

گزارش فنی

مقدمه

بر اساس مطالعاتی که توسط پژوهشگران نظیر بروسرز و رودکیوی [۱] انجام گرفته است، پدیده آبستگي به طور کلی دارای چهار مرحله ابتدایی^۴، توسعه^۵، تثبیت^۶ و تعادل^۷ است. مرحله ابتدایی ظرفیت آبستگي بالایی دارد و حفره آبستگي در این مرحله ایجاد می شود، در مرحله توسعه عمق و ابعاد حفره آبستگي گسترش می یابد. در مرحله تثبیت روند تغییرات پروفیل بستر کاهش می یابد و دیواره پائین دست حفره آبستگي دست خوش تغییرات محسوسی می شود. در مرحله تعادل تنها حرکت ذرات ممکن است درون حفره آبستگي صورت گیرد به طوری که ذراتی که حرکت غلطشی دارند از درون حفره آبستگي خارج نمی شوند. در این مرحله با توجه به شرایط جریان ممکن است حتی جابجایی ذرات نیز متوقف شود. با توجه به پیچیدگی های موجود در مطالعات هیدرودینامیکی و عدم امکان بررسی تمام متغیرهای موثر به طور هم زمان در چنین تحقیقاتی، محققین با استفاده از تعداد مشخصی داده در شرایط خاص، روابطی را برای تخمین ابعاد پروفیل آبستگي ارائه داده اند که اغلب آن ها به تعیین عمق تعادلی ماکزیم آبستگي در شرایط معینی از جریان آب و رسوب متمرکز بوده است، در حالیکه تعداد معدودی از این مطالعات به مسأله تغییرات زمانی آبستگي پرداخته شده است.

هائرتروز^۸ این نظریه را که پدیده آبستگي به صورت تابعی از زمان است را ارائه کرد. میسن و آرموگام [۳] معتقدند پدیده آبستگي به شکل تصاعدی با زمان تغییر می یابد و هیچگاه به تعادل واقعی نخواهد رسید مگر مواقعی که زمان وقوع پدیده آبستگي بی نهایت باشد. نتایج مطالعات کلارک^۹ نشان می دهد که ۷۰ درصد عمق نهایی حفره آبستگي در ثانیه های اول تشکیل می شود [۱]. کوتولاس^۹ حداکثر عمق آبستگي را به صورت تابعی از زمان بیان نمود [۴]. چاترجی و قوش^{۱۰} [۲] با آزمایش هایی بر روی آبستگي ناشی از جت دیواره ای، زمان رسیدن به عمق تعادل (T) را به صورت $T = e^{4.6 d_g^{0.172}} u_0^{-0.667 d_g^{-0.014}}$ بیان کردند که در آن تنها قطر معرف ذرات (d_g) و سرعت جت (u_0) دخیل بوده و e

 بررسی آزمایشگاهی تغییرات زمانی پروفیل آبستگي
 پائین دست جت افقی مستغرق

مجتبی صانعی^۱، کیومرث ابراهیمی^۲، پژمان علی حسینی^۳
 و محمود مشعل^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۳/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۱۰

