

بررسی تأثیر بلوک های میانی حوضچه آرامش بر الگوی جریان در حالت پرش هیدرولیکی مستغرق

فاطمه جعفری^۱، سید علی اکبر صالحی نیشابوری^۲

۱- کارشناسی ارشد-دانشگاه تربیت مدرس

۲- استاد - دانشگاه تربیت مدرس - پژوهشکده مهندسی آب

salehi@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۳/۲/۱۱]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۲/۱/۲۳]

چکیده- در این مقاله به بررسی عددی گردابه‌های به وجود آمده و مقدار چرخش در پرش هیدرولیکی مستغرق شکل گرفته در حوضچه آرامش بدون و با بلوک‌های میانی پرداخته شده است. پرش هیدرولیکی مستغرق تحت تأثیر بلوک‌های میانی حوضچه آرامش، به صورت دو نوع رژیم اتفاق می‌افتد؛ جریان منحرف شده به سطح یا به‌گونه مختصر رژیم (DSJ)، به صورت جت دیواره‌ای دوباره متصل شوند. و یا به‌گونه مختصر رژیم (RWJ). در مطالعه حاضر از نرم افزار فلونت برای شبیه سازی 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 صحت سنجی نتایج بهتری تولید کرد. مقایسه برای سه مدل به ترتیب در شرایط پرش هیدرولیکی بدون بلوک به شکل جت دیواره ای مستغرق، پرش هیدرولیکی مستغرق در شرایط رژیم DSJ و پرش هیدرولیکی مستغرق در شرایط رژیم RWJ انجام گرفته و گردابه‌های شکل گرفته حول سه محور X, Y و Z و مقدار چرخش بررسی شده است. نتایج بیانگر این است که گردابه‌هایی که حول محور Z ها در گردش هستند، با توجه به قدرت و ابعاد بزرگتری که دارند، رژیم اصلی جریان را تعیین می‌کنند. این گردابه‌ها در رژیم DSJ قوی‌تر بوده و باعث استهلاك بیشتر انرژی می‌شوند.

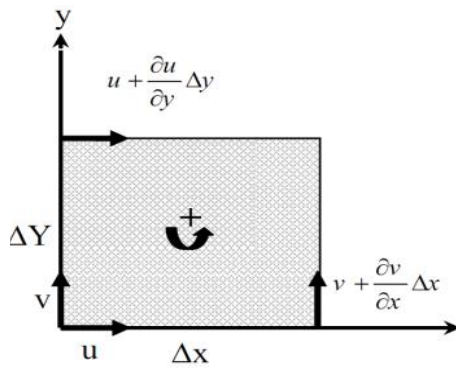
واژگان کلیدی: استهلاك انرژی، پرش هیدرولیکی مستغرق، بلوک‌های میانی، حوضچه آرامش، شبیه سازی عددی.

۱- مقدمه

بلوک‌های میانی از جمله سازه‌های عرضی در حوضچه آرامش هستند که برای پایدار ساختن پرش، کوتاه کردن طول آن و استهلاك بیشتر انرژی، به کارگرفته می‌شوند. عملکرد این بلوک‌ها در پرش مستغرق متفاوت از پرش آزاد است. در واقع در حالت پرش مستغرق تأثیر بلوک‌ها بیشتر بر روی شکل گیری نوع رژیم است تا روی کارایی استهلاك انرژی. به طوری که در این حالت جریان می‌تواند به صورت دو نوع رژیم اتفاق بیفتد؛

پرش هیدرولیکی در شبکه‌های آبیاری و توزیع آب، در پایین دست سازه‌های هیدرولیکی مانند سرریزها و دریچه‌ها اتفاق می‌افتد. 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.

در این رابطه ω_z مقدار چرخش حول محور Z ، u سرعت در جهت X و v سرعت در جهت Y است. [۲]



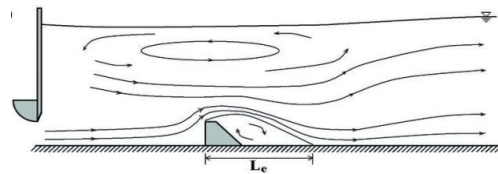
شکل (۲) دیاگرام چرخش یک سلول حول محور عمود بر صفحه [۲]

تاکنون مطالعه‌های 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 انجام داده‌اند. 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. [۳]

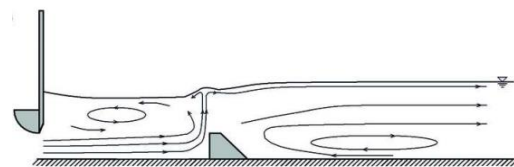
ورما و همکاران (۲۰۰۰) آزمایش‌های خود را برای یافتن حوضچه آرامش اقتصادی برای خروجی‌های دایره‌ای شکل انجام دادند. در این مطالعه مشخص شد که بلوک‌های گوه‌ای شکل شکافنده با زاویه راس ۱۵۰ درجه بهترین عملکرد را در پخش کردن جت آب روی پهنای حوضچه آرامش در طول کوتاهتری دارند. [۴]

رزاک و همکاران (۲۰۰۲) اثر بلوک‌های میانی با وجه جلویی شیبدار را روی طول پرش هیدرولیکی به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. 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. [۵]

جریان منحرف شده به سطح (DSJ) و یا به صورت جت دیواره‌ای دوباره متصل شونده (RWJ) شکل (۱) الگوی جریان دو رژیم را نمایش می‌دهد. [۱]



الف) رژیم جت دیواره‌ای دوباره متصل شونده (RWJ)



ب) رژیم جریان منحرف شده به سطح (DSJ)

شکل (۱) الگوی جریان [۱]

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 وضعیت و موقعیت بلوک‌ها دارد. [۱]

