

تأثیر شیب کف کانال در بررسی مساله شکست سد

محمد هوشمندزاده

کارشناس عمران - دانشکده مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز و عضو باشگاه پژوهشگران جوان

hooshmandzadeh_civil@yahoo.com

چکیده

سدها یکی از ساخته های دست بشر می باشند که ممکن است به دلایل مختلف از جمله وقوع زلزله ، بمباران ، روگذری جریان و یا وجود اشتباه در طراحی و اجرای پروژه تخریب شوند. بدین ترتیب حجم عظیمی از آب رها شده و ساکنین شهرها ، تاسیسات و شریانهای حیاتی پایین دست را از بین برده و صدمات جبران ناپذیر مادی و معنوی فراوانی وارد می کند. لذا بشر همواره به دنبال راهی برای جلوگیری از این پدیده و نیز کاهش آثار و پیامدهای نامطلوب آن بوده است. یکی از این راهها انجام تحقیق و پژوهش پیرامون این پدیده بوده است. در این مقاله نیز کوشش شده است تا تاثیر شیب کف کانال بر پدیده شکست سد مورد بررسی قرار گیرد. برای این کار همزمان مطالعات تحلیلی و آزمایشگاهی صورت گرفت که نتایج حاکی از تطابق مناسب یافته های این دو روش دارد.

کلید واژه ها: سنت و نانت، اولتراسونیک ، ریتز ، پیشرو ، موج

۱- مقدمه

شکست سد که در اثر وقوع زلزله ، بمباران ، روگذری جریان و یا وجود اشتباه در طراحی و اجرای پروژه محتمل بوده و می تواند خسارات مالی و جانی فراوانی در پایین دست آنها تحمیل نماید به رها سازی حجم زیادی از آب منجر می شود که پیدایش امواج سیلابی عظیمی را در پایاب می تواند در پی داشته باشد و خسارات زیادی را نیز بر جای گذارد. سینگ (۱۹۹۶) ۱۰۰۰ مورد شکست سد را از قرن ۱۲ تاکنون گزارش کرده که حدود ۲۰۰ مورد آن در قرن بیستم روی داده و ۸۰۰۰ مورد تلفات انسانی و خسارات دیگر به ارزش میلیونها دلار را به همراه داشته است. احتمال شکست سالانه سد برابر 10^{-4} و احتمال شکست آن در زمان عمر مفید آن برابر 10^{-2} است. اشنايدر (۱۹۹۳) با استفاده از داده های بدست آمده توسط ICOLD نشان داد که درصد تخریب سدهای خاکی در نیمه اول این قرن حداقل یکدهم کاهش یافته است. لذا می توان گفت که سدها در قیاس با سازه های دیگر ، عمر طولانی تری دارند . در حال حاضر ایمنی سدها در مهندسی سد سازی مساله مهمی است و مسوولان برخی از سدهای موجود ، نیز در پی انجام مطالعاتی درباره نتایج شکست سدها هستند. شیب کف کانال عامل موثری در پدیده شکست سد می باشد که در جاری و پخش شدن آب پشت سد نقش مهمی ایفا می کند. شکست سد سبب بروز جریانهای واریزه ای می شود. در تصویر (۱) نمونه ای از شکست سد قابل مشاهده است.



