



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گزن

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

جلد هجدهم، شماره چهارم، ۱۳۹۰

<http://jwfst.gau.ac.ir>

اثر دقت مکانی نقشه رقومی ارتفاع در واسنجی و برآورد رواناب و رسوب با استفاده از مدل SWAT-CUP

فرزین جیرانی^۱، سعید مرید^{۲*} و علی مریدی^۳

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد مهندسی منابع آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، دانشیار گروه مهندسی

منابع آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس، ^۲عضو هیات‌علمی مرکز تحقیقات منابع آب وزارت نیرو

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۱/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۷/۱۰

چکیده

مدل‌های مفهومی هیدرولوژیکی مانند SWAT به دلیل اتکا به پارامترهای متعدد، نیازمند اطلاعات مختلف و در نتیجه صرف وقت زیاد جهت واسنجی هستند. از جمله مهم‌ترین اطلاعات مورد نیاز، مدل رقومی ارتفاع یا DEM است که دقت مکانی آن در ترسیم حوضه و شبیه‌سازی مدل مؤثر می‌باشد و از طرفی تهیه نقشه DEM با دقت مکانی بالا بسیار پرهزینه است. در این پژوهش تلاش شد تا اثر اندازه سلول‌های نقشه رقومی ارتفاع بر مقادیر پارامترها و نتایج نهایی برآورد رواناب و رسوب مدل SWAT در مقیاس حوضه‌ای مورد ارزیابی قرار گیرد. به این منظور از سه DEM با اندازه سلولی ۵۰، ۹۰ و ۱۰۰۰ متر برای شبیه‌سازی روزانه رواناب و رسوب در سطح حوضه آبریز گاماسیاب استفاده شد. با توجه به اهداف پژوهش، پارامترهایی که به‌طور مستقیم از نقشه DEM به دست می‌آیند مانند شیب زیرحوضه‌ها و شیب آبراهه‌ها، در واسنجی دخالت داده نشدند تا تأثیر تغییر آن‌ها در سایر پارامترها ارزیابی گردد. واسنجی مدل با استفاده از نرم‌افزار SWAT-CUP انجام شد که از روش مدل‌سازی معکوس استفاده می‌کند. نتایج نشان داد که استفاده از دقت‌های مختلف DEM نتایج نسبتاً یکسانی را برای برآورد رواناب و رسوب در منطقه مطالعاتی به همراه دارد، هرچند تغییرات در برآورد رسوب بیشتر بود. علت این شباهت در نتایج را می‌توان مربوط به منطق مدل‌سازی معکوس در مرحله

*مسئول مکاتبه: s_morid@hotmail.com

واسنجی دانست که سری مشاهدات داده شده می‌تواند از طریق چندین مجموعه پارامتر شبیه‌سازی گردد. در مجموع نتایج نشان داد که با توجه به محدودیت در نوع اطلاعات در مرحله واسنجی، تفاوت چندانی در نتایج شبیه‌سازی‌های رواناب و رسوب به‌واسطه استفاده از این سه DEM مختلف مشاهده نمی‌شود.

واژه‌های کلیدی: مدل SWAT، دقت نقشه رقومی ارتفاع (DEM)، حوضه گاماسیاب، برآورد پارامترها

مقدمه

فرسایش حوضه‌های آبریز و بار رسوب رودخانه‌ها، از چالش‌های جدی مدیریت منابع آب کشور است که تبعات منفی در بهره‌برداری از تأسیسات آبی و سدها دارد. از طرفی مقدار رواناب، فرسایش و انتقال رسوب بسته به شرایط هیدرولوژیکی، خاک و پوشش در سطح حوضه تغییر می‌کند و این باعث می‌گردد که شبیه‌سازی فرایندهای فوق نیازمند ارائه اطلاعات لازم از چگونگی تغییرات مکانی این عوامل باشد. در این رابطه با توجه به توسعه مدل‌هایی با استفاده از امکانات سیستم اطلاعات جغرافیایی^۱ (GIS)، دقت مکانی لایه‌های معرفی شده می‌تواند اهمیت داشته باشد و انتخاب مناسب اندازه سلولی در نقشه‌های رقومی را ضرورت می‌بخشد.

به‌منظور شبیه‌سازی فرایند رواناب، فرسایش و انتقال رسوب، مدل‌های مختلفی توسعه یافته است. یکی از پر کاربردترین مدل‌های هیدرولوژیکی فیزیک مبنا مدل SWAT^۲ می‌باشد (تاپاد و همکاران، ۲۰۱۰ و لی و همکاران، ۲۰۱۰). از ویژگی‌های این مدل، توزیعی^۳ بودن آن و قابلیت اتصال به GIS است. بنابراین به‌کارگیری اطلاعات مکانی را در مدل‌سازی‌ها لازم می‌سازد. از جمله اطلاعات مکانی مورد نیاز، نقشه رقومی ارتفاعی^۴ (DEM) است که در استخراج مشخصات فیزیوگرافی حوضه، برآورد توزیع مکانی رواناب و بار رسوب نقش دارد. به‌خصوص در مواردی که انجام اقدامات مدیریتی و کنترل رواناب و رسوب در موقعیت‌های مختلف در سطح حوضه موردنظر می‌باشد، انتخاب دقت مناسب این نقشه اهمیت بیشتری خواهد داشت. مدل رقومی ارتفاع می‌تواند با دقت‌های مختلف برای

1- Geographic Information System

2- Soil and Water Assessment Tool

3- Distributed

4- Digital Elevation Model

یک منطقه تهیه شود. دقت بالا نقشه رقومی ارتفاع تخمین‌های دقیق‌تری از مشخصات فیزیوگرافی حوضه را به همراه دارد، اما تهیه چنین نقشه‌هایی بسیار پرهزینه است (چپلات و همکاران، ۲۰۰۴). در بررسی اثر دقت DEM در مدل SWAT می‌توان به پژوهش فیتزهاگ و مک‌کی (۲۰۰۰) اشاره کرد که تغییرات تخمین رسوب مدل را مورد بررسی قرار دادند. تامپسون و همکاران (۲۰۰۱) در پژوهشی به این نتیجه رسیدند که خطاهای بزرگ در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، اغلب به دلیل تخمین اشتباه ارتفاع عوارض و شیب اتفاق می‌افتد. چپلات (۲۰۰۵) با بررسی اثرات نقشه‌های رقومی ارتفاعی با دقت‌های متفاوت در برآورد رواناب و رسوب مدل SWAT، دقت مناسب نقشه DEM را برای حوضه‌ای در آمریکا پیشنهاد کرد. مروری بر تحقیقات صورت گرفته در مورد عدم قطعیت‌های مربوط به خطا در نقشه رقومی ارتفاع و انتشار خطا در برآورد پارامترها را نیز می‌توان در مقاله وچسلر (۲۰۰۷) مطالعه کرد. وئو و همکاران (۲۰۰۸) در ارزیابی اثر استفاده از دقت‌های مختلف نقشه رقومی ارتفاع در مدل‌سازی منابع آب توسط سیستم اطلاعات جغرافیای مشاهده نمودند که به دلیل ارتباط و برهم‌کنش پارامترهای مدل و فاکتورهای مکانی، اثرات کاربرد نقشه‌های مختلف DEM در مدل‌سازی، می‌تواند با انجام واسنجی جبران شود.

