

انسداد سرریزهای کلید پیانویی در جریان‌های آواری با سیستم آزمایش‌های انفرادی

کوثر منصوری^۱ و جواد احدیان^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- نویسنده مسئول، دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۳

تاریخ دریافت: ۹۴/۲/۱۹

چکیده

این پژوهش به علت اهمیت مشکلاتی که انسداد اجسام توسط جریان‌های آواری، برای سازه‌های هیدرولیکی به وجود می‌آورد، انجام شده است؛ از این رو، در این تحقیق اثر به دام افتادگی اجسامی مانند کنده‌ها و شاخه‌های درختان در حالت ورود انفرادی به سرریزهای کلید پیانویی بررسی گردیده است. در جریان‌های آواری کاهش ظرفیت تخلیه و افزایش ارتفاع آب در پشت سرریز کلید پیانویی قابل انتظار است. آزمایش‌های این تحقیق روی دو سرریز کلید پیانویی به ارتفاع ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متر مستقر در فلوم آزمایشگاهی به طول ۱۲ متر و عرض ۸۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر انجام شد. بر روی سرریز مذکور از دیواره‌های سپری با ارتفاع ۲/۵، ۳/۵، ۴/۵ سانتی‌متر استفاده شد. آزمایش‌ها در دو حالت با دیواره سپری و بدون آن انجام گردید. از طرفی از نظر هیدرولیکی حالت انفرادی شاخه‌ها و کنده‌ها در جریان آواری مورد بررسی واقع شد. آزمایش‌های انفرادی نشان داد که قطر کنده‌ها و میزان بار آبی بالادست سرریز بر احتمال انسداد تأثیرگذار هستند، به طوری که افزایش قطر و کاهش بار آبی هر دو منجر به افزایش میزان انسداد می‌شوند؛ در واقع در $D/H > 1$ میزان انسداد تا ۱۰۰ درصد افزایش و در $D/H < 0.3$ تا صفر درصد کاهش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: جریان آواری، انسداد، سرریز PKW، آزمایش‌های انفرادی، کنده درخت، دیواره سپری.

Blockage of Piano Key Weirs in Debris Flow with Individual Experiments

K. Mansouri¹ and J. Ahadiyan^{2*}

1- M.Sc. Student, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

2* - Associate Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received: 9 May 2015

Accepted: 25 October 2015

Abstract

Due to the problems of hydraulic structures at blocking bodies in debris flows this research has been carried out. Hence, in this study the effect of the trap drop bodies such as logs and branches of trees on piano key weirs at individual step was considered. The debris flows, decreasing in discharge capacity and raising the water level can be expected in the piano key weirs. The experiments of this research were performed on two piano key weirs with 10 and 30 cm in height on an experimental flume, 12 meters in length, 80 cm width and height of 70 cm. On these weirs three parapet walls with 2.5, 3.5 and 4.5cm height were installed. As a hydraulically criterion, Individual branches and logs in debris flow were studied. Individual experiments showed that the diameter and the upstream head of spillway affect the likelihood of blockage. However, both the increasing in diameter and head decreasing, increase the blockage. Therefore the probability blocking increases in $D/H > 1$ and it decreases at $D/H < 0.3$.

Keywords: Debris Flow, Blockage, PKW, Individual experiments, Tree log, Parapet wall.

مقدمه

در مناطق نسبتاً خشک سیلاب‌ها گاهی به همراه خود اجسام شناور و تخته چوب‌هایی درون کانال‌ها، آبراهه‌ها و نهرها حمل می‌کنند که شیب رودخانه، مقدار دبی، اندازه و تعداد صخره‌ها و تخته‌سنگ‌هایی که بستر کانال‌ها را پوشش می‌دهند بر اندازه و شکل این اجسام شناور چوبی تأثیرگذار هستند (فیسر و همکاران^۱، ۲۰۱۳). به غیر از عوامل واریزه‌ای ساخت بشر، در رودخانه‌های با شیب زیاد واریزه‌های طبیعی که شامل کنده‌ها و شاخه‌های درختان ناپایدار و خشکیده است، نیز حمل می‌شوند که در واقع این تخته‌سنگ‌ها و صخره‌های موجود در مسیر سیلاب‌ها هستند که باعث شکسته شدن درختان و تبدیل آن‌ها به اجزای کوچک‌تر چون کنده‌ها (تنه‌ها) و شاخه‌ها می‌گردند. لغزش یا فرسایش سواحل نیز ممکن است تمام درختان ساحل را وارد جریان رودخانه نماید (کلر و سوانسون^۲، ۱۹۷۹؛ دایل و براین^۳، ۱۹۹۳؛ فیسر و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین جریان‌های آواری را می‌توان از ابعاد گوناگون مورد مطالعه قرار داد. جریان‌های آواری چوبی موجب مشکلات جدی در سازه‌های هیدرولیکی مانند سرریزها (به نقل از فیسر و همکاران، ۲۰۱۳)، عرشه پل‌ها (اشموکر و هگر^۴، ۲۰۱۱) یا پایه‌های پل (ملویل و دونگول^۵، ۱۹۹۲؛ پاگیلارا و کارناسینا^۶، ۲۰۱۰) می‌شوند. تجمع حجم زیادی از این آوارها به خصوص کنده‌های درختان در نقاطی از سازه‌های هیدرولیکی (مانند پل‌ها) که ممکن است در طراحی در نظر گرفته نشده باشند، می‌تواند در مواردی آبستتگی محلی موجود در آن‌ها را تشدید کند (زونبرگ و همکاران^۷، ۲۰۰۶). همچنین عبور این جریان‌های حاوی کنده‌ها و شاخه‌های درختان از روی سرریزها باعث انسداد قسمتی از مقطع عبور جریان یا تمام آن شده، و با کاهش ظرفیت گذردهی جریان سرریز، باعث افزایش عمق بالادست سرریز می‌شود. انسداد ورودی‌های سازه‌هایی چون سرریزها، پل‌ها و کالورت‌ها، توسط این آوارها می‌تواند ایمنی آن‌ها را به خطر اندازد (چانگ و شن^۸، ۱۹۷۹؛ دایل، ۱۹۹۷؛ بزولا و همکاران، ۲۰۰۲؛ فیسر و همکاران، ۲۰۱۳). میزان انسداد مقطع بالادست سرریزها به پارامترهای مختلفی از جمله اندازه کنده‌ها و شاخه‌ها و هندسه سرریز بستگی دارد. در سرریزهای غیرخطی مانند سرریزهای کلید پیاپویی^۹ عمق کم جریان روی سرریز (به علت عملکرد هیدرولیکی بالا) و عرض کم کلیدهای ورودی و خروجی، موجب افزایش پتانسیل انسداد در این نوع سرریزها می‌شوند و عملکرد آن‌ها را کاهش می‌دهد؛ چرا که این عمق کم باعث کاهش مومنتم جریان در هر واحد از طول

