

مقدمه

چرخه آب‌شناختی نظامی است پیچیده که بیانگر گردش مداوم آب از طریق فرایندهای بارش، رواناب سطحی، نفوذپذیری و تبخیر و تعرق می‌باشد [۱۵]. این نظام عامل‌های متعددی دارد که ارتباط چند سویه با هم داشته و به صورت مختلف بیلان آبی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در سال‌های اخیر نیاز به منابع آبی به سرعت در حال رشد است. افزایش تقاضای منابع آبی نیاز به مدیریت یکپارچه و پایدار آب حوزه و درک درست از بیلان آبی دارد [۳]؛ لذا مدل‌های آب‌شناختی به منظور شبیه‌سازی فرآیند بارش-رواناب، تحلیل جریان رودخانه و درک بهتر عوامل موثر در چرخه آب‌شناختی حوزه‌های آبخیز توسعه یافته‌اند [۱]. این مدل‌ها ابزارهای مهمی برای فهم بهتر فرایندهای مختلف آب‌شناختی حوزه، رویکردهای مدیریت بهینه منابع آبی و ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های زمانی مختلف می‌باشند [۳۲]. مدل‌های آب‌شناختی برای مسائلی همچون مدیریت حوزه و ارزیابی منابع آبی از اهمیت خاصی برخوردارند. بنابراین توسعه و تکمیل این مدل‌ها برای فهم اثرات متقابل بین اقلیم و نظام آب‌شناختی و همچنین بررسی طیف وسیعی از مشکلات زیست محیطی و منابع آبی ضروری به نظر می‌رسد [۲۵]. مدل‌های مفهومی به‌طور عام دارای عامل‌های زیادی هستند که نمی‌توان آن‌ها را به صورت مستقیم اندازه‌گیری کرد و لازم است که آن‌ها را از طریق واسنجی مدل برآورد نمود [۱۲]. به همین دلیل در مطالعه حاضر، روش بهینه‌سازی فراگیر SCE^۴ برای شبیه‌سازی رواناب روزانه و ماهانه مدل نیمه توزیعی - فیزیکی ArcSWAT^۵ و شناخت مؤلفه‌های مختلف چرخه آب‌شناختی استفاده گردید. نتایج مطالعه فانکو هو و همکاران [۸] در شبیه‌سازی مقادیر رواناب و رسوب روزانه رودخانه لوح^۶ نشان داد که مدل SWAT می‌تواند به طور موفقیت آمیزی برای شبیه‌سازی درازمدت رواناب و رسوب حوزه‌های رودخانه بزرگ مورد استفاده قرار گیرد. سان و کورنیش [۳۳] در مطالعه ۳۰ ساله خود در دشت لیورپول کشور انگلستان با مساحت ۴۳۷ km^۲ دریافتند که مدل SWAT می‌تواند به خوبی دبی رودخانه را پیش‌بینی کرده و در مقایسه با روش‌های مدل‌سازی منابع نقطه‌ای APSIM^۷، نتایج بهتری را ارائه دهد. بیرهانو و همکاران [۴].

ارزیابی کارایی مدل ArcSWAT و برنامه ParaSol در شبیه‌سازی جریان (مطالعه موردی حوزه آبخیز قزاقلی استان گلستان)

حسین سلمانی^۱، محسن محسنی ساروی^۲، حامد روحانی^۳ و علی سلاجقه^۴
تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۰/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۱۷

چکیده

در مدیریت منابع آب بایستی نسبت‌های مختلف تبخیر و تعرق، آب پایه، رواناب سطحی و نفوذپذیری بدرستی شناخته شود. لذا هدف از این پژوهش، بررسی کارایی مدل ArcSWAT و برنامه ParaSol در شبیه‌سازی جریان روزانه و ماهانه، بررسی مؤلفه‌های مختلف چرخه آب‌شناختی و تعادل آبی حوزه آبخیز قزاقلی استان گلستان می‌باشد. داده‌های رواناب مشاهده‌ای ایستگاه آب‌سنجی قزاقلی به عنوان ایستگاه مبنا در طی سال‌های آماری آبی (۶۶-۱۳۶۵) تا (۷۱-۱۳۷۰) مورد استفاده قرار گرفت. تحلیل حساسیت عامل‌ها بر اساس دو نمایانه p-value و t-stat انجام گرفت. واسنجی مدل در دو پایه زمانی روزانه و ماهانه با ضریب تعیین (R^۲)، ۰/۸۳ و ۰/۸۶، ضریب کارایی نش- ساتکلیف (E_{NS}) ۰/۷۸ و ۰/۸۴ و ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) ۱۳/۰۶ و ۱۷/۱۳ صورت پذیرفت. این ضرایب برای دوره اعتبارسنجی در پایه زمانی روزانه به ترتیب ۰/۷۶، ۰/۷۴، ۱۱/۲۷ و برای پایه زمانی ماهانه ۰/۵۹، ۰/۵۵ و ۱۴/۱۵ بدست آمدند. بررسی عدم قطعیت مدل با استفاده از دو عامل P-factor و R-factor نشان داد که شبیه‌سازی در پایه زمانی ماهانه نسبت به روزانه در هر دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی از دقت بالاتری برخوردار است. به طور کلی نتایج حاکی از آن است که تبخیر و رواناب، دو عامل اصلی در هدر رفت آب از حوزه مورد مطالعه می‌باشند. واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، جریان، ArcSWAT، ParaSol و گلستان.

4- Shuffled Complex Evolution
5- ArcGIS Soil and Water Assessment Tool
6- Luohe
7- Agricultural Production Systems Simulator

۱- نویسنده مسئول و دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری دانشگاه تهران
Email: hsalmani@ut.ac.ir
۲- استاد منابع طبیعی دانشگاه تهران
۳- استادیار مجتمع آموزش عالی گنبد



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز قزاقلی در استان گلستان و کشور ایران

با استفاده از نمایانه P-factor و d-factor در سطح اطمینان ۹۵٪ نشان‌دهنده قابلیت بالای مدل در شبیه‌سازی بود. شبیه‌سازی رواناب و محاسبه تحلیل عدم قطعیت حوزه تانا^۵ در اتیوپی با استفاده از مدل SWAT و روش‌های رابط عدم قطعیت ترتیب (SUFI-۲)، حل پارامتر (ParaSol)^۶ و برآورد تحلیل عدم قطعیت درست‌نمایی کلی (GLUE)^۷ نشان‌دهنده قابلیت بالای مدل با ضرایب تعیین و ضریب راندمان نش- ساتکلیف بزرگ‌تر از ۰/۵ بود [۲۹]. نتایج مطالعات شی و همکاران [۳۰] در بررسی کارایی دو مدل SWAT و مدل (Xinanjiang XAJ) در شبیه‌سازی آب‌شناختی حوزه رودخانه سیکسین^۸ نشان داد که در حوزه‌هایی با پیچیدگی بالا، SWAT مدلی مناسب برای شبیه‌سازی آب‌شناختی کمیت و کیفیت آب و برآورد اثرات تغییرات کاربری اراضی و فعالیت‌های بشری است.

هدف از انجام این مطالعه، بکارگیری یک روش بهینه‌سازی فراگیر در تعیین توابع عامل‌های توابع چند بعدی مدل ArcSWAT برای شبیه‌سازی جریان روزانه و ماهانه حوزه آبخیز قزاقلی می‌باشد. بعد از شناخت عامل‌های حساس و موثر بر دبی رودخانه، واسنجی با استفاده از این عامل‌ها انجام شد. سپس فرایند اعتبارسنجی به منظور بررسی قابلیت مدل با استفاده از مقادیر بهینه حاصل از واسنجی به اجرا در آمد. به طور کلی کاربرد این مدل درک بهتری از فرایند پیچیده حوزه آبخیز قزاقلی به منظور مدیریت بهینه منابع آبی فراهم می‌سازد.

جریان رودخانه‌ای در شمال تانزانیا را با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی کردند. در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی، نتایج کارایی مدل با ضریب R^2 به ترتیب ۸۲٪ و ۵۹٪ بدست آمدند. مانوچ ژا و همکاران [۱۸]، بر روی آبخیز رودخانه راکون^۱ در آمریکا مطالعه‌ای را انجام داده و جریان آبراه‌های را با استفاده از مدل SWAT مورد بررسی قرار دادند. در پژوهش آنها، نتایج واسنجی و اعتبارسنجی کارایی مدل با ضریب R^2 برای دوره سالانه به ترتیب ۹۷٪ و ۹۴٪ و برای دوره ماهانه ۸۷٪ و ۸۹٪ بدست آمد. اندومبا و بیرهانو [۲۱]، حوزه‌های مربوط به رودخانه نیل را مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه مدل SWAT رواناب را با ضریب نش-ساتکلیف از ۱۳/۷ تا ۸۷٪، ضریب تعیین R^2 بین ۲۶ تا ۷۲٪ و نمایانه IVF، ۹۸ تا ۱۴۳٪ برآورد نمود. صالح و همکاران [۲۶] مدل SWAT۲۰۰۵ را برای شبیه‌سازی رواناب حوزه ماسکینگ کرینگ^۳ در کالیفرنیا بکار بردند. مدل برای ۲۹ روز در فوریه ۲۰۰۴ واسنجی و برای ۵۸ روز در ژانویه و فوریه ۲۰۰۵ اعتبارسنجی گردید. مقدار ضریب نش-ساتکلیف در طول دوره واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۷۲ و ۰/۳۳ بدست آمد. به طور کلی شبیه‌سازی رواناب توسط مدل رضایت بخش نبود که این عدم موفقیت به احتمال به علت محدودیت اطلاعات رواناب اندازه‌گیری شده موجود برای واسنجی بود. رستمیان و همکاران [۲۵] برای مدل‌سازی رواناب و رسوب حوزه‌های آبخیز بهشت آباد و حوزه ونک از مدل SWAT و برنامه رابط عدم قطعیت ترتیبی (SUFI-۲)^۴ استفاده کردند. ارزیابی قابلیت واسنجی و عدم قطعیت

