

بررسی کارایی مدل SWAT در تحلیل مکانی رواناب در حوزه‌های آبخیز فاقد داده‌های محلی خاک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دامغانرود)

مهین خسروی^۱، علی اصغر ذوالفقاری^{۲*}، سید حسن کابلی^۳، حیدر غفاری^۴

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۱۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۴)

چکیده

رواناب در اقلیم نیمه‌خشک سبب ایجاد سیلاب‌های خطرناکی می‌شود. بنابراین تجزیه و تحلیل مکانی رواناب برای مدیریت بحران ضروری به نظر می‌رسد. مدل‌های هیدرولوژیکی ابزارهایی بوده که به منظور شبیه‌سازی فرآیندهای مرتبط با چرخه آب و پیش‌بینی رخداد‌های آینده استفاده می‌شوند. در این بین، SWAT یکی از رایج‌ترین این مدل‌ها است که از مهمترین ورودی‌ها آن نقشه و اطلاعات خاک حوزه آبخیز می‌باشد. از طرف دیگر نقشه‌های خاک هم از لحاظ کیفی و کمی در بسیاری از حوزه‌های آبخیز در دسترس نیستند. هدف اصلی از این پژوهش تحلیل مکانی رواناب با استفاده از داده جهانی خاک بوسیله مدل هیدرولوژیکی SWAT در حوزه آبخیز دامغانرود در استان سمنان است. بدین منظور داده‌های اقلیمی در دوره زمانی سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ میلادی برای شبیه‌سازی رواناب استفاده شد. در این دوره زمانی داده‌های سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۴ برای واسنجی و سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۸ برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. تحلیل حساسیت، واسنجی، اعتبارسنجی و عدم قطعیت مدل در نرم افزار SWAT-CUP با استفاده از الگوریتم SUFI-2 انجام شد. ارزیابی مدل با استفاده از آماره‌های ضرایب تبیین (R^2) و ناش ساتکلیف (NS) انجام شد. پارامترهای شماره منحنی، متوسط طول شیب، ضریب زبری کانال مانینگ، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک به عنوان پارامترهای حساس تعیین شدند. مقادیر آماره‌های R^2 و NS برای مرحله واسنجی مدل به ترتیب، ۰/۴۸، ۰/۴۷ و برای مرحله اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۴۶، ۰/۴۵ بدست آمد. نتایج نشان داد عملکرد مدل در شبیه‌سازی رواناب با داده جهانی خاک قابل قبول بوده است. تحلیل مکانی رواناب با استفاده از روش میانگین وزنی رواناب به ازای واحد سطح انجام گرفت. نتایج تحلیل مکانی رواناب براساس میانگین وزنی رواناب نشان داد که مهم‌ترین زیرحوضه در تولید رواناب زیرحوضه شماره ۵ (دارای کمترین فاصله به نقطه خروجی) و کم اهمیت‌ترین آنها زیرحوضه‌های ۱ و ۱۱ (دارای بیشترین فاصله از نقطه خروجی) بودند. بنابراین نتایج نشان داد که پارامترهای موثر در اولویت‌بندی رواناب شامل موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها و کاربری اراضی بودند. نتایج کلی تحقیق نشان داد که مدل SWAT در تحلیل مکانی رواناب حوزه آبخیز به دلیل تقسیم‌بندی حوضه به واحدهای همگن امکان شناسایی مناطق بحرانی تولید رواناب را دارد.

واژه‌های کلیدی: اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها، تحلیل حساسیت، رواناب

خسروی م.، ذوالفقاری ع.ا.، کابلی س.ح.، غفاری ح. ۱۴۰۱. بررسی کارایی مدل SWAT در تحلیل مکانی رواناب در حوزه‌های آبخیز فاقد داده‌های محلی خاک (مطالعه موردی: حوزه آبخیز دامغانرود). تحقیقات کاربردی خاک. جلد ۱۰، شماره ۱. صفحه: ۱۲۹-۱۴۳.

۱- دانشجوی دکتری بیابانزدایی، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان

۲- دانشیار گروه مدیریت مناطق خشک، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان

۳- استادیار گروه مدیریت مناطق خشک، دانشکده کویرشناسی، دانشگاه سمنان

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز

* پست الکترونیک: azolfaghari@semnan.ac.ir

مقدمه

(2019). تحلیل مکانی رواناب و فرسایش در مدل SWAT به دلیل تقسیم حوضه به واحدهای مطالعاتی همگن (زیرحوضه‌ها و واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی حوضه (HRU)) بر اساس داده‌های شیب، کاربری و خاک به صورت متمرکز انجام می‌شود. داده خاک و ویژگی‌های مرتبط با آن از جمله نفوذپذیری و ظرفیت نگهداری آب تعیین کننده میزان تولید رواناب می‌باشد (Kavian *et al.*, 2018). ارزیابی تاثیر کیفیت و دقت مکانی داده‌های خاک بروی کیفیت و دقت رواناب شبیه‌سازی. شده توسط محققین مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج مختلفی نیز حاصل شده است از جمله بهندری و همکاران (Bhandari *et al.*, 2018) نشان دادند که اثربخشی پیش‌بینی مدل به نوع و کیفیت داده‌های ورودی خاک بستگی دارد و داده‌های با قدرت تفکیک مکانی بالاتر در مقایسه داده‌های با قدرت تفکیک مکانی پایین‌تر نتایج بهتری را ارائه می‌دهند. آدم و همکاران (Adem *et al.*, 2020) نشان دادند که خروجی‌های مدل با داده خاک FAO و داده‌های خاک با درجه تفکیک مکانی ۱:۲۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰ مشابه بوده و ضریب ناش ساتکلیفی حدود ۰/۶۸ را ارائه دادند. سربایی و همکاران (۱۳۹۸) حوزه آبخیز سردآبرود را با استفاده از مدل SWAT به لحاظ سیل‌خیزی اولویت‌بندی نمودند.

در بیشتر مطالعات پژوهشی و طرح‌های کاربردی، نبود اطلاعات مناسب خاک مانع استفاده محققین و تصمیم‌گیران از مدل‌های هیدرولوژیکی در تعیین زیرحوضه‌های حساس به تولید رواناب می‌شود. در حالی که وجود اطلاعات و نقشه‌های جهانی خاک می‌تواند امکان استفاده از مدل‌های هیدرولوژیک را در حوضه‌های فاقد داده اندازه‌گیری شده خاک ممکن می‌سازد. بنابراین هدف اصلی از این پژوهش بررسی کارایی مدل هیدرولوژیک SWAT در برآورد و تعیین زیرحوضه‌های حساس به تولید رواناب در صورت استفاده از نقشه و داده‌های جهانی خاک به عنوان ورودی‌های مدل می‌باشد. نتایج این پژوهش به کاربران کمک خواهد کرد که دقت مدل SWAT را در حوضه‌هایی که هیچ اطلاعاتی از خاک آنها در اختیار نیست، مورد ارزیابی قرار دهند.

