

ارزیابی ابزار آب و خاک (SWAT) در برآورد جریان و رسوب در یک

منطقه خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی: حوضه کشف رود)

جعفر یزدی^{۱*}، احمد خزائی پول^۲، مهدی کرابی^۳، فاطمه زارع زاده^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۸/۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱/۱۷

چکیده

این تحقیق با هدف ارزیابی عملکرد مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) در برآورد جریان و رسوب در یک منطقه خشک و نیمه خشک در حوضه کشف رود انجام شده است. در این بررسی، برای ارزیابی عدم قطعیت و درجه بندی مدل از الگوریتم (SUFI-2) استفاده شده است. عوامل مختلف و تاثیرگذار در شبیه سازی منطقه به مدل ارائه شد و باتوجه به آمار موجود در ایستگاه های هیدرومتری و با رسم منحنی دبی-رسوب و با استفاده از آمار آبدهی روزانه و روابط محاسبه شده بین دبی و رسوب، رسوب روزانه و نتایج رسوب ماهانه و سالانه این ایستگاه ها محاسبه شده است. در این منطقه شبیه سازی ماهانه رواناب برای دوره آماری ۲۱ ساله (۱۹۹۲-۲۰۱۳) صورت گرفت که سه سال ابتدایی (۱۹۹۲-۱۹۹۴) برای گرم کردن مدل، و سال های ۱۹۹۵ الی ۲۰۰۶ برای کالیبره مدل و ۲۰۰۷ الی ۲۰۱۳ برای صحت سنجی در سه ایستگاه اولنگ اسدی، آق دربند و پل خاتون در این منطقه استفاده گردید. عملکرد مدل در برآورد دبی هر سه ایستگاه مناسب بوده است و ضرایب نش در ایستگاه های اولنگ اسدی، آق دربند و پل خاتون بترتیب برای دبی در مرحله صحت سنجی مقادیر ۰/۶۵ و ۰/۲۰ و ۰/۷۳ و برای رسوب ۰/۷۵ و ۰/۰۱- و ۰/۵۱ بوده است. همچنین در برآورد رسوب مشاهده می شود نسبت میانگین رسوب برآورد شده توسط مدل نسبت به میانگین رسوب مشاهداتی در ایستگاه های اولنگ اسدی، آق دربند و پل خاتون بترتیب برابر ۱/۵۸، ۰/۱۵ و ۰/۲۵ است که این اختلاف برآورد مدل با نتایج واقعی در ایستگاه اولنگ اسدی کم بوده، اما در دو ایستگاه آق دربند و پل خاتون بالاست. علت ضعیف بودن نتایج برآورد رسوب در ایستگاه های آق دربند و پل خاتون را نمی توان در ضعف مدل در برآورد رسوب دانست، چرا که مدل عملکرد مناسبی را در برآورد رسوب ایستگاه اولنگ اسدی از خود ارائه داده است.

کلیدواژه ها: جریان؛ رسوب؛ کشف رود؛ مدلسازی؛ SWAT

^۱ دانشیار، گروه عمران، دانشکده عمران، آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران - نویسنده مسئول (j.yazdi@sbu.ac.ir)

^۲ دکتری مهندسی عمران، مدرس و پژوهشگر دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران

^۳ دانشجوی دکتری مدیریت منابع آب، دانشکده عمران آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

^۴ کارشناس ارشد مدیریت منابع آب، دانشکده عمران آب و محیط زیست، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر مخصوصاً در حوضه‌های خشک و نیمه خشک به دلیل نیاز روزافزون به آب، برنامه ریزان حوزه آب به مهار آب جهت تامین آب شرب، صنعت و کشاورزی روی آورده‌اند. یکی از روش‌های مرسوم در این راستا احداث سد است. اگرچه ممکن است این هدف با کمک احداث مخزن تامین گردد، اما باید توجه داشت که در این مناطق عمدتاً شدت فرسایش در سیلاب‌ها بالا بوده و پس از مدتی سازه احداث شده با رسوب پر شده و عمر مفید آن به پایان می‌رسد. بنابراین محاسبه حجم صحیح رسوب در این حوضه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. استفاده از مدلسازی با توجه به هزینه و زمان بسیار اندک، به عنوان راهکاری جهت برآورد رسوب ناشی از فرسایش توسط بسیاری از محققان مورد استفاده قرار گرفته است. به دلیل محدودیت هیدرولوژیک در مناطق کوهستانی، کمبود داده، همچنین ویژگی‌های خاص هر یک از مدل‌ها، باید عملکرد هر یک مورد مطالعه و نقاط قوت و ضعف هر یک مورد بررسی قرار گیرد. بررسی مطالعات مختلف در سراسر دنیا توجه گسترده‌ای را به ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) نشان می‌دهد.

این مدل توانمندی بالایی را در شبیه‌سازی جریان (Zhang et al., 2021)، عملکرد محصول (KhazaiPoul et al., 2019)، تبخیر و تعرق (Parajuli et al., 2018; Sun and Ren, 2013) دارد. علاوه بر آن در مطالعات رسوب نیز کاربردهای متنوعی را از خود نشان داده است. در این میان می‌توان به استفاده از این مدل در شناسایی مناطق بحرانی تولید رسوب و طبقه بندی آنها، مطالعه رسوب تحت سناریوهای مختلف از جمله تغییر کاربری اراضی و بررسی اثر تغییر اقلیم بر رسوب اشاره نمود. Khazaiepour و همکاران (۲۰۲۲) به کمک مدل SWAT مناطق بحرانی تولید رسوب را در حوضه کارون شناسایی کرده و سپس به بررسی اثر اجرای نوار پوشش گیاهی بر کاهش رسوب پرداختند. نتایج آنها نشان داد که این راهکار می‌تواند در برخی از زیرحوضه‌ها میزان رسوب را تا ۲۸ درصد کاهش دهد. Heidary و همکاران (۲۰۲۰) تاثیر پدیده تغییر اقلیم را بر رسوب حوضه آبخیز دهباز واقع در خراسان رضوی برای ۳۰ سال آینده و با کمک مدل آماری LARS-WG و ابزار ارزیابی آب و خاک SWAT مورد ارزیابی قرار می‌دهد. نتایج مدل تغییرات رسوب را برای سناریوهای RCP4.5، RCP8.5 و RCP2.6 به ترتیب $-۴/۴$ ، $+۹/۴$ و $+۳/۲$ درصد نسبت به دوره پایه نشان داد. Ziaei و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل SWAT میزان تولید رسوب را در کاربری‌های اراضی مختلف حوضه بهشت آباد مورد بررسی قرار دادند. آنها بیان کردند که بیشترین و کمترین مقادیر متوسط سالیانه ی تولید رسوب به ترتیب مربوط به اراضی کشت دیم با $۲۴/۵$ تن بر هکتار در سال و

باغات با $۱/۶۳$ تن بر هکتار در سال است. Moradi و همکاران (۲۰۱۹) اثر انواع مدل‌های رقومی ارتفاعی با دقت ۳۰، ۹۰ و ۱۰۰۰ متر بر رواناب و بار معلق آبخیز گالیکش استان گلستان را به کمک مدل SWAT مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که استفاده از انواع مختلف مدل‌های رقومی ارتفاعی نتایج نسبتاً یکسانی را در برآورد رواناب و رسوب دارد، هر چند تغییرات در نتایج رسوب اندکی بیشتر بود. با توجه به کاربردهای متنوع و قابل تامل این مدل، مساله مهم این است که کارایی این مدل در برآورد جریان و رسوب حوضه‌های مختلف چگونه است. چرا که استفاده از مدل زمانی مهم است که نتایج آن در حوضه مورد استفاده رضایت بخش بوده و بتوان بر اساس آنها تحلیل درستی را برای مدیریت حوضه ارائه نمود. در ادامه برخی از مطالعاتی که عملکرد مدل SWAT را در برآورد رسوب رضایت بخش دانستند آورده می‌شود. Naseri و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه ای در حوضه سد فریمان با استفاده از مدل SWAT به مطالعه رسوب پرداختند. ضریب نش‌ساتکلیف رسوب ماهانه برای دوره ۷ ساله واسنجی و دوره ۳ ساله اعتبارسنجی به ترتیب $۰/۷۳$ و $۰/۷۶$ به دست آمد که کارایی خوب مدل SWAT را در شبیه‌سازی رسوب را بیان نمود. Ababaei و همکاران (۲۰۱۸) با کمک مدل SWAT به برآورد حجم رسوب در حوضه سد گراتی پرداختند. آنها عنوان کردند که علیرغم عدم قطعیت‌های زیاد در تعیین رسوب، مدل دقت قابل قبولی را در مرحله واسنجی و صحت سنجی برآورد رسوب از خود نشان داده است. Kiani و همکاران (۲۰۱۷) مدل SWAT را جهت شبیه‌سازی فرسایش و رسوب حوضه تهر در شرق استان گلستان به کار بردند که مساحتی در حدود ۱۵۲۴ کیلومتر مربع دارد. مقدار رسوب ویژه و فرسایش به ترتیب $۶/۴۹$ و $۱۰/۲۸$ تن در هکتار بدست آمد. نتایج آنها حاکی از همخوانی مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر مشاهداتی رسوب ایستگاه هیدرومتری تهر طی دوره واسنجی و اعتبارسنجی بود. Vigiak و همکاران (۲۰۱۷) مطالعه ای را در برآورد میزان رسوب در حوضه دانوب انجام دادند. بر اساس نتایج آنها مدل می‌تواند در شرایط فعلی و تحت شرایط متفاوت آب و هوایی به خوبی مدیریت رسوب را مورد بررسی قرار می‌دهد. Arefi Asl و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از همین مدل به برآورد غلظت رسوب در حوضه چهل‌چای در شرق استان گلستان پرداختند. معیار ناش-ساتکلیف، به عنوان تابع هدف، در مرحله واسنجی (۲۰۰۱-۲۰۰۵) و اعتبارسنجی (۲۰۰۶-۲۰۰۹) برای غلظت رسوب برابر $۰/۷۱$ و $۰/۹۲$ به دست آمد که قابل قبول ارزیابی شد. Sommerlot و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از SWAT، HIT^۲ و RUSLE^۲ به شبیه‌سازی رسوب در حوضه Raisin پرداختند که نتایج آنها حاکی از آن بود که