5- Lake Tana
6- Parameter Solution
7- Generalized Likelihood Uncertainty Estimation
8- Xixian

1- Rakon
2- Index of Volumetric Fit
3- Mustang Creek
4- Sequential Uncertainty Fitting- version 2

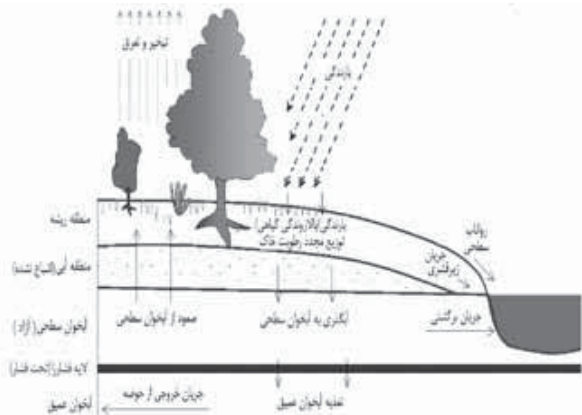
مواد و روش‌ها منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز قزاقلی با مختصات جغرافیایی $37^{\circ} 01' 55''$ تا $40^{\circ} 27' 56''$ طول شرقی و $48^{\circ} 45' 36''$ تا $47^{\circ} 56' 37''$ عرض شمالی در استان گلستان و در چین خوردگی‌های شمالی سلسله جبال البرز قرار دارد (شکل ۱). مساحت این حوزه در حدود 7072 km^2 می‌باشد. این حوضه از شمال به حوزه آبخیز اترک، از جنوب به حوزه شاهرود، از شرق به استان خراسان شمالی و از غرب به بخشی از حوزه بزرگ گرگانرود محدود می‌شود. به طور کلی زیر حوضه‌ها (سر شاخه‌ها)ی حوزه آبخیز قزاقلی از شرق به غرب عبارتند از: ساری سو (قرناوه)، زاو، آجی سو (کال آجی)، دوغ (مادرسو)، اوغان، قلی تپه (ترکولو)، نرماب- چلی چای (چهل چای) و خرمارود (خرمالو). در این حوضه ارتفاعات البرز بخش‌های جنوبی و شرقی آن را تشکیل داده که با توجه به پهنای کم چین خوردگی‌های البرز در این ناحیه رودخانه‌های واقع در این ارتفاعات فاقد زیر حوضه‌های آبخیز وسیع می‌باشند. حداقل و حداکثر ارتفاع حوزه به ترتیب 2889 متر و 18 متر از سطح دریا است. نوع اقلیم منطقه در روش طبقه بندی دومارتن اصلاح شده به صورت نیمه خشک تا خیلی مرطوب نوع الف بوده و در روش سیلیانفاین حوضه، تنها واجد اقلیم فرا خشک و خشک نمی‌باشد. بیشترین مقدار بارش در اوایل بهار و فصل پاییز و کمترین مقدار در اواخر بهار و فصل تابستان می‌باشد. دمای متوسط سالانه برابر $18/2$ درجه سانتی‌گراد و بارش متوسط سالانه آن برابر 556 میلی‌متر است. عمده کاربری اراضی در حوضه مذکور کاربری‌های مرتع- بوتهزار، مخلوط جنگل‌های سوزنی برگ - پهن برگ و اراضی کشاورزی با کشت نامنظم و غیر ردیفی به ترتیب با مساحت $35/079\%$ ، $27/014\%$ و $17/23\%$ می‌باشد. حوزه مورد مطالعه شامل 57 کلاس خاک می‌باشد. خاک غالب منطقه به صورت لومی، شنی- لومی و با قابلیت زهکشی تاحدودی آهسته می‌باشد و از جنوب به شمال از نظر هوموس و میزان باروری فقیر می‌شود.

معرفی مدل TAWS

مدلی است آب‌شناختی، در مقیاس حوزه آبخیز که توسط سازمان پژوهش‌های کشاورزی آمریکا توسعه داده شده است. فرایندهای آب‌شناختی اصلی شبیه‌سازی شده توسط مدل شامل تبخیر و تعرق، رواناب سطحی، ذوب برف، نفوذ سطحی، نفوذ عمقی، جریان آب زیر زمینی و جریان زیر سطحی است. چرخه آب‌شناختی بر این اساس در شکل ۲ نمایش داده شده است.

تعادل آبی هر واحد پاسخ آب‌شناختی (HRU) حوزه با چهار حجم ذخیره شامل (برف، نیم‌رخ خاک (۰ تا ۲ متر)، آبخوان سطحی (۲ تا ۲۰ متر) و آبخوان عمیق (بیشتر از ۲۰ متر) مشخص می‌گردد



شکل ۲- نمایی از چرخه هیدرولوژیک در مدل SWAT [۲۴]

[۱۹]. رواناب سطحی توسط دو روش شماره منحنی SCS و روش گرین-آمپ^۲ محاسبه می‌گردد. عامل‌های اصلی کنترل کننده رواناب سطحی شامل CN₂ (شماره منحنی SCS اولیه برای شرایط رطوبتی متوسط)، SOL_AWC (ظرفیت آب قابل دسترس لایه‌های خاک) و SOL_K (هدایت هیدرولیکی اشباع لایه‌های خاک) می‌باشد [۲۲]. در این مدل حداکثر رواناب بر اساس روش استدلالی محاسبه می‌شود.

در مدل SWAT تبخیر و تعرق بالقوه با سه روش پریستلی - تیلور، پنمن - مانتیس و هارگریوز - سامانی محاسبه می‌شود. پارامترهای مورد نیاز روش پنمن - مونتیس شامل دمای هوا، تابش خورشیدی، رطوبت نسبی و سرعت باد می‌باشد. روش پریستلی - تیلور به دمای هوا، تابش خورشیدی و رطوبت نسبی نیاز دارد. روش هارگریوز - سامانی تنها به دمای هوا نیاز دارد. SWAT مقدار آبی که از یک لایه به لایه بعدی حرکت می‌کند را با استفاده از روش روندیابی ذخیره محاسبه می‌کند. این مدل جریان زیر سطحی را در یک مقطع دو بعدی و در مسیر جریان به طرف پایین یک تپه شیب دار شبیه‌سازی می‌کند. در این بررسی از روش‌های ماسکینگام، شماره منحنی SCS، روش استدلالی و روش تبخیر و تعرق پنمن - مونتیس با توجه به دقت بالاتر برای شبیه‌سازی استفاده گردید [۲۶]. همچنین برای واسنجی از داده‌های ۱۱ ایستگاه باران‌سنجی، ۹ ایستگاه دماسنجی، ۷ ایستگاه رطوبت‌سنجی، ۱۲ ایستگاه بادسنجی و تابش‌سنجی داخل و اطراف حوزه در طی سال‌های ۱۹۸۷-۱۹۹۲ (سال‌های آبی ۶۶-۱۳۶۵ تا ۷۱-۱۳۷۰) استفاده شد (جدول ۱).

برنامه loSaraP و الگوریتم بهینه سازی AU-ECS^۴

از برنامه ParaSol (تحت برنامه الحاقی SWAT-CUP) برای تحلیل حساسیت عامل، واسنجی و صحت‌سنجی فرآیند شبیه‌سازی استفاده می‌شود [۱۴ و ۳۵]. روش ParaSol بر اساس نمایانه بهینه

2- Soil Conservation Service, 1972

3- Green and Ampt infiltration Method, 1910

4- Shuffled Complex Evolution-University of Arizona

1- Hydrologic Response Unit (HRU)

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه

ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع (متر)	نوع ایستگاه
مراوه تپه	۵۵° ۵۷'	۳۷° ۵۴'	۴۶۰	سینوپتیک
گنبد	۵۵° ۱۰'	۳۷° ۱۵'	۳۷	سینوپتیک
پارک ملی	۵۵° ۴۷'	۳۷° ۲۳'	۴۶۰	سینوپتیک
تمر	۵۵° ۳۰'	۳۷° ۳۰'	۱۳۲	سینوپتیک
چشمه خان	۵۵° ۰۷'	۳۷° ۱۸'	۱۲۵۰	سینوپتیک
رباط قره بیل	۵۶° ۱۸'	۳۷° ۲۱'	۱۴۵۰	سینوپتیک
لزوره	۵۵° ۲۲'	۳۷° ۱۴'	۱۵۵	سینوپتیک
ارازکوسه	۵۵° ۰۹'	۳۷° ۱۴'	۳۵	سینوپتیک
رامیان	۵۵° ۰۸'	۳۷° ۰۱'	۲۰۰	سینوپتیک
تنگه راه	۵۵° ۴۴'	۳۷° ۲۷'	۳۳۰	باران سنجی
قلی تپه	۵۵° ۲۵'	۳۷° ۱۳'	۲۵۰	سینوپتیک
نوده	۵۵° ۱۶'	۳۷° ۰۴'	۲۸۰	باران سنجی
قزاقلی	۵۵° ۰۱'	۳۷° ۱۴'	۳۰	آب سنجی

