دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

اثر دقت مکانی مدل‌های رقومی ارتفاعی بر شبیه‌سازی هیدرولوژیکی

عطاله کاویان[1] و مازیار محمدی[2]

۱- استاد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه ساری، (نویسنده مسوول: a.kavian@sanru.ac.ir)
۲- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۵
صفحه: ۳۶ تا ۴۵

چکیده

مدل ارتفاعی رقومی یکی از مهم‌ترین داده‌های مورد نیاز در مدل‌سازی حوزه آبخیز با مدل‌های هیدرولوژیکی است که دقت مکانی آن تاثیر بسزایی در صحت شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی دارد. مطالعات مختلف با مدل پرکاربرد SWAT نشان داده‌اند که نتایج شبیه‌سازی این مدل به کیفیت داده‌های توپوگرافی بسیار حساس است. هدف این مطالعه ارزیابی اثر دقت مکانی سه نوع مدل ارتفاعی رقومی ASTER (دقت مکانی ۳۰ متر)، SRTM (دقت مکانی ۹۰ متر) و GTOPO30 (دقت مکانی ۱۰۰۰ متر) بر عدم اطمینان نتایج شبیه‌سازی دبی و نیترات کل در حوزه آبخیز تالار در استان مازندران می‌باشد. با کاهش دقت مکانی از ۳۰ به ۱۰۰۰ متر خصوصیات فیزوگرافی حوزه مانند تعداد واحدهای هیدرولوژیکی کاهش ولی میانگین شیب حوزه و میانگین حداقل و حداکثر ارتفاع افزایش می‌یابد و همچنین ترسیم مسیر آبراهه نیز به‌شدت متاثر از دقت مکانی DEM می‌باشد. بهترین نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی دبی ماهانه در ایستگاه شیرگاه برای مدل ارتفاعی رقومی ASTER حاصل شد. ضریب R^2 و NS در دوره واسنجی به ترتیب ۰/۷۱ و ۰/۶۸ و در دوره صحت‌سنجی ۰/۷۰ و ۰/۵٤ بدست آمد. در نهایت با محاسبه‌ی خطای نسبی نتایج حاصل از شبیه سازی با SRTM و GTOPO30 نسبت به ASTER مشخص شد که با افزایش دقت مکانی از ۳۰ به ۹۰ متر مدل در شبیه‌سازی دبی و نیترات کل در اکثر ماه‌ها بیش‌تخمینی اما با افزایش دقت مکانی از ۳۰ به ۱۰۰۰ متر مدل در شبیه‌سازی این دو پارامتر در تمامی ماه‌ها در دوره‌ی شبیه‌سازی کم‌تخمینی داشته است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد دقت شبیه‌سازی دبی و نیترات کل با مدل ارتفاعی رقومی ASTER دارای بالاترین قدرت تفکیک مکانی بهترین شبیه سازی را نسبت به SRTM و GTOPO30 ارئه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: تخمین مدل‌ها، شبیه‌سازی، دبی، نیترات، مدل ارتفاعی رقومی

مقدمه

کاربرد مدل‌های موثر در مطالعات هیدرولوژیکی به منظور شناخت فرایندهای طبیعی در مقیاس حوزه آبخیز امری حیاتی است. توانایی مدل‌های هیدرولوژیکی در ارائه و برآورد فرآیندها و متغیرهای هیدرولوژیکی مانند رواناب به طور عمده به دقت مکانی داده‌های ورودی مدل بستگی دارد (۱۶). با این حال مطالعات انجام شده به ندرت مقیاس مکانی داده‌های ورودی را در شبیه‌سازی متغیرهای هیدرولوژیکی مورد توجه قرار داده‌اند، درحالیکه توجه به این موضوع در مطالعات مختلف و در شرایط متفاوت هیدرولوژیکی یک ضرورت است (۵،۴) در حقیقت داده‌های ورودی مدل منابع اولیه خطا در برآورد متغیرهای هیدرولوژیکی می‌باشند (۱۵). مدل رقومی ارتفاعی (DEM) حوزه آبخیز داده‌های مهمی از متغیرهای هیدرولوژیکی مانند رواناب و رسوب را برای مدل‌های هیدرولوژیکی فراهم می‌کند (۱۰). در مدل SWAT نیز نقشه DEM به عنوان اولین داده مکانی دارای اهمیت بسزایی می‌باشد. خصوصیات توپوگرافیکی و فیزیوگرافی مانند مساحت، طول و ارتفاع زیرحوزه‌ها، مرز حوزه آبخیز، درصد و طول شیب و همچنین طول، عرض، عمق و شیب آبراهه با استفاده از نقشه DEM تهیه می‌شوند.

مطالعات مختلفی با استفاده از مدل SWAT اثر دقت مکانی نقشه DEM و کاربری اراضی و خاک را بر نتایج شبیه‌سازی متغیرهای هیدرولوژیکی مورد بررسی قرار داده اند. به عنوان مثال کوتر (۶) و چوبی (۸) در حوزه آبخیز Moores Creek در ایالت متحده آمریکا اثر نقشه DEM با سایز پیکسلی ۳۰، ۱۰۰، ۱۵۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری را بر عدم قطعیت در نتایج شبیه‌سازی دبی، رسوب، نیترات و فسفات با مدل SWAT مورد ارزیابی قرار دادند. دیکسون و ارلس (۹) در تحقیقی به در حوزه آبخیزی در فلوریدای ایالات متحده‌ی آمریکا با مساحت ۸۵۵ کیلومترمربع، با استفاده از مدل SWAT نتایج شبیه‌سازی دبی جریان با استفاده از سه نقشه DEM با دقت مکانی ۳۰، ۹۰ و ۳۰۰ را مقایسه کردند. نتایج پژوهش ایشان نشان داد که مدل SWAT در شبیه‌سازی جریان به دقت مکانی نقشه DEM حساسیت بالایی دارد و برای رسیدن به نتایج مطلوب تا حد امکان باید از نقشه‌های با دقت مکانی بالاتر استفاده کرد. پیپی و همکاران (۱۳) به منظور ارزیابی اثر تغییرات دقت مکانی نقشه مکانی حوزه‌ی آبخیز رودخانه‌ی ژیانگژی چین از ۱۷ نقشه DEM تفکیک مکانی ۳۰ تا ۱۰۰۰ متر و مدل SWAT استفاده کردند. سیرواسنا و همکاران (۱۷) نیز در پژوهشی دیگر با استفاده از مدل SWAT اثر دقت مکانی نقشه DEM (۲۰، ۳۰، ۹۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متر) را بر پاسخ هیدرولوژیکی حوزه آبخیز کادام هند بررسی کردند. نتایج مطالعه‌ی آن‌ها نشان داد که مساحت و طول زیرحوزه‌ها و طول بازه رودخانه، حداکثر و حداقل ارتفاع، مساحت کاربری‌های اراضی در سطح زیرحوزه و تعداد HRU[1] با تغییر دقت مکانی نقشه DEM تغییر می‌کند و در نهایت نشان دادند برخلاف دبی دقت مکانی کمتر از ۹۰ متر نقشه DEM بر نتایج رسوب شبیه‌سازی شده اثر گذار است. بررسی مطالعات صورت گرفته در داخل کشور در شبیه‌سازی با مدل‌های هیدرولوژیکی نشان

