

## تأثیر شیب جانبی دیواره تبدیل همگرا بر روی پارامترهای هیدرولیکی امواج ضربه‌ای

فریناز شجاع طلائی<sup>۱\*</sup>، داود فرسادی زاده<sup>۲</sup>، علی حسین زاده دلیر<sup>۳</sup>، جواد بهمنش<sup>۴</sup>، محمدرضا نیک پور<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۱۱

### چکیده

تبدیل‌های همگرا در کانال‌های با جریان فوق بحرانی از جمله کانال‌های انتقال آب سدها به سرریزهای تونلی، تندآب‌ها و کانال‌های انتقال سیلاب کاربرد دارند. جریان فوق بحرانی در تبدیل‌های همگرا با تشکیل امواج ضربه‌ای همراه می‌باشد. تولید و توسعه این امواج به دلیل افزایش ارتفاع آب به اندازه چندین برابر عمق جریان ورودی و گسترش آن در محدوده وسیعی از کانال پایین دست و ناهموار ساختن سطح آب به لحاظ مهندسی نامطلوب بوده و هر گونه طراحی ضعیف کانال می‌تواند منجر به آبستگي دیواره‌ها و کف کانال، آسیب رساندن به تجهیزات مسیر جریان و بالا بردن هزینه‌های مربوط به نگهداری و کاهش راندمان انتقال آب گردد. در تحقیق حاضر تشکیل امواج ضربه‌ای در تبدیل‌های همگرای کانال روباز با مقطع دوزنقه‌ای با به‌کارگیری مدل‌های آزمایشگاهی و عددی بررسی شد. طول دیواره‌های تبدیل و زاویه شیب جانبی دیواره‌ها به عنوان متغیرهای هندسی در نظر گرفته شد. مقادیر ارتفاع و سرعت لحظه‌ای در نقاط مختلف امواج ضربه‌ای در تبدیل‌ها به‌ازای عدد فرود  $7/26$  و نسبت همگرایی  $0/5$  اندازه‌گیری شد. همچنین به‌منظور شبیه‌سازی سه‌بعدی از مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  RNG در محیط  $FLOW-3D$  استفاده گردید. نتایج حاکی از آن بود که افزایش زاویه شیب جانبی و کاهش طول دیواره تبدیل منجر به افزایش ارتفاع و سرعت موج ضربه‌ای می‌شود. میانگین خطای نسبی محاسبه پروفیل سطح آزاد امواج ضربه‌ای به ازای زوایای شیب جانبی  $35-70$  درجه و طول‌های  $1$  و  $0/5$  متر به‌ترتیب در محدوده  $2/28-3/14$  و  $4/29-5/06$  درصد بدست آمد. همچنین میانگین خطای نسبی محاسبه سرعت امواج ضربه‌ای به ازای شرایط فوق به‌ترتیب در محدوده  $3/00-4/90$  و  $5/68-7/63$  درصد بدست آمد.

**واژه‌های کلیدی:** جریان فوق بحرانی، سرعت لحظه‌ای، مدل آشفتگی، مقطع دوزنقه‌ای

### مقدمه

وجود هر گونه تغییر هندسی مانند تبدیل در مسیر کانال‌های با جریان فوق بحرانی موجب تغییر ناگهانی عمق و سرعت جریان و تشکیل امواج ضربه‌ای خواهد شد. تولید و توسعه این امواج به دلیل افزایش ارتفاع آب به اندازه چندین برابر عمق جریان ورودی و گسترش آن در محدوده وسیعی از کانال پایین دست و ناهموار ساختن سطح آب به لحاظ مهندسی نامطلوب بوده و هر گونه طراحی ضعیف کانال می‌تواند منجر به آبستگي دیواره‌ها و کف کانال، آسیب رساندن به تجهیزات در مسیر جریان و بالا بردن هزینه‌های مربوط به نگهداری و کاهش راندمان انتقال آب گردد. از این‌رو در طراحی

سازه‌های هیدرولیکی با جریان فوق بحرانی، تشکیل امواج ضربه‌ای و مطالعه رفتار این موج‌ها از اهمیت زیادی برخوردار است (Causon et al., 1999). بالامادی و چادری از روش عددی مک کورمک برای حل معادلات دو بعدی متوسط گرفته شده جریان غیرماندگار در آب‌های کم‌عمق به منظور تحلیل جریان فوق بحرانی در تبدیل‌های همگرا استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد هر کجا توزیع فشار به‌صورت هیدرواستاتیک بود بین نتایج عددی و آزمایشگاهی مطابقت وجود داشت و در سایر مناطق مدل قادر به شبیه‌سازی دقیق پروفیل سطح آب نبود (Bhallamudi and Chaudhry., 1992). رینر و هگر به منظور کاهش ارتفاع امواج ضربه‌ای در تبدیل‌های همگرا استفاده از تکه‌های منشوری با مقطع مثلثی را پیشنهاد کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از تکه‌های مذکور می‌تواند ارتفاع امواج ضربه‌ای را  $50-30$  درصد کاهش دهد (Reinauer and Hager., 1997). مینگ و همکاران با حل تحلیلی معادلات پیوستگی و مومنتم، نموداری به منظور تعیین پارامترهای پهنه تبدیل تنگ شونده به ازای اعداد فرود مختلف و نسبت‌های تنگ‌شدگی مختلف ارائه دادند. این نمودار که بر اساس به حداقل رساندن امواج ضربه‌ای داخل تبدیل بدست آمده است می‌تواند جایگزین مناسبی برای روند سعی و خطا در طراحی پارامترهای تبدیل همگرا باشد (Ming et al., 2004). کروگر و

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۲ و ۳- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

۴- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۵- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

\* - نویسنده مسئول: (Email: farinaz4433@yahoo.com)

RSM در محیط Fluent مورد بررسی قرار دادند. میانگین خطای نسبی مدل‌های آشفتگی در محاسبه ارتفاع و سرعت امواج ضربه‌ای در تبدیل‌ها نشان از برتری نسبی مدل RSM داشت. بر اساس منابع موجود، رفتار جریان فوق‌بحرانی در تبدیل‌های همگرا با مقطع دوزنقه‌ای کم‌تر مورد توجه محققین قرار گرفته است. با توجه به این-که مقاطع دوزنقه‌ای در طراحی کانال‌های انتقال آب بیش‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین در تحقیق حاضر به ازای هشت هندسه متفاوت، امواج ضربه‌ای در تبدیل‌های همگرا با مقطع دوزنقه‌ای مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار گرفت. در نهایت با استفاده از نتایج تحقیق حاضر، تاثیر شیب جانبی دیواره تبدیل‌های همگرا بر کاهش حداکثر ارتفاع و سرعت امواج ضربه‌ای در مقایسه با دیوارهای قائم مستقیم و انحنادار مورد بررسی قرار گرفت. علاوه بر آن، شبیه‌سازی عددی جریان فوق‌بحرانی در تبدیل‌های همگرا با استفاده از مدل Flow-3D انجام گرفت.

## مواد و روش‌ها

### تحلیل ابعادی

در تحلیل ابعادی امواج ضربه‌ای تبدیل‌های همگرا، پارامترهای موثر عبارتند از:

جرم مخصوص سیال ( $\rho$ )، لزجت دینامیک سیال ( $\mu$ )، میانگین سرعت جریان عبوری از زیر دریچه کشویی ( $\bar{u}_1$ )، شتاب ثقل ( $g$ )، عمق جریان نزدیک‌شونده به تبدیل ( $y$ )، ارتفاع مطلق موج (ارتفاع موج نسبت به کف) ( $H$ )، طول دیواره تبدیل ( $L$ )، فاصله طولی جبهه موج نسبت به ابتدای تبدیل ( $X$ )، زاویه شیب جانبی دیواره ( $\alpha$ )، عرض کانال بالادست ( $b_1$ ) و عرض کانال پایین‌دست ( $b_2$ ).

