



دانشگاه گوارزی دریاچه شینگانگ

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد شانزدهم، شماره اول، ۱۳۸۸
www.gau.ac.ir/journals

بررسی تغییرات زمانی آب‌شستگی اطراف آب‌شکن T شکل در قوس ۹۰ درجه

*محمد واقفی^۱، مسعود قدسیان^۲ و سیدعلی اکبر صالحی نیشابوری^۳

^۱ دانشجوی دکتری گروه مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، آستاد هیدرولیک، پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس، آستاد سازه‌های هیدرولیکی، پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس
تاریخ دریافت: ۸۶/۱۱/۲۳؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۹/۲۵

چکیده

آب‌شکن یکی از اجزا مهم در حفاظت از سواحل رودخانه‌ها می‌باشد. استقرار آب‌شکن‌ها باعث ایجاد تغییرات در میدان جریان، الگوی آب‌شستگی و توپوگرافی بستر می‌شود. مکانیزم جریان و انتقال رسوب هنگامی که آب‌شکن در قوس قرار گرفته است بسیار پیچیده می‌باشد. در این مقاله به بررسی تغییرات زمانی ابعاد چاله آب‌شستگی و توپوگرافی بستر پیرامون آب‌شکن‌های T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه پرداخته شده است. برای این منظور در یک کانال آزمایشگاهی با قوس ۹۰ درجه و ملایم و دارای بستر رسوبی با دانه‌بندی به قطر متوسط ۱/۲۸ میلی‌متر و شرایط آب زلال، آزمایش‌هایی طراحی و اجرا شد. در این آزمایش‌ها تأثیر پارامترهای طول آب‌شکن، طول بال آب‌شکن، موقعیت قرارگیری آب‌شکن در قوس و همچنین عدد فرود جریان بر تغییرات زمانی ابعاد چاله آب‌شستگی حول آب‌شکن T شکل و تغییرات توپوگرافی بستر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج بیانگر این است که افزایش طول آب‌شکن، کاهش طول بال آب‌شکن، افزایش عدد فرود و تغییر موقعیت آب‌شکن به سمت پایین‌دست قوس باعث افزایش ابعاد چاله آب‌شستگی می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات زمانی، آب‌شکن T شکل، ابعاد چاله آب‌شستگی، توپوگرافی قوس، آب‌شستگی حداکثر

* مسئول مکاتبه: vaghefi@modares.ac.ir

مقدمه

آب‌شکن‌ها سازه‌های هیدرولیکی هستند که برای حفاظت از سواحل رودخانه استفاده می‌شوند. پیش‌بینی حجم و هندسه چاله آب‌شستگی اطراف آب‌شکن‌ها می‌تواند در شناخت رفتار رودخانه‌ها مؤثر باشد. در این بین آنالیز جریان و آب‌شستگی پیرامون آب‌شکن‌های مستقر در قوس خارجی رودخانه‌ها به‌علت وجود جریان‌های ثانویه و حلزونی از پیچیدگی بیشتری نسبت به مسیرهای مستقیم برخوردار است. مطالعات انجام شده در گذشته بر روی آب‌شکن‌های مستقر در کانال‌های مستقیم از لحاظ کیفیت و کمیت در سطح بسیار وسیع‌تری نسبت به آب‌شکن‌های قرار گرفته در قوس‌ها می‌باشد. البته در اکثر مطالعات به محاسبه حداکثر عمق آب‌شستگی پیرامون آب‌شکن در مسیر مستقیم پرداخته شده است. از جمله محققانی که به تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی سازه‌هایی نظیر آب‌شکن، پایه پل و کوله پل پرداختند، می‌توان کارستنس (۱۹۶۶)، گیل (۱۹۷۲)، اتما (۱۹۸۰)، راجراتنام و ناواچوکوا (۱۹۸۳)، درگاهی (۱۹۹۰)، کوهلی و هاگر (۲۰۰۱) اولویتو و هاگر (۲۰۰۲)، کولمان و همکاران (۲۰۰۳)، باربایووا و دی (۲۰۰۴) را نام برد که این محققان بر این عقیده بودند که بین آب‌شستگی حداکثر به‌دست آمده از آزمایش‌ها و زمان رابطه لگاریتمی برقرار است و روابطی بر این اساس ارایه نمودند. اما گروهی دیگر از محققان براساس تحقیقات آزمایشگاهی و یا داده‌های میدانی به بیان رابطه بین عمق آب‌شستگی حداکثر با زمان پرداخته و معادلاتی به‌صورت توابع نمایی ارایه کردند احمد، ۱۹۵۳؛ کانداسامی، ۱۹۸۹؛ ویتھوس، ۱۹۹۷؛ کاردوسو و بتس، ۱۹۹۹؛ بالیو و ارسی، ۲۰۰۰). محققانی مانند برسورس (۱۹۶۷) و کونها (۱۹۷۵) نیز رابطه توانی را بین عمق آب‌شستگی حداکثر و زمان پیشنهاد نمودند. البته تمامی تحقیقات انجام شده پیرامون سازه‌های نظیر آب‌شکن در مسیر مستقیم بوده است و فقط به تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی حداکثر پرداخته شده است. در مورد آب‌شکن‌های به‌کار رفته در قوس رودخانه، برخلاف استفاده وسیع آنها، تحقیقات چندانی انجام نگرفته است. اولین تحقیق در مورد به‌کارگیری آب‌شکن در قوس در سال ۱۹۵۱ و ۱۹۵۳ توسط احمد انجام گرفت. وی با تغییر پارامترهای دبی جریان، نسبت انقباض، شکل آب‌شکن، موقعیت استقرار در قوس، زاویه آب‌شکن با جریان و دانه‌بندی رسوبات در کانال مستقیم و قوسی به بررسی عمق آب‌شستگی حداکثر پرداخت. گیل در سال ۱۹۷۲ با تغییر شعاع انحنای قوس، عمق جریان و قطر ذرات در کانال مستقیم و قوسی نشان داد که فاصله بین آب‌شکن‌ها وابستگی زیادی به شعاع انحنای قوس دارد و در مسیرهای قوسی حدود یک تا دو برابر طول

آب‌شکن خواهد بود. مصباحی در سال ۱۹۹۲ آزمایش‌های خود با آب‌شکن در قوس را به‌گونه‌ای تنظیم نمود که عرض جریان در جلو آب‌شکن نسبت به حالت بدون آب‌شکن تغییری ننماید و نتیجه گرفت که احداث آب‌شکن در قوس‌ها عمق چاله آب‌شستگی را عمیق‌تر می‌کند. سلیمان و همکاران در سال ۱۹۹۷ به بررسی آزمایشگاهی و عددی تأثیر آب‌شکن بر روی مورفولوژی قوس‌های رودخانه نیل پرداخته و یک مدل دوبعدی در خصوص تأثیر آب‌شکن‌ها و مؤلفه‌های سرعت ارایه نمودند. گیری و همکاران در سال ۲۰۰۴ به‌صورت آزمایشگاهی و عددی با اندازه‌گیری سرعت و تغییر دادن موقعیت آب‌شکن‌ها به تأثیر آن بر روی میدان جریان اطراف آب‌شکن بسته در کانال قوسی پرداختند. سلاجقه در سال ۲۰۰۴ به بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان حول آب‌شکن در قوس ۱۸۰ درجه با بستر صلب پرداخت. وی در این تحقیق به بررسی تغییرات تراز سطح آب، میدان جریان، اثر آب‌شکن بر روی سرعت جریان و خصوصیات گردابه‌ها پرداخته است. وی مشاهده نمود که با قراردادن آب‌شکن دو تغییر کاملاً مشخص در شرایط جریان ایجاد می‌شود که عبارتند از تشکیل گردابه‌ها و تغییرات سرعت یعنی سرعت جریان در نواحی مختلف تفاوت قابل‌توجهی با یکدیگر دارد. مطالعات گذشته بیانگر فقدان تحقیقات و مطالعات کافی در مورد آب‌شکن‌های مستقر در قوس است و نشان می‌دهد که بر روی آب‌شستگی اطراف آب‌شکن T شکل در قوس هیچ تحقیقی انجام نشده است. در این مقاله به بررسی تغییرات زمانی تأثیر پارامترهایی نظیر طول آب‌شکن، طول بال آب‌شکن، موقعیت استقرار آب‌شکن در قوس و عدد فرود جریان بر ابعاد چاله آب‌شستگی، توپوگرافی قوس و الگوی آب‌شستگی پیرامون این نوع آب‌شکن‌ها پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

در این قسمت ابتدا به بررسی آنالیز ابعادی و سپس به نحوه انجام آزمایش‌ها و تجهیزات آزمایشگاهی پرداخته می‌شود.

آنالیز ابعادی: با در نظر گرفتن جریان دائمی رابطه زیر بین پارامترهای مؤثر بر ابعاد چاله آب‌شستگی در حالت تعادل برقرار است:

$$\phi = f(L, l, \alpha, \theta, Y, B, \lambda, S, t, t_e, V, g, d_s, R) \quad (1)$$

در رابطه بالا (ϕ) معرف پارامترهای چاله آب‌شستگی شامل عمق آب‌شستگی موضعی (d_s)، پیش‌روی آب‌شستگی در عرض کانال (a)، پیش‌روی آب‌شستگی به سمت بالادست (c)، پیش‌روی

آب شستگی به سمت پایین دست (d) است. شکل (۱) مشخصات هندسی چاله آب شستگی را نشان می دهد. همچنین عرض مجرا، λ زاویه مرکزی قوس و معادل ۹۰ درجه، S، شیب طولی کف مجرا (معادل ۰/۰۰۱)، L طول آب شکن، l طول بال آب شکن، α زاویه استقرار محور آب شکن نسبت به جهت جریان اصلی (تحت زاویه ۹۰ درجه نسبت به ساحل خارجی)، θ موقعیت قرارگیری آب شکن در قوس، Y عمق جریان در مسیر مستقیم بالادست، t زمان از شروع آزمایش، t_e زمان تعادل آزمایش ها، g شتاب ثقل، R شعاع مرکزی قوس، d_o قطر متوسط مصالح و V سرعت جریان تعریف شده است.

با استفاده از تئوری π باکینگهام رابطه (۱) به صورت زیر بدون بعد می شود:

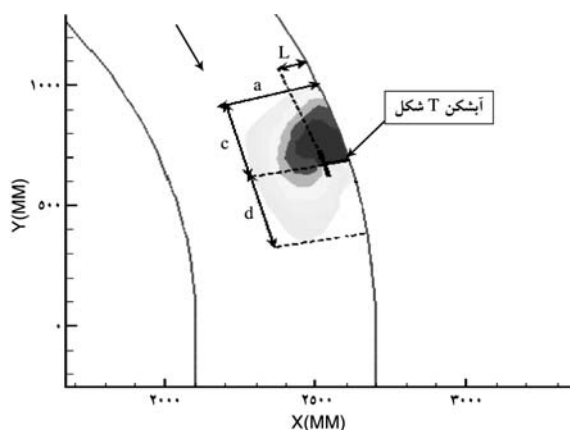
$$\frac{\phi}{Y} = f\left(\frac{\theta}{\lambda}, Fr, \frac{R}{B}, \frac{l}{R}, \frac{t}{t_e}, S, \frac{\alpha}{\lambda}, \frac{R}{L}, \frac{d_o}{B}, \frac{R}{d_o}\right) \quad (2)$$

که در آن Fr عدد فرود جریان در مسیر مستقیم بالادست است.