^۲ High Impact Targeting^۳ calibrated field-scale model

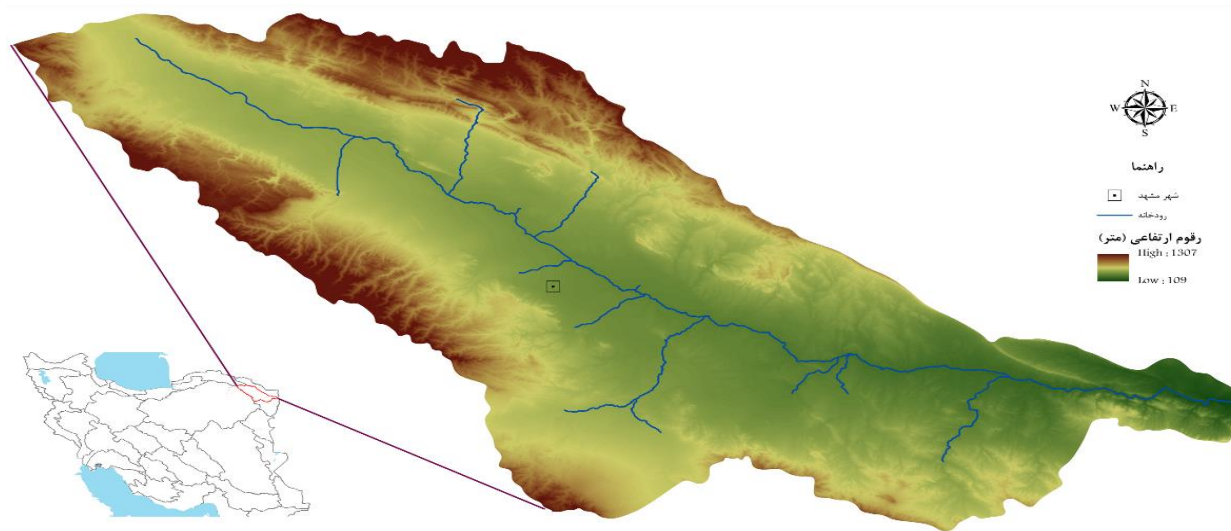
این تحقیق ارزیابی مدل SWAT در برآورد جریان و رسوب در حوضه خشک و نیمه خشک کشف رود در استان خراسان رضوی می‌باشد. نتایج این مطالعه می‌تواند به مدیران جهت اتخاذ صحیح در استفاده یا عدم استفاده از مدل کمک نماید. همچنین در صورت عدم توفیق مدل، به ذکر دلایل و عوامل می‌پردازد.

۲- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز شهر داراب با مساحت ۳۰۱۳۵ هکتار در ارتفاعات شمالی و شرقی مشرف به شهر داراب بین طول شرقی ۵۴ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۴۱ دقیقه و عرض شمالی ۲۸ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۲۸ درجه و ۵۲ دقیقه قرار گرفته است و از جنوب به شهر داراب منتهی می‌گردد. منطقه مورد مطالعه قسمتی از حوزه رودخانه رودبال می‌باشد و روستاهای آب جوان، سنگ چارک و تنگ کتویه در محدوده‌ی آن قرار گرفته‌اند. از نظر تقسیمات کشوری جزو بخش مرکزی شهرستان داراب محسوب می‌گردد.

SWAT و HIT به ترتیب دارای بیشترین و کمترین دقت در ارزیابی بودند. Talebizadeh و همکاران (۲۰۱۰)، به مقایسه مدل SWAT با شبکه عصبی مصنوعی در برآورد رسوب در حوضه کسلیان پرداختند که نتایج آنها بیان کننده دقت بالای مدل نسبت به روش شبکه عصبی مصنوعی داشت. نتیجه مشابهی را نیز Kliment و همکاران (۲۰۰۸) در مطالعه خود در حوضه رودخانه Blsanka در جمهوری چک بیان داشتند. Nodma و همکاران (۲۰۰۷) بیان داشتند که در حوضه های با فرسایش غالب ورقه ای شبیه سازی به کمک مدل SWAT جایگزین مناسبی برای روش های منحنی سنج رسوب می باشد. در عین حال نیز مطالعاتی وجود دارند که بیان می دارند که مدل در برآورد رسوب دارای ضعف هایی است، از آن جمله می توان به مطالعه ادامه اشاره کرد. Rezaei و همکاران (۲۰۲۱) بیان آبی و رسوب را در حوضه آبریز شهرچای با استفاده از مدل SWAT شبیه سازی کردند که نتیجه گرفتند که مدل نتوانسته رسوب را به خوبی شبیه سازی نماید.

با توجه به نکات بیان شده در هر یک از مطالعات، هدف اصلی در



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه حوضه کشف رود

۴۴ ایستگاه فقط ۸ ایستگاه دارای آمار دماسنجی بوده است. بطور کل جهت شبیه‌سازی ۲۸ زیرحوضه شکل گرفته است. علت نادیده گرفتن سدهای کارده و طرق این است که خروجی این مخازن مستقیماً جهت شرب شهر مشهد مورد استفاده قرار می‌گیرد و به رودخانه کشف رود نمی‌ریزد.

در این مطالعه شیب منطقه به ۳ دسته طبقه‌بندی شده است که در محیط GIS با استفاده از مدل ارتفاع رقمی DEM و بکارگیری از دستور SLOPE در محیط نرم افزار GIS، نقشه درصد متوسط شیب مطابق شکل ۲ استخراج گردیده است.

رابطه فرسایش و پوشش گیاهی از جمله بدیهی ترین موضوعات

۳- مواد و روش

از جمله پارامترهای مورد نیاز جهت شبیه‌سازی حوضه توسط مدل، اطلاعات هواشناسی می‌باشد. فرسایش در هر منطقه به اقلیم و آب و هوای آن منطقه بستگی دارد از عناصر اصلی آب و هوا که بر روی فرسایش تأثیر دارد، شدت بارش می‌باشد و بین آن‌ها رابطه خطی وجود دارد بدین ترتیب که با افزایش شدت بارش، فرسایش نیز افزایش می‌یابد. عامل هواشناسی (بارش، دما، باد، ساعت آفتابی، رطوبت نسبی هوا) خود یکی از پارامترهای اساسی در مدل SWAT برای برآورد رسوب و فرسایش می‌باشد. در پروژه مطرح شده از تعداد ۴۴ ایستگاه هواشناسی که از بین

گیاهی و کاربری اراضی مصرفی در این پروژه مطالعاتی مطابق شکل (۱) می‌باشد که شامل بوته زار ها، علفزار ها، زمین زراعی، زمین خشک و مرتع تشکیل شده است و بقیه منطقه نیز پوشش‌هایی از جنگل‌های مخلوط، زمین‌های بایر با پوشش گیاهی ضعیف و همچنین مناطق مسکونی با تراکم متوسط در قابل رویت می‌باشد.

