

تحلیل امواج ناشی از شکست سد و پهنه‌بندی دشت سیلابی با استفاده از مدل ریاضی (مطالعه موردی: سد و نیار)

یوسف حسن زاده^{۱*}، وحید نورانی^۱، وحید سپهری^۲، هادی دل افروز^۳، مهران حسن زاده^۴، فرهاد الماس پوره^۵

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۵/۱۸ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۲۴

- ^۱ استاد، عضو هیئت علمی گروه آب، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز
^۲ مربی، عضو هیئت علمی دانشکده فنی و حرفه‌ای پسران کردکوی امام علی، ایران
^۳ دانشجوی دکتری عمران-آب، دانشکده عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران
^۴ دانشجوی دکتری خاک و پی، دانشکده عمران، دانشگاه تبریز
^۵ کارشناس ارشد آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: yhassanzadeh@tabrizu.ac.ir

چکیده

در این تحقیق، مسئله شکست سد از نقطه‌نظرهای اهمیت، مکانیسم، تجزیه و تحلیل مکانی و زمانی و معادلات حاکم مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور، به‌عنوان گام نخست، هیدروگراف‌های خروجی از محل سد و نیار با استفاده از مدل شکافت تحت سناریوی فرضی (روگذری جریان) محاسبه گردیده است. در گام بعدی، روندیابی هیدروگراف‌های خروجی در پایاب رودخانه با استفاده از مدل HEC-RAS انجام پذیرفته است. متعاقب آن، ترازهای سطح آب و زمان‌های رسیدن پیشانی موج در کلیه مقاطع محاسبه گردیده‌اند. در نهایت با وارد کردن نتایج به‌دست‌آمده به سیستم اطلاعات جغرافیایی، پهنه گسترش سیلاب و نقشه‌های معرف مناطق سیل‌گیر پایاب ارائه گردیده است. نتایج حاصله نشان می‌دهند که در این سناریو (روگذری جریان)، به دلیل مکانیسم تدریجی تشکیل مقطع شکست، هیدروگراف‌های خروجی دارای شیب ملایم هستند. به‌علاوه، با توجه به شرایط ژئومورفولوژیکی و توپوگرافی دره میزبان در پائین‌دست مجاورت ساختگاه سد، قسمت اعظم توان هیدرولیکی سیلاب خروجی در این ناحیه بدون ایجاد خسارت‌های قابل‌توجه مالی گرفته می‌شود. لیکن، بررسی حاضر نشان می‌دهد که تعدادی از روستاها و تأسیسات واقع در پائین‌دست، به‌وضوح در معرض گسترش سیلاب قرار می‌گیرند. همچنین، بیشینه سیلاب‌دشت و زمان رسیدن پیشانی موج به پایاب محاسبه گردیده‌اند.

واژه‌های کلیدی: پهنه‌بندی، سد و نیار، سیستم اطلاعات جغرافیایی، شکست سد، روندیابی سیل

Dam-Break Flood Waves Analysis and The Floodplain Mapping using Mathematical Model (Case Study: Vanyar Dam)

Y Hassanzadeh^{1*}, V Nourani¹, V Sepehri², H Delafrouz³, M Hassanzadeh⁴, F Almaspoor⁵

Received: 9 August 2014

Accepted: 14 January 2015

¹-Prof., Dept. of Water Eng., Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran

²-Lecturer Tech and Vocational Faculty of Kordkuy Emam Ali, Iran

³-Ph.D Student, Dept. of Water. Eng., Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran

⁴-Ph.D Student, Dept. of Geo. Tech. Eng., Univ. of Tabriz, Tabriz, Iran

⁵-M.Sc, East Azarbayjan Regional Water Authority, Tabriz, Iran

*Corresponding Author, Email: yhassanzadeh@tabrizu.ac.ir

Abstract

In this research, the dam break problem has been presented from the viewpoints of importance, mechanism, spatial and temporal analyses as well as governing mathematical equations. For this purpose, the output hydrographs of the Vanyar dam site have been computed by breach model under a fictitious dam break scenario (overtopping) as the first step. In the next step, the output hydrographs have been routed through the downstream river by using HEC-RAS model. Then water levels and wave front arrival times have been computed at all cross sections. Finally the obtained results have been imposed to *Geographic Information Systems* in order to obtain the presentation of the results to develop floodplain maps. Considering the obtained results, the output hydrograph's shapes have moderate slope, because gradually breach mechanism occurs in the dam in this scenario. Furthermore, the power of the flood is considerably decreased without any significant financial damages under the geomorphological and topographical downstream conditions of the river close to the dam site. However, the study shows that some villages and installations in the downstream may be prone with some minor damages. Also the maximum flood plain and wave front arrival time at the downstream have been calculated.

Keywords: Dam break, Flood plain mapping, Flood routing, GIS, Vanyar dam.

مقدمه

(۱۳۸۳). متعاقب شکسته شدن چند سد بزرگ و پراهمیت جهان مانند سد تتون، مسئله شکست سد و اثرات انتشار امواج سهمگین در پایاب، مورد توجه بیشتر متخصصان و صاحب‌نظران قرار گرفته است (لبروتون ۱۹۸۵). دانستن تغییرات پارامترهای هیدرولیکی ناشی از شکست سد، نظیر عمق، سرعت،

جریان‌های ناشی از شکست سدها، اغلب تلفات جانی و مالی فراوانی به‌همراه دارند. با وجود منظور داشتن ضرایب اطمینان کافی در طراحی سدهای بزرگ و اعمال دقت لازم در ساختمان آن‌ها، احتمال وقوع شکستگی ناشی از طغیان رودخانه‌ها، پدیده رگاب، ضعف پی، زلزله و یا بمباران وجود دارد (حسن‌زاده

است. ماچیو و سیرانجیلو (۱۹۸۸)، با تحلیل مدل ریاضی شکست تدریجی یک سد خاکی ناشی از روگذری جریان، هیدروگراف خروجی را استخراج و با داده‌های تجربی بنوا و نیکوله (۱۹۸۳) مورد مقایسه و ارزیابی قرار داده‌اند. زانگ و همکاران (۱۹۹۲)، جریان‌های یک‌بعدی ناشی از شکست ناگهانی سد را با استفاده از روش‌های عددی و تجربی در یک کانال افقی با پایاب بدوا خشک مورد بررسی قرار داده‌اند. حسن‌زاده (۱۹۹۷، ۱۳۷۰)، تأثیر زبری بسترهای افقی با پایاب‌های خشک از یک‌سو و پایاب‌های مرطوب از سوی دیگر را در سرعت انتشار امواج ناشی از شکست ناگهانی سد، از دیدگاه‌های نظری و تجربی مورد بررسی قرار داده است. همچنین در یک تحقیق دیگر حسن‌زاده و همکاران (۱۳۸۲) و حسن‌زاده و رنجینه خجسته (۱۳۸۹)، به ترتیب تأثیر شیب و زبری بستر را در روند تحلیل مسئله شکست ناگهانی سد مورد مطالعه قرار داده و تغییرات سرعت انتشار امواج مثبت و خشک‌کننده را نسبت به زمان و مکان به شکل بی‌بعد تبیین و ارائه داده‌اند. فیضی خانکندی و همکاران (۲۰۱۲) نیز، تأثیر شکل هندسی مخزن را در جریان‌های ناشی از شکست سد به‌طور تجربی مورد مطالعه قرار داده‌اند. آن‌ها تغییرات سطح آب را با استفاده از حس‌گرهای اولتراسونیک و دوربین‌های سرعت بالا و تغییرات سرعت را با سرعت‌سنج داپلر (ADV) اندازه‌گیری کرده‌اند. هدف از این مقاله بررسی و تعیین پهنه گسترش سیلاب و زمان رسیدن پیشانی امواج سیلاب ناشی از شکست سد بر اثر پدیده روگذری جریان در سد و نیار بر روی رودخانه آجی‌چای آذربایجان شرقی، به‌کمک مدل‌سازی هیدرولیکی در شرایط جریان غیردائمی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی هست.

