علوم و مهندسی آبیاری
جلد ٤٠، شماره‌ی٤، زمستان ٩٦، ص. ١٢٤-١٠٩

# آبشستگی پایین دست حوضچه آرامش از نوع پرش هیدرولیکی پوشیده با المان های شش پایه تحت تاثیر کاهش طول حوضچه

لیلا طرفی صالحی[1] و محمود شفاعی بجستان[2*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سازه های آبی دانشگاه شهیدچمران اهواز .
۲*- نویسنده مسئول، استاد دانشگاه گروه سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز M_shafai@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۵/۲/۲۰ تاریخ پذیرش: ۹۵/۴/۱۹

## چکیده

**توسعه حفره آبشستگی پایین دست حوضچه های آرامش از نوع پرش هیدرولیکی می‌تواند منجر به تخریب خود سازه گردد که از دیرباز مورد توجه محققین بوده است. با گسترش حوضچه‌های با بستر زبر ضرورت تکمیل مطالعات گذشته برای این سازه نیز اهمیت دارد. لذا در این تحقیق ، یک مدل آزمایشگاهی شامل سرریز با زاویه ی ۳۰ درجه و ارتفاع ۰/٤ متر و حوضچه آرامش با بستر پوشیده از المان‌های شش پایه وطول ثابت ۱۲٦ سانتی متر ساخته شد و آبشستگی پایین دست در چهار حالت طول حوضچه برابر طول پرش، و کاهش طول حوضچه نسبت به طول پرش به میزان ۸٪،۱٦٪ و ۲٤٪ در پنج عدد فرود مختلف جریان(۵/۳٤ تا۱/ ۸ ) بررسی شد. نتایج نشان داد که با کاهش عدد فرود و کاهش طول حوضچه به دلیل اینکه بخشی از پرش به بیرون حوضچه انتقال می‌یابد، عمق آبشستگی افزایش یافته و بر ارتفاع پشته افزوده می شود. همچنین نتایج نشان داد که کاهش طول حوضچه به اندازه ی ۸ ٪تا ۲٤ ٪نسبت به طول ثابت حوضچه،افزایش ۱۷٪ تا ٤۳ ٪ عمق آبشستگی را در شرایط برقراری دبی حداکثر را به دنبال دارد. در دبی حداقل درصد افزایش عمق آبشستگی به ترتیب ٤۰٪ و ٦۰٪ نسبت به طول ثابت حوضچه برای کاهش طول ۸٪و۲٤٪ می باشد.**

**کلید واژه‌ها:** آبشستگی،کاهش طول حوضچه آرامش،پرش هیدرولیکی، المان های شش پایه.

### مقدمه

معمول‌ترین روش برای استهلاک انرژی جنبشی آب در پایین دست سرریزها،دریچه ها و تندآب ها استفاده از پرش هیدرولیکی است. پرش هیدرولیکی پدیده ای است که در اثر تغییر رژیم جریان از حالت فوق بحرانی به زیر بحرانی اتفاق می افتد و همراه با افت انرژی جنبشی زیادی می باشد. حوضچه های آرامش متداول ترین نوع مستهلک کننده های انرژی هستند که جریان فوق بحرانی سرریز و دریچه ها و یا خروجی تحتانی را از طریق پرش هیدرولیکی به جریان زیربحرانی تبدیل می کند و ضمن کاهش انرژی به طور محسوس از میزان سرعت به اندازه قابل توجهی می کاهند و از خرابی های احتمالی جلوگیری می کنند (حسینی و ابریشمی،۱۳۷۹). هزینه های عمده حوضچه آرامش از نوع پرش هیدرولیکی شامل ابعاد(طول آن)،رقوم بستر(به خصوص در حالیکه عمق پایاب کمتر از عمق ثانویه است ) و ضخامت دال کف آن می باشد. هر نوع تکنیکی که بتواند به کاهش ابعاد،کاهش عمق ثانویه و نیز کاهش ضخامت دال کف کمک کند می تواند به طرح اقتصادی حوضچه نیز کمک نماید(شفاعی بجستان،۱۳۸۷). درگذشته مطالعات متعددی با هدف کاهش این ابعاد انجام شده است که از جمله میتوان به مطالعه شفاعی بجستان و نیسی ( ۱۳۸۸) اشاره نمود که با مطالعه بر روی پنج شکل متفاوت از زبری ها و اثر آن ها بر کاهش مشخصات پرش هیدرولیکی نشان دادند که عمق مزدوج به دلیل وجود اجزای زبرکاهش می یابد و میزان این کاهش بستگی به عدد فرود و شکل اجزای زبر دارد. اید و راجاراتنام[1] (۲۰۰۲)، ایزدجو و شفاعی بجستان[2] (۲۰۰۷) ،کارولو و همکاران[3] (۲۰۱۱) نیز در مطالعه های جداگانه در خصوص اهمیت نقش زبری به عنوان کاهش دهنده طول پرش و عمق مزدوج روابطی را استخراج کردند. پیترکا[4] (۱۹۵۸) نشان داد وجود مانع در مقابل جریان آب باعث جداشدگی جت ورودی، استهلاک انرژی بیشتر، افزایش تنش برشی و نیز افزایش نیروی درگ می گردد و در نتیجه نسبت اعماق مزدوج کاهش می یابد. نصر اصفهانی وشفاعی بجستان(۱۳۹۳) نشان دادند که در حوضچه های با بستر بتنی پوشیده با زبری های تصنعی ضخامت دال کف بتنی در اثر تلاطم های اضافی بوجود آمده افزایش یا کاهش نمی یابد. از طرفی ضخامت دال کف حوضچه های با بستر صلب بستگی زیاد

1-Ead and Rajaratnam
2- Izadjoo and Shafai-Bajestan
3- Carollo et al.
4-Peterka

به میزان زیر فشاردارد و در بسیاری از طرح ها ضخامت دال کف تا ۳ متر هم می رسد .در صورتیکه بتوان بستر حوضچه آرامش را از زبری های نفوذپذیر ساخت، مطمئناً علاوه بر کاهش ابعاد حوضچه دیگر نیازی به تامین ضخامت های زیاد برای دال کف نخواهد بود چرا که میزان زیرفشار به شدت کاهش می یابد و بدین صورت باعث صرفه جویی زیادی نیز خواهد شد. خواجه گودری و شفاعی بجستان (۱۳۹۳) برای اولین بار اثر زبری های نفوذپذیر (المان های شش پایه) بر مشخصات پرش هیدرولیکی را برروی بستر صلب حوضچه آرامش مورد بررسی قرار دادند. آزمایشات در سه تراکم متفاوت (۳۶درصد،۶۷درصد و ۱۰۰درصد) از زبری های فرض شده صورت گرفت. نتایج نشان داد که کاربرد المان های شش پایه در کف حوضچه باعث کاهش مشخصات پرش هیدرولیکی از جمله طول پرش می باشد که بیشترین کاهش در تراکم ۱۰۰درصد مشاهده شده است. یکی از عمده ترین مشکلات سازه هایی از قبیل حوضچه های آرامش که در بالادست بسترهای فرسایش پذیر قرار دارند ، آبشستگی درمجاورت سازه است که علاوه بر تاثیر مستقیم بر پایداری سازه ، ممکن است باعث تغییر مشخصات جریان و در نتیجه تغییر در پارامترهای طراحی سازه شود. طی شرایط سیلابی ، ابعاد آبشستگی به سرعت افزایش می یابد . که در نهایت سبب تخریب سازه هیدرولیکی می شود. آبشستگی حرکت مواد بستر بر اثر انرژی کینماتیک جریان می باشند که در پایین دست سرریزها ، دریچه ها ، حوضچه های آرامش و کف بندهای افقی به وقوع می پیوندد. .به طور کلی به فرسایش قسمتی از بستر یک آبراهه ویا در اطراف سازه های احداث شده در مسیر جریان آب به علت سرعت زیاد جریان آبشستگی گفته می شود.آبشستگی معمولا در اثر وقوع جریان های ۳ بعدی ناشی از موانع در مسیر جریان رودخانه بوجود می آید که از مهم ترین عامل آسیب و خرابی های سازه های هیدرولیکی می باشد. این پدیده به صورت قسمتی از تغییرات ریخت شناسی رودخانه ویا به صورت تغییراتی که بر اثر ساختن سازه های هیدرولیکی در مسیر آب توسط بشر ایجاد می شود، رخ می دهد.به طور کلی فرآیند آبشستگی به چند مرحله مختلف زمانی تقسیم می شود که در آنها سرعت توسعه آبشستگی بسیار زیاد است و در نهایت حالت تعادلی به وجود می آید. در محدوده تمام سازه های متقاطع با رودخانه وقوع آبشستگی حتمی است که ممکن است آنقدر گسترش یابد تا سازه را تخریب کند .نواک[1] (۱۹۵۵و۱۹۶۱) بیان نمود که با استفاده از یک حوضچه آرامش با طول کافی که پرش هیدرولیکی نوع A را در برگیرد،عمق آبشستگی نسبت به حالت بدون استفاده از حوضچه آرامش حدود ۴۵ تا۶۵ درصد کاهش می یابد. نواک با استفاده از معادله جایگر رابطه (۱)را برای عمق آبشستگی در پایین دست حوضچه آرامش ارائه نمود و دریافت که کم ترین مقدار آبشستگی در حالت $y_t/y_{tmin} = 1.6$ ($y_{tmin}$ حداقل عمق پایاب)،و بیشترین مقدار آبشستگی در حالت $y_t/y_{tmin} = 1$ رخ می دهد.

$$d_s = 0.55[6H^{0.25}q^{0.5}\left(\frac{y_t}{D_{90}}\right)^{0.33} - y_t] \qquad (۱)$$

