

بررسی عددی تأثیر عوامل مؤثر بر میزان استهلاک انرژی جریان عبوری از روی شوت‌های مانع‌دار

حمید رفیعی^{۱*}، جلال بازرگان^۲، علی باباخانی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۲/۳۰

چکیده

یکی از روش‌های استهلاک انرژی در شوت‌ها و سازه‌های انتقال و توزیع آب استفاده از شوت‌های مانع‌دار می‌باشد. در این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D به شبیه‌سازی عددی شوت‌های مانع‌دار پرداخته شده است. به همین منظور ابتدا با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی موجود پس از تعریف شرایط مرزی لازم صحت‌سنجی انجام پذیرفت و سپس تأثیر پارامترهای شیب، طول شوت و همچنین فاصله بین بلوک‌ها و ارتفاع آن‌ها بر میزان استهلاک انرژی در شوت‌های مانع‌دار مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله نشان داد که افزایش فاصله بین ردیف‌های موانع سبب کاهش استهلاک انرژی می‌گردد. افزایش ارتفاع موانع در طراحی به روش مدل پیشنهادی USBR به میزان اندکی باعث کاهش استهلاک می‌شود. در شیب یکسان و سایر ابعاد مشابه، افزایش طول شوت به میزان سه برابر، افزایش استهلاک ۲۱/۴٪ را به دنبال دارد و روند استهلاک انرژی با افزایش شیب شوت کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: استهلاک انرژی، شوت‌های مانع‌دار، Flow-3D

مقدمه

زهکشی روباز و در جاهایی که سطح آب پایین دست نوسانات زیادی دارد، به کار می‌رود. چون آب از بین و روی بلوک‌های بتنی موانع که روی کف شوت ساخته می‌شوند، جریان می‌یابد، لذا باعث استهلاک انرژی اضافی جریان می‌شود (Katourany and Kashefipour, 2012). شوت‌های مانع‌دار بیش از ۵۰ سال در سراسر جهان با موفقیت مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از مزیت‌های اصلی این شوت‌ها، از بین بردن یک حوضچه پرهزینه است. رون در مطالعه‌ای به بررسی شوت‌های مانع‌دار به عنوان مستهلک‌کننده انرژی پرداخت و نشان داد ساختار و ابعاد هر بلوک می‌تواند مقدار دبی واحد طراحی را کنترل کند (Rhone, 1971). پیترکا به بررسی ابعاد مختلف این نوع از مستهلک‌کننده‌های انرژی پرداخت و طی مطالعاتی مدل پیشنهادی خود را ارائه نمود (Peterka, 1964). کریستوفر برون و رافائل کروی بیان نمودن که طراحی فعلی این مستهلک‌کننده‌ها مبتنی بر مدل‌های فیزیکی توسعه یافته در دهه ۱۹۵۰ و مشاهده پروژه‌های تکمیل شده در طول ۵۰ سال گذشته می‌باشد و همچنین فرآیند طراحی این نوع از مستهلک‌کننده‌ها تجربی است و طراح را با محدوده‌ای از چیدمان‌ها، ارتفاع دیواره و فاصله بین ردیف‌ها روبه‌رو می‌کند. متأسفانه، این رویکرد ممکن است مطلوب نباشد. همچنین ایشان در مطالعه‌ای با استفاده از شبیه‌سازی

در پایین دست سازه‌هایی نظیر شوت‌ها، که برای تطابق خط پروژه با نیمرخ مورد استفاده قرار می‌گیرند، جریانی با انرژی زیاد ایجاد می‌شود. در این شرایط استفاده از سازه‌های مستهلک‌کننده انرژی اجتناب‌ناپذیر است تا جریان قبل از رسیدن به قسمت‌های غیرمقاوم کانال، انرژی مخرب خود را از دست بدهد. دو نوع اصلی مستهلک‌کننده انرژی عبارتند از: مستهلک‌کننده‌های نوع پرش هیدرولیکی و مستهلک‌کننده‌های نوع ضربه‌ای. مستهلک‌کننده‌های نوع ضربه‌ای آب را به مانع‌هایی هدایت و جریان را در همه‌ی مسیرها منحرف می‌کند و سطوح بالایی از آشفتگی را تولید و بدین صورت انرژی جریان را مستهلک می‌کنند. در شرایطی که سطح آب در پایین دست دارای نوسان بوده و اطمینان کافی از ایجاد عمق پایاب مناسب جهت تشکیل پرش هیدرولیکی وجود نداشته باشد، از شوت‌های مانع‌دار استفاده می‌شود. شوت‌های مانع‌دار از نوع تلف‌کننده‌های انرژی ضربه‌ای است که کاربرد نسبتاً زیادی در شبکه‌های

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه زنجان
۲- دانشیار گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه زنجان
۳- استادیار گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه زنجان
(* نویسنده مسئول: Email: h.rafaei@znu.ac.ir)

یک از پارامترهای: ارتفاع بلوک، فاصله بین ردیف بلوک‌ها، طول شوت و همچنین شیب شوت با ثابت نگه داشتن سایر پارامترها در مدل پیشنهادی USBR، مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

معرفی مدل FLOW-3D و معادلات حاکم

در این تحقیق برای تحلیل عددی از نرم‌افزار سه بعدی FLOW-3D استفاده شده است. نرم‌افزار FLOW-3D قابلیت تحلیل سه بعدی میدان جریان را به صورت حجم محدود دارا می‌باشد. معادله‌های حاکم بر حرکت 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.

$$S_{ij} = \left[\rho(v + v_i) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \left[\frac{2}{3} \rho(k + v_i) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \delta_{ij} \right] \quad (1)$$

$$S_{ij} = -\rho \overline{u'_i u'_j} = \rho v_i \left(\frac{\partial u_i}{\partial x} + \frac{\partial u_j}{\partial x} \right) - \frac{2}{3} \rho \kappa \delta_{ij} \quad (2)$$

در معادله‌های فوق u_i مولفه سرعت در جهت 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:

$$K = \frac{1}{2} \left(\overline{u_i'^2} + \overline{u_j'^2} + \overline{u_k'^2} \right) \quad (3)$$

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.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (4)$$

در معادله‌های فوق v_i 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.

