

# تأثیر تنگ‌شدگی کانال و زاویه آب‌شکن در کاهش آب‌شستگی

مجتبی صانعی<sup>۱</sup>، استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آب‌خیزداری

پذیرش مقاله: ۱۳۸۹/۱۲/۱۵

دریافت مقاله: ۱۳۸۹/۰۶/۲۷

## چکیده

آب‌شکن‌ها سازه‌هایی هستند که معمولاً در حفاظت دیواره خارجی قوس‌ها و طرح‌های اصلاح مسیر رودخانه، به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله مسائل مهم در طراحی آب‌شکن‌ها، پدیده آب‌شستگی موضعی دماغه آن‌ها است که به‌علت تنگ‌شدگی مقطع جریان و وجود گردابه‌های قوی به‌وجود می‌آید. در این تحقیق بررسی آزمایشگاهی تأثیر طول و زاویه قرارگیری آب‌شکن فرعی در بالادست آب‌شکن اصلی، در کاهش فرسایش در دماغه اولین آب‌شکن انجام می‌گیرد. برای این منظور از یک آب‌شکن کوتاه‌تر (فرعی) در بالادست اولین آب‌شکن استفاده می‌شود که به دو صورت عمود بر جریان و زاویه‌دار نسبت به جریان قرار می‌گیرد. در این مقاله عوامل بی‌بعد، نسبت تنگ‌شدگی  $0/3$  و  $0/4$  و  $0/45$  و  $L/B=0/45$ ،  $L$  (طول آب‌شکن اصلی و  $B$  عرض کانال) نسبت طول آب‌شکن فرعی به طول آب‌شکن اصلی  $0/5$  و  $0/6$  و  $L'/L=0/7$ ،  $L'$  (طول آب‌شکن فرعی) و  $x$  فاصله بین آب‌شکن اصلی با فرعی  $2/5$  و  $1/5$  و  $1$  و  $x/L=0/5$  و  $d_1$  بیشینه عمق فرسایش در دماغه آب‌شکن اصلی بدون کاربرد آب‌شکن فرعی برای نسبت تنگ‌شدگی‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. نتایج براساس برازش رگرسیونی بر داده‌های آزمایشگاهی به‌صورت رابطه‌ای برای تخمین میزان کاهش آب‌شستگی دماغه اولین آب‌شکن، نسبت به دو حالت بدون آب‌شکن فرعی و با آن ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: حفاظت دیواره، طراحی، دماغه، رگرسیون، مدل آزمایشگاهی

## مقدمه

عوامل هیدرولیکی جریان نقش به‌سزایی در ایجاد فرسایش و تخریب سواحل رودخانه‌ها دارند. هرگونه افزایش سرعت، دبی، تنش برشی و گردابه‌ها سبب آب‌شستگی در بستر و پای سواحل می‌شود. با توسعه آب‌شستگی بستر و سواحل، ارتفاع و شیب قرارگیری سواحل افزایش یافته که در اثر نیروی ثقل موجب ریزش و تخریب آن‌ها می‌شود. لذا لازم است تا روش‌های حفاظتی برای کنترل فرسایش سواحل اجرا شود.

از جمله روش‌های حفاظت سواحل، ساخت سازه‌هایی است که بر خطوط جریان تأثیر گذاشته و موجب انحراف آن‌ها از دیواره‌های فرسایش‌پذیر به میان رودخانه می‌شود و یا با کاهش سرعت از شدت برخورد جریان با دیواره کاسته و توانایی رسوب‌گذاری جریان را افزایش می‌دهد. ساخت انواع آب‌شکن‌ها و صفحه‌های مستغرق از جمله این روش‌ها است. آب‌شکن‌ها سازه‌هایی هستند که معمولاً در حفاظت دیواره خارجی قوس‌ها و طرح‌های اصلاح مسیر رودخانه، به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله مسائل مهم در طراحی آب‌شکن‌ها، پدیده آب‌شستگی موضعی دماغه آن‌ها است که به‌علت تنگ‌شدگی مقطع جریان و وجود گردابه‌های قوی به‌وجود می‌آید.

با توجه به خصوصیات جریان، بیش‌ترین فرسایش در دماغه اولین آب‌شکن رخ می‌دهد و در اثر فرسایش بیش از حد، به‌ویژه در مواقع سیلابی، پایداری سازه از بین رفته و اولین آب‌شکن به‌کلی منهدم می‌شود و ممکن است سایر آب‌شکن‌ها نیز در مخاطره قرار گیرند. به‌علت ماهیت سه‌بعدی و پیچیده جریان‌های گردابی اطراف دماغه آب‌شکن، هنوز تحلیلی جامع و کامل برای عمق آب‌شستگی دماغه آن‌ها ارائه نشده است. محققین بسیاری تلاش زیادی در ارائه

<sup>۱</sup> نویسنده مسئول drsaneie@gmail.com

رابطه‌ای تجربی برای تخمین میزان آب‌شستگی موضعی دماغه آب‌شکن‌ها انجام داده‌اند که اکثر آن‌ها بر پایه نتایج و داده‌های آزمایشگاهی استوار است. به‌علت گستردگی عوامل مؤثر بر پدیده آب‌شستگی و تنوع رفتار آب‌شکن‌ها در حالات مختلف، تحقیقات در این زمینه هم‌چنان ادامه دارد. پژوهش‌گران عمق آب‌شستگی موضعی بیشینه در دماغه آب‌شکن‌ها را مورد مطالعه قرار داده‌اند. Lacey (۱۹۳۶)، معادله زیر را با استفاده از معادله رژیم جریان ارائه کرده است.