ارتفاع امواج ضربه‌ای به صورت تابعی از پارامترهای فوق نوشته می‌شود (رابطه ۱).

$$H = f_1(\rho, \mu, u_1, g, y, L, X, \alpha, b_1, b_2) \quad (1)$$

با کاربرد روش  $\pi$  باکینگهام و در نظر گرفتن پارامترهای  $\rho$ ،  $u_1$  و  $y$  به‌عنوان متغیرهای تکراری و با تقسیم پارامترهای بی‌بعد بر همدیگر، رابطه بی‌بعد ۲ بدست می‌آید.

$$\frac{H}{L} = f_2(\text{Re}, Fr_1, \frac{X}{L}, \alpha, \frac{b_2}{b_1}) \quad (2)$$

در رابطه ۲،  $Fr_1$  عدد فرود در کانال بالادست و  $Re$  عدد رینولدز می‌باشد که به‌لحاظ زیاد بودن به سرعت جریان و ناچیز بودن تاثیر نیروی لزوجت از آن صرف‌نظر شد. همچنین پارامتر بی‌بعد  $b_2/b_1$  نشان‌دهنده نسبت همگرایی می‌باشد. بنابراین رابطه ۲ به‌صورت رابطه ۳ تغییر می‌یابد:

$$\frac{H}{L} = f_3(Fr_1, \frac{X}{L}, \alpha, \frac{b_2}{b_1}) \quad (3)$$

راتشمان جریان فوق‌بحرانی در تبدیل‌های همگرا و واگرا و تلاقی کانال‌ها را با حل عددی معادلات کلاسیک<sup>۱</sup> و توسعه یافته آب‌های کم‌عمق<sup>۲</sup> به روش المان‌های محدود شبیه‌سازی کردند (Kroger and Rutschmann., 2006). نتایج عددی در مقایسه با مقادیر آزمایشگاهی نشان داد که معادلات توسعه یافته نسبت به معادلات کلاسیک نتایج بهتری در برآورد پروفیل سطح آب دارد. یاکان و هانگن تاثیر شیب کف کانال را بر روی الگوی امواج ضربه‌ای مورد مطالعه قرار دادند. بدین منظور یک تیغه منحرف کننده را در مسیر جریان کانال شیب‌دار با زاویه شیب ۳۵/۵۴ درجه قرار داده و الگوی امواج تشکیل شده را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در کانال‌های شیب‌دار بر خلاف کانال‌های افقی، زاویه تشکیل و ارتفاع امواج ضربه‌ای ثابت چندانی نداشته و با گذشت زمان تغییرات اندکی در جبهه موج رخ می‌دهد (Ya-kun and Han-gen., 2008). جان و همکاران جریان فوق‌بحرانی در تبدیل همگرایی واقع در یک تندآب آزمایشگاهی را شبیه‌سازی نمودند. در نهایت روابطی بی‌بعد به منظور محاسبه حداکثر ارتفاع امواج ضربه‌ای و محل وقوع آن ارائه دادند (Jan et al., 2009). جعفرزاده و همکاران به مطالعه آزمایشگاهی روشی جدید به منظور کاهش ارتفاع امواج در کانال‌های دارای خم پرداختند. در روش آن‌ها از یک گوشه محدب در دیواره داخلی خم کانال استفاده شد. نتایج ایشان نشان داد که زاویه بهینه گوشه محدب می‌تواند ارتفاع امواج را ۱۰ تا ۴۵ درصد کاهش دهد (Jafarzadeh et al., 2012). منتظری نمین و همکاران جریان فوق‌بحرانی در خم کانال‌ها را توسط نرم افزار Fluent شبیه‌سازی کردند. نتایج بدست آمده از مدل عددی ایشان در مورد پروفیل سطح امواج در قوس خارجی و داخلی خم کانال در مقایسه با مقادیر آزمایشگاهی همخوانی خوبی را نشان داد (Montazeri-Namin et al., 2012). کولارویچ و همکاران به بررسی آزمایشگاهی امواج ضربه‌ای در امتداد لوله دارای خم، به ازای شش زاویه انحراف پرداختند و رابطه‌ای بی‌بعد برای محاسبه ارتفاع امواج بر اساس عدد فرود، شعاع خم و قطر لوله ارائه دادند (Kolarević et al., 2013). جعفرزاده و علامتیان (۱۳۸۸) با حل معادلات دوبعدی متوسط گرفته شده آب‌های کم‌عمق در تبدیل-ها با استفاده از روش‌های عددی مک کورمک و لاکس-وندروف<sup>۳</sup> و همچنین با استفاده از مدل آزمایشگاهی جریان فوق‌بحرانی در تبدیل-های همگرا و واگرا را شبیه‌سازی کردند. در طی آزمایشات پروفیل سطح آب در امتداد دیواره و محور مرکزی تبدیل برداشت گردید. در نهایت روش مک کورمک با شبکه تطبیقی هم‌خوانی بیش‌تری در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی نشان داد. نیک‌پور (۱۳۹۲) تشکیل امواج ضربه‌ای در تبدیل‌های همگرا و واگرای کانال روباز مستطیلی را با استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی و مدل‌های آشفتگی k-ε RNG و

- 1- Classic shallow water equations
- 2- Extended shallow water equations
- 3- Lax-Wendroff

ضخامت ۶ میلی‌متر، طول ۱ متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر به منظور ایجاد کانال‌های بالادست و پایین‌دست تبدیل‌ها استفاده شد. برای دیواره‌های تبدیل‌ها نیز از ۴ ورق پلگسی‌گلاس به ضخامت ۶ میلی‌متر، طول‌های ۱ و ۰/۵ متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر استفاده گردید. اندازه‌گیری دبی جریان فلوم با استفاده از یک دستگاه دبی‌سنج صوتی مدل UFM610P با دقت  $\pm 0.02$  لیتر بر ثانیه که حسگرهای آن بر روی لوله آب‌رسان فلوم نصب شده بود، انجام گرفت. جهت اندازه‌گیری ارتفاع سطح امواج از عمق‌سنج نقطه‌ای با دقت اندازه‌گیری  $\pm 0.1$  میلی‌متر استفاده شد. همچنین به منظور اندازه‌گیری سرعت جریان در نقاط مختلف موج از سرعت‌سنج الکترومغناطیسی دوبعدی سطح افق مدل ACM2-RS با دقت ۰/۵ سانتی‌متر بر ثانیه استفاده شد. هندسه مدل‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر به شرح جدول ۱ می‌باشد. در جدول ۱ منظور از نسبت همگرایی نسبت عرض کانال پایین‌دست به بالادست می‌باشد. شکل ۱ نیز نمایی از مدل‌های ۳ و ۵ را نشان می‌دهد.

به همین ترتیب، سرعت نسبی موج  $(\frac{u}{u_1})$  مطابق تابع ۴ نمایان

می‌شوند:

$$\frac{u}{u_1} = f_3 \left( Fr_1, \frac{X}{L}, \alpha, \frac{b_2}{b_1} \right) \quad (4)$$

در رابطه فوق، متغیر  $u$  سرعت لحظه‌ای در جهت طولی می‌باشد.

