نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیست و یکم، شماره ۶۳، زمستان ۱۴۰۰

شبیه‌سازی مولفه‌های هیدرولوژیکی حوضه آبخیز رودخانه دز به تفکیک طبقات کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم SUFI-2

دریافت مقاله: ۹۶/۳/۲۰ **پذیرش نهایی:** ۹۶/۹/۲۵

صفحات: ۹۸-۸۱

الهه عسگری: دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
Email: elaheh.asgari2011@gmail.com
محمد باعقیده : دانشیار اقلیم شناسی دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار ایران[1].
Email: mbaaghideh2005@yahoo.com
مجید حسینی : دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران.
Email: mjhossaini@gmail.com
علیرضا انتظاری : دانشیار اقلیم شناسی دانشگاه دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار، ایران.
Email: entezari@hsu.ac.ir
اصغر کامیار : دکتری اقلیم‌شناسی اداره کل هواشناسی استان اصفهان، اصفهان، ایران.
Email: asgharkhuzani@gmail.com

چکیده

هدف از این پژوهش، شبیه‌سازی مولفه‌های هیدرولوژیکی در طبقات متنوعی از کاربری اراضی در حوضه آبخیز رودخانه دز می‌باشد. از آن‌جا که ابزار مورد پژوهش مدل هیدرولوژیکی SWAT و الگوریتم SUFI-2 بوده لذا پایگاه داده مورد استفاده، طیف وسیعی از داده‌های ورودی را شامل شده است. به منظور مشخص کردن سطح حساسیت مدل به پارامترهای ورودی، آنالیز حساسیت به روش سراسری انجام شد. سپس با تعدیل کردن پارامترهای منتخب و با استفاده از جریان مشاهده‌ای، مدل به ترتیب برای دوره‌های ۲۰۰۷ – ۱۹۹۴ و ۲۰۱۳ – ۲۰۰۸ واسنجی و اعتبارسنجی شد. ضرایب NS، R^2، P-factor و R-factor توانایی مدل را در شبیه‌سازی جریان رودخانه در حوضه مورد مطالعه تایید نمودند. بررسی خروجی‌های مدل نشان دادند که مناطق با کاربری جنگل بالاترین سهم را در تغذیه آبخوان دارند و زمین بایر بیشترین رواناب سطحی را ایجاد می‌کند. رواناب سطحی بیشترین نقش را در ایجاد جریان اصلی رودخانه داشته و بعد از آن جریان پایه در این زمینه موثر بوده است. تغییر کاربری جنگل به مرتع و اراضی کشاورزی موجب تغییر در مولفه‌های هیدرولوژیکی حوضه خواهد شد و نتیجه این تغییر بصورت افزایش در رواناب سطحی، کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی و کاهش آب پایه رودخانه می‌شود. مدل SWAT می‌تواند به عنوان یک مدل پیشرو در مطالعات مدیریت حوضه‌های آبخیز مورد استفاده قرار گیرد.

کلید واژگان: مولفه‌های هیدرولوژیکی، مدل SWAT، الگوریتم SUFI-2، آنالیز عدم قطعیت، حوضه آبخیز دز.

---

۱ . **نویسنده مسئول:** سبزوار دانشگاه حکیم سبزواری، دانشکده جغرافیا و علوم محیطی، گروه اقلیم شناسی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.63.10.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.81]

مقدمه

افزایش جمعیت، محدودیت کیفی منابع آب و توسعه بی‌رویه شهرها، بشر امروز را وادار به مدیریت به روز منابع آبی می‌نماید. در واقع مدیریت صحیح حوضه‌های آبخیز یکی از مهم‌ترین اقدامات در استفاده بهینه از منابع آب و خاک است. برای بهینه‌سازی مصـرف آب، اطـلاع از بیلان آبی حوضه‌های آبخیز ضروری می‌باشد. از طرفی، اندازه‌گیری اجزای بیلان آب در فاصله‌های زمانی مورد نیاز به خاطر وقت‌گیر و پرهزینه بودن مشکل است. در کشور ما اکثر حوضه‌های آبخیز، به ویژه حوضه‌های آبخیز کوهستانی، فاقد ایستگاه‌های هیدرومتری به تعداد کافی می‌باشند و هرگونه برنامه‌ریزی عمرانی و مدیریتی را با مشکل مواجه می‌سازند(ذهیبیون و همکاران، ۴۹:۱۳۸۹). برای مقابله با این معضل متخصصین آبخیزداری، هیدرولوژی و محققین منابع آب راه‌حل‌های مختلفی مانند فرمول‌های تجربی و مدل‌های ریاضی و کامپیوتری عرضه کرده‌اند که هیچ یک نتوانسته‌اند راه حل مطلوبی ارائه دهند. شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژی در حوضه‌های آبخیز و استفاده از روش‌های دقیق و کم هزینه برای برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آب و زمین به منظور برآورد پیامدها، خسارات و ارائه راهکارهای مناسب برای کاهش این خسارات امری ضروری است. اولین گام در این زمینه، شناخت دقیق وضعیت هیدرولوژیکی و فیزیکی منطقه می‌باشد (میشرا و همکاران،[1] ۳۰۳۵:۲۰۰۷). برای شبیه‌سازی رابطه‌ی بارش-رواناب مدل‌های هیدرولوژیکی متفاوتی طراحی شده است. دسته‌ای از مدل‌های هیدرولوژیک مدل‌های توزیعی هستند که به دو دسته کلی تجربی و فیزیکی تقسیم‌بندی می‌شوند؛ مدل‌های تجربی در واقع مدل‌های جعبه سیاه هستند و کوشش شده است که این مدل‌ها ارتباط لازم را بین متغییرهای ورودی و خروجی برقرار سازند(آرنولد و همکاران[2]،:۱۹۹۸: ۱۲۱). در مدل‌های توزیعی فیزیکی، حوضه آبخیز به واحدهای مجزا تقسیم می‌گردد و مقادیر مختلف پارامترهای فیزیکی به هر واحد اختصاص داده می‌شود (گوژا و هاردی[3]، ۲۰۱۰: ۹۷۹). از آن‌جا که در حوضه‌های آبخیز امکان اندازه‌گیری تمام کمیت‌های مورد نیاز برای بررسی واکنش حوضه میسر نیست انتخاب مدلی که بتواند در عین سادگی ساختار، با استفاده از حداقل اطلاعات ورودی مورد نیاز یک پیش‌بینی با دقت مناسب ارائه کند ضروری می‌باشد. در سال‌های اخیر مدل‌های فیزیکی توزیعی به دلیل انطباقشان با مشخصه‌ها و یا خصوصیات نظری حوضه، اهمیت بیشتری یافته‌اند (حسینی و همکاران، ۲۰۱۶: ۱۴۵۵). مدل SWAT[4] یک مدل فیزیکی، نیمه توزیعی و از نظر زمانی پیوسته است که برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی در مقیاس حوضه ارائه شده است. این مدل که توانایی ارزیابی کیفیت و کمیت آب و خاک حوضه آبخیز را دارد توسط آرنولد و همکاران در دهه ۱۹۹۰ برای سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا ارائه و توسعه یافته است و محدودیتی از نظر ورود حجم وسیعی از اطلاعات در مورد حوضه‌های وسیع را ندارد. مدل SWAT در بسیاری از پژوهش‌های هیدرولوژیکی حوضه‌های آبخیز در گستره‌ی وسیعی از مناطق مختلف دنیا مورد استفاده قرار گرفته است. شفرد و همکاران[5] (۱۹۹۹: ۲۲۷) توانایی مدل SWAT را در شبیه‌سازی شرایط هیدرولوژیک و کیفیت آب در یک حوضه کشاورزی در ناحیه‌ای از مریلند آمریکا مورد بررسی قرار دادند

1- Mishra & et al
2- Arnold
3- Guzha & Hardy
4- Soil and Water Assessment Tools
5- Shepherd

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.63.10.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.81]