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + g_i + \frac{\partial}{\partial x_j} S_{ij} \quad (5)$$

به منظور حل میدان جریان آشفته براساس معادله‌های پیوستگی و رینولدز، نیاز است تا تنش‌های رینولدز در معادله‌ها 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

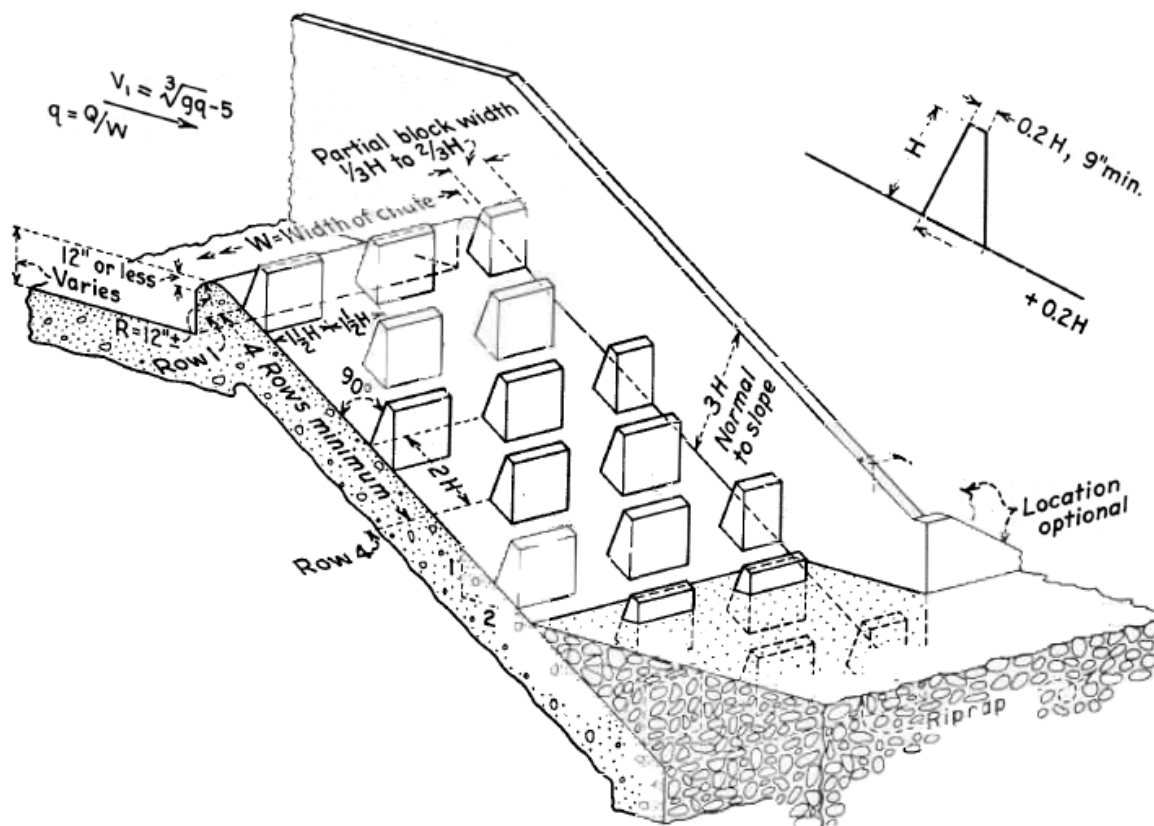
مونت کارلو و دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) به بررسی روش طراحی فعلی پرداختند. این مطالعه نشان داد که طیف گسترده‌ای از طرح‌های ناشی از این نوع طراحی قابل قبول می‌باشد، اما برخی از این موارد ممکن است بهتر از سایرین باشد. این مطالعه همچنین به تشریح تلاش‌های تحقیقاتی آینده مورد نیاز برای تجدید نظر در روش طراحی فعلی می‌پردازد (Brown and Crowley, 2018). قلعه‌نو و همکاران (۲۰۱۸) به شبیه‌سازی عددی استهلاک انرژی در تندآب با موانع استوانه‌ای مستغرق با مدل Flow-3D پرداختند. لرنژاد و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیق خود جهت بررسی تأثیر شرایط هندسی و هیدرولیکی شیب‌شکن‌های مایل مستطیلی در میزان استهلاک انرژی سازه و انرژی مستهلک شده در طول پرش هیدرولیکی از مدل‌سازی Flow-3D استفاده کردند. ساسان کاتورانی در آزمایشی که بر روی اثر مشخصات هندسی موانع و شیب کف دراپ روی شرایط هیدرولیکی جریان در شوت‌ها انجام داد، نشان داد که به طور کلی افزایش محدود عرض موانع و فاصله بین ردیف‌های آنها باعث افزایش افت انرژی می‌گردد. همچنین بیان نمود که جهت بررسی شوت‌های مانع‌دار می‌توان از هیدرولیک سرریزهای پلکانی جریان‌های غیر ریزشی کمک گرفت (Katurany and Kashefipour, 2012). کریستودولو آزمایش‌هایی را برای مدل‌سازی سرریزهای پلکانی انجام داد و نشان داد که به ازای یک مقدار h^{yc}/h (ارتفاع پله‌ها)، مقدار افت انرژی با افزایش تعداد پلکان افزایش نشان می‌دهد و تأثیر تعداد پلکان در دبی‌های بالا بیشتر می‌گردد (Christodoulou, 1993). چین نراسی و وانگ وایسز با انجام مطالعات و مدل کردن انواع مختلف پلکان (افقی، مایل و پلکان با زائده انتهایی) بر روی تندآب با تعداد پلکان مختلف، به بررسی استهلاک انرژی و رابطه آن با عمق بحرانی نسبی پرداختند. نتایج نشان داد که پلکان با زائده انتهایی اثر قابل ملاحظه‌ای نسبت به دو نوع دیگر پلکان، بر روی استهلاک انرژی دارد (Chinnarasri and Wongwises, 2006). رحمانشاهی زهابی و شفاعی بجستان در تحقیق خود تأثیر اندازه زبری بستر تندآب بر میزان استهلاک انرژی جنبشی آب را بررسی نمودند (Rahmanshahi and Shafai Bajestan, 2012). جم و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی به ارزیابی استهلاک انرژی روی سرریز دنداندار بلوکی و مقایسه آن با سرریز پلکانی پرداختند. آزمایش‌ها در سه شیب و شش دبی، برای پنج مدل آرایش متفاوت انجام شد. بر اساس نتایج آزمایشگاهی، تأثیر مستقیم هندسه زبری روی استهلاک انرژی بررسی گردید. همچنین افزایش میزان استهلاک انرژی به دلیل استفاده از چیدمان مختلط بلوک‌ها با اندازه‌های مختلف، مشاهده شد. خوشتراش و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی به آنالیز و ارزیابی تأثیر مشخصات هندسی بر استهلاک انرژی در سرریزهای پلکانی دارای شیب منفی با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D پرداختند. در تحقیق حاضر تأثیر هر

