شبیه سازی عددی امواج غلتان در تنداب ها

بهروز عاقبتی الله و جلال بازرگان ا

۱°- نویسنده مسئول، دانشجوی دکترای مهندسی عمران، گروه آب و سازههای هیدرولیکی، دانشکده عمران، دانشگاه سمنان ۲- دانشیار بخش مهندسی عمران، گروه سازههای هیدرولیکی، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه زنجان

تاريخ پذيرش: ۹۴/۴/۱۷

تاریخ دریافت: ۹۳/۶/۹

چکیدہ

تندابها یکی از انواع سازههای هیدرولیکی میباشند که به واسطه جریان فوق بحرانی باعث ایجاد امواج غلتان و أشفتگی در سطح آزاد جریان می شود. در این تحقیق به وسیله نرم افزار فلوئنت و با استفاده از مدل حجم سیال و الگوریتم پیزو، شکل گیری امواج غلتان در مدل فیزیکی سرریز سد آزاد و مدلهای عددی بررسی شده است. برای این منظور عمق جریان و ارتفاع موج در نقاط متفاوتی از طول تندابها به ازای دبیهای ورودی مختلف و عرضها و شیبهای طولی مختلف بهدست آمد. نتایج حاصل نشان داد که زبری کف و دیوارهها نقش به سزایی در جلوگیری از تشکیل امواج غلتان دارد، همچنین برای مقاطعی از تنداب که نسبت ارتفاع موج به عمق جریان در آن مقطع بیشتر از ۰۷۷ باشد، باید انتظار تشکیل امواج غلتان دارد، همچنین برای مقاطعی از

كليد واژه ها: امواج غلتان، الگوريتم پيزو، تنداب، فلوئنت، مدل حجم سيال.

Numerical Simulation of Roll Waves in Chutes

B. Aghebatie^{1*} and J. Bazargan²

- 1^{*}- Ph.D Student of Civil Engineering, Water and Hydraulic Structures Department, Semnan University, Iran
- 2- PhD, Associate Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering University of Zanjan, Iran

Received:31 August 2014 Accepted:8 July 2015

Abstract

Chutes are one type of the many hydraulic structures that cause in the formation of the waves and turbulence in the free surface of flow through super critical flow. In this study by the fluent software and by using volume of fluid model and PISO algorithm, the formation of the rolling waves in the physical model of azad damweirand numerical models have been considered. For this purpose, flow depth and weave heightare calculated along the chutes length for different discharges, widths and longitudinal slopes of the chute. The results indicate that roughness of the bed and walls impede the formation of the rolling wave, also the rolling waves are expected to be generated for sections of the chute whenweave height tohydraulic depth ratio in that section is above 0.57.

Keywords: Roll wave, PISO algorithm, Chute, Fluent, Volume of fluid model.

مقدمه

همواره فوق بحرانی می باشد. در این حالت زمانی که یک آشفتگی کوچک بر روی حالت یکنواخت پایدار تحمیل می شود، جریان سرانجام درون یک سری امواج شکسته یا منفذهای جدا شده دو مقطع از جریان متغیر تدریجی در یک الگوی پلکانی نمو پیدا می کند. این الگوی متناوب ناپیوسته اصطلاحاً امواج غلتان نامیده می شود. امواج غلتان به سمت پایین دست جریان در یک سرعت چنان چه در فواصلی از مسیر انتخاب شده برای احداث کانال، شیب طبیعی زمین از شیب لازم برای کف کانال تندتر باشد، برای انتقال آب از سطح بالاتر به پایین تر می توان از تنداب استفاده کرد. معمولاً جریان یکنواخت در یک کانال باز زمانی که سرعت خیلی زیاد باشد یا شیب خیلی تند باشد، ناپایدار می شود. از آنجا که تندابها دارای شیب طولی تندی می باشند، لذا جریان در طول آنها

www.SID.ir

ثابت، با تغییر حالت دائمی از جریان زیربحرانی به فوق بحرانی و تغییر حالت به جریان زیربحرانی به وسیله یک پرش هیدرولیکی در چهارچوب یک حرکت یکنواخت پیشرفت میکنند (کیو و ژو^۲ ۲۰۰۶). جفریز^۲ (۱۹۲۵) و دریشلر^۲ (۱۹۴۹) با انجام بر روی کانال مستطیلی عریض و ایواسا^۴ (۱۹۵۴) با انجام آزمایشهایی بر روی کانال با شکل دلخواه نشان دادند که به ازای عدد فرود بزرگتر از ۲ جریان ناپایدار شده و امواج غلتان تشکیل میشوند. معیار عدد فرود در زیر ارائه شده است، در صورتی که نابرابری زیر صادق باشد باید انتظار شکل گیری امواج غلتان را داشته باشیم.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gy}} > 2 \tag{1}$$

در رابطه (۱) ، Fr: معرف عدد فرود، V: برابر سرعت جریان و y: نماینده عمق جریان و g: برابر شتاب جاذبه میباشد.

