تحقیقات منابع آب ایران
Iran-Water Resources Research

سال چهاردهم، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷
Volume 14, No. 2, Summer 2018 (IR-WRR)
۲۱۲-۲۲۳

ارزیابی مدل‌های رقومی ارتفاعی مبتنی بر سنجش از دور جهت کاربرد در مدل‌سازی هیدرولیکی سیلاب

اصغر عزیزیان[۱*]

چکیده

مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEMs) یکی از مهم‌ترین داده‌های موردنیاز مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی به شمار می‌آیند. عدم دسترسی به نقشه‌های زمینی با دقت بالا بویژه در حوضه‌های فاقد آمار، بسیاری از پروژه‌های مرتبط با مبحث سیلاب و هیدرولیک جریان را با چالشی اساسی روبرو می‌نماید. نقطه مقابل نقشه‌های زمینی، DEMهای مبتنی بر سنجش از دور قرار دارند که به علت یکنواختی داده‌ها و دسترسی رایگان به آنها در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین در مطالعات مختلف به ویژه مدل‌سازی هیدرولیکی سیلاب قرار گرفته‌اند. پژوهش حاضر با هدف بررسی کفایت منابع ارتفاعی مبتنی بر سنجش (مانند DEMهای ASTER، SRTM و ALOS) که هر کدام دارای ابعادی سلولی مختلف می‌باشند جهت استخراج مدل هندسی رودخانه (مقاطع عرضی) و برآورد مؤلفه‌های هیدرولیکی مهم سیلاب مانند پهنه سیلاب و تراز سطح آب به انجام رسیده است. در این پژوهش از الحاقیه HEC-GeoRAS در بستر GIS برای استخراج مدل هندسی رودخانه از روی منابع ارتفاعی مختلف و از مدل یک بعدی HEC-RAS برای شبیه‌سازی مؤلفه‌های سیلاب استفاده بعمل آمده است. همچنین لازم به ذکر است که از نقشه‌های توپوگرافی زمینی با مقیاس ۱/۱۰۰۰ به عنوان مبنایی برای ارزیابی عملکرد هر کدام از منابع ارتفاعی مذکور استفاده شده است. نتایج بدست آمده در دو رودخانه سرباز و سجاس‌رود حاکی از آن است که DEMهای ۳۰ متری ALOS نسبت به منابع دیگر، از قابلیت به مراتب بالاتری جهت استخراج مقاطع عرضی و متعاقب آن مدل‌سازی هیدرولیکی سیلاب برخوردار می‌باشند. به عنوان مثال، متوسط خطای نسبی ناشی از کاربرد این منبع در تخمین پهنه سیلاب در دو رودخانه سرباز و سجاس‌رود به ترتیب کمتر از ۱۳ و ۹ درصد می‌باشد. بر خلاف این منبع، نتایج حاصل از کاربرد DEMهای ASTER در هیچکدام از رودخانه‌های مزبور چندان رضایت بخش نبوده به طوریکه متوسط خطا در برآورد پهنه سیلاب با استفاده از این منبع بیش از ۳۸٪ می‌باشد. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان چنین عنوان نمود که DEMهای ALOS و ASTER به ترتیب بهترین و بدترین منبع ارتفاعی برای استخراج مدل هندسی و کاربرد در مدل‌سازی هیدرولیکی سیلاب می‌باشند و لذا در حوضه‌های فاقد آمار و یا پروژه‌هایی که با کمبود منابع مالی روبرو هستند استفاده از DEMهای ۳۰ متری ALOS به ویژه در مطالعات فاز یک و طراحی‌های اولیه می‌تواند بسیار گره‌گشا باشد.

کلمات کلیدی: مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEMs)، سنجش از دور، پهنه سیلاب و مدل‌سازی هیدرولیکی.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۶/۶/۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۱۰/۱۵

۱- عضو هیئت علمی گروه مهندسی آب دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین.
*- نویسنده مسئول
بحث و مناظره (Discussion) در مورد این مقاله تا پایان پائیز ۱۳۹۷ امکانپذیر است.

Investigating the Application of Remote Sensing Based DEMs on for Inundation Mapping and Hydraulic Modeling

A. Azizian [1*]

Abstract

Digital elevation models (DEMs) are one the most important inputs of hydraulic and hydrological models. Due to lack of high resolution maps, especially in regions where data is scarce, hydraulic modeling is a difficult and challenging task. In recent years, remote-sensing based DEMs are extensively used in several studies particularly hydraulic modeling due to ease of access and being free of charge. One of the most important questions in application of hydraulic models is the efficiency of these DEMs in flood simulation. This research focused on application of remote-sensing based DEMs, such as SRTM-30 and 90m, ASTER-30m and ALOS-30m DEMs, on the performance of HEC-RAS-1D model in two different rivers of Iran. The results showed that the accuracy of ALOS-30m DEMs in deriving geometric model and subsequently flood simulation was higher and more considerable than other DEM sources. For instance, the average relative error (RE) of using this valuable dataset in simulating inundated extents in Sarbaz and SojasRood rivers was lower than 13 and 9 %, respectively. In contrast, the results of ASTER-30m DEMs in both rivers was not satisfactory and the average RE of inundated extents was more than 38%. As an overall conclusion, one can deduce that ALOS-30m and ASTER-30m DEMs are the best and the worst datasets for deriving geometric model, flood inundation mapping and flood simulation. Hence, in areas with data scarcity or for underfunding projects, using ALOS-30m DEM especially in early design stages can be useful and more beneficial.

Keywords: Digital Elevation Models (DEMs), Remote Sensing, Inundated Extent and Hydraulic Modeling.

Received: August 27, 2017
Accepted: January 5, 2018

1- Assistant Professor, Water Engineering Department, Faculty of Engineering and Technology, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: Azizian@eng.ikiu.ac.ir
*- Corresponding Author

