

مدل سازی عددی امواج ناشی از شکست سد سنگی-ملاتی در زیر حوضه نوشان آذربایجان غربی

مصطفی صالحی، علیرضا فرهادی، ذبیح الله خانی تملیه و ظاهر احمدپور

دوره ۴، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۷، صفحات ۹۰-۱۰۰

Vol. 4(2), Summer 2018, 90 – 100

DOI: 10.22034/jewe.2018.111452.1216

**Numerical Modeling of Waves Caused by
Mortar Check Dam Break in Nooshan Sub-
Basin, West Azarbaijan, Iran**

Salehi M., Farhadi A., Khani Temelieyh Z. and
Ahmadpoor Z.



www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله: صالحی م، فرهادی ع، خانی تملیه ذ. و احمدپور ظ. (۱۳۹۷). مدل سازی عددی امواج ناشی از شکست سد سنگی-ملاتی در زیر حوضه نوشان آذربایجان غربی. محیط زیست و مهندسی آب، دوره ۴، شماره ۲، صفحات: ۹۰ – ۱۰۰.

Citing this paper: Salehi M., Farhadi A., Khani Temelieyh Z. and Ahmadpoor Z. (2018). Numerical modeling of waves caused by mortar check dam break in Nooshan sub-basin, West Azarbaijan, Iran. J. Environ. Water Eng., 4(2), 90 – 100. DOI: 10.22034/jewe.2018.111452.1216

www.SID.ir

مدل سازی عددی امواج ناشی از شکست سد سنگی - ملاتی در زیر حوضه نوشان آذربایجان غربی

مصطفی صالحی^۱، علیرضا فرهادی^۲، ذبیح الله خانی تملیه^{۳*} و ظاهر احمدپور^۴

^۱مربی، عضو هیئت علمی گروه مهندسی کشاورزی، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

^۲کارشناس ارشد مهندسی آبخیزداری، گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ایران

^۳باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد ارومیه، دانشگاه آزاد اسلامی، ارومیه، ایران

^۴کارشناس ارشد مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

*نویسنده مسئول: z.khani1060@yahoo.com

مقاله اصلی

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۷/۰۶/۱۸]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۷/۰۶/۱۴]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۶/۰۹/۳۰]

چکیده

مدل سازی پدیده شکست سد بیشتر به منظور محاسبه تقریبی دبی پیک خروجی ناشی از شکست انجام تا تمهیداتی برای مهار آن یا برای پیشگیری از خطرات ناشی از آن در نظر گرفته شود. در این پژوهش از نرم افزار Gambit برای تولید فرم و ابعاد هندسه مدل آزمایشگاهی استفاده شد. سپس فایل هندسه تولید شده به مدل هیدرولیکی Fluent منتقل شد. در محیط Fluent کلیه پارامترهای مؤثر و مورد نیاز تعیین گردید. از روش VOF برای مدل سازی استفاده شد. مطالعه موردی در این تحقیق سد سنگی ملاتی آبخیزداری در زیر حوضه نوشان که در اطراف شهرستان ارومیه می باشد و مدل سازی شکست سد برای آن به صورت سه بعدی انجام گرفت. نتایج به دست آمده از شرایط آزمایشگاهی با نتایج حاصل از مدل Fluent، که مربوط به مدل سازی پدیده شکست سد به صورت دو بعدی است، مقایسه شد. مشخصات مختلف موج از جمله پیشروی موج، سرعت موج و تغییرات عمق آب در پایین دست سد در حالت های بستر خشک و مرطوب مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه نتایج نشان می دهد که مدل Fluent دقت بالایی در مدل سازی جریان ناشی از شکست سد را دارا می باشد. برای ساخت هندسه قسمتی از آبراهه که شامل مخزن و پایاب سد می باشد، از نقشه توپوگرافی آبراهه در محیط اتوکد استفاده شد.

واژه های کلیدی: شکست سد؛ Fluent؛ مدل سازی؛ Gambit

۱- مقدمه

افزایش عمق اولیه ذخیره شده در مخزن و افزایش شیب کانال زمان تخلیه مخزن کاهش می‌یابد. از سوی دیگر وجود رسوبات در مخزن که همچون یک پله در مسیر جریان ایفای نقش می‌کند، سرعت حرکت موج مثبت به سمت پایین‌دست را افزایش می‌دهد. همچنین با افزایش زمان پایه و حداکثر دبی هیدروگراف‌ها، افزایش عمق در پایین‌دست سد پس از شکست مشاهده شده است. (Mina 2014). در زمینه شکست سد از دیدگاه‌های مختلف مطالعاتی صورت گرفته است. (Mambretti et al. 2008) برای پیش‌بینی حرکت سیلاب و جریان گل‌آلود یک مدل عددی بر پایه معادلات یک‌بعدی سنت و نانت^۱ توسعه و برای حل معادلات الگوی مک کورمک^۲ را به کار گرفتند. برای اعتبار سنجی مدل، مقایسه بین نتایج محاسباتی و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی جریان‌های مخلوط آب و دانه‌های همگن در یک فلوم آزمایشگاهی که می‌تواند امواج شکست را تولید کند، انجام شد. انطباق رضایت بخشی بین نتایج محاسباتی و آزمایشگاهی برای جریان‌های گل‌آلود ملاحظه شد. نتایج نشان داد که مدل پیشنهاد شده می‌تواند به آسانی برای کانال‌های با مقطع دلخواه برای روندیابی جریان‌های گل‌آلود با ترکیب کردن شرایط اولیه و شرایط مرزی مناسب استفاده شود. (Biscarini et al. 2009) دو روش نگرش آب کم عمق (SW) و شبیه‌سازی کامل سه‌بعدی را مورد مقایسه قرار دادند. روش عددی آب کم عمق (SW) بر مبنای هیدرودینامیک جریان متوسط گیری شده در عمق و شبیه‌سازی سه‌بعدی بر اساس حل کامل معادلات ناوراستوکس با روش حجم سیال (VOF) می‌باشد. (Abbasi et al. 2010) از طریق شبیه‌سازی آزمایشگاهی شکست سد به بررسی اثر متقابل جریان هم‌زمان سیلاب سریع و موج منفی حاصل از شکست سد در شرایط متفاوت ارتفاع ذخیره آب مخزن پرداختند. همچنین اثر شیب و تأثیر حضور رسوبات در مخزن و تغییر دبی و زمان پایه سیلاب‌های ورودی را مورد مطالعه قرار دادند. آنها در این بررسی به منظور برداشت پارامترهای هیدرولیکی همچون عمق جریان و سرعت حرکت موج، با توجه به ماهیت غیردائمی جریان برای ثبت نتایج از روش تصویر برداری به‌وسیله دو دوربین دیجیتال استفاده کردند. نتایج حاصل نشان داد که با