$$h_0 + \Delta h_1 = 0.47k \left( \frac{Q}{F} \right)^{0.33} \quad (1)$$

که در آن،  $h_0$  عمق جریان یک‌نواخت،  $\Delta h_1$  عمق بیشینه آب‌شستگی به‌دلیل وجود آب‌شکن افزایش یافته،  $F$  ضریب لیزی برابر با  $1.76\sqrt{D}$  که  $D$  قطر متوسط مصالح کف (میلی‌متر)،  $Q$  دبی (مترمکعب بر ثانیه)، و  $K$  ضریب مربوط به نوع کانال است که مقدار آن را می‌توان از جدول ۱ به دست آورد.

جدول ۱- مقادیر  $K$  ضریب مربوط به نوع کانال

نوع کانال	مستقیم	پیچ متوسط	پیچ تند	پیچ قائم
k	۱/۲۷	۱/۵	۱/۷۵	۲

Khosla و همکاران (۱۹۳۶)، بر اساس رابطه لیزی عمق آب‌شستگی را با رابطه زیر به شدت دبی ارتباط داده است.

$$h_0 + \Delta h_1 = 0.9 \left( \frac{q^{2/3}}{F} \right)^{0.33} \quad (2)$$

که در آن،  $q$  دبی در هر فوت از عرض کانال اصلی (فوت مربع بر ثانیه)،  $F$  ضریب لیزی،  $h_0$  و  $\Delta h_1$  عمق جریان یک‌نواخت و عمق بیشینه آب‌شستگی (فوت) است.

Ahmad (۱۹۵۳)، مطالعاتی در زمینه آب‌شستگی آب‌شکن‌های منفرد در کانال‌های با دیواره قائم اجرا کرد و رابطه زیر را برای محاسبه بیشینه عمق آب‌شستگی ارائه داد.

$$h_0 + \Delta h_1 = k(\alpha_1)q_c^{0.33} \quad (3)$$

که در آن،  $\alpha_1$  زاویه آب‌شکن،  $k(\alpha_1)$  ضریبی است که از جدول ۲ تعیین می‌شود،  $q_c$  شدت دبی در مقطع تنگ شده در واحد عرض. واحدها متریک و دانه‌بندی در دامنه  $0.2 < D_{50} < 0.7$  میلی‌متر است.

جدول ۲- ضریب  $k(\alpha_1)$  بر حسب زاویه آب‌شکن

$\alpha_1$	۱۵۰درجه	۱۲۰درجه	۹۰درجه	۶۰درجه	۴۵درجه	۳۰درجه	$k(\alpha_1)$
	۲/۴۵	۲/۴۰	۲/۲۵	۲/۱۵	۲/۱۰	۱/۸۰	

Liu و همکاران (۱۹۶۱)، نیز روابط زیر را برای محاسبه عمق آب‌شستگی ارائه دادند.

$$\frac{\Delta h_1}{h_0} = 1.1D \left( \frac{L}{h_0} \right)^{0.4} F_{r1}^{0.33} \quad L/h_0 < 25 \quad (4)$$

$$\frac{\Delta h_1}{h_0} = 4 F_{r1}^{0.33} \quad L/h_0 > 25 \quad (5)$$

که در آن،  $\Delta h_1$  عمق تعادل آب‌شستگی،  $L$  طول قائم آب‌شکن،  $F_{r1} = \frac{u_0}{\sqrt{gh_0}}$ ،  $u_0$  سرعت متوسط جریان در بالادست،  $h_0$  و  $u_0$  به‌ترتیب، عمق و سرعت متوسط جریان در بالادست آب‌شکن. عمق ماکزیمم آب‌شستگی برابر است با  $(\Delta h_1)_{\max} = 1.3\Delta h_1$  و همکاران (۱۹۶۱)، نیز آب‌شکن‌های ورقه‌ای شکل در فلوم به‌عرض ۲ فوت انجام و تأثیر جریان، آب‌شکن و رسوب را بررسی کرده و به معادله زیر دست یافته‌اند.

$$\frac{h_0 + \Delta h_1}{h_0} = k \left( \frac{1}{\alpha} \right) F_{r1}^n \quad (6)$$

که در آن،  $n$  و  $K$  تابع  $C_D = \frac{4\Delta_s D}{3\omega^2 \rho}$ ،  $C_D$ ،  $\omega$  سرعت سقوط رسوبات،  $\Delta_s$  و  $D$  اختلاف وزن رسوب و آب و قطر متوسط مصالح کف،  $\rho$  جرم مخصوص آب و  $\alpha$  نسبت بازشدگی  $(B-L)/B$  که در آن  $B$  عرض کانال و  $L$  طول آبشکن است. Gill (۱۹۷۲)، بیشینه آبشستگی را به شکل معادله زیر بیان کرد.

$$\frac{h_0 + \Delta h_1}{h_0} = 8.375 \left( \frac{d_{50}}{h_0} \right)^{1/4} \left( \frac{1}{\alpha} \right)^{6/7} \quad (7)$$

