علوم و مهندسی آبیاری
جلد ٤١، شماره‌ی٤، زمستان ٩٧، ص. ٢٨-١٧

شبیه‌سازی عددی استهلاک انرژی در تندآب با موانع استوانه‌ای مستغرق با مدل Flow 3D

محمد راشکی قلعه نو[1*]، مهدی اژدری مقدم[2]، غلامرضا عزیزیان[3] و کامران خلیفه ای[4]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری سازه های هیدرولیکی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، mohammadrashki@yahoo.com
۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
۳- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
۴- دانشجوی دکتری سازه های هیدرولیکی، دانشگاه سیستان و بلوچستان.

دریافت: ۹۵/۳/۱۰ بازنگری: ۹۵/۹/۲۵ پذیرش: ۹۵/۹/۲۸

چکیده

در این تحقیق به قابلیت استهلاک انرژی تندآب با موانع مستغرق استوانه‌ای پرداخته شد. از مزیت‌های این روش بر روش‌های قبلی مانند سرریز پلکانی، خطر کاویتاسیون کمتر و اقتصادی‌تر بودن آن می‌باشد. در این تحقیق برای تحلیل عددی از نرم‌افزار FLOW-3D استفاده شده است. این نرم‌افزار با استفاده از روش حجم محدود معادلات جریان را حل می‌کند. در این تحقیق جریان از نوع دائمی و اغتشاشی و سیال تراکم‌ناپذیر در نظر گرفته شده است. مدل آشفتگی مورد استفاده در این تحقیق ($k-\varepsilon(RNG$) می‌باشد. بررسی افت انرژی در همه مدل‌های شاهد نشان می‌دهد، مقدار افت انرژی در همه‌ی شیب‌ها با افزایش نسبت Y_c/H عمق بحرانی و H ارتفاع تندآب) دارای روند نزولی با شیب نسبتاً تند می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت استهلاک انرژی در مدل‌های شاهد نسبت به انرژی بالادست در محدوده دبی‌های این تحقیق بین ۱۰ درصد برای مدل با شیب ۱ به ٤ تا ٦٤ درصد برای مدل با شیب ۱ به ٥ متغیر است. نتایج مقایسه افت در مدل‌های با بستر دارای موانع نشان می‌دهد در همه مدل‌ها روند نزولی با شیب نسبتاً تند و نرخ کاهش به صورت تقریباً خطی می‌باشد. در مقایسه افت انرژی در شیب‌های مختلف، مقدار نسبی افت انرژی در شیب ۱ به ٤ دارای بیشترین و در شیب ۱ به ٥ دارای کمترین مقدار می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت استهلاک انرژی در این مدل‌ها نسبت به انرژی بالادست از ۸۱ درصد برای مدل با شیب ۱ به ٤ تا مقدار ٤٣ درصد در مدل با موانع استوانه‌ای و شیب ۱ به ٦ و ۱ به ۸ متغیر است. هم‌چنین در مدل‌های با موانع بستر، میزان استهلاک انرژی از ١٦ تا ٣٩ درصد نسبت به مدل شاهد افزایش داشته است. در پایان نیز با استفاده از رگرسیون چند متغیره روابطی برای پیش‌بینی افت انرژی در این نوع تندآب در حالت بستر صاف و با وجود موانع استخراج شد.

کلید واژه‌ها: تندآب، استهلاک انرژی، موانع مستغرق، شبیه‌سازی عددی، Flow3D.

مقدمه

به‌طور کلی هنگامی که آب از بالای هر نوع سرریزی از ارتفاع بالا به پایین سرازیر می‌شود، مقدار زیادی از انرژی پتانسیل آن به انرژی جنبشی تبدیل می‌شود. چنین جریانی دارای قدرت تخریب‌کننده قابل توجهی می‌باشد که ممکن است به سازه هیدرولیکی مورد نظر آسیب جدی وارد نماید. برای ممانعت از اثرات تخریبی جریان با سرعت‌های خیلی زیاد از روی سرریزها، از سازه‌های مستهلک‌کننده انرژی استفاده می‌شود. در این میان تندآب‌ها از جمله متداول‌ترین ساختمان‌های انتقال آب در سدها، شبکه‌های آبیاری و زهکشی، آبراهه‌های آبرفتی و سیستم‌های جمع‌آوری، تصفیه و دفع فاضلاب می‌باشند.پایین‌دست این سازه از سازه‌های مستهلک‌کننده انرژی استفاده می‌شود. از جمله روش‌های کاهش ابعاد و یا حذف سازه‌ی مستهلک‌کننده‌ی انرژی پایین‌دست، بکار بردن روش‌هایی برای کاهش انرژی جریان بر روی تندآب‌ها می‌باشد. از جمله‌ی این روش‌ها که تاکنون استفاده شده‌است ایجاد پله در طول سرریز است. روش دیگری که می‌تواند استفاده شود کاربرد مانع و یا زبری در بستر سرریزاست. تندآب مانع‌دار از نوع تلف کننده انرژی ضربه‌ای است که کاربرد زیادی در شبکه‌های زهکشی روباز و در جاهایی که سطح آب پایین‌دست نوسانات زیادی دارد، به‌کار می‌رود. اهمیت این نوع از مستهلک کننده انرژی در مواردی که سطح آب پایاب نوسان زیاد داشته، مشهودتر است (Akbaryan, 1992).

در واقع ردیف‌های ضربدری بلوک‌های مانع‌دار روی تندآب، فارغ از ارتفاع شیب‌شکن از شتاب‌گیری بیش از حد جریان جلوگیری کرده و یک سرعت نهایی قابل قبول را فراهم می‌آورد. مشکلی که در استفاده از بلوک وجود دارد هزینه بسیار زیاد ساخت و ریسک بالای کاویتاسیون است. از این رو این روش با محدودیت زیادی همراه است.

Peterka (1964) به بررسی جنبه‌های هیدرولیکی تندآب با موانع غیر مستغرق پرداخت و مقادیر هندسه آن را استاندارد نمود.

Rhone (1971) در مطالعه‌ای به بررسی اجرایی بودن تندآب مانع‌دار به عنوان تلف‌کننده انرژی پرداخت و نشان داد ساختار و هندسه موانع می‌تواند مقدار دبی طراحی را کنترل نماید.

Katoorani and Kashefipor (2011) به بررسی آرایش موانع تندآب براستهلاک انرژی پرداختند. نتایج این تحقیقات که به ازای عرض و فواصل مختلف انجام شد نشان داد که افزایش عرض و فاصله باعث کارایی بیشتر و افزایش استهلاک انرژی است.