در شناسایی هیدرودینامیک جریان در شرایط فوق، شناسایی گردابه‌های به وجود آمده و مقدار چرخش^۳ به خصوص در نزدیک بلوک‌های میانی، می‌تواند نقش تعیین کننده‌ای داشته باشد. در واقع معیار بررسی قدرت گردابه‌ها پارامتری به نام چرخش است. طبق تعریف و با توجه به شکل (۲)، نرخ خالص چرخش پادساعتگرد یک سلول به ابعاد $\Delta x \times \Delta y$ حول محور عمود بر صفحه (متوسط) مجموع چرخش وجوه Δx و Δy ، چرخش نامیده می‌شود و به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$\omega_z = \frac{1}{\Delta y} \left(\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (1)$$

۱. Deflected Surface Jet

۲. Reattaching Wall Jet

۳. Vorticity

تعیین قدرت گردابه‌های ایجاد شده، حول هر سه محور x, y, z پرداخته شده است.

۲- روش تحقیق ۱-۲- مدل عددی

برای بررسی عددی این مطالعه، از نرم افزار FLUENT 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 می‌کند. [۹]

۲-۲- هندسه و شرایط مرزی میدان جریان

نتایج آزمایشگاهی حیپزاده و همکاران (۲۰۱۲) معیار سنجش نتایج عددی قرار گرفت و هندسه میدان جریان به صورتی ترسیم شد که بیشترین تطابق را با این مدل آزمایشگاهی داشته باشد. آزمایش‌های حیپزاده و راجاراتنام (۲۰۱۲)، در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آلبرتا انجام شده است. اندازه‌گیری‌ها در یک فلوم به عرض $0/467$ متر، ارتفاع $0/60$ متر، و طول $7/5$ متر و با بستر آلومینیومی و دیواره شیشه ای انجام شده است. در انتهای پایین دست مخزن هادی یک دریچه با بازشدگی $1/9 = \gamma_1$ سانتی‌متر قرار داده شده است. لبه‌های دریچه منطبق بر خطوط جریان به شکل ربع استوانه با قطر 20 سانتی‌متر است تا انقباض جریان را کاهش دهد و یک جریان فوق بحرانی یکنواخت فراهم شود. یک دریچه در انتهای پایین دست قرار داده شده است تا عمق پایاب قابل کنترل باشد. بلوک‌ها در فاصله $19/1$ سانتی‌متری از دریچه قرار گرفته‌اند. [۹] در مطالعه حاضر برای صرفه‌جویی در وقت تنها سه متر ابتدای کانال شبیه سازی شده است. همچنین برای تسریع در حل عددی، میدان حل با توجه به تقارن موجود، کوچکتر در نظر گرفته شد و حل برای ۳ بلوک انجام شد. سه نوع مدل سازی به ترتیب در شرایط پرش هیدرولیکی بدون بلوک به شکل جت دیواره‌ای، پرش هیدرولیکی همراه با بلوک در شرایط رژیم DSJ و پرش هیدرولیکی همراه با بلوک در شرایط رژیم RWJ انجام گرفته است. شکل شماتیک از هندسه کانال و بلوک‌ها و

همچنین پرش هیدرولیکی مستغرق به عنوان لانگ و همکاران در سال ۱۹۹۰ به بررسی گردابه‌های به وجود آمده در سطح آب در کنار دریچه در پرش هیدرولیکی مستغرق و اهمیت آنها پرداختند. نتایج نشان می‌دهد که حرکت این گردابه‌ها از سطح آب تا مرکز لایه برشی گسترده شده است. تحت تأثیر این گردابه‌ها، مقیاس طولی b که متناظر با عمق دارای سرعت $u_{m/2}$ است، در کناره دیواره‌ها بیشتر از مقدار آن در نزدیکی صفحه مرکزی است. به این پدیده صعود جت دیواره‌ای در نزدیکی دیواره‌ها گفته می‌شود. [۶]

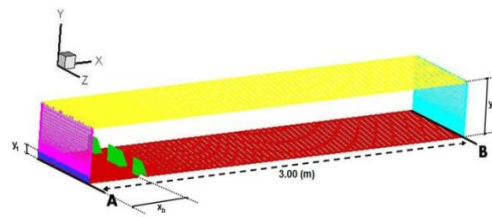
لانگ و همکاران (۱۹۹۱) همچنین به شبیه سازی عددی پرش هیدرولیکی با استفاده از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ پرداختند. ایشان با مقایسه پروفیل سرعت عددی و آزمایشگاهی مشاهده کردند که نتایج در ناحیه جت دیواره‌ای تطابق خوبی دارند، ولی در قسمت ناحیه برگشتی دارای اختلاف می‌باشند. دلیل این امر را پخش عمودی بیش از اندازه‌ای می‌دانند که در مدل عددی اتفاق می‌افتد. [۷]

عملکرد بلوک‌های میانی در حالت پرش مستغرق کمتر مورد توجه بوده است. تنها مطالعه در این زمینه تاکنون به وسیله‌ی حیپزاده و راجاراتنام (۲۰۱۲) صورت گرفته است. مهم‌ترین هدف مطالعه آنها تعیین شرایطی است که با آن بلوک‌ها تحت پرش هیدرولیکی مستغرق بهترین عملکرد را داشته باشند. آنها دریافتند که اگر پرش به صورت مستغرق اتفاق بیافتد، عملکرد بلوک‌ها تغییر می‌کند. در هر صورت، جریان تنها به صورت دو نوع رژیم اتفاق بیافتد؛ جریان منحرف شده به سطح (DSJ) و یا به صورت جت دیواره‌ای 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 وضعیت و موقعیت بلوک‌ها دارد. همچنین بلوک‌ها در رژیم DSJ تأثیر و عملکرد بهتری دارند، و تنش وارد به کف در پایین دست بلوک‌ها در این نوع رژیم به نسبت رژیم RWJ کمتر است. [۸]

