

مطالعه آزمایشگاهی تأثیر صفحات مدفون بر کاهش آبستگی موضعی در پایین دست پرش هیدرولیکی

سحر پروینی^{۱*}، اکرم عباسپور^۲، علی حسین‌زاده دلیر^۳

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۵/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۴/۳۱

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز

۲- استادیار سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز

۳- استاد سازه‌های آبی دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: parvini.sahar@gmail.com

چکیده

از جمله روش‌هایی که اخیراً برای کنترل آبستگی در مجاری رو باز مطرح شده است تعبیه صفحات مدفون در دال بستر فرسایش‌پذیر هست. در این تحقیق آزمایش‌ها متعددی صورت گرفت که در آن‌ها از صفحات مدفون با دو زاویه ۵۰ و ۹۰ و در فواصل متفاوت از سکوی فرسایش‌ناپذیر در شیب افقی با اعداد فرود ۴-۹ استفاده شد. کلیه آزمایش‌های این تحقیق در شرایط آب زلال، رسوب بستر یکنواخت انجام شده است. نتایج حاصل از آزمایش‌ها که به صورت نیمرخ-های آبستگی ترسیم شدند، نشان دادند که زاویه و محل قرارگیری صفحات در کنترل و کاهش عمق آبستگی موضعی از اهمیت زیادی برخوردار است. همچنین مقایسه نتایج مربوط به آزمایش‌ها تک‌صفحه‌ای و دوصفحه‌ای نشان داد که استفاده از صفحات تکی در فاصله مناسب با توجه به نصب آسان‌تر و هزینه کمتر می‌تواند نتایج بهینه‌ای داشته باشد. صفحات با زاویه ۵۰ درجه نسبت به صفحات با زاویه ۹۰ درجه ۴۹ درصد عملکرد بهتری دارند. بهترین فاصله قرارگیری صفحات قائم به صورت تکی در فاصله $L_p=45$ از سکوی فرسایش‌پذیر بوده و بهترین فاصله صفحات با زاویه ۵۰ درجه به صورت تکی در فاصله $L_p=30$ از سکوی فرسایش‌ناپذیر هست.

واژه‌های کلیدی: آبستگی موضعی، پرش هیدرولیکی، رسوب یکنواخت، صفحات مدفون

Experimental investigation on the effect of buried plates to control downstream scour of hydraulic jump in Horizontal beds

S Parvini^{1*}, A Abbaspour², A Hoseinzade dalir³

Received: 10 August 2014

Accepted: 22 July 2015

1-M.Sc Student, Water Engineering Department, University of Tabriz, Tabriz, IRAN.

2-Assistant Professor, Water Engineering Department, University of Tabriz, Tabriz, IRAN

3-Professor, Water Engineering Department, University of Tabriz, Tabriz, IRAN.

* Corresponding Author, Email: parvini.sahar@gmail.com

Abstract

Among the methods that have been recently proposed are the embedded buried plates in the erosive beds. In this research, all experiments were conducted in the same condition such as clear water and Uniform Sediment. Several experiments were performed in which the plates with 90° and 50° angles at different distances from non-erosive bed were placed at Reverse slope with Froude number 4-9. The result of experiments in which the scour profiles were drawn with dimensional and dimensionless forms showed that the angle and position of the plates were very important to control and reducing scour depth. In fact, by reducing the angle of the buried plates, the maximum depth of scour was also reduced. Plates with angle 50 degrees 49 % had better performance by 49% than the plates with 90 degrees. Best distance from erosive beds was $L_p = 45$ cm for single plate with 90° angle and the best distance was $L_p = 30$ cm for the buried single plate with 50° angle for reducing maximum depth of local scour.

Keywords: Buried plates, Horizontal slope, Local scour, Sluice gate, Uniform sediment

گردد، پرش هیدرولیکی است که در دسته جریان‌های متغیر سریع طبقه‌بندی می‌گردد. جریان آشفته ناشی از پرش هیدرولیکی یک میدان تصادفی است که بر جابجایی ذرات بستر و تشکیل حفره آبشستگی تأثیر بسیار مهمی دارد.

به‌طورکلی در مورد تعیین عمق آبشستگی موضعی پایین‌دست پرش هیدرولیکی مطالعات فراوانی انجام‌گرفته است. اگن‌برگر (۱۹۴۳) برای عمق تعادل آبشستگی در پایین‌دست دریچه کشویی رابطه‌ای را ارائه کرد. کارستنز (۱۹۶۶) با استفاده از داده‌های

مقدمه

آبشستگی در مجاورت سازه‌های آبی یکی از عوامل مهمی است که عملکرد و پایداری این سازه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مقدار آبشستگی در اطراف سازه‌های واقع در مسیر جریان و سرعت توسعه آبشستگی به موقعیت و هندسه سازه، شرایط هیدرولیکی جریان در محدوده سازه و مشخصات مصالح بستر در نزدیکی سازه و بازه بالادست آن بستگی دارد. یکی از انواع جریان که موجب ایجاد آبشستگی موضعی در مجاورت سازه‌های مختلف می-

مدفون هست. تفاوت این تحقیق با سایر تحقیقات در این است که آبخستگی در دامنه اعداد فرود بیشتر مورد بررسی قرار گرفته که از لحاظ قدرت تخریب اهمیت زیادی دارند. صفحات مدفون در دو زاویه ۹۰ و ۵۰ درجه مورد استفاده قرار گرفتند که محل قرارگیری بهینه آن‌ها از سکو و همچنین از همدیگر برای کنترل آبخستگی در شیب افقی مورد بررسی قرار گرفت تا بهترین زاویه و محل قرارگیری آن‌ها برای کاهش عمق و طول بیشینه آبخستگی تعیین گردد.

