مجله علمی – پژوهشی
«عـمـران مـدرس»
دوره دهم، شماره2، تابستان 1389

«یادداشت تحقیقاتی»

بررسی آزمایشگاهی تاثیر انحنای نسبی کانال بر آبشستگی بستر در خم90 درجه

سیدکمال الدین موسوی[1]، مسعود قدسیان[2]*

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران آب، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس
۲- استاد هیدرولیک، پژوهشکده مهندسی آب و دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

ghods@modares.ac.ir
(دریافت مقاله: خرداد 1386، پذیرش مقاله: اردیبهشت 1388)

چکیده- بیشتر رودخانه‌ها تمایل به مارپیچی شدن و فرسایش ساحل خارجی خود را در محل قوسها دارند. به‌منظور حفظ پایداری سواحل رودخانه‌ها می‌توان از روشهای ساماندهی رودخانه استفاده کـرد. یکی از مسائل قابل توجه در مهندسی رودخانه، آبشستگی و تغییرات توپوگرافی بستر رودخانه در محل قوس است. پارامترهای مختلفی بر این پدیده مؤثرند. در این تحقیق برای شناسـایی و بررسـی تـأثیر پارامترهای دبی جریان، عمق نسبی جریان و انحنای نسبی کانال بر ابعاد حفره آبشستگی، آزمایـشهایی طراحی و اجرا شد که نتایج به‌دست آمده، ارائه می‌شود.

کلید واژگان: خم 90 درجه، توپوگرافی بستر، عمق آبشستگی، طول آبشستگی و عرض آبشستگی.

۱- مقدمه

مطالعه در زمینه آبشستگی از حدود 150 سال پیش شروع شده امـا بـدلیل پیچیـدگیهای خـاص آن، هنـوز یکـی از موضوعات مورد علاقه محققان هیدرولیک است. محققـان نشان داده‌اند که تأثیر جریانهای ثانویه بر آبشستگی، بسیار مهم و قابل تأمل است و لذا مطالعه در زمینهٔ آبشستگی بـا تحقیق در زمینه ساز و کار جریان ثانویـه و توزیـع تـنش برشی و ابعاد حفرهٔ آبشستگی ادامه دارد. بیـشتر محققـان اظهار داشته‌اند که بیشینهٔ تنش برشی در تیزترین محل خم روی می‌دهد اما روزوسکی[1] بر اساس مشاهدات صحرایی ملاحظه کرد که بیشینه فرسایش در کنار مقعر، در موقعیت حداکثر انحنا نیست بلکه در پایین دست آن (حـدود 1/5 برابر عرض آبراهه) روی می‌دهد[1]. وی شـیب عرضـی بستر را به نسبت عمق جریان و شعاع انحنا مرتبط کرد.

1. Rozovski (1957)

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-03-28]

اودگارد[1] براساس داده های صحرایی چنین نتیجه گرفت که شیب جانبی بستر با نسبت عمق جریان به شعاع انحناء (D/r) متناسب است. وی همچنین نشان داد که وزن ذرات رسوب و نیروی برشی، برخی از عوامل مهم و موثر بر حرکت عرضی رسوب است [2و3]. وی همچنین برای توزیع سرعت جریان و قطر ذرات بستر روابطی را ارائه کرد.

تورن[2] رابطه زیر را برای حداکثر عمق آبشستگی(d_{se}) براساس نسبت شعاع انحناء به عرض مقطع($\frac{r}{w}$) به‌دست آورد[4] .

$$\frac{d_{se}}{D} = 1.07 - Log\left(r/w - 2\right) \qquad 2 \le r/w \le 22 \qquad (1)$$

ایکیدا و نیشیمورا[3] مدل ریاضی را برای شبیه‌سازی جریان سه‌بعدی و توپوگرافی بستر در کانال سینوسی شکل ارائه و نتایج آن‌را با مقادیر آزمایشگاهی مقایسه و مشاهده کردند که حداکثر عمق آبشستگی در زاویه 60 درجه از ابتدای خم اتفاق می‌افتد[5] .

بگین[4] نشان داد که نیروی وارد شده بر واحد سطح ساحل خارجی در خم، به ضریب انحناء و ضریب انحنا نیز به انحنا نسبی (r/w) بستگی دارد. او براساس داده‌های صحرایی مشاهده کرد که حداکثر فرسایش کنار خارجی برای $\frac{r}{w} \approx 3$ روی می‌دهد [6] .