مونتوری^۵ (۱۹۶۱) و بروک⁵ (۱۹۶۹) با انجام آزمایشهایی نشان دادند که طول کانال تاثیر بسزایی در تشکیل امواج غلتان دارد. مونتوری (۱۹۶۱) معیاری را برای تشکیل امواج غلتان متشکل از دو قسمت بیبعد که قسمت اول عدد ودرنیکف و قسمت دوم با طول کانال در ارتباط بود ارائه داد. آرمانینی و ریکچیا^۷ (۲۰۰۶) آزمایشهایی روی کانال با بستر ثابت به ازای امواج با طول موج متفاوت انجام داده که نتایج حاصله در مورد محل تشکیل امواج غلتان با معیار عدد مونتوری (۱۹۶۱) مطابقت نداشت. میار عدد مونتوری (۱۹۶۱) در زیر ارائه شده است، در صورتی که نابرابری زیر برقرار باشد باید انتظار تشکیل امواج غلتان را داشته باشیم.

$$V_{\rm e} > 9M^2 + 1.1$$
 (Y)

در رابطه
$$V_e = \frac{2}{3} \times \frac{b}{w_p} \times \frac{V}{\sqrt{gd\cos\theta}}$$
 معرف عدد

ودرنیکف، $\frac{V^2}{gs_fLcos heta} = \frac{W^2}{s_fLcos heta}$ ، معرف مربع عدد مونتوری، b: معرف عرض کف تنداب، w_p : معرف پیرامون مرطوب، b: نماینده متوسط سطح آب در تنداب، V: برابر سرعت جریان، g: شتاب جاذبه، s_f: میانگین شیب گرادیان انرژی، 1: نشاندهنده طول مقطعی که در آنجا باید شکل گیری امواج بررسی شود و θ : نشاندهنده زاویه شیب افت انرژی میباشند.

1- Que and Xu

کریستو و همکاران^{*} (۲۰۰۹)، معیار عدد مونتوری (۱۹۶۱) در ارتباط با طول کانال برای شکل گیری امواج غلتان روی بستر ثابت را اصلاح کردند. آنها نشان دادند که امواج در جریانهای دانهای متراکم که از ذرات ماسه و مهرههای شیشهای تشکیل شدهاند با مشخصههایی شبیه به آن در آب رشد میکند. برای جریان آب های شفاف، طول حداقل کانال موردنیاز برای پیدایش امواج غلتان میتواند بدین صورت تعیین شود که هر کجای طول که اوج آشفتگی به یک مقدار حد نهایی ع برسد، طول حداقل کانال برای پیدایش امواج غلتان است. طول حداقل کانال بدون بعد از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$L'_{\min} = -\frac{2(F+1)}{Fb(F-K)\cos\theta} Ln(\varepsilon)$$
 (*)

که در اینجا F: برابر عدد فرود و θ : معرف زاویه شیب بستر و d: یک ضریب بدون بعد میباشد که برابر است با مقادیر زیر: برای جریان آرام $b = -2S_0$ و برای جریان آشفته $b = -S_0$ است. K یک ضریب بدون بعد است که برابر است با $K = -\frac{a}{b}$ و مقدار a برای جریان آرام برابر $S = a = S_0$ و برای جریان آشفته برابر با $a = 2S_0$ میباشد و در معادله بالا:

$$L'_{\min} = \frac{Lg}{U_0^2} \tag{(f)}$$

که U_0 : معرف سرعت متوسط جریان و g : معرف شتاب جاذبه و L : معرف طول حداقل کانال می باشد. طول حداقل ارائه شده در معادله (۳) به ازای $1 \approx 0 \cos 0$ معیاری برای پیش بینی امواج غلتان درجریان آبهای شفاف برای دو حالت آرام و آشفته جریان است. 3 : نشان دهنده شیب موج است و مقدار حد نهایی آن به وسیله مطابقت دادههای آزمایشگاهی ارزیابی می شود.