مواد و روش‌ها

الف) تحلیل ابعادی

از آنجاکه پدیده آبخستگی در اثر پرش هیدرولیکی رخ می‌دهد که در واقع یک جت سیال متلاطم است و خصوصیات آن هنوز به‌طور کامل شناخته نشده است، بنابراین تعداد عوامل مؤثر بر پدیده آبخستگی باعث شده است که در تحقیقات مختلف با ثابت نگه داشتن برخی عوامل، به بررسی یک یا تعداد محدودی از عوامل پرداخته شود (رابطه ۱).

$$f_1(B, b, h_0, S_0, L, Q, y_1, y_2, \rho, \mu, g, \rho_s, d_{16}, d_{84}, d_{50}, \varphi, C_o, C, L_e, D_{smax}, L_p, \theta, t, t_e) = 0 \quad [1]$$

در این تحقیق نیز با توجه به اهدافی که دنبال می‌شود از برخی از متغیرهای یاد شده صرف نظر کرده و آن‌ها از تحلیل ابعادی حذف می‌شوند. با توجه به اینکه عرض درجه (b) و عرض فلوم (B) ثابت می‌باشند، در رابطه از آن‌ها صرف نظر می‌شود. از دو متغیر غلظت مواد معلق (C_0) و چسبندگی (C) نیز با توجه به غیرچسبنده بودن رسوبات صرف نظر می‌شود. از آنجایی که طول سکوی فرسایش ناپذیر نیز در تمامی آزمایش‌ها ثابت هست، از این متغیر هم صرف نظر می‌نماییم. اندازه دانه‌های رسوبی که در بستر استفاده شده است در کل آزمایش ثابت بود که آن زمان از

$$\sigma_g = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}}$$

همچنین چون زمان انجام آزمایش را با زمان تعادل آبخستگی مساوی در نظر گرفته شد از این دو متغیرها هم صرف-

آزمایشگاهی لارسن (۱۹۵۲)، رابطه‌ای بین عمق آبخستگی در پایین دست درجه کشویی و زمان ارائه نمود. فرهودی و اسمیت (۱۹۸۴) در مورد آبخستگی پایین دست پرش هیدرولیکی تحقیق کردند و در آزمایش‌های خود تشابه موجود در نیمرخ‌های آبخستگی را مورد بررسی قرار دادند.

برقی (۲۰۰۶) آزمایش‌هایی را به منظور بررسی تأثیر صفحات قائم مدفون بر آبخستگی پایین دست پرش هیدرولیکی انجام داد. او تأثیر صفحات به صورت تکی و دوتایی در فواصل مختلف را مورد بررسی قرار داد. نتایج آزمایش‌ها ایشان نشان داد که استفاده از یک صفحه قائم مدفون می‌تواند سبب شود تا بیشینه عمق آبخستگی در فاصله‌ای دورتر از سکوی فرسایش ناپذیر اتفاق افتد که این امر خود به کنترل آبخستگی در پای سازه کمک می‌کند. مفتخری (۱۳۸۸) آبخستگی را تحت شرایط مختلف دانه‌بندی مصالح بستر و تقویت بستر فرسایش‌پذیر به کمک صفحات مدفون قائم در منطقه‌ی پرش هیدرولیکی بررسی کرد. نتایج آزمایش‌های وی نشان می‌دهد که نرخ افزایش آبخستگی در مصالح غیریکنواخت در ساعات اولیه بیشتر است اما با گذشت زمان این رویه تغییر کرده و عمق آبخستگی در مصالح یکنواخت بیشتر از مصالح غیریکنواخت هست. برهانی (۱۳۹۱) با انجام آزمایش‌های با عدد فرود ثابت تأثیر صفحات مدفون در زوایای مختلف را در منطقه‌ی پرش هیدرولیکی مورد بررسی قرار داد. نظر به اینکه فرسایش موضعی در اثر آشفستگی بعد از پرش هیدرولیکی امری اجتناب‌ناپذیر است، کنترل و کاهش آن از اهمیت بسزایی برخوردار است. مطالعات پیشین نقش مثبت صفحات مدفون در کنترل و کاهش آبخستگی در پایین دست پرش هیدرولیکی را نشان می‌دهند. در این روش با قرار دادن صفحات مدفون در درون بستر، به طوری که حد بالای صفحه هم‌تراز با سطح بستر باشد، ابعاد گودال آبخستگی کاهش یافته و این گودال حتی‌الامکان از مجاورت سازه دور می‌شود.