Archive of SID
www.SID.ir

۱- مقدمه

سیلاب یکی از پدیده‌های طبیعی می‌باشد که در طول سال‌های اخیر خسارات جانی و مالی فراوانی را در بسیاری از کشورها بر جای گذاشته است. یکی از راهکارهای کاهش خطرات سیلاب، مدل‌سازی هیدرولیکی جریان و شناسایی مناطق دارای ریسک بالا در حاشیه رودخانه می‌باشد. در حال حاضر نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب عمدتاً توسط سازمان‌های آب منطقه‌ای تهیه و به عنوان ابزاری مفید جهت شناسایی مناطق سیل‌خیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مبحث پهنه‌بندی سیلاب، شبیه‌سازی مناسب تراز سطح آب و پهنه سیلاب از اهمیت بسیار زیادی به ویژه در برآورد میزان خسارات جانی و مالی ناشی از سیلاب برخوردار می‌باشد. شبیه‌سازی مناسب پارامترهای مذکور وابسته به عوامل مختلفی همچون: نوع مدل عددی مورد استفاده (یک بعدی، دو بعدی و حتی سه بعدی)، کیفیت و مقیاس نقشه‌های توپوگرافی، نحوه برآورد ضرائب زبری بستر و سیلاب‌دشت‌های رودخانه، شرایط مرزی مدل عددی و غیره وابسته می‌باشد. نقشه‌های توپوگرافی نقش اساسی را در تعیین صحت مدل‌سازی هیدرولیکی و برآورد دقیق پهنه سیلاب ایفا می‌نمایند (Brandt, 2005; Saghafian and Ghermez Cheshmeh, 2008; Cook and Merwade, 2009; Barani et al., 2011). در حال حاضر در بسیار از مدل‌های هیدرولیکی از مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEMs) که حاوی اطلاعات توپوگرافیکی محدوده موردنظر می‌باشند، برای بیان هندسه رودخانه استفاده بعمل می‌آید. یکی از مهم‌ترین مواردی که بر کیفیت و کمیت DEMها و متعاقب آن دقت مدل هندسی تأثیرگذار است، تراکم داده[1] مورد استفاده برای ساخت آن می‌باشد (Vaze et al., 2010; Azizian and Shokoohi, 2015). تاکنون مطالعات مختلفی به ویژه در زمینه بررسی تأثیر توان تفکیک مدل‌های رقومی ارتفاعی، میزان خطای ناشی از روش‌های مختلف درونیابی و همچنین منابع ارتفاعی موجود بر عملکرد مدل‌های هیدرولیکی و هیدرولوژیکی به انجام رسیده است. به عنوان مثال، Sanders (2007) کارایی چهار DEM مختلف (LIDAR[2]، SRTM[3]، IFSAR[4] و NED[5]) را در برآورد پهنه سیلاب رودخانه سانتا کلارا[6] تگزاس مورد ارزیابی قرار داد. نتایج بدست آمده نشان داد که DEMهای LIDAR به علت دارا بودن توان تفکیک مناسب و همچنین دقت بالا در برآورد تغییرات ارتفاعی بستر رودخانه، از قابلیت بسیار زیادی در تعیین پهنه‌های سیلاب برخوردار می‌باشند. همچنین DEMهای SRTM به علت دارا بودن خطاهای ناشی از عملکرد سنجنده‌های راداری نتایج ضعیف و غیر دقیقی از پهنه سیلاب را بدست می‌دهند. Casas et al. (2006) نیز به بررسی اثر سه منبع ارتفاعی LIDAR، نقشه‌برداری زمینی با GPS و نقشه مبتنی بر تکنیک کارتوگرافی هوائی بر پهنه سیلاب و تراز سطح آب (حاصل از مدل هیدرولیکی HEC-RAS) در رودخانه تِر[7] واقع در حوضه جیرونا کشور اسپانیا پرداختند. نتایج نشان داد که پهنه سیلاب و تراز سطح آب بدست آمده از کاربرد مدل‌های رقومی ارتفاعی LIDAR و همچنین DEMهای مبتنی بر نقشه‌برداری زمینی با GPS نسبت به داده‌های مشاهداتی دارای اختلافی کمتر از ۸ درصد می‌باشند. Schumann et al. (2007) نیز با استفاده از مدل رگرسیونی و مبتنی بر ارتفاع REFIX[8]، پهنه سیلاب و تراز سطح آب را با استفاده از DEMهای مبتنی بر نقشه‌های توپوگرافی و SRTM در رودخانه آلزِته[9] در کشور انگلستان محاسبه و به این نتیجه رسیدند که مشخصات هیدرولیکی سیلاب بدست آمده از نقشه‌های زمینی دارای RMSE کمتری بوده و لذا از قابلیت کاربرد به مراتب بهتری برخودار می‌باشند. Forkuo and Tsawo (2013) با استفاده از DEMهای سنجش از دوری ASTER پهنه‌های سیل‌گیر رودخانه سوسان[10] در کشور غنا را در محیط GIS شبیه‌سازی نمود. نتایج بدست آمده نشان داد که پهنه سیلاب شبیه‌سازی شده تقریباً تمامی مناطقی که سیلاب‌های شدیدی را تجربه می‌کنند، پوشش می‌دهد. Ali et al. (2015) با ارزیابی چهار منبع ارتفاعی SRTM، ASTER، LIDAR و نقشه‌های توپوگرافی بدست آمده از برداشت‌های زمینی بر عملکرد مدل‌های یک بعدی HEC-RAS و دو بعدی LISFLOOD در رودخانه جوهور[11] واقع در کشور مالزی به این نتیجه رسیدند که استفاده از منابع ارتفاعی مختلف تأثیر بسیار معنی‌داری بر خروجی مدل‌های هیدرولیکی دارد. همچنین محاسبات صورت گرفته نشان داد که اثر منبع تهیه DEM نسبت به توان تفکیک DEM تأثیر به مراتب بیشتری بر پارامترهای هیدرولیکی شبیه‌سازی شده دارد. Wilson and Atkinson (2005) با استفاده از مدل LISFLOOD-FP و مدل‌های رقومی ارتفاعی SAR[12]، DGPS[13] و نقشه‌های توپوگرافی به شبیه‌سازی سیلاب سال ۱۹۹۸ در کشور انگلستان پرداختند. نتایج بدست آمده حاکی از وجود اختلاف معنی‌داری بین مدت زمان حرکت سیلاب و پهنه آن در دو منبع DGPS و نقشه‌های توپوگرافی می‌باشد. همچنین طبق نتایج این محققین، DEMهای مبتنی بر سنجش از دوری مانند SAR از قابلیت لازم برای ارزیابی خطرات سیلاب در مناطق کوچک برخوردار نمی‌باشند. Patero et al. (2009) با استفاده از DEMهای ۹۰ متری SRTM به مدل‌سازی سیلاب در یکی از رودخانه‌های کشور هندوستان پرداخت که نتایج حاکی از کارائی قابل قبول DEMهای مذکور در استخراج مقاطع عرضی رودخانه و متعاقب آن برآورد مناسب پهنه سیلاب و همچنین دبی اوج سیلاب برخوردار می‌باشد. Tarekegn et al. (2010) با بررسی عملکرد DEMهای ۳۰ متری ASTER در شبیه‌سازی سطوح سیل‌گیر به این نتیجه رسیدند که پهنه

Archive of SID
www.SID.ir

سیلاب حاصل از خروجی مدل هیدرولیکی نسبت به داده‌های سیلاب مشاهداتی شباهت نسبتاً قابل قبولی را دارا می‌باشد. Moya et al. (2013) با استفاده از روش مونت- کارلو نشان داد که عدم قطعیت ناشی از مقادیر ارتفاعی بدست آمده از DEMهای SRTM در رودخانه تیمیس- بِگا[14] (واقع در کشور رومانی) تأثیر قابل توجهی بر پهنه سیلاب خروجی از مدل هیدرولیکی HEC-RAS ایجاد می‌نماید. Laks et al. (2017) روشی را ارائه نمودند که به واسطه آن می‌توان DEMهای با توان تفکیک پایین را اصلاح و از آنها برای مدل‌سازی هیدرولیکی استفاده نمود. کاربرد این روش در بخشی از رودخانه وارتا[15] لهستان نشان داد که خروجی مدل هیدرولیکی مبتنی بر DEM اصلاح شده (به ویژه در مناطقی که دارای کیفیت پایین مقادیر ارتفاعی هستند) از نظر کمی و کیفی مطابقت خوبی را با نتایج بدست آمده از DEMهای با توان تفکیک بالایی همچون LIDAR، نشان می‌دهد. Walczak et al. (2016) و Jichamo et al. (2012) روشی را برای اصلاح DEMهای سنجش از دوری مانند ASTER و SRTM ارائه نمودند تا کارایی آنها را در مدل‌سازی هیدرولیکی و برآورد پهنه‌های سیلاب افزایش دهند. Azizian and Shokoohi (2016) به بررسی اثر منبع تهیه DEM بر خصوصیات سیلاب شبیه‌سازی شده توسط مدل KW-GIUH[16] در حوضه کسیلیان پرداختند. نتایج بدست آمده نشان داد که در صورت استفاده از DEMهای SRTM دبی اوج هیدروگراف سیلاب و شیب شاخه صعودی هیدروگراف نسبت به مقادیر متناظر بدست آمده از نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ زمینی به ترتیب اختلافی در حدود ۱۲ و ۳۰ درصد را دارا می‌باشند. همانطور که ملاحظه می‌گردد تاکنون مطالعات متعددی در زمینه کاربرد DEMهای سنجش از دوری در مطالعات هیدرولیکی صورت گرفته است. یکی از عوامل اصلی افزایش توجه محققین به این گونه DEMها رایگان و در دسترس بودن آنها می‌باشد. در حوضه‌های فاقد آمار و همچنین کشورهای در حال توسعه‌ای همچون ایران که با کمبود منابع مالی روبرو هستند، استفاده از این منابع رایگان و در دسترس می‌تواند گرهگشای بسیاری از مشکلات موجود در مطالعات مهندسی رودخانه و مدل‌سازی سیلاب باشد. متأسفانه تاکنون در کشور ایران کمتر به کاربرد این منابع ارزشمند، در دسترس و از همه مهمتر رایگان پرداخته شده است و در عمده مطالعات مهندسی رودخانه از نقشه‌های توپوگرافی با کیفیت بالا همچون نقشه‌های ۱/۱۰۰۰ و ۱/۲۰۰۰ که هزینه‌های بسیار زیادی را به پروژه‌ها تحمیل می‌کنند، استفاده می‌گردد. هدف پژوهش حاضر بررسی میزان حساسیت مدل هندسی سطح زمین و خروجی‌های مدل هیدرولیکی یک بعدی HEC-RAS نسبت به منابع ارتفاعی مبتنی بر سنجش از دور می‌باشد. علت اصلی انتخاب این مدل این است که در حال حاضر متداول‌ترین مدل در مطالعات پهنه‌بندی سیلاب و تعیین حد بستر و حریم رودخانه‌های کشور مدل هیدرولیکی HEC-RAS است که بواسطه ساختار کاربرپسند و مبتنی بر GIS از محبوبیت و کاربرد زیادی بین محققین و مهندسین برخوردار می‌باشد. همچنین لازم به ذکر است که در این پژوهش از منابعی همچون DEMهای ۳۰ متری ASTER، SRTM، ALOS و DEMهای ۹۰ متری SRTM در دو رودخانه با ابعاد و اندازه‌های مختلف استفاده بعمل آمده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- فرآیند مدل‌سازی یک بعدی جریان با HEC-RAS 4.1