### تجهیزات آزمایشگاهی

جهت انجام مطالعات تحقیق حاضر از فلوم آزمایشگاهی با مقطع مستطیلی به طول ۶ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع دیواره‌های ۰/۷ متر بهره گرفته شد. به منظور ذخیره‌سازی و تامین هد مورد نیاز، در بالادست فلوم مخزنی به طول ۱/۷۵ متر، عرض ۱/۶۵ متر و ارتفاع ۱/۲۰ متر نصب شد. لازم به ذکر است که دبی ورودی به مخزن هد توسط شیر فلکه‌ای که بر روی لوله رانش پمپ نصب شده بود، تنظیم می‌شد. تنظیم سطح آب ورودی و کنترل عدد فرود در ورودی فلوم از طریق یک دریچه کشویی فولادی لبه‌تیز به ضخامت ۳ میلی‌متر و ارتفاع ۱/۲ تامین شد. در طی آزمایشات از ۴ ورق پلگسی‌گلاس به

جدول ۱- هندسه مدل‌های مورد استفاده

شماره مدل	عرض کانال بالادست (متر)	عرض کانال پایین‌دست (متر)	طول دیواره تبدیل (متر)	نسبت همگرایی	زاویه شیب جانبی دیواره‌ها (درجه)
۱	۰/۴۰	۰/۲۰	۱	۰/۵	۳۵
۲	۰/۴۰	۰/۲۰	۰/۵	۰/۵	۳۵
۳	۰/۵۰	۰/۲۵	۱	۰/۵	۴۵
۴	۰/۵۰	۰/۲۵	۰/۵	۰/۵	۴۵
۵	۰/۶۰	۰/۳۰	۱	۰/۵	۶۰
۶	۰/۶۰	۰/۳۰	۰/۵	۰/۵	۶۰
۷	۰/۷۲	۰/۳۶	۱	۰/۵	۷۰
۸	۰/۷۲	۰/۳۶	۰/۵	۰/۵	۷۰



(ب)



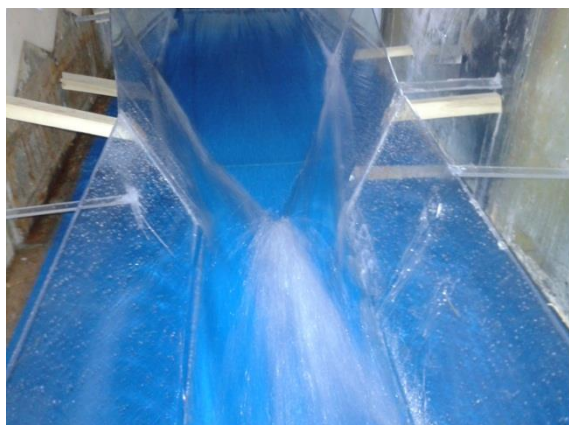
(الف)

شکل ۱- نمای پایین‌دست تبدیل‌های همگرا (الف): مدل ۳ (ب): مدل ۵.

### روش انجام آزمایش‌ها

به منظور ایجاد جریان فوق بحرانی در کلیه آزمایش‌ها میزان بازشدگی دریچه، ۲ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. تبدیل‌ها در فاصله‌ای از ابتدای کانال نصب شد که جریان فوق بحرانی ورودی به آن به صورت توسعه یافته کامل باشد. همچنین جریان خروجی از تبدیل‌ها در همه آزمایش‌ها به صورت فوق بحرانی بود در طی انجام آزمایش‌ها عدد فرود جریان در بالادست تبدیل، ۷/۲۶ در نظر گرفته شد

(با  $Fr_1 = 7/26$ ). پس از تنظیم و تثبیت ارتفاع آب در مخزن هد (با استفاده از اشل دیواره مخزن) به ازای عدد فرود مذکور، با عبور آب از زیر دریچه کشویی جریان فوق بحرانی در کانال برقرار می‌گردد. 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. شکل ۲ نمونه‌ای از امواج ضربه‌ای تشکیل شده در تبدیل‌های همگرا را در مدل‌های ۳ و ۵ نشان می‌دهد.

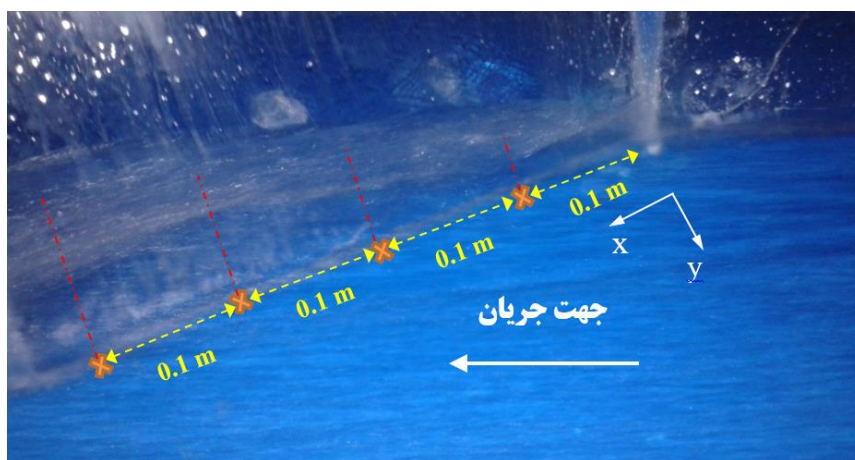


(ب)



(الف)

شکل ۲- تشکیل امواج ضربه‌ای در تبدیل‌ها (الف): مدل ۳ (ب): مدل ۵



شکل ۳- محل‌های اندازه‌گیری سرعت امواج ضربه‌ای در تبدیل‌های همگرا با طول دیواره ۰/۵ متر

در فواصل عمودی ۵ میلی‌متر اندازه‌گیری سرعت انجام شد. لازم به ذکر است که مدت زمان برداشت داده‌های سرعت در هر نقطه، ۵ ثانیه در نظر گرفته شده بود که در طی زمان مذکور ۱۰۰ مولفه لحظه-ای سرعت در جهت‌های طولی و عرضی موج (u و v) اندازه‌گیری شده و میانگین آن‌ها ( $\bar{u}$  و  $\bar{v}$ ) به عنوان مولفه‌های سرعت نقطه مورد نظر ثبت می‌گردد. در شکل ۳ محل‌های اندازه‌گیری سرعت امواج ضربه‌ای در تبدیل‌ها با طول دیواره ۰/۵ متر به صورت شماتیک نمایش داده شده است.

پس از برقراری شرایط جریان ماندگار، مقادیر ارتفاع و سرعت لحظه‌ای امواج در طول حرکت جبهه موج به ازای اعداد فرود مختلف اندازه‌گیری گردید. مقادیر سرعت لحظه‌ای در طول حرکت جبهه موج از فاصله ۱۰ سانتی‌متری ابتدای تشکیل موج در چهار مقطع توسط سرعت‌سنج اندازه‌گیری و ثبت گردید. فواصل طولی برای مقاطع اندازه‌گیری سرعت به ازای طول‌های ۱ و ۰/۵ متر دیواره تبدیل به ترتیب برابر ۲۵ و ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. همچنین در هر راستای قائم، از فاصله ۵ میلی‌متری بستر تا ۱ سانتی‌متری سطح موج

اثر گرادیان سرعت متوسط و اثر شناوری را در معادله اعمال می‌کند. پارامتر  $Y_M$  نیز معرف توزیع نوسانات تلاطم در جریان‌های تراکم‌پذیر می‌باشد. پارامترهای  $C_{1\varepsilon}$  و  $C_{2\varepsilon}$  ضرایب ثابت و  $\sigma_k$  و  $\sigma_\varepsilon$  اعداد پرانتل آشفته برای  $k$  و  $\varepsilon$  می‌باشند.

