

بررسی آزمایشگاهی تاثیر خصوصیات هیدروگراف نرمال بر عمق آبشستگی اطراف آبشکن منفرد تیغه‌ای

علی باباخانی^۱، مسعود قدسیان^{۲*}، آنتوان اشلاز^۳

- ۱- استادیار و عضو هیئت علمی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه زنجان
- ۲- استاد و عضو هیئت علمی، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس
- ۳- استاد و عضو هیئت علمی، دانشکده عمران و محیط زیست، دانشگاه پلی تکنیک لوزان سویس

Babakhani@Znu.ac.ir

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۱۱/۲۰]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۱۰/۱۳]

چکیده

در این مطالعه برای بررسی میزان آبشستگی حول آبشکن، آزمایش‌هایی تحت هیدروگراف‌هایی با دبی و زمان پیک مختلف انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد با افزایش زمان تداوم تا ۶ برابر، عمق آبشستگی تا ۴۰ درصد افزایش می‌یابد به دلیل اینکه مدت زمانی که آبشکن در معرض تنش‌های منجر به آبشستگی قرار می‌گیرد بیشتر خواهد بود. همچنین عمق آبشستگی با افزایش ۲۵ درصدی دبی پیک هیدروگراف، بطور متوسط ۳۵ درصد افزایش داشته است که بعلاوه افزایش تنش‌های وارد شده بر بستر است. در ادامه نتایج آزمایش‌های مذکور با آزمایش‌های تحت جریان دائمی مقایسه شد که اختلاف قابل توجهی در نتایج مشاهده شده است. در ادامه با اعمال ضریبی در معادله عمق آبشستگی تحت جریان دائمی، یک رابطه تجربی برای محاسبه عمق آبشستگی ناشی از هیدروگراف، پیشنهاد شد که این ضریب غیردائمی جریان شامل پارامترهایی چون زمان تداوم و دبی پیک هیدروگراف و زمان تعادل آبشستگی است.

واژگان کلیدی: آزمایشگاهی، آبشستگی، آبشکن، ویژگی‌های هیدروگراف

۱- مقدمه

سیلاب (با دروه بازگشت مشخصی) در نظر گرفته می‌شود. این در حالست که در حین وقوع سیلاب، نوع جریان غیردائمی بوده و هیدروگراف سیلاب اتفاق می‌افتد و از سالهای دور نیز مشخص بوده که عمق آبشستگی در شرایط هیدروگراف کمتر از نتایج روابط جریان دائمی است، پس نتایج روابط جریان دائمی محتاطانه هستند. با بررسی اثر غیردائمی جریان بر میزان آبشستگی می‌توان دریافت که

پایداری، ایمنی و کارکرد آبشکن‌های رودخانه‌ای بستگی به ارزیابی صحیح از عمق و گستره آبشستگی پیرامون آبشکن دارد. برای تعیین بیشینه عمق آبشستگی در طراحی آبشکن‌ها، از نتایج آزمایش‌ها تحت جریان دائمی استفاده می‌شود که در این آزمایش‌ها مقدار دبی، برابر با دبی پیک هیدروگراف

بود ولی از آنجا که تاکنون در زمینه آبشستگی اطراف آبشکن تحت جریان غیردائمی پژوهشی انجام نشده است بنابراین اطلاعات روشن و مستندی در این زمینه در دست نیست و گستردگی جریان‌های سیلابی در طبیعت نیاز به پژوهش در این زمینه را بیش از پیش ضروری می‌سازد. پس در این پژوهش سعی می‌شود آبشستگی حول آبشکن تیغه‌ای تحت جریان غیردائمی بررسی شود و اثر برخی از پارامترها، مانند دبی پیک و زمان تداوم هیدروگراف بر میزان آبشستگی تحت جریان غیردائمی مورد ارزیابی قرار گیرد.

۲- روش انجام تحقیق

۲-۱- مدل آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در کانالی بطول ۸ متر، عرض ۰/۸ متر و عمق ۰/۹ متر با دیواره‌هایی از جنس شیشه سکوریت در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس، انجام شد. در شکل (۱) نمایی از کانال در محدود محل استقرار آبشکن نمایش داده شده است.

شکل ۱. نمایی از کانال و محدوده استقرار آبشکن

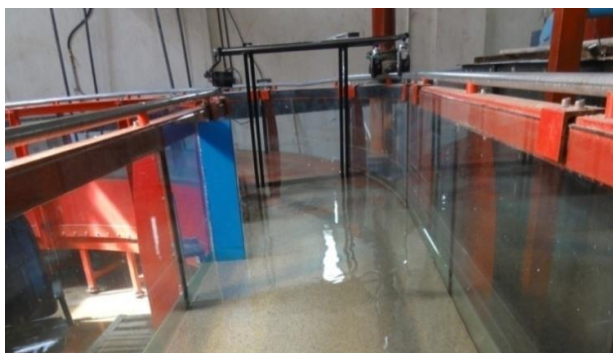


Fig. 1. A view of experimental model frame.

برای انجام آزمایش‌ها از رسوبات یکنواخت استفاده شد. بدین منظور مصالح بستر از ماسه طبیعی رودخانه‌ای انتخاب شد که قطر متوسط آنها ۱/۷ میلی‌متر و ضریب یکنواختی نیز ۱/۳ است. آبشکن از نوع مستقیم یا تیغه‌ای بوده که به ضخامت ۱، طول ۱۲ و ارتفاع ۹۰ سانتی‌متر در فاصله‌ای مناسب از ورودی کانال قرار گرفت، طوریکه جریان کاملاً توسعه یافته شود. برای اطمینان از توسعه یافتگی جریان اقدام به اندازه‌گیری پروفیل سرعت در چندین مقطع متوالی شد و محدوده توسعه یافتگی جریان بدست آمد.

روابط جریان دائمی به چه میزانی دست‌بالا تخمین می‌زنند. بر اساس اطلاعات نویسندگان این مقاله، تاکنون در زمینه آبشستگی حول آبشکن تحت جریان غیردائمی پژوهشی انجام نشده است و بیشتر مطالعات در زمینه آبشستگی تحت جریان غیردائمی، حول پایه‌های پل است. در بیشتر مطالعات انجام شده برای تخمین آبشستگی حول پایه‌های پل تحت جریان-دائمی، عمق آبشستگی تعادلی به عنوان بیشینه عمق آبشستگی در نظر گرفته می‌شود. طبق مطالعه Raudkivi (1986) مدت زمان لازم برای آزمایش جهت به تعادل رسیدن عمق آبشستگی، ۵۰ ساعت است که مدت زمان متناظر آن برای یک سیلاب واقعی در طبیعت به عنوان یک نمونه واقعی، ممکن است فراتر از حد معقول باشد [1, 3]. چراکه در بیشتر رودخانه‌ها به استثناء رودخانه‌های بزرگ، مدت زمان تداوم برای پیک سیلاب بسیار کوتاهتر است. پس در رودخانه‌های معمولی به دلیل اینکه مدت زمان سیلاب برای رسیدن عمق آبشستگی به حالت تعادل کافی نیست، مقدار عمق آبشستگی ممکن است کمتر از عمق تعادلی آبشستگی باشد [2, 4, 5]. بنابراین استفاده از دبی پیک سیلاب تحت جریان دائمی با زمان آزمایش طولانی، منجر به عمق آبشستگی تعادلی می‌شود که همخوانی مناسبی با شرایط جریان غیردائمی نداشته و استفاده از دبی پیک سیلاب در طراحی ممکن است عمق آبشستگی را به میزان قابل توجهی دست‌بالا تخمین زند [6, 7]. در مطالعه‌ای دیگر (Melville and Chiew 1999) دریافتند که ۵۰-۸۰٪ از بیشینه عمق آبشستگی نهایی در ۱۰٪ ابتدایی مدت زمان تعادل اتفاق می‌افتد. برای نمونه اگر یک سیلاب به مدت ۱۰٪ زمان تعادل بطول بیانجامد، عمق آبشستگی ناشی از سیلاب ۵۰-۲۰٪ کمتر از عمق آبشستگی تعادلی بدست می‌آید. بنابراین برای تعیین عمق آبشستگی متناظر با دبی پیک، بررسی زمان پیک و استفاده از هیدروگراف سیلاب به جای جریان دائمی ضروری بنظر می‌رسد [3, 8].

