

بررسی آزمایشگاهی حداکثر عمق آبشستگی در دماغه‌ی اولین آبشکن

مجتبی صناعی، حجت کرمی و ابوالفضل شفافی

به ترتیب استادیار پژوهشی، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری و دانشجویان کارشناسی ارشد رشته عمران آب دانشگاه امیر کبیر

چکیده

آبشکن‌ها سازه‌هایی هستند که معمولاً در حفاظت دیواره‌ی خارجی قوس‌ها و طرح‌های اصلاح مسیر رودخانه، به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله مسائل مهم در طراحی آبشکن‌ها، پدیده آبشستگی موضعی دماغه‌ی آن‌ها می‌باشد که به علت تنگ شدگی مقطع جریان و وجود گردابه‌های قوی بوجود می‌آید.

در این تحقیق بررسی آزمایشگاهی فرسایش در دماغه‌ی اولین آبشکن با ازای دبی‌های مختلف در دو نوع دانه بندی مصالح بستر انجام می‌گیرد. با اندازه گیری طولانی مدت اعماق آبشستگی به مقایسه‌ی روابط متداول موجود پرداخته شده است. روابط مقایسه‌ای در اشکال مربوطه ارائه شده است.

واژگان کلیدی: آبشکن، آبشستگی، مدل آزمایشگاهی

مقدمه

عوامل هیدرولیکی جریان نقش بسزائی در ایجاد فرسایش و تخریب سواحل رودخانه‌ها دارند. فرسایش و تخریب سواحل رودخانه‌ها به علت نقش مهمی که عوامل هیدرولیکی در ایجاد آن دارند. هرگونه افزایش سرعت، دبی، تنش برشی و گردابه‌ها سبب آبشستگی در بستر و پای دیواره‌ها می‌شود با توسعه آبشستگی بستر و دیواره‌ها، ارتفاع و شیب قرارگیری دیواره‌ها افزایش یافته و اثر نیروی ثقل موجب ریزش و تخریب آن‌ها می‌شود.

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 توانائی رسوب‌گذاری جریان را افزایش می‌دهند. ساخت انواع آبشکن‌ها و صفحه‌های مستغرق از جمله این روش‌ها می‌باشند. 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 می‌باشد که به علت تنگ شدگی مقطع جریان و وجود گردابه‌های قوی بوجود می‌آید.

با توجه به خصوصیات جریان، بیشترین فرسایش در دماغه اولین آبشکن رخ می‌دهد و موارد بسیاری در عمل مشاهده شده که در اثر فرسایش بیش از حد، خصوصاً در مواقع سیلابی پایداری سازه از بین رفته و اولین آبشکن به کلی منهدم می‌شود. به همین ترتیب دیگر آبشکن‌ها نیز یکی پس از دیگری منهدم شده و کل پروژه با شکست مواجه می‌شود.

به‌علت ماهیت سه بعدی و پیچیده جریان‌های گردابی اطراف دماغه آبشکن، هنوز حل تحلیلی جامع و کاملی برای عمق آبشستگی دماغه آن‌ها ارائه نگردیده است. محققین بسیاری در ارائه رابطه‌ای تجربی برای تخمین میزان آبشستگی موضعی دماغه آبشکن‌ها سعی کرده‌اند و اکثر این تحقیقات بر پایه نتایج و داده‌های آزمایشگاهی استوار است. به علت گستردگی عوامل موثر بر پدیده آبشستگی و تنوع رفتار آبشکن‌ها در حالات مختلف، تحقیقات در این زمینه همچنان ادامه دارد.

تحقیق حاضر بررسی آزمایشگاهی میزان آبشستگی در دماغه‌ی اولین آبشکن در کانال‌های مستقیم است. مطالعه بررسی پدیده در دو فلوم آزمایشگاهی به عرض ۱۳۰ و ۱۵۰ سانتی‌متر و عمق ۵۰ سانتی‌متر با کف متحرک اجرا شده است. این فلوم دارای طول مورد استفاده ۶ متر و با دبی عبوری ۱۰، ۱۵، ۲۰، ۳۰، ۴۵، ۶۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد. مصالح دانه بندی به ترتیب با قطر متوسط ۱ و ۳ میلی‌متر بوده است. محققین بسیاری عمق آبشستگی موضعی حداکثر در دماغه آبشکن‌ها را مورد مطالعه قرار داده‌اند در ذیل به تعدادی از آنان اشاره می‌شود:

Lacey (۱۹۳۶)، معادله زیر را با بهره جستن از معادله رژیم جریان ارائه کرده است.