چکیده

هر ساله هزینه های سنگینی برای کنترل و جلوگیری از تخریب ناشی از آبستگي در پایین دست سازه های آبی صرف می شود. از این رو پدیده آبستگي در سازه ها بسیار حائز اهمیت است و پیش بینی آن قبل از ساخت سازه امری ضروری برای هر طراحی می باشد. گسترش این پدیده می تواند پایداری سازه را به خطر اندازد ضمن اینکه تجمع مواد فرسایش یافته با تغییر رقوم پایاب بر عملکرد خروجی سازه تأثیر می گذارد. در این مقاله نتایج بررسی آزمایشگاهی پدیده آبستگي در بستر با مصالح غیر چسبنده در پائین دست یک جت افقی مستغرق ناشی از بازشدگی دریچه ارائه شده است. با شبیه سازی فیزیکی، پروفیل حفره آبستگي بانضمام تل ماسه ای پایین دست حفره در زمان های مختلف ثبت شد. تغییرات زمانی عمق و طول حفره آبستگي، ارتفاع تل ماسه ای و همچنین فاصله اوج تل ماسه ای تا کف بند با یک رابطه لگاریتمی برازش داده شد. مطابق با نتایج به دست آمده با گذشت زمان، ابعاد پروفیل آبستگي افزایش یافته در حالی که روند افزایش ابعاد پروفیل مورد بحث کاهش یافته است. به عبارت دیگر قسمت اعظم آبستگي در زمان های اولیه آزمایش رخ داده و سپس روند آبستگي به طور قابل ملاحظه ای کاهش یافته است. همچنین مطالعه تغییرات زمانی پارامترهای بی بعد شده پروفیل آبستگي، نشان داد که پروفیل آبستگي مستقل از زمان است.

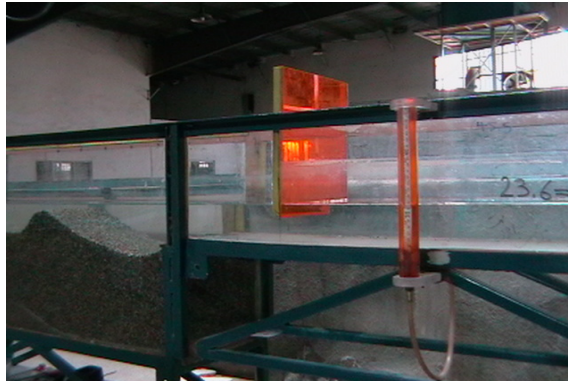
واژه های کلیدی: آبستگي، جت افقی مستغرق، تغییرات زمانی، کف بند، مدل آزمایشگاهی

- 4- Initial phase
- 5- Development phase
- 6- Stabilization phase
- 7- Equilibrium phase
- 8- Clarke
- 9- Kotoulas
- 10- Chatterjee & Ghosh

۱- نویسنده مسئول، دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، com.yahoo@mojtabasaneie

۲- استادیار گروه آبیاری، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران



شکل ۱: نمایی از مدل آزمایشگاهی و دریچه کشویی تعبیه شده و پروفیل‌های آبشستگی تشکیل شده شامل حفره و تپه بالادست

Fig. 1. Side view of Flume and gate with the scour profile

رسوبات قابل فرسایش به منظور ایجاد پروفیل‌های آبشستگی برخورد می‌کرد. به منظور کنترل سطح آب داخل فلوم (عمق پایاب) از یک سرریز کنترلی در انتهای فلوم استفاده شد. عمق جریان در پایاب توسط ژرف‌سنجی با دقت $0/1$ میلی‌متر اندازه‌گیری شده است. جریان آب بعد از عبور از سرریز کنترلی تنظیم عمق پایاب به یک کانال بتنی تعبیه شده در کف آزمایشگاه ریزش کرده که در انتهای این کانال یک سرریز مثلثی شکل فلزی لبه تیز استاندارد با زاویه 90° درجه برای اندازه‌گیری دبی قرار داشت. رسوبات به کار رفته در این تحقیق دارای دو نوع دانه‌بندی کاملاً یکنواخت با قطر متوسط 1 و 3 میلی‌متر و چگالی $2/56$ ($\frac{gr}{cm^3}$) بودند. اندازه‌گیری‌ها در راستای قائم (Z در محور مختصات) به منظور برداشت توپوگرافی بستر و پروفیل ابعاد آبشستگی در زمان‌های مختلف، صورت گرفت. بدین صورت که به دلیل شفاف بودن دیواره فلوم و نمایان بودن سطح بستر، پروفیل آبشستگی و همچنین تشابه پروفیل طولی آبشستگی در کل عرض کانال، کاغذی شفاف در یک طرف دیواره کانال نصب شد و در زمان‌های مورد نظر، پروفیل آبشستگی با مداد و با رنگ‌های مختلف به منظور تفکیک پروفیل‌ها در زمان‌های مختلف روی آن کشیده شد. سپس با خط‌کش با دقت یک میلی‌متر اندازه ابعاد هر یک از پروفیل‌های آبشستگی برداشت شد. آزمایش‌ها تا زمانی که عمق حفره آبشستگی به تعادل نسبی برسد ادامه داشت. منظور از تعادل نسبی زمانی است که پروفیل ابعاد حفره آبشستگی شامل طول، عرض و عمق بعد از گذشت مدت زمانی تغییر نکند.