هدف این تحقیق بررسی ابعاد آبخستگی موضعی در اثر پرش هیدرولیکی با استفاده از صفحات

بی‌بعد به صورت تابع f_3 در رابطه (۳) آورده شده است.

$$f_3\left(\frac{D_{s\max}}{y_1}, Fr_1, \frac{L_e}{y_1}, \theta, \frac{L_p}{y_1}\right) = 0 \quad [۳]$$

بیشینه ($D_{s\max}$)، طول گودال آبخستگی، (L_e) عمق آبخستگی و (y_1) عمق اولیه پرش هیدرولیکی هست (شکل ۳).

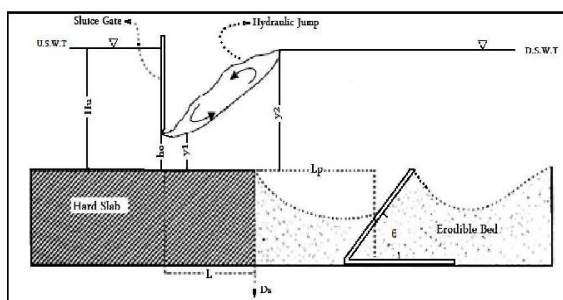
نظر گردید. با توجه به متلاطم بودن جریان از تأثیر عدد رینولدز چشم‌پوشی شده است. تابع f_2 به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$f_2(h_0, S_0, L, Q, y_1, y_2, \rho, \mu, g, \rho_s, d_{50}, L_e, D_{s\max}, L_p, \theta) = 0 \quad [۲]$$

در نتیجه متغیرهای آزمایش شامل عدد فرود

$$Fr_1 = \frac{U_1}{\sqrt{gy_1}}$$

ناپذیر (L_p)، زاویه صفحات (θ) هست که پارامترهای



شکل ۳- شماتیک آزمایش‌ها با وجود صفحات (ب)

در بالادست فلوم و در قسمت انتهایی مخزن تأمین فشار، از دریچه کشویی لبه تیز از جنس PVC به عرض ۰/۳ متر و ارتفاع ۱/۰۸ متر و با فاصله ۰/۰۳ از کف فلوم نصب گردید. در این تحقیق برای کنترل پرش هیدرولیکی با توجه به شرایط موجود، از یک دریچه کشویی تعبیه‌شده در انتهای پایین‌دست فلوم استفاده گردید تا پرش هیدرولیکی در فاصله ۰/۷ متری بالادست بستر رسوبی تثبیت شود. این فاصله بر حسب بزرگ‌ترین طول پرش هیدرولیکی که مربوط به عدد فرود ($Fr=9$) بود تعیین گردید. رسوب استفاده‌شده در کف فلوم شامل شنی با قطر متوسط ۲/۳ میلی‌متر و انحراف معیار استاندارد ۱/۲۴ هست. به‌علت موج‌دار بودن سطح آب از دستگاه حس‌گر التراسونیک برای ثبت عمق‌های اولیه و ثانویه پرش هیدرولیکی استفاده شد.

در این تحقیق جریان زیر بحرانی پس از عبور از زیر دریچه به جریان فوق بحرانی تبدیل می‌شود و

تجهیزات آزمایشگاهی

تمامی آزمایش‌ها در فلوم آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز انجام شد. آزمایش‌ها در یک فلوم مستطیلی فلزی - شیشه‌ای به طول ۱۰ متر، عرض ۰/۲۵ متر و ارتفاع ۰/۵ متر با شیب کف ثابت ۰/۰۰۲ انجام پذیرفت. دیواره‌های فلوم در فاصله ۲ متری از مخزن تأمین فشار، شفاف و از جنس شیشه هست. این فلوم بر روی یک شاسی به ارتفاع ۱/۱ متر از سطح زمین قرار دارد. تصویر فلوم در شکل (۱) نشان داده شد. با توجه به شرایط فلوم آزمایشگاهی، از یک ورق فلزی و PVC به عرض ۰/۲۵ متر، طول لازم در بالادست و پایین‌دست استفاده‌شده است که این ورق‌ها با استفاده از پایه‌های چوبی به ارتفاع ۱۵ سانتی‌متر از کف فلوم بالا آورده شدند. به این ترتیب کف فلوم تا ارتفاع موردنیاز برای بستر رسوبی بالا آورده شد. به‌منظور ایجاد جریان فوق بحرانی ورودی و تنظیم عمق اولیه مورد نظر برای محدوده اعداد فرود مختلف،

فرسایش پذیر می‌شود که منجر به فرسایش بستر و ایجاد آبشستگی موضعی می‌گردد.

