

(مقاله پژوهشی)

ارزیابی کارایی دو نرم افزار HEC-RAS^{۲D} و CCHE-^{۲D} در پهنه بندی سیلاب ناشی از شکست سد و مدیریت ریسک سیلاب در پایین دست (مطالعه موردی: سد بارون)

بهرام سعیدی فرزاد^۱، نازیلا کاردان^۲، مصطفی سلمانی^۳

۱- گروه مهندسی عمران- دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

۲- گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران.

۳- گروه مهندسی عمران، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان

چکیده

در پی وقوع شکست سد حجم عظیمی از آب به طور ناگهانی رها شده و باعث به وجود آمدن امواج بزرگ سیلاب مخرب در پایین دست می شود و سبب خسارات جانی و مالی فراوانی می گردد. نتایج این تحلیل علاوه بر کمک به ارزیابی میزان خطر در پایین دست، امکان برنامه ریزی جهت پیشگیری از بروز خسارت در نقاط مختلف و نیز عملیات نجات و کنترل فاجعه ناشی از شکست سد را فراهم می کند. سد بارون در جنوب شهرستان ماکو، بر روی رودخانه زنگمار احداث شده است. تاکنون پژوهشی در زمینه شکست این سد و عواقب و میزان خسارات ناشی از آن در پایین دست که در واقع محل قرارگیری شهر ماکو می باشد صورت نگرفته است. در این تحقیق با استفاده از مدل های دوبعدی HEC-RAS^{۲D} و CCHE^{۲D} مدل سازی شکست سد و روندیابی جریان سیلابی ناشی از شکست سد خاکی بارون ماکو انجام یافته و در ادامه پهنه عمق و سرعت جریان ارائه شده است. در مقایسه ی دو نرم افزار می توان گفت در نرم افزار HEC-RAS^{۲D} تعداد نقاط در نظر گرفته شده در یک مقطع محدود است و نرم افزار تنها تعداد ۳۰۰ نقطه را قادر است در یک بازه شناسایی کند ولی در نرم افزار CCHE^{۲D} چنین محدودیتی از نظر شبکه بندی وجود نداشته و می توان مقطع عرضی را تا چندین کیلومتر گسترش داد. بیشترین اختلاف از نظر زمان در رسیدن پیشانی موج مربوط به بازه ی آخر، انتهای شهر ماکو، بوده و دلیل آن وسیع تر کردن عرض شبکه مش بندی است. در انتهای شهر ماکو به دلیل پایین بودن ضریب زبری مانینگ و همچنین هموار بودن مسیر منطقه عمق آب کاهش پیدا کرده و بیشتر در مقطع عرضی گسترش می یابد. بیشترین مناطقی که احتمال به زیر آب رفتن دارند، مناطق روستای قلعه جوق و شهرک ولیعصر می باشند. طبق پهنه ی شاخص مخاطره خطر سیلاب در اکثر نواحی منطقه ۱۰۰ بوده که نشان می دهد در صورت رخداد شکست سد، میزان خسارات جانی و مالی بسیار بالا خواهد بود.

واژه های کلیدی: شکست سد، پهنه بندی سیلاب، سد بارون، شهر ماکو، شاخص مخاطره، نرم افزار CCHE^{۲D}.



تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۱/۰۲/۲۴

تاریخ ویرایش مقاله: ۱۴۰۱/۰۶/۱۴

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۷/۰۷

DOI: ۱۰,۲۲۰۳۴/ijmt.۲۰۲۲,۵۴۳۶۵۰,۱۷۴۴

صص ۶۳-۴۷

مقدمه

آب در نقاط مختلف پایین دست و هم‌چنین سرعت موج و عمق آب ناشی از شکست سد در نقاط مختلف پایین دست بخش مهمی از مجموعه مطالعات مربوط به شکست سد است.

لیانگ و موهانتی (۱۹۹۷) در منطقه ماهاندای اوراسیای هندوستان، با استفاده از GIS، اقدام به پهنه‌بندی سیل کرده و مدیریت سیل بر اساس این نوع پهنه‌بندی را روش غیر سازه-ای مفید در کنترل سیل معرفی کردند [۳]. کوریا و همکاران (Correia et al., ۱۹۹۹) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های هیدرولوژیکی و هیدرولیکی، در دشت‌های سیلابی که با توسعه شهری همراه است و در معرض خطر سیل قرار دارند، تأثیر کنترل کاربری اراضی در کاهش خطر سیل را ارزیابی و در ادامه اقدام به پهنه‌بندی و آنالیز سیل کردند [۴].

سیناکودان و همکاران (Sinakudan et al., ۲۰۰۳) با استفاده از GIS و نرم‌افزار Arcview اقدام به تهیه نقشه خطر سیل برای رودخانه پاری در مالزی نمودند [۵]. ویلاریل و همکاران (Villarreal et al., ۲۰۰۴) مطالعاتی جهت مدیریت سیلاب درون شهری در یک حوضه حومه شهری انجام دادند. سیستم مورد استفاده شامل ایجاد پوشش فضای سبز، مخزن و کانال باز می‌باشد که به صورت سری اجرا گردیده‌اند [۶]. فلیپ و همکاران (Felip et al., ۲۰۰۶) با مطالعه رکوردهای تاریخی درازمدت از بارندگی، رواناب و دیگر عوامل اقلیمی، برای تحقیق در تمایلات و تغییرات هیدرولوژیکی در حوضه آبریز رودخانه ولتا (واقع در غرب آفریقا) در دوره زمانی ۱۹۱۰ تا ۲۰۰۲ بررسی کرده‌اند. یافته‌های تحقیق نشان داد عوامل اقلیمی (شدت بارندگی، نوع بارش و دمای هوا) تأثیر مهمی در چگونگی سیل (شدت و دوام) در ارتباط با ویژگی‌های هیدرولوژیکی حوضه (شکل حوضه، جنس زمین، شیب و کاربری اراضی) دارد [۷]. یاهایا (Yahaya, ۲۰۰۸) با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سیستم تصمیم‌گیری چندمعیاره اقدام به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوزه رودخانه هادیجیا جاما نیجریه پرداختند. پارامترهای لحاظ شده در این تحقیق شامل بارندگی سالانه، شیب حوزه، تراکم زهکشی، پوشش زمین و نوع خاک است [۸]. فرناندز (Fernanddz, ۲۰۱۰) در آرژانتین با استفاده از GIS و MCDA روشی را برای بررسی پنج پارامتر ارتفاع از سطح دریا، شیب، فاصله از کانال-های زهکشی شهری، عمق آب زیرزمینی در محل چاه‌های پیرومتریک و کاربری شهری ابداع نمود که در آن برای رتبه

در کنار منافع قابل توجه ساخت سدها، شکست سد به عنوان یک حادثه خطرناک و غیرقابل جبران تلقی می‌شود. شکست یک سد مسئله هیدرولیکی است که در پی آن حجم زیادی آب مخزن سد به یکباره تخلیه شده و موجب ایجاد سیلاب عظیمی در پایین دست رودخانه می‌شود که در این حالت امواج بزرگ سیلاب زین‌های عظیمی در منطقه به وجود می‌آورد. لذا از این رو انجام تحلیل شکست سد و ارزیابی تبعات ناشی از آن برای تمامی سدها ضرورت دارد. از این رو پیش‌بینی می‌شود با در دست داشتن مشخصات سیلاب ناشی از شکست سد می‌توان اقدامات لازم جهت پیشگیری به منظور کاهش دادن خسارات جانی و مالی قبل از وقوع حادثه در پایین دست سد انجام داد. به طور کل سیلاب، می‌تواند ناشی از طغیان‌های رودخانه و بارش‌های طبیعی و یا ناشی از شکست سد باشد. در این راستا تعیین پهنه‌هایی که در معرض سیل قرار می‌گیرند و خسارت‌هایی که ممکن است در اثر وقوع سیل رخ بدهد، برای سیاست‌گذاری و مدیریت مناطق مورد نظر ضروری است. پهنه‌بندی سیلاب با استفاده از نرم‌افزارهایی صورت می‌گیرد که از امکانات GIS بهره می‌گیرند. تاکنون بیشتر مطالعات پهنه‌بندی سیلاب از نرم‌افزارهایی با قابلیت تحلیل یک‌بعدی انجام یافته است که در این پژوهش از نرم‌افزارهای دوبعدی استفاده خواهد شد. در این تحقیق خروجی حاصل از اجرای دو نرم‌افزار HEC-RAS^{۲D} و CCHE^{۲D} در بستر GIS پهنه-های در معرض خطر را مشخص نموده و در ادامه بر این اساس اقدام به بررسی مدیریت ریسک آن جهت کاهش خسارات محتمل آتی خواهد شد [۱].

از عوامل شکست سد می‌توان به پدیده ناگهانی سرریز شدن آب از روی سد به دلیل ناتوانی ظرفیت تخلیه سرریز، لغزش شیروانی خاکریز سد، پدیده ایجاد لوله در بدنه سد، اثر زلزله، روان‌گرایی سدهای خاکی، ایجاد موج ضربه‌ای در اثر ورود توده لغزشی به داخل مخزن و یا در اثر خراب‌کاری اشاره نمود که می‌تواند باعث ایجاد سیلاب در پایین دست سد شده و خسارات جانی و مالی زیادی را به همراه آورد [۲]. در کنار مطالعات مهندسی، اقتصادی، مطالعه شکست سد برای اعلام خطر به ساکنان جهت مدیریت و کنترل ریسک و کاهش تبعات آن یکی از نیازهای اساسی است که به کمک مدل‌سازی شکست سد صورت می‌گیرد. مدل‌سازی جریان ناشی از شکست ناگهانی سد یا به عبارت دیگر بررسی زمان رسیدن موج

