مجله دانش کشاورزی/ جلد ۱۸ شماره ۲/ سال ۱۳۸۷/ صفحه‌های ۱۰-۱

تغييرات زماني عمق آبشستگي اطراف پايه پل و رابطه تجربي آن

هادي ارونقي[۱*]، علي حسين زاده دلير[۲]، داود فرسادي زاده[۲] و احمد فاخري[۲]

تاریخ پذیرش: ۸۷/۱/۱۵

۱- دانشجوي دكتري آبياري و زهكشي دانشكده كشاورزي دانشگاه تبريز
۲- گروه آبياري دانشكده كشاورزي دانشگاه تبريز
* مسئول مکاتبه E-mail:hadiarv@yahoo.com

چكيده

در اين تحقيق تغييرات زماني عمق آبشستگي اطراف پايه پل، در شرايط آبشستگي آب زلال مورد بررسي قرار گرفت. آزمايش ها مويد اين موضوع بودند كه بيش از ۸۰ در صد عمق آبشستگي در ساعت اول صورت مي پذيرد و پس از آن سرعت آبشستگي به شدت كاهش مي يابد. تعريفي براي زمان تعادل عمق آبشستگي ارائه شد و سپس با تعاريفي كه محققان براي آن مطرح نموده اند مقايسه گرديد. نتايج حاصل نشان داد كه تعاريف محققان، زمان تعادل عمق آبشستگي را اغلب بسيار كوچک بيان مي كنند. عمق تعادل آبشستگي در حالت‌هاي مختلف استخراج شد و با روابط پيشنهادي محققان مقايسه گرديد كه همخواني مناسبي را نشان داد. رابطه اي تجربي براي تغييرات زماني عمق آبشستگي ارائه شد و مقايسه اين رابطه با روابط موجود نتايج قابل قبولي را نشان داد.

واژه هاي كليدي: آب زلال، آبشستگي، پايه هاي پل، تغييرات زماني

Time Variation of Scour Depth Around Bridge Pier and Its Empirical Formulae

H Arvanaghi[1*], A Hossienzadeh Dalir[2], D Farsadizadeh[2] and A Fakheri[2]

[1]Ph.D Student of Dept. of Water Eng. Irrigations University of Tabriz, Tabriz, Iran
[2]Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz, Tabriz, Iran
*Corresponding author: E-mail:hadiarv@yahoo.com

Abstract

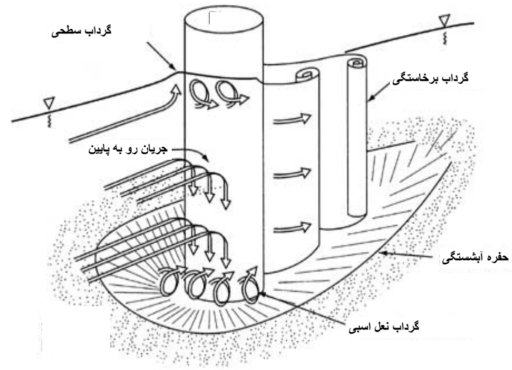
In this study, time variation of scour depth around bridge pier was investigated under clear water condition. It was revealed that more than 80% of the maximum scour depth took place at the first hour of the experiments and then the rate of the scour process decreased sharply. A new definition was introduced for equilibrium time of the scour depth and compared with previous works. The results showed that the previous definitions mostly gave smaller equilibrium time. There was a good agreement between equilibrium scour depth obtained at different conditions with other relationships. The empirical relationship was given to time variation of scour depth and comparison of this relationship with other's showed a good agreement.