Peterson (۱۹۸۶)، معادله زیر را در مورد آبشستگی آبشکن‌ها ارائه داد. دیواره آبشکن قائم است. در صورتی که طرفین و دماغه آبشکن شیب‌دار باشد، مقدار  $\Delta h_1$  حدود ۲۰٪ کاهش می‌یابد.

$$\frac{L}{h_0} = 2.75 \frac{\Delta h_1}{h_0} \left[ \left( \frac{\Delta h_1}{11.5 h_0} + 1 \right)^{1.69} - 1 \right] \quad (8)$$

Lim و Tong (۱۹۹۱)، روابط زیر را توصیه کرده‌اند.

$$\frac{h_0 + \Delta h_1}{h_0} = f(F_0, Z, \alpha) \quad z = \frac{h_0}{d_{50}} \quad F_0^2 = \frac{\rho u_0^2}{\Delta \gamma_s d_{50}} \quad (9)$$

برای آب صاف و بستر متحرک Lim و Tong (۱۹۹۱) به همراه Garde و همکاران (۱۹۶۰)، Tison (۱۹۶۱)، Gill (۱۹۷۲)، Zagloul (۱۹۸۳) و Kwen (۱۹۸۴) رابطه برازش داده زیر را به دست آوردند. در محدوده  $d_{50}=0.29$  و  $d_{50}=1.6$  میلی‌متر مطلوب بوده است.

$$\frac{h_0 + \Delta h_1}{h_0} = 6.20 (F_0)^{9/14} Z^{-5/14} \alpha^{-6/7} \quad \text{بستر ماسه‌ای} \quad (10)$$

$$\frac{h_0 + \Delta h_1}{h_0} = 3.55 (F_0)^{9/14} Z^{-5/14} \alpha^{-6/7} \quad \text{بستر شنی} \quad (11)$$

که در آن،  $Z$  عمق جریان در بالادست به متوسط قطر ذرات بستر،  $\alpha$  نسبت بازشدگی عرض آبراهه،  $\Delta \gamma_s$  اختلاف وزن مخصوص مصالح بستر و وزن مخصوص آب،  $u_0$  سرعت جریان در بالادست، و  $\rho$  چگالی سیال است. Lim و Chiew (۱۹۹۲)، ۱۸۳ موضوع مطالعاتی آبشستگی برای آبشکن‌های با دیواره‌ی قائم و عمود بر ساحل رودخانه را بررسی نمودند. ایشان براساس یافته‌ها و نظرات Neill (۱۹۷۳) از عامل نسبت طول آبشکن به عمق جریان بالادست ( $L/h_0$ ) استفاده کردند و معادله زیر را پیشنهاد کردند.

$$\frac{h_0 + \Delta h_1}{h_0} = 4.38 (F_0)^{0.75} \left( \frac{d_{50}}{h_0} \right)^{0.25} \left( \frac{L}{h_0} \right)^{0.29} \quad \sigma_g < 1.5$$

$$3.93 < \sigma_g < 1.52 \quad k_\sigma = f(\sigma_g) \text{ و } k_\sigma < 0.7 \quad 0.3 < \sigma_g < 1.52 \quad (12)$$

$$\frac{h_0 + \Delta h_1}{h_0} = 3.5 k_\sigma (F_0)^{0.75} \left( \frac{d_{50}}{h_0} \right)^{0.25} \left( \frac{L}{h_0} \right)^{0.29} \quad (13)$$

Laursen (۱۹۶۲)، برای بیشینه عمق فرسایش موضعی، رابطه نیمه تجربی زیر را ارائه کرده است که برای  $r=12$  و  $\alpha=2.75$  ثابت‌های تجربی:

$$\frac{\Delta h_1}{h_0} = \sqrt{\frac{rL}{\alpha h_0}} \quad (14)$$

$$\frac{\Delta h_1}{h_0} = 2.09 \sqrt{\frac{L}{h_0}} \quad (15)$$

رابطه فوق برای دیواره‌های عمودی است و ضرایب آن باید در شرایط صحرائی مدرج گردد. Melville (۱۹۹۲)، یک رابطه تجربی برای پیش‌بینی بیشینه عمق فرسایش موضعی در آبشکن‌های قائم پیشنهاد داده است.

$$\frac{L}{h_0} < 1 \quad \frac{\Delta h_1}{h_0} = 2\left(\frac{L}{h_0}\right) \quad \text{آبشکن کوتاه} \quad (16)$$

$$1 < \frac{L}{h_0} < 25 \quad \frac{\Delta h_1}{h_0} = 2\sqrt{\frac{L}{h_0}} \quad \text{آبشکن متوسط} \quad (17)$$

$$\frac{L}{h_0} > 25 \quad \frac{\Delta h_1}{h_0} = 10 \quad \text{آبشکن بلند} \quad (18)$$

Richardson و همکاران (۱۹۷۵)، نموداری برای محاسبه درصد کاهش و یا افزایش آبشستگی نسبت به تغییر زاویه آبشکن ارائه کرده‌اند. جدول ۳ مقادیر مستخرج از نمودار را نشان می‌دهد. وسعت آبشستگی از روی زاویه ایستایی رسوبات بستر و عمق آبشستگی به دست می‌آید. Petersen (۱۹۸۶) میزان گسترش آبشستگی را بیشینه معادل  $2.75\Delta h_1$  بیان کرده است. اندرواژ، (۱۳۷۶)، آزمایش‌های متعددی در فلوم آزمایشگاهی برای یک آبشکن منفرد با تعبیه آبشکن فرعی در بالادست آن و با طولی کوتاه‌تر اجرا کرد. جدول ۴ منتخبی از نتایج به دست آمده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، افزودن آبشکن فرعی در بالادست سبب کاهش یافتن میزان آبشستگی در دماغه آبشکن اصلی است.

