

## اثر بلوک‌های کف حوضچه آرامش پایین‌دست دریچه بر هندسه حفره آب‌شستگی پایاب

میرمحمد ولی‌نیا<sup>۱\*</sup>، سید علی ایوب‌زاده<sup>۲</sup> و مهدی یاسی<sup>۳</sup>

### چکیده

اثر جانمایی بلوک‌های ضربه‌گیر کف حوضچه آرامش دریچه‌های کشویی بر هندسه حفره آب‌شستگی پایین‌دست، به‌طور تجربی بررسی شده است. در این تحقیق، تعداد ۳۵ آزمون تجربی در محدوده تغییرات فاصله بلوک‌های کف از دریچه، عدد فرود و عمق پایاب نسبی انجام پذیرفت. از تحلیل ابعادی برای بررسی تأثیر هر یک از پارامترهای مؤثر استفاده شد. نتایج نشان داد که استفاده از بلوک‌های کف موجب تغییر شکل حفره آب‌شستگی می‌شود. همچنین، با افزایش فاصله بلوک از دریچه، ابعاد حفره آب‌شستگی کاهش یافته و از یک فاصله به بعد، شکل حفره آب‌شستگی نیز تغییر کرد. با افزایش فاصله بی‌بعد بلوک از دریچه از ۰/۱۸ تا ۰/۵۴، حجم حفره آب‌شستگی ۸۵ درصد کاهش می‌یافت. حجم حفره آب‌شستگی با عدد فرود رابطه مستقیم دارد؛ ولی نسبت به تغییر عمق پایاب نسبی روند معینی ندارد. در فواصل بی‌بعد بلوک ۰/۳۶ و ۰/۵۴، کمترین حجم حفره آب‌شستگی در شرایط عمق پایاب نسبی ۶/۳ واقع شد.

**واژه‌های کلیدی:** بلوک‌های ضربه‌گیر، حفره آب‌شستگی، دریچه کشویی، عدد فرود.

**ارجاع:** ولی‌نیا م. ایوب‌زاده س. ع. و یاسی م. ۱۳۹۸. اثر بلوک‌های کف حوضچه آرامش پایین‌دست دریچه بر هندسه حفره آب‌شستگی پایاب. مجله پژوهش آب ایران. ۳۳: ۱۱-۱۹.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه.

\* نویسنده مسئول: [mahmood.v1989@gmail.com](mailto:mahmood.v1989@gmail.com)

تاریخ پذیرش: 1393/11/19

تاریخ دریافت: 1393/04/31

## مقدمه

آب‌شستگی در اطراف سازه‌های آبی همانند حوضچه‌های آرامش، یکی از مسائل مهمی است که همواره مهندسان طراح با آن مواجه می‌باشند. شکل ۱، آب‌شستگی موضعی را در پایین‌دست حوضچه آرامش با پله مثبت، در سد انحرافی سایروکریک در رودخانه آگری واقع در جنوب ایتالیا نشان می‌دهد (هوگر، ۱۹۹۲). افراد مختلفی در خصوص عوامل مؤثر بر پدیده آب‌شستگی در پایین‌دست حوضچه آرامش مطالعه کرده‌اند.



شکل ۱- آب‌شستگی در پایین‌دست سد انحرافی سایروکریک در رودخانه آگری در جنوب ایتالیا. الف) فوریه ۲۰۰۴ و ب) می ۲۰۰۹ (هوگر، ۱۹۹۲)

اویماز (۱۹۸۸) مشاهده کرد آب‌شستگی در دریچه‌های کشویی زمانی که جریان از بالا و پایین دریچه به صورت هم‌زمان عبور نماید، کمتر از حالتی است که جریان فقط از بالا یا زیر دریچه عبور کند. کلز و همکاران (۲۰۰۱) به این نتیجه رسیدند که حجم و عمق حفره آب‌شستگی هر دو با افزایش اندازه ذره کاهش می‌یابند. درگاهی (۲۰۰۳) مشاهده کرد که با افزایش زبری کف حوضچه آرامش حجم حفره آب‌شستگی ۱۷ تا ۵۷ درصد کاهش خواهد یافت. در اوایل شروع آب‌شستگی، بعد عمودی حفره سریع‌تر از بعد افقی آن رشد می‌کند و با گذشت زمان، گسترش طول حفره آب‌شستگی افزایش می‌یابد و حفره نیز عمیق‌تر می‌شود. شیب حفره آب‌شستگی در بالادست تند و در پایین‌دست ملایم می‌باشد (دی و وستریچ،

