تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال دهم، شماره ۱، بهار و تابستان۱۳۹۳
Volume 10, No. 1, Spring and Summer 2014 (IR-WRR)
۱۱۱-۱۱۶

یادداشت فنی

بررسی اثر روش‌های مختلف ساخت مدل‌های رقومی ارتفاعی بر عملکرد مدل نیمه توزیعی TOPMODEL

اصغر عزیزیان[۱] و علیرضا شکوهی[۲*]

چکیده

مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEMs) به علت دارا بودن ساختار بسیار ساده و کارایی بالا جهت انجام محاسبات در مدلهای ریاضی بارش و رواناب، مورد توجه بسیاری قرار دارند. در حال حاضر روش‌های مختلفی جهت درونیابی داده‌های توپوگرافی و ساخت مدل ارتفاعی رقومی وجود دارد. در این تحقیق برای ساخت DEM از ۶ روش مرسوم نظیر IDW، کریجینگ و کوکریجینگ در محیط ARCGIS استفاده به عمل آمده است. پس از تهیه DEMهای مورد نظر، از مدل نیمه توزیعی TOPMODEL که مدلی مبتنی بر توپوگرافی می‌باشد استفاده گردید. نتایج حاکی از آن است که شاخص توپوگرافی که یکی از ارکان اساسی مدل مذکور می‌باشد، در برخی از روشهای ساخت DEM دارای تغییرات قابل توجهی است. این امر منجر به تغییرات زیادی در الگوی تشکیل مناطق اشباع شده و بر این اساس سهم جریان سطحی در تولید رواناب به شدت تحت تأثیر قرار گرفته است. همچنین بررسی نتایج خروجی مدل نشان می‌دهد که روش‌های مختلف ساخت DEM بر روی جریان متوسط رودخانه چندان مؤثر نبوده و تغییرات شاخص کارائی مدل (شاخص نش- ساتکلیف) معنی دار نمی‌باشد.

کلمات کلیدی: مدل‌های ارتفاعی رقومی (DEMs)، شاخص توپوگرافی، TOPMODEL، روش‌های ساخت DEM.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۶ مرداد ۱۳۹۲
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۸ آذر ۱۳۹۲

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی دانشگاه تهران، تهران، ایران.
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران.
*- نویسنده مسئول

Technical Note

An Investigation on the Effects of DEM Creation Methods on Performance of the TOPMODEL

A. Azizian [1] and A. Shokoohi [2]*

Abstract

Digital Elevation Models (DEMs), due to their simple structure and high performance, are favorably being used for rainfall runoff modeling in modern hydrology. There are different methods for DEM creation via topographical data interpolation. To create DEM in this research, 6 different methods of IDW, Kriging, and Co-Kriging, embedded in ARCGIS, were used. The TOPMODEL which is a semi distributed topographic-based rainfall runoff model were investigated to search about the effects of the DEM creation method on the results of these types of models. The results showed that the TOPO index, as the most important basic parameter for the TOPMODEL, is highly sensitive to the DEM creation method. The consequences of this sensitivity, was illustrated by different extent and distribution of the saturated zones across the watershed. Accordingly, the amount of surface runoff was highly affected by the DEM creation method, while this effect on the total amount of river discharge was negligible and the Nash- Sutcliff index variation could be ignored.

Keywords: DEM, Topo index, TOPMODEL, DEM creation methods.

Received: August 17, 2013
Accepted: December 9, 2013

1- PhD. Student in hydraulic structures, Tehran University, Tehran, Iran.
2- Associate Professor, Water Engineering Dept., Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran, E-mail: Shokoohi@eng.ikiu.ac.ir
*- Corresponding Author