که در این رابطه $d_s$ حداکثر عمق فرسایش(m)، H اختلاف تراز آب در بالادست و پایین دست(m)،y عمق پایاب (m)، q دبی واحد عرض و ($m^2/s$) و$D_{90}$ اندازه ذرات رسوب (mm) است. بالاچاندار و کلز[2] (۲۰۰۰)، به بررسی تغییرات زمانی آبشستگی موضعی بستر با دانه‌بندی یکنواخت پرداختند. آنها گزارش کردند که حداکثر عمق آبشستگی به صورت یک رابطه نمایی با زمان تغییر می‌کند. حمیدی فر و امید (۱۳۸۹) اثر اندازه ذره، عمق پایاب و عدد فرود را بر آبشستگی موضعی بستر ناشی از جت افقی مستغرق خروجی از زیر یک دریچه کشویی را بررسی کردند و دریافتند که تاثیر عمق پایاب به میزان عدد فرود ذره بستگی دارد.کوچک (۱۳۹۱) به بررسی اثر زبری کف بند افقی بر آبشستگی پایین دست آن پرداخت. در این مطالعه به منظور بررسی اثر زبری بر میزان آبشستگی پای کف بند، آزمایش ها با سه زبری به ارتفاع های ۲ میلی متر، ۵ میلی متر و ۱ سانتی متر و در اعداد فرود ۳/۰۷ تا ۴/۱۶ انجام شد . نتایج نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی درپای کف بند در زبری ۱ سانتی‌متر نسبت به زبری ۲ میلی‌متر ۸۴ درصد کاهش می یابد. فرهودی و اسمیت[3] (۱۹۸۵) مطالعاتی روی آبشستگی ناشی از جریان خروجی از یک حوضچه آرامش معمولی (نوع ۱) پایین دست یک سرریز انجام دادند. در این آزمایش ها یک کف بند مسطح که طول آن تقریبا برابر طول پرش هیدرولیکی بود، استفاده شد و آبشستگی پایین دست سه نوع پرش مورد آزمایش قرار گرفت: پرش هیدرولیکی مستغرق(نوع B) ( $y_2 < y_t$ ، $y_2$ عمق مزدوج پرش هیدرولیکی است)،پرش هیدرولیکی متعادل (نوع A) و پرش هیدرولیکی پیشرونده به سمت پایین دست ($y_2 > y_t$). شفاعی و امیدی(۱۳۹۳) با بررسی آبشستگی پایین دست حوضچه آرامش نوع یک در شرایط تشکیل پرش هیدرولیکی نوع B به این نتیجه رسیدند که افزایش دبی باعث افزایش در میزان آبشستگی پایین دست پرش نوع A و Bمی شود و بر روی عمق و طول و شیب بالادست و پایین دست و ارتفاع پشته آبشستگی تاثیر می گذارد و همچنین با افزایش عدد فرود درمقطع اولیه پرش ، عمق و طول بدون بعد آبشستگی نیز افزایش می یابد..برای طراحی مطمئن و اقتصادی سازه های هیدرولیکی که در مسیر جریان قرار دارند دو روش اجرا می شود که یکی تخمین مناسبی از حداکثرعمق آبشستگی است تا بر

1- Novak

2- Balachandar and Kells
3- Farhoudi and Smith

اساس آن بتوان پی سازه را به گونه ای طراحی کرد که با وجود آبشستگی مشکلی برای پایداری سازه به وجود نیاید.روش دوم که در حال حاضر بسیار کاربرد دارد و اقتصادی تر نیز می باشد و بخصوص برای سازه هایی که قبلاً احداث شده اند بیشتر کاربرد دارد ، استفاده از روش هایی برای کنترل یا تثبیت آبشستگی است که از جمله این روش ها پوشش بستر رودخانه می باشد. از این رو در این تحقیق از المان های شش پایه برای پوشش بسترحوضچه آرامش و بررسی میزان آبشستگی پایین دست آن تحت تأثیر کاهش طول حوضچه استفاده شده است. با قرار گیری قطعات روی بستر رودخانه در پایین دست دریچه ها و یا سدهای انحرافی می توان حوضچه آرامش را با بستری که هم زبروهم نفوذ پذیر است ایجاد کرد. طرفی صالحی و شفاعی بجستان (۱۳۹۴) اثر المان های شش پایه را که به صورت ردیفی و با تراکم ۱۰۰درصد برروی بستر آبرفتی قرار داشت ،مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که میزان افت انرژی در این حوضچه ها نسبت به حوضچه با بستر صاف افزایش یافته است. المان شش پایه (شکل ۱) قطعه ای بتنی است که تاکنون بیشتر بعنوان موج شکن در بنادرو یا بازدارنده از فرسایش در سواحل رودخانه مورد استفاده قرار گرفته است (تورنتن و همکاران[1]،۱۹۹۹). هدف اصلی این مطالعه بررسی این موضوع است که میزان عمق آبشستگی پایین دست این حوضچه ها در صورت کاهش طول آن، که ممکن است بنا به دلایلی تعدادی از ردیف های پایین دست حوضچه تخریب شده باشند،چقدر است؟

**آنالیزابعادی**

آبشستگی پایین دست حوضچه آرامش با بستر زبر، به تعداد زیادی از متغیرهای مربوط به مشخصات پرش هیدرولیکی جریان در حضور المان های شش پایه و همچنین رسوبات بستگی دارد.این متغیرها عبارتند از:

$$f(v,y_1,y_2,\mu,d_s,\rho,\rho_s,g,\Delta L,L,D_S)=0 \qquad (۲)$$

که درآن$v$:سرعت جریان، $y_1$:عمق اولیه پرش، $y_2$: عمق ثانویه پرش،$\mu$:لزجت دینامیکی سیال ، $d_s$:نمایانگر عمق آبشستگی،$\rho$:چگالی ویژه سیال ، $\rho_s$:چگالی ویژه ذرات ،$g$:شتاب ثقل زمین ،$\Delta L$:تغییرات طول حوضچه ، $L$:طول ثابت حوضچه و $D_S$:اندازه قطر ذرات رسوبی بستر می باشد. از آنجا که در تمام آزمایش‌های این تحقیق عمق پایاب برابر عمق مزدوج بوده، بنابراین فقط عمق مزدوج بعنوان متغییر اختیار شده است . با در نظر گرفتن $v$، $y_1$ و$\rho$ بعنوان سه متغیر تکراری و به کاربردن قضیه باکینگهام، پارامترهای بی بعد به صورت زیر استخراج گردید:

$$f\left(F_r, R_e, \frac{y_2}{y_1}, \frac{D_S}{y_1}, G_S, \frac{d_s}{y_1}, \frac{\Delta L}{y_1}, \frac{L}{y_1}\right) = 0 \qquad (۳)$$

در این رابطه $F_r$:عدد فرود، $R_e$:عدد رینولدز، $D_S$:اندازه متوسط ذرات رسوب و $G_S=\frac{\rho_S}{\rho}$ می باشد.به دلیل ماهیت پرش هیدرولیکی و تلاطم زیاد آن از اثرات لزجت و در نتیجه عدد رینولدز در این رابطه صرف نظر می شود.با توجه به اینکه تمام آزمایش ها با یک نوع ماده رسوبی انجام شده است،چگالی ذرات بستر($G_S$) و$\frac{D_S}{y_1}$ از معادله حذف می شوند. با ترکیب پارامترهای $\frac{y_2}{y_1}$ با $\frac{d_s}{y_1}$ و$\frac{L}{y_1}$ با $\frac{\Delta L}{y_1}$ معادله ی اخیر را می توان به صورت رابطه ( ۴) نوشت:

$$\frac{d_s}{y_2}=f\left(F_r, \frac{\Delta l}{l}\right) \qquad (۴)$$

## مواد و روش ها

به منظور انجام این تحقیق،آزمایش ها در فلومی به طول ۷/۵متر،عرض ۰/۳متر و ارتفاع ۰/۴متر با کف و دیواره ای از جنس پلکسی گلاس و شیشه در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده ی مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گردید.آب توسط پمپ از مخزن ذخیره به مخزن آرام کننده ابتدای فلوم وارد می گشت.قبل از ورود آب به مخزن آرام کننده،دبی توسط دبی سنج الکترومغناطیس با دقت ۰/۰۰۱ لیتربر ثانیه اندازه گیری می شد.به منظور تامین بار آبی لازم برای ایجاد جریان فوق بحرانی،تندآبی با زاویه ۳۰ درجه،ارتفاع ۰/۴ متر و طول افقی ۰/۸ متر از جنس پلکسی گلاس در فاصله یک متری از ابتدای فلوم تعبیه شد. در پایین دست تندآب یک حوضچه آرامش به طول ۱۲۶ سانتی متر طراحی شد که این طول معادل حداکثرطول پرش هیدرولیکی برروی بستر آبرفتی حوضچه آرامش پوشیده با المان های شش پایه می باشد. طول حوضچه برای آزمایش های مختلف به میزان ۸٪،۱۶٪ و ۲۴٪ کاهش پیدا کرده است. شکل ( ۲ ) نمایی از فلوم مورد استفاده را نشان می دهد. در این تحقیق از یک نوع ماسه با دانه بندی یکنواخت به قطر ۲ میلی‌متر برای پوشش بستر حوضچه آرامش و پایین دست حوضچه استفاده شده است. به منظور جلوگیری از آبشستگی بستر آبرفتی در حوضچه آرامش، یک پارچه برروی بستر قرار داده شد. ابتدا المان های شش پایه با تراکم صد در صد و آرایش نواری را به صورت بسته که هر بسته شامل ۳ردیف می باشد، برای اینکه جابه جا کردن آن ها راحت باشد،با نخ ماهیگیری به هم وصل شدند. برای شروع آزمایش، بسته های المان شش پایه که مجموعا شامل ۳۴ ردیف می باشد را برروی پارچه ی قرار داده شده روی بستر ماسه ای