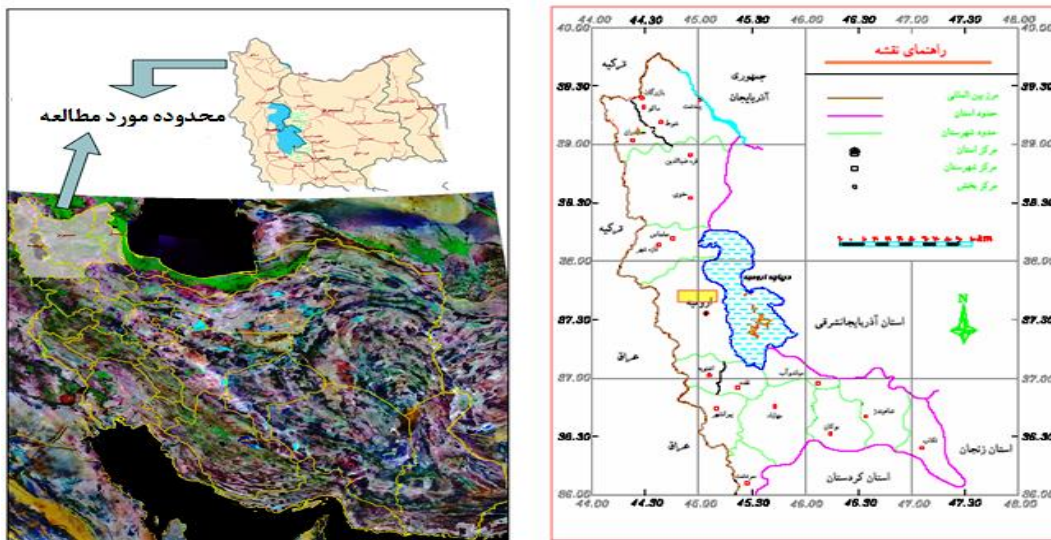
افزایش عمق اولیه ذخیره شده در مخزن و افزایش شیب کانال زمان تخلیه مخزن کاهش می‌یابد. از سوی دیگر وجود رسوبات در مخزن که همچون یک پله در مسیر جریان ایفای نقش می‌کند، سرعت حرکت موج مثبت به سمت پایین‌دست را افزایش می‌دهد. همچنین با افزایش زمان پایه و حداکثر دبی هیدروگراف‌ها، افزایش عمق در پایین‌دست سد پس از شکست مشاهده شده است. (Mina 2014). در زمینه شکست سد از دیدگاه‌های مختلف مطالعاتی صورت گرفته است. (Mambretti et al. 2008) برای پیش‌بینی حرکت سیلاب و جریان گل‌آلود یک مدل عددی بر پایه معادلات یک‌بعدی سنت و نانت^۱ توسعه و برای حل معادلات الگوی مک کورمک^۲ را به کار گرفتند. برای اعتبار سنجی مدل، مقایسه بین نتایج محاسباتی و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی جریان‌های مخلوط آب و دانه‌های همگن در یک فلوم آزمایشگاهی که می‌تواند امواج شکست را تولید کند، انجام شد. انطباق رضایت بخشی بین نتایج محاسباتی و آزمایشگاهی برای جریان‌های گل‌آلود ملاحظه شد. نتایج نشان داد که مدل پیشنهاد شده می‌تواند به آسانی برای کانال‌های با مقطع دلخواه برای روندیابی جریان‌های گل‌آلود با ترکیب کردن شرایط اولیه و شرایط مرزی مناسب استفاده شود. (Biscarini et al. 2009) دو روش نگرش آب کم عمق (SW) و شبیه‌سازی کامل سه‌بعدی را مورد مقایسه قرار دادند. روش عددی آب کم عمق (SW) بر مبنای هیدرودینامیک جریان متوسط گیری شده در عمق و شبیه‌سازی سه‌بعدی بر اساس حل کامل معادلات ناوراستوکس با روش حجم سیال (VOF) می‌باشد. (Abbasi et al. 2010) از طریق شبیه‌سازی آزمایشگاهی شکست سد به بررسی اثر متقابل جریان هم‌زمان سیلاب سریع و موج منفی حاصل از شکست سد در شرایط متفاوت ارتفاع ذخیره آب مخزن پرداختند. همچنین اثر شیب و تأثیر حضور رسوبات در مخزن و تغییر دبی و زمان پایه سیلاب‌های ورودی را مورد مطالعه قرار دادند. آنها در این بررسی به منظور برداشت پارامترهای هیدرولیکی همچون عمق جریان و سرعت حرکت موج، با توجه به ماهیت غیردائمی جریان برای ثبت نتایج از روش تصویر برداری به‌وسیله دو دوربین دیجیتال استفاده کردند. نتایج حاصل نشان داد که با

^۱ . Saint- Venant

^۲ .Mack Cormack

هیدروگراف سیلاب رخ می‌دهد و تا فاصله‌ای در پایین دست سد، این پدیده حفظ می‌شود. در حالی که در بازه‌های قوسی به واسطه نامتعادل شدن موج سیلاب پیش‌رونده، چنین پدیده‌ای تنها در محل سد رخ داده و به سرعت از بین می‌رود. بیشتر مطالعات برای سدهای مخزنی است. در این تحقیق به کمک نرم‌افزار **Fluent** و **Gambit** و با استفاده از روش عددی، پدیده شکست سد در سازه کنترل کننده رواناب و رسوب که در عملیات آبخیزداری مورد استفاده قرار می‌گیرند بررسی شد.