جدول ۳- ضرایب نمودار Richardson و همکاران (۱۹۷۵) در محاسبه آبشستگی

آبشستگی اولیه/ عمق آبشستگی	۰/۶	۰/۸	۰/۹	۱/۰	۱/۱	۱/۲
زاویه آبشکن با امتداد رودخانه (زاویه)	۳۰	۴۵	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰

جدول ۴- نتایج منتخب کاهش فرسایش در دماغه اولین آبشکن به هنگام کاربرد آبشکن فرعی

L'/L	X/L	درصد کاهش عمق فرسایش در آبشکن اصلی		
		Fr=۰/۳	Fr=۰/۴	Fr=۰/۵
۰/۷۵۰	۰/۵	۰/۷۳	۰/۵۹	۰/۵۳
۰/۶۲۵	۱/۰	۰/۵۴	۰/۴۷	۰/۳۴
۰/۵۰۰	۱/۵	۰/۴۶	۰/۲۵	۰/۲۴

صانعی و همکاران (۱۳۷۶)، براساس برازش منحنی بر ۷۲ داده آزمایشگاهی رابطه زیر را با ضریب تعیین  $R^2=۰/۹۳$  برای تخمین میزان کاهش آبشستگی دماغه آبشکن اصلی با استفاده از آبشکن فرعی ارائه کردند.

$$\frac{h_0 + \Delta h_1}{h_0} = 1.30 - 0.25\left(\frac{x}{L}\right) - 1.85\left(\frac{L'}{L}\right) + 0.06\left(\frac{x}{L}\right)^2 + 0.22\left(\frac{xL'}{L^2}\right) + 1.99\left(\frac{L'Fr}{L}\right) \quad (19)$$

در رابطه فوق  $x$  فاصله افقی آبشکن فرعی از آبشکن اصلی در جهت بالادست،  $L'$  طول آبشکن فرعی و  $Fr$  عدد فرود جریان است. صانعی و همکاران (۱۳۷۶)، برای انتخاب طول و فاصله بهینه آبشکن فرعی برای کم‌ترین آبشستگی در دماغه‌ی اولین آبشکن (اصلی) رابطه زیر را توصیه کرده‌اند.

$$\frac{L'}{L} = 1.104 - 0.577\left(\frac{x}{L}\right) \quad 0.5 < x/L < 2.5 \quad (20)$$

قربان‌خانی (۱۳۷۷)، با استفاده از آبشکن کوتاه‌تر در فاصله معینی از اولین آبشکن در دو حالت عمود و زاویه‌دار با کناره کانال، آزمایش‌های متعددی اجرا کرده‌اند. نتایج آزمایشگاهی وی به‌قرار زیر است.

۱. کمینه فرسایش در حالتی است که فاصله بین اپی اصلی و فرعی  $1/5$  تا  $2$  برابر طول اپی اصلی باشد.
۲. برای درصد تنگ شدگی‌های کوچک‌تر، تأثیر اپی فرعی عمودی برای کاهش فرسایش، بیش‌تر است.
۳. هر چه طول اپی فرعی بیش‌تر می‌شود، فرسایش در نوک آن نیز افزایش پیدا می‌کند.
۴. کاهش فرسایش در سر اپی اصلی با اپی فرعی عمودی، بیش‌تر از حالت مشابه در اپی فرعی مورب است.

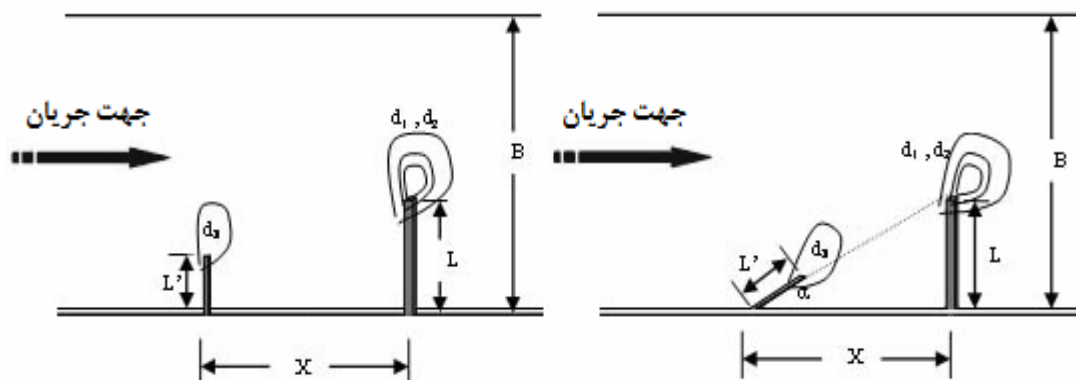
صانعی و همکاران (۱۳۸۸) تاثیر شکل دماغه آبشکن برالگوی آبشستگی را با سه شکل دماغه دایروی، چندضلعی و مستطیلی به وسیله مدل آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. آنان نشان دادند که دماغه دایروی کمترین آبشستگی را نسبت به دو شکل دیگر ایجاد می کند. صانعی و صادقی (۱۳۸۸) با استفاده از مدل آزمایشگاهی طول آبشکن اول را برای کاهش آبشستگی موضعی بهینه یابی کردند. آنان بیان داشتند که آبشستگی نسبی دماغه اولین آبشکن، در آبشکن های متوالی، به عدد فرود جریان و نسبت عمق جریان به طول آبشکن بستگی دارد. آنان رابطه (۲۱) را با ضریب تعیین  $R^2 = 0.939$  ارائه کردند.