سرریز برای عبور دادن آوارها می‌شود (فیسر و همکاران، ۲۰۱۳). بنابراین به علت اثر بالقوه واریزه‌های شناور بر ظرفیت تخلیه سرریز کلید پیاپویی؛ در سرریز سدهای واقع در حوضه‌های با پوشش جنگلی، انسداد ناشی از آوارهای چوبی به‌عنوان یک پارامتر مهم در طراحی باید در نظر گرفته شود (لیت‌ریبریو و همکاران^{۱۰}، ۲۰۱۲). در خصوص تحقیقاتی انجام شده بر روی سرریزهای کلیدپیاپویی می‌توان به تحقیق افضلیان و احدیان (۱۳۹۴) اشاره نمود. این محققین بر روی ضریب گذردهی جریان عبوری از سرریز تحقیقات خود را انجام دادند و اثر دیوار سپری زاویه‌دار را بر بازده سرریز بررسی نمودند. به طور کلی تاکنون مطالعات چندانی در خصوص تأثیر واریزه‌ها بر سرریزهای کلید پیاپویی انجام شده است. از این مطالعات می‌توان به تحقیق امان و لمپیر^{۱۱} (۲۰۰۶) اشاره نمود، ایشان برای اولین بار جریان‌های آواری شناور را مدل‌سازی نموده و مشاهده کردند که طی زمان پر شدن منبع هیچ اشغال (آواره‌ای) زیر لبه‌ی شیروانی‌های سرریز کلیدپیاپویی تجمع نمی‌یابد؛ ولی، در دبی‌های پایین در کلید ورودی جمع می‌شوند که باعث اندکی کاهش در راندمان تخلیه می‌گردد. آن‌ها نشان دادند که ضریب دبی برای $H/P < 0.5$ تا حدود ۱۰ درصد کاهش می‌یابد. از طرفی این محققین نشان دادند با افزایش دبی سرریز، جریان‌های آواری به سمت پایین‌دست شسته می‌شوند. با آزمایش‌هایی که در آزمایشگاه سازه‌های هیدرولیکی^{۱۲}، انجام شده است، مشخص گردیده که اثر جریان‌های چوبی شناور بر کاهش راندمان دبی در سرریز کلید پیاپویی اضطراری سد مارک^{۱۳} فرانسه بسیار ناچیز است؛ وی همچنین نشان داد، وقتی که دریاچه‌های این سرریز کاملاً باز باشند، بخش وسیعی از آوارها به سمت خروجی متمایل می‌شوند (به نقل از فیسر و همکاران، ۲۰۱۳). لاگر^{۱۴} (۲۰۰۷) با آزمایش‌های خود در رابطه با جریان‌های آواری روی سرریز سد گالورس^{۱۵} فرانسه نشان داد که با عبور زیاد جریان‌های آواری از سرریز افزایش بار آبی رخ می‌دهد. وی همچنین نشان داد که قبل از اینکه سرریز کلیدپیاپویی شروع به کار کند، دریاچه‌ها شروع به جذب جریان‌های آواری به سمت خود می‌نمایند؛ بیشتر جریان‌های آواری در عمق‌های بیش از یک متر از سرریز عبور می‌کنند؛ بیشتر خطوط جریان از زیر اشغال‌های تجمع یافته در سرریز کلیدپیاپویی عبور کرده و وارد کلید ورودی می‌گردند؛ دبی باقیمانده در سرریزی که جریان‌های آواری آن را اشغال نموده‌اند، بیش از ۸۰ درصد شرایط بدون جریان آواری است. سوگره در سال ۲۰۰۷ (به نقل از فیسر و همکاران، ۲۰۱۳) با مطالعه بر روی سرریز اضطراری سد لایزیر^{۱۶} فرانسه مشاهده نمود که جریان‌های آواری همزمان با تولید

10-Leite Ribeiro *et al.*

11-Ouamane and Lemperiere

12-Laboratory of Hydraulic Constructions

13-St. Marc Dam

14-Laugier

15-Goulours Dam

16-Luzieres Dam

1- Pfister *et al.*

2-Keller and Swanson

3-Diehl and Bryan

4-Schmocker and Hager

5-Melville and Dongol

6-Pagliara and Car-nacina

7-Zevenbergen *et al.*

8-Chang and Shen

9-Piano Key Weirs (PKW)

پارامترهای هندسی سرریز شامل عرض فلوم (w)، ارتفاع سرریز (P)، طول سرریز (B)، طول فونداسیون سرریز (B_b)، طول شیروانی پایین دست سرریز (B_i)، طول شیروانی بالادست سرریز (B_o)، عرض کلید ورودی (W_i)، عرض کلید خروجی (W_o) ضخامت صفحات ساخت سرریز، T_s، ارتفاع دیواره سپری (R) و تعداد سیکل (N) پارامترهای هندسی اجسام و آواره‌های شناور شامل طول کنده درخت (L)، قطر کنده (D) و حجم آوارها (V) است. پارامترهای جریان و سیال شامل دبی جریان (Q)، عمق جریان در بالادست سرریز در شرایط وجود آوار (H)، سرعت بالادست (v)، شتاب ثقل (g)، جرم واحد حجم سیال (ρ)، لزجت دینامیکی (μ) و کشش سطحی (σ) می‌باشد. با استفاده از روش ابعادی، پارامترهای بدون بعد مهم این تحقیق به صورت زیر خواهند شد:

$$F\left(\frac{W_i}{W_o}, \frac{R}{P}, \pi, \frac{T}{W_u}, \frac{T}{D}, \frac{D}{W_u}, \frac{D}{H}, We, Re\right) = 0 \quad (2)$$

$$\pi = f\left(\frac{W_i}{W_o}, \frac{R}{P}, \frac{T}{W_u}, \frac{T}{D}, \frac{D}{W_u}, \frac{D}{H}, We, Re\right) \quad (3)$$