پس از تشکیل پرش هیدرولیکی در انتهای سکوی فرسایش‌ناپذیر به‌صورت جریان زیربحرانی وارد بستر

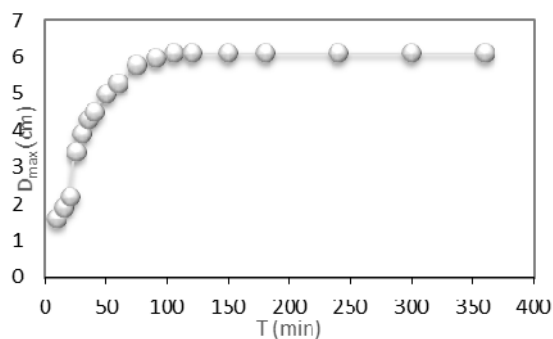


شکل ۱- فلوم آزمایشگاهی و بستر رسوبی.

رسیدن آبشستگی، ابتدا دریچه و سپس شیر فلکه بسته شد تا امکان جابجا شدن ذرات و تغییر نیمرخ بستر در اثر کاهش عمق پایاب و خروج ناگهانی جریان از دریچه کمتر شود. بعد از همه این مراحل، نیمرخ آبشستگی در جهت طولی و قائم، در محور مرکزی کانال و دیواره-های کانال توسط عمق سنج برداشت گردید.

در مطالعه حاضر آزمایش‌هایی جهت بررسی و تعیین زمان تعادل آبشستگی در عدد فرود ۹ انجام شد. بدین منظور عمق آبشستگی در بازه‌های زمانی مختلف اندازه‌گیری و نمودار تغییرات زمانی عمق آبشستگی به‌دست آمده است. بر اساس این نمودار، می‌توان زمان لازم انجام آزمایش‌ها در حالت‌های مختلف را به‌دست آورد.

نحوه انجام آزمایش بدین‌صورت است که در ابتدا دریچه کشویی پایین‌دست را کاملاً بسته و شیر فلکه ورودی آب به کانال نیز بسته می‌شود. هنگام پر کردن کانال به‌منظور کمینه نمودن خطا و کاهش اثرات جریان متغیر سریع ابتدا شیر فلکه را به مقدار خیلی کم باز نموده و جریان آب به آرامی وارد کانال می‌شود. با این کار بدون شسته شدن رسوبات، ارتفاع پایاب به‌اندازه کافی افزایش می‌یافت. سپس دریچه مقداری باز می‌شد و با تغییر وضعیت شیر فلکه و به کمک سرریز مثلی، دبی موردنظر تنظیم شد. در نهایت دریچه انتهایی به آرامی باز می‌شد. با استفاده از دستگاه حس گر عمق اولیه و ثانویه پرش (در بالادست بستر فرسایشی) ثبت می‌گردید. بعد از به تعادل



شکل ۲- نمودار توسعه زمانی آبشستگی.

ادامه داده شد فقط طول آبخستگی افزایش می‌یافت. تعداد آزمایش‌هایی که برای بررسی آبخستگی در پایین‌دست دریاچه کشویی انجام گرفت ۷۹ آزمایش هست که دامنه متغیرهای آزمایش‌ها را می‌توان در جدول (۱) مشاهده کرد.

توسعه آبخستگی در ساعات اولیه آزمایش به سرعت انجام می‌گرفت به طوری که در همان ۲ ساعت اولیه به تعادل رسید. با گذشت زمان آهنگ افزایش عمق آبخستگی کاهش می‌یابد و به صورت مجانبی با زمان به سمت تعادل پیش می‌رود که تقریباً بعد از ۲ ساعت به تعادل کامل رسیده و در ساعات بعدی که تا ۶ ساعت

جدول ۱- دامنه متغیرهای آزمایش

دامنه	متغیرها
۰/۰۰۹-۰/۰۱۷	دبی ($m^3 s^{-1}$)
۱۸/۷۱-۲۰/۰۴	عمق اولیه (mm)
۹۹/۰۲-۱۹۳/۷۷	عمق ثانویه (mm)
۹-۴/۵	عدد فرود جریان
۷۹	تعداد کل آزمایش‌ها

محل وقوع بیشینه عمق آبخستگی از سکوی فرسایش-ناپذیر می‌گردد و همچنین می‌توان مشاهده کرد که با افزایش عدد فرود جریان ارتفاع پشته پایین‌دست افزایش می‌یابد.

در اشکال ۵ تا ۷ نیمرخ‌های طولی بی‌بعد به ازای فرودهای ۹، ۸، ۷ برای صفحات مدفون در دو زاویه ۹۰ و ۵۰ در حالت تکی در فواصل ۳۰، ۴۵، ۱۵ از سکوی فرسایش‌ناپذیر نشان داده شده است که بهترین حالت مربوط به فاصله $L_p = 45$ با زاویه ۹۰ درجه بوده که عمق بیشینه نسبت به حالت شاهد ۵۰ درصد کاهش یافته

