نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز
جلد ۱۱، شماره ۱، ۱۳۹۸، صفحات ۶۲-۷۵

Journal of Watershed Engineering and Management
Volume 11, Issue 1, 2019, Pages 62-75
DOI: 10.22092/ijwmse.2019.118433

بررسی اثر انواع مدل‌های رقومی ارتفاعی در برآورد دبی و بار معلق با استفاده از مدل SWAT، مطالعه موردی: آبخیز گالیکش استان گلستان

ایوب مرادی*[۱]، علی نجفی‌نژاد[۲]، مجید اونق[۳] و چوقی بایرام کمکی[۴]

[۱] کارشناس ارشد آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۲] دانشیار، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، [۳] استاد، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان و [۴] استادیار، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۴/۰۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۸/۲۴

چکیده

برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب در حوزه‌های آبخیز نیاز به استفاده از مدل‌های مختلفی است که هر یک برای شرایط خاص ارائه شده‌اند. یکی از پرکاربردترین مدل‌های هیدرولوژیکی مدل نیمه‌توزیعی SWAT است. از جمله مهمترین اطلاعات مکانی مورد نیاز مدل SWAT، نقشه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) است که در استخراج مشخصات هیدروگرافی حوضه، برآورد توزیع مکانی رواناب و بار رسوب نقش دارد و دقت آن نقش زیادی در نتایج خروجی مدل دارد. هدف از این مطالعه، بررسی اثر انواع مدل‌های رقومی ارتفاعی بر رواناب و بار معلق آبخیز گالیکش استان گلستان می‌باشد. برای این منظور، سه نوع DEM با دقت‌های ۳۰، ۹۰ و ۱۰۰۰ متر انتخاب شد و در یک دوره ۲۷ ساله مدل SWAT اجرا شد. در این مطالعه، از نرم‌افزار SWAT-CUP و روش SUFI2 برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل استفاده شد. معیار ناش-ساتکلیف (NS) به‌عنوان تابع هدف برای دبی و بار معلق در مرحله واسنجی (۱۹۹۰-۲۰۰۷) برای دقت‌های ۳۰، ۹۰ و ۱۰۰۰ متر نقشه DEM به‌ترتیب ۰/۶۳، ۰/۶۳ و ۰/۶۲ به‌دست آمد که با توجه به دامنه‌های تفسیری در نظر گرفته شده در مدل SWAT برای تابع هدف، قابل قبول ارزیابی شد. همچنین، میزان رواناب سالانه حوضه نیز برای دقت‌های ۳۰، ۹۰ و ۱۰۰۰ متر به‌ترتیب ۱۱/۲۳، ۱۱/۳۰ و ۱۱/۳۹ میلی‌متر و میزان رسوب سالانه به‌ترتیب ۹/۱۸، ۸/۹۷ و ۸/۸۳ تن در هکتار در سال به‌دست آمد. نتایج 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. علت این شباهت منطق مدل‌سازی معکوس و همچنین، اثرات دخالت ندادن پارامترهایی بود که به‌طور مستقیم از نقشه DEM به‌دست می‌آید. در مجموع نتایج نشان داد که با توجه به محدودیت اطلاعات در مرحله واسنجی مدل SWAT، انواع مدل رقومی ارتفاعی استفاده شده تأثیر چندانی بر شبیه‌سازی رواناب و رسوب ندارد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، رواناب، روش SUFI2، نیمه‌توزیعی، نرم‌افزار SWAT-CUP، DEM

مقدمه

درک و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به رواناب و رسوب در پهنه‌های طبیعی، به‌واسطه محدودیت‌های مالی و زمانی، شرایط سخت فیزیکی حاکم بر حوزه‌های آبخیز و نیز نوسانات غیر قابل پیش‌بینی اقلیمی، از قبیل خشک‌سالی‌های درازمدت، در حد

* مسئول مکاتبات: ayyub.moradi@gmail.com

مورد نیاز میسر نیست. ارزیابی فرسایش و رسوب، اغلب شامل بررسی دوره‌ای آن در سطح وسیع، با استفاده از فناوری‌های پیش‌بینی فرسایش خاک است (Sadeghi و همکاران، ۲۰۰۹). بنابراین، توسعه و تکمیل مدل‌های هیدرولوژی برای فهم اثرات متقابل بین اقلیم و سامانه هیدرولوژی و برای بررسی طیف وسیعی از مشکلات زیست محیطی و منابع آب ضروری به نظر می‌رسد (Rostamian و همکاران، ۲۰۰۶). برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب در حوزه‌های آبخیز نیاز به استفاده از مدل‌های مختلفی است که هر یک برای شرایط خاص ارائه شده‌اند (Faiznya، ۲۰۰۸). یکی از پرکاربردترین مدل‌های هیدرولوژیکی مدل نیمه‌توزیعی SWAT است. از جمله اطلاعات مکانی مورد نیاز مدل SWAT، نقشه رقومی ارتفاعی (DEM) است که در استخراج مشخصات هیدروگرافی حوضه، برآورد توزیع مکانی رواناب و بار رسوب نقش دارد.

خصوصیات ژئومورفولوژیکی که از DEMها حاصل می‌شوند، اغلب به‌عنوان ورودی به مدل‌های دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرند. بنابراین، DEMها و الگوریتم-های مرتبط با آن‌ها زمینه تحقیقاتی بسیار زیادی را برای محققان فراهم کرده است (Li و همکاران، ۲۰۰۷). در انجام مطالعات هیدرولوژیکی و نیز مدیریت حوزه‌های آبخیز با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) یکی از لایه‌های ورودی مهم برای شبیه‌سازی حوضه، مدل رقومی ارتفاعی می‌باشد. دقت استخراج پارامترهای ژئومورفولوژیکی بستگی بسیار زیادی به ابعاد سلول DEM دارد (Chang و Tsai، ۱۹۹۱) و تخمین‌های دقیق‌تری از مشخصات فیزیوگرافی حوضه را به همراه دارد، اما تهیه چنین نقشه‌هایی بسیار پر هزینه است (Chaplot و همکاران، ۲۰۰۴). مدل رقومی ارتفاعی یک راه موثر برای نشان دادن سطح زمین است که به کاربر اجازه می‌دهد تا به‌صورت خودکار ویژگی‌های هیدرولوژیکی منطقه را استخراج کند. بنابراین، از مزایای این روش نسبت به روش‌های سنتی (بر اساس نقشه‌های توپوگرافی، بررسی‌های میدانی و یا تفسیر عکس‌های هوایی) می‌توان به اثر بخشی هزینه و افزایش صحت و دقت و صرفه‌جویی در زمان در استخراج اطلاعات اشاره کرد (Ghafari، ۲۰۱۱). تا کنون، مطالعات متعددی برای تعیین اثر توان تفکیک DEM بر روی تهیه اطلاعات پایه برای مدل‌های مختلف و عملکرد آن‌ها گزارش شده است. تحقیقات صورت گرفته به‌وسیله Chaubey و همکاران (۲۰۰۵) حاکی از آن است که اثر ابعاد سلول DEM مورد استفاده بر روی نحوه استخراج شبکه آبراهه‌ها، طبقه‌بندی زیرحوضه‌ها و نیز نحوه شکل‌گیری واحدهای هیدرولوژیکی قابل توجه است، به‌طوری که کاهش ابعاد (افزایش توان تفکیک) DEM موجب کاهش جریان رودخانه‌ای شبیه‌سازی شده، کاهش مساحت حوضه‌ها و زیرحوضه‌ها و نیز کاهش تعداد واحدهای هیدرولوژیکی خواهد شد. بر اساس تحقیقات این محققان، چنانچه از DEMهای با ابعاد سلولی ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر استفاده شود، میزان خطای محاسبه مساحت حوضه نسبت به حالتی که از DEMهای با ابعاد سلولی ۳۰×۳۰ متر استفاده شود، در حدود ۳۰ درصد خواهد بود. همچنین، میزان کاهش جریان رودخانه‌ای شبیه‌سازی شده در اثر تغییرات مذکور در حدود ۲۵ درصد است.