مواد و روش‌ها

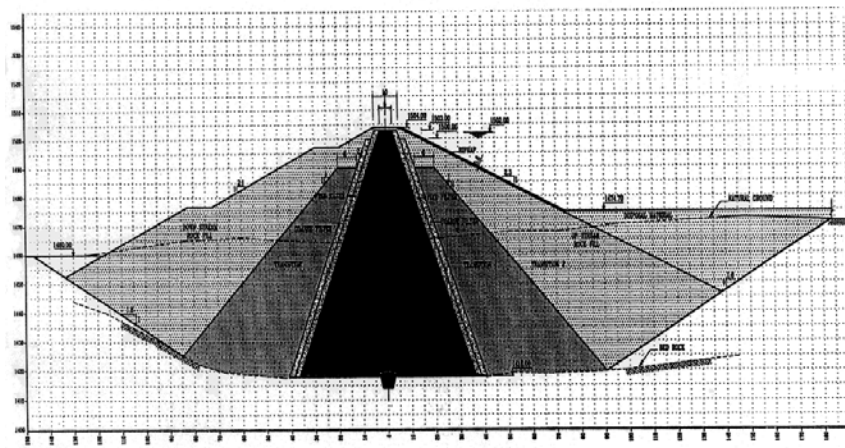
سد و نیار

رودخانه آجی‌چای از دامنه‌های جنوبی سبلان سرچشمه گرفته، از دره و نیار در شمال شهر تبریز عبور کرده، پس از دریافت آب‌های سرچشمه گرفته از

دبی و زمان رسیدن پیشانی موج به پایاب و بالاخره تعیین حریم و ترسیم نقشه پهنه گسترش سیلاب جهت کاهش خسارت‌های جانی و مالی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. بدین منظور در چند دهه اخیر، مطالعات عدیده‌ای از دیدگاه‌های نظری و تجربی با هدف تبیین مکانیسم شکست سد و روند تغییرات پارامترهای هیدرولیکی به‌صورت تابعی از زمان و مکان توسط محققان مختلف انجام پذیرفته است (حسن‌زاده ۱۳۸۳). با انجام آزمایش‌های شکست سد در مدل‌های هیدرولیکی، نتایج ارزشمندی در خصوص مکانیسم شکست و انتشار امواج به‌دست می‌آید. پس از بیان روش ترسیمی محاسبه جریان‌های متغیر غیردائمی توسط کرایا (۱۹۴۶)، ری (۱۹۴۶) اولین کسی بود که مسئله شکست سد را در یک مدل هیدرولیکی با این روش تحلیل نموده و تغییرات کمیت‌های هیدرولیکی عمق، سرعت و دبی جریان را در پایین‌دست شکست سد نسبت به زمان و مکان ارائه داده است. جریان‌های یک‌بعدی ناشی از شکست در یک کانال مستطیلی افقی زبر توسط درس‌لر (۱۹۵۲)، و در یک کانال افقی و شیب‌دار توسط لوبر و هاگر (۱۹۹۸) با لحاظ کردن زبری بستر مورد مطالعه قرار گرفته است. مسئله شکست سد در یک مدل هیدرولیکی شیب‌دار صاف و زبر توسط مهندسان ارتش آمریکا به‌طور تجربی مورد بررسی قرار گرفته و داده‌های متعدد آزمایشگاهی در خصوص تغییرات نیمرخ سطح آب نسبت به زمان و مکان ارائه گردیده است (بی‌نام ۲۰۰۲). فنما و چودهری (۱۹۸۷) مدل مک‌کورمک را هم‌زمان با روش بیم و وارمینگ برای شبیه‌سازی یک‌بعدی و دوبعدی جریان ناشی از شکست سد به کار بردند. گارسیا و ساویرون (۱۹۸۶) برای شبیه‌سازی شکست سد از روش کاهش مجموع تغییرات (TVD) گام‌های پیشگویی و اصلاح مک‌کورمک استفاده کردند. وو (۱۹۹۹) انتشار شوک را با اعمال روش نظری و انتگرال‌گیری تحلیل کرده است. تحقیقات جالب دیگری نیز اخیراً توسط وانگ (۲۰۰۰) با اعمال روش تفاضل محدود و به کمک شبیه‌سازی رایانه‌ای و چانسون (۲۰۰۸) با اعمال روش تحلیلی امواج لایه‌ای جهت بررسی شکست سد انجام گرفته

خورخور) به طول ۷۷ کیلومتر است که در موقعیت جغرافیائی $45^{\circ} 45'$ تا $45^{\circ} 50'$ طول شرقی و $37^{\circ} 43'$ تا $38^{\circ} 30'$ عرض شمالی واقع شده است. سد مخزنی و نیار در تراز نرمال بهره‌برداری با حجم حدود ۳۶۱ میلیون مترمکعب از نوع سنگریزه‌ای با هسته رسی ناحیه‌بندی شده با فرم مقطع نوزنقه‌ای مطابق شکل ۱ بر روی رودخانه آجی‌چای، در پنج کیلومتری شمال شرقی شهر تبریز به منظور تأمین آب کشاورزی اراضی دشت تبریز احداث شده است (بی‌نام ۱۳۸۴).

کوه سهند، به دشت تبریز وارد می‌شود و نهایتاً به دریاچه ارومیه در ۹۰ کیلومتری غرب تبریز می‌ریزد. عبور رودخانه از حاشیه شهر تبریز و مجاورت آن با روستاهای متعدد، صنایع، کارخانه‌های، تأسیسات، مراکز صنعتی و استراتژیک، اهمیت تعیین پهنه سیل‌گیر به هنگام وقوع هرگونه سیلاب را به‌منظور ارائه راهکارهای مناسب و انجام اقدامات مؤثر برای پیشگیری و مقابله با این پدیده روشن می‌سازد. محدوده مورد مطالعه رودخانه آجی‌چای از سد شهید مدنی (ونیار) تا بعد از پل جاده جزیره اسلامی (پل



شکل ۱- مقطع عمومی بدنه سد و نیار.