ین وهو[5] مدلی را برای شبیه‌سازی توپوگرافی بستر در خم رودخانه‌ها ارائه دادند. ایشان نتایج کارهای تحلیلی برای خم 90 درجه با مقطع مستطیلی را با نتایج حاصل از کارهای آزمایشگاهی برای مسیری سینوسی با مقطع ذوزنقه‌ای مقایسه کردند. آنان نتیجه گرفتند که فرایند تکامل بستر در خم رودخانه ها درصورتی‌که جریان دائمی باشد و ذرات رسوب یکنواخت فرض شوند، به‌صورت نمایی با زمان متناسب است و نسبت تناسب نیز به شرایط جریان، هندسه خم و اندازه ذرات رسوب بستگی دارد[7].

ماینورد[6] براساس مقادیر مشاهداتی آبشستگی در خم‌های با بستر شنی، رابطه زیر را ارائه نمود[8] :

$$\frac{D_{\max}}{D} = 1.8 - 0.051\left(r/w\right) + 0.0084\left(w/D\right) \qquad (2)$$

در این رابطه $D_{\max}$ حداکثر عمق جریان (در ساحل خارجی) و D میانگین عمق جریان است. محدوده اعتبار رابطه(2) $1.5 \le r/w \le 10$ و $20 \le w/D \le 125$ است.

واتاناب و همکاران[7] رابطه زیر را برای حداکثر عمق آبشستگی ارائه دادند[9] :

$$\frac{d_{se}}{D} = A + B\left(w/r\right) \qquad (۳)$$

که A , B تابعی از عرض مقطع، عمق جریان و شیب بستر است.

1. Odgaard (1982)
2. Thorne (1983)
3. Ikeda & Nishimura (1986)
4. Begin (1986)
5. Yen & Ho (1990)
6. Maynord (1996)
7. 1990(Wattanabe, Hasegawa and Houjyou

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-03-28]

هرزبربر و اشلیس[1] آزمایشهایی را در فلوم آزمایشگاهی90 درجه، برای تعیین تأثیر زبری دیوار بر فرایند آبشستگی طراحی و اجرا کردند[10] .

قدسیان و موسوی به بررسی آزمایشگاهی آبشستگی در یک قوس 90 درجه پرداختند و رابطه ای برای حداکثر عمق آبشستگی ارائه دادند

در این مقاله، نتایج آزمایشهای انجام شده بهمنظور بررسی اثر برخی پارامترهای مهم (عمق و سرعت جریان و شعاع انحنای قوس) بر ابعاد حفره آبشستگی در خم 90 درجه ارائه شده است[11] .

2- تحلیل ابعادی

براساس تحقیقات صورت گرفته در زمینهٔ آبشستگی بستر، پارامترهای زیر بعنوان پارامترهای مؤثر بر عمق، طول و عرض آبشستگی (d_s, l_s, W_s) مطرح است :

$$(d_s, l_s, W_s) = f(Q, D, d, r, W, \rho, \rho_s, g) \qquad (4)$$

در این رابطه Qدبی جریان، Dعمق جریان ورودی به خم است که در بالادست خم و در مسیر مستقیم اندازهگیری میشود، d قطر میانگین مصالح، rشعاع انحنای کانال، Wعرض مقطع جریان، r چگالی آب، r_s چگالی رسوبها و g شتاب ثقل است.

با استفاده ازتحلیل ابعادی، پارامترهای بدون بعد زیر بهدست میآید:

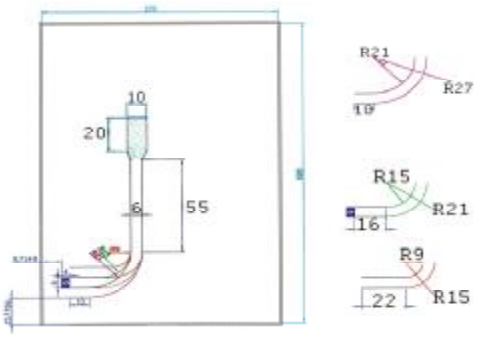
$$\frac{d_s}{D}, \frac{l_s}{D}, \frac{W_s}{D}, \frac{l_s}{d_s}, \frac{W_s}{d_s}, \ldots = f\left(\frac{r}{W}, \frac{D}{W}, Fr_{d_{50}}\right) \qquad (5)$$

که در این رابطه $Fr_{d_{50}} = \dfrac{Q}{wD\sqrt{\Delta r_s g d_{50}}}$ عدد فرود ذرات و $\Delta r_s = \dfrac{r_s - r}{r}$ چگالی نسبی می باشد.

نحوه وابستگی بین پارامترهای معادله (5) را بهکمک دادههای آزمایشگاهی میتوان بهدست آورد.