Smith و همکاران (۲۰۰۶)، به بررسی اثر ابعاد سلول DEM بر روی مطالعات خاک چندین حوزه آبخیز در آمریکا پرداختند. نتایج نشان داد که همواره DEMهای با ابعاد سلولی کوچک‌تر، الزاماً از دقت بیشتری در برآورد فرسایش برخوردار نیستند و در واقع توان تفکیک مورد نیاز برای مدل‌سازی در ارتباط تنگاتنگ با نوع مطالعه و هدف مورد نظر می‌باشد. Lin و همکاران (۲۰۱۰)، در حوزه آبخیزی واقع در استان ژیجیانگ چین اثر ابعاد سلول DEM را بر روی میزان رواناب سطحی شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل SWAT مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که افزایش ابعاد سلولی تاثیر چندان معنی‌داری بر میزان رواناب شبیه‌سازی شده به‌وسیله مدل ندارد.

Jayrani و همکاران (۲۰۰۱) اثر دقت مکانی نقشه رقومی ارتفاعی در واسنجی و برآورد رواناب و رسوب را با استفاده از مدل SWAT-CUP مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه دست یافتند که استفاده از دقت‌های مختلف DEM نتایج نسبتاً یکسانی را برای برآورد رواناب و رسوب در پی داشت.

Chaplot و همکاران (۲۰۰۴)، تاثیر اندازه وضوح DEM از ۵۰-۲۰ متر را در مدل SWAT برای جریان‌های رواناب و رسوب انجام دادند و به این نتایج دست یافتند که حد بالاتر از وضوح ۵۰ متر برای شبیه‌سازی بار رسوب نیاز است، اما برای شبیه‌سازی جریان تفاوت چندانی ندارد.

توضیح مختصری در مورد مدل SWAT: SWAT که مخفف عبارت Soil and Water Assessment Tools می‌باشد، به‌وسیله Arnold در سال ۱۹۹۸ برای سرویس تحقیقات کشاورزی آمریکا تهیه شده است و از زمان ایجاد تا کنون، قابلیت‌های آن به‌طور پیوسته در حال توسعه می‌باشد (Neitsch و همکاران، ۲۰۰۵). مدل SWAT یک مدل مفهومی-نیمه‌توزیعی در مقیاس حوضه است که دارای بازده محاسباتی بالا است. این مدل، یک مدل پیوسته زمانی است که در گام‌های زمانی ساعتی، روزانه و یا طولانی‌تر اجرا می‌شود. مدل SWAT مجموعه‌ای از معادلات ریاضی و فرمول‌های تجربی متعدد است. این مدل به‌منظور تعیین اثر شیوه‌های مدیریت زمین بر مقدار آب، رسوب و کیفیت آب در حوضه‌های بزرگ و پیچیده با خاک‌های مختلف، کاربری زمین و شرایط مدیریت در طی یک دوره زمانی طولانی، توسعه یافته است. در این مدل، هر حوضه به چند زیرحوضه و هر یک از زیرحوضه‌ها به چند واحد پاسخ هیدرولوژیک که از نظر کاربری اراضی و خصوصیات خاک و مدیریت همگن هستند، تقسیم می‌شود. رواناب در هر واحد پاسخ هیدرولوژیک، به‌طور مستقل محاسبه می‌شود تا در نهایت مقدار کل رواناب حوضه محاسبه شود. این کار، دقت محاسبات را افزایش داده، توصیف فیزیکی بسیار بهتری از بیلان آبی حوضه به‌دست می‌دهد. در ابتدا، آب موجود در خاک، رواناب سطحی، چرخه عناصر غذایی، رسوب، رشد گیاهان و روش‌های مدیریتی برای هر واحد واکنش هیدرولوژیک و سپس برای هر زیرحوضه به‌صورت متوسط وزنی محاسبه می‌شود. در این مطالعه، از ARC-SWAT 2009 نسخه 2009.93.7b استفاده شد.

واسنجی مدل SWAT از مراحل مهم و زمان‌گیر مدل‌سازی است. به همین منظور، به‌وسیله Abbaspour و همکاران (۲۰۰۹) به‌منظور تسریع در انجام روند واسنجی و همچنین، اعتبارسنجی مدل SWAT مدل SWAT-CUP توسعه یافت. SWAT-CUP یک برنامه عمومی و الحاقی به مدل SWAT است که برای واسنجی مدل‌های SWAT مورد استفاده قرار می‌گیرد. این برنامه قادر به تحلیل حساسیت، واسنجی و اعتبارسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل‌های SWAT می‌باشد. این برنامه از پنج روش SUFI2[1]، GLUE[2]، PARASOL[3]، MCMC[4] و PSO[5] استفاده می‌کند. در این مطالعه، از روش SUFI2 برای واسنجی و اعتبارسنجی نتایج مدل استفاده شد.

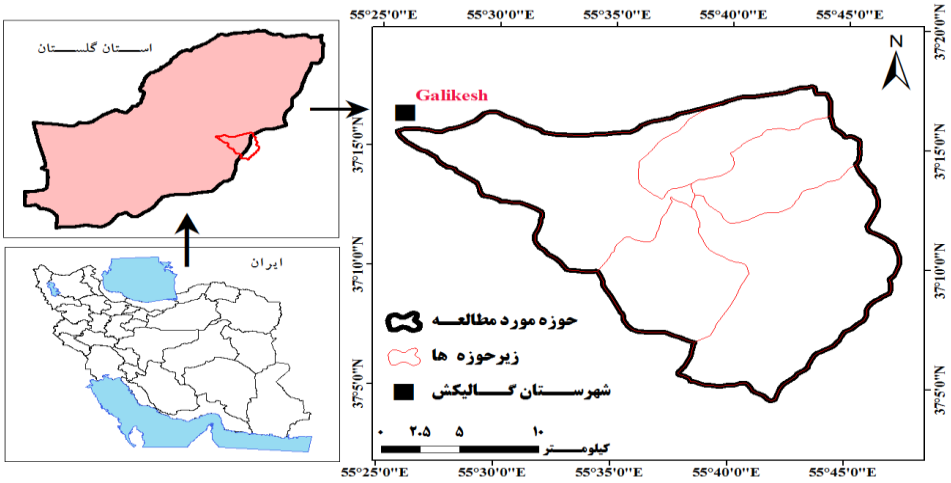
با توجه به مقدمه ذکر شده، هدف از این پژوهش، بررسی اثر انواع مدل‌های رقومی ارتفاعی بر روی شبیه‌سازی رواناب و بار رسوب با استفاده از مدل SWAT در آبخیز گالیکش استان گلستان می‌باشد. برای این منظور، برای مدل‌سازی آبخیز گالیکش از سه نقشه رقومی ارتفاعی با اندازه سلولی ۳۰، ۹۰ و ۱۰۰۰ متر که امروزه کاربرد بیشتری دارند، استفاده شد. هدف از آزمایش شبیه‌سازی و اعتبار مدل، سنجش توانایی مدل در شبیه‌سازی عملکرد جهان واقعی در محدوده‌ای قابل قبول است. هیچ شبیه‌سازی یا تخمینی بدون اطلاع از میزان اطمینان آن مفید نخواهد بود. در نهایت، نتایج ارزیابی مدل برای تشخیص اعتبار مدل و ایجاد تغییر در معادلات اصلی، ساختار مدل یا روش‌های تخمین پارامترهای مدل مورد استفاده قرار می‌گیرد (Refahi، ۲۰۰۳).

