

بررسی مشخصه‌های سیلاب ناشی از شکست سد در محل تنگ‌شدگی مقطع رودخانه

آزاد میرکی، جمیل بهرامی و عطا امینی

دوره ۶، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۹، صفحات ۴۰۱-۳۸۸

Vol. 6(4), Winter 2020, 388 – 401

DOI: 10.22034/jewe.2020.245577.1411

**Investigation of Flood Characteristics Due To
Dam Failure in the Narrow Section of The
River**

Miraki A., Bahrami J. and Amini A.



www.jewe.ir

OPEN  ACCESS

ارجاع به این مقاله:

میرکی آ.، بهرامی ج. و امینی ع. (۱۳۹۹). بررسی مشخصه‌های سیلاب ناشی از شکست سد در محل تنگ‌شدگی مقطع رودخانه. محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۴، صفحات: ۴۰۱-۳۸۸.

Citing this paper: Miraki A., Bahrami J. and Amini A. (2020). Investigation of flood characteristics due to dam failure in the narrow section of the river. Environ. Water Eng., 6(4), 388–401. DOI: 10.22034/jewe.2020.245577.1411

بررسی مشخصه‌های سیلاب ناشی از شکست سد در محل تنگ‌شدگی مقطع رودخانه

آزاد میرکی^۱، جمیل بهرامی^{۲*} و عطا امینی^۳

^۱دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

^۲استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

^۳دانشیار، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان کردستان، سنندج، ایران

*نویسنده مسئول: jbahrami@uok.ac.ir

مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۹/۰۶/۰۵]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۹/۰۷/۲۹]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۰۷/۲۹]

چکیده

در این پژوهش تغییرات مشخصه‌های سیلاب ناشی از شکست سد وحدت (قشلاق)، در محل‌هایی که سطح مقطع رودخانه به دلیل فعالیت‌های انسان تغییر یافته است، مورد بررسی قرار گرفت. به این منظور از مدل HEC-RAS برای شبیه‌سازی شکست سد و روندیابی سیلاب ناشی از آن استفاده شد. داده‌های مربوط به بدنه سد و دبی رودخانه قشلاق در استان کردستان از شرکت آب منطقه‌ای استان کردستان تهیه شدند. در نرم‌افزار Arc Map پس از تبدیل مدل رقومی ارتفاع (DEM) به مدل سه‌بعدی (TIN)، پارامترهای مورد نیاز و خطوط مربوط به مقاطع عرضی بر روی رودخانه رسم شدند. این داده‌ها به مدل HEC-RAS انتقال یافتند. با بررسی‌های صحرایی مقاطع عرضی اصلاح و ضریب مانینگ در پهنه‌های مختلف اندازه‌گیری شدند. از مسیر مورد مطالعه تصاویر متعددی تهیه شد. ارتفاع پل و خاک‌ریزهای موجود در مسیر جریان با استفاده از GPS ایستگاهی اندازه‌گیری شدند. پل گریزه و محل خاک‌ریزی‌های مورد مطالعه در این پژوهش که به ترتیب در ۲۳ و ۳۳ km پایین‌تر از سد وحدت قرار گرفته‌اند، جهت بررسی تغییرات مشخصه‌های سیلاب در اثر تنگ‌شدگی موضعی انتخاب شدند. تغییرات ارتفاع و پهنای آب در نقاط مورد مطالعه بررسی شدند. نتایج نشان داد که در محل پل گریزه دبی اوج سیلاب ناشی از شکست سد و عمق آب به ترتیب برابر $4773/79 \text{ m}^3/\text{s}$ و 10 m است. این مقادیر در محل خاک‌ریزها به ترتیب معادل $4330/04 \text{ m}^3/\text{s}$ و $10/8 \text{ m}$ است. مقایسه این اعداد با داده‌های محاسبه‌شده در مقاطع قبل از این موانع، بیانگر کاهش قابل‌ملاحظه ظرفیت عبور جریان است.

واژه‌های کلیدی: دبی اوج سیلاب؛ رودخانه قشلاق؛ روندیابی سیل؛ کردستان؛ HEC-RAS.

۱- مقدمه

ناشی از تغییراتی است که انسان بر محیط‌زیست تحمیل کرده است. نتایج حاصل از تحقیق (Abbaszadeh et al. 2011) نشان داد، در حوزه آبخیز رودخانه مادرسو (دوغ) در صورت تبدیل کاربری اراضی فعلی به کاربری بر اساس قابلیت منطقه، در سیلاب‌های ضعیف به‌طور متوسط ۷۰٪ از میزان سیلاب کاهش خواهد یافت، در سیلاب‌های شدید تا ۴۰٪ و در سیلاب‌های بسیار شدید و استثنایی تا میزان ۲۰٪ در میزان دبی خروجی حوضه کاهش ایجاد خواهد شد. Hosseinzade et al. (2017) نشان دادند که طی ۵۷ yr، تغییرات چشم‌گیری در ریخت‌شناسی رودخانه کارون از جمله تغییر در عرض آن به‌ویژه در محدوده شهر اهواز به‌وجود آمده است. علل اصلی این تغییرات ساخت پل‌های متعدد در مسیر رودخانه به‌ویژه در محدوده شهر اهواز، کاهش دبی به‌دلیل ساخت سدهای متعدد در بالادست، عوامل زمین‌شناسی و پوشش گیاهی می‌باشد. به‌طور کلی انسان و دخالت‌های آن، مهم‌ترین عامل تغییرات ریخت‌شناسی بستر رودخانه کارون می‌باشد. (Saghafian et al. 2008) به این نتیجه رسیدند که ناپایداری در رژیم جریان، ممکن است به موارد مختلف از جمله تغییرات آب‌وهوا، تغییر کاربری اراضی و سیل‌بندهای ساخت انسان مرتبط باشد.

تغییر در کاربری اراضی می‌تواند تأثیر قابل‌توجهی در نفوذ و زبری زمین داشته باشد که منجر به ایجاد سیلاب‌های بزرگ‌تر می‌شود. (Adeyeri et al. 2020) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که ساخت سدهای بزرگ، تغییر در کاربری اراضی شامل کاهش پوشش و مرتع، پیشروی مزارع و شهرک‌ها موجب شکستگی در نمودارهای بارش و دبی می‌شود. بیشتر این فعالیت‌ها که موجب افزایش دبی می‌شوند، با تقریب نسبتاً مساوی مربوط به فعالیت‌های انسانی و تغییرات بارش است. (Graf 2006) در پژوهش خود به این نتیجه رسید که ساخت سدهای بزرگ بر روی رودخانه، متوسط جریان، دبی اوج سالیانه و دبی روزانه را به‌طور چشم‌گیری کاهش می‌دهد. سدها مدت‌زمان بالا و پایین رفتن جریان و زمان حداقل و حداکثر جریان سالانه را تغییر می‌دهند. (Ashouri et al. 2013) تغییرات بستر رودخانه،