Zulfequar et.al (2009) با انجام آزمایش‌هایی به بررسی اثر نیم‌کره‌های برآمده بر استهلاک انرژی برروی شیب‌های سنگی باآرایش‌های مختلف پرداختند. نتایج آن‌ها نشان می‌دهدکه مقدار استهلاک انرژی در بستر زبر بیشتر از بستر صاف می‌باشد. هم‌چنین مقدار افت انرژی با افزایش تراکم اندازه ی آن‌ها افزایش یافته و با افزایش دبی کاهش می‌یابد.

Rahmanshahi و Shafai Bajestan (2012) تأثیر اندازه زبری بستر تنداب بر میزان استهلاک انرژی جنبشی را مورد بررسی قرار دادند. آزمایش‌های آن‌ها بر روی مدل‌های فیزیکی در سه شیب مختلف با قرار دادن سه نوع زبری با اندازه‌های متفاوت و دانه‌بندی تقریباً یکنواخت روی بستر آن‌ها انجام شد. نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان می‌دهدکه باوجود زبری بستر تندآب، میزان استهلاک انرژی از ۱۲ تا ۴۸درصدنسبت به مدل با بستر صاف افزایش می‌یابد.

Pagliara و Chiavaccini (2006) با استفاده از کره‌های فلزی که با پوشش آلومینیمی احاطه شده بودند، به بررسی اثر تخته سنگ‌های برآمده بر مقاومت جریان در بستر شیب‌های سنگی (Block Ramp)، پرداختند. در آزمایش های آنها نحوه‌ی قرار گیری این کره‌ها به دو صورت ردیفی و تصادفی بودند. بر اساس نتایج پالیارا و واچینی این کره‌ها سبب پایداری بیشتر شیب‌های سنگی می‌شوند، زیرا این عمل به آشفتگی جریان دامن‌زده و از تنش برشی وارد شده بر مواد بستر می‌کاهد. نتایج آن‌ها نشان می‌دهد که در صورت وجود کره‌های فلزی پوشیده شده با آلومینیم، عمق جریان نسبت به سطح صاف بیشتر می‌شود.نتایج پالیارا و واچینی نشان می‌دهد، که تاثیر شیب بر افزایش مقاومت جریان تا حد ۰/۳۲ بی‌تأثیر است. ولی در شیب‌های بالاتر مقاومت جریان افزایش سریعی پیدا می‌کند.

Pagliara et al. (2009) به ارزیابی اثر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی روی افت انرژی درحوضچه پایین‌دست یک تندآب سنگی که حوضچه آن دارای بستر متحرک می‌باشد، پرداختند. آزمایش های آن‌ها درشرایط مختلف هندسی و هیدرولیکی درشیب های مختلف تندآب و اندازه‌های مختلف مصالح بسترکانال انجام شد و روند استهلاک انرژی و آبشستگی حوضچه آرامش با بستر متحرک بررسی گردید.

هدف تحقیق حاضر شبیه‌سازی عددی تأثیر موانع استوانه‌ای مستغرق بستر تندآب بر میزان استهلاک انرژی سازه می‌باشد. در این تحقیق، مهمترین هدف این است که آیا موانع استوانه‌ای می‌تواند انرژی جنبشی را به‌طور مؤثری کاهش دهد و از ابعاد حوضچه‌ی آرامش پایین دست بکاهد و یا خیر؟ و اگر جواب مثبت است در چه شیب‌هایی و با چه میزانی؟

مواد و روش‌ها

معرفی مدل FLOW3D و معادلات حاکم

در این تحقیق برای تحلیل عددی از نرم‌افزار سه بعدی FLOW-3D استفاده شده است. نرم‌افزارFLOW-3D قابلیت تحلیل سه‌بعدی میدان جریان را به‌صورت حجم محدود دارا می‌باشد. معادله های حاکم برحرکت سیال عبارتند از معادله پیوستگی و معادله مومنتم، که برای جریان آشفته تراکم ناپذیر با لزجت و چگالی ثابت به صورت معادلات(۱) و (۲)بیان می‌شود.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \qquad (۱)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial_t} + \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_i} = -\frac{۱}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x_i} + g_i + \frac{\partial}{\partial x_j} S_{ij} \qquad (۲)$$

در معادله های فوق u_i مولفه سرعت درجهت x_i، P فشار کل، ρ چگالی سیال، g_i شتاب ثقل در جهت x_i، S_{ij} تانسور تنش بوده که برای جریان آشفته به صورت معادله‌ی (۳) بیان می‌شود:

$$S_{ij} = \left[\rho(v+v_t)\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)\right] - \left[\frac{۲}{۳}\rho(k+v_t)\frac{\partial u_i}{\partial x_i}\delta_{ij}\right] \qquad (۳)$$

تنش برشی در جریان‌های آشفته شامل دو ترم بوده و علاوه بر تنش برشی ناشی از مؤلفه متوسط جریان، تنش برشی دیگری ناشی از مؤلفه‌های نوسانی سرعت ایجاد می‌شود که به تنش‌های رینولدز معروف بوده و توسط رابطه‌ی (۴) بیان می‌شود.

$$S_{ij} = -\rho\overline{u_i' u_j'} = \rho v_t\left(\frac{\partial u_i}{\partial x} + \frac{\partial u_j}{\partial x}\right) - \frac{۲}{۳}\rho k\delta_{ij} \qquad (۴)$$

درمعادله های فوق v_t لزجت گردابه‌ای است که تابع خصوصیات جریان و آشفتگی است. δ_{ij} برای کاربردی کردن تعریف لزجت گردابه‌ای استفاده می‌شود. انرژی جنبشی آشفتگی بر واحد جرم توسط رابطه‌ی (۵) بیان می‌شود.

$$k = \frac{۱}{۲}\left(\overline{u_i'^{۲}} + \overline{u_j'^{۲}} + \overline{u_k'^{۲}}\right) \qquad (۵)$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & i = j \\ 0 & i \neq j \end{cases} \qquad (۶)$$

به منظور حل میدان جریان آشفته براساس معادله های پیوستگی ورینولدز، نیاز است تا تنش‌های رینولدز در معادله های به روش خاصی مدل شوند. در این شرایط برای یک جریان سه بعدی با چهار معادله (پیوستگی و حرکت در سه بعد)، چهار مجهول (سرعت در سه جهت عمود و فشار) بدست خواهند آمد. برای حاکم کردن سیستم معادلات فوق از مدل‌های آشفتگی استفاده می‌شود. (Rodi,1979).