3- نحوه انجام آزمایشها

آزمایشهای موردنظر در فلومی با عرض 60 و ارتفاع70 سانتیمتر که بستر آن با ماسهٔ یکنواخت بهقطر میانگین d_{50}=1/4 میلیمتر پوشیده شده بود و در انتهای مسیر مستقیم 5/5 متری خود قوس 90 درجه دارد طراحی و اجرا شد. فلوم موردنظر طوری طراحی شد که امکان تغییر شعاع انحنای آن و استفاده از شعاعهای انحنای 1/2، 1/8 و 2/4 متر وجود داشته باشد[12]. شکل1 طرحوارهٔ فلوم را نشان میدهد.



شکل 1 طرحوارهٔ فلوم (ابعاد به دسیمتر)

نحوه انجام آزمایشها بدین صورت بود که ابتدا دریچه پروانهای تعبیه شده در پاییندست فلوم را بالا آورده و اجازه میدهیم که جریان بهآرامی به فلوم وارد شده و بدون ایجاد آبشستگی، بر بستر جاری شود تا سطح آب

1. 2003 (Hersberber & Schlesis)

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-03-28]

بالا آید. اندازه‌گیری دبی توسط روزنهٔ استاندارد و کالیبره شده‌ای که در مسیر جریان قرار گرفته، انجام شد. برای اندازه‌گیری عمق جریان از دستگاه سطح سنج نقطه ای دیجیتالی و برای اندازه گیری پروفیل بستر از دستگاه اندازه‌گیر پروفیل بستر استفاده شد. پس از تنظیم دبی، عمق موردنظر توسط دریچه‌ای تنظیم می‌گشت و سپس آزمایش شروع می شد. در پایان آزمایشها، تغییرات عرضی سطح آب توسط دستگاه سطح‌سنج نقطه‌ای دیجیتالی و پروفیل بستر توسط دستگاه اندازه‌گیر پروفیل بستر اندازه-گیری می‌شد.

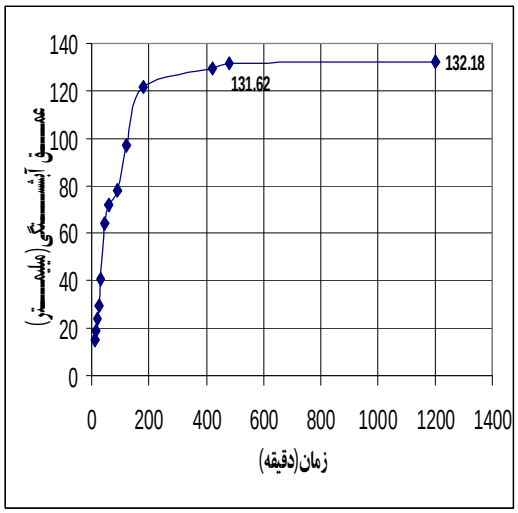
جدول (۱) محدوده پارامترها در آزمایشات انجام شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱ محدوده پارامترها

پارامتر	محدوده
دبی جریان (Lit/sec)	۱۵-۴۵
عدد فرود جریان(Fr)	۰/۴ - ۰/۶
انحنای نسبی (r/w)	۲، ۳ و۴
نسبت عمق به عرض (D/w)	۰/۱ - ۰/۲۶
نسبت تنش برشی متوسط به تنش برشی بحرانی	۰/۷۲-۰/۹۹

4- نتایج آزمایشات

به‌منظور تعیین زمان آزمایش، تعدادی آزمایش بلند مدت انجام شد. نمونه‌ای از نتیجه این آزمایشها در شکل (2) آورده شده است. روشن است که پس از حدود 8 ساعت از شروع آزمایشها، آبشستگی تقریباً به حالت تعادل رسیده طوری که، 99/6% آبشستگی 20 ساعته (حداکثر عمق آبشستگی)، رخ داده و لذا زمان 8 ساعت به‌عنوان زمان تعادل درنظر گرفته شده است.