آن‌ها بزرگ مقیاس بودن، توزیعی و لینک شدن آن با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) را از مزیت‌های این مدل معرفی کردند. لی و همکاران[1] (۲۰۰۷: ۲۵۸) در تحقیق خود در حوضه‌ای در غرب آفریقا با استفاده از مدل SWAT نشان دادند که تغییر مناطق با کاربری جنگل، مرتع و بوته‌زار به اراضی کشاورزی و یا مناطق شهری باعث تغییر شرایط هیدرولوژی طبیعی در یک حوضه آبخیز می‌شود و نتیجه این تغییر به صورت افزایش رواناب سطحی، کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی و آب پایه رودخانه‌ها می‌باشد. عباسپور و همکاران (۲۰۰۷: ۴۱۳) با استفاده از مدل SWAT به شبیه‌سازی تمام فرایندهای موثر بر کمیت آب، رسوب و بارهای مواد مغذی در حوضه تور با مساحتی حدود ۱۷۰۰ کیلومترمربع در شمال‌شرق سویس اقدام کردند. کلین و جمز[2] (۲۰۱۳: ۶۸) در زیر حوضه‌ی کرالای هندوستان، توانمندی مدل SWAT را در شبیه‌سازی رواناب بررسی کردند و نتیجه گرفتند که مدل در شرایط آب و هوایی و تغییر کاربری اراضی، توانایی بالایی در شبیه‌سازی و برآورد رواناب دارد. سانترا و داس [3] (۲۰۱۳: ۲۶۱) با استفاده از مدل SWAT توانستند با دقت زیادی فرایند بارش رواناب را در منطقه چیلیکا در شرق هند شبیه‌سازی کنند، بررسی‌های صورت گرفته نشان‌دهنده تبدیل ۶۰ درصدی بارش به رواناب در این منطقه بود. ارزیابی عملکرد سه مدلSWAT, APEX و MIKE SHE برای حوضه کنجاکیگ در کانادا نشان داد که از بین مدل‌های مذکور شبیه‌سازی مدل MIKE SHE از بقیه دقیق‌تر بود و تغییرات کلی جریان را بهتر از دو مدل دیگر پیش‌بینی کرده است (گل‌محمدی و همکاران، ۲۰۱۴: ۲۰). بررسی عملکرد مدل SWAT در شبیه‌سازی بیلان آبی حوضه آبخیز جببا واقع در شمال نیجریه نشان دهنده انطباق مطلوب بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهده شده بود (آدگان و همکاران[4]، ۲۰۱۴:۲۶۴). در پژوهشی مشابه قورابا[5] (۲۰۱۵: ۵۸۳) مؤلفه‌های هیدرولوژیک حوضه آبخیز سد سیملی در پاکستان را با استفاده ازSWAT مدلسازی کردند. بر اساس ضریب تعیین (R^2)، عملکرد مدل برای هر دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی قابل قبول گزارش شد. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که اگر مدل SWAT به درستی کالیبره شده باشد، می‌تواند برای سیاست‌های مدیریت آب در مناطق نیمه خشک به طور مؤثر استفاده شود. مدل‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی و پروژه‌های مهندسی بر روی حوضه رودخانه کرخه و تالاب‌های آن با استفاده از نرم افزار SWAT نشان می‌دهد که پس از احداث سد کرخه حجم جریان سالانه رودخانه بطور معنی‌داری کاهش یافته است که این امر سبب خشک شدن تالاب هورالعظیم شده و عامل موثری برای انتشار گرد و غبار خواهد بود (قبادی و همکاران، ۲۰۱۵: ۱۴۴). جورج و ساتیان[6] (۲۰۱۶: ۱۷۷) رفتار هیدرولوژیک زیرحوضه کوروماِلی در حوضه رودخانه کاراوانوا در هند را بوسیله مدل SWAT شبیه‌سازی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که سهم پارامتر جریان آب زیرزمینی ۶۴٪، جریان جانبی ۱۲٪ و رواناب سطحی ۹٪ از بارندگی سالانه می‌باشد. بریکا و همکاران[7] (۲۰۱۶: ۱۷۷) از مدل SWAT برای شبیه‌سازی جریان حوضه کالایا در شمال مراکش استفاده کردند آن‌ها دریافتند که میزان فرسایش در منطقه مورد مطالعه ۲۰ تا ۱۲۰ تن در هکتار بوده است.

1- Li & et al
2- Celin & James
3- Santra & Das
4- Adeogun & et al
5- Ghoraba
6- George & Sathian
7- Briak & et al

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.63.10.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.81]

همچینین مدل SWAT در سال‌های اخیر در داخل کشور مورد توجه بسیاری از پژوهشگران و محققان در حوزه مهندسی و مدیریت منابع آب قرار گرفته است. اثر تغییر کاربری اراضی در پاسخ‌های هیدرولوژی حوضه‌ی آبخیز زنجان‌رود با استفاده از مدل SWAT نشان داد که تغییر در کاربری اراضی از سال ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۶ باعث افزایش ۳۳ درصدی مقدار رواناب سطحی و کاهش ۲۲ درصدی سفره‌های آب زیرزمینی شده است (غفاری و همکاران، ۱۳۸۸: ۱۶۳). ذهبیون و همکاران (۱۳۸۹: ۴۴) برای تخمین رواناب حوضه آبخیز قره‌سو در دوره ۲۰۴۰ - ۲۰۶۹ میلادی، مدل SWAT را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج حکایت از تغییر رواناب منطقه در این دوره بین ۹۰ تا ۱۲۰ درصد در ماه‌های مختلف داشته است. واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT در حوضه‌ی طالقان نشان داد مقادیر مشاهداتی و محاسباتی در دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی سالانه و ماهانه دارای همبستگی بیشتر و خطای کمتر نسبت به دوره زمانی ماهانه و روزانه می‌باشد (حسینی و همکاران،۱۳۹۲: ۲۷). مقایسه‌ی عملکرد سه مدل هیدرولوژیIHACRES, SWAT و SIMHYD در شبیه‌سازی رواناب در حوضه‌ی قره‌سو نشان داد مدل SWAT بهترین عملکرد را برای شبیه‌سازی رواناب در دوره‌ی صحت‌سنجی داشته است (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۵). در بررسی تأثیر مقیاس نقشه خاک بر نتایج مدل SWAT در شبیه‌سازی روند جریان روانآب ماهانه در حوضه‌ی آبخیز تویسرکان توسط بصیری و همکاران (۱۳۹۳: ۱۳۵) این نتایج بدست آمد که فاکتور کلیدی بر نتایج مدل SWAT مقیاس نقشه نیست بلکه تنوع خاک‌های منطقه مطالعاتی، نقش مهمی را بر نتایج مدل ایفا می‌کند. ارزیابی عملکرد مدل SWAT در شبیه‌سازی جریان رودخانه در حوضه آبخیز هراز نشان داد که مدل فوق توانایی بالایی در شبیه‌سازی و برآورد جریان دارد(کاویان و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۹۷). در تحقیقی دیگر حبیبی و گودرزی (۱۳۹۷: ۴۰) با استفاده از مدل SWAT به شبیه‌سازی رواناب حبله‌رود پرداختند نتایج حاکی از دقت مدل بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی است. همچنین انصاری و همکاران (۱۳۹۴)، حسینی و همکاران (۱۳۹۵)، محضری و همکاران (۱۳۹۵) غلامی و همکاران (۱۳۹۶)، ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۷) و مرادی و همکاران (۱۳۹۷) نیز به بررسی کاربرد مدل SWAT در شبیه‌سازی جریان پرداختند.

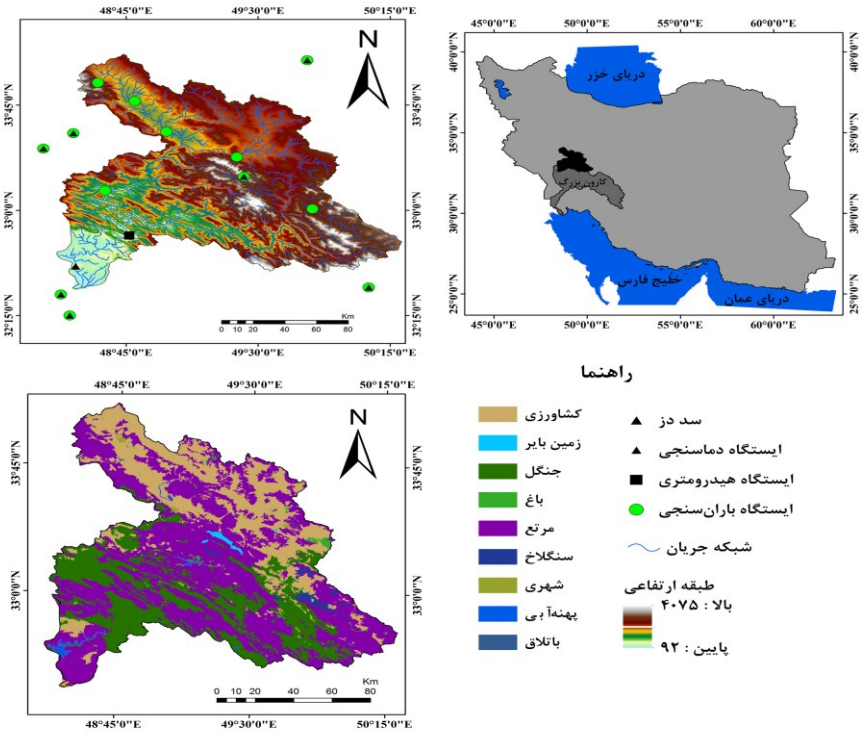
حوضه‌ی آبخیز دز از زیر حوضه‌های کارون بزرگ از نظر آب و هوایی جزو مناطق نیمه خشک کوهستانی ایران محسوب می‌شود (موسوی و معرفی، ۱۳۹۵: ۳۳۵) که سد دز به عنوان سومین سد مرتفع ایران (پنجاهمین سد بلند دنیا) با متوسط آورد طبیعی ۲۷۰ متر مکعب در ثانیه، در انتهای آن واقع شده است. جریان‌های سطحی و ذخیره‌ای این حوضه در اقتصاد کشاورزی، تولید انرژی، صنعت و شرب در مقیاس منطقه‌ای و ملی بسیار تعیین کننده بوده لذا مطالعات بنیادی در راستای برنامه‌ریزی‌های میان‌مدت و بلند مدت در مسیر توسعه پایدار در این حوضه کاملا ضروری بنظر می‌رسد. با توجه به تحقیقات انجام گرفته در اکثر نقاط دنیا در استفاده از مدل نیمه توزیعی SWAT و کارایی آن در نشان دادن وضعیت زمانی و مکانی حوضه از نظر تولید رواناب، هدف اصلی این پژوهش شبیه‌سازی اجزای هیدرولوژیکی حوضه آبخیز دز به تفکیک طبقات کاربری اراضی با استفاده از عملکرد مدل SWAT می‌باشد. در این پژوهش تحلیل حساسیت، واسنجی، صحت‌سنجی و عدم قطعیت نتایج پیش‌بینی مدل با استفاده از الگوریتم SUFI-2 در بسته نرم افزار SWAT-CUP انجام می‌گیرد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.63.10.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.81]

روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز رودخانه دز به لحاظ موقعیت جغرافیایی بین ۴۸ درجه و ۱۰ دقیقه تا ۵۰ درجه ۲۱ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۴ درجه ۷ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. مساحت کل حوضه بالغ بر ۲۱۷۲۰ کیلومترمربع و متوسط ارتفاع آن حدود ۱۶۰۰ متر می‌باشد. منطقه مورد مطالعه قسمتی از حوضه‌ی آبخیز در بالادست سد دز به مساحت ۱۷۳۶۵ کیلومترمربع است. وجود کوهستان‌های مرتفع و همجواری با سرشاخه‌های کارون و کرخه سبب تراکم پوشش گیاهی در مناطق بالادستی شده است که با کاهش ارتفاع تراکم این پوشش کمتر می‌گردد. میانگین بارش سالانه در نواحی شمال و غرب حوضه نسبت به سایر مناطق بیشتر است. از نظر توزیع زمانی ۴۸/۸ درصد از بارش سالانه در زمستان، ۳۰/۶ درصد در فصل پاییز، ۲۰/۴ درصد در بهار و تنها ۰/۲ درصد از بارش در فصل تابستان رخ می‌دهد. از آنجا که ارتفاع بیش از دو سوم مساحت این حوضه بالاتر از ۱۰۰۰ متر و بیش از یک سوم آن بالاتر از ۲۰۰۰ متر می‌باشد، بارندگی غالب به صورت برف است. از لحاظ تقسیم‌بندی کلی هیدرولوژی ایران، این حوضه جزیی از حوضه آبخیز خلیج‌فارس به‌شمار می‌رود که از غرب به حوضه کرخه، از شمال به حوضه‌ی قره‌چای و زاینده‌رود و از شرق و جنوب به حوضه‌ی کارون محدود می‌شود شکل(۱). به طور کلّی، در منطقه ۹ نوع کاربری اصلی وجود دارد که کاربری‌های غالب، به ترتیب مرتع، جنگل و کشاورزی می‌باشند. کاربری مرتع در مناطق میانی، نواحی جنگلی در نیمه جنوبی و زمین‌های کشاورزی در نیمه شمالی حوضه پراکنده شده‌اند.



شکل(۱). موقعیت حوضه دز در حوضه‌ی کارون بزرگ، توپوگرافی و کاربری اراضی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.63.10.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.81]

معرفی و اجرای مدل SWAT

ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT)، نمونه‌ای از مدل‌های فیزیکی است که با حل معادلات اساسی فیزیک به شبیه‌سازی فرآیندهای سیستم آبخیز می‌پردازد. این مدل به لحاظ مقیاس فضایی نیمه‌توزیعی و از نظر زمانی مدلی پیوسته است که توسط سرویس تحقیقات کشاورزی ایالات متحده آمریکا بسط و توسعه داده شده است. بخش‌های اصلی مدل شامل هیدرولوژی، هواشناسی، فرسایش خاک، مواد مغذی، دمای خاک، رشد گیاه، آفت‌کش‌ها، مدیریت کشاورزی و روندیابی جریان رودخانه می‌باشد. این مدل در ابتدا حوضه آبخیز را بر اساس مدل رقومی ارتفاع (DEM) به تعدادی زیر حوضه تقسیم می‌کند. سپس هر زیر حوضه با روی هم‌گزاری لایه‌های خاک، کاربری اراضی و کلاس‌های شیب به چندین واحد پاسخ هیدرولوژیک[1] (HRU) تفکیک می‌شود که امکان شبیه‌سازی در مقیاس مکانی بالا را ارایه می‌دهد. مدل، هیدرولوژی هر HRU را با استفاده از رابطه بیلان آبی که شامل بارش روزانه، رواناب، تبخیر و تعرق، نفوذ و جریان برگشتی بوده، پیش‌بینی می‌نماید رابطه(۱). سپس مقادیر شبیه‌سازی شده در هر HRU جمع می‌شود تا مقادیر هر زیر حوضه برآورد گردد. پس از آن، مقادیر اجزای هیدرولوژیکی درون شبکه جریان و تا خروجی حوضه روندیابی می‌شوند. رواناب سطحی در این مدل با دو روش شماره منحنی سرویس حفاظت منابع طبیعی آمریکا[2] و روش گرین و امپت[3] مورد محاسبه قرار می‌گیرد. همچنین برای محاسبه میزان تبخیر و تعرق سه روش پریستلی تیلور[4] و پنمن-مانتیث[5] و هارگریوز[6] در مدل ارائه شده است. روندیابی جریان در رودخانه نیز با استفاه از روش ضریب ذخیره متغیر[7] و روش ماسکینگام انجام می‌شود.

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t}(R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$ رابطه (۱)

SW_t = مقدار آب موجود در خاک در زمان حاضر (میلی‌متر)، Sw_0 = مقدار اولیه آب موجود در خاک (میلی‌متر)، R_{day} = مقدار بارندگی روز i ام (میلی‌متر)، Q_{surf} = رواناب سطحی روز i ام (میلی‌متر)، E_a = تبخیر و تعرق روز i ام (میلی‌متر)، W_{seep} = مقدار آب وارد شده از پروفیل خاک به ناحیه غیر اشباع روز i ام (میلی‌متر)، Q_{gw} = مقدار جریان برگشتی روز i ام (میلی‌متر) و i = روز مشخص است.

داده‌های مورد نیاز و آماده‌سازی مدل

به منظور آماده‌سازی، واسنجی و اعتبارسنجی مدل، نقشه‌ی کاربری اراضی با استفاده از تفسیر تصاویر ماهواره ای لندست و استفاده از اطلاعات میدانی در ۹ کلاس مختلف طبقه‌بندی شد. لایه خاکشناسی منطقه مورد مطالعه از نقشه جهانی خاک (سازمان جهانی فائو، ۱۹۷۲) با دقت ۱:۱۰۰۰۰۰۰، استخراج گردید. جهت

1- Hydrologic Response Unit
2- SCS Curve Number Method
3- Green and Ampt Method
4- Priestley-Taylor
5- Penman-Monteith
6- Hargreaves-Samani
7- Variable Storage Coefficient
7- Schuol & et al

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.63.10.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.81]

معرفی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک از داده‌های جمع‌آوری شده توسط اسکول و همکاران[1] (۶۳:۲۰۰۸) استفاده شد. محاسبه شبکه آبراهها و زیرحوضه‌ها با استفاده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) با دقت مکانی ۹۰ متر از سایت USGS[2] میسر گردید (شکل ۱). همچنین داده‌های اقلیمی مربوط به ۶ ایستگاه باران‌سنجی (ونایی، کشور، دره تخت، چم چیت سبزه، سازمان آب بروجرد و زردفهره) و ۷ ایستگاه سینوپتیک(الیگودرز، بروجرد، اراک، خرم‌آباد، دزفول، صفی‌آباد و کوهرنگ) در بازه زمانی ۲۰۱۳ – ۱۹۹۱ از شرکت مدیریت منابع آب ایران و سازمان هواشناسی کل کشور تهیه گردید. داده‌های هیدرومتری شامل جریان مشاهده‌ای رودخانه درهمین بازه زمانی و در ایستگاه تله زنگ جهت انجام فرآیند واسنجی و آنالیز عدم قطعیت مورد استفاده قرار گرفت. جهت کاهش اثرات ناشی از شرایط مرزی و مقادیر اولیه ۳ سال اول، به عنوان دوره گرم شدن مدل در نظر گرفته شد. بازه زمانی (۱۹۹۴ - ۲۰۰۷) برای واسنجی و دوره (۲۰۱۳ - ۲۰۰۸) جهت اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت. با در نظر گرفتن مساحت آستانه زهکشی ۱۰۰۰۰ هکتاری، کل حوضه به تعداد ۱۰۰ زیر حوضه تقسیم و در نهایت تعداد ۲۵۸ واحد پاسخ هیدرولوژیک (HRU) تولید شد. در برآورد ارتفاع جریان، تبخیر و تعرق و روندیابی کانال به ترتیب روش‌های شماره منحنی، هارگریوز و ماسکینگام مورد استفاه قرار گرفت.