مواد و روش‌ها

آبخیز گالیکش در شمال شرق ایران و در استان گلستان، در مختصات طول جغرافیایی ″۵۹ ′۴۱ °۵۵ تا ″۲۶ ′۴۳ °۵۵ و عرض جغرافیایی ″۵ ′۸ °۳۷ تا ″۲۱ ′۱۵ °۳۷ واقع شده است. محدوده مورد مطالعه دارای وسعتی معادل ۴۰۳۹۰ هکتار می‌باشد (شکل ۱). از ویژگی‌های این محدوده اختلاف ارتفاع آن است که از ۱۹۲ تا ۲۵۵۲ متر متغیر است. میزان بارندگی

[1] Sequential Uncertainty Fitting algorithm
[2] Generalized Liklihood Uncertainty Estimation
[3] PARAmeter SOLution
[4] Markov Chain Monte Carlo
[5] Particle Swarm Optimization

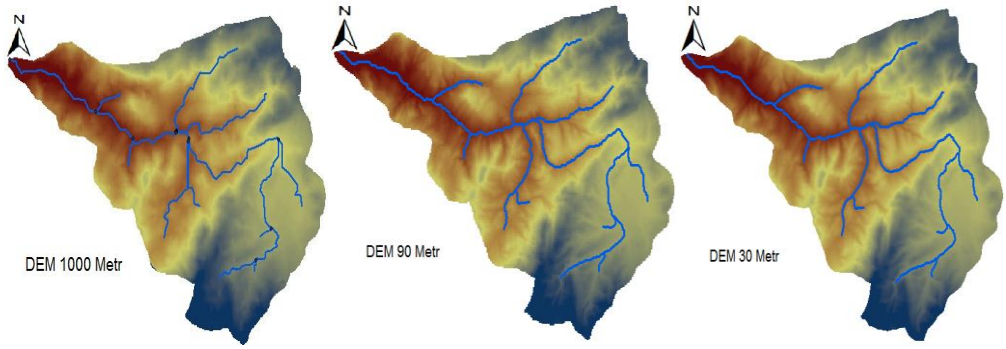
سالانه به‌طور متوسط ۷۷۰ میلی‌متر و دمای متوسط سالانه ۱۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. اقلیم آبخیز گالیکش بر اساس طبقه‌بندی دومارتن در محدوده نیمه‌مرطوب قرار می‌گیرد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

داده‌های مورد استفاده

الف- نقشه مدل رقومی ارتفاعی: در این پژوهش، از سه نقشه مدل رقومی ارتفاعی با دقت مکانی متفاوت و تهیه شده از منابع مختلف، استفاده شده است که نقشه DEM با اندازه سلولی ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر تهیه شده به‌وسیله USGS، ۹۰×۹۰ متر و ۳۰×۳۰ متر نیز به‌وسیله سازمان نقشه‌برداری ایران تهیه شده است. مدل SWAT با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی که به‌عنوان ورودی به مدل معرفی می‌شود، نقشه شیب، شبکه جریان، تعداد زیرحوضه‌ها، تعداد واحدهای پاسخ هیدرولوژیک و خصوصیات مورفومتری حوضه را محاسبه می‌کند (Lin و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۲- نقشه DEMهای ۳۰، ۹۰ و ۱۰۰۰ متر و شبکه زهکشی آن

ب- داده‌های هواشناسی: در محدوده مورد نظر، چهار ایستگاه باران‌سنجی و تبخیرسنجی به اسم کلاله، گنبد، گالیکش و فارسیان-فرنگ وجود دارد که از اطلاعات دما و بارش روزانه ۲۷ سال این ایستگاه‌ها استفاده شد و مشخصات کامل این ایستگاه‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است.

ج- نقشه‌های کاربری اراضی: در این تحقیق، از تصاویر سنجنده OLI ماهواره لندست، طی سال ۱۳۹۲ استفاده شده است که مشخصات تصویر در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های آب و هوایی محدوده منطقه مورد مطالعه

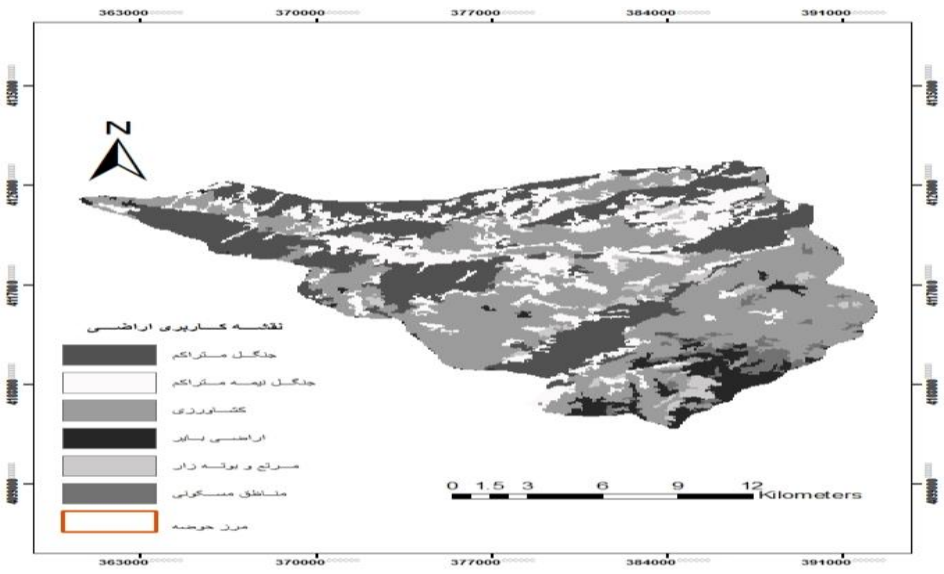
ردیف	نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع ایستگاه (متر)	نوع ایستگاه	سال تأسیس
۱	گالیکش	۵۵-۲۶	۳۷-۱۶	۱۸۴	باران‌سنجی	۱۳۴۵
۲	کلاله	۵۵_۲۹	۳۷_۲۲	۱۲۸/۸	سینوپتیک	۱۳۵۰
۳	فارسیان	۵۵_۳۶	۳۷_۱۳	۸۸۳	تبخیرسنجی	۱۳۴۵
۴	گنبد	۱۰-۵۵	۱۵-۳۷	۳۷/۲	سینوپتیک	۱۳۵۰

جدول ۲- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در تحقیق

تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	ماهواره	سنجنده	ردیف	گذر
Aug. 17, 2013	۲۶ مرداد ۱۳۹۲	لندست ۸	OLI	۳۴	۱۶۲

پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای برای محدوده مورد مطالعه، از نرم‌افزار ENVI 4.7، ARC-GIS و Google Earth طی مراحل مختلف پردازش تصویر استفاده شد. نقشه‌های کاربری دوره‌های مختلف در شکل ۳ نشان داده شده است.

د- نقشه خاک: نقشه بافت خاک بر اساس مطالعات صحرایی و بر مبنای نقشه واحد اراضی به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و همچنین، با استفاده از نقشه بافت خاک و اطلاعات لایه‌های خاک استفاده شده در مطالعات اداره منابع طبیعی استان گلستان تهیه شد.



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۳

داده‌های ایستگاه هیدرومتری: برای این مطالعه، از داده‌های ۲۷ سال دبی و بار معلق ایستگاه هیدرومتری گالیکش استان گلستان استفاده شد. داده‌های ذکر شده، از اداره آب منطقه‌ای استان گلستان دریافت شد. مشخصات ایستگاه هیدرومتری گالیکش در جدول ۳ قابل مشاهده است.

جدول ۳- مشخصات ایستگاه هیدرومتری گالیکش

نام رودخانه	نام ایستگاه	طول شرقی	عرض شمالی	ارتفاع	سال تاسیس	تجهیزات
اوغان	گالیکش	۵۴° ۲۴′ ۲۵″	۳۹° ۹۷′ ۱۵″	۱۸۴	۱۳۴۵	اشل-لیمنوگراف

آماده‌سازی و فرایند اجرا: با توجه به راهنمای مدل، طی مراحل کار با مدل، ابتدا مدل رقومی ارتفاع محل به مدل معرفی‌شده، شبکه آبراهه نیز به‌عنوان راهنمایی در رسم آبراهه‌ها به مدل داده می‌شود. سپس، کمینه مساحت ممکن برای تشکیل زیرحوضه‌ها تعیین می‌شود. در این مطالعه، کمینه مساحت ۱۰۰۰ هکتار که مدل به‌عنوان پیش فرض در نظر می‌گیرد، برای تشکیل زیرحوضه‌ها و شبکه آبراهه‌ای که معرف شرایط حوضه باشد، با در نظر گرفتن محدودیت‌های نرم‌افزاری و سخت‌افزاری، تعیین شد. مدل با توجه به شرایط تعیین‌شده، تعداد ۱۹ زیرحوضه و ۲۶۲ HRU را برای حوضه مورد مطالعه در نظر گرفت. برای تشکیل مرز حوضه، محل ایستگاه هیدرومتری به‌عنوان خروجی آبخیز تعریف و مرز حوضه تشکیل شد. در مراحل بعدی، نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۳ با شش طبقه و خاک با سه طبقه به کمک کدهایی به مدل معرفی شد. مدل، این نقشه‌ها را به نقشه‌های رستری با اندازه سلول‌هایی برابر مدل رقومی ارتفاع تبدیل می‌کند. همچنین، به کمک مدل رقومی ارتفاع، نقشه شیب با طبقات مد نظر کارشناس یا محقق تهیه می‌شود. مدل از تلفیق این سه لایه، نقشه واحدهای پاسخ هیدرولوژیک را ایجاد و داده‌های مورد نیاز به‌صورت فایل‌هایی با فرمت dbf، تهیه و مجددا برای مراحل بعدی در بانک اطلاعاتی مدل قرار می‌گیرد. به‌دلیل این‌که مدل SWAT برای ایالات متحده آمریکا طراحی شده است، لازم است بر روی مدل، تنظیماتی صورت بگیرد. برای استفاده از مدل در ایران و در آبخیز گالیکش استان گلستان بعضی از فایل‌های پیش فرض مانند crop.dat، usersoil.dbf و userwgn.dbf به‌روز رسانی شدند.

