

بررسی آزمایشگاهی تغییرات طولی کفبند بر عمق آبستتگی پایین دست کالورت (شکل کالورت مربع شکل)

مصطفی منصوری^۱

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی عمران، سازه های هیدرولیکی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، ایران
mansuri.m72@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۲۰

چکیده

در این تحقیق به بررسی تغییرات طول کفبند بر عمق آبستتگی پایین دست کالورت پرداخته شده است. به این منظور با آزمایش بر روی کفبند با طول های متفاوت به انجام آزمایش در این زمینه پرداخته شد. با توجه به نتایج مشاهده گردید در فرود ذره ۲ به ترتیب ۲۲٪، ۳۳٪ و ۶۶٪ و کفبند در فرود ذره ۲/۵ به ترتیب ۱۵٪، ۲۰٪ و ۴۰٪ و در فرود ذره ۳ به ترتیب ۲۰٪ و ۲۵٪ و ۳۱٪ عمق آبستتگی را کاهش داده اند. این امر نشان داد که تغییرات طول و مشخصات کفبند بر عمق آبستتگی پایین دست کالورت تأثیر مثبت دارد.

واژگان کلیدی: آبستتگی، کفبند، کالورت، فرود ذره.

مقدمه

مورد انتظار باشد، سرعت کم می شود و ظرفیت انتقال رسوب به طرز چشم گیری کاهش می یابد. کالورت رواناب طوفان یا آب زهکش را عبور می دهد و از سازه های حفاظتی می باشد. سازه های حفاظتی از کانال و سازه های مجاور در برابر آسیب رواناب، زه آب و یا جریان غیرقابل کنترل درون کانال حفاظت می کنند. کالورت زمانی که به درستی طراحی و در مکان مناسب قرار داده شود یک ابزار کارآمد و ارزان برای عبور آب فراهم می کند. انواع مختلفی از کالورت ها برای استفاده وجود دارند، از جمله متداول ترین آنها لوله های فولادی موجدار هستند. کالورت بتن مسلح و کالورت های لوله پلاستیکی اغلب در مناطق دوردست استفاده می شوند (بخش مدیریت منابع آب ۳، ۱۹۹۲). کالورت ها را از نظر عملکرد می توان به دو دسته تقسیم کرد: ۱. عبور

آبستتگی رسوبات وقتی اتفاق می افتد که رسوبات خارج شده از منطقه بیشتر از رسوبات وارد شده به منطقه باشد. انتقال رسوب به دو دسته تقسیم می شود: ۱. بار معلق ۱، ۲. بار بستر ۲ جریان در محل وقوع آبستتگی یک فرآیند دوفازی (آب و رسوب) می باشد؛ بنابراین آبستتگی متأثر از متغیرهای متعددی از قبیل پارامترهای جریان، مشخصات بستر آبرفتی، زمان و هندسه آبراهه می باشد. رژیم جریان در کالورت حرکت رسوبات بستر را تحت تأثیر قرار می دهد. جریان در کالورت بصورت زیربحرانی، فوق بحرانی و یا تحت فشار طبقه بندی می شود. هنگامی که عمق آب به علت افزایش دبی زیاد شود، و این ازدیاد عمق بیش از حد

¹ Suspended Load

² Bed Load

³ Water Resources Management Divisi

$$H = H_e + H_f + H_v \quad (۳)$$

محاسبات برای شرایطی که جریان درون مجرا پر یا نیمه پر باشد به این صورت است:

(a) برای جریان پر در داخل مجرا از معادله زیر استفاده می شود.

$$H = \left[C_e + 29 \frac{n^2 L}{R_H^{4/3}} + 1 \right] \frac{V^2}{2g} \quad (۴)$$

(b) در جریان نیمه پر، برای تعیین پروفیل سطح آب و افت انرژی در طول کالورت از روش گام به گام مستقیم استفاده می شود.

$$x = \frac{E_2 - E_1}{S_0 - S_f} \quad (۵)$$

که:

$$E = y + \frac{Q^2}{2gA^2} = \left[y + \frac{q^2}{2gy^2} \text{ for boxculvert} \right] \quad (۶)$$

اگر $y > D$ باشد، از رابطه کالورت پر برای محاسبه انرژی فاصله باقیمانده استفاده می شود. اگر هد سرعت نادیده گرفته شود، مقدار HW از رابطه $HW = E + H - S_0 \Delta L$ محاسبه می شود.

E: انرژی ویژه در محلی که مجرای کالورت پر است.

ΔL : طولی از کالورت که جریان پر است.

۵. مقدار HW در گام های ۳ و ۴ با هم مقایسه می شود و بیشترین مقدار HW بیانگر شرایط حاکم است.

۶. اندازه و مشخصات با آزمون و خطا تغییر داده می شود و گام های ۳ و ۴ تکرار می شود تا طراحی مشخص به دست آید.

۷. براساس y_c ، y_t یا y_0 مناسب، سرعت خروجی محاسبه می شود.

y_t : عمق جریان در پایین دست کالورت

y_c : عمق بحرانی

y_0 : عمق نرمال

رواناب، ۲. مدیریت جریان. به طور کلی طراحی کالورت ها روی عبور حداکثر دبی با حفظ ارتفاع آزاد متمرکز شده است (کروکستون و تولیس ۲، ۲۰۰۸). یک کالورت باید بطور مطمئن حجم جریان پیش بینی شده را عبور می دهد و هیچ گونه تأثیر نامطلوب زیست محیطی در معبر یا مناطق بالادست و پایین دست نداشته باشد، همچنین دارای مقاومت کافی در برابر عمل فرسایشی جریان، باشد. ملاک های طراحی کالورت با مشخصات جریان و تراز بزرگراه محدود می شود (بخش مدیریت منابع آب، ۱۹۹۲).

