

# مطالعهٔ آزمایشگاهی تأثیر شکلهای مختلف آبشکن بر تغییرات زمانی آبشستگی پیرامون آنها

شهاب نیر<sup>۱</sup>، سعید فرزین<sup>۳</sup>، حجت کرمی<sup>۳</sup> و محمد رستمی<sup>٬</sup>

۱، ۲ و ۳- بهترتیب: فارغالتحصیل کارشناسی ارشد؛ و استادیاران گروه مهندسی آب و سازههای هیـدرولیکی، دانشـکده مهندسـی عمـران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران ۴- استادیار گروه مهندسی آب، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران تاریخ دریافت: ۹۶/۴/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۹/۱

# چکیدہ

رودخانه پدیدهای است طبیعی و فعال که کنارهها و بستر آن همواره در حال تغییر و فرسایش است. همین امر سبب شـده تـا مسیر رودخانه طی زمان دستخوش تغییرات و تحولات اساسی شود. روشهایی گوناگون برای کاهش فرسایش کناری وجـود دارد که یکی از آنها استفاده از آبشکن است. در این پژوهش آزمایشگاهی، تأثیر آبشکنهای سری ساده، T شکل و L شـکل در کانال مستقیم بر تغییرات زمانی آبشستگی اطراف آنها بررسی، مقایسه و تحلیل شد. نتایج به دست آمده نشان می دهد کـه آبشکن T شکل در ۱۰ درصد اول مدت زمان آبشستگی اطراف آنها بررسی، مقایسه و تحلیل شد. نتایج به دست آمده نشان می دهد کـه استکن T شکل در ۱۰ درصد اول مدت زمان آبشستگی به بیش از ۹۰ درصد آبشستگی تعادلی می رسد. برای آبشکن ساده و آبشکن ساده و L شکل در ۱۰ درصد اول مدت زمان آبشستگی، این مقدار بیش از ۹۰ درصد آبشستگی تعادلی می رسد. برای آبشست عی در آبشکن ساده و L شکل دیده شده است، این مقدار در حدود سه برابر عمق جریان است. آبشکن T شکل در حدود ۲۰/۰ ( ر عمق جریان است) کمتر از سایر هندسه ها در جایگاه اول آبشستگی دارد. عمق حداکثر آبشستگی در همه هندسـه ها کمی آبشکن ساده و L شکل دیده شده است، این مقدار در حدود سه برابر عمق جریان است. آبشکن T شکل در حدود ۲۰/۰ ( ر عمق جریان است) کمتر از سایر هندسه ها در جایگاه اول آبشستگی دارد. عمق حداکثر آبشستگی در هما هندسـه ها کمی آبشستگی متوسط آبشکن T شکل نسبت به آبشستگی متوسط آبشکن ساده y٤/۰ و نسبت بـه آبشستگی متوسط آبشـکن L شکل ۲۰/۷۰ کمتر است. سرانجام اینکه برای محاسهٔ تغییرات زمانی آبشستگی، بـا توجـه بـه شـکل هندسـی آبشـکن، رابطه ای پیشنهاد گردید. عمق آبشستگی حاصل از این آزمایش ها و رابطهٔ پیشنهادی با رابطههـای تخمینـی دیگر محقـان مقایسه شد. همچنین دیده شد که بیشترین فرسایش در ساحل مقابل آبشکنها مربوط به آبشکن L شکل است.

# واژههای کلیدی

آبشکن ساده، آبشکنهای سری، آبشکن L شکل، آبشکن T شکل، عمق آبشستگی

#### مقدمه

جریان در کانالهای باز با بستر متحرک معمولاً با انتقال رسوبات همراه است. آبشستگی پدیدهای است طبیعی که در اثر انتقال جریان آب و رسوبات، در بستر و کنارههای فرسایش پذیر کانالها و رودخانهها بهوجود میآید (Kayaturk, 2005). فرسایش و آبشستگی میتواند در

نتیجهٔ تغییرات طبیعی جریان در کانال یا تحت تأثیر فعالیتهای انسانی مانند ساخت و ساز در محدودهٔ کانال یا برداشت مصالح از بستر روی دهد. برای کنترل فرسایش در کنارههای رودخانه یا بسترهای فرسایش پذیر از روش های مختلف استفاده می شود. حفاظت رودخانه در برابر فرسایش و تخریب ناشی از جریان آب با استفاده از

<sup>\*</sup> نگارنده مسئول: saeed.farzin@semnan.ac.ir

آبشکنها از روشهای مناسب در مهندسی رودخانه است. آبشکنها شکلهای مختلف دارند که متناسب با نیاز و با توجه به شرایط موجود در طبیعت و رودخانه از آنها استفاده میشود.

آبشکنهای ساده، L شکل و T شکل از مهمترین آبشکنها هستند که هر یک از این هندسهها مزایا و کاربرد خاص خود را دارد. مهمترین عاملی که پایداری آبشکنها را تهدید میکند آبشستگی اطراف آنهاست که این

 $B \xrightarrow{a_{i}} L_{i} \xrightarrow{L_{i}} A \xrightarrow{L_{i}} B_{i} \xrightarrow{L_{i}} B_{i} \xrightarrow{L_{i}} B_{i} \xrightarrow{L_{i}} B_{i} \xrightarrow{L_{i}} B_{i} \xrightarrow{L_{i}} B_{i} \xrightarrow{U} Flow Downflow Wake vortices Wake vortices Bed sediment Bed sed$ 

شکل ۱- پارامترهای مهم در بررسی آبشکن

رسیدند. نوروزی و همکاران (Norouzi et al, 2009) نیز در مطالعات آزمایشگاهی خود به این نتیجه رسیدند که با افزایش قطر مصالح، حداکثر عمق آبشستگی کاهش مییابد. کرمی و همکاران (Karami et al., 2011) برای کاهش عمق آبشستگی آبشکنهای سری از یک آبشکن محافظ در بالادست استفاده کردند؛ نتایج بررسی های این محققان نشان داد آبشكن محافظ اگر بهدرستی طراحی شود قادر خواهد بود تا متوسط حداکثر عمق آبشستگی را در آبشکنهای سری کاهش دهد. این محققان همچنین پارامترهای ابعادی را برای طراحی بهینهٔ آبشکن محافظ ارائمه كردنمد. رونمد توسعهٔ أبشسمتگی اطراف أبشمکن نفوذناپذیر را اردشیر و همکاران (Ardeshir et al, 2011) بررسی کردند. عباسی و ملکنژاد & Abbasi) Maleknejad, 2012) با مطالعة نسبت فاصلة آبشكنها به طول آنها اعلام کردند که نسبت سه و چهار بهترتیب برای آبشکنهای مستقیم و T شکل نسبتهایی مناسب هستند. مهرنهاد و قدسیان (Mehrnahad & Ghodsian, 2012) با

آبشستگی برای شکلهای مختلف آبشکن متفاوت است. از

پارامترهای مهم در مبحث آبشستگی اطراف آبشکنها

میتوان به عمق آبشستگی (ds)، عمق جریان (y)،

پارامترهای جریان مانند سرعت (u)، گردابههای پدید آمده

در اطراف آبشکن، طول آبشکن (L)، طول باله آبشکن

(Lt)، فاصلة بين أبشكنها (a)، فاصلة بين باله أبشكنها

(at) و نسبت تنگشدگی (L/B) اشاره کرد. این پارامترها

در شکل ۱ نشان داده شده اند.