بوده که نقش پوشش گیاهی در تثبیت خاک و جلوگیری از فرسایش بر همگان روشن است. عامل پوشش خود یکی از پارامترهای اساسی در مدل SWAT برای برآورد رسوب و فرسایش می‌باشد. در مدل SWAT برنامه از نام‌های اختصاری برای شناسایی کاربری اراضی استفاده می‌کند که در جدول ۱ به بررسی هر یک از کاربری اراضی پرداخته شده است. نقشه پوشش

جدول (۱): نام اختصاری کاربری اراضی مصرفی در مدل SWAT

ردیف	کاربری اراضی	SWAT
۱	مسکونی تراکم متوسط	URMD
۲	ترکیبی از مزرعه، زمین خشک و مرتع	CRDY
۳	ترکیبی از کشت آبی و مرتع	CRIR
۴	ترکیبی از علفزار و زمینهای زراعی	CRGR
۵	ترکیبی از جنگل و زمینهای زراعی	CRWO
۶	علفزار	GRAS
۷	بوته زار	SHRB
۸	جنگل مخلوط شده	FOMI
۹	بایر یا دارای پوشش گیاهی ضعیف	BSVG

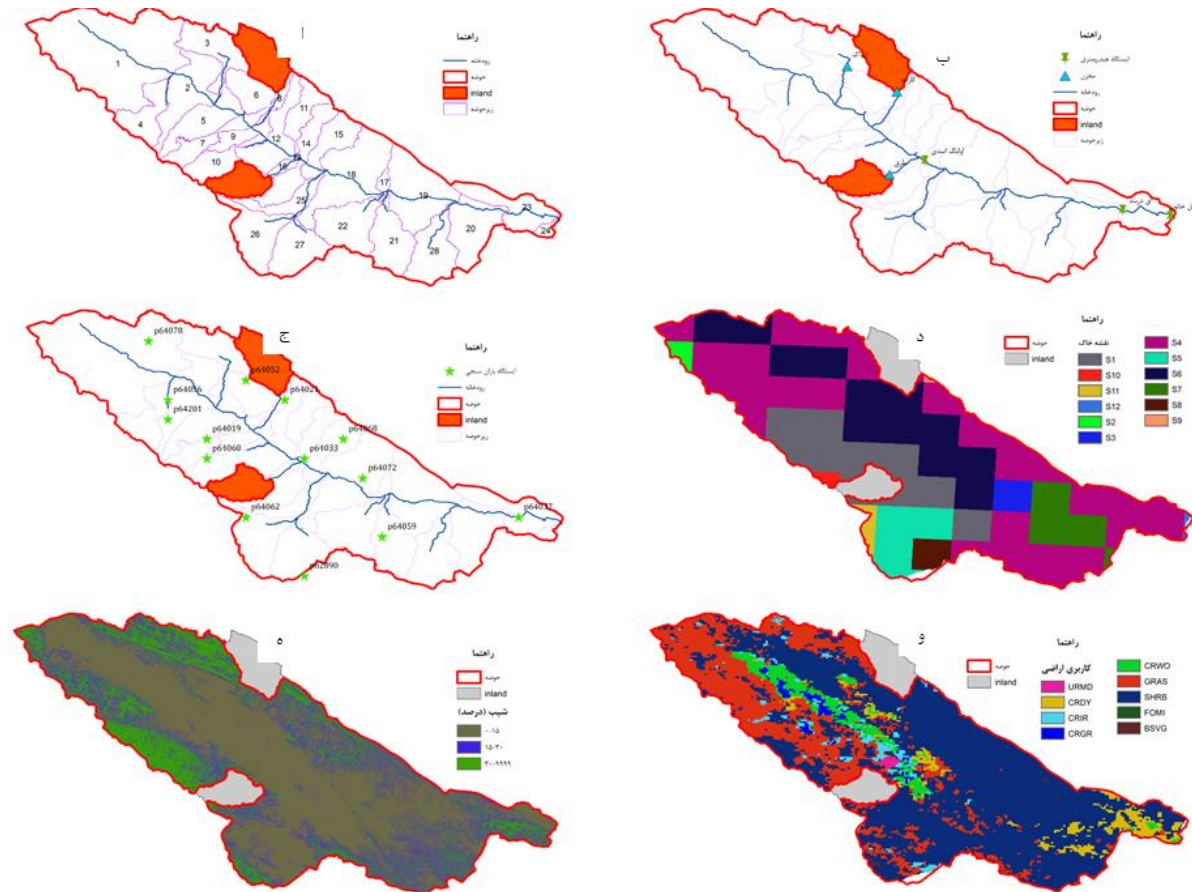
این پروژه مطرح شده در مدل SWAT از نقشه جهانی FAO استفاده گردیده شده است و مقدار تشکیل دهنده هر یک از این خاک‌ها و نوع بافت و درصد مخلوط آن‌ها در جدول (۲) نمایش داده شده است.

خاک به‌عنوان عامل فرسایش‌پذیری مد نظر می‌باشد. عوامل مؤثر در فرسایش‌پذیری خاک عبارتند از بافت و ساختمان خاک، ضخامت کل پروفیل خاک، درصد آهک خاک، ظرفیت نگهداری آب و غیره مد نظر است. نقشه خاک تهیه شده و استفاده شده در

جدول (۲): مشخصات هر یک از خاک‌ها و نوع بافت و درصد مخلوط آن‌ها SWAT

نام خاک (SNAM)												
S12	S11	S10	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	
۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲	NLAYERS
C	D	B	D	D	D	D	D	D	D	D	C	HYDGRP
۷۹۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۳۶۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۶۹۰	۵۳۰	۱۰۰۰	۷۸۰	۶۹۰	SOL_ZMX
۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	ANION_E XCL
۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۰/۵	SOL_CRK
LOAM	LOAM	LOAM	LOAM	LOAM	CLAY- LOAM	CLAY- LOAM	LOAM	LOAM	CLAY- LOAM	LOAM	LOAM	TEXTURE
۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	۳۰۰	SOL_Z1
۱/۳	۱/۴	۰/۵	۱/۳	۱/۶	۱/۴	۱/۵	۱/۵	۱/۴	۱/۵	۱/۵	۱/۲	SOL_BD1
۰/۱۴۴	۰/۱۷۵	۰/۱۷۵	۰/۰۷۱	۰/۱۷۵	۰/۱۰۹	۰/۱۷۵	۰/۱۲۲	۰/۰۹۸	۰/۱۷۵	۰/۰۹۷	۰/۱۲۲	SOL_AWC 1
۱۰/۲۸	۶/۲۸	۲۱۹/۳	۷/۶۶	۲/۸۳	۴/۲۲	۲/۲۷	۲/۹۷	۴/۴۹	۲/۴۷	۲/۶۸	۱۶/۶۹	SOL_K1
۰/۹	۱/۴	۱۶/۹	۰/۹	۰/۴	۰/۷	۰/۵	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۷	۰/۷	SOL_CBN1
۲۲	۲۳	۲۳	۲۵	۲۱	۳۲	۳۴	۲۴	۲۶	۲۹	۲۷	۲۰	CLAY1
۳۱	۳۱	۳۸	۴۱	۳۵	۳۳	۴۲	۳۹	۳۹	۴۸	۳۹	۳۳	SILT1

