بررسی پدیده فرا آب در بالادست پایه پل مستطیلی شکل در قوس رودخانه

شیوا شالبافی[۱]، علیرضا مسجدی[۱*]، امیر عباس کمانبدست[۱]

۲) گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

*نویسنده مسئول: drmasjedi.2007@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۸/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۳۰

چکیده

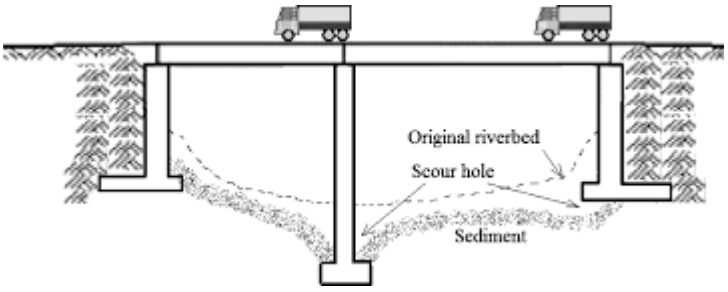
با احداث پل در مسیر رودخانه، معمولاً عرض طبیعی جریان کاهش یافته و مانعی در برابر جریان به وجود آمده و عمق آب در بالادست پل افزایش می‌یابد. این افزایش عمق را فراآب می‌نامند. به منظور بررسی عملکرد پایه پل مستطیلی با ابتدا و انتهای تیز گوشه بر فراآب بالادست آن در قوس ۱۸۰ درجه، آزمایش‌هایی انجام شد. برای این منظور در یک کانال مستطیلی آزمایشگاهی از جنس پلکسی گلاس با قوس ۱۸۰ درجه دارای بستر ثابت در شرایط آب زلال، آزمایش‌هایی انجام شد. در این تحقیق با قرار دادن یک پایه مستطیلی از جنس پلکسی گلاس در محور مرکزی کانال، اقدام به یک سری آزمایش‌ها شد. آزمایش‌ها با چهار ضریب تنگ‌شدگی، دو نسبت طول به عرض و در دبی‌های مختلف انجام شد. در هر آزمایش دبی کانال اصلی و عمق آب در بالادست پایه در دو نقطه اندازه‌گیری شد. نتایج این تحقیق نشان داد وجود پایه در مسیر جریان آب باعث بالا آمدگی عمق جریان در بالادست آن می‌گردد. همچنین عدد فرود با فراآب رابطه مستقیم و با ضریب تنگ شدگی رابطه معکوس دارد. نتایج نشان داد با افزایش نسبت طول به عرض، فراآب افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: قوس ۱۸۰ درجه، فرا آب، پایه پل، ضریب تنگ‌شدگی

مقدمه

وجود راه‌ها و بزرگ‌راه‌های متعدد در حد فاصل و در داخل شهرها سبب شده است که برای عبور از روی رودخانه‌ها، از پل استفاده شود. پایه‌های پل یکی از موانعی است که در مسیر جریان آب در کانال‌ها و رودخانه‌ها، باعث انقباض و انبساط جریان و به طور کلی تغییراتی در حرکت آب می نماید. به طور کلی نیروهای ناشی از جریان آب بر پایه‌ها در مقایسه با سایر نیروها سازه‌ای که می‌بایست تحمل گردد، ناچیز است. اما آنچه در مورد وجود پایه‌های پل در مسیر جریان حائز اهمیت است، افزایش عمق جریان آب در بالادست پایه است که در کاهش سطح مقطع در محل پایه پل بوجود می‌آید. اصولا در ساختمان پل‌ها، برای حفاظت کناره‌های رودخانه هنگام وقوع سیل وهمچنین صرفه‌جوئی در مسائل اقتصادی، سعی می‌شود که طول پل از عرض طبیعی رودخانه کمتر باشد. به عبارت دیگر سطح مقطع جریان را در محل ساختمان پل کم می‌نمایند. این امر باعث ایجاد یک سطح انقباط جریان در محل ساختمان پل می‌گردد و جریان یکنواخت رودخانه را به جریان متغیر سریع تبدیل می‌نماید.