چندین محقق آبشستگی اطراف آبشکنها را بررسی کردهاند که در اینجا به مهمترین آنها اشاره میشود. گارد و همکاران (Garde *et al.*, 1961) با اجرای آزمایشهایی روی ۴ اندازهٔ آبشکن با نسبتهای انقباض مختلف نشان دادند که حداکثر عمق آبشستگی تابعی از نسبت تنگشدگی، عمق جریان، زاویهٔ آبشکن با کانال، عدد فـرود جریان و ضریب حرکت رسوبات بستر است. کوهنل و همکاران (Kuhnle *et al.*, 1999) بـا اجـرای آزمایشهـایی دریافتند که نسبت تنگشدگی و عمق جریان رابطهٔ قطعی با حجم گودال آبشستگی اطراف آبشکن دارد. قدسیان و تهرانی (Ghodsian & Tehrani, 2001) با مطالعات آزمایشـگاهی روابطـی را بـرای تخمـین حـداکثر عمـق آبشستگی و میزان گسترش آبشستگی به سمت بالادست، پاییندست و در جهت محور آبشکن ارائه دادند. ژانگ و همكاران (Zhang et al., 2009) آبشستگی محلبی اطراف آبشکن ساده در جریان آشفته را آزمایش و شبیهسازی کردند و به تطابقهایی بالا در نتایج آزمایشگاهی و عـددی

بررسی آزمایشگاهی آبشکن T شکل دریافتند که سرعت گسترش آبشستگی برای ماسهٔ ریزدانه بیشتر از ماسهٔ درشتدانه است. همچنین بیان داشتند که تغییر ابعاد چاله آبشستگی حساسیت زیادی نسبت به طول آبشکن دارد. در حالیکه این حساسیت نسبت به قطر مصالح بستر کمتر است. مطالعهٔ آزمایشگاهی نوربخش و همکاران کمتر است. مطالعهٔ آزمایشگاهی نوربخش و همکاران افزایش عدد فرود (Fr) و طول آبشکن، میزان عمق و دیگر ابعاد چاله آبشستگی افزایش مییابد. همچنین با افزایش عمق استغراق در ناحیهای محدود، میزان آبشستگی و گسترش پشتهها ابتدا افزایش و پس از آن کاهش مییابد.

اقبالی و همکاران (Eghbali et al., 2013) روند توسعة زماني ابعاد حفرة آبشستكي اطراف آبشكن بالدار را بررسی و روابطی جهت پیشبینی آن ارائه کردند. نتایج این بررسی نشان داده است که قسمت اعظم آبشستگی در بستر ماسهای و بستر شنی در زمانهای اولیه اتفاق میافتد. در پژوهشی دیگر، کرمی و همکاران (Karami et al., 2014) آبشستگی اطراف آبشکنهای سری ساده را بررسی کردند و به این نتیجه دست یافتند که ۸۰ درصد آبشستگیها در ۲۰ درصد اول زمان آزمایش رخ میدهد. پاندی و همکاران (Pandey et al., 2015) با بررسے عملق آبشستگی اطراف آبشکن، سه رابطهٔ جدید برای محاسبهٔ حداکثر عمق و طول آبشستگی در بالادست و پاییندست ارائه دادند. سادات و تومیناگا, Sadat & Tominaga) (2015 با بررسی فاصلهٔ بهینهٔ آبشکن و گروه شمعها در بالادست، جهت کاهش آبشستگی، گزارش داده اند که وقتی فاصلهٔ گروه شمعها از صفر به چهار برابر طول آبشکن افزایش می یابد، حجم و عمق آبشستگی موضعی کاهش می یابد و سرعت جریان در دماغهٔ آبشکن حـداکثر خواهد بود. فاصله صفر در این تحقیق این گونه تعریف شده

است که گروه شمعها و آبشکنها دقیقاً به یکدیگر چسبیدہ باشند. تحقیقات مہر آیین و همکاران (Mehraein *et al.*, 2015) نشان داده است که بهدلیل پدیدههای بیرونرانی و جاروبی رسوب، ابتدای فرایند آبشســـتگی در نــوک دماغههاســت کــه آن را در مــورد پارامترهای مختلف آشفتگی به اثبات رسانیدند و بیان داشتند که نوسانات سرعت در راستای عرض و عمق کانال در نوک بالادست آبشکن بیشتر است. واقفی و همکاران (Vaghefi et al., 2017) تأثير آبشكن T شـكل در خـم را بررسی کردند و نشان دادند که جریان ثانویه از ۳۰ درجه آغاز می شود و تا ۶۵ درجه به صورت کاهشی ادامه دارد؛ در این مطالعه، گردابه و جریان معکوس در بالادست و پاییندست آبشکن و تغییرات جریان ثانویه نیز بررسی شدہ است. روابطی کے تا کنون برای پیشبینی عمق آبشستگی با توجه به تغییرات زمانی ارائه شده در جدول ۱ نشان داده شدهاند. بارامترهای استفاده شده در این جـدول بـهصـورت زيـر تعريـف مىشـوند: t= مـدت زمـان ، آبشستگی،  $d_{st} = d_{st}$  در زمان  $d_{st}$ Te زمان رسیدن به عمق آبشستگی تعادلی (زمانی که =Te تغییرات حداکثر عمق آبشستگی کمتر از ۱ میلیمتر بهازای ۲ ساعت آزمایش باشد) (Dey & Barbhuiya, ر سرعت =U ، الشستگی تعادلی = $d_{se}$  ، 2005) السرعت = $d_{se}$ جریان،  $U_{cr}$  سرعت بحرانی جریان،  $F_d$  عـدد فـرود ذره، قطر متوسط ذرات بستر، Y= عمق جريان، L= طول = $D_{50}$ تکیهگاه در جهت عمود بر جریان، b= عرض تکیهگاه، ، $\Delta$ =S-1 شــــتاب ثقـــل، S= چگــالی نســـبی ذرات، g=gانحراف معیار هندسی قطر ذرات،  $\theta_a$  زاویهٔ حملهٔ = $\sigma_g$  $T_s = t D_{50} (\triangle g D_{50})^{0.5} / L^2$ ,  $T_R = t (\triangle g D_{50}) / L_R$  جريسان، جریب شکل تکیه گاه (که برای حالت مستطیلی برابر  $=N_s$ . L<sub>R</sub> =  $L^{2/3}Y^{1/3}$  و (1/۲۵).