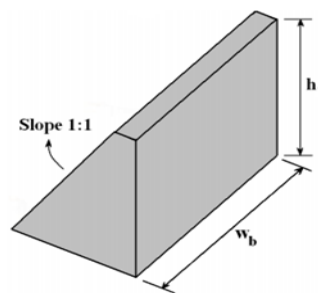
در این پژوهش با شبیه سازی جریان پرش مستغرق همراه با بلوک‌های میانی در حوضچه آرامش به

برای تکمیل فرایند آماده سازی مدل عددی و همگرایی بهتر حل، از طرح PRESTO برای گسسته سازی فشار، الگوریتم SIMPLE برای کوپل کردن سرعت و فشار و به دلیل وجود جریان های بازگشتی طرح QUICK برای انفصال جملات جابه جایی معادلات مونتوم و آشفتگی استفاده شد. در شبیه سازی، شرایط مرزی ورودی و خروجی Velocity-Inlet و Outflow و برای بلوک ها، دریچه و بستر کانال شرط مرزی دیواره در نظر گرفته شد. با توجه به تغییرات ناچیز سطح آب و برای صرفه جویی در وقت، در این پژوهش از شرط مرزی تقارن برای سطح آب استفاده شده است و شبیه سازی به صورت یک فازه در نظر گرفته شد. با این فرض، تنش برشی و شار تمام کمیت ها در این سطح برابر با صفر در نظر گرفته شده همچنین میدان حل با شرط مرزی تقارن در دیواره ها کوچک تر در نظر گرفته شد.

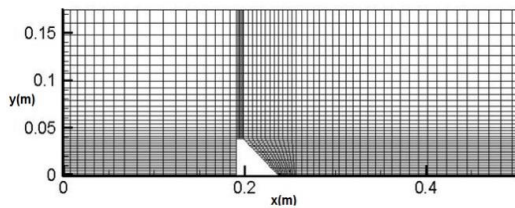
مشخصات مدل های عددی به ترتیب در شکل (۳)، شکل (۴) و جدول (۱) ارائه شده است.



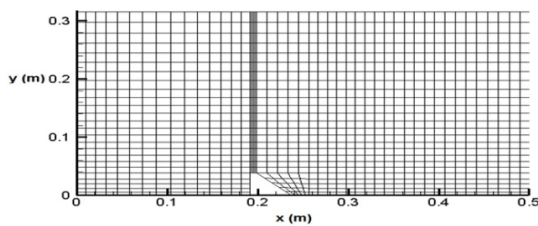
شکل (۳) مشخصات هندسی مدل



شکل (۴) مشخصات بلوک ها [۸]



شکل (۵) شبکه بندی میدان حل برای رژیم DSI



شکل (۶) شبکه بندی میدان حل برای رژیم RWJ

جدول (۱) مشخصات مدل های عددی مطالعه حاضر

پارامتر	علامت	واحد	پرش مستغرق بدون بلوک	رژیم DSJ	رژیم RWJ
عرض کانال	B	cm	46.7	46.7	46.7
فاصله بلوک ها از دریچه	x_b	cm	---	19.1	19.1
ارتفاع بلوک ها	h_b	cm	---	3.81	3.81
عرض بلوک ها	w_b	cm	---	4.5	4.5
فاصله بین بلوک ها	s_b	cm	---	4.5	4.5
بازشدگی دریچه	y_1	cm	1.91	1.91	1.91
سرعت زیر دریچه	U_1	m/s	1.98	2	1.98
عدد فرود در مقطع دریچه	F_1		4.59	4.63	4.59
عمق پایاب	y_t	cm	17.4	17.4	31.6

۳- کنترل مقدماتی نتایج مدل عددی

مطابق شکل (۷) پروفیل مؤلفه افقی سرعت به دست آمده از مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی جیب زاده و همکاران (۲۰۱۱) مقایسه شده است. [۱۱] نتایج نشان داد که با شرایط و فرضیات در نظر گرفته

برای ساخت هندسه مدل از نرم افزار GAMBIT استفاده شد. شکل (۵) و شکل (۶) شبکه بندی های انجام شده را نشان می دهند. مدل DSJ به دلیل وجود گردابه های بیشتر نیازمند شبکه بندی ریزتر است.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- بررسی الگوی جریان و گردابه‌های شکل گرفته حول سه محور مختصات

از جمله خصوصیات جریان پرش هیدرولیکی مستغرق همراه با بلوک‌های میانی گردابه‌هایی است که در مقاطع مختلف و حول محورهای متفاوت شکل گرفته و با ایجاد آشفتگی زیاد، استهلاک زیاد انرژی را که هدف اصلی به کارگیری این بلوک‌ها است، ممکن می‌کنند.