طراحی کالورت دارای مراحل زیر است:

۱. داده های طراحی از شامل دبی، طول مجرا، شیب مجرا، ارتفاع سراب حداکثر، سرعت حداکثر، مصالح کالورت و نوع سطح مقطع ورودی است.

۲. اندازه کالورت با آزمون و خطا تعیین می شود. ($A=Q/V$)

۳. با فرض اینکه شرایط کنترل ورودی باشد، عمق سراب برای شرایط مستغرق و غیر مستغرق با استفاده از معادلات ۱ و ۲ تعیین می شود.

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gy_H}} \quad (۱)$$

$$Q = C_w W (HW)^{3/2} \quad (۲)$$

۴. با فرض اینکه کنترل خروجی باشد، عمق سراب با استفاده از معادله انرژی تعیین می شود. مراحل انجام محاسبات به صورت زیر است:

I. تعیین عمق پایاب (برای جریان یکنواخت از معادله مانینگ استفاده می شود).

II. اگر عمق پایاب بزرگ تر از D (ارتفاع کالورت) باشد، $h_0 = y_t$ در نظر گرفته می شود.

III. اگر عمق پایاب کوچک تر از ارتفاع کالورت باشد، $h_0 = (D + y_c)/2$ و y_t هر کدام که بزرگ تر است به عنوان عمق پایاب در نظر گرفته می شود.

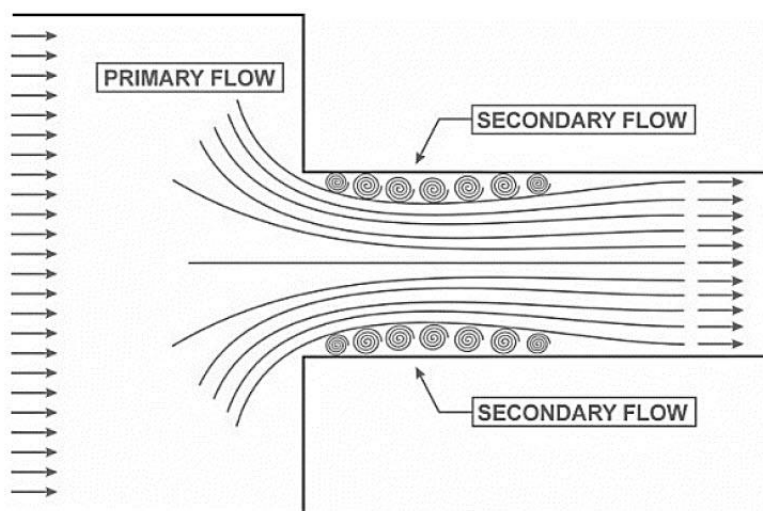
IV. افت انرژی در طول کالورت محاسبه می شود.

¹ Freeboard

² Crookston & Tullis

شده است، جریان ثانویه نامیده می‌شود. جریان ثانویه در منطقه‌ی جدایی رخ می‌دهد. این الگوی جریان بسیار شبیه به پدیده‌ی آبشستگی تکیه‌گاه کناری که محققان برای آبشستگی نیم‌پایه مشاهده کردند، است.

بررسی‌ها نشان داده است که عمق آبشستگی در گوشه‌های کالورت در قسمت ورودی نسبت به سایر نقاط بیشتر است. شکل ۱، الگوی جریان را در ورودی کالورت را نشان می‌دهد. گردابه‌ها و تلاطم قوی در ابتدای مجرای کالورت که توسط انقباض جریان ایجاد



شکل ۱- انقباض جریان و منطقه جدایی جریان

ورودی بر هد آب بالادست برای کالورت مربعی بیشتر از کالورت مستطیلی و برای کالورت مستطیلی بیشتر از کالورت دایره‌ای است. ۳. در کالورت مربعی با اصلاح شکل دهانه‌ی ورودی میزان افت انرژی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. ۴. برای تمامی مقاطع، با افزایش دبی، افت انرژی در دهانه ورودی با شدت بیشتری افزایش می‌یابد.

کروکستون و تولیس (۲۰۰۸) به بررسی آستانه حرکت اولیه برای چهارنوع مصالح مختلف در کالورت قوسی با کف فرسایش‌پذیر^۲ در فلوم مستطیلی پرداختند. روش‌های مختلفی برای محاسبه پارامتر شیلدرز (θ_c) در حرکت اولیه براساس پارامترهای محلی جریان بررسی شد. منطقه‌ی حرکت اولیه برای کالورت قوسی با کف فرسایش‌پذیر در جریان کاملاً آشفته در

بزدی و همکاران (۱۳۸۹) پروفیل‌های سطح آب، تاثیر شکل دهانه ورودی، عملکرد هیدرولیکی و همچنین منحنی عملکرد را برای سه نوع کالورت با مقاطع دایره‌ای، مربعی و مستطیلی مورد بررسی قرار داد. برای کالورت دایره‌ای مدل آزمایشگاهی موجود بوده و نتایج حاصل از مدل نرم‌افزاری با داده‌های تجربی مورد مقایسه قرار گرفت. پروفیل‌های سطح آب در کالورت توسط نرم‌افزار hy-8 محاسبه گردید. hy-8 یک نرم‌افزار برای آنالیز هیدرولیکی کالورت با اشکال مختلف است. این برنامه توسط سازمان اداره راه آمریکا^۱ طراحی شده است. با بررسی سه نوع کالورت به این نتیجه رسیدند که: ۱. میزان افت انرژی برای کالورت‌های مربعی کمتر از دایره‌ای و برای کالورت دایره‌ای کمتر از مستطیلی است. ۲. تاثیر شکل دهانه

¹ FHWA

² Bottomless Arch Culvert

ضمناً لازم است حضور متغیر (یا متغیرها) در رابطه (یا روابط) مورد نظر به شکلی باشد که ابعاد حاصل از ترکیب آن متغیر با دیگر متغیرها در دو طرف رابطه، ابعاد یکسانی را ایجاد نماید. نکته مهمی که باید مدنظر داشت این است که رابطه‌ای که به دست می‌آید اولاً باید معنی‌دار باشد، ثانیاً کاربرد آن ساده باشد و ثالثاً در هر سیستم آحادی بتوان از آن استفاده نمود. هر چه تعداد عوامل مؤثر در پدیده مورد نظر بیشتر باشد، کاربرد این روش ضروری‌تر و مورد استفاده آن محسوس‌تر می‌شود.