رابطه	محقق	شماره
$d_{st} / d_{se} = 1 - exp[-0.028(tU / bY)^{0.5}]^{0.28}$	Ballio & Orsi, 2001	(1)
$d_{st} / L_R = 0.068 Ns.\sigma g^{-0.5} F_d^{-1.5} log(T_R)$	Oliveto & Hager, 2002	(7)
$d_{st} / d_{se} = exp[-0.07(U_{cr} / U) Ln(t / T) ^{1.5}]$	Coleman et al., 2003	(٣)
$d_{st} / L = 0.25 F_d^{0.85} (L/Y)^{0.15} (LogT_s)^{0.6}$	Yanmaz & Kose, 2007	(*)
$d_{st} / d_{se} = [1 - exp(-2.48(t / T_e)^{0.31}](U / U_{cr})^{-0.10}]$	Karami et al., 2012	(۵)

جدول ۱- روابط پیشبینی شده توسط محققان برای پیشبینی تغییرات زمانی عمق أبشستگی

آبشکن دارد و حداکثر عمق آبشستگی زمانی اتفاق میافتد که ذرات بستر در آستانهٔ حرکت قرار گیرند؛ وی تأثیر دانهبندی و عمق جریان را بهصورت رابطهٔ تجربی ارائه داد. نیل (Neill, 1973) رابطهٔ ۶ را برای تخمین حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکنها پیشنهاد داد.

$$(d_{s} + y_{0})/y_{0} = (2.43/y_{0})(2.5q^{2}/9d_{50}^{0.318})^{0.333}$$
 (7)

که در آن، ds= حداکثر عمق آبشسـتگی؛ y₀ = عمـق جريـان؛ q= دبـی واحد عرض کانال و d₅0= قطر متوسط رسوبات بستر.

زاغول (Zaghloul, 1983) با آزمایشهایی در یک کانال، تاثیر ویژگیهای هیدرولیکی جریان در بالادست، خصوصیات رسوب و هندسهٔ آبشکن را بر حداکثر عمق آبشستگی و الگوی آبشستگی اطراف آبشکن بررسی کرد و با استفاده از آنالیز ابعادی دریافت که حداکثر عمق آبشستگی تحت تأثیر نسبت بازشدگی و عدد فرود جریان است. فرولیچ (Froehlich, 1989) با استفاده از آنالیز رگرسیونی روی دادههای آزمایشگاهی معادلهای را برای تخمین عمق آبشستگی اطراف تکیهگاهها یا آبشکنها در شرایط آب صاف پیشنهاد کرد.

برای بررسے حداکثر عمق آبشستگی، محققان بسیاری رابطههایی ارائه دادهاند که در ادامه بــه تعـدادی از آنها اشاره میشود. لسی (Lacey, 1936) با بهره جســتن از معادلهٔ رژیم جریان، معادلهای برای پیشبینی آبشستگی ارائه کرد. احمد (Ahmad, 1953) رفتار و عملکرد آبشیکنها را بررسیی و فرمیولی بیرای محاسیهٔ عمیق آبشستگی در نوک آبشکن، بر اساس مشاهدات آزمایشگاهی، بیان کرد. او عقیده دارد دانهبندی بستر تأثیری بر حداکثر عمق آبشستگی ندارد اما بر سرعت توسعهٔ آبشستگی اثر میگذارد و سرعت توسعه در ماسههای ریزتر بیشتر است. لیو و همکاران (Liu et al., (1961 بر اساس عدد فرود جريان، طول آبشكن و سرعت متوسط جریان در بالادست نیز رابطهای برای محاسبة عمق تعادلي أبشستكي ارائه دادند. لارسن (Laursen, 1962) برای پیش بینی حداکثر عمیق فرسایش موضعی، رابطه نیمه تجربی با توجه به عمق متوسط جریان در بالادست، طول آبشکن و اعدادی ثابت محاسبه کرد.

گیل (Gill, 1972) با دو دانهبندی ۱/۵ و ۰/۹۱ میلیمتر به آزمایش هایی دست زد و نتیجه گرفت که حداکثر عمق آبشستگی تعادلی بستگی به اندازهٔ رسوبات بستر و عمق جریان یکنواخت بالادست می کند. در انتهای مسیر نیز به منظور تنظیم ارتفاع سطح آب، دریچهٔ مستطیلی وجود دارد. در تمام آزمایشها، دبی ثابت و برابر ۲۸/۵ لیتر بر ثانیه است. دبی جریان با استفاده از یک سرریز مستطیلی در انتهای کانال اندازه گیری میشود. در آزمایشها از ماسهٔ طبیعی رودخانه با دانهبندی میشود. در آزمایشها از ماسهٔ طبیعی رودخانه با دانهبندی مینواخت استفاده شده که در آن قطر متوسط و انحراف معیار هندسی ذرات بستر بهترتیب برابر با mm=500 و برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور، مصالح استفاده شده با انحراف معیار رسوبات کمتر از ۱/۵، دارای دانهبندی یکنواخت است. همچنین، با توجه به روند محاسباتی ارائه شده در این نشریه، دبی و سرعت جریان با

بهدلیل ایجاد شرایط مقایسهای برای آبشستگیها در جریان آب زلال اطراف آبشکنها رسوبات در حالت آستانه حرکت (U/Ucr=0.95) در نظر گرفته شد. عدد فرود جریان در آزمایشها ۴۶/۰ است. مدت زمان هر آزمایش ۳۰ ساعت در نظر گرفته شد. عمق جریان با توجه به توان پمپ آزمایشگاهی، ۶ سانتیمتر انتخاب و محاسبه گردید. در تمام آزمایشها از ۳ آبشکن استفاده شد. جنس آبشکنها از پلاکسی گلاس و ابعاد آن ۳۵ سانتیمتر برای جان آبشکنها (L) و ۳۵ سانتیمتر برای باله آن (L1) در آبشکن در کانال نصب شدند. تغییرات زمانی عمق آبشستگی با استفاده از دستگاه بسترسنج دیجیتالی ساخت آبشستگی با استفاده از دستگاه بسترسنج دیجیتالی ساخت آزمایش برداشت شد. این دستگاه در شکل ۲ نشان داده شده است. ملویل (Melville, 1992) برای پیش بینے حداکثر عمق فرسایش موضعی در تکیه گاههای قائم، رابطههای تجربی پیشنهاد داده است. ژانگ و دوو, Du, کی یشنهاد داده است. (1997 در فلومی به عـرض ۲/۴ و طـول ۲۶ متـر بـا بسـتر ماسهای به قطر متوسط ۱/۶۶ میلیمتر عمق آبشستگی را در اطراف آبشکن بررسی کردند. پارامترهای اساسی شامل سرعت جریان، عرض کانال و عدد فرود بودند که برای آبشکنهای عمود بر کانال بررسی شدند. بررسی مطالعات قبلی نشان میدهد که اکثر آنها و روابط پیشبینی آبشستگی برای شکل آبشکن ساده ارائه شده اند و تاکنون عمق آبشستگی آبشکنها با شکلهای مختلف هندسی مقایسه نشده است. در این پژوهش با در نظر گرفتن شرایط مشابه برای سری آبشکنهای ساده، T شکل و شکل، عمق آبشستگی آنها در کانال اندازه گیری می شود  ${
m L}$ و آبشستگیها در هندسههای مختلف با هم مقایسه و تحليل مى شوند. براى محاسبة تغييرات زمانى أبشستكى ییرامون آبشکن اول، با توجه به شکل هر آبشکن، رابطهای جدید معرفی شدہ و این رابطہ با رابطہ ہایی کہ دیگر محققان ارائه دادهاند مقایسه می شود.