خاک شناسی و اطلاعات هواشناسی است. داده‌های هواشناسی مورد نیاز مدل شامل بارندگی، کمینه و بیشینه دما، رطوبتی نسبی، تابش خورشیدی و سرعت باد بر پایه زمانی روزانه مربوط به ایستگاه‌های داخل و اطراف حوزه می‌باشد. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. شبیه‌سازی در دو پایه زمانی روزانه و ماهانه طی سال‌های آماری ۱۹۸۷-۱۹۹۰ (سال آبی (۶۶-۱۳۶۵) تا (۶۹-۱۳۶۸)) انجام شد. برای سهولت شبیه‌سازی، کاهش ناهمگنی و افزایش دقت، بایستی حوزه به زیر حوزه و سپس به واحد پاسخ آب‌شناختی تقسیم شود [۲۳]. برای تعیین HRU از روش سطح آستانه حداقل برای حذف کاربری‌ها، خاک‌ها، و شیب درون هر زیر حوضه استفاده گردید. در این صورت کلاس‌های شیب، کاربری و خاکی که سطحی کمتر از سطح آستانه داشته باشند محو می‌گردند و منطقه باقی مانده دوباره تقسیم بندی می‌شود به طوری که ۱۰۰ درصد مساحت زمین درون زیر حوضه مدل سازی گردد. در این بررسی آستانه‌های ۱۰٪ برای هر یک از کلاس‌های شیب، خاک و کاربری اراضی در نظر گرفته شد به طوری که بیشترین جزئیات را در بر بگیرد. بر اساس مقدار آستانه لحاظ شده در این مطالعه، حوزه آبخیز قزاقلی به ۲۷۸ واحد پاسخ آب‌شناختی تقسیم گردید که در درون ۳۷ زیر حوضه جای گرفته‌اند. متغیرهای مختلف برای هر HRU شبیه‌سازی شده، سپس برای کل زیر حوزه‌ها وزن دهی شد و بعد از جمع بستن، مقدار کل برای آن حوزه محاسبه گردید [۵].

تحلیل حساسیت به صورت خودکار و در برنامه ParaSol انجام گرفت. اساس تحلیل حساسیت این برنامه بر اساس الگوریتم بهینه سازی SCE-UA و محاسبه دو نمایانه آماری t-stat و p-value

سازی جهانی و الگوریتم بهینه سازی توسعه یافته در دانشگاه آریزونا بنام الگوریتم تکامل تصادفی جوامع (SCE-UA) می‌باشد [۶]. تکامل تصادفی جوامع یا SCE یک الگوریتم بهینه سازی سراسری فرا ذهنی می‌باشد که به انتخاب اولیه‌ای از جمعیت نقاط^۱ توزیع شده تصادفی در سرتاسر فضای پارامتر ممکن نیاز دارد. جمعیت سپس به چندین جامعه^۲ تقسیم می‌شود، که هر کدام شامل $1+2n$ نقطه است، که n تعداد عامل‌های مورد نیاز برای واسنجی است. هر کدام از این جوامع به طور مستقل در جهت توسعه کلی با استفاده از تکنیک تکامل رقابتی تکامل حاصل می‌نمایند. در پایان هر مرحله، کل مجموعه بدست آمده بر زده شده^۳ و با هم ترکیب می‌شوند. نقاط نسبت داده شده به جوامع جدید اطلاعاتی را شکل می‌دهد که به وسیله جوامع تقسیم شده قبلی بدست آمده است. مراحل ارزیابی و ادغام تا زمانی ادامه می‌یابد که مشخص شود معیار همگرایی بدست آمده است. فرایند تکامل رقابتی و بر زدن جوامع اصلی در الگوریتم SCE کمک می‌کنند تا مطمئن سازد که اطلاعات موجود در نمونه کافی و به‌طور کامل بهره برداری شده است و این اطلاعات مجازی بدست آمده توسط هر جامعه با کل جامعه به اشتراک گذاشته شده است [۱۲].

جمع آوری اطلاعات مورد نیاز برای مدل سازی

داده‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی توسط مدل SWAT شامل مدل رقومی ارتفاع (DEM)، نقشه شبکه زهکشی، کاربری اراضی، داده‌های

- 1- Population
- 2- Complex
- 3- Shuffling

می‌باشد. بر اساس مطالعات مختلف صورت گرفته در این زمینه از جمله پژوهش‌های اتین و همکاران [۷] و رابرت و همکاران [۲۶]، در تحقیق حاضر تعداد ۲۷ عامل مدل سوات برای تحلیل حساسیت انتخاب شد. در جدول ۲ عامل‌های مورد استفاده برای تحلیل حساسیت و دامنه تغییرات آن‌ها ارائه شده است. انتخاب عامل‌های مهم و تاثیر گذار و دامنه تغییرات آن‌ها بر اساس پیش فرض مدل و بر اساس مطالعات صورت گرفته در این زمینه [۲، ۲۵ و ۲۶] و برای حوزه آبخیز قزاقلی تنظیم گردید. درجه عدم قطعیت توسط دو عامل R-factor و P-factor محاسبه گردید. عبارت P-factor است درصد داده‌های مشاهده‌ای پوشش داده شده مساوی باند برآورد عدم قطعیت ۹۵ درصد (ppu۹۵) و

R-factor عبارت است از متوسط ضخامت باند PPU۹۵ که بر انحراف معیار داده‌اندازه‌گیری شده تقسیم می‌شود. به طور کلی هر چقدر مقدار p-factor به ۱۰۰ درصد و R-factor به صفر نزدیک‌تر باشد شبیه‌سازی با دقت بیشتری انجام گرفته است [۲۴، ۱۴، ۲۵ و ۳۱]. بعد از اجرای تحلیل حساسیت، تعداد ۱۷ عامل حساس در شبیه‌سازی نهایی طی دوره واسنجی ۱۹۹۰-۱۹۸۷ (سال آبی ۶۶-۱۳۶۵ تا ۶۹-۱۳۶۸) و اعتبارسنجی ۱۹۹۲-۱۹۹۱ (سال‌های آبی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۷۱-۱۳۷۰) و در دو پایه زمانی روزانه و ماهانه مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین به منظور ارزیابی کارایی مدل، نمایانه ارزیابی دقت شبیه‌سازی بر مبنای معیارهای ارائه شده در جدول ۳ می‌باشند.

جدول ۲- عامل‌های مورد استفاده برای تحلیل حساسیت و دامنه تغییرات آن‌ها

دامنه تغییرات	توضیحات	نام پارامتر*
۲۰ تا ۹۰	شماره منحنی SCS اولیه برای شرایط رطوبتی متوسط (II)	r_CN۲
۲۰۰۰ تا ۰	هدایت هیدرولیکی اشباع لایه‌های خاک	(r_SOL_K)
۱۵۰ تا ۰	هدایت هیدرولیکی موثر بستر رودخانه اصلی	v_CH_K۲
۰/۷ تا ۰	ضریب مانینگ رودخانه اصلی	v_CH_N۲
۱ تا ۰	عامل آلفا جریان پایه برای ذخیره کناری	v_ALPHA_BNK
۱۵۰ تا ۱۰	متوسط طول شیب زمین در هر HRU	r_SLSUBBSN
۵۰۰۰ تا ۰	حداقل عمق مورد نیاز سطح‌ایستایی در سفره‌های کم عمق برای وقوع جریان بازگشتی	v_GWQMN
۵۰ تا ۰	نرخ تغییرات دما با ارتفاع در هر زیر حوزه	v_TLAPS
۱۰ تا ۰	عامل ذوب برف در تاریخ ۲۱ ژوئن (اول تیر ماه)	v_SMFMX
۰/۲۵ تا ۰	ضریب بازتاب لایه‌های خاک (آلبیدو)	(r_SOL_ALB)
۵۰۰ تا ۰	زمان تأخیر انتقال آب از آخرین لایه خاک به سطح آب زیرزمینی	v_GW_DELAY
۱ تا ۰	ظرفیت آب قابل دسترس لایه‌های خاک	(r_SOL_AWC)
۱ تا ۰/۰۱	فاکتور جبران جذب آب توسط گیاه	r_EPCO
۱/۵ تا ۰/۰	ضریب تعیین نفوذ به سفره آب زیر زمینی عمیق یا صعود مویینگی از سفره آب کم عمق	v_GW_REVAP
۱ تا ۰	عامل آلفا در جریان پایه	v_ALPHA_BF
۵- تا ۵+	متوسط دمای هوا برای تبدیل باران به برف (C°)	v_SFTMP
۱۸۰ تا ۰	زمان تأخیر رسیدن جریان‌های زیر سطحی به رودخانه در هر HRU	r_LAT_TTIME
۱۰ تا ۰	عامل ذوب برف در تاریخ ۲۱ دسامبر (اول دی ماه)	v_SMFMN
۱ تا ۰/۰۱	عامل جبران کننده تبخیر از خاک	r_ESCO
۲/۵ تا ۱/۱	چگالی ویژه ظاهری لایه‌های خاک	(r_SOL_BD)
۵- تا ۵+	دمای پایه ذوب توده برف (C°)	v_SMTMP
۱۰۰ تا ۰	حداکثر آب نگه داشته شده توسط پوشش گیاهی	v_CANMX
۰/۶ تا ۰	شیب متوسط زمین در هر HRU	(r_SLOPE)
۲۴ تا ۱	ضریب تأخیر رواناب سطحی	v_SURLAG
۱ تا ۰	درصد تغذیه سفره عمیق از سفره کم عمق یا غیر محصور	v_RCHRG_DP
۱ تا ۰	عامل تأخیر دمای فشرده سازی برف	v_TIMP
۵۰۰ تا ۰	حداقل عمق سطح‌ایستایی در سفره‌های کم عمق برای صعود مویینگی یا تغذیه سفره عمیق	v_REVAPMN

* ۷ به معنی تغییر عامل با جایگزین کردن مقادیر بهینه پارامتر با مقدار پیش فرض مدل و R به معنی ضرب کردن مقادیر بهینه عامل در (۱+مقدار پیش فرض مدل) می‌باشد.