برای تبدیل رابطه‌ای متشکل از متغیرها به رابطه‌ای متشکل از عامل‌های بدون بعد، می‌توان از قضیه باکینگهام استفاده کرد. مطابق تئوری باکینگهام چنانچه در یک پدیده‌ی هیدرولیکی تعداد n متغیر دخیل باشند و این متغیرها دارای m بعد باشند، در آن صورت می‌توان تعداد $n-m$ عامل بی‌بعد را به وجود آورد. فرض کنید در یک پدیده هیدرولیکی متغیرهایی چون X_1, X_2, X_3, \dots و... دخیل:

$$f_1(X_1, X_2, X_3, \dots, X_n) = 0 \quad (7)$$

حال اگر ابعاد متغیرهای فوق M باشد، در آن صورت مطابق تئوری باکینگهام رابطه‌ی فوق را می‌توان به صورت رابطه‌ی بدون بعد زیر نوشت:

$$f_2(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_{n-m}) = 0 \quad (8)$$

برای به دست آوردن عامل‌های بدون بعد می‌توان به شرح زیر اقدام کرد.

الف. تعداد m متغیر از n متغیر انتخاب می‌شود. این متغیرها را اصطلاحاً متغیرهای تکراری گویند. متغیرهای تکراری طوری انتخاب می‌شوند که دارای ابعاد متفاوتی بوده و m بعد را شامل شود.

ب. با ترکیب m متغیر تکراری و هر یک از متغیرهای باقیمانده، تعداد $n-m$ عامل بدون بعد تشکیل می‌شود.

منحنی محدودی روی دیاگرام شیلدز تعریف شد و تغییرات θ_c به عنوان تابعی از زبری نسبی مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت یک روش که با بهره‌گیری از سرعت جریان، قطر ذرات را برای کالورت قوسی با کف فرسایش‌پذیر تعیین می‌کرد، به عنوان جایگزین دیاگرام شیلدز ارائه شد.

ابت و همکاران (۱۹۸۷) تحقیقی به منظور بررسی تاثیر شکل کالورت روی طول، عرض، عمق و حجم آبستستگی انجام دادند. کالورت‌های مربعی، قوسی، مستطیلی و دایره‌ای مورد آزمایش قرار گرفت. طول کالورت $2/2$ متر بود و به صورت افقی (بدون شیب) درون کانال قرار گرفت. از ماسه‌ی یکنواخت با $d_{50} = 1.86 \text{ mm}$ و انحراف از معیار 1.33 استفاده شد. سطح آب پایین دست حدود 0.05 ± 0.45 ارتفاع کالورت (متر) و محدوده دبی از $0.01 \text{ m}^3/\text{s}$ تا 0.06 در نظر گرفته شد. چاله آبستستگی در زمان‌های 31 ، 100 و 316 دقیقه از شروع آزمایش اندازه‌گیری شد طول، عرض، و حجم آبستستگی در طی 26 تست در دبی و شکل‌های مختلف اندازه‌گیری گردید. شدت دبی اصلاح شده $D.I^* = \frac{Q}{(A(gR_H)^{0.5})}$ نسبت به مشخصات آبستستگی بی‌بعد $\frac{V_s}{R_H^3}, \frac{L_s}{R_H}, \frac{W_s}{R_H}, \frac{Y_s}{R_H}$ برای هر شکل رسم شد. نتایج تحقیقات نشان داد که شکل کالورت بطور قابل توجهی هندسه‌ی آبستستگی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. ابعاد حفره‌ی آبستستگی که در خروجی کالورت قوسی، مربعی یا مستطیلی ایجاد می‌شود به طور قابل توجهی از ابعاد حفره آبستستگی خروجی کالورت دایره‌ای متفاوت است.

مواد و روش‌ها

الف. عامل‌های مؤثر و آنالیز ابعادی

نتایج حاصل از محاسبات یا اندازه‌گیری‌های انجام شده در سیستم واحدهای متفاوت را نمی‌توان بسهولت به کار برد. بر مبنای همین انگیزه مهم است که متغیرها را حتی الامکان به صورت بدون بعد به کار می‌برند.

جدول ۱- ابعاد عامل‌های مورد استفاده هیدرولیکی

نوع عامل	علامت اختصاری	بعد
سرعت	U	LT^{-1}
شتاب ثقل	G	LT^{-2}
جرم مخصوص سیال	ρ	ML^{-3}
جرم مخصوص ذرات	ρ_s	ML^{-3}
عرض کفبند	B	L
عمق آبشستگی	d_s	L
لزجت دینامیک	μ	$LML^{-1}T^{-1}$
قطر ذرات رسوب	d_{50}	L
عمق جریان آب	Y	L
عرض کف	D	L

$$\Pi_1 = \frac{\rho Du}{\mu} \quad (۱۳)$$

$$\Pi_2 = \frac{\rho}{\rho_s} = G_s \quad (۱۴)$$

$$\Pi_3 = \frac{d_{50}}{D} \quad (۱۵)$$

$$\Pi_4 = \frac{d_s}{D} \quad (۱۶)$$

$$\Pi_5 = \frac{Y}{D} \quad (۱۷)$$

$$\Pi_6 = \frac{U}{\sqrt{gd_{50}}} \quad (۱۸)$$

$$\Pi_7 = \frac{B}{D} \quad (۱۹)$$

$$d_s = f_1(U, g, \rho, \rho_s, B, \mu, d_s, d_{50}, Y, D) \quad (۹)$$

$$\Pi_1 = \rho^a u^b D^c \mu \quad (۱۰)$$

$$\Pi_2 = (ML^{-3})^a (LT^{-1})^b (L)^c (ML^{-1}T^{-1}) \quad (۱۱)$$

$$\Pi_2 = M^{a+1} L^{-3a+b+c-1} T^{-b-1} \quad (۱۲)$$

بعد از حل معادلات فوق $a = -1, b = 1, c = 1$ حاصل خواهد شد.