طبق یافته‌های اخیر می‌توان دریافت، با توجه به اینکه در طبیعت در زمان سیل جریان غیردائمی و شرایط جریان متفاوت است پس تغییرات زمانی ابعاد آبشستگی حول سازها تحت جریان غیردائمی، کاملاً متفاوت با جریان دائمی خواهد

۲-۲- روش انجام آزمایش

یک میلی متر را داشته و با توجه به امکان حرکت طولی ارابه مختصات سه بعدی هر نقطه‌ای از بستر در کمتر از دو ثانیه قابل برداشت بوده. برداشت‌ها در لحظات ابتدایی آزمایش‌ها که روند تغییرات زمانی پارامترها شدید بوده در بازه‌های زمانی کوتاه‌تر انجام می‌شد. پس از اتمام آزمایش‌ها نیز فرم بستر ناشی از آبشستگی برداشت شد. شبکه برداشت نقاط بستر در اطراف آبشکن ریزتر و با افزایش فاصله از اطراف آبشکن و کاهش تدریجی روند تغییرات بستر، درشت‌تر شد. همچنین در برخی نواحی که در توپوگرافی بستر تغییرات ناگهانی وجود داشت برای نمونه خط الراس آبشستگی، برداشت‌ها با دقت بیشتری انجام شد.

۲-۳- پارامترهای بررسی شده

در این پژوهش اثر دبی پیک و زمان تداوم هیدروگراف بررسی شد. همچنین تعداد ۴ آزمایش شاهد در حالت جریان دائم با دبی پیک و زمان تداوم مشابه با هیدروگراف انجام شد تا امکان مقایسه میزان آبشستگی در دو حالت جریان دائمی و غیردائمی فراهم شود. برای بررسی اثر دبی پیک، آزمایش‌های با اعمال هیدروگراف‌هایی با دبی پیک مختلف و همچنین برای بررسی اثر زمان تداوم نیز هیدروگراف‌هایی با زمان تداوم‌های متفاوت انجام شد. لازم به ذکر است منظور از دبی پیک و زمان تداوم هیدروگراف در این پژوهش، به ترتیب مقادیر دبی پیک و مدت زمان استمرار سیلاب در مقطعی از رودخانه است، که آبشکن واقع شده است. واضح است که هیدروگراف سیلاب و زمان تداوم آن، با هیدروگراف و زمان تداوم ناشی از بارندگی در حوضه بالادست متفاوت خواهد بود. برای شبیه‌سازی هیدروگراف سیلاب با توجه به مقیاس مدنظر سعی شده است که طیف وسیعی از سیلاب‌های عبوری از رودخانه‌ها و زمان استمرار سیلاب در نظر گرفته شود و محدوده هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده مختص رودخانه و حوزه خاصی نیست.

همان‌گونه که گفته شد دبی پیک بیشینه سیلاب برای شرایط نزدیک حد آستانه ($U/U_c=0.95$) ۸۰ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. در جدول (۱) مشخصات هیدروگراف‌های استفاده

از آنجا که آزمایش‌ها باید در حالت جریان غیردائمی انجام می‌شد به همین منظور اقدام به تهیه دستگاهی هوشمند برای تولید جریان غیردائمی شد دستگاهی که هر لحظه قادر به تنظیم پمپاژ دبی مشخصی باشد. این دستگاه با توجه به مشخصات پمپ موجود، در حالت مینیمم دبی ۵ و ماکزیمم ۱۴۰ لیتر بر ثانیه را با حفظ دقت بالای یک درصد تولید می‌نماید. برای تولید هیدروگراف دلخواه، ابتدا اقدام به تولید فایل‌متنی حاوی مقادیر لحظه‌ای دبی به ازای هر دهم ثانیه شد و دستگاه مذکور با قرائت مقدار دبی لحظه‌ای از فایل متنی دور موتور پمپ را تنظیم نموده و پمپاژ می‌کند. در لوله ورودی پمپ یک دبی‌سنج مغناطیسی تعبیه شده است که به ازای هر دهم ثانیه دبی عبوری را اندازه‌گیری می‌کند بدین ترتیب سیستم قادر به درستی آزمایشی دبی مدنظر در هر لحظه است. از طرفی با قرائت عمق جریان، سایر مشخصه‌های جریان در هر لحظه تعیین می‌شود. شایان ذکر است از آنجا که هیدروگراف‌های تولیدی دارای زمان تداومی بیش از یک ساعته است پس تغییرات زمانی دبی بقدری شدید نیست که تغییرات قابل ملاحظه‌ای در مشخصه‌های جریان در طول کانال رخ دهد. به عنوان نمونه بین عمق جریان در ابتدا و انتهای کانال اختلاف ناچیزی وجود دارد و در حد میلی متری است. طبق شرایط موجود در آزمایشگاه و با توجه به مقادیر عمق جریان و ارتفاع دریچه پائین دست و قطر ذرات، چنانچه دبی هیدروگراف به ۸۰ لیتر بر ثانیه برسد آستانه حرکت ذرات اتفاق می‌افتد، پس برای اینکه شرایط آزمایش در محدوده آب زلال باقی بماند ماکزیمم دبی پیک برای هیدروگراف‌ها ۸۰ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شد. از طرفی به ازای دبی‌های کمتر از ۲۰ لیتر بر ثانیه هیچ گونه آبشستگی موضعی حول آبشکن اتفاق نمی‌افتاد پس هیدروگراف‌ها از دبی پایه ۲۰ لیتر بر ثانیه شروع شد.