رسوب در آبراهه‌ها می‌باشد. در صورت شکست این پروژه اثرات نامطلوبی بر اقتصاد ساکنین این منطقه و هدر رفتن سرمایه‌های زیادی را به دنبال خواهد داشت. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را در ایران و استان آذربایجان غربی نشان می‌دهد.



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در ایران و استان آذربایجان غربی
Fig. 1 Location of the study area in Iran and west Azarbaijan Province

۲-۲- روش VOF

جریان متفاوت می‌باشد (Heydari 2001). در میدان جریان با شبکه ثابت، تعیین سطح آزاد بر اساس دیدگاه اولری نسبت به جریان مشخص می‌شود. در جریان‌های پیچیده مانند شکست موج که سطح آزاد آن از پیچیدگی‌های

مکانیسم شکست بررسی شده در سناریوی شکست فرسایشی تحت اثر روگذری، با توجه به وضعیت ژئومورفولوژیکی و توپو-گرافی دره میزبان در پایین دست سد، قسمت اعظم روستاها و اراضی کشاورزی در معرض استغراق کامل قرار می‌گیرند. (Safarzadeh 2017) شبیه‌سازی عددی سه‌بعدی جریان ناشی از شکست ناگهانی سد در مسیرهای قوسی را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که در لحظات اولیه شکست سد در مسیر مستقیم، به خاطر تأثیر موج دینامیکی، یک پیک موضعی در

زیر حوضه نشان از زیر حوضه‌های شهرچای دریاچه ارومیه و در عرض جغرافیایی $31^{\circ} 25'$ و 37° و طول جغرافیایی $45' 00''$ واقع شده است. سازه‌ی مورد نظر دارای ارتفاع ۴ متر و همراه دیگر سازه‌ها در پایین دست روستای شملکان قرار دارند. از اهداف این سازه‌های هیدرلیکی، مهار سیل و کنترل

در پدیده‌های هیدرولیکی نیز تعیین سطح آزاد جریان و مرزهای جریان در حل میدان جریان از اهمیت خاصی برخوردار است. روش‌های گوناگونی در تعیین سطح آزاد استفاده می‌شود که نسبت به دیدگاه حاکم بر حل میدان

بین مؤلفه‌های تنش و تغییرات سرعت ارتباط وجود دارد. این ارتباط برای یک جریان یک بعدی به صورت $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ می‌باشد که در حالت سه بعدی پیچیده تر و به صورت روابط (۴) تا (۹) بیان می‌شوند (Fox and Donald 2015):

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (۴)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \quad (۵)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \quad (۶)$$

$$\partial_{xx} = -P - \frac{2}{3} \mu \nabla \cdot \vec{v} + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \quad (۷)$$

$$\partial_{yy} = -P - \frac{2}{3} \mu \nabla \cdot \vec{v} + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y}$$

$$\partial_{zz} = -P - \frac{2}{3} \mu \nabla \cdot \vec{v} + 2\mu \frac{\partial w}{\partial z}$$

با جایگزینی روابط (۴ الی ۷) در معادلات مومنوم، روابط ۸ تا ۱۰ به دست می‌آید:

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \rho g_x - \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(2 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] \quad (۸)$$

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \rho g_y - \frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(2 \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] \quad (۹)$$

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \rho g_z - \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \left[\mu \left(2 \frac{\partial w}{\partial z} - \frac{2}{3} \nabla \cdot \vec{v} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x} \left[\mu \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\mu \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right] \quad (۱۰)$$

این معادلات را معادلات ناویر استوکس می‌نامند (Fox and Donald 2015). از این معادلات به همراه معادله پیوستگی برای به دست آوردن مؤلفه‌های سرعت u و v و w و فشار p استفاده می‌گردد. در صورت تغییر چگالی مقدار آن از معادله

خاص خود برخوردار است. در حالت سه بعدی، از روش MAC^1 استفاده می‌شود. در این روش تغییرات و جابجایی تعداد زیادی از ذرات سیال در محاسبات وارد می‌شوند، بنابراین نیاز به هزینه زیاد محاسباتی می‌باشد (Fluent Inc, 2006). اما در روش VOF^2 برای هر جزء حجم سلول یک معادله دیفرانسیلی حل می‌شود، که نهایتاً مقدار جزء حجم سیال در هر سلول تعیین می‌گردد. روش‌های توسعه یافته بر اساس VOF با توجه به دیدگاه اولری نسبت به میدان جریان، کارایی بیشتری دارند (Rostamabadi 2007). به هنگام استفاده از معادلات ناویر استوکس و معادله VOF پارامترهای لزجت و چگالی در هر سلول طبق روابط زیر تعیین می‌گردد، که در سلول‌های سطحی ترکیب دوفاز سیال در چگالی و لزجت هر سلول دیده می‌شود.

$$\mu = \sum_{i=1}^n Fi \mu_i \quad (۱)$$

$$\rho = \sum_{i=1}^n Fi \rho_i \quad (۲)$$

۲-۳ معادلات حاکم بر روش VOF

در تعیین سطح آزاد به روش VOF از یک متغیر به نام F استفاده می‌شود که جزء حجم سیال^۳ نامیده می‌شود. شکل این تابع دیفرانسیلی در حالت دو بعدی به صورت رابطه (۳) بیان می‌شود.

$$\frac{\partial F}{\partial t} + u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} = 0 \quad (۳)$$

در حل معادله فوق در سلولی که پر از سیال می‌باشد، مقدار F برابر یک می‌باشد. ولی در سلول خالی از این سیال مقدار برابر صفر است. در سلول سطحی این مقدار بین صفر و یک می‌باشد.

