

شبیه‌سازی دو بعدی جریان دو حالتی بر روی سرریزهای پلکانی

امین گلزار^{1*}، مهنناز قائینی حصاروئی²

تاریخ دریافت: 1390/11/24 تاریخ پذیرش: 1392/1/12

چکیده

برای کاهش آثار زیانبار عبور جریان از روی سرریزها تمهیدات گوناگونی وجود دارند که یکی از آنها استفاده از سرریزهای پلکانی جهت کاهش کارمایه‌ی جریان می‌باشد. این موضوع در توجیه اقتصادی طرح اثر داشته و موجب کاهش هزینه‌ها خواهد شد. در این تحقیق سطح آزاد و الگوی جریان دو حالتی عبوری از روی سرریز پلکانی با استفاده از نرم‌افزار فلونت³ و بهره‌گیری از شبیه مخلوط⁴ و شبیه آشفته‌گی $K - \epsilon$ معیار، شبیه‌سازی گردیده است. برای صحت‌سنجی شبیه عددی، از نتایج توزیع غلظت هوای موجود در آب، و سرعت با چند بدهی مختلف متعلق به شبیه آزمایشگاهی آزمایشگاه هیدرولیک در دانشگاه آلبرتا، که به‌وسیله‌ی دکتر چمنی انجام گردیده، استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی عددی در تطابق مناسبی با نتایج آزمایشگاهی می‌باشند. نیمرخهای غلظت منجر به یک توزیع شبه پلکانی غلظت شد و تاثیرات بده بر شکل نیمرخهای سرعت مورد مقایسه قرار گرفتند. نتایج نشان دادند که با افزایش بدهی ورودی جریان، نیمرخهای سرعت پهن شده و گسترش بیشتری پیدا می‌کنند، و ارتفاع جریان و بیشترین سرعت جریان افزایش می‌یابند؛ که در نتیجه، استهلاک جریان کاستی می‌پذیرد.

واژه‌های کلیدی: سرریز پلکانی، جریان دو حالتی، نرم‌افزار فلونت، شبیه عددی، شبیه مخلوط

¹ - دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده تحصیلات تکمیلی، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان

² - استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

* - نویسنده مسئول: amin_golzar@yahoo.com

³ - Fluent

⁴ - mixture

مقدمه

نخستین بررسیها در مورد سرریز پلکانی به دهه‌ی 1970 برمی‌گردد، که به طراحی هیدرولیک این نوع سرریز توجه شده است. رایس و کادوی (1996) مطالعاتی را در مورد یک نمونه‌ی فیزیکی، با مقیاس $1/20$ ، برای تخمین یک جریان انتقالی روی سرریز انجام دادند. پله‌ها در مقایسه با سطح صاف شیب شکن بطور قابل توجهی بر استهلاک کارمایه موثر بودند، و این امر سبب کاهش قابل توجه در ابعاد حوضچه‌ی آرامش مورد نیاز در پنجه‌ی سرریز شد. فتحی و همکاران (1388) تاثیر شیب تند آب پایین دست تاج را بر محل هواگیری طبیعی با کاربرد نمونه‌ی آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار دادند. سامانی و همکاران (1383) با استفاده از نمونه‌ی آزمایشگاهی اصول حاکم بر هیدرولیک جریان و طراحی سرریزهای پلکانی بررسی کرده و روابطی را برای محاسبه افت کارمایه به دست آوردند. چنگ و همکاران (2005) با استفاده از شبیه مخلوط و شبیه آشفستگی $k - \epsilon RNG$ جریان را روی سرریزهای پلکانی را شبیه‌سازی کردند. آنها نتایج قابل قبولی را برای توزیع سرعت و فشار به دست آوردند. تبرا و همکاران (2005) جریان روی سرریز پلکانی را با استفاده از روش اجزاء محدود و شبیه آشفستگی $K - \epsilon$ معیار شبیه‌سازی نمودند. سلماسی و همکاران (1382) اثر شمار پله‌ها در افت کارمایه در سرریزهای پلکانی در نمونه‌ی آزمایشگاهی مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیدند که، میزان استهلاک کارمایه‌ی نسبی، با افزایش بده‌ی جریان کاهش می‌یابد. چانسون (2008) در مورد اثر مقیاس در نمونه‌های سرریز پلکانی ارائه شده چنین اظهار کرد که پیچیدگی جریان دو حالتی در مورد سرریز پلکانی اثر مقیاس را به مراتب بیشتر می‌کند. نامبرده فراسنجهای بی‌بعد شده‌ی موجود جریان دو حالتی، که شامل شار عبوری حبابها، اندازه‌ی حبابها، سرعت حبابها، توزیع سرعت، شدت آشفستگی، طول آشفستگی، و نسبت حجمی هوا به آب¹ می‌شد را در دو نمونه‌ی آزمایشگاهی با مقیاس متفاوت بررسی کرد و دریافت که اثر مقیاس تنها بر دو فراسنج توزیع سرعت و نسبت حجمی هوا به آب اثرگذار نبوده، و سایر فراسنجهای نیز متأثر از اثر مقیاس قرار