در هنگام آزمایش‌ها نقاط حساسی چون بیشینه عمق آبشستگی، طول و عرض حفره آبشستگی، طول و ارتفاع پشته در فواصل زمانی مناسب برداشت شد به همین منظور از یک عمق‌سنج مکانیکی نصب شده روی یک ارابه استفاده شد که این عمق-سنج قابلیت حرکت در دو راستای عمقی و عرضی، با دقت

شکل ۴. هیدروگرافهایی با تدام ۶ ساعته و دبی پیکهای مختلف

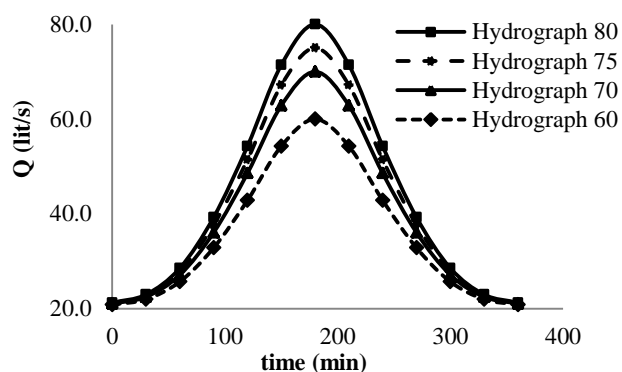


Fig. 4. Hydrographs with different peak discharge and the same duration

جدول ۲. شرایط آزمایشها با دبی های پیک و زمان تداوم مختلف

| Run number | U/U _c | Flow depth corresponding to peak discharge (cm) | Duration of hydrograph (h) | Peak discharge (lit/s) |
|------------|------------------|---|----------------------------|------------------------|
| Hyd 60 1hr | 0.8 | 26 | 1 | 60 |
| Hyd 60 2hr | 0.8 | 26 | 2 | 60 |
| Hyd 60 4hr | 0.8 | 26 | 4 | 60 |
| Hyd 60 6hr | 0.8 | 26 | 6 | 60 |
| Hyd 70 1hr | 0.88 | 27.2 | 1 | 70 |
| Hyd 70 2hr | 0.88 | 27.2 | 2 | 70 |
| Hyd 70 4hr | 0.88 | 27.2 | 4 | 70 |
| Hyd 70 6hr | 0.88 | 27.2 | 6 | 70 |
| Hyd 75 1hr | 0.92 | 27.8 | 1 | 75 |
| Hyd 75 2hr | 0.92 | 27.8 | 2 | 75 |
| Hyd 75 4hr | 0.92 | 27.8 | 4 | 75 |
| Hyd 75 6hr | 0.92 | 27.8 | 6 | 75 |
| Hyd 80 1hr | 0.95 | 28.5 | 1 | 80 |
| Hyd 80 2hr | 0.95 | 28.5 | 2 | 80 |
| Hyd 80 4hr | 0.95 | 28.5 | 4 | 80 |
| Hyd 80 6hr | 0.95 | 28.5 | 6 | 80 |
| Steady 1 | 0.8 | 26 | 6 | 60 |
| Steady 2 | 0.88 | 27.2 | 6 | 70 |
| Steady 3 | 0.92 | 27.8 | 6 | 75 |
| Steady 4 | 0.95 | 28.5 | 6 | 80 |

Table 2. Conditions for experimental data used in the present study

۳- بررسی اثر تغییرات زمان تداوم

در شکل (۵) نتایج عمق آبهستگی تحت هیدروگراف با دبی پیکهای مختلف و زمان تداوم ۱، ۲، ۴ و ۶ ساعته ارائه شده است.

شده که نسبت به دبی پیک ۸۰ لیتر بر ثانیه و زمان تداوم ۶ ساعته بی بعد شده، آمده است.

جدول ۱. مشخصات هیدروگرافهای مورد استفاده

| Run | U/U _c | t _d /t _{6hr} | Run | U/U _c | t _d /t _{6hr} |
|-------|------------------|----------------------------------|--------|------------------|----------------------------------|
| Hyd 1 | 0.8 | 1/6 | Hyd 9 | 0.92 | 1/6 |
| Hyd 2 | 0.8 | 2/6 | Hyd 10 | 0.92 | 2/6 |
| Hyd 3 | 0.8 | 4/6 | Hyd 11 | 0.92 | 4/6 |
| Hyd 4 | 0.8 | 1 | Hyd 12 | 0.92 | 1 |
| Hyd 5 | 0.88 | 1/6 | Hyd 13 | 0.95 | 1/6 |
| Hyd 6 | 0.88 | 2/6 | Hyd 14 | 0.95 | 2/6 |
| Hyd 7 | 0.88 | 4/6 | Hyd 15 | 0.95 | 4/6 |
| Hyd 8 | 0.88 | 1 | Hyd 16 | 0.95 | 1 |

Table 1. Summary of test conditions

شکل (۳) هیدروگرافهای استفاده شده با دبی پیک ۸۰ لیتر بر ثانیه و زمان تداوم ۱، ۲، ۴ و ۶ ساعته را نشان می دهد و شکل (۴) نیز هیدروگرافهای با زمان تداوم یکسان ۶ ساعته و دبی پیک ۶۰، ۷۰، ۷۵ و ۸۰ لیتر بر ثانیه را نشان می دهد.

شکل ۳. هیدروگرافهایی با دبی ۸۰ لیتر بر ثانیه و تداوم ۱، ۲، ۴ و ۶ ساعته

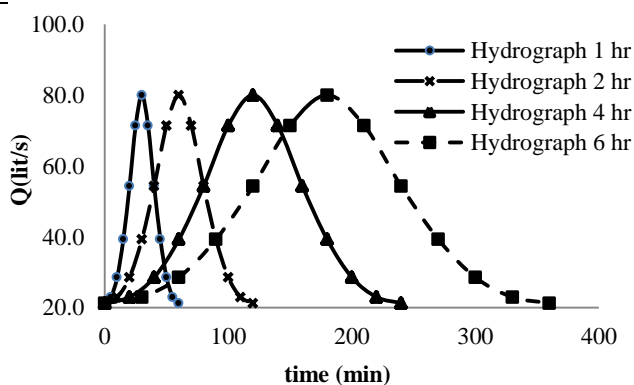


Fig. 3. Hydrographs with different duration and the same peak discharge

در جدول (۲) مشخصات آزمایشها شامل دبی پیک، زمان تداوم و آزمایشهای جریان دائمی، آمده است.

آبشستگی را در پی خواهد داشت که این خود گویای اثر معنادار زمان تداوم بر عمق آبشستگی است.

پدیده آبشستگی مستلزم دو فرآیند است نخست شرایط جریان باید بیشتر از آستانه حرکت ذرات باشد تا قادر به جابه‌جایی آنها از بستر شود و دوم این ذرات در دسترس باشند. با افزایش زمان تداوم هیدروگراف، دبی‌هایی که شرایط فراتر از حد آستانه ذرات دارند نیز مدت زمان بیشتری استمرار می‌یابند پس تنش‌های ناشی از دبی‌های بالا مهلت بیشتری برای جدا کردن و عبور دادن رسوبات از شیب سربالایی حفره آبشستگی را خواهند داشت همچنین مشاهده شد اگر ذرات بستر فقط تنشی را به طور لحظه‌ای تجربه کند به بیشینه عمق آبشستگی خود نمی‌رسد بلکه استمرار آن تنش باعث افزایش آبشستگی خواهد شد.