# مواد و روشها

برای اجرای آزمایشها از یک فلوم به طول ۱۴ متر، از جـنس پلاکسـی گـلاس مهـار شـده بـا قـاب فـولادی، در پژوهشکدهٔ حفاظت خـاک و آبخیـزداری جهـاد کشـاورزی استفاده شده است. کانال آزمایشگاهی به عـرض و ارتفـاع بهترتیـب ۱/۵ و ۲/۶ متـر در شـکل (۲) نشـان داده شـده است. این کانال دارای یک مخزن ورودی است کـه جریـان را از طریق تبـدیل تنـگ شـونده بـه داخـل فلـوم هـدایت



شکل ۲- دستگاه بسترسنج استفاده شده در آزمایشها

ارائه شده در نشریهٔ ۵۱۶ و ۵۴۹ و همچنین پیشنهادهای محققانی مانند سبحان و کومار ,Sobhan & Kumar) (Fayazbakhsh, 2003) و موسوى و همكاران (Mosavi *et al.*, 2010) تعيين شده است. در مراجع فـوق، بـهترتيـب L/B=20-30% ،a=2-5L و L/B=23% بەعنوان مقادىر بھينـه تنـگشـدگى معرفـي شده است.

پس از انجام آزمایش و قطع جریان، ۱۷ مقطع پوشش دهد. این معیار تنگ شدگی بر اساس محدودهٔ عرضیی و ۱۰ مقطع طـولی بـهطـور ثابـت و همچنـین نقــاط میــانی در محلهـایی بــا تغییــرات توپــوگرافی بیشــتر برداشــت شــد. پارامترهــای هندســی آبشــکنها a=3L  $_{e}$  در شکل ۴ آمدہ است؛ در این شکل،  $L_{t}^{+}/L=1$  و و L/B=23% است کسه L/B تنگشدگی مقطع عرضی کانال را نشان میدهد. این ابعاد طوری انتخاب شدند که بیشتر مقادیر پیشنهادی محققان را



شکل ۳- کانال آزمایش و سرریز مستطیلی کانال



شکل ٤- پارامترهای هندسی در آبشکنهای مدل شده

$$MAE = \frac{1}{n} a \left| y_i^* - y_i \right| \tag{A}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (y_i^* - y_i)^2}$$
(9)

$$R^{2} = \frac{Cov(y_{i}^{*}, y_{i})}{\sigma_{y_{i}^{*}}\sigma_{y_{i}}}$$
(1.)

همانطور که پیش تر گفته شد، پارامترهای متعددی در عملکرد آبشکنها برای حفاظت از سواحل مؤثرند. برای یافتن رابطهٔ بین عوامل مؤثر بر آبشستگی در دماغهٔ سری آبشکنها، تحلیلهایی روی پارامترهای مؤثر انجام شده است. عوامل مؤثر در این زمینه طبق رابطهٔ ۱۱ عبارتاند از:

$$f\begin{pmatrix} B, L, a, L_t, a_{t,\sigma_g}, d_{50}, y, d_s, \\ u, u_{cr}, \rho_s, g, \rho_w, k_s \end{pmatrix}$$
(11)

پیشتر اشاره شد که شرایط جریان به صورت آستانه حرکت ( U/U<sub>cr</sub> =0.95) در نظر گرفته شده است و با استفاده از منحنی شیلدز، دبی مورد استفاده با توجه به ابعاد کانال و عمق جریان محاسبه گردید (S/ 28.5). همچنین آبشکنها در طولی قرار داده شدهاند که جریان توسعه یافته باشد. با مشخص شدن دبی و شرایط جریان برای محاسبه طول جریان توسعه یافته از رابطهٔ ۷ استفاده می گردد که کرک گز و آردیچاوغلو & Kirkgoz) می گردد که کرک گز و آردیچاوغلو & Kirkgoz)

$$\frac{L}{R} = 76-0.0001 \frac{Re}{Fr}$$
(Y)

که در آن، L = طول جریان توسعهیافته. بر اساس شرایط حاکم بر آزمایشها و با استفاده از رابطهٔ فوق، طول توسعه یافتهٔ جریان، حدود ۳/۵ متر برآورد شد. با در نظر گرفتن طول ۴ متری از ابتدای کانال و همچنین برداشت مقادیر سرعت، کارکرد این طول جهت توسعهٔ جریان بررسی شد. برای ارزیابی دقت رابطههای توسعهٔ جریان بررسی شد. برای ارزیابی دقت رابطههای مختلف، از رابطههای آماری ۸، ۹ و ۱۰ استفاده شده است. در دو رابطهٔ ۸ و ۹ منظور از \*yi، iy و ۱۰ ستفاده شده است. آزمایشگاهی، مقادیر حاصل از روابط و تعداد کل دادههاست. در رابطهٔ ۱۰ نیز (مایشگاهی و مقادیر حاصل از بهترتیب کوواریانس مقادیر آزمایشگاهی و مقادیر حاصل از روابط و انحراف معیارهای آنهاست.

با حذف پارامترهایی که در ایـن پـژوهش ثابـت فـرض شدهاند و همچنین پارامترهایی که اهمیت کمتـری دارنـد، رابطهٔ ۱۲ بهدست میآید:

$$\frac{\mathrm{ds}}{\mathrm{y}} = \mathrm{f}\left(\mathrm{a}_{\mathrm{t}}, \mathrm{K}_{\mathrm{S}}\right) \tag{11}$$

کـه بـا توجـه بـه اثـر ایـن پارامترهـا بـر آبشسـتگی آبشکنها، ترکیبهای مختلف با هدف بررسی حداقل عمق آبشستگی مقایسه میشوند.

