

شبیه‌سازی و تعیین ظرفیت هیدرولیکی خورگورسوزان در سیلاب شهری با استفاده از مدل HEC-RAS (مطالعه موردی: بخشی از شهر بندرعباس)

احمد نوحه‌گر^۱، مریم حیدرزاده^{۲*}، آرش ملکیان^۳

nohegar@ut.ac.ir

۱. استاد، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران

۲. استادیار، گروه مهندسی آب، مجتمع آموزش عالی میناب، دانشگاه هرمزگان

malekian@ut.ac.ir

۳. دانشیار، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۱۵

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۱۷

چکیده

پیش‌بینی رفتار هیدرولیکی کانال خورگورسوزان در مقابل سیلاب‌های احتمالی برای کاهش خسارت وارده به مناطق شهری، تأسیسات در حال ساخت در اطراف خور، اهمیت ویژه‌ای دارد. هدف این تحقیق تلفیق مدل هیدرولیکی HEC-RAS با نرم‌افزار ARC GIS و از طریق الحاقیه HEC-geoRAS به منظور شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولیکی کانال خورگورسوزان شهر ساحلی بندرعباس است. به منظور ارزیابی مدل، طی ۵ واقعه بارش در ۳ نقطه از کانال خور اندازه‌گیری عمق و سرعت آب با استفاده از اشل و مولینه انجام شد. از شاخص‌های ناش-ساتکلیف (N.S) و میانگین مربع خطا (RMSE) برای واسنجی و اعتبارسنجی دبی سیلاب استفاده شد. نتایج نشان داد طبق معیارهای آماری عمق آب (میانگین ضرایب اعتبارسنجی $N.S=0.733$ و $RMSE=0.1296$ ؛ صحت‌سنجی $N.S=0.753$ و $RMSE=0.0828$) و سرعت جریان (میانگین ضرایب اعتبارسنجی $N.S=0.7085$ و $RMSE=0.0705$ ؛ صحت‌سنجی $N.S=0.8102$ و $RMSE=0.0352$)، مدل شبیه‌سازی شده کارایی مناسبی دارد. براساس نتایج سناریوها، خورگورسوزان ظرفیت انتقال دبی منطقه شهری را دارد و با وجود دبی از بالادست شاهد سیلاب‌های شدیدی خواهیم بود. همچنین نتایج نشان داد از کل مساحت در قلمرو سیل ۱۰۰ ساله، به‌طور متوسط حدود ۵۰/۵ درصد مستعد سیل‌گیری توسط سیل‌های با دوره برگشت ۲۵ سال و کمتر از آن است.

کلیدواژه

آنالیز حساسیت، پهنه‌بندی، خورگورسوزان، سیل، ظرفیت هیدرولیکی

۱. سرآغاز

هستند. ارزیابی ریسک سیل و مدیریت آن، مراحل اساسی برای شناسایی خطرات فعلی، مناطق مستعد خطر و کاهش حوادث سیل در آینده است (Aerts & Botzen, 2011). مدل HEC-RAS به‌طور گسترده در مسائل مهندسی سنتی (Monte et al., Ribeiro Neto et al., 2015) و حمایت مطالعات علمی در زمینه سیستم‌های رودخانه‌ای در مناطق وسیع (Bravo et al., 2012; Paz et al., 2010) و با موفقیت در مؤسسات

سیل از مهم‌ترین بلایای طبیعی با احتمال وقوع بسیار است، که نسبت به تمامی خطرهای طبیعی، بیشترین تأثیر را بر زندگی مردم دارد. تغییرات آب و هوایی احتمال وقوع و فراوانی سیل را افزایش خواهد داد (Das et al., 2013). سیل‌ها با مشکلات اجتماعی و مدنی (Ghimire et al., 2015) مشکلات زیست‌محیطی (Li & Shi, 2015) و زیان‌های اقتصادی (Aerts & Botzen., 2011) مرتبط

عملیاتی مربوط به پیش‌بینی رودخانه (Adams et al., 2011)؛ Peacock & Hicks, 2005؛ Moreda et al., 2009؛ Mashriqui et al., 2014) استفاده می‌شود. با این حال، هنگامی که پیش‌بینی‌های هیدرولوژیکی با استفاده از مدل‌های مبتنی بر مسیریابی فیزیکی انجام می‌شود، به‌طور معمول تفاوتی بین مقادیر محاسبه شده و مشاهده حتی برای فواصل قبل از شروع پیش‌بینی وجود دارد. این تفاوت‌ها معمولاً ناشی از اشتباه در داده‌های ورودی و ساده‌سازی پارامترها در فرایندهای فیزیکی مرتبط است (Pappenberger and Clocke, 2009؛ Zappa et al., 2011؛ Meller et al., 2012؛ Maskey et al., 2004). مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی، جایگزینی مناسب در بهبود عملکرد کانال و مدیریت آن‌ها با استفاده از درک رفتار جریان در شبکه کانال تحت انواع طراحی‌ها و شرایط عملیاتی ارائه می‌دهد (Agrawal & Regulwar, 2016). خاقان و مجردی (۲۰۱۶)، با تلفیق دو مدل HEC-HMS و HEC-RAS در محیط GIS اقدام به شبیه‌سازی سیلاب در منطقه کرج کردند. آن‌ها نتایج شبیه‌سازی خود را برای سیلاب‌هایی با دوره بازگشت ۱۰، ۲۰ و ۵۰ ساله در منطقه مورد مطالعه در HEC-GeoRAS ارائه کردند. توسعه مناطق روستایی در حاشیه رودخانه و دشت‌های سیلابی بدون درک و توجه به شرایط دینامیکی و هیدرولوژیکی و مناطق بالادست رودخانه باعث افزایش خطر سیل و خسارت‌های جانی و مالی می‌شود. پهنه‌بندی سیل یکی از برنامه‌های کاربردی در مدیریت دشت‌های سیلابی است. (Golshan et al., 2016). این مقاله با هدف پیش‌بینی رفتار هیدرولوژیکی کانال خور گورسوزان در مقابل سیلاب‌های احتمالی برای کاهش خسارت وارده به مناطق شهری، تأسیسات در حال ساخت و دیگر کاربری‌ها در اطراف خور اهمیت ویژه‌ای دارد. از این‌رو شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیکی کانال خور برای تعیین مناطق حادثه‌خیز و پیش‌بینی خسارت ناشی از سیل ضرورت دارد. هدف این تحقیق تلفیق مدل هیدرولوژیکی HEC-RAS با نرم‌افزار

۱.۱. معرفی مدل HEC-RAS

بسته نرم‌افزاری HEC-RAS برای تحلیل سیستم رودخانه‌ای توسط مرکز مهندسی هیدرولوژی وابسته به گروه مهندسی ارتش آمریکا^۱ تهیه شده است. در نسخه ۵ این مدل، کاربر قادر به شبیه‌سازی یک بعدی و دوبعدی جریان غیرماندگار است. (HEC- River Analysis System, 2016). نظر به سهولت دسترسی و قابلیت‌های موجود در بسته نرم‌افزاری HEC-RAS این مدل برای انجام مطالعات هیدرولیک جریان انتخاب و استفاده شده است. مهم‌ترین معیارهای انتخاب نرم‌افزار HEC-RAS شامل: ۱. انطباق با فرمت اطلاعات نقشه‌برداری و نقشه‌های توپوگرافی؛ ۲. قابلیت گرافیکی بسیار قوی و تولید آن در محیط‌های مختلف گرافیکی؛ ۳. خصوصیات کاربردی آن در پهنه‌بندی سیلاب و اتصال به نرم‌افزارهای GIS و ۴. قابلیت قوی در شبیه‌سازی هندسی و هیدرولیک سازه‌های متقاطع و موانع طولی و عرضی است.

مهم‌ترین پارامترها برای اجرای مدل هیدرولوژیکی در نرم‌افزار HEC-RAS وارد کردن داده‌های ژئومتری مورد نیاز شامل تعریف طرح شماتیک سیستم رودخانه، داده‌های مقاطع عرضی رودخانه، طول بازه پایین‌دست، ضریب زبری، داده‌های کاهش انرژی، تلاقی رودخانه و داده انشعابات است (Abazi, 2016.a). الحاقیه HEC-GeoRAS برای عملکرد رفتار داده‌های ژئوگرافی مرتبط با HEC-RAS و بر نرم‌افزار ArcGIS نصب می‌شود. داده‌های ژئوگرافی بسیاری با استفاده از مدل ارتفاع رقومی^۳ به دست می‌آید. این مدل قابل تبدیل به فرمت نرم‌افزار HEC-RAS و تطابق با آن است. بعد از انجام آنالیز داده‌ها در مدل HEC-RAS، پروفیل سطح آب، ارتفاع آب، سرعت آب را می‌توان دوباره به فرمت GIS تبدیل کرد و با الحاقیه HEC-GeoRAS قابل

درسه پارامتر سرعت، عرض سطح آب و عمق جریان بررسی کردند. پروفیل سطح آب به منظور تعیین نوسانات جزر و مد آب باران‌های موسمی، و همچنین برای مطالعات بیمه مناطق سیل زده، کاهش خطر سیل خیزی و طراحی‌های مشابه محاسبه می‌شود. از این رو مدل و همکاران (۲۰۱۶) پروفیل سطح آب و سرعت را برای کالیبراسیون مدل HEC-RAS انتخاب کردند. برای تجزیه و تحلیل عملکرد مدل در فاز کالیبراسیون از آزمون‌های آماری، دو روش تجزیه و تحلیل خطا در نظر گرفته شد. نخستین ضریب نش ساتکلیف^۵ (Parhi, 2013)؛ دوم خطا میانگین مربعات^۶ (Abazi, 2016) است. این روش‌ها در رابطه‌های ۲ و ۳ آمده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (Y_i - X_i)^2} \quad (2)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n \{y_i - x_i\}^2}{\sum_{i=1}^n \{x_i - \bar{x}\}^2} \quad (3)$$

که در آن X_i, Y_i و \bar{x} به ترتیب مقدار مشاهداتی، شبه‌سازی شده، میانگین مقادیر مشاهداتی و N تعداد داده‌ها است.