### مدل عددی

در تحقیق حاضر به منظور شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان از نرم‌افزار Flow-3D که ابزاری قدرتمند در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی می‌باشد، استفاده گردید. در محیط این نرم‌افزار جهت شبیه‌سازی حرکت سیال معادلات ناویر - استوکس<sup>۴</sup> در حالت کامل به همراه معادلات آشفته‌گی با استفاده از تکنیک حجم محدود در یک شبکه مستطیلی منظم گسسته‌سازی و حل می‌شوند. برای تحلیل آشفته‌گی از مدل  $k-\varepsilon$  RNG<sup>۵</sup> استفاده شد. این مدل به واسطه داشتن ترم اضافی در معادله  $\varepsilon$  جریان‌های همراه با کرنش‌های بزرگ و سریع را نسبت به مدل  $k-\varepsilon$  استاندارد بهتر مدل می‌کند (شجاعی‌فرد، ۱۳۹۳). همچنین برای شبیه‌سازی جریان دوفازی آب و هوا از مدل حجم سیال<sup>۶</sup> استفاده شد. به منظور مستقل از شبکه شدن هندسه مدل طی چهار مرحله به ازای شرایط مرزی یکسان، شبکه مدل ریزتر و تعداد المان‌ها افزایش یافت که در نهایت با بررسی رفتار خطای شبیه‌سازی، برای شبکه‌بندی مدل‌های ۱، ۳، ۵، و ۷ حدود ۱۰ میلیون و برای مدل‌های ۲، ۴، ۶ و ۸ حدود ۸ میلیون المان مستطیلی در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که Flow-3D سلول‌های واقع شده داخل بخش‌های صلب هندسه مدل را به صورت غیرفعال در نظر می‌گیرد و این ویژگی باعث افزایش سرعت محاسبات می‌شود. همچنین آرایش شبکه‌ها به گونه‌ای طراحی شد که بسته به میزان حساسیت نواحی حل از المان‌ها با اندازه‌های متفاوت استفاده گردید. شرایط مرزی برای قسمت‌های ورودی و خروجی مدل به ترتیب فشار ثابت<sup>۷</sup> و جریان خروجی<sup>۸</sup> در نظر گرفته شد. همچنین برای کناره‌ها و کف مدل از شرط مرزی دیواره<sup>۹</sup> و برای بخش بالایی آن از شرط مرزی تقارن<sup>۱۰</sup> استفاده شد. به منظور کاهش هزینه محاسباتی، ارتفاع آب در مخزن هد در ابتدای حل به اندازه مقدار متناظر آن در مدل آزمایشگاهی به مدل عددی به عنوان شرط اولیه معرفی شد. با توجه به این که Flow-3D از این قابلیت برخوردار می‌باشد که در نقطه‌ای معین از مدل شبیه‌سازی شده پارامترهای هیدرولیکی از قبیل فشار، سرعت

با توجه به شدت بالای آشفته‌گی جریان و اختلاط آب و هوا، احتمال بروز خطا در هنگام قرائت پروفیل سطح آب و اندازه‌گیری سرعت وجود داشت. به منظور به حداقل رساندن خطاهای مذکور در هر نقطه چندین بار مقادیر مورد نظر اندازه‌گیری شده و میانگین آن‌ها به عنوان ارتفاع و سرعت موج در نقطه مورد نظر ثبت می‌گردید.

### معادلات حاکم

روابط ۵ و ۶ به ترتیب معادلات پیوستگی و مومنتم ناویر - استوکس متوسط رینولدزی<sup>۱</sup> را نشان می‌دهد.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \quad (6)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u_i' u_j'})$$

$$\rho = \alpha_A \rho_A + \alpha_W \rho_W \quad (7)$$

در روابط فوق  $u_i$  نشان‌دهنده مولفه‌های سرعت جریان،  $\alpha_A$  و  $\alpha_W$  به ترتیب نسبت آب و هوا،  $\rho_A$  و  $\rho_W$  به ترتیب جرم مخصوص آب و هوا می‌باشد.  $\delta_{ij}$  نیز دلتای کرونکر می‌باشد که برای  $i = j$  مقدار آن برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر می‌باشد. پارامتر  $\overline{u_i' u_j'}$  را تنش رینولدز می‌نامند که اثر گرداب‌های آشفته‌گی در جریان سیال آشفته را نشان می‌دهد. یکی از روش‌های مرسوم برای حل معادلات متوسط‌گیری شده رینولدزی استفاده از فرضیه بوزینسک است که بر اساس آن و با به کارگیری رابطه ۸، گرادیان‌های سرعت متوسط را جایگزین تنش‌های رینولدز می‌کند.

$$-\rho \overline{u_i' u_j'} = \mu_t \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (8)$$

در رابطه ۸،  $\mu_t$  لزجت گردابه‌ای بوده و مقدار آن با استفاده از رابطه ۹ محاسبه می‌شود.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{K^2}{\varepsilon} \quad (9)$$

در رابطه ۹ پارامترهای  $k$  و  $\varepsilon$  به ترتیب معرف انرژی جنبشی اغتشاش<sup>۲</sup> و نرخ استهلاک انرژی جنبشی اغتشاش<sup>۳</sup> می‌باشند. پارامتر  $C_\mu$  ضریب ثابت و برابر ۰/۰۹ می‌باشد. مدل  $k-\varepsilon$  از جمله مدل‌های آشفته‌گی است که از فرضیه بوزینسک استفاده می‌کند. معادلات حاکم بر این مدل به شرح روابط ۱۰ و ۱۱ می‌باشند.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + \quad (10)$$

$$G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + \quad (11)$$

$C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k}$   
در روابط فوق،  $G_k$  و  $G_b$  چشمه‌های معادله  $k$  بوده که به ترتیب

- 1- Reynolds-Averaged Navier-Stokes equation
- 2- Turbulent kinetic energy
- 3- Dissipation rate of turbulent kinetic energy

4- Navier-Stokes equations

5- Renormalization-group  $k-\varepsilon$  model (RNG)

6- Volume of fluid

7- Specified pressure

8- Outflow

9- Wall

10- Symmetry

هنگام برخورد جریان فوق‌بحرانی به دیواره تبدیل همگرا و تشکیل امواج ضربه‌ای، وجود شیب جانبی دیواره تبدیل موجب تعدیل در تغییر ناگهانی رفتار سیال شده و در نتیجه از ارتفاع امواج کاسته می‌شود. همچنین با مقایسه شکل‌های ۴-الف و ۴-ب، تاثیر طول دیواره تبدیل بر روند افزایش ارتفاع امواج ضربه‌ای کاملاً نمایان است. با توجه به این که یکی از عوامل تشکیل امواج ضربه‌ای در جریان‌های فوق‌بحرانی کاهش عرض کانال می‌باشد بنابراین هر چقدر کاهش عرض جریان در فاصله کوتاه‌تری صورت پذیرد، تغییر رفتار سیال شدیدتر بوده و منجر به افزایش تصاعدی ارتفاع امواج می‌شود.

مطابق با نمودارهای ارایه شده در شکل ۵، با پیشروی جبهه موج و استهلاك انرژی جنبشی اغتشاش، سرعت موج کاهش می‌یابد. از سوی دیگر توزیع غیریکنواخت سرعت در راستای قائم کاملاً مشهود است. به طوری که پس از رسیدن سرعت به مقدار حداکثر در اثر وجود اختلاط آب و هوا در سطح موج مقدار آن روند نزولی به خود می‌گیرد. بر این اساس برای هر پروفیل سرعت می‌توان دو ناحیه مجزا در نظر گرفت، ناحیه افزایش سرعت (ناحیه اول) و ناحیه کاهش سرعت (ناحیه دوم).