گرفته‌اند. تغییرات این فراسنجهای بی‌بعد عملاً بر میزان استهلاک کارمایه تأثیرگذار بوده و نتایج غیر دقیقی را از میزان افت کارمایه سبب می‌شوند. بوس و هگر (2003) آزمایشهایی را در خصوص جریانهای عبوری از روی سرریزهای پلکانی، و نتایج توزیع سرعت و غلظت هوا را در جریان گزارش نمودند. ژانگ دونگ و همکاران (2009) چهار شبیه آشفستگی مختلف را در مدل عددی جریان آب روی سرریز پلکانی بررسی نموده، که نتایج محاسبه شده‌ی چهار شبیه را با داده‌های آزمایشی مقایسه کرده، و به این نتیجه رسیدند که شبیه $k - \epsilon$ در شبیه‌سازی جریان روی سرریزهای پلکانی موثر است. سانچز و همکاران (2007) به تحلیل میدان فشار در دو برای افقی و عمودی پله‌های سرریز پلکانی سد بتن غلطکی² پرداختند. آنها دو ناحیه‌ی مختلف در پله دار معرفی کردند. لبه‌ی بیرونی پله که با تحت فشار قرار دادن فشانه‌ی بالایی مشخص شد و وضعیت درونی که با گردابه‌های داخلی غیر چرخشی مهار گردید.

نمونه‌ی فیزیکی مسأله

نمونه در آزمایشگاه هیدرولیک در دانشگاه آبرتا ساخته شد. این دستگاه شامل مخزن تغذیه، خط منبع آب، بده‌سنج مغناطیسی، مخزن آرام‌کننده³، نهر بالادست کوتاه، نهر پلکانی و نهر افقی پایین دست است. آب از مخزن تغذیه از میان لوله‌ای دایره وار به قطر $0/2$ متر جریان می‌یابد. لوله شامل بده‌سنج مغناطیسی نزدیک مخزن تغذیه برای اندازه‌گیری تخلیه است. شیر پروانه‌ای نزدیک ورودی مخزن آرام‌کننده برای تنظیم کردن جریان قرار گرفته است. مخزن آرام‌کننده برای ملایم کردن جریان با سرعت بالا از مسیر تغذیه نصب شده است تا این که جریان با سرعت ثابت و کم به نهر بالادست نزدیک شود. عملکرد مخزن آرام‌کننده با نصب غربال مویی هاگس⁴ در ورودی بهبود یافته است. نهر بالادست $0/3$ متر عرض دارد؛ و کناره‌های نهر از پلکسی گلاس⁵ ساخته شده است. ارتفاع بستر نهر بالا دست $2/5$ متر بالاتر از نهر پایین دست است. عرض نهر پلکانی $0/3$ متر است. بهترین حدود

² - roller compacted concrete

³ - stilling tank

⁴ - hogs

⁵ - plexi glass

¹ - void fraction

کسر حجمی گاز پایین دارند می‌باشد. شبیه مخلوط جانشین خوبی برای شبیه چند حالتی اولری در چندین حالت است. مواقعی که یک توزیع گسترده از حالت‌های دانه‌ای وجود دارد، یا وقتی قوانین بین حالتی نامعلوم یا اعتبار آنها زیر سؤال می‌باشد، شبیه چند حالتی کامل، عملی نمی‌باشد. یک شبیه ساده‌تر مشابه شبیه مخلوط می‌تواند به خوبی شبیه چند حالتی کامل عمل کند، در حالی که شماری متغیرهای کمتر نسبت به شبیه چند حالتی کامل را حل می‌کند. همچنین در این شبیه اندرکنش انتقال جرم درونی حالت اندازه‌ی حرکت و انتقال کارمایه وجود دارد. در شبیه مخلوط اجزاء حجم α_k و α_q برای یک حجم واپایش، بسته به فضای اشغال شده به وسیله‌ی هر یک از حالت‌های K و q می‌تواند مساوی با مقداری بین 0 تا 1 باشد و با استفاده از انگاره‌ی لغزش سرعت² سرعت‌های متفاوت در حالت‌ها محاسبه می‌شوند. بنابراین، معادله‌ی پیوستگی حاکم بر جریان را می‌توان به شکل زیر استخراج نمود:

$$\frac{\partial p_m}{\partial t} + \nabla \cdot (p_m u_m) = 0.0 \quad (1)$$

که در آن چگالی مخلوط (p_m) و سرعت مخلوط (u_m) از رابطه‌های زیر محاسبه می‌گردند:

$$p_m = \sum_{k=1}^n \alpha_k p_k \quad (2)$$

$$u_m = \frac{1}{p_m} \sum_{k=1}^n \alpha_k p_k u_k \quad (3)$$

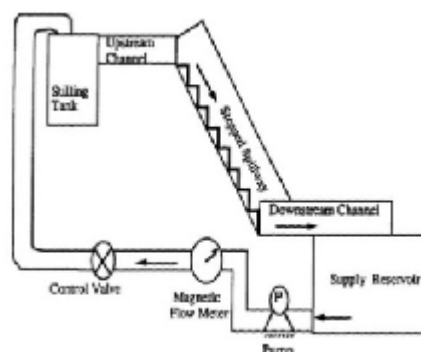
که در آنها α_k و p_k به ترتیب برابر با جزء حجم و چگالی حالت k می‌باشند، و سرعت مخلوط (u_m) سرعت مرکز جرم جریان مخلوط است. لازم به ذکر است که اگر چه مقادیر چگالی اجزاء ثابت است، اما p_m می‌تواند تغییر کند. دیگر معادلات حاکم با توجه به قانون بقای اندازه‌ی حرکت به شکل زیر استخراج می‌شوند:

$$\quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (p_m u_m) + \nabla \cdot (p_m u_m u_m) = -\tau_{ij} p_{,i} + \nabla \cdot (\tau_{ij} + \sigma_{ij}) + \nabla \cdot (u_{ij} v_{ij}) + p_m g$$

و فشار جریان مخلوط (p_m) در معادلات اندازه‌ی حرکت را می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود:

شبیه‌ها در بیشتر سدها به علت معیارهای اقتصادی، قابلیت ساخت، استحکام و مقاومت از 1:0/6 تا 1:0/8 انتخاب شده است. برای این آزمایش، شیب نهر $L/h = 0/6$ تعیین شد، که L طول کف پله و h ارتفاع آن است. در این آزمایش، ارتفاع پله 125 میلیمتر در سطح پلکانی می‌باشد. پایین آخرین پله بر بستر نهر فرود آب افقی متصل است که آب را به مخزن تغذیه هدایت می‌کند. شکل 1 قسمتی از نمونه‌ی آزمایشگاهی را نشان می‌دهد [11].



شکل 1- نمونه‌ی آزمایشگاهی (چمنی 1997).

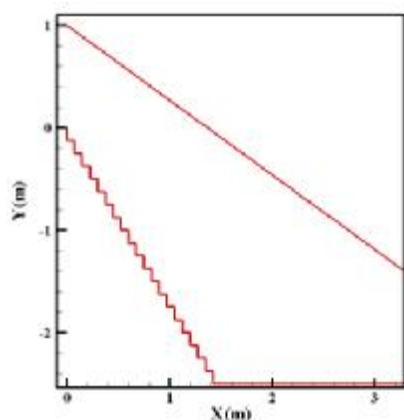
مروری بر شبیه مخلوط

شبیه مخلوط یک شبیه چند حالتی ساده شده است که می‌تواند برای شبیه‌سازی جریان‌های چند حالتی، که حالت‌ها با سرعت‌های مختلف حرکت می‌کنند، مورد استفاده قرار گیرد. در این شبیه فرض می‌شود که حالت‌ها دارای تعادل موضعی در مقیاس‌های طولی فضایی کوتاه¹ می‌باشند. این فرض می‌تواند تأثیر حالت‌ها بر هم دیگر حالت‌ها را در نظر بگیرد. همچنین برای شبیه‌سازی جریان‌های چند حالتی همگن شدیداً تأثیرگذار روی همدیگر، که سرعت حرکت حالت‌ها یکسان است، نیز استفاده می‌شود. به علاوه، از شبیه مخلوط می‌توان برای محاسبه گرانیوی غیر نیوتنی استفاده کرد. شبیه مخلوط می‌تواند n حالت (سیال یا دانه‌ای) را با حل معادلات اندازه‌ی حرکت، پیوستگی و کارمایه برای مخلوط، و معادلات کسر حجمی برای حالت‌های ثانویه و روابط جبری برای سرعت‌های نسبی شبیه‌سازی کند. کاربردهای نمونه این شبیه شامل ته‌نشینی جداکننده‌های چرخه‌ای، جریان‌های پر ذره با بارگیری پایین، و جریان‌های حبابی که

² - slip velocity

¹ - short spatial length scales

برای Y (محور عمودی) صورت گرفته است. شبیه دو بعدی در برای قائم می‌باشد که از تغییرات در عرض صرف نظر شده است. شکل 2 مشاهده شود.



