تأثیر هندسه تبدیل همگرا بر پارامترهای هیدرولیکی امواج ضربهای

محمدرضا نیک پور^{1*} - داود فرسادی زاده² - علی حسین زاده دلیر³ - جواد بهمنش⁴ - فرزین سلماسی⁵ تاریخ دریافت:1392/2/26 تاریخ پذیرش:1393/1/26

چکیدہ

در مطالعه جریانهای فوق بحرانی تشکیل امواج ضربهای از اهمیت بالایی برخوردار است. این امواج عمدتاً در هنگام عبور جریان فوق بحرانی در کانالهای غیر منشوری یافت میشوند. در تحقیق حاضر با استفاده از مدل آزمایشگاهی تأثیر طول و تحدب دیواره تبدیل همگرای کانال روباز بر پارامترهای هیدرولیکی امواج ضربهای مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور مقادیر عمق و سرعت لحظهای در نقاط مختلف امواج ضربهای تشکیل شده در تبدیلهای همگرا بهازای چهار عدد فرود مختلف اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که با کاهش طول تبدیل به میزان 63 درصد، مقادیر حداکثر سرعت و ارتفاع امواج بهطور متوسط 23/6 درصد و ²00×27/1 درصد افزایش یافت. همچنین بهازای طول ثابت تبدیل، با تغییر دیوارههای آن از حالت مستقیم به محدب مقادیر مذکور بهطور میانگین 6/9 درصد و 25% درصد کاهش یافت.

واژه های کلیدی: جریان فوق بحرانی، سرعت لحظهای، کانال غیرمنشوری، مدل ازمایشگاهی

مقدمه

در جریانهای فوق بحرانی امواج عرضی⁶ در سطح جریان به وفور دیده می شوند و همین مسأله وجه اصلی تمایز جریانهای فـوق بحرانی و زیربحرانی است (4). امـواج عرضی بـهوجـود آمـده در جریانهای سریع کانالهای روباز شبیه امواج ضربهای در جریانهای مافوق صوت گازها می باشد. از اینرو به امواج عرضی ایجاد شـده در عریانهای فوق بحرانی، امواج ضربهای⁷ نیز گفته می شود (3). وجود افتادگی کف، خمها و... در مسیر کانالهای دارای جریان فوق بحرانی باعث تغییر ناگهانی در عمق و سرعت جریان شده و تشکیل امـواج نشربهای را به دنبال خواهد داشت. در مطالعه جریانهای فوق بحرانی تشکیل امواج ضربهای از اهمیت بالایی برخوردار است. در اثـر بـروز این امواج یک الگوی آشفتگی تشکیل می شود کـه در مسـافتهـای در این امواج یک الگوی آشفتگی تشکیل می شود کـه در مسـافتهـای قابل توجهی در پایین دست تأثیر می گذارد (3). جریان فوق بحرانی در

1، 2 3 و 5- به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار، استاد و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

(Email: rezanikpoor@yahoo.com (* - نویسنده مسئول: 4- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

6- Cross Wave

7- Shock wave

است. بالامادي و چادري (2) به منظور تحليل جريان در تبديل هاي همگرا و واگرا معادلات دو بعدی متوسط گرفته شده جریان غیرماندگار در آبهای کمعمق را با استفاده از روش عددی مک-کورمک⁸ با شمای صریح⁹ مرتبه دوم گسسته و حل نمودنـد. آنهـا در تحقيق خود از دادهها و نتايج آزمايشـ گاهی ساير محققين استفاده كردند مقايسه نتايج نشان داد هر كجا توزيع فشار بهصورت هیدرواستاتیک باشد بین نتایج عددی و آزمایشگاهی مطابقت وجود داشت. در بقیه مناطق و به خصوص در مناطقی که جداشدگی جریان وجود داشت مدل قادر به شبیه سازی دقیق پروفیل سطح آب نبود. کروگر و راتشمان (6) با حل معادلات کلاسیک (CSW¹⁰) و توسعه یافته آبهای کمعمق¹¹ (ESW) توسط نرمافزار FEMTOOL جریان فوق بحرانی در تبدیلهای همگرا و واگرا و در تلاقی کانالها را در حالت سه بعدی شبیهسازی کردند. در شبیهسازی پروفیل سطح آب در سازههای مذکور، معادلات ESW نسبت به CSW نتایج بهتری از خود نشان داد. استامو و همکاران (8) با به کارگیری دادههای آزمایشگاهی مزامدر و هگر (7) جریان فوق بحرانی را در تبدیل واگرای کانال مستطیلی با استفاده از نرمافزار FLOW-3D بهصورت سه بعدی شبیهسازی کردند. پس از اجرای مدل عددی بهازای چهار

