

حداکثر عمق آبستگي نسبي ارائه شد که ضريب همبستگي نتايج حاصل از اين معادله با نتايج آزمایشگاهی حدود ۰/۹۸ می باشد.

**کلیدواژه‌ها:** آبشکن متوالی T شکل، عمق آبستگي، قوس رودخانه، رسوبات

### مقدمه

آبشکن سازه‌ای است که برای ساماندهی رودخانه در قوس و یا مسیر مستقیم استفاده می‌شود. یکی از مشکلات اساسی در قوس رودخانه‌ها، ایجاد جریان‌های چ‌ثانویه و فرسایش دیواره خارجی قوس بوده که با احداث آبشکن در قوس خارجی می‌توان الگوی جریان را به نحوی اصلاح کرد تا از فرسایش کناره‌ها جلوگیری شود. این سازه از طرف ساحل به داخل جریان اصلی امتداد یافته و موجب تنگ شدگی موضعی در داخل جریان می‌گردد. این سازه که گاهی منفرد و گاهی بصورت یک سری متوالی ساخته می‌شوند موجب انحراف جریان از کناره‌ها گردیده و از برخورد آن با دیواره ساحلی جلوگیری می‌نمایند. علاوه بر این در صورتیکه به بطور سری نصب شده باشند با ایجاد جریان‌های چرخشی در پائین دست خود موجب ته‌نشینی رسوبات در مجاورت ساحل و حد فاصل بین دو آبشکن اصلی می‌گردند. یکی از مؤثرترین عوامل این تخریب‌ها آبستگي موضعی اطراف آبشکن در قوس رودخانه می‌باشد. تخریب آبشکن بعثت آبستگي زیان‌های سنگین اقتصادی و جانی به دنبال دارد. بنابراین با بررسی پارامترهای مهم آبشکن می‌توان میزان تاثیرگذاری آن را روی حداکثر عمق آبستگي اطراف آن و حفاظت سواحل مورد بررسی و ارزیابی قرار داد. سوزوکی و همکاران [۱۲] آزمایش خود را بر روی مشخصه بستر محل اطراف یک سری آبشکن در یک بستر آبرفتی با حرکت پیوسته رسوب انجام دادند آنها متوجه شدند که شکل بستر اطراف آبشکن ساخته شده در شرایط کم آبی تاثیرات قابل توجهی با نسبت فاصله بین آبشکن و طول آب شکن دارد. وقتی که نسبت فاصله به طول آب شکن بین چهار و هشت باشد پایین افتادگی کلی بستر به وسیله یک سری آب شکن ها تقریبا همان قدری است که یک تنگ شدگی طویل برای همان نسبت تنگ شدگی به وجود می آورد. گیل [۳] بیان کرد وقتی که نسبت فاصله به طول کوچک‌تر از چهار باشد، پایین افتادگی توسط آبشکن نسبت به یک تنگ‌شدگی طویل بیشتر است. در حالی که برای نسبت فاصله به طول بزرگ‌تر از هشت باشد مقدارش کوچک‌تر می‌باشد. لارسن

## بررسی آزمایشگاهی آبستگي در اطراف سری آبشکن T شکل غیر مستغرق در قوس رودخانه

پوریا صادقی چیکانی<sup>۱</sup>، حسین صدقی<sup>۲</sup>، علیرضا مسجدی<sup>۳</sup>، محمد حیدرنژاد<sup>۴</sup> و محمد حسین پور محمدی<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۵

### چکیده

در این مطالعه به منظور بررسی اثر فاصله نسبی و طول نسبی بین دو آبشکن T شکل و همچنین تاثیر عدد فرود بر فرآیند آبستگي در قوس، آزمایش‌هایی در یک فلوم آزمایشگاهی مستطیل شکل و با قوس ۱۸۰ درجه از جنس پلاکسی گلاس انجام گرفت. در این تحقیق با نصب دو آبشکن T شکل با چهار فاصله نسبی و طول نسبی مختلف در نیمه اول قوس ۱۸۰ درجه، پدیده آبستگي حول آبشکن مورد بررسی قرار گرفت. برای مصالح کف فلوم از ماسه با دانه‌بندی یکنواخت و ضریب یکنواختی استفاده شد. کلیه آزمایش‌ها در چهار دبی مختلف و عمق جریان ثابت در شرایط آب زلال انجام گردید. نتایج این تحقیق نشان داد بین حداکثر عمق نسبی آبستگي نسبی با طول نسبی آبشکن، فاصله نسبی آبشکن و عدد فرود رابطه مستقیم وجود دارد و با افزایش فاصله نسبی، طول نسبی و همچنین عدد فرود، حداکثر عمق نسبی آبستگي در دهانه آبشکن T شکل افزایش پیدا می کند. به‌منظور مقایسه تاثیر طول نسبی آبشکن بر عمق آبستگي نسبی در تحقیق حاضر با سایر محققین استفاده شد. همچنین رابطه جهت تعیین

- ۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، پردیس علوم تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
- ۲- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
- ۳- استاد گروه علوم و مهندسی آب، واحد علوم و تحقیقات تهران، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
- ۴- نویسنده مسئول و دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران. پست الکترونیک: drmasjedi.2007@yahoo.com
- ۵- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.
- ۶- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

داد رابطه مستقیمی بین حداکثر عمق آبشستگی نسبی با طول نسبی، فاصله نسبی آبشکن تخت و عدد فرود وجود دارد. در کلیه اعداد فرود و طول نسبی، با افزایش فاصله نسبی بین آبشکن متوالی تخت، ماکزیم عمق نسبی آبشستگی در آبشکن افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش عدد فرود در کلیه حالات، ابعاد چاله آبشستگی و پیشروی رسوب‌گذاری بستر در جهت طولی و در جهت جریان به سمت پایین دست افزایش می‌یابد. با توجه به این‌که بیش‌تر تحقیقات در خصوص کاهش آبشستگی با استفاده از آبشکن T شکل بصورت تک آبشکن بوده و در مسیر مستقیم بوده لذا در این تحقیق اقدام به بررسی اثر آبشکن متوالی T شکل در قوس رودخانه با طول، فاصله و شدت جریان متفاوت در حالت آب زلال شده است.

