Archive of SID

**Environment and** Water Engineering ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب شابك : ٣٦٨٣ - ٢٤٧٦

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

آزاد میر کی، 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



www.jewe.ir

ارجاع به این مقاله:

میرکی آ.، بهرامی ج. و امینی ع. (۱۳۹۹). بررسی مشخصههای سیلاب ناشی از شکست سد در محل تنگ شدگی مقطع رودخانه. محیط زیست 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

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

Miraki A., Bahrami J. and Amini A.

# بررسی مشخصههای سیلاب ناشی از شکست سد در محل تنگشدگی مقطع رودخانه آزاد میرکی<sup>۱</sup>، جمیل بهرامی<sup>۱\*</sup> و عطا امینی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانش آموخته کارشناسیارشد، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران <sup>۲</sup>استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران <sup>۳</sup>دانشیار، 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]

#### چکیدہ

در این پژوهش تغییرات مشخصههای سیلاب ناشی از شکست سد وحدت (قشلاق)، در محلهایی که سطح مقطع رودخانه به دلیل فعالیتهای انسان تغییریافته است، موردبررسی 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 روی رودخانه رسم شدند. این دادههای مدل رقومی ارتفاع (DEM) به مدل سهبعدی (TIN)، پارامترهای موردنیاز و خطوط مربوط به مقاطع عرضی بر روی رودخانه رسم شدند. این دادهها به مدل مدل رقومی ارتفاع (DEM) به مدل سهبعدی (TIN)، پارامترهای موردنیاز 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 اندازه گیری شدند. این دادهها به مدل HEC-RAS انتقال یافتند. با بررسیهای صحرایی مقاطع عرضی اصلاح و ضریب مانینگ در پهنههای مختلف اندازه گیری شدند. این دادهها به مدل HEC-RAS انتقال یافتند. با بررسیهای صحرایی مقاطع عرضی اصلاح و ضریب مانینگ در پهنههای ایستگاهی اندازه گیری شدند. این گریزه و محل خاکریزیهای موردمطالعه در این پژوهش که بهترتیب در ۳۲ و ۲m پیینتر از سد وحدت قرار گرفتهاند، جهت بررسی تفیرات مشخصههای سیلاب در اثر تنگشدگی موضعی انتخاب شدند. تغییرات ارتفاع و پهنای آب در نقاط موردمطالعه بررسی شدند. نیایج نشان داد که در محل پل گریزه دبی اوج سیلاب ناشی از شکست سد و عمق آب بهترتیب برابر m³/s و ۲۰۰ س

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

#### ۱– مقدمه

تمدنهای بشری همواره در کنار رودخانهها شکل گرفته 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 حريم رودخانهها و دخل و تصرف غيرمجاز در آنها افزايشيافته است ( Flood Zoning Guide 2005). با توجه به نتايج پژوهش (2005). Liu et al. در يک 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 می یابد. جنگل زایی نتیجه عکس داشته و سیلاب را كنترل مىكند. (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 می شود. نواحی شهری به سرعت به بارش پاسخ میدهند و زمان رسیدن به اوج کاهش و جریان با نقطه اوج بالاترى را ايجاد مىكنند. (Areu et al. (2019) تغيير در کاربری اراضی و تأثیر آن بر جریان رودخانه را بررسی و بیان کردند که تغییر کاربری می تواند منجر به تشدید ایجاد سیل شود. تغییر در کاربری اراضی در حوضههای هیدرولوژی بالادستی شهر و شهرنشینی کنترل نشده هم جوار سیلابدشتها، دو عامل اصلی افزایش آسیبهای سیل مى باشند. (2019) Trueheart et al. به اين نتيجه رسيدند كه یلها و راههایی که در مسیر رودخانه ساخته می شوند 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 این که سیل یک پديده بزرگ هيدروليکي-هيدرولوژيکی است که جوامع و اکوسیستم را تهدید میکند، (2019) Gai et al. در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که تأثیر این حادثه تا حد زیادی