۲. مواد و روش بررسی

۲.۱. منطقه مورد مطالعه

شهر ساحلی بندرعباس مرکز استان هرمزگان بوده و در جنوب ایران قرار دارد. این شهر به صورت نواری ساحلی در شمال تنگه هرمز محل عبور بخشی از رواناب‌های کوه گنو به سمت دریا است که این انتقال در پنج خور گورسوزان، نخل ناخدا، شیلات، طلوع و تل سیاه صورت می‌پذیرد. این خورها نقش زهکش‌های داخل شهر را نیز بر عهده داشته که رواناب سطحی جاری شده در مناطق شهری به داخل آن‌ها تخلیه می‌شود. منطقه مورد مطالعه شامل خور گورسوزان بوده و در مختصات $27^{\circ} 10' 30''$ تا $27^{\circ} 12' 30''$ شمالی $56^{\circ} 15' 30''$ تا $56^{\circ} 18' 30''$ شرقی شامل بخشی از شهر با مساحت $0/252$ کیلومتر مربع است. تغییرات ارتفاع منطقه بین $1/05$ الی $44/58$ متر است. نمایی از منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ آمده است.

اجرا است. بنابراین می‌توان نقشه سیلاب و عمق آب را در پهنه سیلابی رسم کرد (Hydrologic Engineering Center, 2013; Haghizadeh et al., 2012).

۲.۱. حساسیت‌سنجی مدل

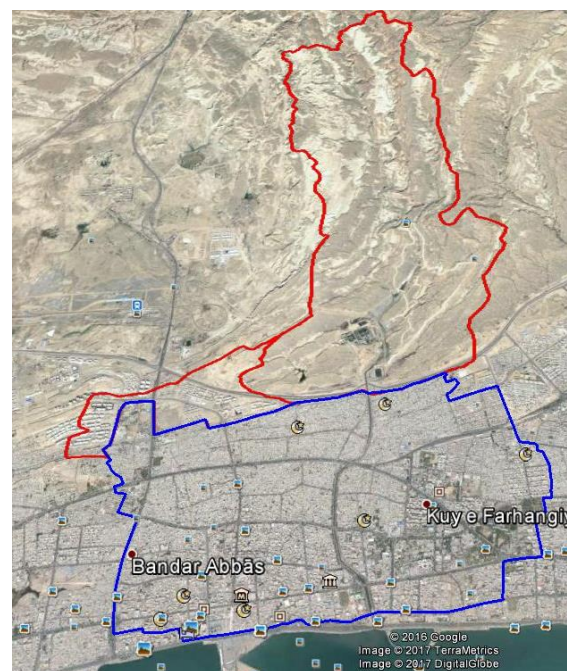
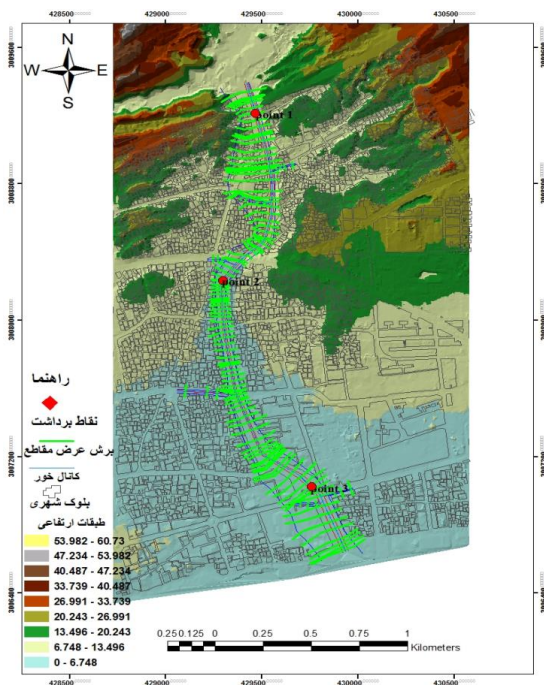
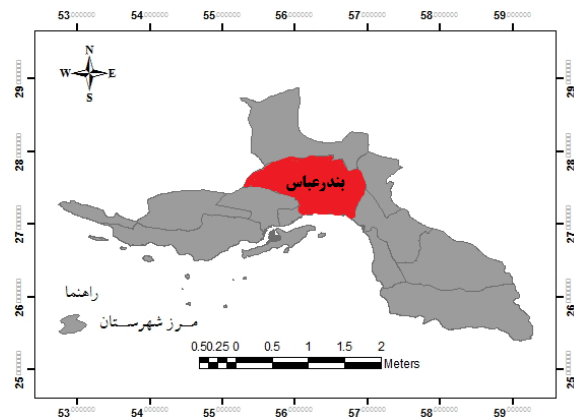
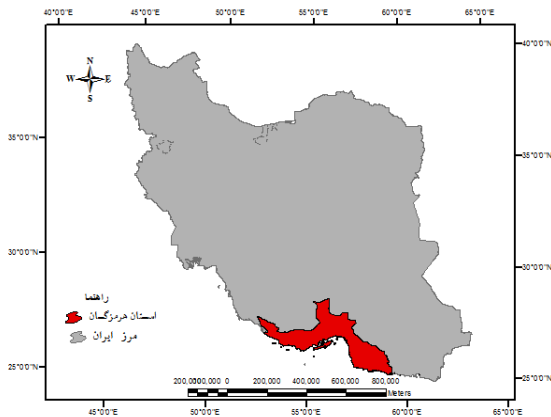
برای تعیین حساسیت مطلق هر پارامتر، با تغییر مقدار آن و ثابت نگهداشتن مقادیر دیگر پارامترها، میزان اثر آن بر توابع هدف بررسی می‌شود و این روند برای تمام پارامترها تکرار می‌شود و در نهایت پارامترهایی که تغییر آن‌ها بیشترین تأثیر را بر توابع هدف دارد، حساس‌ترین پارامترها شناسایی می‌شوند (Remegio, 2007). در این روش سطح حساسیت نسبی^۴ (SL) محاسبه و بر اساس آن مشخصه‌های جریان به لحاظ اهمیتشان درجه‌بندی می‌شوند. سطح حساسیت (SL) از رابطه ۱ تعیین شده است.

$$SL = \frac{N_{a1} - N_{Base}}{N_{Base}} \times 100 \quad (1)$$

در این رابطه، N_{Base} متغیر وابسته مورد نظر به ازای مقدار پارامتر پایه مورد نظر و N_{a1} متغیر وابسته است که به ازای درصد مشخصی تغییر در پارامتر مورد نظر، توسط مدل پیش‌بینی می‌شود. در این شرایط دیگر پارامترهای ورودی ثابت نگه‌داشته می‌شوند.

۳.۱. کالیبراسیون و واسنجی مدل HEC-RAS

شبه‌سازی رودخانه و تغییرات رفتاری مرتبط با آب براساس نیروهای محیطی و تکاملی یکی از موضوعات عالی در زمینه تحقیقات رودخانه‌ای است (Jahnig et al., 2012; Kiesel et al., 2009a). آنالیز حساسیت معمولاً در فعالیت‌های مهندسی و به منظور بهینه‌سازی آن‌ها استفاده می‌شود (Mesfin & Shuhaimi, 2010; Liou et al., 2013). حاجی‌بیگلو و همکاران (۱۳۹۲)، به منظور کالیبراسیون و واسنجی مدل HEC-RAS با توجه به اهمیت نقش سرعت در پدیده فرسایش و نیز اهمیت عرض سطح آزاد آب و عمق، به عنوان پارامترهای مؤثر در مورفولوژی رودخانه، حساسیت مدل را نسبت به تغییر ضریب مانینگ



شکل ۱. نمای از موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان هرمزگان و در شهر بندرعباس و تصویری از منطقه

(منبع: نگارنده)

با استفاده از اشل و متر مقاطع اندازه‌گیری شد. با توجه به اینکه دیواره سمت چپ و راست در مدل نیاز است؛ برای تعیین مرز دقیق کف کانال و اطراف آن و همچنین برای کنترل نقاط ارتفاعی کف کانال با استفاده از دستگاه GPS در طول کانال، نقاط کنترل زمینی^۷ (GCP) در هر بازه ۵۰۰ متری تعداد ۳۲ نقطه برداشت شد. تمامی نقاط به محیط Arc-GIS انتقال یافت. سپس برای شبیه‌سازی هندسی رودخانه پس از تهیه مدل شبکه نامنظم مثلثی^۸ (TIN) با پیکسل سایز ۲×۲ مترمربع، با استفاده از ابزار موجود در الحاقیه HEC-GeoRAS، نخست لایه کانال اصلی خور و ۶ کانال فرعی متصل ترسیم شد. در مرحله بعد، ۱۷۰ مقطع

۲.۲. روش تحقیق

– داده‌های مورد نیاز مدل

کانال خور گورسوزان در محیط Arc GIS ورژن ۱۰٫۲ براساس نقشه DEM با پیکسل سایز ۲×۲ مترمربع، شیب و بلوک‌های ۱٫۵۰۰ شهری رسم شد. به منظور بررسی مرز دقیق کانال خور، نقشه تهیه شده در Google earth اجرا و مرز نهایی تعیین شد.

در بخش داده‌های ژئومتری مدل HEC-RAS، مشخصات طول و عرض، مقاطع عرضی، دیواره‌ها، دشت سیلابی کانال و ضریب مانینگ برای کف کانال، دیواره‌ها و دشت سیلابی لازم است. برای تعیین مقاطع در طول کانال،

راستای دستیابی به سیلاب‌های مختلف، بارش‌هایی متناسب با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله برای ورود به مدل روش سازمان حفاظت خاک انتخاب شپ (Boudaghpour et al., 2014). به‌منظور دستیابی به مقدار بارش از نمودار شدت-مدت - فراوانی ایستگاه سینوپتیک بندرعباس استفاده شد. از طرفی، دو حوضه طبیعی در بالادست منطقه شهری قرار دارد، در این دو حوضه ایستگاه اندازه‌گیری باران یا دبی وجود ندارد. به‌منظور تعیین دبی با دوره بازگشت‌های مختلف از نزدیک‌ترین ایستگاه باران‌سنجی شرکت آب منطقه‌ای، به نام ایستگاه باران‌سنجی بندرعباس با طول دوره آماری ۳۰ساله، ۱۳۶۲-۱۳۹۲، استفاده شد.