### آنالیز ابعادی

با در نظر گرفتن جریان دائمی و ثابت بودن خصوصیات سیال رابطه ذیل بین پارامترهای موثر بر عمق آبشستگی در آبشکن T شکل در حالت تعادل برقرار است:

$$f1(R, B, S, L, I, V, y, g, ds_{50}, ds_{max1}, ds_{max2}) = 0 \quad (1)$$

در رابطه (۱) شعاع مرکزی قوس، B عرض مجرا، S فاصله بین آبشکن، L طول آبشکن، I طول بال آبشکن، V سرعت جریان، y عمق جریان آب، g شتاب ثقل،  $ds_{50}$  قطر متوسط بار بستر،  $ds_{max1}$  ماکزیم عمق آبشستگی در آبشکن بالادست و  $ds_{max2}$  ماکزیم عمق آبشستگی در آبشکن پائین دست می‌باشد. با صرف نظر کردن از پارامترهای ثابت در رابطه ۱، رابطه زیر بدست می‌آید:

$$f1(B, S, L, V, y, g, ds_{max1}, ds_{max2}) = 0 \quad (2)$$

با استفاده از تئوری باکینگهام رابطه ۲ بصورت زیر بدون بعد می‌شود:

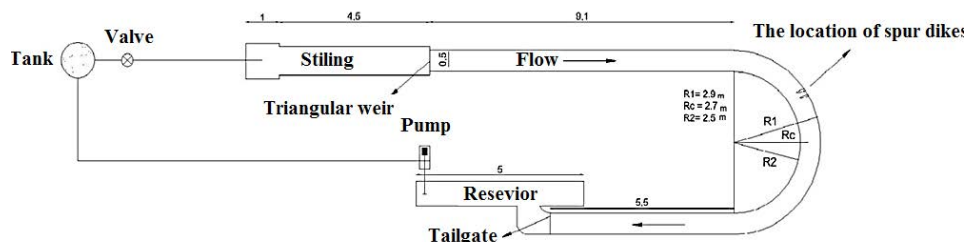
$$f2\left(\frac{L}{B}, \frac{S}{L}, Fr, \frac{ds_{max2}}{ds_{max1}}\right) = 0 \quad (3)$$

در رابطه (۳)،  $L/B$  طول نسبی آبشکن،  $S/L$  فاصله نسبی بین دو آبشکن، Fr عدد فرود جریان در کانال اصلی و  $ds_{max2}/ds_{max1}$  ماکزیم عمق آبشستگی نسبی می‌باشد.

### مواد و روش‌ها

آزمایش این تحقیق با رسوبات بستر در فلوم آزمایشگاهی واقع در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز انجام شد. آزمایش در یک فلوم از جنس پلکسی گلاس قوسی شکل با زاویه مرکزی ۱۸۰ درجه، شعاع مرکزی  $R=2/7$  m و عرض  $B=0/5$  m انجام شد. انحنای نسبی قوس  $R/B=0/7$  بوده که قوس را در رده قوس‌های ملایم قرار می‌دهد. کانال مستقیم ورودی بطول ۹/۱ متر به یک کانال با قوس ۱۸۰ درجه متصل می‌گردد. این کانال قوسی شکل توسط کانال مستقیم دیگری بطول ۵/۵ متر به دریچه کنترل عمق جریان و سپس مخزن خروجی متصل می‌شود. به منظور نصب مدل آبشکن T شکل

و توج [۴] رابطه برای تعیین عمق آبشستگی به منظور برآورد مقدار آبشستگی بکار بردند. وقتی که نسبت عمق جریان به طول آبشکن بزرگتر از ۱/۵ باشد، عمق آبشستگی، تصور می‌شود که به طور عمده وابسته به طول آب شکن می‌باشد. و رابطه گیل برای محاسبه مقدار آبشستگی نتیجه رضایت بخشی دارد. تومیناگا و ناگائو [۱۳] آزمایش‌های خود را به همراه همکارانش در جریان آشفته اطراف آبشکن با نفوذ پذیری مختلف مطالعه کردند. نتایج نشان داد فرآیند تغییرات اندازه حرکت متمایز از یکدیگر در عکس‌العمل با نفوذپذیری آبشکن می‌باشد. فرآیند جمع‌شدگی توزیع سرعت جریان با افزایش نفوذپذیری کند می‌باشد. کوهنل و همکاران [۵] با تغییر در زاویه قرار گیری، ارتفاع جریان سرریز شده و نسبت تنگ شدگی، آنها متوجه شدند نسبت تنگ شدگی و عمق جریان بطور مؤثر در ارتباط با حجم آبشستگی برای یک زمان سپری شده در شرایط جریان می‌باشد. آنها همچنین یک روش ساده‌ای را برای پیش‌بینی ناحیه و حجم گودال آبشستگی در حومه آبشکن‌ها ارائه کردند. مسجدی و مرادی [۷] آزمایش‌هایی به منظور بررسی اثر موقعیت نصب آبشکن در قوس بر فرآیند آبشستگی، آزمایش در یک فلوم آزمایشگاهی با قوس ۱۸۰ درجه از جنس پلا کسی گلاس انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی هنگام نصب آبشکن در نیمه اول قوس (از صفر تا ۹۰ درجه) کم‌تر از نیمه دوم قوس (۹۰ تا ۱۸۰ درجه) است. همچنین ابعاد چاله آبشستگی نیز همانند عمق حداکثر آبشستگی با جابجایی آبشکن از نیمه اول به نیمه دوم قوس افزایش می‌یابد. برزعلی و فضلی [۱] یک سری آزمایش در فلوم آزمایشگاهی گروه مهندسی آب دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان انجام شده است. نتایج نشان داد که با تغییر فاصله بین آبشکن‌ها تاثیر قابل توجه ای بر روی حداکثر عمق فرسایش ایجاد شده در آبشکن اول ندارد. با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها، روند افزایش عمق آبشستگی بین آبشکن‌ها و همچنین افزایش رسوبگذاری بعد از آبشکن آخری وجود دارد. بیش‌ترین میزان عمق آبشستگی در طول آبشکن اول اتفاق می‌افتد. واقفی و همکاران [۱۴] به مطالعه شکل آبشکن T در قوس ۹۰ درجه پرداختند و بیان کردند افزایش طول آبشکن، T آزمایشگاهی اطراف آبشکن کاهش طول بال آبشکن، افزایش عدد فرود و تغییر موقعیت آبشکن به سمت پایین دست قوس، باعث افزایش ابعاد چاله آبشستگی می‌گردد. مسجدی و همکاران [۸] آزمایش بر روی شکل هندسی بال در آبشکن T شکل با شکل‌های صاف، گرد و پخ بر روی آبشستگی اطراف آن در دو موقعیت ۴۵ و ۶۰ درجه در قوس ۱۸۰ درجه رودخانه‌ها پرداخته شد. نتایج تحقیق نشان داد آبشستگی برای آبشکن با بال به فرم نیم‌دایره کم‌ترین مقدار و برای آبشکن با بال به فرم صاف بیش‌ترین مقدار را داراست. کیانی و همکاران [۶] تحقیقی در خصوص بررسی ماکزیم عمق آبشستگی در اطراف دو آبشکن متوالی تخت در نیمه اول قوس ۱۸۰ با چهار عدد فرود، در چهار طول نسبی و برای چهار فاصله نسبی دو، سه، چهار و پنج انجام دادند. نتایج این تحقیق نشان