تصویر (۱) - نمونه واقعی از شکست سد

۲- ویژگیهای شکست سد

شکست سدها ممکن است بصورت تدریجی یا ناگهانی روی دهد . نوع شکست ، به دلایل شکست و نوع سد بستگی دارد. هنگامی که یک سد بطور ناگهانی تخریب می شود یعنی بخش عظیمی یا کل سد در مدت زمان کوتاهی از بین می رود ، آنگاه حجم زیادی از آب رها شده ، به وقوع سیل و انتشار امواج در پایاب منجر می شود. به دلیل اینکه ، در چنین حالاتی ، از جریان پایه می توان صرف نظر نمود ، لذا در عمل می توان فرض کرد که امواج ناشی از شکست سد ، در بستر خشک منتشر می شود. در زمان شکست سد ، یک موج منفی در بالادست ایجاد شده و به سمت بالا در مخزن منتشر می شود. توپوگرافی مخزن ممکن است موجب کنترل موج منفی ایجاد شده شود. از آنجا که شکست سد بدترین شرایط را ایجاد می کند لذا در مدلسازی شکست سد ، معمولاً این حالت ، در نظر گرفته می شود. شکست و تخریب سدهای خاکی که بطور تدریجی روی می دهد ، تلفاتی را به دنبال دارد . تخریب ناگهانی در سدهای خاکی فرض غیر واقعی است . در این حالت امواج بسیار متلاطم شکل نمی گیرد و جریان از نوع متغیر تدریجی است.

۱-۲- مثالهایی از شکست سد

شکست سد مالپاست در دوم دسامبر ۱۹۵۹ در جنوب فرانسه، مثالهایی از شکست ناگهانی سد است. فرو ریختن این سد بطور ناگهانی روی داد و تمامی سد یکباره خراب شد. صدها نفر کشته و میلیونها دلار خسارت مالی بر جای ماند. طبق گفته متخصصان، تخریب این سد غیر قابل پیش بینی بود. شکست سد تتون در آمریکا، مثالی از شکست تدریجی سد است. این سد در دره ای شیبدار قرار داشت. این سد بین ساعت ۷ صبح روز ۵ ژوئن سال ۱۹۷۶ که نشت قابل توجه آب در قسمت راست مشاهده شد و ظهر همان روز، شکست و تخریب کامل سد روی داد.

۲-۲- بررسی مساله شکست سد در مدل‌های فیزیکی

با انجام آزمایشات شکست سد در مدل‌های فیزیکی نتایج ارزشمندی در مورد انتشار امواج بدست می آید. پس از بیان روش ترسیمی محاسبه جریانهای ناپایدار توسط کرایبا، ری اولین کسی بود که مساله شکست سد را با این روش تحلیل نمود و تغییرات مقادیر ارتفاع، سرعت و دبی در پایین دست شکست سد نسبت به زمان و مکان را ارائه داده است. هدف از این تحقیق عبارت از پیش بینی اغتشاشات و سیلابهای ناشی از شکست یک یا چند سد واقع بر روی رودخانه راین بود که نتیجه آن در جنگ جهانی دوم به پیروزی متفقین انجامید.

۲-۳- پیشینه مطالعات درباره شکست سد

حسن زاده و خجسته (۱۳۸۱) درباره اثرات زبری بستر در سرعت انتشار امواج ناشی از شکست سد پرداختند. ابریشمی و هراتی (۱۳۸۱) مساله شکست سد را به روش گالریکین پراکنده با استفاده از اجزا محدود حل کردند. چانسون (۲۰۰۶) راه حلی برای بررسی امواج خطی ناشی از شکست سد ارائه داد. محمدیان و حسن زاده (۱۳۸۵) شبیه سازی دو بعدی مساله شکست سد با کمک روش حجم محدود بر روی شبکه منحنی الخط را انجام دادند. عصاره، زمردیان و بهبهانی (۱۳۸۵) مقادیر بهینه ضرایب روابط پیش بینی پارامترهای شکست سدرا با استفاده از الگوریتم ژنتیک بدست آوردند. عبدالملکی و همکاران (۲۰۰۴) مساله شکست سد را با استفاده از معادلات ناویر استوکس مدل سازی نمودند. زویو و روبرتز (۲۰۰۰) با استفاده از روش تفاضل محدود صریح به بررسی مساله شکست سد پرداختند. بزکوس و کاساپ (۱۹۹۸) مقایسه ای میان مدل های فیزیکی و عددی شبیه سازی مساله شکست سد پرداختند. تاثیر شیب و مقاومت کانال که تاکنون از آن صرف نظر می شد، در هنگامی که قسمت پایین دست رودخانه خشک بوده، بیشتر بوده و مطالعه آن از اهمیت بیشتری برخوردار است.