درصد در پهنه‌ی خطر زیاد، ۲۵ درصد در پهنه‌ی خطر متوسط و ۱۵ درصد در پهنه‌ی کم‌خطر از لحاظ سیل‌گیری قرار دارد. نصری و سبزی (۱۳۹۰) سیلاب‌ها و شبکه‌ی مسیل‌های تأثیرگذار به شهر زواره در شهرستان اردستان اصفهان را با توجه به برنامه‌ریزی شهری مورد مطالعه قرار داده و نشان دادند با شناخت وضعیت مسیل‌ها، دبی جریان و ویژگی‌های مورفومتری حوضه آبریز مشرف به شهر، می‌توان برای ایمن‌سازی شهر برنامه‌ریزی کرد [۱۵]. مسعودیان و همکاران (۱۳۹۳) در پژوهشی به بررسی کاهش خسارت سیلاب شهری با استفاده از مدیریت غیر سازه‌ای در شهر نکا با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS و مدل شبیه‌سازی پرداخته و به این نتیجه دست یافتند که عامل اصلی تشدید سیلاب در این شهر گرفتگی دهانه پل بر اثر سیلاب اولیه و عدم پاک‌سازی آن در سیلاب بعدی بوده است [۱۶]. قاسمی و همکاران (۱۳۹۳) بررسی سیل‌خیزی و تعیین عوامل مؤثر در آن در حوضه‌ی رودخانه بالقلی چای با استفاده از تکنیک RS، GIS و AHP را انجام دادند [۱۷]. محمودزاده و همکاران (۱۳۹۴) ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر تبریز با استفاده از AHP را با هدف بررسی میزان خطرپذیری سیلاب و ارزیابی خسارت وارده به شهر تبریز انجام دادند. پارامترهای مورد بررسی کاربری اراضی، تراکم جمعیت، مسیل‌ها، طبقات شیب، تراکم مسکونی، ضریب CN، ضریب رواناب، تراکم جمعیت، فضای باز و قدمت ابنیه بوده است؛ ایشان نشان دادند حدود ۳/۴۳ درصد از محدوده نقشه در پهنه خطر خیلی زیاد قرار دارد که در مقایسه با نقشه ارزیابی خسارت ۸۵ درصد منطبق با شدت سیل‌گیری می‌باشد [۱۸].

بیرانوند (۱۳۹۵) در پژوهشی با استفاده از روش SCS اقدام به پهنه‌بندی خطر سیلاب در حوضه آبخیز خرم آباد کرده است. جهت انجام این کار از فاکتورهای ارتفاع، بارش، شیب، جهت شیب، کاربری اراضی، شماره منحنی، ضریب نگهداشت سطحی، ارتفاع رواناب و نقشه پهنه‌بندی نهایی استفاده شده است. نتایج بدست آمده بیانگر چهار کلاس متفاوت برای حوضه خرم آباد می‌باشد. کلاس اول مناطق با خطر کم مناطق نفوذپذیر و شامل مناطق دشتی حوضه، مناطق دوم با خطر متوسط این مناطق دارای سازندهای سست دارای شیب ملایم رو به زیاد می‌باشد. مناطق سوم مناطق با خطر زیاد دارای سازندهای سخت و مقاوم می‌باشند. مناطق چهارم مناطق با

دهی به پارامترها از پرسشنامه و روش AHP استفاده نمود. پس از انجام آنالیز حساسیت با استفاده از اطلاعات موجود، به تهیه لایه‌های مربوط به پنج پارامتر مذکور پرداخته و سپس در نتیجه‌ی روی هم‌اندازی این لایه‌ها به نقشه‌ی پهنه‌بندی شهر مورد مطالعه رسید [۹].

قامدی و همکاران (۲۰۱۲، Ghamedi et al.) مکه را با استفاده از آنالیزهای مکانی در GIS از نظر خطر سیل گرفتگی بر پایه‌ی دو سیل مهم سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۱۰ پهنه‌بندی کردند و نقشه‌ی پتانسیل سیلاب شهری را در مناطق مختلف آن به دست آوردند [۱۰]. موسوی بیگی و همکاران (Mousavi Baygi et al., ۲۰۱۲) در هند با استفاده از تکنیک GIS و روش مجموع رتبه‌ها ابتدا با در نظر گرفتن وزنی برای عوامل هیدرولوژی، شیب، نوع خاک، تراکم زهکشی و پوشش زمین نقشه‌ی خطر سیل را در سه کلاس تهیه کردند [۱۱]. استیونس و همکاران (Stevens et al., ۲۰۱۵) با موضوع تهیه نقشه خطر سیل برای شهرداری‌ها در بریتیش کلمبیا کانادا پرداخته و مواردی چون روش جایگزین برای کاهش تلفات سیل که ترکیبی از تهیه نقشه خطر سیل و برنامه‌ریزی کاربری زمین در حوضه‌های شهری برای شناسایی و توسعه مستقیم به دور از مناطق سیل‌خیز باشد را ارائه می‌دهند [۱۲].

رحمتی و همکاران (Rahmati et al., ۲۰۱۵) در پژوهشی به منطقه‌بندی خطر زلزله در منطقه یاسوج ایران با استفاده از GIS و تجزیه و تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره پرداختند. نتایج نشان داد تکنیک AHP به‌ویژه در مناطق بدون داده مدلی دقیق و قابل اعتماد برای برآورد پتانسیل خطر سیل است. بنابراین روش AHP و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در این مقاله پیشنهاد شده است [۱۳]. روجا و همکاران (Rojas et al., ۲۰۱۷) در تحقیقی به بررسی فاجعه رشد شهری و سیل در ساحل حوضه رودخانه آندالیون در جنوب مرکزی شیلی (۲۰۱۱-۱۸۴۳) با استفاده از روش تحلیل تاریخی رسوبات، دوره بازگشت سیلاب و ارزیابی مخاطرات طبیعی با HEC-RAS پرداخته و به این نتیجه رسیدند CMA دومین منطقه بزرگ شیلی در ۵۰ سال گذشته ۲۱ بار وقوع سیلاب را به دلیل رشد مناطق مسکونی و شکل شهری آسیب‌پذیر تجربه کرده است [۱۴].

امیر احمدی و همکاران (۱۳۹۰) ریز پهنه‌بندی خطر سیلاب در محدوده شهر سبزواری را انجام داده و مشخص نمودند حدود ۱۵ درصد از محدوده نقشه در پهنه‌ی خطر خیلی زیاد، ۴۵

نرم افزار HEC-RAS^۲D برای محاسبه نیمرخ سطح آب استفاده می‌شود. همچنین در شبیه‌سازی جریان‌های پایدار و ناپایدار، محاسبه رسوبات انتقال یافته در سواحل و تحلیل کیفی آب نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. در تحلیل جریان‌ها، این مدل از توانایی تهیه نیمرخ سطح آب در شرایط فوق بحرانی و زیر بحرانی برخوردار است و نیز می‌توان ساختارهای هیدرولیکی از قبیل پل‌ها و بنادر را از طریق این نرم‌افزار مدل‌سازی نمود. به علت قابلیت‌های بالای این مدل از آن به‌طور گسترده برای مدیریت رودها و دشت‌های سیلابی بهره گرفته شده است [۲۱].

ایجاد و گسترش شکاف در نرم‌افزار Breach

اولین گام در آنالیز مسئله شکست سد بررسی نحوه ایجاد و گسترش شکاف در بدنه سد و به تبع آن تعیین هیدروگراف خروجی از ساختگاه سد در زمان شکست سد می‌باشد. در واقع این هیدروگراف خروجی از شکاف ایجاد شده در بدنه سد می‌باشد که لازم است در پایین‌دست سد روندیابی گردد تا میزان تهدید مناطق پایین‌دست مورد آنالیز قرار گیرد. از بین عوامل اصلی ایجاد شکاف و شکست در سدهای خاکی دو مورد سرریز جریان از روی سد^۱ و همین‌طور پدیده رگاب^۲ از اهمیت بالایی برخوردار بوده و سایر عوامل ایجاد شکست از جمله زمین لرزه، بمباران و خرابکاری، لغزش شیروانی و... در نهایت منجر به یکی از این دو حالت کلی خواهند شد. لذا در این تحقیق هیدروگراف خروجی از سد در حال شکست برای سناریو روگذری جریان از روی سد محاسبه می‌گردد که سناریوی روگذری جریان به سناریو روز طوفانی^۳ معروف است. در سناریوی حاضر فرض بر این است که تراز آب در ابتدا حداکثر مقدار بوده و دبی ورودی به مخزن سد PMF می‌باشد. با توجه به اینکه سد بارون ماکو از نوع سد خاکی می‌باشد، مسئله شکست ناگهانی آن منتفی بوده و بایستی به صورت شکست تدریجی^۴ مورد بررسی قرار گیرد؛ در شرایط خاص نیز می‌تواند شکست بطور ناگهانی باشد. در سایر مدل‌های عددی تخمین اولیه برای پارامترهای شکاف براساس مشاهدات و آمار قبلی انجام می‌شود و گسترش شکاف اولیه خطی فرض می‌شود، حال آنکه در مدل Breach این فرضیات وجود نداشته و مدل کامل‌تری نسبت به سایر مدل‌ها محسوب شده و

خطر بسیار زیاد از نظر زمین‌شناسی بسیار سخت و غیر قابل نفوذ می‌باشند و مناطق مرتفع حوضه را شامل می‌شود [۱۹]. بررسی جریان سیلاب ناشی از شکست ناگهانی سدها را می‌توان برای اهداف گوناگونی از جمله در برنامه‌ریزی و طراحی سدهای جدید و در دست ساخت دانست همچنین برای طرح ریزی و بهسازی سدهای موجود به کار برد از جمله مهم‌ترین موارد ضرورت تحقیق اثر شکست سد بر پارامترهایی نظیر عمق آب پس از شکست سد در ناحیه پایین‌دست سد، سرعت آب پس از شکست سد به علت تخمین خرابی، زمان رسیدن آب به ترازهای مختلف در پایین‌دست در هر نقطه، مدت تداوم سیلاب ناشی از شکست سد در منطقه‌ی پایین‌دست سد، و مدیریت ریسک ناشی از شکست سد می‌باشد. در این تحقیق با بررسی هر یک از عوامل موثر در مقطع شکست سد بارون ماکو به عنوان مطالعه موردی، میزان تاثیر هر کدام از پارامترها در هیدروگراف خروجی به هنگام شکست تعیین خواهد شد. این نتایج را می‌توان در پهنه‌بندی و گسترش سیلاب پایین‌دست تعیین کرده و از زمان رسیدن امواج به پایاب به منظور کاهش خسارات مالی و جانی در پایاب در مدیریت برنامه‌ریزی کشور بهره برد. در این تحقیق با استفاده از قابلیت مدل‌سازی شکست سد و مدل دو بعدی جریان غیره دائمی در نرم‌افزار HEC_RAS^۲D و مدل دو بعدی CCHE^۲D به بررسی پارامترهای مؤثر در این فرآیند پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

نرم‌افزار GIS و HEC-RAS^۲D

سیستم اطلاعات جغرافیایی یک سیستم کامپیوتری است که از قابلیت تحلیل و نمایش اطلاعات جغرافیایی برخوردار می‌باشد. با وجود اینکه این ابزار در ابتدا برای فعالیت‌های کارتوگرافی مورد استفاده قرار می‌گرفت لیکن GIS بطور گسترده در طراحی و تحلیل امور مهندسی بخصوص در زمینه منابع آب، هیدرولوژی و هیدرولیک به کار گرفته شد. ابزار GIS با روی هم قرار دادن لایه‌ها و ایجاد محیط آنالیز داده‌ها، داده‌های جدید مکانی را بوجود می‌آورد. در نتیجه می‌توان بطور دیجیتالی نقشه‌هایی را تولید کرده و جدول‌بندی نمود و در کنار آن امکان تحلیل داده‌ها و تصمیم‌گیری سریع را میسر ساخت [۲۰].