شکل ۱- پلان فلوم آزمایشگاهی  
Fig 1. Experimental flume plan

در رسوبات، یک مخزن به طول یک متر و ارتفاع ۱۵ سانتی متری در کف فلوم احداث شد که بعد از پر نمودن رسوبات در آن، سطح تراز کف فلوم و رسوبات یکسان خواهند شد (شکل ۱).  
وریس [۱۵] با توجه به نتایج آزمایشگاهی بدست آمده در آزمایشگاه هیدرولیک دلفت هلند روابطی شبه تجربی بین فواصل آبشکن‌ها حدود یک تا دو برابر عرض رودخانه یا یک تا پنج برابر طول آبشکن توصیه نمود. طبق توصیه دونات [۲] حداکثر طول آبشکن بین ۱۰ تا ۲۰ درصد عرض کانال باید در نظر گرفته شود. با توجه به اینکه در این تحقیق طول آبشکن متغیر می‌باشند، لذا در این تحقیق فاصله بین آبشکن بصورت تابعی از طول آبشکن انتخاب خواهد شد. به همین منظور در این تحقیق از دو آبشکن T شکل با طول های شش، هفت، هشت و نه سانتی متر که به ترتیب برابر ۱۴، ۱۲، ۱۶ و ۱۸ درصد عرض فلوم آزمایشگاهی انتخاب شد. همچنین فاصله بین آبشکن T شکل تابعی از طول آبشکن بوده که به ترتیب دو، سه، چهار و پنج برابر طول آبشکن استفاده شد. در کلیه آزمایش‌ها اندازه طول بال نسبی ثابت و ۰/۱ در نظر گرفته شد. طبق تحقیقات تحقیقات مسجیدی و مرادی [۷] بیشترین محدوده ایجاد آبشستگی در محدوده موقعیت ۶۰ درجه از ابتدای قوس است. لذا در این تحقیق آبشکن را در نیمه اول قوس و در محدوده زاویه ۶۰ درجه از ابتدای قوس انتخاب گردید. به توصیه رادکیوی و اتما [۱۱] برای جلوگیری از تشکیل رپل، قطر متوسط ذرات باید از ۰/۷ میلی متر بزرگتر باشد. همچنین برای حذف اثر اندازه رسوبات روی عمق آبشستگی، نسبت طول آبشکن به قطر متوسط ذرات باید بین ۲۵-۳۰ باشد. لذا در این تحقیق رسوبی با قطر متوسط  $D_{50}=2\text{ mm}$  پیش‌بینی و الک گردید. دانه‌بندی دقیق رسوبات در آزمایشگاه مکانیک خاک بدست آمد. رسوب مورد نظر با  $D_{84}=3.4\text{ mm}$  و  $D_{16}=1.45\text{ mm}$  دارای انحراف معیار استاندارد  $\sigma g = \sqrt{d_{84}/d_{16}} = 1.53$  بود. ضریب یکنواختی نیز طبق فرمول  $Cu = D_{60}/D_{10}$  حدود ۱/۸ بر آورد گردید. ضخامت متوسط رسوب در طول کانال بعد از انجام یک سری آزمایش طولانی مدت و بروز پاره‌های محدودیت‌ها، ۱۵ سانتی متر معین شد. طبق توصیه اولیوتو و هاگر [۱۰] برای جلوگیری از اثرات زبری عمق آب را بیش‌تر از ۲۰ میلی متر پیشنهاد نموده‌اند که در کلیه آزمایش‌ها عمق آب ثابت برابر ۱۰ سانتی متر در نظر گرفته شد. همچنین ارتفاع آبشکن ۴۰ سانتی متر انتخاب شد. لذا کلیه آزمایش‌ها

در شرایط غیر مستغرق انجام شدند. با توجه به اینکه آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال بررسی شد، لذا به منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست آبشکن، سرعت متوسط جریان باید کم‌تر از سرعت بحرانی  $u_c < u$  باشد. به منظور بررسی تأثیر دبی بر آبشستگی چهار دبی در شرایط زیر بحرانی در نظر گرفته خواهد شد که توسط سرریز مثلثی ۶۰ درجه در ابتدای ورودی فلوم اندازه گیری می‌شود. در کلیه آزمایش‌ها نسبت سرعت برشی به سرعت برشی بحرانی با استفاده از منحنی شیلدز ۰/۹۳ انتخاب گردید. لذا آزمایش‌ها در دبی ۸، ۱۲، ۱۶ و ۲۰ لیتر بر ثانیه در شرایط زیر بحرانی و برای اعداد فرود  $0.16$ ،  $0.24$ ،  $0.32$  و  $0.40$  انجام شد. برای محاسبه زمان تعادل آزمایش، با انجام آزمایش‌های مقدماتی مشخص گردید که بیش‌ترین میزان آبشستگی در آبشکن اول با طول نه سانتی متر ( $L/B=0.18$ ) و فاصله بین آبشکن‌ها ۴۵ سانتی متر ( $S/L=5$ ) و در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه حاصل شده است. در طول آزمایش، عمق آبشستگی در جلوی آبشکن بوسیله عمق‌سنج مکانیکی در فواصل زمانی معین اندازه‌گیری شد. در ۳۰ دقیقه اول به علت نرخ بالای فرسایش برداشته‌ها با فاصله زمانی یک دقیقه انجام شد سپس با کاهش سرعت آبشستگی، برداشته‌ها با فاصله‌ی دو دقیقه ثبت گردید این کار تا زمانی ادامه پیدا کرد تا حداکثر عمق آبشستگی تقریباً به یک مقدار ثابت برسد، بررسی نمودار نشان داد که حدود ۹۵ درصد آبشستگی در یک ساعت اول آزمایش بوقوع پیوست. عمق آبشستگی در این آزمایش بر اساس معیار ملویل و چیو [۹] در نظر گرفته شد. لذا انجام هر آزمایش در حدود یک ساعت برای رسیدن به زمان تعادل طول کشید. در ابتدای هر آزمایش پس از نصب مدل پایه، با قرار دادن رسوبات با ضخامت ۱۵ سانتی متر در بستر و در اطراف پایه، با استفاده از ارابه متحرک، بستر کانال تحت شیب ثابت مسطح حدود ۰/۰۰۲ گردید. پیش از راه‌اندازی پمپ، دریاچه انتهایی بسته و جهت جلوگیری از تشکیل رپل و ناهمواری در سطح بستر، آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت گردیده و اشباع شدن کانال به مدت ۲۰ تا ۳۰ دقیقه به طول انجامید. پس از بالا آمدن آب و اطمینان از مرطوب شدن رسوبات، دبی جریان توسط شیر فلکه اصلی روی لوله ورودی به حوضچه آرامش، به میزان مورد نظر رسانده شده و سپس با تنظیم دقیق و هم‌زمان شیرفلکه و دریاچه پائین دست، عمق جریان ۱۰ سانتی متر و دبی مورد نظر