که در این رابطه (π) احتمال انسداد، (W_i/W_o) نسبت عرض کلید ورودی به کلید خروجی، (R/P) نسبت ارتفاع دیواره سپری به ارتفاع سرریز، (T/W_u) نسبت طول کنده‌ها به عرض هر سیکل سرریز، (D/W_u) نسبت قطر کنده‌ها به عرض یک سیکل، (T/D) نسبت طول آواره‌ها به عرض آن‌ها، (D/H) نسبت قطر آواره‌ها به عمق بالادست بعد از وارد کردن آن‌ها در جریان، (We)، عدد وبر و (Re)، عدد رینولدز جریان در بالادست است. در این تحقیق با توجه به برنامه‌ریزی انجام شده جهت آزمایش‌ها عدد رینولدز جریان در محدوده متلاطم و عدد وبر در محدوده‌ی صرف نظر از کشش سطحی در نظر گرفته شد، چرا که عدد رینولدز برای همه سرعت‌ها بالاتر از ۲۰۰۰ به دست آمد و ارتفاع آب روی دیواره سرریز بالاتر از ۳ سانتی‌متر بود لذا اثر کشش سطحی نادیده گرفته شد. از طرفی پارامتر W_i/W_o نیز در کل آزمایش‌ها ثابت در نظر گرفته شد. بنابراین رابطه‌ی (۳) در این تحقیق به رابطه‌ی زیر خلاصه می‌شود:

$$\pi = f\left(\frac{R}{P}, \frac{T}{W_u}, \frac{T}{D}, \frac{D}{W_u}, \frac{D}{H}\right) \quad (4)$$

برای مدل سازی فیزیکی جریان‌های آواری پشت سرریزهای کلید پیلانویی با ورودی کانالی شکل؛ در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشگاه شهید چمران اهواز، دو سرریز کلید پیلانویی با ابعادی که در جدول (۱) آمده است از جنس پلکسی گلاس ساخته و در فلومی به طول ۱۰ متر، عرض ۸۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر با شیب کف صفر قرار داده شد. برای نیل به اهداف تحقیق حاضر ۷ دسته کنده با اندازه‌های مختلف و یک

تولید سرعت آستانه‌ی بالا توسط ورودی‌های سرریز جذب می‌شوند؛ حجم جریان‌های آواری تجمع یافته با افزایش دبی کاهش می‌یابد؛ جریان‌های آواری در بارهای آبی بالا متراکم می‌شوند و در بارهای آبی پایین از تراکم آن‌ها کاسته می‌شود و هد نسبی برای دوره بازگشت صدساله با بار آبی بدون جریان آواری حدود یک متر تا حدود ۱۰ درصد کاهش می‌یابد (به نقل از فیسر و همکاران، ۲۰۱۳). فیسر و همکاران (۲۰۱۳) نیز آواره‌های شناور را در شرایط سرعت نزدیک شونده‌ی صفر به صورت آزمایشگاهی بررسی نمودند. در واقع این محققین سرریز کلید پیلانویی را در پایاب یک مخزن ثابت نصب نمودند و آزمایش‌های جریان آواری را در آن انجام دادند. بر اساس نتایج این محققین مشخص شد که قطر (D) و بار آبی (H)، بیشتر از طول کنده‌ها (T)، بر احتمال انسداد تأثیرگذار می‌باشد؛ بر اساس یافته‌های ایشان در حالتی که کنده‌ها مورد آزمایش قرار دارند، وقتی که $\frac{D}{H} \geq 1$ باشد احتمال انسداد ۱۰۰ درصد و وقتی کمتر از ۰/۳ باشد احتمال صفر خواهد شد؛ اما در حالت آزمایش شاخه‌ها، وقتی $\frac{D}{H} \geq 0.5$ باشد، احتمال انسداد ۱۰۰ درصد و وقتی از ۰/۸ کمتر باشد این احتمال صفر می‌شود؛ در بار آبی پایین تجمع واریزه‌ها، H را تا حدود ۷۰ درصد افزایش می‌دهند؛ ولی، در بارهای آبی بالا H تا حدود ۲۰ درصد افزایش نشان می‌دهد.

با توجه به آنچه که در بخش مقدمه و مروری بر منابع اشاره شد در پژوهش حاضر اثر آواره‌های چوبی بر سرریز کلید پیلانویی با ورودی کانالی شکل بررسی می‌شود؛ یعنی در شرایطی که سرعت نزدیک شونده در نزدیکی سرریز وجود داشته باشد، انجام خواهد شد.

مواد و روش‌ها

برای دست‌یابی به هدف این تحقیق اقدام به تحلیل ابعادی بین پارامترهای مؤثر گردید، سپس برنامه‌ریزی آزمایشگاهی انجام شد. در این بخش تحلیل ابعادی ارائه می‌شود. پارامترهای مؤثر در این تحقیق به صورت زیر دسته‌بندی می‌شوند:

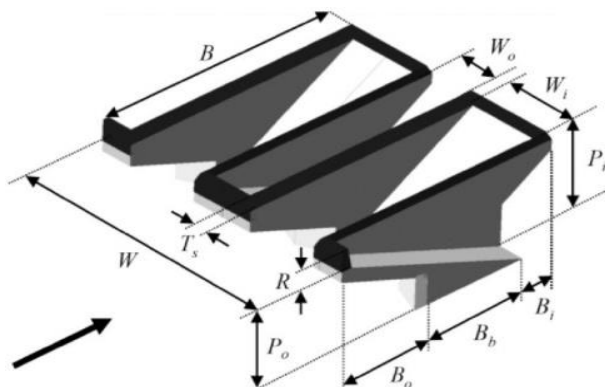
آنالیز ابعادی

تابع هدف بر اساس احتمال انسداد (π)، (که برابر نسبت تعداد قطعات چوبی شناور باقیمانده روی سرریز (به دام افتاده) به تعداد کل قطعات شناور اضافه شده به بالادست) تعریف می‌شود. در نتیجه تابع کلی زیر را می‌توان را بین پارامترهای مؤثر در این تحقیق نوشت:

$$f(H, W, w_i, w_o, W_u, B, B_b, B_i, B_o, P, T_s, R, T, D, Q, g, \sigma, \rho, \mu, N, \pi) = 0 \quad (1)$$