(سکوگند و همکاران ۲۰۰۱). در این سناریو فرض می‌شود که در ابتدا تراز آب بیشینه بوده و دبی سیلاب بیشینه محتمل، دبی ورودی به مخزن سد باشد. در این مورد برای مدل‌سازی از مدل شکاف که متداول‌ترین مدل در زمینه شکست تدریجی سدهای خاکی است، استفاده می‌شود. عملکرد مدل در شکاف نوع روگذری جریان این‌گونه است که با بیشتر شدن ارتفاع آب از ارتفاع سد، آب سرریز شده، روی شیروانی پایین‌دست، جریان یافته (مقطع A-A در شکل ۲) و باعث فرسایش می‌شود. با ازدیاد فرسایش یک آبراهه کوچک مستطیلی شکل ایجاد می‌شود. دبی ورودی به آبراهه، Q_b (ft^3/s)، از رابطه سرریزهای لبه‌پهن به شرح زیر محاسبه می‌گردد:

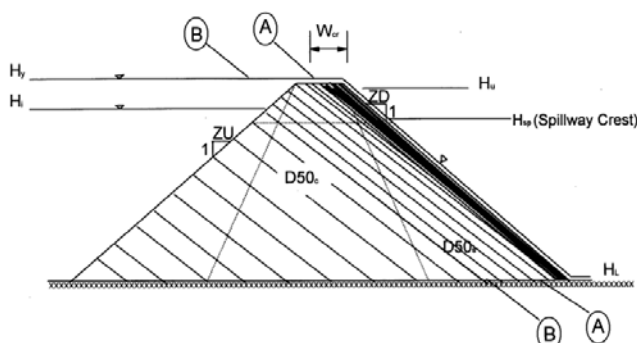
مکانیسم شکافت فرسایشی سدهای خاکی

شکست فرسایشی در سدهای خاکی و سنگریزه‌ای ممکن است ناشی از پدیده روگذری جریان در اثر ناکافی بودن ظرفیت تخلیه سرریز باشد. گام اول در تحلیل شکست سد، بررسی نحوه ایجاد و گسترش شکاف در بدنه سد و تعیین هیدروگراف سیلاب خروجی در زمان شکست هست. این هیدروگراف می‌بایست در پایین‌دست سد روندیابی گردد تا میزان گسترش سیلاب مناطق پایین‌دست تعیین گردد. با توجه به اینکه از میان عوامل ایجاد شکاف و شکست در سدهای خاکی، روگذری جریان اهمیت بیشتری دارد، لذا در این تحقیق هیدروگراف خروجی سد برای این سناریو محاسبه شده است. سناریوی مربوط به روگذری جریان، سناریوی روز طوفانی نامیده می‌شود

این فرسایش تا زمانی که مقطع A-A به مقطع B-B برسد ادامه یافته (شکل ۲) و بعد از این مرحله، گسترش شکاف در جهت قائم و به طرف بستر سد شروع می‌شود.

$$Q_b = 3.1 B_0 (H - H_c)^{1.5} \quad [۱]$$

که B_0 (ft) عرض شکاف، H (ft) ارتفاع آب در بلافاصله بالادست شکاف و H_c (ft) کد ارتفاعی کف شکاف می‌باشند (فرد ۱۹۸۸).



شکل ۲- مقطع سد در گسترش شکاف پدیده روگذری (فرد ۱۹۸۸).

وقتی فرسایش کف کانال به بستر می‌رسد، فرسایش در جهت قائم خاتمه یافته، لیکن فرسایش دیواره‌ها ادامه پیدا می‌کند.

تغییرات ارتفاع آب در مخزن ΔH برحسب فوت برای گام زمانی Δt بر حسب دقیقه با استفاده از معادله پیوستگی جریان به صورت زیر محاسبه می‌شود (فرد ۱۹۸۸):

$$\Delta H = \frac{0.0826 \Delta t}{\bar{S}_a} (\bar{Q}_i - \bar{Q}_b - \bar{Q}_{sp} - \bar{Q}_o) \quad [۴]$$

که در آن \bar{S}_a سطح دریاچه مخزن سد برحسب ایکر، \bar{Q}_i بیانگر دبی ورودی به مخزن، \bar{Q}_b دبی خروجی از شکاف، \bar{Q}_{sp} دبی خروجی از سرریز سد، \bar{Q}_o دبی سرریزی از تاج سد برحسب فوت مکعب بر ثانیه می‌باشند و علامت بار بیانگر مقدار متوسط کمیت‌ها در گام زمانی Δt هست. جریان در داخل کانال شکاف ایجاد شده را می‌توان با معادله مانینگ مدل‌سازی کرد. میزان ذرات فرسایش یافته نیز توسط معادله میر-پیتز و مولر (۱۹۴۸) محاسبه می‌گردد. از آنجایی که میزان دبی ورودی به شکاف به ابعاد شکاف بستگی دارد و برعکس، یک فرآیند تکراری در هر گام زمانی برای کامل شدن مدل در نظر گرفته می‌شود.

سرعت جریان در مقطع A-A از رابطه مانینگ محاسبه شده و فرسایش روی شیروانی موقعی شروع می‌شود که سرعت جریان از سرعت بحرانی که بر اساس خواص فیزیکی پوسته تعیین می‌شود، بیشتر گردد. در این حالت عرض اولیه شکاف B_0 (شکل ۳) از رابطه زیر محاسبه می‌شود (فرد ۱۹۸۸):

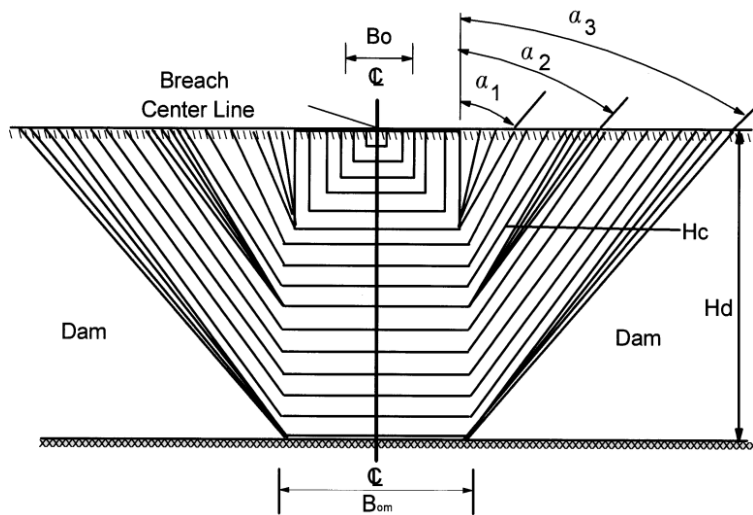
$$B_0 = 2h_c \quad [۲]$$

که در آن h_c عمق بحرانی را بیان می‌کند. در مقطع شکافت که همانند سرریز لبه‌پهن فرسایش پذیر رفتار می‌کند، جریان بحرانی برقرار می‌گردد که در آن عمق بحرانی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$h_c = \frac{2}{3} (H - H_c) \quad [۳]$$

در زمان‌های بعد، شکاف مستطیلی اولیه با ریزش دیواره‌ها به فرم نوزنقه‌ای درمی‌آید (شکل ۳). ریزش دیواره‌ها موقعی اتفاق می‌افتد که عمق کانال شکاف از عمق بحرانی h_c بیشتر گردد (فرد ۱۹۸۸).

فرسایش در کف و دیواره‌ها به جز در مواقع ریزش دیواره‌ها یکسان فرض می‌شود و وقتی دیواره ریزش می‌کند، مصالح آن توسط جریان شسته شده و سپس دوباره فرسایش کف آغاز می‌شود. در نهایت



شکل ۳- گسترش شکاف در پدیده روگذری (فرد ۱۹۸۸).

با استفاده از فرمول مانینگ محاسبه می‌شود و L' اثر اندازه حرکت جریان‌های جانبی را بیان می‌کند که عمود بر جهت جریان وارد و یا خارج شده هست. برای جریان‌های جانبی ورودی، $L' = 0$ ، جریان‌های جانبی خروجی از طریق رگاب $L' = -0.5q \frac{Q}{A}$ و جریان‌های خروجی موضعی $L' = -q \frac{Q}{A}$ لحاظ می‌گردد که در آن Q (cfs) دبی عبوری از مساحت مقطع تر شده، A (ft²) را نشان می‌دهند (فرد ۱۹۸۸). برای حل معادلات سنت-ونانت از روش تفاضلات محدود پس از گسسته نمودن آن‌ها به صورت چهار نقطه‌ای وزنی غیرصریح استفاده می‌شود.