از شکل (۵) می‌توان دریافت که بیشینه عمق آبشستگی پس از طی مدت ۶۵ درصد از زمان تداوم هیدروگراف به تعادل می‌رسد که علت آن کاهش دبی و تنش در شاخه نزولی هیدروگراف است. در شاخه نزولی مشاهده شد تا مدتی پس از پیک هیدروگراف آبشستگی ادامه خواهد داشت و بیشینه عمق آبشستگی در شاخه نزولی اتفاق می‌افتد این نتیجه با نتایج آبشستگی تحت جریان غیردائمی حول پایه پل نیز همخوانی دارد و [Oliveto and Hager (2005)]. آنجائیکه در جریان غیردائمی دبی‌پیک لحظه‌ای اتفاق می‌افتد و به حد کافی استمرار ندارد که عمق آبشستگی به تعادل برسد بنابراین حتی با کاهش دبی پس از عبور از پیک، هنوز شدت جریان حول آبشکن بالاتر از حد آستانه است، پس آبشستگی ادامه می‌یابد ولی در ادامه افزایش عمق آبشستگی در نقطه بیشینه و کاهش بیش از حد دبی در شاخه نزولی بطور همزمان تنش موضعی وارد شده به بستر را تا اندازه‌ای کاهش می‌دهد که شدت جریان در محل بیشینه عمق آبشستگی پائین‌تر از حد آستانه حرکت ذرات می‌شود لذا پس از مدتی از زمان پیک، شاهد توقف آبشستگی در این نقطه خواهیم بود در حالی که آبشستگی در برخی نقاط همچنان ادامه می‌یابد و با وجود

شکل ۵. عمق آبشستگی تحت هیدروگراف با زمان تداوم مختلف

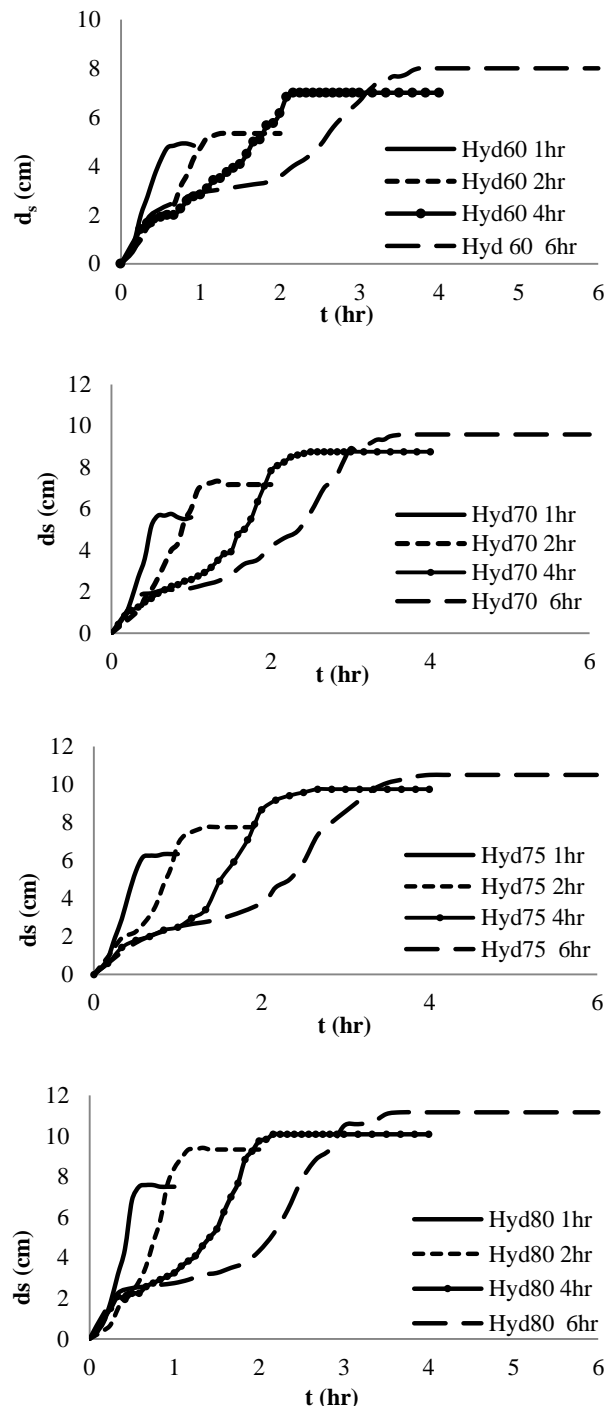


Fig. 5. Temporal variation of scour depth under different hydrographs with the same peak discharge

همان‌گونه که در شکل فوق ملاحظه می‌شود با افزایش زمان تداوم به ازای دبی پیک یکسان، عمق آبشستگی افزایش می‌یابد چنانچه ۶ برابر شدن زمان تداوم، افزایش ۴۰ درصدی عمق

شکل ۶. عمق آبستگي تحت هیدروگراف با دبي پیک‌های مختلف

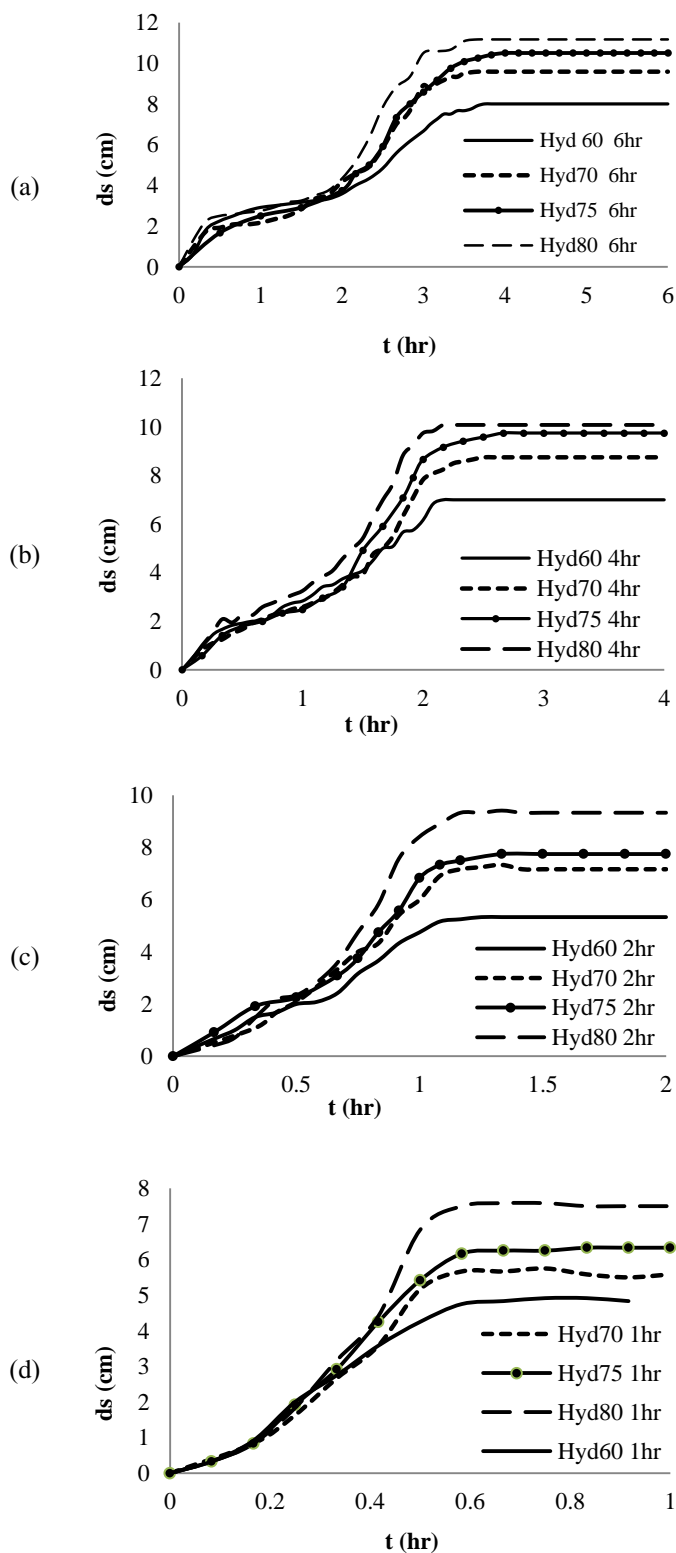


Fig. 6. Temporal variation of scour depth under different hydrographs with the same duration

ثابت ماندن بیشینه عمق آبستگي ابعاد حفره آبستگي گسترش می‌یابد.