1 - Thornton *et al.*

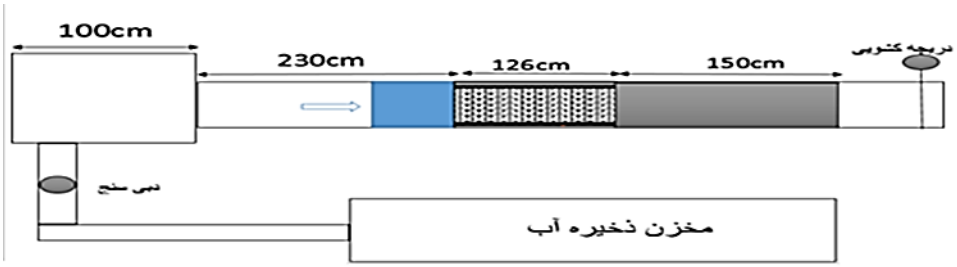
حوضچه ی آرامش به طول ۱۲۶ سانتی متر چیده شدند. شکل (۳) نحوه ی قرارگیری بسته های المان های شش پایه برروی بستر ماسه ای را نشان می دهد. المان های شش پایه ی مورد استفاده پس از طراحی توسط نرم افزار اتوکد،از جنس بتن با مقیاس ۱به ۱۲ نسبت به نمونه اصلی ساخته شدند. هندسه ی خاص المان شش پایه این قابلیت را فراهم کرده است تا این المان ها بتوانند از هر شش وجه با المان کناری قفل شوند و به صورت یک ردیف یکپارچه قرار بگیرند. ضخامت المان ها در حالت خوابیده روی بستر ماسه ای حوضچه آرامش برابر ۴ سانتی‌متر و ضخامت ماسه زیر المانها ۶ سانتیمتر بود. ضخامت ماسه در پایین دست حوضچه آرامش ۱۰ سانتی متر می باشد. مراحل انجام آزمایشها به این صورت است که ابتدا رسوبات به‌صورت دستی مسطح میگردید و رقوم سطح توسط متر لیزری اندازه گیری می شد. به منظور جلوگیری از شسته شدن ناخواسته مصالح، ابتدا سطح آب پایاب به آرامی افزایش داده میشد و پس از برقراری شرایط تعادل شیر ورودی به فلوم باز شده و مقدار دبی مورد نظر تنظیم می شد. پس از تثبیت محل تشکیل پرش، آزمایش به مدت زمان۳ ساعت ادامه می یافت.انتخاب این مدت زمان به این علت بوده که هدف مقایسه نتایج گزینه های مختلف باهم بوده است. پس از اتمام هرآزمایش ابتدا آب داخل فلوم بطور کامل تخلیه و سپس رقوم سطح مصالح با متر لیزری مستقر بروی یک چارپوب فلزی، به‌صورت شبکه ای(با ابعاد ۲×۲سانتی متر) برداشت می شد. در این تحقیق درمجموع ۲۰ آزمایش در محدوده ی اعداد فرود ۵ /۳۴ تا ۸/۱ انجام شد. جدول (۱) محدوده متغیرهای این آزمایش را نشان می دهد. شکل (۴) نمونه ای از آبشستگی درپایین دست حوضچه را نشان می دهد.



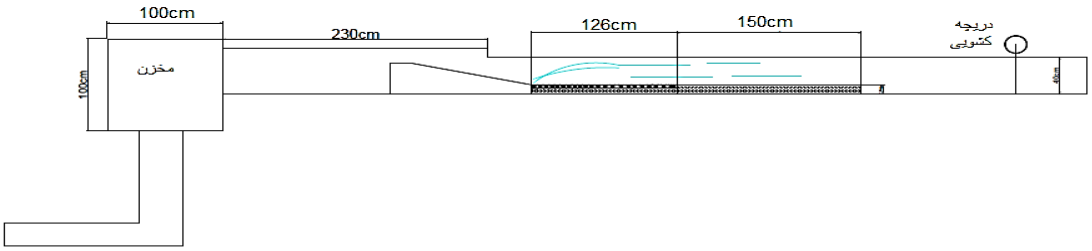
**شکل ۱- المان شش پایه مورد استفاده**

**جدول ۱- دامنه متغیرهای این تحقیق**

| $Q(lit/s)$ | $F_r$ | $l_j$(cm) | $l_r(cm)$ | $y_2\ (cm)$ | $y_1$(cm) | $d_s(cm)$ | $\Delta L/L$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱۰-۲۶ | ۵/۳۴-۸/۱ | ۵۵-۱۲۶ | ۳۱-۴۵ | ۱۰/۳-۱۸/۶ | ۱/۱-۲/۷ | ۰/۵-۵ | ۰ -٪۲۴ |




**الف) پلان**




**ب)مقطع طولی**

**شکل ۲- پلان و مقطع طولی فلوم آزمایشگاهی**



**شکل ۳- پلان چیدمان المانهای شش پایه بتنی روی بستر آبرفتی فلوم**



**شکل٤- نمونه ای از تشکیل آبشستگی در آزمایشگاه**

## نتایج و بحث

### تاثیر شرایط جریان برای حوضچه با طول ثابت

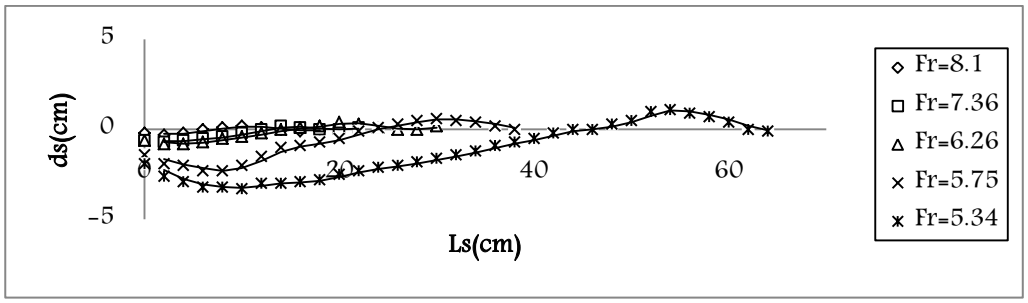
آزمایش‌ها در پنج عدد فرود مختلف برای پرش آزاد(نوع$A$) انجام شد . در پائین دست سرریز با افزایش دبی جریان میزان عمق جریان در ابتدای حوضچه افزایش و در نتیجه عدد فرود اولیه پرش کاهش می‌یابد. از طرفی افزایش دبی باعث افزایش عمق ثانویه و در نتیجه طول پرش می شود از این رو در ابتدا طول حوضچه معادل طول پرش در حداکثر دبی مورد آزمایش (۲۶ لیتر برثانیه) تعیین گردید که معادل ۱۲۶ سانتی‌متر به‌دست آمد. در این آزمایش حفره آبشستگی بیشترین ابعاد (عمق و طول) را داشت چرا که بستر ماسه‌ای بلافاصله پس از حوضچه شروع شده است. آزمایش ها با این طول حوضچه دردبی‌های کمتر(اعداد فرود اولیه بیشتر) نشان می‌دهد که ابعاد حفره پائین دست حوضچه کاهش می یابد. این به‌دلیل این است که در دبی های کمتر عمق مزدوج کمتر و در نتیجه طول پرش کاهش می‌یابد در حالیکه طول حوضچه ثابت و همان ۱۲۶ سانتی‌متر می‌باشد. در این آزمایش‌ها انتهای پرش قبل از انتهای حوضچه رخ می‌دهد و بخشی از انرژی جنبشی انتهای پرش قبل از خروج جریان از حوضچه مستهلک و

در نتیجه میزان عمق آبشستگی نیز کمتر خواهد بود.شکل(۵ )پروفیل طولی حفره آبشستگی را برای اعداد فرود مختلف در فاصله های مختلف از محل وقوع آبشستگی ($L_S$) و در شرایطی که طول حوضچه ثابت است را نشان می دهد. با توجه به شکل ملاحظه می شود که با افزایش عدد فرود عمق آبشستگی کاهش پیدا کرده است. همچنین تغییرات عمق آبشستگی در مقابل دبی در شکل (۶) برای حوضچه با طول ثابت نیز نشان داده شده است.

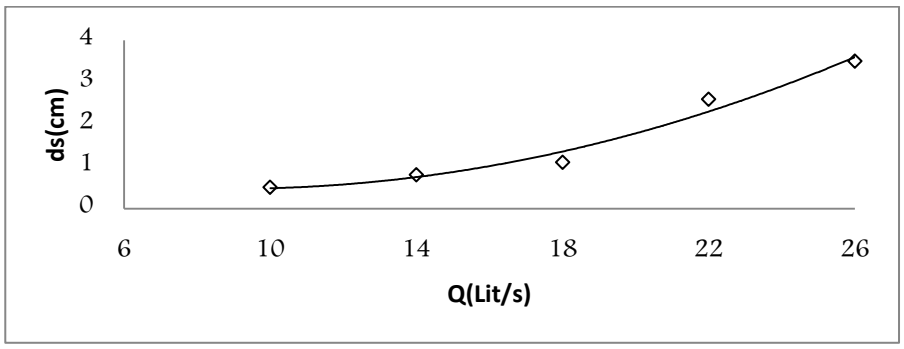
**تأثیر کاهش طول حوضچه در دبی حداکثر**

یکی از مهم‌ترین اهداف این تحقیق بررسی ابعاد حفره آبشستگی در اثر کاهش طول حوضچه است. بدین ترتیب که در صورت اجرای طول حوضچه کمتر از میزان واقعی و یا تخریب تعدادی از زبری های انتهائی چه تغییراتی در ابعاد حفره آبشستگی پائین دست به وجود می‌آید. از این رو در این قسمت تغییرات پروفیل بستر پائین دست حوضچه را در دبی حداکثر و با کاهش طول حوضچه ارائه می‌گردد. شکل (۷) این تغییرات را نشان می دهد. در شکل (۷)، L نمایانگر طول حوضچه اولیه که برابر ۱۲۶ سانتیمتر می‌باشد،L1 کاهش ۸٪ طول حوضچه،L2 کاهش ۱۶٪ طول حوضچه و L3 کاهش ۲۴٪ طول حوضچه می باشند.