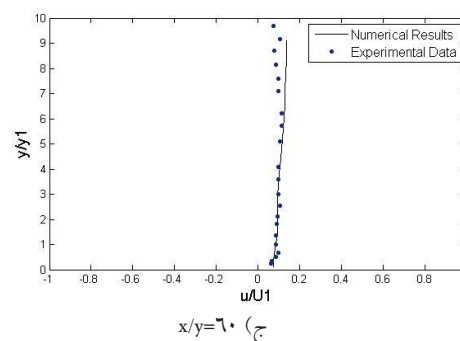
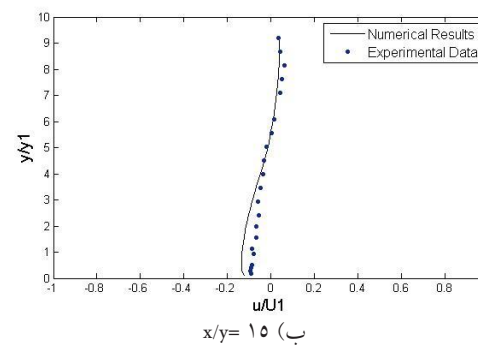
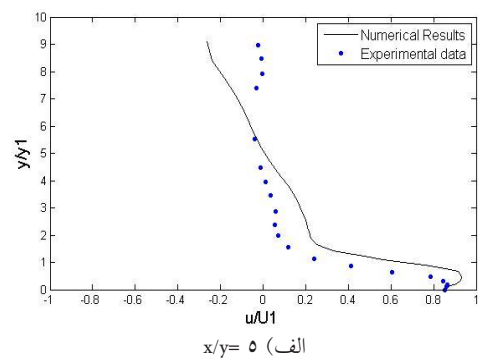
در این قسمت دسته گردابه‌ها در هر رژیم با توجه به محور گردش مشترک معرفی شده و قدرت آنها بررسی می‌شوند.

گروه اول گردابه‌هایی هستند که حول محور عرضی (z) در گردش است. شکل (۸)، گردابه‌های ایجاد شده در صفحه $Z=0$ به همراه خطوط هم تراز سرعت برای سه مدل ذکر شده در بالا را نشان می‌دهد.

در جریان جت دیواره‌ای مستغرق بدون بلوک، جریان فوق بحرانی که به صورت جت مستغرق از زیر دریچه وارد می‌شود، تحت تأثیر پرش هیدرولیکی مستغرق به جریان تحت بحرانی تبدیل می‌شود. جریان ورودی از دریچه بعد از طی مسافتی به سمت سطح آب متمایل می‌شود. یک گردابه بزرگ در نزدیکی سطح آب ایجاد می‌شود که تا فاصله $x/y_1 = 6$ کشیده می‌شود و با به چرخش درآوردن جریان باعث استهلاک انرژی می‌گردد. الگوی جریان ایجاد شده در این رژیم در شکل ۸- (الف) دیده می‌شود. این گردابه‌ها نسبت به سایر گردابه‌های این جریان ابعاد بزرگتر و قدرت بیشتری دارند و الگوی اصلی جریان و رژیم جریان شکل گرفته را مشخص می‌کنند. در جریان DSJ مطابق شکل ۸- (ب) در صفحه $Z=0$ جریان فوق بحرانی اصلی بعد از رسیدن به بلوک‌ها به سمت سطح آب منحرف می‌شود. نتیجه این تغییر جهت حدود 90° درجه، به وجود آمدن لایه برشی شدیدی در بالای بلوک‌ها است. 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

شده، تطابق خوبی بین نتایج عددی و آزمایشگاهی ایجاد شده است. همچنین 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.

بیشترین خطا مربوط به ناحیه بالادست بلوک‌ها است که به دلیل وجود گردابه و جریان برگشتی قوی در آن ناحیه ایجاد شده است. رفته رفته به سمت پایین دست کانال با کاهش آشفتگی جریان نتایج حل عددی تطابق بهتری با داده‌های آزمایشگاهی نشان داده است.

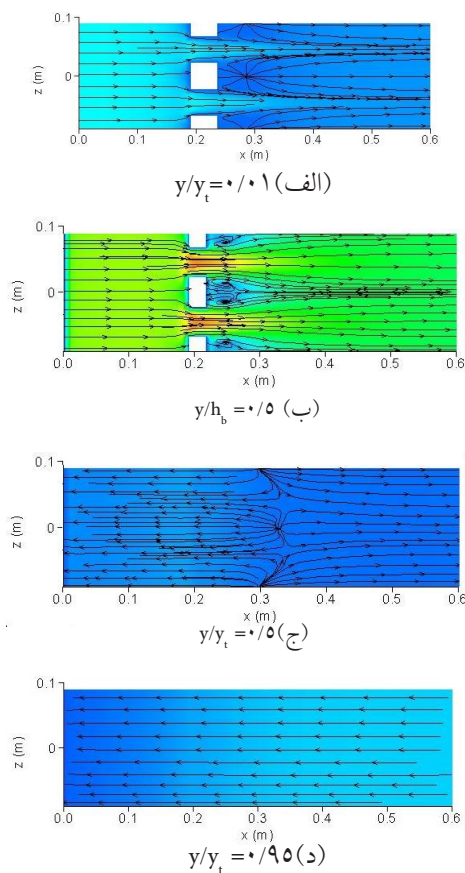


شکل (۷) پروفیل بی بعد شده مؤلفه افقی سرعت در وسط کانال DSJ در رژیم $(Z=0)$

بلوک‌ها به وجود می‌آید که تا حدود $x/y_t = 2/5$ 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 پشت بلوک‌ها ایجاد می‌کند. با افزایش عمق پایاب (بالا رفتن ضریب استغراق)، ارتفاع پرش کاهش پیدا می‌کند. برای استغراق زیاد، یعنی در رژیم RWJ، مطابق شکل ۸- (ج) جریان در صفحه مرکزی بلوک‌ها ($z=0$) ابتدا در بالای دست بلوک از بستر جدا می‌شود، سپس درست بعد از بلوک‌ها به بستر اصابت می‌کند.

مانند جت دیواره‌ای عمل می‌کند. جریان در رژیم RWJ شامل یک چرخشی نزدیک سطح آب است که به سمت پایین دست بلوک‌ها گسترش پیدا می‌کند. گردابه سطحی در رژیم RWJ تا فاصله پشت بلوک‌ها ایجاد می‌شود. در این رژیم جت فوق بحرانی در پایین دست بلوک‌ها رفتار مشابه جت دیواره‌ای مستغرق بدون بلوک دارد که نشان از آن دارد که بلوک‌ها تأثیر کمتری روی جریان در حالت رژیم RWJ می‌گذارند.