مدل آشفتگی *k-ε (RNG)*

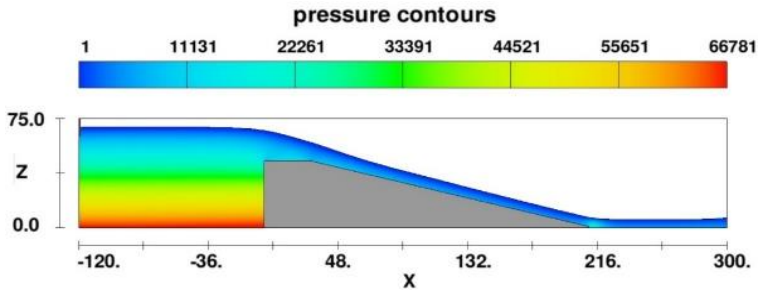
مدل آشفتگی *k-ε(RNG)* که نخستین بار توسط Yakhot *et al.*(1992) ارائه شده است. روابط (۷) و (۸) روابط مربوط به k و ε را در این مدل آشفتگی نشان می‌دهند.

$$\rho\frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left[\alpha_k \mu_{eff}\frac{\partial k}{\partial x_i}\right] + G_k + G_b - \rho\varepsilon \qquad (۷)$$

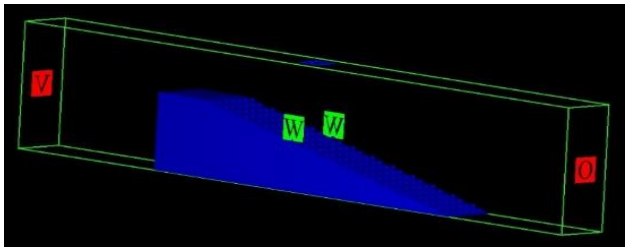
$$\rho\frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i}\left[\alpha_k \mu_{eff}\frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j}\right] + C_{1\varepsilon}\frac{\varepsilon}{k}(G_k + G_{3\varepsilon}G_b) - C^*_{2\varepsilon}\rho\frac{\varepsilon^2}{k} \qquad (۸)$$

G_b و G_k ترم‌های چشمه‌ی معادله‌ی k می‌باشند که همانند مدل استاندارد تعیین می‌شوند. α_k و α_εعکس عدد پرانتل برای معادله های k و ε هستند. مقدار μeff از طریق انتگرال‌گیری از معادله‌ی دیفرانسیلی زیر بدست می‌آید. این مورد امکان شبیه‌سازی دقیق در اعداد رینولدز کم و جریان نزدیک دیواره را فراهم می‌آورد.در شکل (۱) مدل اجرا شده در محیط نرم‌افزار نمایش داده شده است.

در این تحقیق جریان از نوع دائمی و اغتشاشی و سیال تراکم‌ناپذیر در نظر گرفته شده است. مدل آشفتگی مورد استفاده در این تحقیق $k-\varepsilon(RNG)$ می‌باشد. دلیل استفاده از این مدل علاوه بر توصیه‌های تحقیقات پیشین، هم‌خوانی خوب مدل با جریان‌های چرخشی و انحنادار و جریان‌های با کرنش‌های بزرگ می‌باشد. تعیین پروفیل سطح آزاد به کمک مدل VOF انجام گرفته است. مدل VOF بر این فرض استوار است که دو سیال در هم نفوذ نمی‌کنند. به هر فاز سیال متغیری نسبت داده می‌شود که نشان می‌دهد چند درصد از سلول محاسباتی توسط آن فاز اشغال شده است. این متغیر کسر حجمی نامیده می‌شود. در مدل FLOW-3Dمش‌بندی با استفاده از المان‌های مکعبی قائمه انجام می‌شود. شرایط مرزی مدل شامل مقطع ورودی، مقطع خروجی، دیوار و سطح آزاد جریان می‌باشد. در شرط مرزی ورودی از سرعت استفاده شده است. شرط مرزی خروجی مدل Specific pressure، شرط مرزی سطح آزاد Symmetry و برای دیوار از شرط مرزی Wall استفاده شده است. هم‌چنین برای همگرایی مسئله از روش همگرایی RMS (ریشه متوسط جذر باقیمانده‌ها) استفاده شده است.



شکل ۱- مدل اجرا شده در محیط نرم‌افزار



شکل ۲- اعمال شرایط مرزی در مدل عددی

در شکل (۲) شرایط مرزی اعمال شده در مدل نمایش داده شده است.

مشخصات مدل فیزیکی

در این تحقیق در ابتدا با توجه به آزمایش های انجام شده در دانشگاه شهید چمران اهواز، مدل عددی کالیبره شده و سپس اثر متغیرهای مختلف این تحقیق از جمله شیب تندآب ونسبت استغراق نسبی موانع بررسی می‌شود. (Rashidi Avandi and Fattahi, 2016). آزمایش‌ها در فلومی به عرض ۳۰ سانتی متر، ارتفاع ۸۰ در ابتدا و ۴۰ سانتی‌متر در قسمت انتهایی و طول ۷ متر انجام شد. تندآب از جنس پلاکسی‌گلاس بوده و دارای سرریز لبه پهن ورودی به طول ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. در این تحقیق در مجموع ۸۰ اجرای نرم‌افزاری گرفته شد (۴۰ اجرا برای مدل تندآب با بستر صاف و ۴۰ اجرا برای مدل تندآب با بستر با موانع استوانه). در شکل (۲) و (۳) نحوه‌ی چیدمان موانع روی بستر تندآب نمایش داده شده است.

تحلیل ابعادی

به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، ابتدا به شناخت پارامترهای متعددی که در استهلاک انرژی مؤثر می‌باشند اقدام نموده و با تجزیه و تحلیل ابعادی، رابطه کلی شامل پارامترهای بدون بعد استخراج گردید. پارامترهای مؤثر در این آزمایش‌هادر رابطه (۹) ارائه شده‌اند:

$$f\left(q,\frac{\Delta E}{E_0},H,\mu,\rho,g,\theta,\sigma\right)=0 \qquad (۹)$$

که در آن q دبی در واحد عرض، $\Delta E/E_0$ افت نسبی انرژی، H ارتفاع تندآب، μ ویسکوزیته دینامیکی آب، ρ جرم حجمی آب، g شتاب ثقل، θ زاویه بستر تندآب با افق و σ کشش سطحی می‌باشد.