روش انجام تحقیق

ابتدا مدل پیشنهادی USBR (شکل ۱) برای دبی طراحی ۳۰ لیتر بر ثانیه ساخته شد و سپس با فواصل بین ردیف موانع در ۵ فاصله مختلف ($F_1=1/25H$, $F_2=1/5H$, $F_3=1/75H$, $F_4=2/25H$) و ارتفاع مختلف ($H_1=0/4y_c$, $H_2=0/6y_c$, $H_3=y_c$) و $(F_5=2/5H$, $S_1=1V:2.5H$) شیب مختلف ۴ و $(H_4=1/2y_c$, $H_5=1/4y_c$) و همچنین در ۴ طول مختلف ($L_1=20H$, $L_2=40H$, $L_3=50H$, $L_4=60H$) مورد مقایسه قرار گرفت.

فوق از مدل‌های آشفته‌گی استفاده می‌شود (قلعه نو و همکاران ۲۰۱۸).

نرم افزار Flow-3D معادلات حاکم بر حرکت سیال را با استفاده از تقریب‌های حجم محدود حل می‌کند. به طور مثال برای مدلسازی سطح آزاد جریان از روش VOF و جهت مدلسازی موانع جامد و هندسه مسئله از تکنیک FAVOR بهره می‌برد. این تکنیک‌ها باعث می‌شوند که هندسه و شبکه‌بندی مساله با هم وابسته نباشند و برای مدلسازی جریان‌های سه بعدی در حالت‌های ماندگار و غیرماندگار با هندسه‌های پیچیده توانمندی خوبی را ارائه دهد.

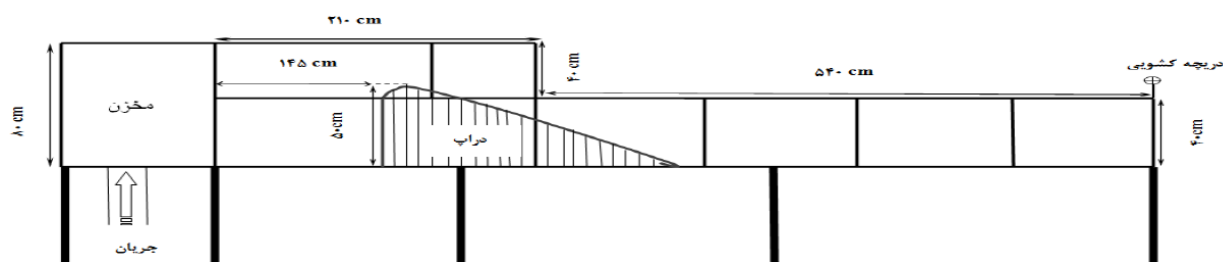


شکل ۱- مدل پیشنهادی USBR برای طراحی شوت‌های مانع‌دار

دبی‌های بین ۱۵ تا ۳۰ لیتر بر ثانیه در فلومی به طول ۷/۵ متر و عرض ۰/۳ متر انجام شده است. ارتفاع فلوم در قسمت ابتدایی (به طول ۲/۱ متر) ۰/۸ متر و در ادامه (۵/۴ متر) ۰/۴ متر می‌باشد (شکل ۲). در جدول ۱ نتایج کالیبراسیون مدل نشان داده شده است.

کالیبراسیون مدل عددی

برای کالیبره کردن سیستم و اطمینان از توانایی مدلسازی عددی جهت مدل کردن این نوع از شوت‌ها، از نتایج آزمایشات کاتورانی (۲۰۱۲) که در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی دانشگاه شهید چمران اهواز انجام پذیرفته است، استفاده گردید. ۱۲۰ آزمایش مختلف با