۲-۴- پیشینه مطالعات آزمایشگاهی

مشخصات این تحقیقات بصورت مختصر در جدول (۱) آمده است.

جدول (۹) - مشخصات مطالعات آزمایشگاهی درباره شکست سد

نام	شیب کف کانال	ابعاد کانال (متر)		ابعاد مخزن (متر)		توضیحات
		طول	عرض	طول	ارتفاع آب	
شوکلچ (۱۹۱۷)	۰	۲۶	۰/۶	> ۰/۲۵	-	
درسلر (۱۹۵۴)	۰	۱۵۰	۱/۳	> ۱	-	
کاوالی (۱۹۶۵)	۰	۴۰	۰/۲۵	۱۸		شکل مخزن مستطیلی
استراد (۱۹۶۷)	۰	۲۳/۶۵	۰/۵	۱۳/۶۵	بین ۰/۲ تا ۰/۴	شکل مخزن مستطیلی
چانسون (۲۰۰۰)	۰	۱۵	۰/۸	-	-	حجم مخزن ۰/۹ تا ۱ متر مکعب و دبی ۰/۱۵ تا ۰/۱۷ متر مکعب در ثانیه

۳- معادلات سنت ونانت

معادلات اندازه حرکت و پیوستگی که از آنها برای بیان جریان ناپایدار در کانال ها استفاده می شود، اولین بار توسط سنت ونانت در سال ۱۸۷۱ بسط یافتند. این معادلات، دیفرانسیلی جزئی شبه خطی از مرتبه اول و نوع هذلولوی هستند که بایستی بطور همزمان حل شوند. شکل کلی این معادلات بصورت زیر است:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q \quad (۱)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2\beta \frac{Q}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} + \left(gA - \beta \frac{Q^2 B}{A^2} \right) \frac{\partial Z}{\partial x} - \beta \frac{Q^2 B}{A^2} S_0 + gAS_f - u_q q = 0 \quad (۲)$$

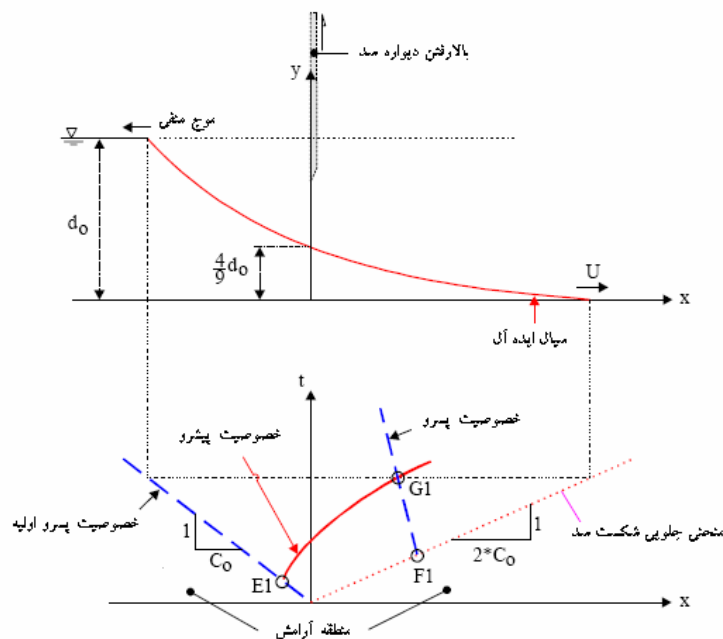
که در آن A سطح مقطع جریان، Q دبی، Z تراز سطح آب، q دبی جانبی در واحد طول کانال، B عرض کانال در تراز Z ، β ضریب تصحیح مومنوم، g شتاب ثقل، S_0 شیب کف کانال، S_f شیب اصطکاکی، t مختصه زمان، x مختصه مکان است. S_f با استفاده از معادله مانینگ