1- Hydrological response unit

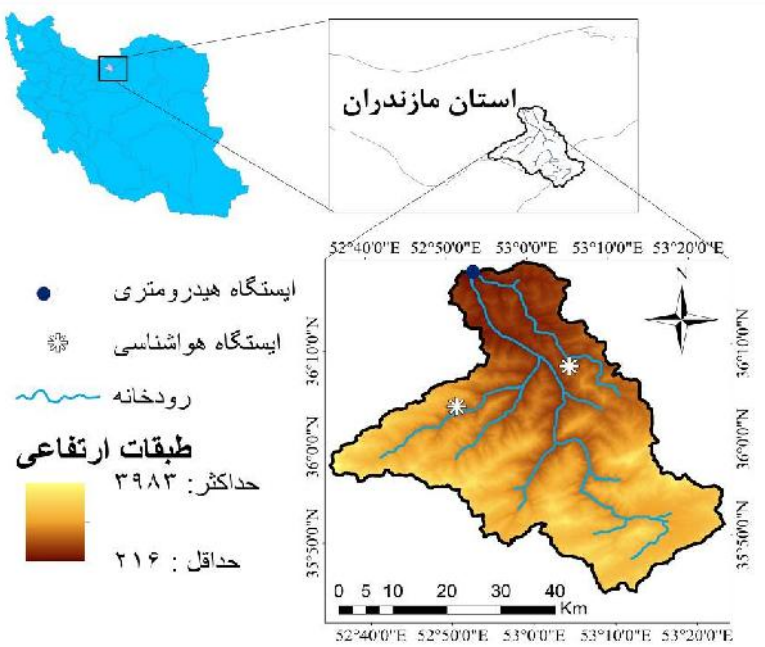
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-18]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.9.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.36]

می‌دهد که در این تحقیقات به تفکیک مکانی نقشه‌های مهم چون مدل رقومی ارتفاعی و بررسی اثر آن بر شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی پرداخته نمی‌شود. فرض اساسی در این تحقیق این است که به دلیل نزدیکی قدرت تفکیک مکانی نقشه مدل رقومی ارتفاعی ASTER با SRTM شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی با این دو مدل رقومی ارتفاعی اختلاف معنی‌داری ایجاد نمی‌کند اما مدل رقومی ارتفاعی GTOPO30 می‌تواند تاثیر معنی‌داری بر نتایج شبیه‌سازی داشته باشد. لذا با توجه به اهمیت نقشه DEM و تاثیر تغییرات پیکسل سایز آن در تغییر شرایط توپوگرافیکی و فیزیوگرافیکی و در نتیجه اثرگذاری بر نتایج شبیه‌سازی هیدرولوژیکی و همچنین کمبود مطالعات در این زمینه، هدف مطالعه حاضر ارزیابی اثر دقت مکانی سه نوع نقشه DEM ۳۰ متر(ASTER)، ۹۰ متر (SRTM) و ۱۰۰۰ متر (GTOPO30) بر نتایج شبیه‌سازی مدل SWAT می‌باشد.

مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مطالعاتی

حوزه آبخیز تالار در حد واسط ۵۲ درجه و ۳۵ دقیقه و ۲۲ ثانیه الی ۵۳ درجه و ۲۳ دقیقه و ۳۴ ثانیه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۴ دقیقه و ۲۳ ثانیه الی ۳۶ درجه و ۱۹ دقیقه و ۱ ثانیه عرض شمالی واقع شده و توسط یک رودخانه تالار با امتداد شمالی- جنوبی زهکش می‌شود. مساحت این حوزه آبخیز کوهستانی ۲۱۰۰۰۰ هکتار و میانگین بارندگی سالانه ۵۴۰ میلی‌متر با حداقل و حداکثر دمای سالانه آن به‌ترتیب ۷/۷ و ۲۱ درجه سلسیوس می‌باشد. شکل ۱ موقعیت مکانی حوزه آبخیز تالار را در جنوب دریای مازندران نشان می‌دهد. مهم‌ترین کاربری‌های اراضی در این منطقه شامل اراضی جنگلی، مرتع، کشاورزی دیم و آبی و هم‌چنین مناطق مسکونی است (مطالعات جامع حوزه آبخیز تالار، ۱۳۸۱).



شکل ۱- موقعیت مکانی حوزه آبخیز تالار در استان مازندران
Figure 1. Location Tallar watershed in Mazandaran province

مدل SWAT

مدل SWAT یک مدل فیزیکی، نیمه‌توزیعی و پیوسته می‌باشد که برای پیش‌بینی اثرات اقدامات مدیریتی بر هیدرولوژی، رسوب و مواد آلاینده کشاورزی در حوزه‌های آبخیز با انواع خاک، کاربری اراضی و شرایط مدیریتی متفاوت طراحی شده است (۱). این مدل از مدل‌های SWRRB[1]، مدل CREAMS[2]، مدل GLEAMS[3]، مدل EPIC[4] و مدل ROTO[5] توسعه یافته است. در این مدل حوزه آبخیز بر اساس نوع خاک، کاربری اراضی و کلاسه‌های شیب به زیرحوزه‌هایی با واحد پاسخ هیدرولوژیکی تقسیم می‌شود. مدل با استفاده از معادله توازن آب شامل بارش، رواناب سطحی، تبخیر و تعرق، نفوذ و جریان زیرسطحی هیدرولوژی هر HRU را محاسبه می‌کند. مدل SWAT با استفاده از روش شماره منحنی و روش نفوذپذیری گرین-امپ به محاسبه رواناب می‌پردازد. اوج رواناب نیز با استفاده از روش تجربی اصلاح شده محاسبه می‌شود. چرخه هیدرولوژیکی در مدل SWAT توسط معادله‌ی توازن آب بصورت رابطه ۱ شبیه‌سازی می‌شود.

$$SWt = SW\,0 + \sum_{i=1}^{t}(Rday + Qsurf + Ea + Wseep + Qgw)i$$ رابطه (۱)

1- Simulator for water resources in rural basin
2- Chemical, Runoff and Erosion from Agriculture Management System
3- Groundwater loading Effect on Agriculture Management System
4- Erosion-Productivity Impact Calculator
5- Routing Output to Outlet

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-18]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.9.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.36]

که در آن SWt محتوای آب موجود در خاک به میلی‌متر، SW_o محتوای اولیه آب موجود در خاک به میلی‌متر، t زمان به روز، R_{day} میزان بارش به میلی‌متر ، Q_{surf} میزان رواناب سطحی به میلی‌متر، E_a میزان تبخیر به میلی‌متر، W_{seep} میزان آب وارده به منطقه vadose از لایه سطحی در روز به میلی‌متر، Q_{gw} میزان آب برگشتی در روز به میلی‌متر می‌باشند (۱).

داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این تحقیق برای اجرای مدل هیدرولوژیکی SWAT به شرح زیر می‌باشد:

۱- داده‌های اقلیمی شامل میانگین بارش روزانه بر حسب میلی‌متر، حداکثر یا حداقل دما بر حسب درجه سانتی‌گراد، میانگین درصد رطوبت نسبی روزانه، میانگین سرعت باد روزانه و هم‌چنین تابش خورشیدی می‌باشد. این داده‌ها برای مدت ۱۴ سال (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳) از اداره هواشناسی استان مازندران و هم‌چنین سازمان هواشناسی کشور تهیه برای سه ایستگاه سینوپتیک قراخیل، پل سفید و آلاشت اخذ و پس از مرتب سازی به فرمت Text تبدیل و به مدل وارد شد.

۲- نقشه DEM برای ارزیابی اثر دقت مکانی نقشه DEM بر نتایج شبیه‌سازی مدل SWAT از سه مدل رقومی ارتفاعی ASTER (۳۰ متر)، SRTM (۹۰ متر) و GTOPO30 (۱۰۰۰ متر) استفاده شد. جدول ۱ نیز خصوصیات DEM این سه نوع مدل رقومی ارتفاع را نشان می‌دهد (شکل ۲).

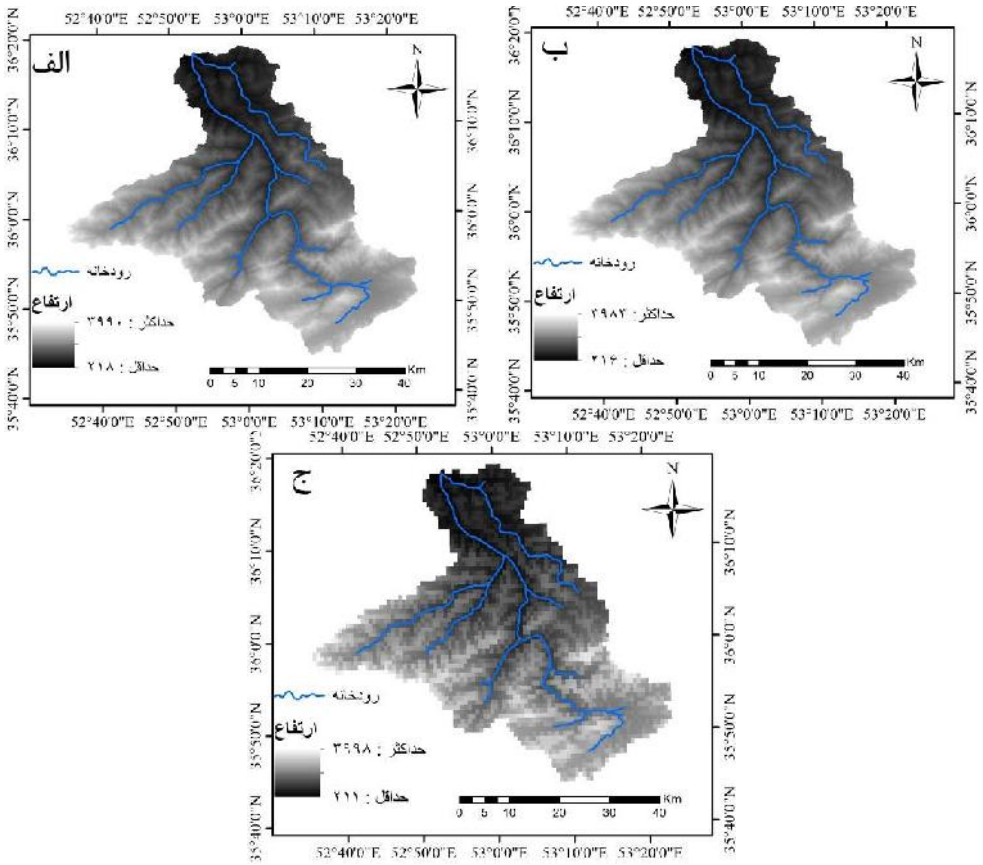
جدول ۱- خصوصیات نقشه‌های رقومی ارتفاعی مورد استفاده

Table 1. Features of digital elevation map

خصوصیات	ASTER	SRTM	GTOPO30
منبع داده	ماهواره ASTER	شاتل فضایی radar	جمع‌آوری شده از سازمان‌های مختلف دارای DEM در سراسر جهان
تولید و توزیع	METI/NASA	NASA/USGS	USGS
سال انتشار	۲۰۰۹	۲۰۰۳	۱۹۹۶
دقت مکانی	۳۰ متر	۹۰ متر	۱۰۰۰ متر
صحت DEM (انحراف معیار)	۷ تا ۱۴ متر	۱۰ متر	۳۰ متر
سطح پوشش	۸۳ درجه شمال تا ۸۳ درجه جنوبی	۶۰ درجه شمال تا ۵۶ درجه جنوبی	جهانی
مساحت داده های ناقص	مناطق ابری دائمی (تامین شده توسط سایر نقشه‌های DEM)	مناطقی با توپوگرافی شیبدار (با توجه به ویژگی‌های رادار)	ندارد

METI: وزارت اقتصاد، تجارت و صنعت ژاپن
NASA: سازمان ملی هوانوردی و فضایی ایالات متحده
USGS: سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-18]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.9.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.36]



شکل ۲- مدل رقومی ارتفاعی ASTER (الف)، SRTM (ب) و GTOPO30 (ج)
Figure 2. Digital elevation model ASTER (above right), SRTM (above left) and GTOPO30 (bottom)

۳- نقشه خاک بصورت شیپ فایل پلیگون حوزه با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ و هم‌چنین اطلاعات پروفیل‌ها شامل خصوصیات فیزیکی مانند افق‌های خاک، ساختمان، گروه هیدرولوژیکی، بافت خاک (درصد رس، سیلت و شن)، تیپ، عمق و خصوصیات شیمیایی شامل PH، EC، درصد کربنات کلسیم و ماده آلی از کتابچه‌ی خاکشناسی و قابلیت اراضی مطالعات توجیه‌ی حوزه‌ی آبخیز تالار در اداره کل منابع طبیعی استان مازندران تهیه شد.