شیب اصطکاک جداری S_f با استفاده از رابطه مانینگ به شرح زیر محاسبه می‌شود:

$$S_f = \frac{n^2 |Q| Q}{2.21 A^2 R_h^{\frac{4}{3}}} = \frac{|Q| Q}{K^2} \quad [7]$$

که در آن n بیانگر ضریب مانینگ، R_h شعاع هیدرولیکی و K ضریب انتقال کانال هست. شیب همگرایی S_e نیز با رابطه زیر توصیف می‌شود:

$$S_e = \frac{k \Delta \left(\frac{Q}{A} \right)^2}{2g \Delta x} \quad [8]$$

روندیابی سیلاب شکست

معادلات حاکم بر مسئله روندیابی جریان سیلاب ناشی از شکست سد را معادلات پیوستگی و دینامیکی در جریان‌های متغیر غیردائمی تشکیل می‌دهند که تحت عنوان معادلات سنت-ونانت مشهور هستند. این معادلات با لحاظ کردن عبارتهای اضافی مربوط به اثرات واگرایی یا همگرایی مقاطع، پیچ‌وخم‌ها در مسیر جریان و جریان‌های غیر نیوتنی (جریان‌های غلیظ یا چگال) در حالت بقای جرم و اندازه حرکت به ترتیب به صورت جامع زیر بیان می‌شوند:

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial [s(A + A_0)]}{\partial x} \pm q = 0 \quad [5]$$

$$\frac{\partial (\alpha Q)}{\partial x} + \frac{\partial (\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \left(\frac{\partial h}{\partial x} + S_f + S_e + S_i \right) + L' = 0 \quad [6]$$

که در آن h بیانگر عمق جریان، A سطح مقطع فعال، A_0 سطح مقطع غیرفعال که در آن سرعت جریان کم بوده و در معادله اندازه حرکت تأثیرگذار نیست، s ضریب پیچ‌وخم، q دبی جانبی در واحد طول کانال (علامت‌های مثبت و منفی به ترتیب برای جریان‌های ورودی و خروجی)، β ضریب تصحیح اندازه حرکت، S_f شیب اصطکاک، S_e شیب واگرا-همگرایی، S_i شیب اصطکاکی ناشی از حالت غیر نیوتنی و یا جریان غلیظ، L' اندازه حرکت ناشی از جریان جانبی، x فاصله در طول مسیر رودخانه و t زمان هست. شیب اصطکاکی S_f

موردنیاز HEC-RAS و نیز به‌عنوان ابزاری پس‌پردازشی برای پردازش اطلاعات و نتایج حاصل از مدل‌سازی هیدرولیکی برنامه HEC-RAS در محیط GIS استفاده شده است (تات و مد منت ۱۹۹۹). در گام نخست باید مشخصات هندسی رودخانه و داده‌های جریان غیردائمی و شرایط مرزی و اولیه را به‌عنوان داده‌های ورودی به برنامه HEC-RAS معرفی نمود. در این تحقیق به‌دلیل در دسترس بودن نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس‌های ۱:۲۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰، این نقشه‌ها برای تهیه مدل رقومی ارتفاعی از منطقه در محیط نرم‌افزار ArcViewGIS مورد استفاده قرار گرفته است تا با استفاده از این مدل، داده‌های هندسی مورد نیاز برنامه HEC-RAS شامل مشخصات هندسی رودخانه و مقاطع عرضی استخراج، در قالب یک فایل داده (فایل داده RAS-GIS) به نرم‌افزار HEC-RAS ارسال گردد. لازم به تذکر است که این فایل حاوی اطلاعاتی از قبیل شماره مشخصه رودخانه و مقاطع ایستگاه‌های مرزی مقاطع و غیره هست، ولی اطلاعات مربوط به سازه‌های هیدرولیکی موجود در مسیر اعم از پل، کالورت و بندهای انحرافی در این فایل داده گنجانده نمی‌شود (بی‌نام ۲۰۰۲). در گام بعد این فایل داده توسط نرم‌افزار HEC-RAS خوانده شده و پس از افزودن اطلاعات مربوط به سازه‌های هیدرولیکی موجود در مسیر و سایر موارد مورد نیاز مانند ضریب زبری رودخانه، ضرایب اُفت انبساط و انقباض مقاطع رودخانه، شرایط مرزی، برنامه جهت انجام محاسبات هیدرولیکی در حالت جریان غیردائمی اجرا گردید. سپس نتایج حاصل به محیط GIS فرستاده شد تا از آن‌ها مدل رقومی تراز آب ایجاد شود. در نهایت نقشه‌های پهنه سیلاب موردنظر از مقایسه و بررسی مدل رقومی زمین و مدل رقومی تراز آب در محیط GIS حاصل شد. در شکل ۴ رودخانه آجی‌چای که در محیط نرم‌افزار HEC-RAS مدل‌سازی شده، به همراه مقاطع عرضی مربوطه به تعداد ۵۲۳ مقطع نشان داده شده است.

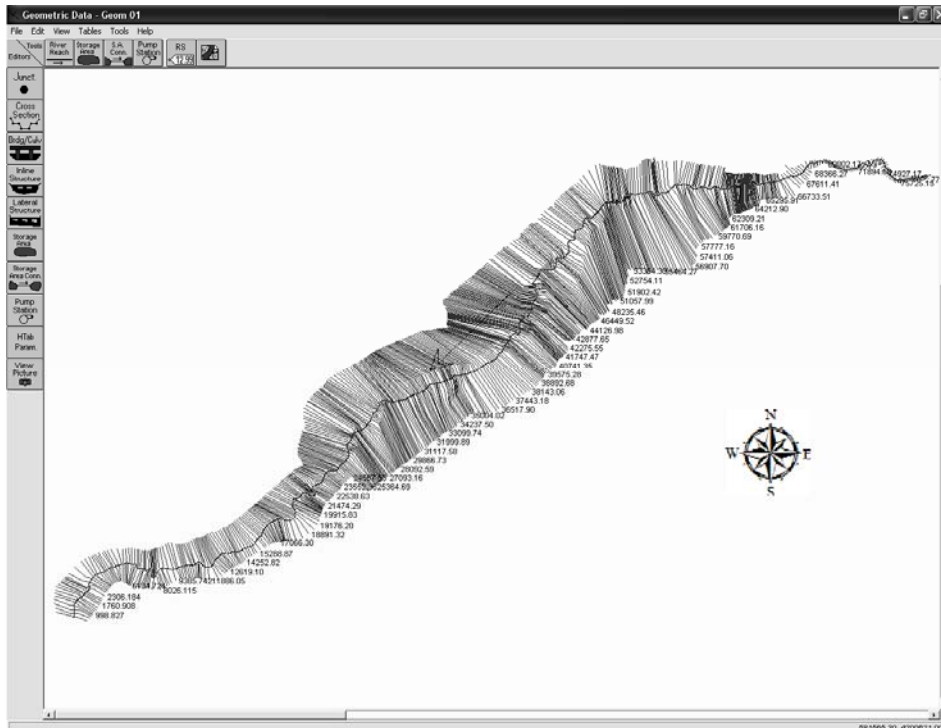
که در آن k نشانگر ضریب واگرا-همگرا است که بین ۰ تا ± 1 تغییر می‌کند (علامت مثبت برای همگرا و منفی برای واگرا است). $\Delta(\frac{Q}{A})^2$ اختلاف مقدار $(\frac{Q}{A})^2$ را بین دو مقطع متوالی به فاصله Δx بیان می‌کند. همچنین شیب اصطکاکی S_i ناشی از حالت غیر نیوتنی جریان نظیر جریان غلیظ و یا گل‌آلود، به کمک رابطه زیر قابل محاسبه است:

$$S_i = \frac{\gamma}{\gamma} \left[\frac{(b+2)Q}{AD^{b+1}} + \frac{(b+2)(\tau_0)^b}{2D^b} \right]^{\frac{1}{b}} \quad [9]$$