در این لحظه پمپ را خاموش کرده و شرایط هیدرولیکی، تسطیح بستر و... برای انجام آزمایش بعدی آماده می‌شد. شکل ۱ نمونه‌ای از پروفیل‌های آبشستگی تشکیل شده را نشان می‌دهد. مجموع 68 آزمایش با شرایط هیدرولیکی مختلف و به منظور بررسی تغییرات زمانی پروفیل آبشستگی ناشی از جت افقی انجام شد.

عدد نپر است. رنجبر و همکاران [۵] با مطالعه بر روی تغییرات زمانی حفره آبشستگی نتیجه گرفتند که حداکثر تغییرات در ابعاد حفره آبشستگی در دقایق اولیه رخ می‌دهد و پس از آن نرخ این تغییرات کاهش می‌یابد به نحوی که پس از گذشت 80 دقیقه تقریباً 70 درصد آبشستگی افتاده است. در این مقاله نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی آبشستگی پایین‌دست یک کف‌بند، ناشی از جت افقی مستغرق، با هدف بررسی تغییرات زمانی آن ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های مربوط به این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری انجام شده است. برای رسیدن به اهداف این تحقیق مدل آزمایشگاهی مطابق شکل ۱ ساخته شد. جریان آب از یک مخزن زیرزمینی وارد مخزن فلزی روبازی به ابعاد $(100 \times 50 \times 50)$ سانتی‌متر می‌شد و از آنجا به داخل فلوم جریان می‌یافت. یک شیر کنترلی نیز برای تأمین مقدار جریان مورد نیاز وجود داشت. وجوه فلوم از قاب فلزی و دیواره‌ها و کف آن با مصالح شفاف از جنس پلکسی‌گلاس بود تا بتوان به خوبی داخل فلوم، تغییرات سطح مواد بستر و همچنین تغییرات پروفیل سطح آب را مشاهده کرد. طول فلوم 8 متر، عرض فلوم 255 میلی‌متر، عمق آن 250 میلی‌متر و ارتفاع آن از کف آزمایشگاه 130 سانتی‌متر بود. برای ایجاد جت افقی آب و همچنین پرش هیدرولیکی از یک دریچه کشویی استفاده شد. دریچه کشویی از جنس پلکسی‌گلاس و در فاصله 275 سانتی‌متری از ابتدای فلوم کار گذاشته شد. طول دریچه 300 میلی‌متر و عرض دریچه 255 میلی‌متر و همانند عرض فلوم بود. دریچه قابلیت بالا و پائین رفتن روی دیواره‌های فلوم به منظور ایجاد ضخامت‌های مختلف جت‌های افقی آزمایشی را داشت. جت افقی بعد از عبور از دریچه روی کف‌بندی به طول 25 سانتی‌متر که همان کف فلوم و از جنس پلکسی‌گلاس است حرکت کرده و سپس به

۱- مشاهدات

مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که در زمان‌های ابتدایی آزمایش ذرات رسوبی به صورت کاملاً نامنظم و با اغتشاش زیاد حرکت کرده و از حفره خارج می‌شوند به طوری که خیلی از ذرات رسوبی توسط جریان پایاب به پایین دست حمل می‌شدند. ولی در زمان‌های بیشتر که حالت تعادل نسبی پدیدار می‌شد، رسوبات درون حفره حالت غلطشی داشته و به ندرت از حفره خارج می‌شدند. شکل ۲ مقایسه‌ای بین نمونه‌ای از پروفیل طولی آبستگي برداشت شده در زمان‌های مختلف را نشان می‌دهد.