Keywords: Bridge pier, Clear water, Scour, Time variation

مقدمه

پل‌ها از جمله مهم‌ترین و حیاتي‌ترین سازه‌هاي ارتباطي هستند که از ديرباز مورد استفاده قرار مي‌گيرند. با گسترش و توسعه شهرسازي، پل‌هاي بزرگ و جديد روي رودخانه‌ها در سراسر جهان با رشد فزاينده‌اي ساخته مي‌شوند و برخلاف گذشته حضور مهندسي هيدروليك و رودخانه را طلب مي‌کند تا با دانش عميق‌تري به مسائل آبراهه‌ها بپردازد.آبشستگي پايه‌هاي پل يکي از مهم‌ترين عوامل تهديدکننده پايداري پل‌هاي احداث شده بر روي رودخانه‌ها مي باشد. در اثر آبشستگي، حفره‌اي در اطراف پايه بوجود آمده و موجب مي‌شود که پل در اثر يك سيل بزرگ، يعني درست زماني که بيشترين نياز به آنها وجود دارد ويران گردد. بررسي برخي مدارك نشان مي‌دهد که بيشترين تخريب پل‌ها در اثر آبشستگي يا عوامل هيدروليکي ديگر صورت مي‌گيرد. به عنوان مثال، در ايالات متحده آمريکا در طي سي سال گذشته، يك هزار از مجموع پانصد هزار پل ساخته شده بر روي رودخانه‌ها تخريب شده است که شصت درصد آنها در اثر آبشستگي بوده است، در حالي که سهم زلزله در اين تخريب‌ها تنها دو درصد مي‌باشد (چيو ۱۹۹۵). آبشستگي را به سه دسته کلي، موضعي و آبشستگي ناشي از تنگ شدگي مقطع طبقه بندي مي کنند. حفره اي که در اطراف پايه هاي پل ايجاد مي شود از نوع آبشستگي موضعي مي باشد. آبشستگي موضعي در اثر برخورد مستقيم جريان آب به سازه هاي دست ساز بشر مانند پايه هاي پل و آبشکن ها رخ مي دهد. عامل اصلي اين نوع آبشستگي، بوجود آمدن جريانات ثانوي در اطراف سازه مورد نظر مي باشد. همچنين با توجه به حرکت رسوبات در جريانات رودخانه ا ي، آبشستگي به دو دسته آبشستگي آب زلال و آبشستگي بستر زنده تقسيم بندي مي شود. در آبشستگي آب زلال حداکثر مقدار عمق آبشستگي در پايه هاي پل ايجاد مي شود. همچنانکه ذکر شد در اطراف پايه هاي پل يک سري جريانات ثانوي ايجاد مي شود. اين جريانات ثانوي عمدتا گرداب ها مي باشند که مهمترين آنها گرداب هاي *نعل اسبي*[1] و *برخاستگي*[2] مي باشند. گرداب نعل اسبي بدليل برخورد آب به پايه پل ايجاد مي شود. هنگام برخورد آب به پايه پل، سرعت جريان به فشار ديناميکي تبديل مي شود. از آنجا که سرعت از سطح آب به طرف کف کم مي شود فشار ديناميکي روي پايه نيز از بالا به پايين کم شده و اين گراديان فشار باعث ايجاد جريان رو به پايين مي گردد. اين جريان پس از برخورد به بستر به جهات مختلف پراکنده مي شود و زمين را نيز حفر مي کند. مقداري از اين جريان که رو به سمت بالا بازگشت مي کند در برخورد به جريان عمومي مجبور به حرکت در جهت جريان مي شود و مجددا به پايه برخورد مي کند و در داخل حفره کنده شده گرداب نعل اسبي را تشکيل مي دهد. اين گرداب در دو طرف پايه امتداد مي يابد و شکلي شبيه به نعل اسب به حفره آبشستگي مي دهد. گرداب هاي نعل اسبي بيشتر در جلو پايه پل فعال هستند و سبب گود کردن جلو پايه مي گردند (زراتي و عزيزي ۱۳۷۶). گرداب برخاستگي در اثر جدايي خطوط جريان از پايه پل ايجاد مي شوند. اين نوع سيستم گردابي مانند يک گردباد عمل مي کند و رسوبات را از کف به سمت بالا حرکت مي دهد بعبارت ديگر جهت حرکت اين سيستم گردابي رو به بالا مي باشد (ملويل و ساترلند ۱۹۸۸). گرداب هاي برخاستگي در پشت پايه فعال هستند و در صورت عدم وجود گرداب هاي نعل اسبي، حفره اي در پشت پايه بوجود مي آورند. همچنين گرداب هاي برخاستگي عمل انتقال رسوبات کنده شده حفره را به پايين دست پايه بر عهده دارند. شکل ۱ گرداب هاي نعل اسبي و برخاستگي را در اطراف پايه پل استوانه اي نشان مي دهد.

[1] Horseshoe vortex
[2] Wake vortex



شکل۱- گرداب هاي نعل اسبي و برخاستگي

برآورد عمق آبشستگی موضعی

بدليل پيچيدگي فرآيند آبشستگي و همچنين نامعلوم بودن جزئيات و عملكرد جريانات ثانوي، روابط مختلفي براي محاسبه عمق آبشستگي در اطراف پايه هاي پل ارائه شده است كه اين روابط عمدتا بنيان آزمايشگاهي دارند. معادله رايجي كه در آمريكا مورد استفاده قرار مي گيرد معادله دانشگاه كلرادو است كه بصورت زير بيان مي شود (شفاعي بجستان ۱۳۷۳):

$$d_s = 2yk_1k_2(\frac{b}{y})^{0.65}fr^{0.43} \quad [1]$$

كه در اين رابطه، d_s عمق آبشستگي، b عرض يا قطر پايه، y عمق آب و fr عدد فرود مي باشند. k_1 و k_2 ضرائب ثابتي هستند كه بستگي به شكل پايه، زاويه برخورد آب به پايه و شرايط بستر دارند.

ملويل (۱۹۹۷) براي آبشستگي پايه هاي پل رابطه زير را مطرح كرده است:

$$d_{se} = k_{yb}.k_i.k_d \quad [2]$$

كه d_{se}, k_{yb}, k_i و k_d بترتيب عمق آبشستگي (حالت تعادل)، ضريب عمق جريان و عرض پايه ، ضريب شدت جريان و ضريب اندازه ذرات رسوبي مي باشند. او براي محاسبه k_{yb} روابط زير را پيشنهاد كرده است:

[۳]

$$\begin{cases} k_{yb} = 2.4b & \frac{b}{y} < 0.7 \\ k_{yb} = 2(yb)^{0.5} & 0.7 < \frac{b}{y} < 5 \\ k_{yb} = 4.5y & \frac{b}{y} > 5 \end{cases}$$