، چهار و پنج در چهار طول نسبی ۰/۱۲، ۰/۱۴، ۰/۱۶ و ۰/۱۸ برای چهار عدد فرود ۰/۱۶، ۰/۲۴، ۰/۳۲ و ۰/۴۰ را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از نمودارها نشان می‌دهد که بین فاصله نسبی آبشکن‌ها و حداکثر عمق نسبی آبشستگی در اطراف آبشکن‌ها رابطه مستقیمی وجود دارد بطوری‌که با افزایش فاصله بین دو آبشکن متوالی در کلیه اعداد فرود و طول‌های مختلف آبشکن، حداکثر عمق آبشستگی نسبی افزایش می‌یابد. عبارت دیگر افزایش فاصله بین دو آبشکن، باعث تغییر در الگوی جریان و تغییر در حداکثر عمق نسبی چاله آبشستگی می‌شود. عامل اصلی در ایجاد آبشستگی در اطراف آبشکن‌ها ایجاد جریان‌های گردابی در اطراف آن‌ها است که با افزایش فاصله نسبی بین آن‌ها، قدرت جریان‌های گردابی در اطراف آبشکن‌ها افزایش یافته و در نتیجه باعث افزایش حمل بار رسوب و چاله آبشستگی در اطراف آبشکن می‌شود. به منظور مقایسه تأثیر فاصله نسبی آبشکن بر عمق آبشستگی نسبی در تحقیق حاضر با سایر محققین، از نتایج تحقیقات کیانی و همکاران [۶] استفاده شد. شکل ۳ نتایج تحقیق حاضر را با نتایج کیانی و همکاران در چهار فاصله نسبی دو، سه، چهار و پنج در چهار طول نسبی ۰/۱۲، ۰/۱۴، ۰/۱۶ و ۰/۱۸ برای چهار عدد فرود ۰/۱۶، ۰/۲۴، ۰/۳۲ و ۰/۴۰ بر روی دو آبشکن تخت متوالی در شرایط غیرمستغرق را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این نمودارها مشاهده می‌شود در اعداد فرود مختلف در کانال اصلی، با افزایش فاصله نسبی بین دو آبشکن تخت، ماکزیم عمق آبشستگی نسبی افزایش می‌یابد.

#### تأثیر طول نسبی بر عمق آبشستگی در اطراف دو آبشکن T شکل متوالی

شکل ۴ نمودار بدون بعد حداکثر عمق آبشستگی نسبی در اطراف دو آبشکن متوالی T شکل در نیمه اول قوس ۱۸۰ درجه با چهار طول نسبی ۰/۱۲، ۰/۱۴، ۰/۱۶ و ۰/۱۸ در چهار فاصله نسبی دو، سه، چهار و پنج برای چهار عدد فرود ۰/۱۶، ۰/۲۴، ۰/۳۲ و ۰/۴۰ را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از نمودارها نشان می‌دهد که طول نسبی آبشکن‌ها عامل مؤثری در عمق نسبی آبشستگی در اطراف آبشکن‌ها می‌باشد و افزایش طول آبشکن، باعث تغییر در الگوی جریان و عمق چاله آبشستگی می‌شود. بطوریکه با افزایش طول نسبی آبشکن‌ها در کلیه اعداد فرود و فاصله‌های نسبی، حداکثر عمق آبشستگی نسبی افزایش می‌یابد. عامل اصلی در ایجاد آبشستگی در اطراف آبشکن تشکیل جریان‌های گردابی در اطراف آن‌ها است که با افزایش طول نسبی آبشکن‌ها و کاهش عرض مسیر جریان، قدرت جریان‌های گردابی در اطراف دماغه آبشکن‌ها افزایش یافته و در نتیجه باعث افزایش حمل بار رسوب و چاله آبشستگی در اطراف آبشکن می‌شود. به منظور مقایسه تأثیر طول نسبی آبشکن بر عمق آبشستگی نسبی در تحقیق حاضر با سایر محققین، از نتایج تحقیقات کیانی و همکاران [۶] استفاده شد. شکل ۴ نتایج تحقیق حاضر را با نتایج کیانی و همکاران در چهار فاصله نسبی دو، سه، چهار و پنج در چهار طول نسبی ۰/۱۲، ۰/۱۴، ۰/۱۶ و ۰/۱۸ برای چهار عدد

حاصل گردید. پس از گذشت شش ساعت که زمان تعادل رسوبات در اطراف آبشکن محسوب می‌شود، با خاموش کردن پمپ و بستن دریچه‌ی انتهایی، آب موجود در کانال به آرامی زهکشی شده تا تأثیری بر روی توپوگرافی بستر ایجاد نگردد. سپس برای برداشت توپوگرافی از یک دستگاه عمق‌سنج لیزری با دقت ۰/۰۲ میلی‌متری جهت اندازه‌گیری و برداشت پروفیل بستر استفاده گردید. به منظور بررسی دقیق تغییرات ایجاد شده در بستر در امتداد طولی و عرضی فاصله نقاط برداشت دو سانتی‌متر در نظر گرفته شد (شکل ۲).



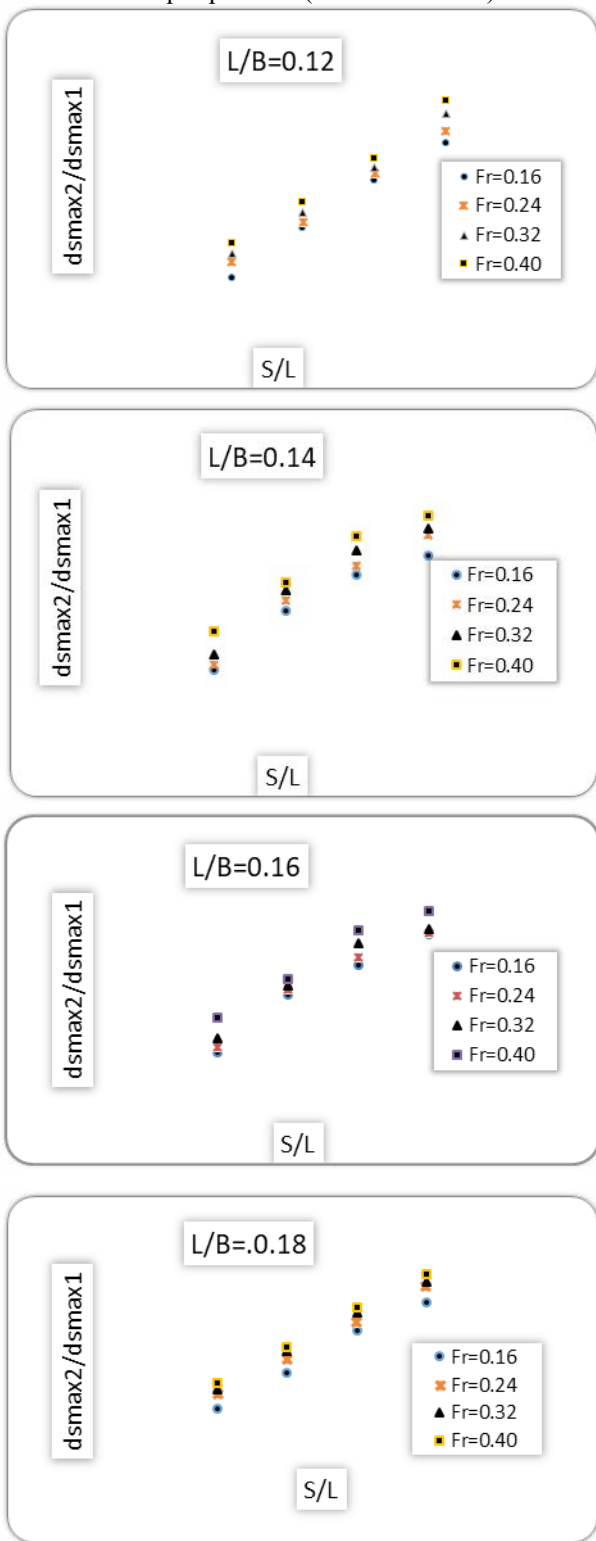
شکل ۲- موقعیت نصب آبشکن T شکل متوالی بعد از آزمایش  
Fig 2. Scour around the T-shape spur dike of series after testing