واسنجی و ارزیابی مدل

برای واسنجی، آنالیز عدم قطعیت و همچنین اعتبارسنجی مدل، از الگوریتم SUFI-2 در محیط نرم افزار SWAT-CUP استفاده شد(عباسپور، ۲۰۰۷،۲۰۱۱). SUFI-2 یک الگوریتم نیمه خودکار مدلسازی معکوس است که در آن تمام عدم قطعیت‌ها مانند عدم قطعیت در پارامترهای مدل، عدم قطعیت در داده‌های ورودی مدل از قبیل بارش و... ، عدم قطعیت مفهمومی مدل و عدم قطعیت داده‌های مشاهداتی با در نظر گرفتن عدم قطعیت برای پارامترها لحاظ می‌گردد. عدم قطعیت در پارامترها با تعریف بازه‌هایی با توزیع یکنواخت برای آن‌ها توصیف می‌شود. انتشار عدم قطعیت در پارامترها منجر به ایجاد عدم قطعیت در متغیرهای خروجی مدل می‌گردد. این عدم قطعیت در خروجی مدل، با باند عدم قطعیت ۹۵٪ (95PPU) نشان داده می‌شود. باند عدم قطعیت ۹۵٪، در سطوح ۲/۵٪ و ۹۷/۵٪ توزیع تجمعی یک متغیر خروجی که با نمونه‌برداری به روش لاتین هایپرکیوب[3]شبیه‌سازی شده است، محاسبه می‌گردد. فرآیند کار به گونه‌ای است که تلاش می‌شود بیشتر داده‌های مشاهده‌ای در باند عدم قطعیت پیش‌بینی ۹۵ درصد قرار گیرد. برای کمی کردن میزان دقت واسنجی و عدم قطعیت دو شاخص مورد استفاده قرار می‌گیرد: P-factor که عبارت است از درصد داده‌های مشاهده‌ای قرار گرفته در بازه ۹۵ درصد عدم قطعیت و R- factor که برابر با متوسط ضخامت باند عدم قطعیت 95PPU تقسیم بر انحراف معیار داده‌های مشاهده‌ای می‌باشد. به لحاظ تئوری، مقادیر P-factor در بازه ۰ تا ۱ و مقادیر R-factor در باز ه ۰ تا بینهایت تغییر می‌کنند.P-factor برابر با ۱ وR-factor برابر با ۰-نشان‌دهنده تطابق کامل مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهداتی است. هر چقدر P-factor و R-factor بدست آمده، از این اعداد فاصله داشته باشند دقت شبیه‌سازی کمتر است. برای ارزیابی تطابق دو

8- United States Geological Survey
3- Latin hypercube

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.63.10.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.81]

سیگنال مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده، دو معیـــار، ضریب نـش - ساتکلیف (NS) و تعیین (R^2) (رابطه‌هـای ۲ و ۳) انتخاب شدند. مقدار ضریب نش - ساتکلیف از بینهایت تا واحد تغییر می‌کند و مقدار واحد به معنی انطباق کامل پیش‌بینی مدل با مقادیر مشاهده‌ای می‌باشد. در این شاخص مقادیر بیشتر از ۰/۷۵ عالی، بین ۰/۷۵ تا ۰/۳۶ رضایت بخش و کمتر از ۰/۳۶ غیرقابل قبول فرض می‌شود (نش و ساتکلیف، ۲۸۷:۱۹۷۰). همچنین طبق گزارش موریاسی و همکاران (۲۰۰۷)، اگر ضریب نش ساتکلیف بیشتر از ۷۵/ ۰ باشد نتایج واسنجی و اعتبارسنجی خیلی خوب، اگر بین ۰/۷۵ تا ۰/۶۵خوب، اگر بین ۰/۶۵ تا ۰/۵۰ مناسب و اگر کمتر از ۵/ ۰ باشد نتایج رضایتبخش نیست.

$$R^2 = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n}(O_i-\overline{O})(S_i-\overline{S})\right]^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i-\overline{O})^2\sum_{i=1}^{n}(S_i-\overline{S})^2}$$ رابطه (۲) رابطه

$$NS = 1-\frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_0-Q_s)^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_0-\overline{Q})^2} \quad (۳)$$

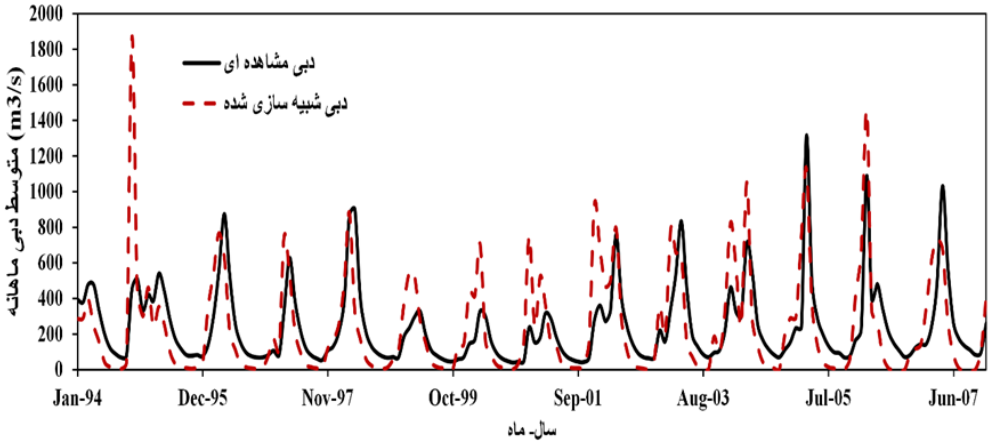
در روابط(۲ و ۳) O، Sبه ترتیب متوسط دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده است.

نتایج

اجرای اولیه مدل

شکل(۲) نتایج اولیه اجرای مدل براساس مقادیر دبی ماهانه ایستگاه تله‌زنگ قبل از فرآیند واسنجی را برای کل حوضه نشان می‌دهد. نتایج اولیه تطابق قابل پذیرش بین دبی شبیه‌سازی با مشاهده را نشان نمی‌دهد. ضریب کارایی نش– ساتکلیف (NS) و ضریب تبیین (R^2) (به ترتیب ۰/۰۸ و ۵۰/) این عدم تطابق را کامل می‌کند. در این زمینه باید اذعان داشت مدل SWAT برای شبیه‌سازی مناسب جریان نیاز به اطلاعات ورودی با سطح دقت بالا دارد. از آن‌جا که در کشور ما برای بسیاری از حوضه‌ها این اطلاعات با این کیفیت وجود ندارد، لذا نتایج شبیه‌سازی اولیه این مدل در بسیاری از پژوهش‌ها مناسب نیستند(ذهیبیون و همکاران، ۱۳۸۹: ۵۰). در این مرحله عدم شبیه‌سازی مناسب نتیجه‌ای خطای مدل در برآورد بیشتر دبی اوج و برآورد کمتر دبی پایه نسبت به داده‌های مشاهداتی است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.63.10.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.81]



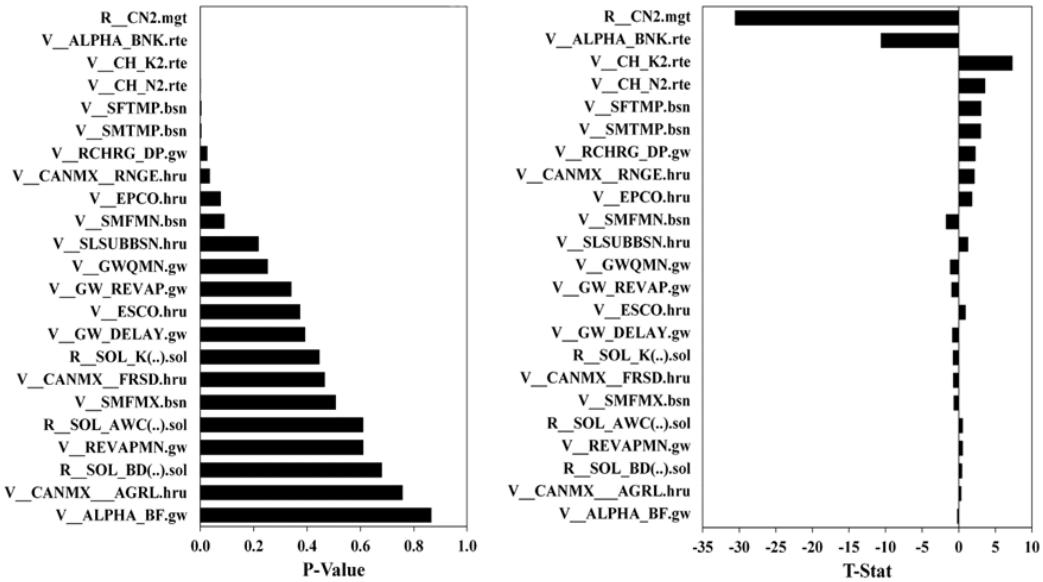
شکل(۲). نتایج اولیه شبیه‌سازی جریان، توسط مدل SWAT در ایستگاه تله زنگ