شکل (۱) مقطع عرضی جریان هنگام عبور از بین پایه پل را نشان می‌دهد. مطابق شکل پروفیل برگشت آب تا فاصله‌ای در بالادست پل، ادامه دارد. در این نقطه، پل اثری بر روی جریان نداشته و در نتیجه جریان یکنواخت در این نقطه و بالادست آن وجود دارد. فاصله بین این مقطع تا سازه پل به پارامترهایی چون هندسه، زبری و شیب مجرا بستگی دارد. در فاصله بین این مقطع و پل، سطح آب بالا می‌آید و از عمق نرمال بیشتر می‌شود. جریان معمولا در بالادست و پائین دست پایه متغییر تدریجی و در محل پل، متغییر سریع می‌باشد.



شکل۱: مقطع عرضی جریان هنگام عبور از بین پایه پل

وجود پایه‌های پل در مسیر حرکت آب در کانال و یا رودخانه باعث تنگ‌شدگی در مقطع جریان می‌شود. این تنگ‌شدگی سبب افزایش ارتفاع در تراز سطح آب در بالادست محل سازه پل خواهد شد. هر چه پهنای دهانه پل نسبت به عرض مجرا کمتر باشد میزان فراآب بیشتر است؛ و به عکس. هنگامی که جریان از یک تنگ شدگی عبور می‌کند، سطح آب در بالادست سازه در مقایسه با حالت قبل از ایجاد تنگ‌شدگی افزایش می‌یابد. اهمیت اثر فراآب ایجاد شده در بالادست پل، در برآورد تراز آب رودخانه معین می‌شود

و همچنین برای صرفه‌جوئی در مسائل اقتصادی، سعی می‌شود که طول پل از عرض طبیعی رودخانه کمتر باشد. به عبارت دیگر سطح مقطع جریان در محل ساختمان پل را کم می‌نمایند. این امر موجب می‌شود که یک سطح انقباض جریان در محل ساختمان پل پدید آید و جریان یکنواخت رودخانه را در محل پایه‌های پل به جریان متغییر سریع تبدیل نماید. در بالادست پل، جریان متغیر تدریجی است . در رودخانه‌های با سیلاب دشت عریض، محل بیشترین فرا آب در فاصله‌ای در حدود نصف عرض دهانه پل در نظر گرفته می‌شود. در گذشته، تحقیقاتی در زمینه فراآب انجام گرفته و روابطی تجربی برای برآورد فراآب ارائه شده است.

Yarnell (۱۹۳۴) تحقیقی در خصوص پدیده فرا آب در بالادست پایه‌های پل انجام داد که نتیجه تحقیقات منجر به ارائه رابطه زیر برای شکل‌های پایه پل گردید:

$$\frac{\Delta y}{y} = K\left(K + 5Fr^2 - 0.6\right)\left(\alpha + 15\alpha^4\right)Fr^2 \qquad (۱)$$

که در رابطه (۱) h_3 عمق نرمال جریان قبل از احداث پل بر حسب متر، σ ضریب تنگ شدگی$(\sigma = (1 - b/B)$، Fr عدد فرود مربوط به عمق نرمال جریان، K ضریب شکل پایه و مقدار آن بر حسب شکل پایه در محدوده ۱/۲۵-۰/۹ می‌باشد.

Al-Nassn (۱۹۹۴) بر اساس داده‌های آزمایشگاهی، رابطه (۲) را ارائه نمود:.

$$\frac{\Delta h}{h_3} = 6.78\left(\frac{Fr}{\sigma^{1.8}}\right)^{2.285} \times \varphi^{-0.947} \qquad (۲)$$