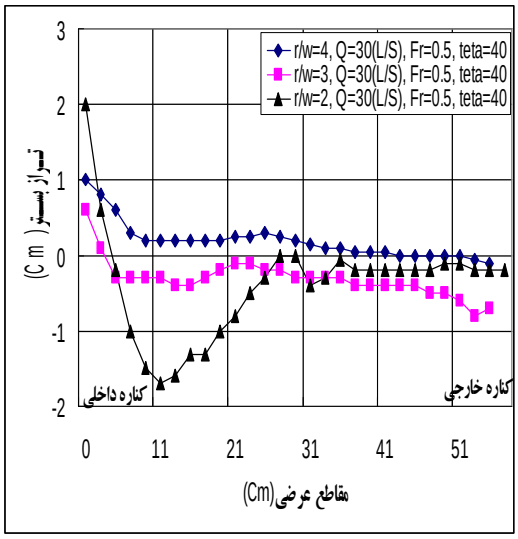
شکل ۲ تغییرات زمانی مقدار عمق آبشستگی به‌ازای دبی ۴۵ لیتر بر ثانیه و عدد فرود ۰/۶

مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که در هر سه انحنای نسبی، به‌ازای عدد فرود ثابت، با افزایش دبی جریان مقدار عمق آبشستگی و ارتفاع تپه رسوبی افزایش می‌یابد. همچنین در دبی‌های بالا، تأثیر عدد فرود جریان مشخص‌تر است. به‌علاوه در هر سه انحنای نسبی به‌ازای دبی ثابت جریان، آبشستگی و ارتفاع تپه رسوبی با افزایش عمق جریان افزایش می‌یابد. طول حفره آبشستگی نیز با افزایش دبی و عدد فرود جریان بیشتر می‌شود. با افزایش دبی و عدد فرود جریان، مصالح از زاویه بالادست‌تر شروع به‌حرکت می‌کند و محل وقوع حداکثر عمق آبشستگی در محدوده 90-60 درجه‌ای از ابتدای قوس و در بیشتر موارد در محدوده 90-80 درجه‌ای است. حداکثر ارتفاع رسوبگذاری در زوایای بعد از 50 درجه تشکیل می‌شود. آزمایشها نشان داد که با افزایش دبی و عدد فرود جریان، مصالح از فاصلهٔ بیشتری از دیوار به-طرف آن متمایل می‌شوند.

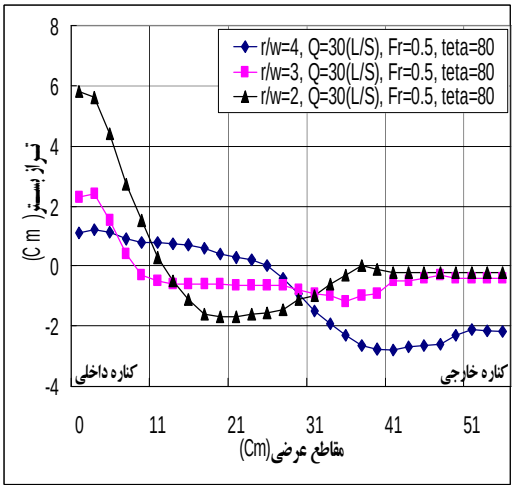
[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-03-28]

4-1- تأثیر انحنای نسبی بر پروفیل عرضی بستر

در شکل‌های (3) و (4) تأثیر انحنای نسبی کانال بر ابعاد و جاب‌جایی حفرهٔ آبشستگی و تپهٔ رسوبی به‌ازای دبی 30 لیتر بر ثانیه و عدد فرود 0/5 در زاویه 40 درجه و 80 درجه قوس مشاهده می‌شود. در هردو شکل ملاحظه می‌شود که با کم شدن انحنای نسبی، بر ارتفاع تپه رسوبی در نزدیکی دیوار داخلی افزوده می‌شود. علاوه بر این، عمق آبشستگی در نقاط میانی کانال با کم شدن انحنای نسبی بیشتر می‌شوداما در مجاورت دیوار خارجی چنین نیست. این نتیجه در مقطع 80 درجه به‌دلیل انحراف جریان بطرف دیواره داخلی، با حرکت جریان به پایین‌دست، مشهوداست.



شکل 3 تغییرات پروفیل عرضی بستردر مقطع40درجه برای انحنای نسبی3،2 و4 به‌ازای دبی30 لیتر بر ثانیه و عدد فرود 0/5



شکل 4 تغییرات پروفیل عرضی بستر در مقطع 80 درجه برای انحنای نسبی3،2 و4 به‌ازای دبی30 لیتر بر ثانیه، عدد فرود 0/5

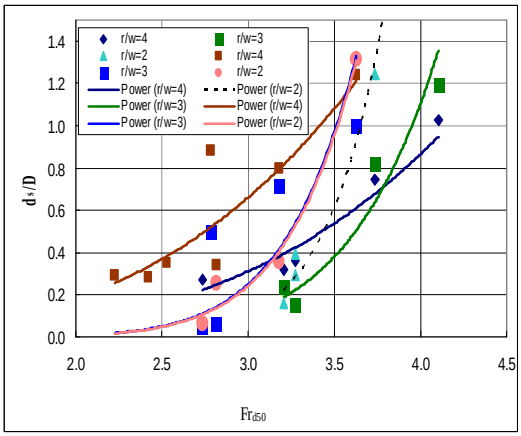
4-2- تأثیر انحنای نسبی و عدد فرود ذرات بر عمق آبشستگی