مدل یک بعدی HEC-RAS توسط اداره مهندسی ارتش آمریکا[17] توسعه یافته و علاوه بر شبیه‌سازی جریان، توانایی مدل‌سازی انتقال رسوب، کیفیت آب و همچنین شبیه‌سازی جریان غیرماندگار را دارا می‌باشد. توانایی این مدل‌سازی هیدرولیک جریان در بسیاری از پروژه‌ها و مطالعات انجام شده در سطح کشور و همچنین کشورهای مختلف دنیا به اثبات رسیده است. همچنین ارتباط آن با GIS جهت دریافت مدل هندسی و ارسال خروجی‌های هیدرولیکی از مزایایی است که در کمتر مدل عددی رایگان موجود می‌باشد. همانند تمامی مدل‌های یک بعدی، در این مدل عددی نیز برای معرفی هندسه بستر و سواحل رودخانه از مقاطع عرضی استفاده می‌شود. در حال حاضر برای استخراج خودکار مقاطع عرضی از روی مدل‌های رقومی ارتفاعی در محیط GIS، الحاقیه‌ای به نام HEC-GeoRAS وجود دارد که در کمترین زمان ممکن مدل هندسی موردنیاز مدل هیدرولیکی HEC-RAS را فراهم می‌نماید. پس از استخراج مدل هندسی رودخانه با استفاده از هر کدام از DEMهای مورد بررسی، بایستی علاوه بر تنظیمات مربوط به ضریب زبری جریان مقادیر دبی مورد استفاده برای شبیه‌سازی نیز مشخص شود. برای شبیه‌سازی جریان در تمامی رودخانه‌ها از دبی با دوره بازگشت ۵۰ و ۱۰۰ ساله استفاده شده است. علت انتخاب این مقادیر این است که در دبی‌های با دوره بازگشت کمتر احتمال پخش جریان در سیلابدشت رودخانه‌ها بسیار کم بوده و لذا امکان ارزیابی منابع ارتفاعی مختلف به خوبی میسر نخواهد بود. در نهایت پس از اجرای مدل، نتایج هیدرولیکی حاصل از کاربرد نقشه‌برداری زمینی و منابع ارتفاعی مبتنی بر سنجش از دور با یکدیگر مقایسه خواهند شد. از مهم‌ترین خروجی‌های هیدرولیکی که در فرآیند ارزیابی استفاده خواهند شد می‌توان به عرض سطح آب در مقاطع مختلف، تراز سطح آب و همچنین پهنه سیلاب اشاره نمود.

۲-۲- مشخصات رودخانه‌های مورد بررسی

برای بررسی هرچه بهتر کارایی منابع ارتفاعی مختلف بر عملکرد مدل‌های هیدرولیکی، دو رودخانه سجاس‌رود و سرباز انتخاب گردیدند.

Archive of SID
www.SID.ir

همچنین برای تعیین میزان خطای هر کدام از منابع ارتفاعی از نقشه‌های زمینی با مقیاس‌های ۱/۱۰۰۰ در رودخانه سجاس‌رود و ۱/۲۰۰۰ در رودخانه سرباز استفاده بعمل آمد. رودخانه سرباز رودخانه‌ای عریض با سواحلی مرتفع و با مقطع U شکل می‌باشد که در جنوب استان سیستان و بلوچستان واقع شده است. رودخانه سجاس‌رود نیز از رشته کوه‌های آق قلعه استان زنجان سرچشمه گرفته و با عبور از مناطق کوهستانی (دارای مقطع V شکل با سواحلی پوشیده از گیاهان متراکم) به سد گلابر وارد می‌شود. در جدول ۱ مشخصات مربوط به هر کدام از رودخانه‌های مزبور ارائه شده است. در شکل ۱-الف نیز نمایی از موقعیت جغرافیایی رودخانه‌های مورد مطالعه نشان داده شده است.

Table 1- Geometric features of study rivers

جدول ۱- مشخصات هندسی رودخانه‌ها

River Name	Average River Width (m)	Modeling Reach Length (m)	River Slope (%)	DEM Source
SojasRood	240	4000	0.67	ASTER-30m/ SRTM-30m/ ALOS-30m
Sarbaz	950	13000	0.50	ASTER-30m/ SRTM-30m/ ALOS-30m and SRTM-90m

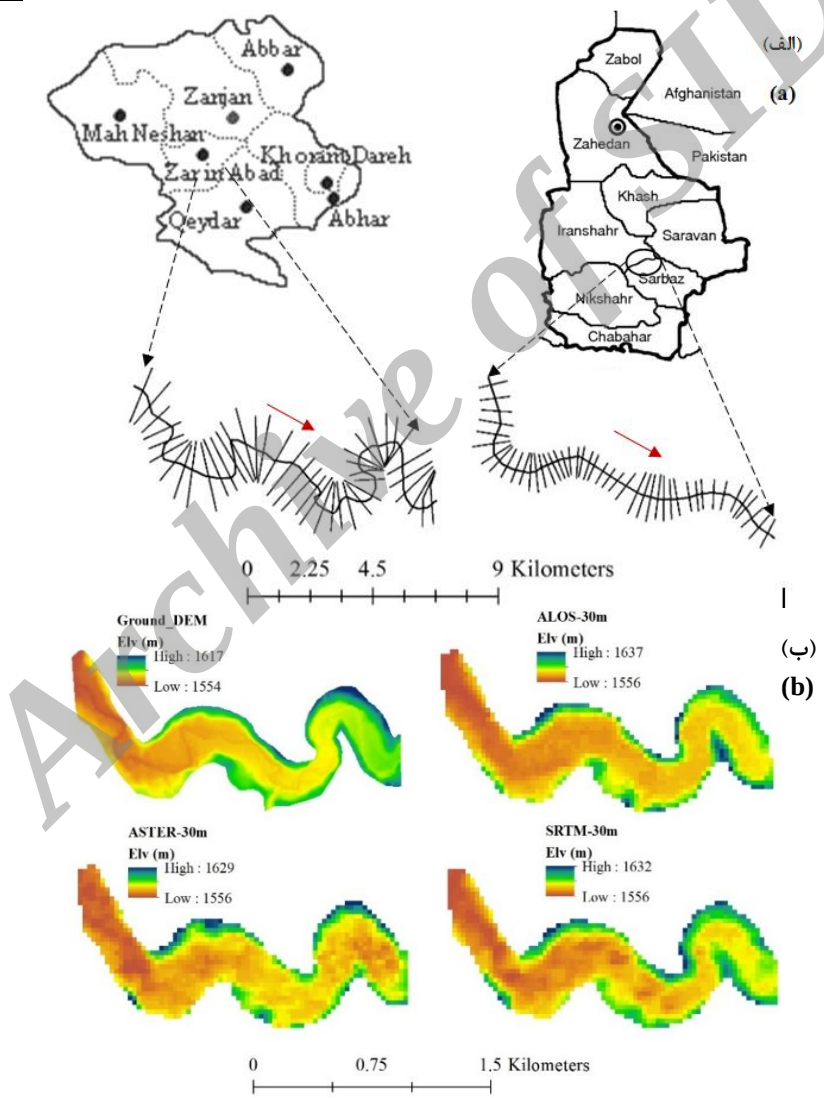

Fig. 1- a) Layout map of the study areas and b) DEMs used in SojasRood river, based on different DEM sources

شکل ۱- الف) موقعیت جغرافیایی رودخانه‌های مورد مطالعه و ب) مدل‌های رقومی ارتفاعی مورد استفاده در رودخانه سجاس‌رود

