

مطالعه عددی پارامترهای موثر بر استهلاک انرژی در پرش هیدرولیکی مستغرق همراه با بلوک‌های میانی حوضچه آرامش

فاطمه جعفری^۱، سید علی اکبر صالحی نیشابوری^{۲*}

۱- دانشجو ارشد مهندسی عمران- آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

۲- استاد دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

salehi@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۹۶/۱۲/۰۵]

تاریخ دریافت: [۹۶/۰۸/۰۹]

چکیده

یکی از راهکارهای موثر برای استهلاک انرژی پایین دست سازه‌های هیدرولیکی مانند سرریزها، تنداب‌ها و دریچه‌ها، پرش هیدرولیکی است. از جمله سازه‌های استهلاک انرژی، بلوک‌های آرام کننده (Baffle blocks) است که در قسمت میانی حوضچه به منظور اتلاف انرژی به صورت متمرکز کار گذاشته می‌شود و عملکرد آن بلوک‌ها در حالت پرش هیدرولیکی مستغرق متفاوت از پرش هیدرولیکی آزاد است؛ به طوری که در پرش هیدرولیکی مستغرق همراه با بلوک، جریان می‌تواند تنها به صورت دو نوع رژیم اتفاق بیفتد؛ جریان منحرف شده به سطح (Deflected Surface Jet) یا بطور مختصر رژیم (DSJ) و یا به صورت جت دیواره‌ای دوباره متصل شوند (Reattaching Wall Jet) یا بطور مختصر رژیم (RWJ). در این مقاله به بررسی تاثیر پارامترهای فاصله بلوک‌ها از دریچه، ارتفاع بلوک‌ها، شکل بلوک‌ها و عدد فرود جت ورودی بر روی استهلاک انرژی ناشی از بلوک‌ها پرداخته شده است. بدین منظور از نرم‌افزار فلونت برای شبیه‌سازی جریان استفاده شده است. میدان محاسباتی با استفاده از شبکه منشوری گسسته شده است. برای دقت بیشتر از مدل آشفتگی هفت معادله‌ای RSM استفاده شد که در درستی‌آزمایی نتایج بهتری تولید کرد. در مجموع ۵۴ مدل برای مقادیر مختلف پارامترهای فوق طراحی و اجرا شد و درصد استهلاک انرژی تحت شرایط مختلف به دست آمد. نتایج بیانگر این است که عدد فرود مقطع بازشدگی دریچه مهم ترین عامل در استهلاک انرژی به شمار می‌آید. همچنین دیده شد با کم شدن فاصله بلوک‌ها از دریچه ورودی، درصد استهلاک انرژی زیاد می‌شود؛ مشروط به اینکه شرایط هیدرولیکی و هندسی منجر به ایجاد رژیم DSJ شوند.

واژگان کلیدی: استهلاک انرژی، پرش هیدرولیکی مستغرق، بلوک‌های میانی، شبیه سازی عددی، حوضچه آرامش.

۱- مقدمه

خاصی به نام انرژی گیرنده که در پایین دست جریان ساخته می‌شود، استفاده نمود. از جمله سازه‌های کنترل پرش هیدرولیکی حوضچه آرامش است، که عبارت است از قسمت کوتاهی از یک کانال کف‌سازی شده که به صورت سازه‌ای

برای جلوگیری از خسارات ناشی از انرژی فوق العاده آب در سرعت های فوق بحرانی و نیز به منظور از بین بردن انرژی اضافی جنبشی موجود در جریان، عموماً لازم است از سازه‌های

نشان داده شده است که عملکرد بلوک‌ها در این دو نوع رژیم با هم فرق دارد [1].

تاکنون مطالعات زیادی روی عملکرد بلوک‌های میانی حوضچه آرامش در حالت پرش آزاد انجام شده است، از جمله: غزالی و همکاران (۱۹۹۹) آزمایش‌هایی را برای بررسی اثر اندازه، انحنا و موقعیت بلوک‌های میانی کف منحنی شکل در استهلاک انرژی و کنترل پرش هیدرولیکی بررسی نمودند. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها نشان می‌دهد که بلوک‌های منحنی در کم کردن انرژی جنبشی پایین دست نسبت به بلوک‌های با لبه مستقیم و مستطیلی موثرتر است [3].

ورما و همکاران (۲۰۰۰) آزمایش‌های خود را برای یافتن حوضچه آرامش اقتصادی برای خروجی‌های دایروی شکل انجام دادند. در این مطالعه مشخص شد که بلوک‌های گوه‌ای شکل شکافنده با زاویه راس ۱۵۰ درجه بهترین عملکرد را در پخش کردن جت آب روی پهنای حوضچه آرامش در طول کوتاهتری دارند [4].

رزاق و همکاران (۲۰۰۲) اثر بلوک‌های میانی با وجه جلویی شیبدار را روی طول پرش هیدرولیکی به صورت آزمایشگاهی بررسی نمودند. نتایج این مطالعه نشان داد که بلوک‌های میانی با وجه شیبدار در بالادست آن در کاهش طول پرش هیدرولیکی موثرتر از بلوک‌های با وجه عمود و بسترهای زیر است [5].

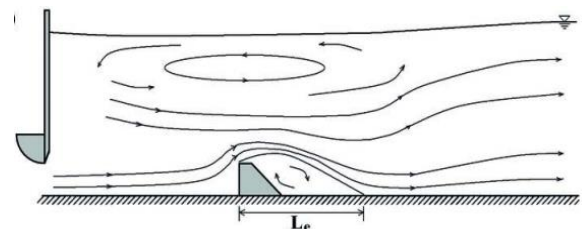
همچنین پرش هیدرولیکی مستغرق به عنوان موضوع بسیاری از مطالعات مطرح شده است. لانگ و همکاران (۱۹۹۰) به بررسی گردابه‌های بوجود آمده در سطح آب در کنار دریچه در پرش هیدرولیکی مستغرق و اهمیت آنها پرداختند. نتایج نشان داد که حرکت این گردابه‌ها از سطح آب تا مرکز لایه برشی گسترده شده است [6].

لانگ و همکاران (۱۹۹۱) همچنین به شبیه‌سازی عددی پرش هیدرولیکی با استفاده از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ پرداختند. ایشان با مقایسه پروفیل سرعت عددی و آزمایشگاهی مشاهده کردند که نتایج در ناحیه جت دیواره‌ای هماهنگی خوبی دارند، ولی در قسمت ناحیه برگشتی دارای اختلاف است. ایشان دلیل

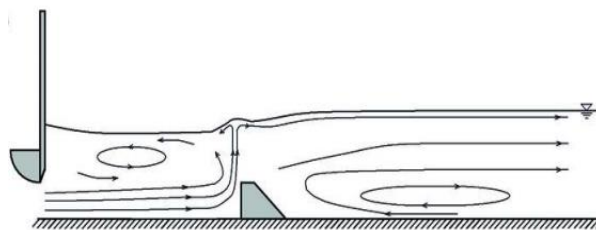
خاص در پایین دست یک سرریز، یک تندآب و یا یک آبشار ساخته می‌شود. اینگونه سازه‌ها علاوه بر از بین بردن انرژی آب، وسیله‌ای برای کنترل و مهار پرش هیدرولیکی به شمار می‌روند. اگر دبی از دبی طراحی بیشتر شود، عمق پایاب بزرگتر از عمق پایاب مورد نیاز پرش آزاد می‌شود و پرش به شکل مستغرق شکل می‌گیرد. این شرایط برای سازه‌های هیدرولیکی با هد پایین مانند دریچه و سرریز سدهای انحرافی کوتاه به وجود می‌آید.