تمدن‌های بشری همواره در کنار رودخانه‌ها شکل‌گرفته و رودخانه‌ها یکی از منابع تأمین نیاز و توسعه جوامع انسانی می‌باشند. به‌دلیل رشد روزافزون جمعیت و توسعه سریع زندگی شهری و روستایی در اراضی حاشیه رودخانه‌ها و افزایش تقاضا برای احداث مناطق مسکونی در این اراضی، روند تجاوز به بستر و حریم رودخانه‌ها و دخل و تصرف غیرمجاز در آن‌ها افزایش‌یافته است (Flood Zoning Guide 2005). با توجه به نتایج پژوهش (Liu et al. 2005) در یک رویداد سیل، رواناب ایجادشده در ناحیه شهری در مقایسه با نواحی دیگر که کاربری متفاوتی دارند، از لحاظ دبی پیک و حجم سیلاب برجسته‌تر است. با جنگل‌زدایی و شهرسازی، دبی اوج و حجم سیلاب افزایش‌یافته و زمان رسیدن به اوج کاهش می‌یابد. جنگل زایی نتیجه عکس داشته و سیلاب را کنترل می‌کند. (Nirupama and Simonovic 2007) نشان دادند که از نقطه‌نظر حفاظت منابع طبیعی، برنامه‌ریزی جهت توسعه شهری، حیاتی است. با گسترش شهرسازی بر روی دشت سیلابی، دیوارهای کنترل سیل موجب تنگ شدن عرض کانال می‌شود. نواحی شهری به‌سرعت به بارش پاسخ می‌دهند و زمان رسیدن به اوج کاهش و جریان با نقطه اوج بالاتری را ایجاد می‌کنند. (Areu et al. 2019) تغییر در کاربری اراضی و تأثیر آن بر جریان رودخانه را بررسی و بیان کردند که تغییر کاربری می‌تواند منجر به تشدید ایجاد سیل شود. تغییر در کاربری اراضی در حوضه‌های هیدرولوژی بالادستی شهر و شهرنشینی کنترل نشده هم‌جوار سیلاب‌دشت‌ها، دو عامل اصلی افزایش آسیب‌های سیل می‌باشند. (Trueheart et al. 2019) به این نتیجه رسیدند که پل‌ها و راه‌هایی که در مسیر رودخانه ساخته می‌شوند با توجه به ویژگی‌هایی که دارند می‌توانند دبی اوج سیلاب را افزایش یا کاهش داده و یا تأثیری بر روی آن نداشته باشند؛ بنابراین پیش‌بینی تأثیر آن‌ها ساده نیست و مدل‌های هیدرولیکی برای آنالیز رودخانه لازم است. با توجه به این‌که سیل یک پدیده بزرگ هیدرولیکی-هیدرولوژیکی است که جوامع و اکوسیستم را تهدید می‌کند، (Gai et al. 2019) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که تأثیر این حادثه تا حد زیادی

پیشروی انسان به حریم رودخانه ایجاد شده است، بررسی شد. بررسی وضعیت انتقال سیل ناشی از شکست سد در شرایطی که مقطع رودخانه به صورت غیرطبیعی دچار تغییر شده است از جمله کارهایی است که برای نخستین بار در این پژوهش در کشور انجام می شود. نتایج این پژوهش می تواند مورداستفاده تصمیم گیران و مهندسين بخش اجرا برای کاهش مخاطرات طبیعی مشابه از جمله سیلاب های با دوره بازگشت بالا شود.

۲- مواد و روش ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از حوزه آبخیز سیروان که شامل حوضه سد وحدت و بخشی از رودخانه قشلاق به طول ۴۰ km می باشد. حوضه سد وحدت از دو زیر حوضه خلیفه ترخان با مساحت ۶۱۵ km² و حوضه چهل گزی با مساحت ۲۲۶ km² تشکیل شده است. دبی متوسط سالانه در طول آمار ۲۰ ساله از ایستگاه خلیفه ترخان ۳/۱۶ m³/s و در ایستگاه چهل گزی ۱/۹۶۶ m³/s می باشد. سد مخزنی وحدت بر روی رودخانه قشلاق در استان کردستان و در ۱۲ km شمال شهر سنندج به مختصات جغرافیایی ۲۵° ۳۵' عرض شمالی و ۴۶° ۵۹' طول شرقی با ارتفاع تاج ۱۵۷۸ m از سطح دریا قرار دارد (Iran's Ministry of Energy, 2013). در شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه شامل سد وحدت و حوزه آبخیز مربوط به آن و بخشی از رودخانه قشلاق که در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته است، نشان داده شده است. کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه شامل باغ و زراعت آبی، مراتع دیم و بایر، مناطق مسکونی، راه ها و تأسیسات می باشد.

۲-۲- تعیین مقاطع تنگ شده

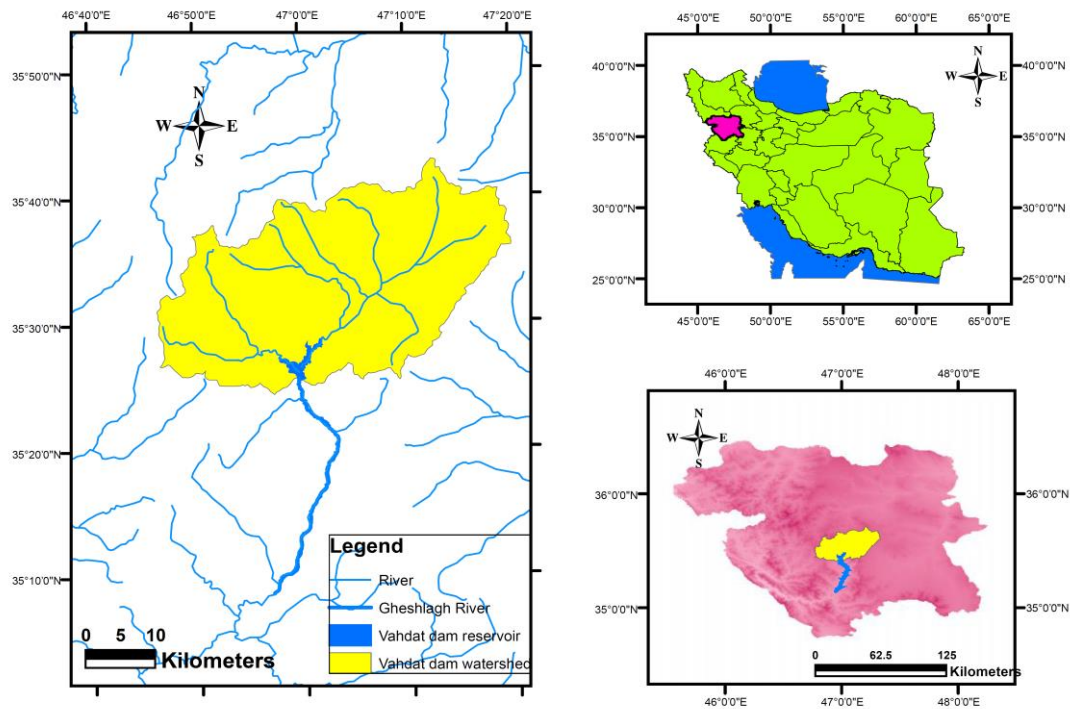
نقطه اول که دارای بیشترین تنگ شدگی در مسیر رودخانه است، در ۲۳ km پایین دست سد وحدت قرار دارد. این مقطع به دلیل وجود پل گریزه در آن، دارای عرض کمتر نسبت به مسیر طبیعی رودخانه می باشد. در شکل (۲) نمایی از پل گریزه و موقعیت آن نشان داده شده است. پل گریزه به مختصات جغرافیایی به