جدول ۳- معیارهای اندازه‌گیری دقت شبیه‌سازی

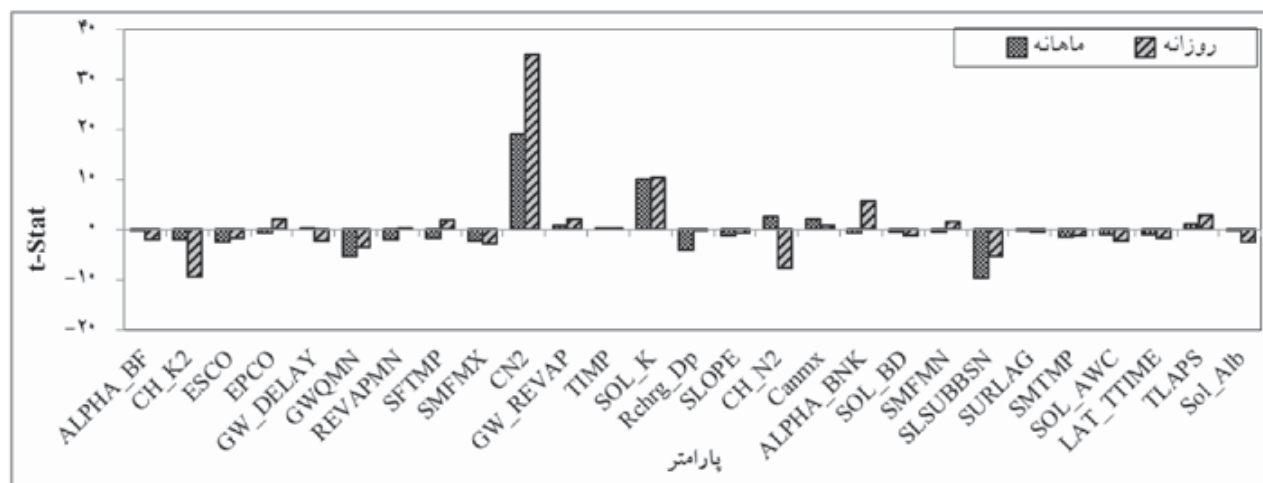
معیار	روش محاسبه
ضریب تعیین	$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^n (Q_i^{sim} - Q_i^{simav})(Q_i^{obs} - Q_i^{obsav}) \right]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{sim} - Q_i^{simav})^2 \sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{obsav})^2}$
ضریب کارایی نش-ساتکلیف	$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{sim} - Q_i^{obs})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{obsav})^2}$
ریشه دوم میانگین توان دوم خطا	$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Q_i^{sim} - Q_i^{obs})^2}$

و GWQMN حساس‌ترین عامل‌ها می‌باشند. تحلیل حساسیت بر اساس دو نمایانه p-value و t-stat در شکل‌های ۳ و ۴ نمایش داده شده است. حساسیت نسبی ارائه شده توسط t-stat بیانگر تغییرات متوسط تابع هدف در نتیجه تغییر عامل‌های مختلف می‌باشد (در این مطالعه ضریب نش-ساتکلیف به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است). در این صورت ضمن تغییر در عامل مورد نظر عامل‌های دیگر ثابت نگه داشته شده و تاثیر آن عامل بر خروجی مدل مورد بررسی قرار می‌گیرد. این کار برای تمامی عامل‌ها به صورت خودکار انجام می‌گیرد و عامل‌های مختلف بر اساس درجه حساسیتشان مرتب می‌شوند. این روش، حساسیت نسبی را بر پایه تقریب خطی ارائه می‌دهد. هر چه مقدار قدر مطلق t-stat یک عاملی بزرگتر باشد بیانگر درجه حساسیت بیشتر آن عامل می‌باشد. مقدار P-value نیز نشان دهنده درجه حساسیت است. هر چه مقدار آن به عدد صفر نزدیک‌تر باشد بیانگر حساسیت بیشتر عامل مربوطه می‌باشد [۹] و [۱۴].

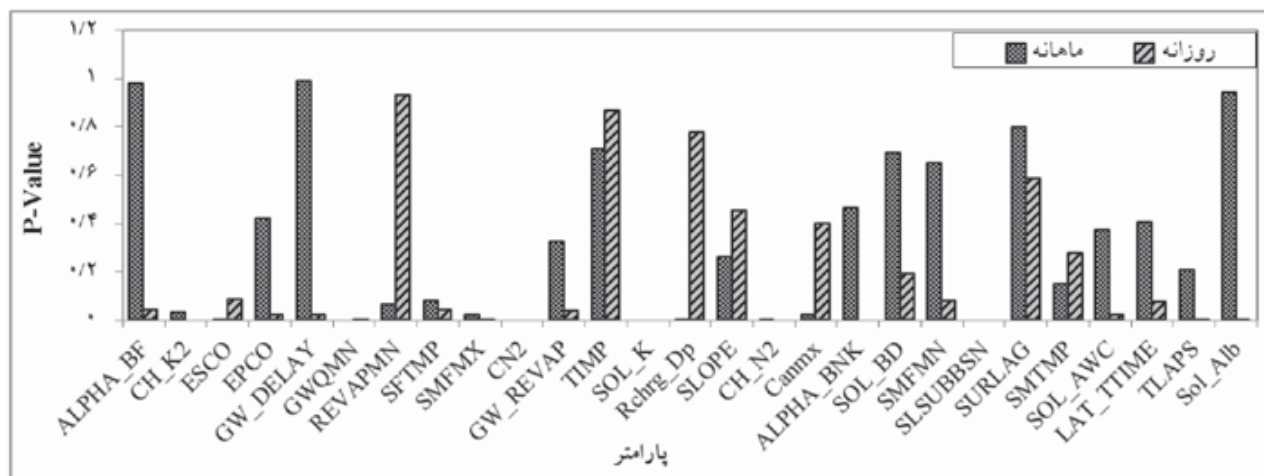
که Q_i^{sim} مقدار برآوردی برای نقطه‌ام، Q_i^{simav} مقدار میانگین دبی برآوردی، Q_i^{obs} مقدار مشاهده‌ای برای نقطه‌ام، Q_i^{obsav} برابر میانگین دبی مشاهده‌ای و n تعداد داده‌ها می‌باشد. بعد از انجام واسنجی و اعتبارسنجی و اطمینان از دقت مدل، مؤلفه‌های مختلف چرخه آب‌شناختی استخراج و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. بدیهی است شناخت مقادیر مختلف این مؤلفه‌ها برای مدیریت بهینه منابع آبی حوزه بسیار کارآمد است.

نتایج

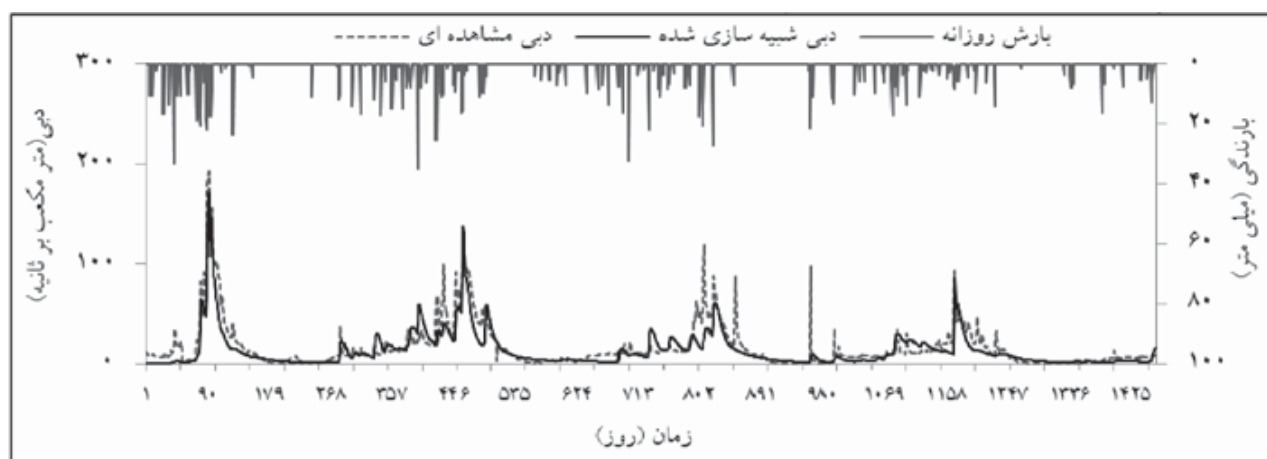
نتایج تحلیل حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی: بعد از تحلیل حساسیت پارامترها مشخص گردید که در طی هر دو دوره روزانه و ماهانه ۱۷ عامل از ۲۷ عامل اولیه بعنوان حساس‌ترین عامل‌های مدل هستند که در شبیه‌سازی نهایی نیز استفاده شدند. از بین این عامل‌ها در پایه زمانی روزانه، عامل‌های CH_{N2} ، SOL_K ، CH_{K2} ، $CN2$ و در پایه زمانی ماهانه عامل‌های SOL_K ، $SLSUBBSN$ ، $CN2$



شکل ۳- تحلیل حساسیت عامل‌ها بر اساس نمایانه t-stat در پایه زمانی روزانه و ماهانه



شکل ۴- تحلیل حساسیت عامل‌ها بر اساس نمایانه p-value در پایه زمانی روزانه و ماهانه