بلوک‌های میانی از جمله سازه‌های عرضی در حوضچه آرامش هستند که معمولاً برای پایدار ساختن پرش، کوتاه کردن طول آن و استهلاک بیشتر انرژی، به کار گرفته می‌شوند. عملکرد این بلوک‌ها در پرش مستغرق متفاوت از پرش آزاد است. در واقع در حالت پرش مستغرق تاثیر بلوک‌ها بیشتر روی شکل‌گیری نوع رژیم است تا روی کارایی استهلاک انرژی. به طوری که در این حالت جریان می‌تواند تنها به صورت دو نوع رژیم اتفاق بیفتد؛ جریان منحرف شده به سطح (DSJ)^۱ و یا به صورت جت دیواره‌ای دوباره متصل شونده (RWJ)^۲ [1]. شکل (۱) الگوی جریان دو رژیم را نمایش می‌دهد.

شکل ۱. الگوی جریان [1]



(الف) جت دیواره‌ای دوباره متصل شونده (RWJ)
a) Reattaching wall jet regime



(ب) رژیم جریان منحرف شده به سطح (DSJ)
b) Deflected surface jet regime

Fig. 1. Flow pattern [1]

¹ Deflected Surface Jet

² Reattaching Wall Jet

نسخه ۶، ۳، ۲۶ استفاده شد. FLUENT یک نرم افزار عمومی حل میدان جریان است که به صورت دو بعدی یا سه بعدی و بر اساس روش حجم محدود، میدان جریان را تحلیل می کند [1]. نتایج آزمایشگاهی حبیب زاده و راجاراتنام (۲۰۱۲) معیار سنجش نتایج عددی قرار گرفت و هندسه میدان جریان به صورتی در نظر گرفته شد که بیشترین تطابق را با این مدل آزمایشگاهی داشته باشد [8]. در این مطالعه با توجه به پارامترها و سطوح ارائه شده در جدول (۱) به 3×2^1 یعنی ۵۴ آزمایش برای تعیین تاثیر پارامترها روی استهلاک انرژی ناشی از بلوکها نیاز است. بدین منظور در مجموع ۱۸ مدل با مشخصات هندسی ارائه شده در جدول (۲) ساخته شده است و این ۱۸ مدل برای سه عدد فرود مشخص در جدول (۱) مورد بررسی قرار گرفته اند. سایر پارامترها برای تمام مدل ها مشترک بوده و مطابق جدول (۳) است. شکل شماتیک از هندسه کانال و بلوک های به کار گرفته شده به ترتیب در شکل های (۲)، (۳) و (۴) ارائه شده است. برای ساخت هندسه مدل از نرم افزار GAMBIT استفاده شد.

شکل ۲. مشخصات هندسی مدل

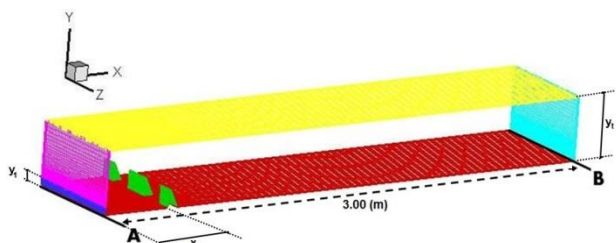


Fig. 2. Geometrical characteristics of the model

شکل ۳. پلان

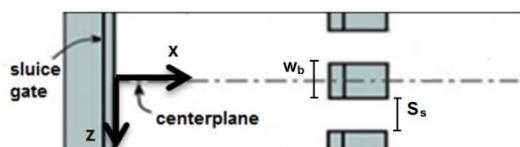


Fig. 3. Plan

در تکمیل فرایند آماده سازی مدل عددی و همگرایی بهتر حل، از طرح PRESTO برای گسسته سازی فشار، الگوریتم SIMPLE برای کوپل نمودن سرعت و فشار و به دلیل وجود

این امر را پخش عمودی بیش از اندازه ای می دانند که در مدل عددی اتفاق می افتد [7].

عملکرد بلوک های میانی در حالت پرش مستغرق کمتر مورد توجه بوده است. حبیب زاده و راجاراتنام (۲۰۱۲) مطالعاتی آزمایشگاهی با هدف تعیین شرایطی که تحت آن بلوکها تحت پرش هیدرولیکی مستغرق بهترین عملکرد را داشته باشند، انجام دادند. آنها دریافتند که اگر پرش به صورت مستغرق اتفاق بیافتد، عملکرد بلوکها تغییر میکند. در هر صورت، جریان می تواند تنها به صورت دو نوع رژیم اتفاق بیافتد؛ جریان منحرف شده به سطح (DSJ) و یا به صورت جت دیواره ای دوباره متصل شونده (RWJ). نشان داده شده است که عملکرد بلوکها در این دو نوع رژیم با هم فرق دارد. رخ دادن هر یک از این رژیمها بستگی به ضریب استغراق جریان، وضعیت و موقعیت بلوکها دارد. همچنین بلوکها در رژیم DSJ تاثیر و عملکرد بهتری دارند و تنش وارد به کف در پایین دست بلوکها در این نوع رژیم به نسبت رژیم RWJ کمتر است [8].

جعفری و صالحی نیشابوری (۱۳۹۳) به مطالعه عددی پرش هیدرولیکی مستغرق همراه با بلوک های میانی، الگوی جریان و گردابه های شکل گرفته در هر رژیم پرداختند. نتایج نشان داد که آشفتگی زیاد جریان منجر به شکل گیری گردابه های زیاد حول هر سه محور طولی (x)، عرضی (z) و ارتفاعی (y) می شود که گردابه هایی که حول محور zها در گردش هستند، با توجه به قدرت و ابعاد بزرگتری که دارند، رژیم اصلی جریان را تعیین می کنند. این گردابه ها در رژیم DSJ قوی تر بوده و باعث استهلاک بیشتر انرژی می شوند [9]. در این مطالعه به بررسی تاثیر پارامترهای فاصله بلوکها از دریچه، ارتفاع بلوکها، شکل بلوکها و عدد فرود جت ورودی بر روی استهلاک انرژی ناشی از بلوکها پرداخته شده است.