اساس $T/D=20$ نسبت‌های $0.05 < D/W_u < 0.25$ و $0.1 < T/W_u < 5$ انجام گرفت؛ به طوری که طیف گسترده‌ای از کنده‌ها با طول‌های مختلف برای دستیابی به ابعاد مناسب استفاده گردند و ارتباط موجود بین دبی جریان و اندازه واریزه‌ها (به نقل از فیسر و همکاران، ۲۰۱۳) در شرایط آزمایشگاهی، مطابق با شرایط طبیعت باشد. پارامترهای D ، T و W_u ، به ترتیب نمایانگر قطر و طول کنده‌ها و عرض هر سیکل سرریز هستند. در شکل (۱) برخی از پارامترهای سرریز کلیدپیانویی نمایش داده شده است.

دسته شاخه (از هر دسته ۵۰ عدد) جمع‌آوری شد تا پشت سرریز رها شوند. سناریوهای مدنظر این تحقیق مطابق با جدول (۲) می‌باشد. همان طوری که در این جدول مشاهده می‌شود، بزرگ‌ترین طول کنده‌ها ۶۰ سانتی‌متر و کوچک‌ترین طول آنها $8/3$ سانتی‌متر می‌باشد. همچنین شاخه‌ها بر اساس نسبت $5 < U/D < 12$ (U: قطر مؤثر هر شاخه و D : قطر خود شاخه است) و طول بین ۱۹ تا ۲۵ سانتی‌متر انتخاب شدند. شکل (۳) نمایی از کنده‌ها و ابعاد آن‌را نمایش می‌دهد. عمل مقیاس‌بندی و ابعاد شاخه‌ها و کنده‌ها بر



شکل ۱- نمایش سه‌بعدی پارامترهای هندسی سرریز کلید پیانویی (لیت‌ریرو و همکاران، ۲۰۱۲)

جدول ۱- ابعاد سرریزها (برحسب سانتی‌متر)

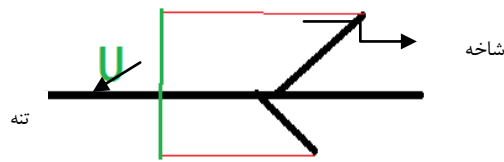
P(cm)	$B_i=B_o$	B_d	B	T_s	$T_i=T_o$	W_u	W_o	W_i
						۱۸۰		
۱۰	۱۰/۷۵	۲۵	۴۶/۵۰	۱	۱/۵۵	۲۲	۸/۳۰	۱۲/۸۰
۳۰	۱۰/۷۵	۲۵	۴۶/۵۰	۱	۱/۵۵	۱۸۰	۸/۳۰	۱۲/۸۰
						۲۲		



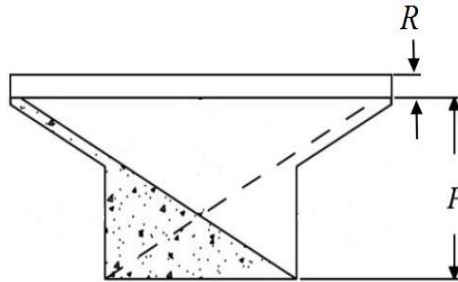
شکل ۲- نمایی از کنده‌ها و شاخه‌های جمع‌آوری شده

جدول ۲- مشخصات کنده‌ها (ابعاد مدل برحسب سانتی‌متر)

گروه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
T(cm)	۸/۳	۱۷	۲۵/۵	۳۴	۴۳	۵۲	۶۰
D(cm)	۰/۴۱۵	۰/۸۵	۱/۲۷۵	۱/۷	۲/۱۵	۲/۶	۳



شکل ۳- نمایش قطر مؤثر شاخه‌ها



شکل ۴- نمایش دیواره سپری به ارتفاع R مستقر بر روی تاج جانبی (افضلیان، ۱۳۹۳)

نتایج و بحث

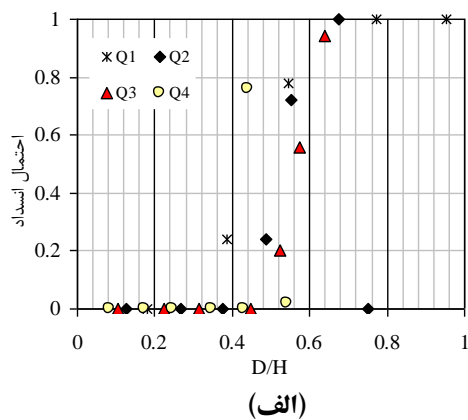
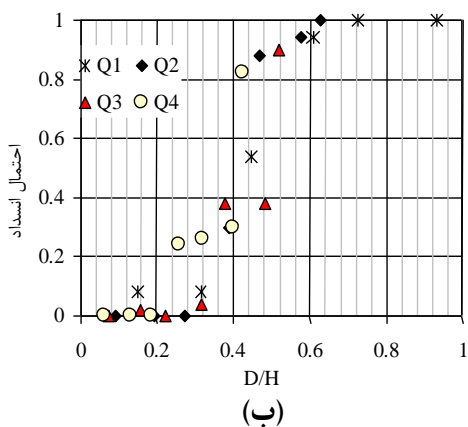
از آنجا که تحقیق حاضر نحوه‌ی به دام افتادگی کنده‌ها در جریان آواری در پشت سرریز PKW را بررسی می‌نماید، ابتدا مشاهدات صورت گرفته در آزمایشگاه تشریح می‌شود، از این رو می‌توان ادعان داشت که رفتار عمومی حرکت به سمت سرریز، توسط خطوط جریان و طرز قرارگیری اولیه آن‌ها کنترل می‌شود. با توجه به اینکه کنده‌ها به صورت تصادفی (عمودی، مورب یا موازی خطوط جریان) وارد جریان می‌شدند، مشاهدات گسترده‌ای از رفتار کنده‌ها نسبت به سرریز انجام گرفت؛ کنده‌های کوتاه‌تر تحت بار آبی به نسبت بالا، بدون وابستگی به مکان و جهت اولیه، از سرریز عبور می‌نمودند. کنده‌های با طول میانه تحت بار آبی متوسط، تقریباً موازی با خطوط جریان به سرریز نزدیک می‌شدند و کنده‌های بلندتر تحت بار آبی به نسبت پایین انسداد بیشتری را از خود نشان می‌دادند. این در حالی است که اگر طی چرخش از حالت هم‌راستا با خطوط جریان به حالت عمودی نسبت به آن درمی‌آمدند به محض برخورد انتهای کنده‌ها به شیروانی‌های سرریز به دام می‌افتادند چرا که طول بیشتری از آن‌ها در تماس با گوشه و کنار کلیدهای سرریز قرار می‌گرفت و راحت‌تر توسط سرریز به دام می‌افتادند؛ ولی، اگر حالت موازی خود را با خطوط جریان حفظ می‌نمودند عموماً از کلیدهای خروجی سرریز عبور می‌نمودند. برای چنین مشاهداتی یک آزمایش چندین مرتبه تکرار می‌شد. از طرفی می‌توان ادعان داشت در دبی‌های پایین، خطوط جریان و سرعت آب تأثیر چندانی بر نحوه‌ی حرکت آن‌ها ندارد و کنده‌ها به همان شکلی که در آب وارد می‌شدند به سرریز نزدیک می‌شدند. از طرفی ممکن بود هر حالتی اعم از افقی، عمودی یا مورب داشته باشند. اما در دبی‌های بالا معمولاً خطوط جریان کنده‌ها را به حالت عمود درمی‌آورد و به سرریز نزدیک می‌نمود. در دبی‌های متوسط هم، شکل غالب حرکت آن‌ها به صورت مورب صورت

