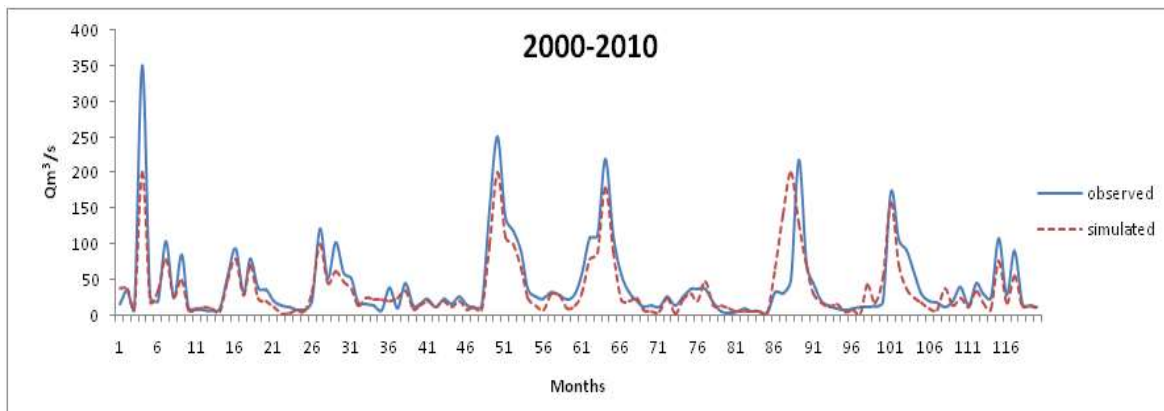
شکل ۱۰- همبستگی بین رواناب مشاهده‌ای و شبیه سازی شده با استفاده از برنامه *sufi2* در مرحله واسنجی مدل در پایه زمانی ماهانه - دهه دوم بازه زمانی



شکل ۱۱- مقادیر رواناب مشاهده‌ای و شبیه سازی شده حوزه مارون با استفاده از برنامه *sufi2* در مرحله واسنجی مدل در پایه زمانی ماهانه - دهه سوم بازه زمانی



شکل ۱۲- همبستگی بین رواناب مشاهده‌ای و شبیه سازی شده با استفاده از برنامه *sufi2* در مرحله واسنجی مدل در پایه زمانی ماهانه - دهه سوم بازه زمانی



شکل ۱۳- مقادیر رواناب مشاهده‌ای و شبیه سازی شده حوزه مارون با استفاده از برنامه *sufi2* در مرحله واسنجی مدل در پایه زمانی ماهانه - دهه چهارم بازه زمانی

زمانی ماهانه بدست آمد.

بحث و نتایج

یکی از کاربردهای ویژه مدل *SWAT* توانایی بررسی مؤلفه‌های مختلف چرخه هیدرولوژیکی در قالب سناریوهای مختلف می‌باشد. به طور کلی نتایج این پژوهش حاکی از آن است که در برنامه *SUF12* و در پایه زمانی ماهانه شماره منحنی رواناب به عنوان حساس‌ترین پارامتر می‌باشد. از طرفی ارتباط مستقیمی بین این پارامتر و نوع کاربری اراضی وجود دارد. لذا در هر مطالعه‌ای برای بررسی تاثیر تغییرات کاربری اراضی بر کمیت تغییرات هیدرولوژیکی حوضه در آینده چهار سناریو در جهت گرایش مثبت و منفی در نظر گرفته و نقشه کاربری اراضی متناظر در محیط *GIS* اصلاح و وارد مدل می‌شود و خروجی مدل بر مبنای گزینه‌های مختلف مدیریت اراضی استخراج و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. از آنجا که هدف اصلی این تحقیق بررسی تاثیر تغییر کاربری در طی چهار دهه گذشته می‌باشد لذا سناریویی برای آینده در مدل در نظر گرفته نمی‌شود (هرچند که این مدل توانایی انجام این کار را دارد) و بجای آن چهار گزینه مدیریتی به ازای چهار دهه‌ی بازه‌ی زمانی مطالعاتی، بعنوان چهار سناریو تعریف و تاثیر تغییرات کاربری که بطور واقعی اتفاق افتاده در پایان هر دوره مشخص و در نهایت با هم مقایسه می‌شوند. و بر اساس آنالیز پارامترهایی که مدل بیشترین حساست را نسبت به آنها نشان داده نتیجه گیری می‌کنیم. اولین سناریو، مربوط به نتایج مدل بر اساس تغییرات کاربری اراضی در دهه اول بازه زمانی مطالعه یعنی ۱۹۸۰ می‌باشد. همچنین سناریوهای دوم و سوم و چهارم بر اساس تاثیرات تغییر کاربری بر اساس نقشه‌های استخراجی و اصلاح شده از تصاویر ماهواره‌ای آخر هر بازه به ترتیب در سالهای ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ می‌باشد که مطابق جداول و نمودارهای ذیل شرح داده شده‌اند. بعد از تعریف این چهار گزینه مدیریتی از طریق تغییر کاربری