۳.۲. کالیبراسیون و واسنجی مدل

به‌منظور شبه‌سازی دبی سیلاب، به یکسری وقایع مشاهداتی برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل نیاز است تا با استفاده از آمار مشاهداتی و تغییر پارامترهای مدل بتوان به مدلی با حداکثر دقت و کارایی برای منطقه مورد مطالعه رسید. در حوضه شهری و حوضه آبخیز بالادست مورد مطالعه ایستگاه هیدرومتری یا هر پایگاهی ثبت دبی وجود ندارد. از این رو، اقدام به اندازه‌گیری دبی برخی رخدادهای بارندگی در تاریخ‌های مختلف به کمک اشل و مولینه شد. ضریب مانینگ تأثیر بسیار مهمی در مدل HEC-RAS دارد و در منابع مختلف به آن اشاره شده است. از این رو، در مقطعی که دبی اندازه‌گیری شده ضریب مانینگ نیز بین ۰/۰۱۶ الی ۰/۰۲۴ بررسی و نتایج حاصله براساس ضرایب نش ساتکلیف و میانگین مربعات خطا ارزیابی شد.

عرضی بر کانال اصلی خور و ۳ مقطع عرضی بر هرکانال فرعی رسم شد. فاصله بین مقاطع عرضی، بر اساس وجود پل، اتصال کانال‌های فرعی و پیچ موجود در کانال خور متفاوت است. با توجه به اینکه اطلاعات ارتفاعی هر مقطع براساس لایه TIN به مدل انتقال می‌یافت در برخی مقاطع از طریق بازدید میدانی و برداشت نقاط ارتفاعی از صحت داده‌ها اطمینان لازم حاصل می‌شد.

یکی دیگر از پارامترهای مؤثر بلوک‌های مسدودکننده^۹ هستند که در ابزار الحاقیه HEC-GeoRAS موجود است. در واقع این فاکتور تأثیر سازه و هر جسمی را نشان می‌دهد که در مسیر جریان آب در دشت سیلابی است. پارامترهای ذکرشده، در الحاقیه HEC-GeoRAS رسم شد. سپس فرمت تغییر کرد و به نرم‌افزار HEC-RAS انتقال یافت. برخی از پارامترها می‌بایست در مدل HEC-RAS وارد شود از جمله در طول کانال جمعاً ۶ پل، ۲ کالورت و ۶ انشعاب اصلی بر کانال اصلی ترسیم و ضریب افت انقباضی ناشی از تنگ شدگی مقاطع برابر ۰/۱ و افت انبساطی ناشی از باز شدگی مقاطع، برابر ۰/۳ در نظر گرفته شد (جبل‌فرد و همکاران، ۱۳۸۱). یکی از پارامترهای مهم و تأثیرگذار، ضریب زبری مانینگ است. این ضریب براساس بازدهی‌های مکرر میدانی در مقاطع مختلف کانال، راهنمای مدل، نظر کارشناسان، جدول پیشنهادی در کتب فنی همچون هیدرولیک کانال‌های باز و روش چاو (Chow) تعیین شد. مقدار این ضریب برای مقطع اصلی کانال بین ۰/۰۱۶-۰/۰۲۴، کانال‌های فرعی بین ۰/۰۱۳-۰/۰۱۹؛ کناره‌های کانال اصلی بین ۰/۰۱۴-۰/۰۱۶، کناره‌های کانال‌های فرعی ۰/۰۱۱-۰/۰۱۵ و دشت سیلابی چپ و راست ۰/۰۱-۰/۰۳ تعیین شد (User's Manual Hec-Ras, 2016). با توجه به هدف مطالعه در

جدول ۱. رخداد بارندگی اندازه‌گیری شده در طول کانال خورگورسوزان

تاریخ رخداد	دوره بازگشت رخداد	ایستگاه اندازه‌گیری	مورد استفاده
۱۳۹۴/۱۰/۴	۲ سال	۲۶۷۵	کالیبراسیون روش سازمان حفاظت خاک (SCS)
۱۳۹۴/۱۰/۴	۲ سال	۴۱۶	کالیبراسیون مدل HEC-RAS
۱۳۹۴/۱۰/۱۳	۵۰ سال	۲۰۵۴	کالیبراسیون مدل HEC-RAS
۱۳۹۴/۱۰/۱۳	۵۰ سال	۴۱۶	کالیبراسیون مدل HEC-RAS
۱۳۹۲/۱۰/۱۷	۲ سال	۴۱۶	اعتبارسنجی مدل HEC-RAS

(منبع: نگارنده)

تمرکز حوضه بالادست، که به روش SCS محاسبه و در مدل گنجانده شده است. برای تعریف شرایط مرزی پایین دست از روش عمق نرمال^۱ استفاده شد.

– سناریو سوم

در این سناریو ورودی دبی از بالادست را نداریم و در پایین دست شرایط مد دریا برقرار است. در این شرایط به دلیل وجود حالت مد دریا ماکزیمم عمق آب داخل خور اندازه‌گیری شد. همچنین به منظور معرفی ارتفاع آب مد، از گزینه Known.W.S برای شرایط پایین دست استفاده شد. و شرایط بالادست نیز عمق نرمال معرفی شده است.

– سناریو چهارم

در این سناریو از حوضه‌های بالادست دبی ورودی به منطقه شهری را داریم. در شرایط پایین دست نیز دریا در حالت مد قرار دارد. در این سناریو برای شرایط بالادست، دبی ورودی حوضه برون شهری و برای پایین دست شرایط ارتفاع آب مد معرفی شده است.

۳. یافته‌ها

۳.۱. نتایج حساسیت‌سنجی

نظر بر اینکه سیلاب با دوره بازگشت ۲۵ ساله در اکثر مناطق محدوده طرح به‌عنوان سیلاب طراحی مطالعات ساماندهی و مبنای تعیین حد بستر و حریم منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است، از این‌رو واسنجی مدل هیدرولیکی بر مبنای این سیلاب از اهمیت بیشتری برخوردار است. بدین منظور با تغییرات افزایشی و کاهش (۱۵٪ ±) ضریب مانینگ، حساسیت دیگر متغیرهای جریان ارزیابی شد. در این راستا، تغییرات متوسط ارتفاع آب و متوسط سرعت جریان برای کانال خور گورسوزان به ازای تغییرات ضریب مانینگ محاسبه شد. شکل ۲ حساسیت هریک از پارامترها نسبت به تغییرات ضریب مانینگ در زیر آمده است. تغییر در ضریب زبری مانینگ تأثیر عمده‌ای در نتایج هیدرولیکی کانال

به منظور انجام کالیبراسیون مدل روش سازمان حفاظت خاک (SCS)، در خروجی حوضه آبخیز بالادست و ابتدای حوضه شهری، دبی ورودی از بالادست طی یک رخداد بارندگی اندازه‌گیری شد. تاریخ رخداد بارندگی و مکان اندازه‌گیری در جدول ۱ آمده است. از طرفی، برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل HEC-RAS از سه واقعه بارندگی در چند ایستگاه در طول خورگورسوزان اندازه‌گیری به عمل آمد. تاریخ وقایع بارندگی اندازه‌گیری شده در جدول ۱ آمده است.

برای ارزیابی داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی، از ضرایب نش ساتکلیف و خطا میانگین مربعات استفاده شده است. یکی از اهداف اصلی انجام مطالعات سیلاب، تعیین بازه‌های نیازمند اجرای طرح‌های کنترل سیلاب است. بدین منظور برای تعیین ظرفیت هیدرولیکی کانال، بعد از مدل‌سازی این مهم به کمک نتایج به دست آمده محاسبه می‌شود.

۲.۴. تحلیل جریان ماندگار

در این بخش به منظور بررسی سیلاب با دوره بازگشت‌های مختلف در خور گورسوزان و پهنه سیلابی هر یک از آن‌ها، اقدام به شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی جریان سیلاب در حالت ماندگار کرده‌ایم. این شبیه‌سازی در چهار سناریو مطرح شد.

– سناریو اول

در این سناریو از حوضه آبخیز بالادست ورودی دبی نداریم و دریا در شرایط جزر قرار دارد. شرایط مرزی بالا و پایین دست عمق نرمال معرفی شد.

– سناریو دوم

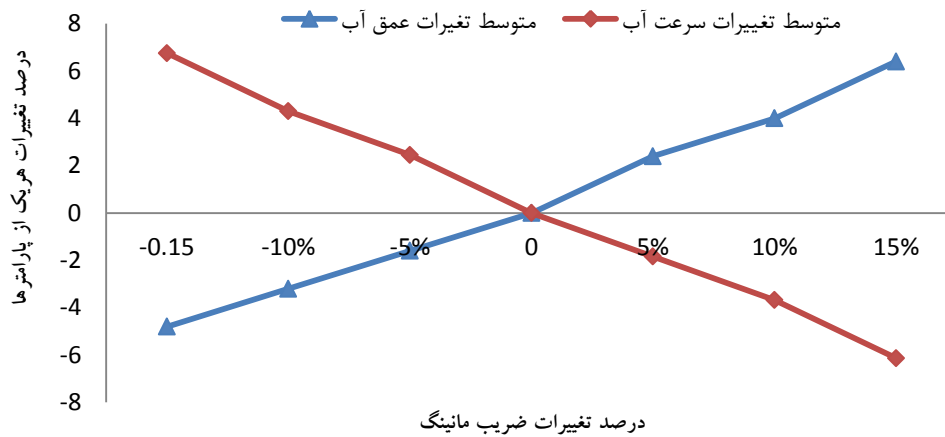
در این سناریو از حوضه‌های برون شهری بالادست ورودی دبی به حوضه شهری داریم و در پایین دست شرایط جزر دریا است. در این شرایط دبی با دوره بازگشت‌های ۲، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله از حوضه برون شهری به مدل HEC-RAS معرفی شد. مدت زمان این دبی‌ها معادل زمان

دبی‌های سیلابی با دوره برگشت‌های مختلف انجام شد. معمولاً پس از اجرای مدل از نتایج عمق و سرعت جریان مشاهداتی برای کالیبراسیون و واسنجی صحت نتایج محاسباتی استفاده می‌کنند. نتایج عمق هیدرولیکی و سرعت جریان آب حاصل از کالیبراسیون مدل HEC-RAS خورگورسوزان و کالیبراسیون روش سازمان حفاظت خاک (SCS) در جدول‌های ۲ و ۳ آمده است.