Archive of SID
www.SID.ir

۲-۳- مدل‌های رقومی ارتفاعی مبتنی بر سنجش از دور

با گسترش روز افزون تکنولوژی، منابع اطلاعاتی جدید و متعددی در زمینه تهیه مدل‌های رقومی ارتفاعی توسط سازمان‌های مختلف تهیه و عمدتاً به صورت رایگان در دسترس همگان قرار گرفته است. از جمله مهم‌ترین منابع اطلاعاتی قابل دسترس که در سال‌های اخیر ارائه شده است، می‌توان به DEMهای ۳۰ متری ASTER، SRTM، ALOS و DEMهای ۹۰ متری SRTM اشاره نموده که با توجه به توان تفکیک بالا از قابلیت مناسبی برخوردار می‌باشند. در پژوهش حاضر از داده‌های مذکور جهت ساخت مدل هندسی موردنیاز مدل یک بعدی HEC-RAS استفاده شده است. در شکل ۱- ب نمایی از کیفیت منابع مذکور در رودخانه سجاس‌رود نشان داده شده است. همچنین برای دسترسی به داده‌های مذکور به لینک‌های زیر بایستی مراجعه نمود:

http://earthexplorer.usgs.gov
http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS/en/aw3d30
www.cgiar-csi.org

۳- نتایج

۳-۱- ارزیابی کیفیت مقاطع عرضی بدست آمده از منابع ارتفاعی مختلف

همانطور که در بخش‌های قبل عنوان شد با توجه به ابعاد و اندازه‌های رودخانه مورد بررسی در این تحقیق از DEMهای مختلفی استفاده بعمل آمد. به عنوان مثال در رودخانه سجاس‌رود از DEMهای ۳۰ متری ASTER، SRTM، ALOS و DEM بدست آمده از نقشه توپوگرافی با مقیاس ۱/۱۰۰۰ جهت استخراج مشخصات هندسی رودخانه استفاده گردید و در رودخانه سرباز علاوه‌بر استفاده از DEMهای مذکور از DEMهای ۹۰ متری SRTM و نیز DEM بدست آمده از نقشه توپوگرافی ۱/۲۰۰۰ استفاده بعمل آمد. نتایج حاصل از ارزیابی کیفیت مقاطع عرضی بدست آمده از منابع ارتفاعی مختلف نسبت به داده‌های زمینی حاکی از آن است که DEMهای ۳۰ متری ALOS دارای بهترین عملکرد می‌باشد. همانطور که در شکل ۲ نشان داده شده است، در رودخانه سرباز اختلاف بین این منبع ارتفاعی با داده‌های زمینی به ویژه در بستر رودخانه بسیار ناچیز بوده و تقریباً از نظر شکل مقطع نیز هیچگونه اختلاف معنی‌داری مشاهده نمی‌شود. بر خلاف این منبع، نتایج حاصل از DEMهای ASTER (از نظر شکل مقطع و مقادیر ارتفاعی) با داده‌های زمینی دارای تفاوت چشمگیری بوده و تقریباً در تمامی مقاطع عرضی مقادیر ارتفاع را کم برآورد می‌نماید. DEMهای ۳۰ متری و ۹۰ متری SRTM نیز اگرچه دارای عملکردی همچون DEMهای ALOS نمی‌باشند؛ اما از نظر شکل مقطع دارای کیفیت قابل قبولی می‌باشند. DEMهای SRTM بر خلاف DEMهای ASTER مقادیر ارتفاعی را کمی بیش برآورد می‌نمایند که البته با اعمال برخی تحصیحات می‌توان عملکرد آنها را افزایش داد (Cook and Merwade, 2015; Laks et al., 2017). نتایج بدست آمده از تحقیقات Laks et al. (2017) نیز حاکی از آن است که با اصلاح DEMهای SRTM بر اساس داده‌های بدست آمده از نقشه‌برداری زمینی، می‌توان کیفیت مدل هندسی سطح زمین را برای استخراج صحیح مدل هندسی و پهنه‌بندی مناسب سیلاب ارتقا بخشید. همچنین Patero et al. (2009) نیز با بررسی DEM ۹۰ متری SRTM و در حالت بدون اصلاح، نتایج رضایت‌بخشی را نسبت به داده‌های زمینی گزارش نمودند. بررسی کیفیت مقاطع عرضی بدست آمده در رودخانه سجاس‌رود نیز به خوبی گویای این مطلب است که DEMهای ۳۰ متری ALOS دارای عملکرد بهتری نسبت به سایر منابع ارتفاعی هستند. در این رودخانه نیز عملکرد DEMهای ۳۰ متری ASTER بر خلاف منابع ارتفاعی دیگر بسیار پایین بوده و لذا برای ساخت مدل هندسی مورد نیاز مدل HEC-RAS چندان مناسب ارزیابی نمی‌شوند.

۳-۲- ارزیابی منابع ارتفاعی مبتنی بر سنجش از دور در برآورد پارامترهای هیدرولیکی سیلاب

علی‌رغم عملکرد ضعیف DEMهای ASTER در برآورد مقاطع عرضی رودخانه‌های مورد مطالعه از تمامی منابع ارتفاعی موجود برای مدل‌سازی هیدرولیکی استفاده بعمل آمد. همچنین لازم به ذکر است که برای برآورد متوسط خطای ناشی از هر منبع، ابتدا نتایج بدست آمده از نقشه‌های توپوگرافی (به عنوان مبنای محاسباتی) در هر مقطع عرضی با مقادیر متناظر بدست آمده از DEMهای مختلف با یکدیگر مقایسه و میزان خطای هر منبع بدست آمد. در نهایت با یک متوسط‌گیری از مقادیر مذکور متوسط خطای ناشی از هر منبع در کل بازه مطالعاتی بدست آمد. نتایج بدست آمده در رودخانه سجاس‌رود حاکی از آن است که استفاده از DEMهای ۳۰ متری ALOS نسبت به منابع دیگر موجب ایجاد خطای به مراتب کمتری در برآورد پارامترهای مهم هیدرولیکی جریان شده است. به عنوان مثال، استفاده از این منبع اطلاعاتی ارزشمند منجربه ایجاد متوسط خطایی به ترتیب معادل ۱۳/۳ و ۷/۶ درصد در پهنه سیلاب (عرض سطح آب) و تراز سطح آب خواهد شد. در شکل ۳ متوسط خطای ناشی از کاربرد منابع ارتفاعی مختلف در برآورد پارامترهای پهنه و تراز سیلاب رودخانه سجاس‌رود نشان داده است. نکته قابل توجه دیگری که از شکل ۳ قابل برداشت می‌باشد این است که علی‌رغم یکسان بودن ابعاد سلولی DEMهای ASTER و SRTM با یکدیگر، عملکرد آنها در مدل‌سازی جریان چندان قابل توجه نمی‌باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