به‌منظور واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT، از روش SUFI2 در برنامه SWAT-CUP استفاده شد. روش SUFI2 به‌وسیله Abbaspour و همکاران (۲۰۰۷)، به‌منظور واسنجی مناسب و تحلیل عدم قطعیت، بدون نیاز به تکرارهای زیاد طراحی شد. در این نرم‌افزار، ابتدا یک طیف بزرگ عدم قطعیت برای تمام پارامترها در نظر گرفته می‌شود. بنابراین، در گام اول، تمام پارامترها در محدوده ۹۵ درصد عدم قطعیت قرار می‌گیرند. اما بعد از هر بار شبیه‌سازی، این دامنه عدم قطعیت کاهش می‌یابد تا دو اصل زیر برقرار شود.

۱- بیشتر داده‌های مشاهداتی (اندازه‌گیری شده) در محدوده عدم قطعیت (در سطح 95PPU)، قرار بگیرند (P-factor به سمت یک میل کند).

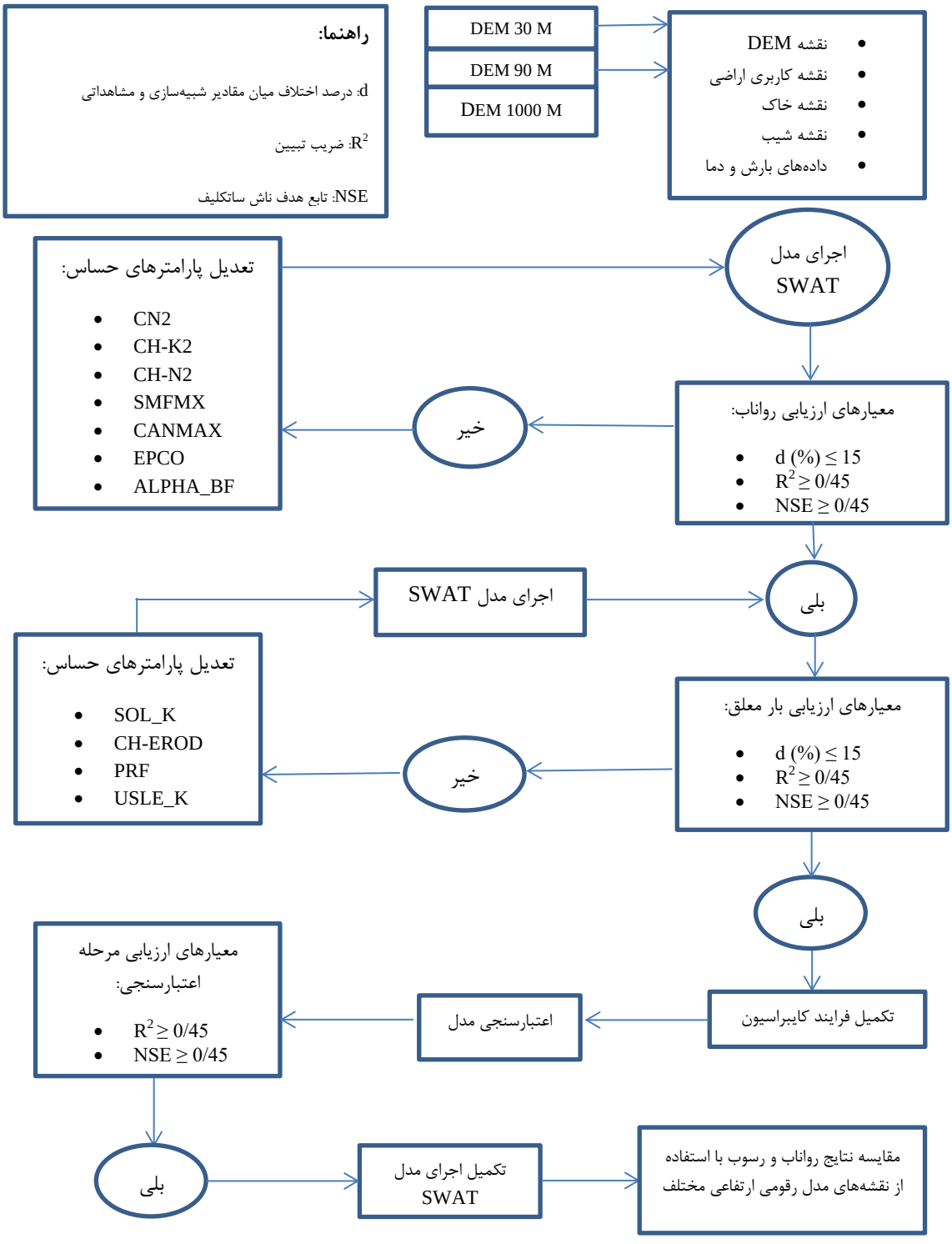
۲- فاصله متوسط بین حد بالا و پایین، در طیف ۹۵ درصد عدم قطعیت تقسیم بر انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده تا حد ممکن کوچک شود (r-factor به سمت صفر میل کند).

به‌منظور ارزیابی توانایی مدل در شبیه‌سازی دبی و رسوب، از شاخص‌های p-factor، r-factor، ضریب تعیین (R^2) و ناش-ساتکلیف (NS) استفاده شد. ضریب ناش-ساتکلیف ابزاری است که اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد. مقدار ضریب ناش-ساتکلیف بین یک تا منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند. مقدار بهینه این شاخص یک است. اگر مقدار این شاخص بیشتر از ۰/۵ باشد، می‌توان شبیه‌سازی مدل را خوب تلقی کرد، در حالی‌که اگر این ضریب منفی شود، بهتر است به نتایج بسنده نشود و از متوسط مقادیر مشاهده‌ای استفاده شود (Mello و همکاران، ۲۰۰۸).

نتایج و بحث

در جدول ۴، خصوصیات فیزیوگرافی آبخیز گالیکش استان گلستان با استفاده از دقت سه نقشه مدل رقومی ارتفاعی ۳۰، ۹۰ و ۱۰۰۰ متر آورده شده است.

با توجه به جدول ۴ و مقادیر آن، لازم به ذکر است که مشاهده تغییرات در مقادیر مساحت و شیب متوسط و سایر متغیرها الزاماً هماهنگ با افزایش قدرت تفکیک مکانی نقشه‌های DEM نیست که در یافته‌های Chaplot (۲۰۰۵) نیز به آن اشاره شده است. همچنین، کاهش مقادیر مساحت حوضه مطابق با یافته‌های Chaubey و همکاران (۲۰۰۵) و مقادیر متغیر سایر ویژگی‌های فیزولوژیکی حوضه با یافته‌های Ghafari (۲۰۱۱) و Jayrani و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد.