واسنجی مدل SWAT از مراحل مهم و زمان‌گیر مدل‌سازی است. به منظور تسریع مراحل واسنجی و نیز ارزیابی عدم قطعیت نتایج مدل، نرم‌افزار SWAT-CUP توسط عباس‌پور (۲۰۰۹) توسعه یافت که از روش‌شناسی‌های متنوعی از جمله الگوریتم SUFI¹ برای واسنجی پارامترها استفاده می‌کند. عباس‌پور و همکاران (۲۰۰۷) با استفاده از روش SUFI عدم قطعیت نتایج برآورد رواناب و رسوب توسط مدل SWAT را در باندهای اطمینان ۹۵ درصد بررسی نموده و نتایج خوبی را برای برآورد رسوب با این مدل گزارش کردند. طالبی‌زاده و همکاران (۲۰۰۹) نتایج برآورد رسوب توسط مدل SWAT را با استفاده از نرم‌افزار SWAT-CUP و روش SUFI بررسی و پارامترهای حساس در واسنجی را تعیین نمودند و مشاهده کردند که عدم قطعیت نتایج در داخل باندهای اطمینان ۹۵ درصد تطابق خوبی با مقادیر مشاهده‌ای داشته است.

با توجه به مقدمه بالا، هدف این پژوهش بررسی اثر اندازه سلول‌های نقشه رقومی ارتفاع بر نتایج شبیه‌سازی رواناب و رسوب مدل SWAT در مقیاس حوضه‌ای است. همچنین اثر این اطلاعات بر

نحوه واسنجی و عدم قطعیت مربوطه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. برای این منظور با استفاده از سه نقشه رقومی ارتفاعی موجود با اندازه سلولی ۵۰، ۹۰ و ۱۰۰۰ متر که امروزه کاربرد زیادی دارند، مدل‌سازی برای حوضه آبریز گاماسیاب انجام می‌شود. از طرفی به دلیل این‌که شبیه‌سازی فرآیند رسوب، مستقل از شبیه‌سازی فرآیند رواناب حوضه نیست، این دو به‌طور هم‌زمان با استفاده از داده‌های مشاهداتی در سه ایستگاه واقع در حوضه شبیه‌سازی می‌شوند که بر پیچیدگی‌های مساله می‌افزاید.

مواد و روش‌ها

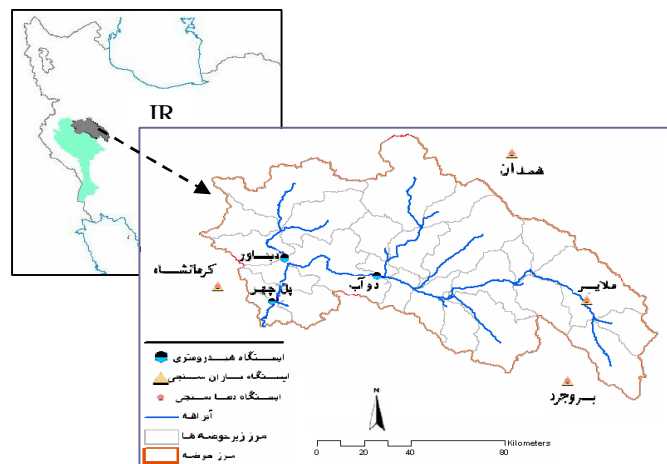
منطقه مطالعاتی: رودخانه گاماسیاب یکی از سرشاخه‌های مهم کرخه است و حوضه آبریز آن با مساحتی در حدود ۱۱۵۰۰ کیلومترمربع بین طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۷ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی واقع شده است. ارتفاع از سطح دریا در این حوضه بین ۱۲۰۰ تا ۳۵۰۰ متر می‌باشد. رودخانه گاماسیاب از به هم پیوستن رودهای سرچشمه گرفته از ارتفاعات الوند در شمال و ارتفاعات گرین در جنوب حوضه شکل گرفته و به سمت استان کرمانشاه و خروجی حوضه امتداد می‌یابد. در مسیر برخی آبراهه‌های حوضه ایستگاه‌های هیدرومتری تأسیس شده که اندازه‌گیری جریان و در برخی از آن‌ها اندازه‌گیری بار معلق رسوب انجام می‌شود. در این مطالعه داده‌های اندازه‌گیری شده دبی روزانه و نیز نمونه‌برداری‌های نامنظم رسوب در طول سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۰۴ در سه ایستگاه هیدرومتری دوآب، دیناور و پل چهر تهیه و مورد استفاده قرار گرفت. اطلاعات بارش و دما نیز از ۴ ایستگاه سینوپتیک بروجرد، ملایر، همدان و کرمانشاه تهیه گردید. موقعیت کلیه ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی مورد استفاده در شکل ۱ و مشخصات آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است.^۱

۱- مدل SWAT اطلاعات مورد نیاز هواشناسی برای شبیه‌سازی‌های خود در هر زیر حوضه را از نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به آن زیرحوضه کسب می‌کند و در صورت کمبود اطلاعات در یک ایستگاه هواشناسی، مدل اطلاعات مورد نیاز را از دیگر ایستگاه هواشناسی که نزدیک‌تر است، تأمین می‌نماید. بنابراین برای تطبیق دوره‌زمانی ایستگاه‌ها، بازسازی آماری صورت نگرفته است.

فرزین جیرانی و همکاران

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری استفاده شده در این پژوهش.

ارتفاع (متر)	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	دوره آماری (سال میلادی)			نام ایستگاه	نوع ایستگاه
			تعداد داده‌های بار معلق رسوب در طول دوره	دبی	بارش و دما		
۱۶۲۹	۴۸° ۵۴'	۳۳° ۵۵'	-	-	۱۹۸۹-۲۰۰۴	بروجرد	هواشناسی سینوپتیک
۱۷۷۸	۴۸° ۵۰'	۳۴° ۱۵'	-	-	۱۹۹۲-۲۰۰۴	ملایر	
۱۷۴۱	۴۸° ۳۱'	۳۴° ۵۲'	-	-	۱۹۸۴-۲۰۰۴	همدان	
۱۳۱۹	۴۷° ۸'	۳۴° ۲۱'	-	-	۱۹۸۴-۱۹۸۶ و ۱۹۹۲-۲۰۰۴	کرمانشاه	
۱۴۱۰	۴۷° ۵۴'	۳۴° ۲۲'	۱۵۱	۱۹۸۴-۲۰۰۴	-	دوآب	هیدرومتری
۱۳۱۰	۴۷° ۲۷'	۳۴° ۲۶'	۱۹۸	۱۹۸۴-۲۰۰۴	-	دیناور	
۱۲۸۰	۴۷° ۲۶'	۳۴° ۲۰'	۲۱۲	۱۹۸۴-۲۰۰۴	-	پل چهر	



شکل ۱- موقعیت حوضه آبریز گاماسیاب در جنوب غربی کشور، آبراهه‌ها و ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی منطقه.

برآورد رواناب و رسوب: در مدل SWAT اصلی‌ترین معادله در برآورد رواناب، معادله بیلان آب می‌باشد. رواناب سطحی با روش شماره منحنی SCS برای هر واحد واکنش هیدرولوژیکی^۱ (HRU)

1- Hydrologic Response Unit

شبیه‌سازی شده و سپس کل رواناب حاصل برای حوضه روندیابی می‌شود. معادله مانینگ تعیین‌کننده سرعت جریان در آب‌راهه است و روش ماسکینگ‌هام یا ذخیره متغیر برای روندیابی مورد استفاده قرار می‌گیرد (نیتچ و همکاران، ۲۰۰۵).