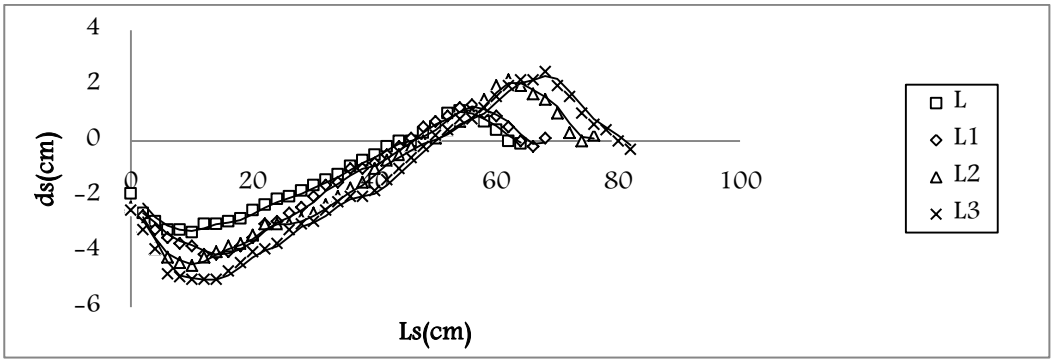
همان‌گونه که از شکل (۷) مشخص است با کاهش طول حوضچه میزان عمق آبشستگی و ارتفاع پشته رسوبی افزایش می‌یابد. دلیل عمده آن هم کوتاه شدن طول حوضچه و در نتیجه تشکیل بخشی از پرش در بستر آبرفتی پائین دست می‌باشد. شکل (۸) نیز تغییرات عمق آبشستگی بی بعد شده را در حوضچه با طول متغیر برای عدد فرود ۵/۳۴ نشان می‌دهد. از این شکل هم مشخص است که بیشترین عمق بی بعد شده آبشستگی مربوط است به کوتاه‌ترین طول حوضچه که در آن طول حوضچه به میزان ۲۴درصد کاهش یافته است. نظیر شکل(۷) را می‌توان برای سایر اعداد فرود آزمایش شده ،به منظور بررسی اینکه با افزایش عدد فرود،پروفیل بستر چه تغییری خواهد کرد را در شکل (۹) مشاهده نمود. شکل (۹) الف و ب بعنوان مثال پروفیل بستر را برای اعداد فرود ۶/۲۶ و ۵/۷۵ نشان می‌دهد. همانطور که در شکل‌های (۷) و (۹) مشاهده می شود، کاهش عدد فرود باعث ایجاد عمق و طول آبشستگی بیشتری می شود. و با مقایسه پروفیل ها در طول های مختلف حوضچه در می یابیم که هرچه طول حوضچه کاهش پیدا کند، عمق حفره($d_s$)، طول حفره($l_h$)، وطول کل آبشستگی ($l_b$) افزایش می یابد.