با توجه به شکل ۵، کاهش زاویه شیب جانبی با کاهش حداکثر سرعت امواج ضربه‌ای همراه می‌باشد. علاوه بر آن، کاهش زاویه شیب جانبی دیواره تبدیل موجب می‌شود تا از تلاطم امواج و اختلاط آب و هوا تا حدودی کاسته شده و میزان کاهش سرعت در ناحیه دوم (اختلاف بین مقادیر بی‌بعد حداکثر سرعت موج و سرعت در نزدیکی سطح موج) نیز کاسته شود.

جریان و... را بر اساس گام زمانی تعیین شده برداشت کند، بنابراین مختصات نقاط اندازه‌گیری سرعت لحظه‌ای و ارتفاع امواج ضربه‌ای در مدل آزمایشگاهی جهت استخراج نتایج به نرم‌افزار معرفی شد. در نهایت به منظور بررسی کارایی مدل عددی پارامتر درصد خطای نسبی با استفاده از رابطه ۱۲، به ازای ارتفاع و سرعت محاسباتی در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده محاسبه گردید. در رابطه ۱۲،  $P_{measured}$  و  $P_{computed}$  به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و محاسباتی می‌باشد.

$$RE(\%) = \left| \frac{P_{measured} - P_{computed}}{P_{measured}} \right| \times 100 \quad (12)$$

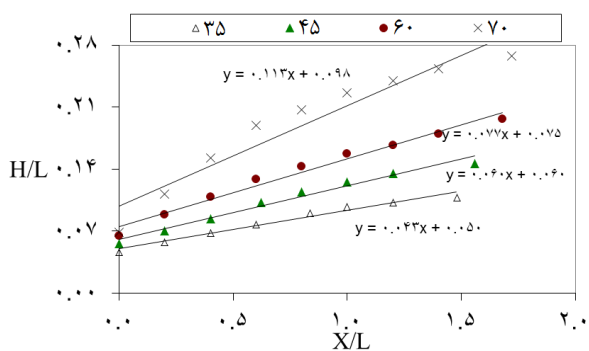
## نتایج و بحث

### نتایج مدل آزمایشگاهی

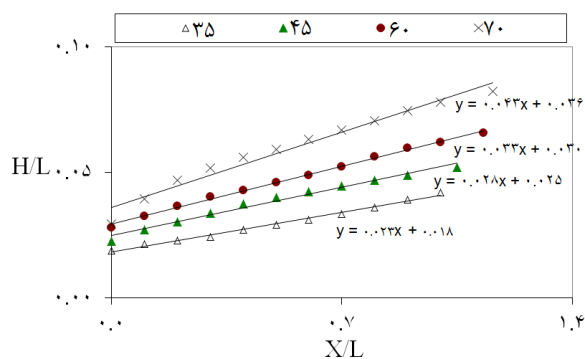
شکل ۴ پروفیل بی‌بعد سطح آزاد امواج ضربه‌ای به همراه خط برازش داده شده بین آن‌ها را به ازای مدل‌های ذکر شده در جدول ۱ نشان می‌دهد. شکل ۵ نیز پروفیل بی‌بعد سرعت امواج ضربه‌ای را به عنوان نمونه برای مدل‌های ۱ تا ۸ نشان می‌دهد. در شکل‌های مذکور پارامترهای  $Z$  و  $d$  به ترتیب نمایانگر فاصله قائم نقطه اندازه‌گیری از کف و میزان گشودگی دریچه می‌باشد.

شکل‌های مذکور نشان می‌دهند که:

مطابق شکل ۴ و با مقایسه شیب خط برازش داده شده بین نقاط اندازه‌گیری شده، متناسب با افزایش زاویه شیب جانبی، روند افزایش ارتفاع امواج نیز بیش‌تر می‌شود. به عبارت دیگر به ازای عدد فرود، نسبت همگرایی و طول دیواره یکسان، کاهش زاویه شیب جانبی دیواره تبدیل، کاهش ارتفاع جبهه موج را به دنبال دارد. در واقع در

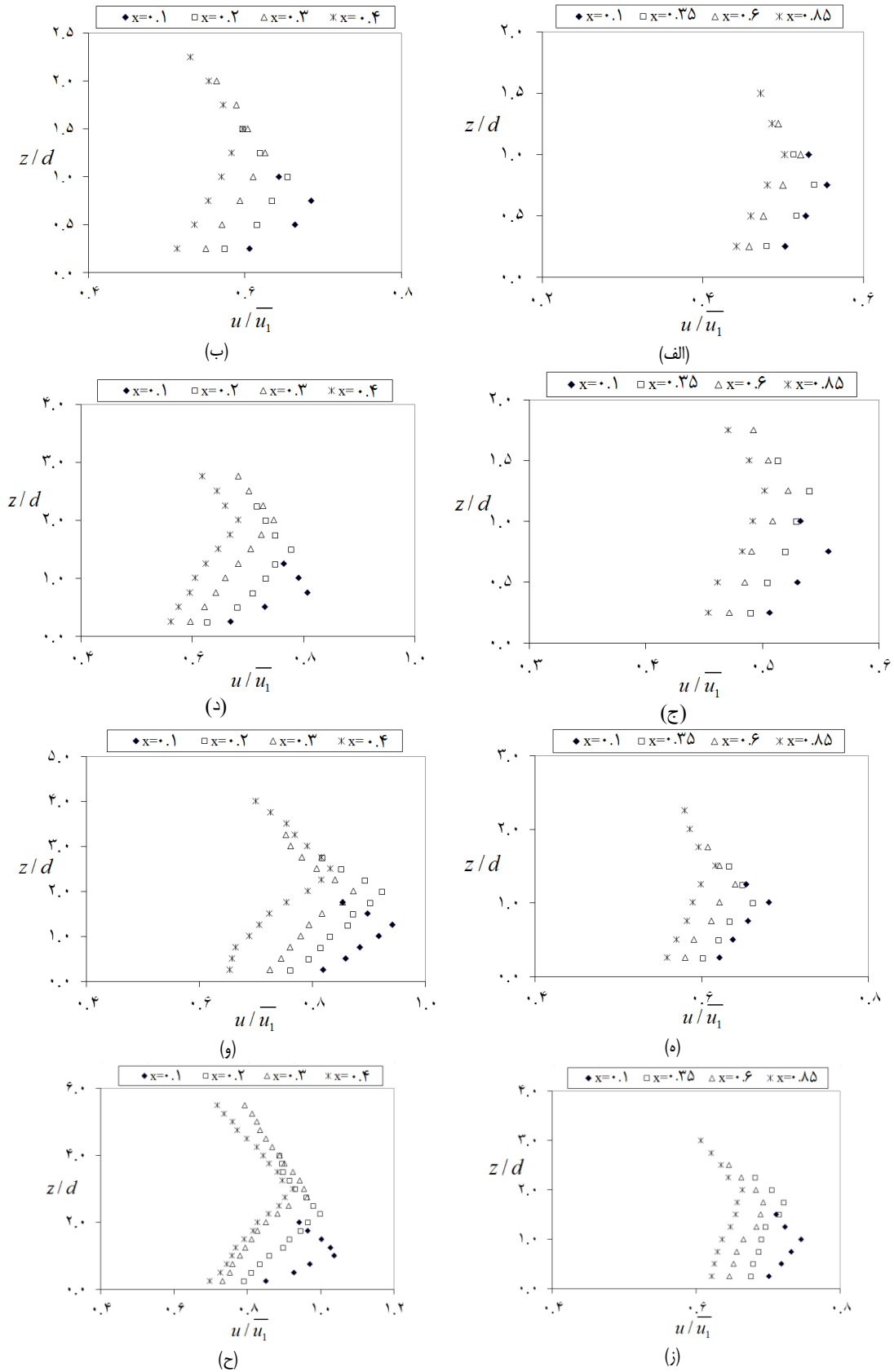


(ب)