در مطالعه حاضر که در حوزه آبخیز مارون صورت گرفته است از داده‌های ایستگاه هیدرومتری ایدنک به عنوان کمک و مکمل برای پارامترهای محاسباتی مورد نیاز مدل *SWAT* طی دوره واسنجی و اعتبارسنجی استفاده گردید. به طوری که مطابق مطالعات سانگجون و همکاران (۲۰۰۷) و ژانگ و همکاران (۲۰۰۸) و سلمانی (۱۳۹۰) دو سوم از داده‌های موجود برای واسنجی و یک سوم برای اعتبارسنجی استفاده شد. نتایج آماری و گرافیکی شبیه‌سازی جریان آب در دوره زمانی واسنجی نشان دهنده مورد قبول بودن نتایج مدل در این مرحله می‌باشد. برای اعتبار سنجی مدل از پارامترهای بهینه شده در مرحله واسنجی و از بسته نرم افزاری *SWAT CUP* و برنامه‌های *SUF12* استفاده گردید. برای بررسی عملکرد مدل *SWAT* در شبیه‌سازی دبی ماهانه ایستگاه هیدرومتری ایدنک طی دوره واسنجی و صحت‌سنجی شاخص‌های ارزیابی دقت شبیه‌سازی بر مبنای معیارهای ارائه شده است. پژوهشگران مختلف استفاده از چندین روش بهینه‌سازی پارامترها و تحلیل عدم قطعیت را به جای یک روش خاص توصیه کرده‌اند (عباسپور و همکاران، ۲۰۰۴؛ عباسپور، ۲۰۰۸؛ سیتگن و همکاران، ۲۰۱۰). به همین دلیل در این مطالعه از برنامه‌ی *SUF12* و در قالب برنامه الحاقی به مدل *SWAT* در بسته نرم افزاری *SWAT CUP* استفاده گردید و کارایی مدل با استفاده از ضرایب *ENS*، *R₂*، *r-factor*، *p-factor*، *RMSE* و *MSE*، *br2* در خروجی حوضه مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه راندمان ناش-ساتکلیف به عنوان تابع هدف در هنگام واسنجی و اعتبارسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. *P-factor* عبارت است از درصد داده‌های مشاهده‌ای پوشش داده شده مساوی باند تخمین عدم قطعیت ۹۵٪ مقدار این شاخص آماری در حوزه آبخیز مارون بین ۰/۷۲ تا ۰/۹۳ برای دوره ماهانه متغیر می‌باشد. مقدار این شاخص در برنامه‌ی *SUF12* در دوره واسنجی ۰/۸۴ برای پایه زمانی ماهانه و در دوره اعتبارسنجی ۰/۸۲ برای پایه

همچنین جدول ۲ نشان دهنده مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط رواناب ماهانه حوضه در گزینه‌های مدیریتی مختلف کاربری اراضی است.

اراضی، تغییرات رواناب خروجی مدل با رسم هیدروگراف مربوطه بررسی شد و در هر حالت رواناب شبیه سازی شده در پایان هر دهه مقایسه شد. در جدول ۱ خروجی‌های حاصله در گزینه‌های مختلف مدیریتی ارائه شده است.

جدول ۱- تغییرات مساحت تغییرات کاربری در منطقه مطالعاتی مارون طی چهار دهه اخیر به هکتار

نوع کاربری	کاربری ۱۹۸۰	کاربری ۱۹۹۰	کاربری ۲۰۰۰	کاربری ۲۰۱۰
کشاورزی	۵۳۵	۶۱۲	۹۱۶	۱۳۴۴
جنگل	۲۷۲۲۵۸	۲۶۴۴۵۸	۲۵۶۱۸۶	۲۲۴۴۵۸
مرتع	۱۰۸۳۷۵	۱۱۶۰۹۷	۱۲۳۴۱۵	۱۵۴۰۶۳
منطقه شهری	۱۲۶	۱۲۷	۷۵۲	۱۴۰۹
آب	۰	۰	۲۵	۲۰

جدول ۲- مقایسه مقادیر حداقل، حداکثر و متوسط رواناب ماهانه حوضه و مقدار پارامتر $CN2$ در سناریوهای مختلف کاربری اراضی طی چهار دهه بازه زمانی مطالعاتی.