همچون عمق آب، سرعت جریان و پهنه سیل‌گیر دارد. با توجه به نمودار ۱ افزایش یا کاهش ضریب زبری تأثیر مثبت بر عمق جریان و اثر معکوسی بر سرعت جریان دارد.

۲.۳. اجرا و کالیبراسیون مدل هیدرولیکی

با معرفی مشخصات هندسی، ضریب مانینگ، دبی سیلاب و شرایط مرزی به مدل هیدرولیکی، اجرای مدل برای



نمودار ۱. حساسیت هر یک از پارامترها نسبت به درصد تغییرات ضریب مانینگ (منبع: یافته‌های تحقیق)

جدول ۲. نتایج عمق هیدرولیکی جریان آب حاصل از کالیبراسیون و صحت‌سنجی روش حفاظت خاک (SCS) و مدل HEC-RAS بر خورگورسوزان با ضرایب مانینگ مختلف

تاریخ رخداد بارندگی	۱۳۹۴/۱۰/۴	۱۳۹۴/۱۰/۱۳	۱۳۹۴/۱۰/۱۳	۱۳۹۴/۱۰/۱۷	۱۳۹۴/۱۰/۴
عملیات	کالیبراسیون	صحت‌سنجی	مقادیر کالیبراسیون روش حفاظت خاک (SCS) با ضریب مانینگ	مقادیر کالیبراسیون روش حفاظت خاک (SCS) با ضریب مانینگ	مقادیر کالیبراسیون روش حفاظت خاک (SCS) با ضریب مانینگ
مقادیر شماره ایستگاه	۴۱۶	۲۰۵۴	۴۱۶	۴۱۶	۲۶۷۵
ضریب مانینگ	۲ سال	۵۰ سال	۵۰ سال	۲ سال	۲ سال
دوره بازگشت ضرایب آماری	۰/۱۴۰۶	-۱/۹۲۹۳	-۰/۱۸۱۹	-۰/۱۴۴۱	۰/۷۸۵۴
RMSE	۰/۱۹۴۵	۰/۲۲۹۴	۰/۳۶۸۷	۰/۱۶۷۷	۰/۱۱۸۱
N.S	۰/۶۷۲۱	۰/۸۷۴۸	۰/۶۵۲۰	۰/۷۵۳۲	-۰/۱۹۹
RMSE	۰/۱۰۵۹	۰/۰۴۷۳۰	۰/۳۳۱۲	۰/۸۲۷۷	۰/۰۶۷۹۳

(منبع: یافته‌های تحقیق)

جدول ۳. نتایج سرعت جریان آب حاصل از کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل HEC-RAS بر خورگورسوزان

تاریخ رخداد بارندگی	۱۳۹۴/۱۰/۴	۱۳۹۴/۱۰/۱۳	۱۳۹۴/۱۰/۱۳	۱۳۹۴/۱۰/۱۷
عملیات	کالیبراسیون	صحت‌سنجی		
شماره ایستگاه	۴۱۶	۲۰۵۴	۴۱۶	۴۱۶
دوره بازگشت	۲ سال	۵۰ سال	۵۰ سال	۲ سال
ضرایب آماری	N.S	۰/۶۸۹	۰/۷۳۵	۰/۸۱۰۱۲
RMSE	۰/۰۸۹۹	۰/۱۰۸۳	۰/۱۱۰۸	۰/۰۳۵۲۲

(منبع: یافته‌های تحقیق)

۳.۳. مدل‌سازی هیدرولیکی و بررسی نتایج محاسبات هیدرولیک جریان تحت سناریوهای مختلف

پس از تعیین مشخصات هندسی هر یک از بازه‌ها و جانمایی سازه‌های تقاطعی احداث شده در مسیر خور در مدل، مدل‌سازی هیدرولیک جریان صورت گرفته است. نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی هیدرولیک جریان خور مورد مطالعه براساس سناریوهای مختلف ارائه شده است.

– سناریو ۱

طبق این سناریو، ظرفیت هیدرولیکی تمام بازه‌های کانال اصلی خورگورسوزان توانایی انتقال و عبور جریان با دوره بازگشت‌های مختلف را دارا هستند. بازه اول حدود ۲۴۴ متر از طول کانال معادل ۵۲ درصد از طول مسیر توانایی جابجایی دبی ۱۰۰ ساله را ندارد. مابقی طول مسیر توانایی حمل دبی بالای ۱۰۰ سال را دارد. بازه دوم و سوم از کانال خور توانایی عبور دبی با دوره بازگشت بالای ۱۰۰ سال را دارند. بازه چهارم حدود ۴۸ درصد از طول کانال معادل ۴۸ درصد از طول مسیر توانایی حمل دبی ۱۰۰ سال را ندارد. در این میان کانال‌های فرعی متصل به خور، ظرفیت عبور جریان‌هایی با دوره بازگشت‌های متفاوتی از خود نشان دادند. کانال‌های فرعی شماره ۳، ۴ و ۶ ظرفیت عبور جریان با دوره بازگشت ۱۰۰ سال و مابقی کانال‌ها توانایی عبور دبی با دوره بازگشت‌های ۲ تا ۲۵ سال را دارد. شکل ۲ ظرفیت هیدرولیکی کانال در سه بازه اول، چهارم و هفتم طبق سناریو ۱ آمده است.

– سناریو ۲

بر اساس این سناریو، از حوضه‌های بالادست دبی با دوره بازگشت‌های مختلف وارد کانالگورسوزان می‌شود و در پایین دست حالت جزر برقرار است. در این شرایط بازه‌های اول تا پنجم به‌طور متوسط توانایی حمل دبی بین ۱۰ تا ۲۵ سال را دارند و در برخی بخش‌ها توانایی حمل دبی با دوره بازگشت ۵۰ سال را دارند. در بازه ششم و هفتم بیشترین توانایی این دو بخش از کانال در عبور دبی با دوره بازگشت زیر ۱۰۰ سال است. کانال‌های فرعی طبق این سناریو حداکثر توانایی عبور دبی تا ۲۵ سال را دارند. شکل ۲ ظرفیت هیدرولیکی کانال در سه بازه اول، چهارم و هفتم طبق سناریو ۲ آمده است.

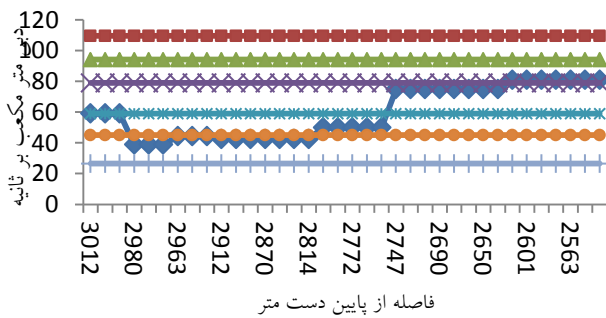
– سناریو ۳

در این سناریو که شرایط پایین دست مد دریا است و از بالا دست دبی ورودی نداریم. در این شرایط، وضعیت بازه‌های اول تا پنجم کانال مانند سناریوی اول است ولی در بازه‌های ششم و هفتم، به دلیل شرایط مد و بالا آمدن آب دریا در خور، توانایی عبور دبی از این بخش‌ها در دوره بازگشت‌های مختلف به‌طور متوسط به ترتیب به میزان ۲۳/۵ و ۴۰ درصد کاهش یافته است. کانال‌های فرعی در این سناریو همانند سناریو اول بوده به استثناء کانال ۶ که توانایی عبور آن به میزان ۵۰ درصد کاهش یافته است. شکل شماره ۳ ظرفیت هیدرولیکی کانال در سه بازه اول، چهارم و هفتم طبق سناریو ۳ آمده است.

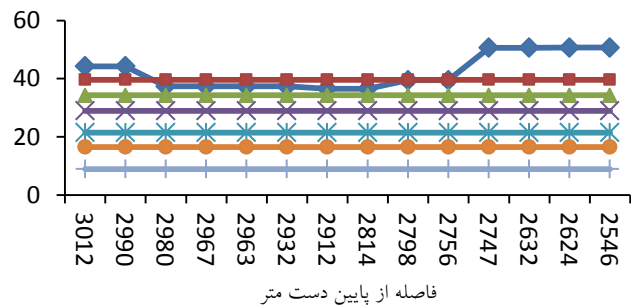
برخی از مقاطع ظرفیت آن‌ها لبریز شده ولی در مجموع این دو بازه، توانایی حمل دبی با دوره بازگشت ۵۰ سال را به‌خوبی نشان می‌دهد. براساس این سناریو کانال‌های فرعی به‌طور متوسط حداکثر توانایی عبور دبی بالای ۲۵ سال را دارند. شکل ۳ ظرفیت هیدرولیکی کانال در سه بازه اول، چهارم و هفتم طبق سناریو ۴ آمده است.