به دلیل احداث سد را بررسی کردند. نتایج حاکی از کاهش میزان رسوب حمل شده پس از احداث سد، کاهش میزان دبی و ثبات تقریبی آن، پایداری تقریبی بستر رودخانه و جریان یافتن دبی تقریبی ثابت طی سال ها است. با توجه به نتایج پژوهش (Li et al. 2018) عوامل تأثیرگذار زیادی در مورد عواقب شکست سد وجود دارد. با در نظر گرفتن ۲۰ عامل از جمله خطرات شکست سد، قرار گرفتن در معرض آن و آسیب پذیری، سیستم شاخص ارزیابی عواقب خطر شکست سد ساخته شده است. پنج عامل بیشترین اهمیت را در این باره دارند. این عوامل شامل جمعیت در معرض خطر، شدت سیل، زمان هشدار، خرد جمعی در مورد خطر و فاصله از سد می باشند. (Wu et al. 2019) به این نتیجه رسیدند که تأثیر شکست سد بر محیط زیست جدی بوده و برای کاهش خطر باید اقدامات مدیریتی مناسب انجام شود. ارزیابی اثرات زیست محیطی سدسازی با روش های سنتی دشوار است، زیرا در این روش ها، طبقه بندی ها دارای ابهام است. در اثر دیو پسماندهای معدنی در بستر و حریم رودخانه، موانعی^۱ ایجاد می شوند که مانند یک سد عمل می کنند. (Raman and Liu 2019) سد برومادینو در کشور برزیل را مورد بررسی قرار دادند. در ۲۵ ژانویه سال ۲۰۱۹، این سد دچار شکست شد. در این حادثه ۲۴۸ نفر جان باختند و ارزش خسارت های ایجاد شده بیش از ۲.۸۸ میلیون دلار بود.

وجود موانع ناشی از دخالت های انسان در مسیر یک رودخانه، موجب تغییر مشخصه های جریان در بالادست و پایین دست موانع می شوند. با توجه به مشاهدات صحرایی، تنگ شدگی قابل ملاحظه ای در رودخانه قشلاق ایجاد شده است که نتیجه دیوارچینی و ساخت و ساز در حاشیه رودخانه و نیز خاک ریزی های ناشی از عملیات های عمرانی می باشد. از این رو در این پژوهش با داده برداری صحرایی و استفاده از داده های هوایی، شبیه سازی شکست سد وحدت با استفاده از نرم افزار HEC-RAS و استفاده از قابلیت های پردازش داده های هوایی در محیط GIS انجام شد. همچنین تغییرات در مشخصه های سیلاب در هنگام عبور از مناطق آسیب پذیر که در اثر

¹ Tailings Dam

مختصات جغرافیایی $35^{\circ}15'$ عرض شمالی و $47^{\circ}0'$ طول شرقی، در محدوده شهر سنندج و بر روی رودخانه قشلاق احداث شده است.



شکل ۱- موقعیت سد قشلاق و بخشی از حوضه سیروان استان کردستان و ایران
Fig. 1 Location of the Gheslagh Dam and parts of the Sirvan Basin, Kurdistan, Iran



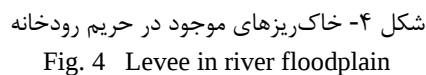
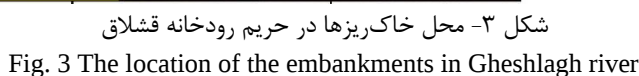
شکل ۲- نمایی از پل گریزه و اطراف آن: الف- تصویر محل پل و ب- تصویر هوایی از پل و اطراف آن
Fig. 2 View of the Gerize bridge and its surroundings: a) Image of bridge location b) Aerial image of the bridge and its surroundings

با بررسی و بازدید صحرایی کل مسیر رودخانه مشخص شد که در پنج نقطه از رودخانه قشلاق به مختصات جغرافیایی $35^{\circ}10'N$ و $46^{\circ}58'49''E$ ، $35^{\circ}09'49''N$ و $46^{\circ}57'49''E$ و $35^{\circ}09'34''N$ و $46^{\circ}57'31''E$ و $35^{\circ}09'26''N$ و $46^{\circ}57'21''E$ و $35^{\circ}09'21''N$ و $46^{\circ}57'23''E$ خاکریزی در حریم و یا بستر رودخانه انجام شده است. این خاکریزی‌ها در ۳۳ km پایین‌تر از سد وحدت و در هنگام احداث جاده سنندج- کرمانشاه توسط شرکت پیمان‌کار صورت گرفته است. حجم مصالح دپو شده قابل توجه بوده و باعث تغییرات ریخت‌شناسی یکی از جمله تغییر در بستر، سیلاب‌دشت‌ها،

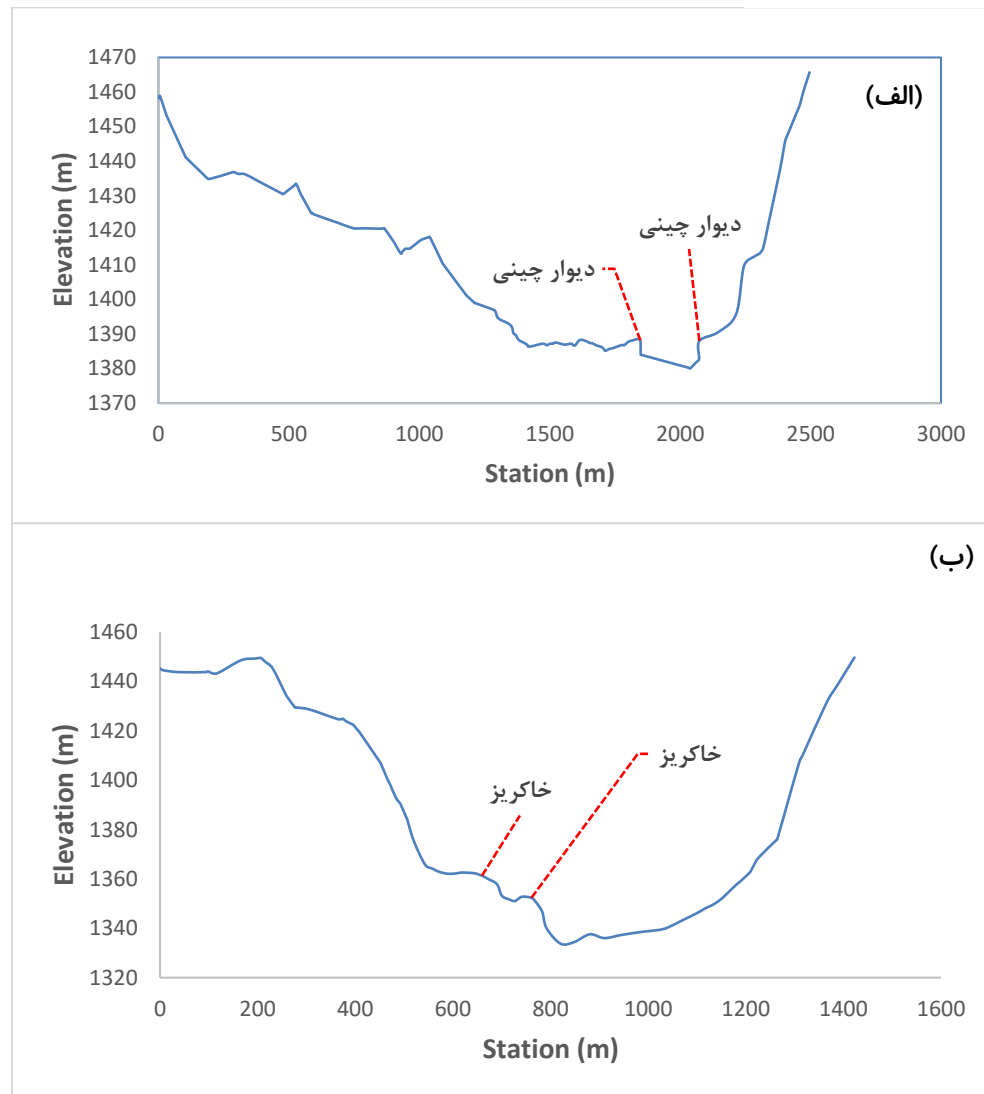
غیرماندگار، محاسبات انتقال رسوب، مرز متحرک، تحلیل کیفی آب و محاسبه طراحی هیدرولیکی سازه‌های جانبی و برخط را دارا می‌باشد (USACE, 2010). در این نرم‌افزار قسمت مجزایی به‌منظور انجام مطالعات شکست سد در نظر گرفته شده است که در آن قابلیت مدل‌سازی سد و مشخصات گسیختگی سد از جمله لحظه شکست، مدت‌زمان روند گسیختگی و شکل حفره گسیختگی و عوامل دیگر وجود