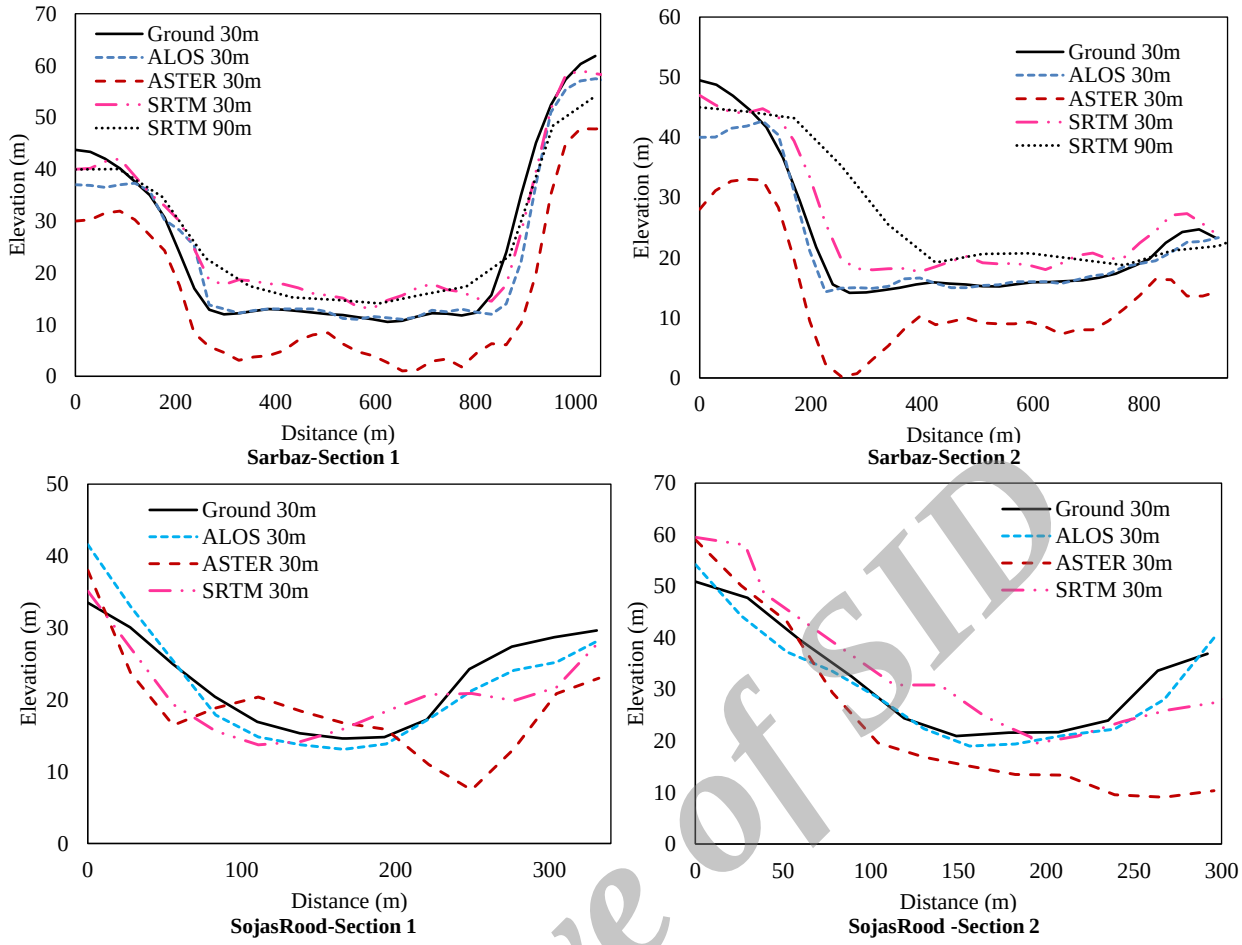

Fig. 2- Cross-sections derived from different DEM sources

شکل ۲- مقاطع عرضی به‌دست آمده از منابع ارتفاعی مختلف

Ali et al. (2015) نیز با ارزیابی کارایی دو منبع مذکور در حوضه آبریز جوهور واقع در کشور مالزی به این نتیجه رسیدند که DEMهای SRTM اگرچه مانند نقشه‌های زمینی دارای دقت بالایی نیستند ولی نسبت به DEMهای ۳۰ متری ASTER از کارایی به مراتب بالاتری به ویژه در برآورده پهنه سیلگیر برخوردار می‌باشند. همچنین نتایج حاصل از تحقیق Forkuo and Tsawo (2013) در چند حوضه آبریز در کشور غنا حاکی از آن است که استفاده از DEMهای ۳۰متری ASTER علی‌رغم عملکرد قابل قبول در برآورد پهنه سیلاب در حوضه‌های آبریز بزرگ، به علت عدم برآورد صحیح رقوم ارتفاعی بستر رودخانه از کارایی لازم برای شبیه‌سازی سیلاب در حوضه‌های کوچک برخوردار نمی‌باشد. یکی از علل اصلی این عملکرد بسیار پایین را می‌توان به نحوه عملکرد سنسورهای مورد استفاده در ماهواره‌های مرتبط با هر منبع مرتبط نمود. نتایج بدست آمده در رودخانه سرباز نیز حاکی از عملکرد بسیار بالای DEMهای ALOS در شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولیکی سیلاب می‌باشد به طوریکه متوسط خطا در برآورد پهنه سیلاب در بیش از ۷۸٪ مقاطع مورد بررسی به کمتر از ۱۰ درصد محدود می‌گردد.

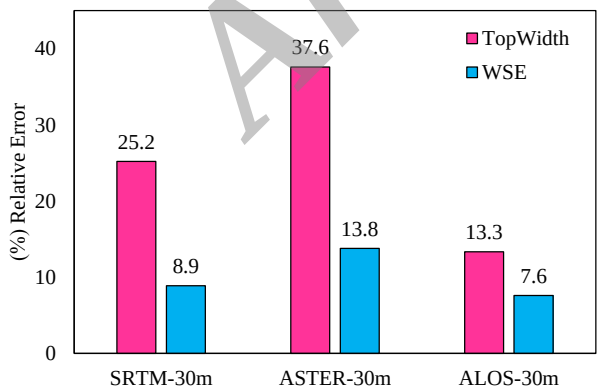

Fig. 3- Relative error of different DEM sources on flood's hydraulic properties (SojasRood river)

شکل ۳- خطای ناشی از منابع ارتفاعی مختلف بر خصوصیات هیدرولیکی سیلاب (رودخانه سجاس‌رود)

Archive of SID

www.SID.ir

همانطور که در شکل ۴ نشان داده شده است، در رودخانه سرباز نیز عملکرد DEMهای ۳۰ متری ASTER چندان قابل قبول نبوده و حتی در مقایسه با DEMهای ۹۰ متری SRTM که دارای توان تفکیک پایین‌تری هستند از مقدار خطای قابل توجهی برخوردار می‌باشد. به عنوان مثال متوسط خطا در برآورد پهنه سیلاب و تراز سطح آب توسط DEMهای ۳۰متری ASTER نسبت به DEMهای ۹۰ متری SRTM به ترتیب در حدود ۳/۱ و ۲/۱ برابر می‌باشد. بر خلاف DEMهای ۳۰ متری ASTER، DEMهای ۳۰ متری SRTM میزان خطای به مراتب کمتری را بر عملکرد مدل هیدرولیکی HEC-RAS تحمیل می‌نمایند و لذا می‌توان از آنها به عنوان جانشین مناسبی برای DEMهای ALOS و حتی نقشه‌های زمینی نام برد.

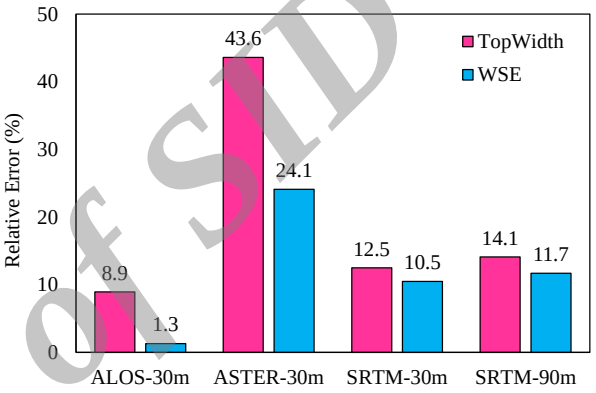

Fig. 4- Relative error of different DEM sources on flood's hydraulic properties (Sarbaz river)

شکل ۴- خطای ناشی از منابع ارتفاعی مختلف بر خصوصیات هیدرولیکی سیلاب (رودخانه سرباز)

برای مشخص نمودن عملکرد منابع ارتفاعی مختلف، توزیع تجمعی خطای برآورد پهنه سیلاب در رودخانه سرباز و در هر منبع به طور جداگانه محاسبه و در شکل ۵ ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، DEMهای ALOS در بیش از ۹۰٪ مقاطع عرضی مورد بررسی دارای خطای نسبی کمتر از ۱۵٪ می‌باشند و این در حالیست که در DEMهای ۳۰ و ۹۰ متری SRTM تنها در ۷۸٪ مقاطع عرضی مورد بررسی میزان خطای نسبی مدل هیدرولیکی در برآورد عرض سطح آب کمتر از ۱۵٪ می‌باشد. همچنین چنانچه عدد ۱۰٪ را به عنوان میزان خطای قابل قبول لحاظ نماییم، عملکرد مدل هیدرولیکی در بیش از ۷۸٪ مقاطع عرضی بدست آمده از DEMهای ALOS قابل قبول خواهد بود. بر خلاف DEMهای مذکور در نظر گرفتن آستانه ۱۰٪ تنها منجر به قابل قبول بودن عملکرد مدل هیدرولیکی در تنها ۶۱ درصد از مقاطع عرضی بدست آمده از DEMهای ۳۰ متری SRTM می‌گردد. هرچند این عدد برای DEMهای ۹۰ متری SRTM به ۵۲ درصد محدود می‌گردد.