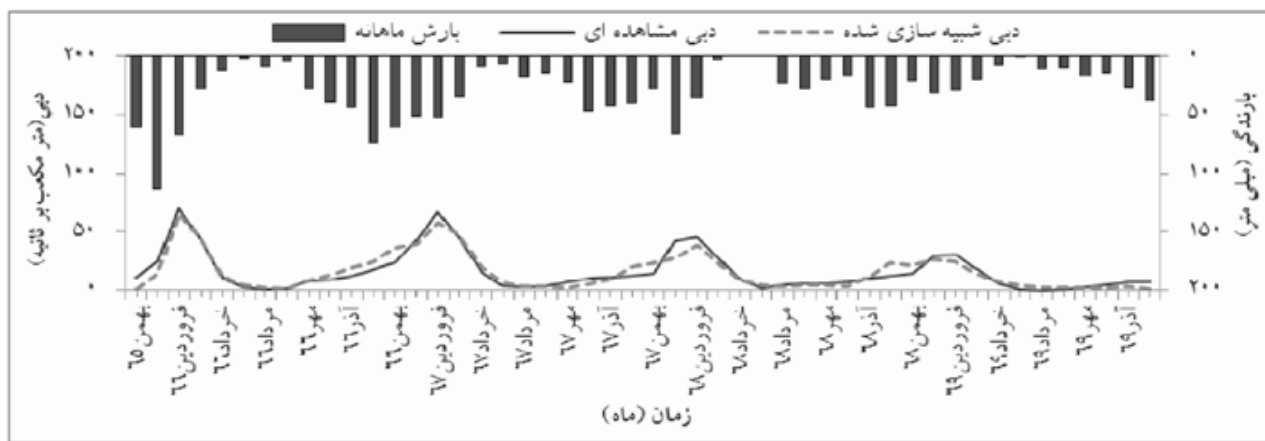


شکل ۵- مقادیر روزانه دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی

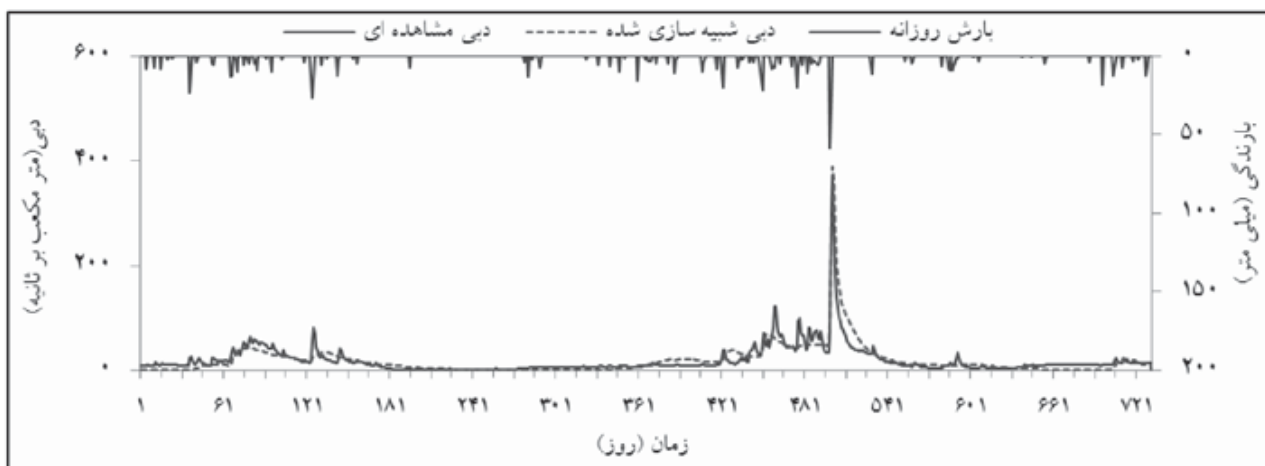
۱۷/۱۳ مترمکعب بر ثانیه بوده است. بعد از واسنجی مدل و بهینه سازی مقادیر ۱۷ عامل حساس، مدل واسنجی شده برای یک دوره آماری دو ساله ۱۹۹۲-۱۹۹۱ (سال‌های آبی ۷۰-۱۳۶۹ تا ۷۱-۱۳۷۰) به عنوان دوره اعتبارسنجی، اجرا شد. نتایج شبیه‌سازی برای دوره اعتبارسنجی در شکل‌های ۷ و ۸ نشان داده شده است. همچنین در شکل‌های ۹ الف، ب، ج و د نیز پراکنش نقطه‌ای مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی نسبت به خط برازش‌ایده آل در دوره‌های واسنجی و صحت سنجی مدل در هر دو دوره روزانه و ماهانه ارایه شده است. برآورد مؤلفه‌های چرخه آب‌شناختی: بررسی مؤلفه‌های مختلف چرخه آب‌شناختی در طراحی و مدیریت بهینه منابع آبی ابزاری سودمند است [۱۳] و در بررسی دراز مدت منابع آبی یک منطقه، نقش اساسی ایفا می‌کند [۳۴]. همچنین نتایج آن برای تهیه نقشه‌های توزیع مؤلفه‌های بیلان آبی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۰]. در پژوهش حاضر، مؤلفه‌های معادله بیلان آبی شامل تبخیر و تعرق واقعی، بارش، نفوذ، آب گذری و رواناب حوزه آبخیز قزاقلی محاسبه و مورد بررسی قرار گرفت. نسبت‌های مختلف مؤلفه‌های

بر اساس مطالعات سانگجون و همکاران [۲۷] و ژانگ و همکاران [۳۶] دو سوم از داده‌های موجود برای واسنجی و یک سوم برای اعتبارسنجی استفاده شد. بنابراین بعد از شناسایی عامل‌های حساس، واسنجی مدل با استفاده از الگوریتم بهینه سازی فراگیر SCE-UA بر روی عامل‌های حساس انجام شد. نتایج واسنجی براین اساس در اشکال ۵ و ۶ در پایه زمانی روزانه و ماهانه نشان داده شده است. همچنین در جدول ۴، نمایانه‌های ارزیابی دقت مدل در شبیه‌سازی دبی روزانه و ماهانه حوزه آبخیز قزاقلی بر مبنای معیارهای ارائه شده در جدول ۳ نشان داده شده است.

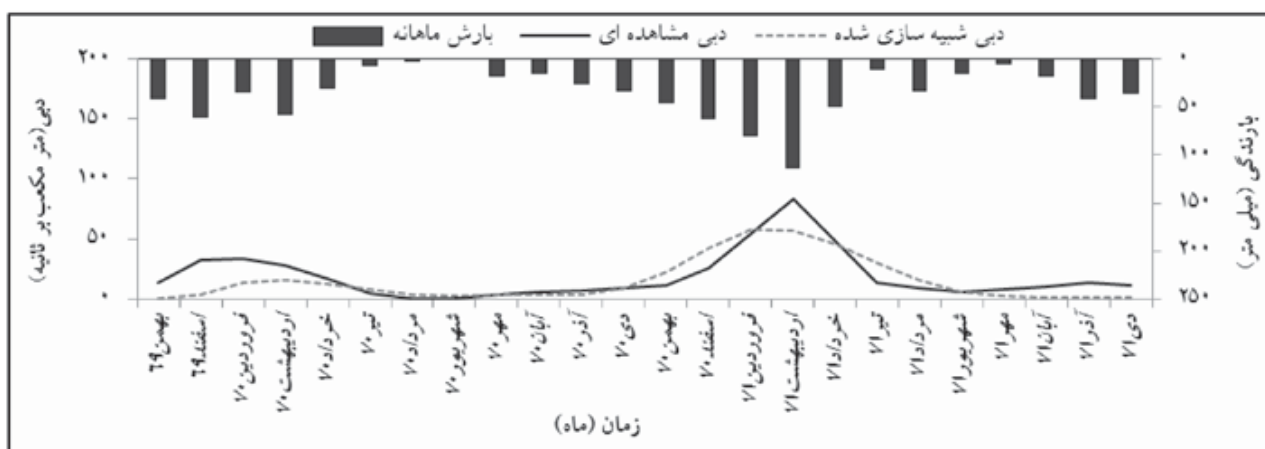
عملیات شبیه‌سازی در دوره واسنجی مدل برای چهار سال از کل دوره آماری انجام شد و مقادیر بهینه عامل‌ها در ایستگاه آب‌سنجی قزاقلی واقع در خروجی حوزه آبخیز قزاقلی محاسبه گردید. طبق جدول ۴ مقادیر بدست آمده برای معیارهای ارزیابی R^2 ، E_{NS} و RMSE در مرحله واسنجی مدل در پایه زمانی روزانه به ترتیب برابر با ۸۳ درصد، ۷۸ درصد و ۱۳/۰۶ مترمکعب بر ثانیه و در پایه زمانی ماهانه این معیارها به ترتیب ۸۶ درصد، ۸۴ درصد و



شکل ۶- مقادیر دبی ماهانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده در مرحله واسنجی