با صرف نظر کردن از پارامترهای ثابت ($\frac{R}{B}, \frac{\alpha}{\lambda}, \frac{R}{d_o}, S$) و ترکیب اعداد بدون بعد ($\frac{L}{d_o}, \frac{d_o}{B}$) و

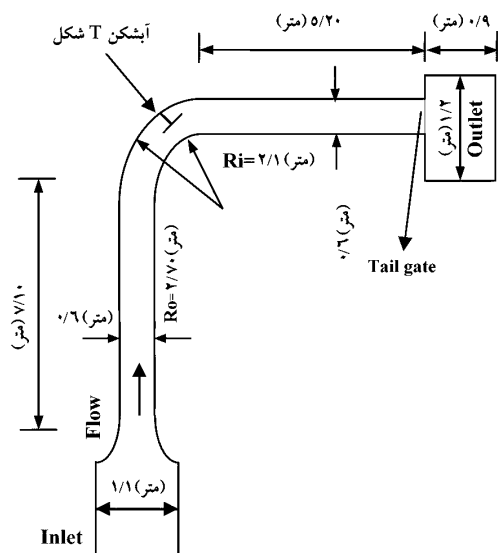
معادله (۲) به صورت زیر برای بررسی اثرات متغیرهای مؤثر بر آب شستگی تعادل یافته حول آب شکن در قوس ساده می شود:

$$\frac{\phi}{Y} = f\left(\theta/90, Fr, \frac{L}{B}, \frac{l}{L}, \frac{t}{t_e}\right) \quad (3)$$

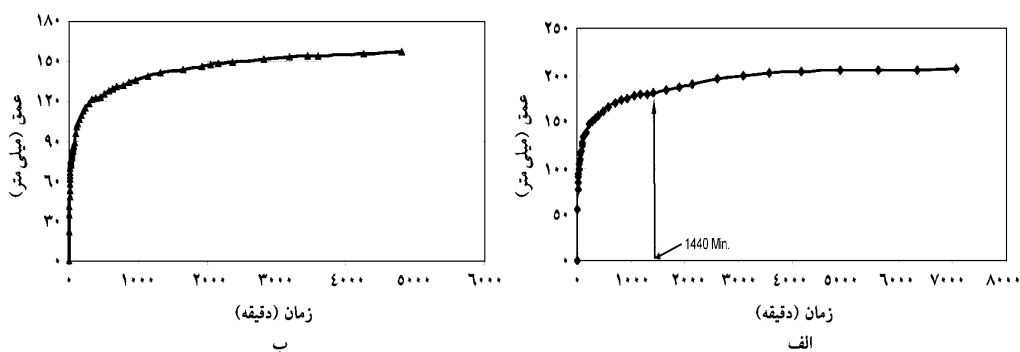


شکل ۱- مشخصات هندسی چاله آب شستگی.

تجهیزات آزمایشگاهی: آزمایش‌های مورد نظر در کانالی با قوس ۹۰ درجه در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام گرفت. شکل (۲) پلان و هندسه‌ی قوس مورد نظر را نشان می‌دهد. این کانال از یک قسمت مستقیم به‌طور ۷/۱ متر در بالادست و همچنین قسمت مستقیمی به طول ۵/۲ متر در پایین دست تشکیل می‌شود که این دو مسیر مستقیم توسط قوس ۹۰ درجه به شعاع انحنا‌ی خارجی ۲/۷ متر به هم متصل گردیده است. کانال از جنس شیشه ساخته شده که توسط قاب‌های فولادی پایداری آن حفظ می‌شود. نسبت شعاع قوس به عرض کانال برابر ۴ و ارتفاع آن ۷۰ سانتی‌متر و عرض آن ۶۰ سانتی‌متر است. کف کانال از رسوباتی با قطر متوسط معادل ۱/۲۸ میلی‌متر و انحراف معیار ۱/۳ میلی‌متر پوشیده شده است. دبی جریان به‌وسیله یک ارفیس کالیبره شده تنظیم گردید. همچنین عمق جریان و پروفیل بستر با استفاده از یک عمق‌سنج الکترونیکی (point gage) با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. برای کنترل جریان از یک دریچه پروانه‌ای که در انتهای کانال نصب گردیده استفاده گردید. آب‌شکن‌ها به‌صورت صفحات مستطیلی با پلان T شکل و از جنس پلکسی گلاس می‌باشد. ضخامت آب‌شکن‌ها ۱ سانتی‌متر و ارتفاع آن ۶۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. به‌منظور تعیین اثر طول آب‌شکن و موقعیت استقرار آب‌شکن بر روی تغییرات زمانی ابعاد چاله آب‌شستگی اطراف آب‌شکن سری اول آزمایش‌ها در چهار طول متفاوت آب‌شکن (۱۰ درصد، ۱۵ درصد، ۲۰ درصد و ۲۵ درصد عرض کانال) و با طول بال معادل با طول جان و با نسبت واحد و در چهار موقعیت متفاوت (۳۰ درجه، ۴۵ درجه، ۶۰ درجه و ۷۵ درجه در قوس خارجی)، طراحی و اجراء گردید. چهار طول بال متفاوت (۲۵ درصد، ۵۰ درصد، ۷۵ درصد و ۱۰۰ درصد طول آب‌شکن) و با طول آب‌شکن معادل ۱۵ درصد عرض کانال و در موقعیت‌های متفاوت استقرار آب‌شکن به‌منظور تعیین اثر بال آب‌شکن بر ابعاد چاله آب‌شستگی سری دوم آزمایش‌ها را شامل می‌شد. سپس با ثابت در نظر گرفتن هندسه آب‌شکن و به‌منظور تعیین اثر عدد فرود جریان سری سوم آزمایش‌ها با تغییر عدد فرود (۰/۲۳، ۰/۲۷، ۰/۳ و ۰/۳۴) و در موقعیت‌های استقرار متفاوت آب‌شکن در قوس اجرا گردید.



شکل ۲- کانال آزمایشگاهی.



شکل ۳- تغییرات زمانی عمق آب شستگی در آزمایش زمان تعادل، (الف): آزمایش ۱۲۰ ساعته (ب): آزمایش ۸۰

تعداد کل آزمایش‌های انجام شده ۵۰ آزمایش می‌باشد. دبی جریان در کلیه آزمایش‌ها ثابت و برابر ۲۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد. در تمام آزمایش‌ها شرایط آب زلال در مسیر مستقیم بالادست حاکم بود. به منظور تعیین زمان تعادل یک آزمایش ۱۲۰ ساعته برای آب‌شکن در موقعیت استقرار ۷۵ درجه و یک آزمایش ۸۰ ساعته برای آب‌شکن در موقعیت استقرار ۴۵ درجه انجام گردید. زمان انجام هر آزمایش مدت زمان معادل ۰/۸۸ عمق حداکثر آب شستگی در آزمایش زمان تعادل ۱۲۰ ساعته در نظر گرفته

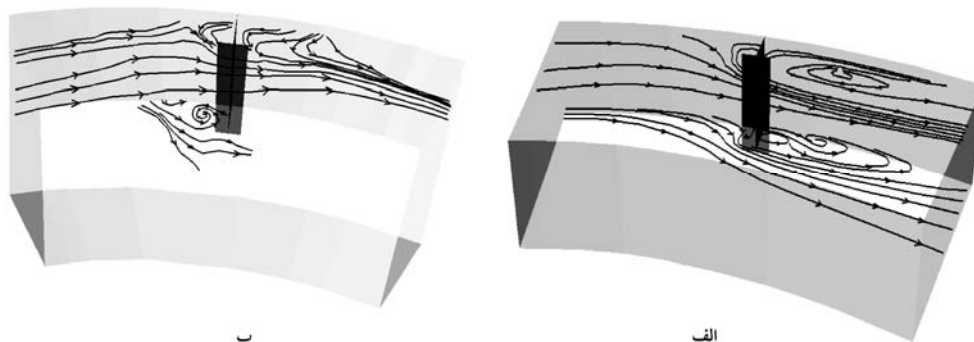
شد. که این زمان برای هر آزمایش ۲۴ ساعت می‌باشد. در این زمان میزان آب‌شستگی در فواصل زمانی ۴ ساعته کمتر از ۲ میلی‌متر بوده است. شکل (۳) تغییرات عمق آب‌شستگی در آزمایش زمان تعادل را نشان می‌دهد. فواصل مقاطع اندازه‌گیری توپوگرافی بستر از ۰/۵ درجه تا ۵ درجه متغیر می‌باشد که این مقدار در نزدیکی آب‌شکن‌ها تحت شبکه‌بندی ریزتر قرار دارد. تعداد مقاطع عرضی برداشت شده در هر آزمایش بین ۳۵ تا ۴۵ مقطع و تعداد مقاطع طولی بین ۲۸ تا ۳۰ مقطع بود. همچنین در هر آزمایش در فواصل زمانی ۰، ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰، ۱۲۰، ۱۸۰، ۲۴۰، ۳۶۰، ۴۲۰، ۵۴۰، ۶۶۰، ۷۸۰، ۹۰۰، ۱۰۸۰ و ۱۴۴۰ دقیقه از شروع هر آزمایش تغییرات ابعاد چاله آب‌شستگی و همچنین محل آب‌شستگی حداکثر اندازه‌گیری شده است. مشاهدات کیفی (تزریق مواد رنگی، حرکت نوارهای رنگی و تزریق براده چوب و...) به‌منظور ارتباط الگوی جریان با الگوی آب‌شستگی در کلیه آزمایش‌ها انجام گردیده است. در ابتدای هر آزمایش با استفاده از یک ارایه متحرک، بستر کانال تحت شیب ثابت (۰/۰۰۱) مسطح شد. مدت زمان اشباع کانال بین ۲۰ تا ۳۰ دقیقه بود. در طی این مدت یک دریچه متحرک در جلو دریچه پروانه‌ای کانال قرار می‌گرفت که وظیفه آن جلوگیری از خروج آب از کانال بود. پس از بالا آمدن سطح آب در کانال، به‌صورت تدریجی جریان به دبی مورد نظر افزایش می‌یافت. مقدار جریان در طول آزمایش توسط ارفیس نصب شده در کنار کانال تنظیم می‌شد. در انتهای آزمایش نیز با خاموش کردن پمپ، جریان به‌صورت تدریجی از کانال خارج و زه‌کشی کانال در مدت زمان ۲ تا ۳ ساعت انجام می‌گرفت.