# نتایج و بحث

هدف از آزمایشها، بررسی تغییرات زمانی حداکثر عمق آبشستگی در دماغهٔ اولین آبشکن در شکلهای مختلف هندسی است. عمق آبشستگی موضعی در دماغهٔ آبشکن اول از آبشکنهای سری در زمانهای مختلف در هر آزمایش بیش از ۵۰ بار اندازه گیری و تحلیل و بررسی

نتایج حالت تعادل آبشستگی در جدول ۲ آورده شده است. در این جدول، ds عمق آبشستگی است که در آبشکنهای اول، دوم و سوم بهترتیب با ds<sub>2</sub>، ds<sub>1</sub> و ds ds<sub>ave</sub> نیز با ds<sub>2</sub>، ds معرفی شده است. متوسط این عمقها نیز با ds معرفی شده است. متوسط این عمقها نیز با م مشخص شده است. ۷ حجم حفرههای آبشستگی و ۷ عمق جریان است. مشاهده می شود که حداکثر عمق آبشستگی پیرامون آبشکن اول با شکل ساده و L شکل به یکدیگر نزدیک هستند. در آبشکن T شکل به دلیل اینکه نوک دماغه در این هندسه در راستای حرکت جریان است و شرایط گردابه ها در آن با حالتی که نوک دماغه عمود بر جهت جریان است متفاوت است، کمترین مقدار آبشستگی ایجاد شده است؛ این مقدار در حدود ۳۰ درصد عمق جریان، کمتر از بیشترین مقدار آبشستگی در آبشکنهای دیگر است.

جدول ۲ - عمق و حجم أبشستگی تعادلی در أبشکنهای سری

شد.

حجم (متر مکعب)	ds <sub>ave</sub> /y	ds <sub>3</sub> /y	ds <sub>2</sub> /y	ds1/y	آزمايش
• / • AY	١/٨٢	1/18	١/٢٨	٣	P1 (I I I)
٠/٠٨٩	1/88	۰/۸۲	1/11	$\nabla / \cdot \Delta$	P2 (L L L)
•/•٩•	١/٤١	۰/۵۳	٠/٩۵	۲/۷۵	P3 (T T T)

اما مشاهدات آزمایشگاهی نشان میدهد که الگوی چرخشی جریان در پاییندست (در محل آبشکن دوم و سوم) آبشکن ساده، آبشکن L شکل و آبشکن T شکل متفاوت است و جریان در مجرای اصلی کانال برای آبشکن ساده سرعت بیشتری دارد، به طوری که در پاییندست آبشکن L شکل به دلیل نزدیک بودن نوک باله به آبشکن بعدی، جریان اصلی به بیرون محدودهٔ آبشکنها منحرف و گردابههای موجود در بین آبشکنها محصور می شود. در این حالت، سرعت جریان در محدودهٔ بین آبشکنها و نوک باله به مراتب کمتر از حالتی است که آبشکنها ساده هستند. در نتیجه، میزان آبشستگی آبشکن دوم و سوم پاییندست هندسه L شکل کمتر از میزان آبشستگی

آبشکنهای پاییندست هندسه ساده است.

اما در ارتباط با هندسه T شکل، عواملی نظیر همراستا بودن نوک دماغه با جریان و نزدیکی نوک بالهها به یکدیگر باعث می شود تا عمق آبشستگی کمترین باشد. با توجه به نتایج بهدست آمده، در صورت استفاده از آبشکن L شکل در موقعیت دوم و سوم بهترتیب ۱۷و ۳۶ درصد عمق جریان و در صورت استفاده از آبشکن T شکل، ۳۳ و ۶۵ درصد عمق جریان در مقایسه با آبشکن ساده عمق آبشستگی کاهش می یابد. این کاهش برای آبشکن T شکل در مقایسه با آبشکن L شکل بهترتیب در حدود ۱۶ و ۳۰ درصد عمق جریان است. اما حجم آبشستگی در سری آبشکن T بیشتر است که دلیل آن مساحت حفرهٔ ایجاد می شود. جهت درک بهتر این مطالب و شرایط جریان، الگوی چرخشی جریان برای هر سه ترکیب مورد آزمایش در شکل ۵ نشان داده شده است.

آبشستگی بزرگتری است که در قسمت عمیـق فرسـایش در بالادست ایجاد میکند. این حفره بهدلیل طول بزرگتـر گردابه جریان برگشتی است که نسبت به سـایر آبشـکنها



شکل ٥- الگوی چرخشی جریان اطراف سری آبشکنها

بزرگتری از حفره است که این مدل آبشکن بهخصوص در آبشکن اول ایجاد می کند. در شکل ۷، پروفیل سهبعدی ایجادشده آبشستگی پیرامون آبشکنها نشان داده شده است. در این شکل مشخص است که حفرهٔ آبشستگی برای آبشکن اول ساده و برای آبشکن L شکل در بالادست به کنارهها رسیده است. اما برای آبشکن T شکل، هرچند ابعاد حفره در جهات دیگر از سایر آبشکنها بزرگتر است، کناره فرسایش نیافته است. در شکل ۸، با بی بعد کردن عمق آبشستگی مشخص گردید که آبشکن T شکل در ۱۰ درصد اولیه تعادل به عمقی بیش از ۹۰ درصد آبشستگی تعادلی خود می رسد. این مقدار برای آبشکن های ساده و L شکل در حدود ۸۰ است. بر اساس این نتایج می توان گفت که سرعت آبشستگی در آبشکن T شکل بیش از سرعت آبشستگی در سایر آبشکنهاست و این آبشکن سریعتر به عمق تعادلی خود نزدیک می شود هرچند حداکثر عمق آبشستگی آن نسبت به سایر آبشکنها کمتر است.

نتایج اندازه گیری تغییرات زمانی عمق آبشستگی پیرامون آبشکن اول در شکل ۶ آورده شده است. همانطور که مشاهده می شود، در زمان های اولیهٔ آزمایش تغییرات عمق آبشستگی بسیار زیاد است و تفاوت محسوسی بین شکلهای مختلف آبشکن وجود ندارد اما با گذشت زمان و نزدیک شدن به عمق تعادلی، اختلاف عمـق آبشسـتگی در آبشکنها نمایان می شود که سرانجام به عمق تعادلی خـود میرسند، و همان طور که اشاره شد آبشکن T شکل کمترین مقدار آبشستگی را دارد. حجم فرسایش یافته شامل حجم أبشستكي اطراف هر أبشكن و حجم آبشستگی در مسیر اصلی کانال است. در ظاهر ممکن است حجم فرسایش کل کانـال در سـری آبشـکنهای مختلـف، تفاوت چندانی نداشته باشد اما حجم فرسایش اطراف آبشکنها متفاوت است. همانطور که گفته شد حجم آبشسـتگی سـری آبشـکنهای T شـکل بیشـتر از حجـم آبشستگی سایر آبشکنهاست و دلیل آن مساحت