بررسی پارامترهای بدون بعد حاصل ازتحلیل ابعادی نشان دادکه در بیشتر موارد، عدد فرود ذرات، بهتر از عدد فرود جریان، با پارامترهای بی بعد شده حفره آبشستگی، همخوانی نشان می‌دهد.

همچنین بررسی نتایج آزمایشها نشان داد که بی بعد کردن عمق آبشستگی با عمق جریان d_s/D، رابطه بدون بعد مناسب و منطقی تشکیل می‌دهد. شکل (5)، تغییرات d_s/D را برحسب $Fr_{d_{50}}$ برای انحنای نسبی 3،2 و4 نشان می‌دهد. روشن است که افزایش عدد فرود ذرات، برای تمامی حالتها، افزایش عمق آبشستگی را به‌دنبال دارد، که این ناشی از افزایش سرعت جریان و در نتیجه افزایش تنش برشی اعمال شده به بستر است. بررسی نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد که به‌ازای نسبت D/w برابر یا کمتر از 0/15، انحنای نسبی کمتر از

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-03-28]

3 تأثیر معناداری بر عمق آبشستگی ندارد. با بررسی بیشتر داده‌ها و مطابق معادله (5) مشخص شد که پارامتر نسبت عمق جریان به عرض مقطع D/w نیز بر عمق آبشستگی مؤثر است. بنابراین می توان گفت که d_s/D تابعی از $Fr_{d_{50}}$، r/w و D/w است.



شکل 5 تغییرات عمق نسبی آبشستگی برحسب عدد فرود ذرات و انحنای نسبی

با استفاده از نتایج آزمایشگاهی، بهترین رابطه برای محاسبه عمق آبشستگی برحسب عدد فرود ذرات، انحنای نسبی و عمق نسبی به‌صورت زیر به‌دست آمد:

$$\frac{d_s}{D} = 1.61*10^{-5} Fr_{d_{50}}^{5.34} \left(r/w\right)^{0.82} \left(D/w\right)^{-1.68} \quad (6)$$

عمق آبشستگی نسبی محاسباتی $(d_s/D)_c$ با عمق آبشستگی نسبی اندازه‌گیری شده $(d_s/D)_m$ مقایسه شد و خطای حاصل ε به‌صورت زیر به‌دست آمد :

$$e = \frac{\left(\frac{d_s}{D}\right)_c - \left(\frac{d_s}{D}\right)_m}{\left(\frac{d_s}{D}\right)_m} 100 \quad (7)$$

میانگین خطای **E** برای تمامی داده‌های آزمایشگاهی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E = \frac{100}{N} \sum_{1}^{N} \left| \frac{\left(\frac{d_s}{D}\right)_c - \left(\frac{d_s}{D}\right)_m}{\left(\frac{d_s}{D}\right)_m} \right| \quad (8)$$

که در آن **N** تعداد داده‌های آزمایشگاهی و c و m به‌ترتیب نشانگر مقادیر محاسباتی و مشاهداتی است. میانگین خطای E با استفاده از روابط به‌دست آمده توسط تورن (معادله 1) و ماینورد (معادله 2) و رابطه (6) در جدول 2 مقایسه شده است. روشن است که رابطه (6) خطای کمتری در مقایسه با روابط قبلی داشته و از دقت خوبی بر خوردار است.

جدول 2 درصد میانگین خطای E برای عمق نسبی آبشستگی

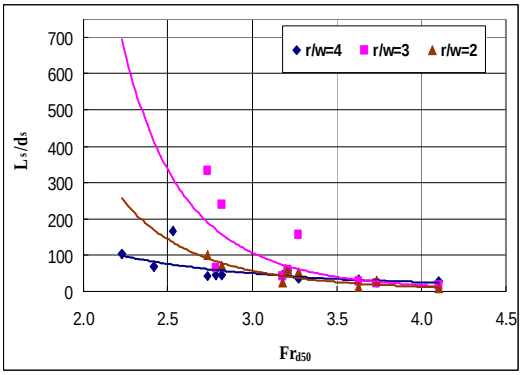
مطالعهٔ حاضر(معادله 6)	رابطهٔ تورن (معادله 1)	رابطهٔ ماینورد (معادله 2)
25/8	197	182