۲۰۰۳). کورنیوان و همکاران (۲۰۰۴) مشاهده کردند. جت خروجی از دریچه در صورتی که کفبند وجود داشته باشد، به شیب پایین‌دست حفره پرت می‌شود. عمق آب‌شستگی با اندازه ذرات رسوبی و با افزایش دریچه کشویی کاهش می‌یابد و با کاهش طول کفبند و با افزایش عدد فرود، چگالی افزایش می‌یابد (دی و سرکار، ۲۰۰۶). حوضچه آرامش وسیع‌تر که از دیواره چندپله‌ای در انتهای آن استفاده شده است نسبت به حوضچه‌های کوتاه‌تر و آستانه تک‌پله‌ای دارای عمق آب‌شستگی کمتری می‌باشد (علی و محمد، ۲۰۱۰). امید و همکاران (۱۳۸۸) با بررسی وجود عمق پایاب بحرانی و تأثیر عمق پایاب بر عمق حفره، عمق حفره را به تأثیر عمق پایاب روی پرش هیدرولیکی نسبت دادند و اظهار داشتند که با افزایش بیشتر عمق پایاب از این مقدار بحرانی عمق آب‌شستگی بیشینه افزایش خواهد شد. همچنین، استفاده از بستر موج‌دار در حوضچه آرامش موجب کاهش ۲۲ تا ۳۶ درصدی عمق آب‌شستگی و ۱۷ تا ۳۰ درصدی طول حفره آب‌شستگی می‌گردد (عبدالحمید و همکاران، ۲۰۱۲). خلیلی شایان (۱۳۹۱) اثر شیب معکوس بر آب‌شستگی پایین‌دست حوضچه آرامش را مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که با افزایش شیب معکوس کف حوضچه آرامش حفره آب‌شستگی عمق کمتر و گستره طولی بیشتری نسبت به کفبند افقی خواهد داشت. تحقیقی در خصوص اثر بلوک‌های کف بر مشخصات پرش هیدرولیکی توسط حبیب‌زاده و همکاران (۲۰۱۱ و ۲۰۱۲) صورت گرفت. ایشان در تحقیق خویش اثر پارامترهای مختلفی از جمله ابعاد بلوک‌ها، فاصله بلوک از دریچه، و عدد فرود را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که با فاصله گرفتن بلوک‌های کف از دریچه رژیم جت خروجی تغییر می‌یابد؛ از تشکیل رژیم جریان جت دیواره‌ای بازگشتی<sup>۱</sup> (RWJ) جلوگیری می‌شود؛ تنها رژیم جت انحراف سطحی<sup>۲</sup> (DSJ) تشکیل می‌شود. با مروری بر پیشینه مطالعات، در تحقیق حاضر اثر بلوک‌های کف و فاصله بلوک‌ها از دریچه کشویی در شرایط مختلف جریان، بر آب‌شستگی پایین‌دست حوضچه آرامش مورد بررسی قرار گرفت.

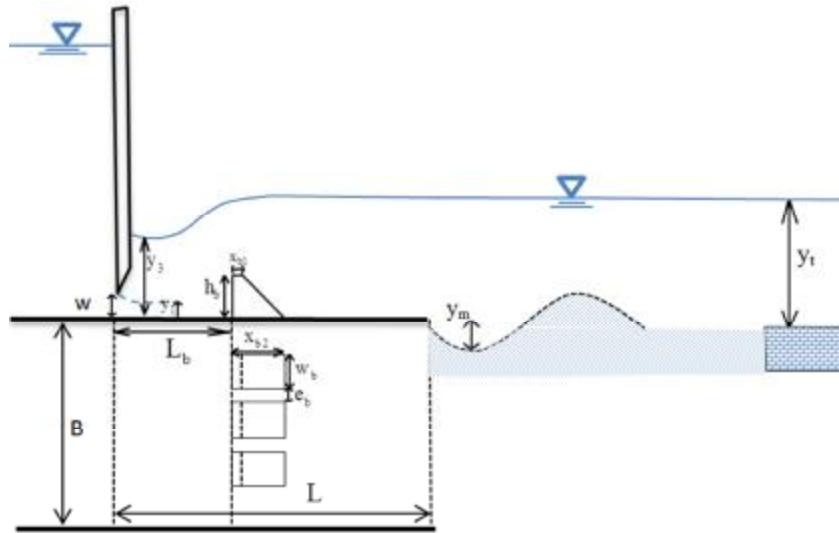
1- Reacted Wall Jet (RWJ)

2- Diverted Surface Jet (DSJ)

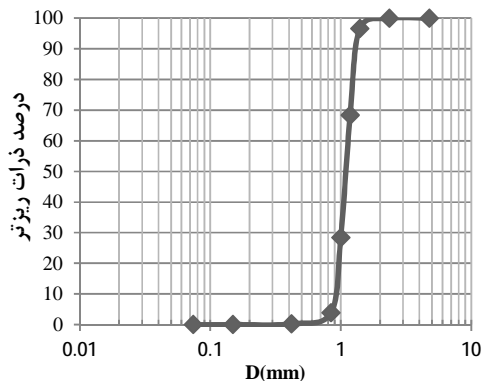
## مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مربوط به تحقیق حاضر در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی سازه‌های آبی، دانشگاه تربیت مدرس صورت گرفت. فلوم مورد استفاده دارای عرض  $0/95$  متر، ارتفاع  $1$  متر، طول  $12$  متر بوده است. دیواره سمت راست فلوم از جنس پلگسی گلاس برای امکان مشاهده جریان و دیواره سمت چپ و کف فلوم از جنس بتن بوده است. برای پمپاژ آب داخل فلوم از یک الکتروپمپ نوع  $125-200$  ساخت شرکت پمپ ایران استفاده شد. برای تنظیم دبی جریان، از کوپل یک سامانه ایجاد دور متغیر بر الکتروموتور پمپ استفاده شد. برای اندازه‌گیری دبی جریان، از سرریز لبه‌تیز موجود در انتهای فلوم استفاده شد. تنظیم عمق پایاب با استفاده از سرریز لولایی صورت گرفت. عمق آب روی حوضچه آرامش، پایین‌دست دریچه کشویی نیز با استفاده از یک ارتفاع‌سنج نقطه‌ای با دقت  $0/1$  میلی‌متر اندازه‌گیری شد. توپوگرافی