نتایج و بحث

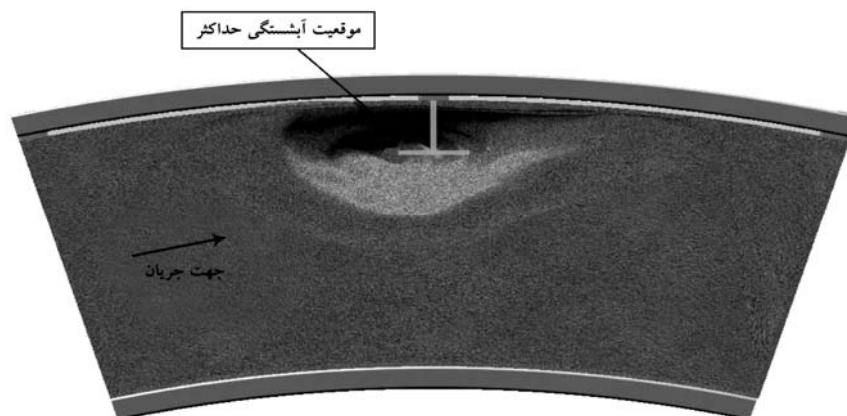
مکانیزم الگوی جریان و آب‌شستگی پیرامون آب‌شکن: در نتیجه اندرکنش جریان‌های حلزونی موجود در قوس و جریان‌های چرخشی به‌وجود آمده در اطراف آب‌شکن‌های مستقر در قوس خارجی یک‌سری جریان‌های پیچیده با جهت‌های متفاوت به‌وجود می‌آید که تشخیص و تجزیه و تحلیل آنها کاری بسیار پیچیده و بررسی هیدرودینامیکی محدوده اطراف آب‌شکن بسیار دشوار است. تأثیر جریان‌های ذکر شده ایجاد یک ناحیه آب‌شستگی پیرامون آب‌شکن و ته‌نشینی رسوبات در پایین‌دست و کناره‌های کانال می‌باشد. در مورد آب‌شکن‌های T شکل و در ابتدای هر آزمایش جریان‌های لایه‌های بالایی سطح آب به‌صورت جریان رو به پایین عمل می‌کنند و به‌علت اصطکاک کمتر با لایه‌های مجاور، زودتر از جریان‌های لایه‌های پایین خود را به دماغه آب‌شکن می‌رسانند و یک‌سری گردابه‌های عمودی که محور آنها عمود بر مسیر جریان آب است تشکیل می‌گردد و هم‌زمان

با آن نیز گردابه‌های افقی ناشی از جریان لایه‌های پایین در محل تماس آب‌شکن با سطح بستر در بالادست و در داخل محدوده بال و جان آب‌شکن در جهت عقربه‌های ساعت تشکیل می‌گردد. گردابه‌های قائم به جداسازی رسوبات از بستر می‌پردازند و گردابه‌های افقی رسوبات جدا شده را به خارج از سطح چاله در حال تشکیل شدن پرتاب می‌کند. این گردابه‌ها عامل اصلی ایجاد آب‌شستگی در دماغه بالادست آب‌شکن می‌باشند. در محل استقرار آب‌شکن به علت کاهش عرض مقطع جریان، سرعت جریان بیشتر می‌شود و این به مفهوم کاسته شدن فشار بالادست آب‌شکن و مقطع جریان مقابل بال آب‌شکن می‌باشد. این باعث می‌شود که در دماغه آب‌شکن تمرکز تنش ایجاد گردد و آب‌شستگی از این ناحیه شروع شود. به منظور پی بردن به تأثیر این گردابه‌ها و تشخیص جهت آنها در شروع هر آزمایش، آزمایشی طراحی گردیده که در آن بستر اطراف آب‌شکن توسط یک صفحه فلزی پوشیده شده و ثابت گردیده است. بر روی صفحه فلزی نیز مصالح بستر با چسب مخصوص چسبانده شده تا زبری آن معادل زبری بستر گردد. به این ترتیب اجازه فرسایش از مصالح بستر گرفته شده است. تزریق مواد رنگی بیانگر این است که در ابتدای برخورد آب با آب‌شکن گردابه‌هایی هم‌جهت با عقربه‌های ساعت در بین بال بالادست و جان آب‌شکن ایجاد می‌گردد. همچنین یک‌سری گردابه‌های پایدار در نزدیکی بستر در خلاف جهت عقربه‌های ساعت و محدوده بین بال پایین‌دست آب‌شکن و ساحل خارجی تشکیل می‌شود. این گردابه‌ها در شکل (۴-الف) نمایش داده شده است. شکل (۴-ب) گردابه‌های افقی شکل گرفته در نزدیکی کف بستر را پس از تعادل نهایی نشان می‌دهد مقایسه این گردابه‌ها با گردابه‌ها در دماغه آب‌شکن و در ابتدای آزمایش بیانگر معکوس شدن جهت آنها می‌باشد. در ابتدای آزمایش جریان در برخورد با آب‌شکن به ناحیه بین جان و بال بالادست می‌رود و تنها راه خروج آن چرخیدن و حرکت به سمت دماغه آب‌شکن در جهت عقربه‌های ساعت می‌باشد اما بعد از ایجاد چاله به دلیل اینکه چاله در ابتدا از دماغه بال بالادست شروع می‌شود و در ساحل خارجی بالادست و به خصوص کناره جان هنوز ارتفاع رسوبات بیشتر از ارتفاع رسوبات در نوک آب‌شکن است بنابراین چاله ایجاد شده در دماغه، تحت تأثیر اندرکنش جریان ثانویه و جریان چرخشی ناشی از آب‌شکن جریان را به سمت رسوبات موجود در دیواره جابجا می‌کند و جهت جریان برعکس می‌شود و از آنجا چاله شروع به گسترش می‌کند. در پایین‌دست آب‌شکن نیز به دلیل عدم وقوع آب‌شستگی، خطوط جریان گفته شده مشاهده نمی‌شود. در پایین‌دست آب‌شکن نیز سرعت جریان کمتر می‌شود و به دلیل اختلاف فشار بین بالادست و پایین‌دست آب‌شکن گردابه‌هایی ایجاد می‌گردد که در سطح جریان این مسأله با تزریق براده چوب به خوبی خود را نشان می‌دهد. این گردابه‌ها به دلیل ناپایداری

وقتی به سمت پایین دست آب‌شکن می‌روند، می‌شکنند و تشکیل گردابه کوچک‌تری را می‌دهد تا اینکه کاملاً از بین می‌رود. همچنین شکل (۴) مقایسه بین خطوط جریان در نزدیکی بستر و نزدیکی سطح جریان در ابتدای آزمایش و در زمان تعادل را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۴-الف) مشاهده می‌شود قبل از وقوع آب‌شستگی گردابه‌های سطح بستر و سطح آب در خلاف جهت یکدیگر هستند. در صورتی که بعد از تشکیل چاله آب‌شستگی این دو دسته گرداب همان‌طور که در شکل (۴-ب) مشاهده می‌شود جهت چرخشی شبیه به هم دارند. محل آب‌شستگی حداکثر نیز در کلیه آزمایش‌ها در فاصله حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد طول آب‌شکن از دماغه بال بالادست و در کنار دیواره داخلی بال قرار دارد که این موقعیت در شکل (۵) مشاهده شده است.

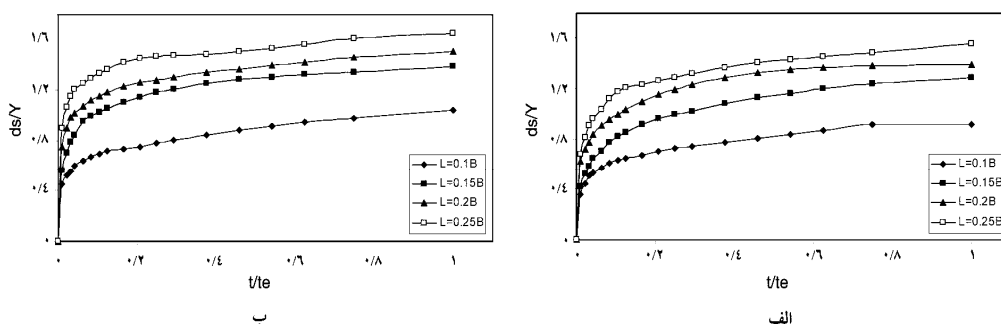


شکل ۴- نمایش گردابه‌های افقی نزدیک بستر و سطح جریان، (الف): در شروع آزمایش و (ب): در هنگام تعادل چاله.



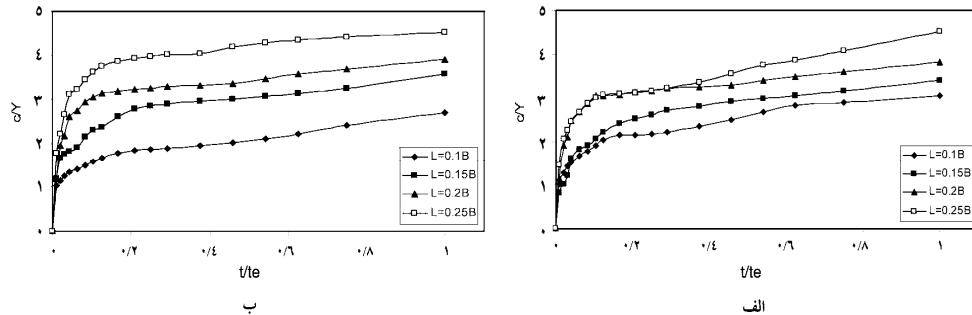
شکل ۵- نمایش موقعیت آب‌شستگی حداکثر.

تغییرات زمانی ابعاد چاله آب شستگی: شکل (۶) نمونه‌ای از تغییرات زمانی عمق حداکثر آب شستگی برای طول‌های مختلف آب‌شکن برای فرود ۰/۳۴، نسبت طول بال به جان واحد (معادل ۱۵ درصد عرض کانال) و در موقعیت‌های ۳۰ و ۶۰ درجه نشان داده شده است. بررسی تغییرات زمانی عمق آب شستگی نشان می‌دهد که در طول زمان آزمایش با افزایش طول آب‌شکن شیب منحنی آب شستگی در ۳۰ درصد اول زمان آزمایش افزایش می‌یابد و سپس شیب منحنی مربوط به طول‌های ۱۵، ۲۰ و ۲۵ درصد عرض فلوم ثابت و در طول ۱۰ درصد عرض فلوم از نرخ بیشتری برخوردار است. این روند در موقعیت‌های مختلف استقرار آب‌شکن به صورت مشابه می‌باشد. همچنین در ۳۰ درصد اول زمان آزمایش حدود ۸۰ درصد آب شستگی کل ایجاد شده است و در مورد آب‌شکن‌های با طول بزرگ‌تر به دلیل سرعت بیشتر جریان، در محل آب‌شکن آب شستگی از نرخ بیشتری برخوردار است.



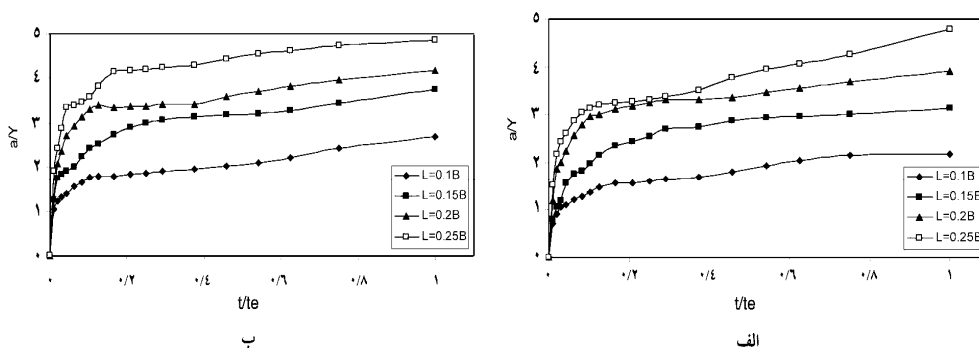
شکل ۶- تغییرات زمانی عمق آب شستگی برای طول‌های مختلف آب‌شکن، (الف): در موقعیت ۳۰ درجه و (ب) در موقعیت ۶۰ درجه.