نام خاک (SNAM)												
S12	S11	S10	S9	S8	S7	S6	S5	S4	S3	S2	S1	
۴۷	۴۶	۳۹	۳۴	۴۴	۳۶	۲۴	۳۷	۳۵	۲۳	۳۴	۴۷	SAND1
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	ROCK1
۰/۰۸۶۳	۰/۰۳۳۹	.	۰/۰۸۶۳	۰/۳۲۶۵	۰/۱۲۶۹	۰/۱۸۶۷	۰/۱۲۶۹	۰/۱۵۴	۰/۱۸۶۷	۰/۱۲۶۹	۰/۱۲۶۹	SOL_ALB1
۰/۲۹۶۵	۰/۲۷۹۸	۰/۱۰۴۱	۰/۲۹۵۷	۰/۳۵۱۴	۰/۳۶۰۱	۰/۳۲۷۵	۰/۳۰۹۳	۰/۳۰۶۱	۰/۳۲۶	۰/۳۲۴۴	۰/۳۰۷۷	USLE_K1
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	SOL_EC1
۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۰۰۰	SOL_Z2
۱/۴	۱/۳	۰/۷	۱/۵	۱/۴	۱/۴	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۳	SOL_BD2
۰/۱۴۴	۰/۱۷۵	۰/۱۷۵	۰/۰۷۱	۰/۱۷۵	۰/۱۰۹	۰/۱۷۵	۰/۱۲۲	۰/۰۹۸	۰/۱۷۵	۰/۰۹۷	۰/۱۲۲	SOL_AWC 2
۴/۴۱	۷/۶	۱۱۳/۸۷	۲/۳۹	۰/۱	۴/۵۱	۲/۲۶	۲/۹۲	۰/۱	۲/۲۴	۲/۶۷	۷/۶۸	SOL_K2
۰/۳	۰/۶	۱۵/۷	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۶	SOL_CBN2
۳۴	۲۷	۲۰	۳۰	۲۱	۳۱	۴۰	۲۷	۲۸	۳۸	۲۹	۲۴	CLAY2
۲۹	۳۱	۳۱	۴۱	۳۷	۲۹	۴۰	۳۲	۲۹	۴۱	۳۳	۳۵	SILT2
۳۷	۴۱	۴۹	۲۸	۴۰	۳۹	۲۰	۴۰	۴۱	۲۱	۳۸	۴۰	SAND2
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	ROCK2
۰/۲۷۴۷	۰/۱۵۴	.	۰/۲۲۶۵	۰/۲۷۴۷	۰/۲۲۶۵	۰/۲۷۴۷	۰/۲۲۶۵	۰/۲۲۶۵	۰/۲۲۶۵	۰/۲۲۶۵	۰/۱۵۴	SOL_ALB2
۰/۲۹۶۵	۰/۲۷۹۸	۰/۱۰۴۱	۰/۲۹۵۷	۰/۳۵۱۴	۰/۳۶۰۱	۰/۳۲۷۵	۰/۳۰۹۳	۰/۳۰۶۱	۰/۳۲۶	۰/۳۲۴۴	۰/۳۰۷۷	USLE_K2



شکل (۲): تقسیم بندی منطقه به زیرحوضه های مختلف (الف)، موقعیت ایستگاه های هیدرومتری و مخازن (ب)، موقعیت ایستگاه های باران سنجی (ج)، نقشه خاک منطقه (د)، شیب بندی حوزه (ه)، نقشه کاربری اراضی منطقه (و)

است. همچنین باتوجه به آمار موجود در ایستگاه های هیدرومتری و با رسم منحنی دبی-رسوب و با استفاده از آمار آبدهی روزانه و روابط محاسبه شده بین دبی و رسوب، رسوب روزانه و نتایج

ایستگاه های هیدرومتری میزان جریان آب و رسوب رودخانه ها را اندازه گیری می کنند که در جدول (۴) مشخصات ایستگاه های هیدرومتری فعال در رودخانه کشف رود مشخص گردیده شده

رسوب ماهانه و سالانه این ایستگاه‌ها محاسبه شده است. این ارقام بدست آمده مربوط به میزان رسوب ناشی از حمل مواد

جدول (۴): معادلات همبستگی دبی (Q_w) (m^3/s) و رسوب مواد معلق (Q_s) (Ton/Day)

ردیف	شماره ایستگاه	رودخانه	ایستگاه	مشخصات جغرافیایی			تاریخ تاسیس	مساحت (Km^2)	معادله و همبستگی
				طول	عرض	ارتفاع			
۱	۶۰۰۷۲۱۰۰۱	کشف رود	النگ اسدی	۵۹-۴۸-۳۸	۳۶-۱۵-۳۷	۸۸۰	۱۳۵۱	۹۰۰۵,۳	$Q_s = 58.812Q_w^{1.8787}$ $R^2 = 0.7895$
۲	۶۰۰۵۲۱۰۰۳	کشف رود	پل خاتون	۶۱-۰۶-۳۹	۳۵-۵۸-۱۴	۳۹۰	۱۳۴۶	۱۶۷۸۷	$Q_s = 180.11Q_w^{2.0305}$ $R^2 = 0.8461$
۳	۶۰۰۵۲۱۰۰۴	کشف رود	آق دریند	۶۰-۵۰-۲۹	۳۶-۰۰-۵۱	۶۷۰	۱۳۲۹	۱۶۱۳۷	$Q_s = 1672.8Q_w^{1.3868}$ $R^2 = 0.6352$

۳-۱- شاخص‌های ارزیابی نتایج

در این تحقیق همانگونه که ذکر گردید تابع هدف ضریب ناش-ساتکلیف (NS) به عنوان هدف تعیین همبستگی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده انتخاب گردید. NS ضریبی است که اختلاف نسبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. محققین مختلف از این شاخص برای ارزیابی مدل‌ها استفاده کرده‌اند. که این ضریب به صورت زیر محاسبه می‌گردد.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - Q_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs})^2}$$

که در آن Q_{obs} مقادیر مشاهده شده، Q_{sim} مقادیر شبیه‌سازی شده و \bar{Q}_{obs} میانگین مقادیر مشاهده شده می‌باشد. مقادیر این ضریب بین یک تا منفی بینهایت تغییر می‌کند. بهترین مقدار این ضریب یک است و در صورتی که میزان آن بیشتر از ۰.۵ باشد نشان دهنده این است که شبیه‌سازی توسط مدل خوب است.

ضریب تشخیص یا تبیین، نشان دهنده قسمتی از مقادیر کل (یا واریانس کل) مقادیر مشاهده‌ای است که توسط مقادیر شبیه‌سازی شده توجیه می‌شود. آمار R^2 نسبت پراکندگی بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهد. R^2 بین صفر تا ۱ متغیر است، چنانچه مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده برابر باشند مقدار R^2 برابر ۱ می‌باشند.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs})(Q_{sim,i} - \bar{Q}_{sim})]^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{obs,i} - \bar{Q}_{obs})^2 \sum_{i=1}^n (Q_{sim,i} - \bar{Q}_{sim})^2}$$

که n تعداد مشاهدات، $Q_{obs,i}$ و $Q_{sim,i}$ مقادیر متناظر مشاهده شده و پیش‌بینی شده می‌باشد. \bar{Q}_{obs} و \bar{Q}_{sim} نیز میانگین ریاضی مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده می‌باشد. ضریب همبستگی نشان می‌دهد که خط رگرسیون بین مقادیر پیش

بینی شده و مشاهده شده تا چه میزان به حداکثر مقدار هماهنگی بین این دو سری مقدار نزدیک است و از صفر تا یک تغییر می‌کند. ضریب همبستگی نشان می‌دهد که خط رگرسیون بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده تا چه میزان به حداکثر مقدار هماهنگی بین این دو سری مقدار نزدیک است و از صفر تا یک تغییر می‌کند.

همچنین مقدار p-factor نشان دهنده درصد قرارگیری داده‌های مشاهداتی در محدوده اطمینان ۹۵٪ است که در تابع هدف NS بیشترین مقدار است. مقادیر r-factor نشان دهنده عدم قطعیت ناشی از مدل حوضه آبریز می‌باشد و هر اندازه این مقدار به صفر نزدیکتر باشد نشان از بهتر عمل کردن مدل در شبیه‌سازی است.

۴- نتایج و بحث

برای کالیبراسیون مدل در برنامه SWAT-CUP بایستی برای هر ایستگاه هیدرومتری نتایج تخمینی حاصل از مدل SWAT را برای زیر حوضه‌های بالادست که تأثیر مستقیم بر میزان آبدهی و رسوب ایستگاه پایین دست خود دارند مورد تجزیه و تحلیل قرار داد و تغییرات پارامترهای تحلیل حساسیت شده را تنها برای زیر حوضه‌های مربوط اعمال نمود.