معادلات مومنوم ارایه شده به همراه معادله پیوستگی تشکیل ۴ معادله می‌دهند که برای حل مسائل جریان کاربرد دارند. مجموع مجهولات این معادلات برابر با سه مجهول سرعت (u و v و w)، چگالی ρ و شش معادله تنش می‌باشد. لذا ۴ معادله برای حل این مجهولات کافی نیستند. اما

1. Marker CELL

2. Volume of Fluid

3. Volume of Fraction

حالت به دست می‌آید. که معادله حالت ارتباط بین چگالی، فشار و دمای سیال است.

۲-۴- شکست هیدرولیکی سد

در حل سه‌بعدی مسئله شکست هیدرولیکی سد، میدان حل به صورت سه‌بعدی در نظر گرفته و پارامترهای مختلف هیدرولیکی در سه راستای X و Y و Z محاسبه شد. جهت مدل‌سازی شکست سد به صورت سه‌بعدی مختصات X و Y و Z لازم است. برای تولید شبکه و ایجاد میدان حل در حالت سه‌بعدی برای هندسه ساخته شده آبراهه به ازای هر یک متر یک گره تعریف شد. با توجه به هندسه و فرم خاص آبراهه، از المان‌های مثلثی استفاده شد. با معرفی تعداد گره و مشخص کردن نوع المان هندسه مورد نظر مش بندی (شبکه بندی) گردید. هندسه مدل و شبکه محاسباتی در نرم‌افزار Gambit ایجاد گردید. برای ایجاد هندسه مورد نیاز از مجموعه نقاط مختصات دار خطوط هم تراز نقشه اتوکدی استفاده شد. پس از استخراج نقاط مختصات دار از نقشه موجود نقاط در فایل اکسل ذخیره شد. در مرحله بعد نقاط در محیط Gambit فراخوانی شد. پس از به هم وصل کردن نقاط پشت سرهم مربوط به یک منحنی، هندسه قسمتی از آبراهه که شامل مخزن و پایین دست سد است، تهیه شد.

۲-۵- الگوی جریان در حالت سه‌بعدی

برای تولید شبکه و ایجاد میدان حل در حالت سه‌بعدی برای هندسه ساخته شده آبراهه به ازای هر یک متر یک گره تعریف شد. با معرفی تعداد گره و مشخص کردن نوع المان هندسه مورد نظر مش بندی شد و میدل حل شبکه بندی گردید. همان‌طور که گفته شد هندسه مدل و شبکه محاسباتی در نرم‌افزار Gambit ایجاد می‌شود. جهت تنظیم شرایط مرزی برای بالادست، بستر و کناره‌های جریان از شرط مرزی دیوار و برای پایین دست از شرط مرزی Out Flow و برای سطح بالای جریان از شرط مرزی Pressure Outlet استفاده گردید. برای شرط مرزی دیوارها از روش تابع استاندارد دیواره استفاده و دیواره‌ها ثابت در نظر گرفته شد.

۲-۶- تنظیمات مدل

به کارگیری مدل‌های رایانه‌ای شبیه‌سازی جریان در حالات مختلف می‌تواند نقش ویژه‌ای در پیش‌بینی فرایند تحولات در آینده داشته باشد، این موضوع در شرایطی حاصل می‌شود که خروجی مدل‌ها از دقت کافی برخوردار باشند. در این تحقیق ابتدا اندازه شبکه، مدل‌های مختلف تلاطمی و ترم‌های مختلف انفصال مورد آزمون قرار گرفت. سپس شبیه‌سازی برای بسترهای مختلف و عمق‌های مختلف پایاب صورت گرفت. روش حل تفکیکی برای جریان‌های غیرقابل تراکم به کار می‌رود (Rahimiasl and Soltani 2008). بنابراین، در شبیه‌سازی‌ها از این روش استفاده شد. مدل‌های تلاطمی $k-\epsilon$ standard به‌عنوان بهترین مدل انتخاب گردید. از الگوریتم PISO برای ارتباط دادن جملات سرعت و فشار استفاده شد. چرا که PISO الگوریتم توصیه شده برای شبیه‌سازی جریان‌های گذرا می‌باشد. برای شبیه‌سازی سطح آزاد جریان از مدل VOF به صورت دوفازی، غیرماندگار و در حالت ضمنی^۱ استفاده شده است. از آنجایی که هدف شبیه‌سازی سطح آزاد جریان است، باید گزینه مربوط به کانال‌های روباز در مدل VOF فعال شود و شتاب ثقل برابر (9.81 m/s^2) در نظر گرفته شود. ضرایب زیرتخفیف^۲ در شبیه‌سازی جریان شکست سد با مدل VOF را نمی‌توان به صورت پیش فرض نرم‌افزار استفاده کرد. در ضرایب زیر تخفیف باید تغییراتی اعمال شود (Fluent Inc. 2006). با تنظیم نمایشگر باقی مانده‌ها می‌توان در حین محاسبات همگرایی حل را بررسی کرد. Fluent علاوه بر چاپ و ترسیم باقی مانده‌ها در حین محاسبات، همگرایی حل را نیز بررسی می‌کند و زمانی که مقادیر باقی مانده‌های محاسبه شده به معیار همگرایی که توسط کاربر تعیین می‌شود، برسد، به‌طور خودکار حل مسئله متوقف می‌شود (DehghaniSanich 2008). در این بررسی معیار همگرایی برای همه معادلات برابر 10^{-3} مطابق پیش فرض مدل Fluent که برای بیشتر مسائل مناسب است، استفاده گردید. جدول (۱) ضرایب زیرتخفیف را در حالت پیش فرض و مدل‌سازی نرم‌افزار نشان می‌دهد.