۲-۳- مدل HEC-RAS

در این پژوهش از نرم افزار HEC-RAS ویرایش ۵/۰/۵ و افزونه HEC-GeoRAS ویرایش ۱۰/۲ استفاده شد. نرم افزار HEC-RAS یک بسته نرم افزاری کامل از سری برنامه های تحلیل هیدرولیکی است که ارتباط کاربر با آن از طریق واسطه گرافیکی کاربر (GUI) است. این سیستم قابلیت انجام محاسبات پروفیل سطح آب در حالت های جریان ماندگار و



دارد. در مدل HEC-RAS مقادیر دبی و تراز سطح آب اندازه‌گیری شده، شیب سطح آب و یا عمق بحرانی را می‌توان به‌عنوان شرایط مرزی انتخاب کرد



شکل ۵- مقاطع عرضی با بیش‌ترین تنگ‌شدگی بررسی‌شده در این پژوهش در محل: الف) پل گریزه و ب) خاکریزها
Fig. 5 The sections with the highest contraction examined in this study at locations: a) Gerize bridge and b) embankments

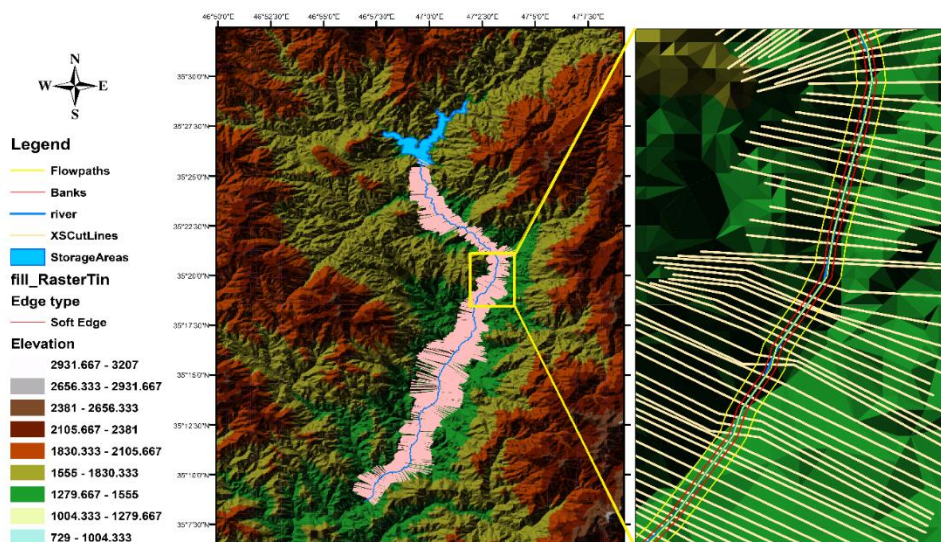
۲-۴- داده‌های مورد استفاده

۲-۴-۱- داده‌های هندسی

و نیم‌کره شمالی قرار گرفته است، بنابراین بخش سیستم مختصات، WGS_1984_UTM_Zone_38N انتخاب شد. لایه‌های مورد نیاز جهت ایجاد فایل هندسی به کمک افزونه HEC-GeoRAS ایجاد شدند. این لایه‌ها شامل خط مرکزی رودخانه، خطوط سواحل، مسیرهای جریان کانال اصلی و سیلاب‌دشت‌های چپ و راست و خطوط مربوط به مقاطع عرضی می‌باشد. در بازدیدهای صحرایی درستی این لایه‌ها

مدل رقومی ارتفاع (DEM) با اندازه پیکسل $12/5 \times 12/5$ m مربوط به مسیر مورد مطالعه و نواحی اطراف آن از سایت USGS تهیه شد. مدل رقومی ارتفاع به شکل مدل سه‌بعدی که به صورت شبکه نامنظم مثلثی (TIN) است، تبدیل و در محیط Arc Map ذخیره شد. ناحیه مورد مطالعه در زون ۳۸

بررسی شد. در شکل (۶) نمایی از این لایه‌ها نشان داده شده است.



شکل ۶- نمونه‌ای از لایه‌های موردنیاز جهت ایجاد فایل هندسی
Fig. 6 An example of Layers for creating geometric file

پایین‌دست سد تعیین شد. مدل HEC-RAS با استفاده از مقدار شیب وارد شده برای هرکدام از دبی‌ها و با استفاده از روش شیب-سطح (با حل معادله مانینگ برای عمق)، مقدار عمق پایین‌دست را محاسبه می‌کند. با توجه به راهنمای مدل HEC-RAS، این شیب را می‌توان با تقریب مناسب، معادل شیب کف رودخانه در نظر گرفت (USACE, 2010).

۲-۵- مشخصات سد

عملیات ساخت سد وحدت که از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی می‌باشد، در سال ۱۹۷۳ میلادی آغاز شده و در سال ۱۹۷۸ به بهره‌برداری رسید. هدف از ساخت این سد تأمین آب شرب شهر سنندج و حومه آن، آبیاری و توسعه کشاورزی، تنظیم رودخانه و کنترل سیلاب همچنین تولید نیروی الکتریسیته و ایجاد مرکز تفریحی بود. حوزه آبخیز سد وحدت با مساحت 1050 km^2 ، از طریق رودخانه قشلاق تخلیه می‌شود که دبی سالانه آن در حدود 136 MCM می‌باشد. ارتفاع این سد 80 m ، طول تاج 330 m و عرض تاج 10 m می‌باشد. سرریز سد از نوع اوجی^۲ به طول 100 m است. سد وحدت دارای سه دریچه دایره‌ای به قطرهای 2 ، $1/5$ و 1 m

داده‌های مربوط به مقاطع عرضی مانند شماره ایستگاه، فاصله سواحل راست و چپ و مرکز مقطع عرضی از یکدیگر، سواحل کناری و داده‌های X و Y مقاطع عرضی از طریق TIN استخراج شدند. سپس این موارد به مدل HEC-RAS انتقال یافت. در این پژوهش، با استناد به مشاهدات صحرایی و در نظر گرفتن یکنواختی مقاطع جریان، تعداد 495 مقطع عرضی رسم شد. مشخصات مقاطع رسم شده به‌وسیله نرم‌افزار، با مراجعه به محل و اندازه‌گیری‌های متعدد اصلاح شدند.