بستر متحرک نیز با استفاده از متر لیزری با دقت  $1$  میلی‌متر در شبکه  $5$  در  $5$  سانتی‌متر برداشت شد. برای ایجاد پرش هیدرولیکی، دریچه کشویی از صفحه پلگسی گلاس به ارتفاع  $0/75$  متر و عرضی برابر با عرض فلوم در  $4$  متری ابتدای فلوم ایجاد شد. عرض فلوم با استفاده از بلوک‌های یونولیتی، به  $0/62$  متر کاهش یافت و سطح بیرونی با شیشه سکوریت پوشانده شد. شکل ۲، نمایی از مدل دریچه و حوضچه آرامش پایین‌دست آن را، به همراه بلوک‌های کف که با استفاده از استاندارد USBR (پیترکا، ۱۹۸۴) طراحی شده‌اند، نشان می‌دهد. مشخصات حوضچه آرامش و بلوک‌های کف، عبارت است از طول حوضچه آرامش  $L=1.1$  m، ارتفاع بلوک  $h_b=0.04$  m، عرض بلوک‌های کف  $W_b=0.03$  m، فاصله بین بلوک‌ها  $e_b=0.03$  m، طول بالا و پایین بلوک‌های کف  $X_{b1}=0.01$  m،  $X_{b2}=0.05$  m



شکل ۲- شماتیک از دریچه کشویی، حوضچه آرامش و بستر متحرک پایین‌دست آن



شکل ۳- نمودار دانه‌بندی ذرات رسوبی

در تحقیق حاضر، از یک ماده رسوبی طبیعی (ماسه کوارتز)، با دانه‌بندی ذرات یکنواخت، استفاده شده که مشخصات آن در جدول ۱ و شکل ۳ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات دانه‌بندی ذرات رسوبی

$d_{60}$	$d_{10}$	$d_{84}$	$d_{16}$	$d_{50}$	Cu	$\sigma_g$
$1/2$	$0/93$	$1/4$	$0/95$	$1/15$	$1/3$	$1/2$

## تحلیل ابعادی

$g$  و عدد فرود در نظر گرفته شده است. تحقیق در خصوص تمام عوامل مؤثر ناممکن است. از این رو، با استفاده از تکنیک تحلیل ابعادی و شناخت پارامترهای مؤثر، تأثیر برخی از پارامترها قابل ارزیابی است. پارامترهای مؤثر در پدیده آب‌شستگی پایین‌دست حوضچه آرامش را می‌توان با معادله ابعادی زیر بیان کرد:

$$f_1(\rho, \mu, U_1, g, w, y_1, y_t, h_b, x_{b1}, x_{b2}, w_b, e_b, L, L_b, D_{50}, \rho_s, V_s) = 0 \quad (1)$$

رسوبی ( $\text{kg/m}^3$ ) و  $V_s$ ، حجم حفره آب‌شستگی ( $\text{m}^3$ ) و بقیه پارامترها مربوط به مشخصات بلوک‌های میانی می‌باشند که در شکل ۲ نشان داده شده‌اند. با استفاده از تئوری باکینگهام، متغیرهای بدون بعد به‌دست آمده و معادله (۱) به فرم معادله زیر تبدیل می‌شود:

$$\phi_1(Fr_1, Re_1, \frac{y_t}{y_1}, \frac{h_b}{y_1}, \frac{x_{b1}}{y_1}, \frac{x_{b2}}{y_1}, \frac{w_b}{y_1}, \frac{e_b}{y_1}, \frac{L_b}{y_1}, \frac{L}{y_1}, \frac{w}{y_1}, \frac{D_{50}}{y_1}, \sigma_g, s, \frac{V_s}{y_1^3}) = 0 \quad (2)$$

نظر گرفتن ۳ تکرار برای هر متغیر تعداد ۲۷ آزمایش اصلی و همچنین ۸ آزمایش شاهد نیز در حالت بدون بلوک صورت پذیرفت؛ در مجموع، ۳۵ آزمایش در تحقیق حاضر صورت پذیرفت که در جدول ۲ مشخصات هر آزمایش نمایش داده شده است.