در شکل ۶ نیز تغییرات عرض سطح آب بدست آمده از نقشه‌های زمینی در برابر نتایج بدست آمده از منابع ارتفاعی مبتنی بر سنجش از دور در رودخانه‌های سجاس‌رود و سرباز نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد در رودخانه سرباز به غیر از چند مقطع عرضی خاص، DEMهای ASTER نسبت به نقشه‌های زمینی مقادیر پهنه سیلاب به مراتب کمتری را بدست می‌دهند. همچنین در رودخانه سجاس‌رود عملکرد DEMهای مذکورکاملاً متفاوت بوده و تقریباً در بیشتر مقاطع عرضی پهنه سیلاب بیشتری نسبت به نقشه‌های زمینی شبیه‌سازی شده است. علت اصلی این امر را می‌توان به عملکرد DEMهای ASTER در برآورد تغییرات ارتفاعی بستر و سواحل رودخانه مرتبط دانست.

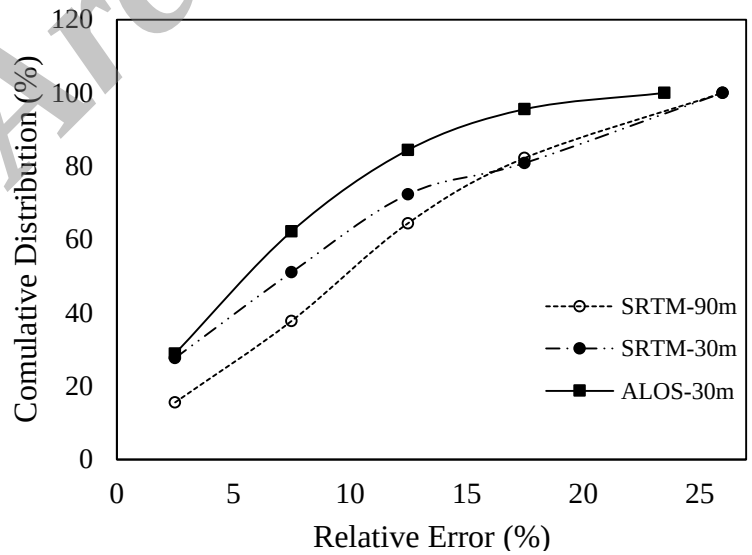

Fig. 5- Cumulative distribution of inundated extents' relative error in different DEM sources (Sarbaz river)

شکل ۵- توزیع تجمعی خطای برآورد عرض سطح آب در منابع ارتفاعی مختلف (رودخانه سرباز)

Archive of SID
www.SID.ir

همانطور که در بخش قبل نیز عنوان شد، در رودخانه عریضی همچون رودخانه سرباز DEMهای ASTER مقادیر ارتفاع مقاطع عرضی را بسیار پائین برآورد می‌نمایند که همین مسأله موجب کاهش پهنه سیلاب نسبت به داده‌های زمینی می‌گردد. همچنین اگرچه عملکرد منبع ASTER در رودخانه سجاس‌رود نیز چندان قابل قبول نمی‌باشد؛ اما مقادیر ارتفاعی بدست آمده از آن در بسیاری از مقاطع عرضی نسبت به داده‌های زمینی بالاتر می‌باشد. به طورکلی عملکرد این منبع ارتفاعی در مدل‌سازی هیدرولیکی جریان چندان قابل قبول نبوده و لذا جهت کاربرد در مدل‌سازی هیدرولیکی و امور مرتبط با مهندسی رودخانه به هیچ وجه توصیه نمی‌شوند. نکته مهم دیگری که از شکل ۶- الف می‌توان برداشت نمود عملکرد قابل قبول DEMهای SRTM (به ویژه توان تفکیک ۹۰ متری) در برآورد پهنه سیلاب رودخانه سرباز می‌باشد. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، بجز چند مقطع عرضی خاص در عمده موارد پهنه سیلاب شبیه‌سازی شده در پهنای باند 10± قرار می‌گیرد. هر چند لازم به ذکر است که با اصلاح این منابع ارتفاعی ارزشمند با استفاده از داده‌های زمینی می‌توان دقت و کیفیت آنها را تا حد زیادی افزایش داد.

در شکل ۷ نیز پهنه سیلاب بدست آمده از کاربرد منابع ارتفاعی مختلف در رودخانه‌های سجاس‌رود و سرباز نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد، در رودخانه سجاس‌رود پهنه سیلاب حاصل از DEMهای ۳۰ متری ASTER و SRTM تشابه چندانی با نتایج بدست آمده از داده‌های زمینی نداشته و در بسیاری از بازه‌ها عدم پیوستگی پهنه سیلاب به وضوح قابل مشاهده می‌باشد که علت اصلی این مسأله عدم تخمین مناسب مقادیر ارتفاعی می‌باشد.

در رودخانه سرباز (شکل ۷- ب) نیز عملکرد این منابع ارتفاعی بسیار ضعیف بوده و با ایجاد جزایر متعدد در مدل هندسی موجب عدم شبیه‌سازی مناسب و پیوسته پهنه سیلاب می‌گردند. DEMهای ۹۰ متری SRTM نیز اگرچه از لحاظ ایجاد پیوستگی در پهنه سیلاب شرایط به مراتب بهتری نسبت به دو منبع مذکور دارند، اما تخمین کم عرض سطح آب در این منبع موجب کاهش کارائی آنها نسبت به نقشه‌های توپوگرافی می‌شود. همچنین بررسی عملکرد DEMهای ALOS در هر دو رودخانه به خوبی گویای عملکرد قابل قبول این منبع ارتفاعی ارزشمند در مدل‌سازی سیلاب بوده و لذا از این منبع ارتفاعی می‌توان به عنوان جایگزین مناسب نقشه‌های توپوگرافی به ویژه در حوضه‌های فاقد آمار نام برد.

۴- بحث و نتیجه‌گیری

در بسیاری از مدل‌های هیدرولیکی شبیه‌سازی سیلاب برای بیان هندسه رودخانه از مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEMs) استفاده بعمل می‌آید. یکی از مهم‌ترین مواردی که بر کیفیت و کمیت DEMها و متعاقب آن دقت مدل هندسی تأثیرگذار می‌باشد، نوع منبع مورد استفاده برای تهیه DEM می‌باشد. یکی از مهمترین منابع تهیه DEM استفاده از نقشه‌های توپوگرافی زمینی می‌باشد. برداشت نقشه‌های توپوگرافی به ویژه در رودخانه‌های طولانی و عریض علاوه‌بر هزینه بر بودن نیازمند زمان قابل توجهی هستند و همین مسأله کاربرد آنها را با محدودیت‌های زیادی مواجه می‌نماید. نقطه مقابل نقشه‌های زمینی DEMهای مبتنی بر سنجش از دور قرار دارند که در سال‌های اخیر مورد توجه بسیاری از محققین در مطالعات مختلف به ویژه مدل‌سازی هیدرولیکی سیلاب قرار گرفته است. از مهمترین دلایل افزایش کاربرد این نوع از DEMها در مطالعات مختلف یکنواختی داده‌ها، دسترسی رایگان و سطح پوشش وسیع آنها می‌باشد. پژوهش حاضر با هدف بررسی کفایت مدل‌های رقومی ارتفاعی مبتنی بر سنجش از دور جهت کاربرد در مدل‌سازی هیدرولیکی سیلاب با استفاده از مدل یک بعدی HEC-RAS به انجام رسیده است. نتایج حاصل از کاربرد منابع ارتفاعی مختلف در دو رودخانه سرباز و سجاس‌رود حاکی از آن است که DEMهای ۳۰ متری ALOS نسبت به منابع دیگر، از قابلیت به مراتب بالاتری جهت ساخت مدل هندسی و متعاقب آن مدل‌سازی هیدرولیکی سیلاب برخوردار می‌باشند. به عنوان مثال، متوسط خطای ناشی از کاربرد این منبع در تخمین پهنه سیلاب دو رودخانه سرباز و سجاس‌رود به ترتیب کمتر از ۱۳ و ۹ درصد می‌باشد. همچنین متوسط خطای ناشی از کاربرد این منبع در برآورد تراز سطح آب در رودخانه‌های مطالعاتی به کمتر از ۷ درصد محدود می‌گردد. بر خلاف این منبع، نتایج حاصل از کاربرد DEMهای ASTER در هیچکدام از رودخانه‌های مزبور چندان رضایت بخش نبوده به طوریکه متوسط خطا در برآورد پهنه سیلاب با استفاده از این منبع بیش از ۳۸٪ می‌باشد. برخلاف رودخانه سجاس‌رود عملکرد DEMهای SRTM در رودخانه سرباز که به عنوان رودخانه عریض در نظر گرفته شده است، نسبتاً قابل قبول بوده به طوریکه متوسط خطا در برآورد مؤلفه‌های پهنه سیلاب و تراز سطح آب به کمتر از ۱۴ درصد محدود می‌گردد. در یک جمع‌بندی کلی می‌توان چنین عنوان نمود که DEMهای ALOS و ASTER به ترتیب بهترین و بدترین منبع ارتفاعی برای ساخت مدل هندسی و متعاقب آن مدل‌سازی هیدرولیکی سیلاب می‌باشند و لذا در حوضه‌های فاقد آمار و یا پروژه‌هایی که با کمبود منابع مالی روبرو هستند استفاده از DEMهای ۳۰ متری ALOS به ویژه در مطالعات فاز یک و طراحی‌های اولیه می‌تواند بسیار گره‌گشا باشد.