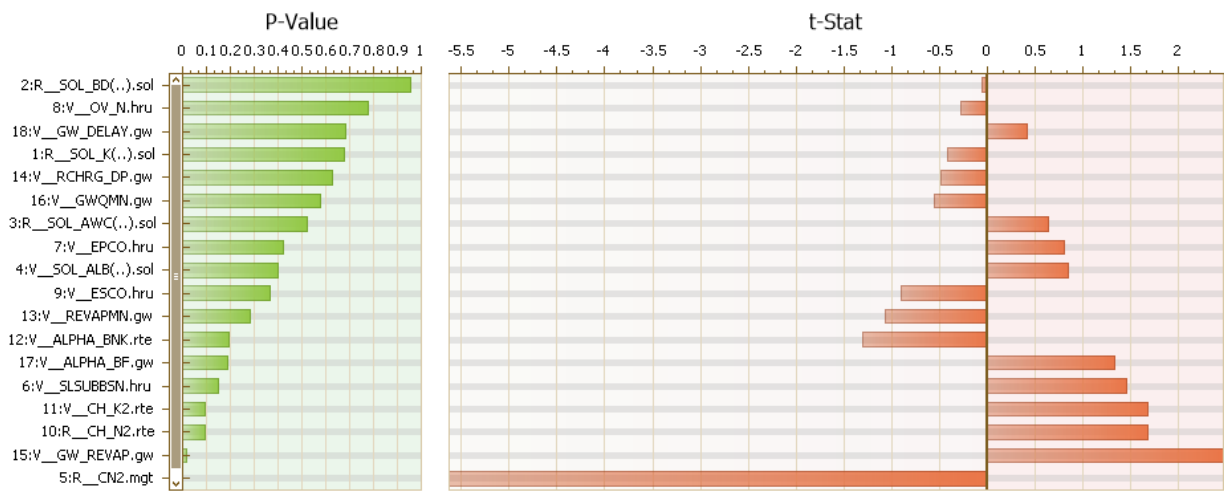
۴-۱- بررسی پارامترهای موثر بر آبدهی

بعد از وارد کردن ورودی‌های مدل، در مرحله ابتدایی اجرای مرحله شبیه‌سازی ماهانه رواناب برای دوره آماری ۲۱ ساله (۱۹۹۲-۲۰۱۳) صورت گرفت که سه سال ابتدایی (۱۹۹۲-۱۹۹۴) برای گرم کردن مدل (Warm Up)، در نظر گرفته شد تا مدل با شرایط محیطی متعادل شود. سال‌های ۱۹۹۵ الی ۲۰۰۶ برای کالیبره مدل و ۲۰۰۷ الی ۲۰۱۳ برای صحت‌سنجی استفاده گردید. برای تحلیل حساسیت رواناب سطحی ابتدا ۱۸

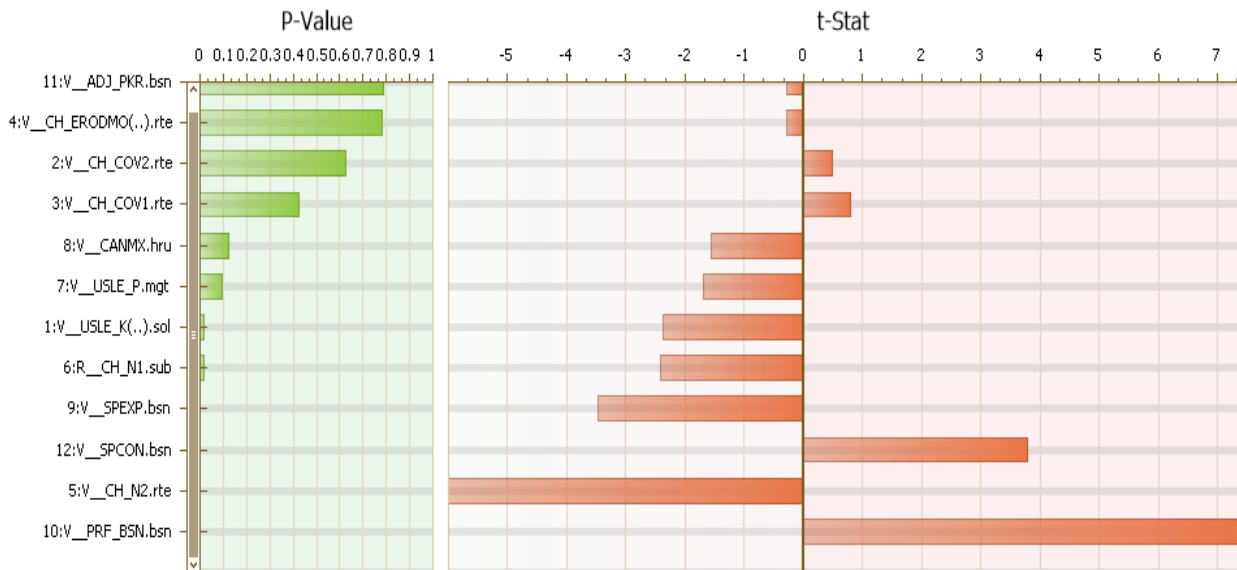
شده‌اند. مطابق شکل ۳ در میان پارامترهای مورد استفاده در واسنجی جریان، دو پارامتر CN2 و GW_REVAP از حساسیت بیشتری نسبت به سایر پارامترها برخوردار هستند. همچنین در بین پارامترهای مورد استفاده در واسنجی رسوب پارامترهای PRF_BSN و CH_N2 از اهمیت بالاتری برخوردار هستند. شکل (۴).

پس از سعی و خطا و طی مراحل مختلف، در جدول‌های (۳) و (۴) بازه نهایی پارامترهای مورد استفاده برای دبی و رسوب آورده شدند.

پارامتر را که از سایر تحقیقات انجام گرفته در این زمینه انتخاب شده بود استفاده گردیده. که در جدول ۵ این ۱۸ پارامتر نشان داده شده است. این پارامترها در بخش واسنجی مدل به کمک نرم افزار SWAT-CUP مورد استفاده قرار گرفتند. بدین منظور از تابع هدف NS (نش-ساتکلیف) استفاده شد. میزان تأثیر گذاری هر یک از پارامترها را می‌توان با استفاده از دو مولفه P-Value و T-Stat مشخص نمود. که هرچه مقدار P-Value به صفر نزدیک تر باشد و قدر مطلق T-Stat بزرگتر باشد به این معنی است که آن پارامتر حساس تر است. در شکل ۳ و ۴ میزان حساسیت پارامترهای مختلف در برآورد دبی و رسوب نشان داده



شکل (۳): آنالیز حساسیت پارامترهای در مرحله کالیبراسیون جریان (هر چه میزان قدرمطلق t-Stat بیشتر و میزان P-Value کمتر باشد، آن پارامتر از اهمیت نسبی بیشتری برخوردار است)



شکل (۴): آنالیز حساسیت پارامترهای در مرحله کالیبراسیون رسوب (هر چه میزان قدرمطلق t-Stat بیشتر و میزان P-Value کمتر باشد، آن پارامتر از اهمیت نسبی بیشتری برخوردار است)

۴-۲- بررسی نتایج ایستگاه‌های شبیه‌سازی شده

توسط مدل

۴-۲-۱- ایستگاه اولنگ اسدی

نتایج حالت واسنجی و صحت‌سنجی مقادیر دبی و رسوب در ایستگاه هیدرومتری اولنگ اسدی در شکل (۵) نشان داده شده است. باتوجه به مقدار به دست آمده ۰/۷۱ و ۰/۶۵ تابع هدف NS بترتیب برای واسنجی و صحت‌سنجی دبی و همچنین مقدار به دست آمده بترتیب برای واسنجی و صحت‌سنجی و غلظت ذرات رسوبی ۰/۸ و ۰/۷۵ تابع هدف NS ایستگاه انگ اسدی می‌توان به این نتیجه دست یافت که مدل شبیه‌سازی شده برای زیر حوضه‌های بالادست این ایستگاه هیدرومتری عملکرد مناسبی داشته و می‌توان با سطح اطمینان بالایی برای مقاصد برآورد و اجرای سناریوهای مختلف مورد استفاده قرار گیرد.

۴-۲-۲- ایستگاه آق دریند

میزان ضریب نش برای این ایستگاه در شبیه‌سازی دبی بترتیب برای واسنجی و صحت‌سنجی برابر ۰/۷۲ و ۰/۲ شده است. در شبیه‌سازی جریان، اگرچه در مرحله واسنجی میزان ضریب نش نسبتاً مناسب است، اما در مرحله صحت‌سنجی این عدد مطلوب نیست. علت آن را می‌توان در وجود چند پیک در داده‌های مشاهده‌ای برای سال‌های ۲۰۰۹، ۲۰۱۰ و ۲۰۱۲ جستجو کرد. این پیک‌ها به کمک مدل به خوبی برآورد نشده‌اند. در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۰۳ نیز با شدت کمتری چنین پیک‌هایی وجود دارد که بعداً در برآورد رسوب نیز این موارد نقش معکوسی را ایفا می‌نمایند. وجود این پیک‌ها می‌تواند دلایل متعددی داشته باشد. یکی اینکه ممکن است اطلاعات ایستگاه‌های بارش در سال‌های مذکور از کیفیت مناسبی برخوردار نباشد. در صورتی که کیفیت داده‌های هواشناسی مورد اشکال نباشد، ممکن است که پراکندگی ایستگاه‌های بارش مورد استفاده در مدل نامناسب بوده باشد و مدل از مناطق با رفتار متفاوت آب و هوایی به اندازه کافی نماینده بارش نداشته باشد. ایستگاه‌های منتخب بر اساس کیفیت داده‌های آنها از جمله وجود کمترین میزان داده مفقودی در دوره مطالعاتی، در نظر گرفته شده‌اند (شکل (۶)). مساله دیگر می‌تواند دخالت انسانی باشد. چرا که علیرغم اینکه این پیک‌ها در این ایستگاه وجود دارد، اما کمی در پایین دست یعنی در ایستگاه پل خاتون تقریباً اثری از آنها دیده نمی‌شود (شکل (۷)). همچنین میزان ضریب نش حاصل از شبیه‌سازی حجم رسوب ماهانه در این ایستگاه برای واسنجی و صحت‌سنجی برابر ۰/۱۹ و ۰/۰۱- است. همانگونه که مشاهده می‌گردد در این ایستگاه مدل نتوانسته است بخوبی به پیش‌بینی رسوب بپردازد. وجود چند پیک نامتعارف در دبی که توضیح آن پیش‌تر داده شد، که میزان ضریب نش در برآورد رسوب و در مرحله صحت‌سنجی منفی گردد.