#### نتایج

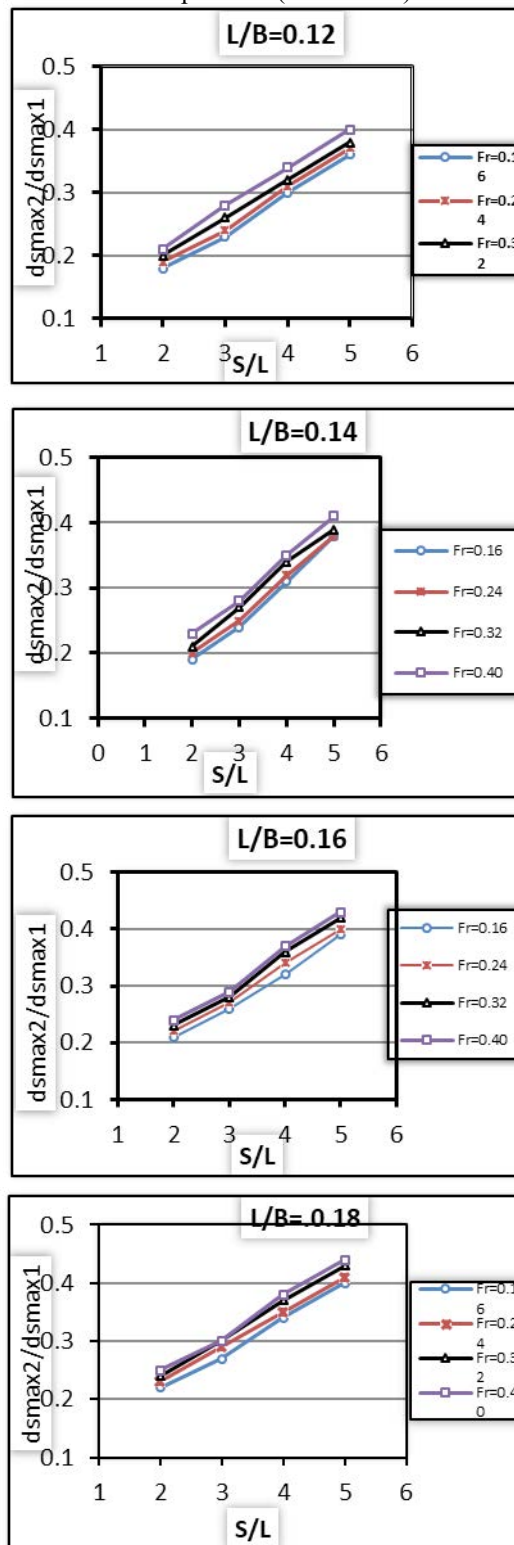
در همه آزمایش‌ها پس از تنظیم دبی و عمق جریان، بلافاصله در اطراف آبشکن‌ها گردابه‌ها تشکیل و پروسه آبشستگی با سرعت بسیار بالا آغاز گردید. بدلیل وجود آبشکن، بخشی از جریان منحرف شده و با سرعت بیشتری به سمت قوس داخلی حرکت می‌نماید و ضمن حرکت سریع دیون‌ها سبب می‌گردد که آنها بر هم سوار شده و یک توده رسوبی را بوجود آورند. حداکثر ارتفاع این توده رسوبی در غالب آزمایش‌ها در جداره داخلی و در پائین دست خروجی قوس وقوع می‌پیوندد. در اثر جریان منحرف شده توسط آبشکن فروافتادگی در بالادست هر دو آبشکن ایجاد می‌شود که در کلیه آزمایش‌های انجام شده فروافتادگی مذکور مشاهده می‌گردد. لیکن ابعاد آن برای طول و فاصله و اعداد فرود مختلف متفاوت است. این فروافتادگی در پائین دست هر دو آبشکن گاهی در جداره داخلی برخورد نموده و منجر به وقوع آبشستگی در جداره قوس می‌گردد و گاهی این برخورد صورت نگرفته که در این صورت آبشستگی فوق‌الذکر ایجاد نشده و رسوب‌گذاری واقع می‌گردد. در این شرایط حداکثر عمق آبشستگی ایجاد شده در اطراف هر دو آبشکن در نقاط مختلف اطراف آن تشکیل و توسط ابزار اندازه‌گیری عمق‌سنج تعیین گردید. بدیهی است پارامترهای اثرگذار بر ابعاد این فروافتادگی ایجاد شده، طول و فاصله بین آبشکن و دبی جریان می‌باشد.

تأثیر فاصله نسبی بر عمق آبشستگی در اطراف آبشکن‌های T شکل ۳ نمودارهای بدون بعد حداکثر عمق آبشستگی نسبی در اطراف دو آبشکن متوالی T شکل متوالی با چهار فاصله نسبی دو، سه

آبشکن T شکل (تحقیق حاضر)  
T-shape spur dike (Present research)