کارلسون ^{*} (۲۰۰۷) شکل گیری امواج غلتان را در کانال کوچک با استفاده از روش حجم محدود و مدل حجم سیال و مدل آشفتگی 3 - k شبیه سازی نمود. همچنین برای کوپل کردن سرعت – فشار از الگوریتم پیزو و از طرح کوئیک برای گسسته سازی جملات مومنتوم استفاده کرد. نتایج حاصل از مدل سازی عددی شامل سرعت جریان و فشار در طول کانال، مطابقت خوبی با داده های آزمایشگاهی داشت که دقت بالای این روش از مدل سازی را می رساند. در تحقیق حاضر جریان آب روی سرریز نتایج مدل فیزیکی مقایسه گردید. از آنجا که معیارهای مختلف برای پیش بینی امواج غلتان نتایج مشابهی را ارائه شده قبلی و پژوهش حاضر به منظور صحت سنجی معیارهای ارائه شده قبلی و ارائه معیار جدید صورت گرفت. برای این منظور ازنر مافزار فلوئنت و برای تعیین سطح آزاد جریان در طول تنداب روش حجم سیال و

²⁻ Jeffres3- Dressler

⁴⁻ Iwasa

⁵⁻ Montouri

⁶⁻ Brock

⁷⁻ Armanini and Recchia

⁸⁻ Cristo et al.

⁹⁻ Carlson

مدل k - ٤ به دليل دقت معقولانه براي دامنه هاي وسيع

جریان، کاربردی ترین مدل دو معادله ای می باشد که در این مدل

میدان آشفته بر حسب دو متغیر انرژی جنبشی اغتشاش (k) و تلفات انرژی جنبشی اغتشاش(٤) بیان می شود. مدل k - ٤ بر

سه نوع استاندارد و RNG و مدل قابل درک می باشد. لاندر و

 $\mathbf{k}-\mathbf{\epsilon}$ اسیالدینگ (۱۹۷۴) از اولین کسانی بودند که مدل

فلوئنت^{*} سه روش سیمپل، سیمپلس و پیزو را برای

کویل کردن سرعت-فشار در حل کننده تفکیکی پیش بینی نموده

است. به طور کلی برای محاسبات حالت دائمی الگوریتم سیمپل یا

سیمیلس و برای شبکه های با درجه تغییر شکل (کجی) بالا و

محاسبات وابسته به زمان الگوريتم پيزو به خصوص كه از بازه

های زمانی بزرگ استفاده شود، توصیه شده است. استفاده از

الگوریتم سیمپلس در مسائلی که افزایش ضرایب زیرتخفیف

موردنظر باشد بهتر از الگوریتم سیمپل است. برای جریانهای

غیرپیچیده شامل جریان های آرام و جریان های پیچیده مانند

مدل های آشفتگی که همگرایی منحصر به کوپل نمودن سرعت-

فشار می باشد، برای یک حل همگرای سریع تـر بایـد از الگـوریتم

سيمپلس استفاده نمود و ضريب زيرتخفيف فشار برابر يک تعيين

می شود که به همگرایی سریع تر کمک می نماید. در بعضی از

مسائل افزایش ضریب زیرتخفیف به یک می تواند باعث واگرائی

شود که برای چنین مواردی باید از یک مقدار ضریب زیر تخفیف

همكرا و يا از الكوريتم سيميل استفاده نمود. الكوريتم پيزو

محاسباتی دقیق به ازای بازه زمانی بزرگ و ضرایب زیر تخفیف

برای ارزیابی صحت مدل سازی عددی از مدل فیزیکی

سرریز سد آزاد در بخش سازههای هیدرولیکی موسسه تحقیقات

آب که با مقیاس ۱:۳۳/۳۳ و از جنس پلکسی گلاس ساخته شده و با دبی ورودی ۸۰۰ مترمکعب مورد مطالعه قرار گرفته بود، استفاده شد. مطابق شکل (۱) سرریز از نوع اوجی با معادله Y = 0.0584X^{1.85} و طول افقی ۹/۷۸ متـر اسـت. طـول افقی تندابها با شیب پنج درصد و ۳۶/۴ درصد و عرض ۳۰ متر به ترتیب ۴۵/۴ متر و ۱۹۸/۳۱ متر و پرتاب کننده به شعاع ۱۵ متر

یک برای فشار و مومنتوم ارائه می هد.

مدل آزمایشگاهی

استاندارد که یک مدل نیمه تجربی میباشد را ارائه کردند.