تغییرات زمانی پیش‌روی چاله آب شستگی به سمت بالادست آب‌شکن (c)، پیش‌روی چاله آب شستگی در عرض کانال (a) و همچنین پیش‌روی چاله آب شستگی به سمت پایین‌دست (d) نیز با افزایش طول آب‌شکن از روند صعودی برخوردار است. شکل (۷) نمونه‌ای از تغییرات زمانی پیش‌روی چاله به سمت بالادست آب‌شکن (c/Y) برای فرود ۰/۳۴، نسبت طول بال به جان واحد و در موقعیت ۳۰ و ۶۰ درجه را نشان می‌دهد.



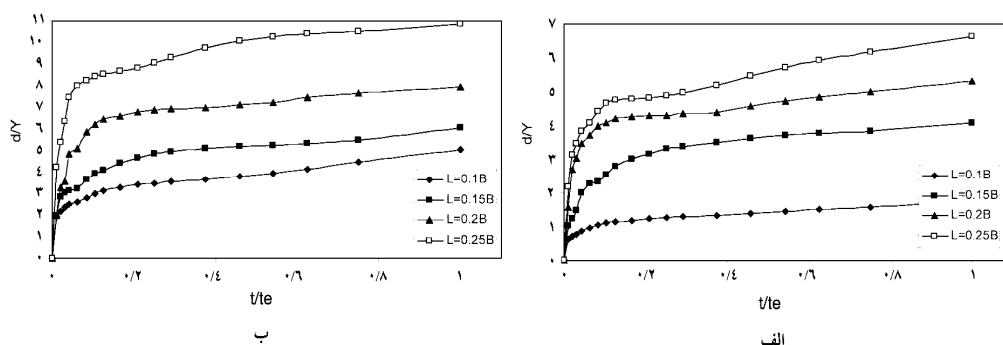
شکل ۷- تغییرات زمانی پیشروی چاله آب‌شستگی به سمت بالادست برای طول‌های مختلف، (الف): در موقعیت ۳۰ درجه و (ب): در موقعیت ۶۰ درجه.

همان‌طور که در شکل (۷-الف) مشخص است در ابتدای قوس به دلیل برخورد بیشتر خطوط مستقیم جریان از کانال مستقیم بالادست به آب‌شکن با طول‌های بزرگ‌تر از ۲۰ درصد عرض کانال نسبت به بقیه طول‌ها، در ۳۰ درصد ابتدای زمان آزمایش میزان پیشروی چاله تقریباً با هم برابر است. در ادامه زمان آزمایش نیز نرخ پیشروی چاله با افزایش طول آب‌شکن افزایش می‌یابد در حالی‌که در نیمه دوم قوس به دلیل انحنای خطوط جریان نرخ پیشروی چاله آب‌شستگی به سمت بالادست از روند تقریباً ثابتی برخوردار است. شکل (۷-ب) این نرخ افزایشی ثابت را نشان می‌دهد. تغییرات زمانی پیشروی چاله آب‌شستگی در عرض کانال نیز به دلایلی مشابه از روندی شبیه به تغییرات زمانی پیشروی چاله به سمت بالادست برخوردار است. در شکل (۸) نمونه‌ای از تغییرات زمانی پیشروی چاله آب‌شستگی در عرض کانال (a/Y) برای فرود 0.34 ، نسبت طول بال به جان واحد و در موقعیت ۳۰ و ۶۰ درجه را نشان می‌دهد.



شکل ۸- تغییرات زمانی پیشروی چاله آب‌شستگی در عرض کانال برای طول‌های مختلف، (الف): در موقعیت ۳۰ درجه و (ب): در موقعیت ۶۰ درجه.

شکل (۹) نمونه‌ای از تغییرات زمانی پیش‌روی چاله آب‌شستگی به سمت پایین‌دست (d/Y) برای فرود $0/34$ ، نسبت طول بال به جان واحد را نشان می‌دهد با تغییر موقعیت استقرار آب‌شکن به سمت انتهای قوس نرخ تغییرات زمانی پیش‌روی چاله آب‌شستگی به سمت پایین‌دست نیز با افزایش طول آب‌شکن از روند صعودی برخوردار است که دلیل آن افزایش سرعت جریان و قدرت گردابه‌ها و همچنین افزایش قدرت حمل رسوبات به سمت مسیر مستقیم پایین‌دست می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۹-الف) مشخص است در موقعیت استقرار آب‌شکن در ابتدای قوس، میزان پیش‌روی چاله آب‌شستگی به سمت پایین‌دست و برای طول معادل ۱۰ درصد عرض کانال از تفاوت آشکاری نسبت به طول‌های دیگر آب‌شکن برخوردار است که در شکل (۹-ب) و موقعیت استقرار آب‌شکن در زاویه 60° درجه این اختلاف کمتر است که دلیل آن انحنا خطوط جریان در موقعیت 60° درجه می‌باشد.

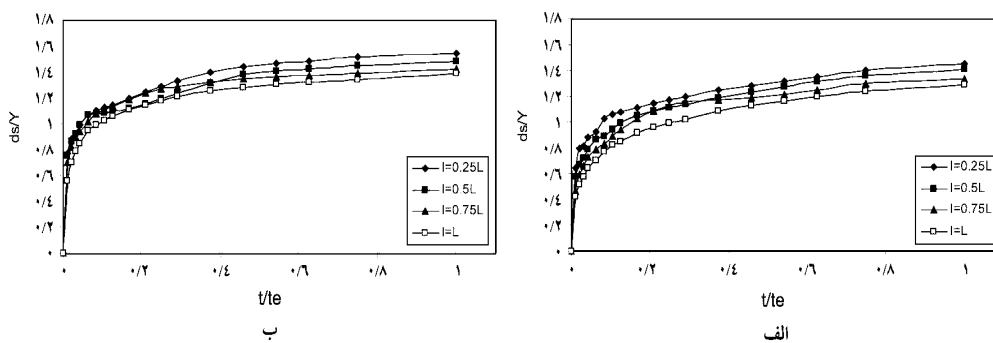


شکل ۹- تغییرات زمانی پیش‌روی چاله آب‌شستگی به سمت پایین‌دست،
(الف): در موقعیت 30° درجه و (ب): در موقعیت 60° درجه.

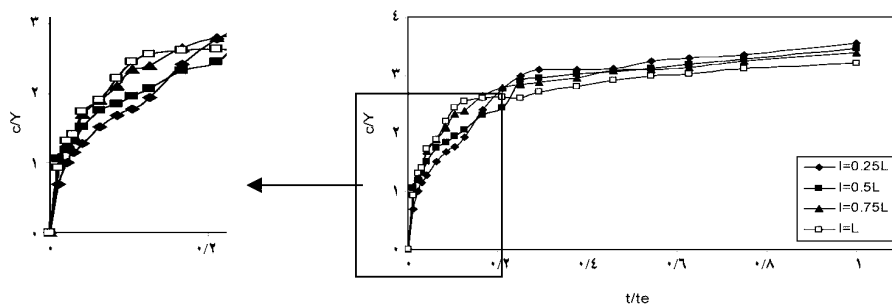
شکل (۱۰) نمونه‌ای از تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی برای طول بال‌های مختلف و در موقعیت‌های 30° و 60° درجه و عدد فرود $0/34$ را نشان داده شده است. نمودار تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی نشان‌دهنده فاصله کم آب‌شستگی در طول بال‌های مختلف در 30° درصد اول زمان آزمایش می‌باشد و در ادامه با اختلاف بیشتری نسبت به هم ولی با فاصله ثابت آب‌شستگی انجام گرفته است. این تغییرات در موقعیت‌های مختلف استقرار آب‌شکن از روند ثابتی برخوردار است.

تغییرات زمانی پیش‌روی چاله آب‌شستگی به سمت بالادست آب‌شکن، پیش‌روی چاله آب‌شستگی در عرض کانال و همچنین پیش‌روی چاله آب‌شستگی به سمت پایین‌دست نیز با افزایش طول بال آب‌شکن از روند نزولی برخوردار است. شکل (۱۱) نمونه‌ای از تغییرات زمانی پیش‌روی چاله آب‌شستگی به سمت بالادست آب‌شکن در موقعیت 30° درجه و فرود $0/34$ برای طول بال‌های

مختلف را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۱۱) مشخص است در ۲۰ درصد زمان ابتدای آزمایش، آب‌شکن‌های با طول بال بزرگ‌تر پیش‌روی بیشتری به سمت بالادست از خود نشان می‌دهند اما در ادامه، پیش‌روی به سمت بالادست آب‌شکن‌های با طول بال کمتر از نرخ بیشتری برخوردار است. علت این نوع تغییرات، ایجاد گردابه‌های بزرگ‌تر در بالادست آب‌شکن‌های با طول بال بزرگ‌تر می‌باشد. با گذشت زمان این گردابه‌ها پایدار گشته و باعث پیش‌روی چاله به سمت پایین‌دست آب‌شکن می‌شود. در مورد آب‌شکن‌های با طول بال کوچک‌تر به دلیل تمرکز تنش در دماغه آب‌شکن و کوچک بودن محدوده بین بال آب‌شکن در بالادست و ساحل خارجی، ابعاد چاله آب‌شستگی و پیش‌روی به سمت بالادست افزایش می‌یابد. با تغییر موقعیت استقرار آب‌شکن به سمت بالادست قوس تغییرات ذکر شده در ابتدای آزمایش کمتر می‌شود که دلیل آن برخورد مستقیم نکردن جریان ورودی از مسیر مستقیم به محدوده آب‌شکن می‌باشد.



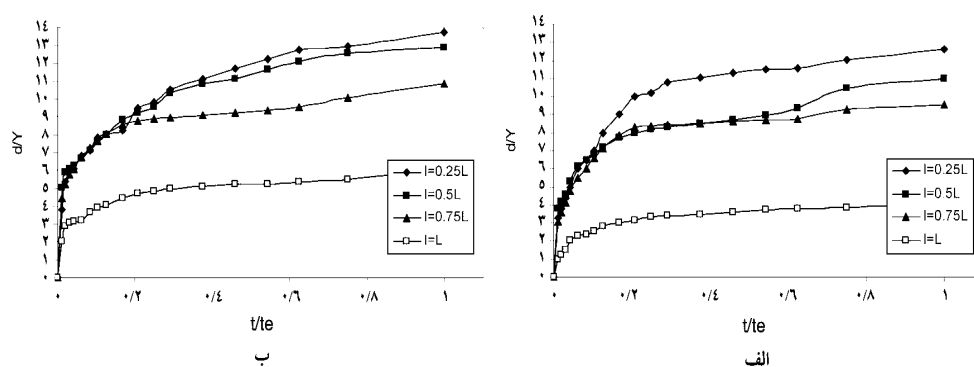
شکل ۱۰- تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی برای طول‌های مختلف بال آب‌شکن، (الف): در موقعیت ۳۰ درجه و (ب): در موقعیت ۶۰ درجه.