مطابق با برنامه‌ریزی انجام شده این تحقیق بر مبنای آزمایش‌های انفرادی پایه‌گذاری شد. آزمایش‌های انفرادی بدین معنا می‌باشد که در دبی‌های مختلف (جهت آزمایش کردن همه حالت‌ها) تعداد ۲۵ تا ۵۰ عدد کنده از هر دسته از کنده‌ها و همین مقدار از شاخه‌ها به طور جداگانه و به صورت تک‌تک و تصادفی در حدود دو متر بالاتر از سرریز رها می‌شدند، بعد از مشاهده رفتار هر کدام نسبت به سرریز، تعداد به دام افتاده‌ها و رد شده‌ها یادداشت می‌گردید. زمان انجام این آزمایش‌ها با توجه به سرعت‌های مختلف جریان برای دبی‌های مختلف متفاوت بود. شکل (۲) دسته‌های کنده‌ها را نمایش می‌دهد. برای وارد نمودن دسته بعدی، باید دسته قبلی از پشت سرریز جمع‌آوری می‌شد. این آزمایش‌ها در چهار دبی مختلف برای هر دو سرریز ۱۰ و ۳۰ سانتی‌متری بدون دیواره سپری (مدل شاهد) و با دیواره سپری ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ سانتی‌متری ممتد و پیوسته انجام گرفت. به عبارت دیگر در هر دبی، همه دسته‌ها وارد جریان گردید و احتمال انسداد و $\frac{D}{H}$ به دست آمد که H ارتفاع آب پس از رهاسازی کنده‌ها در جریان است. شکل (۴) مقطع سرریز به همراه دیواره‌ی سپری را نمایش می‌دهد.

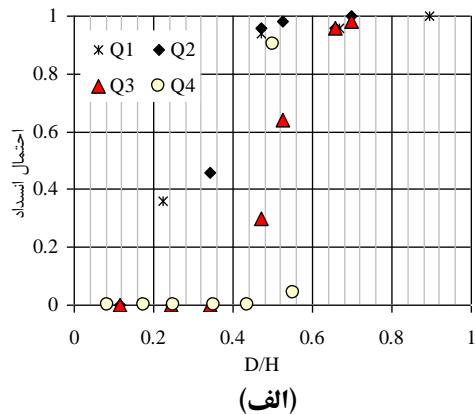
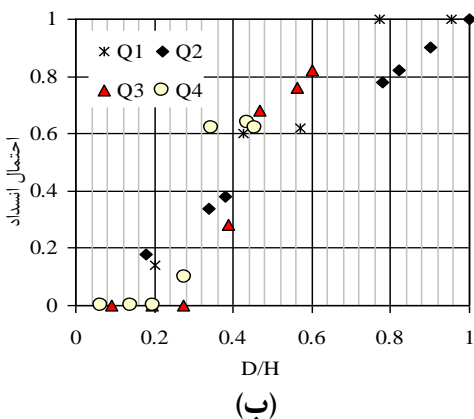
در شکل (۴) پارامتر R، ارتفاع دیواره‌ی سپری بوده که در این تحقیق مقادیر ۲/۵، ۳/۵ و ۴/۵ سانتی‌متری از آن مورد آزمایش واقع شد. اندازه‌گیری‌های مشخصات جریان در هر دو سرریز و برای هر چهار مدل آزمایشگاهی به طور کلی شامل ارتفاع استاتیک جریان در بالادست سرریز با فاصله مناسب، قرائت دبی جریان، اضافه کردن قطعات چوبی شناور، شمارش تعداد قطعات باقیمانده بر روی سرریز، اندازه‌گیری ارتفاع آب پشت سرریز بعد از انسداد توسط قطعات چوبی شناور، بررسی نحوه نزدیک شدن قطعات شناور به سرریز و نحوه ماندن یا عبور از آن بود.

شکل‌های (۵) الی (۸) احتمال انسداد و نسبت D/H در هر دو سرریز در تمامی دیواره‌های سپری و بدون آن را نمایش می‌دهد.