جدول (۳) نشان‌دهنده درصد اختلاف میزان بیشینه عمق آبستگي مربوط به هیدروگراف‌های ۱، ۲ و ۴ ساعته با هیدروگراف ۶ ساعته به ازای دبي حداکثر یکسان است. این نتایج نیز کاملاً گویاست که با افزایش زمان تداوم، عمق آبستگي افزایش می‌یابد. همچنین مشخص است اثر زمان تداوم در هیدروگراف‌هایی که دارای دبي پیک کمتری است محسوس‌تر است بطوریکه بیشترین تاثیر زمان پیک برای هیدروگراف دبي پیک ۶۰ مشاهده شد.

جدول ۳. درصد اختلاف میزان بیشینه عمق آبستگي مربوط به هیدروگراف‌های ۱، ۲ و ۴ ساعته با هیدروگراف ۶ ساعته

| Run | 1hr | 2hr | 4hr | 6hr |
|--------|--------|---------|--------|-----|
| Hyd 60 | 40.6 % | 33.33 % | 12.5 % | 0 % |
| Hyd 70 | 42 % | 25 % | 9 % | 0 % |
| Hyd 75 | 40 % | 26 % | 4 % | 0 % |
| Hyd 80 | 33 % | 16.5 % | 10 % | 0 % |

Table 3. Percentage of maximum scour depth difference under Hyd 6hr and other hydrographs

۴- نتایج بررسی اثر تغییرات دبي پیک هیدروگراف

در شکل (۶) نتایج عمق آبستگي تحت هیدروگراف با زمان تداوم ۱، ۲، ۴ و ۶ ساعته و دبي‌های مختلف نشان داده شده است.

جدول (۴) نشان‌دهنده درصد اختلاف میزان بیشینه عمق آبستگي مربوط به هیدروگراف‌های با دبي پیک ۶۰، ۷۰ و ۷۵ لیتر بر ثانیه با هیدروگراف ۸۰ لیتر بر ثانیه به ازای زمان تداوم یکسان است.

۳-۳ مقایسه نتایج در جریان دائمی و غیر دائمی

در این بخش به منظور مقایسه بین عمق آبستنگی در دو حالت جریان دائمی و غیردائمی، چندین هیدروگراف با دبی پیک و زمان پیک مختلف استفاده و آزمایش‌هایی تحت جریان دائمی با زمان تداوم یکسان و دبی مشخصی برابر با دبی پیک هیدروگراف انجام شده است که در شکل (۷) نتایج مربوطه آمده است.

شکل ۷. عمق آبستنگی تحت جریان دائمی و هیدروگراف‌های مختلف

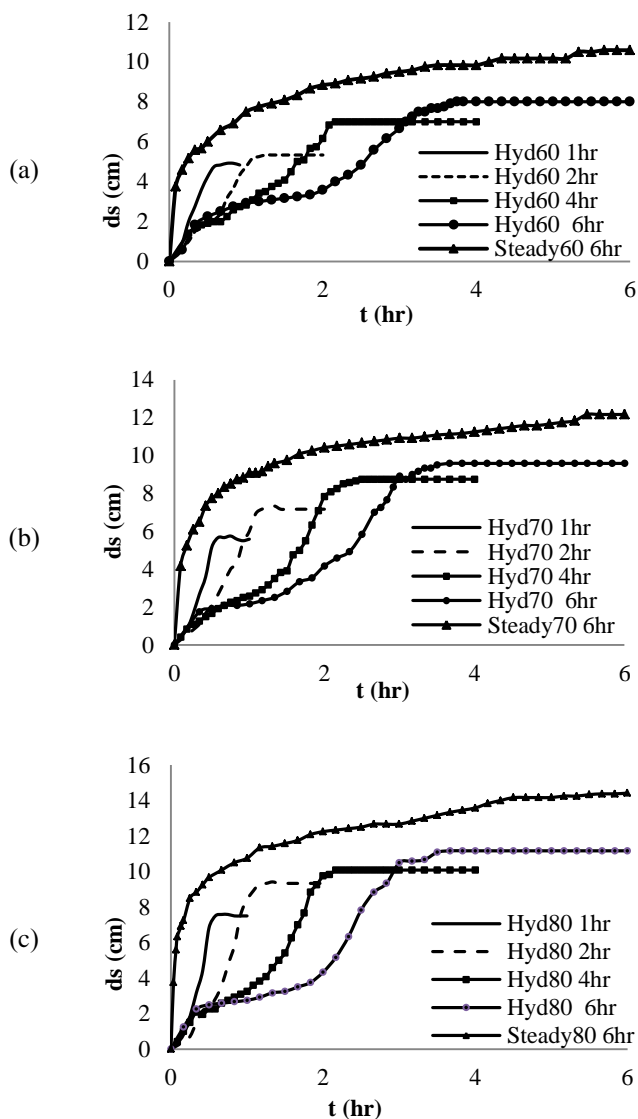


Fig. 7. Temporal variation of scour depth under steady flow and different hydrographs.

طبق شکل (۷) اختلاف چشمگیری بین نتایج آبستنگی در حالت دائمی و غیردائمی وجود دارد. روند تغییرات زمانی عمق

جدول ۴. درصد اختلاف بیشینه عمق آبستنگی ناشی از هیدروگراف‌های با دبی پیک مختلف با هیدروگراف ۸۰ لیتر بر ثانیه به ازای زمان تدام یکسان

| Time | Hyd 60 | Hyd 70 | Hyd 75 | Hyd 80 |
|------|--------|--------|--------|--------|
| 1 hr | 36.6 % | 25.5 % | 15.5 % | 0 |
| 2 hr | 42.8 % | 23.2 % | 17 % | 0 |
| 4 hr | 30.5 % | 13.2 % | 5 % | 0 |
| 6 hr | 34.5 % | 19 % | 10.8 % | 0 |

Table 4. Percentage of maximum scour depth difference under Hyd 80 and other hydrographs for the same duration

همانطوریکه ملاحظه می‌شود میزان عمق آبستنگی با افزایش ۲۵ درصدی دبی پیک هیدروگراف، بطور متوسط ۳۵ درصد افزایش داشته است. که خود گویای تاثیر زیاد دبی پیک هیدروگراف بر میزان عمق آبستنگی است و علت آن نیز افزایش تنش برشی بر بستر است. این تاثیر در سیلاب‌های کوتاه مدت، بیشتر خود را نشان می‌دهد چرا که در سیلاب‌های با زمان تداوم بالا، به علت استمرار بیشتر تنش‌های فراتر از حد آستانه، آبستنگی قابل ملاحظه‌ای رخ می‌دهد ولی در هیدروگراف‌های با زمان تدام کمتر به علت کوتاه بودن زمان استمرار تنش‌های بالا، تاثیر پذیری از زمان تداوم کاهش یافته و آبستنگی بشدت متأثر از میزان افزایش دبی پیک و شدت جریان خواهد بود. پس با افزایش دبی پیک در این هیدروگراف‌ها آبستنگی بیشتری رخ می‌دهد. همچنین نتایج تغییرات زمانی عمق آبستنگی ناشی از هیدروگراف‌های یک ساعته نشان می‌دهد که عمق آبستنگی نهایی قبل از به تعادل رسیدن کمی افت می‌کند که علت آن کوتاه بودن زمان استمرار دبی با تنش‌های بالا است به گونه‌ای که گردابه‌های ناشی از تنش‌های نزدیک پیک قادر به کندن ذرات در نقطه بیشینه عمق آبستنگی است ولی به علت کوتاه بودن استمرار تنش‌های بالا، گردابه‌ها تضعیف شده و قادر به انتقال ذرات به پائین دست و خروج از شیب دیواره پایین دست حفره آبستنگی نیست پس ذرات کنده شده دوباره ته‌نشین می‌شود.