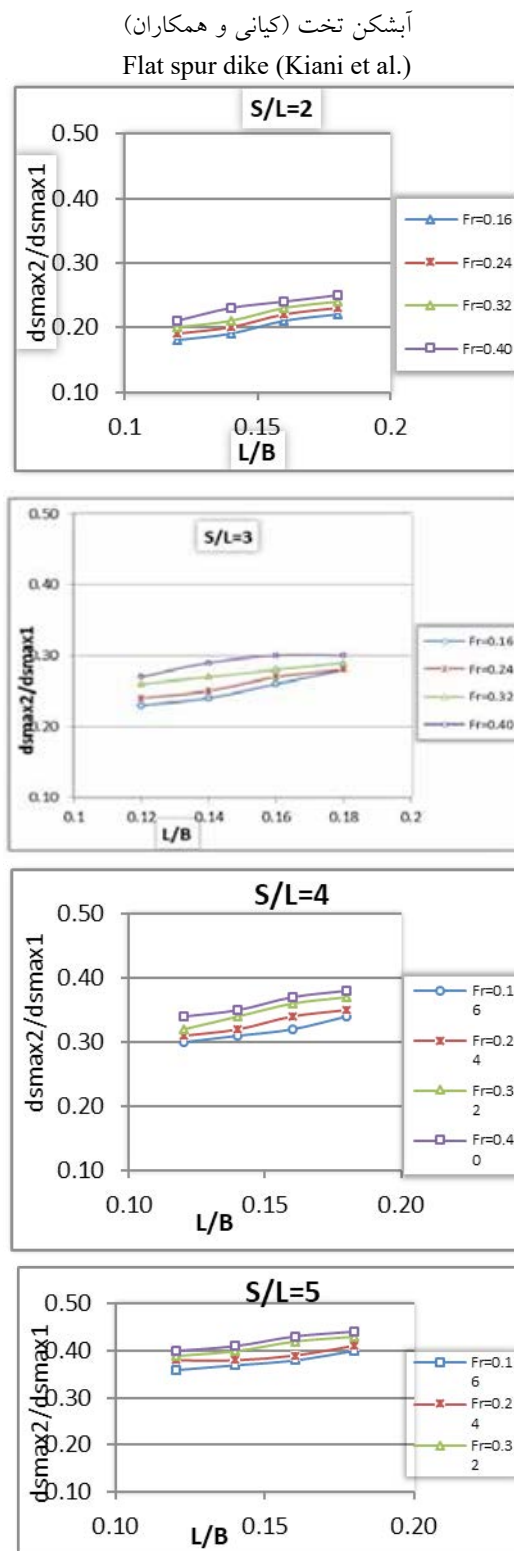
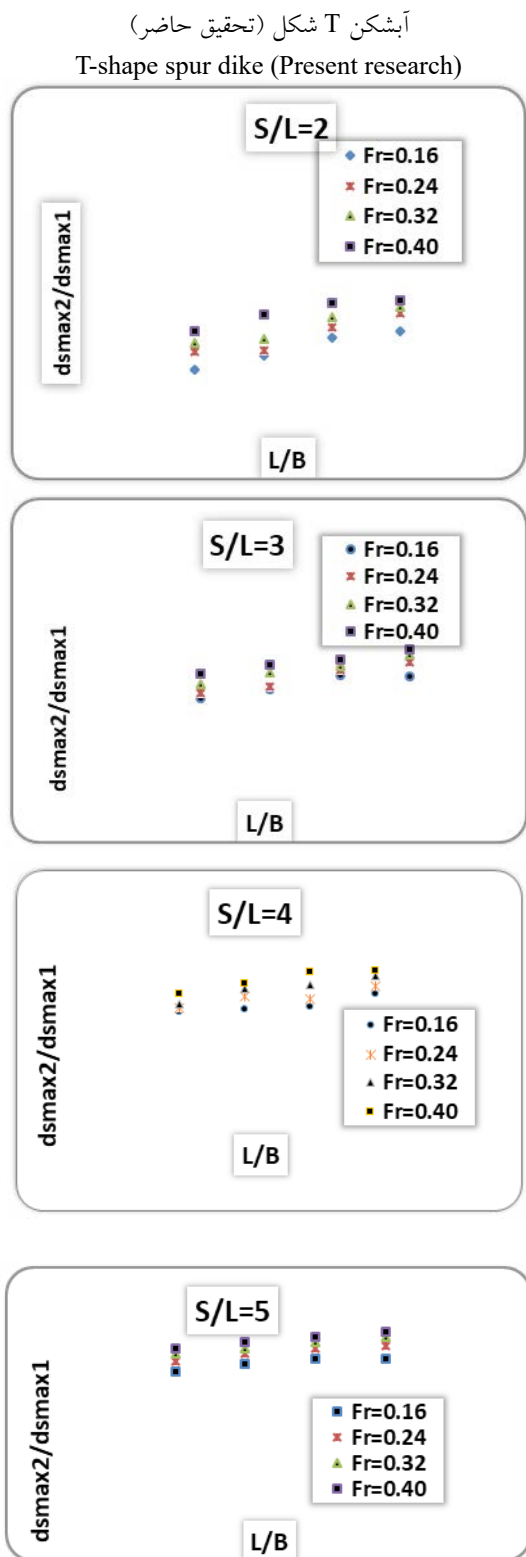
آبشکن تخت (کیانی و همکاران)  
Flat spur dike (Kiani et al.)



شکل ۳- تأثیر فاصله نسبی بر عمق آبشستگی در اطراف آبشکن T شکل متوالی در اعداد فرود مختلف در تحقیق حاضر و تحقیق کیانی و همکاران [۶]  
Fig 3. The effect of relative distance on the scour around T-shaped spur dike of series in different Froude numbers in present research and Kiani et al [6]

اعداد فرود مختلف در کانال اصلی، با طول نسبی بین دو آبشکن تخت، ماکزیمم عمق آبشستگی نسبی افزایش می‌یابد.

فرود ۰/۱۶، ۰/۲۴، ۰/۳۲ و ۰/۴۰ بر روی دو آبشکن تخت متوالی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این نمودارها مشاهده می‌شود در



شکل ۴- تأثیر طول نسبی بر عمق آبشستگی در اطراف آبشکن T شکل متوالی در اعداد فرود مختلف در تحقیق حاضر و تحقیق کیانی و همکاران [۶]  
Fig 4. The effect of relative length on the scour dept around T-shaped spur dike of series in different Froude numbers in present research and Kiani et al [6]

دست آبشکن، بدلیل قدرت بالای گرداب‌های برخاستگی، با افزایش دبی بسرعت افزایش پیدا می‌کند. همچنین نتایج‌ها نشان داد که بین عمق آبشستگی و دبی جریان در مسیر قوسی شکل رابطه مستقیمی وجود دارد و با افزایش دبی جریان، قدرت جریان‌های ثانویه در قوس بیش‌تر شده که در نتیجه باعث افزایش عمق آبشستگی در اطراف آبشکن‌ها می‌گردد.

ارائه رابطه جهت تخمین ماکزیمم عمق آبشستگی در اطراف دو آبشکن متوالی T شکل در قوس

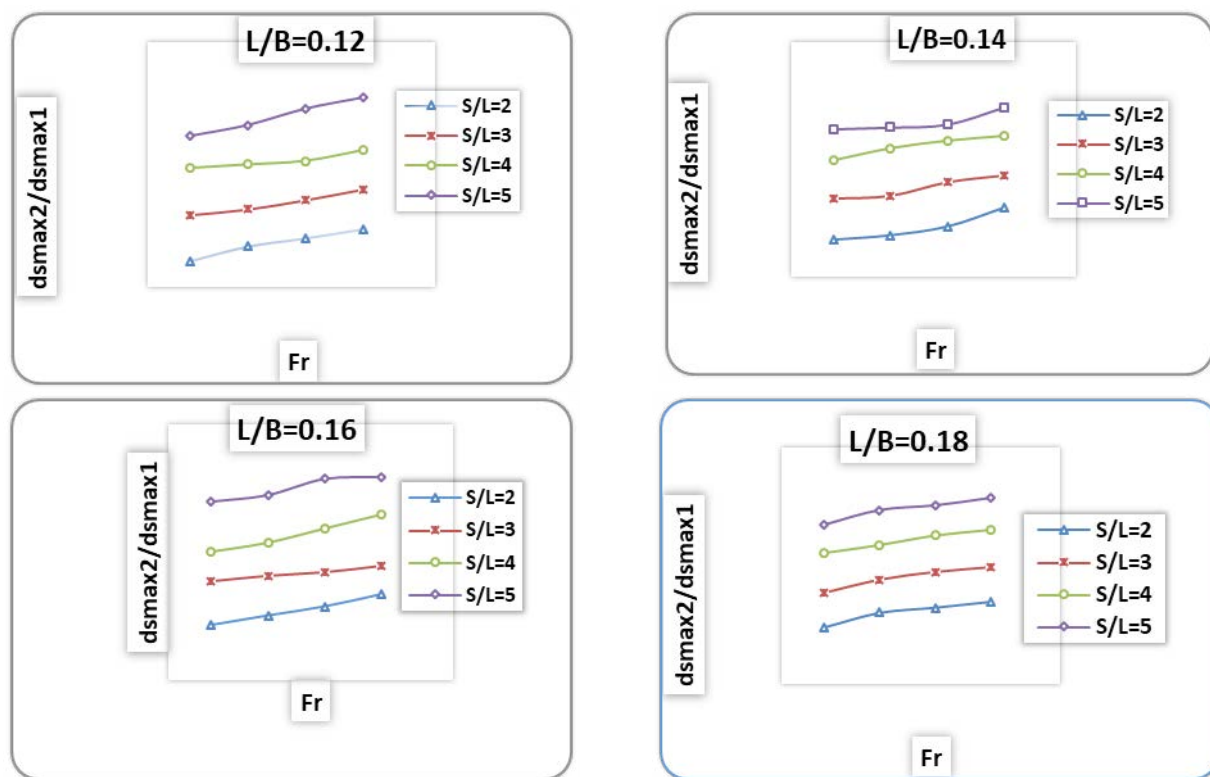
به منظور تخمین ماکزیمم عمق آبشستگی در اطراف دو آبشکن متوالی T شکل در قوس ۱۸۰ درجه، با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS رابطه ۴ با استفاده از رگرسیون غیر خطی بین عدد فرود، طول نسبی و فاصله نسبی آبشکن‌ها در دو آبشکن متوالی در شرایط غیر مستغرق ایجاد گردید.