شکل ۴- نمودار جریانی پژوهش

اجرای مدل: اولین گام در اجرای مدل، معرفی نقشه رقومی ارتفاع (DEM) به مدل برای تعیین مرز حوضه و زیرحوضه‌ها است. مدل SWAT با توجه به توانایی رایانه در پردازش اطلاعات و نیز با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی و تعیین محل ایستگاه هیدرومتری، به‌عنوان خروجی حوضه، اقدام به تعیین مرز حوضه می‌کند که با توجه به تغییراتی که در محل خروجی و حواشی حوضه صورت گرفته است، از نظر مساحت، تفاوت‌هایی با مرز تهیه شده به‌صورت دستی دارد. در مرحله بعد، تعریف آستانه مساحت برای تعیین زیرحوضه‌ها انجام می‌شود. Jha و همکاران (۲۰۰۴)، معتقدند که آزمون و خطا در مورد تعداد زیرحوضه

نشان داد که تعداد زیرحوضه تأثیر چندانی در میزان رواناب شبیه‌سازی شده ندارد، ولی در مورد رسوب و عناصر غذایی دارای تأثیر بسزایی است. همچنین، Rostamian و همکاران (۲۰۰۶)، به نقل از Bingner و همکاران (۱۹۸۷)، انتقال رسوب را نسبت به تعداد زیرحوضه‌ها حساس و رواناب را غیر حساس می‌داند؛ بنابراین، در مطالعه حاضر با توجه به توانایی پردازش سامانه رایانه‌ای، در نهایت با تعیین ۱۰۰۰ هکتار به‌عنوان آستانه مساحت، ۱۹ زیرحوضه تعیین شد. در ادامه، مدل با توجه به طبقه‌بندی شیب، نقشه کاربری و نقشه خاک، اقدام به ایجاد واحدهای پاسخ هیدرولوژیک می‌کند. البته برای نقشه کاربری اراضی، هیچ‌گونه آستانه‌ای تعریف نشد تا اثرات کاربری‌های با مساحت اندک مثل مناطق مسکونی محفوظ بماند. با افزایش تعداد واحدهای پاسخ هیدرولوژیک، میزان دقت شبیه‌سازی‌ها افزایش پیدا می‌کند. Setegn و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند که جریان آب حساسیت بیشتری به تعریف واحدهای پاسخ هیدرولوژیک نسبت به تعداد زیرحوضه‌ها دارد. حاصل تلفیق لایه‌های رقومی برای DEMهای ۳۰، ۹۰ و ۱۰۰۰ متری به‌ترتیب ۲۸۷، ۲۶۲ و ۲۵۲ واحد پاسخ هیدرولوژیک بود. پس از این مرحله، فایل‌های مربوط به داده‌های اقلیمی، بارش و دما به مدل وارد و مدل برای دوره آماری ۲۷ ساله از سال ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۳ به‌صورت ماهانه اجرا شد. بر اساس آنچه که در شکل ۵ مشهود است، با توجه به اختلاف زیاد مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی و نیز مقادیر پایین تابع هدف به‌عنوان آماره ارزیابی مدل، لزوم واسنجی مدل برای منطقه مورد نظر مشخص می‌شود.

جدول ۴- مشخصه‌های ترسیم حوضه گالیکش تحت اثر نقشه‌های رقومی ارتفاعی مختلف

		دقت مکانی		
	مشخصه حوضه	۱۰۰۰ متر	۹۰ متر	۳۰ متر
	مساحت حوضه (کیلومتر مربع)	۳۹۷	۳۸۹	۳۶۵
خصوصیات توپوگرافی	تعداد زیرحوضه‌های رسم شده به‌وسیله SWAT	۱۹	۱۹	۱۹
	تعداد HRU در حوضه	۲۸۷	۲۶۲	۲۵۲
	کمینه ارتفاع (متر)	۱۹۸	۱۹۱	۱۹۳
ارتفاع	بیشینه ارتفاع (متر)	۲۵۲۶	۲۵۵۲	۲۵۴۵
	ارتفاع متوسط (متر)	۱۳۶۲	۱۳۷۱	۱۳۶۹
شیب	درصد شیب متوسط حوضه (متر/متر)	۲۲	۲۶/۵	۲۷

واسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل و انتخاب بهترین محدوده پارامترها: پس از شبیه‌سازی رواناب و رسوب به‌وسیله مدل SWAT و به‌دست آمدن مقادیر اولیه برای هر سه نوع DEM، می‌بایست که برای این مقادیر واسنجی و تحلیل عدم قطعیت صورت گیرد. همان‌طور که پیش‌تر ذکر شد، انجام این عملیات به‌وسیله نرم‌افزار SWAT-CUP و الگوریتم SUFI2 صورت می‌پذیرد.

با توجه به داده‌های دبی و رسوب موجود، یک دوره ۲۷ ساله از سال ۱۹۸۷ لغایت ۲۰۱۳ برای انجام مطالعه در نظر گرفته شد. به‌طور معمول، در شبیه‌سازی با مدل‌ها دو سوم و یا سه چهارم اطلاعات برای واسنجی و یک سوم و یا یک چهارم، برای اعتبارسنجی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق، به‌علت طولانی بودن دوره مطالعاتی، سه چهارم از دوره آماری برای دوره واسنجی (سال ۱۹۸۷ تا سال ۲۰۰۷) و یک چهارم از دوره آماری برای اعتبارسنجی (سال ۲۰۰۸ تا سال ۲۰۱۳) در نظر گرفته شد. واسنجی رواناب و رسوب شبیه‌سازی شده در آبخیز گالیکش استان گلستان، به‌وسیله داده‌های مشاهداتی دبی و رسوب ایستگاه هیدرومتری گالیکش، به‌طور هم‌زمان انجام شد. البته لازم به ذکر است که سه سال نخست این دوره آماری برای گرم کردن[1] مدل استفاده شد.

[1] Warm up

برای واسنجی مدل SWAT در برنامه SUFI2، هر پارامتر یک دامنه اولیه دارد که به‌صورت پیش فرض برای پارامترها در نظر گرفته می‌شود. همچنین، هر پارامتر یک مقدار نهایی دارد که بعد از واسنجی مشخص می‌شود. اما قبل از انتخاب پارامترها برای انجام واسنجی، آزمون تحلیل حساسیت صورت گرفت و پارامترهای حساسی که متأثر از نقشه DEM نباشند، با توجه به مطالعات گذشته و خصوصیات منطقه، انتخاب شدند. مشخصات این پارامترها و محدوده در نظر گرفته شده این پارامترها در جدول ۵ آورده شده است. همچنین، مقادیر نهایی این پارامترها در بهترین شبیه‌سازی مدل در جدول ۶ آورده شده است. حساس‌ترین پارامتر در حوضه مورد نظر شماره منحنی SCS اولیه، برای شرایط رطوبتی متوسط، ۲ به‌دست آمد. برای عامل شماره منحنی در نتایج واسنجی برای دقت‌های ۳۰ و ۱۰۰۰ متری نقشه رقومی ارتفاعی شبیه هستند و برای DEM ۹۰ متری این مقدار متفاوت است. در میان سایر پارامترها نیز محدوده‌ی پارامترهای CH-K2 و PRF تفاوت‌هایی را در کاربرد دقت‌های مختلف نقشه DEM نشان می‌دهد.

در SUFI2 تحلیل عدم قطعیت در مدل، پارامترها و ورودی‌ها با استفاده از ۹۵ درصد احتمال عدم قطعیت پیش‌بینی و مقادیر p-factor و r-factor با شرایط زیر تعریف می‌شود.

۱- بیشتر داده‌های مشاهداتی (اندازه‌گیری شده) در محدوده عدم قطعیت (در سطح 95PPU)، قرار بگیرند (P-factor به سمت یک میل کند).

۲- فاصله متوسط بین حد بالا و پایین، در طیف ۹۵ درصد عدم قطعیت تقسیم بر انحراف معیار داده‌های اندازه‌گیری شده تا حد ممکن کوچک شود (r-factor به سمت صفر میل کند).

جدول ۵- معرفی پارامترهای استفاده شده در واسنجی و دامنه اولیه آن‌ها

نام پارامتر	شرح پارامتر	مقادیر اولیه
r-CN2.mgt	شماره منحنی SCS اولیه برای شرایط رطوبتی متوسط (۲)	۳۵ تا ۹۰
r__SOL_K().sol	هدایت هیدرولیکی اشباع لایه‌های خاک (میلی‌متر بر ساعت)	۰ تا ۲۰۰۰
v__CH_K2.rte	هدایت هیدرولیکی مؤثر بستر رودخانه اصلی (میلی‌متر بر ساعت)	۰/۰۱- تا ۵۰۰
v__CH_N2.rte	ضریب مانینگ رودخانه اصلی	۰/۰۱- تا ۰/۳
v__SMFMX.bsn	حداکثر عامل ذوب برف در تاریخ ۲۱ دسامبر (میلی‌متر آب بر درجه سانتی‌گراد در روز)	۰ تا ۱
v__CH_EROD.rte	ضریب فرسایش‌پذیری کانال	۰ تا ۰/۶
v__PRF.bsn	تعدیل نرخ اوج رسوبگذاری	۰ تا ۲
v__CANMX.hru	بیشینه ذخیره تاجی (میلی‌متر آب)	۰ تا ۱۰۰
v__EPCO.hru	عامل جبران جذب آب به‌وسیله گیاه	۰ تا ۱
v__OV_N.hru	ضریب زبری مانینگ برای جریان روی دامنه	۰/۰۱ تا ۱
r__USLE_K().sol	عامل فرسایش‌پذیری خام در معادله جهانی فرسایش	۰ تا ۰/۶۵
v__ALPHA_BF.gw	عامل آلفا در جریان پایه (روز)	۰/۰۲ تا ۰/۲
v__CH_COV.rte	ضریب پوشش کانال	۰ تا ۱
r__SOL_AWC().sol	ظرفیت رطوبت قابل استفاده لایه‌های خاک (میلی‌متر آب بر میلی‌متر خاک)	۰ تا ۱
v__GW_REVAP.gw	ضریب تعیین نفوذ به سفره آب زیرزمینی عمیق یا صعود مویینگی از سفره کم عمق	۰/۲- تا ۰/۴
V__SPCON.bsn	پارامتر خطی برای محاسبه بیشینه میزان رسوب برگشتی به مسیر کانال	۰/۰۰۱ تا ۰/۰۱