ناشی از تغییراتی است که انسان بر محیطزیست تحمیل كرده است. نتايج حاصل از تحقيق ( 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. ،۵۷ yr نشان دادند که طی Hosseinzade et al. (2017) تغییرات چشم گیری 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 زمین شناسی و پوشش گیاهی می باشد. به طور کلی انسان و دخالتهای آن، مهمترین عامل تغییرات ریختشناسی بستر رودخانه كارون مىباشد. (Saghafian et al. (2008) به اين نتیجه رسیدند که ناپایداری در رژیم جریان، ممکن است به موارد مختلف از جمله تغییرات آبوهوا، تغییر کاربری اراضی و سیل بندهای ساخت انسان مرتبط باشد.

تغییر در کاربری اراضی میتواند تأثیر قابل توجهی در نفوذ و زبری زمین داشته باشد که منجر به ایجاد سیلابهای بزرگتر میشود. (2020) Adeyeri et al. 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 میشوند، با تقریب نسبتاً مساوی مربوط به فعالیتهای انسانی میتوبط جریان، دبی اوج سالیانه و دبی روزانه را به طور چشم-نتیجه رسید که ساخت سدهای بزرگ بر روی رودخانه، متوسط جریان، دبی اوج سالیانه و دبی روزانه را به طور چشم-زمیری کاهش می دهد. سدها مدتزمان بالا و پایین رفتن میدهند. (2013) Aca تغییرات بستر رودخانه،

بهدلیل 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 تأثیر گذار 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 ساختهشده است. پنج عامل بیشترین اهمیت را دراینباره دارند. این عوامل شامل جمعیت در معرض خطر، شدت سیل، زمان هشدار، خرد جمعی در مورد خطر و فاصله از سد می باشند. (2019) Wu et al. به این نتیجه رسیدند که تأثیر شکست سد بر محیطزیست جدی بوده و برای کاهش خطر باید اقدامات مدیریتی مناسب انجام شود. ارزیابی اثرات زیستمحیطی سدسازی با روشهای سنتی دشوار است، زیرا در این روشها، طبقهبندیها دارای ابهام است. در اثر دپو پسماندهای معدنی در بستر و حریم رودخانه، موانعی<sup>۱</sup> ایجاد می شوند که مانند یک سد عمل می کنند. ( Raman and Liu 2019) سد برومادينو در کشور برزيل را موردبررسي قراردادند. در ۲۵ ژانویه سال ۲۰۱۹، این سد دچار شکست شد. در این حادثه ۲۴۸ نفر جان باختند و ارزش خسارتهای ایجادشده بیش از ۲.۸۸ میلیون دلار بود.

وجود موانع ناشی از دخالتهای انسان در مسیر یک رودخانه، موجب تغییر مشخصههای جریان در بالادست و پاییندست موانع میشوند. با توجه به مشاهدات صحرایی، تنگشدگی قابل ملاحظهای در رودخانه قشلاق ایجادشده است که نتیجه دیوارچینی و ساختوساز در حاشیه رودخانه و نیز خاک ریزیهای ناشی از عملیاتهای عمرانی میباشد. ازاین رو در این پژوهش با دادهبرداری صحرایی و استفاده از دادههای هوایی، شبیه سازی شکست سد وحدت با استفاده از نرمافزار MEC-RAS و استفاده از قابلیتهای پردازش دادههای هوایی در محیط GIS انجام شد. همچنین تغییرات در مشخصههای سیلاب در هنگام عبور از مناطق آسیب پذیر که در اثر

<sup>1</sup> Tailings Dam

پیشروی انسان به حریم رودخانه ایجادشده است، بررسی شد. بررسی وضعیت انتقال سیل ناشی از شکست سد در شرایطی که مقطع رودخانه بهصورت غیرطبیعی دچار تغییر شده است از جمله کارهایی است که برای نخستین بار در این پژوهش در کشور انجام میشود. نتایج این پژوهش میتواند مورداستفاده تصمیم گیران و مهندسین بخش اجرا برای کاهش مخاطرات طبیعی مشابه از جمله سیلابهای با دوره بازگشت بالا شود. ۲- مواد و روش ها