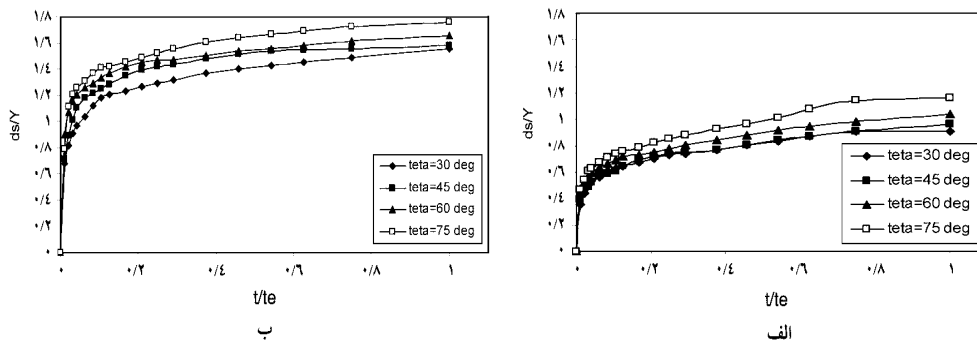
شکل ۱۱- تغییرات زمانی پیش‌روی چاله آب‌شستگی به سمت بالادست آب‌شکن برای طول‌های مختلف بال آب‌شکن در موقعیت ۳۰ درجه.

شکل (۱۲) نمونه‌ای از تغییرات پیش‌روی چاله آب‌شستگی به سمت پایین‌دست آب‌شکن را نشان می‌دهد. روشن است که هرچه طول بال آب‌شکن کمتر باشد میزان پیش‌روی چاله به سمت پایین‌دست آب‌شکن بیشتر است. دلیل آن افزایش ابعاد چاله آب‌شستگی به دلیل کاهش طول بال و تشکیل نشدن گردابه‌های پایدار در پایین‌دست آب‌شکن و در محدوده بین بال آب‌شکن و ساحل خارجی می‌باشد. همچنین رسوبات خروجی از چاله آب‌شستگی نیز در طول بال‌های کوچک‌تر، به دلیل کاهش طول ناحیه جداشدگی جریان و افزایش قدرت حمل رسوبات، سریع‌تر به سمت پایین‌دست آب‌شکن حرکت می‌کنند. همان‌طور که در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود اثر طول بال مساوی با طول آب‌شکن با طول بال‌های کوچک‌تر اختلاف محسوس‌تری بر آب‌شستگی دارد و در طول بال‌های کوچک‌تر از طول آب‌شکن در ۲۰ درصد زمانی ابتدای آزمایش، نرخ تغییرات پیش‌روی چاله آب‌شستگی به سمت پایین‌دست با هم برابر است.

شکل (۱۳) نمونه‌ای از تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی در موقعیت‌های استقرار مختلف، در شرایط فرود ۰/۳۴ نسبت طول بال به جان برابر ۱ نشان داده شده است. تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی بیانگر این است که با افزایش طول آب‌شکن تغییرات زمانی آب‌شستگی در موقعیت‌های استقرار آب‌شکن در نیمه دوم قوس از تشابه بیشتری برخوردار است. در موقعیت‌های استقرار آب‌شکن در زاویه ۳۰ و ۴۵ درجه تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی مشابه یکدیگر است و با تغییر طول آب‌شکن به طول معادل ۲۵ درصد عرض کانال، موقعیت‌های ۴۵ و ۶۰ درجه تغییرات زمانی مشابه دارند.



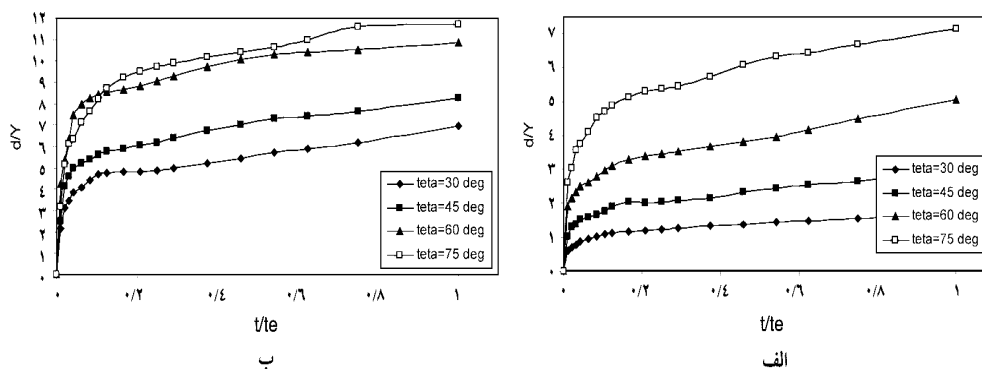
شکل ۱۲- تغییرات زمانی پیش‌روی چاله آب‌شستگی به سمت پایین‌دست برای طول‌های مختلف بال آب‌شکن، (الف): در موقعیت ۳۰ و (ب): در موقعیت ۶۰ درجه.



شکل ۱۳- تغییرات زمانی عمق آب شستگی در موقعیت‌های مختلف استقرار آب شکن

برای (الف): $L=0.1B$ و (ب): $L=0.25B$

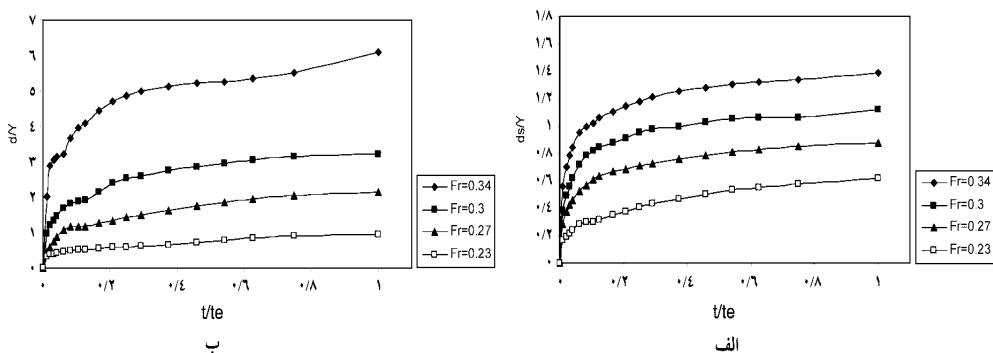
شکل (۱۴) نمونه‌ای از تغییرات زمانی پیش‌روی چاله آب شستگی به سمت پایین دست را نشان می‌دهد. با افزایش طول آب شکن، تغییرات زمانی پیش‌روی چاله به سمت پایین دست در موقعیت‌های استقرار آب شکن در انتهای قوس به هم نزدیک‌تر می‌شود که دلیل آن حرکت رسوبات در مسیر مستقیم پایین دست قوس می‌باشد. همچنین برای استقرار آب شکن در زاویه ۷۵ درجه پیش‌روی چاله آب شستگی به سمت پایین دست، به دلیل حرکت رسوبات خروجی از چاله اطراف آب شکن در مسیر مستقیم و افزایش قدرت حمل رسوبات، نسبت به موقعیت‌های دیگر بیشتر است.



شکل ۱۴- تغییرات زمانی پیش‌روی چاله آب شستگی به سمت پایین دست در موقعیت‌های

مختلف استقرار آب شکن برای (الف): $L=0.1B$ و (ب): $L=0.25B$

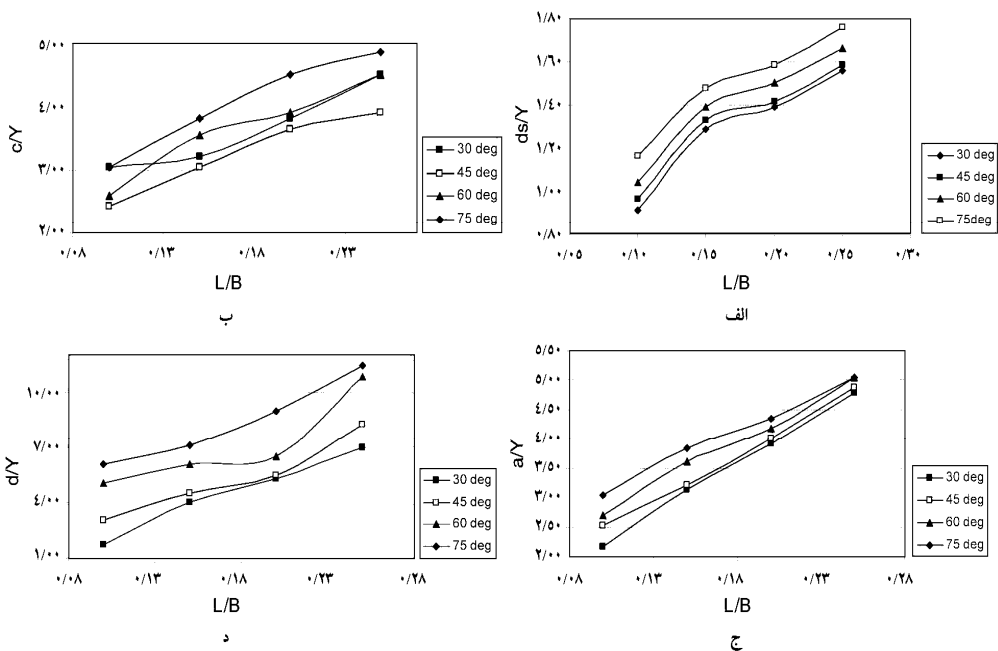
شکل (۱۵) برای نمونه تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی و پیش‌روی چاله به سمت پایین دست آب‌شکن برای اعداد فرود مختلف و در موقعیت ۶۰ درجه را نشان می‌دهد. عمق آب‌شستگی و ابعاد چاله آب‌شستگی نسبت به افزایش عدد فرود جریان در موقعیت‌های متفاوت استقرار آب‌شکن در قوس خارجی از روند صعودی برخوردار است. تغییرات زمانی ابعاد چاله آب‌شستگی در عدد فرود ۰/۳۴ در مورد بعضی پارامترهای چاله آب‌شستگی نظیر پیش‌روی چاله به سمت پایین دست اختلاف آشکاری نسبت به مقادیر فرود کمتر دارد که دلیل آن افزایش سرعت جریان، تمرکز تنش بیشتر و افزایش قدرت حمل رسوبات از چاله آب‌شستگی می‌باشد.



شکل ۱۵- تغییرات زمانی ابعاد چاله آب‌شستگی در اعداد فرود مختلف، (الف): عمق آب‌شستگی حداکثر و (ب): پیش‌روی چاله به سمت پایین دست.