شکل ۴- شیر کنارگذر



شکل ۷- سیستم برق فلوم

شکل ۳- دبی سنج دیجیتالی



شکل ۶- جک هیدرولیکی

شکل ۲- پمپ سانترفیوژ

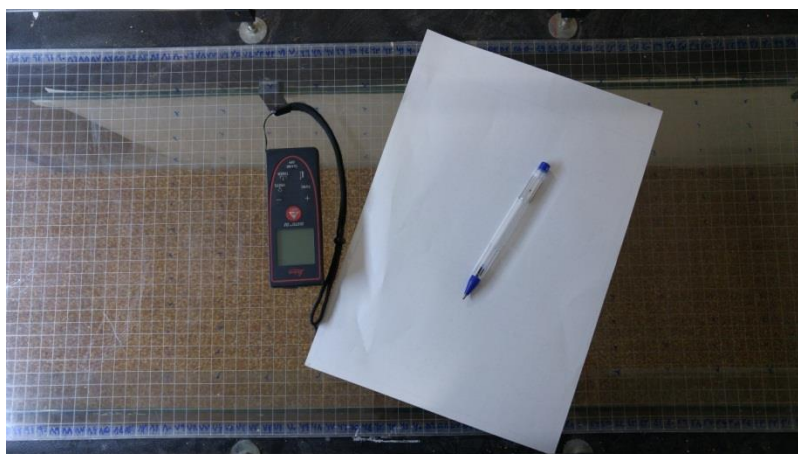


شکل ۵- سیستم انتقال آب

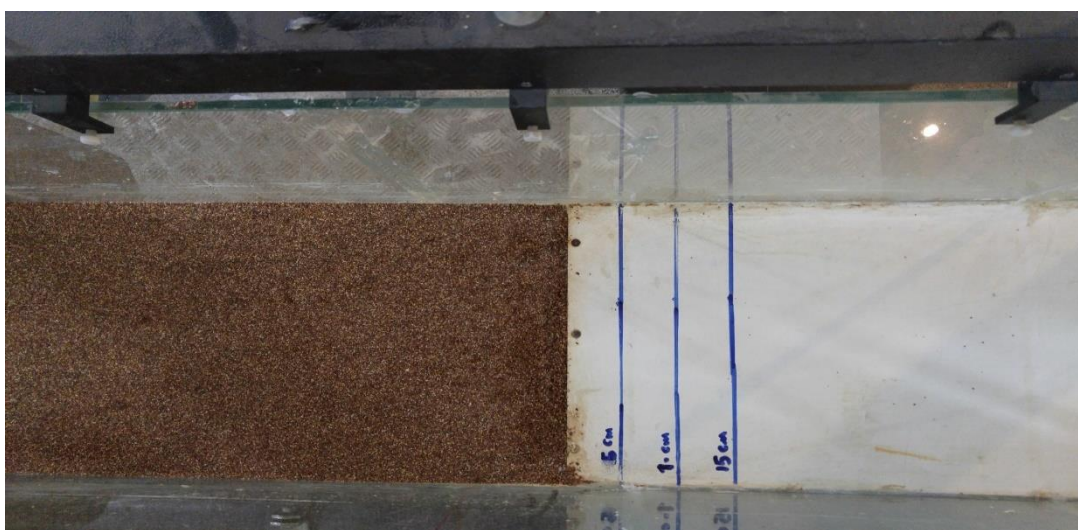
عمق حفره آبشستگی از متر لیزری استفاده گردید بدین منظور جهت برداشت داده‌ها از یک صفحه مشبک در ابعاد یک در یک سانتی‌متر مربع استفاده شد.

ب. ابزار برداشت داده‌ها

ابزار برداشت داده‌ها بعد از اتمام آزمایش‌ها و تخلیه آب از درون کانال به منظور تعیین تغییرات طولی و