همانطور که از نمودارها مشخص است با گذشت زمان، ابعاد پروفیل آبستگي شامل عمق حفره (d_s)، طول حفره (L_s)، ارتفاع تل ماسه‌ای پایین دست حفره (h_p) و همچنین فاصله اوج تل ماسه‌ای تا کف بند (X_D) افزایش یافته در حالی که روند افزایش ابعاد پروفیل مورد بحث کاهش یافته است. به عبارت دیگر قسمت اعظم آبستگي در زمان‌های اولیه آزمایش رخ داده و سپس روند آبستگي به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است به گونه‌ای که با گذشت مدت زمان بیشتر تغییرات زیادی در افزایش ابعاد حفره آبستگي مشاهده نمی‌شد تا جایی که کم کم پروفیل‌های زمانی آبستگي روی هم منطبق شده و حفره آبستگي به یک تعادل نسبی رسید. همچنین با گذشت زمان محل وقوع حداکثر عمق آبستگي تغییر کرده و به سمت پایین دست منتقل می‌شود، فاصله افقی اوج تل ماسه‌ای تا کف بند نیز از همین قانون پیروی می‌کند. روشن است که نرخ تغییرات شیب بالادست حفره کمتر از نرخ تغییرات شیب در پایین دست می‌باشد. انجام آزمایش‌هایی تحت شرایط مختلف هیدرولیکی و زمان‌های مختلف (آزمایش‌ها برای $t \geq 2 \text{ min}$ انجام شده است) نیز نشان داد که با افزایش زمان مقدار پارامترهای ذکر شده بیشتر می‌شود ولی در زمان‌های بیشتر نرخ افزایش آن کاهش

می‌یابد. با توجه به توپوگرافی برداشت شده در زمان‌های مختلف، و تحلیل نتایج بدست آمده نشان‌دهنده تشابه هندسی بین پروفیل‌های طولی آبستگي می‌باشد. همان‌طور که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، انطباق بسیار خوبی بین منحنی‌های بی‌بعد دیده می‌شود و این امر نشان‌دهنده این است که منحنی‌های پروفیل آبستگي در اصل شبیه به هم بوده و در حالت بی‌بعد مستقل از زمان هستند.

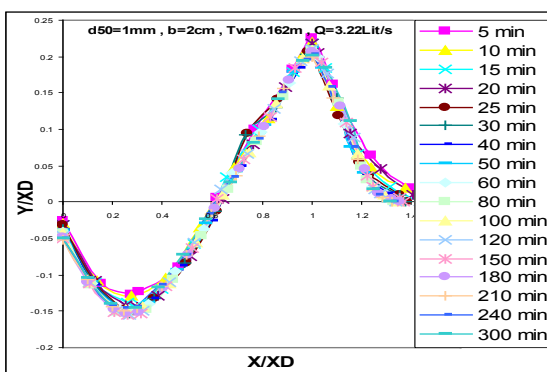
برای بی‌بعد کردن پروفیل‌های طولی آبستگي، اطلاعات داده‌های برداشت شده از پروفیل‌ها در شکل ۳ نشان داده شده است. برای این منظور، داده‌های مربوط به طول (X) و عرض (Y) پروفیل‌ها به پارامتر X_D (فاصله افقی نقطه اوج تل ماسه‌ای تا کف بند) به صورت $\frac{X}{X_D}$ و $\frac{Y}{X_D}$ بدون بعد می‌شوند.