شکل ۲- مقطع فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده

جدول ۱- مقایسه نتایج آزمایشگاهی و نتایج مدل عددی در مدل $Z_1W_1D_1$

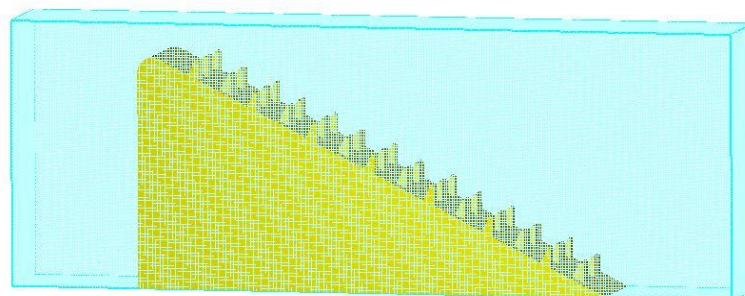
میزان خطا	استهلاک انرژی در مدل آزمایشگاهی	استهلاک انرژی در مدل عددی	دبی (لیتر بر ثانیه)
۲/۳٪	۶۴/۴۸٪	۶۴/۸۰٪	۳۰
۲/۶٪	۷۱/۸۰٪	۶۹/۲۰٪	۲۵
۲/۱٪	۷۵/۳۹٪	۷۷/۵۰٪	۲۰
۲/۱٪	۷۶/۰۳٪	۷۳/۹۰٪	۱۵

می‌شود. در این قسمت اقدام به بهینه‌یابی ابعاد و تعداد سلول‌های شبکه‌بندی شده است تا همزمان با مدلسازی دقیق پدیده، با انتخاب بهینه ابعاد سلول‌ها زمان اجرای برنامه به حداقل ممکن برسد. در شکل ۳ نمونه‌ای از مدل‌های ایجاد شده با مش یکنواخت و همچنین در جدول ۲ نتایج بهینه‌یابی ابعاد و تعداد شبکه‌بندی نشان داده شده است.

در اینجا استهلاک انرژی به صورت $\Delta E = E_0 - E_1$ محاسبه گردید. E_0 انرژی جریان در بالادست (قبل شوت) و E_1 انرژی جریان در پایین‌دست (بعد شوت) می‌باشد. مطابق جدول ۱ به طور متوسط مقدار خطای مدل آزمایشگاهی و مدل عددی ۲/۳٪ به دست آمد که نشان دهنده توانایی مدل عددی جهت شبیه‌سازی جریان می‌باشد.

شبکه‌بندی ناحیه محاسباتی

پس از تولید هندسه مدل، اقدام به شبکه‌بندی ناحیه محاسباتی



شکل ۳- مدل ایجاد شده با مش یکنواخت

جدول ۲- نتایج بهینه‌یابی تعداد و ابعاد شبکه بندی ناحیه محاسباتی

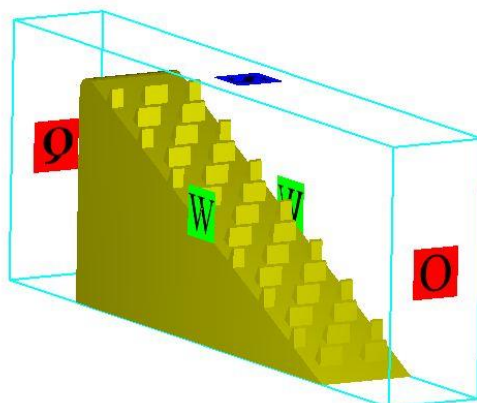
خطا	$\frac{\Delta E}{E_0}$	تعداد مش	اندازه مش (cm)
-	۷۷/۹٪	۵۵۷۰۰۰۰	۰/۶
۱/۵٪	۷۶/۴٪	۲۳۲۷۰۰۰	۰/۸
۳/۹٪	۷۴/۰٪	۱۱۹۷۰۰۰	۱
۱۹/۸٪	۵۸/۱٪	۳۶۰۰۰۰	۱/۵
۲۱/۴٪	۵۶/۵٪	۱۵۲۰۰۰	۲

دلایل استفاده از این مدل آشفتگی علاوه بر توصیه‌های تحقیقات پیشین، می‌توان به توانایی این مدل در شبیه‌سازی دقیق‌تر جریان‌های گردابه‌ای و چرخشی موجود در اطراف موانع روی شوت سرریز نیز اشاره کرد. تعیین پروفیل سطح آزاد به کمک مدل VOF انجام گرفته است. شرایط مرزی مدل شامل مقطع ورودی، مقطع خروجی، دیوار و سطح آزاد جریان می‌باشد. در شرط مرزی ورودی از Volumeflowrate استفاده شده است. شرط مرزی خروجی مدل Outflow، شرط مرزی سطح آزاد Symmetry و برای دیوار از شرط مرزی Wall استفاده شده است. همچنین وجه تحتانی شبکه به علت تماس با کف کانال Wall در نظر گرفته شده است. شکل ۴ شرایط مرزی اعمال شده در ناحیه محاسباتی را نشان می‌دهد.

برای ایجاد شرایط بهینه در مدلسازی، مش ۱ cm به عنوان مش‌بندی یکنواخت بهینه انتخاب گردید.

شرایط مرزی اعمال شده

در مدلسازی حاضر جریان از نوع دائمی و اغتشاشی و سیال تراکم‌ناپذیر در نظر گرفته شده است به همین منظور نسبت به انتخاب مدل بهینه آشفتگی اقدام شد. مدل آشفتگی مورد استفاده در این تحقیق (RNG) $k-\epsilon$ اصلاح شده می‌باشد که با توجه به فیزیک مسئله و پس از سعی و خطا در هر کدام از مدل‌های آشفتگی K-e، K-w، LES و RNG، با وجود این که مدت زمان ران RNG در برخی مدل‌ها حتی تا دو برابر K-e می‌باشد، با این وجود بدلیل کمترین خطای محاسباتی نتایج به عنوان مدل آشفتگی بهینه انتخاب گردید. از



شکل ۴- شرایط مرزی اعمال شده

عدد وبر و کشش سطحی صرف نظر می‌شود. همچنین به دلیل ماهیت آشفته جریان از تاثیر لزجت نیز صرف نظر شد. بنابراین افت نسبی انرژی می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$\Delta E_r = \frac{\Delta E}{E_1} = F\left(\frac{H}{y_c}, \frac{L}{y_c}, \frac{F}{y_c}, S_0\right)$$

استهلاک انرژی بر روی شوت مانع‌دار بصورت تابعی از پارامترهای بدون بعد $\frac{L}{y_c}$ ، $\frac{H}{y_c}$ ، $\frac{F}{y_c}$ و S_0 بررسی می‌گردد.