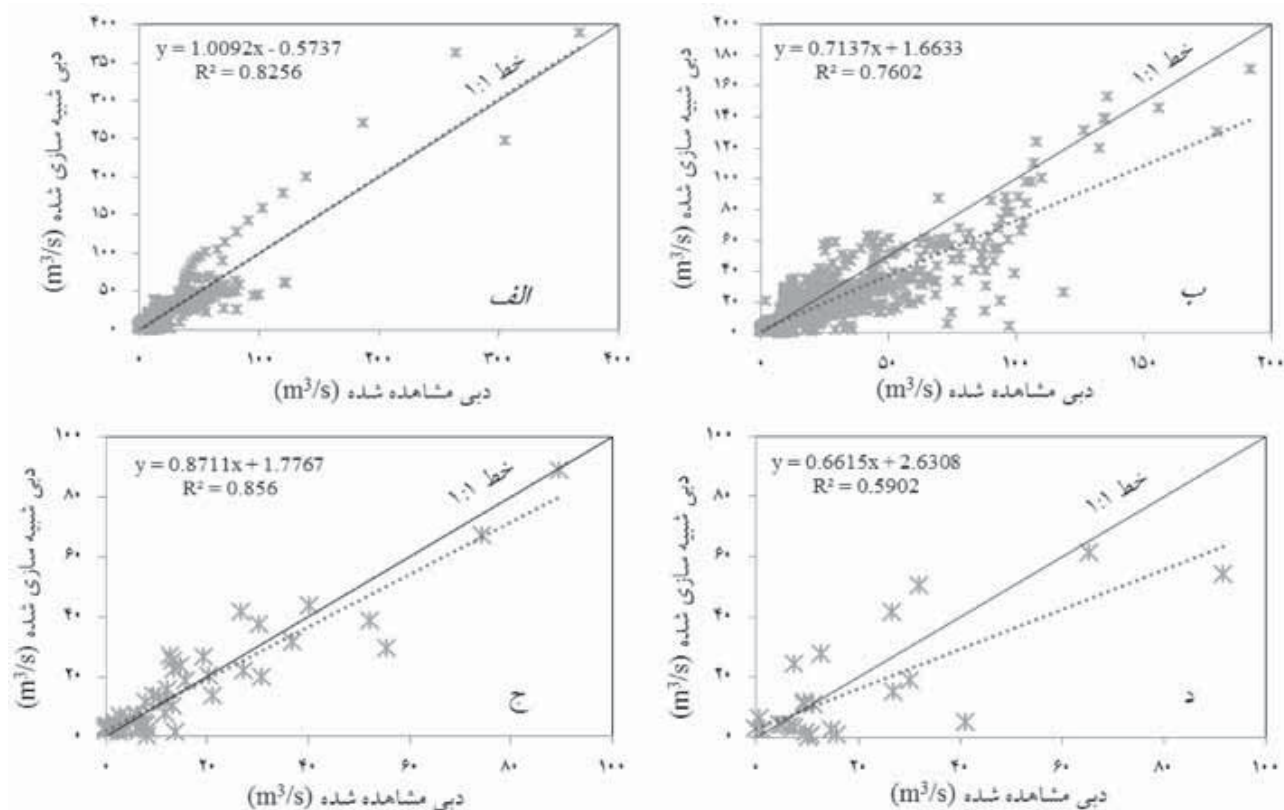
شکل ۷- مقادیر دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده حوزه قزاقلی در مرحله صحت سنجی مدل در پایه زمانی روزانه



شکل ۸- مقادیر دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده حوزه قزاقلی در مرحله صحت سنجی مدل در پایه زمانی ماهانه

بخش‌های مختلف چرخه آب‌شناختی حوزه آبخیز مورد مطالعه با توجه به داده‌های کاربری، خاک و دیگر اطلاعات مورد استفاده قبل و بعد از واسنجی مدل نشان داده شده است. مؤلفه‌های اصلی منابع

چرخه آب‌شناختی برای کل دوره واسنجی و اعتبارسنجی در جدول ۵ ارائه شده است. همچنین در جدول ۶ مؤلفه‌های مختلف چرخه آب‌شناختی، مقدار رواناب شبیه‌سازی شده و همچنین بیلان آبی



شکل ۹- پراکنش نقطه‌ای مقادیر مشاهده‌ای و برآوردی دبی روزانه در دوره‌های واسنجی (الف) و صحت سنجی (ب) و دبی ماهانه در دوره‌های واسنجی (ج) و صحت سنجی (د)

بحث و نتیجه گیری

بر اساس پژوهش‌های لی یو (۲۰۰۹) استفاده از روش ParaSol در قالب برنامه SWAT CUP برای بررسی حساسیت عامل‌ها، واسنجی مدل و شبیه‌سازی بسیار کارآمد است به طوری که استفاده از این روش نسبت به روش دستی سریع‌تر بوده و باعث افزایش دقت مدل از طریق کاهش عدم قطعیت می‌گردد [۱۷]. نتایج نمایانه p-value و t-stat در تحلیل حساسیت عامل‌ها نشان دادند که ۱۷ عامل از ۲۷ عامل انتخابی اولیه، حساس‌تر بوده و مقدار بهینه عامل‌های حساس در شبیه‌سازی دبی روزانه و ماهانه مورد استفاده قرار گرفتند. به طور کلی حساس‌ترین عامل در حوزه قزاقلی در هر دو پایه زمانی روزانه و ماهانه، شماره منحنی رواناب می‌باشد که با مطالعات مانوچ ژا [۱۹]، اندومبا و بیرهانو [۲۱] و عمانی و همکاران [۲] در این زمینه مطابقت دارد. حساسیت بالای این عامل در حوزه قزاقلی نشان دهنده نقش مهم کاربری و خاک در مقدار رواناب خروجی از حوزه است. به طور کلی افزایش مقدار CN₂ در حوزه قزاقلی باعث افزایش حجم رواناب می‌شود که به نوبه خود باعث تلفات بیشتر آب از طریق رواناب، کاهش تغذیه منابع آب زیر زمینی

آبی شامل آب آبی (رواناب سطحی، تغذیه آبنخوان)، آب سبز (تبخیر و تعرق واقعی) و ذخیره آب سبز (آبی که به صورت رطوبت در خاک ذخیره می‌شود) می‌باشد. به طور کلی در معادله بیلان آبی، آب از طریق بارندگی وارد حوزه شده و تلفات آب ناشی از فرایندهای تبخیر و تعرق، رواناب سطحی، نفوذپذیری است.

همچنین در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ مهم‌ترین مؤلفه‌های چرخه آب‌شناختی شامل بارش، رواناب سطحی، جریان زیر قشری، تبخیر و تعرق و مقادیر آب خالص (که از تفاضل جریان زیرقشری، آب زیر زمینی و رواناب سطحی از تلفات آب در طول مسیر و آب ذخیره شده در تالاب، دریاچه و سد بدست می‌آید) حوزه قبل از فرایند واسنجی و بعد از واسنجی در پایه زمانی ماهانه و در کل دوره آماری نمایش داده شده است. بدیهی است که بعد از واسنجی مدل با بهینه سازی مقادیر مختلف عامل‌ها برای حوزه مذکور، مقادیر مختلف مؤلفه‌های چرخه‌ی آب‌شناختی نیز تغییر می‌کند. شناخت مؤلفه‌های اصلی منابع آب هم از نظر مکانی (در مقیاس کلی حوزه) و هم در مقیاس زمانی (بر پایه زمانی ماهانه) اطلاعات مفیدی را برای مدیریت بهینه منابع آبی حوزه در مقیاس‌های زمانی مختلف فراهم می‌سازد.

جدول ۴- ضرایب آماری ارزیابی دقت مدل در شبیه‌سازی رواناب روزانه و ماهانه

پایه زمانی ماهانه		پایه زمانی روزانه		شاخص آماری
واسنجی	صحت سنجی	واسنجی	صحت سنجی	
۵۹	۸۶	۷۶	۸۳	(%)R ^۲
۵۵	۸۴	۷۴	۷۸	(%)E _{NS}
۱۴/۱۵	۱۷/۱۳	۱۱/۲۷	۱۳/۰۶	(m ^۲ /s) RMSE
۷۱	۷۹	۲۱	۰/۳۵	فاکتور-P (%)
۱/۶	۰/۹۴	۰/۱۹	۰/۴۷	فاکتور-R

جدول ۵- نسبت‌های مختلف مؤلفه‌های چرخه آب‌شناختی

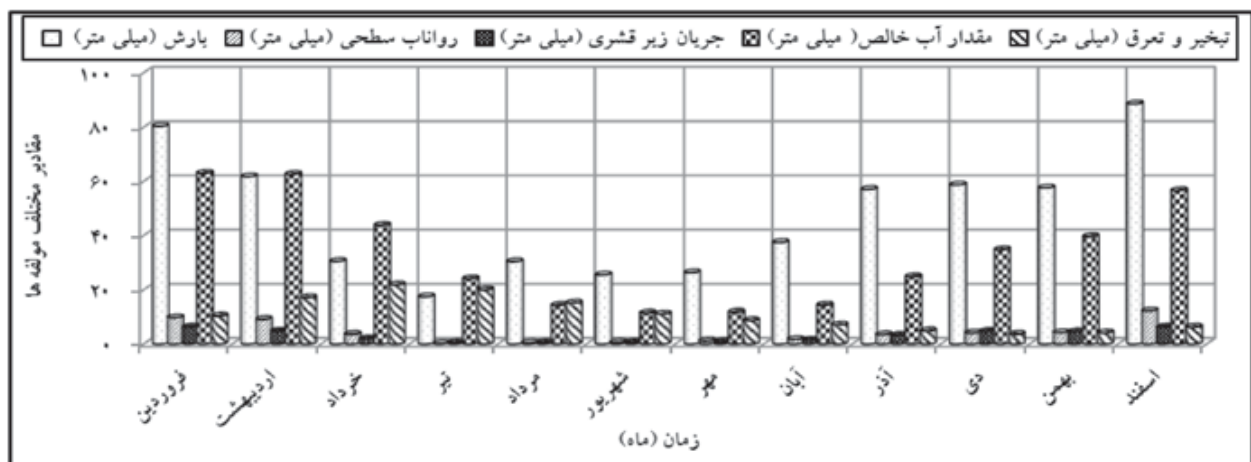
واسنجی	اجرای اولیه مدل	نسبت‌های مؤلفه‌ها
۰/۲۹	۰/۷۰	بارندگی / جریان رودخانه
۰/۳۲	۰/۸۷	کل جریان / جریان آب پایه
۰/۶۸	۰/۱۳	کل جریان / رواناب سطحی
۰/۲۹	۰/۵۹	بارندگی / آب گذری
۰/۲۰	۰/۰۳	بارندگی / تغذیه آبخوان عمیق
۰/۳۴	۰/۲۳	بارندگی / تبخیر و تعرق واقعی