Archive of SID
www.SID.ir

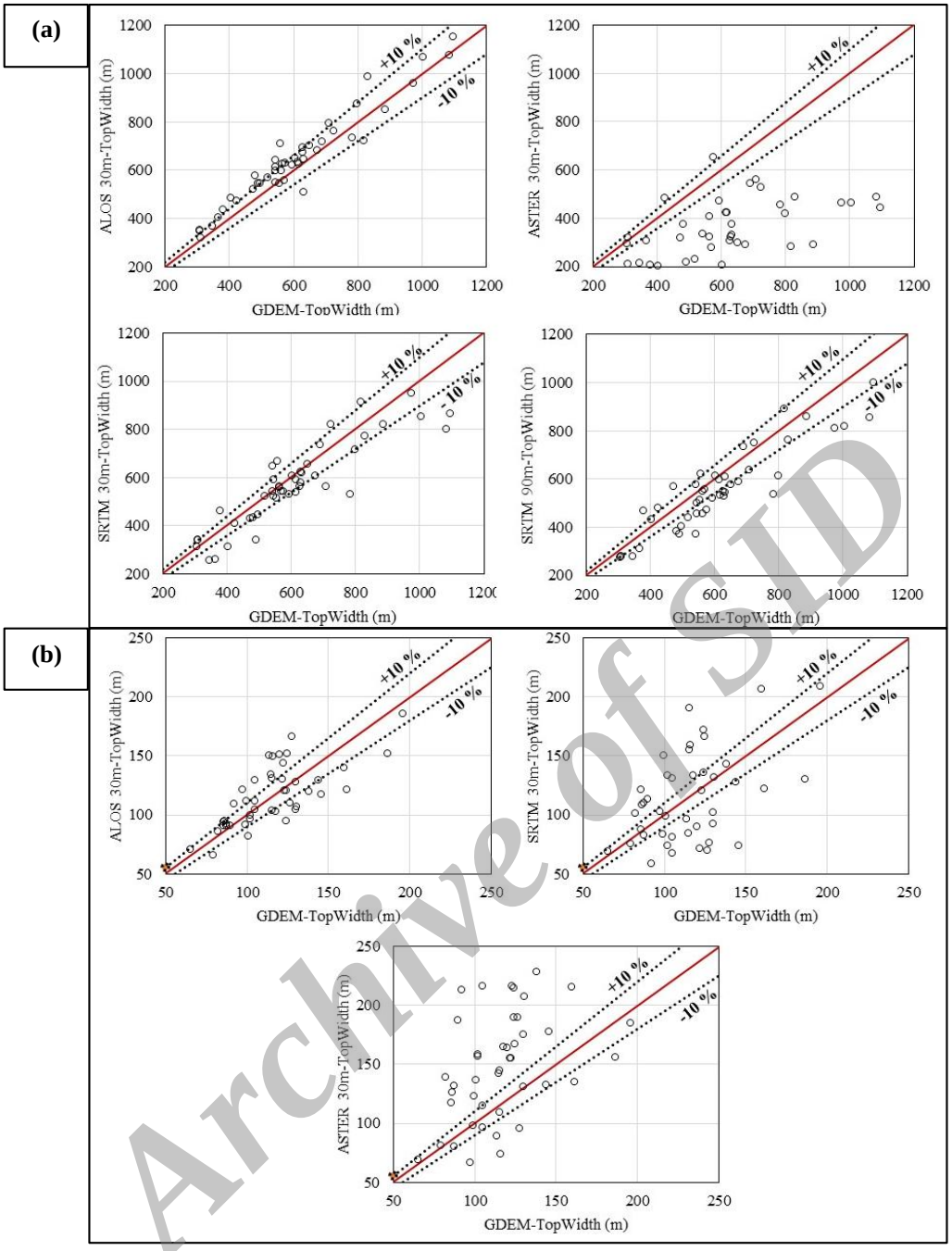

Fig. 6- Comparison of different DEM sources and topographic map in simulating inundated extent, (a) Sarbaz river; and (b) SojasRood river

شکل ۶- مقایسه پهنه سیلاب به‌دست آمده از منابع ارتفاعی مختلف با داده‌های زمینی (الف) سرباز، (ب) سجاس‌رود

در راستای تکمیل این تحقیق، موارد زیر به عنوان پیشنهادهای آتی به دیگر محققان توصیه می‌شود:

- استفاده از مدل‌های دوبعدی به جای مدل‌های یک بعدی جهت بررسی هرچه بهتر میزان حساسیت مدل‌های هیدرولیکی نسبت به کیفیت مدل هندسی به‌دست آمده از منابع ارتفاعی مختلف،
- اصلاح مدل‌های رقومی ارتفاعی مبتنی بر سنجش از دور با استفاده از داده‌های زمینی جهت افزایش کارایی آنها در ساخت مدل هندسی و مدل‌سازی سیلاب،
- ارزیابی دقت ارتفاعی منابع مختلف در رودخانه‌های با شرایط جغرافیایی متفاوت (کوهستانی، دشتی، کم شیب، پرشیب، روستایی، شهری و غیره) برای مشخص شدن محدوده عملکرد مناسب آنها