جدول (۵): بازه نهایی پارامترهای جریان

پارامتر	حداقل	حداکثر	بازه نهایی
r_SOL_K(1).sol	-۰/۵	۰/۵	[۰/۰۷۵ و -۰/۴۵۵]
r_SOL_BD(1).sol	۰/۹	۲/۵	[۲/۵۷۴ و ۱/۳۲۴]
r_SOL_AWC(1).sol	۰	۱	[۰/۳۳۵ و -۰/۲۶۸]
v_SOL_ALB(1).sol	۰	۰/۲۵	[۰/۱۹۴ و ۰/۱۱۹]
r_CN2.mgt	-۰/۵	۰/۵	[-۰/۰۹۸ و -۰/۴۳۴]
v_SLSUBBSN.hru	۰	۱۵۰	[۱۲۷/۵ و ۲۳/۳]
v_EPCO.hru	۰/۰۱	۱	[۱/۰۶۴ و ۰/۵۶۹]
v_Ov_N.hru	۰/۰۱	۳۰	[۱۹/۰۵۴ و ۰/۰۹۶]
v_ESCO.hru	۰/۰۱	۱	[۰/۹۷۵ و ۰/۲۹۲]
r_CH_N2.rte	-۰/۰۱	۳	[۲/۰۸۲ و ۱/۶۶۱]
v_CH_K2.rte	۰	۱۵۰	[۱۲۰/۸ و ۷۴/۳]
v_ALPHA_BNK.rte	۰/۰۱	۱	[۰/۹۳۶ و ۰/۶۷۰]
v_REVAPMN.gw	۰	۱۰۰	[۸۹/۵ و ۸۵/۵]
v_RCHRG_DP.gw	۰	۱	[۰/۹۱۵ و ۰/۱۲۲]
v_GW_REVAP.gw	۰/۰۲	۰/۲	[۰/۲۳۰ و ۰/۰۸۰]
v_GWQMN.gw	۰	۵۰۰۰	[۳۴۹۳ و ۲۲۷۵]
v_ALPHA_BF.gw	۰	۱	[۰/۶۰۵ و ۰/۰۳۱]
v_GW_DELAY.gw	۰	۵۰۰	[۵۳۸ و ۲۹۳]

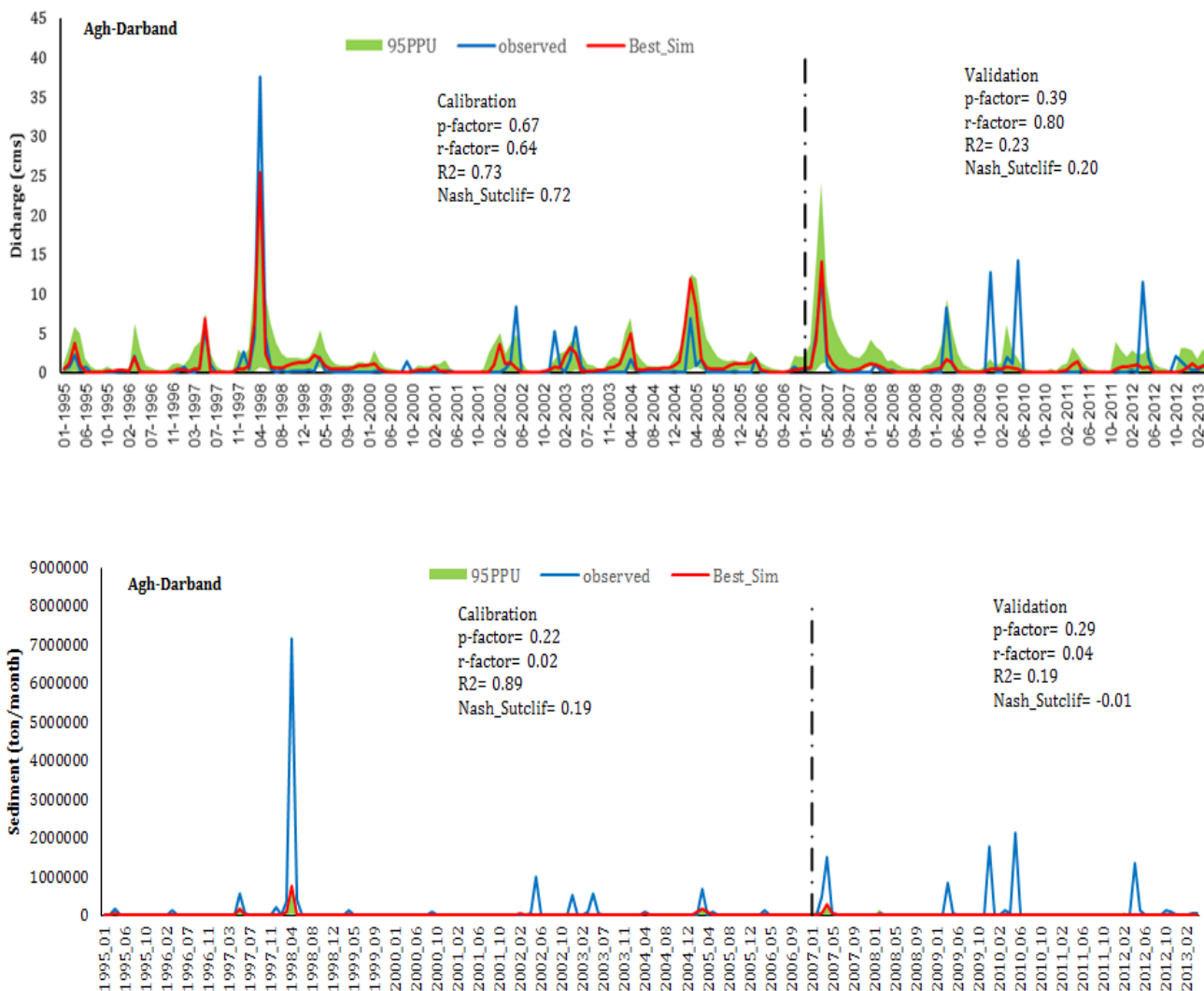
جدول (۶): بازه نهایی پارامترهای رسوب

پارامتر	حداقل	حداکثر	بازه نهایی
v_USLE_K().sol	۰	۰/۶۵	[۰/۶۱۴ و ۰/۴۷۹]
v_CH_COV2.rte	-۰/۰۰۱	۱	[۰/۶۵۵ و ۰/۴۳۷]
v_CH_COV1.rte	-۰/۰۰۵	۰/۶	[۰/۱۷۴ و ۰/۰۴۲]
v_CH_ERODMO().rte	۰	۱	[۰/۸۳۵ و ۰/۶۸۸]
v_CH_N2.rte	-۰/۰۰۱	۰/۳	[۰/۰۰۱ و -۰/۰۰۱]
r_CH_N1.sub	۰/۰۱	۳۰	[۲۹/۱۸ و ۱/۶۶]
v_USLE_P.mgt	۰	۱	[۰/۴۸۵ و ۰/۲۹۸]
v_CANMX.hru	۰	۱۰۰	[۵۵/۵۰ و ۳۰/۲۵]
v_SPEXP.bsn	۱	۱/۵	۱/۰۷۱
v_PRF_BSN.bsn	۰	۲	۱/۳۳۵
v_ADJ_PKR.bsn	۰/۵	۲	۱/۳۴۴
v_SPCON.bsn	۰/۰۰۱	۰/۰۰۹	۰/۰۰۵