$$\frac{d_1}{L} = 5.667 \left(\frac{h}{L}\right)^{0.655} (Fr)^{2.672} \quad (21)$$

که در آن،  $h$  عمق جریان،  $L'$  طول آبشکن،  $Fr$  عدد فرود جریان در بالادست آبشکن و  $d_1$  عمق آبشستگی در دماغه آبشکن است.

### مواد و روش ها

آزمایش ها در فلومی به طول ۴ متر و عرض ۰/۶ متر و عمق ۰/۲ متر انجام شده است، شیب فلوم برابر ۰/۰۰۱۵ در نظر گرفته شد. مصالح بستر با دانه بندی  $d_{50} = 0.8 \text{ mm}$  انتخاب گردید. اندازه گیری عمق با استفاده از ژرف سنج با دقت ۰/۱ میلی متر و برای اندازه گیری دبی از مولینه پروانه ای با دقت ۰/۲ لیتر بر ثانیه استفاده شد. عمق جریان در پائین دست توسط دریچه ای در انتهای فلوم تنظیم شد. عوامل فیزیکی مورد استفاده در آزمایش ها، به شرح ذیل است.  $B$  عرض فلوم،  $L$  طول آبشکن اصلی،  $L'$  طول آبشکن فرعی،  $d_1$  عمق فرسایش در دماغه آبشکن اصلی،  $d_2$  عمق فرسایش در دماغه آبشکن اصلی با استفاده از آبشکن فرعی،  $d_3$  عمق فرسایش در دماغه آبشکن فرعی،  $X$  فاصله آبشکن فرعی از آبشکن اصلی،  $\theta$  زاویه آبشکن فرعی با دیواره فلوم (شکل ۱).



شکل ۱- جانمایی آبشکن اصلی و فرعی در حالات آبشکن فرعی قائم و مایل

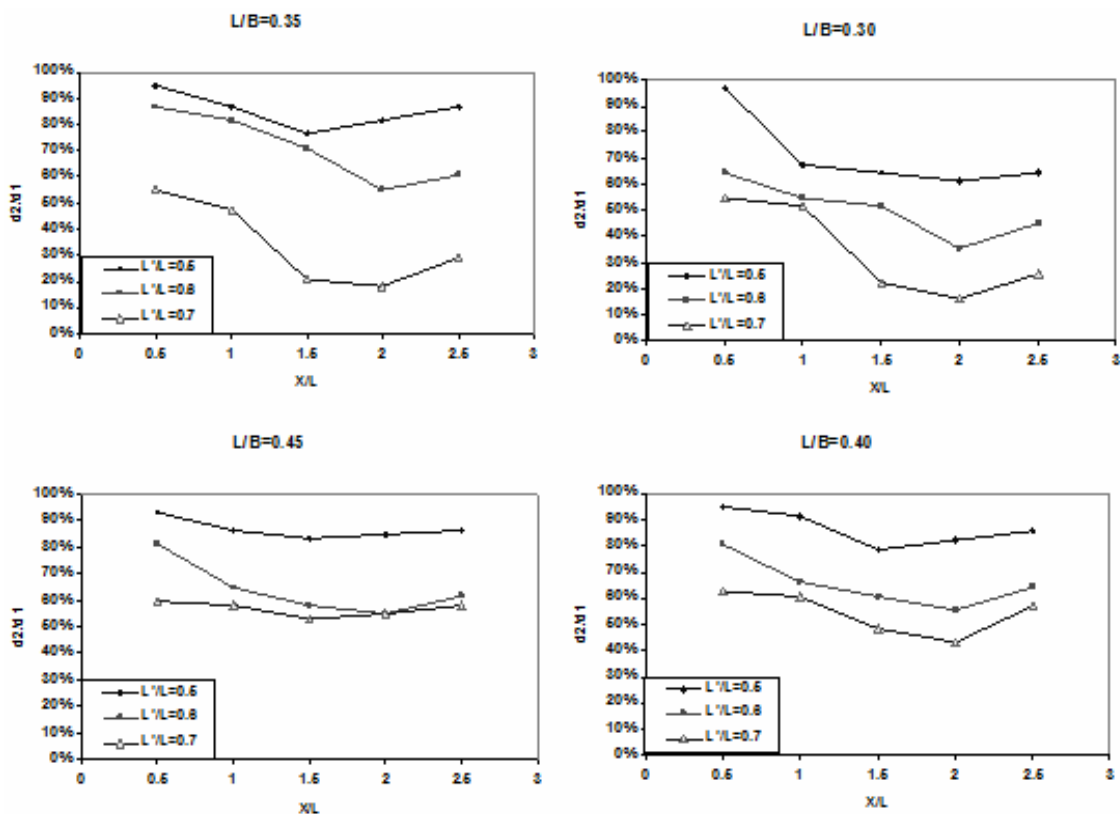
آبشکن مورد استفاده در این تحقیق از نوع ناتراوا، غیر مستغرق و متعامد است. عدد فرود جریان ۰/۳ و عمق نرمال ۳۷ میلی متر در تمامی آزمایش ها و در بالادست آبشکن بوده است. پس از اجرای چند آزمایش و انجام مشاهدات لازم، زمان ۱۰ دقیقه برای هر آزمایش آبشستگی در دماغه آبشکن برگزیده شد، (بعد از ۵ دقیقه، رسوب برداری از کف مشاهده نمی شد). بعد از اجرای هر آزمایش آب درون گودال ها تخلیه شده و سپس عمق مربوط به آبشستگی اندازه گیری شد.