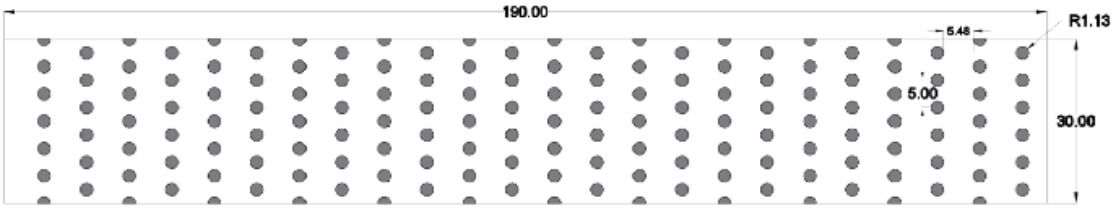
با آنالیز ابعادی و با استفاده از روشΠ باکینگهام رابطه کلی زیر به‌دست می آید:

$$\Delta E_r=\frac{\Delta E}{E_0}=f\left(\frac{y_c}{H},\mathrm{Re},W,\theta\right) \qquad (۱۰)$$

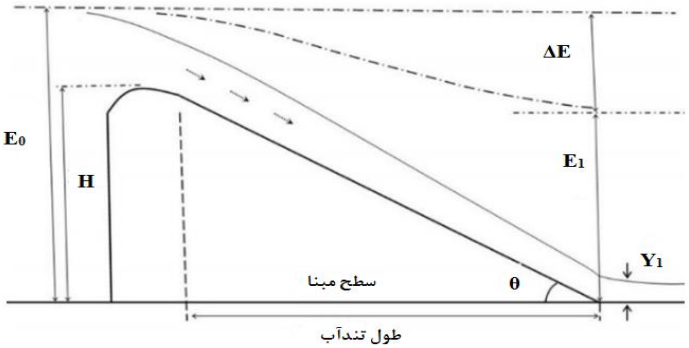
در این رابطه R_e($R_e=\rho vR/\mu$)عدد رینولدز بالادستو W($W=\rho v^2 l/\sigma$) عدد وبرمی‌باشد. مطابق شکل(۴) و پارامترهای مشخصه روی آن، میزان افت انرژی نسبی جریان از رابطه(۱۱) محاسبه می‌شود.در این تحقیق به علت ماهیت آشفته جریان از عدد رینولدز Reصرفنظر شده و هم‌چنین چون ارتفاع جریان روی سرریز بیشتر از ۵ سانتی متر است، از عدد وبر *W* نیز صرف‌نظر شد.(Chow ,1959)

$$\Delta E_r=\frac{\Delta E}{E_0}=\left(\frac{E_0-E_1}{E_0}\right) \qquad (۱۱)$$

دراین رابطه ΔE_r افت نسبی انرژی نسبی جریان، E_0 انرژی کل جریان در بالادست و E_1 انرژی کل پای تندآب می باشد.



شکل ۳-چیدمان موانع روی تندآب با موانع استوانه‌ای مستغرق



شکل ٤-معرفی تندآب و اجزا آن

نتایج و بحث

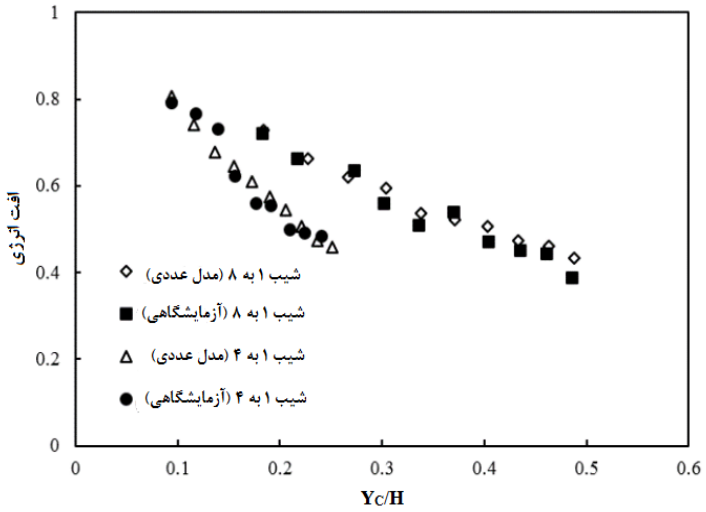
کالیبراسیون مدل ریاضی

مطابق شکل (۵) مقایسه نتایج نشان می‌دهد که مدل ریاضی با دقت قابل‌قبولی توانایی مدل‌سازی این نوع تندآب را دارد. برای مقایسه مدل عددی و آزمایشگاهی از تندآب با موانع استوانه‌ای با دو شیب ۱ به ۴ و ۱ به ۸ استفاده شده است. به طور متوسط مقدار خطای آزمایشگاهی و عددی حدود ۳/۷۸ درصد می‌باشد.

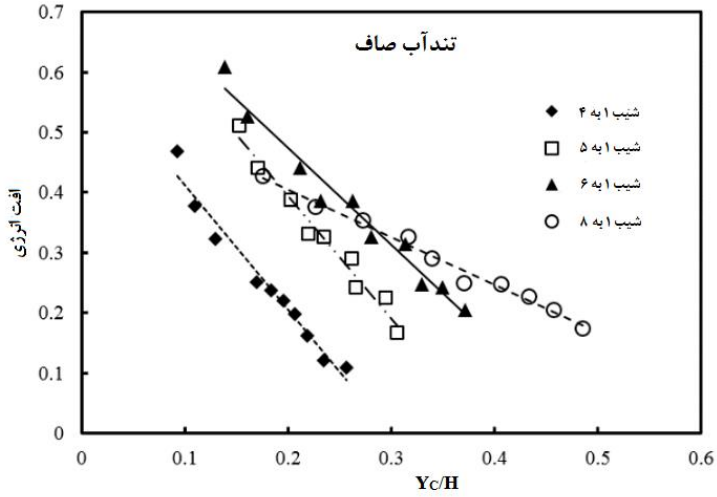
بررسی افت انرژی

مطابق شکل(۶) بررسی افت انرژی (ΔE_r) در همه مدل‌های با بستر صاف نشان می‌دهد، مقدار افت انرژی در همه‌ی شیب‌ها با افزایش نسبت Y_C/Hدارای روند نزولی با شیب نسبتاً تند می‌باشد. همچنین با کاهش شیب بستر تندآب، روند کاهش افت انرژی با نرخ کمتری اتفاق می‌افتد. به‌طور کلی می‌توان گفت استهلاک انرژی در این مدل‌ها نسبت به انرژی بالادستدر محدوده دبی های این تحقیق تا ۶۱ درصد در دبی های پایین افزایش می‌یابد.