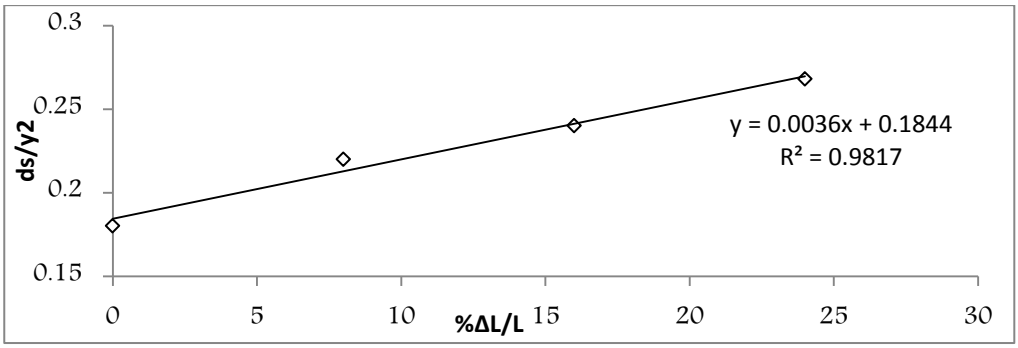

**شکل ۵- پروفیل بستر پایین دست حوضچه با طول ثابت در اعداد فرود مختلف**




**شکل٦- تغییرات عمق آبشستگی پایین دست حوضچه با طول ثابت در مقابل دبی جریان**

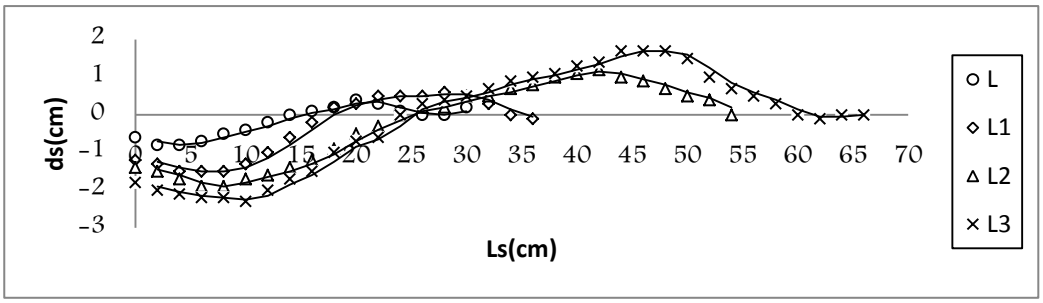



**شکل ۷- تغییرات پروفیل بستر در اثر تغییر طول حوضچه برای دبی حداکثر(عدد فرود ۵/۳٤)**

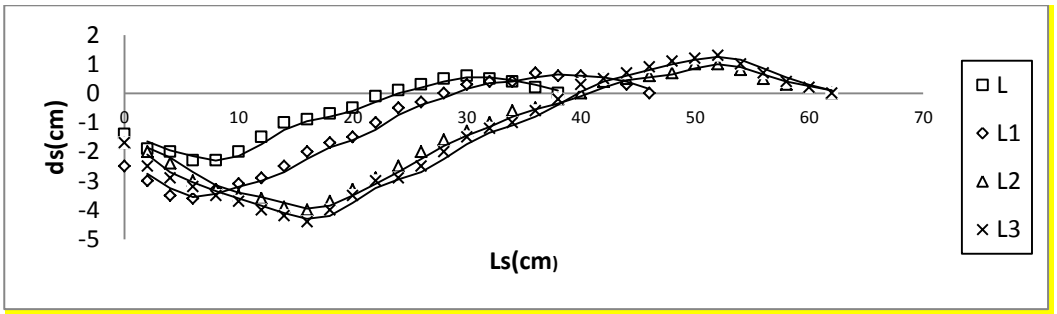



**شکل ۸ - تغییرات عمق آبشستگی بی بعد شده در مقابل کاهش طول حوضچه در عدد فرود ۵/۳٤**

**الف**




**ب**




**شکل۹- تغییرات پروفیل بستر در اثر تغییر طول حوضچه :الف)برای عدد فرود ٦/۲٦.ب) برای عدد فرود ۵/۷۵**

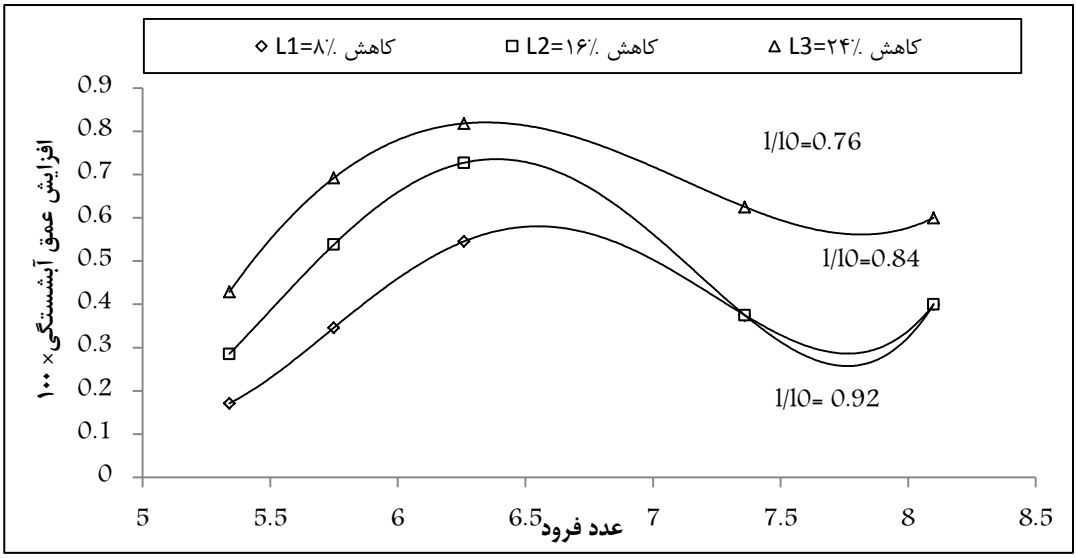
به طور کلی نتایج فوق نشان داد که در هر شرایطی تغییرات عمق آبشستگی در پائین دست حوضچه ابتدا کاهشی و سپس افزایشی است بطوریکه رسوبات شسته شده در پائین دست حفره تشکیل تپه رسوبی میکنند. افزایش عدد فرود باعث کاهش ابعاد حفره از جمله عمق آبشستگی میشود. دلیل این مسئله را می‌توان ثابت گرفتن طول حوضچه دانست. در حالیکه طول پرش وابسته به عدد فرود میباشد. در این تحقیق طول پرش که تقریباً ۶ برابر عمق مزدوج می‌باشد ، با افزایش عدد فرود کاهش می‌یابد. این بدان معنی است که در اعداد فرود بالاتر پرش هیدرولیک کاملاً در درون حوضچه اتفاق افتاده و باعث شده است تا انرژی جنبشی آن قبل از رسیدن پرش به پائین دست مستهلک گردد و در نتیجه ابعاد حفره کاهشی می باشد. همانطور که قبلا اشاره شد ، بیشینه طول پرش با طول ثابت حوضچه (۱۲۶سانتی‌متر) برابر است. بنابراین با کاهش دادن طول حوضچه به میزان ۸ درصد، ۱۶درصد و ۲۴درصد باعث می شود طول پرش بیشتر از طول حوضچه بشود و این امر باعث می شود میزانی از انرژی در بیرون از حوضچه مستهلک گردد و عملا میزان عمق و دیگر ابعاد آبشستگی نسبت به طول ثابت حوضچه افزایش می یابند. همانطور که در شکل (۹) الف و ب مشاهده می شود ،درشیب بالادست و پایین دست حفره برای اندازه های مختلف حوضچه اختلاف نسبتاً زیادی مشاهده می شود و درفرم پشته تشکیل شده در پایین دست پراکندگی دیده می شود. اما در شکل (۷) درشیب بالادست حفره تشابه کاملی برای اندازه های مختلف حوضچه مشاهده می شود و درفرم پشته تشکیل شده در پایین دست پراکندگی دیده می شود. بیشترین عمق آبشستگی و دیگر ابعاد آبشستگی مربوط به بیشترین کاهش طول حوضچه بوده است. به منظور بررسی کمی نتایج می‌توان میزان تغییرات (کاهش یا افزایش) عمق آبشستگی را از رابطه (۵ ) برآورد کرد:

$$R=\frac{d_{sl1,2,3}-dsl}{dsl}\times ۱۰۰ \qquad (۵)$$

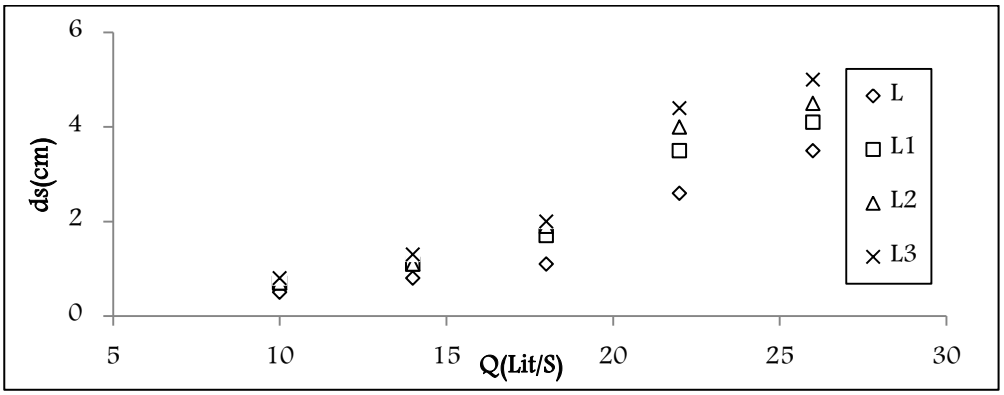
در رابطه بالا $d_{sl1,2,3}$ ، آبشستگی را به ترتیب در کاهش های ۸درصد،۱۶درصد و ۲۴ درصد و $d_{sl}$ آبشستگی را در طول ثابت حوضچه نشان می دهد.میزان متوسط تغییرات عمق،طول حفره و طول کل آبشستگی در حالت با بعد برای کاهش های مختلف طول حوضچه محاسبه شد. به عنوان مثال با کاهش طول حوضچه به میزان ۸درصد نسبت به طول ثابت حوضچه، به طور متوسط عمق آبشستگی، طول حفره و طول کل آبشستگی به ترتیب حدود ۳۶/۸٪،۱۸/۹٪ و ۱۸/۴٪ افزایش یافته است. همچنین تأثیر کاهش طول حوضچه به میزان ۸ درصد، روی ابعاد بدون بعد آبشستگی نیز محاسبه شد و نتایج به این صورت بدست آمد که عمق،طول حفره و طول کل آبشستگی در حالت بدون بعد به طور متوسط به ترتیب ۳۹/۲۰٪،۱۹/۱٪و ۱۸/۵٪ افزایش می یابد. جدول (۲)، درصد افزایش بیشینه عمق آبشستگی برای محدوده عدد فرود ۸/۱ تا ۵/۳۴ آورده شده است.همانطور که در جدول (۲) مشاهده می شود،متوسط عمق آبشستگی در کاهش ۲۴ درصدی حوضچه نسبت به طول ثابت حوضچه (۱۲۶سانتیمتر) بیشتر از کاهش های ۸٪ و ۱۶٪ حوضچه می باشد. همچنین در عدد فرود ۸/۱ و ۷/۳۶، عمق آبشستگی برای کاهش های ۸٪ و ۱۶٪ حوضچه ،نسبت به طول ثابت حوضچه به یک میزان افزایش می یابد. تغییرات پارامتر افزایش عمق آبشستگی(R٪) برای کاهش های مختلف طول حوضچه،به عنوان نمونه در شکل (۱۰) آورده شده است. در این شکل، مقادیر حداکثر و میانگین پارامترR ۸۱/۸ برای کاهش ۲۴٪ طول حوضچه می باشد. همانگونه که از این شکل مشخص است با افزایش عدد فرود مقدار R ابتدا افزایشی و سپس کاهشی است. دلیل عمده آن با توجه به شکل (۵) تفاوت معنی دار عمق آبشستگی برای اعداد فرود ۵/۳۴ و ۵/۷۵ نسبت به سه عدد فرود دیگر است. به طوری که در اعداد فرود ۶/۲۶ تا ۸/۱ مقادیر عمق آبشستگی در شرایط طول حوضچه برابر طول پرش خیلی کم و برای اعداد فرود ۵/۳۴ و ۵/۷۵ زیاد می‌باشد. در حالیکه مقادیر عمق آبشستگی در شرایطی که طول حوضچه کاهش می‌یابد تقریبا با یک نسبتی افزایش می‌یابند. از این رو درصد افزایش عمق آبشستگی در اعداد فرود پائین بسیار کمتر از سایر اعداد فرود می‌باشد. شکل (۱۱) به منظور مقایسه ی تغییرات عمق آبشستگی برای کاهش های مختلف حوضچه نسبت به طول ثابت حوضچه، در مقابل دبی جریان رسم شده است. با توجه به شکل( ۱۱) مشاهده می شود در دبی های($lit/s$)۱۸، ($lit/s$)۲۲و($lit/s$)۲۶ تغییرات آبشستگی در کاهش های ۸٪ و ۱۶٪ طول حوضچه ،تقریبا نزدیک به هم می باشد.این امر برای کاهش های ۱۶٪ و ۲۴٪ طول حوضچه نیز مشهود است.طوری که در دبی($lit/s$)۱۸،کاهش های۱۶ و ۲۴ درصدی طول حوضچه،تنها در ۵/۲۶٪ عمق آبشستگی باهم اختلاف دارند. در این شکل ،L نمایانگر طول ثابت حوضچه،L*1* کاهش ۸٪ طول حوضچه،L2 کاهش ۱۶٪ طول حوضچه و L3 کاهش ۲۴٪ طول حوضچه می باشند.به منظور درک بهتر نتایج آزمایش ها،با استفاده از متر لیزری داده های توپوگرافی بستر برداشت گردید و با استفاده از نرم افزار surfer12 توپوگرافی بستر رسم شد.در شکل (۱۲ ) توپوگرافی بستر برای عدد فرود ۵/۷۵،برای طول ثابت حوضچه (۱۲۶سانتیمتر)وحوضچه با طول های کاهشی ۸٪،۱۶٪ و۲۴٪ نشان داده شده است.