نتایج آنالیز حساسیت

لزوم استفاده از آنالیز حساسیت، تنوع قابل توجه در پارامترهای ورودی مدل SWAT است. قابلیت اصلی این تکنیک، شناسایی پارامترهایی است که خروجی مدل به آن‌ها حساسیت بیشتری نشان می‌دهد تا در دوره واسنجی تنها از این پارامترها استفاده شود. انجام تحلیل حساسیت معمولا به دو روش انجام می‌گیرد: روش‌های سراسری[1] و روش یک پارامتر در هر مرحله[2]. در پژوهش حاضر تحلیل حساسیت با روش سراسری انجام گرفت و بر این اساس از بین ۲۳ پارامتر اولیه ورودی با معیار قرار دادن دو شاخص P-Value و T-Stat، تعداد ۱۴ پارامتر که جریان خروجی حوضه بیشترین حساسیت را نسبت به آن‌ها داشت، شناسایی گردید شکل(۳). در این بین پارامترهای شماره منحنی (CN2)، ضریب آلفا جریان پایه (ALPHA_BNK) و قابلیت هیدایت هیدرولیکی (CH_K2) به ترتیب بیشترین اثر را در شبیه‌سازی جریان حوضه داشتند.

1- Global
2- One at Factor a time

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.63.10.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.81]



شکل(۳). سطح حساسیت خروجی مدل به پارامترهای ورودی

نتایج واسنجی و آنالیز عدم قطعیت

مقادیر بهینه برای پارامترهای موثر در مرحله واسنجی در جداول(۲ و ۱) ارائه شده است. همچنین جریان ماهانه شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای به ترتیب برای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی درون باند عدم قطعیت پیش بینی ۹۵ درصد با یکدیگر مقایسه شده‌اند اشکال (۵ و ۴). در دوره واسنجی ضریب کارایی نش- ساتکلیف (NS) و ضریب تبیین (R^2) به ترتیب برابر با ۰/۸۲ و ۰/۸۳ می‌باشد که بر مبنای قائده موریاسی و همکاران (۸۸۷:۲۰۰۷)، این نتایج حاکی از عملکرد خیلی خوب مدل در شبیه‌سازی جریان در دوره واسنجی است. همچنین مقادیر P-factor و R-factor برای دوره واسنجی به ترتیب ۰/۸۵ و ۰/۶۶ محاسبه شد که این نتایج نیز نشان دهنده آستانه قابل قبول در ارزیابی آنالیز عدم قطعیت می‌باشند (عباسپور و همکاران ۲۰۰۷). پس از تعیین دامنه‌ی بهینه برای پارامترهای مدل در مرحله واسنجی، الگوریتم SUFI-2 یک بار دیگر و بدون هیچ گونه تغییری در بازه‌های بهینه، برای دوره‌ی صحت‌سنجی اجرا شد. مقادیر p-factor و R-factor به ترتیب ۱/۲۱ و ۰/۷۲ و ضریب تبیین و نش – ساتکلیف ۰/۸۳ و ۰/۶۷ بدست آمد. این نتایج نیز بیانگر عملکرد خوب مدل در پیش‌بینی جریان و همچنین نتایج قابل قبول در بحث عدم قطعیت است. خلاصه‌ی نتایج ضرایب کارایی در هر دو دوره در جدول ۳ آمده است که در مجموع دلالت بر توانایی مدل در شبیه‌سازی دبی حوضه دارد و کارایی آن براساس شاخص‌های کیفی ارائه شده در تحقیقات پیشین خیلی خوب ارزیابی می‌شود (عباسپور ،۲۰۰۷ و ۲۰۱۱). شکل(۶) پراکنش مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی مدل بر روی خط ۱:۱ را قبل و بعد از بهینه‌سازی نشان می‌دهد. بزرگ بودن مقدار R^2 بیانگر همبستگی بالای بین داده‌های مشاهده و شبیه‌سازی شده بعد از واسنجی مدل است. مقایسه نتایج بدست آمده در این پژوهش با نتایج سایر تحقیقات

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.63.10.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.81]

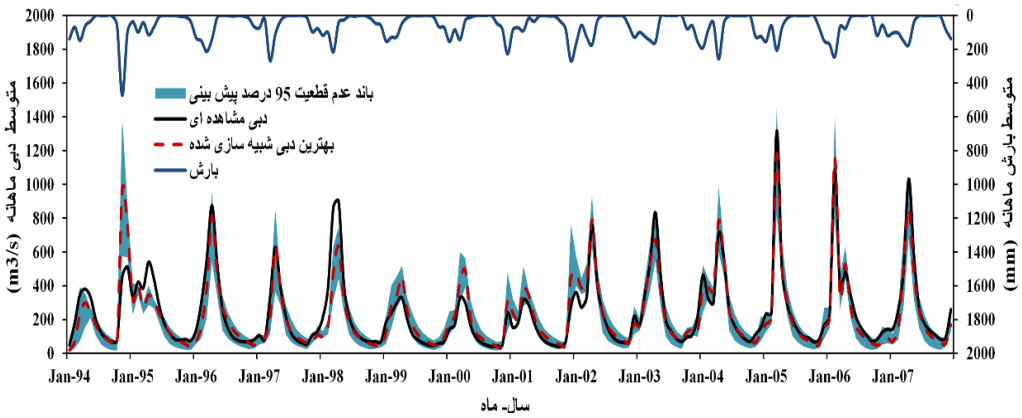
مشابه در سطح جهان از جمله بریکا و همکاران (۲۰۱۶) و کومر و همکاران[1] (۲۰۱۷) نشان می‌دهد با وجود چالش‌های مربوط به داده‌های ورودی، دقت شبیه‌سازی، خیلی خوب و هم‌سو با نتایج سایر محققین بوده است.

جدول(۱). مقادیر بهینه بدست آمده برای پارامترهای موثر در مرحله واسنجی

نام پارامتر	توضیحات	فایل	بازه نهایی
r__CN2	شماره منحنی نفوذ (scs) برای شرایط اولیه رطوبت	.mgt	-۰/۱ - ۰/۱
v__ALPHA_BNK	ضریب آلفا جریان پایه برای ذخیره کناری (روز)	.rte	۰/۱ - ۰/۳
v__CH_K2	قابلیت هدایت هیدرولیکی موثر (میلی‌متر بر ساعت)	.rte	۹۰ – ۱۱۰
v__CH_N2	ضریب مانینگ رودخانه اصلی	.rte	- ۰/۲۵
v__SFTMP	متوسط دمای هوا برای تبدیل باران به برف (سانتی‌گراد)	.bsn	۳/۵
v__SMTMP	دمای ذوب برف (سانتی‌گراد)	.bsn	۲/۵
v__RCHRG_DP	درصد تغذیه سفره عمیق از سفره کم‌عمق یا غیر محصور	.gw	۰/۵- ۰/۷
v_CANMX.hru_RNGE	ذخیره حداکثر پوشش گیاهی (مرتع)	.hru	۷۹
v__EPCO	ضریب تصحیح جذب گیاهی	.hru	۰/۷ – ۰/۹
v__SMFMN	حداقل نرخ ذوب برف در اثر یک درجه سانتی‌گراد تغییر دما	.bsn	۲/۵
v__SLSUBBSN	متوسط شیب زمین	.gw	۱۱۵ - ۱۳۵
v__GWQMN	حداقل عمق مورد نیاز سطح ایستابی در سفره‌های کم‌عمق برای وقوع جریان	.gw	۷۰۰ – ۹۰۰
v__GW_REVAP	ضریب تعیین نفوذ به سفره آب زیرزمینی عمیق یا صعود موئینگی از سفره آب	.gw	– ۰/۰۷
v__ESCO	فاکتور جبران کننده تبخیر از خاک	.hru	۰/۷ – ۰/۹

جدول(۲). نتایج ارزیابی کارایی مدل SWAT در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی

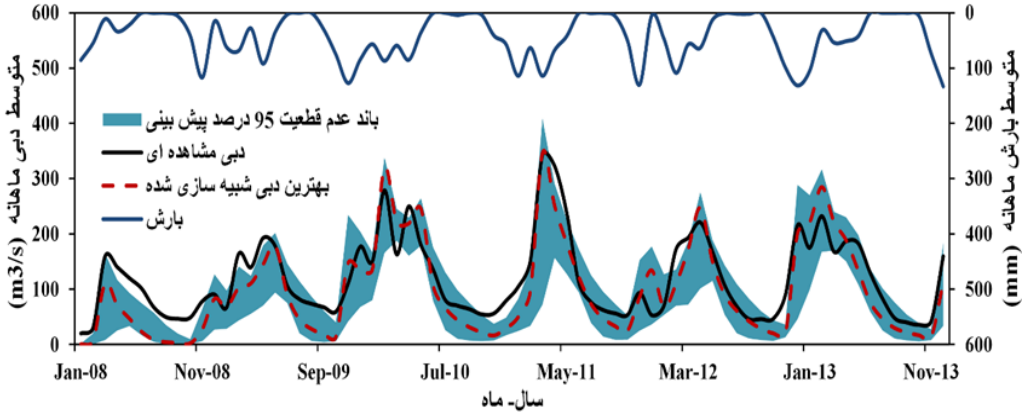
مرحله / شاخص	NS	R^2	P-factor	R-factor
واسنجی	۰/۸۲	۰/۸۳	۰/۸۵	۰/۶۶
صحت‌سنجی	۰/۶۷	۰/۸۳	۰/۷۲	۱/۲۱



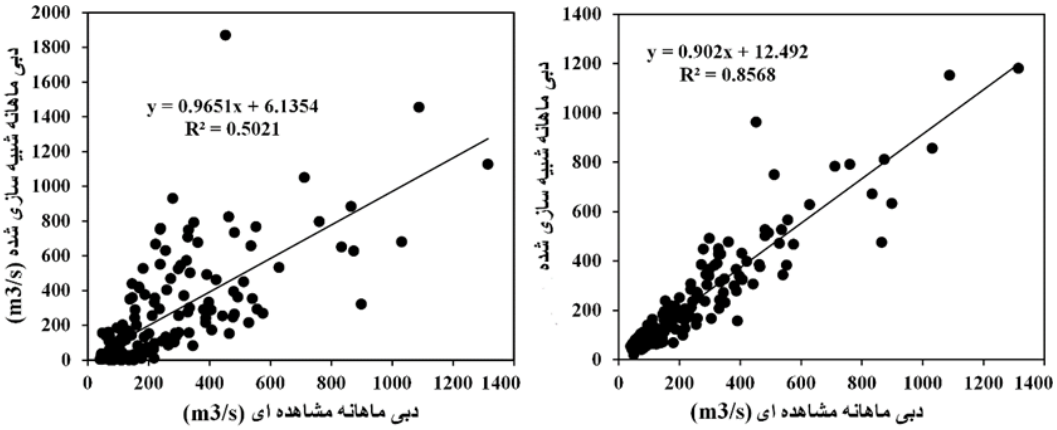
شکل(۴). مقایسه سری زمانی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره واسنجی (۱۹۹۴-۲۰۰۷)

1- Kumar & et al

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.63.10.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.81]



شکل۵. مقایسه سری زمانی دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده برای دوره صحت‌سنجی (۲۰۱۳-۲۰۰۸)



شکل(۶). مقایسه رابطه جریان مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده الف) قبل از واسنجی ب) بعد از واسنجی

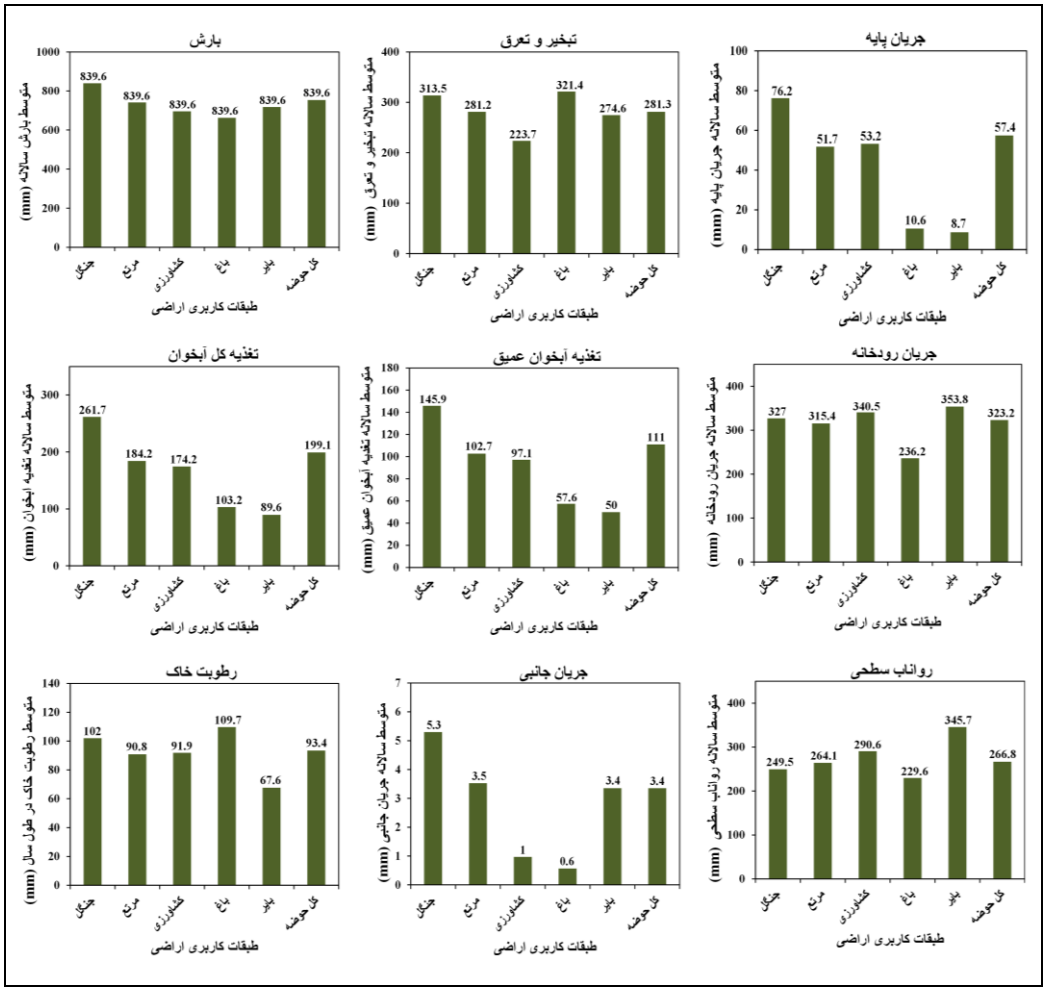
مولفه‌های هیدرولوژیکی رودخانه دز به تفکیک کاربری اراضی

پس از واسنجی و صحت‌سنجی مدل، متوسط مقادیر اجزای بیلان آبی حوضه دز به تفکیک کاربری اراضی برای دوره زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۰۷ استخراج شدند (شکل ۷). مقدار کل بارش حوضه ۷۵۴ میلی‌متر، تبخیر و تعرق ۲۸۱/۳ میلی‌متر، تغذیه کل آبخوان ۱۹۹/۱ میلی‌متر، تغذیه آبخوان عمیق ۱۱۱ میلی‌متر، رواناب سطحی ۲۶۶/۸ میلی‌متر، جریان جانبی ۳/۴ میلی‌متر، جریان پایه ۵۷/۴ میلی‌متر و جریان رودخانه ۳۲۳/۲ میلی‌متر برآورد شده است. از نظر پراکندگیِ میزان بارش، مناطق جنگلی و باغات میوه به ترتیب بیشترین (۸۳۹/۶ میلی‌متر) و کمترین (۶۶۶/۲ میلی‌متر) مقدار بارش را در مقایسه با کاربری‌های دیگر تجربه کرده‌اند. نتایج این تحقیق، حاکی از آن است که بیشترین نرخ تبخیر و تعرق واقعی مربوط به باغات میوه و نواحی جنگلی به ترتیب به میزان ۳۲۱/۴ و ۳۱۳/۵ میلی‌متر در سال می‌باشد. از بین کاربری‌های مختلف باغات میوه کم‌ترین مقدار دریافت بارش را داشته‌اند و این در حالی است که بیشترین تبخیر و تعرق در همین کاربری محاسبه شده است، بنظر می‌رسد آبیاری باغات میوه سهم قابل توجهی در نرخ بالای تبخیر و تعرق داشته است. مدلسازی جریان نفوذی به درون سفره‌های آب زیرزمینی توسط مدل SWAT، نشان داد که تغذیه حداکثری سفره‌های

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.63.10.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.81]