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S_f^{\frac{1}{2}} \quad (۳)$$

که در آن V سرعت متوسط جریان بر حسب متر بر ثانیه ، R شعاع هیدرولیکی بر حسب متر و n ضریب مانینگ است. حل معادلات سنت ونانت به روش تحلیلی فقط در شرایطی امکان پذیر است که حالات بسیار خاص و محدودی از امواج که بتوان معادلات مذکور را با فرضیاتی ساده نمود وجود داشته باشد. روش های ترسیمی به دلیل احتیاج به وقت طولانی ، اخیراً کمتر مورد توجه قرار گرفته اند . با توسعه رایانه و امکان استفاده از سرعت های بالای آنها در حل معادلات پیچیده ، روش های عددی به تدریج جای سایر روش ها را گرفته و به ویژه امکان اعمال عوامل و شرایط بیشتر و از سوی دیگر همزمان با آن ، دسترسی به نتایج و جوابهای نسبتاً دقیق ، سبب شده است که روش های دیگر تدریجاً کنار گذاشته شوند. برای حل این معادلات به روش عددی ، تکنیک های مختلفی وجود دارد که هر کدام از منظر همگرایی ، ثبات ، دقت و بازدهی ، مزایای مخصوص به خود را دارد. روش های عددی از جمله راه حل های معادلات سنت ونانت هستند . از جمله مهمترین روش های عددی حل معادلات سنت ونانت ، روش خطوط مشخصه^۱ می باشد که در سال ۱۷۸۹ مونژ^۲ آن را پایه گذاری نمود. در روش خصوصیات ، معادلات پیوستگی و اندازه حرکت به دو جفت معادلات دیفرانسیل معمولی که مشخصات و خصوصیات جریان را مشخص می نمایند ، تبدیل شده و سپس از طریق روش اختلافات محدود (تفاضل متناهی) حل می شوند. در روش اختلافات محدود یا روش مستقیم ، مشتقات جزئی با اختلافات محدود تعویض شده و معادلات جبری حاصله حل می گردند. برای استفاده از روش اجزا محدود ، سیستم به تعدادی جز کوچک تقسیم شده و از معادلات دیفرانسیل جزئی در گره های مربوط به هر جز انتگرال گیری می شود. روش اختلافات محدود ، خود به دو روش صریح و ضمنی تقسیم می شود. در روش صریح ، معادلات جبری حاصله خطی بوده و متغیرهای وابسته بطور صریح و در انتهای هر محدوده زمانی ، استخراج می شوند. در حالی که در روش ضمنی (غیر صریح) ، معادلات جبری عموماً غیر خطی بوده و متغیرهای مربوطه به شکل ضمنی محاسبه می شوند. البته در هنگام انجام محاسبات به شرایط اولیه نیاز است تا بتوان مقادیر مجهولات را در ابتدای هر محدوده زمانی مشخص نمود.

۳-۱- روش ریتز^۳ برای حل مساله شکست سد

ریتز (۱۸۹۲) برای حل مساله شکست لحظه ای سد و بدست آوردن نیمرخ موج پس از آن در حالتی که کانال افقی ، خشک و بدون اصطکاک باشد روشی پیشنهاد نمود. در تصویر (۱) پدیده شکست سد بصورت شماتیک به شکل از بین رفتن ناگهانی دیواره سد مدل سازی شده است. پس از شکست سد موج منفی به سمت بالادست بوجود می آید. در مخزن ، بالادست لبه های پیشانی موج منفی ، عمق آب ثابت و برابر $d = d_0$ و سرعت جریان نیز معادل صفر می باشد. در لحظه اول حرکت سیال ، شتاب عمودی قابل توجه بوده و روش مشخصه قادر به محاسبه آن نیست. همچنین فشار بصورت هیدرواستاتیک فرض می شود. در تصویر (۲) مفهوم این روش بوضوح قابل مشاهده است.