^۲ Stormy day

^۴ Gradually breach

^۱ Overtopping

^۲ Piping

مناسبی را برای تولید انواع محصولات کشاورزی فراهم آورده است. شکل ۱ نمایی از سد ماکو را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نمایی از سد مخزنی بارون ماکو.

مدل‌سازی اولیه

تعیین مقاطع عرضی برای مدل‌سازی شکست سد برای شروع مدل‌سازی ابتدا باید هندسه و توپوگرافی منطقه تهیه و در دسترس باشد. شکل ۲ تصویر محدوده مطالعاتی و نقشه توپوگرافی منطقه را نشان می‌دهد که با توجه به اطلاعات سازمان USGS (سازمان نقشه‌برداری ایالت متحده آمریکا) بوده و فایل DEM با رزولوشن ۱۰ متر استفاده شده است. مدل رقومی ارتفاع DEM شبکه‌ای از سلول‌های با اندازه مورد نظر و دلخواه می‌باشد که در آن ارتفاع نقاط مختلف سطح زمین با مقادیر عددی مختلف در سلول‌ها نشان داده می‌شود و هر سلول در واقع نشان دهنده قسمتی از سطح زمین می‌باشد.

در این مدل حدود ۲۰ کیلومتر از مسیر جریان رودخانه بارون‌رود واقع در پایین‌دست سد مورد مطالعه قرار گرفته است. مقاطع عرضی در نظر گرفته شده بر روی مسیر رودخانه با توجه به تغییرات ارتفاع در نظر گرفته شده است.

بر اساس روابط هیدرولیک جریان و رسوب و مکانیک خاک بنا شده است.

نرم‌افزار CCHE2D

مدل CCHE2D یک مدل دو بعدی می‌باشد که توسط موسسه NCCHE توسعه یافته و قادر است اطلاعات مکانی و زمانی را در محدوده وقوع سیل مدل کند. مدل دوبعدی CCHE2D مدلی توانمند در تحلیل شکست سد می‌باشد. در جایی که اطلاعات و زمان محدود باشد، این مدل به سرعت نتایج مکانی مربوط به عمق سیلاب ناشی از شکست سد و همچنین سرعت حرکت موج سیل و مدت زمان پیمایش سیل در پایین‌دست سد را محاسبه و نمایش می‌دهد. در این تحقیق ضمن بررسی عوامل مختلف موثر در این زمینه، گستره‌ی سیل‌گیر به هنگام وقوع سیلاب ناشی از شکست سد بر اثر شکست ناگهانی و تحت روگذری جریان با استفاده از مدل CCHE2D بررسی شده است. مدل CCHE2D که یک مدل دو بعدی است، قادر است همه داده‌های مکانی و زمانی را در محدوده وقوع سیل مدل کند [۲۲].

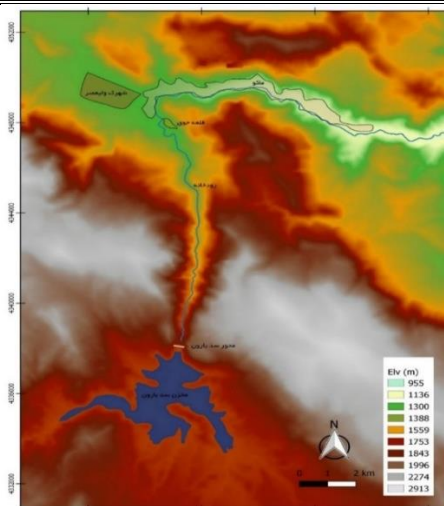
مطالعه موردی: سد بارون ماکو

سد خاکی ماکو بر روی رودخانه زنگمار در شمال غربی استان آذربایجان غربی و در فاصله ۳۸ کیلومتری جنوب شهرستان ماکو و یک کیلومتری روستای بارون احداث گردیده است. رودخانه زنگمار رودخانه‌ای دائمی است که از کوه‌های مرزی ایران و ترکیه سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه از پیوستن دو رودخانه قزل‌چای و امامقلی به وجود آمده و نهایتاً در شهرستان پلدشت به رودخانه ارس می‌پیوندد، وجود دشت حاصلخیز پلدشت در پایین‌دست سد این امکان را به وجود آورده تا بخش قابل توجهی از اراضی این دشت از آب کشاورزی مطمئن بهره‌مند گردد، ضمن اینکه کیفیت مناسب آب این رودخانه نیز باعث شده تا بخش قابل توجهی از آب شرب شهرستان ماکو از مخزن این سد تامین شود. محدوده مصرف آب اراضی زراعی واقع در دو سوی رودخانه زنگمار در پایین‌دست سد ماکو تا ساحل رودخانه ارس می‌باشد؛ لذا هدف اصلی احداث سد ماکو تأمین آب کافی برای بهبود و توسعه کشاورزی در دشت پلدشت به وسعت حدود ۱۵ هزار هکتار بوده است. وضعیت اقلیمی منطقه و منابع آب و خاک موجود شرایط

و کل مراحل پیش‌پردازش بر روی تصاویر انجام شده است. شکل ۳ مربوط به تصویر ماهواره‌ای منطقه و محدوده مطالعاتی می‌باشد که مناطق مسکونی، رودخانه و مخزن سد در آن مشخص است.

تعیین ضریب زبری

ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها، یکی از عوامل مورد نیاز برای مطالعات مهندسی رودخانه می‌باشد. عوامل مختلفی بر زبری هیدرولیکی رودخانه مؤثر است؛ با توجه به نقشه‌های زمین‌شناسی موجود از منطقه در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ منطقه مورد مطالعه به ۵ بازه برای تخصیص ضریب زبری مانینگ تقسیم‌بندی شده و با استفاده از اطلاعات مربوط به نشریه ۶۸۸ تعیین ضریب زبری هیدرولیکی رودخانه‌ها ضرایب زبری در نظر گرفته شده و سپس با صحت‌سنجی نرم‌افزار HEC-RAS۲D این ضرایب تجربی اصلاح و پایداری کامل مدل حاصل شده است. مقادیر ضریب زبری برای بازه‌های مختلف در جدول ۱ ارائه شده است. شکل ۴ بازه‌های انتخاب شده را نمایش می‌دهد.



شکل ۲. محدوده مطالعاتی و نقشه توپوگرافی منطقه.

تعداد مقاطع در نظر گرفته شده برای مسافت ۲۰+ کیلومتر از پایین‌دست سد ۱۵۶ مقطع می‌باشد. در نهایت فایل مورد نظر آماده شده در GIS برای فراخوانی در محیط HEC-RAS۲D به‌دست می‌آید. برای پوشش دادن کل محدوده از پیش تعریف شده از تصاویر با کیفیت بالای Google Earth استفاده گردیده

جدول ۱. مقادیر ضریب زبری انتخاب شده برای بازه‌های مختلف.

بازه	شماره مقاطع در هر بازه	طول مسیر در هر بازه (کیلومتر)	کانال اصلی	سواحل (راست و چپ)
بازه ۱	۱۵-۱	۱	۰/۰۱	۰/۰۳
بازه ۲	۶۴-۶	۹	۰/۰۴	۰/۰۵
بازه ۳	۸۴-۶۴	۲/۵	۰/۰۵	۰/۰۱
بازه ۴	۱۳۰-۸۵	۴/۵	۰/۰۵	۰/۰۵
بازه ۵	۱۵۶-۱۳۱	۳	۰/۰۲۵	۰/۰۲۵

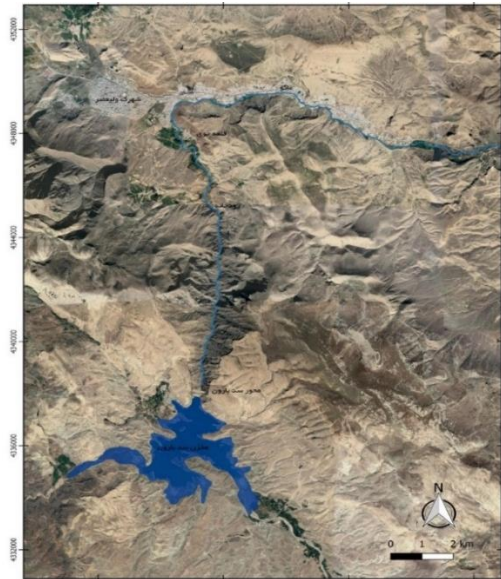
جریان حاصل از شکست سد، مقدار ناچیزی است و مقدار دقیق آن تأثیری بر روند مدل‌سازی ندارد. شرایط اولیه برای بازه‌ی آخر عمق نرمال (برای شکل‌گیری واقعی عمق جریان در خروجی) در نظر گرفته شد، زیرا زمانی که اطلاعات دقیقی از شرایط مرزی در منطقه پایین‌دست وجود نداشته باشد از تراز نرمال به عنوان شرط مرزی استفاده می‌شود. این امر سبب می‌شود شیب سطح آب با شیب کف زمین برابر باشد. کارکرد شیب نرمال با استفاده از معادله مانینگ برای محاسبه عمق برای هر دبی است که در این تحقیق حدود ۰/۰۰۲ محاسبه گردید.