همچنين براي محاسبه پارامتر شدت جريان ، ملويل (۱۹۹۷) روابط زير را استخراج كرده است:

$$\begin{cases} k_i = \frac{V}{V_c} & \frac{V}{V_c} < 1 \\ k_i = 1 & \frac{V}{V_c} \geq 1 \end{cases} \quad [4]$$

در رابطه ۴ ، V سرعت متوسط جريان و V_c سرعت متوسط بحراني (سرعت در آستانه حركت ذرات رسوبي) مي باشند. ضريب اندازه ذرات رسوبي در فرمول ملويل (۱۹۹۷) بصورت زير محاسبه مي شود:

$$\begin{cases} k_d = 0.57Log(2.24\frac{b}{d_{50}}) & , \quad \frac{b}{d_{50}} < 25 \\ k_d = 1 & , \quad \frac{b}{d_{50}} > 25 \end{cases} \quad [5]$$

در رابطه فوق d_{50} اندازه متوسط ذرات رسوبي و b عرض يا قطر پايه مي باشند. شپارد و ميلر (۲۰۰۶) رابطه زير را براي محاسبه عمق تعادلي حفره آبشستگي در شرايط آبشستگي آب زلال ارائه داده‌اند:

[۶]

$$\frac{d_{se}}{D} = 2.5 f_1(\frac{y}{D}).f_2(\frac{D}{d_{50}}).\left\{1-1.75\left[Ln(\frac{V}{V_c})\right]^2\right\}$$

در رابطه فوق D قطر پايه مي باشد. توابع f_1 و f_2 از رابطه ۷ محاسبه مي شوند وبقيه پارامترها قبلا تعريف شده اند.

[٧]

$$\begin{cases} f_1(\frac{y}{D}) = \tanh\left[\left(\frac{y}{D}\right)^{0.4}\right] \\ f_2(\frac{D}{d_{50}}) = \dfrac{\frac{D}{d_{50}}}{0.4\left(\frac{D}{d_{50}}\right)^{1.2} + 10.6\left(\frac{D}{d_{50}}\right)^{-0.13}} \end{cases}$$

عمق و زمان تعادل آبشستگی

عمق تعادل آبشستگي (d_{se}) عبارتست عمقي كه از آن عمق به بعد افزايش محسوسي در مقدار آن ديده نشود و زمان مربوط به چنين عمقي را زمان تعادل عمق آبشستگي (t_e) مي گويند. تعاريف گوناگوني براي زمان تعادل عمق آبشستگي ارائه شده است كه در زير به چند مورد اشاره مي شود:

- چيو (١٩٩٢) در آزمايشات خود زماني را بعنوان زمان تعادل عمق آبشستگي انتخاب كرد كه ٨ ساعت پس از آن، عمق آبشستگي كمتر از يک ميلي متر تغيير كند.

- ويتال و همكاران (١٩٩٤) زماني را كه ۶ ساعت پس از آن، عمق آبشستگي كمتر از يک ميلي متر تغيير كند را بعنوان زمان تعادل عمق آبشستگي انتخاب كردند.

- كومار و همكاران (١٩٩٩)، زماني را بعنوان زمان تعادل عمق آبشستگي انتخاب كردند كه ٣ ساعت پس از آن، عمق آبشستگي كمتر از يک ميلي متر تغيير كند.

- ملويل و چيو (١٩٩٩)، زماني را بعنوان زمان تعادل عمق آبشستگي مي دانند كه تغييرات عمق آبشستگي نسبت به زمان از ۵ درصد قطر پايه يا عرض پايه در ٢۴ ساعت تجاوز نكند يعني:

$$\frac{\Delta(d_{se})}{\Delta t} \le \frac{0.05b}{24hr} \quad [٨]$$

ملويل و چيو (١٩٩٩) با استفاده از تعريف فوق و انجام آزمايشات روابط زير را براي محاسبه زمان تعادل عمق آبشستگي ارائه داده اند:

[٩]

$$\begin{cases} t_e(days) = 48.26\frac{D}{V}\left(\frac{V}{V_c} - 0.4\right) \quad , \quad \frac{y}{D} > 6 \\ t_e(days) = 30.89\frac{D}{V}\left(\frac{V}{V_c} - 0.4\right)\left(\frac{y}{D}\right)^{0.25}, \quad \frac{y}{D} \le 6 \end{cases}$$

همچنين محققان روابطي را براي تغييرات عمق آبشستگي با زمان توسعه داده اند. نظرالاسلام و همكاران (١٩٨۶) براي بيان تغييرات حفره آبشستگي رابطه زير را مطرح نموده اند:

$$\frac{d_s}{d_{se}} = \left[\sin\left(\frac{\pi}{2}.\frac{t}{t_e}\right)\right]^m \quad [١٠]$$

در رابطه فوق d_s عمق آبشستگي در زمان t ، d_{se} عمق آبشستگي در زمان t_e مي باشند و m ضريبي است كه از رابطه زير محاسبه مي شود:

$$m = 0.135\left(\frac{D}{d_{50}}\right)^{0.087}\left(\frac{y}{D}\right)^{0.25} \quad [١١]$$