سناریو ۴

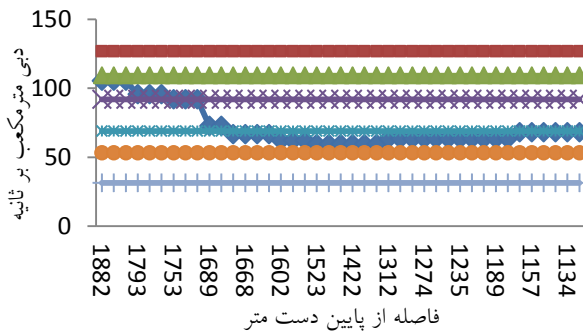
طبق این سناریو از حوضه بالادست دبی ورودی داریم و در پایین دست کانال خور شرایط مد دریا برقرار است. براین اساس، بازه‌های اول تا پنجم به‌طور میانگین توانایی حمل دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال را از خود نشان می‌دهند. بازه ششم و هفتم با وجود شرایط مد دریا در



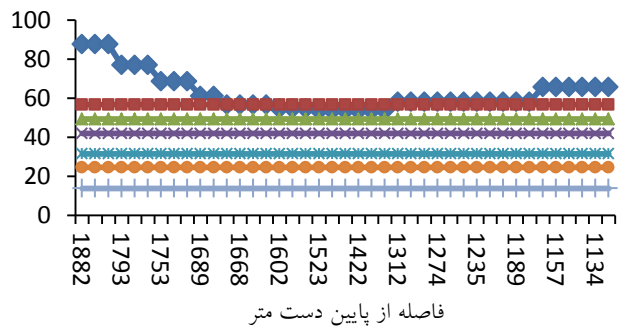
د



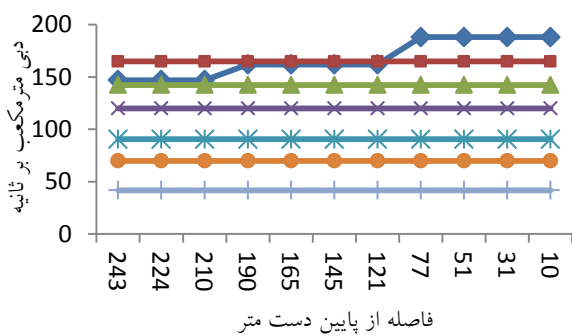
الف



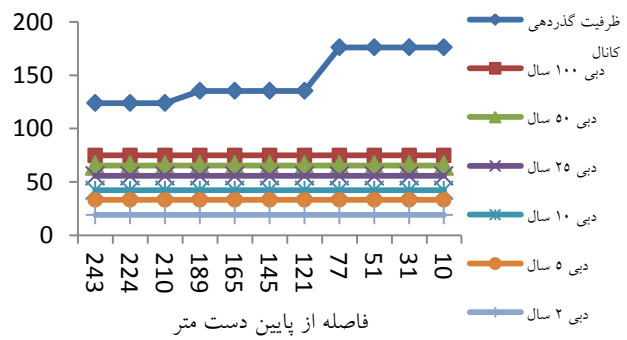
ب



ج

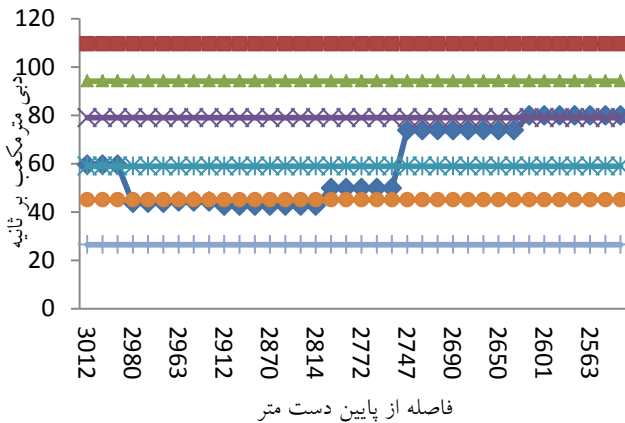


د



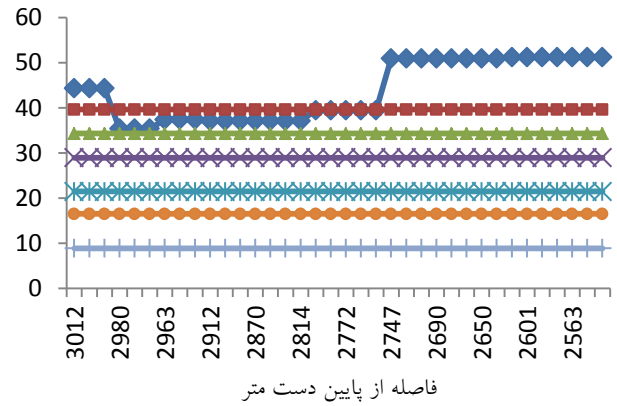
ه

شکل ۲. ظرفیت هیدرولیکی کانال طبق سناریو اول در سه بازه، الف. بازه اول؛ ب. بازه چهارم؛ ج. بازه هفتم؛ و طبق سناریو دوم در سه بازه د. بازه اول؛ س. بازه چهارم؛ ص. بازه هفتم (منبع: یافته‌های تحقیق)



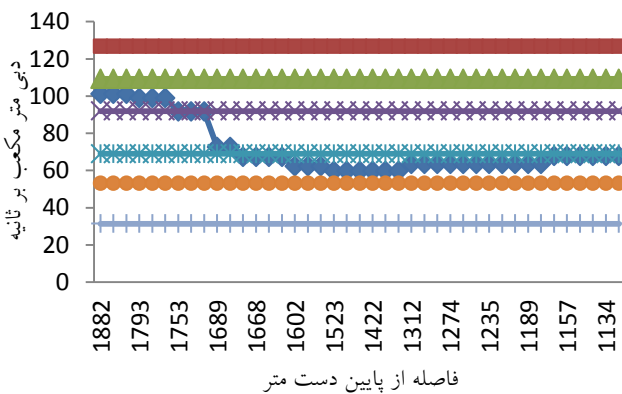
فاصله از پایین دست متر

د



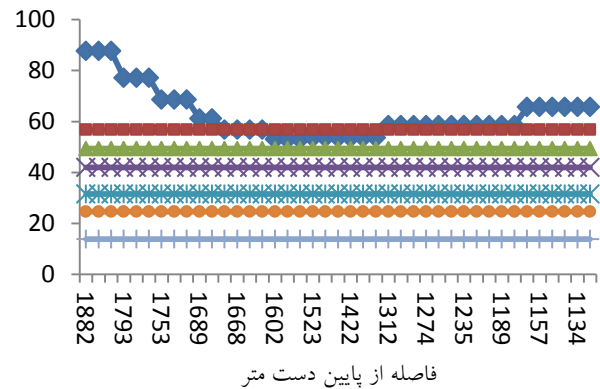
فاصله از پایین دست متر

الف



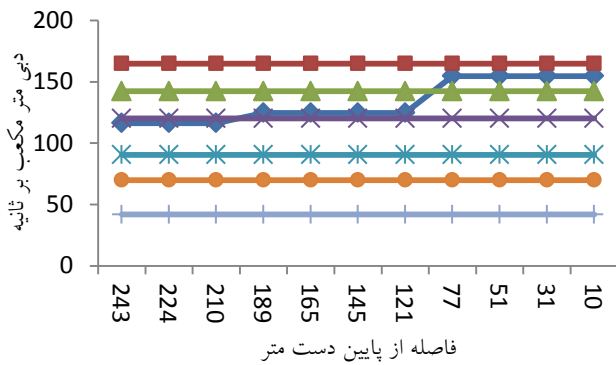
فاصله از پایین دست متر

س



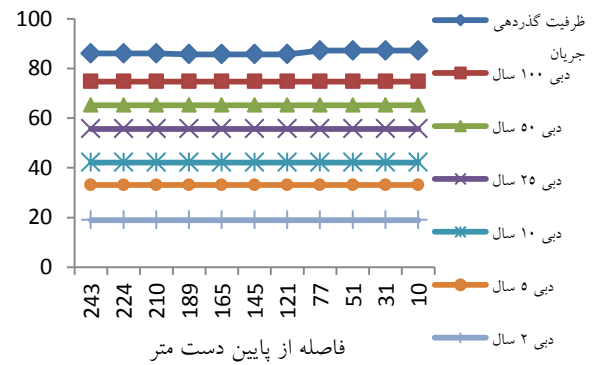
فاصله از پایین دست متر

ب



فاصله از پایین دست متر

ص



فاصله از پایین دست متر

ج

شکل ۳. ظرفیت هیدرولیکی کانال طبق سناریو سوم در سه بازه، الف. بازه اول؛ ب. بازه چهارم؛ ج. بازه هفتم و ظرفیت هیدرولیکی کانال طبق سناریو چهارم در سه بازه، د. بازه اول؛ س. بازه چهارم؛ ص. بازه هفتم (منبع: یافته‌های تحقیق)

دیده می‌شود، به ازای دوره بازگشت‌های طولانی‌تر میزان دبی بیشتر شده و پهنه سیلابی نیز وسعت بیشتری یافته است. البته تفاوت در گسترش پهنه سیلاب گیر در درجه اول ناشی از ویژگی‌های توپوگرافی و ساختمان‌های اطراف

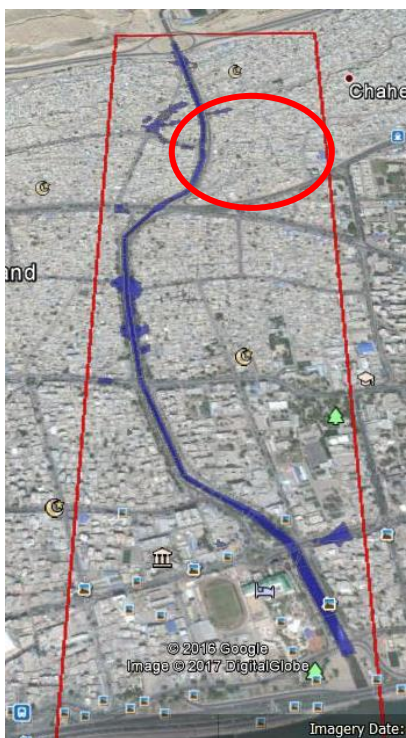
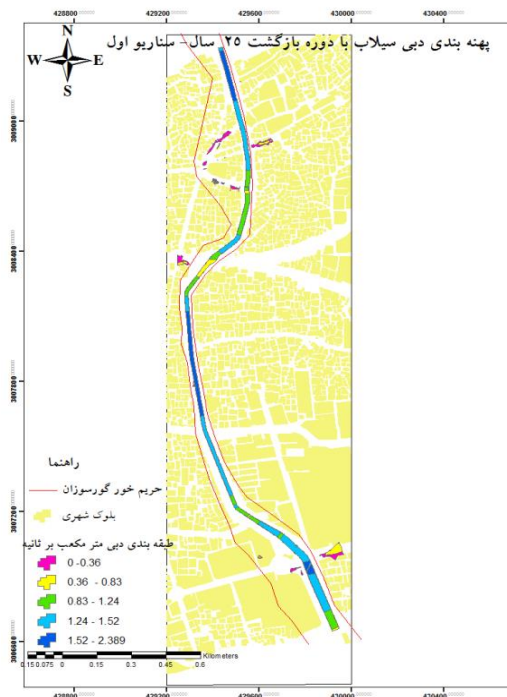
نتایج حاصل از محاسبات سطوح آب در دوره بازگشت‌های مختلف در نرم‌افزار HEC-RAS از طریق الحاقیه HEC-geoRAS به محیط GIS منتقل و پهنه‌های سیلابی در هر دوره تعیین شد. همان‌طور که در شکل ۴ تا ۷

اطراف قوس کانال). در واقع این مسیر اصلی و قدیمی خور بوده که بعد از ساماندهی کانال خور بخش قوس‌دار آن را به صورت یک کانال مستقیم طراحی شده است.