که در آن γ نشانگر وزن مخصوص مایع، τ_0 تنش برشی جریان مایع، D عمق هیدرولیکی (نسبت مساحت تر شده به عرض سطح آزاد جریان مایع)، χ ضریب لزجت ظاهری، $b = \frac{1}{m}$ که در آن m نمای تابع تنش-کرنش در جریان غلیظ هست. در این تحقیق از نرم‌افزار HEC-RAS برای روندیابی هیدرولیکی غیردائمی جریان استفاده شده است. این نرم‌افزار معادلات حاکم را با روش تفاضلات محدود چهار نقطه-ای وزن‌دار غیرصریح، با اعمال شرایط اولیه و مرزی مناسب و شرایط مرزی داخلی نظیر سرریزها، پل‌ها و غیره، با یک روش تکراری مناسب مثل روش نیوتن-رافسون، با توجه به غیرخطی بودن این معادلات حل می‌کند.

پهنه‌بندی سیلاب ناشی از شکست سد و نیار

جهت انجام مدل‌سازی از نرم‌افزار ArcViewGIS استفاده شده است. این نرم‌افزار از پرکاربردترین نرم‌افزارهای محیط GIS هست. با استفاده از این نرم‌افزار می‌توان اطلاعات توصیفی را با اطلاعات مکانی مرتبط نمود که بدین‌وسیله امکان مشاهده، ویرایش، تحلیل و بازبینی مناسب داده‌ها وجود دارد. همچنین وجود یک برنامه رابط جهت ارتباط بین محیط GIS و نرم‌افزار HEC-RAS نیز ضروری هست. بدین منظور از الحاقیه HEC-Geo RAS به‌عنوان یک برنامه جانبی برای استخراج اطلاعات



شکل ۴ - مدل رودخانه آجی چای در محیط نرم‌افزار HEC-RAS.

رودخانه، شرط مرزی پایین‌دست برای بازه بالادست این بند انحرافی، با توجه به تنظیم تراز آب توسط دریچه‌های قطاعی، تراز بیشینه سطح آب طراحی بند انحرافی، ۱۳۴۵/۵ متر از سطح دریا در نظر گرفته شده است. علاوه بر شرایط مرزی، شرایط اولیه سیستم هم برای مدل تعریف گردیده است. شرط اولیه مدل در این تحقیق مقدار دبی جریان در زمان شروع سیلاب یا همان دبی پایه در مرز بالادست بازه بوده است. به واسطه حرکت سیلاب ناشی از شکست سد، گستره وسیعی زیر آب رفته و مستغرق می‌شود. بحرانی‌ترین حالت تعیین پهنه سیلاب مربوط به تراز آب بیشینه در هنگام عبور دبی بیشینه سیلاب هست.

نتایج و بحث

در این تحقیق برای سناریوی روگذری جریان اثر شکست هم‌زمان سدهای بالادست سد و نیار نیز در نظر گرفته شده است. در بالادست سد و نیار دو سد مهم نهند و تاجیار قرار دارند. این سدها در تراز نرمال به

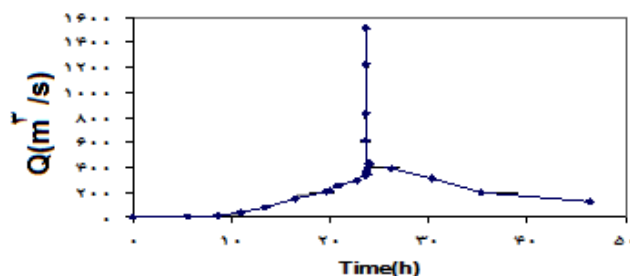
مقادیر ضریب زبری مانینگ بر اساس گزارش بازنگري مطالعات مرحله اول طرح کنترل سيل رودخانه آجی‌چای برای کانال اصلی رودخانه ۰/۰۳۵ و برای سیلاب‌دشت و نواحی حاشیة رودخانه ۰/۰۵ توصیه شده بود (بی‌نام ۱۳۸۴) که با توجه به حجم بالای سیلاب ناشی از شکست سد و اینکه گستره بسیار وسیع‌تری از نواحی حاشیة رودخانه زیر آب می‌رود، به ترتیب برای کانال اصلی رودخانه ۰/۰۳۰ تا ۰/۰۳۵ و برای سیلاب‌دشت و نواحی حاشیة رودخانه ۰/۰۵۵ تا ۰/۰۶ در نظر گرفته شد. از آنجایی‌که عموماً باز و بسته شدن مقطع جریان در رودخانه به‌صورت تدریجی رخ می‌دهد، می‌توان ضرایب ۰/۱ و ۰/۳ را به‌عنوان پیش‌فرض برای ضرایب تنگ و بازشدگی مقاطع رودخانه در محاسبات اعمال کرد. در این تحقیق هیدروگراف سیلاب ناشی از شکست سد در اثر پدیده روگذری جریان به‌عنوان شرط مرزی بالادست و عمق نرمال برای شرط مرزی پایین‌دست در نظر گرفته شده است. به دلیل وجود بند انحرافی تبریز در مسیر

عرض زیاد و طول کم مخزن دارای شیب تیز و تند است. در تحلیل شکست سد و نیار، هیدروگراف خروجی ناشی از شکافت سد نهند از یک‌سو و رخداد دبی بیشینه سیلاب محتمل از سوی دیگر به‌عنوان ورودی مخزن سد و نیار در نظر گرفته شد.

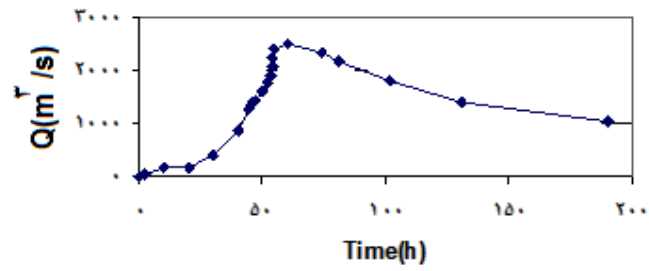
هیدروگراف خروجی از محل شکافت سد و نیار که با استفاده از مدل شکافت فرد (۱۹۸۸) استخراج گردیده، برای سناریوی فوق‌الذکر در شکل ۶ نشان داده شده است. این هیدروگراف‌ها به‌عنوان شرط مرزی بالادست در مدل HEC-RAS وارد شدند. نکته قابل‌توجه در سناریوی روگذری جریان اینکه هیدروگراف شکست سد نهند به‌گونه‌ای به هیدروگراف ورودی به مخزن سد و نیار اضافه شده است که عمل تشدید به‌طور کامل صورت گیرد، یعنی خروجی بیشینه از محل شکست سد نهند در زمان بیشینه ورودی به مخزن سد و نیار باشد.