r یعنی مقدار اولیه پارامتر در (۱+ مقدار تعیین شده) ضرب شود و v یعنی مقدار تعیین شده جایگزین مقدار اولیه شود.

جدول ۶- بهترین محدوده انتخابی پارامترها

کد پارامتر در مدل SWAT	دقت مکانی		
	۱۰۰۰*۱۰۰۰	۹۰*۹۰	۳۰*۳۰
r-CN2.mgt	-۰/۲۳۵۲	-۰/۲۲۶۹	-۰/۲۳۶۳
r__SOL_K().sol	-۰/۵۹۶۳	-۰/۶۰۱۲	-۰/۵۹۹۰
v__CH_K2.rte	۱۴۹/۳۵۱۶	۱۴۵/۵۲۲۳	۱۴۸/۴۸۲۱
v__CH_N2.rte	۰/۰۳۹۶	۰/۰۴۱۱	۰/۰۳۹۶
v__SMFMX.bsn	۱۰/۱۲۸۱	۱۲/۱۸۷۶	۱۱/۷۵۶۹
v__CH_EROD.rte	۰/۳۳۶۱	۰/۲۷۲۰	۰/۳۴۵۸
v__PRF.bsn	۰/۴۸۳۶	۰/۴۵۱۰	۰/۴۲۵۹
v__CANMX.hru	۱/۳۷۱۲	۱/۳۱۱۴	۱/۲۶۶۷
v__EPCO.hru	۰/۲۶۱۱	۰/۲۶۳۰	۰/۲۶۷۲
v__OV_N.hru	۰/۳۸۷۴	۰/۳۹۰۰	۰/۳۹۱۰
r__USLE_K().sol	-۰/۱۰۲۶	-۰/۱۰۷۸	-۰/۱۰۹۴
v__ALPHA_BF.gw	۰/۱۶۵۲	۰/۱۵۵۹	۰/۱۱۰۱
r__SOL_AWC().sol	-۰/۴۷۸۱	-۰/۴۸۸۴	-۰/۴۹۹۱
v__CH_COV.rte	۰/۹۷۶۹	۰/۹۸۲۸	۰/۹۸۰۱
v__GW_REVAP.gw	۰/۱۰۱۱	۰/۱۰۳۲	۰/۱۰۵۴
V__SPCON.bsn	۰/۰۰۳۵	۰/۰۰۳۹	۰/۰۰۴۰

مقایسه شبیه‌سازی‌ها برای برآورد رواناب و رسوب: با توجه به این‌که شبیه‌سازی نهایی رواناب و رسوب به‌طور هم‌زمان در محیط SWAT-CUP صورت گرفت، نتایج آن‌ها نیز به‌صورت هم‌زمان ارائه می‌شود. واسنجی مدل برای پارامترهای رواناب و رسوب با استفاده از نقشه‌های مدل رقومی ارتفاعی در دقت‌های مختلف نشان داد که نتایج شبیه‌سازی رواناب مقادیر مشابهی را نشان می‌دهند. به‌عبارت دیگر، تغییرات قابل توجهی در مقادیر برآورد رواناب مشاهده نمی‌شود که دلیل این امر می‌تواند در تعدیل پارامترها در دوره واسنجی مدل باشد. در این مطالعه، از برنامه SUFI2 در قالب برنامه الحاقی به مدل SWAT در بسته نرم‌افزاری SWAT- CUP استفاده شد و کارایی مدل با استفاده از ضرایب R^2 و NS، در خروجی حوضه، مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه، راندمان ناش-ساتکلیف به‌عنوان تابع هدف در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل، مورد استفاده قرار گرفت. در SUFI2 تحلیل عدم قطعیت در مدل، پارامترها و ورودی‌ها با استفاده از ۹۵ درصد احتمال عدم قطعیت پیش‌بینی و مقادیر p-factor و r-factor تعریف می‌شود. مقادیر این معیارها در هر دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی در جدول ۷ آمده است. در مجموع، با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۷ مشاهده می‌شود که نتایج واسنجی و اعتبارسنجی در برآورد رواناب با استفاده از اندازه سلول‌های مختلف نقشه رقومی ارتفاع، به هم شبیه هستند. این موضوع در تحقیق Wang و Lin (۲۰۱۰) نیز مشاهده می‌شود. شکل ۵، مقادیر رواناب محاسباتی و مشاهداتی را در ایستگاه هیدرومتری گالیکش نشان می‌دهد که اختلاف معنی‌داری در مقادیر رواناب در دقت‌های مختلف مشاهده نمی‌شود. در بخش برآورد رسوب، نتایج نشان می‌دهد که مقدار رسوب برآورد شده با استفاده از نقشه رقومی ارتفاعی با دقت مکانی ۳۰×۳۰ متر، کمتر از سایر نقشه‌هاست. همچنین، مقایسه کلی نتایج آماره‌های ارزیابی مدل نیز نشان می‌دهد که برخلاف رواناب در بخش رسوب تفاوت‌های معنی‌دارتری مشاهده می‌شود. تفاوت این امر می‌تواند در رابطه با تعداد کم داده‌های رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری گالیکش در مقایسه با مقادیر دبی باشد. دلیل دیگر می‌تواند در رابطه با حذف پارامترهای متأثر از اندازه سلولی نقشه DEM و همچنین، پارامترهای متأثر از فیزیوگرافی حوضه در واسنجی به‌منظور ارزیابی نقشه رقومی ارتفاعی باشد. از جمله این پارامترها، شیب آبراهه، نسبت عرض آبراهه به عمق

آن، درجه شیب و طول شیب زیرحوضه‌ها هستند که در برآورد رسوب، انتقال و قدرت حمل رسوب در آبراهه‌ها نقش مهمی دارند.

با توجه به مقادیر به‌دست آمده برای آماره‌های ارزیابی و همچنین، معیارهای عدم قطعیت p-factor و r-factor برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب در ایستگاه هیدرومتری گالیکش استان گلستان به‌طور کلی تفاوت قابل توجهی در این مقادیر در نقشه‌های مختلف DEM مشاهده نشد. این نتایج با یافته‌های Jayrani و همکاران (۲۰۱۱) در دو ایستگاه هیدرومتری پل‌چهر و دوآب تطابق داشته، با یافته‌های همین مطالعه در ایستگاه هیدرومتری دیناور متفاوت است. همچنین، این نتایج با یافته‌های Chaplot و همکاران (۲۰۰۵) و Lin و همکاران (۲۰۱۰) نیز مطابقت دارد.