به‌دلیل پیچیدگی‌های موجود در پدیده آب‌شستگی، عوامل تأثیرگذار بر پدیده آب‌شستگی نیز زیاد می‌باشند. با توجه به محدودیت‌های آزمایشگاهی در بررسی تجربی، تحقیق در خصوص تمام عوامل مؤثر ناممکن بوده است. به‌طور مثال، با تأمین شرایط جریان متلاطم کامل، از تأثیر عدد رینولدز صرف‌نظر شده است. در مقابل، پارامتر شتاب ثقل

در معادله (۱)  $\rho$ ، چگالی آب ( $\text{kg/m}^3$ )؛  $\mu$ ، لزجت دینامیکی آب ( $\text{kg/m.s}$ )؛  $U_1$ ، سرعت جریان خروجی از دریاچه ( $\text{m/s}$ )؛  $g$ ، شتاب ثقل زمین ( $\text{m/s}^2$ )؛  $w$ ، بازشدگی دریاچه ( $\text{m}$ )؛  $y_1$ ، عمق اولیه پرش هیدرولیکی ( $\text{m}$ )؛  $y_t$ ، عمق پایاب ( $\text{m}$ )؛  $L_b$ ، فاصله بلوک‌های میانی از دریاچه ( $\text{m}$ ) و  $L$ ، طول حوضچه آرامش ( $\text{m}$ )؛  $D_{50}$ ، اندازه متوسط ذرات رسوبی ( $\text{m}$ )؛  $\rho_s$ ، چگالی ذرات

با توجه به ثابت‌بودن برخی پارامترها و همچنین تأثیر ناچیز برخی پارامترها، همچون عدد رینولدز  $Re_1$  و با توجه موضوع مورد مطالعه و ترکیب چند پارامتر بدون بعد، معادله (۲) به فرم زیر خلاصه می‌گردد:

$$\phi_2(Fr_1, \frac{y_t}{w}, \frac{L_b}{w}, \frac{V_s}{w^3}) = 0 \quad (3)$$

$Fr_1 = \frac{u_1}{\sqrt{gy_1}}$ ، عدد فرود در مقطع اولیه پرش می‌باشد.

بدین ترتیب، پارامترهای متغیر در تحقیق حاضر عدد فرود، عمق پایاب نسبی و فاصله بلوک از دریاچه می‌باشد. با در

جدول ۲- فهرست آزمایش‌ها و متغیرها در تحقیق تجربی حاضر

شماره آزمایش	عدد فرود	عمق پایاب نسبی	فاصله نسبی بلوک از دریاچه	شماره آزمایش	عدد فرود	عمق پایاب نسبی	فاصله نسبی بلوک از دریاچه
۱	۸	۷/۳۶	۰/۱۸	۱۱	۸	۶/۳۲	۰/۳۶
۲	۸	۶/۳۲	۰/۱۸	۱۲	۸	۵/۲۶	۰/۳۶
۳	۸	۵/۲۶	۰/۱۸	۱۳	۷/۲	۷/۳۶	۰/۳۶
۴	۷/۲	۷/۳۶	۰/۱۸	۱۴	۷/۲	۶/۳۲	۰/۳۶
۵	۷/۲	۶/۳۲	۰/۱۸	۱۵	۷/۲	۵/۲۶	۰/۳۶
۶	۷/۲	۵/۲۶	۰/۱۸	۱۶	۶/۴	۷/۳۶	۰/۳۶
۷	۶/۴	۷/۳۶	۰/۱۸	۱۷	۶/۴	۶/۳۲	۰/۳۶
۸	۶/۴	۶/۳۲	۰/۱۸	۱۸	۶/۴	۵/۲۶	۰/۳۶
۹	۶/۴	۵/۲۶	۰/۱۸	۱۹	۸	۷/۳۶	۰/۵۴
۱۰	۸	۷/۳۶	۰/۳۶	۲۰	۸	۶/۳۲	۰/۵۴

## ادامه جدول ۲-

شماره آزمایش	عدد فرود	عمق پایاب نسبی	فاصله نسبی بلوک از دریاچه	شماره آزمایش	عدد فرود	عمق پایاب نسبی	فاصله نسبی بلوک از دریاچه
۲۱	۸	۵/۲۶	۰/۵۴	۲۹	۸	۶/۳۲	-
۲۲	۷/۲	۷/۳۶	۰/۵۴	۳۰	۷/۲	۷/۳۶	-
۲۳	۷/۲	۶/۳۲	۰/۵۴	۳۱	۷/۲	۶/۳۲	-
۲۴	۷/۲	۵/۲۶	۰/۵۴	۳۲	۷/۲	۵/۲۶	-
۲۵	۶/۴	۷/۳۶	۰/۵۴	۳۳	۶/۴	۷/۳۶	-
۲۶	۶/۴	۶/۳۲	۰/۵۴	۳۴	۶/۴	۶/۳۲	-
۲۷	۶/۴	۵/۲۶	۰/۵۴	۳۵	۶/۴	۵/۲۶	-
۲۸	۸	۷/۳۶	-				