۴- نقشه کاربری اراضی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ با کاربری‌های جنگل، مرتع، کشاورزی دیم، کشاورزی آبی و مناطق مسکونی به‌ترتیب با مساحت ۳۴/۷۹، ۴۸/۷۹، ۱۴/۸۱، ۰/۷۱ و ۰/۸۹ درصد نیز از اداره منابع طبیعی استان مازندران تهیه شد.

۵- داده‌های هیدرومتری برای واسنجی و اعتبارسنجی نتایج مدل در شبیه‌سازی دبی اخذ شده از اداره تماب استان مازندران برای سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ بصورت متوسط ماهانه در ایستگاه شیرگاه استفاده شد.

اجرای مدل SWAT و ارزیابی نتایج

در این تحقیق برای ارزیابی پاسخ هیدرولوژیکی حوزه آبخیز تحت تغییرات دقت مکانی DEM از مدل ArcSWAT ورژن ۲۰۱۲ الحاقیه نرم‌افزار GIS ورژن ۱۰/۲ استفاده شده است. در ابتدا مدل SWAT با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ASTER با توجه به داده‌های اقلیمی از سال ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۴ اجرا شد و سال ۲۰۰۰ به عنوان Warm up برای مدل در نظر گرفته شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار SWAT-cup نتایج مدل واسنجی وصحت‌سنجی شد. همچنین مدل SWAT با استفاده از دو مدل رقومی ارتفاعی SRTM و GTOPO به اجرا درآمد و سایر شرایط شبیه‌سازی مانند کاربری اراضی، داده‌های اقلیمی، نقشه خاک ثابت در نظر گرفته شد (۱۷). برای هر سه مرحله اجرای مدل در تعریف HRU برای برطرف کردن اثر مقادیر اندگی از کاربری اراضی، خاک و شیب هر یک به ترتیب به مقدار ۲۰، ۱۰ و ۲۰ درصد دخالت داده شدند (۶) برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل از ضرایب آماری R2، NS، PBIAS، r-factor و p-factor استفاده شد. مقدار ضریب NS یک تا منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند. هرچه میزان ضریب NS به مقدار ۱ نزدیک‌تر باشد نتایج حاصل از تاثیر بیشتری برخوردار است (رابطه ۲). ضریب R2 آن بین صفر تا ۱ متغیر بوده که مقادیر نزدیک به ۱ نشان‌دهنده‌ی مطابقت بیشتر مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای می‌باشد (رابطه ۳). ضریب PBIAS نیز افزایش یا کاهش درصد متوسط تمایل داده‌های شبیه‌سازی شده را نسبت به داده‌های

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-18]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.9.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.36]

مشاهده‌ای نشان می‌دهد و مقدار مطلوب صفر است. مقدار مثبت و منفی به‌ترتیب نشان‌دهنده‌ی کم و بیش تخمینی مدل است (رابطه ۴).

رابطه (۲)

$$NS = 1 - \frac{\sum (Qm - Qs)^2}{(Qm,i - \bar{Q}m)^2}$$

رابطه (۳)

$$R^2 = \frac{\left[\sum_i (Qm,i - \bar{Q}m)(Qs,i - \bar{Q}s)\right]^2}{\sum_i (Qm,i - \bar{Q}m)^2 \sum_i (Qs,i - \bar{Q}s)^2}$$

رابطه (۴)

$$PBIAS = 100 * \frac{\sum_{i=1}^{n} |Qm - Qs|}{\sum^{n} Qm,i}$$

که در این روابط Q_m: دبی مشاهده‌ای (مترمکعب بر ثانیه)، Q_s: دبی شبیه‌سازی (مترمکعب بر ثانیه)، $\bar{Q}_m$: دبی متوسط مشاهده‌ای (مترمکعب بر ثانیه) می‌باشد.

با توجه به دقت مکانی ۳۰ متری مدل رقومی ارتفاع ASTER، نتایج حاصل از شبیه‌سازی با این DEM به عنوان مبنای برای مقایسه با دو DEM دیگر قرار گرفت و با استفاده از رابطه‌ی ۵ درصد خطای نسبی هر یک نسبت به ASTER مقایسه شد (۱۰).

رابطه (۵)

$$RE(\%) = 100 * (Px - P30) / P30$$

که در این رابطه RE: درصد خطای نسبی، Px: داده شبیه‌سازی شده با سایر DEM غیر از DEM ۳۰ متری، P30: مقادیر شبیه‌سازی شده با DEM ۳۰ متری است.

نتایج و بحث

اثر DEM بر تعیین خصوصیات زیرحوزه‌ها

جدول (۲) اثر تغییرات دقت مکانی نقشه DEM از ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ را بر خصوصیات حوزه آبخیز را نشان می‌دهد که به‌وسیله مدل SWAT شبیه‌سازی شده است.

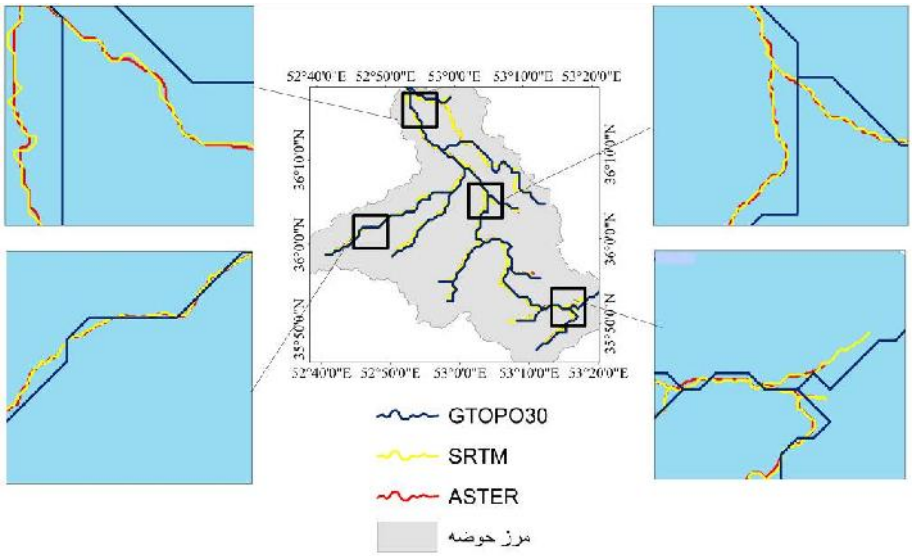
جدول ۲- محاسبه خصوصیات حوزه آبخیز با مدل SWAT تحت تغییرات دقت مکانی نقشه DEM