جدول۷- مقادیر معیارهای ارزیابی مدل در برنامه SWAT-CUP

		رواناب		رسوب	
اندازه سلول	معیار	واسنجی	اعتبارسنجی	واسنجی	اعتبارسنجی
۳۰ متر	NS	۰/۶۳	۰/۶۱	۰/۶۹	۰/۶۴
	R2	۰/۶۳	۰/۶۵	۰/۷۰	۰/۸۱
	r-factor	۰/۴۲	۰/۷۸	۰/۴۸	۰/۹۰
	p-factor	۰/۵۱	۰/۸۴	۰/۵۱	۰/۸۲
۹۰ متر	NS	۰/۶۳	۰/۶۱	۰/۶۸	۰/۶۳
	R2	۰/۶۳	۰/۶۴	۰/۶۹	۰/۷۹
	r-factor	۰/۴۴	۰/۸۰	۰/۴۵	۰/۹۲
	p-factor	۰/۵۰	۰/۸۲	۰/۴۹	۰/۸۷
۱۰۰۰ متر	NS	۰/۶۲	۰/۶۰	۰/۶۷	۰/۶۰
	R2	۰/۶۲	۰/۶۴	۰/۶۷	۰/۷۶
	r-factor	۰/۴۲	۰/۸۱	۰/۴۲	۰/۸۸
	p-factor	۰/۵۰	۰/۸۳	۰/۵۰	۰/۸۹

در جدول ۸، مقادیر سالانه رواناب و رسوب شبیه-سازی شده آورده شده است. با توجه به نتایج، برای دوره ۲۷ ساله مشاهده شد که با افزایش اندازه سلولی نقشه رقومی ارتفاعی، میزان رواناب تفاوت چندانی نداشته، اما مقدار رسوب برآوردشده کاهش یافته است. نتایج این بخش نیز با یافته‌های Ghafari (۲۰۱۱)، Smith (۲۰۰۶) و Chaubey و همکاران (۲۰۰۵) مطابقت دارد.

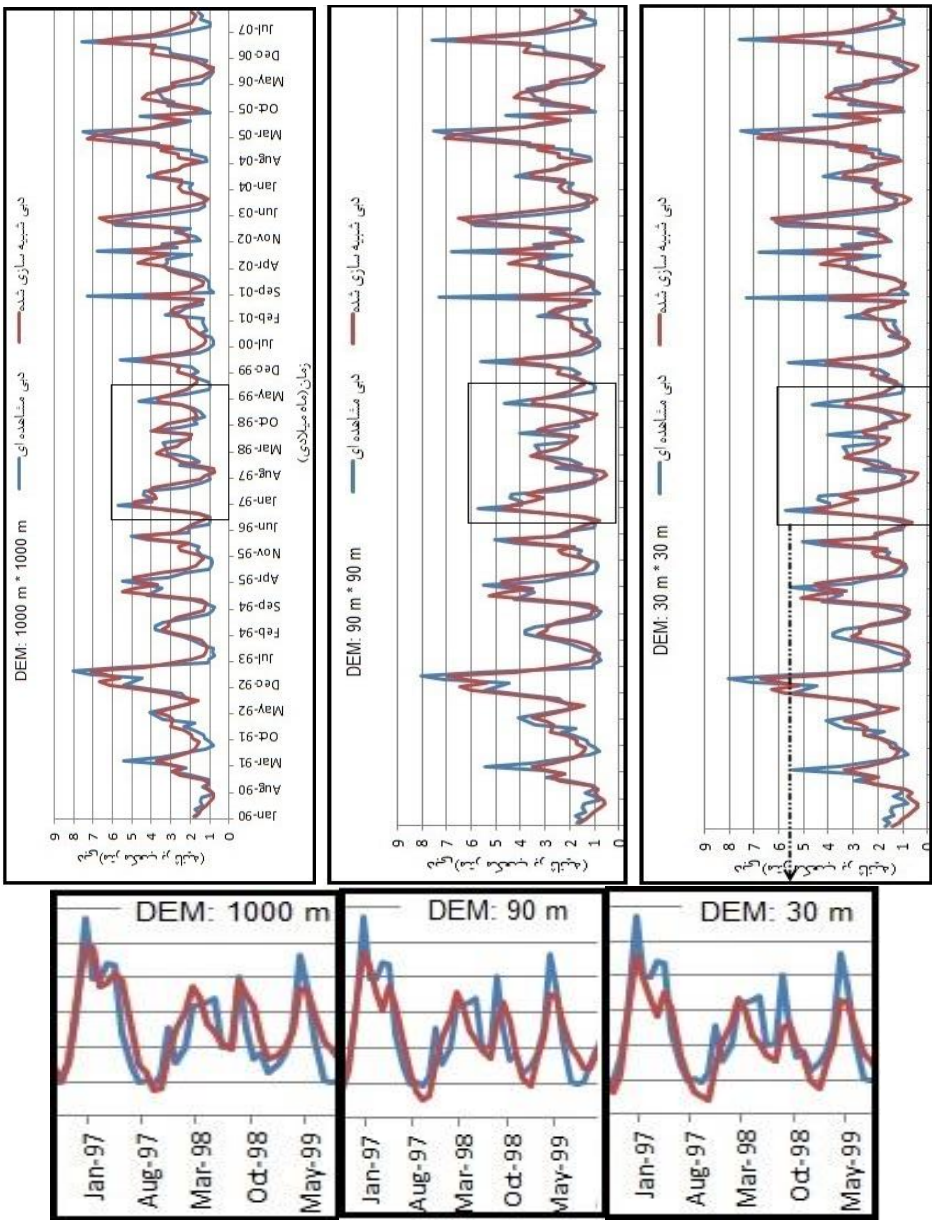
نتیجه‌گیری

این پژوهش، در راستای بررسی اثر انواع مدل‌های رقومی ارتفاعی بر روی شبیه‌سازی رواناب و رسوب آبخیز گالیکش استان گلستان با استفاده از مدل SWAT انجام شده است. برای واسنجی و اعتبارسنجی و همچنین، برآورد رواناب و رسوب، از مدل SWAT-CUP استفاده شد که در این قسمت با کنار گذاشتن پارامترهایی که به‌طور مستقیم تحت تأثیر نقشه رقومی ارتفاع قرار دارند، واسنجی انجام شد تا تأثیر تغییر دقت مکانی DEM بر سایر پارامترها ارزیابی شود. نتایج این تحقیق به‌طور کلی از قرار زیر است.

نتایج این پژوهش در بخش شبیه‌سازی رواناب به‌طور کلی در هر سه نقشه مدل رقومی ارتفاعی نتایج تقریباً مشابهی به همراه داشت. مقدار ضریب ناش-ساتکلیف به‌عنوان تابع هدف برای اندازه‌های سلولی ۳۰، ۹۰ و ۱۰۰۰ متر به‌ترتیب ۶۳، ۶۳ و ۶۲ درصد به‌دست آمد که علت این امر را می‌توان در استفاده از منطق مدل‌سازی معکوس دانست (Jayrani و همکاران، ۲۰۱۱). دلیل این امر، ویژگی عدم یکتایی مدل‌سازی معکوس است. به‌عبارتی در مدل‌سازی معکوس، یک مشاهده (خروجی) ارائه می‌شود که می-تواند از طریق چندین مجموعه پارامتر تولید شود (Abbaspour، ۲۰۰۹).

جدول ۸- میزان رواناب و رسوب سالانه حوضه

سایز	تعداد HRU	ارتفاع رواناب (mm)	غلظت رسوب (tha^{-1})
۳۰ متر	۲۵۲	۱۱/۲۳	۹/۱۸
۹۰ متر	۲۶۲	۱۱/۳۰	۸/۹۷
۱۰۰۰ متر	۲۸۷	۱۱/۳۹	۸/۸۳



شکل ۵- نمودار شبیه‌سازی رواناب با استفاده از دقت‌های مختلف نقشه DEM

در بخش شبیه‌سازی رسوب، نتایج اندکی حساس‌تر و با تغییرات بیشتری همراه بود. به‌طوری که مقدار تابع ناش-ساتکلیف به‌عنوان تابع هدف برای اندازه‌های سلولی ۳۰، ۹۰ و ۱۰۰۰ متر، به‌ترتیب ۶۹، ۶۸ و ۶۷ درصد به‌دست آمد. همچنین، مقادیر رسوب نیز در این اندازه‌های سلولی به‌ترتیب ۹/۱۸ ، ۸/۹۷ و ۸/۸۳ تن در هکتار در سال به‌دست آمد که مشاهده می‌شود با بزرگ‌شدن اندازه‌های سلولی مقادیر رسوب نیز افزایش یافته است. این تغییرات، می‌تواند به این دلیل باشد که پارامترهایی که در مرحله واسنجی برای ارزیابی اثر اندازه سلولی نقشه DEM کنار گذاشته شدند، تأثیر بیشتری در شبیه‌سازی فرسایش و انتقال

رسوب دارند. از جمله این پارامترها که می‌تواند نقش بسیار مهمی در حمل رسوب داشته باشند، شیب آبراهه است. این نتیجه در نتایج پژوهش Wang و همکاران (۲۰۱۰) نیز مشاهده می‌شود.