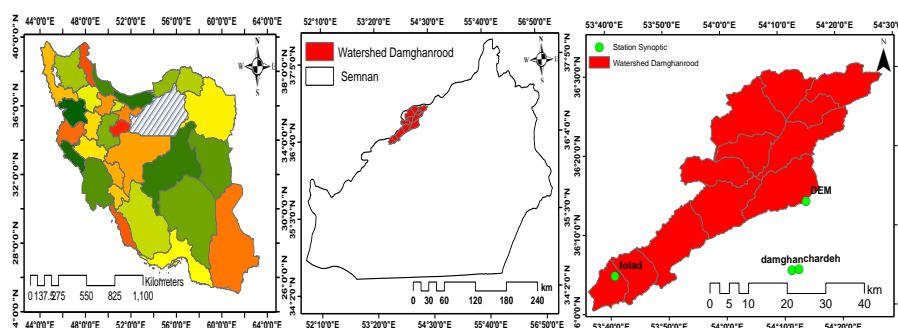
افزایش جمعیت و نیاز به تأمین مواد غذایی از یک سو و عدم توجه به مدیریت پایدار حوزه‌های آبخیز طی سال‌های اخیر از سوی دیگر باعث تغییرات وسیع در سطح حوزه‌های آبخیز و به تبع آن وقوع سیلاب خطرناک شده است (Lal *et al.*, 2005). از آنجایی که در اغلب حوزه‌های آبخیز کشور، وقوع سیل و خسارتهای ناشی از آن روند افزایشی دارد، تعیین مناطق مولد رواناب و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از نظر پروژه‌های کنترل سیل و مدیریت جامع آبریزها ضروری به نظر می‌رسد (Djordjevic & Brack., 1998). ضرورت آگاهی از میزان جریان رواناب و تغییرات کمی و کیفی آن در زمان و مناطق مختلف و عدم وجود شبکه قابل قبولی از ایستگاه‌های هواشناسی و آبسنجی بر اهمیت استفاده از روش‌های غیرمستقیم مانند مدل‌های هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی جریان در حوزه‌های آبخیز می‌افزاید (Zaeri & Shafaei Bachistan., 2018). در مدل‌های هیدرولوژیکی یکپارچه که کل سطح حوضه یک واحد در نظر گرفته شده و این گونه مدل‌ها قادر به نشان دادن توزیع مکانی رواناب نمی‌باشند (Wang & Chen., 1995). مدل‌های نیمه‌توزیعی (حدواسط مدل‌های توزیعی و یکپارچه) مانند مدل SWAT با داشتن مبنای فیزیکی و مدل‌سازی مکانی تغییرات شرایط هیدرولوژیکی، خاک و پوشش گیاهی، برآورد درستی از وضعیت مکانی رواناب حوضه فراهم می‌کند (Arnold *et al.*, 2010; Agha-*al.*, 2015; Farrokhzadeh *et al.*, 2020) و با اتصال به نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) داده‌های جمع‌آوری شده را به طور صحیح به مکان مناسب در حوزه آبخیز اختصاص می‌دهد. بنابراین، توانایی شناسایی و اولویت‌بندی رواناب را در سرمنشأ آن به صورت متمرکز دارند. در سال‌های اخیر این مدل به دلیل ویژگی‌های فوق در مقایسه با بسیاری دیگر از مدل‌های هیدرولوژیکی به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته و نتایج بهتری را در برآورد رواناب ارائه داده است (Ababai & Sohrabi., 2009; Akhavan *et al.*, 2010; Farrokhzadeh *et al.*, 2015; Shaegan *et al.*, 2011; Ghanizadeh *et al.*, 2019; Memarianet *et al.*, 2017; Moazenzadeh *et al.*,

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز دامغانرود در شمال غربی دامغان و در مسیر راه دامغان و کیاسر و ساری و به فاصله ۳۲ کیلومتری از دامغان قرار گرفته است. این حوزه دارای وسعتی حدود ۱۳۰۰ کیلومترمربع بوده و در مختصات تا ۲۲' ۴۸' ۳۶" تا ۳۶' ۲۱' ۳۶" عرض شمالی و تا ۵۸' ۲۱' ۴۸" تا ۴۹' ۱۸' ۳۶" طول شرقی واقع شده است. بلندترین نقطه حوزه با ارتفاع ۲۸۸۱ متر از سطح دریا در کوه‌های چهار نو قرار دارد. پست‌ترین نقطه حوزه با ارتفاع ۱۰۵۰ متر از سطح دریا در محل دشت واقع شده است. متوسط بارندگی حوزه حدود ۱۵۰ میلیمتر و میانگین سالانه دما ۱۶ درجه سانتیگراد می‌باشد. از لحاظ فیزیوگرافی حوزه دامغانرود کم شیب و پر شرب و دارای رژیم سیلابی است و متوسط جریان سالانه رودخانه حوزه در یک دوره ۲۰ ساله حدود ۳۳ میلیون متر مکعب بوده است. از لحاظ زمین‌شناسی

حوزه دامغانرود شامل شیست، گنیس و دیگر سنگ‌های دگرگونی می‌باشد که این ویژگی همراه با موقعیت طبیعی این حوزه (وجود گسل‌های متعددی با جهت جنوب غربی - شمال شرقی) باعث سیلاب‌های خطرناکی در حوزه شده است. این حوزه تقریباً به شکل یک مخروط افکنه بوده که در نتیجه فرسایش ارتفاعات شمالی تشکیل شده است. به عبارتی دیگر حوزه دامغانرود از رسوبات آبرفتی حاصل از فرسایش ارتفاعات آهکی، شیستی، ماسه سنگ و مارنی پوشیده شده است. از لحاظ کاربری اراضی، بیشترین کاربری حوزه موجود در حوزه به صورت جنگل با تراکم کم (حدود ۴۱٪) می‌باشد. از کل سطح مراتع حوزه میزان ۶۶/۵۳ درصد را مراتع ضعیف و فقیر دارای تراکم کم، ۳۱/۴۳ درصد را مراتع متوسط و ۲/۵۴ درصد را مراتع مترکم تشکیل می‌دهد. در شکل (۱) موقعیت حوزه دامغانرود در استان سمنان و ایران نشان داده شده است (Rezai et al., 2015).



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه در استان سمنان و ایران و موقعیت ایستگاه‌های سینوپتیک موجود در محدوده حوزه دامغانرود
Figure 1. Study area in Semnan and Iran and synoptic stations in the study watershed Damghanrood

مدل SWAT

(HRU) که به عنوان واحد اصلی شبیه‌سازی مدل شناخته می‌شود، را شکل می‌دهد.

تهیه داده‌های ورودی مورد نیاز

داده‌های ورودی مورد نیاز جهت اجرای مدل SWAT شامل: (DEM)، داده کاربری اراضی، داده خاک، داده‌های اقلیمی و هیدرولوژی می‌باشند. در جدول (۱) داده‌های مورد نیاز و مشخصات آن‌ها در اجرای مدل SWAT نشان داده شده است.

مدل SWAT دارای اساس فیزیکی و نیمه‌توزیعی (حدواسط بین مدل‌های توزیعی و یکپارچه) بوده و در حوزه‌هایی که فاقد آماربرداری منظم هستند، قابل استفاده می‌باشد (Abbaspour et al., 2007). مدل با استفاده از نقشه توپوگرافی به شکل نقشه رقومی ارتفاع^۴ (DEM) محدوده حوزه و زیرحوضه‌ها را مشخص کرده و مسیر جریان را ترسیم می‌کند. سپس بر اساس نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و کلاس شیب حوزه،

4 Digital elevation model

جدول ۱- داده‌های مورد نیاز و مشخصات آن‌ها در اجرای مدل SWAT

Table 1. Data required and their specifications in the implementation of the SWAT model

Type data	Scale	Source	Description
Digital elevation model	90 Meter	Extracted from topographic map	-
Land use map	1:25000Meter	Country Surveying Organization in 1997	It was reviewed by Semnan Natural Resources Department using field studies.
Soil map	1 Kilometer	International Soil Reference and Information Center (ISRIC)	Some physical and chemical properties along with soil groups in the global soil map used in the SWAT model
Climatic data	5 rain gauge stations and one synoptic station	Regional Meteorological and Water Organization of Semnan Province	Minimum and maximum daily rainfall and temperature
Observed runoff	Continued daily for 11 years	Semnan Regional Water Organization	2008-2018

داده جهانی خاک

امروزه در بیشتر نقاط جهان به علت کمبود داده با کیفیت خاک (داده خاک با قدرت تفکیک مکانی بالا) از داده‌های در دسترس مانند داده جهانی برای مدل سازی استفاده می‌شود. داده جهانی خاک، مجموعه‌ای از اطلاعات عمومی خاک و لایه‌های خاک با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر می‌باشد. این داده خاک بر اساس طبقه‌بندی مجدد نقشه خاک FAO-UNESCO با نقشه آب و هوای جهانی ساخته شده است. مقیاس این داده در کوچک‌ترین حالت حدود ۱:۵۰۰۰۰۰۰ است <https://www.nrcs.usda.gov/wps/portal/nrcs/detail/soils/>. در این مطالعه از نقشه جهانی خاک با قدرت تفکیک مکانی یک کیلومتر استفاده شد. در شکل ۲(A) کدهای خاک حوضه دامغانرود در مدل SWAT نشان داده شده است.

ساخت و اجرای مدل

ابتدا با استفاده از نقشه مدل رقومی ارتفاع مرز حوضه و زیرحوضه‌ها بسته شد. با وارد کردن نقشه خاک و نقشه کاربری و تعریف کلاس‌های شیب، (HRU) ایجاد شد. در مرحله آخر با وارد کردن داده‌های اقلیمی مدل اجرا گردید.