جدول ۶- مقادیر مختلف مؤلفه‌های چرخه‌ی آب‌شناختی قبل و بعد از فرایند واسنجی مدل

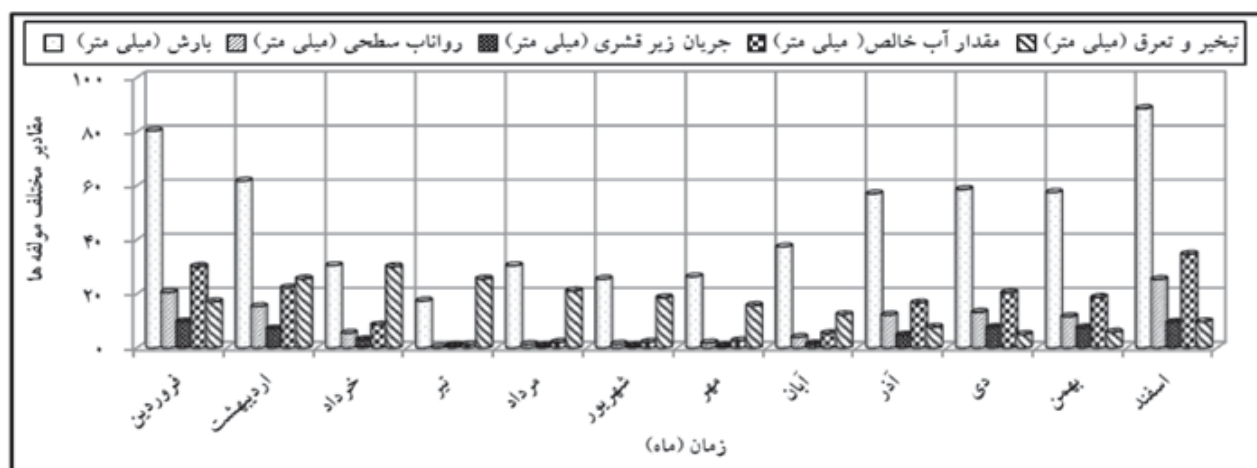
واسنجی	اجرای اولیه	مؤلفه‌های چرخه آب‌شناختی
۵۷۱/۳	۵۷۱/۳	بارندگی (mm)
۱۹۳/۹	۱۳۰	تبخیر و تعرق واقعی (mm)
۱۶۷/۴۹	۳۳۹/۶۶	آب گذری به آبخوان سطحی (mm)
۱۱۵/۰۷	۱۶/۹۸	تغذیه آبخوان عمیق (mm)
۲۵/۷۶	۴/۵۵	آب بازگشتی از آبخوان سطحی (mm)
۱۱۲/۰۳	۵۰/۳	رواناب سطحی (mm)
۵۳/۶۱	۳۵/۷۱	جریان زیر قشری (mm)
۳۹/۶۶	۳۱۵/۶۱	جریان بازگشتی به آب‌های آزاد (mm)

شیب زمین در هر HRU به علت شیب بالا در بیشتر موارد، از جمله مهمترین عامل‌ها می‌باشد. GWQMN از تأثیرگذارترین عامل‌ها در جریان آب زیر زمینی می‌باشد. زمانی جریان آب زیر زمینی اتفاق می‌افتد که عمق آب در آبخوان سطحی مساوی یا بیشتر از GWQMN باشد. در نهایت واسنجی مدل در طی سال‌های ۱۹۹۲-۱۹۸۷ (سال‌های آبی (۶۶-۱۳۶۵) تا (۷۱-۱۳۷۰)) ضرایب همبستگی (R^۲) و ضریب راندمان نش- ساتکلیف را در طی کل دوره واسنجی و اعتبارسنجی در پایه زمانی روزانه و ماهانه بیش از ۵۹ درصد و ۵۵ درصد نشان می‌دهد. اگرچه قاعده خاصی برای حد پایین این ضرایب

و کاهش آب پایه رودخانه‌ها می‌شود [۱۶]. از عامل‌های موثر دیگر، در پایه زمانی روزانه عامل‌های SOL-K، SOL-K_۲ و CH-N_۲ و در پایه زمانی ماهانه عامل‌های SOL-K، SLSUBBSN و GWQMN می‌باشند. CH-N_۲ عاملی تأثیر گذار بر مقدار سرعت جریان است که در روندیابی جریان آبراهه، عاملی مهم می‌باشد و برای محاسبه زمان تمرکز حوزه مورد استفاده قرار می‌گیرد. CH-K_۲ نشان‌دهنده انشعابات فرعی فصلی حوزه مورد مطالعه است که بر جریان اصلی رودخانه حوزه موثر می‌باشد. SOL_K نشان‌دهنده تعادل آبی بین شیب هیدرولیکی و جریان آب است و SLSUBBSN یا متوسط طول



شکل ۱۰- نمایش ستونی مؤلفه‌های چرخه آب‌شناختی در اجرای اولیه مدل



شکل ۱۱- نمایش ستونی مؤلفه‌های چرخه آب‌شناختی بعد از واسنجی مدل

ولی مقدار کلی رواناب سطحی سهم بیشتری از جریان کلی را به خود اختصاص داد. همچنین تلفات ناشی از آب‌گذری به آبخوان عمیق و تبخیر و تعرق افزایش پیدا نمود. بررسی‌های انجام گرفته نشان می‌دهد که توزیع مؤلفه‌های مختلف چرخه آب‌شناختی از یک توزیع دو‌نمایی تبعیت می‌کند به طوری که مقادیر اوج بارندگی در ماه‌های اسفند، فروردین و اردیبهشت اتفاق می‌افتد ولی در این ماه‌ها بر عکس، کمترین مقدار تبخیر و تعرق واقعی را شاهدیم. تحلیل آب‌شناختی تعادل آبی حوزه آبخیز قزاقلی نشان داد که آب پایه جز مهمی از دبی کل را شامل می‌شود که بر روی دبی رودخانه موثر است [۲۹]. مقدار این متغیر در اجرای اولیه مدل و واسنجی مدل به ترتیب ۸۷ و ۳۲ درصد جریان کل می‌باشد. به طوری که در نظر گرفتن مقدار بالای آب پایه در اجرای اولیه مدل یکی از دلایل برآورد زیاد رواناب شبیه‌سازی شده در برابر مقادیر مشاهده‌ای توسط مدل می‌باشد. در اجرای اولیه مدل مقدار جریان رودخانه در حدود ۷۰٪ بارندگی در نظر گرفته شده است. که این مقدار بعد از واسنجی

وجود ندارد ولی سانتی و همکاران [۲۸] برای مدل‌های آب‌شناختی، مقدار ۵۰٪ را برای ضریب R^2 قابل قبول می‌دانند. همچنین بر اساس پژوهش‌های گاسمن و همکاران [۱۱] و همچنین سانتی و همکاران [۲۸] مقادیر بزرگتر از ۵۰٪ را مقدار قابل قبول برای ضریب نش-ساتکلیف در مقیاس زمانی ماهانه در مدل SWAT در نظر گرفتند. مقادیر پایین ضریب RMSE در طی دوره واسنجی و اعتبارسنجی نشان دهنده قابلیت بالای مدل در شبیه‌سازی رواناب روزانه و ماهانه است. به طور کلی مقادیر بالای فاکتور P-factor و مقادیر پایین R-factor در طی دوره واسنجی نسبت به دوره اعتبارسنجی و پایه زمانی ماهانه نسبت به روزانه نشان دهنده دقت بالاتر مدل است. به طوری که اکثر داده‌های مشاهده‌ای در دوره واسنجی و پایه زمانی ماهانه در سطح اطمینان ۹۵ درصد قرار گرفتند. بعد از واسنجی، مؤلفه‌های آب‌شناختی حوزه در مدل تا حدود زیادی اصلاح شدند. همان طوری که در قبل ذکر گردید، در مرحله واسنجی مدل، جریان رودخانه و جریان پایه‌ای و آب‌گذری کاهش چشمگیری پیدا نمود

3- Anwar, N.S. 2010. Simulated impact of land use dynamics on hydrology during a 20-year-Preiod of deles basin in Ethiopia. TRITA-LWR Master Thesis: 1-33

4- Birhanu, B.Z. Ndomba, P.M and Mtalo, F.W. 2007. Application of SWAT for Mountainous Catchment: FWU Water Resources Publications. Volume No: 06/2007.ISSN No. 1613-1045: 182-187

5- Di Luzio, M. and Arnold, J.G. 2004. Formulation of a hybrid calibration approach for a physically based distributed model with NEXRAD data input. J. Hydrol. 298(1-4): 136-154

6- Duan, Q. Sorooshian, S. and Gupta, V.K. 1994. Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models, Journal of Hydrology: 265-284.

7- Etienne, L. Anctil, F. Van Grienseven, A. and Beauchamp, N. 2008. Evaluation of streamflow simulation by SWAT model for two small watersheds under snowmelt and rainfall. Journal des Sciences Hydrologiques. 53(5): 961-976.