#### ۲-۱- منطقه موردمطالعه

منطقه موردمطالعه بخشى از حوزه آبخيز سيروان كه 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 km<sup>2</sup> و حوضه چهل گزی با مساحت ۲۲۶ km<sup>2</sup> تشکیل شده است. دبی متوسط سالانه در طول آمار ۲۰ ساله از ایستگاه خلیفهترخان ۳/۱۶ m<sup>3</sup>/s و در ایستگاه چهل گزی ۱/۹۶۶ m<sup>3</sup>/s میباشد. سد مخزنی وحدت بر روی رودخانه قشلاق در استان کردستان و در ۱۲ km شمال شهر سنندج به مختصات جغرافیایی ۲۵<sup>°</sup> ۳۵° عرض شمالی و ۴۶<sup>°°</sup> ۴۶ طول شرقی با ارتفاع تاج ۱۵۷۸ از سطح دریا قرار دارد (۱) در شکل (۱) در شکل (۱) در شکل (۱) موقعیت منطقه موردمطالعه شامل سد وحدت و حوزه آبخیز مربوط به آن و بخشی از رودخانه قشلاق که در این پژوهش موردمطالعه قرارگرفته است، نشان دادهشده است. کاربری اراضی منطقه موردمطالعه شامل باغ و زراعت آبی، مراتع دیم و بایر، مناطق مسکونی، راهها و تأسیسات میباشد.

# ۲-۲- تعیین مقاطع تنگشده

نقطـه اوّل کـه دارای بـیشتـرین تنگشـدگی در مسـیر رودخانـه است، در ۲۳ km پاییندسـت سـد وحـدت قـرار دارد. ایـن مقطـع بـهدلیـل وجـود پـل گریـزه در آن، دارای عرض کمتـر نسبت بـه مسـیر طبیعـی رودخانـه میباشـد. در شـکل (۲) نمـایی از پـل گریـزه و موقعیـت آن نشـان دادهشـده است. پـل گریـزه بـه مختصـات جغرافیـایی بـه

مختصات جغرافیایی '۱۵ °۳۵ عسرض شسمالی و ´۰°۴۷ طـول شـرقی، در محـدوده شـهر ســنندج و بـر روى رودخانه قشلاق احداثشده است.



شکل ۱- موقعیت سد قشلاق و بخشی از حوضه سیروان استان کردستان و ایران Fig. 1 Location of the Gheshlagh 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

که در پنج نقطه از رودخانه قشلاق به مختصات جغرافیایی N در ۳۳ km پایین تر از سد وحدت و در هنگام احداث جاده ۰۱۰ (۵۸ ۲۳ E ،۳۵ ۴۶ ۴۹ ۳۵ ۳۵، E ،۳۵ ۴۹ ۳۵ ۳۵ ۴۶ سنندج-کرمانشاه توسط شرکت پیمان کار صورت گرفته و N "۹٬۳۴ " AN " E ،۳۵ " ۹٬۳۴ و N "۳۵ " ۹٬۲۶ " N است. حجم مصالح دپو شده قابل توجه بوده و باعث تغییرات ۴۶°۵۷٬۲۳E و ۳۵٬۹٬۲۱″ E،۳۵°۹٬۲۱″ E،۳۵°۹٬۲۱۳ دیزی ریخت شناسی یکی از جمله تغییر در بستر، سیلاب دشت ها،

با بررسی و بازدید صحرایی کل مسیر رودخانه مشخص شد در حریم و یا بستر رودخانه انجامشده است. این خاکریزیها

کناره و میزان آبگذری رودخانه شده است. این خاکریزها در شدهاند. نمایی از محل این خاکریزها که از گوگل ارث پنج نقطه نزدیک به هم و در طول حدود Km ۲ انباشت تهیه شده است در شکل (۳) قابل مشاهده است.