براساس داده کاربری اراضی عمده کاربری‌های آبخیز شامل اراضی کشاورزی، اراضی باغی، جنگل با تراکم خیلی کم، جنگل با تراکم کم، جنگل با تراکم متوسط، مرتع متراکم، مرتع با تراکم کم، بوته‌زار و بیشه‌زار، مناطق شهری می‌باشد. در شکل ۲(B) کدهای کاربری اراضی حوزه آبخیز دامغانرود در مدل SWAT نشان داده شده است. بر اساس داده جهانی خاک، در حوضه مورد مطالعه چهار رده خاک شناسایی شدند که شامل مالی سول^۵، آنتی سول^۶، اریدی سول^۷ و اینسپیتی سول^۸ می‌باشند. مشخصات رده‌های مختلف خاک حوضه دامغانرود در جدول (۲) نشان داده شده است. داده‌های اقلیمی ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک داخل و اطراف حوضه شامل فولاد محله، دامغان و چهارده دامغان و داده‌های دبی ماهانه ایستگاه هیدرومتری شهید شاه چراغ واقع در خروجی حوضه در فاصله زمانی بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۸ جهت شبیه‌سازی استفاده شدند. در ابتدا داده‌های اندازه‌گیری شده دبی (مشاهده‌ای) به منظور بررسی صحت و درستی مورد ارزیابی قرار گرفتند. بدین منظور همبستگی بین داده‌های دبی و بارش مورد بررسی قرار گرفت.

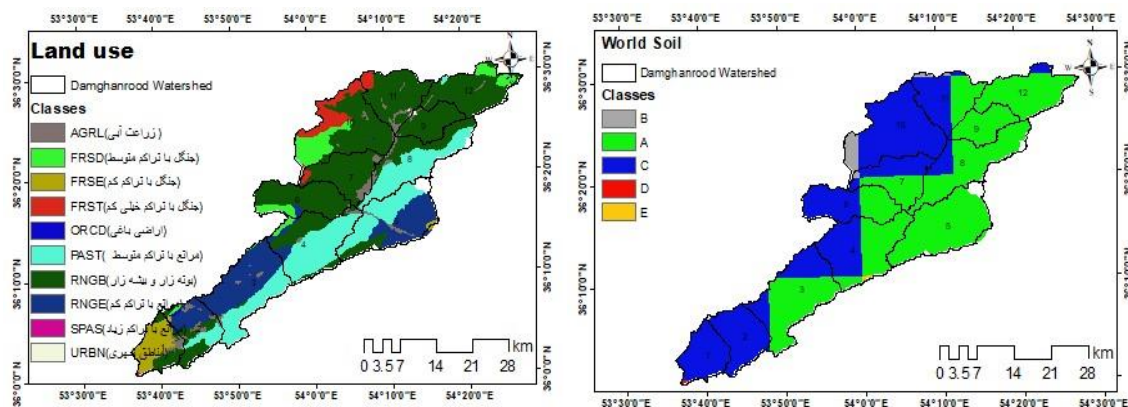
7 Ardisol
8 Inceptisol

5 -Mollisol
6 -Entisol

جدول ۲- برخی ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی همراه با زیر رده خاک در نقشه جهانی خاک استفاده شده در مدل SWAT

Table 2. Some physical and chemical properties along with soil groups in the global soil map - used in the SWAT model (Soil texture, L: Loam, CL: Clay loam, C: Clay)

suborder of Soil	Soil code	Depth of soil (cm)	Soil texture	Water available (mm mm ⁻¹)	Albedo coefficient	Saturated hydraulic conductivity (mm h ⁻¹)	Organic carbon (%)	Soil bulk density (gr cm ⁻³)
Xerdolls	B	0-30	L	0.16	0.086	7.26	0.9	1.3
		30-100	L	0.16	0.086	12.24	0.6	1.2
Orthents	A	0-30	L	0.122	0.11	4.45	0.8	1.4
		30-100	L	0.12	0.11	2.48	0.4	1.5
Xerepts	C	0-30	CL	0.16	0.1	12.26	0.8	1.2
		30-100	L	0.16	0.1	12.37	0.5	1.2
Ustepts	D	0-30	L	0.122	0.15	4.49	0.6	1.4
		30-100	L	0.122	0.15	2.98	0.4	1.5
Gypsid	E	0-30	CL	0.128	0.18	1.56	0.5	1.6
		30-100	C	0.128	0.18	4.75	0.3	1.4



شکل ۲- کد خاک (A) و کد کاربری اراضی (B) در حوزه آبخیز دامغانرود برای استفاده در مدل SWAT
Figure 2. Soil code (A) and land use code (B) of Damghanrood basin for sing in SWAT

مدل در پیش‌بینی رواناب استفاده شدند. هر چه مقدار این آماره‌ها به یک نزدیک‌تر شود نشان‌دهنده این است که رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی نزدیک به یکدیگر می‌باشد. در مطالعات هیدرولوژی اگر ضریب ناش ساتکلیف بیش از ۰/۷۵ درصد باشد نتایج مدل عالی و اگر بین ۰/۷۵ تا ۰/۳۶ درصد باشد نتایج رضایت بخش و در صورتی که کمتر از ۰/۳۶ درصد باشد، نتایج مدل غیر قابل قبول است. در این مطالعه عدم قطعیت مدل با دو شاخص R-factor و p-factor بررسی گردید. شاخص R-factor هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده شبیه‌سازی مناسب‌تر مدل است. مقادیر کوچکتر از ۱/۵

آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی مدل پس از اجرای مدل در محیط ArcSWAT آنالیز حساسیت، بهینه‌سازی پارامترها، واسنجی، اعتبارسنجی و عدم قطعیت مدل از الگوریتم SUFI-2 در نرم‌افزار SWATCUP انجام شد. در برنامه SUFI-2 یک دامنه عدم قطعیت برای هر پارامتر در نظر گرفته شده است که در هنگام واسنجی پارامترها در این محدوده قرار می‌گیرند که به آن دامنه عدم قطعیت ۹۵ درصد PPU95 (Abbaspour et al., 2007; Ruhollah) (Najd et al., 2011). در این مطالعه آماره‌های ضریب تبیین و ضریب ناش- ساتکلیف برای ارزیابی کارایی

این مطالعه در گام نخست با استفاده از مدل SWAT رواناب خروجی هر کدام از زیرحوضه‌ها در طول دوره شبیه‌سازی برآورد شد. در مرحله بعد با توجه به مساحت زیرحوضه‌ها و HRU ها مقدار متوسط وزنی رواناب زیرحوضه‌ها و HRUها محاسبه گردید. در نهایت درصد میانگین وزنی رواناب تولید شده برای هر زیرحوضه و HRUها برآورد شد. با توجه به میانگین وزنی رواناب خروجی هر یک از HRUها و زیرحوضه‌ها، کل حوضه به لحاظ تولید رواناب اولویت‌بندی گردید و با توجه به پوشش اراضی هر زیرحوضه عملیات اصلاحی مناسب در زیرحوضه‌های تأثیرگذار در تولید رواناب پیشنهاد شد.

$$\% \text{Mean Weight Runoff} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i X_i}{\sum_{i=1}^n W_i} * 100 \quad (1) \text{ رابطه}$$

W_i : مساحت هر یک از زیرحوضه‌ها، X_i : مقادیر رواناب مربوط به هر یک از زیرحوضه‌ها

نتایج و بحث

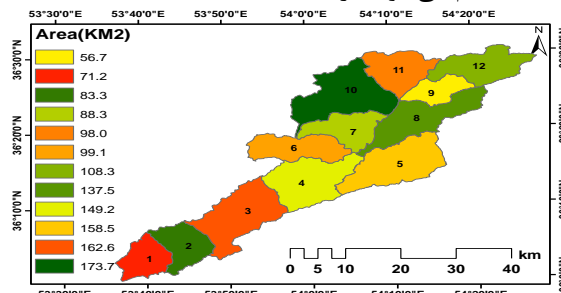
زیرحوضه‌ها و HRUها

در گام نخست بر اساس نتایج به دست آمده از مدل، حوضه مورد مطالعه به ۱۲ زیرحوضه و ۶۶ واحد پاسخ هیدرولوژیکی تقسیم شد. بزرگ‌ترین زیرحوضه دارای مساحت ۱۷۳/۷۸ کیلومتر مربع و نه واحد پاسخ هیدرولوژیکی و کوچک‌ترین زیرحوضه دارای مساحت ۵۶/۷۷ کیلومتر مربع و پنج واحد پاسخ هیدرولوژیکی می‌باشد. همچنین منطقه مورد مطالعه براساس دامنه تغییرات شیب منطقه در به پنج کلاس شیب (۵-، ۰-، ۱۰-۵، ۲۰-۱۰، ۴۰-۲۰ و >۴۰ درصد) تقسیم‌بندی شد. شکل (۳) مساحت زیرحوضه‌ها حاصل از اجرای مدل SWAT نشان داده شده است.