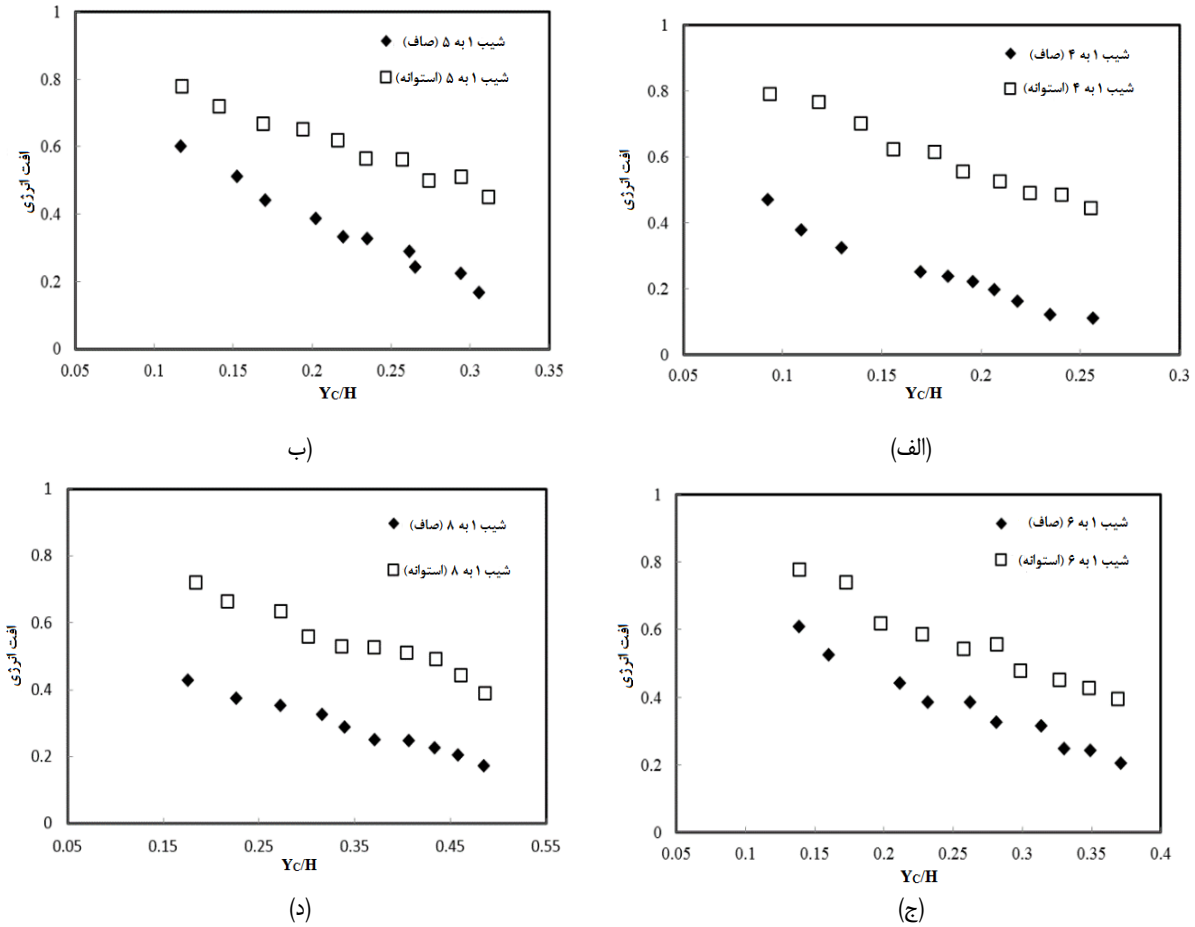
در شکل(۷) مقدار افت انرژی در مقابل نسبت Y_C/Hدر مدل‌های صاف و مدل‌های با مانعترسیم شده است. مطابق نتایج در همه مدل‌ها روند نزولی با شیب نسبتاً تند می‌باشد و همچنین نرخ کاهش به‌صورت تقریباً خطی است. مطابق تئوری لایه‌مرزی و همچنین مباحث پیرامون نقطه جدایی جریان اطراف ذره در میدان سرعت، هر چه سرعت و به دنبال آن عدد رینولدز بیشتر شود نقطه جدایی روی سطح ذره دیرتر اتفاق می‌افتد، بنابراین منطقه جداشدگی تشکیل شده کوچک‌ترشده و در نتیجه نیروی درگ فشاری کاهش می‌یابد. در شکل (۷) این تحقیق در تندآب با موانع بستر، با افزایش y_C)$y_C=(q^2/g)^{1/3}$) درواقع دبی افزایش می‌یابد، بنابراین، در یک شیب خاص با افزایش Y_C/H (دبی)، نیروی درگ کل (عامل مقاوم جریان برای کاهش انرژی) کم شده و در نتیجه افت انرژی کمتری اتفاق می‌افتد. هم‌چنین در همه مدل‌ها همان‌طور که بدیهی است در تنداب با وجود موانع مقدار استهلاک انرژی بیشتر از تندآب صاف بوده و مقدار این استهلاک محسوس می‌باشد.در شکل (۸) افت انرژی در مدل‌های با موانع استوانه‌ای در شیب‌های ۱ به ۴ تا ۱ به ۸ با هم مقایسه شده‌اند. مطابق شکل در این مدل‌ها شیب ۱ به ۸ به طور کلی دارای بیشترین افت می‌باشد و همچنین نرخ کاهش افت در مدل با شیب کمتر، کمتر است.