با توجه به شکل ۶، طول زیاد مخزن و شکست تدریجی سد و نیار و گسترش آرام شکافت در حالت روگذری، موجب ملایم شدن شیب هیدروگراف خروجی شده و در نتیجه مانع از تحمیل تلفات جانی و مالی سنگین در پایین‌دست می‌گردد. شکل ۷ مقطع طولی رودخانه در طول مسیر گسترش جریان سیلابی از محل سد و نیار تا محل تخلیه به دریاچه ارومیه و شکل-های ۸ و ۹ دو نمونه از مقاطع عرضی رودخانه پس از شکست سد و نیار را نشان می‌دهند.

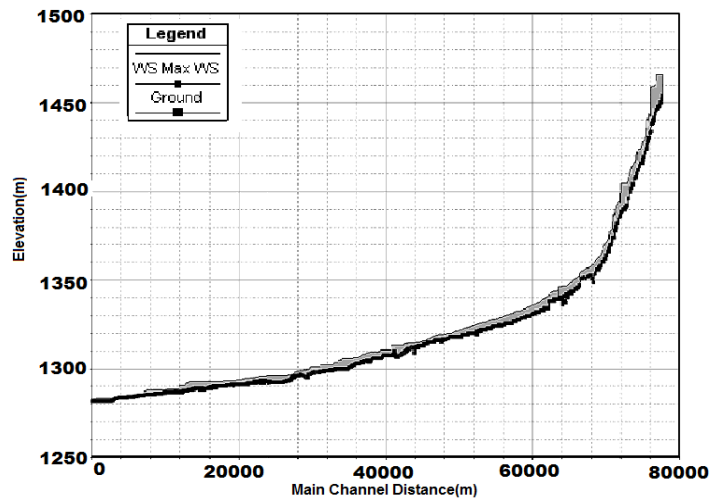
ترتیب دارای حجم ۲۴ و ۴/۵ میلیون مترمکعب هستند که در فاصله ۲۴ و ۱۶۵ کیلومتری سد و نیار احداث شده‌اند. اثر شکست سد تاجیار بر سد و نیار به دلیل کمی حجم و فاصله زیاد آن از سد و نیار، کم اهمیت تلقی می‌شود، در نتیجه تنها اثر شکست سد نهند در نظر گرفته شده است. قابل‌ذکر است که شکست سد نهند موقعی می‌تواند بر سد و نیار تأثیرگذار باشد که سناریوی روز طوفانی اتفاق افتاده و نوع شکست سد نهند و نیار از نوع روگذری باشد. نتایج به‌دست‌آمده در تحلیل شکست سد نهند و نیار نشان داد که با لحاظ سیلاب بیشینه محتمل، به دلیل اعمال ضریب اطمینان بالا در طراحی و ساخت سد و تأسیسات جانبی، سرریزها قابلیت تخلیه سیل را داشته و هیچ شکافتی در سدها به وجود نمی‌آید. درحالی‌که بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، با فرض رخداد دبی ۱/۲ برابر بیشینه سیلاب محتمل، شکافت ایجاد و گسترش می‌یابد. شایان‌ذکر است که در احداث سدهای سری در یک رودخانه، احتمال شکست هم‌زمان این سدها ایجاب می‌کند که ضریب اطمینان در طراحی و ساخت سدهای پایین‌دست، دست بالا (رخداد دبی ۱/۲ برابر بیشینه سیلاب محتمل) گرفته شود. بدین منظور است که در احداث سد و نیار که در پایین‌دست سدهای تاجیار و نهند واقع شده است، ضریب اطمینان به‌طور معقول دست بالا گرفته شده است. در شکل ۵ هیدروگراف خروجی از محل شکافت سد نهند که با استفاده از مدل شکافت فرد (۱۹۸۸) استخراج گردیده، آورده شده است. به طوری‌که از شکل ۵ پیداست، هیدروگراف خروجی از مقطع شکست سد نهند به‌دلیل



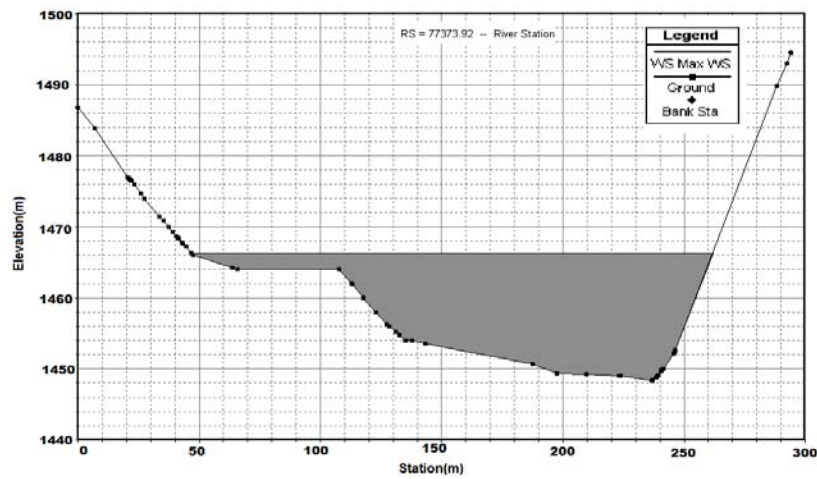
شکل ۵- هیدروگراف خروجی سد نهند در پدیده شکافت روگذری.



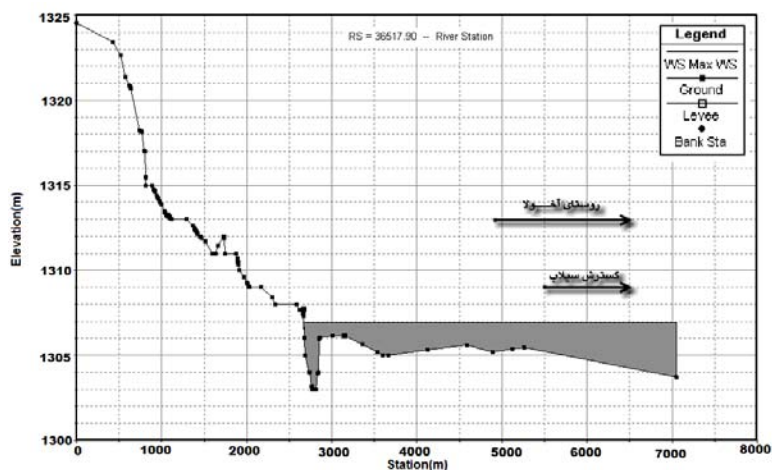
شکل ۶- هیدروگراف خروجی سد و نیار در روگذری جریان.



شکل ۷- مقطع طولی رودخانه در تراز بیشینه.



شکل ۸- مقطع عرضی رودخانه در ۳۰۰ متری پایین دست سد و نیار.