⁸⁻ MacCormak (MAC)

⁹⁻ Explicit

¹⁰⁻ Classic Shallow Water

¹¹⁻ Extended Shallow Water Equations

عدد فرود مختلف، یروفیل سطح آب استخراج و با مقادیر آزمایشگاهی مقایسه گردید که از تطابق نسبتاً خوبی برخوردار بودند. منتظری نمین و همکاران (9) بهمنظور شبیهسازی الگوی جریان فوق بحرانی در خم کانال در محیط نرم افزار FLUENT، از مدل حجم سیال و مدل آشفتگی k- ε استاندارد استفاده کردند. پروفیل سطح امواج تشکیل kشده در قوس خارجی و داخلی خم در مقایسه با دادههای آزمایشگاهی با دقت مناسبي شبيهسازي شده بود. جعفرزاده و همكاران (5) بهمنظور کاهش ارتفاع امواج ضربهای در خمها، یک گوشه محدب در ورودی یک خم آزمایشگاهی ایجاد کردند. امواج منفی تشکیل شده از گوشه محدب با اولین موج مثبت منتشر شده از قوس خارجی خم متداخل شده و کاهش ارتفاع موج مثبت را به همراه داشت. همچنین از روش عددی Roe برای تعیین ابعاد مناسب گوشه محدب فوق برای به حداقل رساندن ارتفاع امواج مثبت و هموار کردن سطح جریان در كانال پايين دست استفاده كرند. جعفرزاده و علامتيان (1) با حل معادلات دو بعدی متوسط گرفته شده آبهای کمعمق در تبدیلها با استفاده از روشهای عددی مککورمک (با شبکه ثابت و تطبیقی) و لاکس-وندروف (با شبکه ثابت) و همچنین با استفاده از مدل آزمایشگاهی جریان فوق بحرانی در تبدیلهای همگرا و واگرا را شبیه سازی کردند. در طی آزمایشات پروفیل سطح آب در امتداد دیـواره و محور مرکزی تبدیل برداشت گردید. در نهایت روش مککورمک با شبکه تطبیقی همخوانی بیشتری در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی نشان داد. روش مذکور به خوبی قادر است پیشانی تیز امواج را شبیه-سازی کند و همچنین زمان محاسباتی را نسبت به شبکه ثابت به میزان قابل توجهی کاهش دهد. در مطالعات آزمایشگاهی انجام گرفته توسط محققین به اندازه گیری و تحلیل پروفیل سرعت امواج ضربهای تشکیل شده در تبدیلهای همگرا و واگرا کمتر پرداخته شده است، لذا هدف از تحقیق حاضر تحلیل و بررسی آزمایشگاهی مقادیر عماق و سرعت لحظهای در نقاط مختلف امواج ضربهای تشکیل شده در تبدیلهای همگرا با دیوارههای مستقیم و محدب می باشد.

مواد و روشها

کلیه مطالعات آزمایشگاهی تحقیق حاضر در یک فلوم آزمایشگاهی با مقطع مستطیلی به طول 6 متر، عرض 1 متر و ارتفاع دیوارههای 0/7 متر انجام گرفت. در بالادست فلوم یک مخزن به منظور تأمین هد به طول 1/75 متر، عرض 1/65 متر و ارتفاع 1/20 متر نصب شده بود. آب از مخزن زیرزمینی به داخل مخزن هد پمپاژ شده و پس از عبور از تبدیل مخزن وارد فلوم می گردید. لازم به ذکر است که دبی ورودی به مخزن هد توسط شیر فلکهای که بر روی