شکل ۳- محل خاکریزها در حریم رودخانه قشلاق Fig. 3 The location of the embankments in Gheshlagh river



شکل ۴- خاکریزهای موجود در حریم رودخانه Fig. 4 Levee in river floodplain

### HEC-RAS مدل -۳-۲

HEC-GeoRAS ويرايش ۱۰/۲ استفاده شد. نرمافزار -HEC RAS یک بسته نرمافزاری کامل از سری برنامههای تحلیل هیدرولیکی است که ارتباط کاربر با آن از طریق واسط گرافیکی کاربر (GUI) است. این سیستم قابلیت انجام محاسبات پروفیل سطح آب در حالتهای جریان ماندگار و

غیرماندگار، محاسبات انتقال رسوب، مرز متحرک، تحلیل در این پژوهش از نرمافزار HEC-RAS ویرایش ۵/۰/۵ و افزونه 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 مدل سازی سد و مشخصات گسیختگی سد از جمله لحظه شکست، مدتزمان روند گسیختگی و شکل حفره گسیختگی و عوامل دیگر وجود

دارد. در مدل HEC-RAS مقادیر دبی و تراز سطح آب بهعنوان شرايط مرزى انتخاب كرد اندازه گیری شده، شیب سطح آب و یا عمق بحرانی را می توان



شکل ۵- مقاطع عرضي با بيشترين تنگشدگي بررسي شده در اين پژوهش در محل: الف) پل گريزه و ب) خاکريزها Fig. 5 The sections with the highest contraction examined in this study at locations: a) Gerize bridge and b) embankments

۲-۴- دادههای مور داستفاده ۲-۴-۲- دادههای هندسی مدل رقومی ارتفاع (DEM) با اندازه پیکسل m ۱۲/۵×۱۲/۵ مربوط به مسیر موردمطالعه و نواحی اطراف آن از سایت USGS تهیه شد. مدل رقومی ارتفاع به شکل مدل سهبعدی که بهصورت شبکه نامنظم مثلثی (TIN) است، تبدیل و در

و نیم کره شمالی قرارگرفته است، بنابراین بخش سیستم مختصات، WGS\_1984\_UTM\_Zone\_38N انتخاب شد. لايههاى موردنياز جهت ايجاد فايل هندسي به كمك افزونه HEC-GeoRAS ايجاد شدند. اين لايهها شامل خط مركزي رودخانه، خطوط سواحل، مسیرهای جریان کانال اصلی و سیلابدشتهای چپ و راست و خطوط مربوط به مقاطع محیط Arc Map ذخیره شد. ناحیه موردمطالعه در زون ۳۸ ورضی می باشد. در بازدیدهای صحرایی درستی این لایهها



شکل ۶- نمونه ای از لایه های موردنیاز جهت ایجاد فایل هندسی Fig. 6 An example of Layers for creating geometric file

مقدار شیب واردشده برای هرکدام از دبیها و با استفاده از روش شیب- سطح (با حل معادله مانینگ برای عمق)، مقدار عمق پایین دست را محاسبه می کند. با توجه به راهنمای مدل HEC-RAS، این شیب را می توان با تقریب مناسب، معادل شيب كف 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 آغازشده و در سال ۱۹۷۸ به بهرهبرداری رسید. هدف از ساخت این سد تأمین آب شرب شهر سنندج و حومه آن، آبیاری و توسعه کشاورزی، تنظيم رودخانه و كنترل سيلاب همچنين توليد نيروى الكتريسيته و ايجاد مركز تفريحي بود. حوزه آبخيز سد وحدت با مساحت ۱۰۵۰ km<sup>2</sup>، از طریق رودخانه قشلاق تخلیه می-شود که دبی سالانه آن در حدود MCM ۱۳۶ می باشد. ارتفاع این سد M·m، طول تاج m۳۰ و عرض تاج ۱۰ m می باشد. سرریز سد از نوع اوجی<sup>۲</sup> به طول ۱۰۰ m است. سد وحدت دارای سه دریچه دایرهای به قطرهای ۲، ۱/۵ و m