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

h_0 عمق جریان یکنواخت، Δh_1 عمق حداکثر آبشستگی به دلیل وجود آبشکن افزایش یافته، F ضریب لیبسی برابر با $1.76\sqrt{D}$ که D بر حسب میلی‌متر است. (قطر متوسط مصالح کف)، Q دبی بر حسب مترمکعب بر ثانیه. K ضریب مربوط به نوع کانال (جدول ۱).

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 (۱۹۳۶)، بر اساس رابطه لیبسی عمق آبشستگی را با رابطه زیر به شدت دبی ارتباط داده است.

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

q دبی در هر فوت از عرض کانال اصلی بر حسب فوت مربع بر ثانیه، F ضریب لیبسی، h_0 و Δh_1 عمق جریان یکنواخت و عمق حداکثر آبشستگی بر حسب فوت

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

آبشکن دیواره قائم است. در صورتی که طرفین و دماغه آبشکن شیبدار باشد مقدار Δh_1 حدود ۲۰٪ کاهش می‌یابد.
Tong و Lim (۱۹۹۱)

$$\frac{h_0 + \Delta h_1}{h_0} = f(F_0, Z, \alpha) \quad (9)$$

$$F_0^2 = \frac{\rho u_0^2}{\Delta \gamma_s d_{50}}, \quad z = \frac{h_0}{d_{50}},$$

برای آب صاف و بستر متحرک لیم و تونگ به همراه گاردی، تیسون، گیل، زاغلول و کونها (۱۹۷۵) رابطه برازش داده زیر را بدست آوردند. در محدوده $d_{50}=0.29$ و $d_{50}=1.6$ میلی‌متر مطلوب بوده است.

(۱۰) بستر ماسه‌ای

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

(۱۱) بستر شنی

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

Z عمق جریان در بالادست به متوسط قطر ذرات بستر، α نسبت بازشدگی عرض آبراهه، $\Delta \gamma_s$ اختلاف وزن مخصوص مصالح بستر و وزن مخصوص آب، u_0 سرعت جریان در بالادست، ρ چگالی سیال. Chiew و Lim (۱۹۹۲)، ۱۸۳ موضوع مطالعاتی در زمینه آبشستگی آبشکن‌های با دیواره‌ی قائم و عمود بر ساحل رودخانه را مورد بررسی قرار دادند. لیم و چو در مطالعات خود بر اساس 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:

$$\sigma_g < 1.5 \quad (12) \quad \text{انحراف معیار مصالح}$$

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

$$1.52 < \sigma_g < 3.93 \quad (13) \quad \text{انحراف معیار مصالح}$$

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

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

Laursen (۱۹۶۳)، برای پیش‌بینی حداکثر عمق فرسایش موضعی، رابطه نیمه‌تجربی زیر را پیشنهاد داده است:

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

برای $r=12$ و $\alpha=2.75$ که ثابت‌های تجربی هستند:

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

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

α_1 زاویه آبشکن، $k(\alpha_1)$ ضریبی است که از جدول (۲) تبعیت می‌کند، q_c شدت دبی در مقطع تنگ شده در واحد عرض. واحدها همگی متریک است و دانه بندی در دامنه $0.2 < D_{50} < 0.7$ میلی‌متر است.

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

α_1	۳۰	۴۵	۶۰	۹۰	۱۲۰	۱۵۰
	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه
$k(\alpha_1)$	۱/۸۰	۲/۰۰	۲/۱۵	۲/۲۵	۲/۴۰	۲/۴۵

Liu و همکاران (۱۹۶۱)

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

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

Δh_1 عمق تعادل آبشستگی، L طول قائم آبشکن،

$$F_{r1} = \frac{u_0}{\sqrt{gh_0}}$$

u_0 به ترتیب، عمق و سرعت متوسط جریان در بالادست آبشکن.

عمق ماکزیمم آبشستگی برابر است با: $(\Delta h_1)_{\max} = 1.3 \Delta h_1$ Garde و همکاران (۱۹۶۱)، بررسی بر روی آبشکن‌های ورقه‌ای شکل در یک فلوم به‌عرض ۲ فوت انجام داده و تأثیر جریان، آبشکن و مشخصات رسوب را در این زمینه بررسی کرده‌اند و در نتیجه به معادله زیر دست یافته‌اند:

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

k, n تابع $C_D = \frac{4\Delta_s D}{3\omega^2 \rho}$ ، C_D سرعت سقوط رسوبات،

D, Δ_s اختلاف مابین وزن رسوب و آب و قطر متوسط مصالح کف، ρ جرم مخصوص آب و α نسبت بازشدگی $(B-L)/B$ که در آن B عرض کانال و L طول آبشکن است.