کویل نمودن سرعت-فشار

مدل آشفتگی ٤- k و از الگوریتم پیزو برای کوپل نمودن سرعت-فشار استفاده شد.

مواد و روشها

روش حجم محدود

روش حجم محدود یکی از انواع روش ماندههای وزندار

مطرح شد. مدل حجم سیال بر این اصل تکیه دارد که دو یا چند سيال تداخلي با هم ندارند و براي هر فاز جديد كه به مدل اضافه می شود، متغیری به نام نسبت حجمی فاز در سلول محاسباتی تعریف می شود. در هر حجم کنترل، جمع نسبتهای حجمی کلیه فازها برابر یک است. با استفاده از نسبت حجمی هر یک از فازها كه در هر نقطه مشخص است، مقادير متغيرها و خصوصيات بين فازها لحاظ می شود که مقادیر متوسط حجمی را نشان می دهد. به عبارت دیگر اگر نسبت حجمی سیال q را در یک سلول با α_{q} نشان دهیم، اگر α_{q} برابر یک باشد، سلول از سیال q پر α_{q} است و اگر α_{a} برابر صفر باشد، سلول از سیال q خالی است و اگر مقدار جزء حجم بین صفر و یک باشد، در سلول هر دو فاز وجود دارد و بین سیال q و سیال دیگر فصل مشترک شکل می گیرد. پس با در نظر گرفتن سطح آزاد در یک جزء حجمی معین، سطح آزاد جریان را میتوان تعیین نمود. برای q امین فاز، معادله پیوستگی به صورت زیر میباشد (چن و همکاران^۲ ۲۰۰۲):

$$\begin{split} & \frac{1}{r_{q}} \left\lfloor \frac{\partial}{\partial t} \left(\alpha_{q} r_{q} \right) + \nabla \left(\alpha, r_{q} \vec{v}_{q} \right) = \\ & S_{\alpha q} + \sum_{p=1}^{n} \left(m_{pq} - m_{qp} \right) \right] \end{split} \tag{(a)}$$

چگالی و سرعت برداری مربوط به فاز q میاشند. همچنین m_{pp}: انتقال جرم از فاز p به فاز q و m_{pp}: انتقال جرم از فاز q به فاز p میباشد.

و طول افقی ۱۰/۵۸ متر و عرض ۳۰ متر است. مطابق جدول زیر

می باشد. در این روش دامنه مورد نظر به تعدادی حجم کنترل غیر هم پوشان به طوری که هر حجم کنترل حول یک نقطه از میدان قرار گیرد، تقسیم می شود و سپس از معادله دیفرانسیل روی حجم کنترل انتگرال گیری شده و معادلهها به روش عددی گسستهسازی می شوند. پس از انتگرال گیری روی حجم کنترل مربوط به هر گره، عبارت انتقال و پخش باید به نحوی گسستهسازی شوند که رابطهای پایدار را ارائه دهند. شبیهسازی سطح آزاد جریان مدل حجم سیال اولین بار توسط هیرت و نیکول⁽ (۱۹۸۱)

www.SID.ir

متغییر هیدورلیکی شامل فشار هیدرواستاتیکی، سرعت و عمق

جریان درطول مدل فیزیکی در حدود ۵۰ نقطه اندازه گیری شده است. موقعیت نقاط اندازه گیری پارامترهای هیدرولیکی مدل در نزدیکی دیواره ها و در نقاط میانی عرض مدل میباشد.

³⁻ Launder and Spalding

⁴⁻ Fluent

¹⁻ Hirt and Nichols

²⁻ Chen et al.

عاقبتی و بازر گان: شبیهسازی عددی امواج غلتان در تندابها



شکل ۱- مدل آزمایشگاهی سرریز سد آزاد

جدول ۱- نتایج متغیرهای هیدرولیکی در مدل آزمایشگاهی سرریز سد آزاد

مدل آزمایشگاهی	دبی ورودی=۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب				
طول سرريز (متر)	ارتفاع معادل فشار (متر)	سرعت (متر بر ثانيه)	عمق جريان (متر)		
•	۲/۱	٨/١۵	۴/٩٨		
٨/۴١	1/77	۱۲/۵۳	٣/٢		
۱۵/۲۸	۵/۶۳	14/18	۲/۲۹		
۳۰/۵۴	۲/۰۱	10/05	۲/۵		
۶۰/۵۴	١/۵٩	18/84	۲/۲۷		
۲۲/۳	1/14	18/77	١/٨۴		
۸۲/۵۳	١/•٩	۱۷/۹۳	١/٢٩		
٩٠/٩٣	•/٧٢	١٨/٧٣	١/۶٩		
1.4/44	١/١٨	51/10	١/۵٩		
186/96	٠/ ٢ ٩	74/14	١/٢٩		
189/8V	۰/۵۳	78/18	1/44		
١٨۴/۴	•/\۴	78/11	1/47		
7.9/17	۰ <i>\۶</i> ۷	٣٠/١٣	١/٢٣		
261/21	• /٣٩	TT/SI	١/٢۵		
784/04	٠/٢٩	37/21	1/74		