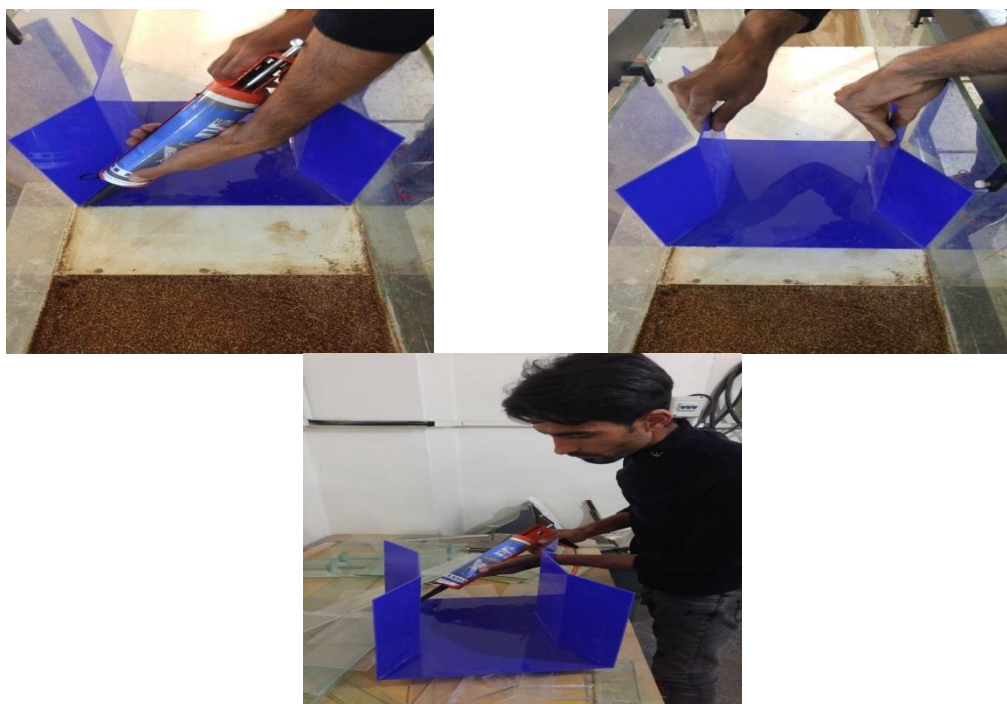


شکل ۸- متر لیزری و صفحه شبکه بندی برداشت دیتا



شکل ۹- طول های مختلف کفبند و محل قرار گیری کالورت

مرحله اول آماده سازی ستاپ و کفبند جهت قرار گیری درون فلوم



شکل ۱۰- آماده سازی کالورت و قرار دادن آن درون فلوم

و ارتفاع آب در فرود ذره مورد نظر توسط سرریز انتهایی ثابت در نظر گرفته شد.

مرحله چهارم: پس از تنظیم دقیق تراز سطح آب آزمایش تا زمان به تعادل رسیدن آبشستگی در حال انجام باقی ماند.

مرحله پنجم: بعد از اتمام آزمایش پمپ خاموش شده و آب فلوم تخلیه شد.

مرحله ششم: زهکشی رسوبات و تخلیه آب از درون فلوم

مرحله هفتم: برداشت مقادیر آبشستگی توسط متر لیزری و شیشه شبکه بندی مدرج

مرحله هشتم: تسطیح مجدد رسوبات و نصب کفبند در محل جدید جهت انجام آزمایش

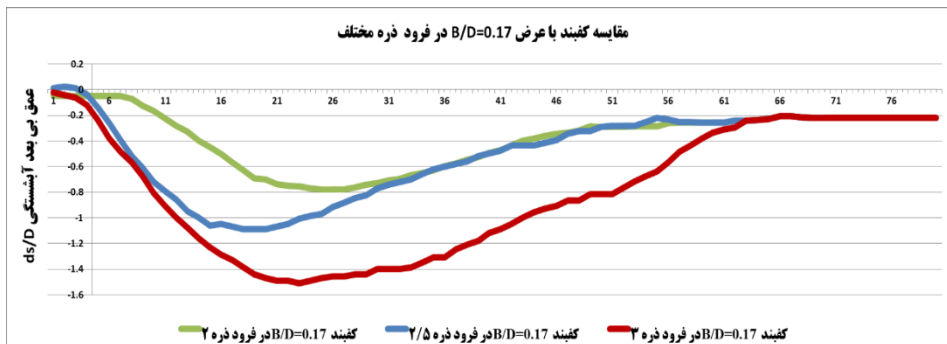
مرحله دوم: پس از چسباندن کالورت و ریختن رسوبات درون فلوم برای یکنواخت بودن سطح ماسه ها لازم بود سطح ماسه ها به وسیله یک ارابه تسطیح کننده هم سطح کفبند صاف شود، بنابراین، توسط یک تسطیح کننده دستی و ابزار تسطیح سطح یکنواختی ایجاد شد. مرحله سوم: پس از استقرار کالورت در محل کفبند در مکان مورد نظر با روشن کردن پمپ و تنظیم دبی آزمایش شروع شد. باید توجه داشت که مراقبت زیادی به هنگام پر شدن فلوم لازم است تا شرایط جریان به درستی برقرار شود. زمانیکه پمپ شروع به کار می کند سرریز بالادست به آهستگی تنظیم می شود تا شدت جریان به حد مطلوب برسد. برای اینکه هد آب روی رسوبات ثابت باقی بماند با استفاده از سرریزی که انتهای فلوم قرار گرفته بود اندازه سرعت جریان تنظیم

نتایج و بحث

رسوبگذاری به طور متناوب در پایین دست کالورت انجام می‌شد.

۱. مقایسه روند تغییرات حداکثر عمق آبستتگی در اثر تغییر طول کفبند در اندازه‌های ۵، ۱۰، ۱۵، در اعداد فرود ذره ۲، ۵/۲ و ۳ نمودار ۱، مقایسه‌ای است بین کفبند با طول ۵ سانتی‌متر ($B/D = 0.17$) در فرودهای ذره مختلف (۲، ۵/۲ و ۳) همان‌طور که از نمودارها مشاهده می‌شود با افزایش سرعت جریان، عمق آبستتگی افزایش یافته است.