دادههای مربوط به مقاطع عرضی مانند شماره ایستگاه، فاصله 🚽 پاییندست سد تعیین شد. مدل HEC-RAS با استفاده از سواحل راست و چپ و مرکز مقاطع عرضی از یکدیگر، سواحل کناری و دادههای X و Y مقاطع عرضی از طریق TIN استخراج شدند. سیس این موارد به مدل HEC-RAS انتقال یافت. در این پژوهش، با استناد به مشاهدات صحرایی و در نظر گرفتن یکنواختی مقاطع جریان، تعداد ۴۹۵ مقطع عرضى رسم شد. مشخصات مقاطع رسم شده بهوسيله نرمافزار، با مراجعه به محل و اندازه گیری های متعدد اصلاح شدند.

بررسی شد. در شکل (۶) نمایی از این لایهها نشان دادهشده

#### ۲-۴-۲ دادههای جریان

سد مخزنی قشلاق بهدلیل 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 آرشیوی تهیه شدند. برای شرایط مرزی در اولین مقطع رودخانه قشلاق، هیدروگراف مربوط به حداکثر سیلاب محتمل (PMF<sup>1</sup>)، بهعنوان شرط مرزی بالادست سد وارد شد. دبی اوج این سیلاب ۲۶۰۰ m<sup>3</sup>/s می باشد (Khaledian et al. 2017). شیب نرمال سطح جریان معادل ۰/۰۰۱ برای شرط مرزی

<sup>1</sup> Probable Maximum Flood

است.

۳۹۵ A<del>¢chive of SID</del>

> ۱/۲ میباشد. حجم مخزن در آستانه سرریز MCM مولت میباشد. دبی متوسط سالانه در طول آمار ۲۰ ساله از ایستگاه کنتر خلیفه ترخان ۳٬۱۶ m³/۶ و در ایستگاه چهل گزی m³/s عمل ۱/۹۶۶ میباشد (Iran's Ministry of Energy, 2012). بازد ۲–۶– اندازه گیری های صحرایی

> > ابعاد و مشخصات تعدادی از مقاطع عرضی از جمله مقاطعی که در آنها سدها و پلها قرار گرفتهاند و همچنین مقاطع نزدیک به فرودگاه و تصفیهخانه سنندج و همچنین ارتفاع پلهای موجود در مسیر رودخانه به کمک GPS ایستگاهی

مولتی فرکانس، برند HITARGET مدل V30 اندازه گیری، کنترل و اصلاح شدند. ضریب زبری (مانینگ) آبراههها با عملیات صحرایی اندازه گیری شد. به این صورت که با بازدیدهای کارشناسی از محل موردمطالعه اطلاعات میزان پوشش گیاهی، درجه پیچانرودی، کاربری اراضی، موانع موجود، تغییرات مقاطع عرضی و دانهبندی مواد تشکیل دهنده جداره آبراهه و سیلاب دشت جمع آوری و مسیر موردمطالعه از لحاظ یکنواختی پارامترهای فوق به ۲۱ ناحیه تقسیم شدند. نمونهای از اندازه گیریهای صحرایی و زون بندی مناطق در شکل (۷) آورده شد.