رواناب سطحی شبیه سازی شده در هر گزینه مدیریتی (مترمکعب بر ثانیه)				شاخص
دهه اول ۱۹۸۰	دهه دوم ۱۹۹۰	دهه سوم ۲۰۰۰	دهه چهارم ۲۰۱۰	
۹۰۲	۸۷۵	۱۲۰۸	۱۴۱۴	حداکثر ماهانه $m3/s$
۴,۷	۱,۷	۳,۴۳	۳,۶۳	حداقل ماهانه $m3/s$
۵۱,۱۶	۴۳,۳۳	۴۸,۳۸	۵۴,۵۸	متوسط ماهانه $m3/s$

رواناب خروجی از حوضه است. همچنین غالب منطقه به صورت کوهستانی است که باعث افزایش مقدار رواناب از طریق کاهش مقدار نفوذپذیری می‌شود در این صورت مقدار بالاتری از آب از طریق رواناب از حوضه خارج می‌شود. حساسیت بالای $CH-K2$ (هدایت هیدرولیکی موثر بستر رودخانه اصلی) در منطقه نشان دهنده وجود انشعابات فرعی متناوب یا فصلی در منطقه می‌باشد که بر روی جریان رودخانه اصلی تاثیر گذار می‌باشد. این حوضه دارای خشکه رودهای و رودخانه‌های فصلی متعدد به ویژه در مناطق نیمه خشک خود می‌باشد که در مواقع بارندگی و آبگیری تاثیر

پارامتر $CN2$ (شماره منحنی SCS اولیه برای شرایط رطوبتی متوسط (II) و شیب ۵ درصد) تابعی از نفوذپذیری خاک، کاربری اراضی و شرایط رطوبت پیشین می‌باشد. مقدار این پارامتر برای انواع مختلف خاک و کاربری اراضی و برای هر زیر حوضه متفاوت است. به طور کلی افزایش مقدار $CN2$ باعث افزایش حجم رواناب می‌شود که به نوبه خود باعث تلفات بیشتر آب و کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی و کاهش آب پایه رودخانه‌ها و تغییر در مقادیر فرسایش و رسوب می‌شود (لی و همکاران، ۲۰۰۷). حساسیت بالای این پارامتر در حوضه مذکور نشان دهنده نقش مهم کاربری اراضی در مقدار

نفوذ به لایه‌های پایین‌تر را نداشته و باعث افزایش جریان سطحی می‌شود. در حوزه آبریز مارون با توجه به تنوع اقلیم و توپوگرافی هر دو منطقه گرمسیر و سردسیر وجود دارند که با توجه به اینکه رخنمون زیاد سازند های انحلال پذیر و تکتونیک فعال منطقه و ظهور چشمه‌های کارستی در هر دو حالت پارامترهای ذوب برف باعث افزایش رواناب می‌شوند. مقایسه اثر گزینه‌های مدیریتی کاربری اراضی بر مؤلفه‌های مختلف چرخه هیدرولوژیکی و همچنین مقادیر مختلف رواناب نشان می‌دهد طی چهار دهه اخیر سناریوی بدبینانه اتفاق افتاده با ادامه روند تخریبی در کاربری اراضی به سمت حالت قهقرایی مقادیر مختلف رواناب افزایش و نفوذپذیری و آب‌گذری به آبخوان‌ها و سطحی و عمیق، جریان زیر قشری و تبخیر و تعرق واقعی کاهش می‌یابد. در واقع یکی از دلایل افزایش رواناب در گرایش منفی کاربری اراضی کاهش مقادیر مختلف نفوذپذیری، تبخیر و تعرق و آب‌گذری می‌باشد. در این حالت مقادیر بیشتر بارندگی از طریق رواناب سطحی از حوضه خارج می‌گردد. در جدول ۳ مقایسه تغییرات پارامترهای موثر بر میزان رواناب سطحی در حوزه مارون طی باز مطالعاتی نشان داده شده است.