بسته به شرایط قابل قبول هستند (Abbaspour *et al.*, 2004; Abbaspour *et al.*, 2007). مقدار نزدیک‌تر P-factor به یک نشان‌دهنده نتیجه بهتر مدل می‌باشد. برای انجام تحلیل حساسیت مدل، پارامترهای ورودی با توجه به مطالعات قبلی مشخص شد (Gyamfi *et al.*, 2014; Wang *et al.*, 2011; Joh *et al.*, 2016) و مقادیر اولیه و محدوده مجاز آن‌ها براساس جدول اساس لیست شده در راهنمای SWAT تعیین گردید (Neitsch *et al.*, 2005). بر اساس فاکتورهای فوق (مطالعات قبلی، و جدول راهنمایی SWAT) حدود ۲۵ پارامتر مشخص شد. تعداد ۲۰ پارامتر به عنوان پارامترهای مؤثر در تولید رواناب در تحلیل حساسیت شناسایی شدند. پس از شناسایی پارامترها حساس، با استفاده از داده‌های مشاهده شده رواناب، مدل برای منطقه مورد مطالعه واسنجی شد. در این مرحله، مدل با تغییر مقادیر پارامترهای حساس به سمت نزدیک کردن نتایج شبیه‌سازی و مقادیر اندازه‌گیری شده حرکت کرد. طوری که مقادیر قابل قبول برای توابع هدف (ضرایب تبیین و ناش ساتکلیف) ایجاد گردد. پس از حصول اطمینان از واسنجی مدل برای بخش اول داده‌ها، اعتبارسنجی مدل با استفاده از بخش دوم داده‌ها صورت گرفت.

تحلیل مکانی رواناب

در این تحقیق به منظور تحلیل مکانی رواناب، روش وزن‌دهی داده مبنا (میانگین وزنی رواناب) به کار گرفته شد (Asgharpour., 2007). در این روش چون زیرحوضه‌ها دارای اهمیت یکسانی در تولید رواناب نیستند، لازم است رواناب هر زیرحوضه در وزن معین آن زیرحوضه (مساحت) ضرب گردد. آن‌گاه جمع این ارقام (مقدار رواناب هر زیرحوضه در مساحت آن زیرحوضه) بر مجموع وزن‌ها (مساحت زیرحوضه‌ها) تقسیم می‌شود. در



شکل ۳- زیرحوضه‌های حوضه دامغانرود حاصل از مدل SWAT

Figure 3. Sub-basins of Damghanrood basin obtained from SWAT model

واسنجی و اعتبارسنجی رواناب

بر اساس نتایج آماره NS در منطقه مورد مطالعه می‌توان قابلیت مدل در شبیه‌سازی رواناب را با استفاده از داده جهانی خاک رضایت بخش توصیف کرد. از اینرو فرضیه موجود در این پژوهش، در زمینه کارایی مدل در شبیه‌سازی رواناب حوضه با استفاده از داده جهانی خاک تأیید می‌شود.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول (۳) مقادیر ضرایب NS و R^2 برای واسنجی به ترتیب ۰/۴۷ و ۰/۴۸ و برای اعتبارسنجی ۰/۴۵ و ۰/۴۶ بدست آمد. این نتایج دلالت بر توانایی مدل در شبیه‌سازی رواناب با استفاده از داده جهانی خاک دارد. کارایی مدل براساس آماره‌های کیفی ارائه شده در تحقیقات پیشین قابل قبول ارزیابی شد (Sutcliffe & Nash., 1970, Moriasi *et al.*, 2007,) (Abbaspour *et al.*, 2007).

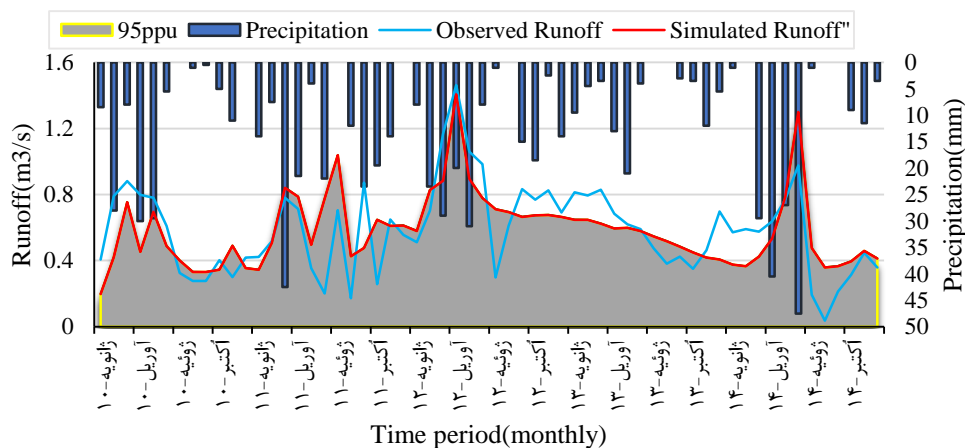
جدول ۳- نتایج ضرایب کارایی در دوره واسنجی و اعتبارسنجی

Table 3. Results of efficiency coefficients in the calibration and validation period

Statistical indicators	Calibration	Validation
Nash Sutcliffe coefficient (NS)	0.47	0.45
correlation coefficient (R^2)	0.48	0.46
Average precipitation(mm)	150	130
Standard deviation runoff ($m^3 s^{-1}$)	0.21	0.14
Standard deviation precipitation(mm)	12.1	10.72

از دلایل آن را می‌توان مرتبط با پیوستگی جریان در سال‌های مرطوب در قیاس با سال‌های خشک دانست (Abbaspour *et al.*, 2007). زیرا جریان رواناب در سال‌های خشک و کم‌باران در اکثر مواقع اندک بوده و اصولاً رژیم جریان گسسته بوده و تنها برای بارش‌های با مقادیر زیاد، جریان رواناب به صورت پیوسته برقرار می‌شود در حالی که در سال‌های مرطوب رژیم جریان پیوستگی کافی را برای شبیه‌سازی جریان رواناب دارا می‌باشد بنابراین در سال‌های مرطوب مدل عملکرد بهتری را به همراه داشته است (Alizadeh *et al.*, 2013) (شکل ۴).

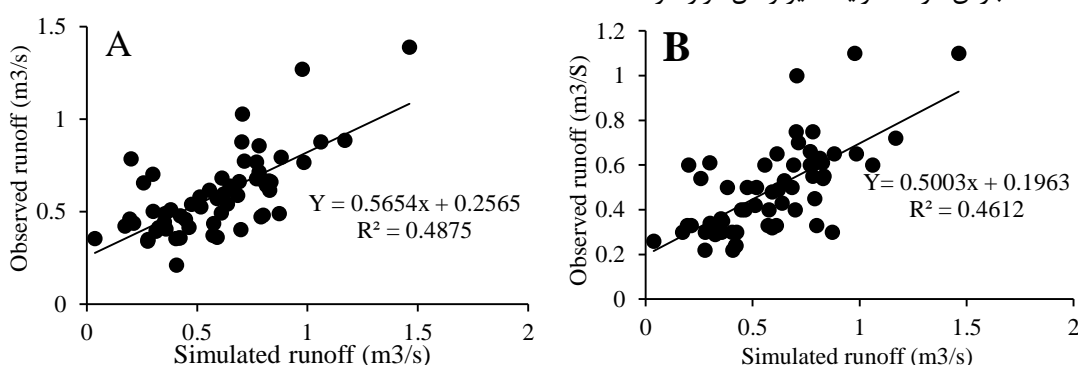
با توجه به نمودار (۴) که در آن مقادیر رواناب ماهانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با بارش ماهانه همزمان با آن در طی دوره واسنجی در حوضه دامغانرود نشان داده شده است، می‌توان دریافت که مدل توانسته وقوع مقادیر رواناب حداکثر را با توجه به بارش اتفاق افتاد به خوبی مدل‌سازی نماید که نشان‌دهنده توانایی مدل در اصلاح مقادیر نفوذ متناسب با آب در دسترس در کل پروفیل خاک است. همچنین، با توجه به نمودار فوق شبیه‌سازی مقادیر رواناب در طی سال‌های ۲۰۱۱، ۲۰۱۲ و ۲۰۱۴ با مقادیر بارش به ترتیب ۱۷۰، ۱۷۰ و ۱۷۰ میلی‌متر نسبت به مقدار بارش نرمال (۱۵۰ میلی‌متر) بهتر بوده است. یکی