^۱ . Implicit

^۲ . Under-Relaxation Factor

جدول ۱- ضرایب پیش فرض نرم‌افزار و مدل‌سازی
Table 1 Default software coefficients and modeling

پارامتر	فشار	چگالی	نیروی شناوری	مومنتوم	حجم سیال	تلاطم انرژی جنبشی	تلاطم پخش سرعت	تلاطم سرعت
پیش فرض	1	0.3	1	0.7	0.2	0.8	0.8	1
مدل‌سازی	0.9	1	1	0.7	1	1	1	1

باشند. دقت نتایج شبیه‌سازی از طریق کنترل آنها با نتایج آزمایشگاهی سنجیده می‌شود. از این نظر در اختیار بودن اطلاعات آزمایشگاهی مورد وثوق کمک شایانی در اعتماد به نتایج بدست آمده از مدل می‌نماید. در این پژوهش ابتدا اندازه شبکه، مدل‌های مختلف تلاطمی و ترم‌های مختلف انفصال مورد آزمون قرار گرفتند و سپس شبیه‌سازی برای بسترهای مختلف و عمق‌های مختلف پایاب صورت گرفته است، که نتایج به‌طور مفصل در ادامه آورده شده است. در این بخش شبکه‌های با ابعاد ریز، متوسط، درشت و خیلی درشت برای میدان حل در نظر گرفته شده است. مقادیر پیش‌بینی شده حاصل از شبکه ریز نسبت به سایر شبکه‌ها انطباق بهتری با نتایج آزمایشگاهی دارد. از طرفی تفاوت زیادی بین نتایج شبکه ریز و متوسط وجود ندارد. به‌طور کلی با درشت‌تر شدن شبکه محاسباتی نتایج عددی انطباق کمتری با نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهند، اما به دلیل زمان بر بودن اجرای برنامه در مدل با شبکه ریز، در مراحل بعدی شبیه‌سازی از آنجایی که سطح آزاد جریان باید با استفاده از مدل VOF شبیه‌سازی شود و حجم محاسبات در شبیه‌سازی سطح آزاد جریان با استفاده از مدل دو فاز VOF زیاد می‌باشد، از شبکه با ابعاد متوسط استفاده شده است. شکل (۲) مقایسه مقادیر عددی پیشروی پیشانی موج را در زمان‌های مختلف با نتایج آزمایشگاهی به ازای مدل‌های مختلف تلاطمی نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود نتایج عددی تمامی مدل‌های تلاطمی مورد استفاده روندی مشابه با نتایج آزمایشگاهی دارند (در اینجا d عمق آب برحسب متر می‌باشد). خطی بودن نمودارها در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد که با افزایش زمان عمق به تدریج

۲-۷- مدل‌سازی سه‌بعدی شکست سد

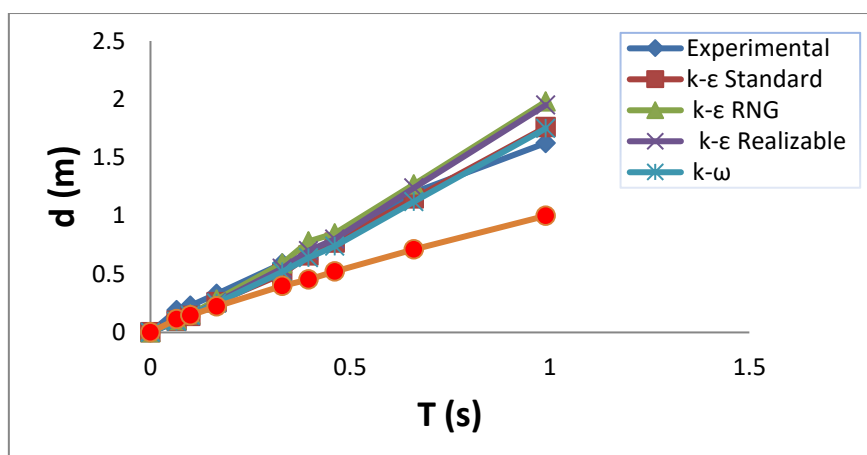
در بررسی پدیده شکست هیدرولیکی سد تحلیل به‌صورت سه‌بعدی در نظر گرفته شد. پارامترهای مختلف هیدرولیکی در سه راستای X و Y و Z محاسبه گردید. در حل سه‌بعدی نیز از مدل تلاطمی $K-\varepsilon$ standard که در حالت مدل‌سازی شکست سد به‌عنوان مدل برتر انتخاب و مورد استفاده قرار گرفت. پس از تهیه هندسه قسمتی از آبراهه که همان مخزن و پایاب سد می‌باشد، برای هندسه منطقه حجم تعریف و حجم شامل تعدادی از صفحات است که قبلاً تعریف شد. با مش‌زدن صفحات و در مرحله بعد با مش‌زدن حجم میدان حل یا محاسبات برای هندسه فراهم گردید. هندسه تولید شده در محیط *Fluent* فراخوانده شد و سایر تنظیمات که شامل تعیین شرایط مرزی، انتخاب الگوریتم مناسب جهت حل توأم معادلات جریان، تعیین نیروی گرانشی می‌باشد و سایر تنظیمات همانند مدل‌سازی شکست سد به‌صورت دو بعدی در نرم‌افزار انجام گرفت. هر سدی با هر ضریب اطمینانی کاملاً نمی‌تواند از خطر شکست مصون باشد. نتایج انتشار سیل ناشی از شکست سد در سطح منطقه در گام‌های زمانی مختلف نشان داد که مناطق پایین‌دست سد در زمان بسیار کوتاهی به زیر آب می‌روند. بنابراین این‌گونه مطالعات برای سدها بسیار ضروری و الزامی می‌باشد که بتوان در مواقع بحرانی از عملکرد و مدیریت مناسبی برخوردار بود.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- پیشروی پیشانی موج حاصل از مدل‌های تلاطمی

به کارگیری مدل‌های رایانه‌ای شبیه‌سازی جریان در حالات مختلف می‌تواند نقش ویژه‌ای در پیش‌بینی فرایند تحولات در آینده داشته باشد، این موضوع در شرایطی به دست می‌آید که خروجی مدل‌ها از دقت کافی برخوردار

افزایش می‌یابد و یک شیب عرضی در سطح آب ایجاد می‌شود. چون جریان ناشی از شکست سد جریانی متلاطم می‌باشد از این رو $k-\varepsilon$ standard بر پایه جریان متلاطم بنا نهاده شده است. این مدل کمترین خطا را دارا بوده و نتایج نزدیکتری به نتایج آزمایشگاهی دارد.