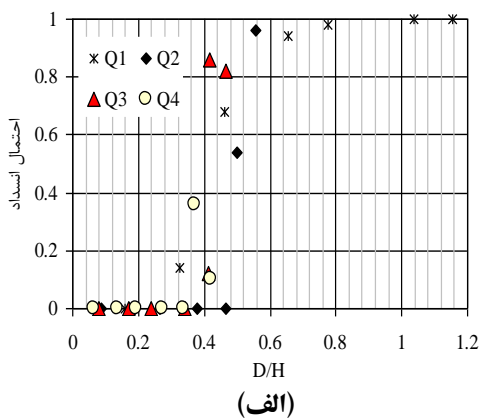
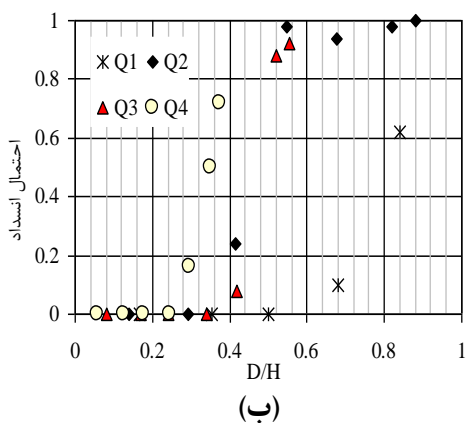
می‌گرفت. علاوه بر این مشاهدات یادشده در آزمایش‌های انفرادی، شکل‌های زیر نحوه به دام افتادن کنده‌ها را بیان می‌نمایند.



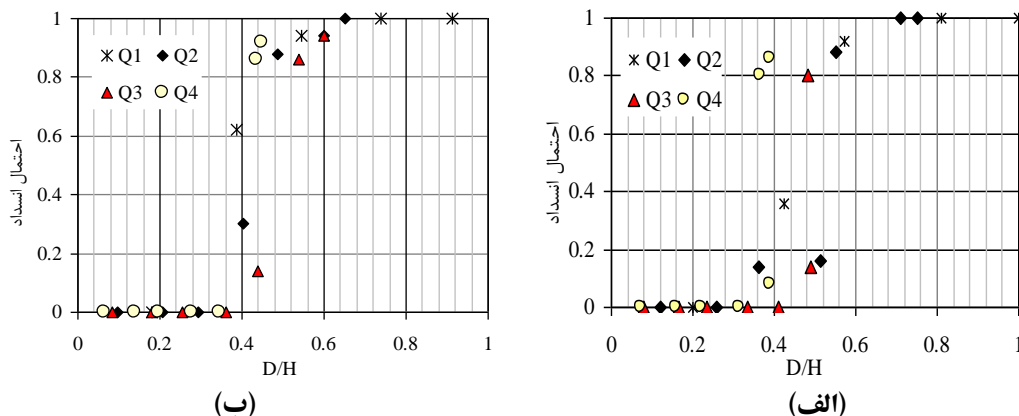
شکل ۵- مدل شاهد، احتمال انسداد کنده‌ها در جریان آواری، (الف) $P=10\text{ cm}$ ، (ب) $P=30\text{ cm}$



شکل ۶- دیواره سپری ۲/۵ سانتی متری، احتمال انسداد کنده‌ها در جریان آواری، (الف) $P=10\text{ cm}$ ، (ب) $P=30\text{ cm}$



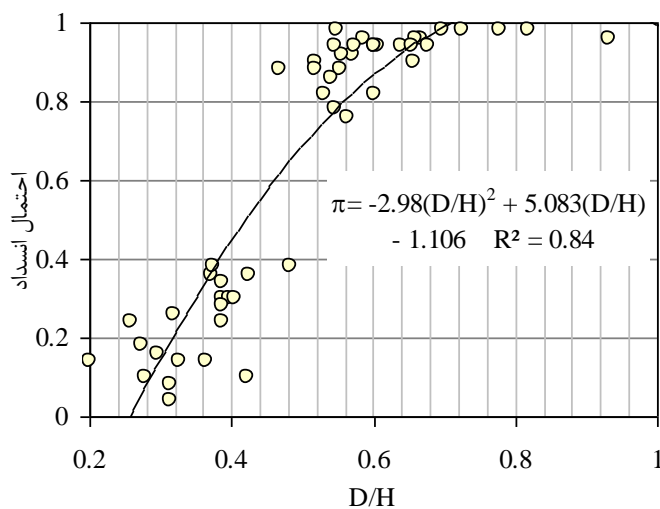
شکل ۷- دیواره سپری ۳/۵ سانتی متری، احتمال انسداد کنده‌ها در جریان آواری، (الف) $P=10\text{ cm}$ ، (ب) $P=30\text{ cm}$



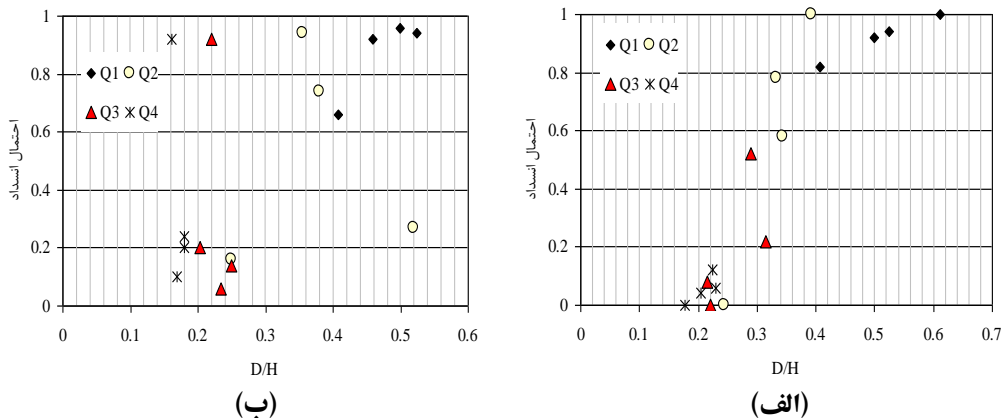
شکل ۸- دیواره سپری ۴/۵ سانتی متری، احتمال انسداد کنده‌ها در جریان آواری، (الف) P=10cm، (ب) P=30cm

آزمایش‌های شاخه‌ها، شرایط انسداد متفاوت می‌گردد. در ابتدا فرض بر این است که وجود شاخه‌ها باعث بالا رفتن احتمال انسداد می‌گردد. آزمایش‌های شاخه‌ها بدین صورت انجام گرفت که یک دسته شاخه ۵۰ عددی با قطر متوسط برابر با $D=1.1\text{cm}$ و نسبت $5.0 < U/D < 12$ مهیا و آماده گردید. برای شروع آزمایش این نوع شاخه‌ها، در یک دبی مشخص ابتدا ۲۵ عدد از شاخه‌ها به صورت تکی وارد فلوم شد و اگر حتی یکی از ۲۵ عدد در پشت سرریز به دام می‌افتاد، ۲۵ عدد بعدی شاخه‌ها به صورت انفرادی وارد جریان می‌شد. بدین ترتیب احتمال به دام افتادگی شاخه‌ها از نسبت تعداد شاخه‌های به دام افتاده به کل تعداد آن‌ها (۵۰ عدد) محاسبه گردید. این آزمایش‌ها نیز در چهار دبی به شرایط مشابه با آزمایش کنده‌ها انجام شد. شکل (۱۰) اثر وجود شاخه‌ها را در سری آزمایش‌های انفرادی نمایش می‌دهد.