لوله رانش یمپ نصب شده بود، تنظیم می شد. در ورودی فلوم یک دريچه کشويي فولادي لبهتيز به ضخامت 3 ميلي متر و ارتفاع 1/2 متر بهمنظور تنظیم سطح آب ورودی و کنترل عدد فرود نصب شده بود. در قسمت خروجی فلوم، یک مخزن تخلیه² برای هدایت آب به کانال زهکش و سپس مخزن زیرزمینی آزمایشگاه طراحی شده بود. در طی آزمایشات از چهار ورق پلگسی گلاس به ضخامت 6 میلی متر، طول 1 متر و ارتفاع 30 سانتىمتر بەمنظور ايجاد كانال هاى بالادست و پایین دست تبدیلها استفاده شد. برای دیوارههای تبدیلها نیز از شش ورق پلگسی گلاس به ضخامت 6 میلیمتر، طول 1/5 متر و ارتفاع 30 سانتی متر استفاده گردید. به منظور نصب دیوارههای تبدیل و همچنین کانالهای بالادست و پایین دست، یک کف کاذب از جنس پلیاتیلن فشرده به ضخامت 1 سانتیمتر، طول 3/5 متر و عرض 1 متر در ابتدای فلوم کار گذاشته شد. بهمنظور ایجاد جریان فوق بحرانی در تبدیلهای همگرا، در کلیه آزمایشات میزان بازشدگی دریچه کشویی 2 سانتیمتر و عرض کانالهای بالادست و پائیندست به ترتيب برابر 80 و 40 سانتیمتر (نسبت همگرایی برابر 0/5) در نظر گرفته شد. اندازه گیری دبی جریان عبوری از فلوم با استفاده از یک دستگاه دبی سنج صوتی مدل UFM610P، با دقت ±0/02 لیتر بر ثانیه که حسگرهای آن بر روی لوله آبرسان فلوم نصب شده بود، انجام گرفت. جهت اندازه گیری ارتفاع سطح امواج از عمق سنج نقطهای با دقت اندازه گیری $0/1 \pm 0$ میلی متر استفاده شد. همچنین به منظور اندازه گیری سرعت جریان در نقاط مختلف موج از سرعت سنج الكترومغناطيسي دو بعدي سطح افق مدل ACM2-RS با دقت ±0/5 سانتیمتر بر ثانیه استفاده شد. آزمایشات بهازای چهار عدد فرود جريان 3/2، 5/4، 7/0 و 9/1 در بالادست تبديل انجام گرفت. لازم به ذکر است که تغییر عدد فرود در طی آزمایشات از طریق تغییر ارتفاع آب در مخزن هد حاصل شد که در جدول 1 مقادیر آن آورده شده است. در این جدول، Q نشان دهنده دبی ورودی به مخزن، H ارتفاع آب مخزن، y عمق آب خروجی بلافاصله از زیر دریچه کشویی و Fr₁ عدد فرود متناظر با آن در كانال بالادست مى باشد.

به منظور بررسی تأثیر هندسه تبدیل بر پارامترهای هیدرولیکی امواج ضربهای، سه مدل از تبدیلهای همگرا با هندسههای متفاوت به کار گرفته شد. مشخصات تبدیلهای همگرای مورد استفاده در این تحقیق در جدول 2 آورده شده است.

مدلهای 1 و 2 به منظور بررسی تأثیر طول دیواره تبدیل و مدلهای 2 و 3 به منظور بررسی تأثیر انحنای دیواره تبدیل بر امواج ضربهای مورد استفاده قرار گرفتند. لازم به ذکر است که شعاع انحنای دیوارههای محدب مدل 3، 0/63 متر میباشد. شعاع انحنای مذکور به گونهای انتخاب شد که در فاصله طولی 0/55 متر، عرض کانال را از

¹⁻ Lax-Wendroff

²⁻ Tail tank

0/8 متر به 0/4 متر تبدیل کند. شکل 1 نمایی از تبدیلهای همگرای

مورد استفاده در این تحقیق را نشان میدهد.

جدول 1- مشخصات أزمايشات				
Q (lit/s)	H (m)	y (m)	Fr ₁	
19/1	0/79	0/018	3/2	
32/4	0/90	0/018	5/4	
38/6	0/98	0/017	7/0	
46/3	1/08	0/016	9/1	

	نبدیل های همگرا	2- مشخصات ز	جدول	
، تبديل	طول	نوع ديواره	سماره مدل	;
1 متر	/5	مستقيم	1	
/0 متر	55	مستقيم	2	
/0 متر	55	محدب	3	



شکل 1- نمای بالادست تبدیلهای همگرا (الف): تبدیل مدل 1 (ب): تبدیل مدل 2 (ج): تبدیل مدل 3