قابل ملاحظه‌ای بر دبی خروجی حوضه در ایستگاه هیدرومتری ایدنک دارد. *SOL-K* (هدایت هیدرولیکی اشباع لایه‌های خاک) مقیاسی برای سهولت حرکت آب در لایه‌های خاک است که نشان دهنده تعادل بین جریان آبی و شیب هیدرولیکی می‌باشد. از پارامترهای مهم دیگر پارامترهایی در سطح *HRU* می‌باشند از جمله این پارامترها *SLSUBBSN* (متوسط طول شیب زمین در هر *HRU*) است که ممکن برای هر *HRU* مقدار یکسانی داشته باشد یا برای هر نوع کاربری و خاک یک *SLSUBBSN* در نظر گرفته شود و همچنین پارامتر *ESCO* (فاکتور جبران کننده تبخیر از خاک) پارامتری مهم در چرخه هیدرولوژیکی و تاثیرگذار بر روی رواناب سطحی است. به طور کلی کاهش این پارامتر باعث افزایش رواناب سطحی و جریان پایه می‌شود و بالعکس. زیرا با کاهش *ESCO* باعث انتقال آب بیشتری از لایه‌های زیرین خاک به لایه‌های فوقانی شده و نتیجتاً مقدار رواناب سطحی و جریان پایه افزایش می‌یابد. پارامترهای مختلف مربوط به آب زیرزمینی از تاثیرگذارترین پارامترها بر رواناب سطحی در حوضه مورد مطالعه است. این پارامترها نشان می‌دهند که اصولاً جریان رودخانه‌ای به وسیله جریان آب زیرزمینی کنترل می‌گردد. *ALPHA_BF* (ثابت تخلیه آب زیرزمینی) تولید کننده جریان پایه است. *ALPHA-BMK* (فاکتور آلفا جریان پایه برای ذخیره کناری) نشان دهنده ذخیره کناری است که بر روی جریان آبراهه اصلی یا بازه‌های درون زیر حوضه‌ها تاثیرگذار می‌باشد. پارامترهای نرخ ذوب برف *SMFMX* و *SMFMN* در مناطق گرمسیر و سردسیر، حساس و تاثیرگذار خواهند بود. اگر نرخ ذوب برف کم باشد، ماندگاری برف در سطح زمین بیشتر می‌شود و در نتیجه، تبخیر آب کمتر و مقدار نفوذ آب به لایه‌های عمیق‌تر خاک و سفره زیرزمینی افزایش می‌یابد و در مقابل سهم رواناب سطحی کمتر می‌شود. و اگر نرخ ذوب برف زیاد باشد فرصت

جدول ۳- مقایسه تغییرات پارامترهای موثر بر میزان رواناب سطحی در حوزه مارون طی باز مطالعاتی

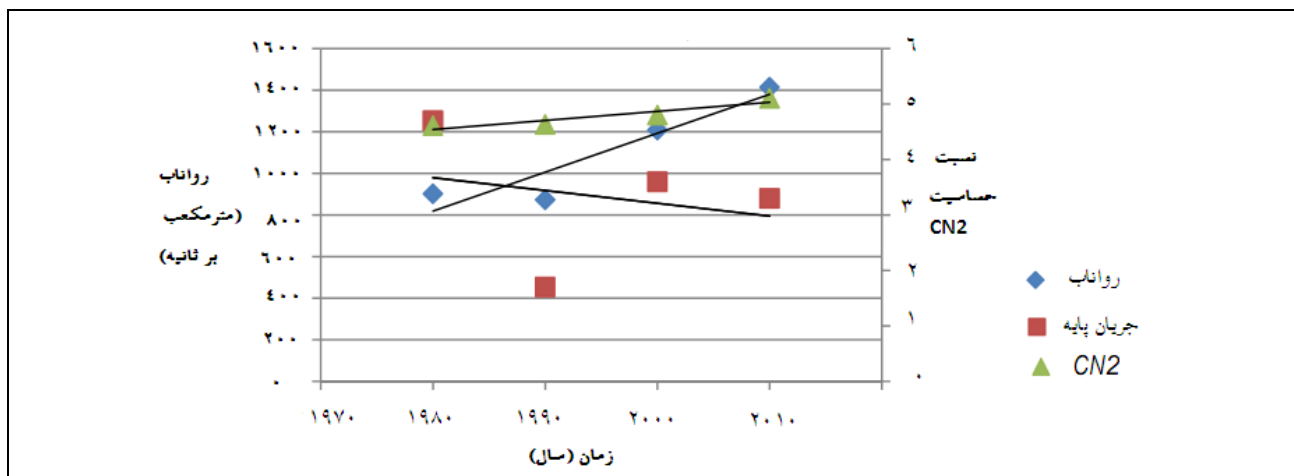
پارامتر	نسبت حساسیت Sr ۱۹۸۰	نسبت حساسیت Sr ۱۹۹۰	نسبت حساسیت Sr ۲۰۰۰	نسبت حساسیت Sr ۲۰۱۰
CN2	۴,۶۱	۴,۶۳	۴,۸	۵,۱
CH-K2	۲,۲۵	۲,۲۵	۲,۲۵	۲,۲۵
SMFMN	۰,۵۸	۰,۵۸	۰,۵۸	۰,۵۸
SOL_K	۰,۳۲	۰,۳۴	۰,۳۲	۰,۳۳
ALPHA_BF	۰,۳	۰,۳۳	۰,۳	۰,۳
SLSUBBSN	۰,۲	۰,۲	۰,۲	۰,۲
SMFMX	۰,۱	۰,۱	۰,۱	۰,۱
ESCO	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۸