۱- مقدمه

مدل‌های ریاضی مورد استفاده در هیدرولوژی نیازمند اطلاعات بسیار زیادی می باشند که بر حسب نوع مدل، حجم اطلاعات مورد استفاده متغیر بوده و از مدل یکپارچه تا توزیعی افزایش معنی‌داری می یابد. استفاده از مدل‌های رقومی ارتفاعی توانسته است بخش اعظم این نیازها را برای مدل‌های ریاضی و بخصوص آن دسته از مدل‌ها که براساس اندکس‌های توپوگرافی بنا شده‌اند، تأمین نماید (Wise, 2007). در این راستا الگوریتم‌های متنوعی برای ساخت مدل‌های رقومی ارتفاعی[۱] (DEMs) به کمک روشهای درون‌یابی موجود در محیط GIS از روی اطلاعات نقطه‌ای و برداری توسعه یافته‌اند. در استفاده از DEMها در هیدرولوژی دو منبع بالقوه خطا وجود دارد: الف) خطا در ساخت DEM و ب) خطای ناشی از استفاده از این DEMها در الگوریتم‌هائی که جهت تجزیه و تحلیل از آنها استفاده می نمایند. هرچند مسئله خطا در ساخت DEM مورد توجه محققین قرار گرفته است ولی این مهم که مدل‌ها و الگوریتم‌هایی که از این DEMها استفاده می‌نمایند تا چه حد تحت تأثیر خطای مزبور قرار گرفته و تا چه حد خروجی مدل به خطاهای ناشی از ساخت DEM عکس‌العمل نشان می‌دهد کمتر مورد توجه محققین بوده است (Wise, 2007). مطالعات صورت گرفته بر روی خطاهای ناشی از ساخت DEM، عمدتاً بر روی دقت و صحت مقادیر ارتفاعی استوار می‌باشد. شاخص آماری RMSE[۲] (مجذور میانگین مربعات خطا) شاخص مناسبی برای ارزیابی دقت DEM از طریق مقایسه رقوم ارتفاعی بدست آمده و رقوم ارتفاعی اندازه‌گیری شده می‌باشد (Weibel and Heller, 1991). برای ساخت DEM از روی داده‌های نقشه‌برداری که همواره به‌صورت نقطه و یا خط می‌باشند معمولاً از روشهای درون‌یابی استفاده می‌گردد. این امر می‌تواند DEMهای مختلف با مشخصه‌های توپوگرافیکی متفاوتی را بدست دهد که به نوبت خود بر کیفیت مدل‌سازی اثر گذار خواهد بود. هدف تحقیق حاضر، بررسی اثر روش‌های مختلف درون‌یابی و ساخت DEM بر روی نتایج حاصل از مدل‌سازی هیدرولوژیکی است. مدل هیدرولوژیکی که در این تحقیق از آن استفاده گردیده TOPMODEL می‌باشد. TOPMODEL یک مدل نیمه توزیعی مبتنی بر توپوگرافی با کاربرد در سطح حوضه می‌باشد که برای مقاصد گوناگونی همچون: تحلیل فراوانی سیلاب، اثر توپوگرافی بر روی کیفیت آب، شبیه‌سازی آبدهی روزانه و ماهانه و . . . به کار گرفته می‌شود (Beven and Binley, 1992). به‌کارگیری TOPMODEL نیازمند محاسبه توزیع مکانی پارامتری بنام شاخص توپوگرافی[۳] است که از داده‌های توپوگرافیکی مدل‌های رقومی ارتفاعی به دست می‌آید. بر این اساس فرض بر آن است که بتـــوان به کمک این مدل به اهداف تحقیق دست یافت.

۲- مواد و روشها

۲-۱- معرفی TOPMODEL

TOPMODEL، یک مدل نیمه توزیعی است که تغییرات توپوگرافی منطقه و سطوح مشارکت کننده در رواناب، نقش اصلی را در آن ایفا می‌کنند. اطلاعات توپوگرافی مورد استفاده در این مدل در غالب شاخصی به نام شاخص توپوگرافی معرفی می‌گردد. این شاخص مبین تمایل تجمع جریان و حرکت آن در راستای شیب پائین‌دست به وسیله نیروی ثقل می‌باشد و به صورت رابطه ۱ تعریف می‌گردد:

$$\lambda=Ln(a/tan\beta) \qquad (۱)$$

در معادله فوق λ: شاخص توپوگرافیکی، Ln لگاریتم طبیعی، a : مساحت زهکشی محدوده بالادست هر سلول در واحد طول خطـــوط کنتـــور و $tan\beta$: شیب موضعی سطح زمین می‌باشـــد (Beven and Binley, 1992).