شکل ۸- درصد نسبی عمق أبشستگی با توجه به درصد نسبی زمان أبشستگی

آبشكن L شكل بوده است، ضريب ساير هندسهها متناسب با آن و با توجه به درصدی ثابت از آبشستگی آنها نسبت به آبشستگی آبشکن L شکل تعریف شد. با فرض مقدار ضریب شکل برابر ۱ برای آبشکن L شکل، این ضریب برای هندسههای دیگر که عمق آبشستگی کمتری نسبت به هندسه L شکل داشتهاند، محاسبه شده است. این ضریب برای آبشکن ساده برابر ۰/۹، برای آبشکن L شکل برابر ۱ و برای آبشکن T شکل برابر ۰/۸ تعریف شده است. در شکلهای ۱۱،،۱۰ و ۱۲ مقدار عمق آبشستگی با استفاده از رابطههایی که دیگر محققان پیشبینی کرده اند و نیز با نتایج آزمایشگاهی و رابطهٔ ارائه شده در تحقیق حاضر مقایسه شده است. در تمامی این پیشبینیها پارامترهای ورودی یکسان و مربوط به تحقیق حاضر بوده است و برآورد هر رابطه برای این تحقیق در شکل آمده است. در تعدادی از این رابطهها، نتایج بسیار نزدیک به یک دیگر هستند. برای مقایسهٔ دقت این رابط هها، از معیارهای ارزیابی استفاده گردید که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

بر اساس آنالیز ابعادی و تحلیل رگرسیونی و در حالت شرایط آستانه حرکت، رابطهٔ ۱۳ با ضریب تعیین 0.99=R<sup>2</sup> برای تخمین تغییرات عمق آبشستگی با توجه به شکل آبشکن استخراج گردید. پیشتر گفته شد که سه سری آبشکن بررسی و آزمایش شد. اطلاعات مورد استفاده جهت ارائهٔ رابطه، بیش از ۵۵۰ داده بوده است. شکل ۹ مقایسه بین دادههای آزمایشگاهی تحقیق حاضر و مقادیر تخمین زدهشده با استفاده از رابطهٔ پیشنهادی ۱۳ را نشان میدهد. همانطور که مشاهده می شود رابطه ارائه شده به خوبی قادر به پیش بینی تغییرات زمانی آبشستگی است.

$$d_{st} / d_{se} = [1 - exp(-3.56(t/T_e)^{0.33})](K_s)^{-0.20}$$
 (1°)

که در آن، Ks= ضریب شکل آبشکنهای مختلف که با در نظر گرفتن شرایط زمان و جریان ثابت تعریف شده است. با مشاهدهٔ اینکه بیشترین مقدار آبشستگی اطراف



شکل ۹- مقایسهٔ أبشستگی نسبی اندازه گیری شده با أبشستگی نسبی پیش بینی شده با رابطهٔ پیشنهادی



شکل ۱۰ – مقایسهٔ رابطههای پیشنهادی محققان با نتایج آزمایشگاهی آبشکن ساده



شکل ۱۱ - مقایسهٔ رابطههای محققان با نتایج آزمایشگاهی آبشکن L شکل



شکل ۱۲ - مقایسهٔ رابطههای محققان با نتایج آزمایشگاهی آبشکن T شکل

با توجه به جدول ۳، رابطهٔ پیشنهادی تحقیق حاضر با همکاران (Karami et al., 2012) با R<sup>2</sup>=0.984 به ترتیب

R<sup>2</sup>=0.999 و بــس از آن رابطــهٔ کلمــن و همکـاران بهترین نتایج را در مقایسه با دادههای آزمایشـگاهی ارائـه (Coleman et al., 2003) با R<sup>2</sup>=0.995 و کرمی و دادهاند و با بهترین پیش بینی همراه هستند.

<b>R</b> <sup>2</sup>	MAE (m)	RMSE (m)	رابطه
٠/٩٩۵	• / • • Y	•/• \ •	(Coleman <i>et al.</i> , 2003)
٠/٩٨۴	•/• <b>\Y</b>	•/• ١٩	(Karami et al., 2012)
٠/٧۴٣	• / • ٧٣	•/•Y۵	(Oliveto & Hager, 2002)
•/979	• / • ۳٨	•/• *•	(Ballio & Orsi, 2001)
•/٩۶۵	• / • ٣٣	•/•٢٩	(Yanmaz & Kose, 2007)
•/٩٩٩	•/••۵	• / • • ۶	تحقيق حاضر

جدول ۳- ارزیابی روابط مختلف ارائهشده توسط محققان در مقایسه با نتایج اَزمایشگاهی پژوهش حاضر

(Gill, 1972) بهترین پیشبینی حداکثر عمق آبشستگی را با ۴ درصد خطا برای آبشکن T شکل دارد. برای آبشکنهای ساده و L شکل نیز رابطهٔ نیل (Neill, 1973) با خطای ۳ درصد دارای بهترین مقدار پیشبینی شده است.

شکل ۱۳ مقایسهٔ تخمین حداکثر عمق آبشستگی نسبی اندازه گیری شدهٔ اطراف آبشکن اول با هندسههای مختلف را نسبت به حداکثر عمق پیشبینی شده با استفاده از رابطههای محققان پیشین در حالت بی بعد نشان می دهد (H عمق جریان است). رابطهٔ گیل



شکل ۱۳- مقایسهٔ حداکثر عمق أبشستگی رابطههای محققان با مشاهدات أزمایشگاهی پژوهش حاضر

انتخاب و آبشستگی در این مقطع بررسی شد. این شکل روندی کلی از محل آبشستگی و رسوب گذاری در مقاطع مختلف را ارائه میدهد. مشاهده می شود که آبشستگی آبشکنهای L شکل، در مقایسه با سایر آبشکنها، بیشتر است و به بیش از سه برابر عمق جریان در محل آبشکن اول می رسد. در سری آبشکنهای ساده، در محل آبشکن در پایان، برای بررسی دقیقتر وضعیت بستر فرسایش پذیر، در محل نوک دماغها (شکل ۱۴) و همچنین در مقطع عرضی محدودهٔ حضور آبشکن های سری (شکل ۱۵)، تغییرات بستر با یکدیگر مقایسه شدند. با توجه به شکل ۱۴، مقطع طولی ثابت (نوک دماغه در راستای جریان) برای مقایسه در هر سه سری آبشکن ها

آبشکن T شکل در محل نوک دماغه است. محدودهٔ رسوبگذاری برای هر سه سری آبشکن در وسط کانال تقریباً یکسان است اما در آبشکن T شکل، بعد از محدودهٔ رسوبگذاری در وسط کانال، یک محدودهٔ آبشستگی تقریباً برابر با عمق جریان ایجاد شده است که محدودهٔ حفرهٔ آبشستگی این آبشکن را تشکیل میدهد. با توجه به محدودهٔ انتهایی مقطع نیز مشاهده می شود که عمق آبشستگی برای آبشکن L شکل بیش از عمق آبشستگی برای سایر آبشکنهاست که این امر میتواند بهدلیال انتقال بیشتر جریان در جهت مخالف آبشکنها با توجه به طول تنگشدگی بیشتر در جهت جریان باشد.