مدل سازی عددی

شبیهسازی آشفتگی جریان و تشکیل امواج غلتان در تندابها با استفاده از روش حجم محدود انجام گرفت. برای شبیه سازی جریان چند فازی از مدل حجم سیال و مدل سازی آشفتگی جریان از مدل آشفتگی k - ٤ استاندارد و از طرح پرستو برای گسستهسازی معادلههای فشار و برای تحلیل جریان در نزدیکی دیواره، از مدل تابع دیواره استاندارد و برای کوپل نمودن سرعت-فشار از الگوریتم پیزو استفاده شد. در مدل سازی عددی طول بالادست و پایین دست تنداب به ترتیب ۱۶ متر و هشت متر و طول قسمت شیبدار آن ۳۰/۵۹ متر و ارتفاع دیواره تنداب سه متر است و در کلیه تندابهای مدل شده این مقادیر ثابت است. مشخصات هیدرولیکی جریان بر روی تنداب با عرض چهار متر و شیب طولی یک به پنج به ازای دبیهای ورودی ۱۰ و ۱۵و ۲۰ مترمکعب بر ثانیه و برای تنداب با عـرض چهـار متـر و دبـی ۱۵ مترمکعب بر ثانیه به ازای شیبهای ۱۷ و ۱۸ درصد و در تنداب با دبی ورودی۱۵ مترمکعب بر ثانیه و شیب طولی یک بـه پـنج بـه ازای عرض های ۳/۶ و ۳/۴ متر مورد بررسی قرار گرفت. برای

شبکهبندی مدلها از شبکههای مستطیلی ششوجهی نابرابر استفاده شده است. ابعاد این شبکهبندی برای مدل با مقیاس ۱: ۳۳/۳۳ ابرای قسمتهای ریز و درشت از ۰/۰۰۲ متر تا ۱۵/۰۲ متر و در مدل ها با مقیاس واقعی از ۰/۰۲ تا ۰/۱ متر متغیر بود. از آنجا که برای ⁺y بین ۳۰ تا ۳۰۰ رابطه لگاریتمی سرعت معتبر می باشد قابل ذکر است که در ابتدا y^+ عددی بزرگ به دست آمد و بعد از تصحیح و کوچکتر کردن شبکهبندی و اجرای دوباره مدل γ^+ حدود ۲۱۰ به دست آمد. نمایی از این شبکهبندی و شرایط مرزی مورد استفاده در شکل (۲) نشان داده شده است. گامهای زمانی برای حل مساله از ۰/۰۰۰۱ ثانیه در ابتدای حل تـا ۰/۰۱ ثانیه در انتهای حل متغیر بود. معیار ماندگار شدن در مدلهای عددی، برابر شدن تقریبی دبی ورودی به مدل و دبی خروجی از آن است و حداکثر اختلاف دبی ورودی و خروجی ۰/۰۵ درصد برای ماندگار شدن جریان در نظر گرفته شد. با استفاده از روش میانیابی خطی، سطح آب در نقطهای در نظر گرفته شد که در آن نقطه حجم سیال برابر ۰/۵ باشد. 193