Table 2. Calculation of the characteristics of the watershed using SWAT model under spatial resolution changes in DEM map

خصوصیات حوزه	ASTER (۳۰ متر)	SRTM (۹۰ متر)	GTOPO (۱۰۰۰)
تعداد زیر حوزه	۲۳	۲۳	۲۲
تعداد HRU	۱۶۲	۱۸۲	۱۹۷
مساحت (هکتار)	۲۰۵۵۵۴	۲۱۰۸۶۷	۲۱۴۰۲۲
میانگین شیب	۳۷/۴	۳۵/۷۷	۲۴/۳۳
حداقل ارتفاع	۲۲۰	۲۱۸	۱۶۹
حداکثر ارتفاع	۳۲۷۴	۳۲۶۰	۳۲۲۷
میانگین عرض آبراهه	۱۷/۸۱	۱۸/۰۴	۱۹/۵۴
میانگین عمق آراهه	۰/۷۲	۰/۷۳	۰/۷۷

همانطوری که در جدول (۲) مشاهده می شود با افزایش پیکسل سایز نقشه DEM تغییرات قابل توجهی در ایجاد تعداد زیرحوزه‌ها مشاهده نمی‌شود اما تعداد HRU با کاهش دقت پیکسل سایز کاهش می‌یابد. هم‌چنین سایر پارامترها مانند میانگین شیب، حداقل و حداکثر ارتفاع با افزایش سایز پیکسل DEM از ۳۰ تا ۱۰۰۰ به‌صورت مستقیم و با یک رابطه خطی کاهش و میانگین عرض و میانگین عمق آبراهه نیز با افزایش دقت مکانی افزایش یافتند. در بین پارامترهای جدول (۲) پارامترهایی چون تعداد HRU، مساحت و حداقل و حداکثر ارتفاع به دقت نقشه مکانی DEM حساسیت بیش‌تری نشان می‌دهند. Sivasena و همکاران (۱۶)، نیز در تحقیق خود بر این موضوع تاکید داشتند. علاوه بر این پیپی و همکاران (۱۳) و لین و همکاران (۱) در پژوهش خود مبنی بر تاثیر دقت مکانی نقشه DEM بر نتایج شبیه‌سازی مدل SWAT نشان دادند که افزایش سایز پیکسلی بر عدم اطمینان ارتفاع و شیب حوزه می‌افزاید و خطا را نیز افزایش می‌دهد. شکل (۳) نقشه آبراهه استخراج شده از سه نوع مدل رقومی ارتفاعی ASTER، SRTM و GTOPO را نشان می‌دهد که در آن نتایج آبراهه‌ی استخراج شده از دو نقشه‌ی ASTER، SRTM شباهت بیشتری دارد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-18]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.9.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.36]



شکل۳- اثر دقت مکانی DEM بر شبیه‌سازی مسیر آبراهه با مدل SWAT
Figure 3. The effect of spatial resolution of DEM on drainage simulation using SWAT model

اثر دقت مکانی نقشه رقومی ارتفاعی ASTER، SRTM و GTOPO در شبیه‌سازی رواناب

جدول (۳) نتایج آماری ارزیابی مدل را برای دوره‌ی واسنجی و صحت سنجی با استفاده از ضرایب R2، NS، PBIAS، p-factor و r-factor در با سه نوع نقشه رقومی ارتفاعی ASTER، SRTM و GTOPO30 را نشان می‌دهد. در ابتدا مدل با نقشه DEM ۳۰ متری اجرا و سپس واسنجی و صحت‌سنجی شد.

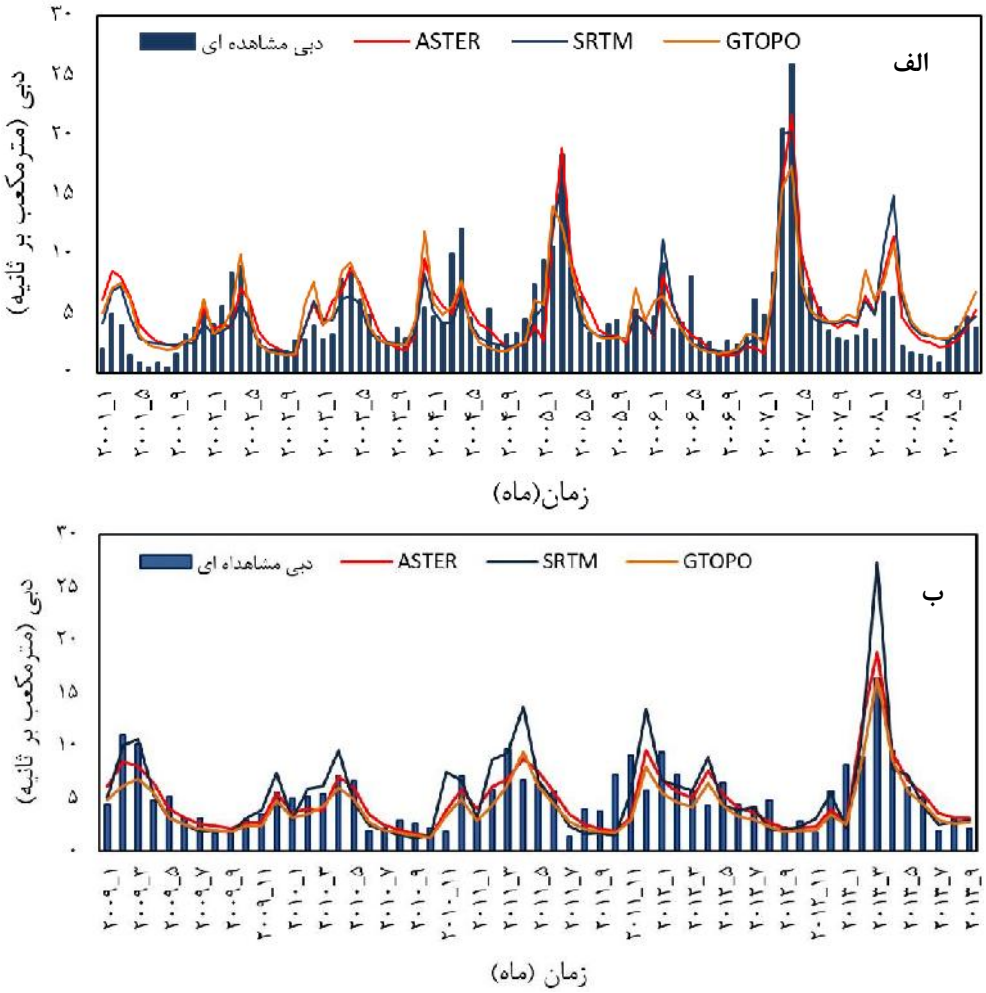
جدول ۳- نتایج عمل‌کرد مدل SWAT در مرحله واسنجی (۲۰۰۱-۲۰۰۸) و صحت‌سنجی (۲۰۰۹-۲۰۱۳) دبی ماهانه در ایستگاه شیرگاه
Table 3. The results of the SWAT model in calibration phase (2001-2008) and validation (2009-2013) considering monthly discharge at Shirgah station