شبکه بندی میدان حل

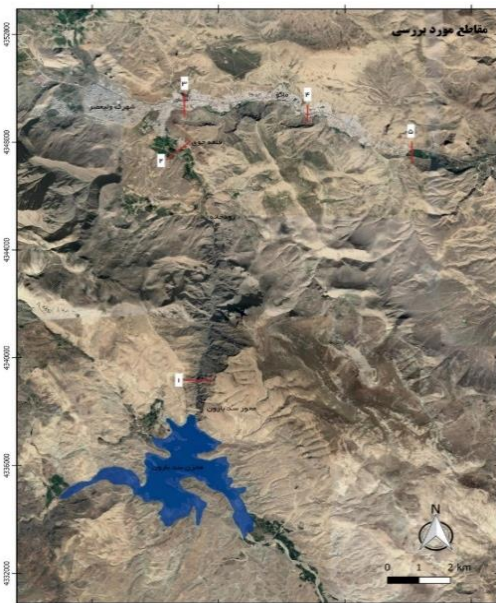
با توجه به وسعت بسیار زیاد منطقه، استفاده از شبکه‌های ریز عملاً امکان پذیر نبوده است از اینرو شبکه‌بندی بر اساس محدوده سیلاب محتمل و به صورت المان‌های ۱۵ در ۱۵ متری در نظر گرفته شده است. اما نکته مهم در مدل HEC-RAS آن است که این نرم‌افزار هر مرز المان را به صورت سطح مقطع فرض می‌کند، از این‌رو استفاده از المان‌های ۱۵ متری عملاً نتایج بسیار قابل قبولی را خواهد داشت. مطالعاتی به دو بخش تقسیم‌بندی شده است؛ بخش اول مربوط به مخزن سد بارون و بخش دوم مربوط به پایین‌دست سد بارون تا انتهای محدوده مطالعاتی می‌باشد. شبکه‌بندی استفاده شده در این سیستم و مدل ۱۵ متر هست که در کل شامل ۱۲ هزار شبکه محاسباتی خواهد بود.

پارامترهای شکست سد

یکی دیگر از پارامترهای مهم در مدل‌سازی شکست سد، عرض و عمق نهایی شکست در بدنه سد، و نیز مدت زمان نهائی شکست بدنه سد می‌باشد. روابط تجربی بسیاری برای تخمین این پارامترها وجود دارد. در مطالعات مختلف که توسط مهندسی HEC-RAS به انجام رسیده است از معادلات فرولیچ، مک دونالد، لانگریج-مونوپولیس و معادلات رگرسیونی ون سون استفاده شده است. معادلات رگرسیونی ون سون در مدل Breach که توسط دنی فرد (۱۹۹۸) توسعه داده شده (Hydraulic Reference Manual, ۲۰۰۸)، نیز استفاده شده است. با استفاده از روش‌های بالا، جواب‌های کاملاً متفاوتی برای پارامترهای شکست به‌دست می‌آید که به همین منظور بایستی مقادیر مختلفی برای پارامترهای شکست سد در مدل استفاده و با اجرای مدل



شکل ۳. تصویر ماهواره‌ای محدوده مطالعاتی.



شکل ۴. مقاطع عرضی مورد بررسی.

مقطع عرضی اول کمی پایین‌تر از محور سد در نظر گرفته شده است. مقطع عرضی دوم در ابتدای روستای قلعه جوق، مقطع سوم در ابتدای شهر ماکو، مقطع عرضی چهارم در اواسط شهر ماکو، و مقطع پنجم در انتهای شهر منظور گشته است تا خروجی‌ها در هر مقاطع عرضی مورد ارزیابی قرار گیرند.

شرایط اولیه و شرایط مرزی

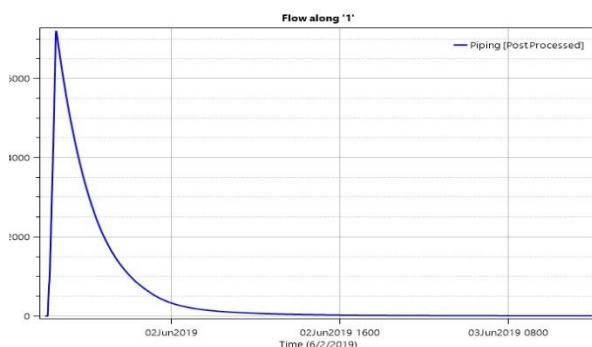
در مقطع شماره یک رودخانه دبی اولیه جریان حدود ۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است در مدل‌سازی جریان شکست سد، دبی اولیه با توجه به دبی

جدول ۲. مقایسه دبی (m^3/s) حاصل از حل عددی به روش مشخصه با مدل های HEC-RAS^{۲D} و CCHE^{۲D} بر حسب مدل لای و همکاران [۲۳].

دبی (مترمکعب بر ثانیه)			فاصله از ابتدا (متر)
مدل CCHE ^{۲D}	مدل HEC-RAS	روش مشخصه	
۳۹/۳۱	۳۹/۰۲	۳۹/۱۸	۵۰۰
۳۸/۶۹	۳۸/۱۶	۳۸/۵۸	۱۸۰۰

نتایج و بحث

ارزیابی تغییرات در مناطق پایین دست با نرم افزار HEC-RAS^{۲D} در این بخش نتایج حاصل از مدل سازی نرم افزار HEC-RAS^{۲D} به GIS منتقل شده و سپس با داده های زمینی و تصاویر ماهواره ای منطقه به صورت دو بعدی تلفیق گردیده اند. شکل ۵ هیدروگراف جریان ناشی از شکست سد در مقطع ۱ در سناریوی روشی نسبت به زمان را نشان می دهد. حداکثر دبی خروجی از سد برابر ۷۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه می باشد که ۱۵ دقیقه پس از شکست سد روی می دهد. به مرور زمان از شدت دبی خروجی از بدنه سد کاسته شده که بیشترین کاهش ۴۰ دقیقه پس از دبی پیک رخ داده و دبی خروجی به میزان حدود ۱۰۰ متر مکعب بر ثانیه می رسد و بعد از آن این میزان دبی خروجی تا تخلیه کامل مخزن تقریباً ثابت باقی می ماند. مدت زمان تخلیه مخزن حدود ۴/۵ الی ۵ ساعت پس از شکست سد می باشد. در تصویر ۶ بیشینه تراز سطح آبی رخ داده در محدوده بررسی نشان داده شده است. آنچه که از تصویر به دست می آید نشان از سطح آب در مخزن در تراز ۱۶۹۱ متر می باشد که با جاری شدن سیل در اثر شکست احتمالی سد تراز سطح آب در طول مسیر کاهش یافته و در نهایت به تراز ۱۰۴۲ متر در انتهای مسیر می رسد.



نتایج خروجی نسبت به پارامترهای ورودی حساسیت سنجی شوند. با توجه به پیچیده بودن فرآیند شکست سد تحلیل حساسیت یک ایده خوب برای شناسایی و ارزیابی حساسیت پارامترهای شکست می باشد.

مدل خرابی

سد به حالت های مختلفی می تواند دچار شکست شود که حالت پدیده ی رگاب^۱ و حالت روگذری از اصلی ترین آنها می باشند. در این تحقیق مدل خرابی به صورت روگذری در نظر گرفته شده است. در اثر سیلاب محتمل رخ داده دبی خروجی از سیلاب مستقیماً وارد مخزن سد بارون خواهد شد. به همین دلیل برای در نظر گرفتن اثر سیلاب تعیین دبی و هیدروگراف خروجی از سیلاب مهم بوده و در این تحقیق این آنالیز صورت گرفته است. لازم به ذکر است سیلاب محتمل بر سد بارون زمانی می تواند تأثیرگذار باشد که سناریو روز طوفانی اتفاق افتاده باشد و نوع شکست سد بارون از نوع سرریزی باشد. مشخصات هیدرولوژیکی، هیدرولیکی و سازه ای سد بارون به عنوان ورودی به مدل Breach وارد شده است. هیدروگراف خروجی از محل شکافت سد بارون به عنوان مطلوب ترین قسمت خروجی مدل در مورد سد بارون استخراج شده و به عنوان شرط مرزی بالادست وارد مدل HEC-RAS^{۲D} شده و برای پایین دست سد مورد روندیابی قرار گرفته است.

صحت سنجی مدل

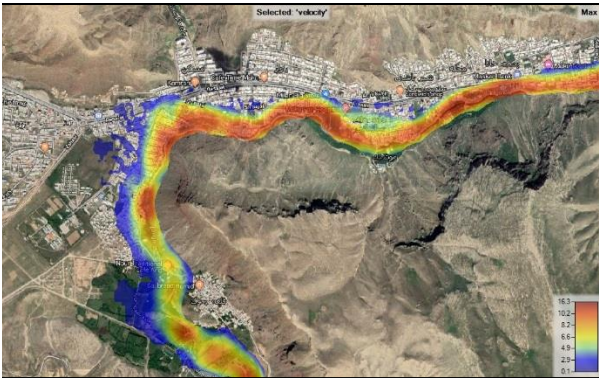
نرم افزار HEC-RAS^{۲D} یکی از اصلی ترین نرم افزارهای موجود برای شبیه سازی شکست سد می باشد که از سال ۲۰۰۴ تعداد بی شماری از شبیه سازی ها با استفاده از این نرم افزار صورت گرفته است. با این حال برای ارزیابی این نرم افزار از روش لای و همکاران (Lai et al., ۲۰۰۲) استفاده گردیده است [۲۳]. در این مقاله یک کانال فرضی با مقطع یکنواخت مستطیلی و ضریب زبری ۰/۰۲۵ و به طول کلی ۲۱۰۰ متر در نظر گرفته شده و با روش مشخصه حل گردیده است. در این راستا، همین مدل با نرم افزار HEC-RAS^{۲D} و CCHE^{۲D} نیز حل شده و نتایج حاصله با نتایج روش مشخصه موجود در مقاله مقایسه شده است. جدول ۲ مقایسه نتایج را نشان می دهد. بر حسب داده های جدول، نتایج مدل های عددی تطابق قابل قبولی با نتایج حل به روش مشخصه دارد.

^۱ Piping

شکل ۵. هیدروگراف خروجی از سد در مقطع ۱.