شکل ۲- مقایسه مدل‌های تلاطمی مختلف

Fig. 2 Comparison of different turbulence models

نزدیک به هم و نسبت به مدل‌های $k-\varepsilon$ و $k-\varepsilon$ RNG Realizable تطابق بیشتری با نتایج آزمایشگاهی دارند. در این بررسی برای مدل RSM بیشترین خطا مشاهده شد. جدول (۲) درصد خطای موجود بین نتایج عددی حاصل از مدل‌های تلاطمی مختلف و نتایج آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. همانطور که از جدول (۲) مشاهده می‌شود کمترین میزان ریشه مربعات خطا مربوط به مدل $k-\varepsilon$ استاندارد می‌باشد.

۳-۲- مقایسه نتایج مدل‌های تلاطمی و آزمایشگاهی
در این مرحله درصد خطای بین تک‌تک مدل‌های تلاطمی با نتایج آزمایشگاهی برآورد و با یکدیگر مقایسه شدند. چون جریان ناشی از شکست سد جریانی متلاطم می‌باشد و روش $k-\varepsilon$ استاندارد بر پایه جریان کاملاً متلاطم بنا شده است، مدل $k-\varepsilon$ استاندارد کمترین خطا را دارا می‌باشد. این مدل نتایج نزدیکتری به نتایج آزمایشگاهی دارد. از اینرو در مراحل بعدی مدل‌سازی از این مدل استفاده شد. تحلیل‌ها نشان می‌دهد که مدل $k-\varepsilon$ استاندارد و $k-\omega$ دارای نتایج

جدول ۲- درصد خطای موجود بین نتایج عددی و آزمایشگاهی برای مدل‌های تلاطمی مختلف

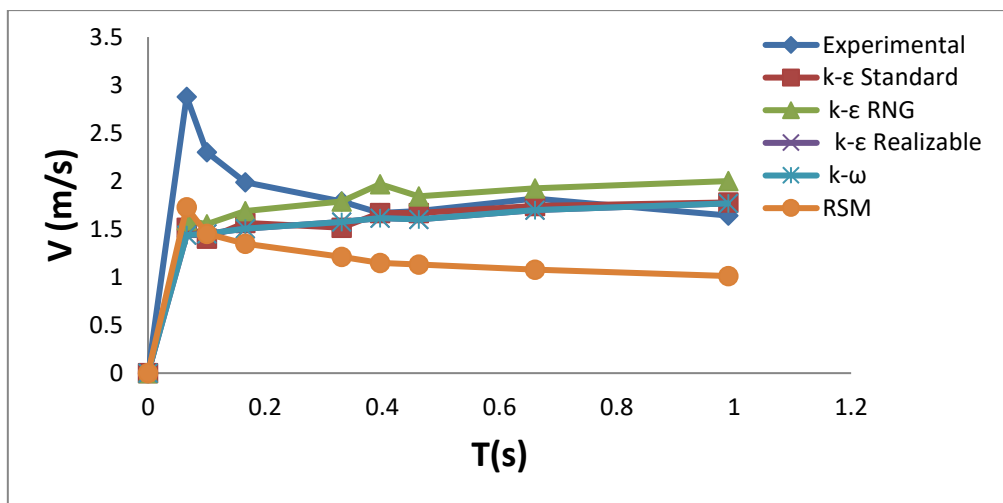
Table 2 The percentage error between numerical and experimental results for different turbulent models

مدل آشفتگی	RMSE
استاندارد $k-\varepsilon$	0.074
RNG	0.135
$K-\varepsilon$ Realizable	0.121
RSM	0.297
$K-\omega$	0.075

شرایط آزمایشگاهی مقایسه شد. در شکل (۳) سرعت پیشروی موج برای مدل‌های مختلف آشفتگی و حالت آزمایشگاهی نشان داده شده است. در ابتدا سرعت پیشروی موج در حالت آزمایشگاهی نسبت به مدل‌های تلاطمی بیشتر است.

۳-۳- سرعت پیشروی موج

سرعت انتشار موج در پایین دست سد از حاصل تقسیم پیشروی موج بر زمان به دست آمد. سرعت پیشروی موج برای مدل‌های تلاطمی محاسبه و با سرعت پیشروی موج در



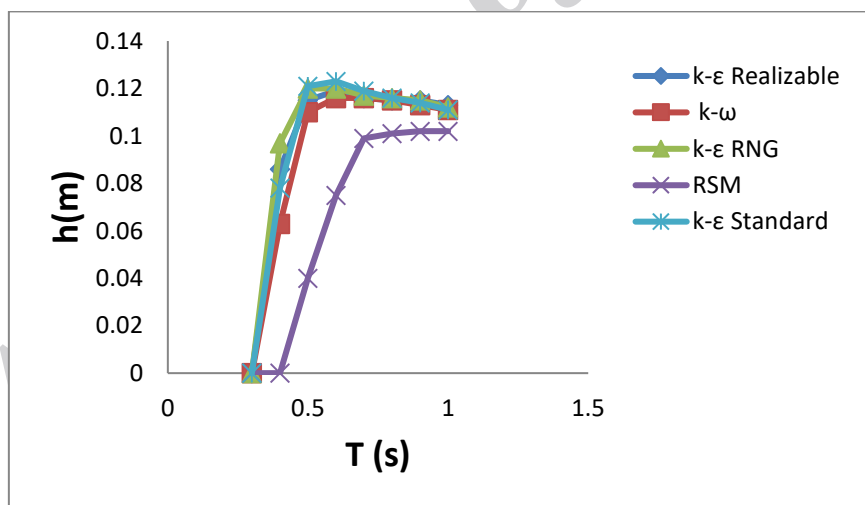
شکل ۳- سرعت پیشروی موج برای مدل های تلاطمی مختلف و شرایط آزمایشگاهی

Fig. 3 Wave velocity for various turbulent models and laboratory conditions

عمق در زمان های خاص برای اکثر مدل ها شبیه به هم می باشد و تنها مدل RSM تا حدودی با سایر مدل های تلاطمی اختلاف دارد. شکل (۴) تغییرات عمق در پایین دست مخزن سد برای مدل های مختلف آشفتگی را نشان می دهد. همانطور که ملاحظه می شود، حالات مختلف نتایج نزدیک به هم داشته و تفاوت چندانی بین آنها وجود ندارد.