شکل 2- تشکیل امواج ضربهای در تبدیل مدل 1 بهازای Fr₁= 7



شکل 3- تشکیل امواج ضربهای در تبدیل مدل 2 بهازای Fr₁= 7



شکل 4- تشکیل امواج ضربهای در تبدیل مدل 3 بهازای Fr₁=7

پس از تنظیم و تثبیت ارتفاع آب در مخزن هد (با استفاده از اشل دیواره مخزن) بهازای اعداد فرود مذکور در جدول 1، با عبور آب از زیر دریچه کشویی جریان فوق بحرانی در داخل کانال برقرار میگردید. به محض رسیدن جریان فوق بحرانی به ابتدای تبدیل، امواج ضربهای از ابتدای دیوارههای تبدیل به صورت مورب شروع شده و به هم برخورد میکنند. شکلهای 2 تا 4 نمونهای از امواج ضربهای تشکیل شده در تبدیلهای همگرا را بهازای 7 =Fr نشان میدهد.

پس از برقراری شرایط جریان ماندگار و پایدار شدن الگوی امواج ضربهای در تبدیلها، مقادیر سرعت لحظهای در طول حرکت جبه ه موج از فاصله 10 سانتیمتری ابتدای تشکیل موج در پنج مقطع به فواصل طولی 30 سانتیمتر در مدل 1 و 10 سانتیمتر در مدلهای 2 و 3 توسط سرعت سنج اندازه گیری و ثبت گردید. همچنین در مدل 1 در هر راستای قائم، از فاصله 5 میلیمتری بستر تا 5 میلیمتری سطح موج در فواصل عمودی 5 میلیمتری اندازه گیری سرعت انجام شد. در مدلهای 2 و 3 نیز برداشت قائم سرعت از فاصله 5 میلیمتری انجام مدلهای 2 و 3 نیز برداشت قائم سرعت از فاصله 5 میلیمتری انجام مدلهای 2 و 3 نیز برداشت قائم سرعت از فاصله 5 میلیمتری انجام گرفت. لازم به ذکر است که مدت زمان برداشت دادههای سرعت در

پروفیل سطح امواج نیز در طول حرکت جبهه موج با استفاده از عمق سنج نقطهای اندازه گیری گردید. با توجه به شدت بالای آشفتگی جریان و اختلاط آب و هوا، احتمال بروز خطا در هنگام قرائت پروفیل سطح آب وجود داشت. به منظور به حداقل رساندن خطای مذکور در هر نقطه چندین بار مقدار عمق اندازه گیری شده و میانگین آنها به عنوان ارتفاع موج نقطه مورد نظر ثبت می گردید.



شکل 5- محلهای اندازه گیری سرعت در تبدیل مدل 1



شکل 6- محلهای اندازه گیری سرعت در تبدیل مدل 2

نتايج و بحث

در شکلهای 7 تا 9 پروفیلهای سرعت در امتداد حرکت امواج ضربهای بهازای اعداد فرود آزمایشات در مدلهای 1 تا 3 نمایش داده شده است. در شکلهای مذکور منظور از X فاصله طولی بر حسب متر نسبت به مبدأ تشکیل موج و در امتداد حرکت جبهه موج می باشد. در شکلهای مذکور پارامترهای z، d، u و $\overline{u_1}$ به ترتیب نمایانگر فاصله قائم از کف، میزان گشودگی دریچه، سرعت لحظهای در جهت طولی و میانگین سرعت جریان عبوری از زیر دریچه کشویی به ازای اعداد فرود مختلف می باشد. شکلهای 10 تا 12 نیز تغییرات ارتفاع جبهه موج را در امتداد حرکت آن بهازای اعداد فرود مختلف در مدلهای مذکور نشان می دهند.

پروفیلهای بدست آمده برای کلیه مدلها نشان میدهند که توزیع سرعت در راستای قائم امواج ضربهای یکنواخت نمی،باشد. همان گونه که مشاهده میشود مقدار سرعت با فاصله گرفتن از بستر افزایش یافته و پس از رسیدن به مقدار حداکثر، شروع به کاهش