**جدول۲- تغییرات پارامتر افزایش عمق آبشستگی برای کاهش های مختلف حوضچه (R%)**

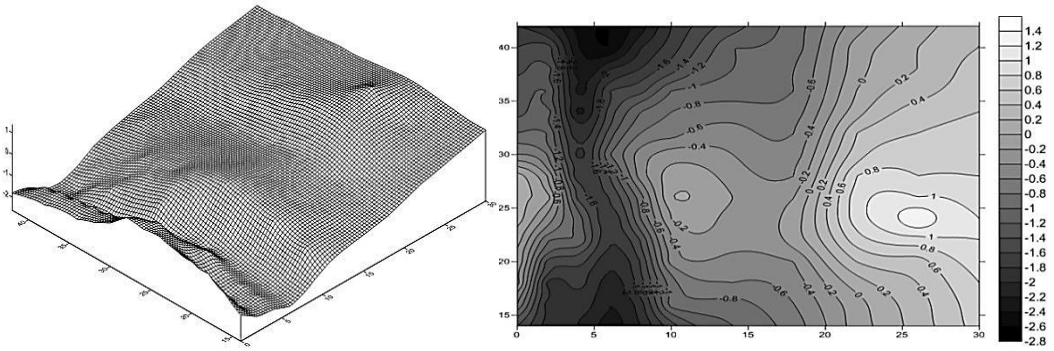
| $F_r$ | کاهش ۸٪ | کاهش ۱۶٪ | کاهش ۲۴٪ |
|---|---|---|---|
| ۸/۱ | ٪۴۰ | ٪۴۰ | ٪۶۰ |
| ۷/۳۶ | ٪۳۷/۵ | ٪۳۷/۵ | ٪۶۲/۵ |
| ۶/۲۶ | ٪۵۴/۵ | ٪۷۲/۷ | ٪۸۱/۸ |
| ۵/۷۵ | ٪۳۴/۶ | ٪۵۳/۸ | ٪۶۹/۲ |
| ۵/۳۴ | ٪۱۷/۱ | ٪۲۸/۶ | ٪۴۲/۹ |
| میانگین | ٪۳۶/۸ | ٪۴۶/۵ | ٪۶۳/۳ |



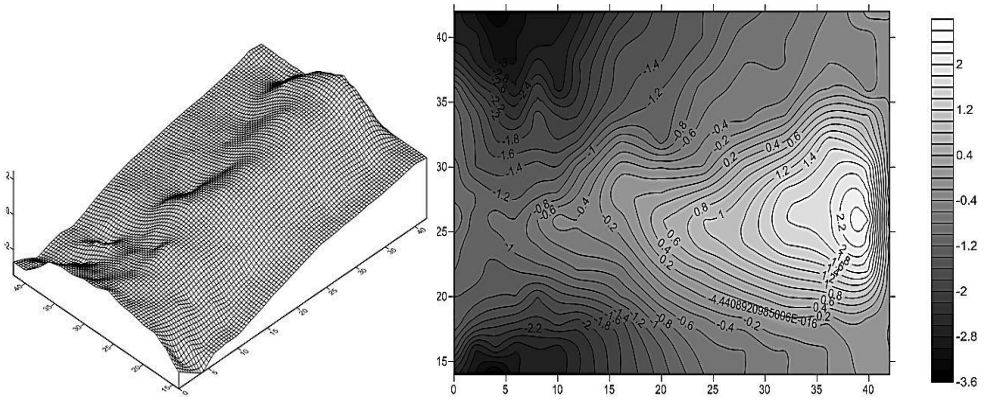

**شکل ۱۰- تغییرات پارامتر افزایش عمق آبشستگی در مقابل عدد فرود جریان برای کاهش های مختلف حوضچه نسبت به طول ثابت حوضچه**



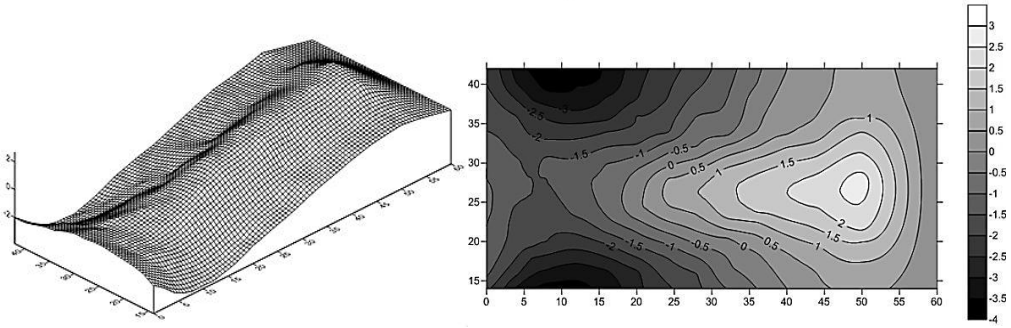

**شکل ۱۱- تغییرات عمق آبشستگی در مقابل دبی برای کاهش های مختلف حوضچه**



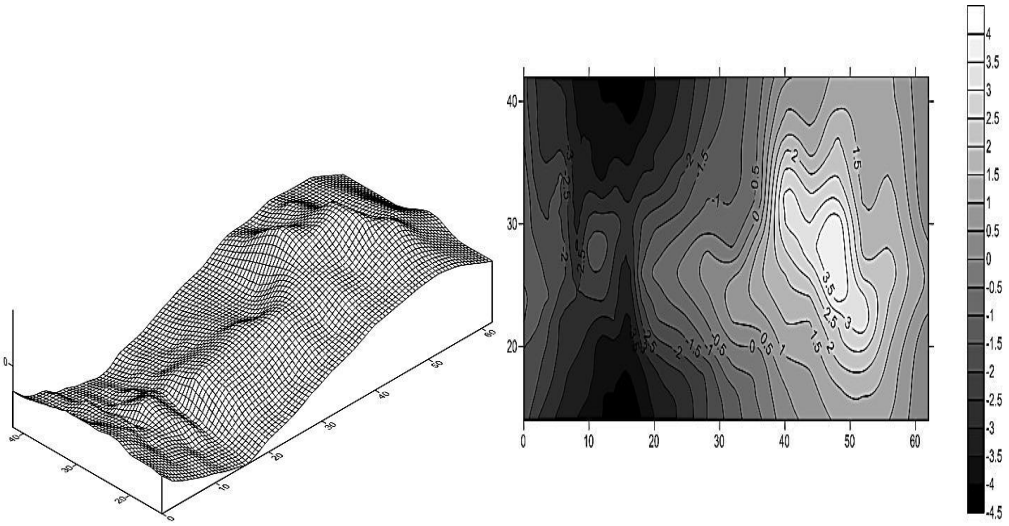
**الف.طول حوضچه برابر ۱۲٦ سانتیمتر**



**ب.طول حوضچه با کاهش ۸٪**



**ج. طول حوضچه با کاهش ۱٦٪**



**د. طول حوضچه با کاهش ۲٤٪**

**شکل۱۲- نمای دو بعدی و سه بعدی پروفیل آبشستگی برای عدد فرود ۵/۷۵**

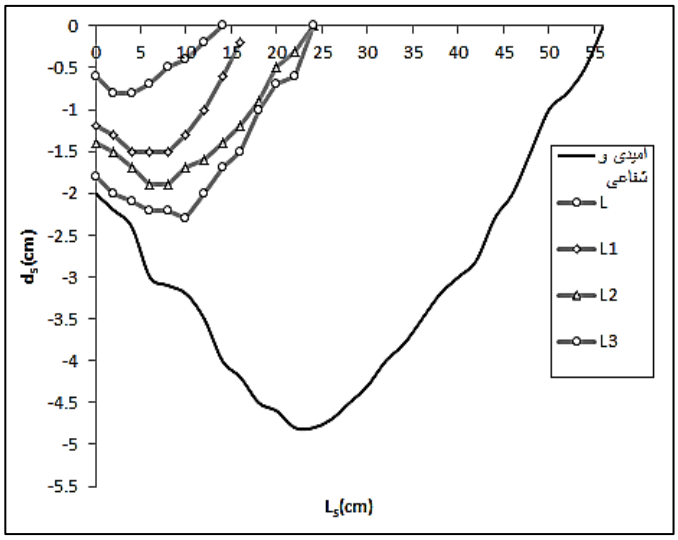
همان‌طور که در شکل (۱۲) ملاحظه می شود،یک تشابه هندسی بین تمامی پروفیل های آبشستگی وجود دارد. با توجه به شکل ،میزان عمق حفره آبشستگی در دو انتهای عرضی فلوم بیشتر می باشد که دلیل این امر آن است که میزان اصطکاک بین ذرات ماسه و شیشه فلوم کمتر از اصطکاک بین خود ذرات ماسه می باشد. در تمامی عدد فرودها با کاهش طول حوضچه ،حجم بیشتری از مواد بستر شسته می شود. به طور کلی از حداکثر عمق آبشستگی پایین دست حوضچه آرامش با بستر زبر در این مطالعه و مطالعه ای که امیدی و شفاعی بجستان (۱۳۹۳) که آزمایشات را در شرایط طول حوضچه برابر طول پرش با بستر صاف و در شرایط هیدرولیکی مشابه با این تحقیق انجام داده است،مشخص است که ابعاد حفره آبشستگی در آزمایش های این تحقیق بسیار کمتر است.به این صورت که عمق آبشستگی در پایین دست حوضچه پوشیده با المان (( های شش پایه (طول ۱۲۶ سانتی‌متر)،۷۳ ٪ کمتراز عمق آبشستگی پایین دست حوضچه با بستر صاف در شرایط تشکیل پرش هیدرولیکی نوع A می باشد. دلیل عمده آن هم می تواند ناشی از اثر المان های شش پایه باشد که باعث افزایش تنش برشی و استهلاک بیشتر انرژی جنبشی می گردد. شکل (۱۳)،توسعه حفره آبشستگی در حوضچه با بسترزبردر این تحقیق و حوضچه با بستر صاف در آزمایش های امیدی و شفاعی بجستان را برای دبی ۱۸لیتر بر ثانیه را نشان می دهد. در شکل (۱۴) عمق بی بعد آبشستگی در مقابل کاهش طول حوضچه ،برای عددهای فرود مختلف جریان رسم شده است. نتایج نشان می دهد بین درصد کاهش طول حوضچه و عمق بی بعد آبشستگی رابطه خطی برقرار است.به این صورت که با افزایش میزان درصد کاهش طول حوضچه،عمق بی بعد آبشستگی افزایش می یابد و این افزایش برای عدد فرود مختلف متفاوت است.به این صورت که برای یک طول ثابت،با کاهش عدد فرود میزان عمق بی بعد آبشستگی افزایش می یابد. همانطور که در شکل( ۱۴) مشاهده می شود میزان تغییرات عمق بی بعد آبشستگی در برابر تغییرات طول حوضچه برای عدد فرود ۵/۷۵و ۵/۳۴ بسیار بیشتر از ۳ عدد فرود۷/۳۶۶/۲۷و۸/۱ می باشد.و همچنین میزان تغییرات عمق بی بعد شده آبشستگی برای دو عدد فرود ۵/۷۵ و۵/۳۴ نزدیک بهم می باشد بطوری که درکاهش ۲۴٪ طول حوضچه ،این تفییرات عمق آبشستگی بسیاربهم نزدیک می شود.اما در عدد فرود ۷/۳۶۶/۲۷و۸/۱ تغییرات عمق بی بعد آبشستگی در طول ثابت حوضچه بهم نزدیک می باشد وهرچه طول حوضچه را کاهش دهیم، تفییرات عمق بی بعد آبشستگی برای این سه عدد فرود زیاد می شود.