ملويل و چيو (١٩٩٩) در شرايط آبشستگي آب زلال و با انجام آزمايشات در كانال هاي آزمايشگاهي مختلف رابطه زير را براي تغييرات عمق آبشستگي ارائه داده اند:

$$\frac{d_s}{d_{se}} = \exp\left\{-0.03\left|\frac{V_c}{V} Ln\left(\frac{t}{t_e}\right)\right|^{1.6}\right\} \quad [١٢]$$

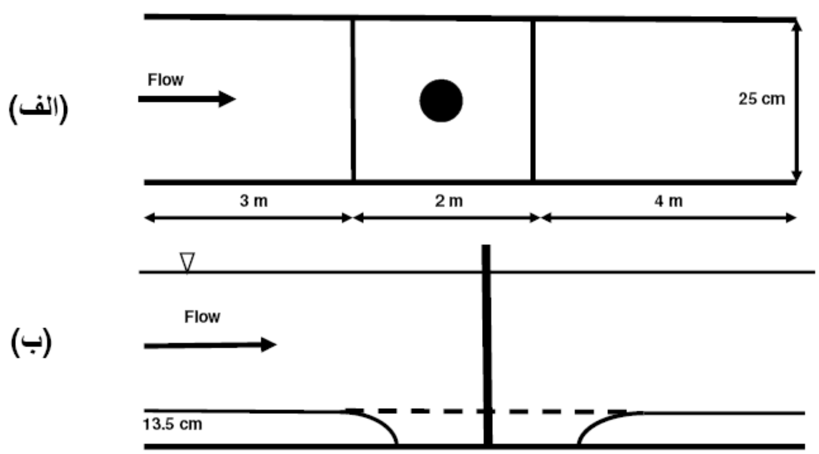
تعاريفي كه براي زمان تعادل حفره آبشستگي توسط محققين بيان شده است اكثرا در ارتباط با امكانات آزمايشگاهي و كم كردن طول مدت آزمايش ها بوده است. لذا در بيشتر موارد زمان تعادل حفره آبشستگي را كوچک بيان مي كنند. همچنين روابط تغييرات زماني كه براي عمق آبشستگي توسط محققين توسعه يافته است، غالبا اختلاف معني داري را نشان مي دهند. هدف از اين تحقيق ارائه رابطه تجربي براي تغييرات زماني عمق آبشستگي با بيان تعريف جديد براي زمان تعادل عمق آبشستگي مي باشد.

مواد و روش‌ها

با توجه به اينكه حداكثر مقدار عمق آبشستگي پايه پل در حالت آب زلال اتفاق مي افتد، آزمايشات اين تحقيق در شرايط آبشستگي آب زلال انجام شد. مدل پايه پل در كانال آزمايشگاهي با بستر متحرك بنحوي طراحي شدكه تاثير متغيرهايي كه بطور مستقيم و غير مستقيم روي ميزان آبشستگي تاثير مي گذارند حذف گردد. مشخصات كانال، مدل پايه پل، ذرات رسوبي و كميت هاي اندازه گيري شده در اين تحقيق به شرح زير مي باشد.

مشخصات كانال آزمايشگاهي

آزمايش ها در كانال آزمايشگاهي با كف فلزي و ديواره هاي شيشه اي به طول ۹ متر، عرض ۲۵ سانتي متر، ارتفاع ۵۰ سانتي متر و شيب ۰/۰۰۲۲ انجام شد. در انتهاي كانال حوضچه اي وجود دارد كه يک سرريز مثلثي در آن تعبيه شده است تا دبي جريان را با استفاده از آن اندازه گرفت. انتقال آب از مخزن اصلي آزمايشگاه به كانال در يک مدار بسته توسط دو دستگاه پمپ بصورت نوبتي انجام مي گيرد. يک دريچه كشوئي قابل تنظيم در پايين دست كانال نصب شده است كه بوسيله آن مي توان سرعت جريان و عمق آب را تنظيم كرد. با توجه به نوع آزمايش ها و همچنين كانال آزمايشگاهي لازم بود تا تغييراتي بر روي آن داده شود. تغييرات به اين صورت بود كه كف كانال توسط سكوهاي فلزي به ارتفاع ۱۳/۵ سانتي متر بالا آورده شد. منطقه اي بين سكوها به طول ۲ متر و در فاصله ۳ متري از ابتداي كانال بعنوان منطقه آزمايش منظور شد. اين منطقه به ارتفاع سكوها از رسوبات غير چسبنده پر شده و بستر متحرک ايجاد گرديد (شكل۲).



شكل۲- بستر متحرک در كانال آزمايشگاهي تغيير يافته (الف– پلان ، ب- پروفيل)

مدل پايه پل

پايه پل با مقطع دايره اي، از جنس استيل و با قطر۱۲ ميلي متر به گونه اي انتخاب شد كه شرط $\frac{D}{W} <$ ۰/۱۱ (D قطر پايه و W عرض كانال) در آن برقرار باشد . در غير اين صورت حفره آبشستگي تحت تاثير ديواره هاي جانبي كانال قرار مي گيرد و حداكثر مقدار عمق حفره آبشستگي ايجاد نمي گردد (ارونقي و همكاران ۱۳۸۵). مدل پايه پل در ناحيه ۲ متري كانال و در وسط آن نصب شد. به منظور بررسي دقيق از پايه هاي ۱۸ ، ۲۱ و ۲۷ ميلي متري براي ارزيابي و صحت سنجي نتايج استفاده گرديد و آزمايش هايي نيز بر روي آنها انجام پذيرفت.