شبیه‌سازی تولید رسوب در مدل براساس معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک MUSLE^۱ انجام می‌شود. بر این اساس برای هر روز با بارندگی و رواناب مشخص، تولید رسوب برای هر HRU در حوضه مطابق روابط زیر محاسبه می‌گردد (نیتچ و همکاران، ۲۰۰۵)؛

$$Y = 11.8(Q \times Area \times q_{peak})^{0.56} K \times C \times P \times LS \times R \quad (1)$$

$$q_{peak} = (c \times i \times Area) / 3.6 \quad (2)$$

در روابط بالا، Y تولید رسوب بر حسب تن، Q حجم رواناب بر حسب مترمکعب، q_{peak} دبی پیک بر حسب مترمکعب در ثانیه، K فاکتور فرسایش‌پذیری خاک، C فاکتور پوشش و مدیریت، P فاکتور اقدامات حفاظتی، LS فاکتور توپوگرافیک (درجه شیب، طول شیب) و R فاکتور زبری قطعات است، i شدت بارش بر حسب میلی‌متر در ساعت، c ضریب رواناب، Area مساحت زیرحوضه بر حسب کیلومترمربع و $3/6$ ضریب تبدیل واحد کیلومتر بر ساعت به واحد متر بر ثانیه است. در نسخه SWAT-2005 ظرفیت انتقال رسوب در کانال تابعی از سرعت حداکثر جریان در آن می‌باشد و بر طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود؛

$$T_{ch} = a \times v^b \quad (3)$$

که T_{ch} ماکزیمم مقدار رسوب است که می‌تواند توسط کانال حمل شود (بر حسب تن در مترمکعب)، a و b ضرایب ثابت معادله‌اند و v سرعت حداکثر کانال بر حسب متر بر ثانیه است (نیتچ و همکاران، ۲۰۰۵).

الگوریتم روش **SUFI-2**: در روش SUFI-2 سنجش میزان عدم قطعیت در مدل‌سازی شامل عدم قطعیت در ورودی‌ها (بارندگی)، مدل مفهومی، پارامترها و داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد و توسط معیار p-factor ارزیابی می‌گردد که بیانگر درصد داده‌های اندازه‌گیری شده که درون باند عدم قطعیت ۹۵ درصد (95PPU) قرار گرفته‌اند می‌باشد. معیار 95PPU با استفاده از نمونه‌برداری به روش

1- Modified Universal Soil Loss Equation

نمونه‌گیری لاتین‌هایپرکیوب^۱ و حذف ۵ درصد شبیه‌سازی‌های بسیار بد، به دست می‌آید. شکل ۲ شماتیک عدم قطعیت در روش SUFI-2 را نشان می‌دهد.



شکل ۲- رابطه بین عدم قطعیت در پارامترهای ورودی و عدم قطعیت در خروجی مدل (عباسپور، ۲۰۰۹).

همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است، وجود یک مقدار برای پارامتر ورودی نشان داده شده با نقطه باعث تولید یک مقدار برای خروجی می‌شود (شکل ۲- الف) ولی وجود عدم قطعیت در یک پارامتر باعث ایجاد یک باند عدم قطعیت می‌گردد (شکل ۲- ب). با افزایش میزان عدم قطعیت در ورودی، مقدار آن در خروجی نیز افزایش خواهد یافت (شکل ۲- ج). رسم باندهای عدم قطعیت ۹۵ درصد به همراه مقادیر مشاهده شده، می‌تواند در تعیین و انتخاب صحیح حدود در نظر گرفته شده برای پارامترهای ورودی، مورد استفاده قرار گیرد. به‌عنوان مثال اگر وضعیت شکل (۲- د) رخ دهد، در آن صورت حدود در نظر گرفته شده برای پارامتر ورودی باید در جهت مناسب تغییر داده شود. روش SUFI ابتدا برای پارامترهای مدل حدود بزرگی را در نظر می‌گیرد تا تمام مقادیر مشاهده شده درون باند عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار گیرند، سپس محدوده مربوط به پارامترها را به‌نحوی تغییر می‌دهد که اولاً بیشتر مقادیر مشاهده شده بین باندهای عدم قطعیت قرار گیرند و ثانیاً متوسط فاصله بین باندهای بالا و پایین مقدار کوچکی باشد. اگر چنانچه مقادیر مشاهده شده با دقت بالایی اندازه‌گیری شده باشند، قرار گرفتن ۸۰ درصد از مقادیر مشاهده شده بین باندهای عدم قطعیت و چنانچه مقادیر اندازه‌گیری شده از دقت پایینی برخوردار باشند، قرار گرفتن ۵۰ درصد از مقادیر مشاهده شده درون باندهای عدم قطعیت کفایت می‌کند (عباس‌پور، ۲۰۰۹).

1- Latin Hypercube Sampling

الگوریتم بهینه‌سازی در روش SUFI به‌صورتی است که در گام نخست یک تابع هدف تعریف می‌شود. در این روش می‌توان برای انجام واسنجی تابع هدف را یک متغیره (دبی جریان)، یا چند متغیره (دبی جریان و رسوب و مواد مغذی) معرفی کرد. گام بعد اختصاص محدوده‌های مجاز برای هر پارامتر می‌باشد. در تعیین حدود اولیه بهتر است که حدود تا حد امکان بزرگ و در عین حال معنی‌دار باشند. سپس با در نظر گرفتن حدود اولیه، نمونه‌برداری به روش لاتین‌هاپرکیوب به تعداد نسبتاً زیاد انجام می‌گیرد و در هر بار نمونه‌گیری از حدود پارامترها، مقادیر انتخاب شده به مدل معرفی و اجرا می‌شود و مقدار تابع هدف محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد معیارهای سنجش عدم قطعیت p-factor و r-factor محاسبه می‌شوند. چنانچه \bar{d}_x برابر با میانگین فاصله بین دو باند بالا و پایین باشد داریم:

$$\bar{d}_x = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k (X_U - X_L)_j \quad (4)$$

که k تعداد داده‌های مشاهداتی است. در شرایط ایده‌آل مقدار \bar{d}_x کوچک و در حد صفر می‌باشد اما به دلیل وجود خطا در اندازه‌گیری و وجود عدم قطعیت‌های زیاد در مدل، چنین مقادیری برای آن به دست نخواهد آمد. مقدار معقول برای \bar{d}_x توسط پارامتری به نام r -factor تعیین می‌شود که برابر است با:

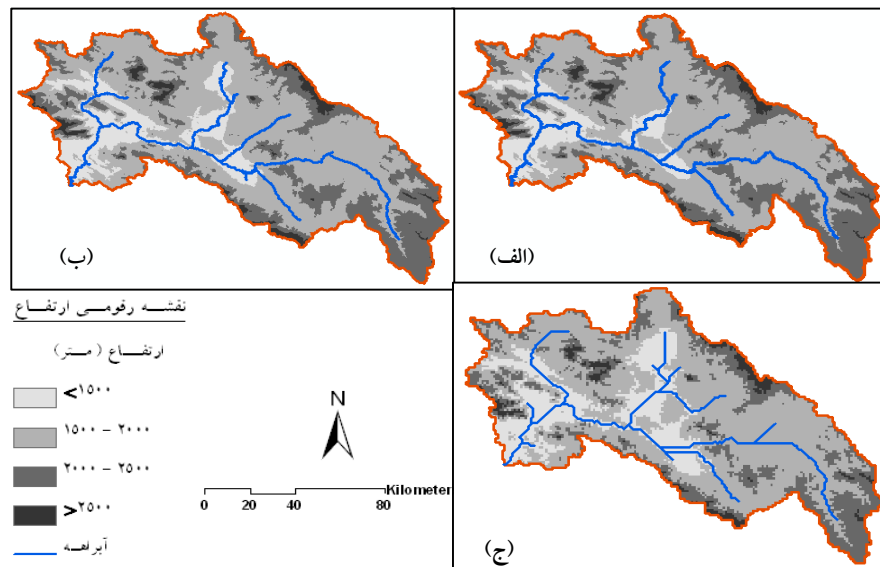
$$r\text{-factor} = \frac{\bar{d}_x}{\sigma_x} \quad (5)$$

در این رابطه σ_x انحراف معیار مربوط به متغیر اندازه‌گیری شده X می‌باشد. مقادیر کوچک‌تر از یک برای r -factor مطلوب هستند (عباس‌پور و همکاران، ۲۰۰۷؛ عباس‌پور، ۲۰۰۹).