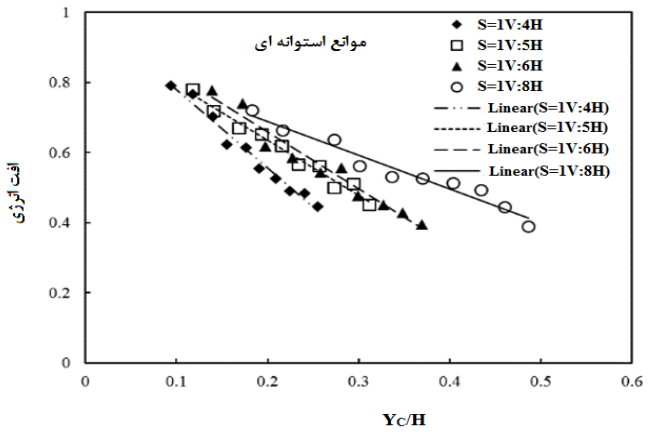
شکل ۵-مقایسه نتایج آزمایشگاهی و نتایج مدل عددی در دو مدل با موانع استوانه‌ای



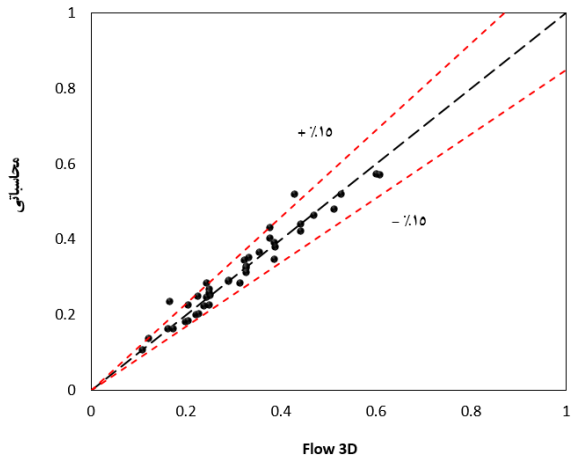
شکل ٦-مقایسه افت انرژی در مدل‌های صاف با شیب مختلف



شکل ۷- مقایسه افت انرژی در مدل‌های با بستر مانع‌دار و مدل شاهد با شیب‌های الف) ۱ به ٤، ب) ۱ به ٥، ج) ۱ به ٦ و د) ۱ به ۸



شکل ۸- مقایسه افت انرژی در مدل‌های با بستر مانع‌دار در شیب‌های مختلف



شکل ۹- مقایسه افت نسبی انرژی عددی و محاسباتی از رابطه (۱۲) برای مدل صاف

استخراج رابطه‌ای جهت پیش‌بینی افت انرژی

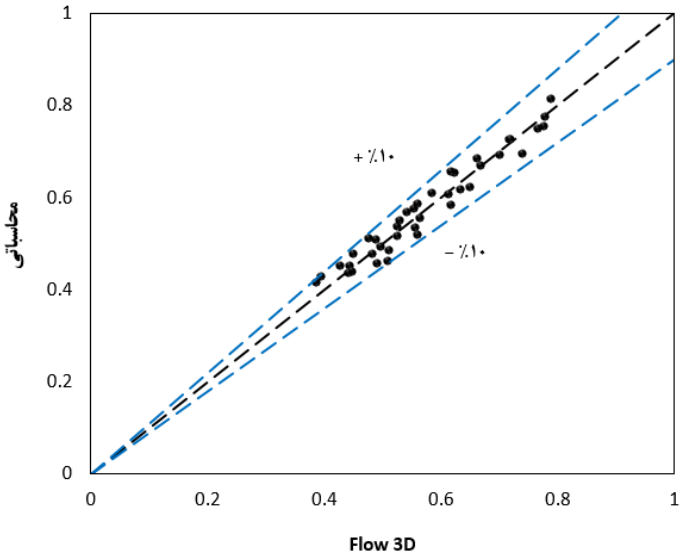
در ادامه با توجه به تحلیل ابعادی صورت گرفته، به منظور بررسی اثر متقابل پارامترهای بدون بعد مؤثر استخراج شده بر روی مقدار افت نسبی انرژی و ارائه یک رابطه ریاضی براساس مدل عددی برای پیش‌بینی این مقادیر، از نرم‌افزار آماری SPSS استفاده شد و در نهایت روابط (۱۲) و (۱۳) به ترتیب برای تندآب صاف و بامانع پس از تحلیل‌های متعدد استخراج گردید.

$$\Delta E_r = \frac{\Delta E}{E_0} = 175.48 - 175.56 \times (\frac{Y_C}{H})^{0.002} - 219.33 \times (\tan(\theta))^{4.78} \Rightarrow R^2 = 0.95 \quad (۱۲)$$

$$\Delta E_r = \frac{\Delta E}{E_0} = -0.115 + EXP(-12.255(\frac{Y_C}{H}) + 0.854) \times \tan(\theta)) \Rightarrow R^2 = 0.95 \quad (۱۳)$$

که در آن‌هاΔEr مقدار افت نسبی انرژی، Y_C/H نسبت عمق بحرانی به ارتفاع سرریز و θ زاویه بستر تندآب با افق می‌باشد. در شکل(۹) مقدار افت محاسبه شده با استفاده از داده‌های مدل عددی (محور افقی) و مقدار افت محاسبه شده از رابطه (۱۲) (محور قائم) با هم مقایسه شده‌اند.پراکندگی نقاط نسبت به خط ۴۵ درجه نشان می‌دهد که مقادیر عددی و محاسباتی دارای همبستگی نسبتاً خوبی می‌باشند. و مقدار ضریب تبیین این دو مقداربا استفاده از روش‌های آماری ۹۵ درصد و در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشد.

در شکل (۱۰) نتایج عددی ومحاسباتی از رابطه (۱۳) برای تندآب با موانع، نسبت به خط ۴۵ درجه مقایسه شده‌اند. مطابق شکل، این رابطه نیز دارای دقت قابل قبولی می‌باشد.



شکل ۱۰- مقایسه افت نسبی انرژی عددی و محاسباتی از رابطه (۱۳) برای مدل با وجود موانع