۲-۴-۲- داده‌های جریان

سد مخزنی قشلاق به دلیل قدمت آن اطلاعات کمی از مخزن و بدنه آن موجود است. از این‌رو، تصاویری از بدنه سد و نحوه جانمایی سرریز و دریچه‌های آن از تصاویر آرشویی تهیه شدند. برای شرایط مرزی در اولین مقطع رودخانه قشلاق، هیدروگراف مربوط به حداکثر سیلاب محتمل (PMF^1)، به‌عنوان شرط مرزی بالادست سد وارد شد. دبی اوج این سیلاب $2600 \text{ m}^3/\text{s}$ می‌باشد (Khaledian et al. 2017). شیب نرمال سطح جریان معادل $0/001$ برای شرط مرزی

² Ogee

¹ Probable Maximum Flood

مولتی فرکانس، برند HITARGET مدل V30 اندازه‌گیری، کنترل و اصلاح شدند. ضریب زبری (مانینگ) آبراهه‌ها با عملیات صحرایی اندازه‌گیری شد. به این صورت که با بازدیدهای کارشناسی از محل مورد مطالعه اطلاعات میزان پوشش گیاهی، درجه پیچان رودی، کاربری اراضی، موانع موجود، تغییرات مقاطع عرضی و دانه‌بندی مواد تشکیل‌دهنده جداره آبراهه و سیلاب‌دشت جمع‌آوری و مسیر مورد مطالعه از لحاظ یکنواختی پارامترهای فوق به ۲۱ ناحیه تقسیم شدند. نمونه‌ای از اندازه‌گیری‌های صحرایی و زون بندی مناطق در شکل (۷) آورده شد.



شکل ۷- پوشش گیاهی و وضعیت توپوگرافی مسیر مورد مطالعه

Fig. 7 Field observation of vegetation and topography of the waterways

۷-۲- زبری مسیر جریان

در این پژوهش برای تعیین ضریب مانینگ از دستورالعمل تعیین ضریب زبری رودخانه‌ها، نشریه شماره ۶۸۸ دفتر استانداردهای فنی، مهندسی وزارت نیرو در سال ۱۳۹۴ استفاده شد (Iran's Ministry of Energy, 2015). در این نشریه از روش کاون^۱ که بعداً توسط اداره حفاظت خاک و سازمان زمین‌شناسی آمریکا به‌عنوان روش استاندارد انتخاب شد، استفاده شده است. در این روش، ضریب مانینگ کل در آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت از رابطه (۱) به‌دست می‌آید.

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m \quad (1)$$

که، n_b ضریب مانینگ پایه بر اساس دانه‌بندی مواد تشکیل‌دهنده جداره آبراهه و یا سیلاب‌دشت و n_1, n_2, n_3 و n_4 به‌ترتیب ضریب مانینگ تعدیلی برای درجه بی‌نظمی سطح آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت، تغییرات مقاطع عرضی، موانع موجود و پوشش گیاهی آبراهه اصلی و یا سیلاب‌دشت می‌باشند. همچنین m ضریب اصلاحی زبری بر اساس درجه پیچان رودی آبراهه اصلی است. با توجه به نتایج، دامنه تغییرات ضریب مانینگ در مسیر مورد مطالعه در بازه ۰/۰۵ تا ۰/۱۵ به‌دست آمد.

¹ Cowan

۸-۲- ابعاد گسیختگی

به منظور شبیه سازی شکست سد، ابعاد گسیختگی در بدنه سد با استفاده از روش (Froehlich, 2008) محاسبه شد. برای محاسبه پارامترهای شکست در این پژوهش از روابط (۲) و (۳) استفاده شد.

$$B_{ave} = 0.27 K_0 V_w^{0.32} h_b^{0.04} \quad (2)$$

$$t_f = 63.2 \sqrt{V_w / g h_b^2} \quad (3)$$

که، B_{ave} عرض متوسط ناحیه بازشدگی (m)، K_0 ضریب ثابت (که برای شکست از نوع سرریزی، معادل $1/3$ و برای شکست از نوع رخنگی، معادل ۱، V_w حجم مخزن سد در لحظه شکست (m^3)، h_b ارتفاع نهایی ناحیه بازشدگی (m) و t_f زمان شکل گیری شکست (hr) می باشد. در این پژوهش، متوسط شیب دیواره های کناری ناحیه بازشدگی به صورت $V1:H1$ برای شکست از نوع روگذری و $V1:H0.7$ برای شکست از نوع حفرگی می باشد (Froehlich, 2008). تاریخ و ساعت شروع و پایان شبیه سازی متناسب با داده های دبی رودخانه قشلاق که از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه شد، تنظیم شدند. فواصل زمانی مربوط به خروجی های مدل شامل هیدروگراف ها و جداول و جزئیات مربوط به آن برای نرم افزار مشخص شدند. فاصله خروجی ها، 10 min انتخاب شد، از این رو تعداد ۱۳۴ خروجی در زمان های مختلف حاصل شدند. از جمله این خروجی ها، حداکثر پهنای سطح آب در هر کدام از مقاطع عرضی، سرعت جریان، قدرت سیلاب، عمق جریان و موارد دیگر می باشد.

۹-۲- نرم افزار ArcMap

با استخراج نتایج شبیه سازی شکست سد و روندیابی سیلاب از برنامه HEC-RAS، نتایج به نرم افزار ArcMap انتقال یافت. نرم افزار ArcMap بخشی از بسته نرم افزاری ArcGIS است که توسط شرکت ESRI ساخته شده است. در این نرم افزار لایه های ایجاد شده با رنگ های مختلف از هم قابل تفکیک هستند. پس از انجام محاسبات مربوط به پهنای سیلاب ناشی از شکست سد، سرعت، نیروی سیلاب در نقاط مختلف و عمق سیلاب به وسیله نرم افزار، هر کدام از این لایه ها به تفکیک قابل نمایش می باشند. سپس تصویر ماهواره ای از منطقه مورد مطالعه که از ماهواره YANDEX و به کمک

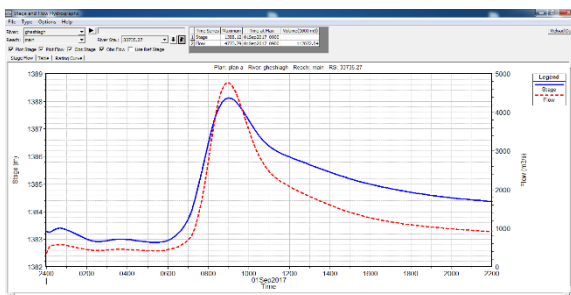
برنامه SAS PLANET گرفته شد، زمین مرجع شده و به این لایه ها اضافه شد. با استفاده از هم پوشانی این لایه ها نواحی که در اثر شکست سد دچار آب گرفتگی می شوند با دقت بالاتر قابل مشاهده می شود.

۳- یافته ها و بحث

جهت بررسی اثر تنگ شدگی های محلی رودخانه، بر روی مشخصه های سیلاب عبوری، دو محل انتخاب شدند. دلیل انتخاب این نقاط کم عرض شدن مقطع رودخانه و وجود خاکریزها در آن ها است. این نقاط به دلیل احداث پل یا دیو خاک حاصل از احداث جاده در آن، در فاصله کوتاهی از مسیر دچار تنگ شدگی محسوس در عرض خود می شوند.