علاوه بر این نتایج آزمایش‌های سیستم انفرادی نشان می‌دهد که D و H بر احتمال انسداد (π)، تأثیر می‌گذارند. لازم به توضیح است که در همه شکل‌ها، $Q_4 > Q_3 > Q_2 > Q_1$ است و π ، نسبت کنده‌های به دام افتاده به کل کنده‌ها را نشان می‌دهد. مطابق شکل‌های (۵) الی (۸) جایی که D بزرگ‌تر از H باشد، $D/H > 1$ احتمال انسداد به شدت افزایش می‌یابد و وقتی که D برابر H شود، مومنتم جریان جهت حمل کنده‌ها و عبور دادن آن‌ها از سرریز کافی نیست. در دبی‌های پایین‌تر وقتی که $D/H < 0.3$ باشد، مقدار $\pi = 0$ خواهد شد. در دبی‌های بالاتر در حالتی که $D/H < 0.5$ شود، نیز احتمال انسداد صفر به دست می‌آید؛ ولی، برای محدوده‌ی $0.3 < D/H < 1.0$ شکل (۹) استخراج شد. منحنی برازش داده شده در شکل (۹)، رابطه‌ای نمایی، بین π و D/H را در تمام آزمایش‌ها برای هر دو سرریز نشان می‌دهد. همان طوری که مشاهده می‌شود، با توجه به ضریب تعیین (R^2) تأثیر افزایش D/H بر احتمال انسداد بسیار زیاد است. در حالت



شکل ۹- تغییرات احتمال انسداد در برابر D/H برای کلیه آزمایش‌های کنده‌ها

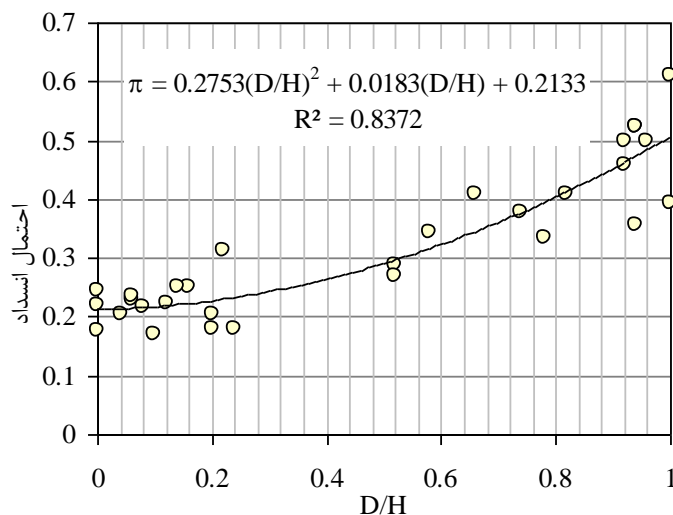


شکل ۱۰- احتمال انسداد شاخه‌ها در جریان آواری PKW (الف) سرریز ۱۰ سانتی متری (ب) سرریز ۳۰ سانتی متری

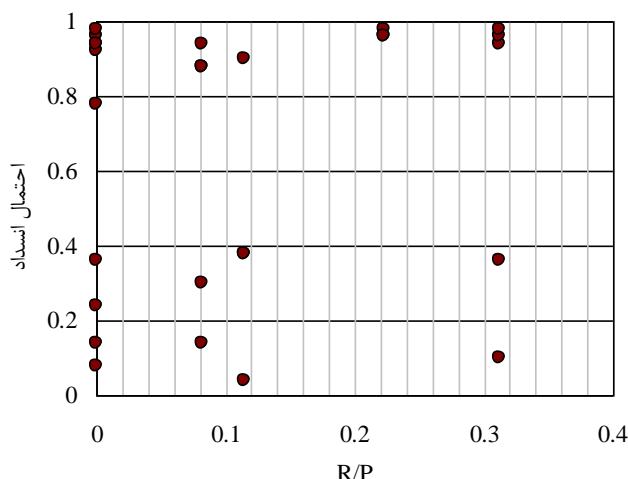
همان مدل، π برای هر چهار دبی، کمتر از ۰/۶۵ به دست آمد. از طرفی $\pi = 0$ ، در دبی‌های بالا مثل Q_3 و Q_4 ، به دلیل سرعت و مومنتم بالای آب، که اجازه به دام افتادن به شاخه‌ها را نمی‌داد، اتفاق افتاد. شکل (۱۱) تغییرات احتمال گرفتگی سرریزهای کلید پیاپی در برابر D/H را برای کلیه آزمایش‌های انفرادی شاخه‌ها نمایش می‌دهد.

بر اساس شکل (۱۱)، رابطه‌ی بین π و D/H برای شاخه‌ها هم غیر خطی و چندجمله‌ای به دست آمد، اما در هر دو بخش آزمایش‌ها (کنده‌ها و شاخه‌ها)، R/P بر خلاف D/H تأثیر معنی‌داری بر احتمال انسداد نداشت که بتوان برای آن رابطه‌ای به دست آورد، ولی در کل باعث افزایش احتمال انسداد می‌شد (شکل ۱۲).