۲- تحلیل ابعادی

شکل هندسی پروفیل آبستگي پایین دست کف بند ناشی از جت افقی به متغیرهای مختلفی بستگی دارد که این متغیرها عبارتند از: عمق پایاب (T_w)، شدت جریان (Q)، یا سرعت جت (V)، لزوجت سیال (μ)، چگالی سیال (ρ)، شیب کانال (S)، ضریب زبری کف و بدنه کانال و همچنین زبری کف بند (n)، اندازه مؤثر ذرات رسوب (d_m)، یکنواختی یا غیر یکنواختی ذرات بستر (σ_g)، چگالی ذرات بستر (ρ_s)، هندسه جت (R)، طول کف بند (L)، شتاب ثقل زمین (g) و زمان از شروع آبستگي (t). در نتیجه با کمک گرفتن از آنالیز ابعادی و تئوری π باکینگهام و با حذف پارامترهای ثابت و در نظر گرفتن پارامترهای تکرارشونده شکل کلی رابطه برای دست‌یابی به تعادل نسبی حفره آبستگي و بررسی تغییرات زمانی ابعاد حفره آبستگي به صورت زیر به دست می‌آید:

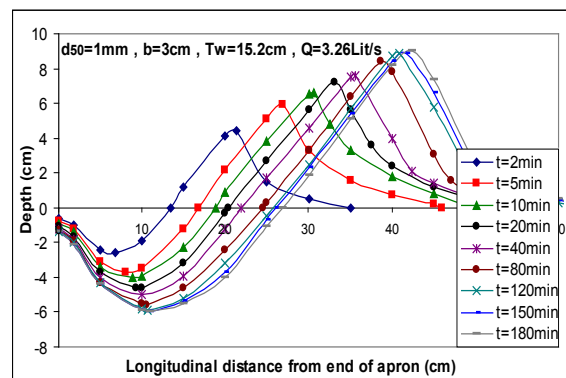
$$\frac{d_s}{d_{se}} = f\left(Fr_d, \frac{T_w}{b}, \frac{t}{T}\right) \quad (1)$$

که در رابطه بالا Fr_d عدد فرود ذرات، d_s عمق حفره آبستگي در زمان t از شروع آزمایش، d_{se} عمق حفره آبستگي در زمان تعادل نسبی (T) می‌باشند.



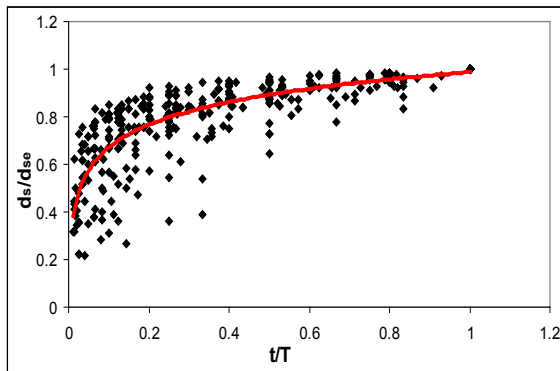
شکل ۳: پروفیل بی‌بعد شده آبستگي در زمان‌های مختلف آزمایشی

Fig. 3. Dimensionless scour profile



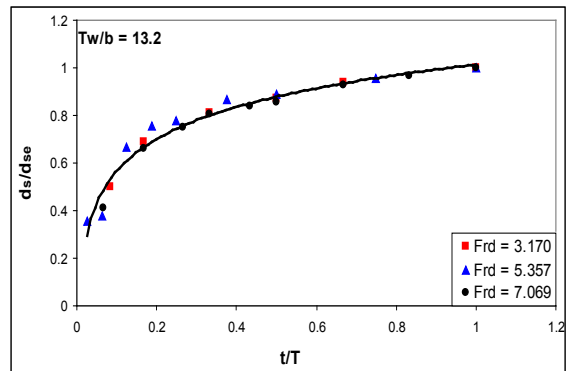
شکل ۲: پروفیل‌های آبستگي برداشت شده در زمان‌های مختلف