با توجه به این‌که مدل SWAT مولفه‌هایی مانند جریان آب سطحی، زیرزمینی، تبخیر و تعرق و سایرمؤلفه‌ها را جداگانه شبیه‌سازی و در نهایت با هم جمع می‌کند، امکان کنترل مستقیم مولفه‌های جریان وجود نخواهد داشت، به‌خصوص در مواقعی که واسنجی رواناب و رسوب مد نظر است. این مساله ضرورت کمترین تجهیز حوضه‌های معرف را برای تنوع در داده‌برداری جریان تأکید می‌کند.

پیشنهادات

پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آتی از نقشه‌های DEM با دقت‌های بیشتر استفاده شود تا با نتایج این پژوهش مقایسه و بهترین و دقیق‌ترین DEM برای پژوهش‌های دیگر به محققان معرفی شود.

منابع مورد استفاده

1. Abbaspour, K.C. 2009. SWAT-CUP, SWAT calibration and uncertainty programs. Version 2 (user manual), EAWAG, 105 pages.
2. Abbaspour, K.C. 2007. User manual for SWAT-CUP SWAT calibration and uncertainty analysis programs. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, 95 pages.
3. Akbari, A., A. Abu Samah and F. Othman. 2012. Integration of SRTM and TRMM data into the GIS-based hydrological model for the purpose of flood modeling. Hydrology and Earth System Sciences, 7: 4747–4775.
4. Chang, K.T and B.W. Tsai. 1991. The effect of DEM resolution on slope and aspect mapping. Cartography and Geographic Information Science, 18: 69–77.
5. Chaplot, V., A. Saleh, D.B. Jaynes and J. Arnold. 2004. Predicting water sediment and NO3-N loads under scenarios of land-use and management practices in a flat watershed. Water Air and Soil Pollution, 154(1–4): 271–293.
6. Chaplot, V. 2005. Impact of DEM mesh size and soil map scale on SWAT runoff, sediment and NO3-N load prediction. Journal of Hydrology, 312: 207-222.
7. Chaubey, I., A.S. Cotter, T.A. Costello and T.S. Soerens. 2005. Effect of DEM data resolution on SWAT output uncertainty. Hydrological Processes, 19: 621–628.
8. Faiznya, S. 2008. Applied geology with an emphasis on soil erosion and the sediment production. Gorgan University of Agriculture Sciences and Natural Resources, 356 pages (in Persian).
9. Jayrani, F., S. Marid and A. Moridi. 2011. Impact of DEM cell size on calibration and predictions of runoff and sediment, using SWAT-CUP. Journal of Water and Soil Conservation, 18(4): 81-102 (in Persian).
10. Jha, M., P.W. Gassman, S. Secchi, R. Gu and J. Arnold. 2004. Effect of watershed subdivision on SWAT flow, sediment and nutrient predictions. Journal of the American Water Resources Association, 40(3): 811-825.
11. Ghafari, G. 2011. The impact of DEM resolution on runoff and sediment modelling result. Research Journal of Environmental Sciences, 5(8): 691-702.
12. Li, K.Y., M.T. Coe, N. Ramankutty and R. DeJong. 2007. Modeling the hydrological impact of land-use change in West Africa. Journal of Hydrology, 337: 258-268.
13. Lin, S., C. Jing, V. Chaplot, X. Yu, Z. Zhang, N. Moore and J. Wu. 2010. Effect of DEM resolution on SWAT outputs of runoff, sediment and nutrients. Hydrology and Earth System Sciences Discussions, 7: 4411–4435.
14. Mello, C.R., M.R. Viala, L.D. Norton, A.M. Silva and F.A. Weimar. 2008. Development and application of a simple hydrologic model simulation for a Brazillian headwater basin. Catena, 75: 235-247.
15. Narayan, K.Sh., P.C. Shakti and G. Pabitra. 2010. Calibration and validation of SWAT model for low lying watersheds: a case study on the Kliene Nete Watershed, Belgium. HYDRO Nepal Journal, l6: 46-51.
16. Neitsch, S.L., J.G. Arnold, J.R. Kiniri and J.R. Williams. 2005. Soil and water assessment tool theoretical documentation, version 2005. Grassland, Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, 476 pages.
17. Pradhan, N.R., F.R. Ogden, Y. Tachikawa and K. Takara. 2008. Scaling of slope, upslope area and soil water deficit: Implications for transferability and regionalization in topographic index modeling. Water Resources Research, 44: W12421.

18. Refahi, H.GH. 2003. Water erosion and its control. Tehran University Publications, 671 pages (in Persian).
19. Rostamian, R., S.F. Mosavi, M. Haidarpour, M. Afioni and K. Abbaspour. 2006. Assessment of runoff and sediment in Beheshtabad Watershed, Northern Karun by SWAT 2000. MSc Thesis, Faculty of Irrigation and Drainage, Isfahan University of Technology, 192 pages (in Persian).
20. Sadeghi, S.H.R. and B. Yasrebi. 2009. Soil and water conservation in watershed forest. Tehran Publications, 107 pages (in Persian).
21. Setegn, S.G., R. Srinivasan and B. Dargahi. 2008. Hydrological modelling in the lake Tana Basin, Ethiopia using SWAT model. The Open Hydrology Journal, 2: 29-62.
22. Smith, P.A., J. Xing Zhu and E. Burt. 2006. The effects of DEM resolution and neighborhood size on digital soil survey. Geoderma, 137: 58-69
23. Wang. X. and Q. Lin. 2010. Effects of DEM mesh size on AnnAGNPS simulation and slope correction. Environmental Monitoring and Assessment, DOI 10.1007/s10661-7-1734-010.
24. Yang, J., P. Reichert, K.C. Abbaspour, J. Xia and H. Yang. 2008. Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to the Chaohe Basin in China. Journal of Hydrology, 358: 1–23.

DOI: 10.22092/ijwmse.2019.118433

Assessment of the impacts of different Digital Elevation Models on runoff and suspended sediment estimations using SWAT model, case study: Galikesh Watershed, Golestan Province

Ayyub Moradi[*1], Ali Najafi Nejad[2], Majid Ownegh[3] and Choghi Bairam Komaki[4]

[1] MSc, Faculty of Rangeland and Watershed, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, [2] Associate Professor, Faculty of Rangeland and Watershed, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran, [3] Professor, Faculty of Rangeland and Watershed, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran and [4] Assistant Professor, Faculty of Rangeland and Watershed, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran

Received: 26 June 2016 Accepted: 14 November 2016

Abstract

Simulation of runoff and sediment in watersheds require different modelling approaches, each provided for certain condition. Semi-distributed hydrological model (SWAT model) is one of the most widely used modelling approaches in this context. Among the most important spatial information needed by SWAT model, is the map of Digital Elevation Model (DEM) which plays an important role in the model results for the exploration of hydrographic properties of watersheds, estimation of the spatial distribution of runoff and sediment load and its accuracy. The aim of this study was to evaluate the effect of different DEM on runoff and suspended sediment in Galikesh Watershed, Golestan Province. For this purpose, three types of DEM with the spatial resolutions of 30, 90 and 1000 meters were selected and for a period of 27 years, SWAT model was implemented. The SWAT-CUP software and SUFI2 method were used for the model calibration and validation. Nash-Sutcliffe (NS) criterion for discharge and in the calibration phase (1990-2007) for the resolutions of 30, 90 and 1,000 meters, was obtained 0.63, 0.63 and 0.62, respectively, and for suspended sediment was obtained 0.69, 0.68 and 0.67, respectively which is considered satisfactory, given the presumed numerical ranges acquired from the previous studies. The amounts of watershed annual runoff for the resolutions of 30, 90 and 1000 meters, were 11.23, 11.30 and 11.39, respectively. The results showed that the use of different types of DEM would result in essentially similar results in runoff and sediment estimations, although changes in suspended sediment was slightly overestimated. This is attributable to the inverse modelling logic and lack of considering the parameters which arise directly from the DEM map. In conclusion, due to data limitations in the SWAT model calibration, the DEM used to simulate the runoff did not have much impact on runoff and sediment estimations.

Keywords: DEM, Runoff, Semi-distributed, Simulation, SUFI2 method, Suspended sediment, SWAT–CUP software

[*] Corresponding author: ayyub.moradi@gmail.com