## نتایج و بحث

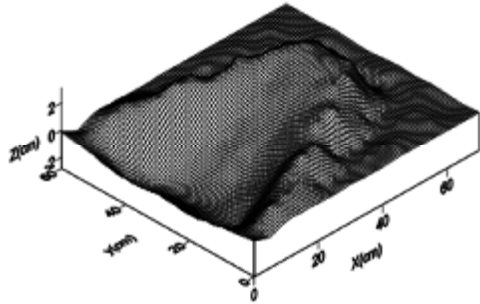
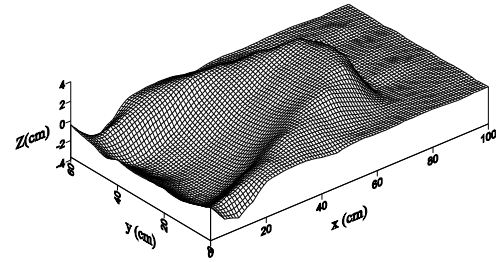
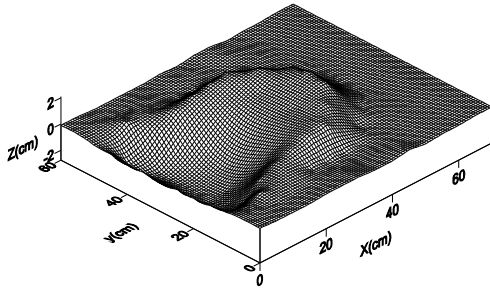
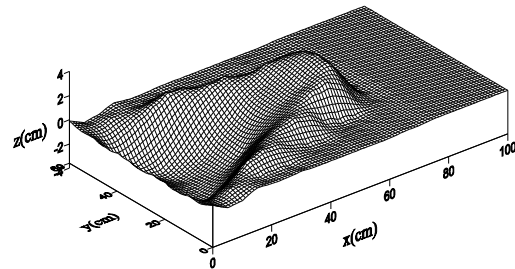
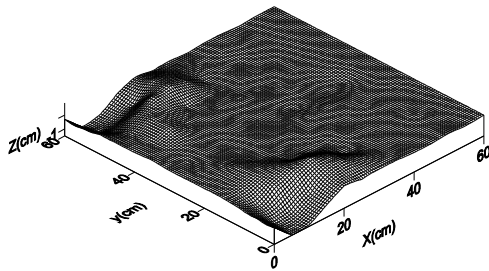
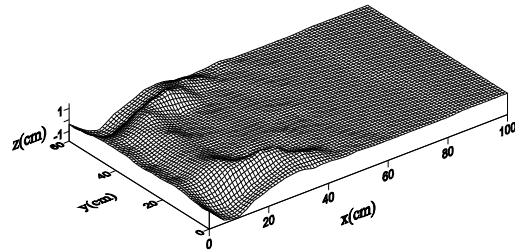
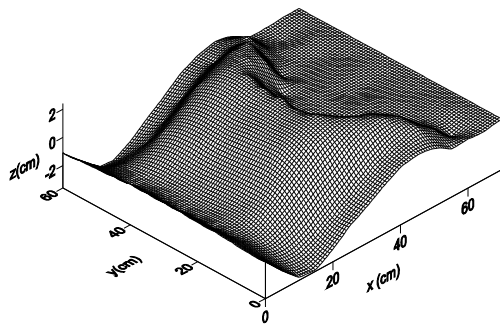
در تمام آزمایش‌ها توپوگرافی بستر رسوبی در یک شبکه مربعی به ابعاد ۵ در ۵ سانتی‌متر برداشت شد. در مواردی که حفره‌های آب‌شستگی کوچک‌تر بوده است (غالباً در فاصله بی‌بعد بلوک ۰/۵۴)، برای دقت بیشتر شبکه ریزتر می‌شود تا حد ممکن دقت برآورد حجم حفره بالاتر گردد. با استفاده از نرم‌افزار Surfer 8، شکل سه بعدی توپوگرافی بستر رسم و حجم حفره آب‌شستگی در آزمایش محاسبه شد. در ادامه، ابتدا اثر بلوک‌های کف و فاصله آن از دریاچه بر توپوگرافی بستر و سپس اثر پارامترهای مختلف بر روی حجم حفره آب‌شستگی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## شکل توپوگرافی گودال آب‌شستگی

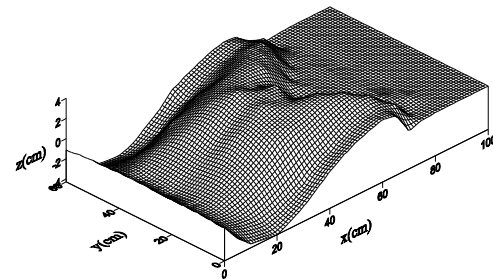
در این قسمت، اثر فاصله بلوک از دریاچه در شرایط معین از عدد فرود و عمق پایاب نسبی، بر شکل گودال آب‌شستگی پایین‌دست حوضچه آرامش بررسی شد. شکل ۴، توپوگرافی گودال آب‌شستگی را در فواصل مختلف بلوک از دریاچه و حالت بدون بلوک را در شرایط عدد فرود ۸ و عمق پایاب نسبی ۷/۳۶ را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در حالت بدون بلوک تمرکز آب‌شستگی در کناره‌ها بیشتر از وسط می‌باشد؛ در حالی که در حالت بلوک‌دار (فواصل ۰/۱۸ و ۰/۳۶) تمرکز آب‌شستگی در وسط بیشتر از کناره‌ها می‌باشد که بیانگر این مطلب می‌باشد که استفاده از بلوک در حوضچه آرامش موجب تغییر الگوی جریان و در نتیجه تغییر شکل حفره آب‌شستگی می‌شود. زمانی که فاصله بلوک‌های کف از دریاچه افزایش یابد، ابعاد گودال آب‌شستگی کاهش می‌یابد؛ اما تغییری در شکل گودال آب‌شستگی ایجاد