شکل ۴- مقادیر رواناب ماهانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده با بارش همزمان با آن در طی دوره واسنجی
Figure 4. Observed and simulated monthly runoff values with simultaneous precipitation during calibration period

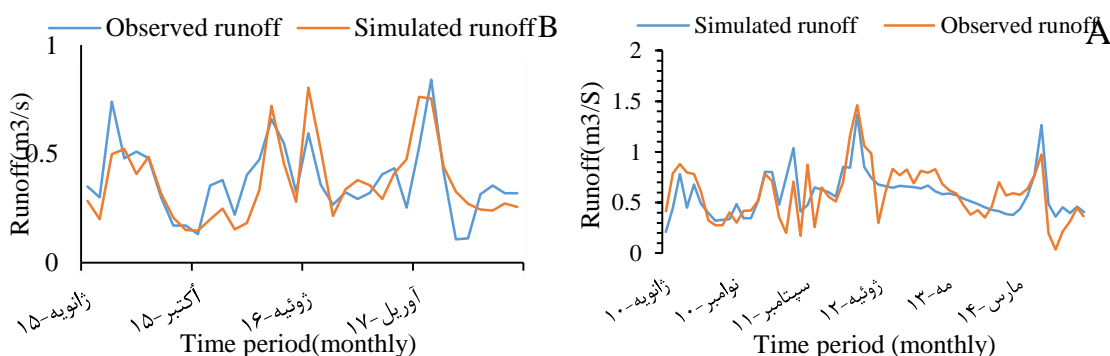
است. بنابراین، چون واسنجی مدل براساس شرایط نرمال حوضه صورت گرفته است، مدل قادر به شبیه‌سازی دقیق دبی جریان در دوره کم آبی (شرایط غیرنرمال) نمی‌باشد. به همین دلیل دقت مدل در مرحله اعتبارسنجی کاهش یافته است که از این نظر با تحقیقات انجام شده در حوضه زاینده‌رود مطابقت دارد (Ababai & Sohrabi., 2009). در شکل (۵) همبستگی و مقادیر ضرایب تبیین بین مقادیر رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی در مدل SWAT در مرحله واسنجی در شکل (A) و در مرحله اعتبارسنجی در شکل (B) نشان داده شده است.

همچنین، با توجه به شکل‌های (۵) و (۶) مقادیر محاسبه شده همبستگی، ضرایب تبیین و مقادیر رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی در مدل SWAT عملکرد ضعیف‌تری مدل را در دوره اعتبارسنجی نسبت به دوره واسنجی نشان دادند، احتمالاً علت آن دوره‌ای است که به منظور واسنجی مدل انتخاب شده است. در دوره واسنجی میانگین بارش سالانه منطقه حدود ۱۵۰ میلی‌متر بوده است که با میانگین بارش نرمال منطقه (۱۵۰ میلی‌متر) همخوانی دارد و منطقه به لحاظ بارش در شرایط نرمال قرار گرفته است. در دوره اعتبارسنجی، میانگین بارش منطقه با حدود ۱۳۰ میلی‌متر کمتر از بارش نرمال منطقه (۱۵۰ میلی‌متر) بوده است. و منطقه به لحاظ بارش در شرایط غیرنرمال قرار گرفته



شکل ۵- همبستگی و مقادیر ضرایب تبیین بین مقادیر رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی در مدل SWAT در مرحله واسنجی (A) و اعتبارسنجی (B)

Figure 5. Correlation and values of coefficients of explanation between the values of observed and simulated runoff in the SWAT model in the calibration stage (A) and validation (B).



شکل ۶- مقادیر رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مدل SWAT در مرحله واسنجی در شکل (A) و اعتبارسنجی در شکل (B)

Figure 6. Observed and simulated runoff values in the SWAT model in the calibration step in Figure (A) and validation in Figure (B)

۰/۵۵ و ۲/۱۱ بدست آمد. یکی از دلایل بالا بودن عدم قطعیت مدل می‌تواند مربوط به طول دوره آماری کوتاه استفاده شده برای مدل سازی و قدرت تفکیک

از جمله شاخص‌های دیگر برای ارزیابی و تأیید کارایی مدل، شاخص‌های P-factor و R-factor می‌باشند. مقدار این فاکتورها در این مطالعه به ترتیب برابر

آبخوان (GW_DELAY) دارای کمترین میزان حساسیت می‌باشند.

اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز دامغانرود در تولید رواناب

به طور کلی بررسی کمی مقادیر میانگین وزنی رواناب ماهانه برای درک درست تأثیر زیرحوضه‌ها در تولید رواناب خروجی کل حوضه به منظور اجرای بهینه برنامه‌های مدیریتی در زیرحوضه‌هایی که سهم بیشتری در رواناب تولیدی دارند، سودمند است. در مطالعه‌ای ثقفیان و همکاران (Saghafian *et al.*, 2010) از روش‌های میانگین وزنی و واکنش سیل واحد جهت تحلیل مکانی و اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها به لحاظ تولید رواناب استفاده کردند. نتایج نشان داد مقادیر سیلاب بدست آمده با دو روش بهم نزدیک است. لذا در این مطالعه از روش میانگین وزنی رواناب برای تعیین اولویت زیرحوضه‌ها استفاده شد. با توجه به نتایج بدست آمده از درصد مشارکت زیرحوضه‌ها در رواناب خروجی (جدول ۵) مجموعه زیرحوضه‌ها به شش کلاس طبقه‌بندی شدند. از میان زیرحوضه‌های، زیرحوضه ۵ با تولید ۸۰ درصد رواناب خروجی حوضه بیشترین سهم را در تولید رواناب به خود اختصاص داده است. از دلایل مشارکت بالای این زیرحوضه در تولید رواناب خروجی مربوط به موقعیت مکانی و کاربری‌های موجود در این زیرحوضه است. این زیرحوضه در نزدیکی خروجی حوضه قرار گرفته است، همچنین، کاربری‌های این زیرحوضه شامل مراتع فقیر، بیشه‌زار و بوته‌زار و اراضی زراعی می‌باشد. این کاربری‌ها به لحاظ پو شش دارای تراکم کمی بوده بنابراین ضریب جذب رواناب کمتری نسبت به کاربری‌های جنگل و مراتع متراکم داشته و مستعد تولید رواناب می‌باشند. زیرحوضه‌های ۱۱ و ۱ در تولید رواناب خروجی حوضه کمترین سهم را داشته‌اند. دلایل مشارکت کمتر زیرحوضه‌های ۱۱ و ۱ در تولید رواناب خروجی نیز می‌تواند مرتبط با موقعیت این زیرحوضه‌ها و کاربری‌های آنها باشد.

مکانی پایین داده‌های خاک باشد (Abbaspour *et al.*, 2015). همچنین، در منطقه تعدادی چشمه وجود دارد که بر روی جریان رواناب تأثیرگذار می‌باشند. عدم وجود آمار آبدهی این چشمه‌ها می‌تواند باعث عدم قطعیت مدل شده باشد که از این نظر با نتایج (Moazenzadeh *et al.*, 2020) مشابه است. نتایج مطالعه‌ای در حوزه آبخیز تور واقع در شمال شرقی کشور سوئیس نشان داد که مقادیر ۰/۹۱ و ۱ به ترتیب برای معیارهای P-factor و R-factor در مرحله واسنجی و مقادیر ۰/۸۹ و ۰/۹۵ در مرحله اعتبارسنجی می‌تواند ناشی از کیفیت مناسب داده‌های اندازه‌گیری شده (داده‌های اقلیمی با طول دوره آماری مناسب و دقت بالا) و تبدیل عمده بارندگی به رواناب باعث شده مدل شبیه‌سازی مناسبی را از منطقه پیش‌بینی کند (Abbaspour *et al.*, 2007). مقادیر مرزی فاکتورهای فوق براساس مطالعات جدید انجام شده با توجه به وضعیت منطقه مطالعاتی می‌تواند تغییر کند (Abbaspour *et al.*, 2015).