آبخوان در نواحی دارای پوشش جنگلی انجام می‌گیرد. نتایج بیانگر آن است که در بین کاربری‌های مختلف بیشترین نفوذ به آبخوان‌ها (سطحی و عمیق) در مناطق جنگلی و مراتع به ترتیب ۲۶۱/۷و ۱۸۴/۲میلی‌متر است. تکثیر و حیات ریشه‌ها و حتی پوسیدگی و از بین رفتن آن‌ها، خلل و فرج خاک‌های نواحی جنگلی را افزایش داد که خود موجب افزایش ضریب هدایت هیدرولیکی و در نتیجه نفوذ بیشتر آب در این مناطق می‌گردد که تغذیه بیشتر آبخوان‌های سطحی و عمیق، جریان جانبی و جریان پایه بزرگتر و همچنین رواناب کمتر را به دنبال دارد،در حالی که زمین‌های بایر کمترین سهم (۸۹/۶ میلی‌متر) را در تغذیه آبخوان‌ها داشته‌اند. زمین‌های بایر به دلیل فشردگی ذرات خاک و هدایت هیدرولیکی کوچکتر، کمترین جریان جانبی (۸/۷ میلی‌متر) و جریان پایه (۳/۴ میلی‌متر) و بیشترین میزان رواناب (۳۴۵/۷ میلی‌متر) را دارند. حجم رواناب سالانه در مناطق جنگلی برای هر کیلومتر مربع، ۲۴۹۵۰۰ متر مکعب است با تغییر کاربری نواحی جنگلی به زمین‌های بایر به ازای تبدیل هر کیلومتر مربع جنگل به زمین بایر ۹۴۸۱۰ متر مکعب به مقدار رواناب حوضه اضافه خواهد شد. بنابراین جنگل‌زدایی با هدف توسعه زمین‌های کشاورزی و مراتع برای افزایش تولید محصولات کشاورزی و دامی می‌تواند منطقه را با افزایش خطر وقوع سیلاب مواجه کند. بیشترین و کمترین مقدار جریان شرکت‌کننده در رودخانه که تقریبا برابر با مجموع رواناب سطحی، جریان پایه و جریان جانبی می‌باشد به ترتیب برای زمین‌های بایر (۳۵۳/۸ میلیمتر) و باغات میوه، (۲۳۶/۲ میلیمتر) برآورد شده است. از آنجایی که در حوضه مورد مطالعه، در همه کاربری‌ها مقدار رواناب در مقایسه با جریان جانبی و پایه بیشتر بوده است لذا جریان رودخانه از این پارامتر تاثیرپذیری بالایی نشان می‌دهد بنابراین زمین‌های بایر که بیشترین رواناب سطحی داشتند، بالاترین جریان رودخانه را نیز دارند. از دیگر نتایج این پژوهش، شبیه‌سازی رطوبت موجود در خاک می‌باشد. این پارامتر نیز از تراکم پوشش گیاهی تاثیر پذیرفته، به گونه‌ایی که بالاترین مقادیر رطوبت خاک در باغات و نواحی جنگلی به ترتیب (۱۰۹/۷ و ۱۰۲ میلی‌متر) بوده است که رطوبت بیشتر در خاک‌های اراضی باغی مرتبط با دوره‌های آبیاری می‌باشد. در همین رابطه خاک‌های زمین‌های بایر با توجه به دریافت بارش ناچیز و تبخیر و تعرق نسبتا بالا، کمترین مقدار رطوبت (۶۷/۶ میلی‌متر) را داشته است.

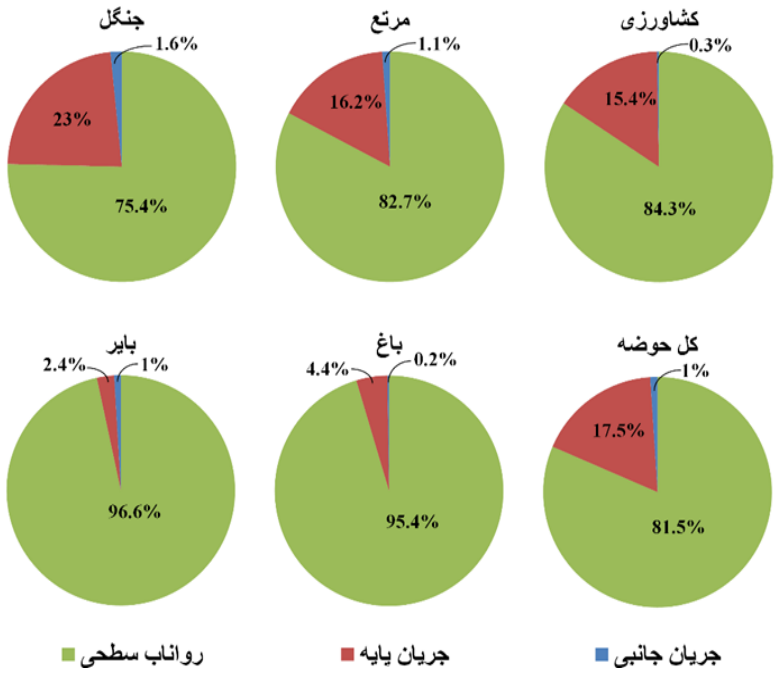
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.63.10.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.81]



شکل(۷). متوسط مولفه‌های هیدرولوژیکی حوضه آبخیز دز به تفکیک کاربری اراضی (۱۹۹۴ – ۲۰۰۷)

درصد مشارکت هر کدام از سه پارامتر رواناب سطحی، جریان پایه و جریان جانبی در جریان اصلی رودخانه برای کاربری‌های مختلف در شکل(۸) نشان داده شد. در همه‌ی کاربری‌ها رواناب سطحی بیشترین سهم را در جریان اصلی رودخانه داشته که این مقدار از ۹۶/۶ درصد در زمین‌های بایر تا ۷۵/۴ درصد در مناطق جنگلی متغیر است. بعد از رواناب سطحی، سهم جریان پایه در جریان اصلی قابل توجه می‌باشد؛ به گونه‌ای که حداکثر آن در نواحی جنگلی ۲۳ درصد و کم‌ترین آن در زمین‌های بایر، ۲/۴ درصد است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.63.10.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.81]



شکل(۸). متوسط مقادیر جریان پایه، جانبی و رواناب سطحی به تفکیک کاربری اراضی

نتیجه‌گیری

در این پژوهش مولفه‌های هیدرولوژی حوضه آبخیز رودخانه دز به تفکیک طبقات کاربری اراضی با استفاده از مدل SWAT شبیه‌سازی شد. مدل مورد نظر جریان ماهانه را برای ایستگاه هیدرومتری تله زنگ در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی با رتبه خیلی خوب(بر مبنای قائده موریاسی) شبیه‌سازی کرد. خروجی مدل نشان داد مناطق با کاربری جنگل بالاترین سهم را در تغذیه آبخوان دارد و زمین‌های بایر بیشترین رواناب سطحی را ایجاد می‌کند. کاهش اراضی جنگل و تبدیل آن به مرتع و اراضی کشاورزی موجب تغییر در مولفه‌های هیدرولوژیکی و در نتیجه افزایش رواناب سطحی، کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی می‌شود که تهدید جدی برای ذخیره سفره‌های آب زیرزمینی و ثبات خاک منطقه محسوب می‌شود از این رو، مدیریت پوشش گیاهی و اقدامات جدی در راستای حفظ جنگل‌ها در منطقه ضروری به نظر می‌رسد. در یررسی حاضر استفاده از تعداد ایستگاه‌های بیشتر با پراکنش مناسب‌تر می‌تواند به نتایج بهتری منتهی شود. با توجه به ضعف عملکرد مدل‌های تجربی در برآورد جریان‌های جانبی، پایه و سطحی و کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی در اکثر حوضه‌های آبخیز لازم است مدل‌های مانند مدل SWAT که مبنای فیزیکی دارند مورد استفاده قرار گیرند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.63.10.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.81]

منابع

ابراهیمی، پیام؛ سلیمی‌کوچی، جمیله؛ محسنی ساروی، محسن. (۱۳۹۷). **واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب، مطالعه موردی: حوضه آبخیز نکا**، مهندسی و مدیریت آبخیز، (۳) ۱۰: ۲۷۹ - ۲۶۶.

انصاری، محمدرضا؛ گرجی، منوچهر؛ صیاد، غلام‌عباس؛ شرفا، مهدی؛ حمادی، کاظم. (۱۳۹۴). **شبیه‌سازی رواناب حوضه آبخیز رود زرد با استفاده از مدل Arc Swat** ، علوم و مهندسی آبیاری، (۴) ۳۸: ۱۰۷-۹۷.

بصیری، مرضیه؛ اسفندیارپور بروجنی، عیسی؛ اخوان، سمیرا؛ حمیدپور، محسن؛ کمالی، اردوان. (۱۳۹۳). **تأثیر مقیاس نقشه خاک بر نتایج مدل SWAT در شبیه‌سازی روند جریان روانآب ماهانه در حوضه آبخیز تویسرکان**، مدیریت خاک و تولید پایدار، (۳) ۴: ۱۵۳ – ۱۳۵.