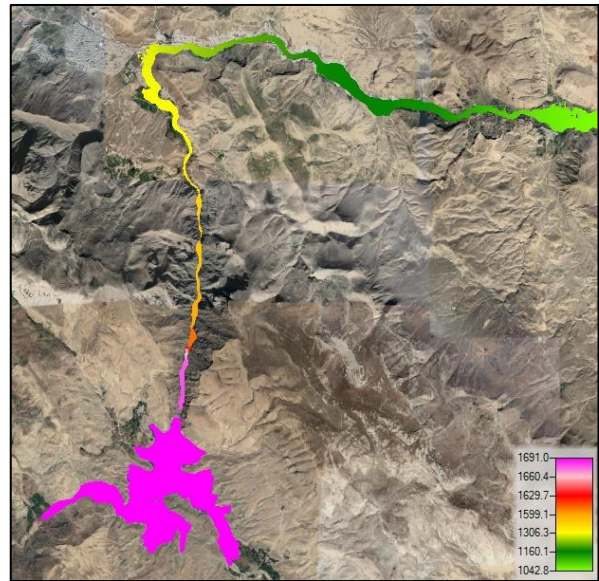
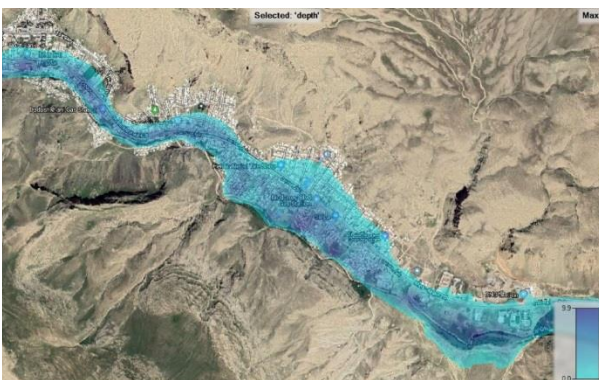
(الف)



(ب)

شکل ۷. (الف) عمق و (ب) سرعت سیلاب در محدوده مطالعاتی ۲.

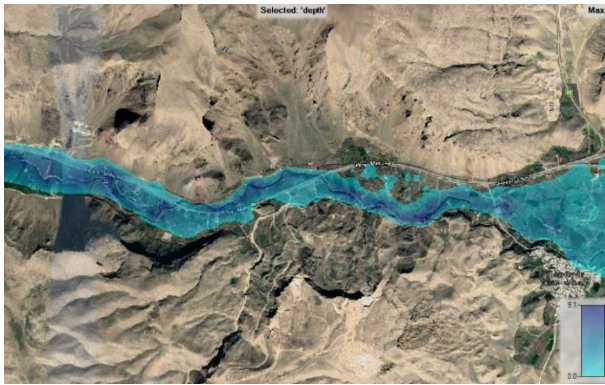
آنچه که مشهود است عمق‌های نزدیک به ۱۰ متر و سرعت‌های نزدیک به ۱۵ متر بر ثانیه در سناریوی یاد شده رخ می‌دهد و این گویای در خطر سیلاب قرار داشتن روستای قلعه جوق می‌باشد ولی احتمال به زیر آب رفتن کامل آن کم است. از سویی قسمت‌های ورودی شهر ماکو علی‌الخصوص در ساحل راست نیز در معرض خطر سیلاب با عمق حدود ۱۰ متر می‌باشند.



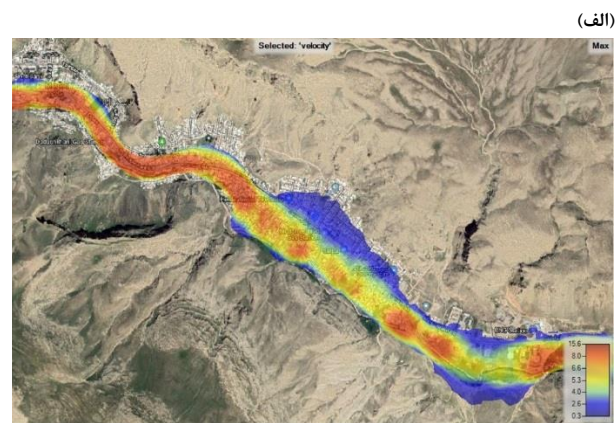
شکل ۶. بیشینه تراز سطح آب رخ داده در محدوده مورد بررسی.

نتایج اجرای مدل شامل زمان رسیدن پیک سیلاب به نقاط کلیدی پایین دست و عمق آب حداکثری در این نقاط در جدول ۳ ارائه شده است. در بخش محدوده‌های کنترل عمق و سرعت جریان در مناطق شهری محدوده مطالعاتی به لحاظ عمق و سرعت سیلاب در ۴ محدوده‌ی تعریف شده بررسی شده است. محدوده‌ی واقع از مقطع ۱ تا مقطع ۲ به دلیل اینکه شامل مناطق مسکونی، صنعتی یا کشاورزی نمی‌باشد مورد توجه قرار نگرفته است. در تصویر ۷ کانتور عمق و سرعت جریان در محدوده‌ی ۲ نمایش داده شده است.

مدت زمان رسیدن سیلاب به مقطع ۲ حدود ۶۰ دقیقه است، که به نظر می‌رسد این مدت زمان برای تخلیه ساکنان روستای قلعه جوق و شهرک ولیعصر کافی نباشد و چنانچه شکست سد سریعاً به اطلاع ساکنین منطقه رسانده نشود میزان تلفات جانی و مالی بسیار بالا خواهد بود. تصویر ۸ کانتورهای عمق و سرعت جریان را در فاصله‌ی بین مقطع ۳ تا مقطع ۴ نمایش می‌دهد.

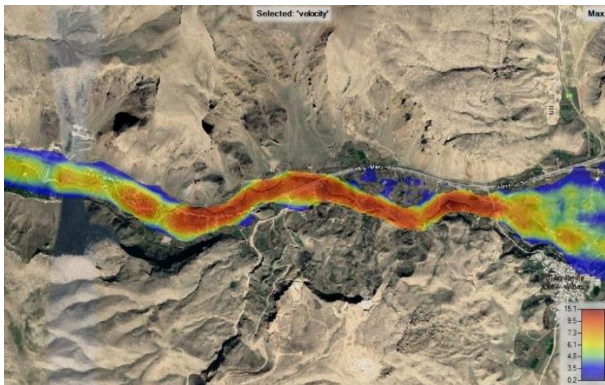


(الف)



(ب)

شکل ۸. (الف) عمق و (ب) سرعت سیلاب در محدوده‌ی مطالعاتی.



(ب)

شکل ۹. (الف) عمق و (ب) سرعت سیلاب در محدوده‌ی مطالعاتی.

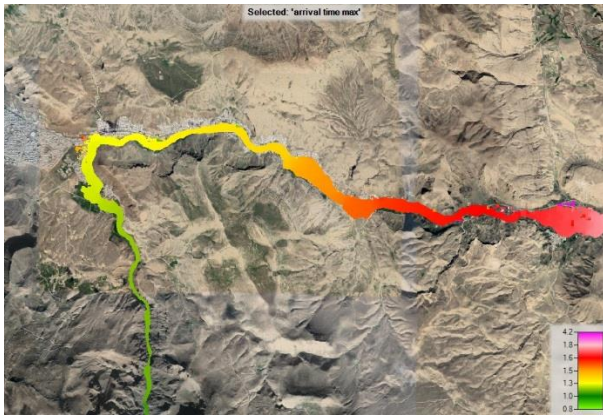
در محدوده سوم (مقطع ۳ تا ۴)، حداکثر عمق سیلاب حدود ۸ متر و سرعت جریان در اغلب نقاط مسیر حدود ۸ متر بر ثانیه است. فقط در قسمتی از مسیر در وسط رودخانه به دلیل تنگ‌شدگی مسیر سرعت جریان در یک مقطع کوتاه به ۱۵ متر بر ثانیه افزایش یافته است. لذا چنانچه متوسط سرعت جریان یعنی حدود ۱۰ متر بر ثانیه را به عنوان سرعت غالب جریان در نظر بگیریم حدود ۵۰ دقیقه زمان لازم خواهد بود تا سیلاب از ابتدای شهر ماکو به میانه‌ی آن برسد، که معادل با زمان ۱۴۰ دقیقه از زمان شکست سد است. این مدت زمان، زمان خوبی برای تخلیه‌ی ساکنین این منطقه خواهد بود. همچنین در این محدوده سواحل رودخانه خیلی تحت تأثیر سیلاب قرار نگرفته و سیلاب تنها از مقطع خود رودخانه مسیر را طی کرده و از این‌رو خسارات وارده به سیلاب‌دشت‌ها و سازه‌های واقع در آن کم خواهد بود.

تصویر ۱۰ عمق و سرعت جریان در محدوده‌ی انتهایی شهر را نشان می‌دهد.

در محدوده سوم (مقطع ۳ تا ۴)، حداکثر عمق سیلاب حدود ۹ متر و حداکثر سرعت جریان حدود ۱۳ متر بر ثانیه می‌باشد. در این محدوده نیز ساحل سمت راست وضعیت بحرانی داشته و خطر سیلاب در این محدوده بسیار زیاد می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده و نیز با توجه به تنگ بودن دره، بسیاری از مناطق مسکونی به زیر سیلاب رفته و شدت جریان بالایی در این منطقه به وقوع می‌پیوندد.

مدت زمان رسیدن سیلاب به محدوده‌ی ۳ از محدوده‌ی ۲ حدود ۳۰ دقیقه و پس از شکست سد حدود ۹۰ دقیقه می‌باشد. با توجه به عمق بالای سیلاب و سرعت زیاد جریان ناشی از شکست، ۹۰ دقیقه زمان کافی برای تخلیه نمی‌باشد، به خصوص اینکه این محدوده، محدوده‌ی شهری بوده و افرادی زیادی در آن ساکن است. می‌توان نتیجه گرفت در صورت وقوع شکست در سد بارون، خسارت مالی در این محدوده زیاد خواهد بود زیرا مناطق صنعتی شهرستان ماکو عمدتاً در این محدوده واقع است و علاوه بر خسارات جانی، خسارات مالی نیز در این محدوده بالا خواهد بود.

تصویر ۹ کانتورهای عمق و سرعت جریان را در فاصله‌ی بین مقطع ۴ تا ۵ نمایش می‌دهد.



شکل ۱۱. پهنه زمان رسیدن سیلاب.