**تحلیل داده های آزمایشگاهی:** هدف از اجرای آزمایش ها دست یابی به کمینه میزان آبشستگی در دماغه اولین آبشکن با استفاده از آبشکن فرعی است. در این آزمایش ها از یک آبشکن فرعی کوتاه تر در بالادست آبشکن اصلی، و عمود بر ساحل و مورب استفاده می شود. طول آبشکن فرعی، فاصله آن در بالادست آبشکن اصلی و زاویه مناسب قرارگیری آبشکن فرعی با ساحل سؤال اصلی مسئله است. عوامل متغیر اندازه گیری شده به شرح زیر است:  $L$  طول

آبشکن اصلی ۴ گزینه: (نسبت تنگ‌شدگی ۰/۳ و ۰/۳۵ و ۰/۴ و ۰/۴۵)،  $L'/L$  طول آبشکن: ۰/۵ و ۰/۶ و ۰/۷.  $L'/L = x$  فاصله بین آبشکن اصلی و فرعی: ۲/۵ و ۲ و ۱/۵ و ۱ و ۰/۵ و  $x/L = d_1$  بیشینه عمق فرسایش در دماغه آبشکن اصلی بدون کاربرد آبشکن فرعی، برای نسبت تنگ‌شدگی‌های مختلف اندازه‌گیری شده است (جدول ۵).  
 تعداد کل آزمایش‌ها، با چهار تغییر طول آبشکن اصلی، سه تغییر طول آبشکن فرعی، پنج تغییر فاصله آبشکن فرعی و آبشکن اصلی و دو تغییر زاویه برای آبشکن فرعی، ۱۲۰ عدد است. شکل ۲، میزان کاهش آبشستگی در دماغه اولین آبشکن را براساس تغییرات عوامل مؤثر بر آبشستگی نشان می‌دهد. آزمون آماری و برازش رگرسیونی داده‌ها رابطه توانی زیر را با ضریب تعیین  $R^2 = 0.78$  برای آبشکن فرعی قائم و  $R^2 = 0.73$  برای آبشکن فرعی مایل ارائه می‌کند. در شکل ۳ مقایسه داده‌های مشاهده‌ای و محاسباتی برای نسبت  $d_3/d_1$  و در شکل ۴ مقایسه داده‌های مشاهده‌ای با رابطه توانی محاسباتی در دو حالت آبشکن قائم و مایل نشان داده شده است.

جدول ۵ - مقادیر بیشینه فرسایش در دماغه به ازای نسبت تنگ‌شدگی

L/B	۰/۳	۰/۳۵	۰/۴	۰/۴۵
$d_1$ mm	۳۱	۳۸	۵۶	۶۰



شکل ۲- میزان کاهش آبشستگی در دماغه اولین آبشکن براساس عوامل مختلف

$$\frac{d_2}{d_1} = 0.48 \left(\frac{L}{B}\right)^{0.57} \left(\frac{L'}{L}\right)^{-1.67} \left(\frac{x}{L}\right)^{-0.18} \quad R^2=0.78 \quad \text{آبشکن فرعی قائم} \quad (22)$$

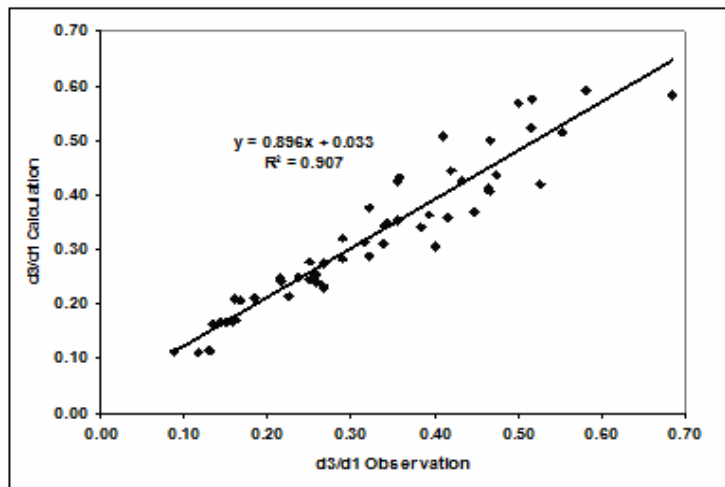
$$\frac{d_2}{d_1} = 0.62 \left(\frac{L}{B}\right)^{0.13} \left(\frac{L'}{L}\right)^{-0.83} \left(\frac{x}{L}\right)^{-0.28} \alpha^{-0.42} \quad R^2=0.73 \quad \text{آبشکن فرعی مایل} \quad (23)$$

$$\frac{d_3}{d_1} = 0.674 \left(\frac{L}{B}\right)^{-0.105} \left(\frac{L'}{L}\right)^{2.149} \left(\frac{x}{L}\right)^{0.559} \quad R^2=0.907 \quad \text{آبشکن فرعی قائم} \quad (24)$$