تحلیل حساسیت پارامترهای موثر بر رواناب

در جدول (۴) پارامترهای حساس بر رواناب بر اساس مقادیر حد بالا و پایین، t-stat و p-value و مقادیر بهینه، بر پایه زمانی ماهانه پس از واسنجی نشان داده شده است. بررسی نتایج آزمون حساسیت براساس مقادیر t-stat به دست آمده برای هر پارامتر نشان داد که پارامترهای شماره منحنی (CN₂)، متوسط طول شیب (SLSUBBSN)، ضریب زبری مانینگ برای کانال (CH_N2)، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (SOL_K)، عمق خاک (SOL_Z) و ضریب آلفای جریان پایه (ALPHA_BF) دارای بیشترین حساسیت و پارامترهای حداقل عمق مورد نیاز سطح ایستایی در سفره‌های کم‌عمق برای وقوع جریان بازگشتی (GWQMN)، عامل جبران‌کننده تبخیر از خاک (ESCO)، ضریب تأخیر رواناب سطحی (SURLAG)، ضریب مانینگ برای جریان روی سطح زمین (OV_N)، ضریب بازتاب (آلیدو) خاک مرطوب (SOL_ALB) و زمان تأخیر برای تغذیه

جدول ۴- پارامترهای حساس بر رواناب بر اساس مقادیر حد بالا و حد پایین و t-stat و p-value و مقادیر بهینه، بر پایه زمانی ماهانه پس از واسنجی

Table 4. Runoff-sensitive parameters based on upper and lower limit values, t-stat, p-value and values, based on monthly time after calibration optimal

Row	Parameter	Optimal values	Lower limit	Upper limit	p-value	t-stat	Description
1	r_CN2.mgt*	0.42	-0.5	0.5	0.0000025	-7.55	Curve number for medium humidity conditions
2	r_SLSUBBSN.hru*	145	10	150	0.029	2.29	Average length of land slope
3	r_CH_N2.rte*	1.1	-0.5	0.5	0.13	1.55	Manning sub-factor for the main channel
4	r_SOL_K.sol*	0.66	-0.5	0.5	0.15	-1.44	Hydraulic conductivity of soil saturation (Mm per hour)
5	r_SOL_Z.sol*	1.48	-0.5	0.5	0.18	-1.36	Soil depth from surface to bottom layer (mm)
6	v_ALPHA_BF.gw*	۰/۶۶	0	1	0.25	-1.17	Alpha parameter in recursive flow
7	v_GW_REVAP.gw	0.15	0	0.2	0.34	-0.96	Infiltration coefficient for deep groundwater aquifer or capillary ascent from shallow aquifer
8	r_SOL_AWC.sol	-0.12	-0.5	0.5	0.34	-0.96	Average available water (mm)
9	r_SOL_ZMX.sol	-0.6	-0.5	0.5	0.34	-0.95	Maximum rooting depth in soil profile (mm)
10	r_SOL_BD.sol	-0.74	-0.5	0.5	0.41	0.82	Soil bulk density (gr / cm3)
11	v_RCHRG_DP.gw	0.72	0	1	0.45	-0.75	Percentage of feeding deep tablecloths from shallow or unenclosed tablecloths
12	v_CH_K2.rte	133	0	500	0.45	-0.75	Effective hydraulic conductivity of the substrate in the main channel(Mm per hour))
13	v_REVAPMN.gw	43	0	500	0.49	0.69	The minimum amount of water storage in a shallow aquifer that is required to start evaporating groundwater through capillary or deep aquifer feeding(Mm of water)
14	v_GW_DELAY.gw	270	0	500	0.63	-0.48	Delay time for aquifer feeding (days)
15	r_SOL_ALB.sol	0.12	0	0.25	0.67	-0.42	Reflection coefficient (albido) of wet soil
16	v_OV_N.hru	29	0	30	0.69	-0.4	Manning coefficient for ground flow
17	v_EPCO.hru	0.92	0.01	1	0.8	0.25	Compensation of water absorption by the plant
18	v_SURLAG.bsn	7.8	1	24	0.82	-0.22	Surface runoff delay coefficient
19	v_ESCO.hru	0.54	0	1	0.82	-0.21	Compensation agent for soil evaporation
20	v_GWQMN.gw	2353	0	5000	0.84	0.19	Minimum depth of water table required in shallow aquifers return flow (mm)

V به معنی جایگزینی مقادیر موجود پارامتر با مقدار داده شده و T به معنی ضرب کردن مقادیر موجود پارامتر در (۱+ مقدار داده شده) است.

V means to replace the existing values of the parameter with the given value and r means to multiply the existing values of the parameter by (+1 given value

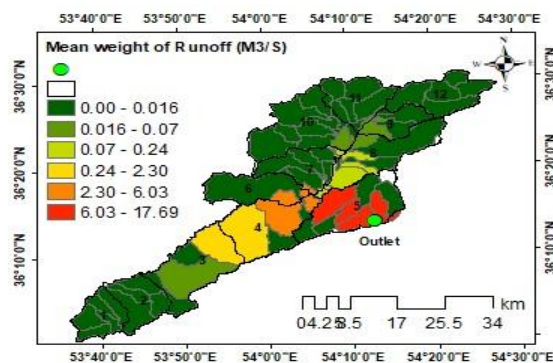
است، مناطقی از زیرحوضه‌ها را که حساسیت بالاتر نسبت به تولید رواناب دارند، شناسایی و اولویت‌بندی کند. در این مطالعه مدل با تقسیم زیرحوضه ۵ (حساس‌ترین زیرحوضه) به ۹ واحد HRU توانسته مناطق حساس‌تر به لحاظ تولید رواناب مشخص کند و بدین ترتیب با صرف هزینه اندکی، می‌توان مناطق سرمنشأ رواناب شناسایی کرد. از اقدامات مدیریتی پیشنهادی در این زیرحوضه می‌توان به عملیات بیولوژیکی (بهبود پوشش گیاهی) به منظور افزایش ضریب جذب رواناب و نفوذ آب اشاره نمود. بنابراین در یک دید کلی، در این حوضه بخش‌های با شیب کم، به دلیل اینکه پوشش گیاهی و مرتعی ضعیفی دارند، پتانسیل تولید رواناب بالاتری را دارا می‌باشند (Hosseinzadeh *et al.*, 2019). نتایج بدست آمده از درصد مشارکت زیرحوضه‌ها در رواناب خروجی حوضه در جدول (۵) نشان داده شده است. نتایج اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها به لحاظ تولید رواناب خروجی حوضه در مدل SWAT در شکل (۷) نشان داده شده است.