۲- روش تحقیق

۲-۱- مدل عددی

برای بررسی عددی این مطالعه از نرم افزار FLUENT

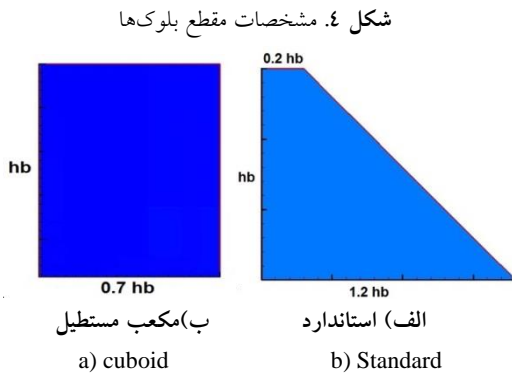


Fig. 4. Cross section of blocks

جدول ۳ پارامترهای مشترک در همه آزمایش‌ها

Parameters	sign	unit	value
Channel Width	B	cm	46.7
Blocks Width	w _b	cm	4.5
Blocks distance	s _s	cm	4.5
Gate opening	y ₁	cm	1.91
Tail water	y _t	cm	17.4

Table (3) Common parameters in every model

۳- کنترل مقدماتی نتایج مدل عددی

در این مطالعه از مدل عددی به کار گرفته شده در مطالعه جعفری و صالحی نیشابوری (۱۳۹۳) استفاده شده است [9]. مطابق شکل (۵) پروفیل مؤلفه افقی سرعت به دست آمده از مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی حییب زاده و راجاراتنام (۲۰۱۱) مقایسه شده است [11]. حساسیت نتایج به ابعاد شبکه استفاده شده، ارزیابی و در همه اجراها ابعاد شبکه تا اندازه مناسب ریز شد تا نتایج حل عددی مستقل از اندازه شبکه باشد. نتایج نشان می‌دهد که بیشترین خطا مربوط به ناحیه بالادست بلوک‌ها است که به دلیل وجود گردابه و جریان برگشتی قوی در آن ناحیه ایجاد شده است. با این حال در این پژوهش با استفاده از مدل آشفتگی RSM سعی شده تا جای ممکن خطا را کاهش داد. به طوری که رفته‌رفته به سمت پایین دست کانال با کاهش تاثیر گردابه‌ها بر جریان و همچنین کم شدن آشفتگی جریان نتایج حل عددی تطابق بهتری با داده‌های آزمایشگاهی نشان داده‌اند.

برای بررسی دقیق‌تر مدل عددی، الگوی جریان و محل قرارگیری گردابه‌ها در صفحه مرکزی کانال (z=0) در رژیم DSJ

جریان‌های بازگشتی طرح QUICK برای انفعال جملات جابه‌جایی معادلات مومنتوم و آشفتگی استفاده شد. شرایط مرزی ورودی برای جریان ورودی از زیر دریچه به صورت Velocity-Inlet در نظر گرفته شد. شرط مرز خروجی Outflow و برای بلوک‌ها، دریچه و بستر کانال شرط مرزی دیواره در نظر گرفته شد. با توجه به تغییرات ناچیز سطح آب و برای صرفه‌جویی در وقت، در این پژوهش از شرط مرزی تقارن برای سطح آب استفاده شده است و شبیه‌سازی به صورت یک فاز در نظر گرفته شد.

جدول ۲ مشخصات مدل‌های عددی مطالعه حاضر

				Investigated Parameters
۴۰	۹/۵	۱۹/۱	xb	Block distance from the gate (cm)
۵	۱/۵	۳/۸۱	hb	Block height (cm)
		Rectangular	Standard	SH
			Fr	Froude Number

Table 1 Characteristics of models

جدول ۲ مشخصات هندسی مدل‌ها

Xb (cm)	hb (cm)	Block Shape	No.
19.1	3.81	Standard	Model 1
19.1	1.5	Rectangular	Model 2
19.1	5	Standard	Model 3
9.5	3.81	Standard	Model 4
9.5	1.5	Standard	Model 5
9.5	5	Rectangular	Model 6
40	3.81	Rectangular	Model 7
40	1.5	Standard	Model 8
40	5	Standard	Model 9
19.1	3.81	Rectangular	Model 10
19.1	1.5	Standard	Model 11
19.1	5	Rectangular	Model 12
9.5	3.81	Rectangular	Model 13
9.5	1.5	Rectangular	Model 14
9.5	5	Standard	Model 15
40	3.81	Standard	Model 16
40	1.5	Rectangular	Model 17
40	5	Rectangular	Model 18

Table 2 Geometrical characteristic of models

۴- نتایج و بحث

ابتدا برای بررسی بهتر جزئیات آزمایش‌ها، نوع رژیم هر آزمایش در سه جدول (۴، ۵، و ۶) مشخص شده است. همان‌گونه که پیشتر گفته شد، پرش هیدرولیکی مستغرق همراه با بلوک می‌تواند به صورت دو نوع رژیم اتفاق افتد. در جریان DSJ مطابق شکل (۷)-الف) در صفحه $z=0$ (cm) جریان فوق بحرانی اصلی بعد از رسیدن به بلوک‌ها به سمت سطح آب منحرف می‌شود.

شکل ۶. الگوی جریان و محل قرارگیری گردابه‌ها در صفحه مرکزی

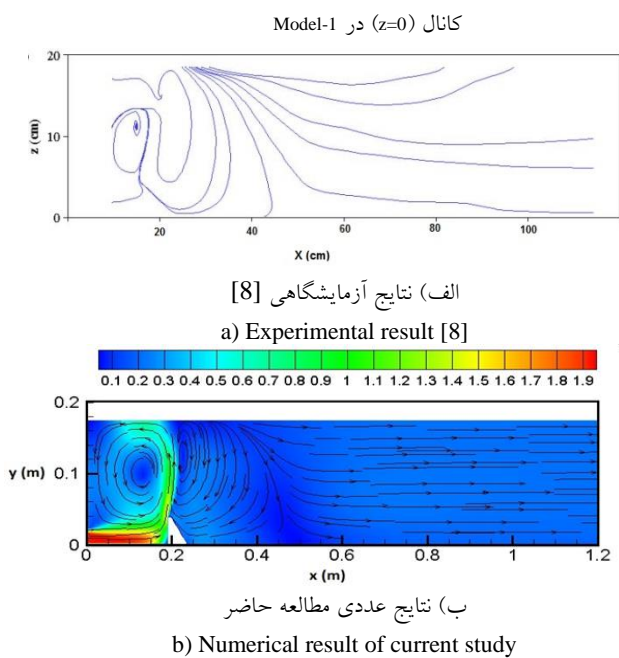


Fig. 6. Flow Pattern and vortex location at $(z=0)$ in Model-1

جت منحرف شده در بالای بلوک‌ها جریان را به دنبال می‌کشد و باعث به وجود آمدن جریان برگشتی در ناحیه بالادست بلوک‌ها می‌شود. همچنین ناحیه چرخشی در پایین دست بلوک‌ها به وجود می‌آید که تا حدود $x/y=2.5$ کشیده می‌شود. در جریان DSJ، جت منحرف شده بعد از برخورد به سطح آب به سمت بستر متمایل شده و گردابه بزرگی را در ناحیه بعد از بلوک‌ها ایجاد می‌کند [9].