4-3- تأثیر انحنای نسبی و عدد فرود ذرات بر طول حفرهٔ آبشستگی

به‌منظور بررسی اثر انحنای نسبی بر طول حفرهٔ آبشستگی، ابتدا پارامترهای بدون بعدِ مؤثر بر طول حفرهٔ آبشستگی

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-03-28]

که از تحلیل ابعادی به دست آمده بودند بررسی و مشاهده شد که عدد فرود ذرات با طول نسبی آبشستگی، همخوانی مناسبی را نشان می‌دهد. به‌علاوه بررسی داده‌های آزمایشگاهی نشان داد که پارامتر D/w اثر قابل توجهی بر طول حفرهٔ آبشستگی ندارد. شکل (6) تغییرات نسبت طول به عمق آبشستگی l_s/d_s را برحسب عدد فرود ذرات $Fr_{d_{50}}$ برای نسبت انحنای نسبی برابر 3 ،2 و4 نشان می‌دهد.



شکل 6 تغییرات طول نسبی حفرهٔ آبشستگی بر حسب عدد فرود ذرات برای مقادیر مختلف انحنای نسبی

این شکل نشان می‌دهد که با افزایش عدد فرود ذرات، نسبت l_s/d_s کاهش می‌یابد. تاثیر $Fr_{d_{50}}$ به‌ترتیب برای انحنای نسبی 3، 2 و 4 بیشتر است یعنی از انحنای نسبی 2 تا 3، نسبت l_s/d_s بیشتر می شود. اما از انحنای نسبی 3 تا 4، این نسبت کم می شود. به‌ازای عدد فرود ذرات بزرگتر از حدود 3/5، نسبت l_s/d_s متاثر از انحنای نسبی نخواهد بود. با استفاده از نتایج آزمایشگاهی، رابطه زیر بین نسبت طول حفره آبشستگی به عمق حفره آبشستگی، عدد فرود ذرات و انحنای نسبی به‌دست آمد:

$$\frac{l_s}{d_s}=170Fr_{d_{50}}^{-2.87}\left(r/w\right)^{-0.4} \qquad (9)$$

خطای میانگین ناشی از رابطهٔ فوق برای داده‌های آزمایشگاهی برابر26/5 درصد به‌دست آمد.

ارتباط بین طول آبشستگی و عمق جریان، با استفاده از داده های آزمایشگاهی به‌صورت تغییرات $\frac{l_s}{D}$ بر حسب $Fr_{d_{50}}$ و $\frac{r}{w}$ به‌صورت زیر به‌دست آمد:

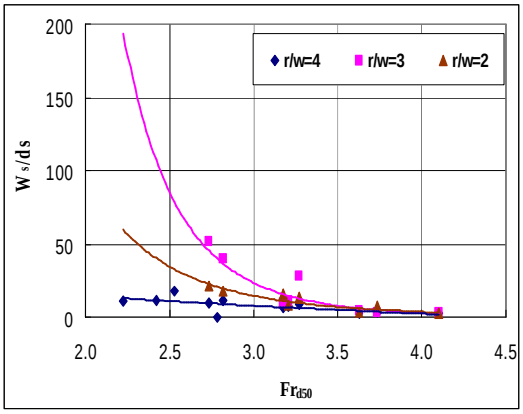
$$\frac{l_s}{D}=5.6Fr_{d_{50}}^{-0.14}\frac{r}{w} \qquad (10)$$

میانگین خطای ناشی از رابطهٔ فوق برای داده‌های آزمایشگاهی برابر33/2 درصد به‌دست آمد.

۴-4- تأثیر انحنای نسبی و عدد فرود ذرات بر عرض حفره آبشستگی

در این قسمت به بررسی اثر انحنای نسبی و عدد فرود ذرات بر عرض حفره آبشستگی می‌پردازیم. بررسی داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که در این مورد نیز عدد فرود ذرات با عرض نسبی آبشستگی همخوانی مناسبی نشان می‌دهد. علاوه بر این مشخص شد که نسبت D/w بر عرض آبشستگی اثرگذار نیست. تغییرات نسبت عرض به عمق آبشستگی W_s/d_s برحسب عدد فرود ذرات $Fr_{d_{50}}$ برای نسبتهای انحنای نسبی برابر 2،3و4 در شکل (7) نشان داده شده است.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-03-28]



شکل ۷ تغییرات عرض نسبی حفرهٔ آبشستگی بر حسب عدد فرود ذرات برای مقادیر مختلف انحنای نسبی