نتیجه تغییر در شماره منحنی رواناب می‌باشد. و همچنین در شکل ۱۴ مقایسه تغییرات رواناب سطحی- جریان پایه- نسبت حساسیت CN در حوزه مارون طی باز مطالعاتی نشان داده شده است.

همان طوری که در جدول ۴ که مشاهده می‌شود با تغییر کاربری اراضی در هر یک از سناریوها مقادیر اوج رواناب نیز تغییر می‌یابد که این تغییر در گرایش مثبت به صورت کاهش دبی اوج و در گرایش منفی به صورت افزایش مقادیر اوج می‌باشد. که دلیل آن ناشی از تغییر نوع پوشش گیاهی و در

جدول ۴- تغییرات رواناب سطحی و جریان پایه در مقایسه با تغییرات نسبت حساسیت CN2

	دهه اول	دهه دوم	دهه سوم	دهه چهارم
رواناب سطحی	۹۰۲	۸۷۳	۱۲۰۸	۱۴۱۴
جریان پایه	۴,۷	۱,۷	۳,۶	۳,۳
CN2	۴,۶۱	۴,۶۳	۴,۸	۵,۱



شکل ۱۴- مقایسه تغییرات رواناب سطحی- جریان پایه- نسبت حساسیت CN در حوزه مارون طی باز مطالعاتی

می‌باشد پاسخ هیدرولوژیکی حوضه در حالت فقهقراپی و تخریب نسبت به حالت احیا کاربری شدیدتر است؛ لذا لزوم حفظ کاربری فعلی حوضه و بهبود و اصلاح کاربری اراضی یکی از راهکارهای اساسی در جهت مدیریت رواناب سطحی می‌باشد

در این صورت با کاهش نفوذپذیری مقادیر بیشتر بارندگی در روی سطح زمین جاری می‌شود و از دسترس خارج می‌گردد. همچنین با تغییر کاربری اراضی در جهت گرایش مثبت مقدار کمینه جریان متوسط ماهانه نیز افزایش پیدا می‌نماید. همان طوری که در جداول و اشکال مربوطه مشخص

گزارش بهنگام سازی تلفیق مطالعات منابع آب حوزه آبریز رودخانه های هنديجان و جراحی. ۱۳۸۸. "تجزیه و تحلیل آمار و اطلاعات و بیلان آب بخش ۵، تلفیق مطالعات و بیلان آب، بیلان آب محدوده مارون ۲۴۰۸". شرکت مدیریت منابع آب ایران، شرکت سهامی سازمان آب و برق خوزستان- معاونت مطالعات پایه منابع آب، جلد سوم، ص ۱۷۷.

Abbaspour KC. Johnson CA. and Van Genuchten. (2004). " Estimating Uncertain Flow and Transport Parameters Using a Sequential Uncertainty Fitting Procedure". Vadoso Zone Journal. pp1340–1352.
Abbaspour KC. Vejdani M. And Haghightat S. (2008). "SWAT-CUP Calibration and

منابع

سلمانی ، حسین. (۱۳۹۰). "بهینه سازی پارامترهای موثر در بارش - رواناب در مدل نیمه توزیعی SWAT درحوزه قزاقلی استان گلستان". کارشناسی ارشد، گروه احیا مناطق خشک و بیابانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
 میراب زاد، م. و قبادی نیام، ۱۳۸۴. "ساختار مدل های ریاضی و کاربرد آن ها در سیستم های آب زیرزمینی". کارگاه آموزشی مدلسازی در آبیاری و زهکشی، کمیته ملی آبیاری و زهکشی، ۱۳ ص.
 امین ، س. و غفوری روزبهانی، ع. ۱۳۸۱. " شبیه سازی رواناب سطحی و تبخیر و تعرق حوزه آبخیز معرف رود زرد با مدل استانفورد ۴". مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ششم، شماره سوم ۱۲ ص.

sediment in two mountainous basins in central Iran.". *Hydrological Sciences Journal*. pp 977 – 988.