نمی‌شود (شکل ۴-ب). اما زمانی که فاصله بلوک‌ها از دریاچه از یک مقدار بیشتر شود، علاوه بر کاهش چشمگیر ابعاد گودال آب‌شستگی، شکل حفره آب‌شستگی نیز به وضوح تغییر می‌یابد (شکل ۴-ج). شکل ۵، توپوگرافی گودال آب‌شستگی را به‌طور نمونه برای حالت بدون بلوک و با شرایط حضور بلوک (در فواصل مختلف بلوک از دریاچه)، در شرایط جریان معین (عدد فرود ۷/۲ و عمق پایاب نسبی ۷/۳۶) نشان می‌دهد.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با تغییر عدد فرود رفتار مذکور تکرار می‌شود و با تغییر فاصله بلوک از دریاچه از یک مقدار به بعد، شکل حفره آب‌شستگی تغییر خواهد کرد. در تحقیقات قبلی (حبیب‌زاده و همکاران، ۲۰۱۲)، محققان به این نتیجه دست یافته بودند که با افزایش فاصله بلوک از دریاچه از یک مقدار به بعد  $(\frac{L_b}{L} = 0.43)$  الگوی جت خروجی از دریاچه در تمام شرایط جریان تغییر می‌یابد. مطالعات حبیب‌زاده و همکاران (۲۰۱۲) بر روی بستر ثابت نشان داد که تغییر مشخصات جریان در نسبت ۰/۴۳ اتفاق می‌افتد. برای شرایط بستر متحرک، فاصله لازم برای تغییر خصوصیات جریان و تشکیل حفره آب‌شستگی در محدوده  $0.36 < \frac{L_b}{L} < 0.54$  قرار می‌گیرد. عدد دقیق آن به‌طور مستقیم به‌دست نیامده است و تدقیق آن برای مطالعات تکمیلی پیشنهاد می‌گردد.

الف)  $L_b/L = 0.18$ الف)  $L_b/L = 0.18$ ب)  $L_b/L = 0.36$ ب)  $L_b/L = 0.36$ ج)  $L_b/L = 0.54$ ج)  $L_b/L = 0.54$ 

د) بدون بلوک



د) بدون بلوک

شکل ۴- اثر تغییر فاصله بلوک بر شکل حفره آب‌شستگی

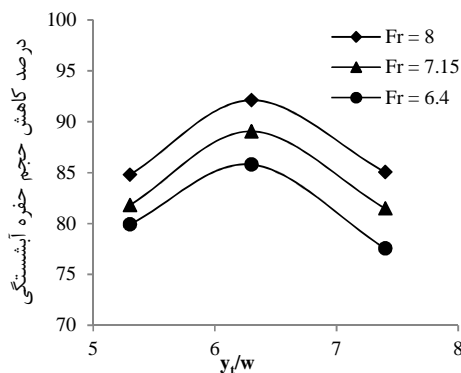
پایین دست حوضچه آرامش ( $Fr = 8$  و  $y/w = 7.4$ )

شکل ۵- اثر تغییر فاصله بلوک بر شکل حفره آب‌شستگی

پایین دست حوضچه آرامش ( $Fr = 7.2$  و  $y/w = 7.4$ )

در شکل ۶ (الف)، ملاحظه می‌شود که حجم حفره آب‌شستگی با عدد فرود رابطه مستقیم و با عمق پایاب نسبی رابطه معکوس دارد؛ به گونه‌ای که با افزایش عمق پایاب نسبی حجم حفره آب‌شستگی کاهش خواهد یافت. شکل ۶ (ب و ج)، اثر تغییر عدد فرود و عمق پایاب نسبی را بر روی حجم حفره آب‌شستگی به ترتیب در فواصل بلوک  $L_b/L = 0.36, 0.54$  نشان می‌دهد. بر خلاف فاصله بلوک  $0.18$  در فواصل بلوک بی‌بعد  $0.36$  و  $0.54$  حجم حفره آب‌شستگی با عمق پایاب نسبی روند یکسان کاهش خواهد داشت؛ به گونه‌ای که ابتدا با افزایش عمق پایاب نسبی، حجم حفره آب‌شستگی کاهش خواهد یافت و سپس از یک مقدار عمق پایاب نسبی به بعد با افزایش عمق پایاب نسبی، حجم حفره آب‌شستگی افزایش خواهد یافت. همچنین، همان‌گونه مشاهده می‌شود، در اعداد فرود بالا ( $Fr = 7.15, 8.0$ ) رفتار فوق مشهودتر می‌باشد. همان‌گونه که از شکل‌های ۶ (الف تا ج) پیداست، حجم حفره آب‌شستگی با عدد فرود رابطه مستقیم و با فاصله بلوک از دریچه رابطه معکوس خواهد داشت؛ به گونه‌ای که با کاهش عدد فرود از ۸ به  $6/4$  حجم حفره آب‌شستگی به‌طور متوسط ۷۳ درصد کاهش خواهد یافت؛ اما رفتار حجم حفره آب‌شستگی نسبت به عمق پایاب نسبی روند یکسانی نیست.