تصویر (۲) - راه حل تصویری ریتز برای بررسی مساله شکست سد

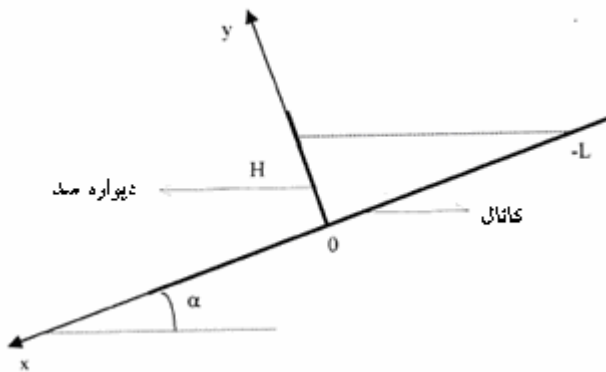
۴- روش آزمایش

¹-Method of Characteristics

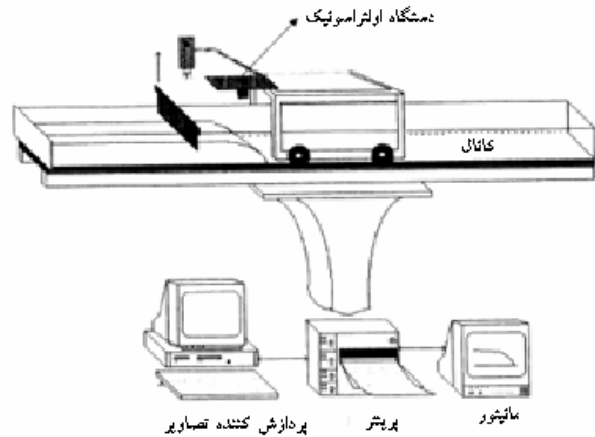
²-Monge

³-Ritter

در این آزمایش از یک کانال مستطیلی شیشه ای به طول ۵ متر ، عرض ۰/۳ متر و عمق ۰/۸ متر استفاده شد. از یک ورقه از جنس پلکسی گلاس در کانال به عنوان سد استفاده شد. در محل مخزن سد ارتفاع آب ، $h_0 = 0.55m$ بود ، تصویر (۳). در لحظه اول ، سد به یکباره برداشته شد. بنابراین سیال شروع به حرکت به سمت پایین می کند . در کنار دیواره سد جریان بسیار سریع است بنابراین دوربین عکاسی با سرعت ۱۰۰۰ عکس در ثانیه از حرکت سیال عکسبرداری می نماید. تصاویر گرفته شده بر روی یک مانیتور نمایش داده می شوند ، تصویر (۴).



تصویر (۳) - شمای کلی از آزمایش



تصویر (۴) - دستگاه های مورد استفاده در آزمایش

۵- مبانی نظری

حرکت سیالات با استفاده از معادلات ناوراستوکس و پیوستگی بررسی می شود. از حل همزمان این ۴ معادله ، مولفه های سرعت در راستای X, Y, Z و فشار p بدست می آید. البته در این مقاله معادلات ناوراستوکس بصورت دو بعدی در نظر گرفته شده اند.

$$\rho \left[\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right] = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho g \sin(\alpha) + \mu \left[\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] \quad (4)$$

$$\rho \left[\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} \right] = -\frac{\partial p}{\partial y} - \rho g \cos(\alpha) + \mu \left[\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] \quad (5)$$

$$-\frac{\partial p}{\partial z} = 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (7)$$