می کند. در واقع اختلاط آب و هوا در سطح موج باعث کاهش سرعت آن می شود، به عبارت دیگر هوا بهعنوان مانعی برای سرعت عمل می کند. بر این اساس برای هر پروفیل سرعت می توان دو ناحیه مجزا در نظر گرفت، ناحیه افزایش سرعت (ناحیه اول) و ناحیه کاهش سرعت (ناحیه دوم). در جداول 3 و 4 میزان کاهش سرعت موج در ناحیه دوم، در مقاطع 2011 و 2014 برای هر سه مدل آورده شده است. لازم به ذکر است که مقادیر ذکر شده در این جداول از اختلاف مقادیر حداکثر سرعت موج و سرعت در نزدیکی سطح موج حاصل شده است. از سوی دیگر در طول حرکت جبهه موج، سرعت موج کاهش و ارتفاع آن افزایش یافته است. برخورد اولین موج مورب با جریان اصلی کانال باعث استهلاک انرژی جنبشی اغتشاش¹ و افزایش ارتفاع موج شده و کاهش سرعت موج را بهدنبال داشته است.

www.SID.ir

¹⁻ Dissipation of turbulence kinetic energy



با توجه به اینکه هدف از تحقیـق حاضـر بررسـی تـأثیر طـول و تحدب دیوارههای تبدیل بر امواج ضربهای مـیباشـد، بـا اسـتفاده از شکلها و جداول فوق به تأثیر این دو پارامتر پرداخته میشود:

تأثير طول تبديل

با مقایسه شکلهای 7 و 8 و بر اساس اعـداد گـزارش شـده در

جداول 3 و 4 ملاحظه میشود که میزان کاهش سرعت در ناحیه دوم مدل 2 به مراتب از مدل 1 بیشتر است. با توجه به اینکه یکی از عوامل تشکیل امواج ضربهای در جریانهای فوق بحرانی کاهش عرض کانال می باشد و از سوی دیگر در مدل 2 کاهش عرض جریان نسبت به مدل 1 در فاصله کوتاهتری انجام گرفته است لذا تغییر رفتار سیال در این مدل شدیدتر بوده و ارتفاع و سرعت امواج تشکیل شده

نیز بیشتر میباشد. به همین خاطر در امواج ضربهای تشکیل شدهٔ مدل 2 اختلاط آب و هوا بسیار شدیدتر از مدل 1 بوده و همین عامل، کاهش شدید سرعت را در ناحیه دوم آن به همراه داشته است. با مقایسه شکلهای 10 و 11 مشاهده میشود که ارتفاع جبهه موج در مسیر حرکت آن در مدل 1 با شیب ملایمی افزایش یافته است در ناگهانی افزایش یافته و پس از تشکیل موج ضربهای ارتفاع آن بهصورت تا محل تلاقی امواج، افزایش ارتفاع آن بهصورت ملایم صورت گرفته است. با توجه به اینکه در مدل 1 کاهش عرض کانال بهصورت تدریجی و در مسیر طولانی تری نسبت به مدل 2 انجام گرفته است لذا امواج تشکیل شده در مدل 1 از ارتفاع و سرعت و به عبارت دیگر

انرژی کمتری نسبت به امواج مدل 2 برخوردار میباشند. در جداول 5 و 6 مقادیر حداکثر سرعت و ارتفاع امواج ضربهای بهازای اعداد فرود مختلف در مدلهای 1 و 2 به همراه میزان افزایش آنها در مدل 2 نسبت به مدل 1 آورده شده است. لازم به ذکر است که مقادیر ذکر شدهٔ حداکثر سرعت بهازای هر عدد فرود، بر اساس میانگین گیری از مقادیر حداکثر سرعت در مقاطع مختلف اندازه گیری سرعت موج بدست آمده است.

نتایج بدست آمده از جداول 5 و 6 نشان میدهد که با کاهش طول تبدیل مدل 1 به اندازه 0/95 متر (63/3 درصد)، مقادیر حداکثر سرعت و ارتفاع امواج بهطور متوسط 23/6 درصد و 10²×2/77 درصد افزایش یافته است.





تأثير تحدب ديوارهها

با توجه به پروفیلهای شکل 9 ملاحظه می شود که در مدل 3 نیز همانند مدل 2 میزان کاهش سرعت در ناحیه دوم از شدت نسبتاً بالایی برخوردار است. اما بر اساس اعداد جداول 3 و 4، بهازای یک عدد فرود ثابت میزان کاهش سرعت در این مدل به مقدار اندکی از

مدل 2 کمتر می باشد. در واقع در مدلهای 2 و 3 کاهش عرض کانال در فاصله یکسانی انجام گرفته است اما در مدل 3 حالت تحدب دیوارهها موجب شده است تا از تلاطم امواج و اختلاط آب و هوا تا حدودی کاسته شده و اختلاف مشاهده شده بین نتایج مدلهای 2 و 3 نیز به همین دلیل می باشد.