که در رابطه (۲): φ ضریب شکل پایه و مقدار آن بسته به شکل پایه و عدد فرود جریان در محدود ۵/۸۵-۲/۳۵ است Ghodsian et al. (۲۰۰۰). با در نظر گرفتن زاویه محور پایه پل مستطیلی شکل با جهت جریان α، در این زمینه مطالعاتی انجام دادند(۴). Ghodsian and Shfieefar (۲۰۰۱) به تحلیل فراآب پایه‌های پل دایره‌ای شکل پرداختند (۵). آنان همچنین در سال۲۰۰۲ با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی، به روابط (۳) دست یافتند.

$$\frac{\Delta h}{h_3} = KFr^{1.265}\sigma^{-1.812}\alpha^{0.054} \qquad (۳)$$

برای پایه دایره‌ای شکل با پایه‌های غیر دایره‌ای، زمانی که زاویه α برابر صفر درجه باشد، پارامتر زاویه از معادله حذف می‌شود. ضریب شکل(K) در رابطه فوق، بسته به شکل پایه، در محدوده ۰/۶۸۹-۰/۳۵۷ متغیر است.

Charbeneau and Holley (۲۰۰۱) با انجام آزمایش‌های مفصلی بر روی پایه‌های با شکل‌های متفاوت رابطه یارنل را به‌صورت زیر اصلاح نمودند.

$$\frac{\Delta y}{y} = \beta K\left(K + \mu 5Fr^2 - 0.6\right)\left(\alpha + 15\alpha^4\right)Fr^2 \qquad (۴)$$

در رابطه (۴) رابطهβ و α ضرایب ثابت روش هستند که مقدار آنها بر اساس آزمایشات انجام شده برای پایه‌هایی مشابه آزمایش های یارنل، $\beta = 0.65$ و $\alpha = 0.69$ می باشد. ایشان برای پایه های با اشکال مختلف ضرایب ثابت متفاوت ارائه نمودند.

مواد و روش‌ها

در مدل‌سازی پدیده فرا آب، مهمترین هدف تعیین مقدار بالا آمدگی عمق جریان در بالادست پایه پل در کانال اصلی است. با در نظر گرفتن جریان دائمی متغیرهای موثر بر بالا آمدگی عبارتند از:

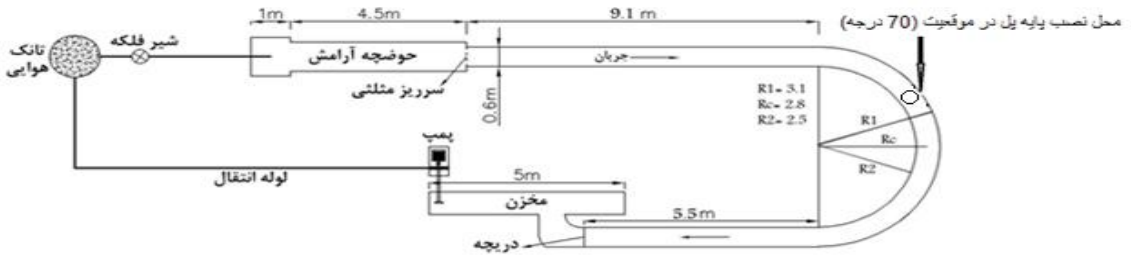
$$\Delta h = F(V, h_2, \sigma, L, b, g) \qquad (۵)$$

در رابطه (۵): h_2 عمق جریان ورودی در بالادست پایه، V سرعت جریان ورودی، $\sigma = (1 - b/B)$ ضریب تنگ شدگی، L طول پایه، b عرض پایه و g شتاب جاذبه می‌باشند. با استفاده از تئوری باکینگهام رابطه (۵) بصورت زیر بدون بعد می‌شود:

$$\frac{\Delta h}{h_2} = f\left(Fr, \sigma, \frac{L}{b}\right) \qquad (۶)$$

در رابطه (۶)، Fr عدد فرود، L/b نسبت طول به عرض نسبی پایه و $\Delta h/h_2$ فراآب می‌باشد.