شکل 2- دامنه‌ی محاسباتی سرریز پلکانی.

بطور کلی دو روش برای شبکه بندی وجود دارد: شبکه‌های با سازمان و شبکه‌های بی سازمان. با توجه به هندسه‌ی سرریز، و وجود پله‌ها، امکان مش بندی به صورت چهار ضلعی منظم (با سازمان) وجود ندارد. در هندسه‌های پیچیده از روش بی سازمان استفاده می‌شود، که در این تحقیق، بن پاره‌های مثلثی 3 گرهی مسطح و بی سازمان² به کار می‌روند. برای اطمینان از صحت شبکه بندی در نزدیکی سطح و دیوارها، از قابلیت تطبیق دادن³ نرم افزار فلوئنت استفاده شده است که با بهره‌وری از خاصیت شبکه بندی با کاربرد برنامه در نزدیکی مرزها ریزتر شده است تا تغییرات شدید سرعت را در کنار دیواره‌ها به خوبی نشان دهد که در شکل 3 مشاهده می‌شود. همان گونه که از شکل 4 پیداست، بین جوابها با تعداد شبکه 32232 و 70435 تفاوت ناچیزی وجود دارد؛ بنابراین، برای صرفه جویی در زمان محاسباتی از شبکه با تعداد بن پار 32232 استفاده شده است.

$$\nabla p_m = \sum_{k=1}^n \alpha_k \nabla p_k \quad (5)$$

دو تانسور تنش در معادلات اندازه‌ی حرکت، تنش متوسط لزجت τ_m تنش بخش ناشی از لغزش حالتها τ_{Dm} به صورت زیر تعریف می‌گردند:

$$\tau_m = \sum_{k=1}^n \alpha_k u_{eff} \nabla u_k \quad (6)$$

$$\tau_{Dm} = - \sum_{k=1}^n \alpha_k p_k u_{Mk} u_{Mk} \quad (7)$$

$$u_m = \sum_{k=1}^n \alpha_k u_k \quad (8)$$

که در آنها u_{Mk} سرعت پخش جریان مخلوط بوده و با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

$$u_{Mk} = u_{qk} - \sum_{k=1}^n \frac{\alpha_k p_k}{p_k} u_{qk} \quad (9)$$

که در آن u_{qk} معرف سرعت لغزش بین آب و هوا می‌باشد که به صورت زیر تعریف شده است:

$$u_{qk} = \frac{(p_m - p_k) d_k^2}{18 \mu_{eff,m} f_{drag}} [g - (u_m \cdot \nabla) u_m \frac{\partial u_m}{\partial t}] \quad (10)$$

که در آن $\mu_{eff,m}$ گرانیوی مؤثر مخلوط d_k قطر حباب حالت k ام است و نیروی بازدارنده‌ی f_{drag} از تابع زیر قابل محاسبه است:

$$f_{drag} = \begin{cases} 1 + 0.15 Re^{0.687} & Re < 1000 \\ 0.0182 Re & Re \geq 1000 \end{cases} \quad (11)$$

و به کمک معادله پیوستگی برای حالت دوم k می‌توان معادله‌ی جزء حجمی را برای این حالت را به دست آورد:

$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_k p_k) + \nabla \cdot (\alpha_k p_k u_m) = - \nabla \cdot (\alpha_k p_k u_{Mk}) \quad (12)$$

مشخصات میدان حل و شبکه بندی

ابتدا هندسه مسأله در نرم افزار گمبیت¹ ساخته می‌شود. سپس شبکه بندی آن با کاربرد بن پاره‌های مثلثی در گمبیت ایجاد می‌شود؛ دامنه‌ی حل، یک سرریز پلکانی است. ارتفاع کف پله (h) 125 میلیمتر و طول کف پله (L) 75 میلیمتر با شیب 0/6، که تعداد پله‌ها 20 عدد می‌شود. بدهی جریان عبوری از روی سرریز 61/55 لیتر بر ثانیه است. شبیه سازی در دو برای X (محور افقی) و