نتایج و بحث

در پژوهش حاضر در مجموع تعداد ۱۹ گزینه مختلف برای شوت مانع‌دار در شرایط مختلف، ۹ گزینه برای تحلیل حساسیت و ۸ گزینه برای صحت‌سنجی انجام پذیرفت. با توجه به این اندازه‌گیری‌ها تاثیر ارتفاع و فاصله موانع و همچنین طول و شیب شوت بر روی میزان استهلاک انرژی شوت مانع‌دار بررسی گردید (نمودارهای ۱ تا ۴). در این نمودارها در محور عمودی از پارامتر بی بعد استهلاک انرژی $\left(\frac{\Delta E}{E_1}\right)$

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 تحلیل ابعادی روابط کلی شامل پارامترهای بدون بعد استخراج گردید.

$$F\left(\frac{\Delta E}{E_1}, v, y_c, \mu, \rho, \sigma, H, L, F, S_0\right) = 0$$

در اینجا μ : لزجت دینامیکی آب، σ : کشش سطحی، v : سرعت، ρ : چگالی آب، H : ارتفاع موانع، L : طول شوت، F : فاصله بین ردیف موانع، S_0 : شیب شوت با افق و y_c : عمق بحرانی می‌باشد. با استفاده از تئوری π باکینگهام می‌توان رابطه بالا را به صورت بدون بعد، به شکل زیر نمایش داد:

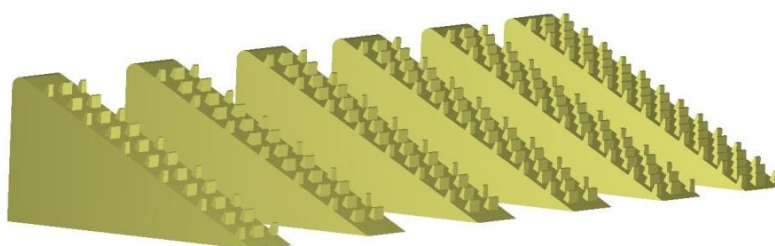
$$F\left(\frac{\Delta E}{E_1}, Re, We, \frac{H}{y_c}, \frac{L}{y_c}, \frac{F}{y_c}, S_0\right) = 0$$

در اینجا Re : عدد رینولدز و We : عدد وبر می‌باشد. ارتفاع آب روی لبه‌ی سرریز در همه مدل‌ها بیشتر از ۴ سانتیمتر بود پس از تاثیر

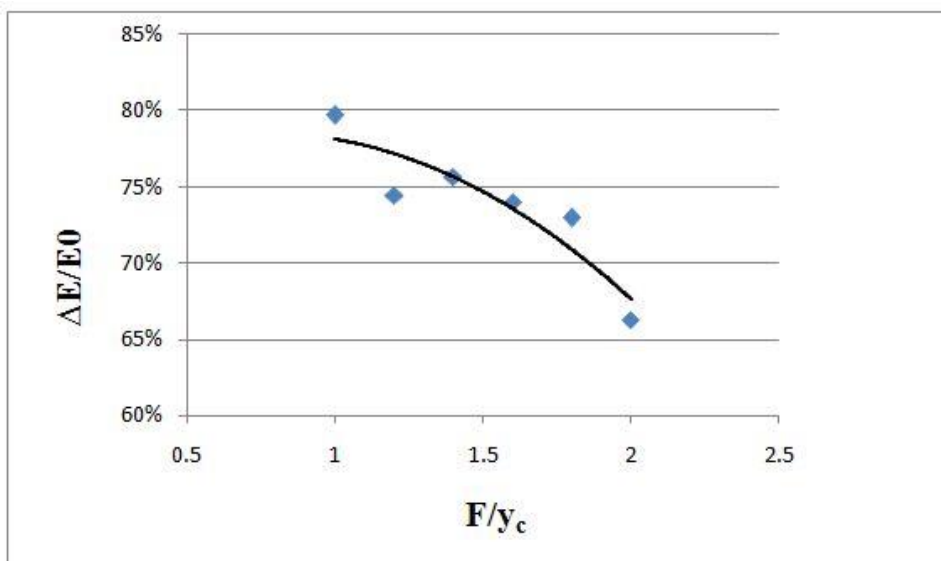
استفاده شده است. همچنین شکل های ۵ تا ۸ مدل های ساخته شده و می باشند. جدول های ۳ تا ۶ ابعاد مدل ها برای استخراج نتایج نمودارهای ۱ تا ۴

جدول ۳- ابعاد مورد استفاده برای استخراج نمودار ۱

نام مدل	طول شوت	شیب شوت	ارتفاع مانع	فاصله بین ردیف مانع
USBR-F ₁	۱/۹۸	S.=۰/۵	۰/۰۶۶	۰/۰۸۳
USBR-F ₂	۱/۹۸	S.=۰/۵	۰/۰۶۶	۰/۰۹۹
USBR-F ₃	۱/۹۸	S.=۰/۵	۰/۰۶۶	۰/۱۱۵
USBR	۱/۹۸	S.=۰/۵	۰/۰۶۶	۰/۱۳۲
USBR-F ₄	۱/۹۸	S.=۰/۵	۰/۰۶۶	۰/۱۴۹
USBR-F ₅	۱/۹۸	S.=۰/۵	۰/۰۶۶	۰/۱۶۵