(الف)

شکل ۴- پروفیل سطح آزاد امواج ضربه‌ای به ازای مدل‌های مختلف (الف): تبدیل‌های همگرا با طول دیواره ۱ متر (ب): تبدیل‌های همگرا با طول دیواره ۰/۵ متر



شکل ۵- پروفیل سرعت امواج ضربه‌ای (الف): مدل ۱ (ب): مدل ۲ (ج): مدل ۳ (د): مدل ۴ (ه): مدل ۵ (و): مدل ۶ (ز): مدل ۷ (ح): مدل ۸

جدول ۲- مقادیر خطای نسبی محاسبه پروفیل سطح آزاد امواج ضربه‌ای در مرحله صحت‌سنجی (%)

زاویه شیب جانبی دیواره تبدیل (درجه)				
طول دیواره تبدیل (متر)	۳۵	۴۵	۶۰	۷۰
۱	۲/۲۸	۲/۴۸	۲/۶۵	۳/۱۴
۰/۵	۴/۲۹	۴/۵۹	۴/۷۱	۵/۰۶

جدول ۳- مقادیر خطای نسبی محاسبه پروفیل سرعت امواج ضربه‌ای در مرحله صحت‌سنجی (%)

زاویه شیب جانبی دیواره تبدیل (درجه)				
طول دیواره تبدیل (متر)	۳۵	۴۵	۶۰	۷۰
۱	۳/۰۰	۳/۷۸	۴/۴۸	۴/۹۰
۰/۵	۵/۶۸	۶/۲۲	۷/۲۲	۷/۶۳

شکل ۷ با افزایش فاصله از بستر تطابق بین نتایج عددی و آزمایشگاهی کاهش یافته است. در واقع با فاصله گرفتن از بستر بر تلاطم امواج افزوده و از دقت مدل عددی کاسته شده است. بر این اساس در تبدیل‌های با طول دیواره ۰/۵ متر به علت اختلاط شدیدتر آب و هوا در مقایسه با دیواره‌های ۱ متر، خطای مدل عددی بیش‌تر شده است. از سوی دیگر به ازای طول یکسان دیواره تبدیل، متناسب با افزایش زاویه شیب جانبی دیواره تبدیل و به دنبال آن افزایش اختلاط آب و هوا و تلاطم امواج، درصد خطا نیز افزایش یافته است. در جدول‌های ۲ و ۳ میانگین خطای نسبی محاسبه مقادیر ارتفاع و سرعت امواج ضربه‌ای در مدل‌های مختلف گزارش شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود میانگین خطای نسبی محاسبه پروفیل سطح آزاد امواج ضربه‌ای به ازای زوایای شیب جانبی ۷۰-۳۵ درجه و طول‌های ۱ و ۰/۵ متر و به ترتیب در محدوده ۲/۱۴-۳/۱۴ و ۲/۶۵-۵/۰۶ و ۴/۲۹-۵/۰۶ درصد بدست آمد. همچنین میانگین خطای نسبی محاسبه سرعت امواج ضربه‌ای به ازای شرایط فوق به ترتیب در محدوده ۳/۰۰-۴/۹۰ و ۵/۶۸-۷/۶۳ درصد بدست آمد.

مقایسه پروفیل‌های سرعت امواج ضربه‌ای تشکیل یافته در تبدیل‌های با طول ۱ متر و ۰/۵ متر در شکل ۵ نشان می‌دهد که به-ازای شیب جانبی یکسان، میزان کاهش سرعت در ناحیه دوم تبدیل-های با طول ۰/۵ متر به مراتب شدیدتر از دیواره‌های ۱ متر است. در واقع با کوتاه شدن طول دیواره تبدیل، بر شدت تلاطم موج و اختلاط آب و هوا افزوده شده و غیریکنواختی توزیع سرعت چشم‌گیرتر می-شود.

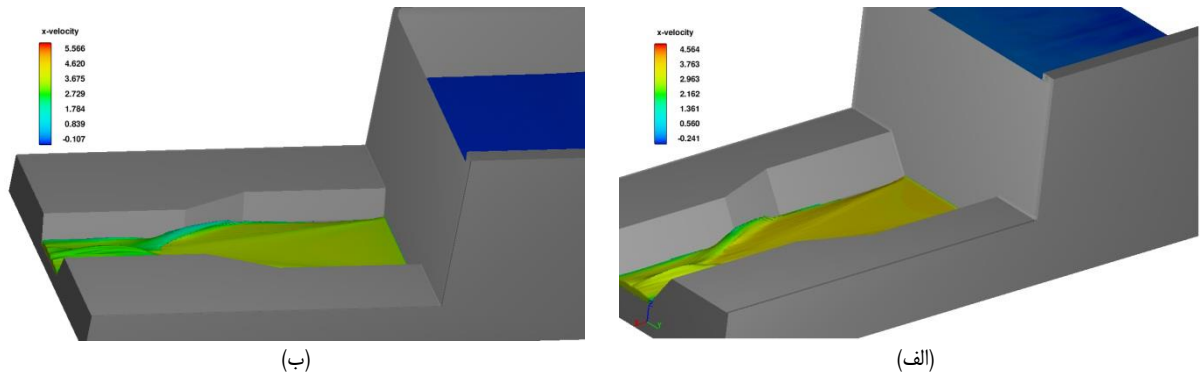
#### نتایج مدل عددی

شکل ۶ تغییرات سرعت جریان فوق‌بحرانی عبوری در مدل‌های ۶ و ۸ را پس از رسیدن به شرایط جریان ماندگار نشان می‌دهد. در شکل‌های ۷ و ۸ پروفیل‌های سطح آزاد و سرعت امواج ضربه‌ای حاصل از مدل‌های عددی و آزمایشگاهی به عنوان نمونه برای مدل‌های ۳، ۴، ۵ و ۶ نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که نتایج مدل عددی پس از مستقل از شبکه شدن آن (پس از واسنجی<sup>۱</sup> مدل عددی) استخراج گردید. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با پیشروی جبهه موج به علت افزایش اختلاط آب و هوا در سطح موج خطای محاسباتی مدل عددی افزایش یافته است. همچنین با توجه به