² - tri pave

³ - adapt

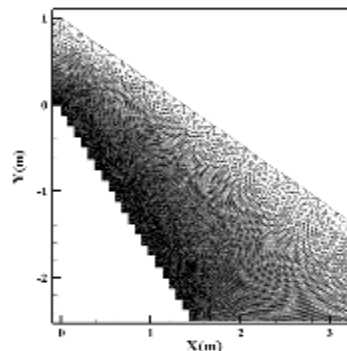
¹ - gambit

حل عددی معادلات

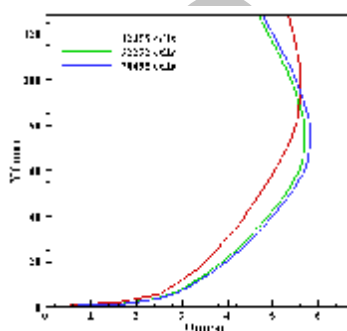
برای حل معادلات از نرم‌افزار فلوئنت استفاده شده است. نرم‌افزار فلوئنت بر اساس حجم محدود⁵ پایه گذاری شده است. فلوئنت کل میدان جریان را به صورت حجم واپاشیهای مجزا در نظر می‌گیرد، از معادلات حاکم بر جریان سیال، روی هر حجم واپایش انتگرال گرفته و با استفاده از طرحهای مختلف انفصال، معادلات جبری منفصل می‌شوند. در فلوئنت دو نوع حل‌کننده‌ی فشار پایه و چگالی پایه وجود دارد. تحت شرایط جریان این مسأله از تراکم‌پذیری جریان، و همچنین انتقال حرارت صرف نظر شده است. با توجه به تراکم‌ناپذیر بودن جریان سیال، تغییرات چگالی ناشی از تغییرات فشار و دما بر معادلات جریان تاثیرگذار نمی‌باشند؛ به همین دلیل، نوع حل، حل بر پایه‌ی فشار انتخاب می‌شود. برای همگرایی بهتر از رابطه‌بندی بر اساس روش ضمنی استفاده شده است. انتخاب شبیه جریان آشفته شبیه گرانو⁶ صورت می‌گیرد. شبیه آشفستگی $K-\epsilon$ معیار به عنوان شبیه آشفستگی انتخاب می‌شود. از شبیه دو حالت مخلوط برای شبیه‌سازی این جریان دو حالت استفاده شده است. دو سیال یکی آب و دیگری هوا در قسمت خصوصیات فیزیکی تعریف می‌شوند. علاوه بر این، از طرح پرستو⁷ برای گسسته‌سازی فشار و طرح کوئیک⁸ برای انفصال جملات جایجایی معادلات اندازه‌ی حرکت و معادلات آشفستگی استفاده شد. همچنین برای جفت کردن سرعت و فشار از الگوریتم سیمپل⁹ استفاده گردیده است. حدس اولیه براساس ورودی جریان در نظر گرفته می‌شود. سپس تکرار تا همگرایی باقیمانده‌ها ادامه می‌یابد.

صحت سنجی شبیه عددی

برای صحت سنجی نتایج شبیه‌سازی عددی از نتایج آزمایشگاهی چمنی (1997) استفاده شده است. محل ترسیم نیمرخها در شکل 6 نشان داده شده است. در شکل 7 نیمرخ سرعت سیال بر روی لبه‌ی پله، و شکل 8 نیمرخ غلظت هوا بر لبه‌ی پله با نتایج تجربی مقایسه



شکل 3- شبکه بندی دامنه محاسباتی با بن پار مثلثی سه گرهی مسطح بی سازمان.



شکل 4- تحلیل حساسیت حل عددی نسبت به تعداد بن‌پارهای شبکه محاسباتی.

شرایط مرزی

در مرحله بعد شرایط مرزی فرض می‌شود. بدهی جریان عبوری از روی سرریز 61/55 لیتر بر ثانیه است. عمق آب، در مرز ورودی حالت آب، 162/5 میلیمتر و بقیه به عنوان حالت هوا در نظر گرفته شده است. در مرز ورودی حالت آب، شرط مرزی سرعت ورودی با توجه به عمق حالت آب اعمال شده است. در مرز ورودی حالت هوا، شرط مرزی سرعت ورودی و مقدار سرعت ناچیز 0/0002 متر بر ثانیه فرض شده است. در شکل 5 نیز شرایط مرزی شبیه مسأله به صورت طرحواره نشان داده شده است که در آن D شرایط مرزی از نوع دیوار¹ که دارای شرط عدم لغزش می‌باشد، A شرط مرزی ورودی از نوع سرعت ورودی²، B شرایط مرزی هوای ورودی از نوع فشار ورودی³، C شرط مرزی خروجی از نوع فشار خروجی⁴ می‌باشد.