شکل ۲- پوشش گیاهی و وضعیت توپوگرافی مسیر موردمطالعه Fig. 7 Field observation of vegetation and topography of the waterways

(1)

که، م<sup>n</sup> ضریب مانینگ پایه بر اساس دانهبندی مواد تشکیل دهنده جداره آبراهه و یا سیلاب دشت و n<sub>1</sub>، n<sub>2</sub> n و n<sub>4</sub> بهترتیب ضریب مانینگ تعدیلی برای درجه بینظمی سطح آبراهه اصلی و یا سیلاب دشت، تغییرات مقاطع عرضی، موانع موجود و پوشش گیاهی آبراهه اصلی و یا سیلاب دشت میباشند. همچنین m ضریب اصلاحی زبری بر اساس درجه پیچان رودی آبراهه اصلی است. با توجه به نتایج، دامنه تغییرات ضریب مانینگ در مسیر موردمطالعه در بازه ۰/۰۵

 $n = nb+n_1+n_2+n_3+n_4(m_1)$ 

۲-۷- 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<sup>۱</sup> که بعداً توسط اداره حفاظت خاک و
سازمان زمینشناسی آمریکا بهعنوان روش استاندارد انتخاب
شد، استفادهشده است. در این روش، ضریب مانینگ کل در

<sup>1</sup> Cowan

# ۲–۸– 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.

$$B_{ave} = 0.27 K_o V_w^{0.32} h_b^{0.04}$$
 (Y)

$$_{\rm f}t = 63.2 \sqrt{V_{\rm w}/gh_{\rm b}^2} \tag{(7)}$$

که،  $B_{ave}$  عرض متوسط ناحیه بازشدگی (m)،  $K_0$  ضریب  $B_{ave}$ ثابت (که برای شکست از نوع سرریزی، معادل ۱/۳ و برای شکست از نوع رخنگی، معادل ۷، V<sub>w</sub> حجم مخزن سد در لحظه شكست (m<sup>3</sup>)، h<sub>b</sub> ارتفاع نهايي ناحيه بازشدگي (m) و t<sub>f</sub> زمان شکل گیری شکست (hr) میباشد. در این پژوهش، متوسط شیب دیوارههای کناری ناحیه بازشدگی بهصورت V1:H1 برای شکست از نوع روگذری و V1:H0.7 برای شکست از نوع حفرگی میباشد (Froehlich, 2008). تاریخ و ساعت شروع و پایان شبیهسازی متناسب با دادههای دبی رودخانه قشلاق که از شرکت مدیریت منابع آب ایران تهیه شد، تنظیم شدند. فواصل زمانی مربوط به خروجیهای مدل شامل هیدروگرافها و جداول و جزئیات مربوط به آن برای نرمافزار مشخص شدند. فاصله خروجیها، min انتخاب شد، از این و تعداد ۱۳۴ خروجی در زمان های مختلف حاصل شدند. از جمله این خروجیها، حداکثر پهنای سطح آب در هركدام از مقاطع عرضي، سرعت جريان، قدرت سيلاب، عمق جریان و موارد دیگر میباشد.

# ۹-۲ نرمافزار ArcMap

با استخراج نتایج شبیه سازی شکست سد و روندیابی سیلاب از برنامه HEC-RAS، نتایج به نرمافزار ArcMap انتقال یافت. نرمافزار ArcMap بخشی از بسته نرمافزاری ArcGIS است که توسط شرکت ESRI ساخته شده است. در این نرمافزار لایه های ایجاد شده با رنگهای 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 نرمافزار، هرکدام از این لایه ها به تفکیک قابل نمایش می باشند. سپس تصویر ماهواره ای از منطقه مور دمطالعه که از ماهواره YANDEX

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

# ۳- يافتهها و بحث

جهت بررسی اثر تنگشدگیهای محلی رودخانه، بر روی مشخصههای سیلاب عبوری، دو محل انتخاب شدند. دلیل انتخاب این نقاط کمعرض شدن مقطع رودخانه و وجود خاکریزها در آنها است. این نقاط به دلیل احداث پل یا دپو خاک حاصل از احداث جاده در آن، در فاصله کوتاهی از مسیر دچار تنگشدگی 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 موردبررسی قرار گرفت در شکل (۸) نمودار دبی جریان و سطح آب در محل پل گریزه نشان دادهشده 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 hr از شروع شبیهسازی 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 میدهد. شکل (۸) نشان میدهد که دبی اوج سیلاب ناشی از شکست سد در محل پل برابر ۳<sup>3</sup>/s سیلاب است. حداکثر ارتفاع آب به ۱۳۸۸.۱۲ MASL میرسد. در این مقطع ارتفاع کف رودخانه ۱۳۸۸.۲۷ MASL میرسد. روند معودی دبی و عمق آب در این نقطه به حدود ۳ است و پس از آن و با