است. در هر قسمت که مناطق کم‌شیب بوده عرض پهنه سیل‌گیر بیشتر است این موضوع در قوس ابتدایی کانال در هر یک از دوره بازگشت‌ها نمایان است (کادر قرمز رنگ



الف



ب



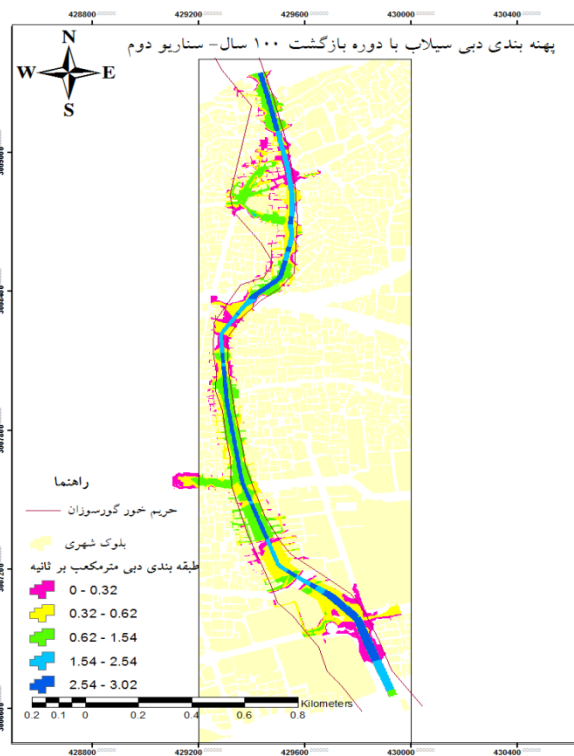
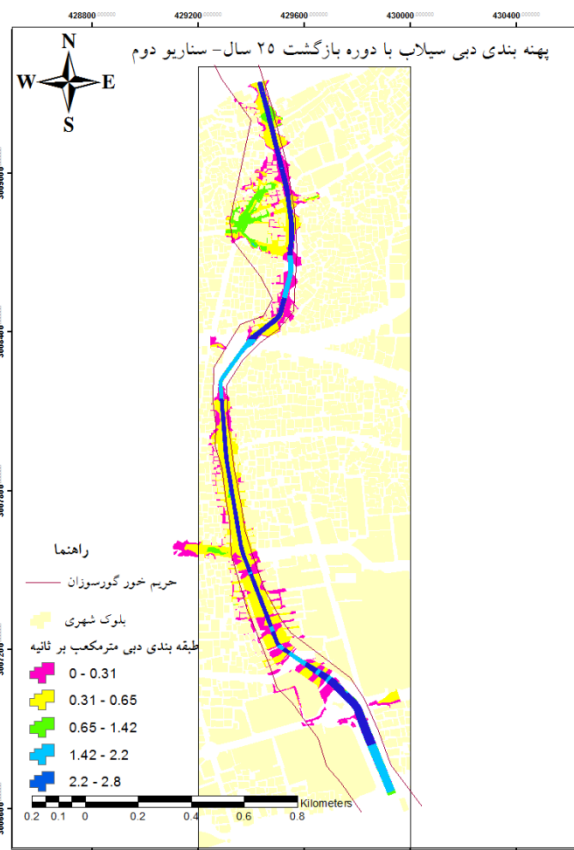
شکل ۴. تصویر پهنه‌بندی سیلاب با دوره بازگشت الف. ۲۵ و ب. ۱۰۰ سال طبق سناریو اول (منبع: یافته‌های تحقیق)



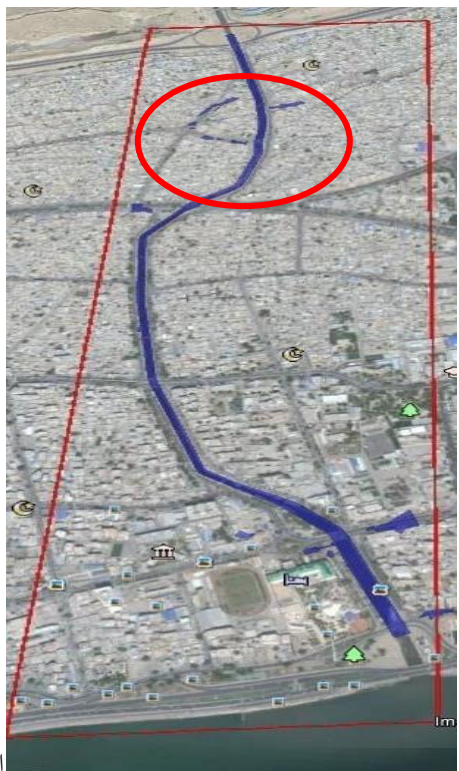
الف



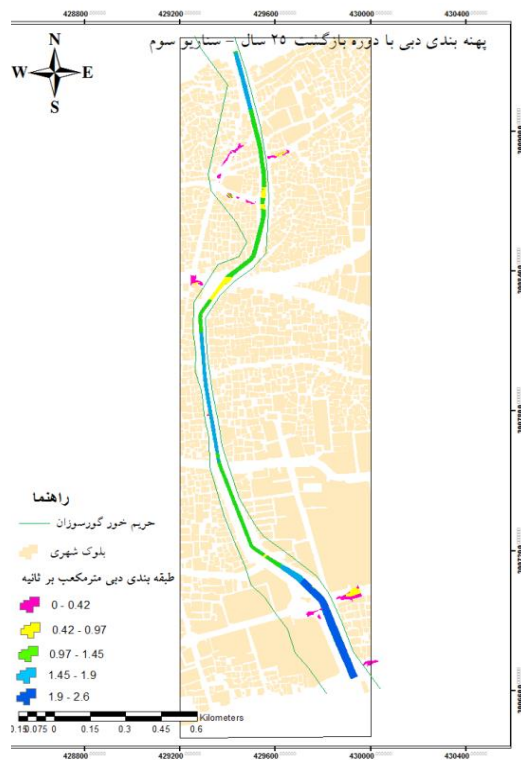
ب



شکل ۵. تصویر پهنه‌بندی سیلاب با دوره بازگشت الف. ۲۵ و ب. ۱۰۰ سال طبق سناریو دوم (منبع: یافته‌های تحقیق)



الف



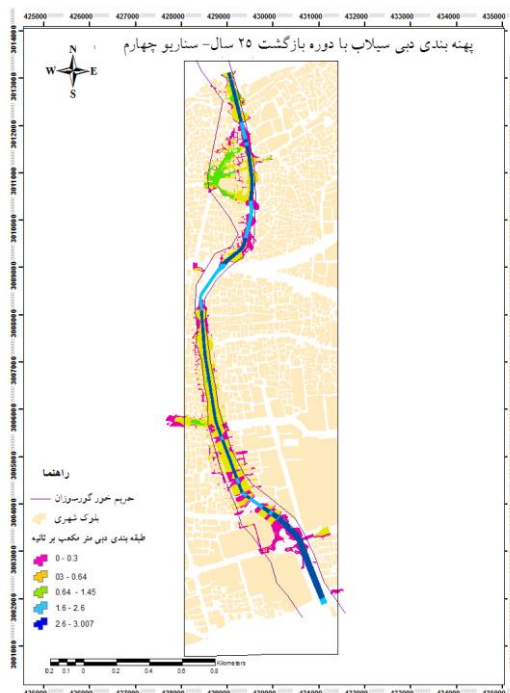
ب



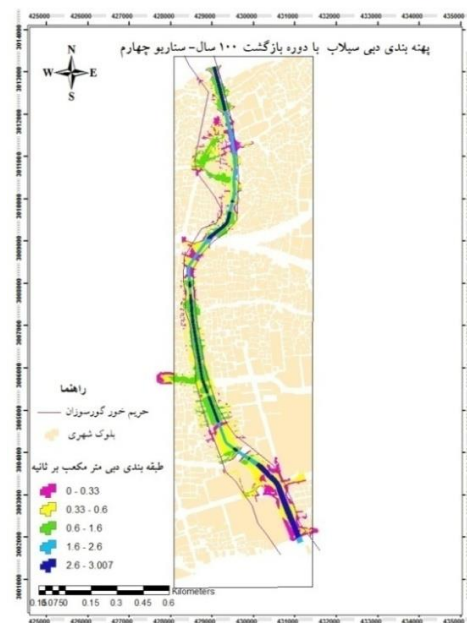
شکل ۶. تصویر پهنه‌بندی سیلاب با دوره بازگشت الف. ۲۵ و ب. ۱۰۰ سال طبق سناریو سوم (منبع: یافته‌های تحقیق)