⁵ - finite volume method

⁶ - viscous model

⁷ - Presto

⁸ - quick

⁹ - simple

¹ - wall

² - velocity inlet

³ - inlet pressure

⁴ - outlet pressure

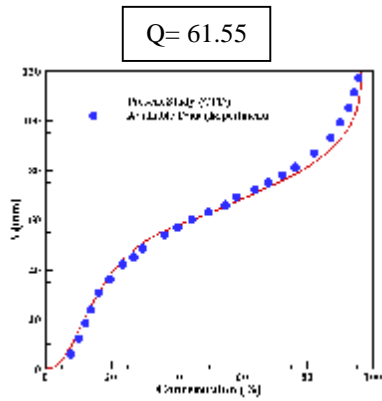
همچنین شبیه‌سازی با بده‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت؛ و تأثیر بده بر خطوط جریان حجم سیال در سرریزهای پلکانی در شکل 10 نشان داده شده است. در شکل 11 تأثیر افزایش بده بر نیمرخ های سرعت سیال و غلظت هوا نشان داده شده است. با بررسی تأثیر افزایش بده سیال بر نیمرخ سرعت سیال بر روی لبه‌ی پله مشاهده شده است که با افزایش بده‌ی ورودی جریان سیال، نیمرخهای سرعت پهن شده و گسترش بیشتری پیدا می‌کنند، و ارتفاع جریان و بیشترین سرعت جریان افزایش می‌یابد. افزایش بده‌ی جریان باعث افزایش سرعت جریان گردیده است. افزایش بده‌ی جریان تأثیر خود را در نیروی لختی نشان می‌دهد و بیانگر این موضوع است که افزایش نیروی لختی و اندازه‌ی حرکت اولیه به عنوان یک نیروی رانش باعث افزایش سرعت جریان می‌گردد. افزایش نیروی لختی علت اصلی تغییر ارتفاع بدنه، اختلاط و درون آمیختگی و خیزابها در مرز مشترک بالایی است. نیمرخهای سرعت به خوبی نشان می‌دهند که افزایش بده باعث افزایش ارتفاع متوسط جریان می‌گردد. تأثیر افزایش بده سیال بر نیمرخ خلوص هوا بر روی لبه‌ی پله مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد، با افزایش بده جریان، شار ورودی سیال آب افزایش یافته و نیمرخهای غلظت گسترش بیشتری پیدا کرده‌اند. در کلیه‌ی موارد، یک لایه بندی در غلظت جریان مشاهده می‌گردد. جریان رو به عقب سیال ساکن بالایی، ناشی از نیروی برشی در سطح مشترک سیال محیطی با سیال چگال باعث تغییر در توزیع غلظت در ناحیه درونی جریان گردیده، و باعث ایجاد یک توزیع پلکانی برای غلظت شد. در نیمرخهای سرعت برگشت جریان باعث کاهش بیشترین سرعت و افزایش ارتفاع جریان، و در نتیجه بلند شدن جریان از کف گردیده است. در نیمرخهای غلظت نیز این تأثیر باعث تجمع یکسان در ناحیه‌ی درونی، و در نتیجه یک توزیع پلکانی برای آن شده است.

گردیده، که مطابقت خوبی را بین نتایج عددی و تجربی نشان داده است. در شکل 9 خطوط میزان حجم سیال آب جاری بر روی سرریز پلکانی نشان داده شده‌اند. هرچقدر مقدار کسر حجمی¹ به یک نزدیک شود، حجم آب خالص بیشتر است، و هر چه به صفر نزدیک شود حجم هوای خالص بیشتر است. بعد از ریزش آب بر روی پله و جاری شدن آن در پایین دست بین هوا و آب در مرز مشترک اختلاط به وجود می‌آید؛ این ناحیه اختلاط یک مرحله‌ی گذار از سیال آب خالص به هوای خالص را تشکیل می‌دهد. خروجی غلظت، که به صورت نسبتی بین هوا و آب می‌باشد، در خطی که عمود بر راستای جریان و بر لبه‌ی پله قرار گرفته، محاسبه شده است. جریان آب بر روی پله‌ها به صورت یک لایه جاری می‌شود. سطح آزاد جریان حالت شبه صاف را دارد. با توجه به مشخصات ذکر شده، جریان روی سرریز از نوع جریان غیر ریزشی² می‌باشد.

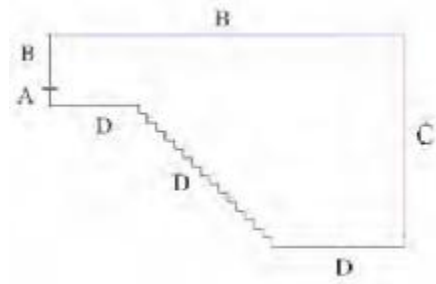
نیمرخ سرعت بر روی پله تقریباً به سه ناحیه تقسیم می‌شود: ناحیه‌ی اول، که از لبه پله‌ی شروع شده، ابتدا به خاطر شرط مرزی عدم لغزش روی دیواره سرعت صفر است، و در ادامه با فاصله گرفتن از سطح سرعت به خاطر اندازه‌ی حرکت ناشی از حرکت آب افزایش می‌یابد تا به بیشترین مقدار خود برسد. در ناحیه‌ی دوم که سرعت تقریباً ثابت بوده و در ناحیه سوم سرعت سیال به خاطر نیروی بازدارنده بین آب و هوا کاهش می‌یابد، بطور کلی اندازه‌ی حرکت هوا از آب کمتر است، و در فاصله‌ی بیشتر از پله، به خاطر اختلاط هوا و آب، سرعت کاهش می‌یابد، چون مخلوط آب و هوا اندازه‌ی حرکت کمتری را نسب به آب خالص دارد. کاهش شدید در قسمت فوقانی نیمرخ نشان‌دهنده‌ی ویژگیهای متفاوت این ناحیه نسبت به نواحی پایین و نزدیک سطح می‌باشد. نواحی اول و سوم به وسیله‌ی یک ناحیه‌ی انتقال از هم جدا شده‌اند. در ناحیه‌ی سوم، درصد حجمی سیال آب، که از ناحیه‌ی انتقال تامین می‌شود، کاهش می‌یابد؛ بنابراین اندازه‌ی حرکت ناشی از این ناحیه شروع به کاهش می‌کند.