مشخصات ذرات رسوبی بستر متحرک

بررسي ها نشان مي دهد در صورتي كه ۲۵ < $\frac{D}{d_{50}}$ باشد حداكثر مقدار عمق آبشستگي ايجاد مي شود (ملويل و چيو ۱۹۹۹). به همين دليل و با توجه به قطر مدل پايه هاي پل، d_{50} ذرات رسوبي بستر متحرک در كانال آزمايشگاهي ۰/۳ ميلي متر تعيين گرديد تا هم حداكثر مقدار عمق آبشستگي بدست آيد و هم از ايجاد پشته هاي كوچک جلوگيري شود. انحراف معيار ذرات رسوبي برابر است با:

$$\sigma_g = (\frac{d_{84.1}}{d_{15.9}})^{0.5} = 1.47$$

در صورتي كه ۱/۵ > σ_g باشد، مصالح بستر را مي توان يكنواخت فرض نمود و براي ۲ ≤ σ_g مصالح بستر غير يكنواخت در نظر گرفته مي شود (شفاعي بجستان ۱۳۷۳). بنا براين با ۱/۴۷ = σ_g، رسوبات بستر تاثيري در كاهش عمق آبشستگي ندارد.

كميت های اندازه گيری شده

كميت هاي اندازه گيري شده در اين تحقيق به شرح زير مي باشد:

الف) دبی جريان و عمق آب

دبي جريان در آزمايش ها بوسيله سرريز مثلثي مجهز به حسگر عمق سنجي و با دقت ۰/۱ ليتر بر ثانيه تنظيم مي شد. در آزمايش ها از دبي جريان تقريبا ثابتي در حد $Q = 10 \pm 0.5\left(\frac{lit}{s}\right)$ استفاده گرديد. سرعت جريان طوري تنظيم مي شد تا شرايط آبشستگي آب زلال برقرار شود يعني ۱ ≥ $\frac{V}{V_c}$ باشد. عمق آب در كانال توسط حسگرهاي عمق سنجي كه در بالاي كانال آزمايشگاهي نصب شده بودند تنظيم مي شد. عمق آب تنظيم شده در آزمايش ها بستگي به مقدار $\frac{V}{V_c}$ داشت. همچنين با توجه به رابطه ۳ ، شرط ۰/۷ < $\frac{D}{y}$ به طوركامل در آزمايش ها رعايت مي شد. در صورت عدم برقراري اين شرط عمق آبشستگي تحت تاثير عمق آب قرار گرفته و حداكثر مقدار عمق آبشستگي ايجاد نمي گردد (ملويل ۱۹۹۷). عمق آب در آزمايش ها در فاصله $۱۷\ cm < y < ۲۲\ cm$ قرار داشت.

ب) سرعت برشی

با توجه به صاف بودن بستر از نظر هيدروليكي، سرعت برشي از رابطه زير محاسبه شد:

$$\mathrm{Re}_* = \frac{d_{50} u_*}{\nu} < 5 \quad ,$$

$$\frac{V}{u_*} = 5.75 Log\left(\frac{y.u_*}{\nu}\right) + 5.5 \qquad [۱۳]$$

در رابطه فوق Re_* عدد رينولدز برشي، u_* سرعت برشي و ν لزجت سينماتيكي مي باشند و بقيه پارامترها نيز قبلا تعريف شده اند. براي اينكه از رابطه فوق براي محاسبه سرعت برشي استفاده شود، سرعت جريان در منطقه توزيع لگاريتمي در ارتفاع ۳ سانتي متري از بستر توسط ميكرو مولينه اندازه گيري و سپس سرعت برشي از رابطه ۱۳ محاسبه شد (ارونقي و همكاران ۱۳۸۵).

ج) عمق حفره آبشستگی

عمق آبشستگي در بالا دست پايه پل و در فاصله ۲ ميلي متري از آن، با استفاده از عمق سنج اندازه گيري مي شد. عمق آبشستگي در تمام آزمايش ها و در زمان هاي تعيين شده با دقت ۰/۱ ميلي متر ثبت گرديد.

نتايج و بحث

نتايج حاصل از آزمايش هاي انجام گرفته در ارتباط با آبشستگي موضعي پايه پل به شرح زير مي باشد:

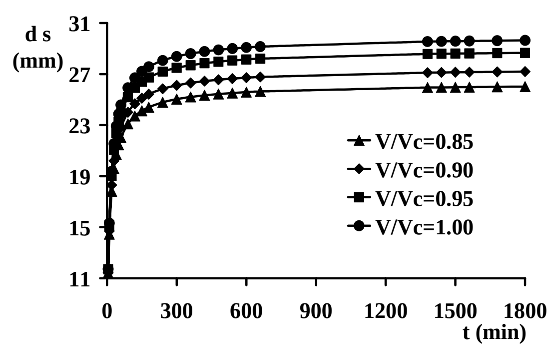
عمق و زمان تعادل حفره آبشستگي

با بررسي تعاريفي كه محققان براي زمـان تعـادل عمـق آبشستگي ارائه داده اند و همچنين آزمايش هاي آبشـستگي كه در اين تحقيق انجام گرفت، زمان تعادل عمـق آبشـستگي به صورت زير تعريف شد:

زمان تعادل عمق آبشستگي، زمـاني اسـت كـه تغييـرات عمق حفره آبشستگي در يـك سـاعت كمتـر از ۰/۲ در صـد عرض پايه يا قطر پايه باشد.