برای استغراق زیاد، یعنی در رژیم RWJ، مطابق شکل (۷)-ب) جریان در صفحه مرکزی بلوک‌ها ($z = 0$) ابتدا در بالادست بلوک از بستر جدا می‌شود، سپس درست بعد از

مشخص شد و با نتایج حاصل از مطالعات حبیب‌زاده و راجاراتنام (۲۰۱۲) مقایسه شد. مطابق شکل (۶) دیده می‌شود که مدل عددی با دقت خوبی توانسته محل قرارگیری گردابه‌ها و همچنین طول گردابه‌ها را پیش‌بینی کند.

توضیحات بیشتر پیرامون مدل و درستی آزمایشی آن در مطالعه جعفری و صالحی نیشابوری (۱۳۹۳) ارائه شده است [9].

شکل ۵. پروفیل بی بعد شده مؤلفه افقی سرعت در وسط کانال ($z=0$) در

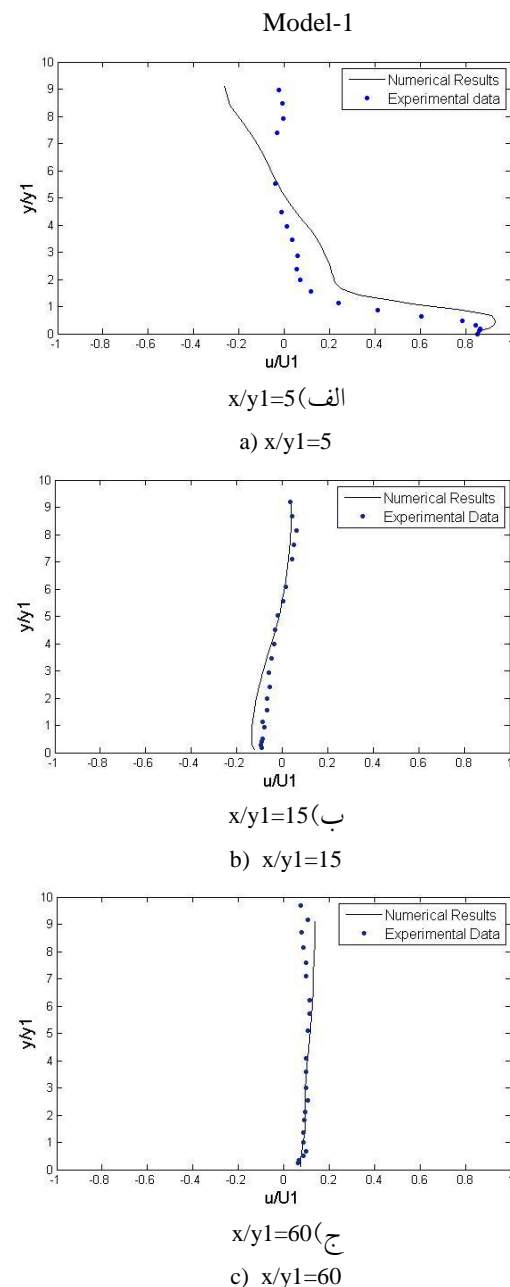


Fig. 5. Dimensionless profile of horizontal component of speed at $(z=0)$ in Model-1

استغراق کمتر از مقدار بحرانی S_1 است، جریان همواره در رژیم DSJ می ماند و مادامی که ضریب استغراق بزرگتر از S_2 باشد همواره در حالت RWJ می ماند. اگر S میان S_1 و S_2 باشد، بسته به اینکه عمق پایاب با گذشت زمان در حال زیاد یا کم شدن باشد، جریان می تواند در هر یک از دو رژیم باشد. یعنی، در این حالت اگر عمق پایاب افزایش یابد، جریان همچنان DSJ است تا زمانی که به S_2 برسد و اگر عمق پایاب کاهش یابد، جریان تا زمانی که به S_1 برسد در حالت رژیم RWJ می ماند. به این شرایط اصطلاحاً دوپایا^۱ گویند [8].

با اجرای مدلها مشاهده شد که نتایج عددی این مطالعه در پیش بینی رژیم جریان، با نتایج حاصل از روابط تجربی (۲) و (۳) ارائه شده توسط راجاراتنام و همکاران (۲۰۱۲) در حالت رژیمهای پایدار DSJ و RWJ تطابق خوبی را نشان می دهد؛ در حالی که مدل عددی حاضر به دلیل در نظر نگرفتن تغییرات زمانی، توانایی شناسایی شرایط دوپایا را ندارد.

جدول ۴. نوع رژیم آزمایشها به ازای $Fr=4.59$

Fr= 4.59				
NO.	S	S1	S2	regime
Model 1	0.5	0.9	1.4	DSJ
Model 2	0.5	0.2	0.6	Bistable
Model 3	0.5	1.2	1.7	DSJ
Model 4	0.5	0.5	1.2	DSJ
Model 5	0.5	0.1	0.5	RWJ
Model 6	0.5	0.8	1.5	DSJ
Model 7	0.5	1.5	1.7	DSJ
Model 8	0.5	0.4	0.7	Bistable
Model 9	0.5	2.0	2.0	DSJ
Model 10	0.5	0.9	1.4	DSJ
Model 11	0.5	0.2	0.6	Bistable
Model 12	0.5	1.2	1.7	DSJ
Model 13	0.5	0.5	1.2	DSJ
Model 14	0.5	0.1	0.5	RWJ
Model 15	0.5	0.8	1.5	DSJ
Model 16	0.5	1.5	1.7	DSJ
Model 17	0.5	0.4	0.7	Bistable
Model 18	0.5	2.0	2.0	DSJ

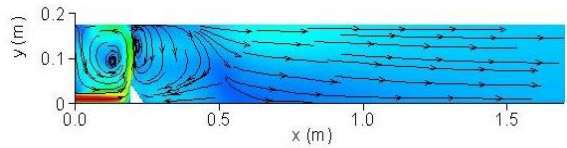
Table 4 Regime of each model in $Fr=4.59$

¹ Bistable

بلوکها به بستر اصابت می کند. در پایین دست بلوک در نقطه برخورد، جریان مانند جت دیواره ای مستغرق عمل می کند. گردابه سطحی در رژیم RWJ تقریباً تا فاصله $x/y_t=5.5$ ادامه دارد. گردابه کوچک محدودی نیز در پشت بلوکها ایجاد می شود [9].