در این مدل جهت سهولت کاربرد مدل و واسنجی آن از ۵ پارامتر که به شرح زیر می‌باشند، استفاده شده است:

m: ضریب تابع نمائی ظرفیت انتقال به کار رفته در مدل (متر)، $ln(T_o)$: لگاریتم طبیعی پارامتر ظرفیت انتقال مؤثر خاک در حالت اشباع (مترمربع بر ساعت)، SR_{max} : رطوبت ذخیره شده در پروفیل خاک که در معرض تبخیر و تعرق قرار دارد (متر) و یا به عبارت بهتر ظرفیت آب در دسترس، SR_{init} : کمبود ذخیره اولیه در ناحیه ریشه (متر) و یا به عبارت بهتر شاخص رطوبت اولیه موجود در خاک و $CHVel$: پارامتر مربوط به سرعت روندیابی سطحی (متر بر ساعت).

در این تحقیق از داده‌های روزانه ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری دینارسرا در سال ۱۳۸۵ استفاده شده است (طول دوره شبیه‌سازی یک سال و با گام‌های زمانی یک روز در نظر گرفته شده است). این ایستگاه در مختصات جغرافیایی عرض شمالی ۳۶ درجه و ۳۹ دقیقه و طول شرقی ۵۱ درجه و ۵ دقیقه واقع بوده و دارای ۲۶ سال دوره آماری می‌باشد. با بازدیدهای میدانی و نمونه‌برداری‌های صحرایی از وضعیت خاک حوضه، مقادیر اولیه پارامترهایی مانند T_o و m برآورد گردید. با اجرای TOPMODEL در دوره زمانی یکساله و با استفاده از پارامترهای مذکور، هیدروگراف جریان حاصل گردید. سپس با استفاده از روش مونت کارلو این پارامترها به تعداد زیاد تولید و در اختیار مدل بهینه‌سازی GLUE [۴] قرار گرفتند. در مدل GLUE به ازای مقادیر مختلف هر کدام از پارامترهای ورودی، شاخص کارایی

مدل محاسبه و بر اساس بالاترین مقدار این شاخص، نتایج رده‌بندی می‌شوند. به عبارت بهتر به ازای هر شاخص کارایی مقادیر بهینه پارامترهای مدل نیز محاسبه می‌شوند. در نهایت با انتقال این پارامترهای بهینه به TOPMODEL، هیدروگراف جریان شبیه‌سازی شده مجدداً برآورد و با استفاده از شاخص نش- ساتکلیف[5] کارایی مدل محاسبه گردید.

۲-۲- محدوده مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه آزارود یکی از زیرحوضه‌های ورودی به دریای خزر با مساحتی در حدود ۲۳۳/۸ کیلومترمربع، دامنه تغییرات ارتفاعی ۰/۰ تا ۴۴۱۴/۳ متر از سطح آب دریای آزاد می‌باشد. رودخانه آزارود از رودخانه‌های مستقل زیرحوضه چالوس می‌باشد. موقعیت حوضه آبریز این رودخانه در شکل ۱ نشان داده شده است (آب انرژی محیط، ۱۳۸۹)

۲-۳- روش‌های ساخت DEM

در این تحقیق، از نرم افزار ArcGIS9.3 و تحلیل‌گر زمین آماری GeoStatistical Analyst جهت ساخت DEM استفاده شده است. در این الحاقیه روش‌های مختلفی جهت درون‌یابی وجود دارد که مهمترین آنها عبارتنداز: روش معکوس فاصله وزنی (IDW) [6]، روش درونیاب چند جمله‌ای کلی (GPI)[7]، روش درونیاب چند جمله‌ای موضعی (LPI) [8]، روش توابع پایه شعاعی (RBF)[9]، روش کریجینگ[10] و روش تبدیل خطوط توپوگرافی به رستر (Topo2Raster).