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 ۲ km ۲ در راستای رودخانه قرار گرفته است و چند مقطع از مسیر را شامل میشود. بیشترین مقدار عمق سیلاب، در این مقاطع نزدیک به هم بوده و در حدود m ۸۰۸ 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 m ۱۰.۷ و دبی اوج سیلاب ناشی از شکست سد برابر ۱۳<sup>3</sup>k m ۴۳۳۰.۰۴ است. حداکثر ارتفاع آب به ۱۳۲۴.۷۲ 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 ۸ 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 ۸ 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 ۳<sup>3</sup>/s ۱۳۹۷/۲۴ MASL است. حداکثر ارتفاع آب به MASL ۱۳۹۷/۲۴ میرسد. در این مقطع ارتفاع کف رودخانه ۷/۶۵ ۱۳۸۹/۶۵ میباشد؛ بنابراین، عمق آب در این نقطه به ۳ ۶/۶ میرسد. در شکل (۱۰– ب)، این نمودارها برای مقطع

بالادست خاکریزها، آورده شده است. در این مقطع دبی اوج سیلاب دارای مقدار بیش تری نسبت به محل خاکریزها بوده و معادل ۳3/۶ m<sup>3</sup>/۶ میباشد. همچنین عمق آب در این مقطع m ۹/۴ m است. این مقطع در محلی انتخاب شده است که خاکریزها بر روی آن بی تأثیر باشند.



ب-مقطع بالادست خاکریزها b) upstream section of embankments شکل ۱۰-نمودار دبی جریان و سطح آب: الف- مقطع بالادست پل گریزہ 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 چشم گیری کاهش یافت که با یافتههای پژوهش (2008) Saghafian et al. مطابقت دارد. عمق آب قبل از تنگشدگی رودخانه و در مقطع بالادستی نقاط موردبررسی، نسبت به محل موانع، بهطور قابل ملاحظهای 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 مریان از رودخانه شدند. با افزایش عمق آب، پهنای سطح مریان از رودخانه شدند. با افزایش عمق آب، پهنای سطح عرض آب در بیش ترین مقدار به m ۲۰۵ میرسد. از اینرو عرض آب در بیش ترین مقدار به m ۲۰۵ میرسد. از اینرو در اثر جریان سیلاب ناشی از شکست سد، وجود موانع

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

با توجه به نمودارهای شکل (۱۰) در مقطع بالادست پل گریزه، زمان رسیدن به اوج نمودار ۳/۵ hr طول می کشد که این زمان برای مقطع بالادست خاکریزها حدود ۳/۵ 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 (2005) Liu et al. 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 بررسی شده مربوط به این مقاطع در شکل (۱۱) آورده شده است.



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 ۳<sup>3</sup>/s است. حداکثر ارتفاع آب به ۱۳۸۶/۴۳ MASL میرسد. در این مقطع ارتفاع کف رودخانه ۱۳۷۹/۵۶ MASL می اشد؛ بنابراین، عمق آب در این نقطه به ۳ ۶/۹ می رسد. بررسی مقطع واقع در پاییندست ناحیه دارای خاکریزی نشان داد

که عمق سیلاب ناشی از شکست سد وحدت پس از عبور از این ناحیه، کاهش مییابد. عمق سیلاب در این مقطع و در  $m^{3}/s$  بیشترین مقدار خود m // و دبی اوج سیلاب  $m^{3/s}$ این مقطع در شکل (۱۱– ب) قابل مشاهده است. با توجه با این مقطع در شکل (۱۱– ب) قابل مشاهده است. با توجه با 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 شکست سد افزایشیافته و تراز سطح آب بالا رفت که با نتایج پژوهش (2019) Areu et al. (2019، مطابقت دارد.