۳-۱- دبی اوج سیلابی و عمق آب

در این نواحی، تغییرات دبی اوج سیلابی و عمق آب نسبت به مقاطع قبل و بعد از آن مورد بررسی قرار گرفت در شکل (۸) نمودار دبی جریان و سطح آب در محل پل گریزه نشان داده شده است.

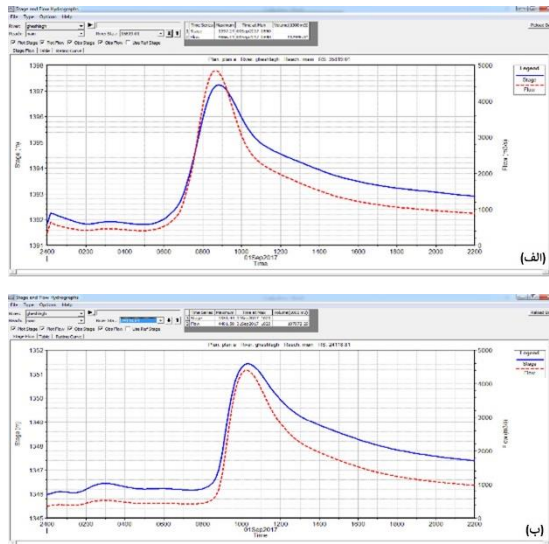


شکل ۸- نمودار دبی جریان و سطح آب در محل پل گریزه

Fig. 8 Flow and water level diagrams at the Gerize bridge location

با توجه به شکل (۸) ارتفاع سیلاب در محل پل گریزه با گذشت ۶ hr از شروع شبیه سازی نوسان چندانی ندارد. پس از گذشت این زمان و با رسیدن سیلاب ناشی از شکست سد به این نقطه، دبی جریان و ارتفاع آب روندی صعودی را نشان می دهد. شکل (۸) نشان می دهد که دبی اوج سیلاب ناشی از شکست سد در محل پل برابر $4773.79 \text{ m}^3/\text{s}$ است. حداکثر ارتفاع آب به 1388.12 MASL می رسد. در این مقطع ارتفاع کف رودخانه 1378.27 MASL می باشد؛ بنابراین، عمق آب در این نقطه به حدود 10 m می رسد. روند صعودی دبی و عمق آب حدود ۳ hr است و پس از آن و با

بالادست خاکریزها، آورده شده است. در این مقطع دبی اوج سیلاب دارای مقدار بیش‌تری نسبت به محل خاکریزها بوده و معادل $440.1/58 \text{ m}^3/\text{s}$ می‌باشد. همچنین عمق آب در این مقطع $9/4 \text{ m}$ است. این مقطع در محلی انتخاب‌شده است که خاکریزها بر روی آن بی‌تأثیر باشند.



ب-مقطع بالادست خاکریزها

b) upstream section of embankments

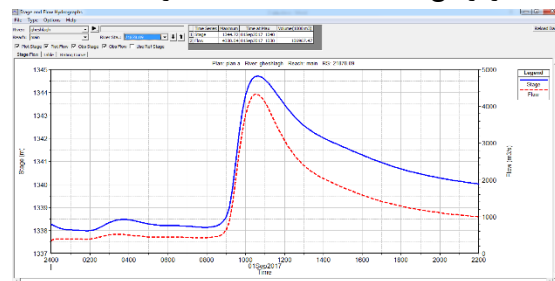
شکل ۱۰- نمودار دبی جریان و سطح آب: الف- مقطع بالادست پل گریزه ب- مقطع بالادست خاکریزها

Fig. 10 Flow and water level diagrams: a) upstream section of Gerize bridge and b) upstream section of embankments

با توجه به این نتایج، دبی اوج سیلاب در محل موانع نسبت به مقطع بالادستی خود، به‌طور چشم‌گیری کاهش یافت که با یافته‌های پژوهش Saghafian et al. (2008) مطابقت دارد. عمق آب قبل از تنگ‌شدگی رودخانه و در مقطع بالادستی نقاط موردبررسی، نسبت به محل موانع، به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای کمتر است. با توجه به این نتایج، پل و خاکریزها مانند یک مانع عمل کرده و موجب کاهش عبور جریان از رودخانه شدند. با افزایش عمق آب، پهنای سطح آب افزایش یافت. در محل پل گریزه پهنای سیلاب به 586 m می‌رسد. این در حالی است که در مقطع بالادست آن، عرض آب در بیش‌ترین مقدار به 205 m می‌رسد. از این‌رو در اثر جریان سیلاب ناشی از شکست سد، وجود موانع ساخته‌شده باعث می‌شود مناطق وسیع‌تری دچار آب‌گرفتگی

گذشت موج سیلاب ناشی از شکست سد، این موارد افت می‌کنند.

در محل تنگ‌شدگی رودخانه، ناشی از خاکریزی نیز مقدار دبی، عمق و سطح آب موردبررسی قرار گرفت. خاکریزها در طول 2 km در راستای رودخانه قرارگرفته است و چند مقطع از مسیر را شامل می‌شود. بیش‌ترین مقدار عمق سیلاب، در این مقاطع نزدیک به هم بوده و در حدود 10.8 m می‌باشد. برای نمونه یکی از این مقاطع که در وسط این مقاطع قرار دارد، در شکل (۹) نشان داده‌شده است. عمق سیلاب در بیش‌ترین مقدار خود در این مقطع معادل 10.7 m و دبی اوج سیلاب ناشی از شکست سد برابر $4330.04 \text{ m}^3/\text{s}$ است. حداکثر ارتفاع آب به 1344.72 MASL رسید.



شکل ۹- نمودار دبی جریان و سطح آب در محل خاکریزها

Fig. 9 Flow and water level diagrams at the embankments location

با توجه به نمودار شکل (۹)، با گذشت 9 hr از آغاز شبیه‌سازی، سیلاب ناشی از شکست سد به محل خاکریزها می‌رسد و دبی و عمق جریان را بالا می‌برد. روند افزایش عمق و دبی جریان 1.5 hr ادامه و با گذشت موج سیلاب، روندی کاهشی را نشان می‌دهد. در مقاطع بالاتر از هر دو موانع و در ناحیه‌ای که رودخانه دست‌نخورده است، دبی، عمق و سطح آب موردبررسی قرار گرفت. نتایج در شکل (۱۰) نشان داده‌شده است.