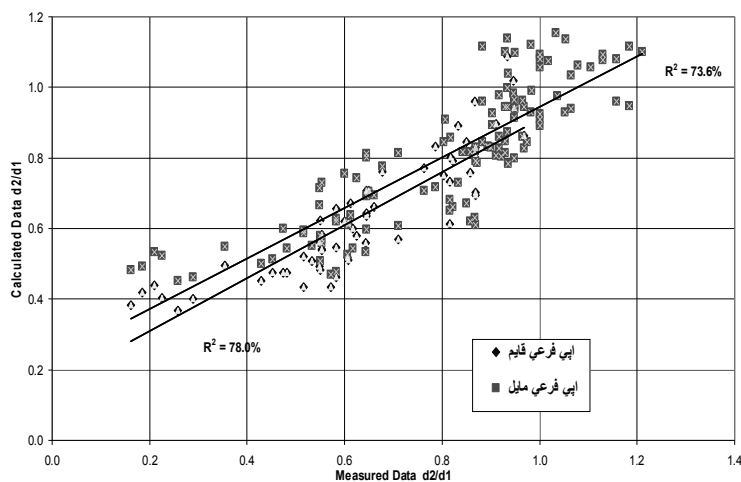
$$\frac{d_3}{d_1} = 0.366 \left(\frac{L}{B}\right)^{-0.123} \left(\frac{L'}{L}\right)^{2.120} \left(\frac{x}{L}\right)^{0.664} \alpha^{1.123} \quad R^2=0.921 \quad \text{آبشکن فرعی مایل} \quad (25)$$

### نتایج و بحث

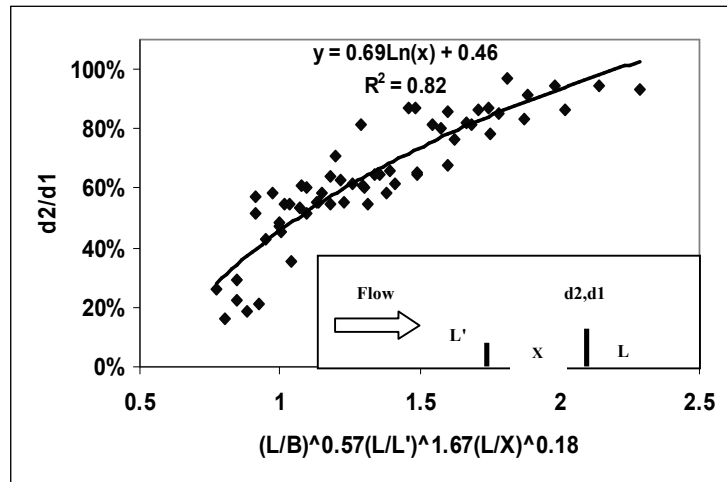
در استفاده از آبشکن فرعی قائم، با افزایش تنگ‌شدگی نسبت  $d_2/d_1$  افزایش می‌یابد و با افزایش  $L'/L$  و افزایش  $x/L$ ، نسبت  $d_2/d_1$  کاهش می‌یابد. شکل ۵ در دامنه آزمایش‌های انجام‌شده، کاهش میزان آب‌شستگی در دماغه آبشکن را به میزان ۸۰٪ (۲۰٪ میزان آب‌شستگی اولیه)، با انتخاب پارامترهای مناسب طراحی نشان می‌دهد. در مورد آبشکن فرعی مایل، علاوه بر موارد فوق با افزایش زاویه، نسبت  $d_2/d_1$  کاهش می‌یابد. در شکل ۶ کاهش میزان آب‌شستگی بر حسب انتخاب مقادیر عوامل مؤثر نشان داده شده است.



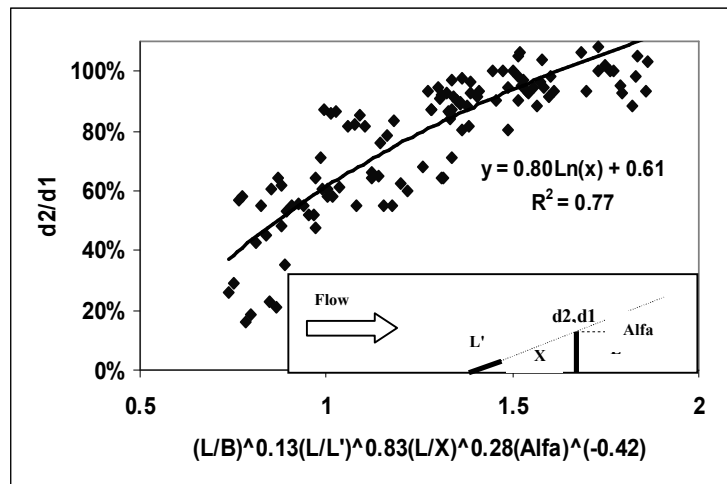
شکل ۳- مقایسه داده‌های مشاهده‌ای با رابطه توانی محاسباتی  $d_3/d_1$