مدیریت ریسک

عمق و سرعت جریان از مهم‌ترین فاکتورهای مورد نیاز برای بررسی اثرات یک سیلاب می‌باشد. با توجه به این که شاخص مخاطره تابعی از این پارامترها است، برای تخمین مقدار کمی آن تعیین عمق و سرعت جریان در هر نقطه‌ای از محدوده مورد مطالعه ضروری می‌باشد. تعاریف گوناگونی برای شاخص مخاطره وجود دارد که معمولاً به صورت زیر بیان می‌شود:

$$HR = f(h, V) \quad \text{USA} \quad (1)$$

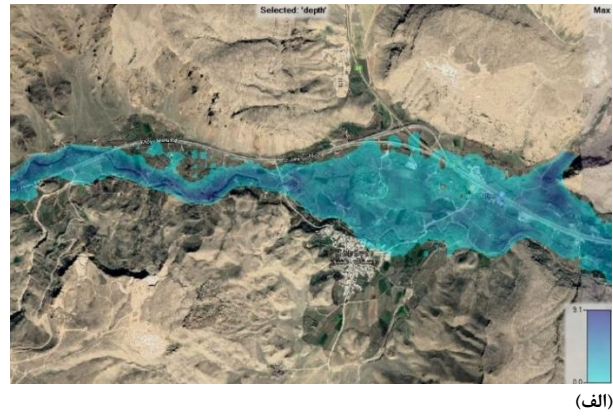
$$HR = f(h, v^2 / 2g) \quad \text{Austria} \quad (2)$$

$$HR = f(h, v \times h) \quad \text{Switzerland} \quad (3)$$

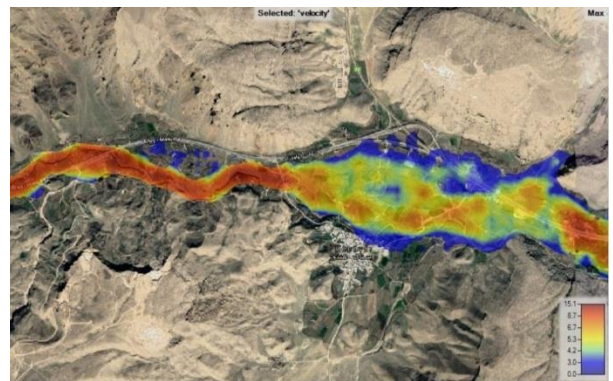
به منظور تلفیق دو متغیر سرعت جریان و عمق آب‌گرفتگی در بررسی نقشه‌های پهنه‌بندی سیلاب، در سال ۱۹۸۸، USBR اقدام به ارائه منحنی‌هایی نمود که میزان مخاطره در آن را مشخص می‌کرد.

با تعریف شاخص مخاطره و با استفاده از پهنه‌های سرعت و عمق جریان، دسته‌بندی مناطق به مناطق کم خطر، خطر متوسط و پرخطر انجام شده و اطلاعات جامعی از رفتار آسیب-زای سیلاب ناشی از شکست سد بارون استخراج شده است. با توجه به این که سناریوی مورد بررسی شکست تحت روگذری می‌باشد، در شکست تحت روگذری سیلاب حداکثر از مخزن سد خارج می‌شود.

در نقشه‌های شاخص مخاطره این محدوده هیدروگراف‌های سیل رودخانه بارون که در محل ایستگاه میر آباد با دوره بازگشت‌های مختلف استخراج شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. تعیین دوره بازگشت بستگی به سرمایه‌گذاری دولت برای حفظ جان مردم و حفاظت تأسیسات و همچنین اقتصاد ملی دارد. در شکل ۱۲ نقشه شاخص مخاطره در محدوده مورد مطالعه



(الف)



(ب)

شکل ۱۰. (الف) عمق و (ب) سرعت سیلاب در محدوده مطالعاتی ۵.

عمق سیلاب در حدود ۴ الی ۹ متر در این محدوده است که عمق ۹ متر در مسیر اصلی رودخانه بوده و عمق ۴ متر در سیلاب‌دشت‌ها مشاهده می‌شود. گسترش سیلاب به اطراف در برخی قسمت‌ها نیز زیاد بوده و مناطق بسیار زیادی تحت تأثیر این گسترش قرار خواهد گرفت، بدیهی است که با توجه به گستردگی سیلاب، عمق کم در این نواحی دیده می‌شود. همچنین با توجه به گسترش سیلاب در این قسمت‌ها، سرعت جریان در این نواحی کمتر شده و به حدود ۴ متر بر ثانیه رسیده است. در بالادست این مقطع سرعت جریان بسیار بالا بوده و در برخی نقاط حتی به ۱۵ متر بر ثانیه نیز رسیده است که سرعت بالایی بوده و اثرات مخرب زیادی در این محدوده خواهد داشت.

مدت زمان رسیدن سیلاب به انتهای شهر نیز حدود ۲ ساعت بوده و طبق مدل‌سازی‌های انجام یافته برای خروج سیلاب از بازه مطالعاتی که انتهای شهر ماکو می‌باشد در حدود چهار تا پنج ساعت زمان لازم است. تصویر ۱۱ زمان رسیدن سیلاب به نواحی مختلف را نمایش می‌دهد.

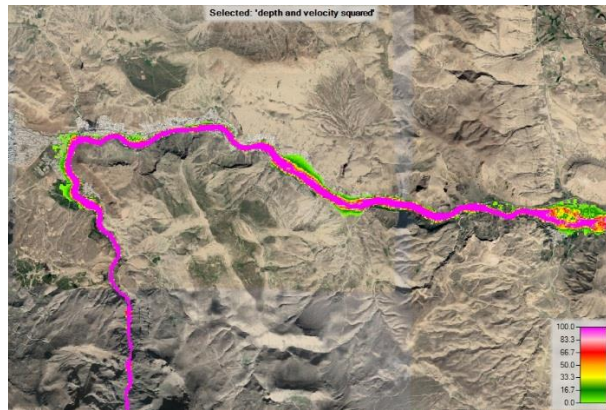
مسکونی، صنعتی و زمین‌های کشاورزی می‌باشد. همچنین با توجه به زمان کم رسیدن سیلاب به مناطق مسکونی، عدم اقدام به موقع موجب وقوع تلفات زیاد جانی نیز خواهد بود. نتایج اجرای مدل شامل زمان رسیدن پیک سیلاب به نقاط کلیدی پایین دست و عمق آب حداکثری در این نقاط در جدول ۳ ارائه شده است.

نشان داده شده است. این نقشه با الگوبرداری از عمق و سرعت جریان بدست آمده است. برای محاسبه شاخص مخاطره از رابطه زیر که در بسیاری از منابع و مراجع به عنوان اصلی ترین پارامتر در برآورد شاخص مخاطره می‌باشد، بهره گرفته شده است.

$$\text{Contour Color} = H \times V^2 \quad (4)$$

نتایج حاصله با نرم افزار CCHE^{2D}

در ادامه گستره‌ی سیل گیر به هنگام وقوع سیلاب ناشی از شکست سد بر اثر شکست ناگهانی و تحت روگذری جریان با استفاده از مدل CCHE-2D بررسی شده است. در این قسمت با در نظر گرفتن اولیت‌ها اعم از مناطق مسکونی و زمین‌های کشاورزی و مناطق صنعتی موجود در محدوده مورد مطالعه، پنج محدوده بصورت کامل مورد بررسی و آنالیز قرار گرفته است و سپس به آنالیز عمق و سرعت در حداکثر تراز آب این محدوده‌ها در سناریوی شکست تحت روگذری جریان پرداخته شده است. شکل ۱۳(الف) تراز سطح آب، شکل ۱۳(ب) عمق سیلاب و شکل ۱۳(پ) زمان رسیدن جریان سیلابی در محدوده‌ی مورد بررسی را نمایش می‌دهد. در جدول ۴ نیز تراز بیشینه، و زمان رسیدن سیلاب به نواحی مختلف با این نرم افزار ارائه شده است.

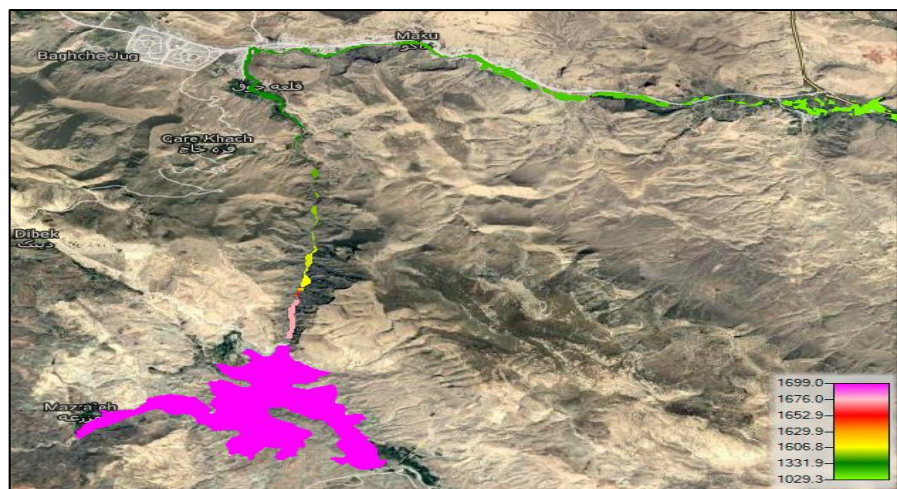


شکل ۱۲. پهنه شاخص مخاطره با الگوبرداری از عمق و سرعت جریان.