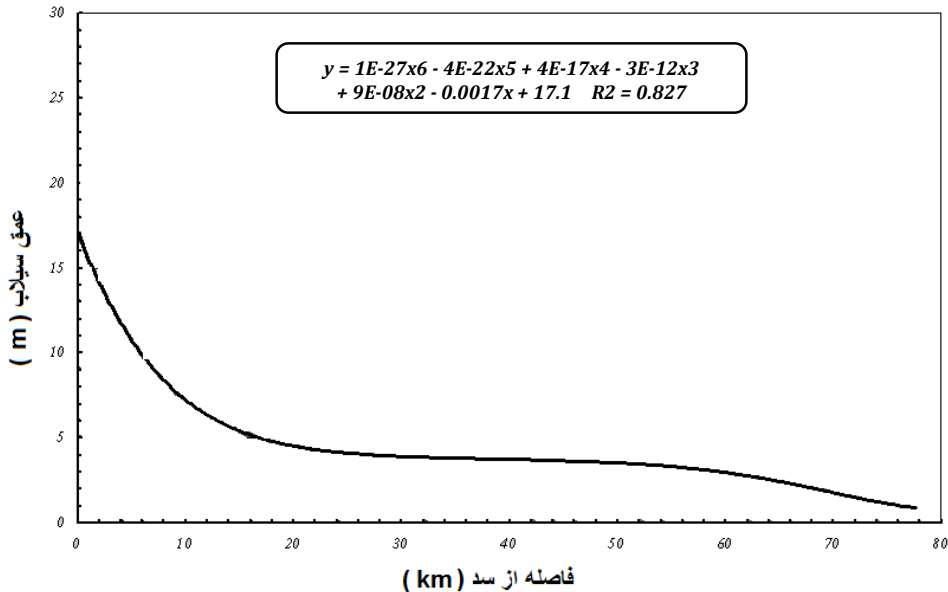


شکل ۹- مقطع عرضی رودخانه در ۴۱/۱۶ کیلومتری پایین‌دست سد و نیار.

رسیدن دبی حداکثر را برای شکست ناشی از روگذری جریان نشان می‌دهند.

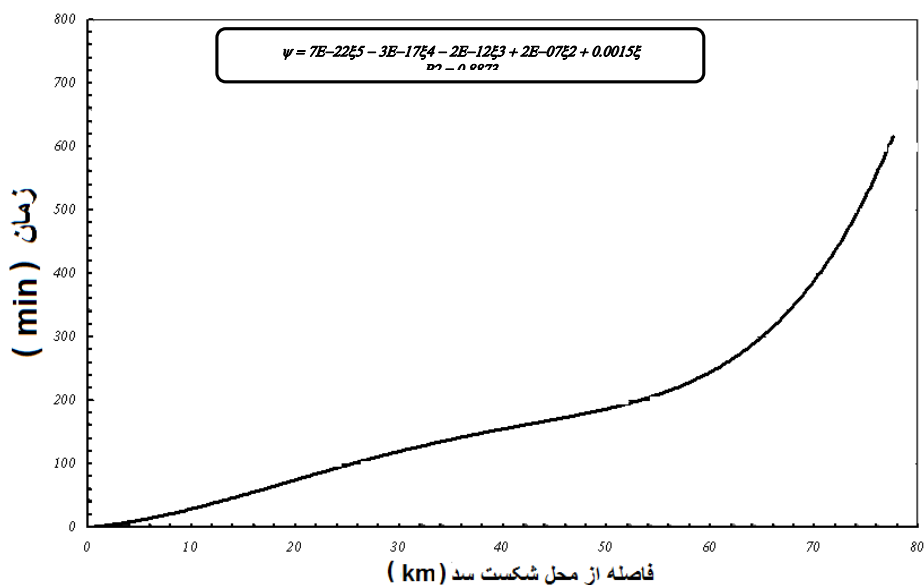
شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نمودارهای مربوط به تغییرات حداکثر عمق در پایین‌دست مقطع شکست و زمان

نمودار حداکثر عمق سیلاب در طول رودخانه به هنگام دبی حداکثر سیلاب



شکل ۱۰- پروفیل تغییرات عمق بیشینه جریان سیلابی در پایین‌دست سد و نیار.

نمودار زمان رسیدن دبی حداکثر سیلاب به نقاط مختلف در طول رودخانه



شکل ۱۱- زمان رسیدن دبی بیشینه جریان سیلابی به نقاط مختلف.

موقعیت روستاها و تأسیسات واقع در محدوده گسترش سیلاب (محدوده هاشور خورده در شکل ۱۲) ناشی از شکست فرضی سد و نیار ارائه شده است.

زمان رسیدن پیشانی سیلاب به تأسیسات و روستاهای واقع در محدوده گسترش سیلاب و درصد استغراق در جداول ۱ و ۲ برای شکست ناشی از روگذری جریان آورده شده است. در شکل ۱۲ نیز

جدول ۱- فهرست تأسیسات و کارخانه‌های واقع در محدوده سیلاب و زمان رسیدن پیشانی سیل به آن‌ها.

ردیف	نام	درصد استغراق	زمان رسیدن پیشانی سیل (min)
۱	کوی صنعتی تبریز	۱۰۰	۶۰
۲	صنایع الکترونیک	۱۰۰	۶۰
۳	لاستیک پارس	۱۰۰	۶۰
۴	انبار جهاد مدرسه	۱۰۰	۶۰
۵	کارخانه شیر پاستوریزه پگاه تبریز	۱۰۰	۳۷
۶	شرکت سهامی امور دام وزارت جهاد کشاورزی	۱۰۰	۳۶
۷	پایانه مسافری شمال غرب تبریز	۷۵	۳۳
۸	تصفیه‌خانه	۳	۸۳

نتیجه‌گیری کلی

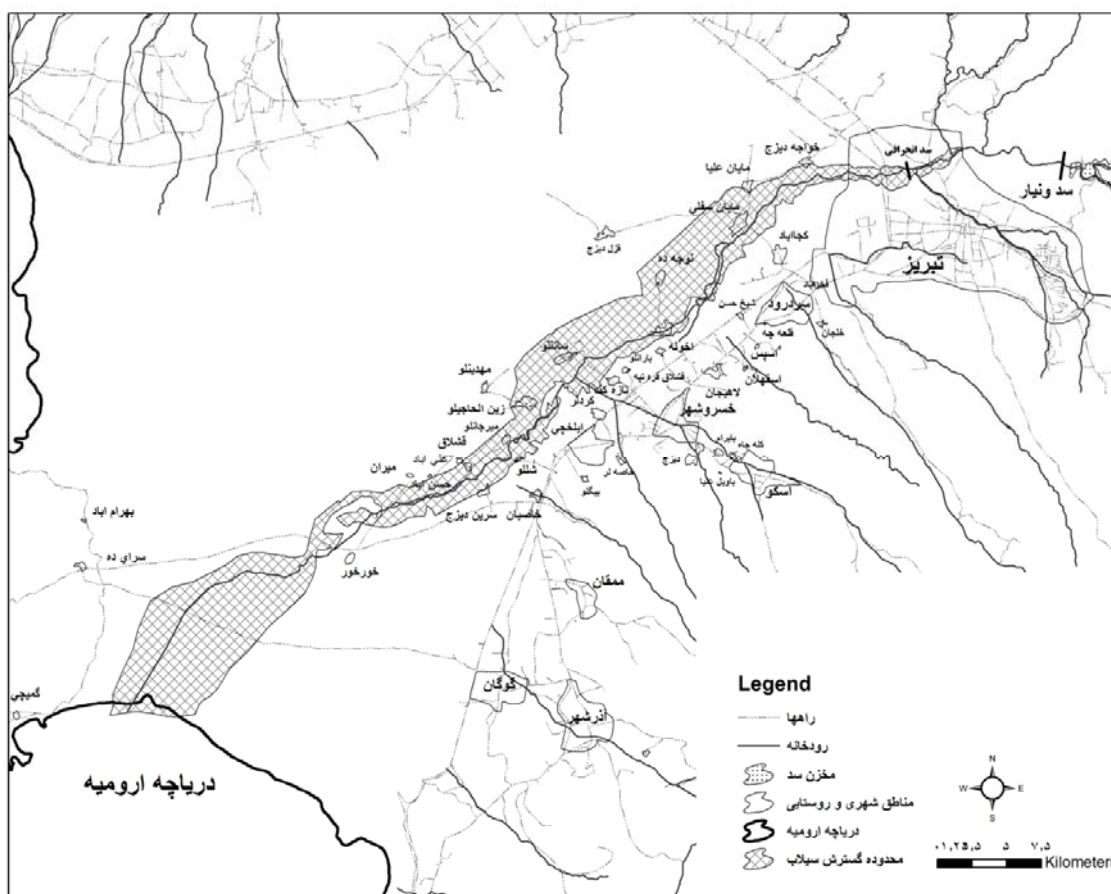
ضریب ایمنی بالا از یک‌سو ضعیف بوده و از سوی دیگر به دلیل وضعیت ژئومورفولوژیکی و توپولوژیکی دره میزبان، احتمال استغراق تأسیسات مهم نظیر فرودگاه و پالایشگاه بسیار کم است. ولی امکان استغراق برخی از تأسیسات و آبادی‌های پایین‌دست