دبی اوج سیلاب ناشی از شکست سد در مقطع بالادست پل گریزه که در شکل (۱۰- الف) آورده شده است، برابر $4866/01 \text{ m}^3/\text{s}$ است. حداکثر ارتفاع آب به $1397/24 \text{ MASL}$ می‌رسد. در این مقطع ارتفاع کف رودخانه $1389/65 \text{ MASL}$ می‌باشد؛ بنابراین، عمق آب در این نقطه به $7/6 \text{ m}$ می‌رسد. در شکل (۱۰- ب)، این نمودارها برای مقطع

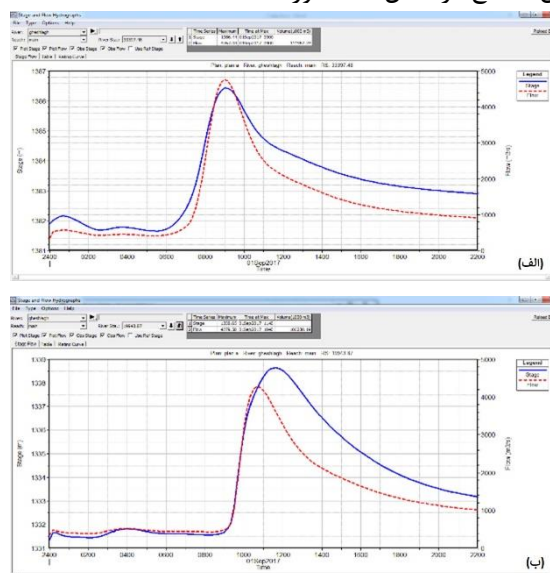
که عمق سیلاب ناشی از شکست سد وحدت پس از عبور از این ناحیه، کاهش می‌یابد. عمق سیلاب در این مقطع و در بیش‌ترین مقدار خود $8/7$ m و دبی اوج سیلاب $4279/58$ m^3/s می‌باشد. نمودار دبی جریان و سطح آب مربوط به این مقطع در شکل (۱۱-ب) قابل‌مشاهده است. با توجه به این نتایج، پس از عبور آب از محل تنگ‌شدگی رودخانه ناشی از پل و خاکریزها، سطح آب کاهش‌یافته و تأثیر تنگ‌شدگی بر دبی اوج سیلاب همچنان مشهود است. عمق آب در مقایسه دو مقطع قبل و بعد از این نواحی، تفاوت زیادی دارند که نشان‌دهنده تأثیر تنگ‌شدگی عرض رودخانه بر این مشخصه‌ها می‌باشد. به علت کاهش سطح مقطع عبوری جریان در محل قرارگیری پل گریزه، عمق سیلاب ناشی از شکست سد افزایش‌یافته و تراز سطح آب بالا رفت که با نتایج پژوهش (Aren et al. (2019)، مطابقت دارد.

۳-۲- سرعت جریان

یکی دیگر از مشخصه‌های جریان که در این پژوهش موردبررسی قرار گرفت، سرعت جریان در مقاطع موردبررسی و مقاطع قبل و بعد آن‌ها می‌باشد. سرعت جریان درحالی‌که سطح آب دارای بیش‌ترین مقدار است، در مقطعی که پل گریزه در آن قرار داشته و این دارای تنگ‌شدگی است، $1/43$ m/s می‌باشد. این سرعت برای مقطع پایین‌دستی آن $2/94$ m/s می‌باشد. این سرعت‌ها مربوط به مرکز کانال اصلی می‌باشد. از آنجایی‌که در محل موانع موردبررسی عرض رودخانه کاهش می‌یابد، این کاهش عرض شبیه یک مانع عمل کرده و موجب کاهش جریان سیلاب ناشی از شکست سد شد. با کاهش عبور جریان، سرعت در مقاطع بالای موانع کاهش می‌یابد. مقایسه سرعت جریان در این محل و پایین‌دست آن، تفاوت سرعت در این نواحی را نشان داد. در محل مانع دوم و در مقطعی که در آن خاکریزها قرار دارد، سرعت جریان درحالی‌که سطح آب دارای بیش‌ترین مقدار است، در حدود 2 m/s می‌باشد. این سرعت برای مقطع پایین‌دستی آن‌که موردبررسی قرار گرفت، m/s

شوند. این نتیجه با یافته‌های پژوهش (Sadeghi et al. (2007) هم‌خوانی دارد.

با توجه به نمودارهای شکل (۱۰) در مقطع بالادست پل گریزه، زمان رسیدن به اوج نمودار $3/5$ hr طول می‌کشد که این زمان برای مقطع بالادست خاکریزها حدود $3/5$ hr است. در مقایسه این مقاطع با مقاطعی که در محل قرارگیری پل و خاکریزها قرار دارند می‌توان نتیجه گرفت که زمان رسیدن به اوج در محل قرارگیری پل و خاکریزها کاهش یافت که با یافته‌های پژوهش (Liu et al. (2005) مطابقت دارد. پس از عبور جریان از محل پل و خاکریزها و با رسیدن سیلاب به مقاطع پایین‌دست، دبی اوج سیلاب و ارتفاع سطح آب موردبررسی قرار گرفت. نمودارهای بررسی‌شده مربوط به این مقاطع در شکل (۱۱) آورده شده است.



شکل ۱۱- نمودار دبی جریان و سطح آب: الف) مقطع پایین‌دست

پل گریزه ب) مقطع پایین‌دست خاکریزها

Fig. 11 Flow and water level diagrams: a) downstream section of Gerize bridge and b) downstream section of embankments

با توجه به شکل (۱۱-الف)، دبی اوج سیلاب ناشی از شکست سد در مقطع پایین‌دست پل گریزه برابر 4767 m^3/s است. حداکثر ارتفاع آب به $1386/43$ MASL می‌رسد. در این مقطع ارتفاع کف رودخانه $1379/56$ MASL می‌باشد؛ بنابراین، عمق آب در این نقطه به $6/9$ m می‌رسد. بررسی مقطع واقع در پایین‌دست ناحیه دارای خاکریزی نشان داد

۳- سرعت جریان در مقطعی که پل و خاکریزها در آن موجود است، کاهش یافت. سرعت جریان، در مقایسه مقاطع قبل و بعد از این عوارض، دارای تفاوت چشم‌گیری می‌باشد.

۴- ارتفاع سیلاب شبیه‌سازی شده در محل پل به بالاتر از ارتفاع عرشه رسید که این افزایش ارتفاع بیانگر عدم پایداری آن در اثر عبور سیلاب می‌باشد. ارتفاع پل معادل ۴/۵ m و ارتفاع سیلاب شبیه‌سازی در این محل و در بیش‌ترین مقدار آن معادل ۱۰ m است.

موقعیت خاکریزهای ایجاد شده که اکثراً در حریم و بستر رودخانه است نشان می‌دهد حتی در اثر سیلاب‌های به‌مراتب کمتر از سیلاب شبیه‌سازی شده در این پژوهش، مواد انباشته شده باعث افزایش رسوب برداری جریان شده و مقاطع پایین‌تر را دچار گرفتگی می‌کند. از آنجایی که رودخانه قشلاق یک رود مرزی است، دسترسی به داده‌های مربوط به آن دشوار است بنابراین اطلاعات ورودی دقیق از جمله اطلاعات هیدرولیکی- اطلاعات توپوگرافی و اطلاعات جریان سیل برای اجرا شدن مدل HEC-RAS جهت پهنه‌بندی سیلاب ناشی از شکست سد در دسترس نیست. همچنین برای به- دست آوردن ارتفاع نقاط موردنظر در طول مسیر و تهیه عکس‌های هوایی با ارتفاع کم، محدودیت اقتصادی جهت تهیه ابزارهای با دقت بالا وجود دارد.

۳/۳۵ می‌باشد. این سرعت‌ها مربوط به مرکز کانال اصل است.

۴- نتیجه‌گیری

احداث سازه‌هایی همچون سد، پل و یا خاکریزی و دیوارچینی‌ها در حریم و بستر رودخانه‌ها، ظرفیت طبیعی آبگذری آن‌ها را تغییر می‌دهد. از این‌رو در این پژوهش با استفاده از اندازه‌گیری‌های صحرایی، تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و شبیه‌سازی جریان، تأثیر این عوامل بر روی جریان آب در دو ناحیه از رودخانه قشلاق در شهر سنندج، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به‌دست آمده از این پژوهش شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- وجود پل و خاکریزی‌های ایجاد شده در حریم و بستر رودخانه، مانند یک مانع در برابر جریان آب عمل کرده و عمق آب در پشت آن افزایش یافت. این افزایش عمق در پل گریزه و در محل خاکریزها نسبت به مقطع بالادستی آن‌ها که بی‌تأثیر از این موانع است، به‌ترتیب معادل ۲/۴ و ۱/۳ m می‌باشد.