آزمایش‌های این تحقیق بصورت هیدرولیکی و بدون رسوبات بستر با نصب پایه در موقعیت ۷۰ درجه در فلوم آزمایشگاهی در دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز انجام شد (شکل ۲). پایه مورد نظر از جنس پلکسی گلاس با ضخامت ۳ میلی‌متر و دو نسبت طول به عرض نسبی پایه (L/b)۲ و ۳ و چهار ضریب تنگ‌شدگی ۰/۸۰، ۰/۸۲، ۰/۸۸، ۰/۹۲ ساخته شد.



شکل ۲: پلان کانال قوسی شکل

کلیه آزمایش‌ها در این تحقیق با توجه به ظرفیت آزمایشگاه و پمپ در چهار عدد فرود ۲۰،۱۸،۱۶،۱۴ لیتر بر ثانیه انجام شد. در ابتدای هر آزمایش پایه پل مورد نظر را در موقعیت ۷۰ درجه در قوس نصب شد. پیش از راه اندازی پمپ، دریچه انتهائی بسته شده و سپس آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت گردید. پس از بالا آمدن آب با تنظیم دقیق و همزمان شیر فلکه و دریچه پائین دست عمق جریان ۱۱ سانتی‌متر و دبی مورد نظر حاصل شد. بلافاصله بعد از تنظیم عمق آب و دبی پایه پل مورد نظر در محور

مرکزی فلوم در بستر و در موقعیت ۷۰ درجه نصب شد. پس از قرار گرفتن پایه در کف فلوم، بالاآمدگی آب در نزدیک پایه مشاهد شد. سپس با استفاده از یک خط‌کش همراه با نصب تراز در کنار آن، مقادیر عمق آب در نزدیکی پایه (h_2) و سپس در امتداد پایه در بالادست تا جایی که به عمق نرمال برسد. در کلیه آزمایش‌ها دبی توسط سرریز لبه تیز مثلثی در ابتدای فلوم اندازه گیری شد.

بحث و نتایج

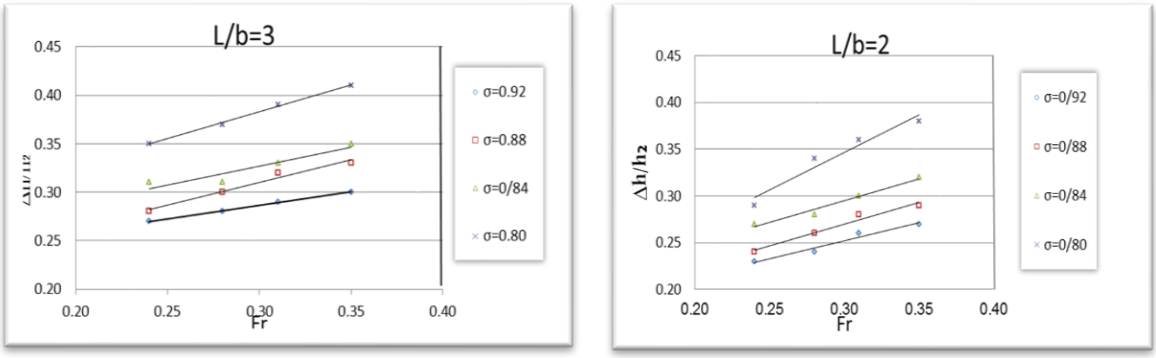
در این تحقیق آزمایش‌ها جهت تعیین اثر پدیده فراآب در بالادست پایه پل مستطیلی با ابتدا و انتهای تیز گوشه در قوس ۱۸۰ درجه در چهار دبی و چهار ضریب تنگ‌شدگی و دو نسبت طول به عرض پایه پل، انجام گرفت. متغیرهای موثر در این تحقیق ضریب تنگ‌شدگی و عدد فرود و نسبت طول به عرض پایه بود. در همه آزمایش‌ها پس از تنظیم دبی و عمق جریان، بلافاصله در دماغه در بالادست پایه بالا آمدگی آب تشکیل شد (شکل۳). این پروسه در نزدیک پایه در بالادست تا جایی که به عمق نرمال برسد، ادامه می‌یابد. آب از بالادست پایه شروع به افزایش ارتفاع کرده در محل انقباض، سطح آب به سرعت کاهش می‌یابد. در محل تنگ‌شدگی و در بین آخرین خطوط جریان و بدنه پایه پل، گرداب تشکیل می‌شود. در طول پایه عرض جریان کمترین مقدار خود را دارد. در بالادست پایه جریان نرمال برقرار بوده و در حد فاصل بین پایه پل و پایین دست، جریان متغیر تدریجی وجود دارد.