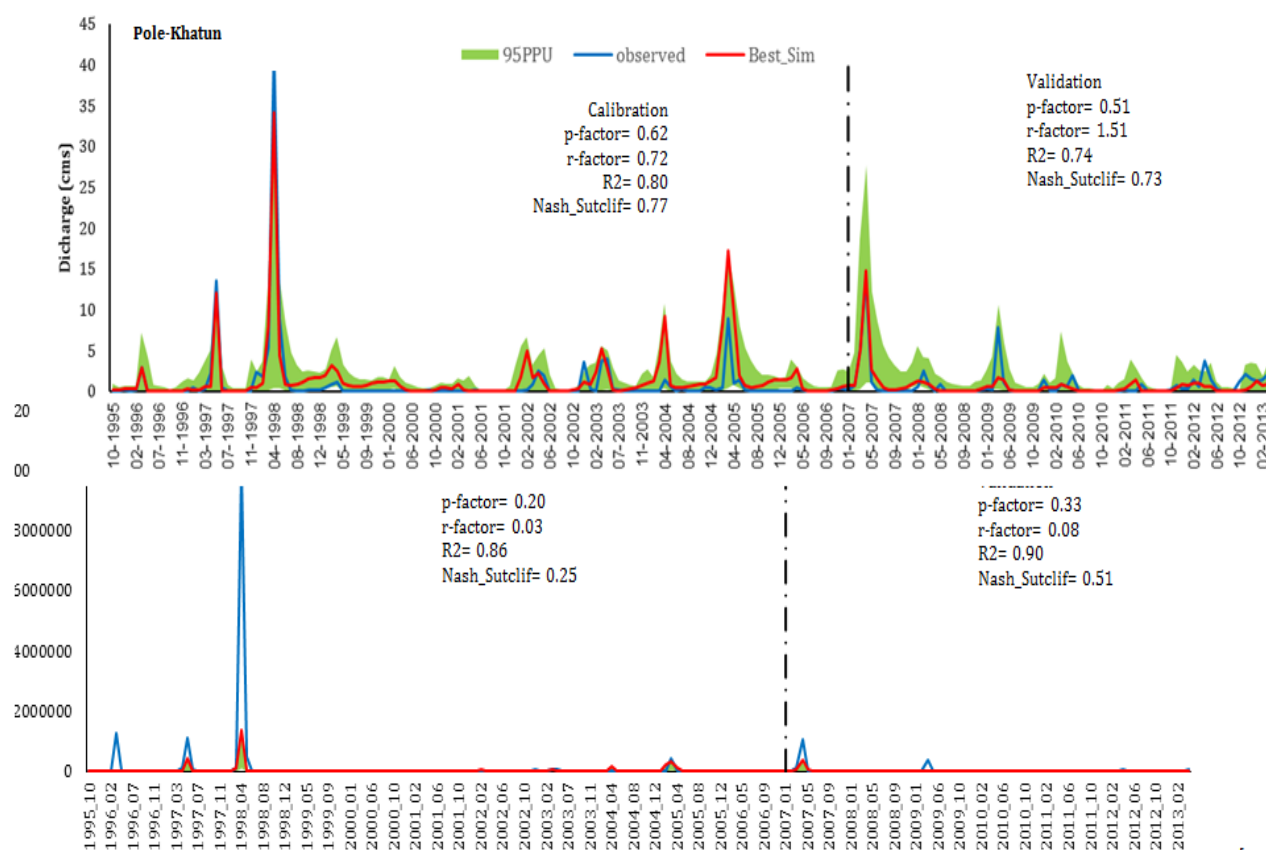
۴-۲-۳- ایستگاه پل خاتون

ضرایب نش ۰/۷۷ و ۰/۷۲ بترتیب برای دبی ایستگاه پل خاتون در مرحله واسنجی و صحت سنجی نشان می‌دهد که مدل توانسته است به توانایی مناسبی میزان دبی را برآورد نماید (شکل ۷). در مرحله برآورد رسوب نتایج میزان ضریب نش بترتیب در مراحل واسنجی و صحت سنجی عبارتند از ۰/۲۵ و ۰/۵۱. نتایج حاصل از مدل نشان می‌دهد که در برآورد رسوب در ایستگاه پل خاتون گرچه نتایج بهتر از برآورد در ایستگاه آق در بند است، اما باز هم نتیجه خیلی ایده آلی از خود ارائه نموده است. این امر را نمی‌توان ناشی از ضعف مدل در شبیه‌سازی رسوب در حوضه دانست. چرا که مدل پیش‌تر در ایستگاه اولنگ اسدی توانسته

است میزان رسوب را بخوبی برآورد نماید. بنابراین دلیل امر را باید در جاهای دیگری جستجو نمود. ابتدا صحت داده‌های رسوب اندازه‌گیری شده باید مورد تأیید قرار گیرد. پس از آن باید بررسی نمود که میزان دخالت‌های انسانی در منطقه چقدر بوده است. ممکن است بخاطر ساخت و سازهای انسانی از قبیل جاده-سازی، شهرک‌سازی، توسعه معدن و ... در حاشیه رودخانه یا اجرای طرح‌های ساماندهی رودخانه باعث شود که میزان رسوب در محل اندازه‌گیری را متفاوت از آنچه واقعا توسط حوضه تولید می‌شود نشان دهد. این مساله توسط مدل نمی‌تواند دیده شود. مگر اینکه اطلاعات آن به مدل وارد گردد.



شکل (۶): نتایج شبیه‌سازی مدل در برآورد جریان (ردیف بالا) و رسوب (ردیف پایین) در ایستگاه آق در بند



[۱۴۰]

شکل (۷): نتایج شبیه‌سازی مدل در برآورد جریان (ردیف بالا) و رسوب (ردیف پایین) در ایستگاه پل خاتون

جدول (۶): مقایسه بین میانگین رسوب برآورد شده توسط مدل و مقادیر مشاهده‌ای

نام ایستگاه	میانگین مدل (تن بر ماه)	میانگین مشاهده (تن بر ماه)	انحراف معیار مشاهده	انحراف معیار مدل
اولنگ اسدی	۳۶۴۲	۲۲۹۱	۱۲۴۹۹	۱۴۷۹۰
آق دربند	۱۴۵۷۰	۹۵۴۷۶	۶۲۲۸۳۵	۷۱۲۱۹
پل خاتون	۲۸۳۹۰	۱۱۲۱۵۴	۹۰۹۴۳۳	۱۳۵۱۲۸

در مقایسه با نتایج دیگر مطالعات می‌توان به مطالعه Rezaei و همکاران (۲۰۲۱) در حوضه آبریز شهرچای با استفاده از مدل SWAT اشاره نمود. آنها بیان کردند که مدل رسوب را خوب شبیه‌سازی نکرده است و علت آن را تعداد کم داده‌ها، غیر قابل اعتماد بودن داده‌ها، شبیه‌سازی ضعیف جریان در برخی نقاط، عدم پیوستگی اطلاعات و نبود یا کمبود داده‌های کامل روزانه رسوب برشمردند.

۳-۴- مقایسه نتایج مدل و مشاهده‌ای در برآورد میانگین رسوب

در جدول (۶) مقایسه میانگین نتایج مدل و داده‌های مشاهده شده آورده شده است. مدل SWAT در ایستگاه اولنگ اسدی میزان رسوب را ۳۶۴۲ تن در هر ماه برای مرحله کالیبراسیون برآورد نموده است. میزان واقعی آن برابر ۲۲۹۱ تن در هر ماه است. بنابراین مدل در این ایستگاه مقدار رسوب بیشتری را برآورد نموده است. در ایستگاه آق دربند میزان رسوب برآورد شده توسط مدل برابر ۱۴۵۷۰ تن در ماه است. این میزان در واقعیت برابر ۹۵۴۷۶ تن در ماه است. در ایستگاه پل خاتون میانگین رسوب برآورد شده توسط مدل برابر ۲۸۳۹۰ تن در ماه است، در حالیکه این میزان در واقعیت برابر ۱۱۲۱۵۴ تن در ماه است. همانگونه که مشاهده می‌شود نسبت میانگین رسوب برآورد شده توسط مدل نسبت به میانگین رسوب مشاهده شده در ایستگاه‌های اولنگ اسدی، آق دربند و پل خاتون بترتیب برابر ۱/۵۸، ۰/۱۵ و ۰/۲۵ است. اختلاف برآورد مدل با نتایج واقعی در ایستگاه اولنگ اسدی کم بوده، اما در دو ایستگاه آق دربند و پل خاتون بالاست.