8- Fanghua, H. Zhang, X. Cheng, H. Liu, C. and Yang, Z. 2004. Runoff and sediment yield simulation in a large basin using GIS and a distributed hydrological model. GIS and Remote Sensing in Hydrology. IAHS Publ. 289: 157-166

9- Faramarzi, M. 2011. Assessment of Regional water endowments, Crop water productivity, and implication for intracountry virtual water trade in Iran. Dissertation m.sc.161. (In persian)

10- Fohrer, N. Eckhardt, K. Haverkamp, S. and Frede, H.G. 1999. Effects of land use change on the water balance of a rural watershed in a peripheral region. Journal OF Zeitschrift für Kulturtechnik und Landentwicklung: 202-206

11- Gassman, P.W. Reyes M.R. Green, C.H. and Arnold, J.G. 2007. The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions. Trans. ASABE, 50(4): 1211-1250

12- Ghaderei, J. Samanei, M. Eslamei, H.R and Saghafeian, B. 2006. Automatic calibration Rainfall - Runoff model using optimization SCE Method. Journal of Research in Water Resources, 2(2): 1-13.(In persian)

13- Gosain, A. K., Rao, S. Srinivasan, R. and Gopal Reddy, N. 2005. Return-flow assessment for irrigation command in the Palleru river basin using SWAT model. Journal of Hydrological Processes. 19: 673-682

به ۲۹٪ تقلیل پیدا نمود. به طور کلی مقادیر اوج رواناب شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای با یکدیگر اختلاف زمانی دارند که این اختلاف در برخی از ماه‌های سال به ویژه در فصل بهار بیشتر می‌باشد. از دلایل ضعف مدل در شبیه‌سازی دبی جریان می‌توان به شبیه‌سازی ضعیف ذوب برف در مناطق کوهستانی حوزه، عدم سازگاری مدل در انتقال جریان در لایه‌های یخ زده و اشباع اشاره نمود [۲۴ و ۳۲]. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که عمده تلفات آبی حوزه ناشی از تبخیر و تعرق و رواناب سطحی می‌باشد. بنابراین اقدامات جدی در راستای استفاده بهینه از منابع آب و جلوگیری از هدر رفت آن از طریق تبخیر و تعرق و کنترل رواناب سطحی ضروری به نظر می‌رسد. در حوزه مورد مطالعه آب نفوذ یافته به خاک به دلیل بافت ریز دانه و لسی غالب حوزه ناچیز است که بیشتر آن به آبخوان عمیق رفته و از دسترس خارج می‌شود که با توجه به نوع فعالیت اقتصادی غالب منطقه که به صورت کشاورزی است تمهیدات لازم برای حفظ آب در آبخوان سطحی و یا استخراج آب از آبخوان عمیق امری ضروری به نظر می‌رسد. تغذیه بالای آب از آبخوان سطحی به آبخوان عمیق باعث بهم خوردن تعادل آبی حوزه شده و مشکلاتی را در کشاورزی منطقه ایجاد می‌کند. در این صورت، اجرای اقدامات اصلاحی در منطقه، از قبیل ایجاد سدهای زیر زمینی برای کاهش تبخیر و یا پخش سیلاب (در مناطقی با پوشش خاکی و شیب مناسب) برای جلوگیری از هدر رفت سیلاب از طریق تغذیه بیشتر سفره‌های آبی مطرح می‌گردد. مقدار تبخیر و تعرق در اجرای اولیه مدل و واسنجی به ترتیب ۲۳٪ و ۳۴٪ از بارندگی را به خود اختصاص می‌دهد. این مقدار نشان دهنده نقش مهم عامل‌های تبخیر و تعرق در شبیه‌سازی درست فرایند آب‌شناختی حوزه می‌باشد. مقادیر مربوط به این عامل‌ها در دوره واسنجی تا حدود زیادی اصلاح گردید. نتایج این بررسی با نتایج شیمیلیس و همکاران [۳۱] در مورد استفاده از مدل SWAT و برنامه ParaSol در شبیه‌سازی درست مؤلفه‌های اصلی تعادل آبی حوزه مطابقت دارد. به طور کلی مدل SWAT با کمی کردن مقدار مؤلفه‌های مختلف چرخه‌ی آب‌شناختی و توزیع هر یک از این مقادیر در سطح حوزه و زیر حوزه‌ها می‌تواند با تعیین بیلان آبی حوزه در مدیریت درست منابع آبی و استفاده بهینه از آنها در آینده حایز اهمیت باشد.

منابع

1- Alavipanah, M and Naseirei Saleh, F. 2010. Compration of SWAT and HSPF Models in sediment simulation (Case study: Abroo Watershed). The Fifth National Congress on Civil Engineering. Ferdosei University: 1-8.(In persian)

2- Amanei, N. Tajrishi, M and Abrisham chi, A. 2006. Streamflow simulation using SWAT model and GIS. Seventh International Seminar on River Engineering. Shahid Chamran University. 1-8. (In persian)

and Tecology of Agriculture and Natural Resources . 12(46)
B: 517-531.(In persian)

25- Rostamian, R. Jaleha, A. Afyunia, M. Mousavian, S.F. Heidarpour, M. Jalalian, A. and Abbaspour, K.C. 2010. Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. *Hydrological Sciences Journal*. 53(5): 977-988.(In persian)

26- Saleh, D.K. Kratzer, C.R., Green, C.H. and Evans, D.G. 2009. Using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) to Simulate Runoff in Mustang Creek Basin, California, Scientific Investigations Report 2009-5031, U.S. Geological Survey, Reston, Virginia, the American water resources association. 44(1): 48-61

27- Sangjun, I. Kevin, M. Brannan, S. Mostaghimi, S. K. 2007. Comparison of HSPF and SWAT models performance for runoff and sediment yield prediction. *Journal of Environmental Science and Health*. 42(11): 1561-1570

28- Santhi, C. Arnold, J.G. Williams, J.R. Dugas, W.A. Srinivasan, R. and Hauck, L.M. 2001. Validation of the SWAT model on a large river basin with point and nonpoint sources. *J. American Water Resour. Assoc.* 37(5): 1169-1188

29- Setegn, S.G. Srinivasan, R. Melesse, A.M. and Dargahi, B. 2010. SWAT model application and prediction uncertainty analysis in the Lake Tana Basin, Ethiopia. *Journal of Hydrological processes*. 24: 357-367

30- Shi, P. Chen, C. Srinivasan, R. Zhang, X. Cai, T. Fang, X. Qu, S. Chen, X. and Li, Q. 2011. Evaluating the SWAT Model for Hydrological Modeling in the Xixian Watershed and a Comparison with the XAJ Model. *Journal of Water Resour Manage*, DOI 10.1007/s11269-011-9828-8

31- Shimelis, G.S. Srinivasan, R. and Dargahi, B. 2008. Hydrological Modelling in the Lake Tana Basin, Ethiopia Using SWAT Model. *The Open Hydrology Journal*. 2: 49-62.

32- Spruill, CA. Workman, S.R. and Taraba, J.L. 2000. Simulation of daily and monthly stream discharge from small watersheds using the SWAT model. *Trans ASAE* 43(6): 1431-1439

33- Sun, H. and Cornish, P.S. 2005. Estimating shallow groundwater recharge in the headwaters of the Liverpool Plains using SWAT. *Journal of Hydrological Processes*. 19: 795-807

14- Hyung -Kyung, J. Jong -Yoon, P. Hyun-Kyo, J. Hyung-Jin, S. Hyung-Joong, K. and seong-joon, K. 2011. The uncertainty analysis of SWAT simulated stream flow and water quality applied to Chungju dam watershed of South Korea. Dep of civil and environmental system eng, konkuk university seoul, south korea

15- Jaehak, J. Narayanan, K. Jeff Arnold, R. Glick, L.G. and Raghavan, S. 2010. Development and Integration of Sub-hourly Rainfall-Runoff Modeling Capability within a Watershed Model. *Water Resour Manage*. DOI 10.1007/s11269-010-9670-4

16- Li, K.Y. Coe, M.T. Ramankutty, N. and De Jong, R. 2007. Modeling the hydrological impact of land-use change in West Africa. *Journal of Hydrology*. 337: 258- 268

17- Liu. Y. 2009. Automatic calibration of a rainfall-runoff model using a fast and elitist multi objective particle swarm algorithm. *Expert Systems with Applications*. 36: 9533-9538

18- Manoj Jha, K. 2009. Hydrologic Simulations of the Maquoketa River Watershed Using SWAT. Center for Agricultural and Rural Development. Iowa State University, Working Paper 09-WP 492: 26pp

19- Manoj Jha, K. Arnold, J.G. And Gassman, P.W. 2007. Water Quality Modeling for the Raccoon River Watershed Using SWAT. CARD Working Paper 06-WP 428: 28pp.

20- Mulungu, D.M. and Munishi, S.E. 2007. Simiyu River catchment parameterization using SWAT model. *Physics and Chemistry of the Earth*. 32: 1032-1039

21- Ndomba1, P.M. and Birhanu, B.Z. 2008. Problems and Prospects of SWAT Model Applications in NILOTIC Catchments: A Review, Nile Basin Water Engineering Scientific Magazine, Vol.1: 41-52

22- Neitsch, S.L. Arnold, J.G. Kiniry, J.R. Williams, J.R. and King, K.W. 2005. Soil and Water Assessment Tool - Theoretical Documentation - version 2005, Texas

23- Robert, S.A. Scott, w.w. and Hans, R.Z. 2008. Hhdrologic Calibration and Validation of SWAT in a snow dominated rocky mountain Watershed, Montana, U.S.A. *Journal of the American Water Resources Association*. 44(6): 1411-1430

24- Rostameian, R. Muosavei, S.F. Heidar por, M. Afionei, H and Abas por, K. 2008. Application of SWAT2000 for estimation in Behesht Abad Watershed. *Journal of Science*

Hydrology: 1-23

36- Zhang, X. Srinivasan, R. Debele, B. and Fanghua, H. 2008. Runoff Simulation of the headwaters of the Yellow river using the SWAT model with three snowmelt algorithms. Journal of the American water resource association. 1(44): 48-61

34- Van Liew, M.W. 2003. Impact of flood retarding structures on simulated streamflow for various sized watersheds under varying climatic conditions, GIS and Remote Sensing in Hydrology, journal of Water Resources and Environment. IAHS Publ. 289

35- Yang, J. Reichert, P. Abbaspour, K.C. Xia, J. and Yang, H. 2008. Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to the Chaohe Basin in China. Journal of