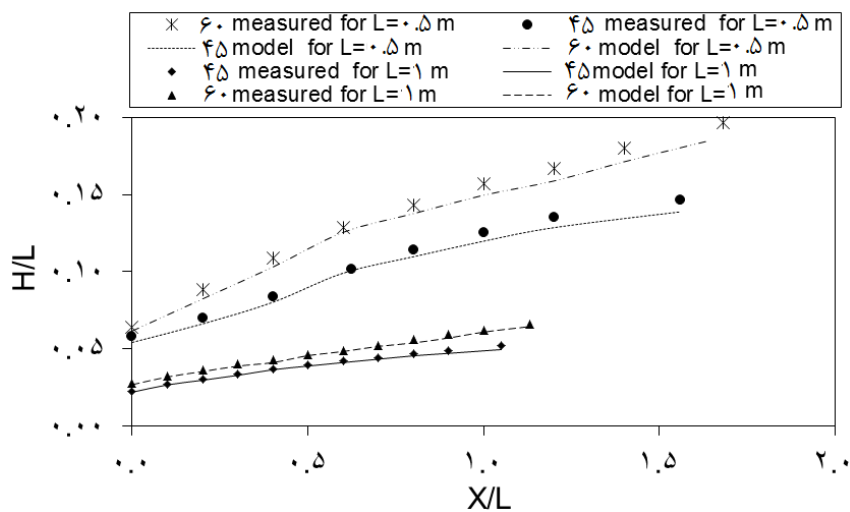
جدول ۴- مقایسه تاثیر شیب جانبی و انحنای دیواره تبدیل بر روی حداکثر ارتفاع امواج ضربه‌ای

شماره مدل	زاویه شیب جانبی دیواره‌ها (درجه)	نوع دیواره	حداکثر ارتفاع موج ضربه‌ای (سانتی‌متر)	نرخ کاهش ارتفاع نسبت به دیواره مستقیم (%)
۲	۳۵	مستقیم	۵/۴۰	۶۹/۵
۴	۴۵	مستقیم	۷/۳۱	۵۸/۷
۶	۶۰	مستقیم	۹/۸۱	۴۴/۶
۸	۷۰	مستقیم	۱۳/۳۸	۲۴/۴۱
نیک‌پور (۱۳۹۲)	۹۰	مستقیم	۱۷/۷۰	-
نیک‌پور (۱۳۹۲)	۹۰	انحنادار	۱۶/۲۵	۸/۲





شکل ۶- خروجی گرافیکی مدل عددی بر اساس مقادیر سرعت در (الف): مدل ۶ (ب): مدل ۸



شکل ۷- مقادیر بی‌بعد اندازه‌گیری شده و عددی ارتفاع امواج ضربه‌ای در مدل‌های مختلف

جدول ۵- مقایسه تأثیر شیب جانبی و انحناى دیواره تبدیل بر روی حداکثر سرعت امواج ضربه‌ای

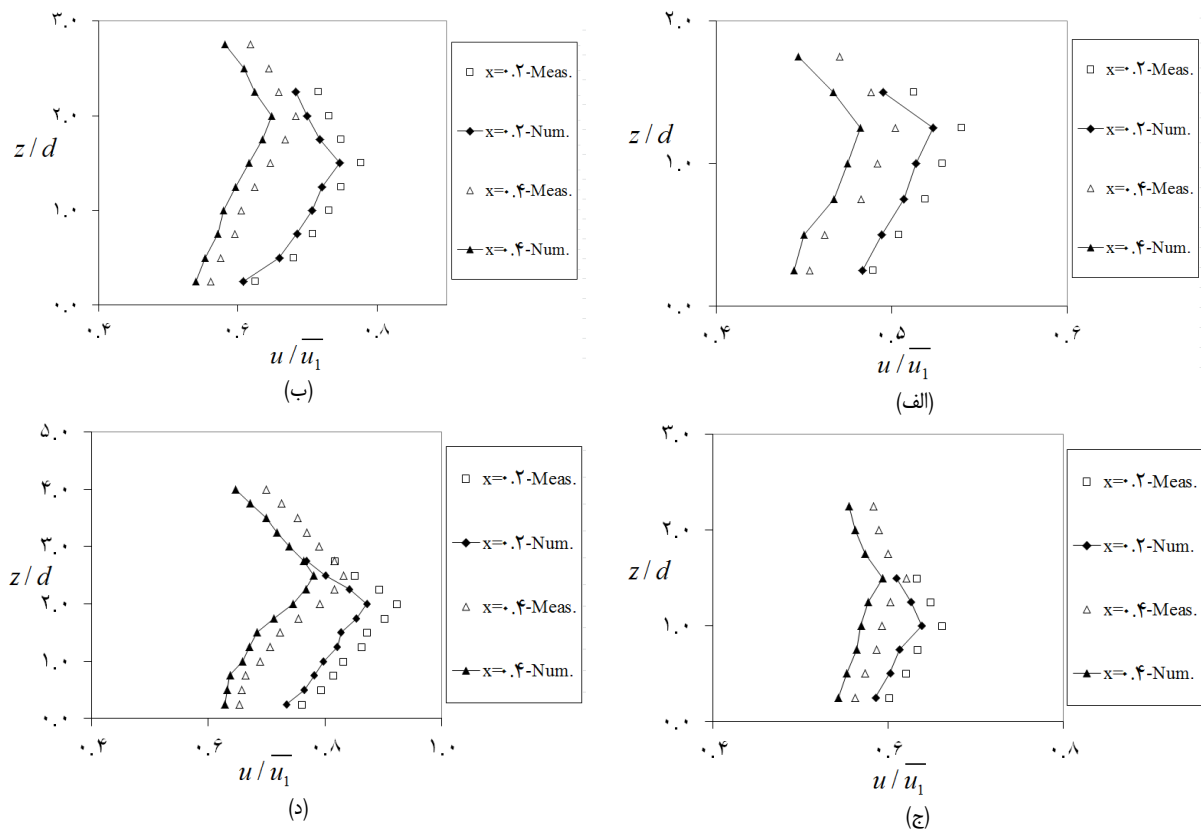
شماره مدل	زاویه شیب جانبی دیواره‌ها (درجه)	نوع دیواره	حداکثر سرعت موج ضربه‌ای (متر بر ثانیه)	نرخ کاهش سرعت نسبت به دیواره مستقیم (%)
۲	۳۵	مستقیم	۱/۸۲	۴۵/۵۵
۴	۴۵	مستقیم	۲/۱	۳۷/۴۰
۶	۶۰	مستقیم	۲/۵۱	۲۴/۸۴
۸	۷۰	مستقیم	۲/۸۵	۱۴/۶۰
نیک‌پور (۱۳۹۲)	۹۰	مستقیم	۳/۲۰	-
نیک‌پور (۱۳۹۲)	۹۰	انحنادار	۳/۱۰	۳/۶

جانبی دیواره تبدیل موثرتر از انحناى دیواره می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر با استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی و عددی به تحلیل هیدرولیکی امواج ضربه‌ای تشکیل شده در تبدیل‌های همگرای کانال روباز با مقطع دوزنقه‌ای پرداخته شد و نتایج زیر بدست آمد:

در پژوهش نیک‌پور (۱۳۹۲) نرخ کاهش حداکثر ارتفاع و سرعت امواج ضربه‌ای در تبدیل‌های همگرا با دیواره انحنادار نسبت به دیواره مستقیم به ازای اعداد فرود مختلف بررسی شد. در جدول‌های ۴ و ۵ تأثیر شیب جانبی و انحناى دیواره تبدیل بر روی حداکثر ارتفاع امواج ضربه‌ای به ازای نسبت همگرایی ۰/۵، طول دیواره ۰/۵ متر و عدد فرود مشابه ۷/۲۶ مقایسه شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود به منظور کاهش حداکثر ارتفاع و سرعت امواج ضربه‌ای، وجود شیب



شکل ۸- مقادیر بی بعد اندازه گیری شده و عددی سرعت امواج ضربه ای به ازای طول های دیواره و زاویه های (الف): ۱ متر و ۴۵ درجه (ب): ۰/۵ متر و ۴۵ درجه (ج): ۱ متر و ۶۰ درجه (د): ۰/۵ متر و ۶۰ درجه

ازای عدد فرود و طول دیواره یکسان، مقادیر حداکثر ارتفاع و سرعت امواج ضربه ای در مقاطع دوزنقه ای نسبت به مستطیلی (دیوار قائم) به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافت. علاوه بر آن، شیب جانبی دیواره تبدیل تاثیر بیش تری نسبت به انحنا دیواره در تعدیل رفتار امواج ضربه ای دارد.