## استخراج رابطه

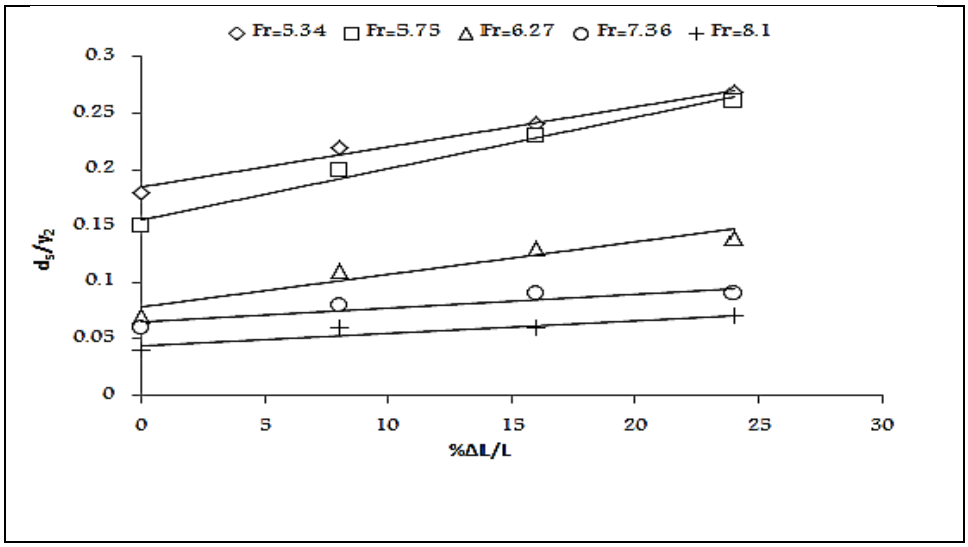
همان‌گونه که در بخش مواد و روش ها عنوان شد،با استفاده از تحلیل ابعادی رابطه کلی (۴) حاصل گردید که به منظور استخراج رابطه ای خاص،می باید با بکار بردن داده های آزمایشگاهی و نرم افزارهای آماری مناسب ترین معادله بین متغیرهای بدون بعد را برازش داد. در این تحقیق از نرم افزار SPSS استفاده شد و معادله ی زیر برای محاسبه عمق آبشستگی استخراج گردید:

$$\frac{d_s}{y_2} = 50.174F_r^{-3.157} - 0.06\left(\frac{\Delta l}{l}\right)^{16.319} \qquad (۶)$$

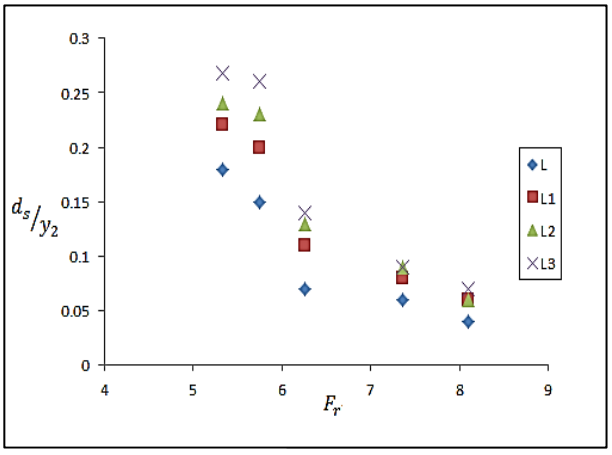
مقدار $R^2$ در رابطه بالا،۰/۹۳۵ می باشد . همانطور که از رابطه (۶ ) پیداست ، تغییرات عمق آبشستگی نسبت به عمق مزدوج تابعی از عدد فرود اولیه و کاهش های مختلف طول حوضچه می باشد. همچنین بین عمق بی بعد آبشستگی با عدد فرود جریان رابطه عکس و با کاهش های مختلف طول حوضچه رابطه مستقیم وجود دارد. در شکل ( ۱۵)که تغییرات عمق بی بعد آبشستگی در مقابل عدد فرود،برای طول ثابت حوضچه، کاهش ۸٪ طول حوضچه ، کاهش ۱۶٪ طول حوضچه و کاهش ۲۴٪ طول حوضچه آورده شده است نیز این امر مشهود است که با افزایش عدد فرود،عمق بی بعد آبشستگی کاهش می یابد. به منظور نشان دادن دقت رابطه (۶) ، مقدار عمق آبشستگی محاسبه شده با این رابطه در مقابل مقدار همین پارامتر که از آزمایش بدست آمد ترسیم گردید و شکل ( ۱۶ ) بدست آمد. سپس میزان انحراف مقادیر محاسبه شده از رابطه (۶) با نتایج بدست آمده در آزمایشگاه از فرمول $R=\frac{d_{sm}-d_{sc}}{d_{sm}}$ محاسبه شد و میانگین قدر مطلق این خطا به عنوان متوسط خطا در نظر گرفته شد که مقدار آن ۲۲ درصد می باشد. در فرمول بالا $d_{sm}$، عمق آبشستگی به‌دست آمده از آزمایشگاه و $d_{sc}$ مقادیر محاسباتی می باشد.



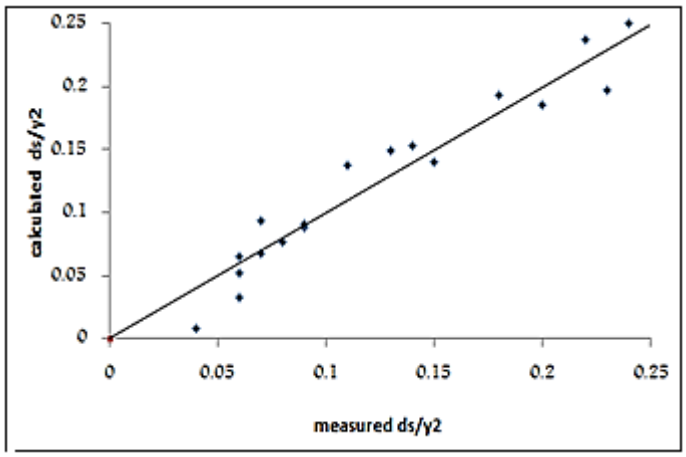

**شکل ۱۳- مقایسه توسعه حفره آبشستگی در این تحقیق با نتایج امیدی و شفاعی در دبی ($lit/s$) ۱۸**




**شکل۱٤-تغییرات $d_s/y_2$ در مقابل درصد کاهش طول حوضچه $\Delta l/l$**




**شکل۱۵- عمق بی بعد آبشستگی درمقابل عدد فرود جریان برای کاهش های مختلف حوضچه**




**شکل ۱۶- نمودار مقایسه $d_s/y_2$ محاسبه شده از رابطه ٦ در برابر مقادیر بدست آمده از آزمایش**

## نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی میزان تاثیر کاهش طول حوضچه ی پوشیده با المان های شش پایه بر ابعاد آبشستگی پایین دست آن پرداخته شد. بدین صورت ۲۰ آزمایش در ۵ عدد فرود مختلف در شرایط تشکیل پرش نوع A انجام گرفت. نتایج آزمایش نشان داد که کاهش عدد فرود باعث افزایش ابعاد آبشستگی از جمله عمق و طول آبشستگی می شود. همچنین تغییرات میزان آبشستگی بر حسب تغییر طول حوضچه آرامش بررسی شد و مشخص شد که کاهش ۲۴٪ طول حوضچه آرامش نسبت به طول ثابت آن، بیشترین آبشستگی در پایین دست حوضچه را داشته است . از مقایسه حداکثر عمق آبشستگی پایین دست حوضچه آرامش با بستر زبر در این مطالعه و مطالعاتی که تاکنون بر آبشستگی پایین دست حوضچه آرامش با بستر صاف انجام شده است، به این نتیجه میرسیم که زبری های حوضچه آرامش با کاهش مشخصات پرش از قبیل طول پرش و افزایش استهلاک انرژی به میزان قابل توجهی، می توانند عمق آبشستگی را کاهش و دیگر ابعاد آبشستگی پایین دست حوضچه آرامش را به حداقل مقدار خود برسانند. نتایج این آزمایش نشان داد که این افزایش عمق آبشستگی و افزایش ارتفاع پشته با کاهش طول حوضچه افزایش می یابد. همچنین نتایج نشان داد که کاهش طول حوضچه به اندازه ی ۸٪ تا ۲۴٪ نسبت به طول ثابت حوضچه، افزایش ۱۷٪ تا ۴۳٪ عمق آبشستگی را در شرایط برقراری دبی حداکثر را به دنبال دارد. در این مطالعه نیز مشاهده شد که در عدد فرود ۸/۱ و ۷/۳۶، عمق آبشستگی برای کاهش های ۸٪ و ۱۶٪ حوضچه، نسبت به طول ثابت حوضچه به یک میزان افزایش می یابد. واین امر باعث می شود که به جای کاهش ۸٪ طول حوضچه در این محدوده از اعداد فرود ،آن را به میزان ۱۶٪ کاهش دهند. زیرا هم هزینه و هم زمان کمتری برای ساخت المان های شش پایه صرف می شود. و در آخر رابطه ای برای محاسبه عمق آبشستگی در برابر کاهش طول حوضچه استخراج گردید.