شکل ۵- مدل های ساخته شده در نرم افزار جهت استخراج نمودار ۱



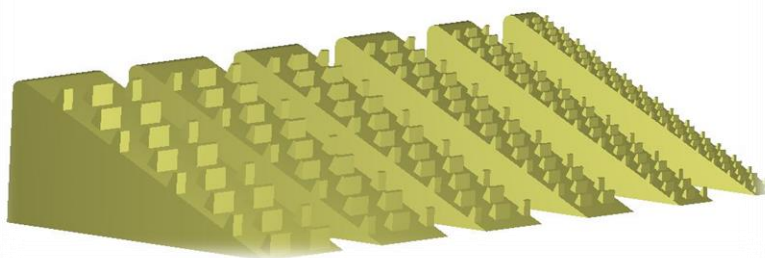
نمودار ۱- تغییرات استهلاك انرژی نسبت به تغییرات فواصل ردیف مانع

موانع برای مقایسه بین نتایج دبی در واحد عرض ثابت نگه داشته شد و نتایج حاصله نشان دهنده کاهش استهلاك با افزایش ارتفاع به سبب کاهش تعداد بلوک ها و برخورد کمتر جریان با موانع می باشد.

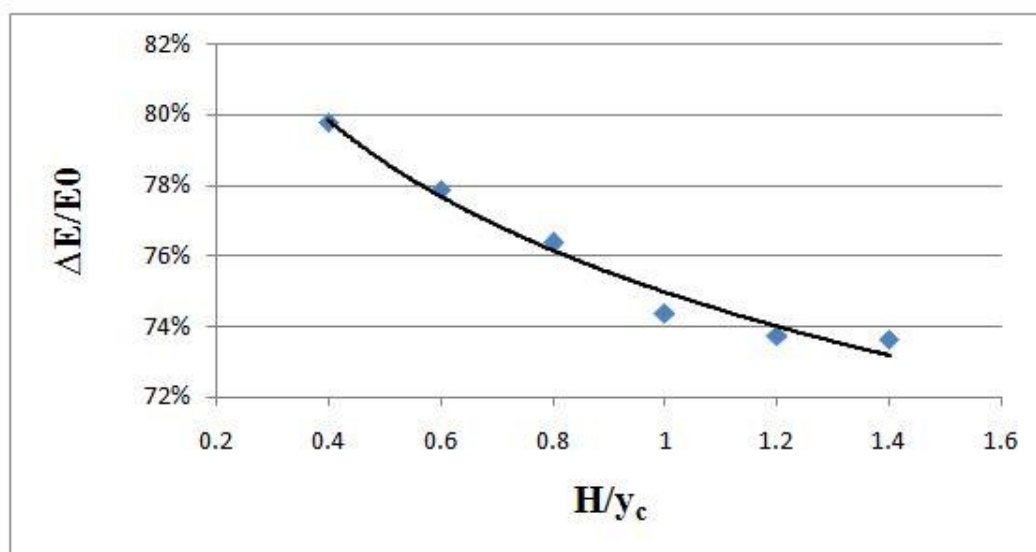
طبق نمودار ۱ با افزایش فواصل بین ردیف بلوک ها در یک طول معین از شوت تعداد موانع کاهش می یابد و متعاقباً تعداد برخورد جریان با موانع کاهش یافته و انرژی کمتری مستهلك خواهد شد. مطابق نمودار ۲ در طراحی به روش USBR با افزایش ارتفاع

جدول ۴- ابعاد مورد استفاده برای استخراج نمودار ۲

نام مدل	طول شوت	شیب شوت	ارتفاع مانع	فاصل بین ردیف مانع
USBR-H ₁	۱/۹۸	S ₁ =۰/۵	۰/۰۳۳	۰/۰۶۴
USBR-H ₂	۱/۹۸	S ₁ =۰/۵	۰/۰۵	۰/۱
USBR	۱/۹۸	S ₁ =۰/۵	۰/۰۶۶	۰/۱۳۲
USBR-H ₃	۱/۹۸	S ₁ =۰/۵	۰/۰۸۳	۰/۱۶۶
USBR-H ₄	۱/۹۸	S ₁ =۰/۵	۰/۰۱	۰/۱۹۹
USBR-H ₅	۱/۹۸	S ₁ =۰/۵	۰/۱۱۶	۰/۲۳۲



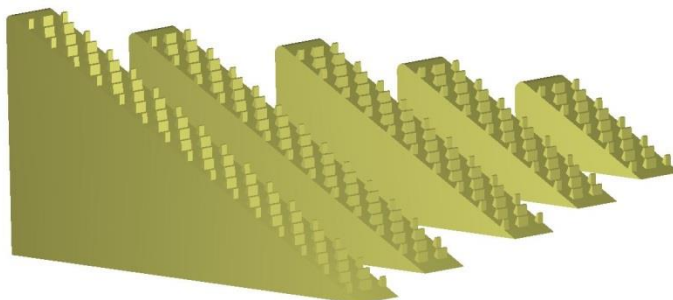
شکل ۶- مدل های ساخته شده در نرم افزار جهت استخراج نمودار ۲



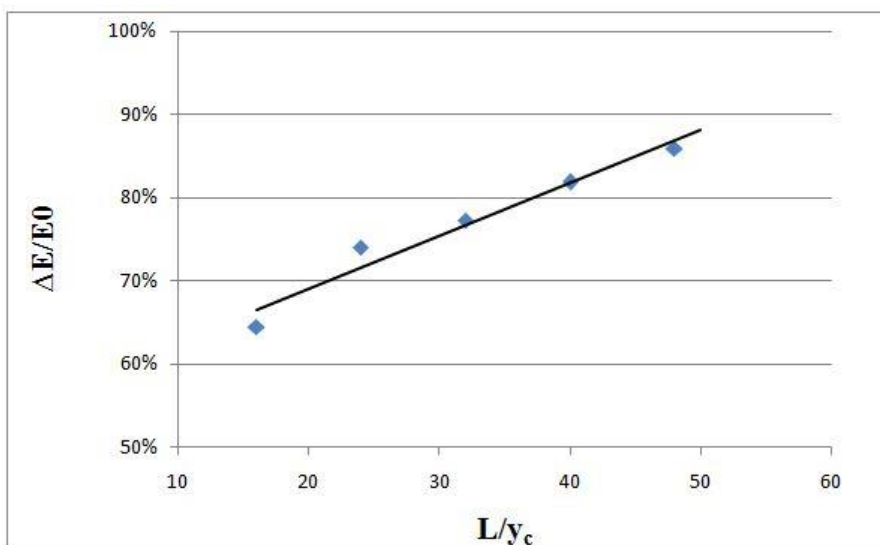
نمودار ۲- تغییرات استهلاک انرژی نسبت به تغییرات ارتفاع مانع