۳-۴- تغییرات عمق آب در پایاب سد

در این پژوهش عمق آب در پایین دست سد (h) در فاصله ای از مخزن سد برای مدل های مختلف تلاطمی اندازه گیری شد. نتایج در شکل (۴) نشان داده شده است. با توجه به شکل (۴) می توان نتیجه گرفت که روند تغییرات



شکل ۴- تغییرات عمق در پایاب سد برای مدل های تلاطمی

Fig. 4 Depth variation along the dam for turbulent models

۳-۵- رابطه بین مشخصات موج با زمان

مدل سازی شکست سد تهیه گردید. تغییرات مقادیر عمق آب در زمان های مختلف برای پایاب خشک و تغییرات مقادیر عمق آب در پایاب نسبت به زمان از رابطه (۱۱) پیروی می کند. شکل (۵) تغییرات مقادیر عمق آب را در زمان های مختلف و برای پایاب خشک و مرطوب را نشان می دهد.

مقادیر مشخصات موج از جمله پیشروی، سرعت و عمق موج در زمان های مختلف و برای دو حالت بستر خشک و مرطوب با استفاده از نرم افزار Tec Plot تهیه شد. برای این کار از مدل Fluent برای نرم افزار Tec Plot خروجی گرفته شد و با استفاده از نرم افزار Tec Plot مشخصات موج حاصل از

مختلف و برای پایاب خشک و مرطوب را نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود پیشروی موج نسبت به زمان از رابطه خطی به فرم رابطه (۱۵) می‌باشد. مقادیر پیشروی موج را در زمان‌های مختلف و برای پایاب مرطوب در این حالت عمق آب پایاب را ۲ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. در این حالت پیشروی موج نسبت به زمان از رابطه یک رابطه خطی به صورت رابطه (۱۶) تبعیت می‌کند.

$$y = 0.4821x^2 + 0.7206x + 0.1389 \quad (۱۲)$$

$$y = 1.0359x^2 - 1.0402x + 1.5558 \quad (۱۴)$$

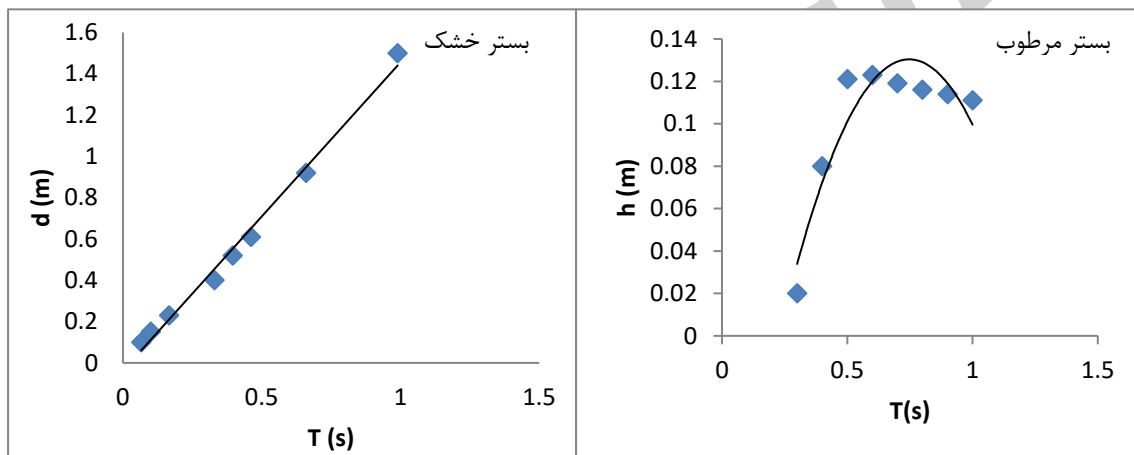
$$y = 1.493x - 0.379 \quad (۱۶)$$

این حالت عمق آب ۲ سانتیمتر برای پایین‌دست مخزن در نظر گرفته شد. تغییرات مقادیر عمق آب در پایاب نسبت به زمان از رابطه (۱۲) پیروی می‌کند. همچنین سرعت پیشروی موج نسبت به زمان از رابطه (۱۳) پیروی می‌کند. مقادیر سرعت پیشانی موج را در زمان‌های مختلف و برای پایاب مرطوب با عمق ۲cm نشان می‌دهد. سرعت پیشروی موج نسبت به زمان از رابطه سهموی از رابطه (۱۴) پیروی می‌کند. شکل (۵) مقادیر پیشروی موج را در زمان‌های

$$y = 0.0656Ln(x) + 0.1005 \quad (۱۱)$$

$$y = 0.3646x + 1.4618 \quad (۱۳)$$

$$y = 1.089x - 0.0493 \quad (۱۵)$$



شکل ۵- رابطه بین عمق آب و زمان برای بستر الف- خشک و ب- مرطوب

Fig. 5 Relationship between water depth and time for a) wet and b) dry bed

آب در پایاب دریچه افزایش می‌یابد. وجود آب در کانال پایین‌دست دریچه بر تراز آب بیشینه اثر می‌گذارد، به نحوی که با افزایش عمق آب در پایاب برای آزمایش‌های با عمق ثابت آب در بالادست دریچه، افزایش در تراز بیشینه آب در کانال پایین‌دست دیده می‌شود.

۳- تغییرات عمق آب در پایین‌دست سد بر پیشروی موج تأثیر می‌گذارد که افزایش عمق آب باعث کاهش سرعت

پیشروی موج می‌شود.