شکل۳: میزان بالا آمدگی آب (فراآب) در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه

بررسی تأثیر عدد فرود بر فراآب بالادست پایه پل

شکل (۴) نمودار بدون بعد عدد فرود فراآب در بالادست پایه پل در چهار ضریب تنگ‌شدگی ۰/۸۰، ۰/۸۴، ۰/۸۸، ۰/۹۲ و در دو نسبت طول به عرض نسبی پایه ۲و۳ نشان می دهد. نتایج حاصل از نمودارها نشان می‌دهد عدد فرود با فراآب در بالادست پایه پل، نسبت مستقیم دارد و با افزایش عدد فرود در کلیه ضرایب تنگ‌شدگی برای دو مقدار نسبت طول به عرض ۲ و ۳، افزایش می‌یابد.

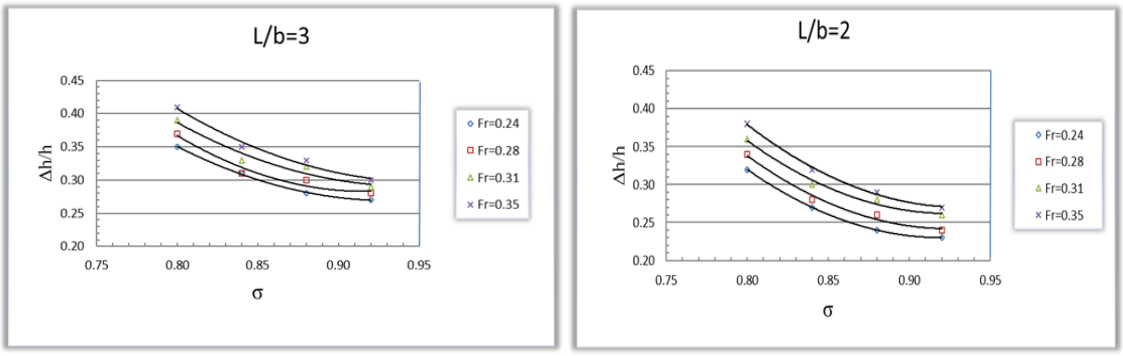
بعبارت دیگر افزایش عدد فرود در کانال اصلی باعث افزایش سرعت جریان و افزایش انرژی در کانال اصلی شده و در نتیجه باعث افزایش عمق جریان در نزدیکی بالادست پایه پل می‌گردد.



شکل ۴: تأثیر عدد فرود بر فراآب بالادست پایه پل در ضرایب تنگ شدگی مختلف در دو نسبت طول به عرض