علوم و مهندسی آبیاری (مجله ی علمی- پژوهشی)، جلد ۳۹، شمارهی۲ تابستان ۹۵



شکل۲-نمایی از شبکهبندی و شرایط مرزی مورد استفاده برای مدل عددی

مدل عددی		مكعب	ا کیلوگرم بر متر	دبی ورودی=۰۰۰		
				عمق جريان		
طول سرريز	ارتفاع معادل فشار	ارتفاع معادل فشار		(متر)	عمق جريان	
(متر)	(متر) (آزمایشگاهی)	(متر) (عددی)	درصد خطا	(آزمایشگاهی)	(متر) (عددی)	درصد خطا
•	۲/۱	۲/۱۶	-۲/٨	۴/٩٨	۵/۰۹	-۲/۲
٨/٤١	1/77	١/٧٩	-۴	٣/٢	۳/۲۵	-1/58
۱۵/۲۸	۵/۶۳	۵/۷۳	$-1/\lambda$	٢/٧٩	۲/۷۸	۰/۳۵
۳۰/۵۴	۲/۰۱	۲/۱۱	-۴/٩	۲/۵	۲/۴۸	•/٨
80/24	١/۵٩	١/۶٨	-۵/۶	۲/۲۷	7/17	-10/2
۲ ۲/۳	1/14	1/78	-Y/۶	١/٨۴	۲/۰۱	۱۱/۵
۸۲/۵۳	١/٠٩	1/14	-Y/٣	\/ Y٩	١/٧٩	•
९٠/९٣	٠/٧٢	۰/۸۶	-19	١/۶٩	١/٢١	-1/1
1.1/44	١/١٨	1/74	-۵	١/۵٩	۱/۵۹	•
184/96	٠/٧٩	•/\۴	- <i>۶</i> /٣	1/۲۹	١/٣١	$-1/\Delta$
۱۵٩/۶Y	۰/۵۳	•/۶٣	- \ \ /\	1/44	1/47	١/٣
186/6	•/٧۴	•/٧۶	-۲/Y	1/42	١/٣٧	۰/۵
८.४/१८	۰ <i>/۶</i> ۷	• /88	۱/۴	١/٣٣	١/٢٣	•
261/29	•/٣٩	• /٣٨	۲/۵	١/٢۵	1/51	٣/٢
784/04	٠/٢٩	۰/۳۲	- \ • /٣	1/14	١/١٩	۴

ه تغییرات عمق و فشار استاتیکی برای سرریز سد آزاد	جدول ۲- مقایسه
---	----------------

نتايج و بحث

جدول (۲) مقایسهای از نتایج مدلسازی عددی شامل تغییرات فشار استاتیکی و عمق هیدرولیکی و سرعت جریان با نتایج مدل آزمایشگاهی، بر روی سرریز و تنداب سد آزاد به ازای دبی ورودی۸۰۰ مترمکعب را نشان میدهد. سطح آزاد جریان و تغییرات فشار که از مدل سازی عددی و آزمایشگاهی به دست آمده، ترسیم و مشاهده شد که مقادیر مربوط به مدل سازی عددی تطابق بسیار خوبی با مقادیر آزمایشگاهی دارند. تنها گسستگی اندکی در ناحیه اتصال تنداب با شیب پنج درصد به تنداب با شیب

۳۶/۴ درصد بین مقادیر مدلسازی عددی و آزمایشگاهی وجود دارد که به دلیل وجود نیروی گریز از مرکز و جدا شدن خطوط جریان از بستر و ورود هوا به جریان در ناحیه پروفیل محدب است که اندازهگیری دقیق آزمایشگاهی عمق جریان را مشکل میسازد. بررسی کلیه مدلهای عددی نشان داد که افزایش عمق هیدرولیکی تمایل به پایداری جریان و تشکیل دیرتر امواج غلتان دارد و افزایش تغییرات سرعت عاملی برای ناپایداری و آشفتگی جریان می اشد. عاقبتي و بازرگان: شبیهسازي عددي امواج غلتان در تنداب ها



شکل۳-منحنی تغییرات عمق در نقطهای به طول ۳۰ متر برای تنداب با عرض ۳/٦ متر و شیب طولی ۲۰ درصد و دبی ورودی ۱۰ مترمکعب بر ثانیه

در کلیه مدلهای عددی مشاهده گردید که در لحظه آشفتگی جریان و شکل گیری امواج غلتان، نسبت ارتفاع موج به عمق جریان آب و تغییرات سرعت در آن منطقه از تنداب افزایش یافته و با نزدیکشدن به پاییندست تنداب مقادیر این افزایش چشمگیرتر میشود. برای تنداب با شیب طولی ۲۰ درصد و عرض ۳/۶ متر و دبی ورودی ۱۵ مترمکعب بر ثانیه در نقطهای به طول ۱۹/۵ متر امواج غلتان تشکیل شدهاند که در این نقطه عمق هیدرولیکی برابر ۲۷۲۵ متر میباشد.