است. به ازای زاویه ۵۰

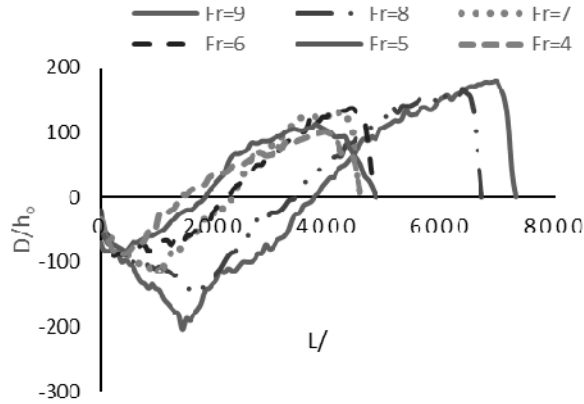
$$\left(\frac{D_{max} - D_{max}}{D_{max}} \times 100 \right)$$

درجه بهترین حالت مربوط به فاصله $L_p = 30$ بوده که عمق بیشینه آبخستگی نسبت به حالت شاهد ۵۴ درصد کاهش یافته است. با توجه به اینکه در فرودهای ۴، ۵، ۶ نیز نتایجی مشابهی حاصل شد از آوردن نمودارهای مربوط به آن‌ها صرف‌نظر شده است.

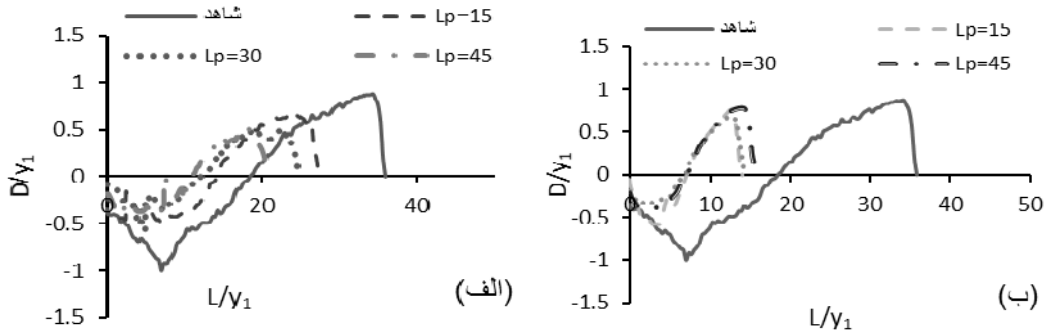
نتایج و بحث

با توجه به نتایج آزمایش‌ها مشخص شد که هندسه گودال آبخستگی با گذشت زمان تغییر می‌کند. بخش اعظم آبخستگی در ساعات اولیه به سرعت به وقوع پیوست. به عبارت دیگر با گذشت زمان آهنگ افزایش عمق آبخستگی کاهش یافت و به صورت مجانبی با زمان به سمت تعادل پیش رفت. به منظور بررسی نیمرخ طولی آبخستگی به ازای فرودهای مختلف در آزمایش‌ها بدون وجود صفحات، محورها را نسبت به میزان بازشدگی دریاچه بی‌بعد کرده و در شکل (۶) آورده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در این آزمایش‌ها بیشینه عمق آبخستگی در فاصله ۰/۵ متری سکوی فرسایش‌ناپذیر رخ داد و با توجه به این نتایج، در آزمایش‌ها با صفحه، صفحات مدفون در فواصل ۰/۴۵، ۰/۳ و ۰/۱۵ متری سکوی فرسایش‌ناپذیر قرار داده شدند.

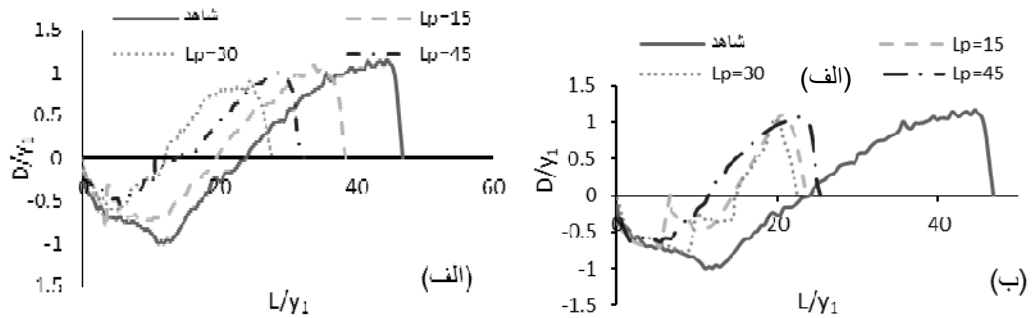
با توجه به نیمرخ طولی شکل (۴) می‌توان نتیجه گرفت که بیشینه عمق آبخستگی در پایین‌دست پرش هیدرولیکی افزایش می‌یابد و موجب دور شدن فاصله



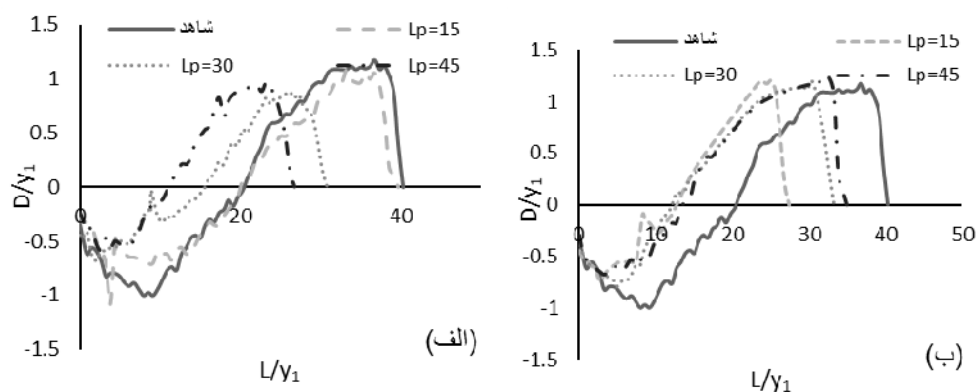
شکل ۴ - نیمرخ طولی حفره آبشستگی بدون وجود صفحه.