نتایج حاصل از این تحقیق گویای آن است که با وجود بالا بودن حجم ذخیره آب مخزن سد و نیار و نیز وجود آبادی‌ها، تأسیسات بسیار مهم و کارخانه‌های عدیده در پایین‌دست، احتمال شکست سد به دلیل داشتن

محتمل هست که لازم است با انجام اقدامات سازه‌ای و غیر سازه‌ای مناسب خطرات ناشی از هجوم سیلاب به کمینه ممکن کاهش داده شود.

جدول ۲- فهرست روستاهای واقع در محدوده گسترش سیلاب و زمان رسیدن پیشانی سیل به آن‌ها.

ردیف	نام روستا	درصد استغراق	زمان رسیدن پیشانی سیل (min)
۱	خواجه دیزج	۹۵	۹۳
۲	مایان علیا	۱۰	۱۳۶
۳	مایان سفلی	۱۵	۱۴۱
۴	آخوله	۱۰۰	۱۸۷
۵	ساتللو	۱۰۰	۲۲۷
۶	زین الحاجیلو	۱۰۰	۲۵۱
۷	میر جانلو	۱۰۰	۲۷۹
۸	علی آباد	۱۰۰	۲۹۰



شکل ۱۲- نقشه روستاهای واقع در محدوده گسترش سیلاب.

سپاس‌گزاری

معاونت محترم طرح و توسعه آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی، معاونت محترم پژوهش و فن‌آوری دانشگاه تبریز و مسئولین محترم اداره ارتباط با صنعت که امکان انجام این طرح پژوهشی را فراهم کردند کمال تقدیر و تشکر به‌عمل می‌آید.

مقاله حاضر مستخرج از طرح پژوهشی - کاربردی است که با استفاده از محل تسهیلات بند الف ماده ۱۰۲ قانون برنامه توسعه کشور به شماره ثبت ۱۸۴۱ به سفارش آب منطقه‌ای استان آذربایجان شرقی و با همکاری دانشگاه تبریز انجام پذیرفته است. بدین‌وسیله از مسئولین محترم دبیرخانه ماده ۱۰۲،

منابع مورد استفاده

- بی‌نام، ۱۳۸۴. بازنگری مطالعات مرحله اول طرح کنترل سیل رودخانه آجی چای، مهندسین مشاور یکم، شرکت آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی، ایران.
- حسن زاده ی، ۱۳۷۰. بررسی انتشار امواج ناشی از شکست سد، نشریه دانشکده فنی، دانشگاه تهران- شماره ۱، صفحه‌های ۴۱ تا ۴۸.
- حسن‌زاده ی، ۱۳۸۳. هیدرولیک شکست سد، انتشارات وزارت نیرو، کمیته ملی سدهای بزرگ ایران.
- حسن‌زاده ی، رنجبری ع و رنجینه خجسته ع، ۱۳۸۲. بررسی اثرات شیب بستر در روند تحلیل مسئله شکست سد، مجله دانشکده فنی دانشگاه تبریز، شماره پیاپی ۳۳، صفحه‌های ۱ تا ۹.
- حسن زاده ی و رنجینه خجسته ع، ۱۳۸۹. بررسی اثرات زبری بستر در سرعت انتشار امواج ناشی از شکست سد در یک مدل هیدرولیکی شیب‌دار، نشریه مهندسی عمران و محیط‌زیست، جلد ۴۰، شماره ۱، صفحه‌های ۱۳ تا ۲۰.

- Anonymous, 2002. HEC-GeoRAS: An extension for support HEC-RAS Using Arc View, (USACE), User Manual, Ver3.1.
- Benoist G and Nicollet G, 1983. Progressive earth dam ruptures(in French). Pp 464-470. Proceedings XX IAHR Congress. Moscow.
- Chanson H, 2008. A simple solution of the laminar dam break wave. Journal of Applied Fluid Mechanics 1(1): 1-10.
- Craya A 1946 . Graphical calculations of variable flows in the channels(in French). La Houille Blanche 4: 121- 131.
- Dressler RF, 1952. Hydraulic resistance effect upon the dam-break function. Journal of Research of the National Bureau of Standards 49(3): 217-225.
- Feizi-Khankandi A, Tahershamsi A, Soares-Fraza S, 2012. Experimental investigation of reservoir geometry effect on dam-break flow. Journal of Hydraulic Research 50(4): 376-385.
- Fennema R.J.and Chaudhry W.H., 1987. Simulation of one dimensional dam-break flows, Journal of Hydraulics. Research 25: 41-51.
- Fread D.L, 1988. Breach: An erosion modelsto for earthen dam-failures. Hydrologic Research Laboratory, National Weather Service. NOAA, Silver Spring, Maryland 20910: 1-39.
- Garcia-Navarro P and Saviron JM, 1986. Numerical solution of the St. Venant equation with Mac Cormack finite-difference scheme, International Journal of Numerical Methods in Fluids 6: 259-274.
- Hassanzadeh Y, 1997. Rapidly varied unsteady flow in a small-scale dry bed model, International Journal of Engineering 10(1): 1-10.
- Lauber G and Hager WH 1998. Experiments to dam-break wave: sloping channel. Journal of Hydralic Reseach 36(3): 761-773.
- Lebreton A, 1985. Dam breaks and serious dam accidents from 1964 -1983(in French), La Houille Blanche, 6-7: 529-545.
- Macchione F and Sirangelo B, 1988. Study of Earth Dam Erosion due to Overtopping. Pp 212-219. Proceedings of the Technical Conference, Novamber, WMO. Geneva.
- Meyer-Peter E and Müller R, 1948. Formulas for bed-load transport, Pp39-64. Proceedings. 2nd Meeting of the IAHR, Stockholm, Sweden.
- Ré R, 1946. Study on the instantaneous stored water release in a channel with the graphical method(in French). La Houille Blanche 2: 181-187.

- Skoglund M, Bachke D, Midttomne GH and Wathne M, 2001. Norwegian guidelines for dam breaks analysis. A.A Balkema Publisher.
- Tate EC and Maidment DR, 1999. Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcViewGIS, Master Thesis, Department of Civil Engineering, The University of Texas at Austin, Texas., Center for Research in Water Resource (CRWR), online report 99-1.
- Wang J, 2000. Finite difference TVD scheme for computation of dam-break problems. Journal of Hydraulic Engineering ASCE 126(4): 253-262.
- Wu C, 1999. Theoretical solution of dam-break shock wave. Journal of Hydraulic Engineering. ASCE 125(11): 1210-1215.
- Zhang H, Hassanzadeh Y, Nguyen D L and Kahawita R, 1992, A 1-D numerical model applied to dam-break flows on dry bed. Journal of Hydraulic Research 30(2): 211-224.