ابعاد چاله آب‌شستگی در پایان زمان تعادل: با افزایش طول آب‌شکن سرعت جریان در محل استقرار آب‌شکن افزایش می‌یابد، این امر باعث افزایش تنش برشی در مقاطع بالادست آب‌شکن می‌گردد. با افزایش آشفتنگی در محدوده بین دیواره بال بالادست آب‌شکن و جان آب‌شکن قدرت گردابه‌ها افزایش می‌یابد. این مسأله باعث افزایش آب‌شستگی در بالادست آب‌شکن می‌گردد. شکل (۱۶) تغییرات عمق نسبی آب‌شستگی و ابعاد نسبی چاله آب‌شستگی در پایان زمان تعادل نسبت به طول نسبی آب‌شکن در موقعیت‌های مختلف استقرار آب‌شکن در قوس خارجی و برای فرود ۰/۳۴ و نسبت طول بال به جان واحد را نشان می‌دهد. روند صعودی تغییرات عمق آب‌شستگی و ابعاد چاله آب‌شستگی با افزایش طول آب‌شکن در شکل (۱۶) مشهود است. شکل (۱۶-الف) نشان می‌دهد که افزایش عمق آب‌شستگی در موقعیت‌های ۳۰ و ۴۵ درجه از تشابه بیشتری نسبت به هم برخوردار

است در حالی که نرخ افزایش عمق آب شستگی حداکثر در موقعیت‌های ۶۰ و ۷۵ درجه محسوس‌تر می‌باشد. شکل (۱۶-ب) بیانگر شباهت نرخ افزایش پیش‌روی چاله آب شستگی به سمت بالادست در طول‌های بزرگ‌تر از ۲۰ درصد عرض کانال و در موقعیت ۳۰ و ۶۰ درجه می‌باشد. شکل (۱۶-ج) نیز نشان می‌دهد که در موقعیت‌های استقرار آب‌شکن در زاویه ۳۰ و ۴۵ درجه افزایش پیش‌روی حفره آب‌شستگی در عرض کانال برای طول‌های بزرگ‌تر از ۱۵ درصد عرض کانال روند مشابهی دارد و این مسأله ناشی از برخورد مستقیم جریان از مسیر بالادست کانال می‌باشد. این روند در شکل (۱۶-د) و برای پیش‌روی حفره آب‌شستگی به سمت پایین‌دست نیز مشاهده می‌شود. همچنین دامنه تغییرات عمق آب‌شستگی حداکثر برای طول‌های مختلف آب‌شکن بین ۱/۲ تا ۲/۲ برابر، پیش‌روی حفره آب‌شستگی به سمت پایین‌دست آب‌شکن بین ۳/۵ تا ۱۱/۵ برابر، پیش‌روی چاله آب‌شستگی به سمت بالادست آب‌شکن بین ۳ تا ۶ برابر و پیش‌روی حفره آب‌شستگی به سمت عرض کانال بین ۳/۷ تا ۵/۸ برابر طول آب‌شکن می‌باشد.



شکل ۱۶- تغییرات ابعاد حفره آب‌شستگی نسبت به طول آب‌شکن در پایان زمان تعادل و در موقعیت‌های مختلف، (الف): عمق آب‌شستگی حداکثر (ب): پیش‌روی حفره به سمت بالادست (ج): پیش‌روی حفره در عرض کانال (د): پیش‌روی حفره به سمت پایین‌دست.

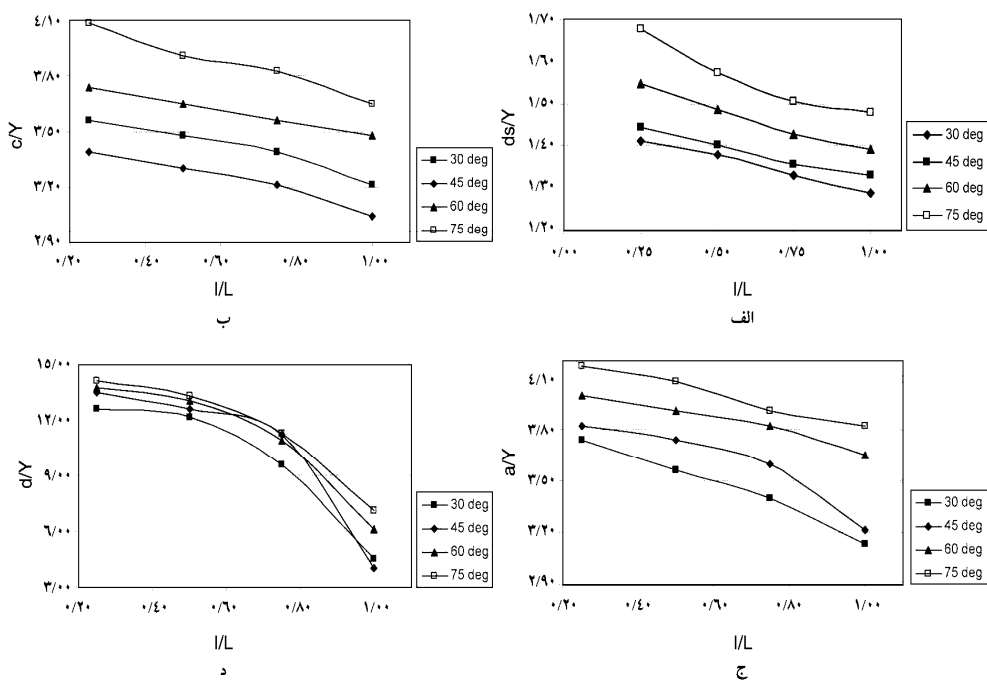
با افزایش طول بال آب‌شکن، ناحیه بین دیواره جان و دیواره ساحل خارجی گسترش می‌یابد و این مسأله باعث پایداری گرداب‌های تشکیل شده در این منطقه و انتقال رسوبات از ساحل خارجی بالادست به سمت دماغه بالادست آب‌شکن شده و در نتیجه از مقدار آب‌شستگی کاسته می‌شود. همچنین در پایین دست آب‌شکن نیز افزایش طول بال پایین دست باعث می‌شود که دیواره حفاظتی بال پایین دست بزرگ‌تر شود و جریان های اصلی ورودی از مسیر مستقیم به قوس این ناحیه را تحت تأثیر آب‌شستگی کمتری قرار دهند.

شکل (۱۷) تغییرات عمق نسبی آب‌شستگی و ابعاد نسبی حفره آب‌شستگی نسبت به طول نسبی بال آب‌شکن و در موقعیت‌های مختلف استقرار آب‌شکن در قوس خارجی برای فرود $0/34$ را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل (۱۷-الف) مشخص است با افزایش طول بال آب‌شکن عمق آب‌شستگی کاهش می‌یابد و این میزان کاهش، وقتی که طول بال آب‌شکن به طول خود آب‌شکن نزدیک می‌شود ($L/l = 1$) از نرخ کمتری برخوردار است. همچنین ابعاد حفره آب‌شستگی نیز با افزایش طول بال آب‌شکن، کاهش می‌یابد. همچنین دامنه تغییرات عمق آب‌شستگی حداکثر برای طول‌های مختلف بال آب‌شکن بین $1/6$ تا $2/1$ برابر، پیش‌روی حفره آب‌شستگی به سمت پایین دست آب‌شکن بین $5/8$ تا 18 برابر، پیش‌روی چاله آب‌شستگی به سمت بالادست آب‌شکن بین $4/1$ تا $5/2$ برابر و پیش‌روی حفره آب‌شستگی به سمت عرض کانال بین 4 تا $5/3$ برابر طول آب‌شکن می‌باشد.

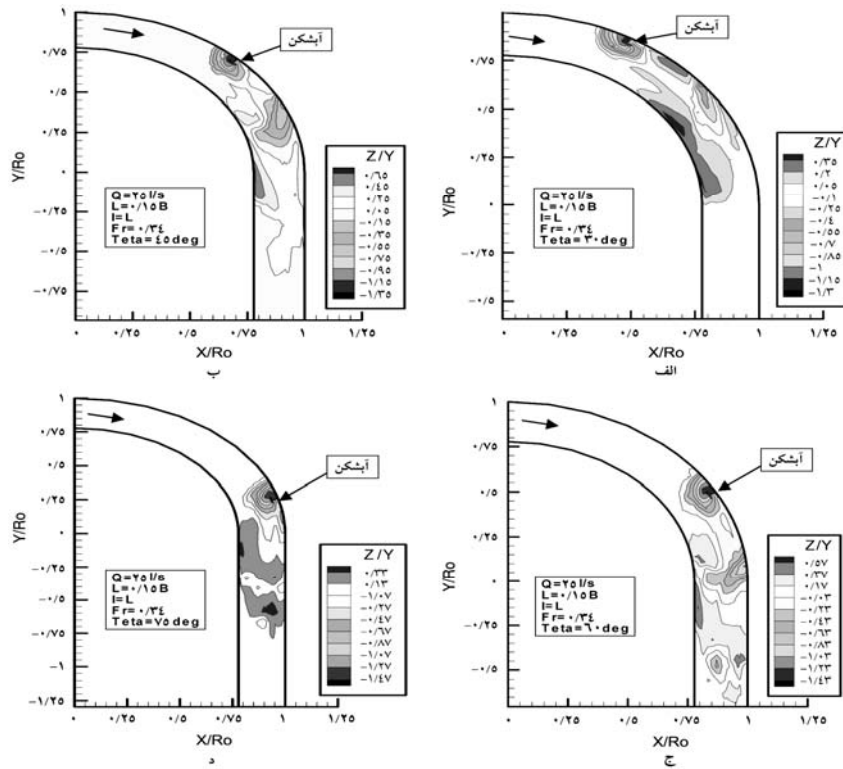
در شکل (۱۸) نمونه‌ای از توپوگرافی بدون بعد بستر در موقعیت‌های مختلف استقرار آب‌شکن و برای آب‌شکن با طول معادل 15 درصد عرض کانال و عدد فرود $0/34$ نشان داده شده است. در این شکل، R شعاع خارجی قوس و Z مقدار آب‌شستگی در هر نقطه از بستر می‌باشد. با تغییر موقعیت استقرار آب‌شکن از ابتدای قوس به سمت انتهای قوس تغییرات توپوگرافی بستر محسوس می‌باشد. در موقعیت استقرار آب‌شکن در زاویه 30 درجه به دلیل برخورد جریان از مسیر مستقیم بالادست رسوبات خروجی از حفره آب‌شستگی به سمت ساحل خارجی متمایل شده و رسوب‌گذاری در ساحل خارجی مشهود می‌باشد.

در پایین دست آب‌شکن نیز به دلیل جریان عبوری از روی رسوبات و برخورد به بستر اولیه و همچنین ایجاد گردابه‌های کوچک عمودی در پایین دست رسوبات خروجی از حفره آب‌شستگی اصلی، حفره دیگری ایجاد می‌شود. با کاهش قدرت حمل رسوبات از درون حفره آب‌شستگی به دلیل

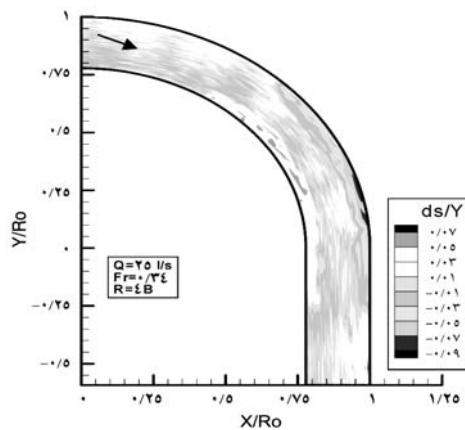
افزایش ارتفاع رسوبات پایین دست آب شکن، رسوبات به سمت ساحل داخلی حرکت می کند و ته نشینی رسوبات در ساحل داخلی مشاهده می گردد. با تغییر موقعیت استقرار آب شکن به سمت پایین دست قوس و انحنای خطوط جریان، رسوب گذاری در ساحل خارجی کمتر می شود. در زاویه استقرار ۷۵ درجه، رسوبات خروجی از حفره آب شستگی تحت تأثیر جریان در مسیر مستقیم پایین دست قرار می گیرند و رسوب گذاری به صورت تقریباً یکنواخت در عرض کانال توزیع می شود. این رسوبات وارد حفره تشکیل شده در پایین دست آب شکن شده و باعث از بین رفتن تقریبی حفره پایین دست می شوند. در شکل (۱۹) توپوگرافی قوس بدون آب شکن و در شرایط عدد فرود ۰/۳۴ نشان داده شده است. همان طور که در شکل مشخص است با افزایش سرعت جریان در انتهای قوس، آب شستگی در ساحل خارجی و رسوب گذاری در ساحل داخلی ایجاد گردیده است که علت آن افزایش قدرت جریان ثانویه در نیمه دوم قوس می باشد.