شکل ۴- مقایسه داده‌های مشاهده‌ای با رابطه توانی محاسباتی



شکل ۵- منحنی تغییرات میزان آبشستگی به‌ازای عوامل مؤثر در آبشکن فرعی قائم



شکل ۶- منحنی تغییرات میزان آبشستگی به‌ازای عوامل مؤثر در آبشکن فرعی مایل

### منابع مورد استفاده

۱. اندرواژ، ا. ۱۳۷۶. کاهش فرسایش موضعی در دماغه اولین آبشکن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده فنی.
۲. صانعی، م.، م. بنی‌هاشمی و ا. اندرواژ. ۱۳۷۶. مدل پیش‌بینی آبشستگی دماغه ای‌های محافظت شده با ای‌ی فرعی. پنجمین سمینار مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
۳. قربان‌خانی، ح. ۱۳۷۷، تأثیر درصد تنگ شدگی و زاویه در کاهش فرسایش دماغه اولین آبشکن. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده فنی.
4. Ahmad, M. 1953. Experiments on design and behavior of spur dikes. Proc. Cong of IAHR, 145-159.
5. Garde, R.J., K. Subramanya and K.D. Nambudripad. 1961. Study of scour around spur-dikes. Journal of the Hydraulics Division, Am. Soc. Civ. Eng., 87(HY6): 23-37.
6. Garde, R., J. Subramanya, M. Ascek and K.D. Namburipad. 1960. Study of scour around spur dikes. Journal of the Hydraulics Division, Am. Soc. Civ. Eng., 88(HY6):23-36.
7. Gill, M.A. 1972. Erosion of sand beds around spur dykes. Journal of the Hydraulics Division, Am. Soc. Civ. Eng., 98(9):1587-1602.
8. Khosla, A.N., N.K. Bose and E. Mc Taylor. 1936. Design of weirs on permeable foundation, central board of irrigation, New dehli, India,
9. Kwan, T.F, 1984, Study of abutment scour. Report No. 328, University of Auckland, School of Engineering, New Zealand.
10. Lacey, G. 1936. Discussion of stable channels in erodible material. In: E.W. Lane (Ed.), Proceedings of the ASCE, 237(5):775-779.
11. Laursen, E.M. 1962. Scour at bridge crossings. Transactions, ASCE, 127, Part I:166-180.



12. Lim S.Y. and Y.M. Chiew. 1992. Effect of sediments gradation on scour at spur dike. Proceedings of International Conference on Hydraulic Research in Nature Laboratory, China.
13. Lim S.Y. and K.P. Tong. 1991. On estimation of maximum scour around spur dike. Lecture in Civil and Structural Engineering, Nanyang Technological University, Singapore.
14. Liu, H.K., F.M. Chang and M.M. Skinner. 1961. Effect of bridge construction on scour and backwater. Colorado State University, Engng. Res. Center, Report CER60 HKL22.
15. Melville, B.W. 1992. Local scour at bridge abutments. Journal of the Hydraulics Division, Am. Soc. Civ. Eng., 118(4):615-631.
16. Neil, C.R., 1973, Guide to bridge hydraulics. University of Toronto, Toronto Press, 191 p.
17. Petersen, M.S. 1986. River engineering. Prentice-Hall, Inc., USA.
18. Richardson, E.V., D.B. Simons, S. Karaki, K. Mahmood and M.A. Stevens. 1975. Highways in the river. Environment Hydraulic and Environmental Design, The design of spur for river training, Proc. of 15th Congress of the International Association of Hydraulic Research, IAHR, Vol. 2.
19. Tison, L.J., 1961, Local scour in rivers. Journal of Geophysical Research, 66(12):4227-4232.
20. Zaghoul, N.A. 1983. Local scour around spur dikes. Journal of Hydrology, 60:123-140.

## Experimental study on effect of minor spur dike to reduce main spur dike scouring

Mojtaba Saneie<sup>1</sup>, Assistant Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Received: 17 September 2010

Accepted: 05 March 2011

### Abstract

Spur dikes are used widely to prevent outer bank river bends and path-modification river projects. Local scouring in spur dike nose is due to contraction and strong eddy is among the important problems occurring in designing Spur dikes. Experimental study has been done on effect of length and alignment of minor spur dike to reduction of main spur dike scouring. In order to do this study a shorter spur dike was used in two stages, one perpendicular and one angled to flow channel direction. By non dimensional parameters, contraction ratio  $L/B=0.3, 0.35, 0.4, 0.45$ , ( $L$ =length of spur dike,  $B$ =width of channel), Length ratio  $L'/L=0.5, 0.6, 0.7$ , ( $L'$ = length of minor spur dike) and distance ratio  $x/L=0.5, 1, 1.5, 2, 2.5$  have been studied. Scour depths at nose of minor and main spur dike have been measured. Data collection were fitted by regression analysis and a relation for reducing scour depth at nose of first spur dike is provided, with and without minor spur dike.

**Key words:** Design, Laboratory model, Nose, Regression, Spur dike

---

<sup>1</sup> Corresponding author: [drsaneie@gmail.com](mailto:drsaneie@gmail.com)