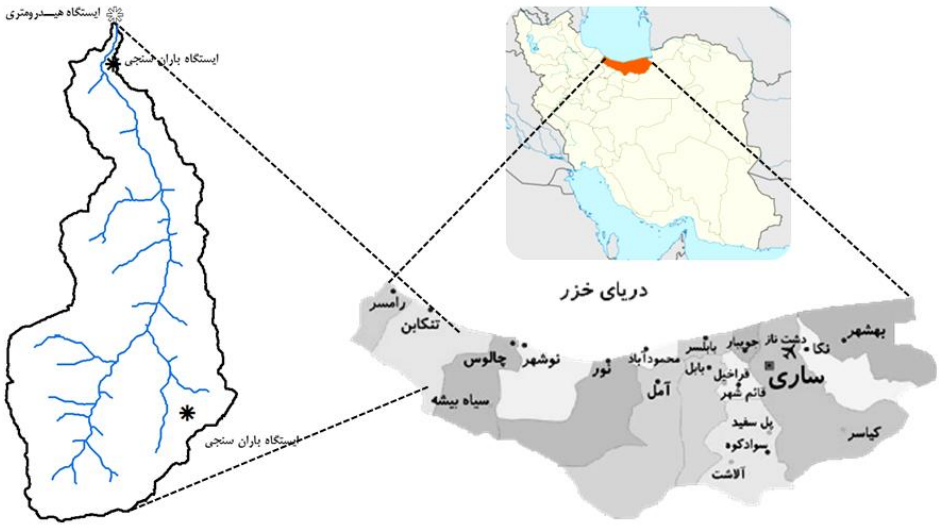
۳- نتایج

۳-۱- ساخت DEM با روش‌های مختلف

در الحاقیه GeoStatistical Analyst جهت ارزیابی DEMهای ساخته شده از شاخص آماری RMSE استفاده می‌شود. هرچه مقدار این شاخص کمتر باشد، حاکی از قابلیت بالای روش مورد استفاده برای درون‌یابی می‌باشد. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که روش‌های RBF و Kriging نسبت به روش‌های دیگر از مقدار RMSE کمتری برخوردار می‌باشند. همچنین روش GPI نسبت به دیگر روش‌ها از میزان خطای بالاتری برخوردار می‌باشد. نتایج حاصله در جدول ۱ آورده شده است.

۳-۲- استخراج شاخص توپوگرافی TOPMODEL

در جدول ۲ پارامترهای آماری مربوط به شاخص توپوگرافی به ازای DEMهای مختلف ارائه شده است. همچنین نمودار مربوط به توزیع فراوانی شاخص توپوگرافی در DEMهای مختلف در شکل ۲ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، تأثیر ساخت DEM بر روی توزیع شاخص توپوگرافی نسبتاً قابل توجه می‌باشد. نتایج حاصل از روش‌های IDW ، RBF تقریباً مشابه هم بوده و دارای فراوانی ماکزیممی در حدود ۹ درصد می‌باشند. همچنین نتایج حاصل از روش‌های Kriging ، Cokriging و LPI نیز مشابه هم بوده و حداکثر فراوانی آنها در حدود ۱۰/۳ می‌باشد. روش Topo2Raster نیز دارای توزیعی مشابه با دیگر روشها بوده و تنها به لحاظ مقدار ماکزیمم (۱۲/۶ درصد) توزیع فراوانی حاصله متفاوت می‌باشد. در نهایت می‌توان گفت که توزیع فراوانی روش *GPI* با دیگر روش‌ها متفاوت بوده و مقدار ماکزیمم و محل وقوع آن نیز با دیگر روش‌ها



شکل ۱- موقعیت جغرافیائی حوضه آبریز رودخانه آزارود

دارای اختلاف است. به عبارت بهتر این روش نسبت به دیگر روش‌های درونیابی، تأثیر بیشتری بر روی شاخص توپوگرافی دارد.