ضرایب آماری	ASTER (۳۰متر)		SRTM (۹۰ متر)		GTOPO30 (۱۰۰۰ متر)	
	واسنجی	صحت سنجی	واسنجی	صحت سنجی	واسنجی	صحت سنجی
R2	۰/۷۱	۰/۷۰	۰/۶۸	۰/۶۲	۰/۶۲	۰/۵۸
NS	۰/۶۸	۰/۵۴	۰/۶۷	۰/۴۶	۰/۶۲	۰/۵
PBIAS	-۱/۳	۶/۶	۴/۴	-۴/۲	۱/۳	۲۱/۲
P-FACTOR	۰/۶۷	۰/۶۵	۰/۵	۰/۷	۰/۷۴	۰/۴۶
r-FACTOR	۱	۱/۲۹	۰/۴۵	۱/۵۲	۱/۲۳	۰/۹

با توجه به جدول ۳ می‌توان بیان نمود که ضرایب R^2، NS و PBIAS در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب ۰/۷۱ و ۰/۷۰، ۰/۶۸ و ۰/۵۴، ۱/۳- و ۶/۶ به‌دست آمدند. بر طبق مطالعات موریاسی و همکاران (۱۴) در شبیه‌سازی دبی با گام زمانی ماهانه اگر R^2 بیش از ۰/۷، ۰/۵۰< NS <۰/۶۵ و اگر ۰/۵۰< PBIAS < ۰/۶۵ باشد نتایج مدل‌سازی رضایت بخش بوده که نتایج حاصل از این تحقیق برای نقشه DEM با دقت ۳۰ متر با نتایج ایشان مطابقت دارد. هم‌چنین سیرواسنا و همکاران (۱۷) در شبیه‌سازی دبی ماهانه با نقشه رقومی ارتفاعی ASTER در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی ضرایب مشابهی را ارائه کردند.

هم‌چنین جدول ۳ نشان می‌دهد ضریب R^2 برای هر دو مرحله ارزیابی مدل با افزایش سایز پیکسل نقشه DEM از ۳۰ تا ۱۰۰۰ متر کاهش یافت که حداقل آن با مقدار ۰/۵۸ در مرحله صحت‌سنجی نقشه DEM مربوط به GTOPO30 بود. ضریب NS نیز مانند ضریب R^2 بهترین عمل‌کرد شبیه‌سازی را در هر دو فرایند ارزیابی مدل برای DEM با دقت مکانی ۳۰ متر نشان می‌دهد. برای ضریب PBIAS که مقدار مثبت آن نشان‌دهنده‌ی کم‌تخمینی و مقدار منفی آن نشان‌دهنده بیش‌تخمینی نتایج مدل است، رابطه‌ی خاصی بین این ضریب و اثر تغیرات سایز پیکسل نقشه DEM با شبیه‌سازی دبی مشخص نشد. لازم به ذکر است که در شبیه‌سازی با DEM ۱۰۰۰ متری در واسنجی و صحت‌سنجی مدل در شبیه‌سازی دبی کم‌تخمینی نشان داد که این موضوع در مرحله صحت‌سنجی بیش‌تر دیده می‌شود. لین و همکاران (۱۱) نیز به کاهش صحت شبیه‌سازی تحت اثر افزایش دقت مکانی نقشه DEM اشاره داشتند. شکل‌های ۴ و ۵ نتایج حاصل از شبیه‌سازی دبی و تغییرات آن نسبت به دبی مشاهده‌ای برای سه نقشه DEM را نشان می‌دهند.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-18]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.9.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.36]



شکل ۴- مقایسه دبی شبیه‌سازی شده با سه نوع DEM در مرحله واسنجی و صحت سنجی ایستگاه شیرگاه

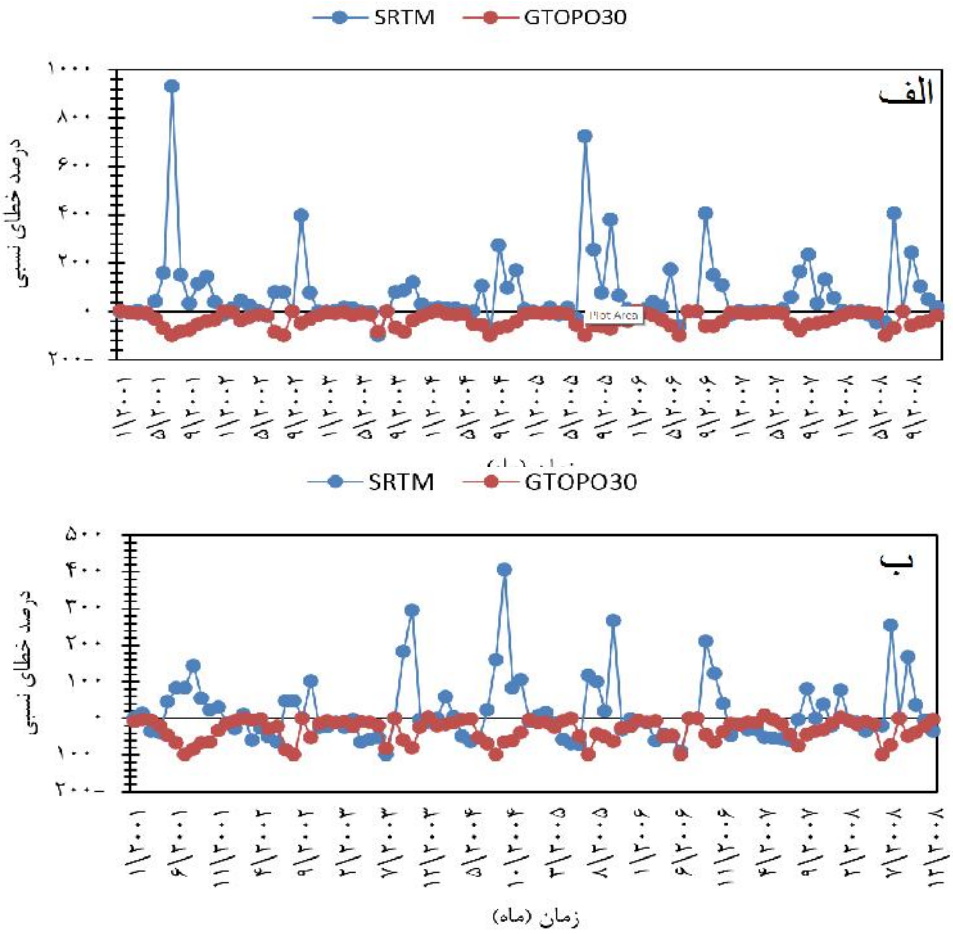
Figure 4. Comparison of simulated discharge with three DEMs for calibration and validation at Shirgah station