در معادلات فوق u, v بترتیب مولفه های سرعت در راستای x, y و ρ چگالی سیال ، μ لزجت دینامیکی سیال است. جریان آب بواسطه نیروهای لزجت و ثقلی شروع به حرکت می کند. پس از جملات اینرسی در معادلات ناوراستوکس صرفنظر شده و بنابراین می توان نوشت:

$$p = \rho g \cos(\alpha) \cdot [h(x, t) - y] + p_0 \quad (8)$$

که در آن p_0 فشار اتمسفری و $h(x, t)$ معادله تغییرات نیمرخ سطح آب با گذشت زمان می باشد. H ارتفاع آب در محل سد در زمان منفی و L طول مخزن است. لذا پارامترهای بی بعد زیر را میتوان تعریف نمود:

$$\cos(\alpha) \frac{\partial^2 h^4}{\partial x^2} - 4 \sin(\alpha) \frac{\partial (h^3)}{\partial x} - \frac{12\mu}{\rho g} \frac{\partial h}{\partial t} = 0 \quad (9)$$

$$h' = \frac{h}{H} \quad (10)$$

$$x' = \frac{x}{L} \quad (11)$$

$$t' = \frac{\rho g \cos(\alpha) H^3}{12\mu L^2} t^2 \quad (12)$$

با جایگذاری معادلات فوق در رابطه (۹) ، خواهیم داشت:

$$\frac{\partial^2(h'^4)}{\partial(x'^2)} - 4L' \frac{\partial(h'^3)}{\partial x} - \frac{\partial h'}{\partial t'} = 0 \quad (13)$$

L' پارامتر بدون بعدی است که با استفاده از رابطه زیر بدست می آید:

$$L' = \frac{L}{H} \tan(\alpha) \quad (14)$$

۶- نتیجه گیری و بحث

برای بررسی تاثیر شیب کف کانال بر مساله شکست سد دو سری آزمایش در حالتهای کف افقی و شیبدار انجام گردید که در ادامه درباره آنها صحبت می شود.

۶-۱- کانال افقی

با توجه به مطالبی که قبلاً بیان شد ، بررسی زمان حرکت پیشانی موج و وضعیت آن در هر مرحله در موقعیت های مختلف با استفاده از سیستم های عکسبرداری و ابزار اولتراسونیک انجام گردید. از نمودار (۱) می توان دو نوع رژیم جریان را تعریف نمود. این نمودار در رژیم جلویی ، بر اساس قانون ریتز^۱ می توان نوشت:

$$x'_f \propto t' \quad (15)$$

بنابراین در قسمت جلویی رژیم ویسکوزیته از فرمول زیر برای محاسبه حرکت موج استفاده میشود:

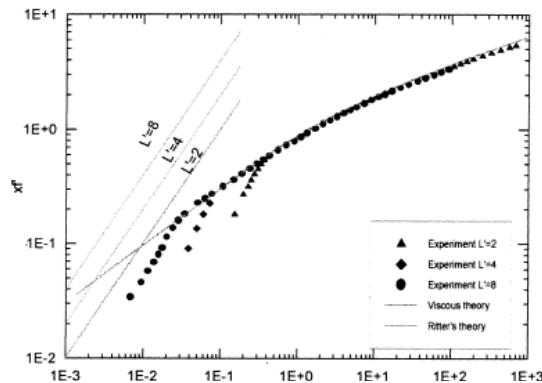
$$x'_f = 0.969 t'^{0.5} \quad (16)$$

البته رابطه فوق برای $t' < 0.1$ صادق است. برای $t' < 0.1$ خواهیم داشت:

$$x'_f = 1.86 t'^{0.2} - 0.902 \quad (17)$$

پیشینه ارتفاع موج نیز با کمک معادله زیر بدست می آید:

$$h_{\max} = \frac{0.64}{x' + 1} \quad (18)$$



نمودار(۱)- ارزیابی موج جلویی در یک کانال افقی

$$H = 0.55m, \mu = 12Pa.s, \rho = 1406 \frac{kg}{m^3} \text{ با.}$$

۶-۲- کانال شیبدار

شکل پیشانی موج را میتوان در نمودار (۲) ملاحظه نمود. برای رژیم جلویی موج بر اساس قانون ریتز مشابه حالت کانال افقی می توان نوشت:

$$x'_f = 1.071 t'^{0.5} \quad (19)$$

رابطه فوق به ازای $t' < 1/23$ صادق است. همچنین برای $t' > 1/23$ رابطه زیر بدست می آید:

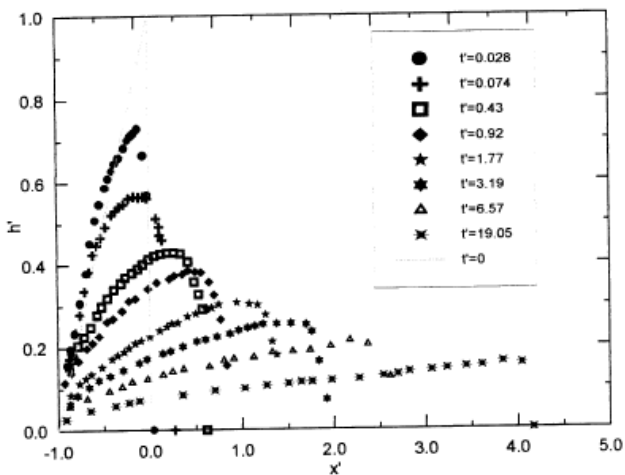
¹-Ritter

$$x'_f = 2.052t'^{0.31} - 1 \quad (20)$$

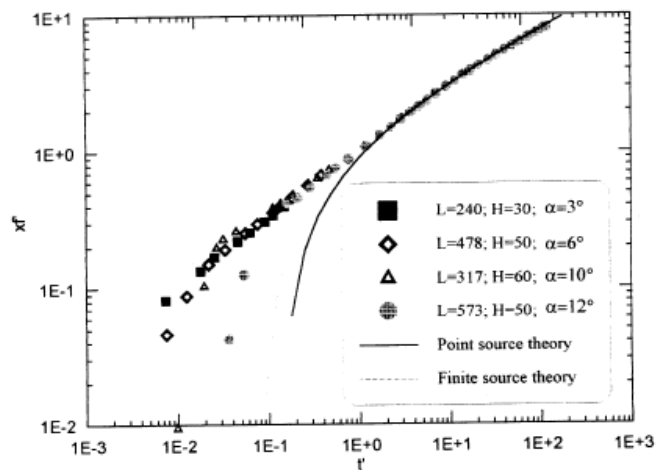
نمودار (۳) و (۴) بترتیب معرف تغییرات زمانی و ارتفاعی در حین حرکت موج در هر نقطه می باشد. بیشینه ارتفاع موج نیز با کمک معادله زیر بدست می آید:

$$h_{\max} = \frac{0.553}{(x' + 1)^{0.8}} \quad (21)$$

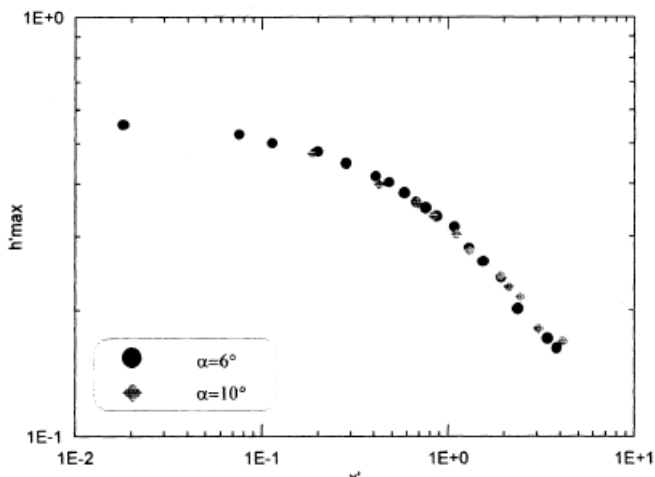
همچنین در نمودار (۵) می توان تاثیر ارتفاع سیال برای شیب های مختلف کف کانال مشاهده نمود.