چنانچه در ادامه ملاحظه خواهد شد. اين تعريف بـراي زمان تعادل عمق حفره آبشستگي تعريف مناسبي است.

با توجه به اينكه قطر پايه استفاده شـده در آزمـايش هـا ۱۲ ميلي متر مي باشد لذا زمان تعادل، زماني است كه تغييـرات عمق حفره ايجاد شده در يک سـاعت كمتـر از ۰/۰۲۵ ميلـي متر باشد. براي بررسي زمان تعادل و همچنين عمق تعـادل آبشستگي آزمايش هايي در $\frac{V}{V_c}$هاي مختلف و در دو تكرار انجام يافت. هر آزمايش بـه مـدت ۳۰ سـاعت انجـام گرفـت. پـس از بررسـي آزمـايش هـا و اطلاعـات موجـود نمـودار تغييرات عمق آبشـستگي بـا زمـان در حالـت هـاي مختلـف ترسيم شد (شكل ۳).



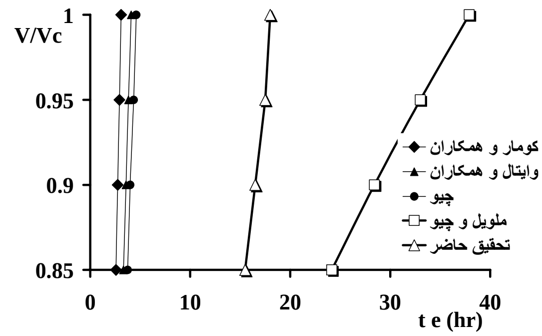
شكل۳- تغييرات عمق آبشستگي با زمان

همچنانكه از نمودارهاي شكل ۳ اسـتنباط مـي شـود شدت آبشستگي در لحظات اوليه بيشتر است به طـوري كـه بيش از ۸۰ در صد آبشستگي در يک سـاعت اول صـورت مي پذيرد. نمودارها بيانگر اين مطلب است كه تغييرات عمـق حفره پس از ۱۲ ساعت بسيار كم اسـت. بـا توجـه بـه تعريفي كه براي زمـان تعـادل مطـرح شـد و همچنـين نمودارهــاي شــكل۳، زمــان و عمــق تعــادل حفــره آبشستگي در $\frac{V}{V_c}$هـاي مختلـف بـه صـورت جـدول ۱ استخراج شد:

جدول۱- مقادير عمق و زمان تعادل، $D = 12mm$

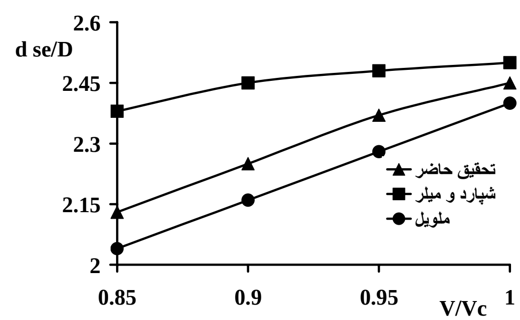
$\frac{V}{V_c}$	$d_{se}\,(mm)$	$t_e\,(hr)$
۱	۲۹/٤٤	۱۸/٥
۰/۹٥	۲۸/٤٦	۱۷/۸
۰/۹۰	۲٦/۹۸	۱۷
۰/۸٥	۲٥/۸۰	۱٦

زمان هاي تعادل استخراجي با زمان هايي كه محققـان براي تعادل حفره آبشستگي تعريف كرده انـد مقايـسه گرديد (شكل۴). شكل۴ بيانگر ايـن موضـوع اسـت كـه نمـودار هـاي مربـوط بـه كومـار و همكـاران (۱۹۹۹)، ويتــال و همكــاران (۱۹۹۴) و همچنــين منحنــي چيــو (۱۹۹۲)، اختلافـات معنـي داري بـا هـم ندارنـد و ايـن نمـودار هـا زمـان تعـادل عمـق آبشـستگي را بـسيار كوچـك نـشان مـي دهنـد. همچنـين نمـودار ملويـل و چيو(۱۹۹۹)، زمـان تعـادل عمـق آبشـستگي را بـزرگ نشان مي دهد. به نظـر مـي رسـد نمـودار مربـوط بـه تحقيق حاضر، با توجه به تعريفي كه مطرح نموده انـد مناسب باشد. شايان ذكر است آزمـايش هـا بـه مـدت تقريبا ۱۳ ساعت پس از رسيدن عمق حفـره بـه حالـت تعادل انجام شده و تغييراتي كه در عمق حفره مـشاهده شده است حداكثر ۲ در صد بوده است.