جدول ۱- مقادیر شاخص آماری روش‌های درونیابی برای ساخت DEM

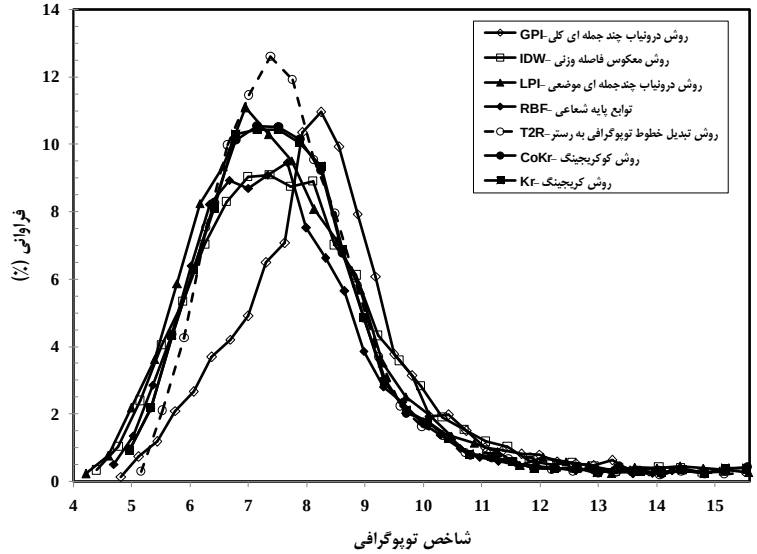
ردیف	روش درون‌یابی		RMSE
۱	روش معکوس فاصله وزنی (IDW)		۲۵/۹۶
۲	روش درونیاب چند جمله‌ای کلی (GPI)		۱۱۳/۳
۳	روش درونیاب چند جمله‌ای موضعی (LPI)		۱۷/۵۴
۴	توابع پایه شعاعی (RBF) این تابع شامل ۵ حالت مختلف می‌باشد	Thin-plate spline	۱۹/۲۵
		Spline with tension	۱۳/۹۴
		Completely regularized spline	۱۵/۶۴
		Multiquadric	۱۵/۱۲
		Inverse multiquadric function	۱۴/۱۶
۵	کریجینگ این روش شامل سه حالت مختلف می‌باشد	Ordinary	۱۵/۰۱
		Simple	۱۵/۱۱
		Universal	۱۴/۸۴
۶	کو کریجینگ این روش شامل سه حالت مختلف می‌باشد	Ordinary	۱۷/۴۴
		Simple	۱۵/۲۹
		Universal	۱۴/۸۵
۷	روش تبدیل خطوط توپوگرافی به رستر (T2R)		۲۳/۳۱

۳-۳- اجرای مدل و شبیه‌سازی رواناب

مواردی که در این تحقیق جهت بررسی اثر ساخت DEM به روش‌های مختلف بر روی TOPMODEL مورد بررسی قرار گرفته عبارتند از: متوسط دبی روزانه شبیه‌سازی شده، شاخص کارایی نش- ساتکلیف وجریان سطحی و زیرسطحی شبیه‌سازی شد. در جدول ۳ مقادیر مربوط به پارامتر کارائی مدل و متوسط دبی روزانه شبیه‌سازی شده ارائه گردیده است. همچنین در شکل ۳ مقادیر جریان سطحی و زیرسطحی شبیه‌سازی شده به ازای DEMهای حاصل از روشهای مختلف درونیابی ملاحظه می‌گردد. بررسی جریان سطحی شبیه‌سازی شده، حاکی از وجود اختلاف قابل توجهی در حدود ۱۲۰٪ بین DEMهای مختلف می‌باشد. این اختلاف را می‌توان مربوط به دو عامل دانست: الف) درصدی از حوضه که به حالت اشباع تبدیل شده و ب) مقادیر شاخص توپوگرافی مناطق اشباع. این دو عامل در پیش‌بینی و تخمین جریان سطحی بسیار مهم و مؤثر می‌باشند.