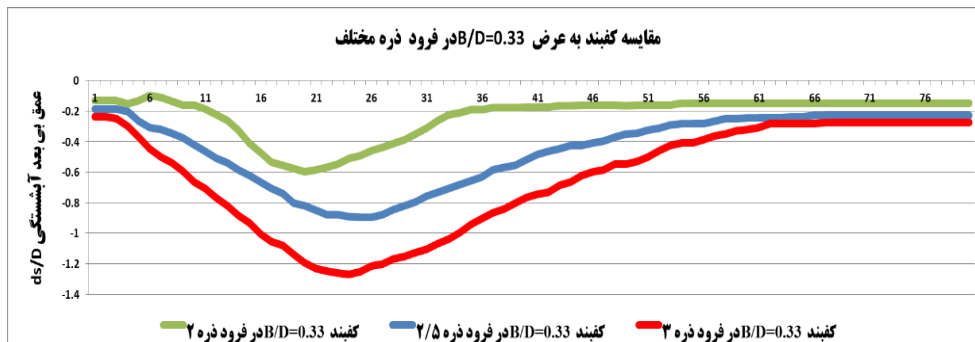
سازه‌های هیدرولیکی به واسطه ایجاد مانع بر روی جریان، الگوی جریان را تغییر می‌دهند و با ایجاد الگوی جدید، منجر به تشکیل گردابه‌هایی می‌شوند که این گردابه‌ها آبستتگی موضعی را منجر می‌گردد. پدیده آبستتگی یکی از مخرب‌ترین واقعه‌هایی است که می‌تواند بقاء سازه پل را به خطر اندازد و در صورتی که در طراحی در نظر گرفته نشود، باعث ایجاد خسارت جانی و مالی زیادی می‌گردد. با توجه به مشاهد در لحظات اولیه با عبور موج سیال از روی کفبند، آبستتگی آغاز و با توسعه حفره آبستتگی، فرسایش و



نمودار ۱- مقایسه کفبند با طول $B/D = 0/17$ در فرود ذره مختلف

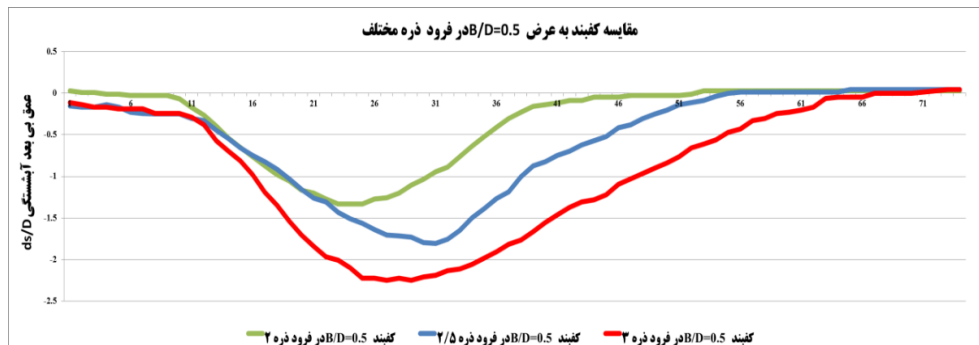
افزایش سرعت جریان، عمق آبستتگی افزایش یافته است.

نمودار ۲ مقایسه‌ای است بین کفبند با طول ۱۰ سانتی‌متر ($B/D = 0.33$) در فرودهای ذره مختلف (۲، ۵/۲ و ۳) همان‌طور که از نمودارها مشاهده می‌شود با



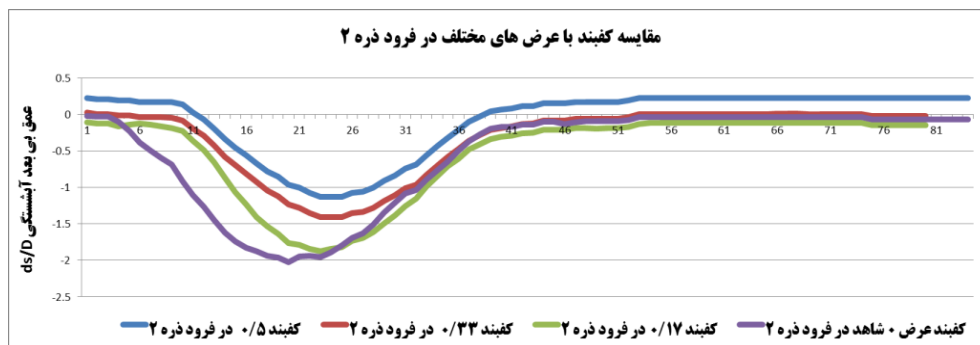
نمودار ۲- مقایسه کفبند با طول $B/D = 0/33$ سانتی‌متر در فرود ذره مختلف

نمودار ۳ مقایسه‌ای است بین کفبند با طول ۱۵ سانتی‌متر ($B/D = 0.5$) در فرودهای ذره مختلف (۲، ۳ و ۲/۵) همان‌طور که از نمودارها مشاهده می‌شود با افزایش سرعت جریان، عمق آبشستگی افزایش یافته است.



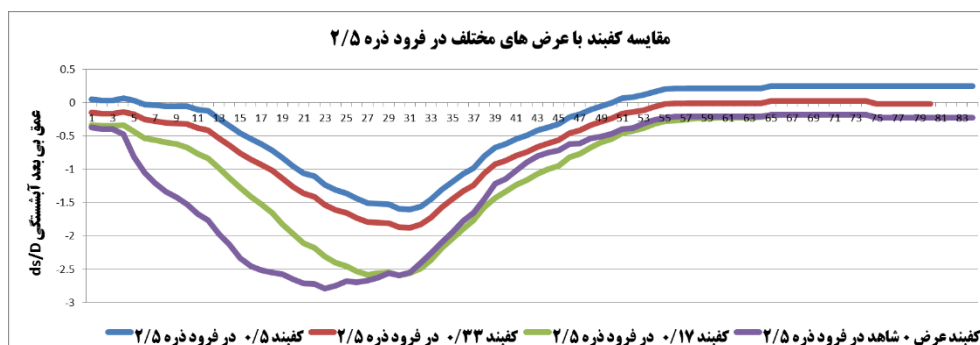
نمودار ۳- مقایسه کفبند با طول $B/D=0.5$ سانتی‌متر در فرود ذره مختلف

نمودار ۴ مقایسه‌ای است بین کفبند با طول‌های مختلف در فرود ذره ۲ همان‌طور که از نمودارها مشاهده می‌شود با افزایش طول کفبند، عمق آبشستگی کاهش یافته است.