این دو زیرحوضه با وجود داشتن شیب زیاد به دلیل اینکه در دو نقطه انتهایی حوضه واقع شده‌اند، بیشترین فاصله را تا نقطه خروجی حوضه دارند. همچنین، کاربری این زیرحوضه‌ها شامل جنگل‌هایی با تراکم متوسط تا جنگل‌هایی با تراکم کم و مراتع خوب می‌باشد که به دلیل افزایش جذب رواناب توسط تاج پوشش پتانسیل کمتری در تولید رواناب دارند. نتایج پژوهش‌های انجام شده در این راستا تایید کننده این مطلب است که میزان مشارکت زیرحوضه‌ها در تولید رواناب خروجی کل حوضه به عواملی مانند موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها و پوشش اراضی و روندیابی جریان در مسیر رودخانه بستگی دارد (Saghafian., &Farazjoo., 2005; Khosroshahi (2007; Moghli *et al.*, 2014; Saraie *et al.*, 2019) با توجه به گسترده بودن سطح حوزه‌های آبخیز امکان اقدامات کنترل سیل در سرتاسر حوضه موجود نمی‌باشد. بنابراین، مدل SWAT با داشتن توانایی تقسیم‌بندی زیرحوضه‌ها به واحدهای کوچکتر (HRUها) توانسته

جدول ۵- مساحت و درصد مشارکت زیرحوضه‌ها در رواناب خروجی حوضه دامغانرود حاصل از مدل SWAT

Table 5. Area and percentage of participation of runoff sub-basins of Damghanrood watershed resulting from SWAT model

Number of subbasin	(km ²) Area	Percentage of participation of sub-basin in runoff	runoff Class	Number of subbasin	Area (km ²)	Percentage of participation of sub-basin in runoff	runoff Class
1	71.23	0.006	1	7	88.31	1.7	4
2	83.37	0.05	3	8	137.53	0.7	4
3	162.61	1.21	4	9	56.77	0.05	3
4	149.20	8.24	5	10	173.78	0.04	3
5	158.57	80.9	6	11	98.08	0.005	1
6	99.11	12.2	4	12	108.37	0.0021	2



شکل ۷- اولویت‌بندی سطح حوضه بر اساس تولید رواناب

Figure 7. Prioritization of the basin based on runoff generation

نتیجه‌گیری کلی

نتایج کلی تحقیق دلالت بر توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب با استفاده از داده جهانی خاک (داده‌های در دسترس) دارد. در واقع مطابق آماره‌های ضریب تبیین و ناش ساتکلیف که به نوعی میزان همبستگی بین رواناب واقعی و رواناب شبیه سازی شده را نشان می‌دهند، که بر اساس طبقه بندی موریس و همکاران (Moriasi et al., 2007) آماره ناش ساتکلیف حدود ۰/۵ رضایت بخش عنوان کرده است. بنابراین می‌توان بیان کرد که استفاده از داده جهانی خاک برای شبیه سازی رواناب در حوضه‌های فاقد داده رقومی خاک نتایج قابل قبولی را بدست خواهد آورد. با توجه به این در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور از بین داده‌های مختلف ورودی مدل‌های هیدرولوژیکی از قبیل مدل SWAT بیشترین محدودیت، مربوط به نبود اطلاعات رقومی خاک می‌باشد، این مطالعه نشان داد که امکان استفاده از مدل SWAT و پیش‌بینی وضعیت هیدرولوژیکی حوضه در حوضه‌های که فاقد داده‌های رقومی خاک می‌باشد، وجود دارد. البته به نظر می‌رسد که برای تحلیل دقیق زیرحوضه‌های حساس در تولید رواناب اطلاعات دقیق خاک سبب بهبود دقت و طبقه بندی مناسب‌تر مدل در

تعیین مناطق حساس به تولید رواناب خواهد شد. اگرچه نتایج تحلیل رواناب با استفاده از مدل SWAT نشان داد مدل با تقسیم‌بندی زیرحوضه‌ها به واحدهای همگن و کوچکتر (HRUها) توانسته است، مناطق مولد رواناب را شناسایی و اولویت‌بندی نماید. به عنوان مثال در این مطالعه زیرحوضه ۵ (حساس‌ترین زیرحوضه) به ۹ واحد HRU تقسیم شده است و میزان حساسیت هر کدام از این واحدها در تولید رواناب تعیین شده است. پارامترهای موثر در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها پارامترهای موقعیت مکانی زیرحوضه‌ها و کاربری‌های اراضی می‌باشند. این پارامترها تاثیر خود را در مدل‌سازی از طریق مدل کردن تغییرات مکانی شرایط هیدرولوژیکی، خاک و پوشش گیاهی وارد نموده و برآورد درستی را از وضعیت مکانی رواناب حوضه ارائه می‌دهند (Arnold et al., 2010)؛ (Farrokhzadeh et al., 2015) به طور کلی مدل SWAT با شناسایی مناطق بحرانی در سر منشأ آن امکان صرفه جویی در هزینه‌های گزاف مهار سیلاب و طرح‌های آبخیزداری فراهم می‌کند و امکان اجرای پروژه‌های کنترل سیل و مدیریت جامع آبریزها بهتر می‌شود. همچنین، نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب به مدیریت غیرسازه‌ای سیلاب کمک می‌کند.

Reference

- Ababaei B., and Sohrabi T. 2009. Evaluation of SWAT model performance in Zayandehrud watershed, *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 16(3): 48-58. (In Persian)
- Abbaspour K. C., Johnson C. A., and Van Genuchten M. Th. (2004). Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. *Vadose Zone*, 3: 1340-1352.
- Abbaspour K. C. 2007. User manual for SWAT-CUP, SWAT calibration and uncertainty analysis programs. Eawag: Swiss Fed. Inst. Of Aquat. Sci. and Technol. Dübendorf, Switzerland.
- Abbaspour K. C. 2011. Swat-Cup2: SWAT Calibration and Uncertainty Programs Manual Version 2, Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modeling (SIAM), Eawag. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Switzerland.
- Abbaspour K.C., Rouholahnejad E., Vaghefi S., Srinivasan R., Yang H., and Klove B. 2015. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. *Journal of Hydrology*. 524: 733-752.
- Agha-alizadeh F., Abbasi A., and Esmali A. 2020. Determining the effect of soil properties on runoff and sediment at suborder level using principal components analysis (Case study: Ardabil Plain). *Applied Soil Research*, 8(2): 129.141. (In Persian)
- Ahmadi T., Delberi M., and Afrasiab P. 2015. Zoning of hydraulic conductivity of saturated soil surface layer with loam and sandy loam texture of Sistan plain, *Journal of Soil Research (Soil and Water Sciences)*, 31(4): 513-526. (In Persian)

- Akhavan S., Abedi Kupai J., Mousavi S. F., Abbaspour K., and Opium m. S. S. Islamian. 2010. Estimation of irrigation and runoff water using swat model in Hamedan spring basin. *Journal of Agricultural Science and Technology and Natural Resources, Soil and Water Sciences*, 14 (3): 9-23. (In Persian)
- Ansari M, R., Georgi m., Sayad Gh. A., Shorfa m., and Hamadi K. 2014. Simulation of runoff in the Yellow River watershed using the Arc Swat model. *Irrigation Science and Engineering*, 38 (4):97-107. (In Persian)
- Arnold J. G., Moriasi D. N., Gassman P. W., Abbaspour K. C., White M., Srinivasan J., Santhi R. C., Harmel R. D., van Griensven A., Van Liew M., Kannan W. N., and Jha M. K. 2012. SWAT: model use, calibration and validation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*. 55(4): 1491-1508.
- Asgari H., M. Jafari M. Alavi Panah S, K. Farhadi S., and Razmi M. 2014. Spatial variation analysis of some soil properties using geostatistics and remote sensing. *Journal of Environmental Erosion Research*. 4(2): 53-71. (In Persian)
- Asgharpour M.J. 2007. Multi-Criteria Decision Making. University of Tehran Press. Pages 22-20 and 89-76. (In Persian)
- Bhandari R., Thakali R., Kandissounon G.A.A.D., Kalra A., and Ahmad S. 2018. Effects of Soil Data Resolution on the Simulated Stream Flow and Water Quality: Application of Watershed-Based SWAT Model. In World Environmental and Water Resources Congress 2018: Watershed Management, Irrigation and Drainage, and Water Resources Planning and Management (pp. 376-386). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- Farrokhzadeh B., Ildermi A., R. Ataeian B., and Nowruz M. 2015. Estimation of suspended load estimation under the influence of land use change using SWAT model (Case study: Yelfan watershed). *Journal of Environmental Erosion Research*. 5(3): 28-46. (In Persian)
- Foody G.M., Ghoneim E.M., and Arnell N.W. 2004. Predicting locations sensitive to flash flooding in an arid environment. *Journal of Hydrology*, 292(1-4):48-58.
- Ghanizadeh S., Safadoust A., Nael M. and Yousefi Y. 2019. Comparison of sediment content in runoff and drainage water under two different slopes and cultivation types. *Applied Soil Research*, 6(4): 109-120. (In Persian)
- Gyamfi C., Ndambuki JM., and Salim RW. 2016. Application of SWAT model to the Olifants basin: calibration, validation and uncertainty analysis. *Journal of Water Resource and Protection*, 8: 397-410.
- Huang J., Wu P., and Xining Z. 2013. Effects of rainfall intensity, underlying surface and slope gradient on soil infiltration under simulated rainfall experiments, *Catena*, 104: 93-102.
- Hosseini S. H., Architects H., and Architects H. 2015. Using SWAT model and SWAT-CUP software in simulation and analysis of hydrological uncertainty in arid and semi-arid watersheds (Case study: Zashk watershed in Torqabeh-Shandiz). Master Thesis, Islamic Azad University, Torbat-e Jam Branch. (In Persian)
- 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: 29 pp.
- Jha M.K., and Afreen S., 2020. Flooding urban landscapes: Analysis using combined hydrodynamic and hydrologic modeling approaches. *Water*, 12(7): 1986.
- Joh H.K., Park J.Y., Shin H.J., Lee J.W., and Kim S.J. 2011. The uncertainty analysis of SWAT simulated streamflow applied to chungju dam watershed. In *Proceedings of the Korea Water Resources Association Conference* (pp. 29-29). Korea Water Resources Association.
- Kavian A., and Mohammadi M. 2019. The effect of spatial accuracy of digital elevation models on hydrological simulation. *Journal of Watershed Management*, 10 (19): 36-45. (In Persian)
- Khosroshahi M., and Saghafian B. 2005. Determining the sensitivity of the effect of some factors affecting flood flooding in basins using hydrographic analysis of basin outlet and application of the HEC-HMS model. *Quarterly Journal of Forests, Rangelands and Watershed Management Organization*, 67: 23 - 37. (In Persian)
- Lal R. 2005. Soil erosion and carbon dynamics. *Soil and Tillage Research*, 81(2): 137-142.