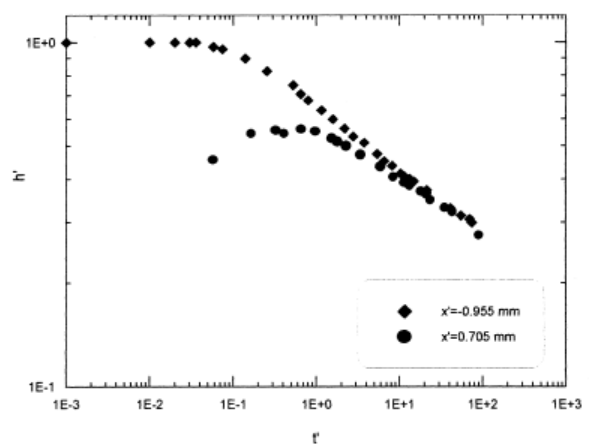
نمودار (۳) - تغییرات ارتفاع موج سیال در حین حرکت موج در هر نقطه



نمودار (۴) - ارزیابی شکل پیشانی موج با تغییرات شیب کف کانال



نمودار (۵) - تاثیر ارتفاع سیال برای شیب های مختلف کف کانال



نمودار (۶) - تغییرات زمانی موج در حین حرکت در هر نقطه

در این تحقیق پدیده شکست سد بر روی کانال افقی و شیبدار در دو حالت تحلیلی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. در آزمایشگاه ابتدا آزمایش در کانال افقی و سپس در حالت شیبدار انجام شد. بعد از شروع حرکت سیال، دوربین اولتراسونیک با سرعت ۱۰۰۰ عکس در هر ثانیه شروع به عکسبرداری نمود که نتایج تحقیق درباره پارامترهای مختلف در نمودارهای (۱) الی (۵) نمایش داده شده است. در روش تحلیلی نیز از مدل موج کینماتیک برای مطالعه پدیده شکست سد استفاده شد. میان نتایج عملی و تحلیلی تطابق بسیار خوبی مشاهده شد.

منابع و مراجع

- ۱- حسن زاده، یوسف، بررسی اثرات زبری بستر در سرعت انتشار امواج ناشی از شکست سد، مجموعه مقالات ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، بهمن ماه ۱۳۸۱، دانشگاه شهید چمران، اهواز
- ۲- ابریشمی، جلیل، هراتی، رضا، حل اجزا محدود مساله شکست سد به روش گالرکین پراکنده، مجموعه مقالات ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، بهمن ماه ۱۳۸۱، دانشگاه شهید چمران، اهواز

3-Chanson H.(2006) , A Simple Soulation of the Laminar Dam Break Wave,Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol. 1 No.1 pp.1-10

۴- عصاره ، زهرا ؛ زمردیان ، محمد علی ؛ علینقی زاده بهبهانی ، ستار ، بهینه یابی هوشمند ضرایب روابط پیش بینی پارامترهای شکست سد با استفاده از الگوریتم ژنتیک ، مجموعه مقالات هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه ، بهمن ماه ۱۳۸۵ ، دانشگاه شهید چمران ، اهواز

۵- محمدیان ، عبدالوحید ؛ حسن زاده ، یوسف ، شبیه سازی عددی دو بعدی مساله شکست سد توسط روش حجم محدود بر روی شبکه منحنی الخط ، مجموعه مقالات هفتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه ، بهمن ماه ۱۳۸۵ ، دانشگاه شهید چمران ، اهواز

6- K. Abdolmaleki, K. P. Thiagarajan and M. T. Morris-Thomas(2004) , " Simulation of The Dam Break Problem and Impact Flows Using a Navier-Stokes Solver",15th Australasian Fluid Mechanics Conference The University of Sydney, Sydney, Australia

7- Christopher Zoppou_ , Stephen Roberts(2000)," Explicit Schemes for Dam-Break Simulations" ASCE J. Hydraulic Engineering

8- Zafer BOZKUS, Ali KASAP(1998) , " Comparison of Physical and Numerical Dam-Break Simulations". Jouranl of Engineering and Environmental Science

۹- فولادی ، چنگیز ، درسهایی از شکست سدهای بزرگ ، مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس سد سازی