نکته دیگر مربوط به تفاوت آبستگي در حالت دائمي و غيردائمي اين است که در حالت دائمي بيشينه عمق آبستگي پس از طی زمان کل هیدروگراف به تعادل نمی‌رسد ولی در حالت غيردائمي، پس از گذشت ۶۵ درصد از زمان هیدروگراف به حالت تعادل می‌رسد.

لازم به ذکر است مطالعات انجام شده در زمينه آبستگي حول پایه پل، نشان می‌دهد که اثر شاخه نزولي بر عمق آبستگي قابل چشم‌پوشي کردن است [Chang et al.2004]. اين در حالی است که آبستگي حول آبشکن پس از رسیدن به پیک هیدروگراف، همچنان به مدت ۱۵ درصد زمان تداوم ادامه می‌یابد و حدود ۱۰ درصد بر میزان بيشينه عمق آبستگي افزوده می‌شود که اين افزایش در هیدروگراف‌های کوتاه مدت بيشتر است. از طرفی، هر چند تاثیر شاخه نزولي بر افزایش بيشينه عمق آبستگي اندک است ولی تاثیر قابل توجهی بر افزایش حجم آبستگي در شاخه نزولي دارد.

فرآیند آبستگي در جریان گردائمي به اين صورت است و ذرات سطح بستر در معرض تنش‌های اعمالی شاخه بالارونده هیدروگراف قرار می‌گیرند و شسته می‌شوند و سپس ذرات زیری آنها در معرض تنش قرار می‌گیرند و اين فرآیند آبستگي، به علت کافی نبودن زمان آبستگي در شاخه صعودی برای رسیدن به تعادل، با وجود کاهش تنش‌ها در شاخه نزولي، آبستگي همچنان ادامه می‌یابد چرا که شدت جریان موضعی حول آبشکن در شاخه نزولي همچنان بالاتر از حد آستانه حرکت ذرات بستر بوده و آنها را جابه‌جا می‌کند، زیرا اين ذرات زیرین در شاخه صعودی در معرض تنش نبوده‌اند و ذرات بالایی نقش سپر را برای آنها داشته‌اند. بنابراین روند آبستگي در شاخه نزولي همچنان ادامه می‌یابد تا جایی که در نقطه بيشينه عمق آبستگي عمق بستر تا اندازه‌ای افزایش می‌یابد که دیگر تنش وار شده بر آن نقطه قادر به جابه‌جایی ذره نیست از طرفی کاهش دبی و شدت جریان در شاخه نزولي نیز باعث می‌شود که اين توقف سریعتر رخ داده و نقطه بيشينه عمق آبستگي به تعادل می‌رسد.

آبستگي نیز در اين دو حالت متفاوت است. در حالت جریان دائمي، از آنجا که از ابتدای آزمایش دبی حداکثر اعمال می‌شود تغییرات زمانی عمق آبستگي با شتابی تند اتفاق می‌افتد در صورتی که در حالت هیدروگراف چون دبی از مقادیر کمتری شروع می‌شود تغییرات زمانی عمق آبستگي با شتاب ملایم‌تری ادامه می‌یابد و پس از رسیدن به تعادل در شاخه نزولي متوقف می‌شود ولی در آبستگي حالت دائمي به دلیل اینکه زمانی بيشتر از ۶ ساعت برای رسیدن به تعادل نیاز دارد بستر در مقابل تنش موجود به تعادل نرسیده است و همچنان آبستگي ادامه می‌یابد. جدول (۵) نشان‌دهنده درصد اختلاف میزان بيشينه عمق آبستگي ناشی از هیدروگراف با دبی‌های مختلف به ازای زمان تداوم یکسان در مقایسه با جریان دائمي است.

جدول ۵. درصد اختلاف بيشينه عمق آبستگي هیدروگراف در مقایسه با جریان دائمي

| Run | 1hr | 2hr | 4hr | 6hr |
|--------|------|------|------|------|
| Hyd 60 | 39.5 | 36.5 | 28.8 | 24.5 |
| Hyd 70 | 38.5 | 31.2 | 22.2 | 21.2 |
| Hyd 75 | 39.6 | 33 | 19 | 24 |
| Hyd 80 | 32 | 23.8 | 25.7 | 22.5 |

Table 5. Percentage of maximum scour depth difference under steady flow and different hydrographs.

همان‌گونه که در جدول (۵) نیز قابل مشاهده است، اختلاف قابل توجهی بین میزان بيشينه عمق آبستگي جریان دائمي و غيردائمي وجود دارد، اين اختلاف در هیدروگراف با زمان تداوم کوتاهتر به مراتب بيشتر از هیدروگراف با زمان تداوم طولانی‌تر است چرا که در هیدروگراف با زمان تداوم طولانی، بستر مدت زمان بيشتری در معرض دبی و تنش‌های بالا قرار می‌گیرد و بيشترین حجم آبستگي در محدوده دبی پیک اتفاق می‌افتد. پس هر چه قدر اين مدت زمان طولانی‌تر باشد عمق آبستگي بيشتر و به حالت دائمي نزدیکتر خواهد بود.

عنوان معادله تخمین عمق آبشستگی نهایی تحت جریان دائمی حول آبشکن استفاده نمود.

شکل ۸ مقایسه نتایج عمق آبشستگی آزمایشگاهی و محاسباتی برای جریان دائمی با استفاده از معادله الیوتو و هگر (۲۰۰۲)

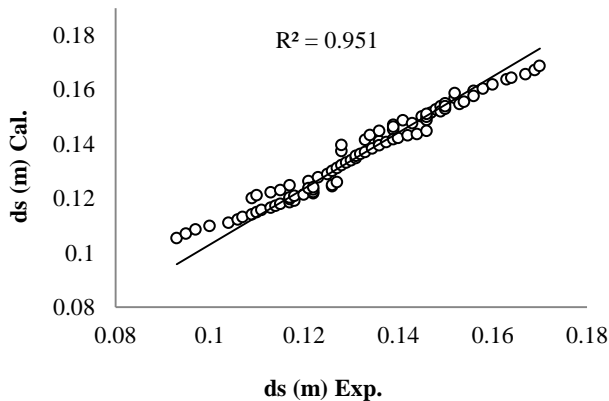


Fig. 8. Comparison between observed and computed scour depth using Eq. (1).