در نهایت می‌توان بیان نمود که نتایج ضرایب آماری مدل با وجود اختلاف در دقت مکانی نقشه‌های DEM استفاده شده خصوصا GTOPO30 از شباهت نسبی برخوردار می‌باشند. جیرانی و همکاران (۱) نیز در تحقیق خود برای شبیه‌سازی دبی با استفاده سه نقشه DEM با دقت مکانی ۵۰، ۹۰ و ۱۰۰۰ متر به ارزیابی مدل به ضرایب آماری مشابهی دست یافتند که علت آنرا تعدیل مقادیر پارامترها در واسنجی مدل گزارش کردند.

اثر دقت مکانی نقشه DEM در شبیه‌سازی رواناب، نیترات کل

نقشه رقومی ارتفاعی ASTER با دقت مکانی ۳۰ متر به‌عنوان بهترین عمل‌کرد مدل و هم‌چنین به عنوان مبنایی برای مقایسه نتایج شبیه‌سازی با SRTM (۹۰ متر) و GTOPO30 (۱۰۰۰ متر) در نظر گرفته شد. شکل ۶ نتایج حاصل از درصد خطای نسبی دبی و نیترات کل شبیه‌سازی شده با مدل‌های SRTM و GTOPO30 نسبت به ASTER برای دوره ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۸ را نشان می‌هد.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-18]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.9.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.36]



شکل ۵- تغییرات درصد خطای نسبی متوسط دبی ماهانه (الف) و متوسط نیترات کل ماهانه (ب)
Figure 5. Changes of relative error of average monthly discharge (a) and average total monthly nitrate (b)

همانطور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود با افزایش دقت مکانی از ۳۰ به ۹۰ متر مدل در شبیه‌سازی دبی و نیترات در اکثر ماه‌ها بیش‌تخمینی در حالی‌که با افزایش دقت مکانی از ۳۰ به ۱۰۰۰ متر مدل در شبیه‌سازی دبی و نیترات در تمامی ماه‌ها در دوره‌ی شبیه‌سازی کم‌تخمینی داشته است. پیپی و همکاران (۱۳) بیان نمودند که افزایش سایز پیکسل DEM باعث کم‌تخمینی در مدل SWAT در شبیه‌سازی دبی نیترات کل می‌شود که بیش‌ترین اثر آن برای DEM با دقت مکانی ۱۰۰۰ متر است. نتایج حاصل شده بر خلاف تحقیقات چاپلوت و همکاران (۵) و لین و همکاران (۱۱) می‌باشد. ایشان بیان کردند که دقت شبیه‌سازی جریان با مدل SWAT بدون در نظر گرفتن توزیع زمانی، مستقل از دقت مکانی نقشه DEM می‌باشد. درحقیقت افزایش دقت مکانی نقشه DEM به‌طور مستقیم بر خصوصیات فیزیوگرافی حوزه آبخیز مانند مساحت، شیب، تعداد HRU و زیرحوزه اثر می‌گذارد که در نتیجه آن باعث تغییر در مقدار شبیه‌سازی جریان می‌شود. در میان تمامی خصوصیات فیزیوگرافی شیب حوزه بیش‌ترین حساسیت را در شبیه‌سازی جریان نشان داد (۷). دراین تحقیق نیز با افزایش دقت مکانی از ۳۰ تا ۱۰۰۰ متر میانگین میانگین شیب از ۳۷ به ۲۴ درصد کاهش یافت و در نهایت باعث تغییر در دقت شبیه‌سازی جریان شد. درصد خطای نسبی نیترات نسبت به دبی کمتر بود اما با افزایش سایز پیکسل DEM از ۹۰ به ۱۰۰۰ متر خطای نسبی نیز افزایش یافت. چاپلوت و همکاران (۴) نیز در تحقیق خود نشان دادند که افزایش سایز پیکسل DEM باعث کاهش شبیه‌سازی نیترات می‌شود. از آنجایی که در مدل SWAT فرسایش خاک و نیتروژن با رابطه‌ی MUSLE محاسبه می‌شود و در آن میانگین طول شیب و زاویه شیب تاثیر بسزایی دارند (۱۸)، در نتیجه دقت مکانی DEM باعث تغییر شیب شده و بر مقدار شبیه‌سازی نیتروژن اثرگذار است.

تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر دقت مکانی سه نوع مدل رقومی ارتفاعی ASTER (۳۰ متر)، SRTM (۹۰ متر) و GTOPO30 (۱۰۰۰ متر) بر عدم اطمینان نتایج شبیه‌سازی دبی و نیترات کل در حوزه آبخیز تالار با مساحت ۲۱۰۰۰۰

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-18]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.9.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.36]

هکتار انجام گردید. نتایج عمل‌کرد مدل SWAT در مرحله واسنجی (۲۰۰۱-۲۰۰۸) و صحت‌سنجی (۲۰۰۹-۲۰۱۳) دبی ماهانه در ایستگاه شیرگاه نشان داد که ضرایب R^2، NS و PBIAS در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب ۰/۷۱ و ۰/۷۰، ۰/۶۸ و ۰/۵۴، ۱/۳- و ۶/۶ به‌دست آمدند. با افزایش دقت مکانی از ۳۰ به ۹۰ متر مدل در شبیه‌سازی دبی و نیترات در اکثر ماه‌ها بیش‌تخمینی در حالی‌که با افزایش دقت مکانی از ۳۰ به ۱۰۰۰ متر مدل در شبیه سازی دبی و نیترات در تمامی ماه‌ها در دوره شبیه‌سازی کم‌تخمینی داشته است. مطالعات نشان می‌دهد که افزایش پیکسل سایز باعث کم تخمینی نتایج شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی می‌گردد. با افزایش اندازه پیکسلی خصوصا بیش از ۹۰ متر خطا در شبیه‌سازی جریان نیترات افزایش می‌یابد که این موضوع به دلیل ساده‌سازی خصوصیات فیزیوگرافیکی حوزه آبخیز است (۴). کم تخمینی دبی در مدل های رقوی ارتفاعی با اندازه پیسکل سایز بالا به دلیل خطا در محاسبه میانگین شیب می‌باشد که عاملی مهم در محاسبه حجم کلی رواناب و توزیع آن است (۱۳). در مدل SWAT محاسبه فرسایش خاک و نیتروژن توسط مدل MUSLE محاسبه می‌گردد. از آنجا که در مدل MUSLE پارامترهای میانگین طول و درجه شیب از عوامل اساسی در این معادله می‌باشند لذا هرگونه تغییر در اندازه سایز پیکسل مدل رقومی ارتفاعی بر این دو عامل اثر می‌گذارد و در نهایت نیز باعث خطا در تخمین شبیه‌سازی نیترات می‌گردد (۱۷). با توجه به نقش مهم داده‌های مکانی در مدل‌سازی هیدرولوزیکی لذا پیشنهاد می‌شود که در تحقیقات آینده اثر دقت مکانی نقشه خاک و کاربری اراضی نیز بر نتایج شبیه‌سازی کمیت و کیفیت آب با مدل SWAT ارزیابی شود.