$$\frac{ds_{\max 2}}{ds_{\max 1}} = \left(\frac{L}{B}\right)^a \times \left(\frac{S}{L}\right)^b \times (Fr)^c \quad (4)$$

در رابطه ۴، پارامترهای  $a, b, c$  مقادیر تجربی بوده که بر اساس روش کم‌ترین مربعات محاسبه گردید. با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و به کمک آنالیز رگرسیون غیر خطی مقادیر جدول ۲ جهت و توان‌های رابطه ۴ ارائه گردید.

تأثیر عدد فرود بر عمق آبشستگی در اطراف دو آبشکن T شکل متوالی

شکل ۵ نمودار بدون بعد حداکثر عمق آبشستگی نسبی در اطراف دو آبشکن متوالی T شکل در نیمه اول قوس ۱۸۰ درجه با چهار عدد فرود ۰/۱۶، ۰/۲۴، ۰/۳۲ و ۰/۴۰ در چهار طول نسبی ۰/۱۲، ۰/۱۴، ۰/۱۶ و ۰/۱۸ برای چهار فاصله نسبی دو، سه، چهار و پنج را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از نمودارها نشان می‌دهد که عدد فرود عامل موثری در عمق نسبی آبشستگی در اطراف آبشکن‌ها می‌باشد و افزایش عدد فرود، باعث تغییر در الگوی جریان و عمق چاله آبشستگی می‌شود. بطوریکه با افزایش عدد فرود در کانال در کلیه طول‌ها و فاصله‌های نسبی آبشکن، حداکثر عمق آبشستگی نسبی افزایش می‌یابد. عامل اصلی در ایجاد آبشستگی در اطراف آبشکن‌ها تشکیل جریان‌های گردابی در اطراف آنها است که با عدد فرود در کانال سرعت جریان افزایش یافته و باعث افزایش قدرت جریان‌های گردابی در اطراف دماغه آبشکن‌ها افزایش می‌شود و در نتیجه باعث افزایش حمل بار رسوب و چاله آبشستگی در اطراف آبشکن می‌شود. به منظور مقایسه تأثیر عدد فرود بر عمق آبشستگی نسبی در تحقیق حاضر با سایر محققین، از نتایج تحقیقات مسجدی و مرادی [۷] استفاده شد. در تحقیقات آنها شکل کلی توپوگرافی بستر برای هر سه دبی تقریباً شبیه یکدیگر بوده اما ابعاد و عمق چاله آبشستگی با کاهش دبی جریان، کاهش و طول پشته رسوبی در پائین



شکل ۵- تأثیر عدد فرود بر عمق آبشستگی در اطراف آبشکن T شکل متوالی در فاصله‌های مختلف

Fig 5. The effect of Froude number on the scour depth around T-shaped spur dike of series at different distances

**بحث و نتیجه گیری**

در این تحقیق آزمایش‌ها جهت بررسی ماکزیمم عمق آبشستگی در اطراف دو آبشکن T شکل متوالی در نیمه اول قوس ۱۸۰ با ۴ عدد فرود ۰/۱۶، ۰/۲۴، ۰/۳۲ و ۰/۴۰ در چهار طول نسبی ۰/۱۲، ۰/۱۴، ۰/۱۶ و ۰/۱۸ برای چهار فاصله نسبی دو، سه، چهار و پنج انجام گرفت متغیرهای مؤثر در این تحقیق فاصله بین دو آبشکن، طول آبشکن و عدد فرود بود نتایج این تحقیق نشان داد رابطه مستقیمی بین حداکثر عمق آبشستگی نسبی با طول نسبی، فاصله نسبی آبشکن‌های T شکل و عدد فرود وجود دارد. در کلیه اعداد فرود و طول‌های نسبی، با افزایش فاصله نسبی بین آبشکن‌های T شکل ماکزیمم عمق نسبی آبشستگی در آبشکن‌ها افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش عدد فرود در کلیه حالات، ابعاد چاله آبشستگی و پیشروی رسوبگذاری بستر در جهت طولی و در جهت جریان به سمت پایین دست افزایش می‌یابد. به منظور مقایسه تاثیر طول و فاصله نسبی آبشکن بر عمق آبشستگی نسبی در تحقیق حاضر با سایر محققین، از نتایج تحقیقات کیانی و همکاران [۶] استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد در اعداد فرود مختلف در کانال اصلی، با افزایش طول و فاصله نسبی بین دو آبشکن، ماکزیمم عمق آبشستگی

جدول ۲- آنالیز آماری جهت تخمین ضرایب و توان‌های رابطه ۴  
Table 2. Statistical analysis to estimate the coefficients and power of the equation 4

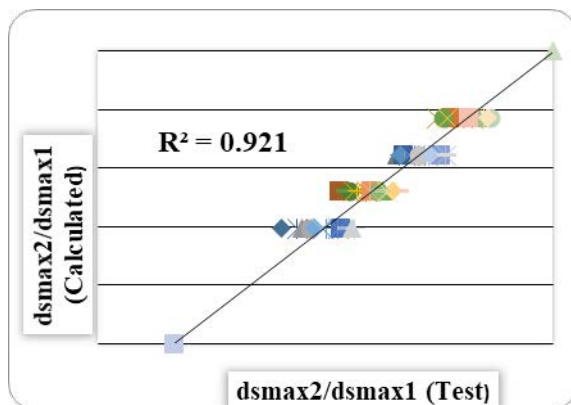
پارامتر Parameter	مقدار Amount	محدوده اطمینان ۹۵٪ Confidence range 95%	
		حداکثر Maximum	حداقل Minimum
a	0.107	0.108	0.106
b	0.029	0.033	0.025
c	0.033	0.037	0.030

مدل با ۸۵ درصد داده‌ها ساخته شد و با ۱۵ درصد صحت‌سنجی انجام گردید. آنالیز آماری مربوط به ارزیابی معادله ارائه شده با ۱۵ درصد داده‌هایی که در توسعه این مدل‌ها استفاده نشده بودند در جدول ۳ آمده است. به منظور همبستگی میان مقادیر ماکزیمم عمق آبشستگی اندازه‌گیری شده و مقادیر محاسبه شده رابطه ۵، نمودار شکل ۶ نسبت به خط ۴۵ درجه و محدوده چهار درصد خطا ارائه شد.