با اطمینان از اینکه معادله (۱)، معادله مناسبی برای تخمین عمق آبشستگی تحت جریان دائمی است در ادامه با اعمال ضریب غیردائمی جریان در این رابطه عمق آبشستگی تحت جریان غیردائمی قابل محاسبه خواهد بود. ضریب غیردائمی جریان شامل پارامترهای شدت جریان در پیک هیدروگراف $p \left(\frac{U}{U_c}\right)$ و زمان تداوم هیدروگراف (t_d) است. طبق نتایج قسمت بررسی اثر زمان پیک هیدروگراف مشاهده شد که با افزایش زمان پیک، عمق آبشستگی همچنان افزایش می‌یابد و بدیهی است که فرایند آبشستگی با استمرار پیک هیدروگراف تا زمان تعادل حفره آبشستگی ادامه می‌یابد. پس بحرانی-ترین میزان آبشستگی به ازای زمان تداومی برابر با زمان تعادل حفره آبشستگی تحت جریان دائمی با دبی برابر با دبی پیک هیدروگراف اتفاق می‌افتد. بنابراین زمان تعادل آبشستگی (t_e) نیز به عنوان یکی از پارامترهای مطرح خواهد بود. در این پژوهش برای محاسبه زمان تعادل

۵- ارائه رابطه تجربی برای محاسبه عمق نهایی

آبشستگی آبشکن در شرایط جریان غیردائمی

در این قسمت رابطه‌ای برای محاسبه عمق آبشستگی تحت جریان غیردائمی پیشنهاد می‌شود که این رابطه با اعمال یک ضریب غیردائمی در رابطه محاسبه عمق آبشستگی تحت جریان دائمی بدست آمده است. به همین منظور ابتدا با استفاده از معادلات برآورد آبشستگی تحت جریان دائمی، مقدار عمق نهایی آبشستگی ناشی از دبی ثابت برابر با دبی پیک هیدروگراف محاسبه می‌شود و سپس با اعمال ضریبی که نشان‌دهنده ویژگی‌های هیدروگراف مانند زمان تداوم و شدت جریان پیک هیدروگراف است مقدار عمق آبشستگی تحت جریان غیردائمی به صورت نسبتی از عمق آبشستگی نهایی تحت جریان دائمی محاسبه می‌شود.

در این پژوهش برای محاسبه عمق آبشستگی تحت جریان دائمی از رابطه الیوتو و هگر (۲۰۰۲) که در معادله (۱) آمده استفاده شده است.

$$\frac{d_s}{d_R} = 0.085 \cdot \sigma^{-0.5} \cdot F_d^{1.5} \cdot \text{Log}\left(\frac{t}{t_R}\right) \quad (1)$$

که در آن d_s عمق آبشستگی در زمان t ، h عمق جریان، L طول آبشکن، σ انحراف معیار ذرات رسوبات و F_d عدد فرود ذرات و $d_R = (h L^2)^{1/3}$ و $t_R = \frac{d_R}{\sigma^{1/3} \cdot (g' \cdot d_{50})^{0.5}}$ است.

با استفاده از معادله (۱) تغییرات زمانی عمق آبشستگی تحت جریان دائمی به ازای دبی و عمق جریان‌های مختلف قابل محاسبه است، از طرفی در این پژوهش نیز به ازای دبی و شدت جریان‌های مختلف، تغییرات زمانی عمق آبشستگی اندازه‌گیری شده است پس می‌توان نتایج آزمایشگاهی آبشستگی تحت جریان دائمی را با داده‌های محاسباتی معادله (۱) مقایسه نمود که نتایج آن در شکل (۸) آمده است. نتایج نشان می‌دهد همخوانی قابل قبولی بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های محاسباتی وجود دارد، پس می‌توان از معادله (۱) به

شکل (۹) مقایسه بین داده‌های آزمایشگاهی و داده‌های محاسباتی عمق آبستگي نسبي تحت جريان غيردائمي را نشان مي‌دهد. ضريب همبستگي معادله فوق $R^2 = 0.97$ است که نشان دهنده برازش مناسبی با داده‌های آزمایشگاهی است.

شکل (۹) مقایسه بین داده‌های آزمایشگاهی و داده‌های محاسباتی عمق آبستگي نسبي تحت جريان غيردائمي

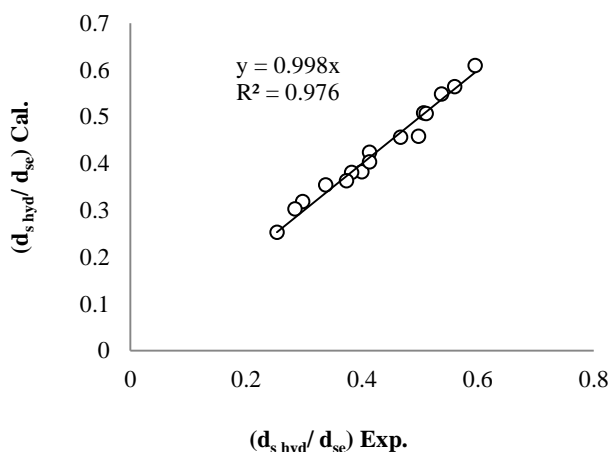


Fig. 9. Comparison between observed and computed scour depth under unsteady flow

۶- نتیجه‌گیری

در این پژوهش آزمایش‌های متعددی برای بررسی اثر تغییرات دبی و زمان هیدروگراف بر عمق آبستگي اطراف آبشکن انجام شده است. همچنین یک سری آزمایش‌ها نیز برای بررسی اختلاف عمق آبستگي بین جريان دائمي و غير دائمي انجام شده است. نتایجی که به دست آمد به شرح زیر است.

- ۱- با افزایش زمان تداوم به ازای دبی پیک یکسان برای هیدروگراف‌های مختلف عمق آبستگي افزایش می‌یابد بطوریکه افزایش ۶ برابری زمان تداوم افزایش ۴۰ درصدی عمق آبستگي را در بر خواهد داشت.
- ۲- عمق آبستگي ناشی از هیدروگراف پس از ۶۵ درصد از زمان تداوم هیدروگراف به تعادل می‌رسد زیرا در شاخه نزولی دبی جريان به تدریج کاهش می‌یابد تا آنجا که دیگر تنش برشی وارد شده قادر به جابه‌جایی ذرات از داخل حفره به خارج نخواهند بود.

آبستگي از رابطه ملویل استفاده شده است که در معادله (۲) این رابطه ارائه شده است.

$$t_e = 1.8 \times 10^6 \cdot \left(\frac{L}{U}\right) \cdot \left(\frac{U}{U_c}\right)^3 \quad \frac{h}{L} \geq 1 \quad (2)$$

که در آن $\frac{U}{U_c}$ شدت جريان و L طول آبشکن است.

طبق پارامترهای تاثیرگذار مذکور بر عمق آبستگي ناشی از عبور هیدروگراف می‌توان رابطه زیر را برای تخمین عمق آبستگي تحت جريان غيردائمي پیشنهاد داد.

$$\frac{d_{shyd}}{d_{se}} = f\left(\frac{t_d}{t_e}, \left(\frac{U}{U_c}\right)_p\right) \quad (3)$$

که در این معادله d_{shyd} عمق آبستگي ناشی از عبور هیدروگراف و d_{se} عمق آبستگي تعادلی تحت جريان دائمي با دبی ثابتی برابر با دبی پیک هیدروگراف است که d_{se} از معادله الیوتو و هگر (۲۰۰۲) به ازای زمان $t = t_e$ بدست می‌آید. همچنین $\left(\frac{U}{U_c}\right)_p$ شدت جريان پیک هیدروگراف و t_d زمان تداوم هیدروگراف و t_e زمان تعادل آبستگي در شرایط جريان دائمي و شدت جريان $\frac{U}{U_c} = 1$ است.