اول مانند آبشکن L شکل بیش از سه برابر عمق جریان، آبشستگی وجود دارد. در آبشکنهای دوم و سوم، آبشستگی آبشکن L شکل کمتر از آبشستگی آبشکن ساده است؛ دلیل آن هندسه آبشکنها و الگوی جریانی است که بهواسطه آن ایجاد میشود. برای آبشکنهای سری T شکل نیز آبشستگی در محل آبشکن اول در حدود ۲/۷ برابر عمق جریان است که نسبت به سایر آبشکنها کمتر است. در کل مقطع، مطابق آنچه مشاهده میشود، آبشکن T شکل کمترین عمق آبشستگی را دارد. با توجه به شکل ۱۵ نیز که مقطعی در راستای عمود بر جهت جریان است، حداکثر عمق آبشستگی برای آبشکنهای سری ساده و L شکل عقبتر از نوک دماغه است در حالی *ک*ه برای



شکل ۱٤ - مقطع طولی توپوگرافی در محل نوک دماغه



شکل ۱۵- مقطع عرضی توپوگرافی در محل آبشکن میانی

#### نتيجهگيري

در این پژوهش آبشستگی اطراف آبشکنهای سری با شـکلهای هندسـی سـاده، T و L شـکل بهصـورت آزمایشگاهی بررسی و برای تخمین عمـق آبشسـتگی، با توجه به تغییرات زمانی و هندسهٔ آبشـکن، رابطـهای ارائـه گردید. نتایج بررسیها نشان میدهـد کـه سـرعت نسـبی آبشسـتگی بـرای آبشـکن T شـکل بیشـتر اسـت و در ۱۰ درصد زمان اولیهٔ تعادل به بـیش از ۹۰ درصـد آبشسـتگی تعادلی میرسد. آبشکنهای ساده و L شکل نیز به یکدیگر نزدیکاند و در ۱۵ درصد زمان اولیه به بیش از ۸۰ درصـد آبشستگی تعادلی دست مییابند.

با بررسی فرسایش مشاهده می شود که بیشترین عمق آبشستگی برای آبشکنهای سری در آبشکن اول است. عمق آبشستگی آبشکن T شکل، در مقایسه با سایر آبشکنها، در شرایط یکسان در حدود ۲/۷ کمتر است. حداکثر عمق آبشستگی برای آبشکن ساده و L شکل کمی عقبتر از نوک دماغه است و حداکثر عمق آبشستگی برای آنها بیش از سه برابر عمق جریان است در حالی که این مقدار برای آبشکن T شکل در حدود ۲/۷ برابر است. بیشترین عمق آبشستگی در ساحل مقابل آبشکنها نیز در ایشکن L شکل دیده می شود. اگرچه آبشکن ساده در موقعیت اول آبشستگی کمتری دارد تا آبشکن L شکل، اما متوسط عمق آبشستگی آن برای سه موقعیت مختلف

# جریان بیشتر است. متوسط عمق آبشستگی آبشکن T شکل ۲۵ درصد عمق جریان کمتر از آبشکن L شکل است اما حجم حفره و فرسایش بستر در آن بیشتر از حجم حفره و فرسایش بستر در دو نوع آبشکن دیگر است و دلیل آن ابعاد حفرهای است که در قسمت عمیق بالادست ایجاد کرده است. رابطهٔ ارائه شده در این پژوهش بهصورت مجزا تغییرات زمانی آبشستگی هر نوع از این سه حالت هندسی را پیشبینی کرده و این پیشبینی دارای خطای حداقلی است , 2006 RMSE (R<sup>2</sup>=0.999, RMSE) دارای خطای حداقلی است , دارای بهترین نتیجه است. دادههای آزمایشگاهی، دارای بهترین نتیجه است. رابطههای تخمینی سایر محققان بررسی شد.

نتایج ارزیابی ها نشان می دهد که بعد از رابطهای که در تحقیق حاضر به دست آمده است، رابطهٔ کلمن و همکاران (Coleman *et al.*, 2003) به طور (R<sup>2</sup>=0.995, RMSE=0.010, به طری (R<sup>2</sup>=0.995, RMSE=0.007) کلی تخمین نسبتاً مناسبی رابطه برای آبشکن T شکل با مقداری خطا همراه است. همچنین، با مقایسهٔ شکل با مقداری خطا همراه است. همچنین، با مقایسهٔ رابطه های تخمینی حداکثر عمق آبشستگی مشخص شد که رابطهٔ گیل (Gill, 1972) بهترین پیشبینی را برای حداکثر عمق آبشستگی آبشکن T شکل با خطای ۴ درصد و رابطهٔ نیل (Neill, 1973) بهترین پیشبینی را برای حداکثرعمق آبشستگی آبشکن های ساده و L شکل با

#### مراجع

- Abbasi, A. A. and Maleknejad, M. 2012. Experimental study of the impact of direct permeable spur dike parameters and the T-shaped on the scouring around them. Irrig. Water Eng. J. 8, 95-107. (in Persian)
- Ahmad, M. 1953. Experiments on design and behavior of spur-dikes. Proceedings of International Hydraulics Convention. Minneapolis, USA.
- Ardeshir, A., Karami, H., Saneie, M., Salamatian, S. A. 2011. Investigation of temporal development of scouring around impervious spur dikes in direct channel and its prediction with artificial neural networks. Iran-Watershed Manage. Sci. Eng. 4(13): 39-50. (in Persian)