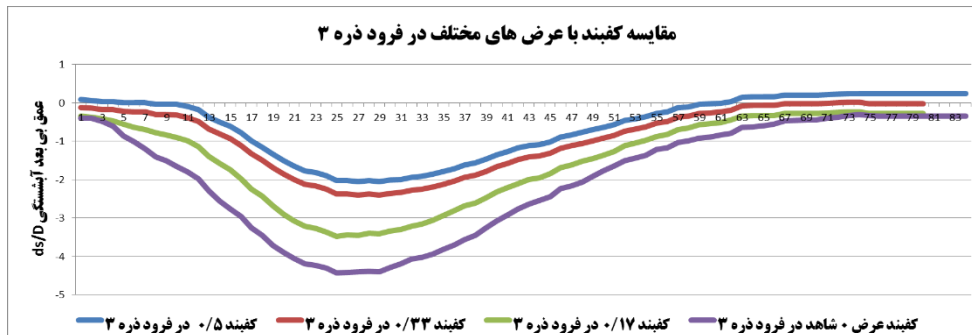
نمودار ۴- مقایسه کفبند با طول‌های مختلف (B/D) در فرود ذره ۲

نمودار ۵ مقایسه‌ای است بین کفبند با طول‌های مختلف در فرود ذره ۲/۵ همان‌طور که از نمودارها مشاهده می‌شود با افزایش طول کفبند، عمق آبشستگی کاهش یافته است.



نمودار ۵- مقایسه کفبند با طول‌های (B/D) مختلف در فرود ذره ۲/۵

نمودار ۶ مقایسه‌ای است بین کفبند با طول‌های مختلف در فرود ذره ۳ همان‌طور که از نمودارها مشاهده می‌شود با افزایش طول کفبند، عمق آبشستگی کاهش یافته است.



نمودار ۷- مقایسه کفبند با طول‌های (B/D) مختلف در فرود ذره ۳

طول‌های ۵ و ۱۰ شکل گرفته ماهی به خود گرفته و پروفیل آبشستگی کفبند ۱۵ سانتی‌متر به علت آن که سرعت در این کفبند از توزیع سرعت یکنواخت‌تری در تمامی جریان آزمایش برخوردار بوده به شکل مسطح‌تر خود را نشان می‌دهد.

۲. مشاهدات نشان داد که در طول توسعه گودال آبشستگی، یک جریان برگشتی درون حفره ایجاد می‌شود که رسوبات را به سمت بالادست جابجا می‌کند. با بررسی پروفیل‌های آبشستگی در آزمایش‌های مختلف، مشخص شد که پروفیل‌ها از تشابه هندسی خاصی پیروی می‌کنند و شکل کلی پروفیل‌ها با کمی پراکندگی در طول و عمق آبشستگی مشابه یکدیگر می‌باشند.

۳. عمق آبشستگی برای کفبند با در نظر گرفتن طول ثابت نشان داد که با افزایش عدد فرود ذره عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. به این علت که با افزایش عدد فرود در واقع سرعت جریان افزایش یافته و این امر باعث آن شده است که موج سطحی ایجاد شده بعد از کفبند که عامل اصلی فرسایش رسوبات می‌باشد، با پیشانی موج شدیدتری به پیش رفته و این امر باعث می‌شود که جریان سطحی بر روی رسوبات از قدرت

نمودار ۷ برای یک نسبت ثابت فرود ذره $Frd=2$ با افزایش طول کفبند عمق آبشستگی کاهش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

با بررسی جامع و انجام آنالیز ابعادی، پارامترهای بدون بعد موثر بر پدیده آبشستگی شناسایی بر مبنای آنها طرح ریزی شد. در زیر نتایج تحقیق بصورت خلاصه آورده شده است.

۱. نتایج نشان داد که با افزایش طول کفبند حفاظت از کناره کفبند افزایش یافته و آبشستگی در فاصله‌ای دورتر از کفبند شروع می‌شود. به این ترتیب که کفبند ۵، ۱۰، ۱۵ به ترتیب محل شروع آبشستگی در فاصله ۰/۵، ۱/۵، ۳ و ۵ سانتی‌متر از لبه افتاده است. همچنین طول گستردگی حفره آبشستگی به ترتیب ۳۵، ۲۰، ۱۵، ۱۳ سانتی‌متر است که نشان می‌دهد هرچه طول کفبند بیشتر می‌شود روند گستردگی حفره کمتر و عمق آبشستگی کمتر می‌گردد. پروفیل در کناره کانال به گونه‌ای بود که شکل پروفیل و ابعاد حفره هر دو متغیر بودند، به گونه‌ای که در کناره‌های پروفیل مقدار آبشستگی بیشتر و در وسط پروفیل کمتر می‌باشد که این امر باعث شد که پروفیل‌های آبشستگی کفبند با

۵. با توجه به مشاهدات می‌توان نتیجه گرفت که افزایش طول کفبند با تاثیر بر روی خطوط جریان و پروفیل سرعت به علت کاهش دادن سرعت هجوم آورنده به بستر در مقابل امواج پایین رونده، می‌تواند ابزار مناسبی جهت کاهش و دورتر تشکیل دادن چاله آبشستگی در پایین دست سازه‌های هیدرولیکی مورد استفاده قرار گیرد.

پیشنهادات

۱. مدل سازی کفبند بستر با استفاده از نرم‌افزارهای عددی و مدل‌های عددی.
۲. استفاده از کفبند بستر با طول‌های مختلف به منظور یافتن عرض بهینه جهت کنترل آبشستگی پایین دست سازه‌های هیدرولیکی.