الف



ب



شکل ۷. تصویر پهینه بندی سیلاب با دوره بازگشت الف. ۲۵ و ب. ۱۰۰ سال طبق سناریو چهارم (منبع: یافته‌های تحقیق)

جدول ۴. درصد مساحت پهینه سیلاب در دوره بازگشت‌های مختلف بر اساس سناریوها

سناریو	دوره بازگشت					
	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲
سناریو اول	۱۰۰	۳۰/۶۹	۱۹/۱۰	۱۳/۸	۹/۴۵	۵/۹
سناریو دوم	۱۰۰	۸۸/۸	۷۵/۹	۳۱/۹	۱۰/۲۲	۳/۱۲
سناریو سوم	۱۰۰	۴۶/۴	۳۴/۵	۲۳/۱	۲۰/۲	۱۳/۸
سناریو چهارم	۱۰۰	۸۸/۸	۷۲/۵	۳۱	۹/۷	۲/۹۷

(منبع: یافته‌های تحقیق)

با توجه به نتایج حاصل از خروجی مدل هیدرولیکی HEC-RAS برای جریان با دوره بازگشت ۲-۱۰۰ ساله در کانال خور مورد مطالعه، به طور کلی، وضعیت عرض مقاطع از بالادست به پایین دست کانال از روند ثابتی پیروی می‌کند. اگر چه جنس بستر و کناره‌ها، و شکل کانال در طول مسیر تغییری ندارد ولی در بخش‌هایی از کانال میزان بالازدگی جریان و پهنه سیلابی نمایان‌تر است. دلیل این امر ممکن است وجود سازه‌های عرضی مانند کالورت و پل، یا افزایش مقادیر جریان در کانال اصلی توسط کانال‌های فرعی متصل به خور است. بیشترین عمق جریان مربوط به پهنه سیلابی سمت راست است. متناظر با این عمق، سرعت جریان در پهنه سمت راست بیشتر است. همچنین براساس نتایج مربوط به پهنه سیلابی، پهنه سمت راست کانال وسعت بیشتری دارد. طبق نتایج، بیشترین پهنه سیلابی به ترتیب مربوط به سناریو چهارم، سناریو دوم، سناریو سوم و سناریو اول است. نکته دیگر اینکه مساحت پهنه سیلابی طبق سناریو اول و سوم، و دوم و چهارم با اختلاف کمی مشابه یکدیگر است وجود جزر و مد دریا که بر کانال خور گورسوزان تأثیرگذار بوده و تا حدی غیرقابل کنترل است. طبق سناریو سوم و زمانی که دریا در شرایط مد است اگرچه در طول مسیر برخی مناطق بالازدگی سیل را دارند ولی کانال خور باز هم قابلیت عبور دبی ۱۰۰ سال را دارد. ولی براساس سناریو دوم و چهارم که از حوضه بالادست دبی ورودی داریم ظرفیت کانال به شدت کاهش یافته و شاهد سیلاب‌های شدیدی هستیم. در واقع کانال خور تنها ظرفیت انتقال دبی منطقه شهری را دارد. بنابراین با توجه به برنامه‌ریزی‌های شهری می‌بایست به این مسئله دقت کافی کرد. نتایج نشان می‌دهد که از کل مساحت در قلمرو سیل ۱۰۰ ساله، به طور متوسط حدود ۵۰/۵ درصد مستعد سیل‌گیری توسط سیل‌های با دوره برگشت ۲۵ سال و کمتر از آن است. این منطبق با یافته‌های غفاری و همکاران (۱۳۸۶) غفاری و امینی (۱۳۸۹)، یمانی و همکاران (۱۳۹۱)، پریسایبی و همکاران (۱۳۹۳)، شیخ

۴. نتیجه‌گیری

در این تحقیق به منظور پهنه‌بندی خطر سیل از تلفیق دو مدل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی استفاده شد، به دلیل عدم وجود ایستگاه هیدرومتری یا هر داده‌ای در رابطه با سیل، نخست از روش سازمان حفاظت خاک (SCS) برای محاسبات هیدرولوژیکی استفاده شد. با توجه به اندازه‌گیری‌های عمق و سرعت جریان آب در سه مقطع از کانال، نتایج حاصل از اعتبارسنجی نشان داد که این روش با توجه به کمبود داده، نتایج بسیار خوبی ارائه می‌نماید، به طوری که در مرحله واسنجی میزان ضرایب آماری به طور متوسط بالاتر از ۰/۷۵ بوده که این نشان‌دهنده شبیه‌سازی بسیار خوب است (Pluntke et al., 2014). در ادامه به منظور بررسی رفتار هیدرولیکی کانال خور گورسوزان از مدل HEC-RAS استفاده شد. همچنین برای کالیبراسیون ضریب زبری، به عنوان فاکتوری تأثیرگذار در فرایند شبیه‌سازی از وقایع بارش اندازه‌گیری شده استفاده شد.

نتایج به دست آمده از کالیبراسیون و صحت‌سنجی مدل HEC-RAS میان مقادیر شبیه‌سازی مدل با مقادیر مشاهداتی عمق و سرعت جریان آب نشان داد براساس ضرایب آماری N.S و RMSE این مدل کارایی مناسبی دارد. از این رو در هر یک از مقاطع اندازه‌گیری شده، مقدار متوسط ضریب زبری نیز تعیین شد. این نتایج با یافته‌های (Siqueira et al., 2016; Parhi et al., 2012)، Parhi, 2013 و Timbadiya et al 2011 مطابقت دارد. همچنین یافته‌های حاصل نشان می‌دهد که مدل HEC-RAS برای مطالعه خصوصیات هیدرولیکی جریان کانال خور با توجه به شرایط شهر بندرعباس که در نوار ساحلی قرار گرفته و پهنه‌بندی سیلاب با دقت بالا و هزینه اندک استفاده شود (روشان و همکاران، ۱۳۹۲؛ Silva et al., 2014). از طرفی دو نرم‌افزار HEC-RAS و Arc-GIS، قابلیت مناسبی در نمایش هر چه بهتر نتایج حاصل از پهنه سیلابی دارند که این مطلب موافق با نتایج (Patel & Gundaliya, 2016) است.

بازگشت‌های ۲-۱۰۰ سال مشخص شد. بنابراین مدیریت و کنترل سیل و خسارات ناشی از آن در مناطق همجوار کانال خورگورسوزان نیاز به برنامه‌ریزی ویژه‌ای دارد. به طوری که با استفاده از ابزارهای فناوری جغرافیایی و کارشناسی و شناسایی و ترسیم پهنه بندی سیل در منطقه ضروری است. برای کاهش بلایای ناشی از سیل در منطقه به ویژه حاشیه کانال، مشارکت و همکاری سازمان‌ها و ارگان‌های اجرایی ضروری است.

یادداشت‌ها

1. River Analysis System 'RAS'
2. Hydrologic Engineering Center 'HEC'
3. Digital Elevation Model (DEM)
4. Sensitive level (SL)
5. Nash-Sutcliffe efficiency (N.S)

علیشاهی و همکاران (۱۳۹۵)، گلشن و همکاران (۲۰۱۶) که درصد بالایی از پهنه سیل ۱۰۰ ساله را مستعد سیل‌گیری توسط سیل‌های ۲۵ و زیر آن سال دانستند. رفتار جریان آب در کانال تحت تأثیر فرایندهای مختلف در بستر زمان و مکان شکل می‌گیرد. برای شناخت این پدیده‌ها و عوامل مؤثر بر آن انتخاب ابزار مناسب برای تحلیل و بررسی ضروری است. در تحلیل جریان رودخانه‌ها مدل‌های فیزیکی و ریاضی به منزله ابزار مناسب ایفای نقش می‌کنند. با اجرای مدل HEC-RAS، در این مطالعه پهنه‌های پس زدن آب کانال و مناطقی که در معرض خطر شدید سیلاب قرار دارند طی دوره

6. Root Mean Square Error (RMSE)
7. Ground Control Point (GCP)
8. Triangle Irregular Network model (TIN)
9. blocked obstructions
10. normal depth

منابع

- پریسای، ز، شیخ، و، اونق، م. و بهره‌مند، ع. ا. ۱۳۹۳. پهنه‌بندی خطر سیل با دو مدل مادکلاک و HEC-RAS در آبخیز سد بوستان استان گلستان. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۸(۴): ۷۲۹-۷۴۱.
- شیخ‌علیشاهی، ن، جمالی، ع. ا. و حسن‌زاده نفوتی، م. ۱۳۹۵. پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی تحلیل رودخانه (مطالعه موردی: حوضه آبریز منشاد- استان یزد). فصلنامه علمی-پژوهشی فضای جغرافیایی. دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر. ۱۶(۳۵): ۷۷-۹۶.
- حاجی‌بیگللو، م. دستورانی، م. ت.، قزل‌سفلو، ع. ع. و اختصاصی، م. ر. ۱۳۹۲. تغییرات مورفولوژیکی رودخانه و ارتباط آن با فرایندهای حاکم (مطالعه موردی: رودخانه فیروزه- شاه‌جوب). نشریه مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، ۶۶(۱).
- جبلی‌فرد، س.، امیدوار، آ. و نجفی جیلانی، ع. ا. ۱۳۸۱. سیستم تحلیل رودخانه HEC-RAS (Unsteady Flow). انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- روشان، ح. و هاب‌زاده، ق. سلیمانی، ک. و فرهادی، ر. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه با استفاده از مدل HEC-RAS در محیط GIS (مطالعه موردی: رودخانه بشار، استان کهگیلویه و بویراحمد). پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، ۴(۷).
- غفاری، گ. و امینی، ع. ۱۳۸۹. مدیریت دشت‌های سیلابی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) مطالعه موردی: رودخانه قزل‌اوزن. فصلنامه علمی پژوهشی فضای جغرافیایی. ۱۰(۳۲): ۱۱۷-۱۳۴.
- غفاری، گ.، سلیمانی، ک. و مساعدی، ا. ۱۳۸۶. پهنه‌بندی خطر و ارزیابی خسارت سیل با استفاده از HEC-geORAS (مطالعه موردی: رودخانه بابل‌رود). نشریه دانشکده منابع طبیعی، ۶۰(۲): ۴۳۹-۴۵۱.
- یمانی، م.، تورانی، م. و چزغه، س. ۱۳۹۱. تعیین پهنه سیل‌گیر با استفاده از مدل HEC-RAS (مطالعه موردی: بالادست سد طالقان از پل گلینک تا پل وشته). مجله جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱.