مدل رقومی ارتفاع: همان‌گونه که قبلاً اشاره شد ویژگی‌های توپوگرافی حوضه از DEM استخراج می‌گردد. مواردی مانند تعداد، مساحت، شیب و طول شیب زیرحوضه‌ها، همچنین مسیر، طول و شیب آبراهه‌ها از آن به دست می‌آید. در این پژوهش با هدف بررسی اثرات دقت‌های مختلف نقشه رقومی ارتفاعی بر نتایج شبیه‌سازی رواناب و بار رسوب حوضه توسط مدل SWAT از سه نقشه DEM با دقت مکانی متفاوت و تهیه شده از منابع مختلف، استفاده شد که عبارتند از: نقشه DEM با اندازه‌های سلولی ۱۰۰۰×۱۰۰۰ متر تهیه شده توسط USGS^۱، ۹۰×۹۰ متر^۲، و ۵۰×۵۰ متر که توسط سازمان نقشه برداری کشور تهیه شده است. همچنین لایه‌های اطلاعاتی نقشه کاربری اراضی با دقت

1- US Geological Survey : <http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/hydro/index.html>
2- <http://srtm.csi.cgiar.org>

مکانی 1000×1000 متر تهیه شده توسط USGS¹ و نقشه خاک با دقت مکانی 10000×10000 متر تهیه شده توسط سازمان جهانی خوار و بار (FAO). حد آستانه مساحت در مدل‌سازی‌ها برای ترسیم زیرحوضه‌ها و آبراهه‌ها، 300 کیلومتر مربع در نظر گرفته شد. شبکه آبراهه‌ای جریان و مشخصات فیزیوگرافی حوضه و زیرحوضه‌های گاماسیاب برای نقشه‌های رقومی ارتفاعی مورد استفاده، در شکل ۳ و جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که از جدول ۲ هم قابل ملاحظه است، تغییر اندازه سلولی DEM روند یکسان کاهشی یا افزایشی را در نتایج به همراه ندارد. به‌عنوان مثال دقت مکانی 50 ، 90 و 1000 متر اندازه مساحت حوضه را به ترتیب مقادیر $11282/6$ ، $11465/2$ و 11531 کیلومترمربع به دست داده‌اند. چنین موردی در مرجع ۵ نیز اشاره شده است.



شکل ۳- نقشه‌های رقومی ارتفاعی و شبکه آبراهه‌های رسم شده برای اندازه سلولی الف) 50 متر، ب) 90 متر، ج) 1000 متر

1- <http://edcns17.cr.usgs.gov/glcc/glcc.html>

جدول ۲- مشخصه‌های ترسیم حوضه گاماسیاب تحت اثر نقشه‌های رقومی ارتفاعی مختلف.

مشخصه حوضه	دقت مکانی		
	۵۰ متر	۹۰ متر	۱۰۰۰ متر
ارتفاع			
حداکثر ارتفاع (متر)	۳۶۱۲	۳۶۱۸	۳۵۶۴
حداقل ارتفاع (متر)	۱۲۳۹	۱۲۳۶	۱۲۷۴
ارتفاع متوسط (متر)	۱۸۵۱/۵۲	۱۸۵۶/۱۷	۱۸۸۶/۲۳
انحراف معیار	۳۲۲/۵۹	۳۲۴/۵۳	۳۳۲/۶۲
شیب			
شیب متوسط حوضه (متر/متر)	۰/۱۸۰۸	۰/۱۷۴۹	۰/۰۹۰۹
شیب متوسط آبراهه اصلی (متر/متر)	۰/۰۰۳۶	۰/۰۰۳۷	۰/۰۰۳۵
مجموع طول آبراهه‌ها (کیلومتر)	۴۷۹/۱۶	۴۹۵/۱۹	۴۶۰/۵۹
خصوصیات			
مساحت حوضه (کیلومتر مربع)	۱۱۲۸۲/۶۴	۱۱۴۶۵/۲۳	۱۱۵۳۱
توپوگرافی			
تعداد زیرحوضه رسم شده توسط SWAT	۲۰	۲۲	۲۴
تعداد HRU در حوضه	۱۱۴	۱۱۶	۱۵۴

تفاوت‌های مقادیر مشخصه‌های ترسیم حوضه به‌خصوص در شیب متوسط زیرحوضه‌ها و مساحت حوضه مشاهده می‌شود. تغییرات این مشخصه‌ها الزاما با تغییر درشت‌نمایی نقشه‌های DEM هماهنگ نمی‌باشند که در پژوهش‌های چپلات (۲۰۰۵) نیز این مورد گزارش شده است.

نتایج و بحث

در این بخش به بررسی نتایج مدل‌سازی‌ها در شرایط استفاده از سه منبع DEM مورد استفاده در پژوهش پرداخته می‌شود. لازم به ذکر می‌باشد که برای ارزیابی از معیارهای ضریب تبیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطا^۱ و میانگین خطا مطلق^۲ استفاده شده است. بهترین و بدترین مقدار معیار ضریب تبیین به ترتیب یک و صفر می‌باشد و در مورد مجذور مربعات خطا و میانگین خطا مطلق نیز هرچه مقدار آن‌ها کوچک‌تر باشد بهتر است. بررسی‌های دیگر شامل بررسی عدم قطعیت نتایج مدل است و تعیین معیارهای مربوطه در نتایج هر یک از نقشه‌های رقومی ارتفاعی است که توسط روش SUFI انجام گردید.

1- RMSE

2- MAE

واسنجی و آنالیز عدم قطعیت مدل: به منظور شبیه‌سازی هیدرولوژیکی رواناب و بار رسوب، از طول کل دوره آماری ۲۱ ساله (سال ۱۹۸۴ تا سال ۲۰۰۴)، سال‌های ۱۹۸۴ تا ۱۹۹۷ برای واسنجی و ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۴ برای اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفت. واسنجی و اعتبارسنجی مدل با مدل SWAT-CUP و روش SUFI به انجام رسید. واسنجی مدل برای منطقه مطالعاتی، با استفاده از داده‌های مشاهداتی در سه ایستگاه دوآب، دیناور و پل‌چهر به‌طور هم‌زمان انجام شد. لازم به ذکر است که در این مرحله تنها پارامترهایی انتخاب شدند که متأثر از دقت نقشه DEM نباشند. پارامترهای انتخابی و محدوده در نظر گرفته شده برای واسنجی آن‌ها در جدول ۳ ارائه شده‌اند. تعیین محدوده هر پارامتر با توجه به دامنه تغییرات مجاز هر پارامتر، میزان تغییرات منطقی آن برای شرایط منطقه و به استناد تحقیقات قبلی مانند مطالعه عباس‌پور و همکاران (۲۰۰۷) که برای حوضه‌ای کوهستانی در کشور سوئیس انجام گرفت، بوده است.

برای انجام آنالیز عدم قطعیت از باندهای ۹۵ درصد و فاکتور p استفاده می‌شود که بیانگر درصدی از نتایج مدل است که در فاصله بین دو باند بالا و پایین عدم قطعیت قرار می‌گیرد. مقادیر بزرگ‌تر p نشانگر نتایج مطلوب‌تری می‌باشد. همچنین فاکتوری به نام r نیز محاسبه می‌شود که معیاری برای برآورد نزدیکی فاصله بین باندهای بالا و پایین عدم قطعیت است. برای بررسی عدم قطعیت مدل، توصیه می‌گردد که معیارهای p -factor و r -factor با هم در نظر گرفته شوند، برای p -factor مقادیر بزرگ‌تر از ۰/۵ مطلوب هستند و برای r -factor اگر مقادیر کمتر از ۱ باشد مطلوب می‌باشند (عباس‌پور و همکاران، ۲۰۰۷).