میکنند و همین عامل باعث می شود تا فاصله محل تلاقی امواج در مدل 3 نسبت به مدل 2 مقداری افزایش پیدا کند. جداول 7 و 8 نیز مقادیر حداکثر سرعت و ارتفاع امواج ضربهای را بهازای اعداد فرود مختلف در مدل های 2 و 3 به همراه میزان کهش آنها در مدل 3 نسبت به مدل 2 نشان می دهند.

همچنین با مقایسه شکلهای 12 و 13 مشاهده می شود که در هر دو مدل ارتفاع امواج پس از تشکیل بـهصورت ناگهانی افـزایش مییابد و این درحالی است که شیب افزایش ارتفاع مـوج در مـدل 3 نسبت به مدل 2 کمتر می باشد و از سوی دیگر امواج تشکیل یافته در مدل 3 پس از جدا شدن از دیواره با شیب ملایمی سـیر نزولـی طی

				• .	
	Fr ₁ = 9/1	$Fr_1 = 7/0$	$Fr_1 = 5/4$	$Fr_1 = 3/2$	
	4/156	3/476	2/741	2/054	مدل 2 (متر بر ثانيه)
میانگین	3/926	3/277	2/558	1/851	مدل 3 (متر بر ثانيه)
6/9	5/5	5/7	6/7	9/9	نرخ کاهش (درصد)

جدول 7 - حداکثر سرعت امواج ضربهای در مدلهای 2 و 3

جدول 8- حداکثر ارتفاع امواج ضربهای در مدلهای 2 و 3

	$Fr_1 = 9/1$	$Fr_1 = 7/0$	$Fr_1 = 5/4$	$Fr_1 = 3/2$	
	27/80	24/78	22/31	20/45	مدل 2 (سانتیمتر)
میانگین	18/86	16/25	14/36	12/56	مدل 3 (سانتیمتر)
35/2	32/2	34/4	35/6	38/6	نرخ کاهش (درصد)

نتایج بدست آمده از جداول فوق نشان میدهد که بهازای طول ثابت تبدیل، با تنییر دیوارههای آن از حالت مستقیم به محدب مقادیر حداکثر سرعت و ارتفاع امواج بهطور میانگین 6/9 درصد و 35/2 درصد کاهش یافته است.

نتيجهگيرى

نتایج نشان داد که در هر سه مدل توزیع سرعت در راستای قائم امواج ضربهای یکنواخت نمی،اشد بهطوری که مقدار سرعت با فاصله گرفتن از بستر افزایش یافته و پس از رسیدن به مقدار حداکثر در اثر اختلاط آب و هوا در سطح موج شروع به کاهش می کند. در هر سه مدل با افزایش عدد فرود و با پیشروی جبهه موج بر شدت تلاطم موج و اختلاط آب و هوا افزوده شده و سرعت موج در ناحیه دوم پروفیل سرعت با شدت بیشتری کاهش یافت. با مقایسه نتایج مدلهای 1 و 2 مشاهده گردید که ارتفاع و سرعت امواج تشکیل شده از میزان کاهش سرعت موج در ناحیه دوم مدل 2 به مراتب از مدل ا بیشتر بود. کاهش ناگهانی عرض کانال در مدل 2 که با برخورد سریع خطوط جریان با دیوارههای تبدیل و تشدید اختلاط آب و هوا همراه بود، باعث اختلافهای مذکور شده و با افزایش عدد فرود بر