- Change on Watershed Runoff and Sedimentation Using SWAT and WEPP Models (Case Study: Dehbar Basin). *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 51(4), 1027-1040.
- [4] Khazaiepoul A., zarezadeh F, moridi A. (2022). Sediment Simulation Using Soil and Water Assessment Tool (SWAT) in a Multi-reservoir Basin. *journal of Environmental Erosion Research*, 12 (1), 18-40.
- [5] KhazaiPoul, A., Moridi, A., & Yazdi, J. (2019). Multi-objective optimization for interactive reservoir-irrigation planning considering environmental issues by using parallel processes technique. *Water Resources Management*, 33(15), 5137-5151.
- [6] Kiani, F., Behtari nejad, B., Najafi nejad, A., Kaboli4, A. (2017). Evaluation Theerosion and Sediment in Different land Uses of Tamer Watershed, Golestan Province Using SWAT Model. *Water and Soil*, 31(5), 1383-1395.
- [7] Kliment, Z., Kadlec, J., & Langhammer, J. (2008). Evaluation of suspended load changes using AnnAGNPS and SWAT semi-empirical erosion models. *Catena*, 73(3), 286-299.
- [8] Moradi, A., Najafinejad, A., Ownegh, M., Komaki, C. (2019). Assessment of the impacts of different Digital Elevation Models on runoff and suspended sediment estimations using SWAT model (Case Study: Galikesh watershed, Golestan Province). *Watershed Engineering and Management*, 11(1), 62-75.
- [9] Naseri, F., Azari, M., Dastoorani, M. (2018). Simulation of Stream Flow and Sediment Yield in Fariman Dam Watershed Using SWAT Model and Genetic Algorithm. *Water and Soil*, 32(3), 447-462.
- [10] Ndomba, P. M., Mtaló, F. W., & Killingtveit, A. (2007). Sediment Yield Modelling using SWAT model at Larger and Complex Catchments: Issues and Approaches. A Case of Pangani River Catchment, Tanzania.
- [11] Parajuli, P. B., Jayakody, P., & Ouyang, Y. (2018). Evaluation of using remote sensing evapotranspiration data in SWAT. *Water resources management*, 32(3), 985-996.
- [12] Rezaei Moghaddam, M., Mokhtari, D., shafieimehr, M. (2021). Calibration and validation the SWAT model in the simulation of runoff and sediment in Shahr Chai of Miyaneh. *Geography and Planning*, 25(76), 129-139.
- [13] Sommerlot, A. R., Nejadhashemi, A. P., Woznicki, S. A., Giri, S., & Prohaska, M. D. (2013). Evaluating the capabilities of watershed-scale models in estimating sediment

۵- نتیجه گیری

در این مطالعه استفاده از مدل SWAT جهت مدلسازی جریان و رسوب در حوضه آبریز کشف رود مورد بررسی قرار گرفته است. عملکرد مدل در برآورد دبی در هر سه ایستگاه مناسب بوده است. البته در ایستگاه آق دربند بدلیل وجود چند پیک نامتعارف در داده‌های مشاهداتی میزان ضریب نش کمی در مرحله صحت سنجی پایین است. در بخش برآورد رسوب، مدل در ایستگاه اولنگ اسدی نتایج خوبی را از خود ارائه داده است. در دو ایستگاه دیگر نتایج ایده‌آلی از خود ارائه نداده است. در ایستگاه آق دربند حتی میزان ضریب نش در بخش صحت سنجی منفی است. وجود چند پیک نامتعارف در داده‌های دبی عامل منفی بودن ضریب نش است. در ایستگاه پل خاتون نسبت به ایستگاه آق دربند نتایج خیلی بهتر هست.

علت ضعیف بودن نتایج برآورد رسوب در ایستگاه‌های آق دربند و پل خاتون را نمی‌توان در ضعف مدل در برآورد رسوب دانست، چرا که مدل عملکرد مناسبی را در برآورد رسوب ایستگاه اولنگ اسدی از خود ارائه داده است. لذا باید اولاً صحت داده‌های مشاهداتی در ایستگاه‌های آق دربند و پل خاتون مورد ارزیابی قرار گیرد. ثانیاً دخالت‌های انسانی حذفاصل ایستگاه اولنگ اسدی با ایستگاه‌های پایین دست خود باید مورد ارزیابی قرار گیرد. دخالت‌هایی از قبیل عملیات ساخت و ساز، خاکبرداری و خاکریزی در حاشیه رودخانه کشف رود یا اجرای طرح‌های ساماندهی رودخانه که می‌تواند در افزایش میزان غلظت رسوب رودخانه در پایین دست موثر بوده و میزان رسوب حوضه را بیشتر از حد طبیعی حوضه نشان دهد.

۶- سپاسگزاری

نویسندگان از شرکت آب منطقه ای خراسان و از شرکت مدیریت منابع آب ایران به جهت در اختیار قرار دادن برخی از داده‌ها تشکر می‌نمایند.

۷- منابع

- [1] Ababaei, B. (2018). The estimated volume of runoff and sediment in the Gerahty dam basin using the SWAT model. *Journal of Water and Soil Conservation*, 25(4), 321-330.
- [2] Arefi Asl, A., Najafinejad, A., Kiani, F., Salmanmahiny, A. (2013). Simulating discharge and sediment production using SWAT in Chehelchai Watershed of Golestan Province. *Journal of Range and Watershed Management*, 66(3), 433-446.
- [3] Heidary, H., Mousavi, M., esmaili, K., Golkarian, A. (2020). The Impact of Climate

- in the Danube River Basin with SWAT. *Science of the Total Environment*, 599, 992-1012.
- [17] Zhang, Z., Chen, S., Wan, L., Cao, J., Zhang, Q., & Yang, C. (2021). The effects of landscape pattern evolution on runoff and sediment based on SWAT model. *Environmental Earth Sciences*, 80(1), 1-12.
- [18] Ziaei, D., Zare Bidaki, R., Besalatpour, A. (2019). Comparative Study on the Role of Land Use in Surface Runoff and Sediment Yield Using SWAT Model (A Case Study: Beheshtabad Watershed). *Journal of Range and Watershed Management*, 72(3), 785-799.
- yield at field-scale. *Journal of environmental management*, 127, 228-236.
- [14] Sun, C., & Ren, L. (2013). Assessment of surface water resources and evapotranspiration in the Haihe River basin of China using SWAT model. *Hydrological processes*, 27(8), 1200-1222.
- [15] Talebizadeh, M., Morid, S., Ayyoubzadeh, S. A., & Ghasemzadeh, M. (2010). Uncertainty analysis in sediment load modeling using ANN and SWAT model. *Water Resources Management*, 24(9), 1747-1761.
- [16] Vigiak, O., Malagó, A., Bouraoui, F., Vanmaercke, M., Obreja, F., Poesen, J., ... & Grošelj, S. (2017). Modelling sediment fluxes

Assessment of soil and water tools (SWAT) in estimating flow and sediment in an arid and semi-arid region (Case study: Kashfarud basin)

Jafar yazdi *, Ahmad khazaiepol , Mehdi Karrabi, Fatemeh Zarezadeh

* Assistant Professor of Water Resources Management, Faculty of Water and Environmental Civil Engineering, Shahid Beheshti University

Abstract

This research was conducted with the aim of evaluating the performance of soil and water assessment model (SWAT) in estimating flow and sediment in an arid and semi-arid area in the Kashfer River basin. In this study, the algorithm (SUFI-2) was used to evaluate the uncertainty and grading of the model. Different and influential factors in simulating the region were presented to the model and according to the statistics available in the hydrometric stations and by drawing the flow-sediment curve and using the daily water flow statistics and the calculated relationships between flow and sediment, daily sediment and monthly sediment results. And these stations have been calculated annually. In this area, monthly runoff simulation was done for a statistical period of 21 years (1992-2013), the first three years (1992-1994) were used to warm up the model, and the years 1995 to 2006 were used to calibrate the model, and 2007 to 2013 were used for verification. It was used in three stations of Olang Asadi, Agh Darband and Pol Khatun in this area. The performance of the model in estimating the flow rate of all three stations has been suitable, and the Nash coefficients in Olang Asadi, Agh Darband and Pol Khatun stations are respectively 0.65, 0.20 and 0.73 for discharge and 0.75 for sediment. 0, -0.01 and 0.51. Also, in the estimation of sediment, it can be seen that the ratio of the average sediment estimated by the model to the average sediment observed in Olang Asadi, Agh Darband and Pol Khatun stations is 1.58, 0.15 and 0.25, respectively, which is the difference between the estimates. The model with real results is low in Olang Asadi station, but high in two stations, Agh Darband and Pol Khatun. The reason for the weak results of sediment estimation in Agh Darband and Pol Khatun stations cannot be attributed to the model's weakness in sediment estimation, because the model has presented a good performance in estimating the sediment of Olang Asadi station.

Keywords: Flow; Sediment; Kashafrod; Modeling; SWAT