در مدلهای عـددی بـه ازای دبـیهای ورودی ۱۰ و ۱۰ ورودی مترمکعب بر ثانیه مشاهده گردید که با افزایش دبی جریان ورودی به تنداب، ارتفاع امواج ایجاد شده کاهش یافته و جریان دیرتـر بـه حالت آشفته و ناپایدار میرسد و محـل تشکیل امـواج غلتـان بـه پاییندست تنداب میل مینماید. بررسی سایر مدلهای شبیهسازی نشان داد که با کاهش عـرض تنـداب یـا کـاهش شـیب طـولی، پیرامون مرطوب افزایش یافته و امواج رشد کمتری کرده و امـواج غلتان دیرتر تشکیل میشوند. برای کلیه مدلهای عددی بـه ازای کاهش شیب طولی تنداب و کاهش عرض تنداب و افـزایش دبـی مشاهده گردید که با حرکت موج بـه سـمت پـاییندست تنـداب، مشاهده گردید که با حرکت موج بـه سـمت پـاییندست تنـداب، نسبت ارتفاع موج (h) به عمـق جریـان (y) افـزایش چشـمگیری یافته و حد نهائی این نسبت برای غلتیدن موج برابـر ۱۰/۷۷ است. در تمامی تندابهای مدل شده مشاهده گردید اگر رابطه زیر برقرار در تمامی تندابهای امواج غلتان تشکیل میشوند:

$$\frac{h}{y} \ge 0.57 \tag{(f)}$$

شکل (۳) نشاندهنده کسر حجمی آب (فاز ۲) در نقطهای به طول ۳۰ متر برای تنداب با عـرض ۳/۶ متـر و شـیب طـولی ۲۰ درصد و دبی ورودی ۱۵ مترمکعب بر ثانیه می باشد.

برای مناطقی از تنداب که براساس مدل سازی عددی امواج غلتان تشکیل شده بودند، به ارزیابی صحت معیار عدد مونتوری و

معیار طول حدافل کانال پرداخته شد. برای تنداب با شیب ۲۰ درصد و عرض ۳/۶ متر و دبی ورودی ۱۵ مترمکعب بر ثانیه در نقطهای به طول ۱۹/۵ متر از تنداب امواج غلتان تشکیل شدهاند که معیارهای طول حدافل کانال و عدد فرود، همین نقطه را برای شروع آشفتگی جریان و پیدایش امواج غلتان پیشبینی نمودند ولی معيار عدد مونتوري براي اين نقطـه از تنـداب جريـان را پايـدار و بدون آشفتگی محاسبه کرد. در کلیه مدل های عددی، معیار عدد مونتوری محل تشکیل امواج را نتوانست به درستی و مطابق با مدل های عددی تعیین نماید ولی معیارهای طول حدافل کانال و عدد فرود دقت لازم را در تعیین محل دقیق تشکیل امواج داشتند و در کلیه موارد محل شکل گیری امواج غلتان را به درستی پیشبینی نمودند (برای مطالعه بیشتر به مرجع عافبتی ۱۳۹۲ مراجعه نمایید). کف و دیوارههای مدلهای عددی در حالتهای با زبری متفاوت، شبیهسازی گردید اثر ارتفاع زبری مرزهای تنداب بر شکل گیری امواج غلتان بررسی شود. در کلیه مدل ها، کف و دیوارهها به ازای ارتفاع زبری برابر ۰/۱۵ و ۰/۲۰ و ۰/۲۵ میلی متر در مقیاس واقعی مدل سازی شدند. برای تنداب با شیب ۲۰ درصد و عرض ۳/۴ متر و دبی ورودی ۱۵ مترمکعب بر ثانیه با افزایش زبری کف و دیواره ها مشاهده گردید که از شدت آشفتگی جریان کاسته و محل تشکیل امواج غلتان به پایین دست تنداب میل می کند. در تنداب با شیب طولی ۲۰ درصد و عرض ۳/۶ متر و دبی ۱۵ مترمکعب بر ثانیه نیز با افزایش مقادیر زبری کف و دیوارهها، جریان در تنداب پایدارتر شده و امواج غلتان دیرتر تشکیل شدند. افزایش مقادیر زبری کف و دیوارهها تاثیر به سزایی برای عمق هیدرولیکی در بالادست نداشت تا جایی که میشد عمق هیدرولیکی را در بالادست با افزایش ارتفاع زبری ثابت فرض کرد ولى با نزديكشدن به پاييندست تنداب عمق هيدروليكي افزايش چشمگیری یافته و افزایش زبری مرزها تاثیرش را نمایان مینمود. سرعت متوسط جریان در نقاط متفاوتی از طول تنداب محاسبه گردید و مشاهده شد که با افزایش زبری مرزها، سرعت متوسط سير نزولي طي ميكند و براي پايين دست تنداب مقادير كاهش

سرعت بسیار مشهود بود. در کلیه مدلها با افزایش مقادیر زبری مرزها مشاهده گردید که عمق هیدرولیکی جریان افزایش و سرعت متوسط جریان کاهش یافته و جریان دیرتر ناپایدار شده و مناطقی که امواج غلتان تشکیل می شود به پایین دست تنداب میل می نماید.