Gill (۱۹۷۲)، وی حداکثر 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.

هدف از اجرای آزمایش‌ها دستیابی به حداکثر میزان آب‌شستگی در دماغه‌ی اولین آب‌شکن است. در این آزمایش‌ها از یک آب‌شکن به‌صورت عمود بر ساحل استفاده شده است. L طول آب‌شکن ۲ گزینه: (نسبت تنگ‌شدگی $L/B=0.3$) و Δh_1 حداکثر عمق فرسایش در دماغه‌ی آب‌شکن در جدول (۳) و شکل (۳) نشان داده شده است. دبی‌های ۱۰ و ۱۵ و ۲۰ لیتر بر ثانیه در فلوم به عرض ۱/۳ متر و با دانه‌بندی با قطر متوسط ۱ میلی‌متر، شکل (۱)، و دبی‌های ۳۰ و ۴۵ و ۶۰ لیتر بر ثانیه در فلوم با عرض ۱/۵ متر با دانه‌بندی به قطر متوسط ۳ میلی‌متر، شکل (۲)، بوده است.



شکل (۲) جانمایی آب‌شکن و آب شستگی در دماغه آن ($d_{50}=3mm$)

جدول (۳) مقادیر حداکثر فرسایش در دماغه‌ی آب‌شکن به ازای دبی‌های مختلف

Q (l/s)	۱۰	۱۵	۲۰	۳۰	۴۵	۶۰
Δh_1 (mm)	۱۴۹	۱۷۲	۲۰۴	۸۷	۱۷۰	۲۳۷

نتایج و بحث

بر اساس مقادیر مشاهداتی و مقایسه‌ی روابط موجود، نتایج زیر بدست آمده است:

- با افزایش قطر متوسط مصالح دانه بندی بستر میزان آب شستگی در دماغه‌ی آب‌شکن کاهش می‌یابد.
- هر چه دبی افزایش می‌یابد مقدار آب‌شستگی در دماغه نیز افزایش می‌یابد.
- با استفاده از رابطه احمد مقدار پیش بینی آب‌شستگی در دماغه بسیار زیاد بدست می‌آید که می‌تواند باعث دامنه کاربردی رابطه برای $0.2 < D_{50} < 0.7$ میلی متر باشد.
- روابط Laursen (۱۹۶۲)، Lim و Tong (۱۹۹۱) و Melville (۱۹۹۲) در مصالح ماسه ای حدود ۱/۵ برابر میزان آب‌شستگی را بیشتر تخمین می‌زنند و روابط Lacey (۱۹۳۶)، Khosla و همکاران (۱۹۳۶) و Liu و همکاران (۱۹۶۱)، حدود ۱/۵ برابر میزان آب‌شستگی را کمتر پیش بینی می‌کنند.
- در مصالح ماسه ای تخمین میزان آب‌شستگی با روابط Gill (۱۹۷۲) و Liu (۱۹۶۱) تطابق خوبی با مقادیر مشاهده ای دارند.

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

کاربرد رابطه فوق ساده و برای دیواره‌های عمودی است. ضرایب این رابطه باید برای شرایط صحرایی مدرج گردد.

Melville (۱۹۹۲)، رابطه تجربی زیر برای پیش‌بینی حداکثر عمق فرسایش موضعی در آب‌شکن‌های قائم پیشنهاد داده است.