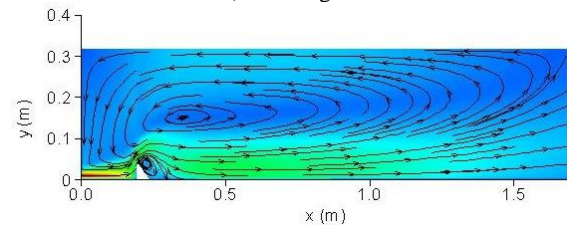
شکل ۷. الگوی جریان و محل قرارگیری گردابه های حول محور Zها در

صفحه مرکزی کانال [9]



(الف) رژیم DSJ

a) DSJ Regime



(ب) رژیم RWJ

b) RWJ Regime

Fig. 7. Flow Pattern and vortex location at $(z=0)$ in Model-1

برای تعیین رژیم جریان به صورت تجربی، مقدار ضریب استغراق آزمایش مطابق با عمق پایاب (y_t) و عمق ثانویه پرش (y_2) با استفاده از رابطه (۱) بدست آمده و با مقادیر ضریب استغراق بحرانی S_1 و S_2 بدست آمده از معادلات تجربی مطالعه حبیب زاده و راجاراتنام (۲۰۱۲) طبق رابطه (۲) و (۳) مقایسه شده است. بر طبق مطالعه ایشان، نوع رژیمی که می تواند بوجود آید، تابعی از ضریب استغراق S است [8].

$$S = \frac{y_t - y_2}{y_2} \quad (1)$$

$$S_1 = 0.44 F_1^{-2.1} \left(\frac{h_b}{y_1}\right)^{3.1} \left(\frac{w_b}{h_b}\right)^{1.9} \left(\frac{x_b}{y_1}\right)^{0.65} - 0.06 \quad (2)$$

$$S_2 = 2.40 F_1^{-1.3} \left(\frac{h_b}{y_1}\right)^{1.7} \left(\frac{w_b}{h_b}\right)^{1.1} \left(\frac{x_b}{y_1}\right)^{0.17} - 0.50 \quad (3)$$

طبق مطالعه حبیب زاده و راجاراتنام (۲۰۱۲) دیده شد که

برای هر عدد فرود و چیدمان بلوکها، برای حالتی که ضریب

که در آن v سرعت شاره، g شتاب گرانش زمین، Z ارتفاع از نقطه‌ای دلخواه در جهت گرانش زمین، p فشار در شاره و ρ جرم مخصوص شاره است.

جدول ۶. نوع رژیم آزمایش‌ها به ازای $Fr=2.5$

Fr = 2.5				
NO.	S	S1	S2	regime
Model 1	2.0	3.3	3.7	DSJ
Model 2	2.0	1.0	1.9	RWJ
Model 3	2.0	4.6	4.4	DSJ
Model 4	2.0	2.1	3.2	DSJ
Model 5	2.0	0.6	1.6	RWJ
Model 6	2.0	2.9	3.9	DSJ
Model 7	2.0	5.4	4.3	DSJ
Model 8	2.0	1.7	2.2	Bistable
Model 9	2.0	7.4	5.1	DSJ
Model 10	2.0	3.3	3.7	DSJ
Model 11	2.0	1.0	1.9	RWJ
Model 12	2.0	4.6	4.4	DSJ
Model 13	2.0	2.1	3.2	DSJ
Model 14	2.0	0.6	1.6	RWJ
Model 15	2.0	2.9	3.9	DSJ
Model 16	2.0	5.4	4.3	DSJ
Model 17	2.0	1.7	2.2	Bistable
Model 18	2.0	7.4	5.1	DSJ

Table 6 Regime of each model in $Fr=2.5$

برای محاسبه انرژی یک مقطع، باید میانگین مقدار رابطه (۴) در سطح مورد نظر به دست آورده شود. برای این کار در نرم افزار فلونت ابتدا در قسمت Custom Field Function رابطه (۴) را تعریف کرده، سپس در قسمت Report با انتخاب سطح مورد نظر مقدار میانگین این کمیت را روی سطح بدست می‌آوریم. نرم افزار با محاسبه مقدار رابطه (۴) برای هر سلول سطح مورد نظر و میانگین‌گیری از آن‌ها مقدار متوسط انرژی سطح را مشخص می‌کند. در نهایت درصد استهلاك انرژی که با صرف‌نظر از استهلاك کف مربوط به عملکرد بلوک‌ها می‌شود، از رابطه (۵) به دست می‌آید:

$$\Delta E = \frac{E_A - E_B}{E_A} \times 100 \quad (5)$$

جدول ۵ نوع رژیم آزمایش‌ها به ازای $Fr=3.5$

Fr = 3.5				
NO.	S	S1	S2	regime
Model 1	1.0	1.6	2.2	DSJ
Model 2	1.0	0.5	1.0	Bistable
Model 3	1.0	2.2	2.7	DSJ
Model 4	1.0	1.0	1.9	Bistable
Model 5	1.0	0.3	0.9	RWJ
Model 6	1.0	1.4	2.3	DSJ
Model 7	1.0	2.6	2.6	DSJ
Model 8	1.0	0.8	1.3	Bistable
Model 9	1.0	3.6	3.1	DSJ
Model 10	1.0	1.6	2.2	DSJ
Model 11	1.0	0.5	1.0	Bistable
Model 12	1.0	2.2	2.7	DSJ
Model 13	1.0	1.0	1.9	Bistable
Model 14	1.0	0.3	0.9	RWJ
Model 15	1.0	1.4	2.3	DSJ
Model 16	1.0	2.6	2.6	DSJ
Model 17	1.0	0.8	1.3	Bistable
Model 18	1.0	3.6	3.1	DSJ

Table 5 Regime of each model in $Fr=3.5$

در این مطالعه برای هر آزمایش مقدار انرژی در دو مقطع A و B مطابق شکل (۲) به ترتیب در مقطع ورودی جت (مقطع بازشدگی زیر دریچه) و در فاصله ۳ متر از دریچه محاسبه شده است؛ که به ترتیب انرژی جت ورودی (E_A) و انرژی جریان بعد از عبور از بلوک‌ها (E_B) را مشخص می‌کنند. در نظر گرفتن این روش برای محاسبه استهلاك انرژی به این دلیل است که جت ورودی که از زیر دریچه وارد می‌شود، به شکل جریان یکنواخت است که تمام خطوط جریان بعد از پرش و حرکت در مسیر گردابه‌ها در فاصله‌ای از پایین‌دست دوباره به شکل جریان یکنواخت در می‌آیند. بنابراین با محاسبه انرژی جریان در این دو مقطع و محاسبه اختلاف آن، مقدار انرژی که در آن فاصله تحت جریان آشفته ناشی از بلوک‌ها مستهلك شده است بدست می‌آید.

انرژی سیال شامل انرژی جنبشی و پتانسیل و فشاری است که در سیالات این انرژی‌ها را بر حسب هد آنها (ارتفاع ستون مایع) تعیین می‌کنند و مجموع سه انرژی (بر حسب هد)، (H) عبارت است از [2]:

$$H = \frac{v^2}{2g} + Z + \frac{p}{\rho g} \quad (4)$$

۴-۱- بررسی تاثیر شکل بلوک ها

بازشدگی دریچه می توان شرایط عدد فرود بالاتر را تأمین نمود.