نتایج کلی نشان داد که از مدل Flow-3D می توان به عنوان یک ابزار مناسب برای شبیه سازی جریان فوق بحرانی در تبدیل های همگرا استفاده نمود.

بر اساس یافته های تحقیق حاضر توصیه می شود که در هنگام طراحی تبدیل های همگرا در حالت عبور جریان فوق بحرانی به منظور به حداقل رساندن ارتفاع امواج ضربه ای و اثرات مخرب آن، کوچک ترین زاویه شیب جانبی و بزرگ ترین طول ممکن برای دیواره تبدیل انتخاب شود و در صورت وجود محدودیت در انتخاب متغیرهای هندسی مذکور، قبل از اجرای مدل واقعی، با استفاده از مدل های آزمایشگاهی و یا عددی پدیده تشکیل امواج بررسی شود.

در حالت کلی در تبدیل های همگرا حرکت جبهه امواج ضربه ای با افزایش ارتفاع و کاهش سرعت آن همراه می باشد. با پیشروی جبهه موج بر شدت تلاطم موج و اختلاط آب و هوا افزوده شده و غیریکنواختی توزیع سرعت چشم گیرتر می شود. افزایش زاویه شیب جانبی و کاهش طول دیواره تبدیل همگرا علاوه بر افزایش ارتفاع امواج ضربه ای موجب تسریع روند افزایشی آن در طول حرکت جبهه موج می شود. در ضمن تغییرات مذکور تاثیر افزایشی بر روی مقادیر حداکثر سرعت امواج ضربه ای و میزان کاهش سرعت در ناحیه دوم پروفیل سرعت موج دارد.

با پیشروی جبهه موج و افزایش اغتشاشات، خطای محاسباتی مدل عددی در برآورد ارتفاع و سرعت موج افزایش یافت. همچنین با افزایش فاصله از بستر، تطابق بین نتایج عددی با آزمایشگاهی در برآورد سرعت کاهش یافت.

متناسب با افزایش زاویه شیب جانبی و کاهش طول دیواره تبدیل و به دنبال آن تشدید برخورد جریان کانال با جبهه موج (افزایش تلاطم)، شبیه سازی عددی نیز با درصد خطای بیش تری همراه بود. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج سایر محققان نشان داد که به

منابع

- Jan,C.D., Chang,C.J., Lai,J.S., Guo,W.D. 2009. Characteristics of hydraulic shock waves in an inclined chute contraction – Experiments, *Journal of Mechanics*. 25.2: 129-136.
- Kolarevi,M., Savi,L., Kapor,R and Mladenovi,N. 2013. Supercritical flow in circular pipe bends *Scientific, Journal published by the Faculty of Mechanical Engineering*. 42: 128-133.
- Kreger,S and Rutschmann,P. 2006. 3D Modeling supercritical flow with extended shallow-water approach, *Journal of Hydraulic Engineering*. 132.9: 916-926.
- Ming,H., Tung,H and Tsang,J. 2004. Optimal channel contraction for supercritical flows. *Journal of Hydraulic Research, IAHR*. 42.6: 639-644.
- Montazeri-Namin,M., Ghazanfari-Hashemi,R and Ghaeini-Hessaroeeyeh,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 January 2012. Dubai United Arab Emirates.
- Reinauer,R and Hager,W.H. 1997. Supercritical bend flow *Journal of Hydraulic Engineering*. 123.3: 208-218.
- Ya-kun,L and Han-gen,N. 2008. Abrupt deflected supercritical water flow in sloped channels. *Journal of Hydrodynamics*. 20.3: 293-298.
- جعفرزاده،م و علامتیان،ا. ۱۳۸۸، ارزیابی مدل‌های تلاطمی در شبیه سازی امواج تیز ایستا در جریان‌های فوق بحرانی کانال‌ها، مجموعه مقالات هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران. ۱۷-۱۹ آبان. دانشکده فنی و مهندسی. دانشگاه تهران.
- شجاعی فرد،م.ح و نورپور هشترودی،ا. ۱۳۹۳. مقدمه‌ای بر دینامیک سیالات محاسباتی، دانشگاه علم و صنعت ایران. ۴۸۵ صفحه.
- نیک‌پور،م. ۱۳۹۲، بررسی جریان‌های فوق بحرانی در تبدیل کانال‌های روباز با استفاده از مدل‌های آزمایشگاهی و عددی، رساله دکتری. دانشکده کشاورزی. دانشگاه تبریز. تبریز. ایران.
- Bhallamudi,S.M and Chaudhry,M.H. 1992. Computation of flows in open-channel transitions. *Journal of Hydraulic Research*. 30.1: 77-93.
- Causon,D.M., Mingham,C.G and Ingram,D.M. 1999. Advances in calculation methods for supercritical flow in spillway channels, *Journal of Hydraulic Engineering*. 125.10: 1039-1050.
- 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.

## Effect of Side Slope of Contraction Wall on Hydraulic Parameters of Shock Waves

F. Shoja Talatapeh<sup>1\*</sup>, D. Farsadizadeh<sup>2</sup>, A. Hosseinzadeh Dalir<sup>3</sup>, J. Behmanesh<sup>4</sup> and M.R. Nikpour<sup>5</sup>

Received: May.10, 2017

Accepted: Jun.01, 2017

### Abstract

Contractions are widely used in channels with supercritical flow, such as water conveyance systems from dams to tunnel spillways, chutes and flood delivery conduits. Technically, production and development of the mentioned waves are undesirable due to water depth increase because of several times increasing of inflow water depth, its spread at a wide range in downstream of channel and water surface roughness. Any weak design of channels under supercritical condition can cause to scour bed and wall the channel, damage to equipment in the flow direction, raising maintenance costs and reduce water conveyance efficiency. In the present research, the formation of shock waves in contractions of open-channel with trapezoidal sections was investigated using experimental and numerical models. The length of transition walls (0.5 and 1m) and angle of side walls (35°, 45°, 60° and 70°) were intended as geometric variables. In different point of shock waves the values of height and instantaneously velocity were measured in the contractions for Froude number and convergence ratio 7.26 and 0.5 respectively. In this research *Flow-3D* software and in order to simulate turbulent flow, the *k-ε RNG* model was used. Experimental results showed that increasing the angle of side walls and reducing the length of transition walls caused increment of the shock waves height and velocity. The average relative errors of calculation of shock waves height for different angles: 35°-70° and length of transition walls: 0.5m and 1m were respectively in the range of 4.29-5.06 and 2.28-3.14 percent. Also, the average relative errors of calculation of shock waves velocity for mentioned models were respectively in the range of 3-4.90 and 5.68-7.63 percent.

**Keywords:** Instantaneously velocity, Supercritical flow, Trapezoidal section, Turbulence model

1- Ph.D. Student of Water Engineering. Department of Water Engineering. University of Tabriz

2,3- Professor of Water Engineering. Department of Water Engineering. University of Tabriz

4- Associated Professor of Water Engineering. Department of Water Engineering. University of Urmia

5- Assistant Professor of Water Engineering. Department of Water Engineering. University of Mohaghegh Ardabili

(\*- Corresponding Author Email: farinaz4433@yahoo.com)