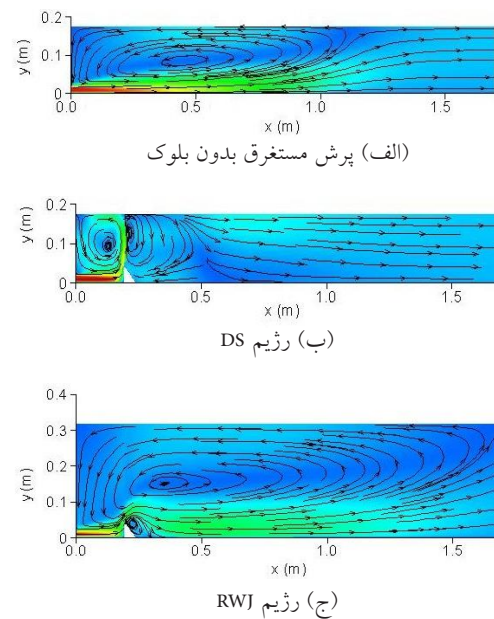
گروه دوم گردابه‌ها، آنهایی است که حول محور قائم (y) در حال چرخش است. برای شناخت بهتر این گردابه‌ها چهار مقطع به صورت نزدیک



شکل (۹) الگوی جریان و محل قرارگیری گردابه‌های حول محور y ها و خطوط هم تراز سرعت در رژیم RWJ

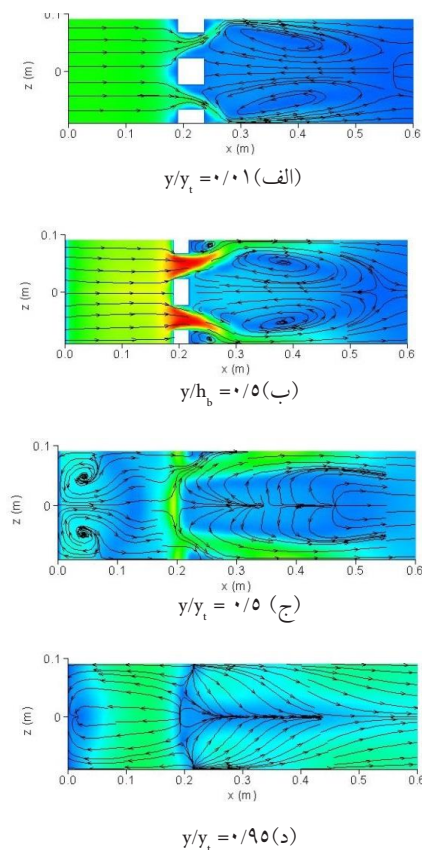
حالت رژیم RWJ می‌گذارند.

گروه دوم گردابه‌ها، آنهایی است که حول محور قائم (y) در حال چرخش است. برای شناخت بهتر این گردابه‌ها چهار مقطع به صورت نزدیک



شکل (۸) الگوی جریان و محل قرارگیری گردابه‌های حول محور z ها و خطوط هم تراز سرعت در صفحه $z=0$ (cm)

نشان داده نشده است. در واقع این جفت گردابه در رژیم RWJ در گوشه دریچه و در اثر جریان برگشتی و شرایط مرزی دریچه و دیواره‌های کناری که مانعی برای حرکت جریان است، به وجود می‌آید. از طرفی در این مطالعه برای سرعت بخشیدن به حل عددی، میدان حل با توجه به تقارنی که وجود دارد، تنها برای سه بلوک شبیه‌سازی شده و مرز کناری به صورت شرط مرزی تقارن در نظر گرفته شده است.



شکل (۱۰) الگوی جریان و محل قرارگیری گردابه‌های حول محور y ها و خطوط هم تراز سرعت در رژیم DSJ

به همین دلیل برای مشاهده جفت گردابه‌های به وجود آمده در رژیم RWJ باید کل عرض کانال و پنج بلوک شبیه‌سازی شود. این در حالی است که برای رژیم DSJ مشاهده متفاوت بوده است. شکل ۱۰- (ج) این جفت گردابه به وجود آمده را در رژیم DSJ نشان می‌دهد. در واقع در رژیم DSJ شرایط جریان متفاوت از جفت دیواره‌ای مستغرق بدون بلوک است.

این جریان با قدرتی که دارد مانع از گسترش زیاد گردابه‌های ناشی از دنباله پشت بلوک‌ها در هر سه جهت طولی، عمودی و عرضی می‌شود. در نتیجه انتظار می‌رود که ابعاد این گردابه‌ها به مراتب کمتر از گردابه‌های مشابه در رژیم DSJ باشد.

الگوی جریان در صفحه‌های موازی بستر در رژیم DSJ متفاوت از رژیم RWJ است. مطابق شکل (۱۰) در صفحه نزدیک بستر بر خلاف رژیم RWJ در پشت بلوک وسط جفت گردابه‌ها دیده می‌شوند. این تفاوت دو دلیل عمده می‌تواند داشته باشد: ۱- قدرت گردابه‌ها در رژیم DSJ بیشتر از رژیم RWJ بوده، در نتیجه انتظار تأثیر بیشتر را می‌توان داشت. ۲- در رژیم RWJ جریان مستقیم اصلی در پشت بلوک‌ها نقش جریان غالب را ایفا می‌کند، به طوری که همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد گسترش گردابه به وجود آمده در پشت بلوک‌ها را نیز محدود می‌کند؛ در صورتی که در رژیم DSJ این جریان بعد از رسیدن به بلوک‌ها به سمت سطح آب منحرف شده؛ از این رو کمترین تأثیر را روی دنباله به وجود آمده در پشت بلوک‌ها می‌گذارد. همچنین دیده می‌شود که در این صفحه تنها جفت گردابه پشت بلوک میانی شکل گرفته است و در پشت بلوک‌های کناری که در تقارن هم قرار دارند، به دلیل جریان قوی که از بین بلوک‌ها عبور کرده و به سمت آنها متمایل شده، هنوز گردابه‌ای شکل نگرفته است.