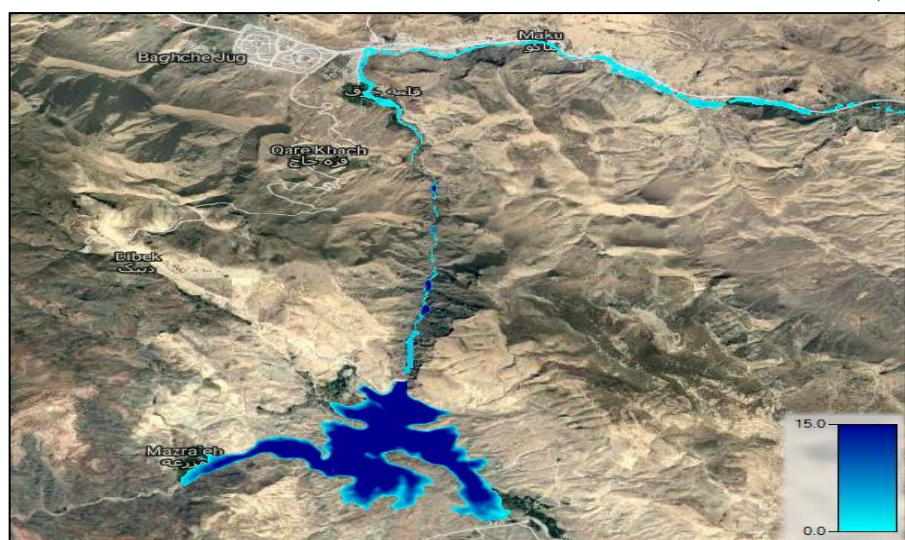
پهنه‌ی مخاطره بدست آمده نشانگر آن است بسیاری از مناطق با توجه به پهنه مخاطره که در محدوده ۱۰۰ قرار دارد در خطر شدید سیلاب قرار دارند. این محدوده عمدتاً در محور رودخانه بوده که حاصل تنگ بودن عرض دره و مسیر عبوری جریان می‌باشد و این امر باعث در خطر بودن بسیاری از مناطق

جدول ۳. زمان و عمق حداکثری در مناطق کلیدی پایین دست با نرم افزار HEC-RAS^{2D}.

مناطق پایین دست	فاصله از سد (کیلومتر)	زمان رسیدن سیلاب (دقیقه)	سرعت بیشینه سیلاب (متر بر ثانیه)	تراز بیشینه سیلاب (متر)
بلافاصله پس از سد	۱/۵	۱۰	۲۵	۱۶۸۴
روستای قلعه جوق	۵۶	۶۰	۱۵/۵	۱۳۴۰
ابتدای شهر ماکو	۷۰	۹۰	۱۳	۱۳۰۰
میانه شهر ماکو	۸۴	۱۴۰	۱۰	۱۱۷۰
انتهای شهر ماکو	۱۱۵	۲۴۰	۸	۱۰۴۱



(الف)



(ب)



(پ)

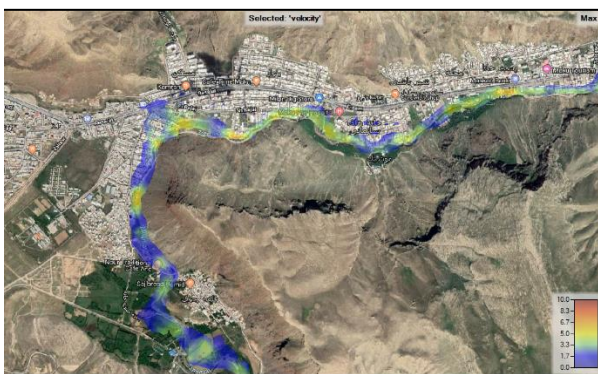
شکل ۱۳. (الف) بیشینه تراز سطح آب رخ داده در محدوده مورد بررسی (ب) عمق سیلاب در محدوده مورد بررسی (پ) زمان رسیدن سیلاب به نقاط مختلف در محدوده مورد بررسی.
جدول ۴. زمان و عمق حداکثری در مناطق کلیدی پایین دست در سناریوی روگذری با نرم افزار CCHE۲D.

مناطق پایین دست	فاصله از سد (کیلومتر)	زمان رسیدن سیلاب (دقیقه)	تراز بیشینه سیلاب (متر)
بلافاصله پس از سد	۱	۱۵	۱۶۸۹
روستای قلعه جوق	۱۰	۶۸	۱۳۴۳
ابتدای شهر ماکو	۱۲/۵	۱۰۷	۱۳۰۵
میانه شهر ماکو	۱۷	۱۸۰	۱۱۷۲
انتهای شهر ماکو	۲۰	۳۰۰	۱۰۴۵

مزایای تلفات مالی و جانی در این منطقه بسیار زیاد بوده و احتمال به زیر آب رفتن تمام زمین‌های کشاورزی اطراف روستا وجود دارد. با توجه به زمان ۶۰ دقیقه رسیدن سیلاب نیز، زمان کافی برای تخلیه دام و طیور این منطقه به‌طور کامل وجود نداشته و خسارات وارده در این زمینه نیز در این محدوده بیشتر خواهد بود.



(الف)



(ب)

شکل ۱۴. پهنای عمق و سرعت سیلاب در محدوده روستای قلعه جوق تا ابتدای شهر ماکو.

با توجه به شکل‌های فوق، قسمت سمت راست شهر به لحاظ درگیری با سیلاب وضع بحرانی داشته و میزان خسارات مالی و احتمالاً جانی در این نواحی بالا خواهد بود.

جدول ۵. مقایسه نتایج زمان رسیدن سیلاب و حداکثر عمق جریان در مناطق کلیدی پایین دست با نرم‌افزارهای HEC-RAS^{۲D} و CCHE^{۲D}.

با توجه به نتایج جدول فوق مشهود است که عمق سیلاب با نرم‌افزار CCHE^{۲D} بیشتر از مقدار متناظر آن در نرم‌افزار HEC-RAS^{۲D} تخمین زده شده است. این مساله به نفع پدیده بوده و باعث می‌شود ضریب اطمینان در تمام موارد دست بالا در نظر گرفته شود. در بحث زمان رسیدن سیلاب، زمان گسترش سیلاب اندکی بیشتر از مدل شبیه‌سازی شده با HEC-RAS^{۲D} تخمین زده شده است که البته با توجه به اختلاف کم در حدود ۵-۱۰ دقیقه، این زمان نمی‌تواند در محاسبات و نیز در تخمین شاخص مخاطره و نیز تخلیه مناطق مسکونی قابل توجه باشد. در مواقع نادری که تخریب سد اتفاق می‌افتد معمولاً کارهای کمی برای کاهش حجم عظیم سیلاب در پایین دست می‌توان انجام داد. حجم آب مخصوصاً جایی که سد بزرگتری وجود دارد حائز اهمیت است، زیرا در این شرایط سیل موجود باعث می‌شود سازه‌های کنترلی پایین دست به صورت مستغرق عمل کنند و سیلاب موجود به همراه سیلاب بالای جریان باعث تخریب سازه‌ای و فرسایش آنها می‌شود. از این رو مدلی که بتواند بطور صحیح عمق سیل و سرعت جریان را با داده‌های مکانی پیش‌بینی نماید و همچنین بتواند جزئیات زمانی دقیق این اطلاعات را نیز فراهم آورد، ابزاری حیاتی در تحلیل تخریب‌های ناشی از شکست سد خواهد بود، لذا به نظر می‌رسد شبیه‌سازی با نرم‌افزار CCHE^{۲D} نتایج قابل قبول تری ارائه دهد.

به عنوان نمونه در این قسمت پهنای عمق و سرعت جریان در محدوده روستای قلعه جوق تا ابتدای شهر ماکو در تصویر ۱۴ ارائه شده است.

بر حسب مقادیر تراز جریان، بیشترین تراز جریان در روستای قلعه جوق رخ داده و سپس تراز جریان در سایر مقاطع کاهش یافته و به مقادیر کمتری در مقاطع ۳، ۴، و ۵ رسیده است. بر حسب پروفیل طبیعی زمین نیز بیشترین عمق جریان در این راستا بوده و می‌توان نتیجه گرفت در صورت وقوع شکست،

مناطق پایین دست	زمان رسیدن سیلاب (دقیقه)		عمق سیلاب (متر)	
	HEC-RAS ^۲ D	CCHE ^۲ D	HEC-RAS ^۲ D	CCHE ^۲ D
بلافاصله پس از سد	۱۰	۱۵	۱۵	۲۱
روستای قلعه جوق	۶۰	۶۸	۸	۱۴
ابتدای شهر ماکو	۹۰	۱۰۷	۱۷	۱۱
میانه شهر ماکو	۱۴۰	۱۸۰	۴۰	۹
انتهای شهر ماکو	۲۴۰	۳۱۰	۷۰	۰/۵

مقایسه‌ی نرم‌افزارهای HEC-RAS^۲D و CCHE^۲D

با توجه به اینکه تمام پارامترهای مربوط به مدل‌سازی در این دو نرم‌افزار از قبیل شرایط اولیه و شرایط مرزی یکسان است، مشاهده شد نتایج در نرم‌افزار CCHE^۲D اندکی دست بالا تخمین زده شده است. در جدول ۵ مقایسه نتایج دو مدل ارائه شده است.

بر حسب نتایج جدول فوق مشاهده می‌شود اختلاف زمان در بازه‌های ابتدایی محدودی مورد بررسی در این دو نرم‌افزار محسوس نمی‌باشد اما با فاصله گرفتن از روستای قلعه جوق مقدار اختلاف نتایج حاصل از دو نرم‌افزار در مورد رسیدن پیشانی موج اختلاف محسوس دارد. این اختلاف از ابتدای شهر ماکو تا انتهای آن به خوبی قابل مشاهده است. اصلی‌ترین علت چنین اختلافی در نحوه‌ی شبکه‌بندی کردن مسیر در این دو نرم‌افزار می‌باشد. در نرم‌افزار HEC-RAS^۲D تعداد نقاط در نظر گرفته شده در یک مقطع محدود است و در صورتی که یک مقطع دارای پستی و بلندی‌های زیادی باشد، نرم‌افزار تنها ۳۰۰ نقطه را قادر است در یک بازه شناسایی کند و در صورتی که یک بازه از این تعداد بیشتر باشد، باید از عرض مقطع کاسته شود. ولی در نرم‌افزار CCHE^۲D چنین محدودیتی از نظر شبکه‌بندی وجود ندارد و می‌توان مقطع عرضی را تا چندین کیلومتر گسترش داد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت دقت شبکه‌بندی در نرم‌افزار CCHE^۲D بسیار بالا می‌باشد. همچنین برای بالارفتن دقت پردازش در محیط CCHE^۲D گام‌های زمانی در این تحقیق ۰/۰۱ ثانیه در نظر گرفته شده و پردازش مدل حدود ۱۵ ساعت به طول انجامیده است. بیشترین اختلاف از نظر زمان رسیدن پیشانی موج مربوط به بازه آخر، انتهای شهر ماکو، می‌باشد و علت این اختلاف همان طور که گفته شد وسیع‌تر کردن عرض شبکه‌بندی است. در انتهای شهر ماکو به دلیل پایین بودن ضریب زبری مانینگ و همچنین هموار بودن مسیر منطقه عمق آب کاهش پیدا کرده و بیشتر در مقطع عرضی گسترش می‌یابد.