۲- در محل پل و خاکریزها، با کاهش عبور جریان، دبی اوج سیلاب کاهش چشمگیری داشته و این کاهش دبی در مقاطع بعد از این نواحی نیز قابل مشاهده است. کاهش دبی اوج سیلاب در این نواحی نسبت به مقطع بالادستی به‌ترتیب در حدود ۹۰ و $70 \text{ m}^3/\text{s}$ است.

References

- Abbaszadeh T. N., Makhdoum M. F. and Mahdavi M. (2011). Studying the Impacts of land use changes on flood flows by using remote sensing (RS) and geographical information system (GIS) Techniques: a case study in Dough River Watershed, northeast of Iran. *Environ. Res.*, 1(2), 1-14 [In Persian].
- Adeyeri O. E., Laux P., Lawin A. E. and Arnault J. (2020). Assessing the impact of human activities and rainfall variability on the river discharge of Komadugu-Yobe Basin, Lake Chad Area. *Environ. Earth Sci.*, 79(6), 1-12.
- Areu-Rangel O. S., Cea L., Bonasia R. and Espinosa-Echavarria V. J. (2019). Impact of urban growth and changes in land use on river flood hazard in Villahermosa, Tabasco (Mexico), *Water*, 11(2), 304.
- Ashouri M., Rezaei Moghaddam M. H. and Piry Z. (2013). Morphologic change assessment of riverbed before and after dam construction using HEC-RAS model and GIS (case study:

- downstream of Satarkhan Dam). *Nat. Geogr. Res.*, 45(1), 87–100 [In Persian].
- Froehlich D. C. (2008). Embankment dam breach parameters and their uncertainties. *J. Hydraul. Eng.*, 134(12), 1708–1721.
- Gai L., Nunes J. P., Baartman J. E. M., Zhang H., Wang F., de Roo A. and Geissen V. (2019). Assessing the impact of human interventions on floods and low flows in the Wei River Basin in China using the LISFLOOD model. *Sci. Total Environ.*, 653, 1077–1094.
- Graf, W. L. (2006). Downstream hydrologic and geomorphic effects of large dams on American rivers. *Geomorph.*, 79(3–4), 336–360.
- Hosseinzadeh S. R., Rashidi M. Speher A. Zarei H. and Khanabad M. (2016). Study of geomorphological changes of Karun river bed and its causes from 1954 to 2011. *Quant. Geomorph. Res.*, 5(43–59) [In Persian]
- Iran's Ministry of Energy (2005). Guideline for flood zoning and determination of river bed and privacy limitation, Iran Water Resources Management, Standard office and technical criteria, Publication No .307 [In Persian].
- Iran's Ministry of Energy (2013). Report of cultivated lands of gheslagh dam. West map processing consulting engineers co. Iran water and power resources development company .[In Persian]
- Iran's Ministry of Energy (2015). Guideline for determination of the hydraulic roughness coefficient of rivers. Ministry of Energy. Office of Deputy for Strategic Supervision Bureau of Technical Execution System. Bureau of Engineering and Technical Criteria for Water and Wastewater, Publication No. 688. [in Persian]
- Khaledian H., Faghih H. and Amini A. (2017). Classifications of runoff and sediment data to improve the rating curve method. *J. Agri. Eng.*, 48(3), 147–153.
- Li Z., Li W. and Ge W. (2018). Weight analysis of influencing factors of dam break risk consequences. *Nat. Hazard. Earth Sys. Sci.*, 18(12), 3355–3362.
- Liu Y. B., De Smedt F., Hoffmann L. and Pfister L. (2005). Assessing land use impacts on flood processes in complex terrain by using GIS and modeling approach. *Environ. Model. Assess.*, 9(4), 227–235.
- Nirupama N. and Simonovic S. P. (2007). Increase of flood risk due to urbanisation: a Canadian example. *Nat. Hazard.*, 40(1), 25.
- Raman A. and Liu F. (2019). An investigation of the brumadinho dam break with HEC RAS simulation, *Physic. Com. Ph.*, 1911.05219.
- Sadeghi S. H. R., Hajigolizadeh M. and Vafakhah M. (2007). The impact of bridges and abutments on change in depth and flood area in an interval of Tehran river. *Watershed Manag. Eng.*, 1, 64–67 [In Persian].
- Saghafian B., Farazjoo H., Bozorgy B. and Yazdandoost F. (2008). Flood intensification due to changes in land use. *Wat. Resour. Manag.*, 22(8), 1051–1067.
- Trueheart M. E., Dewoolkar M. M., Rizzo D. M., Huston D. and Bomblies A. (2020). Simulating hydraulic interdependence between bridges along a river corridor under transient flood conditions. *Sci. Total Environ.*, 699, 134046.
- USACE. (2010). HEC-RAS river analysis system user manual. US army corps of Engineering, Institute of water resources, hydraulic engineering center, <http://www.usace.army.mil>.
- Wu M., Ge W., Li Z., Wu Z., Zhang H., Li J. and Pan Y. (2019). Improved set pair analysis and its application to environmental impact evaluation of dam brea. *Wat.*, 11(4), 821.

Investigation of Flood Characteristics Due to Dam Failure in the Narrow Section of the Rive

Azad Miraki¹, Jamil Bahrami^{2*} and Ata Amini³

¹M.Sc. Alumni, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

²Assist. Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Kurdistan Sanandaj, Iran

³Assoc. Professor, Kurdistan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Sanandaj, 66169-49688, Iran

*Corresponding author: jbahrami@uok.ac.ir

Original Paper

Received: August 26, 2020

Revised: October 20, 2020

Accepted: October 20, 2020

Abstract

In this study, changes in flood characteristics due to the failure of Vahdat Dam (Gheshlagh) in areas where the cross section of the river has changed, because of human activities, were investigated. For this purpose, the HEC-RAS model was used to simulate the failure of the dam and the resulting flood flow. Data on the dam structures and flow of the Gheshlagh River in Kurdistan Province, on which the Vahdat Dam is located, were obtained from the Kurdistan Regional Water Company. Using the ArcMap software, after converting the digital elevation model (DEM) to a three-dimensional model (TIN), the required parameters and lines related to the cross sections on the river were drawn. This data was transferred to the HEC-RAS model. Through field studies, cross sections were corrected and Manning coefficient was measured in different zones. After preparing images of bridges and embankments along the flow path, the height of the bridge and the embankments in the flow path were measured using station GPS. The Grize Bridge and the location of the studied embankments in this study located 23 and 33 km downstream of the Vahdat Dam, respectively, were selected to investigate the changes in flood characteristics due to local narrowing. Changes in water height and width in the study areas were investigated. At the site of the Grize Bridge, the peak of flooding due to dam failure and water depth was 4773.79 m³/s and 10 m, respectively. These values at the embankments were 4330.04 m³/s and 10.8 m, respectively. Comparing these numbers with the data calculated in the previous sections of these contracted sites indicates a significant reduction in the flow capacity.

Keywords: Flood Routing; HEC-RAS; Gheshlagh River; Kurdistan; Peak Flood.