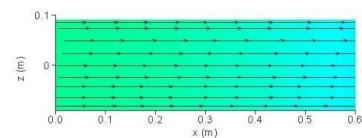
در صفحه $y/h_b = 0.5$ که در ارتفاع میانه بلوک‌ها واقع شده، شکل‌گیری دنباله در پشت همه بلوک‌ها دیده می‌شود. در این صفحه نیز می‌توان تأثیر جریان مستقیم را در ابعاد گردابه‌ها مشاهده نمود؛ به گونه‌ای که به دلیل متمایل شدن جریان به سمت بلوک‌های کناری گردابه‌ها محدودتر شده و نسبت به دنباله پشت بلوک میانی ابعاد کوچکتری دارند.

همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد مطابق نتایج آزمایشگاهی لانگ و همکاران (۱۹۹۱) روی پرش هیدرولیکی مستغرق، انتظار می‌رود که در شبیه‌سازی مطالعه حاضر در بالادست بلوک‌ها و در پشت دریچه جفت گردابه‌ای ایجاد شود. ولی مطابق شکل ۹ در رژیم RWJ مدل عددی حاضر این جفت گردابه

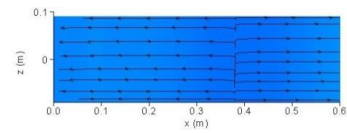
گروه سوم گردابه‌ها، آنهایی است که حول محور طولی X در حال چرخش است. سه مقطع بالادست بلوک‌ها $x/x_p = 0,5$ ، مقطع گذرنده از بلوک‌ها $x/x_p = 1$ و مقطع پشت بلوک‌ها $x/x_p = 1,3$ بررسی شده است. مطابق شکل (۱۲) در رژیم DSJ در بالادست بلوک‌ها در صفحه $x/x_p = 0,5$ در عمق حدود $y/y_t = 0,5$ (m) انقباض خطوط جریان قابل مشاهده است که تحت تأثیر گردابه قوی محور z ها در آن مقطع رخ می‌دهد. شکل ۱۲- (ب) مقطع گذرنده از بلوک‌ها را نشان می‌دهد که جریان با رسیدن به بلوک‌ها به سمت سطح آب منحرف شده است. در پشت بلوک‌ها نیز گردابه‌هایی حول محور x ها به وجود آمده است.

سه مقطع عرضی برای رژیم RWJ در شکل (۱۳) مشاهده می‌شود. در مقطع بلوک‌ها گذر جریان از روی بلوک‌ها دیده می‌شود و در پشت بلوک‌ها گردابه‌های ایجاد شده نشان داده شده است. وجود گردابه‌ها در صفحات عرضی پشت بلوک‌ها در دو رژیم نشان از وجود جریان عرضی بیشتر در آن نواحی دارد. مطابق شکل (۱۴) در شرایطی که پرش هیدرولیکی مستغرق بدون بلوک در کانال شکل گیرد، در مقاطع عرضی گردابه‌ای شکل نمی‌گیرد.

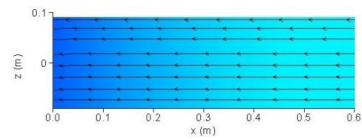
الگوی جریان در صفحات موازی بستر در شرایط پرش هیدرولیکی مستغرق بدون بلوک مطابق شکل (۱۱) است. در این شرایط حول محور y ها گردابه‌ای شکل نمی‌گیرد؛ چراکه این گردابه ناشی از قرار گرفتن مانع در برابر جریان است که به اصطلاح دنباله نامیده می‌شوند.



(الف) $y/y_t = 0,1$

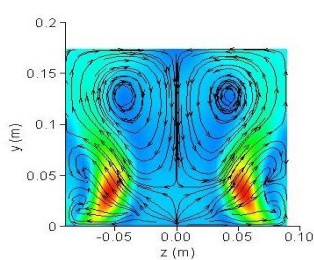


(ب) $y/y_t = 0,5$

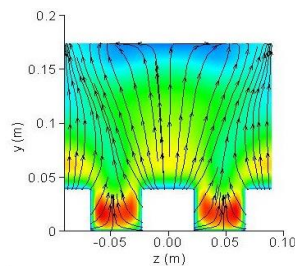


(ج) $y/y_t = 0,95$

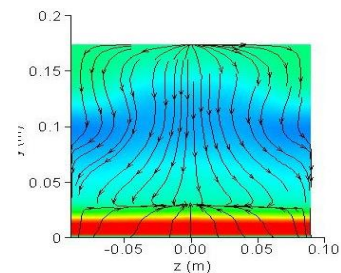
شکل (۱۱) الگوی جریان و خطوط هم تراز سرعت در پرش هیدرولیکی مستغرق بدون بلوک