نتیجه گیری

نرماف زار فلوئنت به همراه مدل حجم سیال و مدل آشفتگی k – E و الگوریتم پیزو ابزاری مناسب برای مدل سازی جریان در تندابها و کانالهای باز میباشد. در کلیه مدل های عددی مشاهده گردید، برای هر مقطع از تنداب برقراری رابطه زیر شکل گیری امواج غلتان را نتیجه می دهد:

$$\frac{h}{v} \ge 0.57 \tag{Y}$$

در رابطه بالا، h : معرف ارتفاع موج و y : معرف عمق جریان است.

برای پایداری جریان و کاهش احتمال تشکیل امواج غلتان باید نسبت ارتفاع موج به عمق جریان را کاهش داد که مدل های شبیه سازی شده در این تحقیق نشان دادند که افزایش دبی ورودی یا کاهش عرض تنداب و یا کاهش شیب طولی تنداب روش هایی بسیار مطلوب برای این امر می باشند. در مدل های عددی برای مناطقی از تنداب که امواج غلتان تشکیل شده بود، معیار طول حدافل کانال و عدد فرود در کلیه موارد محل تشکیل امواج غلتان را به درستی توانستند پیش بینی نمایند ولی معیار عدد مونت وری دقت لازم در تعیین محل دقیق تشکیل امواج را نداشت. برای بررسی اثر ارتفاع زبری کف و دیواره های تنداب بر احتمال تشکیل امواج غلتان مشاهده گردید که با افزایش مقادیر زبری کف و دیواره ها در کلیه مدل ها مناطق تشکیل امواج غلتان به پایین دست تنداب میل می ماید و جریان دیرتر به حالت ناپایدار می رسد.

منابع

۱- عاقبتی،ب. ۱۳۹۱. پیش بینی امواج غلتان در کانال های باز. پایان نامه کار شناسی ارشد، مهندسی عمران، گرایش سازه های هیدرولیکی، دانشگاه زنجان.

- 2- Armanini, A. and N, Recchia. 2006. Experimental analysis of roll waves in overconcentrated flow. CUDAM and Department of Civil and Environmental Engineering, 149-157.
- 3- Brock, R. 1969. Development of roll-wave trains in open channel. Journal of The Hydraulics Division, 95(HY4): 1401-1427.
- 4- Carlson, A. 2007. Numerical simulations of slug Flow in a micro channel. Division of Nuclear Power Safety, The Royal Institute of Technology.119 p.
- 5- Chen, Q., Guanging, D. and L, Hava. 2002. Volume of fluid model for turbulence numerical simulation of stepped spillway over flow. Journal of Hydraulic Engineering, 128(7): 683-688.
- 6- Cristo, D. C., Lervolino, M., Vacca, A. and B, Zanuttigh. 2009. Roll-waves prediction in dense granular flows. Journal of Hydrology, 377: 50-58.
- 7- Dressler, R. F. 1949. Mathematical solution of the problem of roll-waves in inclined open channels. Communications on Pure and Applied Mathematics, 2(3): 149–194.
- 8- Anonymous. 2005. Fluent Users Guide, computational fluid dynamics.
- 9- Hirt, C. W. and B. D. Nichols. 1981. Volume of fluid method for the dynamics of free boundaries. Journal of Computational Physics, 39(1): 201-225.
- Iwasa, Y. 1954. The criterion for instability of steady uniform flows in open channels. Memoirs of the Faculty of Eengineering, Kyoto University, Japan, 16(6): 264-275.
- Jeffreys, H. J. 1925. The flow of water in an inclined channel of rectangular section. Philosophical Magazine, 49(293): 793-807.
- 12- Launder, B.E. and D. B. Spalding. 1974. The numerical computation of turbulent flows. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 3(2): 269-289.

عاقبتی و بازرگان: شبیهسازی عددی امواج غلتان در تندابها

- 13- Montouri, C. 1961. Spontaneous formation of wave trains in steep channels. L'energia Elettrica, 38 (2): 127-141.
- 14- Que, Y. T. and K. Xu. 2006. The numerical study of roll-waves in inclined open channels and solitary wave run-up. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 50: 1003–1027

.