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

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

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

مواد و روش‌ها

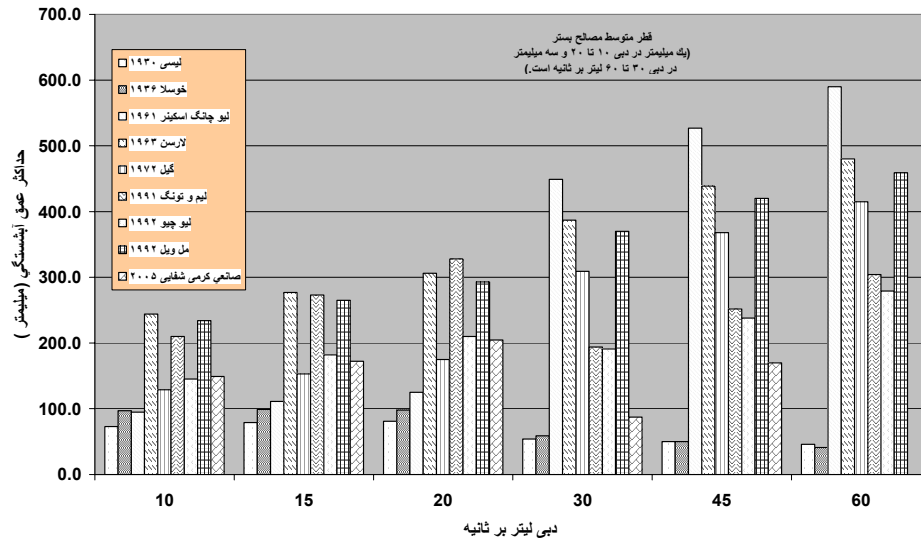
آزمایش‌ها در دو فلوم به عرض ۱/۳ متر و ۱/۵ متر و عمق ۰/۵ متر انجام شده است، شیب فلوم‌ها برابر ۰/۰۱۵ در نظر گرفته شد. مصالح بستر با دانه‌بندی $d_{50}=1 \text{ mm}$ و $d_{50}=3 \text{ mm}$ انتخاب گردید. اندازه‌گیری عمق با استفاده از ژرف‌سنج با دقت ۰/۱ میلی‌متر و برای اندازه‌گیری دبی از سرریز لبه تیز مستطیلی استفاده شد.

عوامل فیزیکی مورد استفاده در آزمایش‌ها، شامل B عرض فلوم، L طول آب‌شکن و Δh_1 عمق فرسایش در دماغه‌ی آب‌شکن، Q دبی جریان بوده‌اند.

آب‌شکن مورد استفاده در این تحقیق ناتراو، غیر مستغرق و متعام می‌باشد. عمق نرمال در تمامی آزمایش‌ها در بالادست آب‌شکن بوده است. پس از اجرای چند آزمایش و مشاهده، زمان ۱۷۰ دقیقه تا ۳۰۰ دقیقه برای هر آزمایش آب‌شستگی در دماغه آب‌شکن برگزیده شد، (بعد از این زمان‌ها رسوب‌برداری از کف مشاهده نمی‌شد). بعد از اجرای هر آزمایش آب درون گودال‌ها تخلیه شده و سپس عمق مربوط به آب‌شستگی اندازه‌گیری می‌شد.



شکل (۱) جانمایی آب‌شکن و آب‌شستگی در دماغه آن ($d_{50}=1mm$)



شکل (۳) مقایسه داده‌های مشاهده‌ای با رابطه‌های موجود

- 8- Gill, M.A. 1972. Erosion of sand beds around spur dykes, J. of Hydr. Division, ASCE, 98(9): 1587-1602.
- 9- Khosla, A. N., N. K. Bose, and E. Mc. Taylor 1936. Design of weirs on permeable foundation, central board of irrigation, New Delhi, India.
- 10- Lacey, G., 1936. Discussion of stable channels in erodible material, by E. W. Lane: 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, Proceeding of International 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, J. of Hyd. Engrg., ASCE, 118(4): 615-631.
- 16- Petersen, M.S., 1986. River Engineering, Prentice-Hall, Inc, USA.

- در مصالح شنی روابط Liu و همکاران (۱۹۶۱)، Laursen (۱۹۶۲) و Gill (۱۹۷۲) تا ۴ برابر مقدار مشاهده‌ای پیش‌بینی می‌کنند و روابط لیم و تونگ و لیم چپو ۱/۵ تا ۲۳ برابر مقدار مشاهده‌ای را تخمین زده‌اند. با استفاده از روابط Lacey (۱۹۳۶) و Khosla و همکاران (۱۹۳۶) در مصالح شنی مقادیر محاسبه شده ۱ تا ۳ برابر کمتر از مقدار اندازه‌گیری شده هستند.

منابع

- ۱- اندرواز، ا.، ۱۳۷۶. کاهش فرسایش موضعی در دماغه اولین آبشکن پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، دانشکده فنی.
- ۲- صانعی، م.، م. بنی‌هاشمی، ا. اندرواز، ۱۳۷۶. مدل پیش‌بینی آبشستگی دماغه‌هایی 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- Ahmad, M., 1951, Spacing and Projection of Spur for Bank Protection. Civil Eng. And Public Works Vol. 46, London.
- 6- Garde, R. J., K. Subramanya, and K. D. Nambudripad, 1961. Study of scour around spur-dikes. J. Hydraul. Div., Am. Soc. Civ. Eng., 87-HY6: 23-37.
- 7- Garde, R. J, M. Ascek Subramanya, and K. D. Namburipad, 1960. Study of scour around spur dikes, Journal of the Hydraulics Division, of the American Engineering, HY6:23-36.