### ۲-۳- سرعت جریان

یکے دیگر از مشخصـههای جریـان کـه در ایـن پـژوهش موردبررسی قرار گرفت، سرعت جریان در مقاطع موردبررسی و مقاطع قبل و بعد آن ها می باشد. سرعت جریان درحالی کـه سـطح آب دارای بـیشتـرین مقـدار است، در مقطعی که پل گریزه در آن قرار داشته و دارای تنگشــدگی اســت، ۱/۴۳ m/s میباشــد. ایــن سرعت برای مقطع پاییندستی آن ۲/۹۴ m/s می باشد. این سرعت ها مربوط به مرکز کانال اصلی می باشد. از آنجایی که در محل موانع موردبر رسی عرض رودخانه کاهش می یابد، 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 می یابد. مقایسه سرعت جریان در این محل و پاییندست آن، تفاوت سرعت در این نواحی را نشان داد. در محل مانع دوم و در مقاطعی که در آن خاکریزها قرار دارد، سرعت جریان درحالی کـه سـطح آب دارای بیشـترین مقـدار اسـت، در حدود ۲ m/s میباشد. این سرعت برای مقطع پاییندستی آن کے موردبررسے قرار گرفت، m/s

www.SID.ir

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 اندازه گیریهای صحرایی، تفسیر تصاویر ماهورهای و شبیه سازی جریان، تأثیر این عوامل بر روی جریان آب در دو ناحیه از رودخانه قشلاق در شهر سنندج، موردبررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده از این پژوهش شامل موارد زیر می باشد:

۱- وجود پل و خاکریزیهای ایجادشده 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 بی تأثیر از این موانع است، به ترتیب معادل ۲/۴ و ۳ /۱۳ می باشد.

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 قابلمشاهده است. کاهش دبی اوج سیلاب در این نواحی نسبت به مقطع بالادستی بهترتیب در حدود ۹۰ و ۷۰ m<sup>3</sup>/s است.

۳- سرعت جریان در مقاطعی که پل و خاکریزها در آن موجود است، کاهش یافت. سرعت جریان، در مقایسه مقاطع قبل و بعد از این عوارض، دارای تفاوت چشم گیری میباشد.
 ۴- ارتفاع سیلاب شبیه سازی 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 m ۴/۵ و ارتفاع سیلاب شبیه سازی در این محل و در بیش ترین مقدار آن معادل m ۱۰ است.

موقعیت خاکریزهای ایجادشده که اکثراً در حریم و بستر رودخانه است نشان می دهد حتی در اثر سیلابهای به مراتب کمتر از سیلاب شبیه سازی شده در این پژوهش، مواد انباشته شده باعث افزایش رسوب برداری جریان شده و مقاطع پایین تر را دچار گرفتگی می کند. از آنجایی که رودخانه قشلاق یک رود مرزی است، دسترسی به داده های مربوط به آن دشوار است بنابراین اطلاعات ورودی دقیق از جمله اطلاعات هیدرولیکی – اطلاعات توپو گرافی و اطلاعات جریان سیل برای اجراشدن مدل HEC-RAS جهت پهنه بندی 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.

## 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 modeland 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 gheshlagh 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 Miraki<sup>1</sup>, Jamil Bahrami<sup>2\*</sup> and Ata Amini<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M.Sc. Alumni, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran

<sup>2</sup>Assist. Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Kurdistan Sanandaj, Iran

<sup>3</sup>Assoc. 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 m<sup>3</sup>/s and 10 m, respectively. These values at the embankments were 4330.04 m<sup>3</sup>/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.