Sangjun I., Brannan KM., Saied Mostaghimi S. and Sang MK.(2007)." Comparison of HSPF and SWAT models performance for runoff and sediment yield prediction". *Journal of Environmental Science and Health*. pp 1561-1570.

Setegn SG., Dargahi B., Srinivasan R. and Melesse AM.(2010). *Modeling of sediment yield from anjeni-gauged, watershed, Ethiopia using SWAT model*". *Journal of the American Water Resources Association (JAWRA)*. pp 514-526.

White k. and Chaubey I.(2008)."Sensitivity analysis, calibration and validation for a multisite and multivariable SWAT model". *Journal of the American Water Resources*.pp134-145.

Zhang X., Srinivasan R. and Van Liew M: .(2005)."Multi-site calibration of the SWAT model for Hydrologic modeling". *Soil & Water Association (JAWRA)*. Division of ASABE, American Society of Agricultural and Biological Engineers. pp 2039-2049.

Uncertainty Programs for SWAT". pp1596-1602.

Anwar NS.(2002). "Simulated Impact of land use dynamics on Hydrology during a 20-year-Period of Deles basin in Ethiopia". *TRITA-LWR Master Thesis*. pp 1-33.

Feyereisen, G.W., T.C. Strickland, D.D. Bosch and D.G. Sullivan. (2007). "Evaluation of SWAT manual calibration and input parameter sensitivity in the little river watershed". *American Society of agriculture and biological engineering*, pp 843-855.

Jha, M.K., P.W. Gassman and J.G. Arnold. (2007)."Water quality modeling for the Raccon River watershed, using SWAT". *American Society of Agricultural and Biological Engineers journal* ,pp 479-493.

Li KY., Coe MT., Ramankutty N. and De Jong R.(2007). "Modeling the hydrological impact of land-use change in West Africa". *Journal of Hydrology*. pp 337: 258– 268.

Rostamian R., Jaleha A., Afyunia M., Mousavian SF., Heidarpour M., Jalalian A. and Abbaspour KC.(2010)." Application of a SWAT model for estimating runoff and

Survey the effect of land use changes on quantity of water Maroon River using RS and GIS

Kh.shafiei Motlagh¹, J.Porhemmat², H.Sedghi³, M.Hosseni⁴

1 - Department of civil Engineering, Dehdasht Branch, Islamic Azad University, Dehdasht, Iran

2- Associate Professor in hydrology and water resources of Soil Conservation and Watershed Management Research institute (SCWMRI)

3- Department of Water resource Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

4- Assistant Professor, in hydrology and water resources of Soil Conservation and Watershed Management Research institute (SCWMRI)

Corresponding Author: kh_shafieimotlag@yahoo.com

Abstract

The Correct management watersheds is one of the most important methods is the optimal use of soil and water resources. To do this, it s need for comprehensive information of different methods administrative management. Recent decades, correct and timely assessment of quantitative and qualitative runoff is considered one of the concerns of the country's macro management. This project is modeling and evaluation and efficiency of the SWAT model to simulate the monthly runoff, sensitivity analysis, optimization of critical parameters, to evaluate the effect land use during the past four decades on Quantity of Maroon River watershed at the departure station (Idanak) in Kohgiloyeh and Boyerahmad. For this purpose, were used from semi-distributed SWAT model and SUFI2 program in the form of bundles SWAT CUP for sensitivity analysis, calibration, validation and uncertainty analysis. In this research first were prepared changes in land use map available as well as soil and vegetation in the watershed Maroon map within four ten-year period from 1980 to 2010 by using TM and ETM sensor of Landsat satellite . Observations Data of hydrometric Idenak station as base station was used during 1970 to 2010 in four ten-year period to observe changes in runoff during the calibration and validation. Compare the effect of land use management options on the different components of the hydrological cycle shows different amounts of runoff. Shows a the pessimistic scenario occurred in four decades. With continuing damage to the state in land use regression various amounts of runoff increases and decreases permeability and gullies on the surface and deep aquifers.

Key words: *land use, SWAT model, SUFI 2, Maroon basin*