- Adams, T., Chen, S. and Heim, J. 2011. NWS/OHRFC Operational Experience with the Ohio River Community HEC-RAS Model. In: World Environmental and water resources congress, 11., 2011. Palm Springs. Proceedings... Palm Springs: ASCE, 2011. p. 2244-2252.
- Agrawal, r. and Regulwar, D.G. 2016. Unsteady Flow Analysis of Lower Dudhana River using HEC-RAS. 3rd National Conference on Sustainable Water Resources Development and Management (SWARDAM-2016) ISBN: 978-93-8.5777-75-2
- Abazi, E. 2016 a. Setting Up a Mathematical Model for Buna River Using HEC-RAS. Bulletin of Technical Sciences, Polytechnic University of Tirana. No.1
- Aerts J.C.J.H. and Botzen W.J.W. 2011. Climate change impacts on pricing long-term flood insurance: a comprehensive study for the Netherlands. *Global Environ Change* 2011; 21(3):1045–60, <http://dx.doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2011.04.005>
- Bravo, J.M., Allasia, D., Paz, A.R., Collischonn, W. and Tucci, C.E.M. 2012. Coupled hydrologic-hydraulic modeling of the Upper Paraguay river basin. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(5): 635-646, 2012. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000494](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000494).
- Boudaghpour, S., Bagheri, M. and Bagheri, Z. 2014. Estimation of flood environmental effects using flood zone mapping techniques in Halilrood Kerman, Iran. *Journal of Environmental Health Science & Engineering* (2014) 12:153. DOI 10.1186/s40201-014-0153-z
- Cestari, JE., Sobrinho, M.D. and Oliveira, J.N. 2015. Estudo de propagação de ondas para auxiliar a elaboração do Plano de Ação Emergencial Externo - PAE. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 20, 3: 689-697, 2015. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v20n3.p689-697>.
- Cloke, H.L. and Pappenberger, F. 2009. Ensemble floods forecasting: A review. *Journal of Hydrology*, 375(3-4): 613-626, 2009. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.005>
- Das. T., Maurer. E.P., Pierce. D.W., Dettinger. M.D. and Cayan, D.R. 2013. Increases in flood magnitudes in California under warming climates. *J Hydrol* 2013; 501: 101- 10, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.07.042>.
- Fan, C., Ko, C.H. and Wang, W.S. 2009. An innovative modeling approach using Qual2K and HEC-RAS integration to assess the impact of tidal effect on River Water quality simulation. *J Environ Manag*, 2009, 90(5):1824–1832.
- Ghimire. R., Ferreira. S. and Dorfman. J. H. 2015. Flood-induced displacement and civil conflict. *World Dev* 2015; 66:614–28, <http://dx.doi.org/10.1016/j.worlddev.2014.09.021>.
- Golshan, M., Jahanshahi, A., Afzali, A. 2016. Flood hazard zoning using HEC-RAS in GIS environment and impact of manning roughness coefficient changes on flood zones in Semi-arid climate. Online at <http://desert.ut.ac.ir>. *Desert* 21-1(2016) – 24-34
- Han, D., 2011. *Flood Risk Assessment and Management*. Bentham Publishers.
- Hicks, F.E., Peacock, T. 2005. Suitability of HEC-RAS for flood forecasting. *Canadian Water Resources Journal*, 30(2): 159-174, 2005. <http://dx.doi.org/10.4296/cwrj3002159>
- HEC-RAS, River Analysis System Users Manual. 2016. Version 5.0, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
- Haghizadeh, A., Teang Shui, L., Mirzaei, M. and Memarian, H. 2012. “Incorporation of GIS based program intohydraulic model for water level modeling on river basin,” *Journal of Water Resource and Protection*, 4: 25–31.
- Hydrological Engineering Center. 2013. Hydrological modeling system HEC-HMS. Retrieved from: http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-hms/documentation/CPD-74C_2002Dec.pdf (Accessed: 21 July 2013).
- HEC-RAS, River Analysis System User’s Manual. 2016. Version 5.0, US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center
- Jähnig, S.C., Kümmerlen, M., Kiesel, J., Domisch, S., Cai, Q., Schmalz, B. and Fohrer, N., 2012. Modeling of riverine ecosystems by integrating models: conceptual approach, a case study and research agenda. *Journal of Biogeography*, doi:10.1111/jbi.12009.
- Kiesel, J., Hering, D., Schmalz, B., and Fohrer, N. 2009a. A transdisciplinary approach for modeling macro invertebrate habitats in lowland streams. *IAHS Red Book*, 328, 24–33.
- Khaghan, A.A.M., and Mojaradi, B. 2016. The Integrate of HEC-HMS and HEC-RAS Models in GIS Integration Models to Simulate Flood (Case study: the area of Karaj). *Current. World Environment*. Vol. 11(Special Issue 1), 01-05 2016
- Liou, CD. Wang, KH. and Liou, MW. 2013. Genetic algorithm to the machine repair problem with two removable servers operating under the triadic (0, q, n, m) policy. *Applied Mathematical Modeling*. 37(1819):8419 – 8430

- Li, J. and Shi, W. 2015. Effects of alpine swamp wetland change on rainfall season runoff and flood characteristics in the headwater area of the Yangtze River. *Catena*2015; 127:116–23, <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2014.12.020>.
- Monte, B. E. O.; Costa, D. D.; Chaves, M. B.; Magalhaes, L.; Uvo, C. O.; Uvo, C. B. 2016. Hydrologic and Hydraulic modeling applied to the mapping of flood-prone areas. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 1, p. 152-167, 2016. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v21n1.p152-167>.
- Mordea, F., Gutierrez, A., Reed, S., and Aschwanden, C. 2009. Transitioning NWS operational hydraulics models from FLDWAV to HEC-RAS. In: World environmental and water resources congress, 1., 2009, Kansas. Proceedings... Reston: ASCE, 2009. p. 1-11
- Mashriqui, H.S., Halgren, J.S. and Reed, S.M. 2014. 1D river hydraulic model for operational flood forecasting in the Tidal Potomac: evaluation for freshwater, tidal and wind-driven elements. *Journal of Hydraulic Engineering*, 140(5): 04014005.
- Maskey, S., Guinot, V. and Price, R.K. 2004. Treatment of precipitation uncertainty in rainfall-runoff modeling: a fuzzy set approach. *Advances in Water Resources*, 27(9):889-898. <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2004.07.001>.
- Meller, A., Bravo, J. M. and Collischonn, W. 2012. Assimilação de dados de vazão na previsão de cheias em tempo real com o modelo hidrológico MGB-IPH. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 17(3): 209-224, jul./set. 2012.
- Mondal, I., Bandyopadhyay, J. and Paul, A. Kr. 2016. Estimation of hydrodynamic pattern change of Ichamati River using HEC RAS model, West Bengal, India. *Model. Earth Syst. Environ.* 2016 2:125. DOI 10.1007/s40808-016-0138-2
- Mesfin.G. and Shuhaimi.M., 2010. A chance constrained approach for a gas processing plant with uncertain feed conditions. *Computers & Chemical Engineering*, 34(8): 1256-1267, 2010. ISSN 0098-1354.
- Paz, A.R., Bravo, J.M., Allasia, D., Collischonn, W. and Tucci, C.E.M. 2010. Large-scale hydrodynamic modeling of a complex river network and floodplains. *Journal of Hydrologic Engineering*, 15(2): 1-15. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000162](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000162).
- Parhi, P. K. 2013. HEC-RAS Model for Mannig's Roughness: A Case Study. *Open Journal of Modern Hydrology*, 3:97-101. <http://dx.doi.org/10.4236/ojmh.2013.33013> Published Online July 2013 (<http://www.scirp.org/journal/ojmh>)
- Pluntke, T. Pluntke, D. and Bernhofer, C. 2014. Reducing uncertainty in hydrological modeling in a data sparse region. *Environ Earth Sci.* 72:4801–4816. DOI 10.1007/s12665-014-3252-3.
- Patel, C.G. and Gundaliya, P.J. 2016. Floodplain Delineation Using HECRAS Model—A Case Study of Surat City. *Open Journal of Modern Hydrology*, 6: 34-42. Published Online January 2016 in *SciRes*. <http://www.scirp.org/journal/ojmh>.
- Qasim J.M. 2013, "Laboratory and HEC-RAS simulations of a Single-step Weir", *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8 (12): 1005-1011
- Riberio Neto, A., Cirilo, J.A., Dantas, C.E.O. and Silvia, E.R. 2015. Caracterização da formação de cheias na bacia do rio Una em Pernambuco: simulação hidrológica-hidrodinâmica. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 20 (2):394-403. <http://dx.doi.org/10.21168/rbrh.v20n2.p394-403>.
- Remegio, B. and Confesor, Jr. 2007. Sensitivity analysis and interdependence of the SWAT model parameters. Written for presentation at the 2007 ASABE Annual International Meeting, p. 101.
- Stevenson D. 2009. 1D HEC RAS model and sensitivity analysis for River Clair from 1971 –2007, international upper Great Lakes study, 234 Laurie, 22nd floor.
- Shrestha, S. and Lohpaisankrit, W. 2016. Flood hazard assessment under climate change scenarios in the Yang River Basin, Thailand. *International Journal of Sustainable Built Environment*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijbsbe.2016.09.006>
- Tu, V. and Tingsanchali, T. 2010. Flood hazard and risk assessment of Hoang Long River basin, Vietnam. In: Proceedings of the International MIKE by DHI Conference.
- Zappa, M., Jaun, S., Gernann, U., Walsser, A. and Fundel, F. 2011. Superposition of three sources of uncertainties in operational flood forecasting chains. *Atmospheric Research*, 100(2-3):246-262. <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2010.12.005>