شکل ۵- نیمرخ طولی حفره آبشستگی با وجود یک صفحه مدفون به‌ازای فرود ۹. (الف) زاویه ۹۰ درجه (ب) زاویه ۵۰ درجه



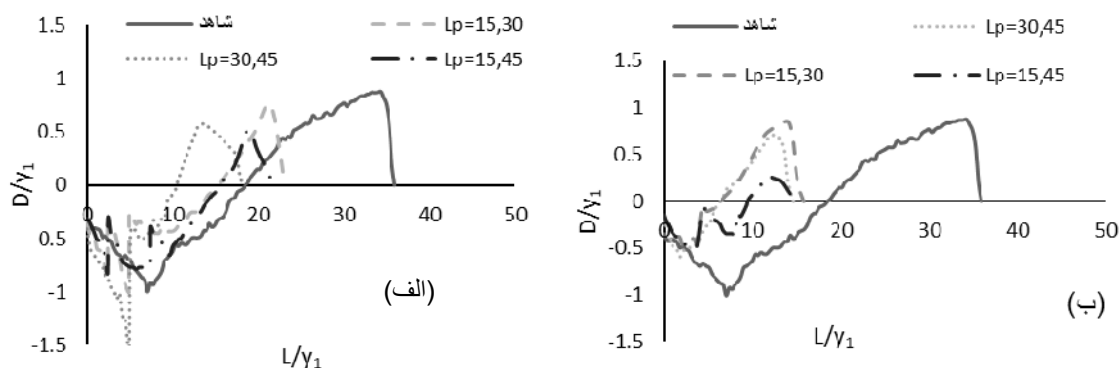
شکل ۶- نیمرخ طولی حفره آبشستگی با وجود یک صفحه مدفون به‌ازای فرود ۸. (الف) زاویه ۹۰ درجه (ب) زاویه ۵۰ درجه



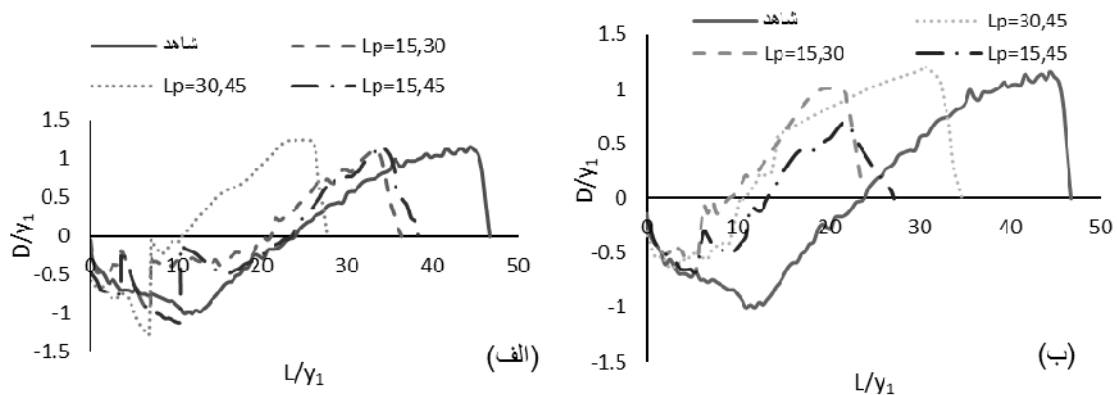
شکل ۷- نیمرخ طولی حفره آبشستگی با وجود یک صفحه مدفون به‌ازای فرود ۰.۷
الف) زاویه ۹۰ درجه ب) زاویه ۵۰ درجه

شکل‌های ۸ تا ۱۰ نیمرخ‌های طولی بی‌بعد به‌ازای فرودهای ۹، ۸، ۷ برای صفحات مدفون دوتایی با دو زاویه ۹۰ و ۵۰ به‌ازای فواصل $L_p = 15, 30$ ، $L_p = 30, 45$ و $L_p = 15, 45$ از سکوی فرسایش-ناپذیر نشان داده شده است. که بهترین حالت در هر دو زاویه مربوط به فواصل $L_p = 30, 45$ بوده و به‌ازای زاویه ۹۰ و ۵۰ درجه عمق بیشینه آبشستگی به‌ترتیب ۴۰ و ۴۳ درصد نسبت به حالت شاهد کاهش یافته است. با توجه به اینکه در فرودهای ۶، ۵، ۴ نیز نتایج مشابهی حاصل شد از آوردن نمودارهای مربوط به آن‌ها صرف‌نظر شده است.