¹ - volume fraction

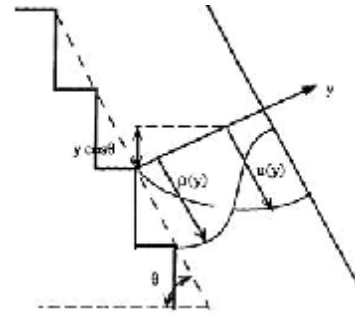
² - skimming flow



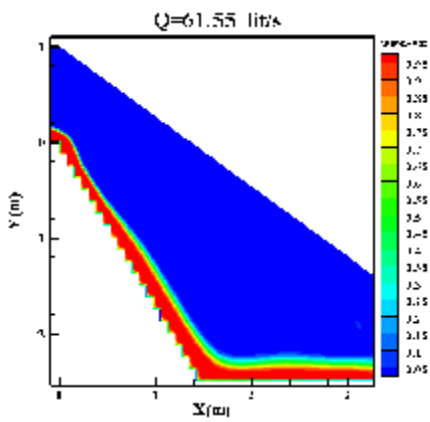
شکل 8- نیمرخ غلظت هوا بر روی لبه‌ی پله.



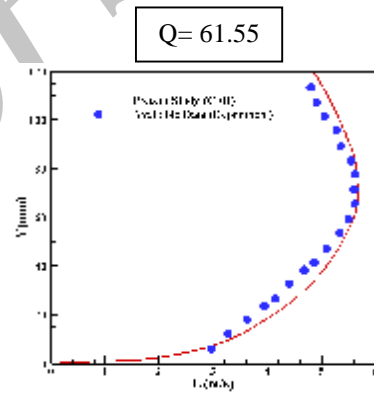
شکل 5- شرایط مرزی شبیه.



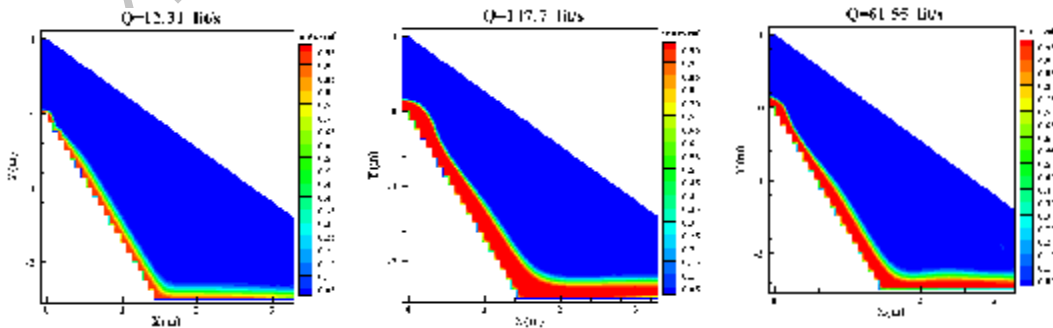
شکل 6- محل ترسیم نیمرخ (چمنی 1997).



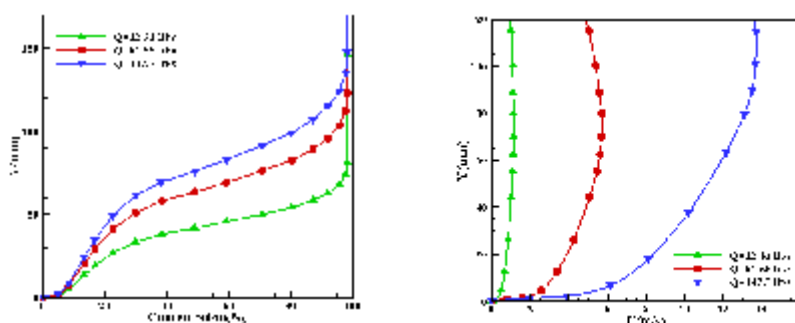
شکل 9- میزان منحنی حجم سیال آب جاری بر روی سریز پلکانی.