۴-۳- بررسی تاثیر فاصله بلوک ها از دریچه

به منظور تعیین تأثیر این پارامتر، مدل ها برای سه x_b برابر ۱۹/۱، ۹/۵ و ۴۰ ساخته شد که نتایج آن مطابق شکل (۱۰) است. مشاهده می شود که به ازای هر x_b نمودار شکل پله ای پیدا کرده است. دلیل این امر تغییر عدد فرود در مدل ها است که پیشتر در مورد آن بحث شد. با افزایش فاصله بلوک ها از دریچه شیب جت افزایش یافته، گردابه بالادست ضعیف تر شده و سطح آب صاف تر می شود و انتظار می رود که درصد استهلاک انرژی نیز کاهش یابد؛ اما دیده می شود که در برخی نقاط این انتظار عملی نشده است. دلیل این امر رژیم جریان ایجاد شده است. برای نمونه دومین موقعیت از سمت چپ در شکل (۱۰) شرایط جریان به ازای فرود ۴/۵۹ و ارتفاع بلوک ۱/۵ سانتی متر را برای سه x_b نشان می دهد. از آنجا که قرارگیری بلوک ها در $x_b=9.5$ (cm) در این شرایط منجر به تشکیل رژیم RWJ می شود (Run 5)، به همین دلیل کمترین درصد استهلاک نیز در این آزمایش بر معلوم است، هر چند که بلوک ها در محل نزدیک تری قرار گرفته اند. برای سایر قسمت ها این تفسیر حکم فرما است. بنابراین محل قرارگیری بلوک ها طوری باید تعیین شود، که علاوه بر عامل مثبت تأثیر نزدیکی به دریچه، نوع رژیم ایجاد شده نیز در نظر گرفته شود.

۴-۴- بررسی تاثیر ارتفاع بلوک ها

در این مطالعه سه ارتفاع بلوک برابر ۱/۵، ۳/۸ و ۵ سانتی متر در نظر گرفته شده است. این مقادیر با توجه به اندازه بازشدگی دریچه ($y_1=1.91$ cm) انتخاب شده اند؛ بطوری که تأثیر ارتفاع بلوک ها در حالتی که کمتر و بیشتر از ضخامت جت ورودی هستند، دیده شود. مطابق شکل (۱۱) و همان گونه که حبیب زاده و راجاراتنام (۲۰۱۲) در مطالعات خود اشاره کردند، ارتفاع بلوک ها کمترین تأثیر را بر روی استهلاک انرژی دارند [8]. در رژیم DSJ، جت فوق بحرانی با رسیدن به بلوک ها به سطح آب منحرف می شود؛ به این معنا که بلوک ها نقش

مطابق شکل (۴) در این پژوهش دو شکل برای مقطع بلوک های میانی در نظر گرفته شده که عمده تفاوت آنها مربوط به وجود یا عدم وجود شیب در پشت بلوک ها است. مطابق شکل (۸) انطباق دو نمودار مربوط به دو شکل بررسی شده نشان دهنده آن است که دو شکل مورد بررسی تأثیر چندانی بر درصد استهلاک انرژی نمی گذارد. از آنجا که تفاوت این دو شکل در شیب وجه پشتی بلوک ها است و آن قسمت از بلوک ها کمترین تأثیر روی جریان ورودی اصلی را دارد، بنابراین عدم تفاوت در میزان استهلاک انرژی معقول است.

از این رو می توان از تأثیر این پارامتر روی استهلاک انرژی چشم پوشی کرد و در بررسی پارامترهای دیگر اثر این پارامتر را نادیده گرفت. تنها تفاوت که برای این دو شکل می توان بیان نمود، ناحیه جدانشدگی پشت بلوک ها است. در بلوک های استاندارد به علت وجود شیب در ناحیه پشت بلوک ها و انطباق خطوط جریان بر آن احتمال ایجاد جدانشدگی و کاویتاسیون کاهش می یابد که این مزیت طراحی را بهبود می بخشد.

۴-۲- بررسی تاثیر عدد فرود مقطع ورودی جت

به منظور تعیین تأثیر عدد فرود مقطع ورودی جت بر استهلاک انرژی ۱۸ مدل برای هر سه عدد فرود گفته شده بررسی شده است. شکل (۹) نتایج استهلاک انرژی را برای سه عدد فرود متفاوت نشان می دهد. مطابق مشاهدات صورت گرفته عدد فرود مؤثرترین عامل روی استهلاک انرژی است. همان گونه که دیده می شود، با افزایش عدد فرود استهلاک انرژی افزایش می یابد؛ به طوری که به ازای یک واحد عدد فرود حدود ۱۰٪ استهلاک انرژی افزایش می یابد. دلیل این امر این است که با بالا رفتن عدد فرود، آشفتگی جریان بیشتر شده و گردابه هایی که شکل می گیرد با قدرت بیشتر جریان را تحت تأثیر قرار می دهند. این امر نشان دهنده مؤثرتر بودن بلوک های میانی در اعداد فرود بالا و آشفتگی بیشتر است. از این رو برای بهبود کارایی بلوک ها برای دبی مشخص طراحی، با کاهش

آزمایشگاهی حبیبزاده و راجاراتنام (۲۰۱۲) تطابق دارد [8]. آدامز و همکاران (۱۹۷۱) نیز برای پرش آزاد به نتیجه مشابهی رسیدند، به طوری که مشاهده کردند که در پرش آزاد همراه بلوک، تاثیر افزایش ارتفاع بلوک ها بعد از یک ارتفاع مشخص باعث افزایش نیروی درگ نمی شود [12].

در شکل های (۸، ۱۰ و ۱۱) دیده می شود که نمودارها به شکل سه پله دیده می شوند. دلیل این امر در نظر گرفتن سه عدد فرود مختلف بوده که در واقع هر پله مربوط به آزمایش های در یک عدد فرود مشخص است. این امر تاثیر بارز عدد فرود جت ورودی را اثبات می کند؛ به طوری که تمام مدل ها با عدد فرود مشابه تقریباً منجر به استهلاك انرژی نزدیک به هم می شوند. با این حال در برخی آزمایش ها شاهد افت شدید درصد استهلاك انرژی هستیم. دلیل این افت شکل گیری رژیم RWJ تحت شرایط هندسی و هیدرولیکی قید شده برای آن مدل است که این امر مهمترین علت ایجاد رفتارهای نوسانی در نمودارهای بالا است .

منحرف کننده دارند. نتیجه آنکه در حالتی که ارتفاع بزرگتر از ضخامت جت باشد، تاثیر چندانی روی جریان نخواهد گذاشت و میزان استهلاك انرژی کمتر از ۵٪ تغییر می کند. در حالتی که ارتفاع بلوک ها کمتر از ضخامت جت ورودی باشد، قدرت بلوک ها برای انحراف جریان کاهش یافته و احتمال ایجاد رژیم DSJ کاهش می یابد و جریان به شکل RWJ و یا دوپایا در می آید که استهلاك کمتر را در پی دارد.