شکل ۷، درصد کاهش حجم حفره آب‌شستگی را در اعداد فرود و عمق‌های پایاب نسبی مختلف در اثر افزایش فاصله بلوک از  $0.18$  تا  $0.54$  نشان می‌دهد.



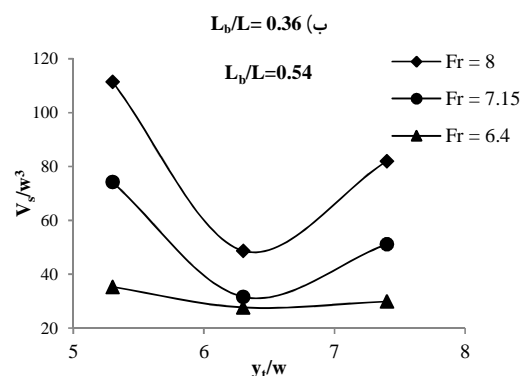
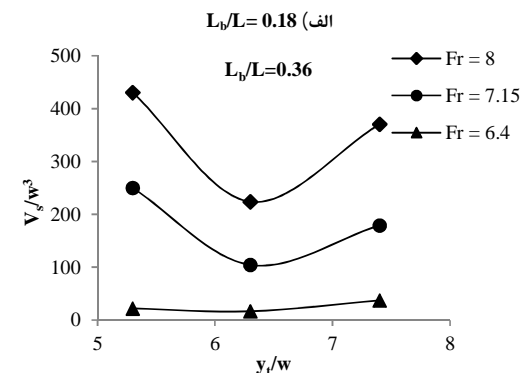
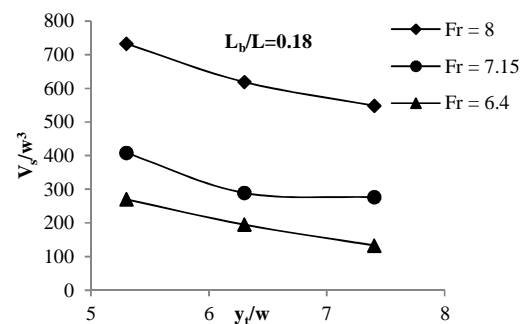
شکل ۷ - درصد کاهش حجم حفره آب‌شستگی در اثر افزایش فاصله بی‌بعد بلوک از  $0.18$  تا  $0.54$

مشاهده می‌شود که افزایش عدد فرود باعث افزایش درصد کاهش حجم حفره خواهد شد؛ در صورتی که درصد

### حجم حفره آب‌شستگی

تعیین حجم حفره آب‌شستگی در پایین‌دست حوضچه آرامش از موارد مهم در پیش‌بینی عملکرد سازه در مقابل آب‌شستگی می‌باشد. در این قسمت، اثر پارامترهای عدد فرود، عمق پایاب نسبی و فاصله بلوک از دریچه بر حجم حفره آب‌شستگی بررسی شد.

شکل ۶، اثر تغییر عدد فرود و عمق پایاب نسبی را بر حجم حفره آب‌شستگی در فواصل مختلف بلوک نشان می‌دهد.  $V_s$ ، حجم حفره آب‌شستگی و  $W$ ، مقدار بازشدگی دریچه می‌باشد.



شکل ۶ - اثر تغییر عدد فرود و عمق پایاب نسبی بر حجم حفره آب‌شستگی در فواصل مختلف بلوک

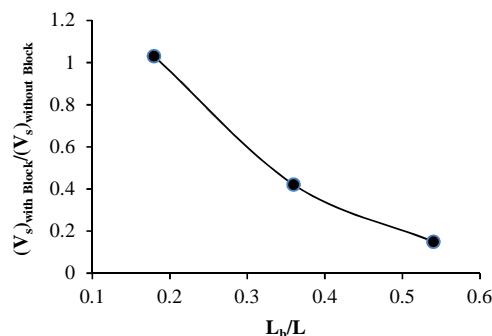
نسبت به عمق پایاب نسبی در فواصل مختلف بلوک، رفتار ثابتی نداشت؛ به گونه‌ای که در فواصل بی‌بعد  $0/36$  و  $0/54$ ، در عمق پایاب نسبی  $6/3$  کمترین مقدار خود را داشت. به‌طور کلی نتایج نشان داد که فاصله بدون بعد بلوک  $0/54$  در میان فواصل در نظر گرفته‌شده بهترین عملکرد را در کاهش حجم حفره آب‌شستگی داشت.