جدول ۲ - پارامترهای آماری مربوط به شاخص توپوگرافی به ازای DEMهای مختلف

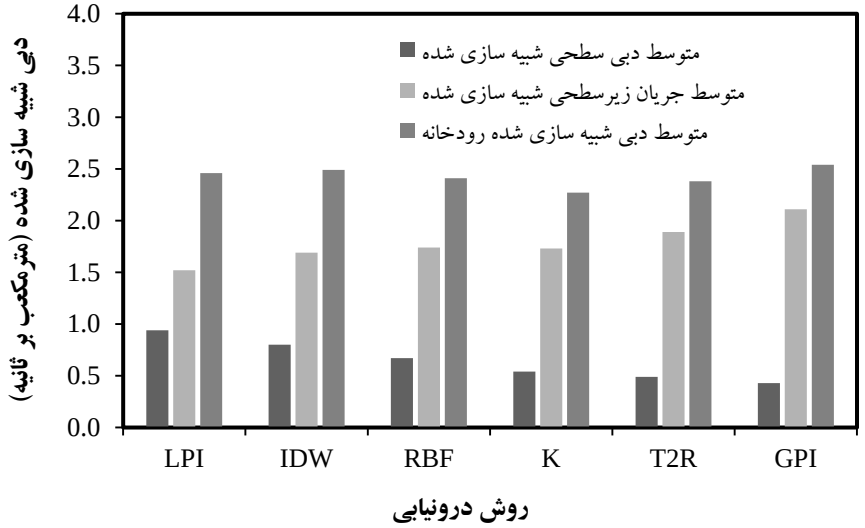
روش	پارامترهای آماری			
	انحراف از معیار	حداکثر	متوسط	حداقل
IDW	۳/۲۷	۱۵/۵۵	۱۰/۳۶	۵/۱۶
GPI	۲/۷۵	۱۴/۲۶	۹/۷۳	۵/۲۰
LPI	۳/۴۵	۱۵/۹۷	۱۰/۲۹	۴/۶۰
RBF	۲/۹۱	۱۴/۶۶	۹/۸۷	۵/۰۹
T2R	۳/۲۷	۱۶/۳۱	۱۱/۱۱	۵/۹۲
COK	۳/۲۲	۱۵/۹۶	۱۰/۸۴	۵/۷۲
K	۳/۲۱	۱۵/۹۴	۱۰/۶۴	۵/۳۵



شکل ۲- توزیع فراوانی شاخص توپوگرافی به ازای بکارگیری DEMهای مختلف

جدول ۳- شاخص کارایی TOPMODEL و پارامترهای آماری دبی شبیه‌سازی شده

روش درونیابی (جهت ساخت *DEM*)	شاخص کارائی مدل (درصد)	پارامترهای آماری دبی شبیه سازی شده (مترمکعب بر ثانیه)		
		حداقل	متوسط	حداکثر
درونیاب چند جمله‌ای کلی	۷۷/۱	۰/۵۵۱	۲/۵۴	۲۳/۰۹
مکوس فاصله وزنی	۷۶/۰	۰/۴۹۵	۲/۴۹	۲۲/۶۰
درونیاب چند جمله‌ای موضعی	۷۵/۲	۰/۴۸۴	۲/۴۶	۲۲/۳۶
توابع پایه شعاعی	۷۷/۰	۰/۴۷۱	۲/۴۱	۲۱/۸۷
تبدیل خطوط توپوگرافی به رستر	۷۵/۶	۰/۴۶۵	۲/۳۸	۲۱/۶۳
کریجینگ	۷۵/۵	۰/۴۳۹	۲/۲۷	۲۰/۶۱