تفاوت مقدار استهلاك انرژی در حالت DSJ و RWJ به دلیل تفاوت در چگونگی استهلاك در این دو روش است. میزان استهلاك به میزان آشفتگی ایجاد شده بستگی دارد. در رژیم DSJ در اثر برخورد جت منحرف شده به سطح آب آشفتگی بیشتری نسبت به گردابه بوجود آمده بین بلوک و دریچه ایجاد می شود. همچنین ناحیه جریان چرخشی در استهلاك انرژی مشارکت می کند. به علاوه دیده شده است که جت منحنی شکل به نسبت جت مستقیم جریان بیشتری را تحت تاثیر قرار می دهد که این باعث اختلاط بیشتر جریان و استهلاك بیشتر می شود [3]. این نتایج با مشاهدات و نتایج

شکل ۸. تاثیر شکل بلوکها بر استهلاك انرژی

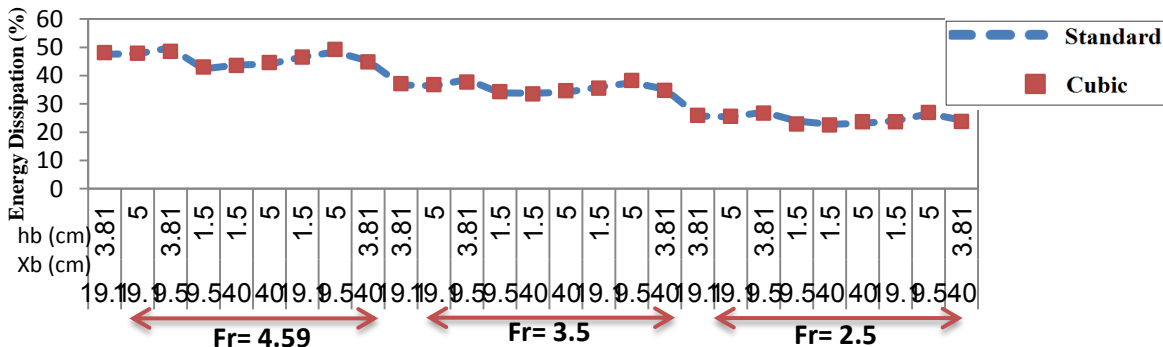


Fig. 8. Effect of block's shape on energy dissipation

شکل ۹. تاثیر عدد فرود مقطع زیر دریچه بر استهلاك انرژی

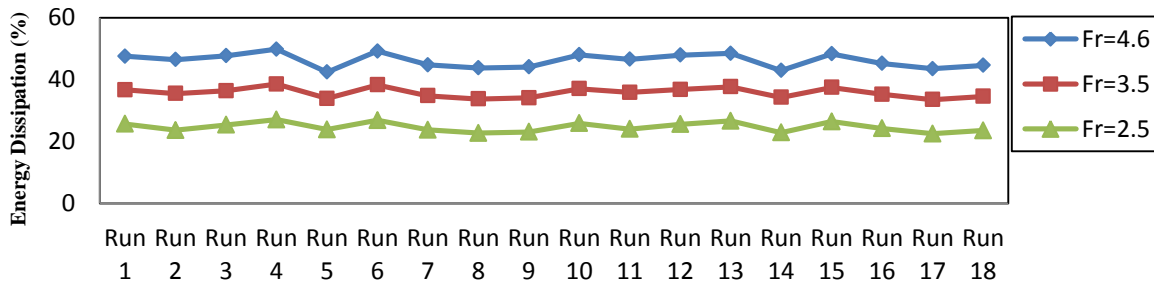


Fig. 9. Effect of entrance section Froude number on energy dissipation

شکل ۱۰. تأثیر فاصله بلوکها از دریچه بر استهلاك انرژی

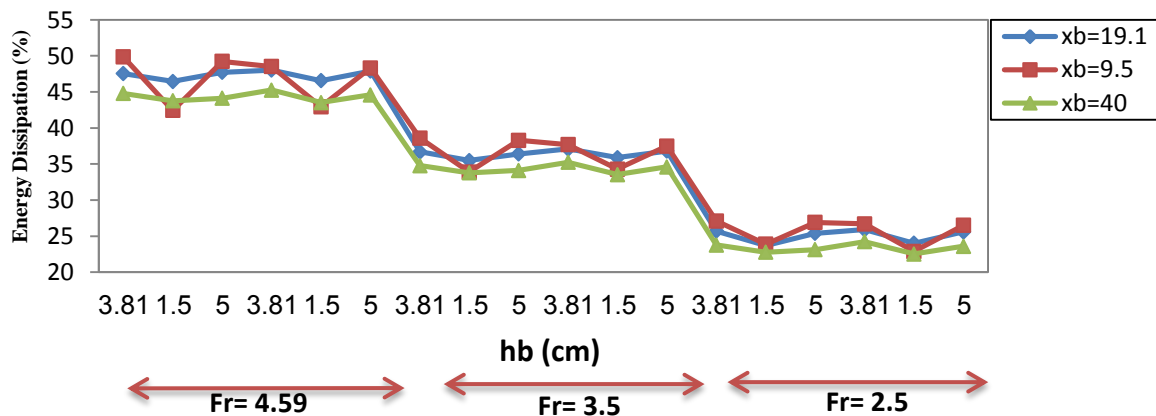


Fig. 10. Effect of block's distance from sluice gate on energy dissipation

شکل ۱۱. تأثیر ارتفاع بلوکها بر استهلاك انرژی

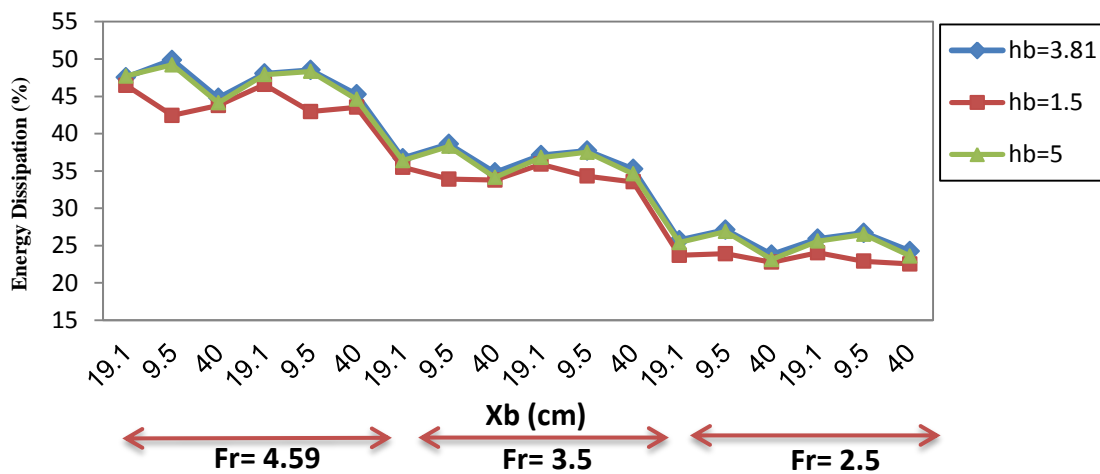


Fig. 11. Effect of block's height on energy dissipation

بلوکها و انطباق خطوط جریان بر آن احتمال ایجاد جداشدگی و کاویتاسیون کاهش می یابد که این مزیت طراحی را بهبود می بخشد.

- در حالتی که ارتفاع بلوکها بزرگتر از ضخامت جت ورودی باشد، افزایش ارتفاع تأثیر چندانی روی جریان نخواهد گذاشت و میزان استهلاك انرژی کمتر از ۵٪ تغییر می کند.

- عدد فرود مقطع بازشدگی دریچه مهم ترین عامل در استهلاك انرژی به شمار می آید؛ به طوری که به ازای یک واحد عدد فرود حدود ۱۰٪ استهلاك انرژی افزایش می یابد.