بهترین محدوده منتخب پارامترها: نتایج به‌دست آمده از اجرای SWAT-CUP و تعیین مقدار پارامترها در بهترین شبیه‌سازی در جدول ۴ ارائه شده است. محدوده مقادیر انتخاب شده برای پارامترهایی که تغییرات آن‌ها در زیرحوضه‌ها به‌صورت نسبی بوده (ضریب شماره منحنی CN و ظرفیت آب قابل دسترس خاک SOL_AWC) در هر یک از واحدهای واکنش هیدرولوژیکی ابتدا توسط مدل و با توجه به نقشه‌های رقومی ارتفاع، کاربری اراضی و مشخصات خاک محاسبه می‌شود و سپس این مقادیر اولیه به‌روش SUFI به‌صورت نسبی از مقدار اولیه تغییر کرده و پس از واسنجی مقدار مناسب آن‌ها تعیین می‌شود. ملاحظه می‌گردد که محدوده تغییرات به‌دست آمده برای ضریب CN زیرحوضه‌ها در نتایج واسنجی برای دقت‌های ۵۰ و ۱۰۰۰ متری نقشه رقومی ارتفاع، شبیه هستند و برای DEM ۹۰ متری این مقدار متفاوت است. در میان سایر پارامترها که محدوده مقادیر آن‌ها در

همه زیرحوضه‌ها به‌طور یکسان انتخاب شده است نیز محدوده پارامترهای ALPHA_BF، CH_K و GW_DELAY تفاوت‌هایی را در کاربرد دقت‌های مختلف نقشه DEM نشان می‌دهند.

جدول ۳- فهرست پارامترهای مدل SWAT واسنجی شده برای حوضه گاماسیاب و محدوده آن‌ها.

پارامترهای مؤثر	کد پارامتر در مدل SWAT-CUP	تعریف پارامتر	محدوده تغییرات پارامتر	دامنه انتخاب شده از جواب‌های مناسب توسط SWAT-CUP
	r ^a _CN2	شماره منحنی در روش SCS	۲۰ - ۹۰	-۰/۳ - ۰
رواناب و رسوب	r_SOL_AWC	ظرفیت آب قابل دسترس لایه خاک	۰ - ۱۰۰۰	-۰/۳ - ۰/۱
	v_CH_N2	ضریب مانینگ آبراهه اصلی	۰/۰۱ - ۰/۳	۰/۰۲ - ۰/۰۵
	v_ALPHA_BF	ضریب آلفا آب زیرزمینی	۰ - ۱	۰/۰۱ - ۰/۱
	v_GW_DELAY	زمان رسیدن آب از آخرین لایه خاک به سفره آب زیرزمینی	۰ - ۵۰۰	۰/۵ - ۲
رواناب	v_CH_K1	هدایت هیدرولیکی بستر آبراهه‌های فرعی	۵ - ۱۵۰	۵ - ۱۲
	v_CH_K2	هدایت هیدرولیکی بستر آبراهه اصلی	۰ - ۱۵۰	۳ - ۱۰
	v_SMTMP	دمای توده برف هنگامی که ذوب برف آغاز می‌گردد	-۵ - ۵	۲ - ۴
	v_SPCON	ضریب خطی برای محاسبه حداکثر مقدار رسوب	۰/۰۰۱ - ۰/۰۱	۰/۰۰۱ - ۰/۰۰۵
	v_USLE_P	فاکتور اقدامات حفاظتی	۰/۱ - ۱	۰/۴ - ۰/۸
	v_CH_COV	فاکتور پوشش آبراهه	۰ - ۱	۰/۴ - ۰/۷
رسوب	v_CH_EROD	فاکتور فرسایش پذیری آبراهه	۰ - ۰/۶	۰/۲ - ۰/۴
	v_ADJ_PKR	فاکتور تصحیح نرخ حداکثر روندیابی رسوب در آبراهه فرعی	۰/۲ - ۵	۱/۲ - ۱/۷

a: پیشوند r در پارامترها به معنا تغییر مقدار اولیه پارامتر با اعمال ضریب (+۱ مقدار تغییر) و پیشوند v به معنا جایگزینی پارامتر با مقدار جدید در انجام واسنجی است.

فرزین جیرانی و همکاران

جدول ۴- بهترین محدوده منتخب پارامترها .

بهترین مقدار انتخاب شده برای پارامتر			واحد	کد پارامتر در مدل SWAT
۵۰×۵۰	۹۰×۹۰	۱۰۰۰×۱۰۰۰		
۶۶ - ۷۶	۶۱ - ۷۰	۶۶ - ۷۶		CN2
۹۴ - ۱۷۱	۹۴ - ۱۶۸	۹۱ - ۱۶۵	میلی متر آب در متر خاک	SOL_AWC
۰/۰۳۵	۰/۰۴۰	۰/۰۳۰		CH_N2
۰/۰۵۵	۰/۰۸۸	۰/۰۸۷	روز	ALPHA_BF
۱/۲۵	۱/۴۵	۰/۵	روز	GW_DELAY
۸/۵	۷/۸	۵/۷	میلی متر بر ساعت	CH_K1
۶/۵	۳	۶/۷	میلی متر بر ساعت	CH_K2
۳	۳/۵۷	۲/۲۷	درجه سانتی گراد	SMTMP
۰/۰۰۳۰	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۴۳		SPCON
۱/۴۵	۱/۶۶	۱/۴۸		ADJ_PKR
۰/۵۵	۰/۵۲	۰/۶۹		CH_COV
۰/۳	۰/۲۲	۰/۲۹	سانتی متر در ساعت بر پاسکال	CH_EROD
۰/۵۵	۰/۵۷	۰/۵۰		USLE_P

مقایسه شبیه‌سازی‌ها برای برآورد رواناب: واسنجی مدل در شرایط استفاده از سه نقشه DEM مختلف نشان داد که نتایج برآورد رواناب از شباهت قابل توجهی برخوردار هستند که این می‌تواند به‌واسطه تعدیل مقادیر پارامترها در مرحله واسنجی مدل باشد. محدوده انتخاب شده برای این پارامترها و تفاوت مقدار آنها در بهترین جواب واسنجی، در جدول‌های ۳ و ۴ آورده شد. معیارهای خوبی برازش شامل ضریب تبیین (R^2)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) و میانگین خطا مطلق (MAE) و همچنین معیارهای ارزیابی عدم قطعیت (P-factor و R-factor) که برای نتایج برآورد رواناب حاصل از کاربرد نقشه‌های DEM مختلف محاسبه گردیده‌اند، در جدول ۵ ارائه شده است. در مجموع مشاهده می‌شود نتایج معیارهای خوبی برازش و عدم قطعیت برای شبیه‌سازی رواناب ایستگاه‌ها با کاربرد اندازه سلول‌های مختلف نقشه رقومی ارتفاع به هم شبیه هستند. این موضوع در تحقیق وانگ و لین (۲۰۱۰) نیز مشاهده می‌شود. جهت ارائه بهتر نتایج، شکل ۴ مقادیر رواناب روزانه محاسباتی و مشاهداتی را در ایستگاه پل چهر نشان می‌دهد.

جدول ۵- نتایج شبیه‌سازی رواناب در ایستگاه‌ها حاصل از DEMهای مختلف.