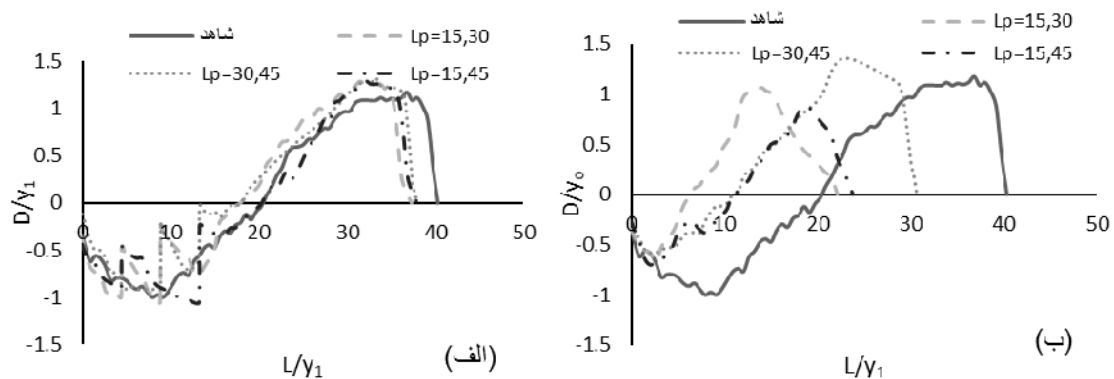
با توجه به نیمرخ‌ها می‌توان ملاحظه کرد که حجم رسوب جابجا شده هنگام استفاده از صفحات مدفون نسبت به حالت بدون صفحه به‌میزان ۵۸ درصد کاهش می‌یابد. کمترین حجم رسوب انتقالی نیز مربوط به صفحه مایل با زاویه ۵۰ درجه است. علت این امر را می‌توان چنین توضیح داد که هنگامی که صفحات به‌صورت زاویه‌دار و عمود بر امواج حامل رسوب قرار می‌گیرند باعث بازتاب این امواج رو به بالا می‌گردند با کاهش زاویه صفحات مدفون، امواج اغتشاشی ناشی از پرش هیدرولیکی هنگام برخورد با صفحات انحراف بیشتری به‌سمت بالا پیدا کرده و در نتیجه توان حمل رسوب کاهش می‌یابد.



شکل ۸- نیمرخ طولی حفره آبشستگی با وجود دو صفحه مدفون به‌ازای فرود ۰.۹
الف) زاویه ۹۰ درجه ب) زاویه ۵۰ درجه



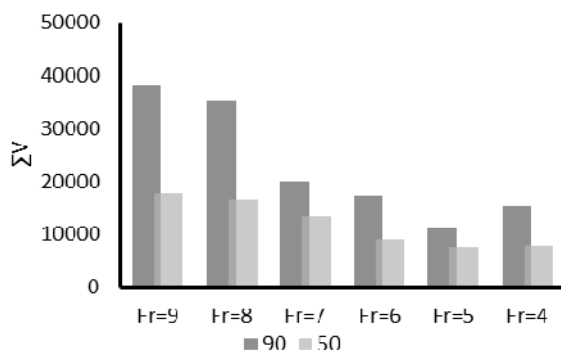
شکل ۹ - نیمرخ طولی حفره آبشستگی با وجود دو صفحه مدفون به‌ازای فرود ۸. الف) زاویه ۹۰ درجه ب) زاویه ۵۰ درجه



شکل ۱۰ - نیمرخ طولی حفره آبشستگی با وجود دو صفحه مدفون به‌ازای فرود ۷. الف) زاویه ۹۰ درجه ب) زاویه ۵۰ درجه

آبشستگی را کاهش می‌دهد بلکه از لحاظ اقتصادی نیز از حالت دو ن صفحه‌ای کم‌هزینه‌تر است. به‌منظور مقایسه کلی‌تر نتایج و تعیین اینکه در مجموع کدام زاویه نتایج بهتری را ارائه می‌دهد، $\sum V$ مربوط به هر زاویه در حالت‌های مختلف محاسبه شده و در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

با توجه به نیمرخ‌های آبشستگی برداشت شده در این بخش از آزمایش‌ها به‌نظر می‌رسد به‌طور کلی، حالت دو صفحه‌ای از تأثیر بهتری نسبت به تک‌صفحه‌ای برخوردار هست. علت این امر را می‌توان به فاصله ایجاد شده بین دو صفحه از یکدیگر ربط داد. در این حالت صفحه مدفون مانعی در برابر جریان پایین‌رونده بوده و اثر بیشتری بر روی کاهش آبشستگی دارد. از آنجاکه این تفاوت چشمگیر نیست، اگر قرار باشد حالت بهینه‌ای انتخاب شود حالت تک‌صفحه‌ای می‌تواند گزینه موردنظر باشد. این گزینه نه‌تنها عمق بیشینه



شکل ۱۱- تغییرات ΣV بر حسب مترمکعب به ازای زوایای ۹۰ و ۵۰ درجه.