(ج) $x/x_p = 1/3$

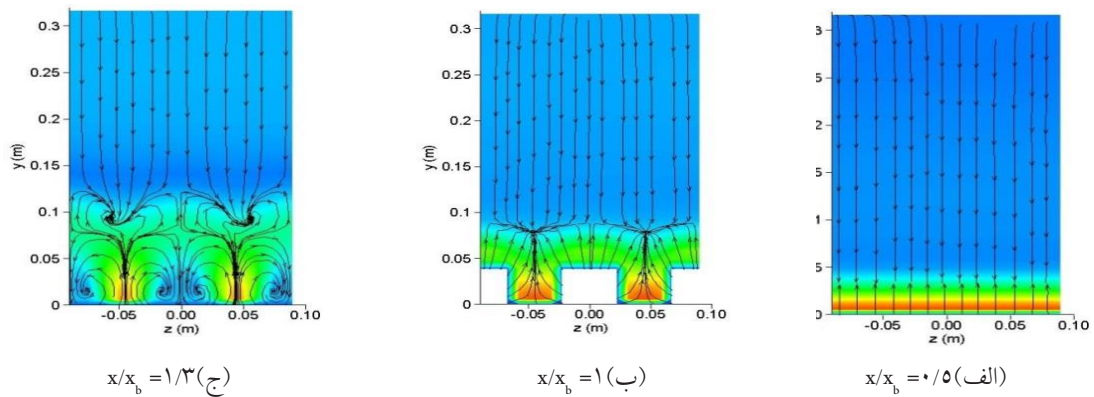


(ب) $x/x_p = 1$

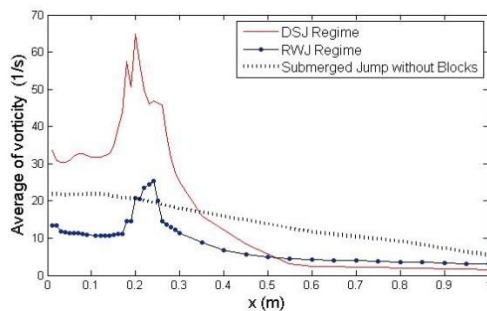


(الف) $x/x_p = 0,5$

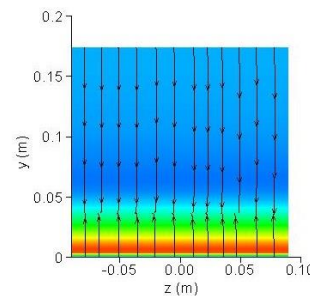
شکل (۱۲) الگوی جریان و محل قرارگیری گردابه‌های حول محور x ها و خطوط هم تراز سرعت در رژیم DSJ



شکل (۱۳) الگوی جریان و محل قرارگیری گردابه‌های حول محور x ها و خطوط هم تراز سرعت در رژیم RWJ



شکل (۱۵) میانگین چرخش در طول کانال



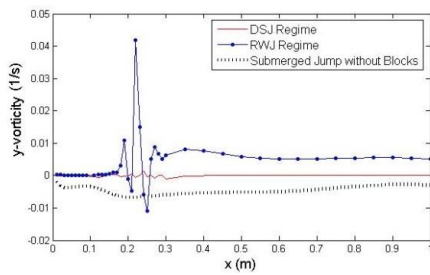
شکل (۱۴) الگوی جریان و محل قرارگیری گردابه‌های حول محور x ها در پرش هیدرولیکی مستغرق بدون بلوک

در ابتدای ورود جت به کانال با توجه به لایه برشی به وجود آمده و تحت تاثیر تنش ایجاد شده، آشفتگی جریان بیشتر است. بنابراین، در هر سه شرایط، روند کاهشی مقدار پارامتر چرخش در طول کانال مشاهده می‌شود؛ با این تفاوت که، در شرایطی که بلوک در مقابل جت ورودی قرار دارد، مقدار چرخش در محل بلوک‌ها به طور موضعی به بیشینه می‌رسد. در رژیم RWJ، با توجه به بیشتر بودن مقدار عمق پایاب (y_1)، مقدار متوسط چرخش در مقاطع عرضی نسبت به دو حالت دیگر کمتر است؛ چرا که نسبت ضخامت جت ورودی به عمق پایاب در شرایط رژیم RWJ کمتر بوده و انتظار تأثیر

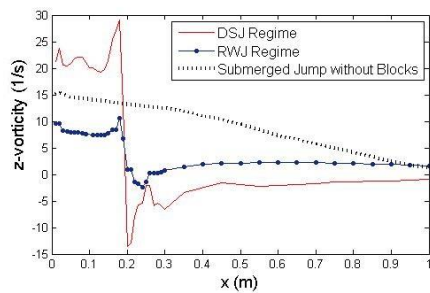
۲-۵- بررسی قدرت گردابه‌ها

همان‌گونه که گفته شد، پارامتر چرخش (ω) برای بیان قدرت گردابه‌ها به کار می‌رود. شکل (۱۵) میانگین این پارامتر را در طول کانال برای هر سه مدل مورد بحث نشان می‌دهد.

بازه تغییرات پارامتر چرخش در رژیم DSJ بیشتر از دو حالت دیگر است که نشان از قوی‌تر بودن گردابه‌ها در این رژیم دارد. گردابه قوی‌تر با درگیر کردن حجم بیشتری از سیال و ایجاد آشفتگی بیشتر در جریان، باعث استهلاک بیشتر انرژی می‌شود؛ به‌گونه‌ای که، قدرت گردابه‌ها طبق تعریف ارائه شده متناسب با میزان چرخش است.



ب) عمقی y



ج) عرضی z

شکل (۱۶) میانگین چرخش در طول کانال حول محوره‌های مختلف

۵- نتیجه گیری

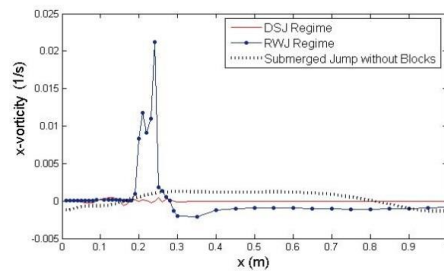
در این مقاله به بررسی گردابه‌های شکل گرفته و مقدار چرخش متناسب با آن‌ها در شرایط پرش هیدرولیکی بدون بلوک، به شکل جت دیواره ای مستغرق، پرش هیدرولیکی مستغرق در شرایط رژیم DSJ و پرش هیدرولیکی مستغرق در شرایط رژیم RWJ پرداخته و نتایج زیر حاصل شد.