در ادامه با توجه به آنالیز داده‌های آزمایشگاهی عمق آبستگي و انجام رگرسیون غیر خطی، معادله (۴) برای محاسبه عمق آبستگي ناشی از عبور هیدروگراف پیشنهاد می‌شود که عمق آبستگي ناشی از هیدروگراف را به صورت نسبتی از عمق آبستگي تعادلی تحت جريان دائمي ارائه می‌دهد.

$$\frac{d_{shyd}}{d_{se}} = 1.6 \times \left(\frac{U}{U_c}\right)_p^{2.4} \cdot \left(\frac{t_d}{t_e}\right)^{0.26} \quad (4)$$

$$K_{hyd} = 1.6 \times \left(\frac{U}{U_c}\right)_p^{2.4} \cdot \left(\frac{t_d}{t_e}\right)^{0.26} \quad (4)$$

طبق معادله (۴) ضریب غیردائمي تابع پارامترهای موثر هیدروگراف می‌باشد که با اعمال آن در میزان عمق آبستگي تعادلی تحت جريان دائمي، عمق آبستگي ناشی از عبور هیدروگراف محاسبه می‌شود.

- 5- Mia A. F. & Nago, H. 2003 Design Method of Time-Depended Local Scour at Circular Bridge Pier. *Journal of Hydraulic Engineering*, **129**(6).
- 6- Chang W., Lai J. & Yen c. 2004 Evolution of Scour Depth at Circular Bridge Piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, **130**(9).
- 7- Oliveto G. & Hager, W. H. 2005 Further results to time-dependent local scour at bridge elements". *Journal of Hydraulic Engineering*, **132**(97).
- 8- Lu J. Y., Shi ZH. H., Hong J. H., Lee J. J. & Raikar R. V. 2011 "Temporal Variation of Scour Depth at Nonuniform Cylindrical Piers". *Journal of Hydraulic Engineering*, **137**(1).

۳- میزان عمق آبستگي با افزايش ۲۵ درصدی دبی پیک هیدروگراف، بطور متوسط ۳۵ درصد افزایش داشته است که خود گویای تاثیر بسزای دبی پیک هیدروگراف بر میزان عمق آبستگي است. این تاثیر در سیلاب‌های کوتاه مدت، بیشتر خود را نشان می‌دهد.

۴- اختلاف قابل توجهی بین میزان بیشینه عمق آبستگي جریان دائمی و غیردائمی وجود دارد، این اختلاف در هیدروگراف‌هایی با زمان تداوم کوتاهتر به مراتب بیشتر از هیدروگراف‌هایی با زمان تداوم طولانی‌تر است.

۵- نرخ آبستگي در جریان دائمی به مراتب بیشتر از جریان غیردائمی است چراکه در جریان دائمی از همان ابتدا بستر در معرض تنش حاصل شده از دبی پیک قرار می‌گیرد و البته تا زمان انتهایی نیز آبستگي ادامه دارد و به تعادل نمی‌رسد ولی در هیدروگراف، پس از ۶۵ درصد زمان تداوم آبستگي به تعادل می‌رسد.

۶- رابطه‌ای تجربی برای محاسبه عمق آبستگي ناشی از عبور هیدروگراف، با اعمال ضریب غیردائمی جریان در معادله عمق آبستگي تعادلی تحت جریان دائمی پیشنهاد شد. این ضریب غیردائمی جریان شامل پارامترهای موثر هیدروگراف مانند شدت جریان پیک هیدروگراف، زمان تداوم هیدروگراف و زمان تعادل آبستگي است.

۷- مقایسه نتایج رابطه پیشنهادی عمق آبستگي ناشی از هیدروگراف با داده‌های آزمایشگاهی نیز گویای اختلاف قابل ملاحظه بین عمق آبستگي تحت جریان دائمی و غیردائمی است.

References

۷- مراجع

- 1- Raudkivi A. J. 1986 Functional trends of scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, **112**(1).
- 2- Yanmaz A. M. & Altinbilek, H. D. 1991 Study of time-dependent local scour around bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, **117**(10).
- 3- Melville B. W. & Chiew Y. M. 1999 Time scale for local scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, **125** (1).
- 4- Oliveto G. & Hager W. H. 2002 Temporal Evolution of Clear-Water Pier and Abutment Scour. *Journal of Hydraulic Engineering*, **128**(9).

Experimental investigation of normal hydrograph characteristics effect on scour around spur dike

Ali babakhani¹, Masoud Ghodsian^{2,3}, Anton Schleiss³

1. Assistant professor, Faculty of Engineering, University of Zanjan.
2. Professor of Hydraulic Engineering, Faculty of Civil and Environmental Eng., Tarbiat Modares University.
3. Professor of Hydraulic Engineering at École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL).

Babakhani@Znu.ac.ir

Abstract

Estimating the maximum possible scour depth around spur dike is an important step in the design of spur dike foundations. To determine the maximum scour depth in the design of spur dike foundations, the equilibrium scour depth, which is commonly estimated using peak-flow conditions for engineering design of spur dike foundations, are used. In fluvial rivers, significant transport of bed materials often takes place during peak-flow discharge in a flood event. In the case of large rivers, the duration of a flood event may last for a few months, but for others the unsteadiness of a flood can be pronounced. The general practice of employing peak-flow discharge for evaluating the maximum scour depth for design may be questioned because the maximum scour depth occurring under a flood hydrograph can be much smaller than the calculated value using peak-flow discharge. In other words, using the peak-flow discharge for design can overestimate the maximum scour depth in comparison to the actual conditions under the flood hydrograph, greatly. Therefore, when the flow unsteadiness is pronounced, investigating the temporal variation of clear water scour at spur dike is important to estimating the possible extension of the scour hole. This will provide useful information for designing the footing safely and the selecting of scour counter-measure. The degree of severity of the problem is dictated by the magnitude of this scour hole.

In this experimental study, the scour around the single spur dike was investigated under unsteady flow. These tests have been done in terms of clear water and non cohesive sediments. In order to investigating the scour around the spur dike, experiments have been done by changing the properties of normal hydrograph such as peak discharge and durability time. In order to producing the hydrograph, we used a device for adjusting the speed of pump motor and generating the variable discharge according to actual discharge time series. In the inlet pipe of pump, a magnetic flow meter is located that Measures the discharge in per one tenth of a second. Thus, the system verifies the requested discharge at any time. The results show that one of the influential parameters that affect the scour around the spur dike is the durability time of hydrograph. We concluded that when the durability time increases 6-times, scour depth will increase 40 percent, because with increasing durability time, the time that spur dike exposes tensions increases. Furthermore the depth of scour has increased 35 percent, by increasing 25 percent of peak discharge of hydrograph that is caused by increasing stresses imposed on the bed. Finally, the resulted scour under unsteady flow was compared with the resulted scour under steady flow (With flood peak discharge), with a significant difference between the scour under steady and unsteady flow. Then, an imperial equation was proposed for calculating the scour depth under hydrograph. This equation was obtained by adding the unsteady coefficient of flow in the equation of equilibrium scour depth under steady flow. This unsteady coefficient of flow includes effective parameters of hydrograph such as peak flow of hydrograph, peak time, duration time of hydrograph and equilibrium time of scour.

Keywords: Experimental, Spur dike, Scour, Hydrograph