### منابع

۱. امید م. حمیدی فرح. و رئیسی ع. ۱۳۸۸. بررسی تأثیر عمق پایاب بر هندسه گودال آب‌شستگی در پایین‌دست کف‌بند. مجموعه مقالات هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، ۲۱ اردیبهشت. ۶ ص.
۲. خلیلی شایان ح. ۱۳۹۱. بررسی آب‌شستگی موضعی در پایاب حوضچه‌های آرام با شیب معکوس. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران. ۱۹۵ ص.
3. Ali A. M. and Mohamed Y. A. 2010. Effect of stilling basin shape on the hydraulic characteristics of flow downstream radial gates. Alexandria Engineering Journal. 49: 393-400.
4. Abdelhaleem F. S. M. A. A. and Esam H. Y. 2012. Effect of Corrugated Bed Shape on Hydraulic Jump and Downstream Local Scour. Journal of American Science. 8(5): 1-11.
5. Dargahi B. 2003. Scour development downstream of a spillway. Journal of hydraulic Research. 41(4): 417-426.
6. Dey S. and Sarkar A. 2006. Scour downstream of an apron due to submerged horizontal jets. Journal of hydraulic Engineering. 132(3): 246-257.
7. Dey S. and Westrich B. 2003. Hydraulics of submerged jets subject to change in cohesive bed geometry journal of hydraulic Engineering. 129(1): 44-53.
8. Huger W. H. 1992. Energy dissipators and hydraulic jump, Kluwer, London. 290 p.
9. Habibzadeh A. Loewen M. R. and Rajaratnam, N. 2012. Performance of Baffle Blocks in Submerged Hydraulic Jumps. Journal of hydraulic Engineering. 138(10): 902-908.
10. Habibzadeh A. Wu S. Ade F. Rajaratnam N. and Loewen M. R. 2011. Exploratory Study of Submerged Hydraulic Jumps with Blocks journal of hydraulic Engineering. 137(6): 706-710.
11. Kells J. A. Balachandar R. and Hagel K. P. 2001. Effect of grain size on local channel scour below a sluice gate. Canadian journal Civil Engineering. 28(3): 440-451.

کاهش حجم حفره با عمق پایاب نسبی روند یکسانی طی نمی‌کند و در عدد فرود یکسان، در عمق پایاب نسبی  $6/32$  بیشترین کاهش حجم حفره را خواهیم داشت. در نهایت، می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش فاصله بلوک از  $0/18$  تا  $0/54$  حجم حفره آب‌شستگی به‌طور متوسط ۸۵ درصد کاهش خواهد یافت.

شکل ۸، متوسط حجم حفره آب‌شستگی را در حالت با بلوک نسبت به حالت بدون بلوک نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در فاصله بلوک  $0/18$  متوسط حجم حفره آب‌شستگی تغییر چندانی نسبت به حالت بدون بلوک نخواهد داشت؛ در حالی که با افزایش فاصله بلوک از دریچه، متوسط حجم حفره آب‌شستگی نسبت به حالت بدون بلوک به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد و در فاصله بی‌بعد بلوک  $0/54$  کمترین مقدار خود را خواهد داشت.



شکل ۸ - متوسط حجم حفره آب‌شستگی در حالت با بلوک نسبت به حالت بدون بلوک

### نتیجه‌گیری

برای بررسی اثر بلوک‌های کف بر شکل و حجم حفره آب‌شستگی، مطالعه آزمایشگاهی گسترده‌ای صورت گرفت. در تمام آزمایش‌ها، بررسی شکل‌های سه‌بعدی توپوگرافی بستر نشان می‌دهد که با افزایش فاصله بلوک از ابعاد حفره آب‌شستگی کاهش یافته و در فاصله بدون بعد  $0/54$  علاوه بر کاهش ابعاد حفره آب‌شستگی، شکل حفره آب‌شستگی نیز تغییر کرد. براساس محاسبات حجم حفره آب‌شستگی، با افزایش فاصله بی‌بعد بلوک از دریچه از مقدار  $0/18$  تا  $0/54$ ، به‌طور متوسط حجم حفره آب‌شستگی ۸۵ درصد کاهش یافت؛ همچنین، با افزایش عدد فرود حجم حفره آب‌شستگی افزایش یافت؛ ولی حجم حفره آب‌شستگی



12. Kurniawan A. Altinakar M. S. and Graf W. H. 2004. Scour depth and flow pattern of eroding plane jets. *international Sediment Research*. 28(4): 437-460
13. Peterka A. J. 1984. *Hydraulic Design of Stilling Basins and Energy Dissipators* (Vol. 25). Denver, Colorado: United States Department of the Interior Bureau of Reclamation. 240 p.
14. Uyumaz A. 1988. Scour downstream a vertical gate. *Journal of hydraulic Engineering*. 118(7): 811-816.