جدول ۵- ابعاد مورد استفاده برای استخراج نمودار ۳

نام مدل	طول شوت	شیب شوت	ارتفاع مانع	فاصل بین ردیف مانع
USBR-L ₁	۱/۳۲	S ₁ =۰/۵	۰/۰۶۶	۰/۱۳۲
USBR	۱/۹۸	S ₁ =۰/۵	۰/۰۶۶	۰/۱۳۲
USBR-L ₂	۲/۶۴	S ₁ =۰/۵	۰/۰۶۶	۰/۱۳۲
USBR-L ₃	۳/۳	S ₁ =۰/۵	۰/۰۶۶	۰/۱۳۲
USBR-L ₄	۳/۹۶	S ₁ =۰/۵	۰/۰۶۶	۰/۱۳۲



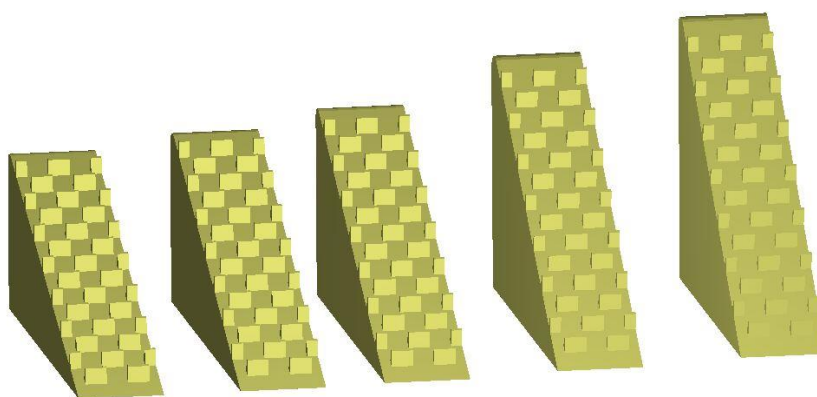
شکل ۷- مدل های ساخته شده در نرم افزار جهت استخراج نمودار ۳



نمودار ۳- تغییرات استهلاك انرژی نسبت به تغییرات طول شوت

انرژی بیشتر شکل می گیرد.

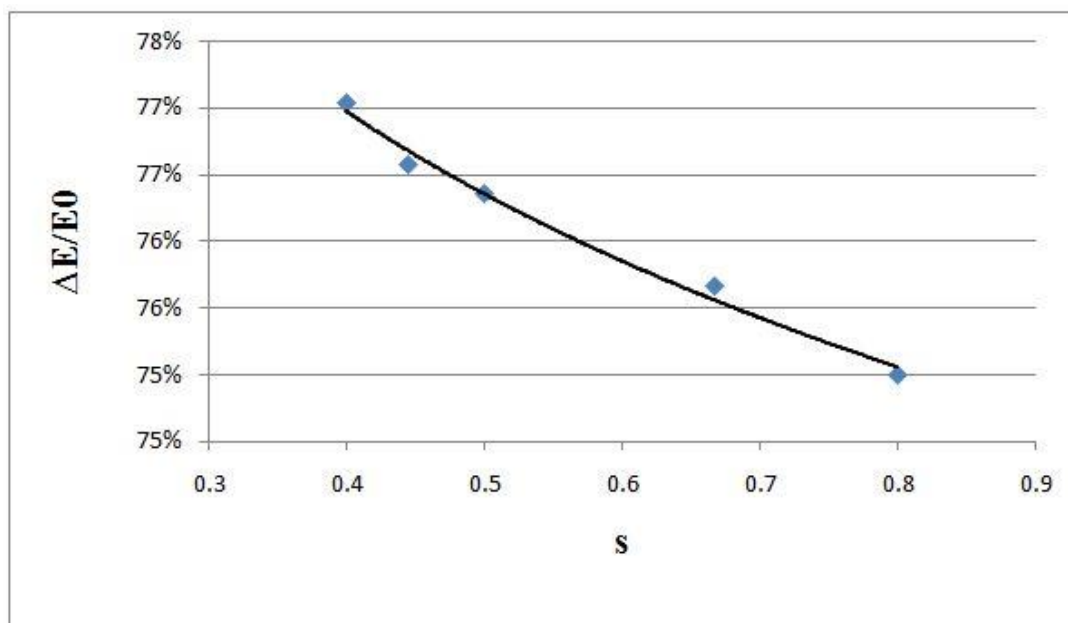
با توجه به نمودار ۳ با افزایش طول شوت سرعت جریان و انرژی آن افزایش یافته و در اثر برخورد با موانع ایجاد شده میزان استهلاك



شکل ۸- مدل های ساخته شده در نرم افزار جهت استخراج نمودار ۴

جدول ۶- ابعاد مورد استفاده برای استخراج نمودار ۴

نام مدل	طول شوت	شیب شوت	ارتفاع مانع	فاصله بین ردیف موانع
USBR-S ₁	۱/۹۸	S ₁ =۰/۴	۰/۰۶۶	۰/۱۳۲
USBR-S ₂	۱/۹۸	S ₂ =۰/۴۴۵	۰/۰۶۶	۰/۱۳۲
USBR	۱/۹۸	S ₃ =۰/۵	۰/۰۶۶	۰/۱۳۲
USBR-S ₃	۱/۹۸	S ₄ =۰/۶۶۷	۰/۰۶۶	۰/۱۳۲
USBR-S ₄	۱/۹۸	S ₅ =۰/۸	۰/۰۶۶	۰/۱۳۲



نمودار ۴- تغییرات استهلاک انرژی نسبت به تغییرات شیب شوت

۴- روند استهلاک انرژی با افزایش شیب شوت کاهش می‌یابد.