در شکل (۱۰) هر کدام از دبی‌ها برای هر چهار حالت مدل شاهد و وجود هر سه دیواره سپری نمایش داده شده‌اند. آنچه شکل فوق (الف و ب) نشان می‌دهد، حاکی از این است که در حالت ورود شاخه‌ها به جریان، باز هم همانند حالتی که کنده‌ها وارد جریان می‌شدند، با افزایش نسبت D/H احتمال انسداد افزایش می‌یابد، این به آن معنی است که افزایش قطر و کاهش بار آبی بالادست سرریز، به علت کاهش سرعت جریان موجب افزایش تعداد شاخه‌های به دام افتاده می‌شود چراکه مومنتم جریان برای عبور دادن شاخه‌ها کم می‌شود، علاوه بر این، وجود دیواره سپری باعث افزایش احتمال انسداد به نسبت افزایش D/H می‌شود، زیرا فقط در حالت وجود دیواره سپری به وجود آمد و در مدل شاهد و حالتی که سرریز ۱۰ سانتی متری تحت آزمایش بود، $\pi > 0.5$ وجود نداشت و در سرریز ۳۰ سانتی متری هم در



شکل ۱۱- تغییرات احتمال انسداد در برابر D/H برای کلیه آزمایش‌های شاخه‌ها



شکل ۱۲- تغییرات احتمال انسداد در برابر R/P برای کلیه آزمایش‌ها

آزمایش‌های انفرادی بیشتر و با کاهش آن‌ها کمتر می‌شد. در واقع وقتی که $D/H > 1$ باشد احتمال انسداد حدوداً ۱۰۰ درصد می‌شد و برای $D/H < 0.3$ احتمال انسداد تقریباً به صفر می‌رسید. شاخه‌ها نسبت به کنده‌ها کمتر به دام می‌افتادند، اما همان‌طور که پیش بینی شده بود، افزایش قطر نسبی شاخه‌ها و وجود دیواره سپری احتمال انسداد را افزایش می‌داد و برعکس، دبی و سرعت بالای آب باعث کاهش این احتمال می‌شد چرا که افزایش سرعت آب امکان به دام افتادن کنده‌ها یا شاخه‌ها را کم می‌نمود. آزمایش‌های این تحقیق به طور کلی نشان داد که تأثیر D/H بر π ، بیشتر از تأثیر R/P است. از طرفی در حالت آزمایش شاخه‌ها، برای هر دو سرریز احتمال انسداد کمتر از ۵۰ درصد بدست آمد. در کل می‌توان گفت، احتمال انسداد در دبی‌های بالا به صفر و در دبی‌های پایین ۱۰۰ درصد می‌شد.

همچنین به طور کلی می‌توان اذعان داشت که میزان به دام افتادن کنده‌ها از شاخه‌ها در هر دو سرریز مورد آزمایش، بیشتر بود. این موضوع به این معنی است که با وجود انشعاب‌های کوچک‌تر متصل به شاخه‌ها، بخش بیشتری از کنده‌ها به علت دارا بودن قطر بزرگتر نسبت به شاخه‌ها در یک سرعت یکسان، بیشتر و ساده‌تر به دام می‌افتادند.

نتیجه گیری

بر اساس آنچه که در این تحقیق گذشت می‌توان نتایج حاصله را به صورت زیر خلاصه نمود:
 - با افزایش تجمع کنده‌ها پشت سرریز بار آبی افزایش و با کاهش آن‌ها کاهش می‌یافت. وجود دیواره‌های سپری هم عامل دیگر افزایش بار آبی بود. از طرفی هر دو پارامتر D و H بر احتمال انسداد تأثیرگذار بودند و با افزایش قطر چوب‌ها، احتمال انسداد در

منابع

- ۱- افضلیان، ع، ر. ۱۳۹۳. بررسی خصوصیات هیدرولیکی سرریزهای PKW تحت هندسه متفاوت پایه و تاج جانبی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۵۰ صفحه.
- ۲- افضلیان، ع، ر و احدیان، ج. ۱۳۹۴. سرریز کلید پیانویی با پاراپت‌وال‌های زاویه‌دار، مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۳۸ (۲): ۹۱-۱۰۲.
- 3- Chang, F. F. and H. W. Shen. 1979. Debris problems in the river environment. Report number: FHWA: RD-79-62, United States Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- 4- Diehl, T. H. 1997. Potential drift accumulation at bridges. Report number: FHWA: RD-97-028, United States Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC.
- 5- Diehl, T. H., and B. A. Bryan. 1993. Supply of large woody debris in a stream channel. Proceeding of National Conference on Hydraulic Engineering, San Francisco, CA, ASCE publisher, 1055-1060.
- 6- Keller, E. A. and F. J. Swanson. 1979. Effects of large organic material on channel form and fluvial processes. Earth Surface Processes, 4(4): 361-380.

- 7- Laugier, F. 2007. Design and construction of the first Piano Key Weir spillway at Goulours dam. *International Journal on Hydropower and Dams*, 14(5):1-94.
- 8- Leite Ribeiro, M., Pfister, M., Schleiss, A. J. J. L. Boillat. 2012. Hydraulic design of A-type piano Key Weirs ASCE, *Journal of Hydraulic Research*, ASCE, 50(4): 400-408.
- 9- Melville, B. W. and D. M. Dongol. 1992. Bridge pier scour with debris accumulation. ASCE, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 118(9): 1306-1310.
- 10- Ouamane, A. and F. Lempérière. 2006. Design of a new economic shape of weir. *Proceedings of the International Symposium on Dams in the Societies of the 21st Century*, 18(1): 463-470.
- 11- Pfister, M., Capobianco, B., Tullis, M. and A. J. Schleiss. 2013. Debris-blocking Sensitivity of Piano key Weirs under Reservoir-Type Approach Flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 139 (11): 1134-1141
- 12- Pagliara, S. and I. Car-nacina. 2010. Temporal scour evolution at bridge piers: effect of wood debris roughness and porosity. ASCE, *Journal of Hydraulic Research*, ASCE, 48(1): 3-13
- 13- Schmocker, L. and W. H. Hager. 2011. Probability of drift blockage at bridge decks. ASCE, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 137(4): 470-479.
- 14- Zevenbergen, L. W., Lagasse, P. F. and P. E. Clopper. 2006. Effects of Debris on Bridge Pier Scour. *Proceeding of 3th International Conference on Scour and Erosion*, Amsterdam, The Netherlands, 741-749.