۴- نتایج مدل با اندازه شبکه متوسط و مدل تلاطمی $k-\epsilon$ standard و طرح پیشروی مرتبه اول (First Order Upwind) بهترین و نزدیک‌ترین نتایج را به داده‌های آزمایشگاهی دارد.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق تحلیل امواج شکست سد بررسی شد. با توجه به پروفیل‌های موج به دست آمده از نتایج عددی چنین نتیجه می‌شود:

۱- در آزمایش‌های با بستر خشک در پایین‌دست، موج شکل گرفته حالت هموار دارد و بدون تشکیل جت قارچی شکل به سمت پایین‌دست حرکت می‌کند.

۲- با افزایش عمق آب در پایین‌دست دریچه حالت هموار موج از بین می‌رود و جریان با تشکیل نوساناتی در سطح حرکت می‌کند. همچنین جت ایجاد شده با تشکیل یک پیشانی قارچی شکل به سمت پایین‌دست پیشروی می‌کند، که این حالت با افزایش نسبت عمق آب در سراب به عمق

مناسب برای بررسی مشخصات هیدرولیکی سیلاب ناشی از شکست سد می باشد.

۵- مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج آزمایشگاهی و مطالعات دیگر نشان می دهد که نرم افزار Fluent ابزاری

References

- Abbasi B., Esmaili K. and Abrishami J. (2010). Laboratory modeling of the hydraulic dam break with fast flood entry into the reservoir. *Water Soil J.*, 24(1), 75-83. [In Persian].
- Arzanloo A, Hassanzadeh Y. and Kardan N. (2016). Numerical simulation of dam break and flood zoning for use in preparing rapid reaction program Case study: Urmia Sharchay Dam). *J. Water Soil Knowledge*, 26(4-2), 229-241 [In Persian].
- Dehghani Sanich M. (2008). Numerical simulation with fluent software. Naghous Andisha Publishing, First Edition. [In Persian].
- FLUENT Inc. (2006). FLUENT 6.3. Users and Tutorial Guide Manual, Lebanon, USA.
- Fox R. and Donald M. (2015). Fluid mechanics by Philip J. Pritchard and John W. Mitchel 9th edition. Manhattan College, University of Wisconsin-Madison.
- Biscarini C., Francesco S. and Manciola P. (2009). CFD modelling approach for dam break flow studies. *J. Hydrol. Earth Sys. Sci.*, 6, 6759-6793.
- Hassanzadeh Y., Nourani V., Sepehri V., Delafrouz H., Hassanzadeh M. and Almaspoor F. (2015). Dam break analysis and floodplain zoning using a mathematical model (Case Study: Vianar Dam). *J. Water Soil Knowledge*, 25(1-4), 1-15. [In Persian].
- Heydari M. (2001). Simulation of flow on Ogee spillway using fluent software, Thesis of MSc for civil water, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University [In Persian].
- Komasi M., Kohzadi A. and Hosseini A. (2015). Hydraulic simulation the phenomenon of Deze dam break by MIKE computer model. *J. Hydr. Res.*, 10(3), 63-69. [In Persian].
- Mambretti S., Larean E. and Wrachien D. (2008). 1D modelling of dam-break surges with floating debris. *J. Biosys. Eng.*, 100, 297-308.
- Mina A. (2014). Hydraulic analysis and analysis of unsteady flow due to dam break by the numerical model Case study of Takestan River, M.Sc. Dissertation, Faculty of Engineering, Payame Noor University of Tehran, Iran. [In Persian].
- Mohammadnezhad B. A, Fatemi Kia M.E., Behmanesh J. and Montaseri M. (2014). Numerical simulation of wave propagation due to dam break to vertical two-dimensional forms. *J. Civil Environ. Eng.*, 44(3), 49-47 [In Persian].
- Rahimi Asl R. and Soltani M. (2008). Computational fluid dynamics with fluent software, Publishing Tarah, Fifth Edition [In Persian].
- Rostamabadi M. (2007). Numerical simulation of flow pattern around submerged plates in arc of 180 degrees with sluice. Master's Dissertation for Water Development, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University [In Persian].
- Safarzadeh A. (2017). Three-dimensional numerical simulation of the flow due to Surges of the dam break in arc paths. *J. Civil Eng.*, 17(3), 77-87. [In Persian].

Numerical Modeling of Waves Caused by Mortar Checkdam Break in Nooshan Sub-Basin, West Azarbaijan, Iran

Mostfa Salehi¹, Alireza Farhadi², Zabihollah Khani Temelilyeh^{3*} and Zaher Ahmadpoor⁴

¹Lecturer, Department of Agriculture, Payame Noor University, Tehran, Iran

²M.Sc., Department of Natural Resources, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Iran

³Young Researchers and Elite Club, Urmia Branch, Islamic Azad University, Urmia, Iran

⁴M.Sc., Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Iran

*Corresponding author: z.khani1060@yahoo.com

Original Paper

Received: February 05, 2018

Revised: April 15, 2018

Accepted: May 23, 2018

Abstract

Modeling the dam break phenomenon is more important in order to calculate the approximate discharge flow due to break to perform the measures to control it or to prevent the resulting hazards. In this research, Gambit software was used to generate the form and dimensions of the geometry of the laboratory model. Then, the generated geometry file was transferred to the Fluent hydraulic model. In Fluent environment, all effective parameters were determined. The VOF method was used for modeling. The case study in this research was the rocky sedimentary located near the Nowshan basin, which is located around Urmia city, and the dam break modeling was done for it in a three-dimensional characteristic. The results obtained from the laboratory conditions were compared with the results of the Fluent model, which is related to modeling the dam break phenomenon in two-dimensional form. Various wave characteristics were studied, including wave propagation, wave velocity, and water depth variation at the bottom of the dam in dry and wet bed conditions. Comparison of the results shows that the Fluent model has high accuracy in modeling the flow due to dam break. To construct the geometry of a part of the stream that includes the reservoir and the reservoir, a topographic map of the stream was used in AutoCAD environment.

Keywords: Dam Break; Fluent; Modeling; Gambit