شکل (7) نشان می‌دهد که با افزایش عدد فرود ذرات، نسبت W_s/d_s کاهش می‌یابد. تأثیر $Fr_{d_{50}}$ به‌ترتیب بر انحنای نسبی 3، 2 و 4 بیشتر است یعنی از انحنای نسبی 2 تا 3، نسبت W_s/d_s بیشتر شده و از انحنای نسبی 3 تا 4، این نسبت کم می شود. به‌علاوه به‌ازای عدد فرود ذرات بزرگتر از حدود 3/5، نسبت W_s/d_s متاثر از انحنای نسبی نخواهد بود. با استفاده از نتایج آزمایشگاهی، بهترین رابطه‌ای که بین نسبت عرض حفرهٔ آبشستگی به عمق حفره آبشستگی، عدد فرود ذرات و انحنای نسبی وجود دارد، به‌قرار زیر به‌دست آمد:

$$\frac{W_s}{d_s} = 350 Fr_{d_{50}}^{-2.67} \left(r/w\right)^{-0.8} \qquad (11)$$

خطای میانگین ناشی از رابطهٔ فوق برای داده‌های آزمایشگاهی برابر27/5 درصد به‌دست آمد.

ارتباط بین عرض آبشستگی و عمق جریان، با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی بصورت تغییرات $\frac{W_s}{D}$ بر حسب $Fr_{d_{50}}$ و $\frac{r}{W}$، بصورت رابطه زیر به‌دست آمد:

$$\frac{W_s}{D} = 3.5 Fr_{d_{50}}^{-0.07} \left(\frac{r}{w}\right)^{-0.06} \qquad (12)$$

خطای میانگین ناشی از رابطهٔ فوق برای داده‌های آزمایشگاهی برابر32/2 درصد به‌دست آمد.

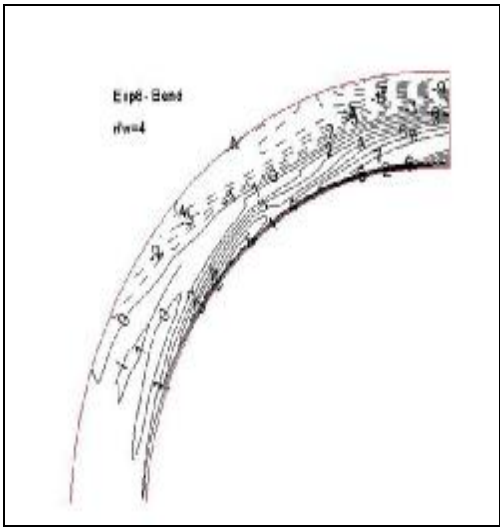
در شکل‌های 8 و 9 نمونه‌ای از پروفیل بستر به‌ازای دبی 45 لیتر بر ثانیه و عدد فرود 0/5 برای انحنای نسبی 4 نشان داده شده است. در این شکل خطوط هم‌تراز ممتد بیانگر رسوبگذاری و خطوط همتراز منقطع آبشستگی را نشان می‌دهد که به سانتی‌متر است. در این شکل نیز مشاهده می‌شود که بیشتر آبشستگی و رسوبگذاری درزاویه‌های 90-80 درجه رخ می‌دهد. با مقایسه این دو شکل نتیجه می‌شود که با کم شدن انحنای نسبی، عرض حفره آبشستگی و طول حفرهٔ آبشستگی بیشتر می‌شود اما ارتفاع تپه رسوبی در مجاورت دیوار خارجی کمتر می‌شود. ارتفاع تپهٔ رسوبی نیز با کم شدن انحنای نسبی کم می‌شود.

4- نتیجه‌گیری

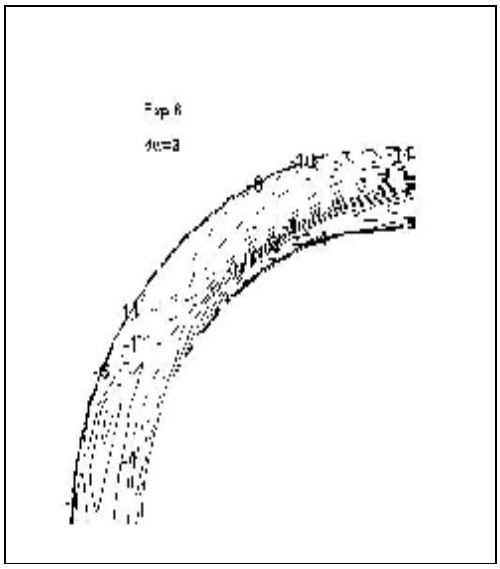
به عنوان نتیجهٔ حاصل از این آزمایشها می توان گفت:

1- در هرسه انحنای نسبی، با افزایش دبی جریان، عمق آبشستگی و ارتفاع تپه ایجاد شده بر اثر رسوبگذاری افزایش می‌یابد.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-03-28]



شکل 8 پروفیل بستر به‌ازای دبی 45 لیتر بر ثانیه و عدد فرود 0/5 در انحنای نسبی 4



شکل 9 پروفیل بستر به‌ازای دبی 45 لیتر بر ثانیه و عدد ف**رود 0/5 در انحنای نسبی 3**

2- در دبی‌های کم، اثر عدد فرود جریان در افزایش عمق آبشستگی و ارتفاع تپه رسوبی کمتر است درحالی‌که در دبی‌های بالا، اثر عدد فرود بیشتر می‌شود.

3- با افزایش دبی و عدد فرود جریان، هم تعداد تپه‌های رسوبی بیشتر می شود و هم بر سرعت آنها افزوده می‌شود و تپه‌ها در مدت زمان کمتری از قوس خارج می‌شوند.

4- در بیشتر آزمایشها محل حداکثر عمق آبشستگی با افزایش دبی و عدد فرود جریان و با گذشت زمان، به سمت پایین دست منتقل می‌شود. محل وقوع حداکثر عمق آبشستگی در موقعیت حدود 90-60 درجه از ابتدای قوس و در بیشتر موارد در محدوده زاویه90-80 درجه است.

5- با کم شدن انحنای نسبی، حفرهٔ آبشستگی به‌سمت وسط مقطع و تپه رسوبگذاری به طرف دیوار داخلی حرکت می‌کند. به‌علاوه عمق حفرهٔآبشستگی در ساحل خارجی نیز کاهش می‌یابد.

6- در بیشتر آزمایشها با کاهش انحنای نسبی، عمق آبشستگی افزایش می‌یافت.

7- روابط جدیدی برای تخمین ابعاد حفرهٔ آبشستگی در خم 90 درجه ارائه شد.

5- مراجع

[1] Rozovskii, I. L., "Flow of Water in Bend of Open Channel", Academy of science of the Ukraine SSR, Institute of hydrology and hydraulic engineering, (1957).

[2] Odgaard A.J., "Transverse Bed Slope in Alluvial Channel Bends", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 107, No.12, (1981), pp. 166-169.

[3] Odgaard A.J., "Bed Characteristics in Alluvial Channel Bends", *Journal of*

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-03-28]

Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 108, No.11, (1982), pp. 1268-1281.

[4] Thorne, C. R., "Prediction of Near-bank Velocity and Scour Depth in Meander Bends for Design of Riprap Revetments", Riprap workshop, Fort Collins, Colorado, (1993), pp 980-1007.

[5] Ikeda S. and Nishimura, T., "Flow and Bed Profile in meandering Sand-silt Rivers", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 112, No.7, (1986), pp 562-579.

[6] Ze'ev B. Begin, "Curvature Ratio and Rate of River Bend Migration", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 112, No. 10, (1986), pp. 904-908.

[7] Chin-lien Yen and Shin Ya Ho, "Bed Evolution in Channel Bends", *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 116, No. 4, (1981), pp. 544-562.

[8] Maynord, S.T, "Toe Scour Estimation in Stabilized Bend ways", *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 122, No.8, (1996), pp. 460-464.

[9] Watanabe, Y., Hasegawa, K. and Houjyou, K., "Influence of Hydraulic Factors on River Bed Scour", *Journal of Hydro science and Hydraulic Engineering*, Tokyo, Japan, Vol. 8, No. 2, (1990) pp.53-63.

[10] Hersberger D. S. and Schleiss A. J., "Influence of the Wall Macro-Roughness on the Scour Process in Curved Channels", *Proceedings of the XXX IAHR Congress*, Theme C, Thessaloniki, Greece, 24-29 August 2003, pp. 333-340.

[11] Ghodsian, M. and Mousavi, S. K., " Experimental Study on Bed Scour in a 90° Channel Bend", *International journal of Sediment Research*, Vol. 21, No. 4, (2006), pp. 321-328.

[۱۲] موسوی، سید کمال الدین، " *بررسی آزمایشگاهی تاثیر شعاع انحنای کانال بر آبشستگی بستر در یک خم 90 درجه* "، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی، دانشگاه تربیت مدرس،1382، 120.

[Downloaded from mcej.modares.ac.ir on 2024-03-28]