نتیجه‌گیری

هدف اصلی تحقیق حاضر بررسی اثر موانع مستغرق در بستر تندآب بر استهلاک انرژی با استفاده از مدل ریاضی FLOW-3D در شرایط هیدرولیکی مختلف می‌باشد. در تحقیق حاضر با ۴ متغیر شیبو دبی های مختلف، مدل عددی اجرا شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که مدل ریاضی با دقت قابل‌قبولی توانایی مدل‌سازی جریان در این نوع تندآب را دارد.بررسی افت انرژی در همه مدل‌های شاهد نشان می‌دهد که مقدار افت انرژی در همه‌ی شیب‌ها با افزایش نسبت Y_C/H دارای روند نزولی با شیب نسبتاً تند می‌باشد. علاوه بر این مقایسه افت انرژی در مدل‌های با بستر صاف نشان می‌دهد که با کاهش شیب بستر تندآب، روند کاهش افت انرژی با نرخ کمتری اتفاق می‌افتد. به‌طور کلی می‌توان گفت استهلاک انرژی در مدل های شاهد بین ۱۰ درصد برای مدل با شیب ۱ به ۴ تا ۶۴ درصد برای مدل با شیب ۱ به ۵ متغیر است.نتایج مقایسه افت در مدل‌های با بستر دارای موانع نشان می‌دهد که در همه مدل‌ها، روند نزولی با شیب نسبتاً تند است و همچنین نرخ کاهش به‌صورت تقریباً خطی می‌باشد. در مقایسه افت انرژی در شیب‌های مختلف، مقدار نسبی افت انرژی در شیب ۱ به ۴ دارای بیشترین و در شیب ۱ به ۶ و ۱ به ۸ دارای کمترین مقدار می‌باشد. می‌توان گفت استهلاک انرژی در این مدل‌ها نسبت به انرژی بالادست از ۸۱ درصد برای مدل با شیب۱ به ۴ تا مقدار ۴۳ درصد در مدل با موانع استوانه‌ای و شیب ۱ به ۸ متغیر است. هم‌چنین در مدل‌های با موانع بستر، میزان استهلاک انرژی از ۱۶ تا ۳۹ درصد نسبت به مدل شاهد افزایش داشته است. در ضمن مقادیر عددی و مقادیر محاسباتی از روابط استخراج شده، دارای همبستگی نسبتاً خوبی می‌باشند، و همبستگی این دو مقدار با استفاده از روش‌های آماری ۹۵ درصد و در سطح ۰/۰۱ معنی‌دار می‌باشند. در پایان با استفاده از رگرسیون‌گیری غیرخطی چند متغیره روابطی در تندآب با بستر صاف و تندآب با موانع، جهت محاسبه میزان افت نسبی انرژی استخراج شد.

منابع

1- Akbaryan, A. 1992. Hydraulic Design of structures of channels. *Amidi pub*,p700.(In Persian)

2- Chow, V.T. 1959. Open Channel Hydraulics. *McGraw-Hill Book Co*, New York, NY.

3- Katoorani, S. and,Kashefipour, S.M. 2011. Laboratory investigation of the effect of distance and width of the obstacles on the length of the hydraulic jump along the obstructed drop downstream, *National Congress of Structures, Road, Architecture*, Chalus, Islamic Azad University, Chalous Branch.(In Persian).

4- Pagliara, S. and Chiavaccini, P. 2006. Flow resistance of rock chutes with protruding boulders. J. *Hydraulic Engineerig. ASCE. 128(4),* pp.545-553.

5- Pagliara, S., Carnacina, N. and Palerm, M. 2009. "Energy dissipation in presence of block ramps with enlarged stilling basins." 33rd IAHR Congress, Water Engineering for a Sustainable Environment.

6- Peterka, A. , Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators, Engineering Monograph No. 25, *U.S. Department of Interior*, *Bureau of Reclamation*, 1964, pp. 154-188.

7- Rahmanshahi, Z.M. and Shafai Bajestan M. 2012. Experimental Investigation of the Effect of Chute Bed Roughness Height on Energy Dissipation. *Journal of Water and Soil Science*. Vol 22, Num 2, Summer 2012, pp: 95-106. (In Persian).

8- Rashidi Avandi, M. and Fathhi, A. 2016. The effect of artificial roughness in sloping drains on scouring Depth of Stilling basin ,Master thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz.p 97. (In Persian).

9- Rhone, L. 1971. Studies to Determine the Feasibility of a Baffled Apron Drop as a Spiliway Energy Dissipator-Conconully Dam Spillway-Okanogan Project, Washington, *U.S. Bureau of Reclamation, Report REC-ERC-71- 29.*

10- Rodi, W. 1979. Turbulence models and their application in hydraulics- a state-of-the-art review. *IAHR, Delft, Netherlamds*.

11- Yakhot, V., Orszag, S. A., Thangam, S., Gatski, T. B. and Speziale, C. G. 1992. Development of Turbulence Models for Shear Flows by a Double Expansion Technique. *Physics of Fluids A, 4*,pp.1510-1520.

12- Zulfequar, A, Nadimetla, M, P, and Bernhard, W. 2009. Energy Dissipation on Block Ramps with Staggered Boulders. J. *Hydraulic. Eng. ASCE. 135(6),* pp.522-526.

Shahid Chamran University of Ahvaz
Irrigation Sciences and Engineering (JISE) **Vol. 41, No. 4, Winter 2019, p. 17-28**

EXTENDED ABSTRACT

Numerical Simulation of Chute Energy Dissipation with Submerged Cylindrical Obstacle using Flow 3D Model

M. Rashki Ghaleh Nou[1*], M.Azhdari Moghaddam [2], Gh. R. Azizian[3] and K. Khalifehei[4]

1*- Corresponding Author, Ph.D. Candidate, Civil Engineering Department, University of Sistan and Balouchestan, Iran *(mohammadrashki@yahoo.com).*
2- Assistant Professor, Civil Engineering Department, University of Sistan and Balouchestan, Iran.
3- Assistant Professor, Civil Engineering Department, University of Sistan and Balouchestan, Iran.
4- Ph.D. Candidate, Civil Engineering Department, University of Sistan and Balouchestan, Iran.

Received:30 May 2016 Revised: 15 December 2016 Accepted: 18 December 2016

Keywords: Chute, Energy Dissipation, Submerged Obstacle, Numerical Simulation, Flow 3D.

Introduction

In general, the energy dissipating structures are used in order to prevent the destructive effects of high flow velocities through the spillways. Among these structures, the most commonly used structures are chutes in water conveyance systems in dams, irrigation and drainage networks, alluvial rivers and wastewater collecting and disposal systems. The energy dissipating structures are used at the downstream of this systems. The advantage of this method to the previous methods such as stepped spillway is that the risk of cavitation is less and it is more economical. One of the ways to reduce the size or eliminate low energy dissipating structures is to use methods for reducing the flow energy over the chutes. One of these techniques, which has been used so far, is to create steps over the spillway. Another method is the application of obstruction or roughness on the spillway's bottom. Baffled chute is a type of the dissipaters that is used extensively in open drainage networks and where the tailwater level has large fluctuations. The significance of this type of energy loss becomes more evident where the tailwater has obvious fluctuations. The purpose of this study is to numerically simulate the effect of cylindrical baffles over the chutes on the energy dissipation magnitude. In particular, the purpose of this study is to determine whether the cylindrical baffles can effectively reduce the kinetic energy and reduce the dimensions of the stilling basin.