بررسی اثر ضریب تنگ‌شدگی بر فراآب در بالادست پایه پل

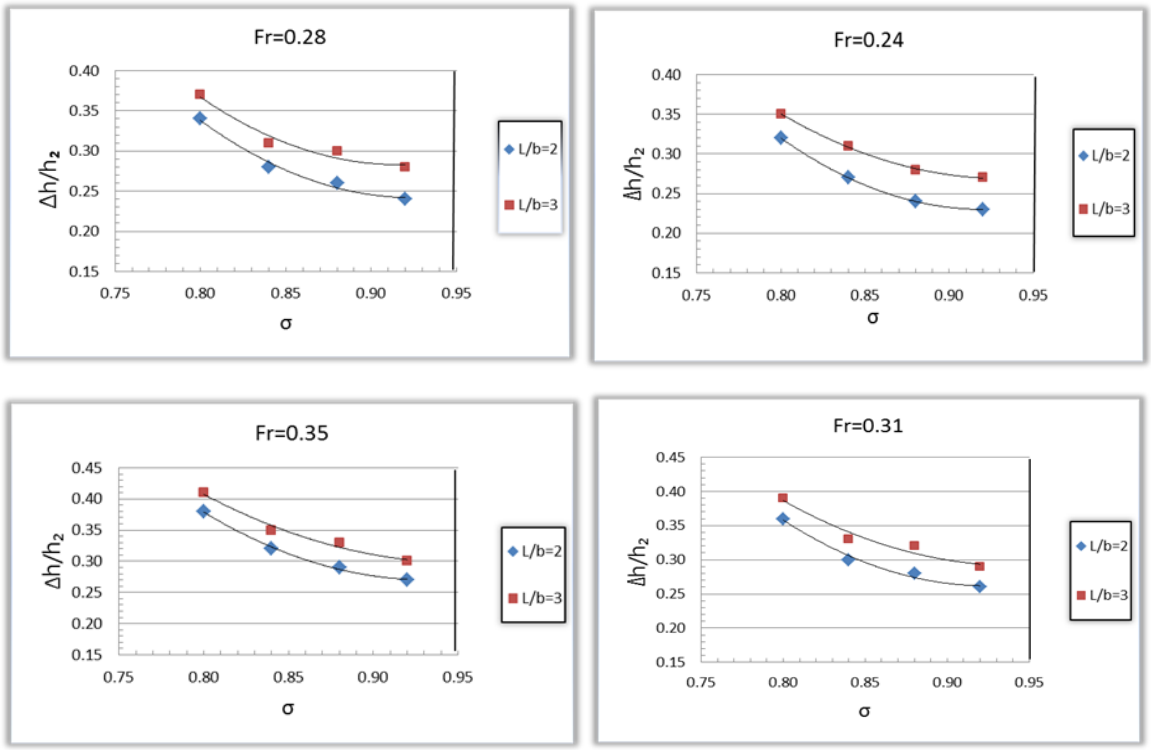
شکل (۵)، نمودار بدون بعد نسبت ضریب تنگ‌شدگی و فراآب در بالادست پایه پل در چهار عدد فرود ۰/۲۴، ۰/۲۸، ۰/۳۱ و ۰/۳۵ و دو طول به عرض نسبی پایه ۲ و ۳ را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از نمودارها نشان می‌دهد، ضریب تنگ‌شدگی با فراآب در بالادست پایه پل، نسبت عکس دارد و با افزایش ضریب تنگ‌شدگی در کلیه اعداد فرود، برای دو مقدار نسبت طول به عرض ۲ و ۳ به‌صورت غیر خطی کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر اگر عرض پایه در مسیر جریان کمتر باشد، مقدار فراآب کمتر خواهد بود. انقباض جریان در محل پایه‌های پل باعث ایجاد کاهش افت انرژی در جریان آب شده و در نتیجه باعث افزایش عمق آب و ایجاد فراآب در بالادست پایه پل می‌گردد.



شکل۵: تأثیر ضریب تنگ شدگی بر فراآب در اعداد فرود مختلف در دو نسبت طول به عرض

بررسی تأثیر نسبت طول به عرض پایه بر فراآب

شکل (۶) نمودار بدون بعد نسبت ضریب تنگ‌شدگی و فراآب در بالادست پایه پل در اعدد فرود مختلف ۰/۲۴، ۰/۲۸، ۰/۳۱، ۰/۳۵ و دو نسبت طول به عرض نسبی پایه ۲ و ۳ را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از نمودارها نشان می‌دهد در کلیه اعداد فرود مختلف، دو نسبت طول به عرض پایه ۳ بالاتر از ۲ می‌باشد. به عبارت دیگر با افزایش نسبت طول به عرض پایه پل، افت انرژی در طول پایه افزایش و باعث افزایش بالاآمدگی عمق آب در بالادست پایه می‌گردد.