منابع

1. Arnold, J., J. Kiniry, R. Rinivasan, J. wiliams, E. Haney and S. Neitsch. 2012. Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2012. College Station: Texas Water Resources Institute.
2. Arnold, J., R. Srinivasan, R. Muttiah and J. Williams. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development1. JAWRA Journal of the American Water Resources Association, 34(1): 73-89.
3. Bormann, H. 2008. Sensitivity of a soil-vegetation-atmosphere transfer scheme to input data resolution and data classification. Journal of Hydrology, 138: 154-169.
4. Chaplot, V. 2005. Impact of DEM mesh size and soil map scale on SWAT runoff, sediment, and NO3CN loads predictions. Journal of Hydrology, 312: 207-222.
5. Chaubey, I., A. Cotter, T. Costello and T. Soerens. 2005. Effect of DEM data resolution on SWAT output uncertainty. Hydrological Process, 19: 621-628.
6. Cibin, R., K.P. Sudheer and I. Chaubey. 2010. Sensitivity and identifiability of stream flow generation parameters of the SWAT model. Hydrological Processes, 24(9): 1133-1148.
7. Cotter, A., I. Chaubey, T. Costello, T. Soerens and M. Nelson. 2003. Water quality model output uncertainty as affected by spatial resolution of input data. J. Am. Water Resour Assoc, 39: 977-986.
8. Dixon, B. and J. Earls. 2009. Resample or not?! Effects of resolution of DEMs in watershed modelling. Hydrological Processes, 23: 1714-1724.
9. Jeyrani, F., S. Farid and A. Moridi. 2011. The effect of spatial resolution of digital elevation model on calibration and estimation of runoff and sediment using SWAT-CUP model. Journal of Soil and Water Conservation, 18(4): 81-102 (In Persian).
10. Li, Z., Q. Shao, Z. Xu and X. Cai. 2010. Analysis of parameter uncertainty in semi-distributed hydrological models using bootstrap method: A case study of SWAT model applied to Yingluoxia watershed in northwest China. Journal of Hydrology, 385: 76-83.
11. 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, 7: 4411-4435.
12. Moriasi, D., J. Arnold, M. Van Liew, R. Bingner, R. Harmel and T. Veith. 2007. Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. Transactions of the ASABE, 50(3): 885-900.
13. Peipei, Z., L. Ruimin, B. Yimeng, W. Jiawei, Y. Wenwen and S. Zhenyao. 2014. Uncertainty of SWAT model at different DEM resolutions in a large mountainous watershed. Water Research, 53(1): 132-144.
14. Sharma, A., K. Tiwari and P. Bhadoria. 2011. Determining optimum cell size of digital elevation model for hydrologic application. Journal of Earth System Science, 120: 573-582.
15. Shen, Z., L. Chen and T. Chen. 2013. The influence of parameter distribution uncertainty on hydrological and sediment modelling: A case study of SWAT model applied to the Daning watershed of the three Gorges Reservoir Region, China. Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 27: 235-251.
16. Sivasena Reddy, A. and M. Janga Reddy. 2015. Evaluating the influence of spatial resolutions of DEM on watershed runoff and sediment yield using SWAT. Indian Academy of Sciences, 124(7): 1517-1529.
17. Thomas, I., P. Jordan, O. Shine, O. Fenton, P. Mellander, P. Dunlop and P. Murphy. 2017. Defining optimal DEM resolutions and point densities for modelling hydrologically sensitive areas in agricultural catchments dominatedby microtopography by microtopography. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 54: 38-52.
18. Williams, J. and H. Berndt. 1977. Sediment yield prediction based on watershed hydrology. Trans. ASAE, 20(6): 1100-1104.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-18]

[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.9.2]

[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.36]

Effects of Digital Elevation Models (DEM) Spatial Resolution on Hydrological Simulation

Ataollah Kavian[1] and Maziar Mohammadi[2]

1- Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran (Corresponding Author: a.kavian@sanru.ac.ir)
2- Ph.D. Student, Watershed Management Sciences and Engineering, Tarbiat Modares University, Noor, Iran
Received: May 14, 2017 Accepted: November 26, 2017

Abstract

Digital Elevation Model is one of the most important data for watershed modeling whit hydrological models that it has a significant impact on hydrological processes simulation. Several studies by the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) as useful Tool have indicated that the simulation results of this model is very sensitive to the quality of topographic data. The aim of this study is evaluating the spatial resolution effect of three type's digital elevation model such as ASTER (30 m), SRTM (90 m) and GTOPO30 (1000 m) on the uncertainty of results for flow and total nitrogen simulation. With increasing spatial resolution of 30 to 1,000 m physiographic characteristics such as the number HRU reduced but the average slope and the average minimum and maximum elevation increased. Furthermore, the channel drawing is heavily affected by the spatial resolution of DEM. The Best results of monthly calibration and validation are obtained in Shirgah station for ASTER digital elevation model. R2 and NS coefficient obtained 0.71 and 0.68 for during calibration period and 0.70 and 0.54 during validation period, respectively. Finally, calculated relative error of SRTM and GTOPO30 simulation results compared with ASTER. The results shows that the model overestimated flow and nitrate by increasing spatial resolution 30 to 90m and underestimated these two parameters by increasing spatial resolution 90 to 1000m. The results of this study showed that the accuracy simulation of discharge and total nitrate with the ASTER with the highest spatial resolution presented the best simulation compared to SRTM and GTOPO30 which this is due to the improvement of important physiographic properties, such as slope length and gradient and thus better simulation of hydrological processes.

Keywords: Models Estimation, Simulation, Discharge and Nitrate, Digital Elevation Model

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2025-12-18]
[DOR: 20.1001.1.22516174.1398.10.19.9.2]
[DOI: 10.29252/jwmr.10.19.36]