- 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(3-4): 258-268.
- Memarian H., Memarian H., and Hosseini S. H. 2017. Using SWAT model and SWAT-CUP software in simulation and analysis of hydrological uncertainty in arid and semi-arid watersheds (Case study: Zashk watershed in Torqabeh-Shandiz). *Rainwater Catchment Systems*, 7(2): 35-44. (In Persian)
- Moriasi D., Arnold J.G., Van Liew M., W. Bingner R. L., Harmel R. D., and Veith T. L. 2007. Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASAE*, 50(3): 885-900.
- Moazenzadeh R., Qahraman B., Saleh A., and Davari K. 2020. Simulation of runoff using SWAT model on an annual scale) Case study: *Neishabour Catchment (Journal of Soil and Water Knowledge*. 29(4): 57-70. (In Persian)
- Moghli M. 2015. Flood prioritization of hydrological units of dalaki basin using HEC-HMS simulation. *Quantitative Geomorphological Research*, 3(4): 12. (In Persian)
- Nash J.E., and J.V. Sutcliffe. 1970. River flow forecasting though conceptual models. *Journal of Hydrology*, 10: 282-290.
- Nohegar A., Qashqaeizadeh N., and Hali Saz A. 2012. Determining flood-generating areas and prioritizing flooding under basins (Case study: Jamash watershed in Hormozgan province). *Earth Knowledge Research*, 3 (1): 14-25. (In Persian)
- Rezaei Tavabh K. 2015. Limnological study and determination of biological value of Damghanrood river in Semnan province. The first annual conference of Iranian agricultural research, *Kharazmi Higher Institute of Science and Technology*, Shiraz. (In Persian)
- Rouholahnejad E., Abbaspour K.C., Vejdani M., Srinivasan R., Schulin R., and Lehmann A. 2012. Parallelization framework for calibration of hydrological models. *Environ. Modell. Software* 31: 28– 36.
- Saghafian B., Ghermezcheshmeh B., and Kheirkhah M. M. 2010. "Iso-flood severity mapping: a new tool for distributed flood source identification", *Nat Hazards*, 55: 557-570.
- Saghafian B., and Farazjoo H. 2007. Determining flood generating areas and prioritizing flooding of hydrological units in Golestan dam basin. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 1: 1-11. (In Persian)
- Saraie B., Talebi A., Mazidi A., and Parvizi S. 2020. Prioritization of Sardab-Rood watershed from flooding viewpoint using the SWAT model. *Journal of Natural Environmental Hazards*, Issue 23(9): 85-98. (In Persian)
- Shawul AA., Alamirew T., and Dinka M. O. 2013. Calibration and validation of SWAT model and estimation of water balance components of Shaya mountainous watershed, Southeastern Ethiopia. *Hydrology and Earth System Sciences*, 10: 13955- 13978.
- Taghvaye Salimi E., Nohegar A., Malekian A., Hosseini M., and Holisaz A. 2016. Runoff simulation using SWAT model and SUFI-2 algorithm (Case study: Shafaroud watershed, Guilan Province, Iran). *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 14(1): 69-80.
- Trinh T., Kavvas M.L., Ishida K., Ercan A., Chen Z.Q., Anderson M.L., Ho C., and Nguyen T. 2018. Integrating global land-cover and soil datasets to update saturated hydraulic conductivity parameterization in hydrologic modeling. *Science of The Total Environment*, 631: 279-288.
- World Meteorological Organization. 2011. Manual of Flood Forecasting and Warning, wmo No, 1072.
- Wang L., and Liang T. 2015. Distribution characteristics of phosphorus in the sediments and overlying Water of Poyang Lake. *PLoS ONE*, 10: 5.
- Yu D., Xie P., Dong X., Hu X., Liu J., Li Y., Peng T., Ma H., Wang K., and Xu S. 2018. Improvement of the SWAT model for event-based flood simulation on a sub-daily timescale. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(9): 5001-5019.
- Zairi M., and Shafaei Bajestan M. 2018. The effect of river spiral removal on the flow pattern and sediment of Karun river using software. *Journal of Water Resources Engineering*, 11(38): 95-106. (In Persian)

Investigation of SWAT Model Efficiency in Spatial Analysis of Runoff in Watersheds without Local Soil Data (Case Study: Damghanrood Watershed)

Mahin Khosravi¹, Ali Asghar Zolfaghari^{*2}, Seyed Hasan Kaboli³, Heidar Ghafari⁴

(Received: December 2020 Accepted: February 2021)

Abstract

In semi-arid area the dangerous floods are usually generation by runoff. Therefore, spatial analysis of runoff is necessary for crisis management. Hydrological models are useful tools for simulation of water cycle-related processes and predict future events. Among the hydrological models, SWAT is one of the most popular of these models which the soil map and information are one the most important input data in SWAT model. On the other hand, the qualitative and quantitative soil maps are not available in most of the watershed in Iran. The main purpose of this study was to determine the spatial analysis of runoff generation using global soil data and using SWAT model in Damghanrood watershed in Semnan province. For this purpose, climatic data from 2008 to 2018 were used to simulate runoff. The data from 2010 to 2014 was used for model calibration and data from 2015 to 2018 was used for model validation. Sensitivity analysis, calibration, validation and model uncertainty were performed in SWAT-CUP software using SUFI-2 algorithm. The model was evaluated with coefficients of determination (R^2) and Nash Sutcliffe (NS) statistics. The parameters of curve number, mean slope length, manning channel roughness coefficient and saturated soil hydraulic conductivity were determined as more sensitive parameters. The values of the R^2 and NS statistics were 0.48, 0.47 for the model calibration stage and 0.46 and 0.45 for the validation stage, respectively. The results showed that the performance of the model in runoff simulation with global soil data was acceptable. Spatial analysis of runoff was performed using the average weight of runoff per unit area. The results of spatial analysis of runoff showed that the most important sub-basins in runoff generation was sub-basin number 5 and the least important sub-basins were number 1 and 11. Results indicated that sub-basin location and land use were most effective variables in runoff prioritization. SWAT model divide the watershed into the homogeneous units, therefore, it is possible to determine the critical areas of runoff generation.

Key word: Prioritization of sub-basins, Sensitivity analysis, Runoff

Khosravi M., Zolfaghari A. A., Kaboli S.H., and Heidar G. 2022. Investigation of SWAT model efficiency in spatial analysis of runoff in watersheds without local soil data (Case Study: Damghanrood Watershed). *Applied Soil Research*, 10(1): 129-143.

1. PhD student, desertification, Faculty of Desert Science, Semnan University

2. Associate Professor, Dep. of Arid lands management, Faculty of Desert Science; Semnan University

3. Assistant Professor, Dep. of Arid lands management, Faculty of Desert Science; Semnan University

4. Assistant Professor, Dep. of Soil Science, Faculty of Agriculture; Shahid Chamran University of Ahvaz

*Corresponding Author Email: azolfaghari@semnan.ac.ir