شکل ۶: مقایسه ضریب تنگ شدگی بر فراآب در دو نسبت ظول به عرض پایه ۲و۳ در اعداد فرود مختلف

نتیجه‌گیری نهایی

در این تحقیق آزمایش‌ها جهت تعیین اثر پدیده فراآب در بالادست پایه پل مستطیلی با ابتدا و انتهای تیز گوشه در قوس ۱۸۰ درجه در چهار دبی و چهار ضریب تنگ‌شدگی و دو نسبت طول به عرض پایه پل، انجام گرفت. متغیرهای موثر در این تحقیق ضریب تنگ‌شدگی و عدد فرود و نسبت طول به عرض بود. نتایج این تحقیق نشان داد حداکثر عمق فراآب در کلیه آزمایش‌ها در بالادست پایه و در نزدیکی دماغه پایه مشاهده می‌گردد. با افزایش عدد فرود در کلیه ضرایب تنگ‌شدگی برای دو مقدار نسبت طول به عرض ۲ و ۳، افزایش می‌یابد. با افزایش ضریب تنگ‌شدگی در کلیه اعداد فرود برای دو مقدار نسبت طول به عرض ۲ و ۳ به‌صورت غیر خطی کاهش می‌یابد و با افزایش نسبت طول به عرض پایه در کلیه اعداد فرود، بصورت غیر خطی افزایش می‌یابد.

سپاسگزاری

به این وسیله از مسئولین محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز برای حمایت مالی، تأمین وسایل و ایجاد تسهیلات، صمیمانه قدردانی می‌گردد.

منابع

Al-Nassn, S. **(1994).** Effect of bridge pier shape and contraction ratio on backwater profile. Hydraulic Engineering 94.

Charbeneau, R. J. **and Holley. (2001).** Backwater effects of bridge piers in subcritical flow. center for transportation research the university of texas at austin , project Summary Report 1805-S.

Ghodsian, M. and Shafieefar, M. (2002). Effect of Shape of Bridge Pier on Afflux, Prooeedings of 8 th IAHR-ADP Congress, Singapore, August.

Ghodsian, M., Shafieefar, M. and Hashemi, S. J. (2000). Afflux due to rectangular bridge pier, conference on water resources engineering and water resources planning and management America society of civil engineers, july 30-August 2, Minneapolis, Minnesota, USA.

Ghodsian, M. and Shafieefar, M. (2001). Afflux upstream of circular bridge pier. 29 th congress of IAHR, sept.16-21, Beijing, China.

Yarnell, D.L. (1934). Pile trestles as channel obstructions Technical Bulletin 429, U.S.A, Department of agriculture, Washington.

Investigation of the flood phenomenon upstream 0n the base of the rectangular bridge in the river bend

Shiva Shalbafi[1], Alireza Masjedi[1*], Amir Abbas Kamanbedast[1]

[1]Water and science engineering department, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran

***Correspondence author:** drmasjedi.2007@yahoo.com

Received Data: 2020. 10. 29 Accepted Data: 2021. 05. 20

Abstract

With the construction of a bridge along the river, the natural width of the stream is usually reduced and a barrier is created against the flow and the water depth upstream of the bridge increases. This increase in depth is called overflow. In this study, in order to evaluate the performance of the base of a rectangular bridge with a sharp beginning and end on the upstream overflow in a 180 degree bend, experiments with a physical model were performed. For this purpose, experiments were performed in a laboratory rectangular channel made of Plexiglas with a 180 degree bend with a fixed bed in clear water conditions. In this research, a series of experiments were performed by placing a rectangular base made of Plexiglas in the central axis of the canal. The experiments were performed with four coefficients of constriction, two length-to-width ratios and at different discharges. In each experiment, the main channel discharge and water depth upstream of the base were measured at two points. The results of this study showed that the presence of a base in the water flow path causes the flow depth to rise upstream. Also, the Froude number (Fr) is directly related to the flood and is inversely related to the coefficient of narrowing. Also results showed that with increasing the length-to-width ratio the overflow increases.

Keywords: 180 degree bend, overwater, bridge base, narrowing coefficient