حبیبی، علیرضا؛ گودرزی، مسعود. (۱۳۹۷). **کاربرد مدل نیمه‌توزیعی SWAT در شبیه‌سازی رواناب حوضه حبله‌رود**، علوم مهندسی و آبخیزداری، (۴۳) ۱۵: ۴۹ – ۴۰.

حسینی مجید؛ غفوری سید محمد؛ طباطبایی، محمودرضا؛ گودرزی، مسعود؛ حجازی، سید اسدالله. (۱۳۹۲). **ارزیابی مولفه‌های جریان با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبخیز طالقان**، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، (۴۵) ۱۷: ۴۱ – ۲۷.

ذهبیون، باقر؛ گودرزی، محمدرضا؛ مساح‌بوانی، علیرضا. (۱۳۸۹). **کاربرد مدل SWAT در تخمین رواناب حوضه در دوره‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم**، پژوهش‌های اقلیم‌شناسی، (۴ - ۳) ۱: ۵۸ – ۴۴.

غفاری، گلاله؛ قدوسی، جمال؛ احمدی، حسن. (۱۳۸۸). **بررسی تاثیر تغییر کاربری اراضی بر پاسخ‌های هیدرواوژی (مطالعه موردی: حوضه آبریز زنجان‌رود)**، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱: ۱۸۰ – ۱۶۳.

غلامی، عباس؛ شاهدی، کاکا؛ حبیب‌نژاد روشن، محمود؛ وفاخواه، مهدی؛ سلیمانی، کریم. (۱۳۹۶). **ارزیابی کارآئی مدل نیمه توزیعی SWAT در شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای (مطالعهٔ موردی: حوضه آبخیز تالار استان مازندران)**، تحقیقات آب و خاک ایران، (۳) ۴۸: ۴۷۶-۴۶۳.

کاویان، عطاالله؛ گلشن، محمد؛ روحانی، حامد؛ اسمعلی، عوری اباذر. (۱۳۹۴). **شبیه‌سازی رواناب و بار رسوب حوضهٔ آبخیز رودخانهٔ هراز مازندران با بهره‌گیری از SWAT**، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، (۲) ۴۷: ۲۱۱ - ۱۹۷.

گودرزی، محمدرضا؛ ذهیبیون، باقر؛ مساح‌بوانی، علیرضا؛ کمال، علیرضا. (۱۳۹۱). **مقایسه عملکرد سه مدل هیدرولوژی SWAT، IHACRES و SIMHYD در شبیه سازی رواناب حوضه قره‌سو**، مدیریت آب و آبیاری، (۱) ۲: ۴۰-۲۵.

مرادی، ایوب؛ نجفی‌نژاد، علی؛ اونق، مجید؛ بایرام کمکی، چوقی؛ فولادی منصوری، مهرانگیز. (۱۳۹۷). **آشکارسازی روند تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر دبی و بار معلق شبیه‌سازی شده با مدل SWAT(مطالعه موردی: آبخیز گالیکش استان گلستان)**، مرتع و آبخیزداری، (۳) ۷۱: ۵۰۴ – ۴۸۹.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.63.10.2]

[DOI: 10.52547/jgs.21.63.81]

موسوی، رویا؛ معروفی، صفر. (۱۳۹۵). **بررسی پاسخ هیدرولوژیکی جریان رودخانه به تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوضه آبریز سد دز)**، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، (۶) ۲۳: ۳۴۸ – ۳۳۳.

Abbaspour K C, Yang J, Maximov I, Siber R, Bogner K, Mieleitner J, Zobrist J, Srinivasan R. 2007. **Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT**, Journal of Hydrology, **333 (2-4): 413-430**, Doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.09.014.

Abbaspour K C. (2011). **User Manual for SWAT-CUP. SWAT Calibration and Uncertainty Analysis Programs**. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, Dübendorf, Switzerland.

Adeogun A G, Sule B F, Salami A W. 2014. **Validation of SWAT model for prediction of water yield and water balance: case study of upstream catchment of Jebba dam in Nigeria**. International Journal Computer Math. Science, **8(2): 264-270.**

Arnold J G, Srinivasan R, Muttiah R S, Williams J R. (1998). **Large Area Hydrological Modeling Assessment**. Journal of the American Water Resources Association 34 (1).

Briak H, Moussadek R, Aboumaria K, R Mrabet .2016. **Assessing sediment yield in Kalaya gauged watershed (Northern Morocco) using GIS and SWAT model**, International Soil and Water Conservation Research, **4: 177–185**, Doi.org/10.1016/j.iswcr.2016.08.002.

Celin G, James E J .2013. **Simulation of streamflow using soil and water assessment tool (SWAT) in Meenachil river basin of Kerala, India**. Scholars Journal of Engineering and Technology (SJET). Sch. J. Eng. Tech., **1 (2):68-77**.

George S, Sathian K K. 2016. **Assessment of water balance of a watershed using SWAT model for water resources management**. International Journal of Engineering Science and Technology, 5(4): 177–184, DOI: 10.5281/zenodo.48859.

Ghobadi Y, Pradhan B, Sayyad G.A, Kabiri K, Falamarzi Y .2015. **Simulation of hydrological processes and effects of engineering projects on the Karkheh River Basin and its wetland using SWAT2009**, Quaternary International, **374 PP: 144 – 153,** Doi.org/10.1016/j.quaint.2015.02.034.

Ghoraba S M. 2015. **Hydrological modeling of the Simly Dam watershed (Pakistan) using GIS and SWAT model**. Alexandria Engineering Journal, **54(3): 583–594**, Doi.org/10.1016/j.aej.2015.05.018.

Golmohammadi G, Prasher S, Madani A, Rudra R .2014. **Evaluating three hydrological distributed watershed models: MIKE-SHE, APEX, SWAT**, Hydrology, **1: 39 – 20**, Doi.org/10.3390/hydrology1010020.

Guzha A C, Hardy T B. 2010. **Application ofthe Distributed Hydrological Model,TOPNET, to the big darby Creekwatershed, Ohio, USA**. Water Resource Management, **24: 979-1003**, DOI 10.1007/s11269-009-9482-6.

Hosseini M, Ghafouri M, Tabatabaei M, Ebrahimi N, Zare Garizi A. 2016. **Estimation of Hydrologic Budget for Gharasou Watershed, Iran**, Ecopersia, **4 (3): 1455-1469**, DOI: 10.18869/modares.Ecopersia.4.3.1455.

Kumar N, KumarSingh S, Srivastava P K, Narsimlu B. 2017. **SWAT Model calibration and uncertainty analysis for streamflow prediction of the Tons River Basin, India, using Sequential Uncertainty Fitting (SUFI-2) algorithm, Model**. Earth Syst. Environ: **1-13**, DOI 10.1007/s40808-017-0306-z.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]
[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.63.10.2]
[DOI: 10.52547/jgs.21.63.81]

Li K Y, Coe M T, Ramankutty N, Jong De R. 2007. **Modeling the hydrological impact of land-use change in West Africa**. Journal of Hydrology, **337: 258-268,** https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.01.038.

Mahzari S, Kiani F, Azimi M, Khormalia F. 2016. **Using SWAT Model to Determine Runoff, Sediment Yield and Nitrate Loss in Gorganrood Watershed, Iran**, Ecopersia, **4 (2): 1359-1377,** DOI:10.18869/modares.Ecopersia.4.2.1359

Mishra A, Kar S, Singh V P. 2007. **Determination of runoff and sediment yield from a small watershed in sub-humid subtropics using the HSPF model**. Hydrological Processes**, 21(22): 3035-3045**, DOI: 10.1002/hyp.6514.

Moriasi DN, Arnold JG, Van Liew MW, Bingner RL, Harmel RD, Veith TL. 2007. **Model evaluation guideline for systematic quantification of accuracy in watershed simulation**. American Society of Agricultural and Biological Engineers Transactions of the ASABE **50(3): 885-900.**

Nash JE, Sutcliffe JV. 1970**. River flow forecasting through conceptual models**. Part I –A discussion of principles, Journal of Hydrology, **1 0: 282–290**.

Santra P, Das B S. 2013. **Modeling runoff from an agricultural watershed of western catchment of Chilika lake through ArcSWAT**, Journal of Hydro environment Research, **4: 261 - 269**, Doi.org/10.1016/j.jher.2013.04.005.

Schuol J, Abbaspour K C, Yang H, Reichert P, Srinivasan R, Schar Ch, Zehnder A J B. 2006. **Estimation of freshwater availability in the West Africa subcontinent**. Journal of Hydrology**. 254: 58-69**, Doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.12.025.

Shepherd B, Harper D, Millington A. 1999. **Modelling catchment-scale nutrient transport to watercourses in the U.K**. Hydrobiologia, **395-396: 227-238.**

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-28]

[DOR: 20.1001.1.22287736.1400.21.63.10.2]

[DOI: 10.52547/jgs.21.63.81]