شکل۴- مقایسه تعاریف زمان تعادل عمق آبشستگی

عمق بي بعد آبشستگي در حالت تعادل بر اساس آزمايش هاي انجام شده در اين تحقيق با رابطه ملويل (۱۹۹۷) و همچنين رابطه شپارد و ميلر (۲۰۰۶) در شكل ۵ مقايسه شده است. با توجه به شكل ۵، در حالت $\frac{V}{V_c}=1$ كه حداكثر مقدار عمق آبشستگي اتفاق مي افتد اختلاف مقادير $\frac{d_{se}}{D}$ كمتر از ۴ در صد بوده و معني دار نمي باشد و مي توان نتيجه گرفت كه مقدار عمق آبشستگي ۲/۳ تا ۲/۵ برابر قطر پايه پل مي باشد.



شکل۵- مقایسه عمق بي بعد آبشستگي
در حالت تعادل

تغییرات زمانی عمق آبشستگی

به منظور بررسي تغييرات زماني عمق آبشستگي لازم بود آزمايش ها در مدل پايه هاي پل ديگر نيز انجام شود. لذا پايه هايي با قطرهاي ۱۸ ، ۲۱ و ۲۷ ميلي متر براي اين منظور استفاده شدند و آزمايش هاي آبشستگي با آن پايه ها نيز صورت پذيرفت. با تحليل آزمايش ها، شكل۳ و همچنين با استفاده از نرم افزار *CurveExpert* ، بهترين رابطه براي تغييرات زماني عمق آبشستگي بصورت رابطه زير استخراج گرديد:

$$\frac{d_s}{d_{se}} = a\,t^{-(\frac{b}{t})} \quad , \qquad t\,(\text{min}) \qquad [۱۴]$$

$r = 0.986$ تا 0.973

در رابطه فوق d_s عمق آبشستگي در لحظه t و d_{se} عمق آبشستگي در لحظه t_e مي باشند. b, a ضرائب ثابتي هستند كه به شرايط هيدروليكي، مشخصات ذرات رسوبي و مشخصات هندسي پايه پل بستگي دارند. با بررسي هايي كه انجام گرفت نتايج زير حاصل شد:

$$a = a\left(\frac{D}{d_{50}}\right) \quad , \quad b = b\left(\frac{V}{V_c}\right) \qquad [۱۵]$$

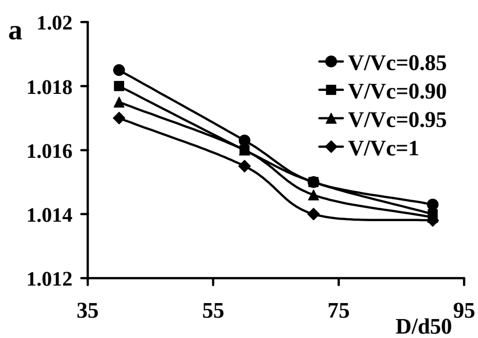
با استفاده از نرم افزار *CurveExpert* و شكل هاي ۶ و ۷ روابط زير براي a و b استخراج گرديد:

[۱۶]

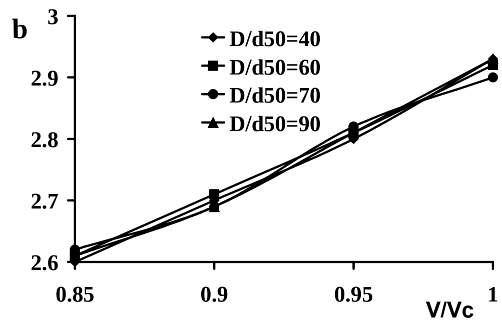
$$a = 1 + 0.05\left(\frac{D}{d_{50}}\right)^{-0.28}, \; r = 0.987$$

[۱۷]