ایستگاه دوآب		ایستگاه دیناور		ایستگاه پل چهر		تعداد داده‌های رواناب	اندازه سلول
اعتبارسنجی	واسنجی	اعتبارسنجی	واسنجی	اعتبارسنجی	واسنجی		
۲۵۵۷	۴۷۴۹	۲۵۵۷	۵۱۱۴	۲۵۵۷	۵۱۱۴	معیار	
۰/۴۷	۰/۶۰	۰/۳۹	۰/۴۸	۰/۵۳	۰/۶۲	R ²	
۱۴/۵	۲۵	۲۶/۸	۱۶/۴	۳۰/۴	۳۹/۱	RMSE	
۱۲/۲	۱۲/۲	۵/۳	۸	۱۴/۵	۱۹/۷	MAE	۵۰ m
۰/۶۵	۰/۶۹	۰/۶۲	۰/۵۳	۰/۵۳	۰/۶۳	P-factor	
۱/۸	۰/۹۳	۰/۳۱	۰/۴۰	۰/۹۳	۰/۶۴	r-factor	
۰/۴۶	۰/۵۹	۰/۳۷	۰/۴۸	۰/۵۴	۰/۶۲	R ²	
۲۱/۷	۲۶/۸	۱۴/۷	۱۶/۶	۲۵/۸	۳۹/۹	RMSE	
۹/۷	۱۳/۱	۵/۵	۸	۱۲/۳	۲۰/۲	MAE	۹۰ m
۰/۶۱	۰/۷۱	۰/۶۱	۰/۵۷	۰/۵۱	۰/۶۴	P-factor	
۱/۷۴	۰/۹۷	۰/۳۳	۰/۴۶	۰/۸۹	۰/۶۷	r-factor	
۰/۴۷	۰/۵۵	۰/۳۹	۰/۴۸	۰/۵۳	۰/۶۱	R ²	
۲۸/۳	۲۸/۳	۱۴/۵	۱۶/۳	۳۱/۸	۴۱	RMSE	
۱۲/۸	۱۳/۸	۵/۴	۸/۱	۱۵/۱	۲۰/۶	MAE	۱۰۰۰ m
۰/۶۹	۰/۶۹	۰/۶۰	۰/۵۴	۰/۵۴	۰/۶۴	P-factor	
۱/۸۲	۰/۹۵	۰/۲۸	۰/۴۰	۰/۹۰	۰/۶۴	r-factor	

مقایسه شبیه‌سازی‌ها برای برآورد رسوب: در این بخش نتایج برآورد رسوب بر اساس نقشه‌های رقمی ارتفاعی مختلف ارائه می‌شود (جدول ۶). نتایج نشان داد که مقدار رسوب برآورد شده با استفاده از نقشه DEM با دقت مکانی ۵۰×۵۰ متر، کمتر از سایر نقشه‌ها است مقایسه کلی نتایج نیز نشان می‌دهد که برخلاف برآورد رواناب، تفاوت در برآورد رسوب در ایستگاه‌های مورد مطالعه با کاربرد نقشه‌های DEM مختلف، قدری معنی‌دارتر می‌باشد. برای این قسمت لازم به ذکر است که تعداد کم داده‌های اندازه‌گیری شده رسوب در ایستگاه‌های دوآب و دیناور که در شاخه‌های فرعی قرار گرفته‌اند، باعث شده نتایج واسنجی رسوب چندان مطلوب نباشد. دلیل دیگر این امر می‌تواند کنار گذاشته شدن پارامترهای متأثر از اندازه سلولی نقشه DEM در واسنجی، به‌منظور ارزیابی اثر دقت نقشه رقمی ارتفاعی باشد. از جمله این پارامترها شیب آبراهه، نسبت عرض آبراهه به عمق آن، درجه

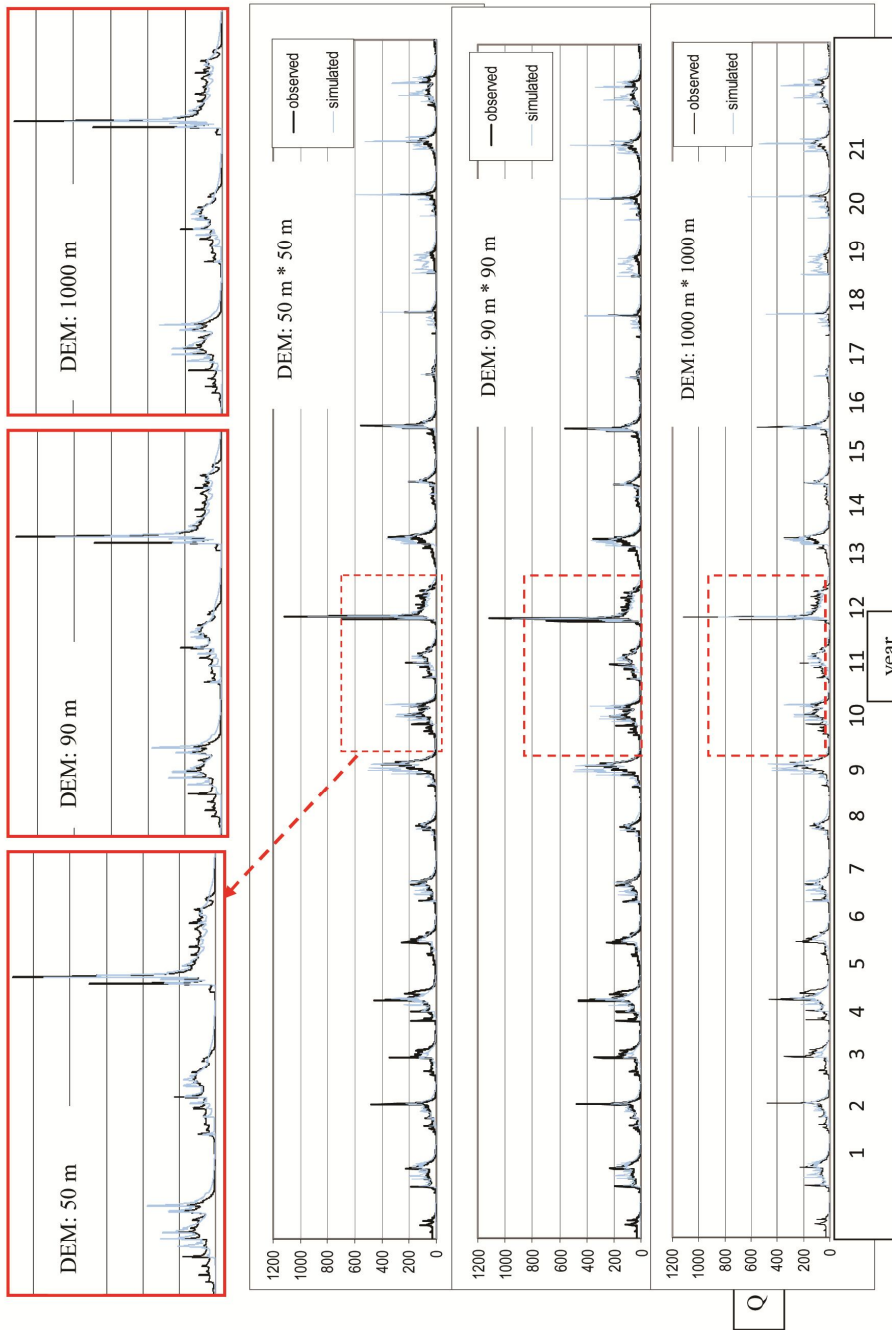
فرزین جیرانی و همکاران

شیب و طول شیب زیرحوضه‌ها می‌باشند که در روابط برآورد رسوب، انتقال و قدرت حمل رسوب در آبراهه‌ها نقش مهمی دارند.