- بلوک‌ها در رژیم DSJ تأثیر بیشتری روی جریان می‌گذارند و موجب آشفتگی بیشتر می‌شوند.
- وجود گردابه‌های زیاد حول هر سه محور x ، y و z ها باعث پیچیدگی زیاد جریان پرش هیدرولیکی مستغرق به همراه بلوک‌های میانی شده است. شبیه سازی عددی انجام شده نشان می‌دهد که این گردابه‌ها از نظر ابعاد و قدرت متفاوت از هم هستند؛ به گونه‌ای که، گردابه‌هایی که حول محور z ها در گردش هستند، در ابعاد بزرگتر و با قدرت بیشتر شکل می‌گیرند. این گردابه‌ها در جریان غالب بوده و نوع رژیم جریان را مشخص می‌کنند.
- گردابه‌های شکل گرفته حول محور طولی (x) و

کمتر جت بر جریان داخل کانال وجود دارد. با این حال مطابق شکل (۱۵) دیده می‌شود که در محل بلوک‌ها این مقدار موضعی افزایش یافته و به مقدار بیشینه می‌رسد.

برای درک بهتر از قدرت گردابه‌ها حول هر یک از محوره‌های مختصات، میانگین پارامتر چرخش به صورت تفکیک شده مربوط به گردابه‌های حول هر محور در شکل (۱۶) ارائه شده است. مطابق شکل ۱۶ مشاهده می‌شود که گردابه‌هایی که حول محور z ها در گردش هستند، به نسبت دو گروه دیگر گردابه‌ها قدرت بیشتری دارند.

همچنین با توجه به شکل‌های ۱۶ - (الف) و (ب) دیده می‌شود که در طول کانال تنها در رژیم RWJ و تنها در نزدیکی بلوک‌ها، مقدار چرخش گردابه‌هایی که حول محور x ها و y ها در گردش هستند به طور موضعی به مقدار بیشینه رسیده و در سایر مقاطع و شرایط، مقداری نزدیک به صفر دارند. این بدان معناست که جریان‌های عرضی در رژیم DSJ و پرش مستغرق بدون بلوک در کل طول کانال قابل چشم‌پوشی کردن است. در مقابل، گردابه‌های حول محور z ها، در رژیم DSJ نسبت به دو مدل دیگر قدرت بیشتری نشان داده‌اند. مطابق شکل ۱۶ - (ج) گردابه‌هایی که در بالادست بلوک‌ها شکل گرفته‌اند، از قدرت بیشتری برخوردار است؛ به گونه‌ای که در رژیم DSJ، در بالادست بلوک‌ها مقدار چرخش حدود $(1/25)$ است و در پایین دست بلوک به حدود $(1/15)$ می‌رسد. تغییر علامت در مقدار چرخش نشان از تغییر جهت گردابه‌ها دارد. به این معنا که در بالادست بلوک‌ها گردابه‌ها در جهت پادساعتگرد و بعد از بلوک‌ها در جهت ساعتگرد دوران دارند.



الف) طولی x

- [4] Verma, D. and A. Goel (2000). «*Stilling basins for pipe outlets using wedge-shaped splitter block.*» Journal of Irrigation and Drainage Engineering 26(3), pp. 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
- [6] Long, D., P. Steffler and N. Rajaratnam (1990). «*LDA study of flow structure in submerged hydraulic jump.*» Journal of Hydraulic Research 28(4), pp. 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), pp. 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), pp. 902-908.
- [9] FLUENT, Inc. (2006). Version 6.3.2. User Manual.
- [10] Habibzadeh, A., M. Loewen and N. Rajaratnam (2011). Some observations on submerged hydraulic jumps with blocks. Proceedings of the 34th World Congress of the International Association for Hydro-Environment Research and Engineering: 33rd Hydrology and Water Resources Symposium and 10th Conference on Hydraulics in Water Engineering, Australia.

محور عمقی (y)، در رژیم DSJ کمترین قدرت را دارند. بنابراین در این رژیم جریان عرضی کمتر نسبت به دو شرایط مورد بررسی دیگر شکل می گیرد. - مطابق الگوی جریان دیده شده، در رژیم RWJ در پشت هر بلوک گردابه ای در نزدیکی بستر شکل می گیرد که احتمال رسوب گذاری را در آن ناحیه بالا میبرد. - در رژیم DSJ بلوکها با انحراف جریان جت اصلی به سمت سطح آب مانع از برخورد جت به کف بعد از بلوک شده که نسبت به شرایط رژیم RWJ احتمال فرسایش کف را کاهش می دهد. - وجود گردابه قوی تر در رژیم DSJ، باعث افزایش کارایی این رژیم از نظر استهلاک انرژی نسبت به دو مدل دیگر می شود؛ به عبارت دیگر کارایی بلوکهای میانی در شرایط رژیم DSJ از نظر استهلاک انرژی، نسبت به دو حالت دیگر بالاتر است.

۵- 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), pp. 706-710.
- [۲] واقفی م. و قدسیان م. (۲۰۱۱). مطالعه‌ی آزمایشگاهی قدرت جریان ثانویه و مقدار چرخش در قوس ۹۰ درجه با آبشکن T شکل منفرد. نشریه مهندسی عمران، ۲۱(۲)
- [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), pp. 69-77