Fig. 2. Scour profile at different times



شکل ۵: تغییرات $\frac{d_s}{d_{se}}$ در اثر پارامتر $\frac{t}{T}$ برای تمامی آزمایش‌ها

Fig. 5. Variation of $\frac{d_s}{d_{se}}$ vs. $\frac{t}{T}$



شکل ۴: اثر عامل $\frac{t}{T}$ بر $\frac{d_s}{d_{se}}$ با نسبت‌های مختلف Fr_d

Fig. 4. $\frac{t}{T}$ vs. $\frac{d_s}{d_{se}}$ at different Fr_d

منابع

- 1- Breusers, H. N. C. and Raud KiVi, A. J., (1991), "scouring hydraulic structures design manual, Volume 2." Balkema, Rotterdam.
- 2- Chatterjee, S. S. and Ghosh, S. N and chatterjee, M (1994), "Local scour due to submerged horizontal jet" journal of Hydraulic Engineering, ASCE. Vol. 120, No, 8 p.p. No, 3296.
- 3- Mason, P. J. and K. Arumugam, (1985), "Free jet scour below dams and flip bucket", J. Hyd. Engg., ASCE, Vol. 111, No. 2, pp. 220-235
- 4- Przedwojski, B. and A. A Balkema, (1995), "River training techniges", Rotterdam, Brook fild.
- 5- Ranjbar, H., Salamatian, A., and Ghodsian, M., (1990). Study on the Temporary Changes in the Profiles of Submerged free falling Jet Scour Downstream, 7th International Conference on River Engineering, Chamran University)In persion).

در شکل ۴ تغییرات $\frac{d_s}{d_{se}}$ بر حسب $\frac{t}{T}$ برای نسبت‌های مختلف Fr_d و $\frac{Tw}{b}$ نشان داده شده است. در شکل ۵ با توجه به اینکه نسبت‌های مختلف $\frac{Tw}{b}$ و Fr_d جداگانه در نظر گرفته شده است ولی تغییرات زمانی برای همه نسبت‌ها روی هم افتادند و می‌توان گفت که نسبت‌های $\frac{Tw}{b}$ و Fr_d تأثیر چندانی روی تغییرات زمانی حفره آبستگي نداشته‌اند. در نتیجه تغییرات $\frac{d_s}{d_{se}}$ در اثر پارامتر $\frac{t}{T}$ برای تمامی نسبت‌های $\frac{Tw}{b}$ و Fr_d (تمامی آزمایش‌ها) در یک نمودار مطابق شکل ۵ رسم شد. معادله منحنی برازش داده شده بر نقاط نمودار شکل ۵ به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{d_s}{d_{se}} = f\left(Fr_d, \frac{Tw}{b}, \frac{t}{T}\right) \quad (2)$$

ضریب تعیین معادله برابر $R^2 = 0.07$ است.

نتیجه‌گیری

مطابق با نتایج به‌دست آمده با گذشت زمان، ابعاد پروفیل آبستگي شامل عمق حفره (d_s)، طول حفره (L_s)، ارتفاع تل ماسه‌ای پایین دست حفره (h_D) و همچنین فاصله اوج تل ماسه‌ای تا کف‌بند (X_D) افزایش یافته در حالی که روند افزایش ابعاد پروفیل مورد بحث کاهش یافته است. قسمت اعظم آبستگي در زمان‌های اولیه آزمایش رخ داده و سپس روند آبستگي به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته است و تغییرات پارامترهای ذکر شده با زمان را می‌توان با رابطه‌ای لگاریتمی بیان نمود. همچنین مطالعه تغییرات زمانی پارامترهای بی‌بعد شده پروفیل آبستگي، نشان داد که پروفیل طولی بی‌بعد شده آبستگي مستقل از زمان است.