جدول ۶- نتایج شبیه‌سازی رسوب در ایستگاه‌ها حاصل از DEM‌های مختلف.

ایستگاه دوآب		ایستگاه دیناور		ایستگاه پل چهر		تعداد داده های رسوب	
اعتبارسنجی	واسنجی	اعتبارسنجی	واسنجی	اعتبارسنجی	واسنجی	معیار	اندازه سلول
۲۶	۱۲۵	۷۵	۱۲۳	۶۱	۱۵۱		
۰/۴۸	۰/۱۸	۰/۶۳	۰/۳۰	۰/۴۴	۰/۳۰	R ²	۵۰ m
۲۷۵/۴	۱۱۴۰	۱۵۳/۳	۵۳۶/۲	۳۲۲/۲	۹۴۲/۱	RMSE	
۲۰۳/۷	۸۰۰/۴	۹۶/۸	۳۶۹/۴	۲۳۶/۴	۷۱۸/۱	MAE	
۰/۳۶	۰/۶۸	۰/۵۸	۰/۷۹	۰/۴۲	۰/۶۸	P-factor	
۸/۹	۰/۹۰	۲/۱	۱/۵۵	۲/۳	۱/۲۶	r-factor	
۰/۵۱	۰/۱۲	۰/۶۳	۰/۱۹	۰/۴۳	۰/۳۳	R ²	۹۰ m
۱۷۹/۲	۸۶۵/۸	۱۵۹/۸	۲۹۳	۳۳۳/۲	۶۴۰/۳	RMSE	
۱۲۷/۶	۳۹۵/۸	۷۸/۷	۱۶۷/۱	۱۸۴/۲	۳۰۶/۱	MAE	
۰/۲۴	۰/۶۵	۰/۵۸	۰/۷۸	۰/۴۰	۰/۷۲	P-factor	
۱۰/۱	۱/۰۴	۲/۲۵	۱/۴۸	۱/۴۸	۰/۸۵	r-factor	
۰/۴۶	۰/۲۰	۰/۳۸	۰/۱۴	۰/۴۲	۰/۳۰	R ²	۱۰۰۰ m
۳۷۰/۳	۸۵۰/۵	۲۶۳/۳	۳۷۳/۴	۵۸۷/۴	۷۶۷/۴	RMSE	
۲۵۰/۱	۴۹۲/۸	۱۰۵/۹	۱۹۹/۵	۴۱۹/۶	۵۶۵/۱	MAE	
۰/۵۶	۰/۷۲	۰/۱۹	۰/۱۲	۰/۴۶	۰/۶۲	P-factor	
۸/۲۴	۰/۷۵	۱۳	۰/۴۶	۲/۷۴	۱/۳	r-factor	

تفاوت بارزی در مقادیر به دست آمده معیار خوبی برازش R² و معیارهای عدم قطعیت P-factor و r-factor برای شبیه‌سازی رسوب در ایستگاه دیناور، در مورد نقشه رقومی ارتفاع با دقت ۱۰۰۰ متر مشاهده می‌شود. این اختلاف تا حد زیادی می‌تواند به دلیل ترسیم آبراهه به دست آمده از نقشه DEM در بالادست این ایستگاه باشد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده شد، ترسیم آبراهه در قسمت دیناور در نقشه با دقت ۱۰۰۰ متر با دو نقشه دیگر تفاوت آشکاری دارد. این موضوع علاوه بر این که در نتایج شبیه‌سازی و معیارهای عدم قطعیت مؤثر بوده در برآورد تغییرات مکانی فرسایش و بار رسوب توسط مدل نیز تفاوت‌هایی را ایجاد نموده است که در شکل ۵ قابل مشاهده است. پس از واسنجی و تعیین مقادیر پارامترها، مدل برای کل دوره آماری ۲۱ ساله اجرا شد. نتایج نشان داد که با افزایش اندازه سلولی نقشه رقومی ارتفاع میزان رسوب برآورد شده کاهش یافته است.



شکل ۴- مقادیر رواناب مشاهداتی و محاسباتی در ایستگاه بل‌چهر طی دوره آماری

نتایج برآورد متوسط بار رسوب سالانه حوضه در جدول ۷ آمده است. تفاوت برآورد بار رسوب در اثر کاربرد دقت‌های مختلف نقشه رقومی ارتفاع در مطالعات پیشین نیز مشاهده می‌شود و در پژوهش وانگ و لین (۲۰۱۰) به آن اشاره شده است. بنابراین این موضوع در مواردی که نیاز به انجام اقدامات حفاظتی به‌منظور کنترل فرسایش و انتقال رسوب باشد، باید موردنظر قرار گیرد تا دقت برآوردهای مکانی مناسب به‌دست آمده شود.

جدول ۷- متوسط بار رسوب سالانه حوضه.

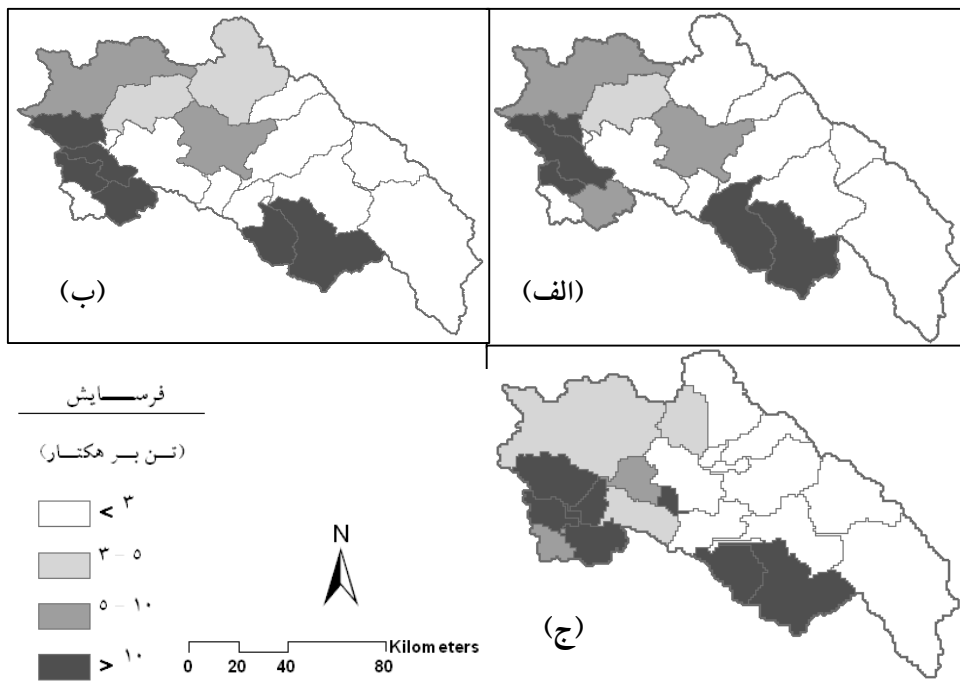
اندازه سلولی نقشه رقومی ارتفاعی	۵۰ متر	۹۰ متر	۱۰۰۰ متر
بار رسوب حوضه (تن بر هکتار)	۴/۵	۴/۴	۴/۲

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری: این پژوهش تلاشی است که برای مقایسه اثر کاربرد نقشه‌های رقومی ارتفاع (DEM) با دقت‌های مختلف بر نتایج شبیه‌سازی رواناب و رسوب با مدل SWAT که در سطح حوضه گاماسیاب به انجام رسید. واسنجی‌های مربوط و بررسی عدم قطعیت‌ها با استفاده از مدل SWAT-CUP صورت پذیرفت. همچنین برای 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 گردد. نتایج زیر از این پژوهش قابل ارائه است:

واسنجی مدل با کاربرد سه نقشه رقومی ارتفاعی مختلف در برآورد رواناب، به‌رغم برآوردهای متفاوت از مشخصات فیزیوگرافی که به‌عنوان مثال برای شیب تا ۴۰ درصد تفاوت داشت، نتایج تقریباً مشابهی را به‌همراه داشت. به‌عنوان مثال در ایستگاه پل‌چهر مقدار ضریب R^2 برای دوره اعتبارسنجی برای اندازه‌های سلولی ۵۰، ۹۰ و ۱۰۰۰ متر به‌ترتیب ۰.۵۳، ۰.۵۴ و ۰.۵۳ درصد به‌دست آمد. علت این امر را می‌توان در استفاده از منطق مدل‌سازی معکوس^۱ در واسنجی دانست. در مدل‌سازی مستقیم مسیر محاسبات آن‌گونه است که یک پارامتر تعریف شده و یک خروجی نیز حاصل می‌گردد. اما در مدل‌سازی معکوس، یک مشاهده (خروجی) داده می‌شود که می‌تواند از طریق چندین مجموعه پارامتر تولید شود. این ویژگی عدم یکتایی^۲، خصوصیت ذاتی مدل‌سازی معکوس می‌باشد. نتایج مشابهی نیز در مرجع عباس‌پور و همکاران (۲۰۰۷) قابل مشاهده است.

1- Inverse modeling

2- Non-uniqueness



شکل ۵- برآورد رسوب تولید شده در زیرحوضه‌ها بر حسب تن بر هکتار با استفاده از نقشه
رقومی ارتفاعی با اندازه سلولی الف) ۵۰ متر، ب) ۹۰ متر، ج) ۱۰۰۰ متر.

در مورد برآورد بار رسوب، نتایج قدری حساس‌تر بوده است. برای مثال در ایستگاه پل چهر مقدار ضریب R^2 برای دوره اعتبار سنجی برای اندازه‌های سلولی ۵۰، ۹۰ و ۱۰۰۰ متر به ترتیب ۴۴، ۴۳ و ۴۲ درصد به دست آمد و متوسط میزان بار رسوب حوضه از ۴/۵ به ۴/۲ تن بر هکتار تغییر کرد. این تفاوت با آورد جریان می‌تواند به این دلیل باشد که پارامترهایی که از واسنجی به منظور ارزیابی اثر اندازه سلولی نقشه DEM کنار گذاشته شدند اثر بیشتری در شبیه‌سازی فرسایش و انتقال رسوب دارند. از جمله پارامترهای مهم در این خصوص، شیب آبراهه است که می‌تواند تغییرات زیادی را بر قدرت حمل رودخانه و شبیه‌سازی رسوب داشته باشد. چنین نتیجه‌ای در پژوهش وانگ و همکاران (۲۰۱۰) نیز مشاهده شد.

نتایج پژوهش نیاز به وجود داده‌های بیشتر را در واسنجی مدل‌های جامعی مانند SWAT نشان می‌دهد. به عنوان مثال زمانی که واسنجی رواناب مورد نظر است و برای آن تنها رواناب کل در دسترس

می‌باشد و از طرفی مدل مؤلفه‌هایی مانند جریان آب سطحی، زیر سطحی و زیرزمینی را تک به تک شبیه‌سازی و در نهایت جمع می‌کند، امکان کنترل مستقیم مؤلفه‌های جریان وجود نخواهد داشت. این مشکل، ضرورت حداقل تجهیز حوضه‌های معرف را برای تنوع در داده‌برداری جریان تأکید می‌کند.

منابع

1. Abbaspour, K. 2009. SWAT-CUP2; SWAT Calibration and Uncertainty Programs user manual.
2. Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., and Williams, J.R. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment—Part 1: model development. *Journal of the American Water Resources Association* 34: 73–89.
3. Abbaspour, K., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J. and Srinivasan, R. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. *Journal of Hydrology* 333: 413-430.
4. Chaplot, V., Saleh, A., Jaynes, D.B., and Arnold, J. 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.
5. Chaplot, V. 2005. Impact of DEM mesh size and soil map scale on SWAT runoff, sediment, and NO₃-N loads predictions. *Journal of Hydrology* 312: 207–222
6. FitzHugh, T.W., and Mackay, D.S. 2000. Impacts of input parameter spatial aggregation on an agricultural nonpoint source pollution model. *Journal of Hydrology* 236: 35–53.
7. Lee, M., Park G., Park M., Park J.Y., and Lee J., Kim S. 2010. Evaluation of non-point source pollution reduction by applying Best Management Practices using a SWAT model and QuickBird high resolution satellite imagery. *Journal of Environmental Sciences*, 22:6. 826-833.
8. Neitsch, S. (-L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., and Williams, J.R. 2005. Soil and Water Assessment tool Theoretical Documentation Version 2005.
9. Talebizadeh, M., Morid, S., Ayyoubzadeh, S.A., and Ghasemzadeh, M. 2009. Uncertainty Analysis in Sediment Load Modeling Using ANN and SWAT Model. *Water Resour Manage*, DOI 10.1007/s11269-009-9522-2.
10. Tuppad, P., Kannan, N., Srinivasan, R., Rossi, C.G., and Arnold, J.G. 2010. Simulation of Agricultural Management Alternatives for Watershed Protection. *Water Resour Manage*, 24: 3115-3144.
11. Thompson, J., Bell, J., and Butler, C. 2001. Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modeling. *Geoderma* 100: 67–89.

12. Wang, X., and Lin, Q. 2010. Effects of DEM mesh size on AnnAGNPS simulation and slope correction. *Environ Monit Assess.* DOI 10.1007/s10661-010-1734-7.
13. Wechsler, S.P. 2007. Uncertainties associated with digital elevation models for hydrologic applications: a review. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 11: 1481–1500.
14. Wu, Simon., Jonathan, Li., and Huang G.H. 2008. Characterization and Evaluation of Elevation Data Uncertainty in Water Resources Modeling with GIS. *Water Resour Manage*, 22: 959–972.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 18(4), 2011
<http://jwfst.gau.ac.ir>

Impact of DEM cell size on calibration and predictions of runoff and sediment, using SWAT-CUP

F. Jeirani^{1,*}, S. Morid² and A. Moridi³

¹M.Sc Student, Dept. of Water Recourses Engineering, Tarbiat Modares University, Iran,
²Associate Prof., Dept. of Water Recourses Engineering, Tarbiat Modares University, Iran,
³Faculty member, Water Research Institute

Received: 2010-10-16; Accepted: 2011-10-2

Abstract

Hydrological conceptual models such as SWAT lay on numerous inputs and parameters that make calibration process complicated and time consuming. Digital Elevation Model (DEM) is one of the important inputs that its resolution affects watershed delineation and models simulations. However, DEM with more fine pixels is costly. This paper aims to assess the effect of DEM resolution on parameters calibration and estimation of runoff and sediment in the SWAT model. To this end, three sources of DEM with 50, 90 and 1000 meter pixel sizes are applied for daily rainfall-runoff and sediment simulation within the Gamasyab watershed. Furthermore the parameters, which are directly derived from DEM like watershed slope and river slope, are excluded from calibration process. The calibration of the model was done by SWAT-CUP that uses inverse modeling approach. It is observed that the runoff simulation results by the three DEMs are relatively similar. However, in case of sediment, the differences were a little more significant. The reason for these similarities can be attributed to the non-uniqueness property of inverse modeling, in which an observe signal could be reproduced by many different parameter sets. Therefore, considering limitations about available observations for calibration process; significant improvement in results cannot be expected while using three DEM cell sizes.

Keywords: SWAT model; DEM cell size; Gamasyab watershed; Parameters estimation

* Corresponding Author; Email: s_morid@hotmail.com