Methodology

In this research, three-dimensional FLOW-3D code has been used for numerical analysis. The FLOW-3D software has the ability to analyze the three-dimensional flow field in a finite volume. The governing equations for fluid motion are the continuity equation and the momentum equation, which is used for an incompressible flow with a constant viscosity and density. In addition, the RNG (k-ε) turbulent model has been used. This numerical model was calibrated based on a laboratory model performed at Shahid Chamran University of Ahvaz. After that, the effect of different parameters, such as the chute's slope and the relative submergence of the baffles are investigated (Rashidi-Avandi and Fathi, 2015). The experiments were carried out in a flume with a width of 30 cm, a height of 80 at the beginning and 40 cm at the end, and a length of 7 m. The chute is made of Plaxi-glass and has an inlet broad-crest with the length of 30 cm. In this research, a total of 80 runs

were implemented (40 runs for a smooth chute and 40 runs for the cylindrical baffled chute). In order to achieve the objectives of this research, the various effective parameters on the energy dissipation were first investigated and, by dimensional analysis a general relationship including non-dimensional parameters was extracted. The effective parameters in this study are q (the flowrate per unit width), ΔE/E0 (relative energy loss), H (chute height), μ (dynamic viscosity of water), ρ (density of water), g (gravity acceleration), θ (chute bed slope) and σ (surface tension).

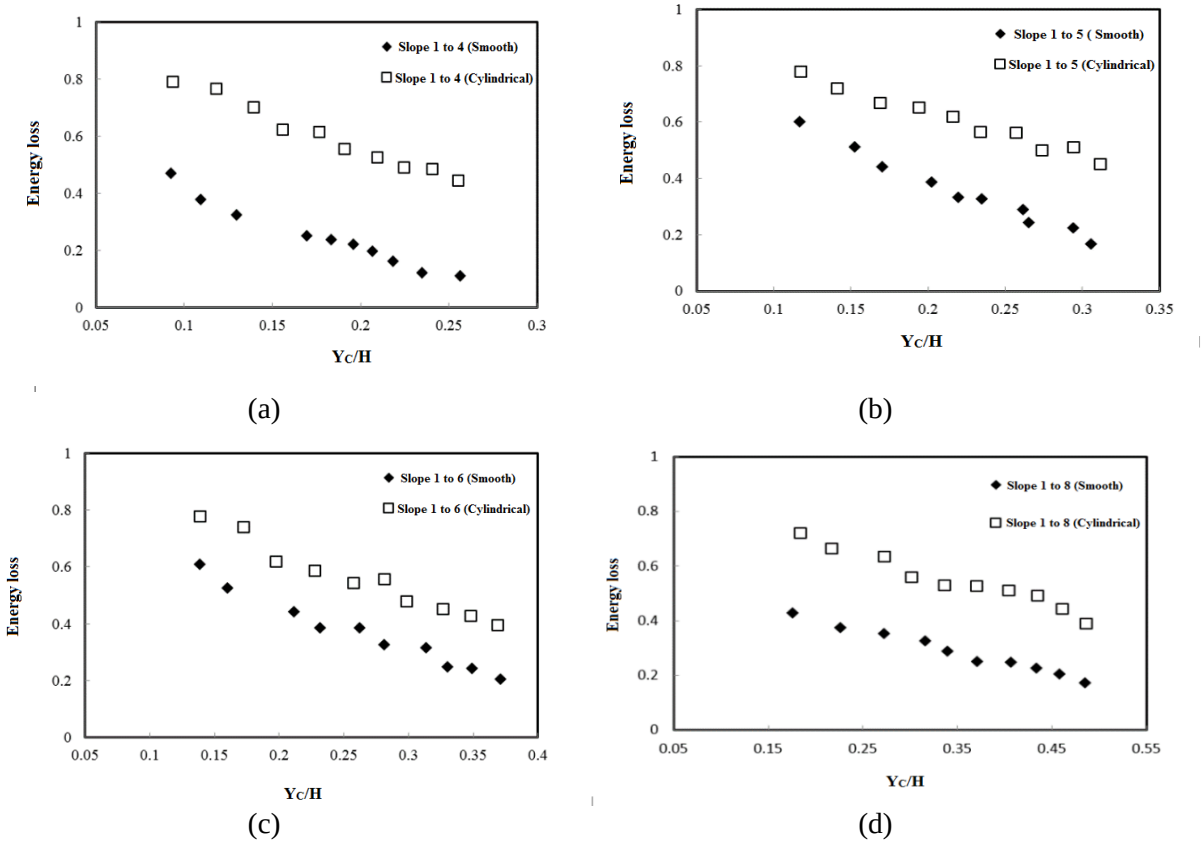


Figure 1 - Comparison of energy loss in barrier models and the control model with slopes of a) 1 to 4, b) 1 to 5, c) 1 to 6 and d) 1 to 8

Results and Discussion

In Figures 1 (a to d), the energy loss comparison is shown in a flat chute and cylindrical model with different slopes.

Conclusions

The main purpose of this study was to investigate the effect of submerged baffles over the chute on the energy dissipation using a FLOW-3D model under different hydraulic conditions. In the present study, a numerical model was used for four different slopes and flowrates. The results of this study indicated that the FLOW-3D model has a very good accuracy to model the flow for this type of chute. The study of energy loss in all models showed that the amount of energy loss in all slopes reduces significantly with a downward trend by increasing the Y_C/H ratio. In addition, the comparison of energy loss in smooth chute models shows that by decreasing the slope of chute bed,

the process of lowering the energy loss occurs with a lower rate. In general, it can be concluded that energy dissipation in the control models varies from 10% for a model with a slope of 1:4 to 64% for a model with a slope of 1:5. The results of the comparison of energy loss in the baffled chute models showed a decreasing trend in all models with a fairly steep slope, with a linear rate. Comparing the energy loss on different slopes, the relative energy loss in slopes 1:4 is highest and at slopes of 1:6 and 1:8 has the lowest values. It can be said that energy dissipation in these models as compared to upstream conditions varies from up to 81% for the model with a slope of 1:4 to 43% in a model with slope of 1: 8 and cylindrical baffles. In addition, the energy dissipation has increased from 16 to 39 percent compared to the control model. Also, the numerical results and obtained values from the extracted relationships have relatively good correlation. The correlation coefficient between these two values was %95 and significant at probability level of 1 percent. Finally, using the multivariate nonlinear regression, many relationships were found for smooth and roughed chutes to calculate the relative energy loss.