میزان اختلافها افزوده شد. همچنین با مقایسه نتایج مدلهای 2 و 3 مشاهده شد که بهازای طول ثابت تبدیل، با تحدب دیوارههای تبدیل تا حدودی از شدت تلاطم امواج و اختلاط آب و هوا کاسته شده و در نتيجه أن ميزان كاهش سرعت در ناحيه دوم و همچنين اندازهٔ ارتفاع و سرعت امواج ضربهای کاهش یافت. در نهایت نتایج نشان داد که با كاهش طول تبديل به ميزان 63/3 درصد، مقادير حداكثر سرعت و ارتفاع امواج بهطور متوسط 23/6 درصد و 10²×2/77 درصد افزایش یافت. همچنین بهازای طول ثابت تبدیل، با تغییر دیـوارههـای آن از حالت مستقيم به محدب مقادير مذكور بهطور ميانگين 6/9 درصد و 35/2 درصد كاهش يافت. نتايج كلى تحقيق حاضر نشان داد كه به ازای نسبت همگرایی ثابت، کاهش زاویهٔ همگرایی (افزایش طـول دیوارهٔ تبدیل) نسبت به محدب کردن دیوارهها تأثیر بهتری بر کاهش ارتفاع امواج ضربهای دارد. بر این اساس توصیه می شود که در هنگام طراحی تبدیلهای همگرا در حالت عبور جریان فوق بحرانی به منظور به حداقل رساندن ارتفاع امواج ضربهای و اثرات مخرب آن، کوچک-ترین زاویهٔ همگرایی ممکن انتخاب شود و در صورت وجود محدودیت در انتخاب طول، دیوارهٔ تبدیل قبل از اجرای مدل واقعی، با استفاده از مدل های آزمایشگاهی و یا عددی پدیده تشکیل امواج بررسی شود.

منابع

1- جعفرزاده م. و علامتيان الف. 1388. تحليل عددى جريان در تبديلها با استفاده از شبكه تطبيقى. مجله تحقيقات منابع آب ايران 45-58.
2- Bhallamudi S.M., and Chaudhry M.H. 1992. Computation of flows in open-channel transitions. Journal of Hydraulic Research IAHR, 30(1): 77-93.

³⁻ Chow V.T. 1959. Open channel hydraulics. McGraw-Hill Publisher, Michigan.

⁴⁻ Hager W.H. 1989. Supercritical flow in channel junction. Journal of Hydraulic Engineering ASCE, 115(5): 595-616.

⁵⁻ Jaefarzadeh M.R., Shamkhalchian A., and Jomehzadeh M. 2012. Supercritical flow profile improvement by means of a convex corner at a bend inlet. Journal of Hydraulic Research IAHR, 50(6): 623-630.

⁶⁻ Krüger S., and Rutschmann P. 2006. Modeling 3D supercritical flow with extended shallow-water approach. Journal of Hydraulic Engineering ASCE, 132(9): 916-926.

- 7- Mazumder S.K., and Hager W.H. 1993. Supercritical expansion flow in Rouse modified and reversed transitions. Journal of Hydraulic Engineering ASCE, 119(2): 201-219.
- 8- Stamou A., Chapsas D., and Christodoulou G. 2008. 3-D numerical modeling of supercritical flow in gradual expansions. Journal of Hydraulic Research IAHR, 46(3): 402-409.
- 9- Montazeri-Namin M., Ghazanfari-Hashemi R., and Ghaeini-Hessaroeyeh M. 2012. 3D numerical simulation of supercritical flow in bends of channel. p. 167-171. International Conference on Mechanical, Automotive and Materials Engineering, 7-8 Jan. Dubai, United Arab Emarates.

Effect of Contraction Geometry on Hydraulic Parameters of Shock Waves

M.R. Nikpour^{1*} - D. Farsadizadeh² – A. Hosseinzadeh Dalir³ – J. Behmanesh⁴ – F. Salmasi⁵ Received: 16-05-2013

Accepted:15-04-2014

Abstract

Formation of shock waves has an important role in supercritical flows studies. These waves are often occurring during passage of supercritical flow in the non-prismatic channels. In the present study, the effect of length and convergence of contraction wall of open-channel was investigated on hydraulic parameters of shock waves using experimental model. For achieving to this goal, values of depth and instantaneous velocity were measured in various points of shock waves observed in contractions for four Froude Numbers. The results showed that for 63% decreasing the length of contraction, the values of maximum velocity and waves height averagely increased to the amount of 23.6% and $2.77 \times 10^2\%$, respectively. Also for the fixed length of contraction, by changing the form of walls from straight-wall to convex-wall the mentioned values averagely decreased to 6.9% and 35.2%, respectively.

Keywords: Experimental model, Instantaneous velocity, Non- prismatic channel, Supercritical flow

1,2,3,5- Ph.D Student, Associate Professor, Professor and Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Respectively

^{(*-} Corresponding Author Email: rezanikpoor@yahoo.com)

⁴⁻ Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Urmia