شکل 7- نیمرخ سرعت سیال بر روی لبه‌ی پله.



شکل 10- تاثیر افزایش بده بر میزان منحنی حجم سیال آب جاری بر روی سریز پلکانی.



شکل 11- تاثیر افزایش بدهی سیال بر نیمرخ سرعت سیال و نیمرخ غلظت هوا بر روی لبه‌ی پله.

نتیجه گیری

سرریز پلکانی از جمله سازه‌هایی است که در قسمتهای از رودخانه که شیب تند دارند، به منظور کاهش کارمایه‌ی آب مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از سرریز پلکانی موجب کاهش سرعت جریان از طریق ایجاد تلاطم در طول سازه می‌گردد و باعث شود که تا عمق حفاری حوضچه آرامش پایین دست، طول حوضچه آرامش و ارتفاع دیواره‌های جانبی آن کاهش یافته، و از این نظر صرفه‌جویی زیادی در هزینه‌های سد گردد. مقایسه شبیه عددی و داده‌های آزمایشگاهی نشان دادند که شبیه‌سازی عددی با نرم‌افزار فلوئنت بر پایه‌ی روش مخلوط، که بر اساس پویایی سیالات محاسباتی پایه‌ریزی شده است، می‌تواند نتایج قابل اطمینانی را محاسبه کرده، و برای شبیه‌سازی این نوع از جریانها مناسب باشد. خلاصه نتایج شبیه‌سازی به شرح زیر است:

الف- نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی نیمرخ سرعت در بدنه با نتایج آزمایشگاهی تطابق خوبی دارند.

ب- نیمرخهای غلظت منجر به یک توزیع شبه پلکانی غلظت شد.

پ- تاثیرات بده بر شکل نیمرخهای سرعت مورد مقایسه قرار گرفت؛ و نتایج نشان دادند که با افزایش بده ورودی جریان، نیمرخهای سرعت پهن شده، گسترش بیشتری پیدا می‌کنند و ارتفاع جریان و بیشترین سرعت جریان افزایش می‌یابد؛ در نتیجه، استهلاک جریان کاهش می‌یابد.

منابع

1. سامانی، ح. م.، و م. نظر زاده. 1383. ارزیابی اصول حاکم بر هیدرولیک جریان و طراحی سرریزهای پلکانی، نشریه دانشکده فنی، جلد 38، شماره 2، 339-347.
2. سلماسی، ف. م.، بینا، و ح. موسوی جهرمی. 1382. ارزیابی افت کارمایه از روی سرریزهای پلکانی با استفاده از شبیه فیزیکی. مجله علمی کشاورزی، جلد 26، شماره 1، ص 57-71.
3. فتحی، ا. م.، بینا، و ح. موسوی جهرمی. 1388. بررسی تاثیر شیب تند آب پایین دست تاج بر محل هواگیری طبیعی در جریان غیرریزشی در سرریز پلکانی. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد 23، شماره 3، ص 156-167.
4. Boes, R.M., and W.H. Hager. 2003. Two-phase flow characteristics of stepped spillways. J. Hydraul. Eng ASCE, 129: 661-670.
5. Chamani, M.R. 1997. Skimming flow in a large model of stepped spillway. Ph.D. Thesis. Water Resources Engineering, Department of Civil Engineering, Edmonton Alberta.
6. Chanson, H. 2008. Turbulent air-water flows in hydraulic structures: dynamic similarity and scale effects. Environ. Fluid. Mech. DOI 10.1007/s10652-008-9078-3.
7. Cheng, X., Y. Chen, and Luol. 2005. Numerical simulation of air-water two-phase flow over stepped spillways Science in China Series E: Technological Sciences 49:674 – 684.

11. Tabbara, M., J. Chatila, and R. Awwad. 2005. Computational simulation of flow over stepped spillways. *J. Comput. Struc.* 83:2215-2224.
12. Zhong Dong, Q., H. Xiaoqing, H. Wqnxin, and A. Antonio. 2009. Numerical simulation and analysis of water flow over stepped spillways. *Science in China Series E: Technological Sciences.* 52: 1958-1965.
8. Fluent User's Guide, Fluent 6.3.26 . Copyright 2006 Fluent Inc.
9. Rice, C. and K. Kadavy. 1996. Model study of a roller compacted concrete stepped spillway, *J. Hydraul. Eng.* 122:292-297.
10. Sanchez, M., E. Blade, and J. DolzPressures. 2007. on stepped spillway. *J. Hydrayl. Res.*, 45:505-511.

Archive of SID