نتیجه‌گیری کلی

در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزارهای HEC-RAS^۲D و CCHE^۲D به مطالعه جریان ناشی از شکست سد بارون ماکو پرداخته شد. از این رو برای ارزیابی بهتر نتایج، شکست سد در هر دو نرم‌افزار تحت سناریوی روگذری در نظر گرفته شدند. با توجه به مدل‌سازی صورت گرفته شده و نتایج بدست آمده با استفاده از نرم‌افزارهای HEC-RAS^۲D و CCHE^۲D می‌توان نتایج زیر را استنباط نمود:

نر

مافراز HEC-RAS^۲D نسبت به ضرایب زبری مانینگ به خصوص در مقادیر بالاتر از ۰/۰۵ حساسیت دارد، از اینرو شبیه‌سازی شکست سد فقط در حالتی می‌تواند مدل‌سازی شود و قابلیت مدل‌سازی پایین دست سد در حالت خشک را ندارد. نرم‌افزار HEC-RAS^۲D نسبت به تغییر ناگهانی شیب حساسیت دارد که برای برطرف کردن این حساسیت در این مناطق تعداد مقاطع عرضی باید افزایش داده شود.

ح

داکتر دبی خروجی از مقطع سد برابر ۷۲۰۰ مترمکعب بر ثانیه بوده و حدود ۱۵ دقیقه پس از فرآیند شکست سد رخ خواهد داد. در نرم‌افزار HEC-RAS^۲D با فاصله گرفتن از سد تغییرات عمق و مدت زمان رسیدن سیلاب ناچیز خواهد بود و دلیل آن می‌تواند به خاطر مقاطع دره‌ای در چند کیلومتر ابتدایی سد و تا قبل از ورودی شهر ماکو باشد و پس از هموار شدن مسیر تغییرات عمق به طور محسوسی کاهش پیدا می‌یابد.

ا

تفاوت‌های اصلی میان دو نرم‌افزار HEC-RAS^۲D و CCHE^۲D می‌تواند به نتایج مربوط به زمان رسیدن حداکثر دبی به نقاط مختلف پایین دست اشاره نمود. هر چند که در بعضی مناطق این نتایج درصد کمی اختلاف داشتند ولی در بعضی مناطق این نتایج کاملاً متفاوت است، که علت آن ناشی

- از شبیه‌سازی با دو مقطع عرضی متفاوت در نقاط مختلف مسیر است.
-
- ر نرم‌افزار HEC-RAS^{۲D} تعداد نقاط در نظر گرفته شده در یک مقطع محدود است و نرم‌افزار تنها ۳۰۰ نقطه را قادر است در یک بازه شناسایی کند. ولی در نرم‌افزار CCHE^{۲D} چنین محدودیتی از نظر شبکه‌بندی وجود ندارد و می‌توان مقطع عرضی را تا چندین کیلومتر گسترش داد.
-
- بیشترین اختلاف از نظر زمان رسیدن پیشانی موج مربوط به بازه آخر، انتهای شهر ماکو، بوده و دلیل آن وسیع‌تر کردن عرض شبکه مش‌بندی است.
-
- ر انتهای شهر ماکو به دلیل پایین بودن ضریب زبری مانینگ و همچنین هموار بودن مسیر بودن منطقه عمق آب کاهش پیدا کرده و بیشتر در مقطع عرضی گسترش می‌یابد.
-
- بق پهنه‌ی شاخص مخاطر خطر سیلاب در اکثر نواحی منطقه ۱۰۰ بوده که نشان می‌دهد در صورت رخداد شکست سد، میزان خسارات جانی و مالی بسیار بالا خواهد بود.
- ### منابع
- [۱] Shiri, M. (۲۰۱۸). Effect of different uneven bed topography on performance of pontoon type floating breakwater. M.Sc. Thesis, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran (In Persian).
- [۲] Feizizadeh, B., Blaschke, T., Nazmfar, H. Rezaei Moghaddam, M.H. (۲۰۱۳). Landslide susceptibility mapping for the Urima Lake basin, Iran, A Multi Criteria Evaluation Approach Using GIS. *Journal of Environmental Studies*, ۱۲(۳): ۲۲-۳۲.
- [۳] Liang, S. Mohanty. C.R.C. (۱۹۹۷). Optimization of GIS-based flood hazard zoning- a case study at mahandy command area in cuttack district. Orrisa. India. *Journal of Chinese Soil and Water Conservation*. ۲۸(۱): ۱۱-۲۰.
- [۴] Correia, F.N., Saraiva, M.D., Silva, F.N. Ramos, I. (۱۹۹۹). Floodplain management in urban developing areas. Part II. GIS-based flood analysis and urban growth modelling. *Water Resources Management*, ۱۳: ۲۳-۳۷.
- [۵] Sinnakaudan, S.K., Ghani, A.A., Kiat, C.C. (۲۰۰۳). Flood inundation analysis using HEC-۶ and ArcView GIS ۳.۲a. Final year project report, University of Science Malaysia, ۱۳۲ pp.
- [۶] Edgar, L., Villarreal, A.S. Bengtsson, L. (۲۰۰۴). Inner city storm water control using a combination of best management practices, *Ecological Engineering*, ۲۲(۴-۵): ۲۷۹-۲۹۸.
- [۷] Felipe, I., Dohm, J.M., Baker, V.R. (۲۰۰۶). Flood detection and monitoring with the Autonomous Science craft Experiment onboard EO-۱ Rem. *Sens. Environ*, ۱۰۱: ۴۶۳-۴۸۱.
- [۸] Yahaya, S. (۲۰۰۸). Multi criteria analysis for flood vulnerable areas in Hadejia-jama are river basin, Nigeria. Annual Conference Portland, Oregon. ASPRS ۲۰۰۸ Annual Conference Portland, Oregon. April ۲۸-May ۲, ۲۰۰۸.
- [۹] Fernández, D.S. Lutz, M.A. (۲۰۱۰). Urban flood hazard zoning in Tucumán Province Argentina, using GIS and multi criteria decision analysis. *Engineering Geology*, ۱۱۱: ۹۰-۹۸.
- [۱۰] Al-Ghamdi, Kh., Elzahrany, R. Meraj, M. Gomaa, D. (۲۰۱۲). Impacts of urban growth on flood hazards in Makkah City, Saudi Arabia. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, ۴: ۲۳-۳۴.
- [۱۱] Mousavi Baygi, S. M., Faridhoseini, A., Alizadeh, A. Inanlou. M. (۲۰۱۲). The Assessment of Fluctuations on Roughness Manning Coefficient for Prediction of Flood Flow Hydraulic (Case study: Atrak River). *Journal of Water and Soil*. ۲۶(۱); ۱۸۳-۱۹۲.
- [۱۲] Stevens, A.J., Clarke, D., Nicholls, R.J. Wadey, M.P. (۲۰۱۵). Estimating the long-term historic evolution of exposure to flooding of coastal populations, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, ۱۵: ۱۲۱۵-۱۲۲۹.
- [۱۳] Rahmati, O. Zeinivand, H. Besharat, M. (۲۰۱۵). Flood hazard zoning in Yasooj region, Iran, using GIS and multi-criteria decision analysis, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, ۷(۳): ۱۰۰۰ - ۱۰۱۷.
- [۱۴] Rojas, O., Mardones, M., Rojas, C., Martinez, C., Flores, L. (۲۰۱۷). Urban growth and flood disasters in the coastal river basin of south-central Chile (۱۹۴۳-۲۰۱۱), *Sustainability*, ۹(۲): ۲-۲۱.
- [۱۵] Amirahmadi, A., Keramati, S. Ahmadi, T. (۲۰۱۱). Flood risk zoning in Neishabour city for urban development. *Journal of Research and Urban Planning*, ۷(۲): ۹۱-۱۱۰.
- [۱۶] Masoudian, M., Fendereski, N. and GareGozlui, M. (۲۰۱۴). Reducing urban flood damage using non-structural management (Case study: Neka flood). *Journal of Watershed Management Research*, ۵(۱۰): ۱-۱۴.
- [۱۷] Ghasemi, A., Salajegheh, A. Malekian, A. and Esmaeili Ouri, A. (۲۰۱۴). Investigation of flooding and determination of effective factors in it in Balghilchai river basin using GIS, RS and AHP techniques, *Journal of Environmental Studies*, ۴۰(۲): ۳۸۹-۴۰۰.
- [۱۸] Mahmoudzadeh, H., Emami Kia., V. and Rasouli, A.A. (۲۰۱۵). Microzonation of flood risk in the city

- [۲۲] Arzanlou, A., Hassanzadeh, Y., Kardan, N. Hassanzadeh, M. (۲۰۱۶). Numerical investigation of Shahrchay earthen dam due to overtopping and mapping the flooded zone using two dimensional model of CCHE۲D. Journal of Irrigation and water Engineering, ۸(۲۹): ۱-۱۷.
- [۲۳] Lai, C., Baltzer, R.A. Schaffranek, R.W. (۲۰۰۲). Conservation- form equations of unsteady open Channel Flow. Journal of Hydraulic Research, ۴۰(۵): ۵۶۷-۵۷۸.
- of Tabriz using AHP method. Quarterly Geographical Research, ۳۰(۱): ۱۶۷-۱۸۰.
- [۱۹] Beyranvand, V. (۲۰۱۵). Flood risk zoning assessment in Khorramabad watershed. M.Sc Thesis, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
- [۲۰] Tale, E.C., Olivera, F. and Maidment, D. (۱۹۹۹). Flood plain mapping using HEC-RAS and ARC VIEW GIS. The University of Texas at Austin, ۲۲۳ P.
- [۲۱] Schismenos, S., Stevens, G.J., Georgeou, N., Emmanouloudis, D., Shrestha, S., Thapa, B.S. Gurung, S. (۲۰۲۲). Flood and renewable energy humanitarian engineering research: Lessons from Aggitis, Greece and Dhuskun, Nepal. Geosciences, ۱۲(۲): ۷۱-۸۵.