شکل ۱۷- تغییرات ابعاد حفره آب شستگی نسبت به طول بال آب شکن در پایان زمان تعادل و در موقعیت های مختلف استقرار آب شکن، (الف): عمق آب شستگی حداکثر (ب): پیش روی حفره به سمت بالادست (ج): پیش روی حفره در عرض کانال (د): پیش روی حفره به سمت پایین دست.

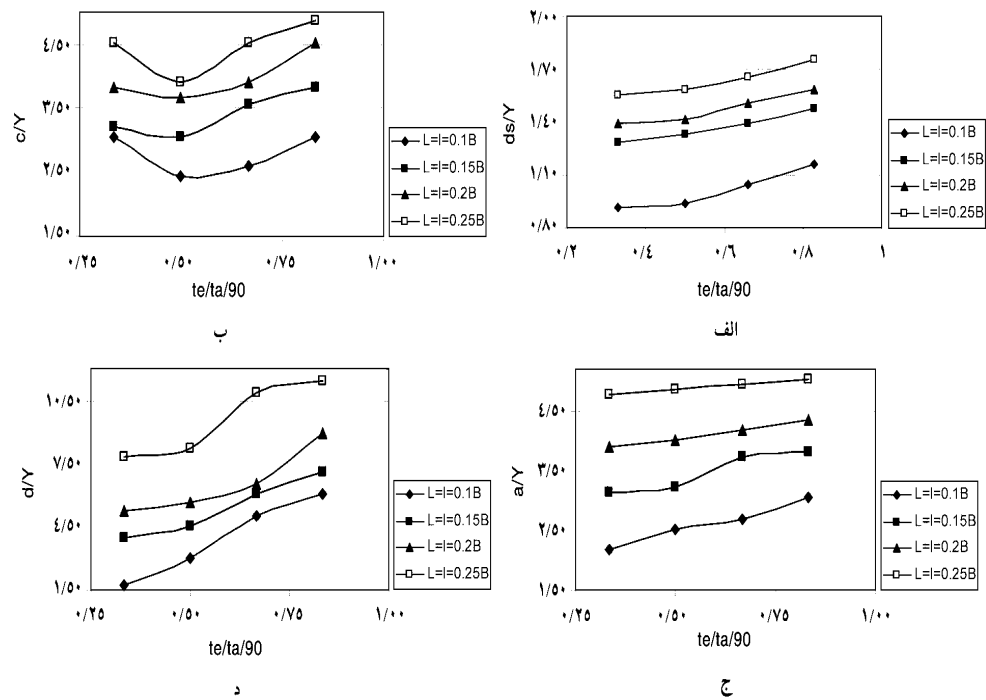


شکل ۱۸- توپوگرافی بدون بعد بستر، (الف): $\theta=30^\circ$ درجه (ب): $\theta=45^\circ$ درجه (ج): $\theta=60^\circ$ درجه (د): $\theta=75^\circ$ درجه برای طول جان آب‌شکن و طول بال معادل ۱۵ درصد عرض کانال.



شکل ۱۹- توپوگرافی بدون بعد بستر در قوس بدون آب‌شکن.

شکل (۲۰) تغییرات عمق نسبی آب‌شستگی و ابعاد نسبی حفره آب‌شستگی در موقعیت‌های مختلف استقرار آب‌شکن و در شرایط فرود $0/34$ و نسبت طول بال به جان واحد را نشان می‌دهد. این شکل بیانگر این است که با تغییر موقعیت آب‌شکن به سمت پایین‌دست قوس، عمق آب‌شستگی و ابعاد حفره آب‌شستگی روند صعودی دارد. شکل (۲۰-الف) نشان می‌دهد که اثر تغییر موقعیت بر روی آب‌شکن با طول 10 درصد عرض کانال بیشتر است و برای طول‌های دیگر آب‌شکن از نرخ افزایشی مشابه برخوردار است. شکل (۲۰-ب) بیانگر نرخ کاهشی پیش‌روی حفره آب‌شستگی به سمت پایین‌دست آب‌شکن تا زاویه 45 درجه می‌باشد. علت آن این است که در زاویه 45 درجه، جریان ورودی از مسیر بالادست به صورت مستقیم به محدوده آب‌شکن برخورد کرده و باعث ممانعت از پیش‌روی حفره آب‌شستگی به سمت پایین‌دست می‌شود.



شکل ۲۰- تغییرات ابعاد حفره آب‌شستگی نسبت به موقعیت استقرار آب‌شکن (الف): عمق آب‌شستگی حداکثر (ب): پیش‌روی حفره به سمت بالادست (ج): پیش‌روی حفره در عرض کانال (د): پیش‌روی حفره به سمت پایین‌دست.

با توجه به مشاهدات آزمایشگاهی با کم شدن عدد فرود جریان قدرت حمل رسوب از داخل حفره آب شستگی کمتر شده و پشته‌های رسوبی دارای حرکت کمتری خواهند بود. در عدد فرود پایین پشته رسوبی تشکیل شده در پایین دست قدرت حرکت جلو رونده را نداشته و رسوبات در انتهای دیواره بال جمع می‌شوند. و این به ایجاد یک ناحیه سکون و وارد نشدن جریان به این ناحیه کمک می‌کند و جریان‌هایی که در پایین دست آب‌شکن ایجاد می‌شوند در حرکت به سمت بالادست به این رسوبات برخورد کرده و رسوبات را در همان‌جا نگه می‌دارند و باعث ایجاد یک ناحیه سکون جریان می‌گردند. به همین دلیل میزان آب شستگی در پایین دست آب‌شکن در اعداد فرود کمتر از ۰/۳ ناچیز است. همچنین دامنه تغییرات عمق حداکثر آب شستگی در اعداد فرود مختلف بین ۹ تا ۱۹ برابر طول آب‌شکن، پیش‌روی حفره به سمت پایین دست بین ۲/۵ تا ۵ برابر طول آب‌شکن، پیش‌روی حفره در عرض کانال بین ۲/۲ تا ۴/۸ برابر طول آب‌شکن و پیش‌روی حفره به سمت پایین دست بین ۱/۳ تا ۹ برابر طول آب‌شکن می‌باشد.

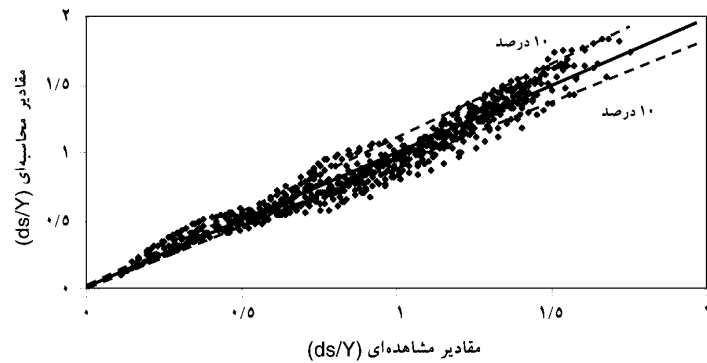
روابط کلی برای محاسبه ابعاد حفره آب شستگی: بررسی نتایج آزمایش‌ها نشان داد که مقادیر پارامترهای بررسی شده با توجه به تأثیر آنها بر روی عمق آب شستگی شکل توانی خواهند داشت و در نتیجه رابطه (۳) به صورت زیر تغییر خواهد کرد:

$$\frac{ds}{Y} = a \left(\frac{L}{B}\right)^b \left(\frac{l}{L}\right)^c \left(\frac{\theta}{90}\right)^d \left(\frac{t}{t_e}\right)^e (Fr)^f \quad (4)$$

که در آن ضرایب ثابت مقادیر تجربی هستند که با استفاده از داده‌های آزمایشی به دست خواهد آمد. مقادیر تجربی فوق براساس روش کمترین مربعات محاسبه گردید و در نهایت معادله (۴) پس از ساده‌سازی برای عمق آب شستگی به صورت زیر تبدیل می‌شود.

$$\frac{ds}{Y} = 25.7 \left(\frac{L}{B}\right)^{0.42} \left(\frac{l}{L}\right)^{-0.1} \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0.16} (Fr)^{0.9} \left(\frac{t}{t_e}\right)^{0.16} \quad (5)$$

مقدار ضریب همبستگی رابطه بالا برابر ۰/۹۷ می‌باشد. شکل (۲۱) مقایسه بین مقادیر محاسبه شده با استفاده از رابطه (۵) و مقادیر اندازه‌گیری شده عمق آب شستگی نسبی را نشان می‌دهد که بیانگر دقت قابل قبول معادله (۵) می‌باشد.



شکل ۲۱- مقایسه بین مقادیر محاسبه‌ای و مشاهده‌ای عمق آب‌شستگی نسبت به عمق جریان در زمان‌های مختلف.

به روش مشابه روابط زیر جهت تعیین پیش‌روی حفره آب‌شستگی به سمت بالادست c ، پیش‌روی حفره آب‌شستگی به سمت پایین‌دست d ، پیش‌روی عرضی حفره آب‌شستگی a ، به دست آمد:

$$\frac{c}{Y} = 25/\sqrt{(L/B)^{0.46} (L)^{-0.2} (\frac{\theta}{90})^{0.14} (\frac{t}{t_e})^{0.22} (1/65Fr)^{0.17}} \quad (6)$$

$$\frac{d}{Y} = 25/\sqrt{(L/B)^{0.78} (L)^{-0.59} (\frac{\theta}{90})^{0.22} (\frac{t}{t_e})^{0.2} (3Fr)^{0.74}} \quad (7)$$

$$\frac{a}{Y} = 25/\sqrt{(L/B)^{0.76} (L)^{-0.7} (\frac{\theta}{90})^{0.17} (\frac{t}{t_e})^{0.21} (2Fr)^{0.87}} \quad (8)$$

معادلات (۵)، (۶)، (۷) و (۸) در جدول (۱) ارائه شده است. مقادیر ضریب همبستگی (R^2)، RMSE و $RE = \frac{ds_{calculated}}{ds_{measured}}$ (محدوده تغییرات) برای

جدول ۱- محاسبه خطاهای آماری پارامترهای ذکر شده.