Archive of SID
www.SID.ir

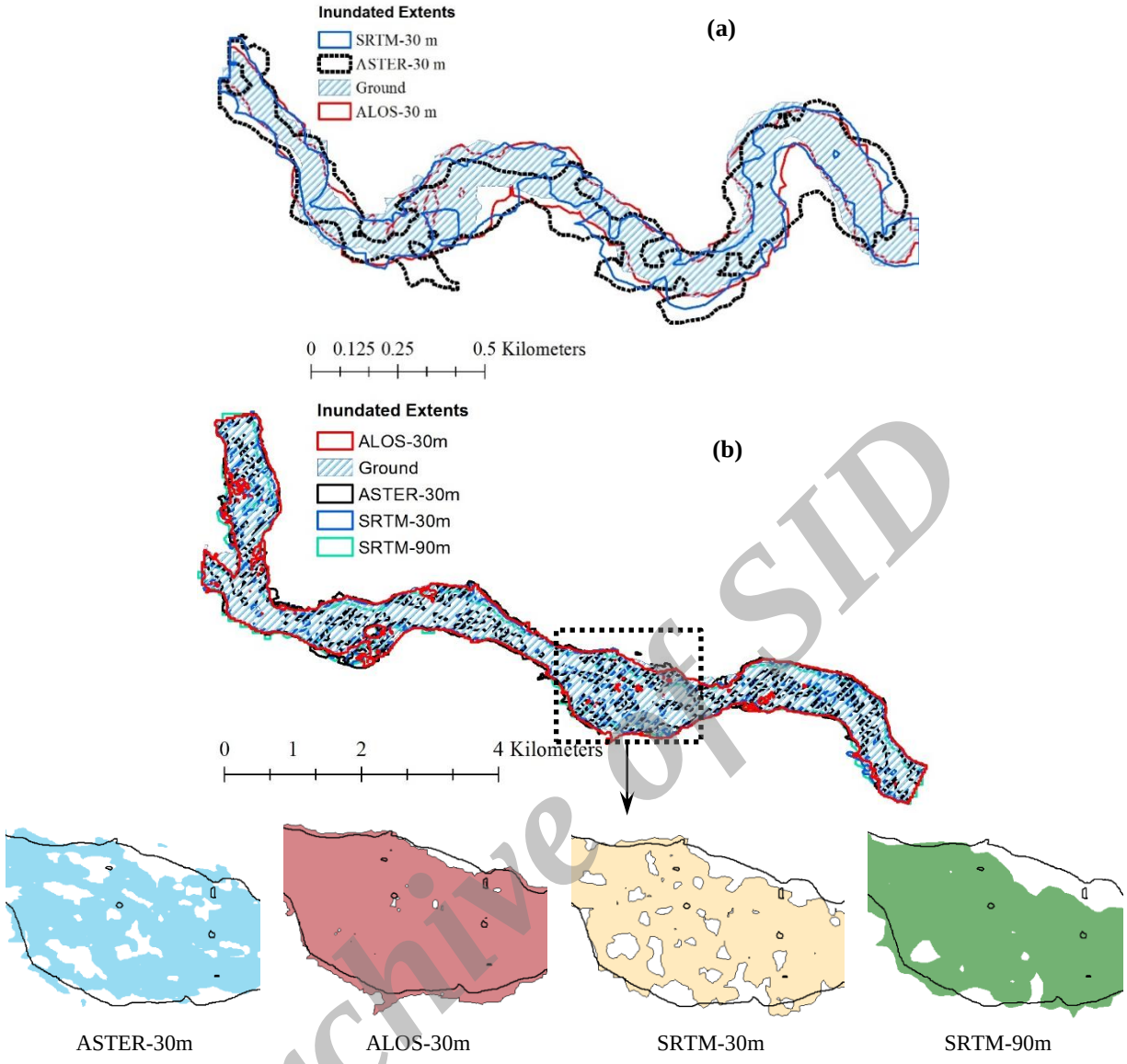

Fig. 7- Assessing the performance of different DEM sources in simulating flood's inundated extent (a) SojasRood rivers and (b) Sarbaz rivers

شکل ۷- ارزیابی عملکرد منابع ارتفاعی مختلف در برآورد پهنه سیلاب، (الف) رودخانه سجاس‌رود و (ب) رودخانه سرباز

Archive of SID

پی‌نوشت‌ها

1- Data Resolution
2- Light Detection and Ranging
3- Shuttle Radar Topography Mission
4- IFSAR
5- National Elevation Dataset
6- Santa Clara, Texas
7- Ter River, Girona
8- Regression and Elevation-Based Flood Information Extraction
9- Alzette River
10- Susan River
11- Johor River, Malaysia
12-Synthetic-Aperture Radar
13-Differential Global Positioning System
14-Timis-Bega River, Romania
15-Warta, Poland
16-Kinematic Wave Bases Geomorphological Instantaneous Unit Hydrograph
17- US Army Corps of Engineers (USACE)

۵- مراجع

Ali A, Solomatine DP, Baldassarre GD (2015) Assessing the impact of different sources of topographic data on 1-D hydraulic modelling of floods. Hydrol Earth Syst Sci 19:631–643

www.SID.ir

uncertainties in the soil and water assessment tool. Journal of Stoch. Env. Res. Risk Assess 27(1):209–221

Moya Q, Popescu V, Solomatine I, Bociort L (2013) Cloud and cluster computing in uncertainty analysis of integrated flood models. Journal of Hydroinfmatic 15:55–69

Pappenberger F, Matgen P, Beven KJ, Henry JB, Pfister L, Fraipont P (2006) Influence of uncertain boundary conditions and model structure on flood inundation predictions. Journal of Advanced Water Resour 29(10):1430–1449

Patro S, Chatterjee C, Singh R, Raghuwanshi NS (2009) Hydrodynamic modelling of a large flood-prone system in India with limited data. Journal of Hydrological Process 23:2774–2791

Saksena S, Merwade V (2015) Incorporating the effect of DEM resolution and accuracy for improved flood inundation mapping. Journal of Hydrology 530:180–194

Sanders BF (2007) Evaluation of on-line DEMs for flood inundation modeling. Journal of Advanced Water Resour 30(8):1831–1843

Saghafian B, Ghermez Cheshmeh B (2008) Spatial variation of flood severity index. Iran-Water Resources Research 4(1):28-39 (In Persian)

Schumann G, Matgen P, Cutler MEJ, Black A, Hoffmann L, Pfister L (2008) Comparison of remotely sensed water stages from LiDAR, topographic contours and SRTM. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens 63(3):283–296

Tarekegn TH, Haile AT, Rientjes T, Reggiani P, Alkema D (2010) Assessment of an ASTER generated DEM for 2D flood modelling. International Journal of Applied Earth Obs. Geoinf 12:457–465

US Army Corps of Engineers (2010) HEC-RAS river analysis system hydraulic reference manual. Version 4.1. Hydrologic Engineering Center, Davis, California, 411p

US Army Corps of Engineers (2016) HEC-RAS river analysis system 2D modeling user's manual. Version 5.0. Hydrologic Engineering Center, Davis, California, 171p

Vaze J, Teng J, Spencer G (2010) Impact of DEM accuracy and resolution on topographic indices. Journal of Environmental Modelling and Software 25:1086–1098

Werner MGF (2001) Impact of grid size in GIS based flood extent mapping using 1-D flow model. Journal of Physics and Chemistry of the Earth (B) 26:517–522

Azizian A, Shokoohi AR (2015b) Investigation of the effects of DEM creation methods on the performance of a semi distributed model: TOPMODEL. Journal of Hydrologic Engineering 20(11):05015005(1-9)

Azizian A, Shokoohi AR (2015a) Effects of data resolution and stream delineation threshold effects on the results of a kinematic wave based GIUH model. Journal of Water S.A 4(9):61-70

Barani GA, Yaghoubzadeh M, Akbarpour, A (2011) Application of IRS and LANDSAT (ETM+) satellite images for watersheds runoff curve number map preparation. Iran-Water Resources Research 7(3):95-98 (In Persian)

Brandt S (2005) Resolution issues of elevation data during inundation modeling of river floods. In: Proceedings of the XXXI International Association of Hydraulic Engineering and Research Congress (IAHR) 3573–3581

Bruner GW (2014) Combined 1D and 2D modeling with HEC-RAS. Version 5 Hydrologic Engineering Center, Davis, California, 130p

Casas A, Benito G, Thorndycraft VR, Rico M (2006) The topographic data source of digital terrain models as a key element in the accuracy of hydraulic flood modelling. Earth Surf. Proc. Land 31:444–456

Cook A, Merwade V (2009) Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. Journal of Hydrology 377:131–142

Haile A, Rientjes T (2005) Effects of LiDAR DEM resolution in flood modelling: A model sensitivity study for the city of Tegucigalpa, Honduras. ISPRS WG III/3, III/4 V/3 Workshop Laser Scanning 168–173

Hall JW, Tarantola S, Bates PD, Horritt MS (2005) Distributed sensitivity analysis of flood inundation model calibration. Journal of Hydraulic Engineering 131:117–126

Laks I, Sojka M, Walczak Z, Wró˙zyn´ski R (2017) Possibilities of using low quality digital elevation models of floodplains in hydraulic numerical models. Water 9:283-300

Jung Y, Merwade V (2011) Uncertainty quantification in flood inundation mapping using generalized likelihood uncertainty estimate and sensitivity analysis. Journal of Hydrologic Engineering 17(4):507–520

Kavanagh BF, Glenn BSJ (1996) Surveying principles and applications (4 Ed). Prentice Hall, 257p

Lin S, Jing C, Coles NA, Chaplot V, Moore NJ, Wu J (2012) Evaluating DEM source and resolution

Archive of SID
www.SID.ir

differential GPS data. International Journal of River Basin Management 3:3–20

Wilson MD, Atkinson PM (2005) The use of elevation data in flood inundation modelling: a comparison of ERS interferometric SAR and combined contour and

Archive of SID

www.SID.ir