شکل ۳- تأثیر روش‌های مختلف درونیابی بر روی دبی سطحی، زیرسطحی و متوسط دبی رودخانه

در مقابل بررسی نتایج ارائه شده در جدول ۳ حاکی از آن است که استفاده از روش‌های مختلف ساخت DEM ، علی‌رغم تأثیر نسبی بر روی شاخص توپوگرافی و تأثیر قابل توجه بر روی جریان سطحی (شکل ۳)، تأثیر چندان مهمی بر روی دبی کلی رودخانه آزارود نداشته است. همانطوری که ملاحظه می‌گردد بررسی میزان کارایی مدل با استفاده از شاخص نش- ساتکلیف، حاکی از وجود اختلاف ۱/۴ درصدی بین تمامی روش‌ها دارد که چندان قابل توجه نمی‌باشد.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی اثر روش‌های مختلف ساخت DEM بر روی توزیع شاخص توپوگرافی و نیز نتایج حاصل از شبیه‌سازی توسط TOPMODEL پرداخته شد. نتایج نشان داد که تأثیر روش ساخت DEM بر روی نحوه توزیع شاخص توپوگرافی نسبتاً قابل توجه می‌باشد. مطابق نتایج به‌دست آمده برخی از روش‌ها همچون روش GPI نسبت به دیگر روشهای درونیابی، تأثیر بیشتری بر روی شاخص توپوگرافی دارند.در حالی‌که بر اساس نتایج بدست آمده در دبی کل، اختلاف زیادی میان واکنش TOPMODEL به روشهای مختلف ساخت DEM دیده نمی‌شود، جریان سطحی شبیه‌سازی شده حاکی از وجود اختلافی در حدود ۱۲۰٪ دارد. در نتیجه می‌توان این چنین استنباط نمود که شکل و توزیع شاخص توپوگرافی بدست آمده از روش‌های مختلف تنها بر روی جریان سطحی تأثیرگذار بوده و اثر چندانی بر روی دبی کلی رودخانه ندارد. دبی متوسط رودخانه

آزارود بیشتر از آنکه تحت تأثیر جریان‌های سطحی (جریان دامنه‌ای) باشد از جریان‌های زیرسطحی تأثیر می‌پذیرد. این خصوصیت یعنی معنی‌دار بودن اثر جریانهای زیرسطحی، مختص حوضه‌های واقع در مناطق مرطوب است که با توجه به اینکه رودخانه آزارود از حوضه‌های آبریز دریای خزر و دارای شرایط آب و هوایی مرطوبی می‌باشد، نتیجه به‌دست آمده قابل قبول به نظر می‌رسد. با توجه به اینکه در صورت استفاده از داده‌های ساعتی برای رخدادهای سیلابی می‌توان اثر جریانات سطحی را در دبی رودخانه (به خصوص در شاخه صعودی) با وضوح بیشتری مشاهده نمود، به نظر می‌رسد که یکی از دلایلی که موجب شده علی‌رغم وجود اختلاف بالا بین جریان‌های سطحی شبیه‌سازی شده، دبی کلی رودخانه تغییر چندانی ننماید، این است که در این تحقیق از داده‌های روزانه (بزرگ بودن گام زمانی) استفاده شده است. در نهایت می‌توان بر اساس نتایج تحقیق حاضر این مدعا را مطرح نمود که قطعاً روشهای مختلف ساخت *DEM* بر روی نتایج حاصل از مدلهای بارش – روانابی که مبتنی بر استفاده از شاخص‌های وابسته به توپوگرافی نظیر شیب و مساحت زهکشی بالادست می‌باشند اثرگذار است. تحلیل حساسیت نتایج مدل‌سازی در این حالت بسیار مهم بوده و لازم است برای هر مدل علاوه بر شرایط مدل‌سازی، در مورد نحوه ساخت بستر هندسی نیز دستورالعمل ویژه‌ای داشت. این مهم بایستی در حوضه‌های مختلف با شرایط متفاوت مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد.

پی‌نوشت‌ها

1- Digital Elevation Models
2-Route Mean Square Error
3- Topo Index
4- Generalised Likelihood Uncertainty Estimation
5- Nash-Sutcliffe
6- Inverse Distance Weighted
7- Global Polynomial Interpolation
8- Local Polynomial Interpolation
9- Radial Basis Functions
10- Kriging

۵- مراجع

مهندسین مشاور آب انرژی محیط، گزارش فیزیوگرافی رودخانه‌های غرب مازندران. تهران، ۱۳۸۹.

Beven KJ, Binley AM (1992) The future of distributed models: Model calibration and uncertainty prediction. Hydrol. Processes, 6: 279–298.

Weibel R , Heller M (1991) Digital terrain modeling. Geographical Information Systems.1(12), 218–221.

Wise SM (2007) Effect of differing DEM creation methods on the results from a hydrological model. Computers & Geosciences, 33:1351–1365.