نام پارامتر	R^2	RMSE	RE
ds	۰/۹۷	۰/۰۸۶	۰/۷۵-۱/۳۲
a	۰/۹۴	۰/۰۳	۰/۶۵-۱/۴۵
c	۰/۹۳	۰/۰۳۹	۰/۶۹-۱/۳۸
d	۰/۸۶	۰/۰۹	۰/۶۵-۱/۴۵

نتیجه گیری

در این تحقیق، آزمایش‌ها جهت تعیین تغییرات زمانی ابعاد حفره آب‌شستگی در اطراف آب‌شکن T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه انجام گرفته است. پارامترهای مؤثر در این تحقیق تغییرات زمانی طول آب‌شکن، طول بال آب‌شکن، موقعیت استقرار آب‌شکن در قوس و عدد فرود جریان بوده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که:

- اندازه گردابه‌های افقی و سطحی ایجاد شده در بالادست آب‌شکن با محور عمودی در حرکت به سمت پایین دست آب‌شکن کوچک‌تر شده و از بین می‌رود.
- بال آب‌شکن T شکل باعث گسترده‌تر شدن ناحیه جدایی جریان می‌گردد و این باعث مکش جریان در فضای بین بال پایین دست و ساحل خارجی و ایجاد گردابه‌های افقی و قائم پایدار می‌شود که نتیجه آن کاهش آب‌شستگی در پایین دست آب‌شکن می‌باشد.
- تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی بیانگر این است که با افزایش طول آب‌شکن تغییرات زمانی آب‌شستگی در موقعیت‌های استقرار آب‌شکن در نیمه دوم قوس از تشابه بیشتری برخوردار است.
- در طول زمان آزمایش با افزایش طول آب‌شکن شیب منحنی آب‌شستگی در ۳۰ درصد اول زمان آزمایش افزایش می‌یابد و سپس شیب منحنی مربوط به طول‌های مختلف ثابت است.
- با افزایش طول آب‌شکن، آب‌شستگی حداکثر و ابعاد حفره آب‌شستگی بیشتر می‌شود، در حالی که از ابعاد حفره آب‌شستگی در پایین دست آب‌شکن کاسته می‌شود.
- در ۳۰ درصد ابتدای زمان آزمایش میزان پیش‌روی حفره آب‌شستگی برای طول‌های بزرگ‌تر از ۲۰ درصد عرض کانال تقریباً با هم برابر است.
- با تغییر موقعیت استقرار آب‌شکن به سمت انتهای قوس نرخ تغییرات زمانی پیش‌روی حفره آب‌شستگی به سمت پایین دست از روند صعودی برخوردار است.
- در ۳۰ درصد اول زمان آزمایش حدود ۸۰ درصد آب‌شستگی کل ایجاد شده است.
- دامنه تغییرات عمق آب‌شستگی حداکثر برای طول‌های مختلف آب‌شکن بین ۱/۲ تا ۲/۲ برابر، پیش‌روی حفره آب‌شستگی به سمت پایین دست آب‌شکن بین ۳/۵ تا ۱۱/۵ برابر، پیش‌روی چاله آب‌شستگی به سمت بالادست آب‌شکن بین ۳ تا ۶ برابر پیش‌روی حفره آب‌شستگی به سمت عرض کانال بین ۳/۷ تا ۵/۸ برابر طول آب‌شکن می‌باشد.

- در ۲۰ درصد اول زمان آزمایش شیب منحنی آب‌شستگی برای طول‌های بال بزرگ‌تر بیشتر است ولی در ادامه زمان آزمایش نسبت آب‌شستگی با طول‌های بال کوچک‌تر از شیب بیشتری برخوردار می‌باشند.
- با کاهش طول بال آب‌شکن، آب‌شستگی و ابعاد حفره آب‌شستگی بیشتر می‌شود. همچنین آب‌شستگی پایین‌دست آب‌شکن گسترش پیدا می‌کند.
- هرچه طول بال آب‌شکن کمتر باشد میزان پیش روی حفره آب‌شستگی به سمت پایین‌دست آب‌شکن بیشتر است.
- دامنه تغییرات عمق آب‌شستگی حداکثر برای طول‌های مختلف بال آب‌شکن بین $1/6$ تا $2/1$ برابر، پیش‌روی حفره آب‌شستگی به سمت پایین‌دست آب‌شکن بین $5/8$ تا 18 برابر، پیش‌روی چاله آب‌شستگی به سمت بالادست آب‌شکن بین $4/1$ تا $5/2$ برابر و پیش‌روی حفره آب‌شستگی به سمت عرض کانال بین 4 تا $5/3$ برابر طول آب‌شکن می‌باشد.
- بیشترین میزان رسوب‌گذاری در قوس خارجی و در زاویه استقرار 30 درجه آب‌شکن انجام می‌شود.
- با تغییر موقعیت استقرار آب‌شکن به سمت پایین‌دست قوس، آب‌شستگی حداکثر و ابعاد حفره آب‌شستگی بیشتر می‌شود، همچنین آب‌شستگی پایین‌دست آب‌شکن گسترش پیدا می‌کند.
- در زاویه استقرار 75 درجه، رسوبات خروجی از حفره آب‌شستگی به‌صورت تقریباً یکنواخت در عرض کانال توزیع می‌شود.
- پیش‌روی حفره آب‌شستگی به سمت پایین‌دست آب‌شکن تا زاویه 45 درجه دارای نرخ کاهشی می‌باشد.
- با افزایش عدد فرود جریان آب‌شستگی و ابعاد حفره آب‌شستگی بیشتر می‌شود و آب‌شستگی پایین‌دست آب‌شکن نیز گسترش پیدا می‌کند.
- دامنه تغییرات عمق حداکثر آب‌شستگی در اعداد فرود مختلف بین $0/9$ تا $1/9$ برابر، پیش‌روی حفره آب‌شستگی به سمت پایین‌دست بین $2/5$ تا 5 برابر، پیش‌روی حفره آب‌شستگی در عرض کانال بین $2/2$ تا $4/8$ برابر و پیش‌روی حفره آب‌شستگی به سمت پایین‌دست بین $1/3$ تا 9 برابر طول آب‌شکن می‌باشد.
- محل آب‌شستگی حداکثر در کلیه آزمایش‌ها در فاصله حدود 10 تا 20 درصد طول آب‌شکن از دماغه بال بالادست آب‌شکن و در کنار دیواره داخلی بال است.
- روابطی مناسب جهت تعیین ابعاد حفره آب‌شستگی حول آب‌شکن T شکل با توجه به پارامترهای ذکر شده و به‌صورت زمانی ارائه گردیده است.

منابع

1. Ahmad, M. 1953. Experiments on Design and Behavior of Spur dikes, Proc. Of Cong. Of IAHR, 145p.
2. Ahmad, M. 1951. Spacing and protection of spurs for bank protection. Civil Engineering and Publication review, Pp: 3-7.
3. Barbhuiya, A.K., and Dey, S. 2004. Local scour at abutments: A Review. Sadhana, 29: 5. 449-476.
4. Ballio, F., and Orsi, E. 2000. Time evaluation of scour around bridge abutments. Water Eng. Res., 2: 243-259.
5. Breusers, H.N.C. 1967. Time scale of two-dimensional local scour. Proc. 12th Cong. IAHR, 3: 275-282.
6. Cardoso, A.H., and Bettess, R. 1999. Effects of time and channel geometry on scour at bridge abutments. J. Hydraul. Eng., Am. Soc. Civ. Eng., 125: 388-399.
7. Carstens, M.R. 1966. Similarity laws for localized scour. J. Hydraul. Div., Am. Soc. Civ. Eng. 92: 13-36, CBI 1949 Pub. No. 49, Central Board of Irrigation, New Delhi.
8. Coleman, S.E., Lauchlan, C.S., and Melville, B.W. 2003. Clear-water scour development at bridge abutments. J. Hydraul. Res. 41: 521-531.
9. Cunha, L.V. 1975. Time evolution of local scour. Proc. 16th Conf. Int. Assoc. Hydraulic Research (Delft: IAHR), Pp: 285-299.
10. Dargahi, B. 1990. Controlling mechanism of local scouring. J. Hydraul. Eng., Am. Soc. Civ. Eng., 116: 1197-1214.
11. Ettema, R. 1980. Scour at bridge piers. Rep. No. 216, School of Engineering, University of Auckland Auckland, New Zealand. 156p.
12. Gill, M.A. 1972. Erosion and Sand Beds Around Spur dikes, Journal of Hydraulic Division., 98: 9. 876-884.
13. Giri, S., Shimizu, Y., and Surajata, B. 2004. Laboratory Measurement and Numerical Simulation of Flow and Turbulence in a Meandering-Like Flume with Spurs. Flow Measurement and Instrumentation, 15: 301-309.
14. Kandasamy, J.K. 1989. *Abutment scour*. Rep. No. 458, School of Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand, 216p.
15. Kohli, A., and Hager, W.H. 2001. Building scour in floodplains. *Water Maritime Eng., Proc. Inst. Civ. Eng. (London)*, 148: 61-80.
16. Mesbahi, J. 1992. On Combined Scour near Groynes in River Bends, M.Sc. Thesis. Netherlands. Delft University. Hydraulics Report. HH 132. 160p.
17. Oliveto, G., and Hager, W.H. 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. J. Hydraul. Eng., Am. Soc. Civ. Eng., 128: 811-820.
18. Rajaratnam, N., and Nwachukwu, B.A. 1983. Flow near groin-like structures. J. Hydraul. Eng., Am. Soc. Civ. Eng., 109: 463-480.
19. Salajeghe, M. 2003. Experimental study flow pattern around spur dike in 180 degree bend with rigid bed. Tehran University, Ph.D. Thesis, 214p. (In Persian).
20. Soliman, M.M., Attia, K.M., Kotb Talaat, A.M., and Ahmed, A.F. 1997. Spur Dike Effects on the River Nile Morphology after High Aswan Dam Congress of the International Association of Hydraulic Research, LAHR, 120: 9. 125-146.
21. Whitehouse, R.J.S. 1997. Scour at marine structures: a manual for engineers and scientists. Res. Rep. SR417, HR Wallingford Limited, Wallingford, UK, 216p.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 16(1), 2009
www.gau.ac.ir/journals

Investigation on time variation of scour around T shape spur dike in a 90 degree bend

***M. Vaghefi¹, M. Ghodsian² and S.A.A. Salehi Neyshaboori³**

¹Ph.D. student Dept. of Civil Engineering Tarbiat Modares University,

²Prof. Dept. of Hydraulic Structure, Tarbiat Modares University,

³Prof. Dept. of Hydraulic Engineering Tarbiat Modares University

Abstract

Spur dike is an important element for protection of river banks. Spur dike causes variations in flow field, sediment transport and bed topography. The mechanism of flow and sediment transport in a channel bend is very complex, especially when a spur dike is constructed in a bend. In this paper the time variations of dimension of the scour hole and the bed's topography were considered around a T shaped spur dike located in a 90 degree bend. For this purpose, the experiments were carried out in a 90 degree channel bed with uniform sediments having average diameter of 1.28 mm under clear water condition. The time variations of parameters such as length of the spur dike and its wing, the location of the spur dike in the outer part of the bend and Froude number on dimensions of scour hole around a T shaped spur dike and the bed's topography were studied. The results showed that by increasing the length of the spur dike, decreasing the wing length of the spur dike, increasing the Froude number and changing the location of spur dike towards the down stream of bend, the dimension of scour hole increased.

Keywords: Time Variation, T Shape spur dike, Dimension of scour hole, Bed topography, Maximum scour

* Corresponding Author; Email: vaghefi@modares.ac.ir