- با افزایش فاصله صفحات از سکوی فرسایش ناپذیر (L_p)، محل وقوع بیشینه عمق آبشستگی (L_{smax}) نیز افزایش یافت.

- بهترین فاصله قرارگیری صفحات به صورت قائم به صورت تکی از سکوی فرسایش ناپذیر در حالت $L_p = 45$ بوده است. در این حالت عمق بیشینه و طول حفره آبشستگی نسبت به حالت شاهد به ترتیب ۵۰/۰۶٪ و ۴۶/۲۹٪ کاهش یافته است.

- بهترین فاصله قرارگیری صفحات با زاویه ۵۰ درجه به صورت تکی از سکوی فرسایش ناپذیر در حالت $L_p = 30$ بوده است. در این حالت عمق بیشینه و طول حفره آبشستگی نسبت به حالت شاهد به ترتیب ۵۴/۶۷٪ و ۵۰/۹۳٪ کاهش یافته است.

- بهترین فاصله قرارگیری صفحات در هر دو زاویه به صورت دوتایی از سکوی فرسایش ناپذیر در حالت $L_p = 30, 45$ بوده است. در این حالت عمق بیشینه و طول حفره آبشستگی نسبت به حالت شاهد در زاویه ۹۰ درجه به ترتیب ۴۰/۲۲۵٪ و ۲۸/۷۲٪ و در زاویه ۵۰ درجه به ترتیب ۴۳/۸۷٪ و ۵۷/۹۶٪ کاهش یافته است.

- کاهش زاویه صفحات مدفون با راستای جریان، تأثیر مستقیمی در کاهش بیشینه عمق آبشستگی دارد، به طوری که بهترین نتیجه مربوط به صفحه مدفون با زاویه ۵۰ درجه است.

- به طور کلی، حالت دو صفحه ای از تأثیر بهتری نسبت به تک صفحه ای برخوردار است.

این شکل نشان می دهد که صفحات با زاویه ۵۰ درجه ۴۹ درصد نسبت به صفحات با زاویه ۹۰ درجه عملکرد بهتری دارند. به عبارتی می توان به رابطه مستقیم زاویه صفحات مدفون نسبت به راستای جریان و بیشینه عمق و طول حفره آبشستگی پی برد. با در نظر گرفتن پارامترهای مؤثر در پدیده آبشستگی و رابطه تحلیل ابعادی، با استفاده از ۹۲ داده، دو رابطه با استفاده از نرم افزار Spss برای تحلیل ابعاد حفره آبشستگی تعیین گردید. برای محاسبه عمق بیشینه آبشستگی رابطه (۴) با ضریب تعیین $R^2 = 0.91$ به دست آمد.

$$\frac{D_{smax}}{y_1} = 0.2Fr_1^2 + 1.4Fr_1 \quad [4]$$

همچنین بیشترین طول حفره آبشستگی تعیین شد که برای شیب افقی رابطه غیرخطی (۵) به دست آمد.

$$\frac{Le_{max}}{y_1} = 0.75Fr_1^2 + 1.423Fr_1 + 0.865 \quad [5]$$

نتیجه گیری کلی

با استفاده از صفحات مدفون در دو زاویه ۵۰ و ۹۰ درجه در فواصل مختلف از سکوی فرسایش ناپذیر برای کنترل آبشستگی نتایج زیر حاصل شد.

- در آزمایش ها بدون صفحه با افزایش عدد فرود جریان، بیشینه عمق آبشستگی در پایین دست پرش هیدرولیکی افزایش می یابد و موجب دور شدن فاصله محل وقوع بیشینه عمق آبشستگی از سکوی فرسایش ناپذیر می گردد.

منابع مورد استفاده

- مفتخری رستم خانی، ح.، ۱۳۸۸، بررسی آزمایشگاهی تأثیر غیریکنواختی رسوب بر آبشستگی موضعی با وجود صفحات قائم مدفون، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف.
- برهانی، س.، ۱۳۹۱، بررسی آزمایشگاهی تأثیر صفحات مدفون مایل در میزان آبشستگی و نیمرخ‌های بی‌بعد آبشستگی در پایین‌دست دریچه کشویی، همایش ملی مهندسی آب و فاضلاب، ۸ و ۹ اسفند، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته- پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم طبیعی
- شفاعی بجستانی، ۱۳۷۳، هیدرولیک رسوب، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- Borghei, S. M., 2006, Controlling Local Scour Using Buried Vertical Plates, Seventh International Congress on Advances in Civil Engineering, October, Turkey.
- Farhoudi. J., Smith, K. V. H., 1984, Local Scour Profiles Downstream of Hydraulic Jump, Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol. 23, No. 4, pp. 343-358.
- Laursen, M., 1952, Observations on the nature of scour, Proceedings, Fifth Hydraulic conference Bulletin 34, University of Iowa, Studies in Engineering, Iowa, PP.179-197.