منابع

جم، م، طالب بی‌دختی، ن، و مردشتی، ا. ۲۰۱۴. ارزیابی استهلاک انرژی روی سرریز دنداندار بلوکی و مقایسه آن با سرریز پلکانی. نشریه هیدرولیک، ۹(۲)، ۱-۱۰.

راشکی قلعه نو، م، اژدری مقدم، م، عزیزبان، غ، و کامران، خ. ۲۰۱۸. شبیه‌سازی عددی استهلاک انرژی در تندآب با موانع استوانه‌ای مستغرق با مدل Flow-3D. علوم و مهندسی آبیاری، ۴۱(۴)، ۱۷-۲۸.

خوشتراش، م، شرافتی، ا، و تقیان جمالی، ح. ۲۰۱۷. آنالیز و ارزیابی تأثیر مشخصات هندسی بر استهلاک انرژی در سرریزهای پلکانی دارای شیب منفی با استفاده از نرم افزار Flow-3D. شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، اردیبهشت، انجمن هیدرولیک ایران - دانشگاه محقق اردبیلی.

نمودار ۴ نشان می‌دهد با افزایش شیب شوت با طول ثابت آن، میزان استهلاک انرژی به سبب عبور جریان از روی چندیدن مانع بدون برخورد، کمتر خواهد بود. همچنین شیب بیشتر، سرعت بالاتری را به همراه خواهد داشت که عامل ایجاد انرژی بیشتر خواهد بود.

نتیجه گیری

هدف تحقیق حاضر بررسی تأثیر تغییر هر یک از ابعاد (طول و شیب شوت و فاصله بین ردیف‌ها و ارتفاع موانع) مدل پیشنهادی USBR بدون تغییر در سایر پارامترها بود که نتایج زیر حاصل گشت:
۱- افزایش فاصله بین ردیف موانع سبب کاهش استهلاک انرژی می‌گردد.

۲- افزایش ارتفاع موانع در طراحی به روش مدل پیشنهادی USBR به میزان اندکی باعث کاهش استهلاک انرژی می‌گردد.

۳- در شیب یکسان و سایر ابعاد مشابه، افزایش طول شوت به میزان سه برابر، افزایش استهلاک انرژی ۲۱/۴٪ را به دنبال دارد.

- Proceedings (Vol. 7, No. 1, p. 13).
- Katourany, S., and Kashefipour, S.M. 2012. Experimental investigation the effect of space and size of baffles on energy dissipation in baffled apron drop. Archives Des Sciences 65(6).
- Christodoulou, G.C. 1993. Energy dissipation on stepped spillways. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 119(5): 644-649.
- Chinnarasri, C., and Wongwises, S. 2006. Flow patterns and Energy dissipation over various stepped chutes. Journal of Hydraulic Engineering ASCE, 116(4): 587-691.
- 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 22(2): 95-106. (In Persian).
- لرنژاد، ا.، فنواتی، م.، صمدی رحیم، ع.، و یونسی، ح. ۲۰۱۷. ارزیابی استهلاك انرژی در شیب‌شکن‌های مایل مستطیلی با استفاده از مدل Flow-3D. شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
- Rhone, L.J. 1971. Studies to Determine the Feasibility of a Baffled Apron Drop as a Spillway Energy Dissipator-Conconully Dam Spillway-Okanogan Project. Washington U.S. Bureau of Reclamation Report REC-ERC-71-29.
- Peterka, A. 1964. Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators. Engineering Monograph No 25 U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation pp 154-188.
- Brown, C., and Crowley, R. 2018. United States Bureau of Reclamation Type IX Baffled Chute Spillways: A New Examination of Accepted Design Methodology Using CFD and Monte Carlo Simulations, Part I. In Multidisciplinary Digital Publishing Institute

Numerical Study of the Effective Parameters on the Energy Dissipation Rate of the Baffled Chutes

H. Rafiei^{1*}, J. Bazargan², A. Babakhani³

Received: Feb.15, 2020

Accepted: May.09, 2020

Abstract

Baffled chutes are structures that are used to dissipate energy in chutes and water transmission and distribution structures. In the present study, baffled chutes were numerically studied using the Flow-3D numerical model. For this purpose, upon defining the boundary conditions, the validation was done using available experimental data and then, the effect of slope, chute length as well as the distance between baffles and their height on the energy dissipation rate of the baffled chutes was studied. The results showed that by increasing the distance between the baffle rows, the energy dissipation rate decreased. By increasing the height of the baffles using the design method proposed by the USBR, the energy dissipation rate slightly decreased. For similar slopes and other dimensions, by increasing the chute length by three times, the energy dissipation increased by 21.4%, and the energy dissipation rate decreased by increasing chute slope.

Keywords: Baffled Chutes, Energy Dissipation, FLOW-3D

1- M.Sc. Student, Department of Water and Hydraulic Structures Engineering, Zanzan University, Zanzan, Iran

2- Associate Professor, Department of Water and Hydraulic Structures Engineering, ZanzanUniversity, Zanzan, Iran

3- Assistant Professor, Department of Water and Hydraulic Structures Engineering, ZanzanUniversity, Zanzan, Iran

(* - Corresponding Author Email:h.rafiel.om@gmail.com)