## تشکر و قدردانی

هزینه های این مطالعه از محل پژوهانه نویسنده دوم تامین شده است که بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران تشکر وقدردانی می شود.

## منابع

۱- حسینی، م. و ابریشمی، ج. ۱۳۷۹. هیدرولیک کانالهای باز ، ویرایش دوم ، چاپ بیست و هفتم ، انتشارات آستان قدس رضوی ،مشهد.

۲- حمیدی فر، ح. و امید، ح. ۱۳۸۹. بررسی آزمایشگاهی آبشستگی رسوبات غیر چسبنده در پایین دست کف بند.مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی ، ۱۱ (۲): ۲۸-۱۷.

۳- خواجه گودری، م. و م. شفاعی بجستان، ۱۳۹۳. تاثیر زبری های A.jack بر طول پرش هیدرولیکی،اولین کنفرانس و نمایشگاه علوم و مهندسی آب،مرکز همایش‌های بین المللی شهید بهشتی،تهران.

۴- شفاعی بجستان، م.(۱۳۸۷). مبانی نظری و عملی هیدرولیک انتقال رسوب.انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.

۵- شفاعی بجستان، م. و نیسی، ک. ۱۳۸۸. بررسی عمق مزدوج پرش هیدرولیکی تحت تاثیر اجزای زبر کف. مجله دانش آب و خاک، ۱۹(۲): ۱۷۶-۱۶۵.

۶- شفاعی بجستان، م. و ص. امیدی. ۱۳۹۳. بررسی عمق آبشستگی پایین دست حوضچه نوع ۱ در شرایط پرش آزاد و مستغرق. سیزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تبریز، آبان ماه۱۳۹۳.

۷- طرفی صالحی، ل. و م. شفاعی بجستان. ۱۳۹۴. بررسی عمق مزدوج و استهلاک انرژی در حوضچه ی آرامش با بستر آبرفتی پوشیده از المان های شش پایه، چهاردهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، زاهدان.

۸- کوچک، پ. ۱۳۹۱. بررسی آزمایشگاهی اثر زبری کف بند افقی بر آبشستگی پایین دست آن. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۹- نصر اصفهانی،م. و م. شفاعی بجستان. ۱۳۹۳. بررسی پدیده کاویتاسیون در حوضچه آرامش با بستر زبر و پله ناگهانی. نشریه علمی پژوهشی هیدرولیک ۸ (۲): ۴۰-۲۹ .

10- Balachandar, R. and Kells, J.A. and R.J. Thiessen, 2000. The effect of tailwater depth on the dynamics of local scour. Canadian Journal of Civil Engineering, 27: 138-150.

11- Carollo, F. Ferro, V. and V. Pampalone, 2011. Sequent Depth Ratio of a B-Jump. Journal of Hydraulic Engineering, 137(6): 651-658.

12- Ead, S.A. and N. Rajaratnam. 2002. Hydraulic Jumps on corrugated beds. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 128 (7): 656-663.

13- Farhoudi, J. and K. V. H. Smith, 1985. Local scour profiles downstream of Hydraulic Jump. Journal of Hydraulic Research, 23(4): 342-358.

14- Izadjoo, F. and M. Shafai-Bajestan. 2007. Corrugated bed Hydraulic Jump Stilling Basin. Journal of Applied Sciences, 7(8): 1164-1169.

15- Novak, P. 1955. Study of Stilling Basin withspecial regard to their end sill. Proceeding of 6th IAHR Conference, The Hague, paper C15.

16- Novak, P. 1961. Influence of bed load passage on scour and turbulence downstream of Stilling Basin. Proceeding of 19th IAHR Conference. Dubrovink.

17-Peterka, A.J. 1958. Hydraulic design of Stilling Basins and Energy Dissipaters. Engineering Monograph No. 25, USBR, Denver, Colorado, USA.

18- Thornton , C.I., Watson, C.C., Abt, S.R., Lipscomb, C.M.and C. Ullman.1999. Laboratory Testing of A-Jacks units for Irland Applications:pier scour protection Testing . Colorado State University Research Report for Armortec Concrete Erosion Control Systems, February, 19:10-16.

Shahid Chamran University of Ahvaz
**Irrigation Sciences and Engineering** **Vol. 40, No. 4, Winter 2018, p. 109-124**

**EXTENDED ABSTRACT**

# Hydraulic Jump Stilling Basins Downstream Scour Covered with Six-Legs Elements under Reduction of Basin Length

L. Torfi Salehi[1] and M. shafai bajestan[2*]

1- M.Sc. Student of Water Structures, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.
2*- Corresponding Author, professor, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.(*M_shafai@yahoo.com*).

Received: 9 May 2016 Accepted: 9 July 2016

**Keywords:** Scour, reduction of stilling basin length, hydraulic jump, six- legs elements.

## Introduction

The most common way to dissipate the water kinetic energy at the downstream of weirs , gates at chutes is to use the hydraulic jump. Hydraulic jump is a phenomenon that alters the flow regime of the state of supercritical to the subcritical with dissipating much of the flow kinetic energy and to prevent possible downstream scour of the structure. Development of the downstream scour hole of the hydraulic jump stilling basins can cause failure of the structure itself , which has been the interest of the researchers in the past. The extension of new roughened bed basin is essential to pursue and complete what previous researchers concluded for these basins. Safe and an economical design of hydraulic structures, an estimation of the maximum scour depth, and to minimization the scour dimensions is the interest of the researchers. Therefore, in this study the effect of placing the six-legged concrete elements under different lengths was investigated investigated. Covering the river bed downstream of the spillways and gates with these roughened and permeable elements can decrease the stilling basin length and expected less scour depth. These elements are tight together and placed on the bed. The covered length of the bed is equal to the length of jump on these elements. However, there is possibility in which few rows of the downstream elements are escaped because of the edge failure and therefore the roughened bed length is shortened. The main purpose of this study was to see how much exactly would be the magnitude of downstream scour depth if the covered length is decreased.

## Methodology

In the present study, an experimental model including a spillway with 30-degree slope, and height of 0.4 meter and a basin covered with six-legs concrete elements was built. Tests carried out by decreasing the jump length by 8%, 16%, and 24% and tested each under different flow conditions (Froude number ranged between 5.34-8.1). Also, Experiments were done in a flume with length of 7.5 meter, 0.3-meter-wide and 0.4-meter-high in the hydraulic laboratory of the Water Engineering Faculty of the Shahid Chamran University of Ahwaz. One of the most important goals of this study is to examine the dimensions of the scour hole due to the reduction of the length of the basin.

**Results and Discussion:**

At the end of each test, bed topographic map was measured and plotted. Results have proved that the maximum scour depth usually occurs at low Froude numbers in which the jump length is equal to the basin length. As the basin length decreases, the scour dimensions and the point bar dimensions become larger. The results also showed that by decreasing of the basin length by 8%, the scour depth at high flow rates increases up to 17%. Under this flow condition, the scour depth increases up to 43% when the basin length is shortened by 24%. For the low flow rates the scour depth rising percentage was obtained to be 40% and 60% for reduced jump length of 8% and 24%, respectively. In general, the results showed that under any circumstances, the downstream scour depths of the basin were initially reduced and then increased. Increasing the Froude number decreases the size of the scour hole. The reason for this is probably due to the fixing the length of the basin. While the length of the jump depends on the Froude number. In the present study, the jump length, which is approximately 6 times the conjugate depth, decreases by increasing of the Froude number. This means that for higher Froude numbers, the hydraulic jump was completely occurred within the basin, causing its kinetic energy to be dissipated before it reaches the downstream, resulting in smaller scour hole dimensions.

**Conclusions**

At the end of each test, bed topographic map was measured and plotted. Results have proved that the maximum scour depth usually occurs at low Froude numbers in which the jump length is equal to the basin length. As the basin length decreases, the scour dimensions and the point bar dimensions become larger. In this study, it was observed that for the Froude numbers of 8.1 and 7.36, the scour depth for the reduction of 8% and 16% of the basin length, increased to a constant rate compared to the fixed length of the basin. It costs less money and less time to build six-legs elements. Then with the use of laboratory data and applying statistical software SPSS, relationships to predict the maximum scour depth under the influence of the A-type hydraulic jump were obtained, with the laboratory data.

**References**

1- Balachandar, R. and Kells, J.A. and R.J. Thiessen, 2000. The effect of tailwater depth on the dynamics of local scour. Canadian Journal of Civil Engineering, 27: 138-150.

2- Carollo, F. Ferro, V. and V. Pampalone, 2011. Sequent Depth Ratio of a B-Jump. Journal of Hydraulic Engineering, 137(6): 651-658.

3- Ead, S.A. and N. Rajaratnam. 2002. Hydraulic Jumps on corrugated beds. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 128 (7): 656-663.

4- Farhoudi, J. and K. V. H. Smith, 1985. Local scour profiles downstream of Hydraulic Jump. Journal of Hydraulic Research, 23(4): 342-358.