$$b = 2.93\left(\frac{V}{V_c}\right)^{0.71} \quad , \quad r = 0.997$$

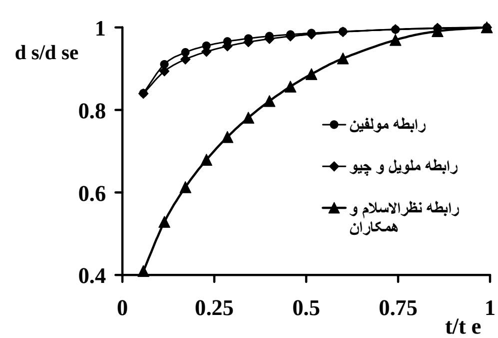


شکل۶- رابطه $\frac{D}{d_{50}}$ و a

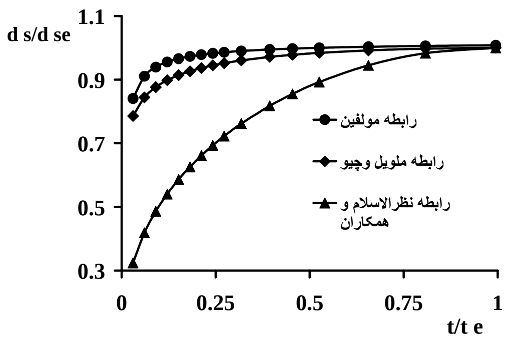


شکل۷- رابطه $\frac{V}{V_c}$ و b

رابطه استخراجي با رابطه ملويل و چيـو(۱۹۹۹) و همچنـين رابطه نظرالاسلام و همکـاران(۱۹۸۶) مقايـسه شـد. شـکل۸ نمونه اي از اين مقايسه را در $\frac{V}{V_c}=0.95$، نشان مي دهـد. چنانچـه مـشاهده مـي شـود رابطـه ارائـه شـده توسـط نظرالاسلام و همکـاران (۱۹۸۶) اخـتلاف معنـي داري بـا دو منحني ديگر دارد. با توجه به اينکه نظرالاسـلام و همکـاران (۱۹۸۶) تغييرات عمق آبشستگي را بصورت تـابع سينوسـي بيان کرده اند، بنظر مي رسد کـه ايـن عامـل سـبب اخـتلاف شده است. رابطه مـولفين بـا رابطـه ملويـل و چيـو (۱۹۹۹) مطابقت خيلي خوبي را نشان مي دهد. درترسيم منحنـي هـا از تعريفي که مولفين اين مقاله مطرح کرده اند، بعنوان زمان تعادل آبشـستگي اسـتفاده شـده اسـت. چنانچـه از تعريـف ملويل و چيو (۱۹۹۹) براي زمان تعادل آبشـستگي اسـتفاده شود ملاحظه خواهد شد که تعريف اخيـر زمـان تعـادل را بزرگ نشان مي دهد. شکل ۹ اين نتيجه را نشان مي دهد.



شکل۸- مقايسه روابط تغييرات زماني عمق آبشستگي با استفاده از تعريف مولفين براي زمان تعادل



شکل۹- مقايسه روابط تغييرات زماني عمق آبشستگي با استفاده از تعريف ملويل و چيو براي زمان تعادل

با توجه به اينکه در حالت تعادل $d_s = d_{se}$ مي باشـد، با مقايسه روابط ۱۴ ، ۱۶ و ۱۷ زمان تعـادل از رابطـه زير محاسبه مي شود:

$$\frac{Ln\,t_e}{t_e}=\frac{Ln\left(1+0.05\left(\frac{D}{d_{50}}\right)^{-0.28}\right)}{2.93\left(\frac{V}{V_c}\right)^{0.71}}$$

[۱۸]

$$t_e(\min) \quad , \quad r=0.968$$

نتيجه گيري

در ايـن تحقيـق تغييـرات زمـاني عمـق آبشـستگي اطراف پايه پل مورد بررسي قرار گرفت. تعريفي براي زمان تعادل عمـق آبشـستگي مطـرح شـد و سـپس بـا استفاده از آن تعريـف روابطـي بـراي محاسـبه زمـان تعادل و تغييرات زماني عمق آبشـستگي ارائـه گرديـد. با مقايسه روابط تحقيق حاضر با ديگر روابط موجـود در اين خصوص، نتايج قابل قبولي بدست آمد.

منابع مورد استفاده

ارونقي ه، حسين زاده دلير ع، فاخري فرد الـف و فرسـادي زاده د، ۱۳۸۵. بررسـي آزمايـشگاهي تـاثير ديـواره هـاي جانبي كانال بر روي عمق حفره آبشستگي اطراف پايـه هـاي پـل. مجلـه دانـش كـشاورزي، جلـد ۱۶، شـماره ۲. صفحه هاي ۱ تا ۱۱.

زراتي الف و عزيزي م، ۱۳۷۶. بررسي روش‌هاي كنترل و كاهش آبشستگي پايه هاي پل. صـفحه هـاي ۲۶۱ تـا ۲۶۷. مجموعه مقالات اولين كنفرانس هيدروليک ايران. ۱۱ - ۱۳ شهريور ماه، دانشگاه تهران، تهران.

شفاعي بجستان م، ۱۳۷۳. هيدروليک رسوب. انتشارات دانشگاه شهيد چمران اهواز.

Chiew YM, 1992. Scour protection at bridge piers. J Hyd Eng ASCE 118 (11): 1260-1269.

Chiew YM, 1995. Mechanism of riprap failure at bridge piers. J Hyd Eng ASCE 121 (9) 635-643.

Kumar V, Rango Raju KG and Vittal N, 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. J Hyd Eng ASCE. 125 (12) : 1302-1305.

Melvill BW, 1997. Pier and abutment scour : integrated approach. J Hyd Eng ASCE 132, (2) : 125-136.

Melvill BW and Chiew YM, 1999. Time scale for local scour at bridge piers. J Hyd Eng ASCE 125, (1) : 59-65.

Melvill BW and Sutherland AJ, 1988. Design method for local scour at bridge piers. J Hyd Eng ASCE 114 (10) : 1210-1226.

Nazrul Islam MD, Garde RJ and Ranga Raju KG, 1986. Temporal variation of local scour. Pp. 252-262. Symposium on Scale Effects in Modeling Sediment Transport Phenomena. August 25-28, Toronto, Canada.

Sheppard DM and Miller Jr W, 2006. Live-bed local scour experiments. J Hyd Eng ASCE 132, (7) : 635-642.

Vittal N, Kothyari UC and Haghighat M, 1994. Clear-water scour around bridge pier group. J Hyd Eng ASCE 120, (11) : 1309-1318.