بیشتری برخوردار گردد و گرداب‌های تشکیل شده در اثر اختلاف گرادیان سرعت از بالا به پایین از قدرت تخریب و جابه جایی بیشتری برخوردار گردند و رسوبات بیشتری را از جلو کفبند جا به جا کرده و در نتیجه عمق آبشستگی بیشتری ایجاد نمایند.

۴. با توجه به مشاهدات می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات آبشستگی در خط مرکزی کانال به صورت ثابت باقی می‌ماند. اما پروفیل در کناره کانال به گونه‌ای بود که شکل پروفیل و ابعاد حفره هر دو متغیر بودند به گونه‌ای که در کناره‌های پروفیل مقدار آبشستگی بیشتر و در وسط پروفیل کمتر می‌باشد که این امر باعث شد که پروفیل‌های آبشستگی کفبند با طول‌های ۰/۱۷ و ۰/۳۳ شکل گرفته ماهی به خود گرفته و پروفیل آبشستگی کفبند ۰/۵ به علت آن که سرعت در این کفبند از استهلاک بیشتری هنگام جریان آزمایش برخوردار بوده به شکل مسطح‌تر خود را نشان دهد.

منابع

- 1- پیرستانی، م.ر.، رضازاده، م. و کاویانی، م. ۱۳۸۹. مطالعه آزمایشگاهی میزان آبشستگی ناشی از برخورد جت‌های مستغرق و ریزشی، مجله مهندسی سازه‌های آبی، سال سوم، شماره: ۴، صفحه: ۵۸-۶۵.
- 2- راهنمای روش‌های محاسبه آبشستگی موضعی، نشریه شماره ۳۱۸ معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رییس جمهور.
- 3- یزدی، ع.، منافیور، م. و محمدی، م. ع. ۱۳۸۹. بررسی عملکرد هیدرولیکی کالورت‌ها با مقاطع هندسی مختلف، نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران
- 4- Abida, H., and Townsend, R. D. (1991). Local scour downstream of boxculvert outlets, J. Irrig. Drain. Eng. Vol. 117, No. 3, pp. 425-440. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1991\)117:3\(425\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1991)117:3(425))
- 5- Abt, S. R., J. F. Ruff, and Doehring, F. K. (1985). Culvert slope and shape effects on outlet scour, Journal of Hydraulic Engineering. Vol. 111, No. 10, pp. 1363-1367. [http://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1985\)111:10\(1363\)](http://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1985)111:10(1363))
- 6- Abt, S. R., Ruff, J. F., Doehring, F. K. and Donnell, C. A. (1987). Influence of Culvert Shape on Outlet Scour, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 113, No. 3, pp. 393-400.
- 7- Abt, S. R., Kolberdanz, R. L. and Mendoza, C. (1984). Unified Culvert Scour Determination", Journal of Hydraulic Engineering. Vol. 110, No. 10, pp. 1475-1479.
- 8- Blaisdel, F. W. (1959). The SAF Stilling Basin, U.S. Government Printing Office.

- 9-Crookston, B. M. and Tullis, B. P. M. (2012). Scour Prevention in Bottomless Arch Culvert", International Journal of Sediment Research, Vol. 27, No. 2, pp. 213-225.
- 10-Crookston, B.M. Tullis, B.P. (2008). Scour prevention in bottomless arch culverts, International Journal of Sediment Research, Vol. 27, No. 2, pp. 213-225.
- 11-Drainage Design Manual. (2017). Colorado Department of Transportation.
- 12-Federal Highway Administration. (1992). Bottomless culvert scour study, Phase I laboratory Report, FHWA – RD - 02 – 078.
- 13-Hydraulic Design of Energy Dissipators for Culverts and Channels. (2006). US department of transportation- federal highway transportation, Hydraulic Engineering Circular No. 14, Third Edition.
- 14-Hosseini, S. M. and Abrishami, J. (2019). Open- channel hydraulics. No.35, pp. 613, Ferdowsi university of mashhad press (FUM Press). (In Persian)
- 15-Lim, S. Y. (1995). "Scour below unsubmerged full flowing culvert outlets." Proc. Inst. Civ. Eng. Marit. Eng. 112 (2): 136-149. <https://doi.org/10.1680/iwtme.1995.27659>.
- 16-Manafpour, M. and Sheikhlou, S. (2014). Study of the effect of longitudinal slope of river bed on the method of leaching and sedimentation of currents in Culverts with mobile bed. 8th National Congress on Civil Engineering Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran, pp.8. (In Persian)
- 17-Najafzadeh, M. and Kargar, A. (2019). Gene-Expression Programming, Evolutionary Polynomial Regression, and Model Tree to Evaluate Local Scour Depth at Culvert Outlets. American Society of Civil Engineers. J. Pipeline Syst. Eng. Pract., 10(3): 04019013, PP:12. DOI: 10.1061/(ASCE)PS.1949-1204.0000376.
- 18-Yoo, D. H. and Lee, S. (2012). Direct Determination of the Width or Height for a Box Culvert Applying Dimensionless Equations, KSCE Journal of Civil Engineering, Vol. 16, No. 7, pp. 1302-1307.
- 19-Zevenbergen, L. W., Arneson, L. A., Hunt, J. H. and Miller, A. C. (2012). "Hydraulic Design of Safe Bridge", U.S. Department of Transportation, FHWA-HIF-12-018.
- 20-Zomorodian, S.M.A., Ghaffari, H. and Sadati, F. (2018). Experimental Investigation on the Effect of Wing Walls on Scour Hole's Dimensions Downstream of Culvert. Journal of Ferdowsi Civil Engineering, Vol.31, No.3, pp.19-32. DOI: 10.22067/civil.v32i1.58064. (In Persian)