- Ballio, F. and Orsi, E. 2001. Time evolution of scour around bridge abutments. Water Eng. Res. 2(4): 243-259.
- Coleman, S. E., Lauchlan, C. S. and Melville, B. W. 2003. Clear-water scour development at bridge abutments. J. Hydraul. Res. 41(5): 521-531.
- Dey, S. and Barbhuiya, A. K. 2005. Time variation of scour at Abutments. J. Hydraul. Eng. ASCE. 131(1): 11-23.
- Eghbali, P., Daneshfaraz, R. and Saghebian, S. M. 2013. Simulation of temporal development of scour hole around a wing-wall abutment using gene expression programming. Water Soil Sci. 23(1): 177-188. (in Persian)
- Fayazbakhsh. S. 2003. Scour investigation in L-shaped groins, M. Sc. Thesis. Amirkabir University. Tehran, Iran. (in Persian)
- Froehlich, D. C. 1989. Local scour at bridge abutments. Proceedings of the National Conference on Hydraulic Engineering. Aug. 14-18. New Orleans, LA, USA.
- Garde, R. Subramanya, K. S. and Nambudripad, K. D. 1961. Study of scour around spur-dikes. J. Hydraul. Div. 87(6): 23-37.
- Ghodsian, M. and Tehrani, S. H. 2001. Scour around groins. Int. J. Sediment Res. 16(1): 60-68.
- Gill, M. A. 1972. Erosion of sand beds around spur dikes. J. Hydraul. Div. ASCE. 98(9): 1587-1610.
- Karami, H., Ardeshir, A., Behzadian, K. and Ghodsian, M. 2011. Protective spur dike for scour mitigation of existing spur dikes. J. Hydraul. Res. 49(6): 809-813.
- Karami, H., Ardeshir, A., Saneie, M. and Salamatian. S. A. 2012. Prediction of time variation of scour depth around spur dikes using neural networks. J. Hydroinform. 14(1):180-191.
- Karami, H., Basser, H., Ardeshir, A. and Hosseini, S. H. 2014. Verification of numerical study of scour around spur dikes using experimental data. Water Environ. J. 28(1): 124-134.
- Kayaturk, S. Y. 2005. Scour and scour protection at bridge abutments. Ph. D. Thesis. Department of Civil Engineering. Middle East Technical University (METU). Ankara, Turkey.
- Kirkgoz, M.S. and Ardichoghlu, M. 1997. Velocity profiles of developing and developed open channel flow. J. Hydraul. Eng. 123(12): 1099-1015.
- Kuhnle, R. A., Alonso, C. V. and Shields, F. D. 1999. Geometry of scour holes associated with 90 spur dikes. J. Hydraul. Eng. 125(9): 972-978.
- Lacey, G. 1936. Discussion of stable channels in erodible material. In Lane, E. W. (Ed.) Proceedings of the ASCE. 237(5): 775-779.
- Laursen, E. M. 1962. Discussion of Study of scour around spur dikes. J. Hydraul. Div. ASCE. 89, 225-228.
- Liu, H. K., Chang, F. M. and Skinner, M. M. 1961. Effect of Bridge Construction on Scour and Backwater. Colorado State University Press.
- Mehraein, M., Noorbakhsh, S. M. and Ghodsian, M. 2015. Turbulent flow structure around submerged T-shape spur dike. Modares Civil Eng. J. 15(3): 171-178. (in Persian)
- Mehrnahad, A. and Ghodsian, M. 2012. Experimental investigation on the effect of length of spur dike and grain size on scour around T-shaped spur dike in a 90-degree bend. J. Iran-Water Resour. Res. 8(2): 71-79. (in Persian)
- Melville, B. W. 1992. Local scour at bridge abutments. J. Hydraul. Eng. doi:10.1061/(ASCE)0733-9429(1992). 118: 4(615).

- Mosavi, B. S., Saneie, M., Salajegheh, A. and Motamed-Vaziri, B. 2010. Experimental investigation of groin length effect on river bank erosion reduction. Iranian J. Watershed manage. Sci. 4 (12): 65-68. (in Persian)
- Neill, C. R. 1973. Guide to bridge hydraulics. Roads and Transportation Association of Canada, University of Toronto Press, Toronto, Canada.
- Noorbakhsh, S. M., Vaghefi, M. and Ghodsian, M. 2013. Experimental investigation of scour pattern around submerged T-shape spur dike in straight channel. J. Iran-Water Resour. Res. 9(2): 52-63. (in Persian)
- Norouzi, H., Salehi-Neishabori, S. A., Nasiri-Saleh, F. and Azarderakhsh, M. 2009. Three-dimensional numerical simulation of scour around a spur dike. Modares Tech. Eng. J. 36, 13-22. (in Persian)
- Oliveto, G. and Hager, W. H. 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. J. Hydraul. Eng. 128(9): 811-820.
- Pandey, M., Ahmad, Z. and Sharma, P. K. 2015. Estimation of maximum scour depth near a spur dike. Can. J. Civil Eng. 43(3): 270-278.
- Sadat, S. H. and Tominaga, A. 2015. Optimal Distance between pile-group and spur-dike to reduce local scour. J. Japan Soc. Civil Eng. 71(4): 187-192.
- Sobhan, S. A. and Kumar, S. 1999. Spacing of straight spurs in series. J. Civil Eng. The Institution of Engineers, Bangladesh. 27(2): 175-181.
- Vaghefi, M., Ghodsian, M. and Akbari, M. 2017. Experimental investigation on 3D flow around a single T-shaped spur dike in a bend. Period. Polytech. Civil Eng. 61(3): 462-470.
- Yanmaz, A. M. and Kose, O. 2007. Time-wise variation of scouring at bridge abutments. Sadhana. 32(3): 199-213.
- Zaghloul, N. A. 1983. Local scour around spur-dikes. J. Hydrol. 60, 123-140.
- Zhang, Y. and Du, X. 1997. Limited scour around spur dike and the evaluation of its depth. J. Xi'an Highway Transport. Uni. 17(4): 56-97.
- Zhang, H., Nakagawa, H., Kawaike, K. and Yasuyuki, B. A. 2009. Experiment and simulation of turbulent flow in local scour around a spur dyke. Int. J. Sediment Res. 24(1): 33-45.

# Experimental Study on the Effect of Spur Dike's Different Shapes and on Time Variation of Scour Depth around Them

# Sh. Nayyer, S. Farzin\*, H. Karami and M. Rostami

\* Corresponding Author: Assistant Professor, Department of Water Engineering & Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran. Email: Saeed.farzin@semnan.ac.ir Received: 17 July 2017, Accepted: 22 November 2017

The river is an active natural phenomenon, which continuously changes its sides and its bed. This has caused the river course to undergo major changes over time. There are different ways to reduce erosion, one of the ways is using spur dike in sides. In this experimental study, the effect of simple L and T shapes series spur dike on time variation of scour depth around spur dike was analyzed and compared under straight channel condition. The results showed that T shape spur dike within 10% of elapsed time reaches to more than 90% of equilibrium scouring, whereas for simple and L shape spur dike within 15% of elapsed time reaches to more than 80% of equilibrium scouring or erosion. Simple and L shape spur dike had the maximum scouring depth which was found to be equivalent to 3times of the flow depth, which was created a bit behind the spur dike's nose. The scouring of T shaped spur dike was 0.3y (y is flow depth) less than other shapes in first position. The results of scour depth comparison in different section around the spur dikes showed that the average of scouring value for T-shaped spur dike was 0.4y and 0.25y less than simple and L-shaped spur dike, respectively. Finally, an equation for calculation of time variation of scour depth due to the shape of the spur dike is proposed. Further, the experimental results of scouring depth as a result of present study was compared with results obtained by other researchers. Also maximum side erosion on the opposite shore was found to belong to L-shaped spur dike.

Keywords: L-Shaped Spur Dike, Scour Depth, Series Spur Dikes, Simple Spur Dike, T-Shaped Spur Dike