- با کم شدن فاصله بلوکها از دریچه ورودی، درصد استهلاك انرژی زیاد می شود؛ مشروط به اینکه شرایط هیدرولیکی و

۵- نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی تأثیر پارامترهای فاصله بلوکها از دریچه، ارتفاع بلوکها، شکل بلوکها و عدد فرود جت ورودی روی استهلاك انرژی ناشی از بلوکهای میانی حوضچه آرامش پرداخته شد و نتایج زیر به دست آمد.

- مدل عددی حاضر توانایی پیش بینی رژیم جریان در شرایط پایدار DSJ و RWJ را دارد؛ در حالی که به دلیل در نظر نگرفتن تغییرات زمانی، توانایی شناسایی شرایط دوپایا را ندارد.

- شیب وجه پشتی بلوکها و همچنین ارتفاع بلوکها کمترین تأثیر را بر روی درصد استهلاك انرژی دارند.

- در بلوکهای استاندارد به علت وجود شیب در ناحیه پشت

- [4] Verma, D. and A. Goel 2000 Stilling basins for pipe outlets using wedge-shaped splitter block, *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 126(3): 179-184
- [5] Bessaih, N. and A. B. A. Rezak 2002 Effect of baffle block with sloping front face on the length of the jump. *Journal of Civil Engineering, The Institution of Engineers Bangladesh*, Vol. CE 30, No-2.
- [6] Long, D., P. Steffler and N. Rajaratnam 1990 LDA study of flow structure in submerged hydraulic jump, *Journal of Hydraulic Research* 28(4): 437-460.
- [7] Long, D., P. M. Steffler and N. Rajaratnam 1991 A numerical study of submerged hydraulic jumps, *Journal of Hydraulic Research* 29(3): 293-308.
- [8] Habibzadeh, A., M. Loewen and N. Rajaratnam 2012 Performance of baffle blocks in submerged hydraulic jumps, *Journal of Hydraulic Engineering* 138(10): 902-908.
- [9] Jafari, F., & Salehi Neyshabouri, S. 2014 Numerical Study of Performance of Baffle Blocks in Submerged Hydraulic Jumps, *Modares Civil Engineering journal*, 14(20), 37-47. (In Persian)
- [10] FLUENT.Inc. (2006). Version 6.3.2. User Manual.
- [11] Habibzadeh, A., M. Loewen and N. Rajaratnam 2011 Some observations on submerged hydraulic jumps with blocks, *Proceedings of the 34th IAHR World Congress*, Australia
- [12] Basco, D.R. and Adams, J. R. 1971 Drag Force on Baffle Block in Hydraulic Jump, *Journal of Hydraulic Division, ASCE*, 97: 2023- 2035.

هندسی منجر به ایجاد رژیم DSJ شوند.

- بلوک‌ها در رژیم DSJ تأثیر بیشتری روی جریان می‌گذارند و موجب آشفتنگی بیشتر و در نتیجه استهلاک بیشتر انرژی می‌شوند. به عبارت دیگر کارایی بلوک‌های میانی در شرایط رژیم DSJ از نظر استهلاک انرژی بالاتر است.

- در پایان می‌توان گفت که در حالت پرش مستغرق تأثیر بلوک‌ها بیشتر روی شکل‌گیری نوع رژیم جریان است. بنابراین باید ابعاد بلوک‌ها و سایر مشخصات هندسی طراحی طوری انتخاب شوند که رژیم پایدار DSJ ایجاد شده و عملکرد مورد انتظار از نظر استهلاک انرژی را برآورده کند.

References

۶- مراجع

- [1] Habibzadeh, A., S. Wu, F. Ade, N. Rajaratnam and M. Loewen 2011 Exploratory study of submerged hydraulic jumps with blocks, *Journal of Hydraulic Engineering* 137(6): 706-710.
- [2] Abrishami, J., Hosseini, s., *Open Channel Hydraulics*, Astan Ghods Razavi (In Persian)
- [3] Eloubaidy, A. F., J. Al-Baidhani and A. H. Ghazali 1999 Dissipation of hydraulic energy by curved baffle blocks, *Pertanika Journal of Science & Technology* 7(1): 69-77

Numerical study of effective parameters on energy dissipation of baffle blocks in submerged hydraulic jumps

Fatemeh Jafari¹, S. Ali Akbar Salehi Neyshabouri^{2*}

1- MSc. Student of Hydraulic Engineering, Faculty of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares University

2- Prof., Hydraulic Structures Eng. Dept., Faculty of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares University

*Salehi@modares.ac.ir

Abstract:

The hydraulic jump takes place in both natural and manufactured systems. As it can be seen in streams, rivers and water distribution and irrigation networks formed downstream of hydraulic structures such as spillways, sluice gates, and drops. Generally, it is necessary to construct special structures downstream of flow in order to prevent damage caused by the high energy of water in supercritical velocities and also to dissipate the extra kinetic energy of hydraulic jumps. Stilling basin is one of these structures which is constructed downstream of spillways or waterfalls. Baffle blocks are often used to stabilize the jump, decrease its length and increase the energy dissipation. In order to make stilling basin with its dissipating equipment effective, the design should be in a way that the tailwater depth becomes greater than or equal to the sequent depth, otherwise, the jump doesn't occur completely and will be swept out of the basin, resulting in scour of the downstream channel. If the flow rates become more than the design discharge, the tailwater depth will be greater than the one required for a free hydraulic jump. These situations are common in low head hydraulic structures including low diversion dam spillways and gates. Under such conditions, the hydraulic jump will be submerged. For submerged hydraulic jumps with blocks, two different types of flow have been observed, the deflected surface jet regime (DSJ) and reattaching wall jet regime (RWJ). There was also a transition state in which the flow could be changed from one state to the other by some external disturbance. In this article, a numerical study was conducted to investigate the influence of some parameters, consist of block height and shape, Froude number and distance of blocks from the gate, on the performance of submerged hydraulic jumps with blocks as energy dissipators. 3D RANS simulations have been applied by Fluent software. RSM turbulence model was used which illustrated much precise results in verification. In total fifty-four models with different geometrical and hydraulic situation according to the four mentioned parameters have been created and the percentage of dissipating energy is presented in each case to find the most effective condition. It was observed that the Froude number is the most important factor in the study of dissipating energy; such that the percentage of dissipating energy increases almost ten percent per one unit raise in Froude number. Furthermore, the existence of a slope at the back of blocks does not have an effect on energy dissipating, but it can be implemented to avoid cavitation. In addition, the percentage of dissipating energy goes up as the blocks are mounted closer to the gate and also provided the condition which leads to the deflected surface jet regime. The more turbulence in the deflected surface jet regime makes the desirable condition in which baffle blocks perform more efficiently as energy dissipators in comparison to reattaching wall jet regime. Finally, it can be concluded that for effective energy dissipation, block dimensions and all conditions should be provided in a way to form submerged hydraulic jump as the deflected surface jet regime.

Keywords: Energy dissipation, submerged hydraulic jumps, baffle blocks, numerical simulations, stilling basin.