جدول ۳- آنالیز آماری معادله پیشنهادی برای تخمین بیشینه عمق آبشستگی در آبشکن متوالی T شکل

Table 3. Statistical analysis of recommended equation for maximum estimate of the scour depth in the T-shaped series

RMSE	R <sup>2</sup>	Limite	رابطه ۵
			Equation 5
0.0002	0.92	0.12 ≤ L/B ≤ 0.18 2 ≤ S/L ≤ 5	$\frac{d_{50}}{y_f} = 0.107 \times \left(\frac{X}{L}\right)^{0.029} \times \left(\frac{W}{L}\right)^{0.033} \times (Fr_f)^{-0.002}$



شکل ۶- همبستگی میان مقادیر ماکزیمم عمق آبشستگی اندازه‌گیری شده و مقادیر محاسبه شده توسط رابطه ۵

Fig 6. The correlation between the maximum scour depth measured and the values calculated by Equation 5



7. Masjedi, A. and Moradi, A. 2010, Experimental Investigation of the Effect of Single Spur Dike in Position on Spur Depth at 180 Degree Bend, Journal of Agricultural Science and Technology, Natural Resources, Soil and Water Sciences, 13(50), (In Persian).

8. Masjedi, A., Shafai Bejestan, M and Rahnvard, P. 2010. Reduction of local scour at single T-shape spur dike with wing shape in a 180 degree flume bend. World Applied Sciences Journal. 8 (9) : 1122-1128.

9. Melville, B.W. and Chiew, Y.M. 1999. Time Scale for Local Scour Depth at Bridge Piers. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 125(1): 59-65.

10. Oliveto, G. and Hager, W.H. 2002 Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 128 (9): 811-820.

11. Raudkivi, A.J. and Ettema, R. 1983 Clear-water scour at cylindrical piers. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 109 (3): 339-350.

12. Suzuki, K., Michiue, M. and Hionokidani, O. 1987. "Local Bed Form Around a Series of Spur Dikes in Alluvial Channel". Proceedings 2nd Congress, IAHR, Lausanne, Switzerland. 316-321.

13. Tominaga, A and Nagao, M. 1996. Secondary flow structures in bends of narrow open channels with various cross sections. 4th International Conference on Hydroscience and Engineering, Seoul.

14. Vaghefi, M., Ghodsian, M., and Salehi Neyshabouri, S.A.A. 2009. Experimental study on scouring around single T-Shape spur dike on a 90 degree Bend. Journal Water Resource. Research. 4(3): 57-69. (In Persian)

15. Vries, M. de. 1993. River engineering, Lecture note F10, Delft University of Technology, Faculty of Civil Engineering, The Netherlands.

نسبی افزایش می‌یابد. مقایسه نتایج تحقیق حاضر در قوس با نتایج دیگر محققین نشان داد که روند تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی از یکدیگر پیروی می‌کنند. به منظور تخمین ماکزیمم عمق آبشستگی در اطراف دو آبشکن متوالی T شکل در قوس ۱۸۰ درجه، با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS رابطه‌ای با استفاده از رگرسیون غیرخطی بین عدد فرود، طول نسبی و فاصله نسبی آبشکن‌ها در دو آبشکن متوالی در شرایط غیرمستغرق ایجاد گردید. به منظور محاسبه حداکثر عمق آبشستگی نسبی بین دو آبشکن، رابطه‌ای تجربی ارائه شد که ضریب همبستگی نتایج حاصل از این معادله با نتایج آزمایشگاهی حدود ۰/۹۸ می‌باشد.

### تشکر و قدردانی

از مساعدت مسئولین محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز به منظور قرار دادن امکانات، تسهیلات و کمک‌های مالی در این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود

### منابع

1. Barzali, M. and Amir Fazli, R. 2009, Investigation of the Effect of Distance between spur dikes- L on Maximum of scour Depth. Proceedings of the 7th Iranian Hydraulic Conference, University of Water and Power Engineering (Shahid Abbaspour), (In Persian).

2. Donat, M. 1995 Bioengineering techniques for streambank restoration: A review of Central European practices. Watershed Restoration Project Report No. 2, University of British Columbia, Austria

3. Gill M. A. 1972. Erosion and Sand Beds around Spur dikes, Journal of Hydraulic Division. Vol. 98, No. Hy9.

4. Laursen, F., and Toch, B. 1956. Erosion near groyene Like Structures. Journal Hydraulic Research, 21(4), 277-287.

5. Kuhnle, R. A., Alonso, C. V., and Shields, F. D., Jr. 2002 Local scour associated with angled spur. Journal of Hydraulic Engineering, 128(12): 1087-1093.

6. Kiani, A., Masjedi, A., Pourmohammadi, M., Haidarnejad, M. and Bordbar, A. 2017, Experimental Study on the Effect of Spur Dike Distance on Scour Depth in River Bends, Fresenius Environment Bulletin., 26(4): 3021-3029.

## Experimental Study of Scour in Series of T-Shape Spur Dike at River Bend

P. Sadeghi Chikani<sup>1,2</sup>, H. Sedghi<sup>3</sup>, A. Masjedi<sup>4</sup>, M. Haidarnejad<sup>5</sup> and M. H. Pourmohammadi<sup>6</sup>

Received: 20-05-2020 Accepted: 26-10-2020

### Abstract

Experimental investigation on scoring and determination of depth of scour are among the most important issues in T-shape spur dike designation with model T-shape spur dike was measured in a laboratory flume with 180 degree bend under clear water. In this study, we conducted evaluate the effect of relative distance between two T-shape spur dikes in the bend on the occurred scour. For this purpose, two spur dikes were installed at four different relative distances and four different relative lengths in the first half of an 180 degree bend. All experiments were performed in four Froude number and a constant flow depth. The results show that with increasing the relative distance of T-shape spur dikes, the relative maximum scour depth increase at the opening of the spur dikes. Measuring depth of scouring based on experimental observation, an empirical relation is developed with high regression coefficient 0.98.

**Keywords:** *T-shaped series, Scour depth, River bend, Sediments*

- 
1. Ph.D student, Department of Water Science and Engineering, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
  2. Ph.D student, Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
  3. Professor, Department of Water Science and Engineering, Tehran Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
  4. Corresponding Author and Associate professor, Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran. Email: drmasjedi.2007@yahoo.com.
  5. Associate professor, Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
  6. Assistance professor, Department of Water Science and Engineering, Shoushtar Branch, Islamic Azad University, Shoushtar, Iran.