# مطالعه آزمایشگاهی آبشستگی موضعی اطراف سری آبشکن‌های نوع باندال لایک در شرایط آب زلال

زهرا شجاعیان[1*]، سید محمود کاشفی پور[2]، سید حبیب موسوی جهرمی[3] و محمود شفاعی بجستان[4]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی دکتری سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استاد گروه سازه های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- استاد گروه سازه های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

۴- استاد گروه سازه های آبی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۰/۱۵

## چکیده

**حفاظت رودخانه در برابر فرسایش و تخریب ناشی از جریان آب با استفاده از آبشکن‌ها از جمله روش‌های متداول در مهندسی رودخانه تلقی می‌شود. در این تحقیق تأثیر آبشکن نوع باندال لایک[1] برروی الگوی فرسایش در شرایط غیر مستغرق مورد بررسی قرار گرفت. آزمایش‌ها در شرایط آب زلال و با در نظر گرفتن سه فاصله بین آبشکن، سه زاویه قرارگیری آبشکن و چهار دبی مختلف و در حالت نفوذپذیری ۴۵ درصد انجام گرفت. نتایج نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن اول اتفاق می افتد. هم چنین در یک عدد فرود ثابت، با افزایش فاصله بین آبشکن ها، میزان حداکثر عمق آبشستگی کاهش یافت. سپس تأثیر زاویه قرارگیری آبشکن نسبت به ساحل با زوایای ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه بر روی حداکثر عمق آبشستگی مورد بررسی قرار گرفته. نتایج نشان داد که بیشترین عمق آبشستگی با زاویه ۹۰ درجه و کمترین آن با زاویه ۶۰ درجه به وجود آمده است.**

**کلید واژه‌ها :** آبشستگی، حفاظت دیواره رودخانه، آبشکن باندال لایک.

# Experimental Study on The Local Scouring of Series of *Bandal-Like spurs* in Clear Water Condition

Z. Shojaeian[1*], S. M. Kashefipour[2], S. H. Mosavi Jahromi[3] and M. Shafaee Bajestan[4]

1*- Ph.D. Student, Hydraulic Structures Department, Water Sciences Engineering Faculty, Shahid Chamran University.

2- Professor, Hydraulic Structures Department, Water Sciences Engineering Faculty,Shahid Chamran University.

3- Professor, Hydraulic Structures Department, Water Sciences Engineering Faculty, Shahid Chamran University.

4- Professor, Hydraulic Structures Department, Water Sciences Engineering Faculty,Shahid Chamran University.

Received:17 July 2013 Accepted: 5 January 2014

## Abstract

Using of spur dikes is one of the usual methods in river engineering for river bank protection against erosion and destruction due to water flow. In this research the influence of Bandal-Like spur on the erosion pattern in non-submerged conditions was investigated. Experiments were performed in clear water condition, considering 3 spaces between Bandal-Like spurs, 3 placement angels of

1- Bandal-Like spur

Bandal-Like spurs and 4 discharges in 45%permeability of Bandal-Like spurs. The results indicated that maximum depth of scouring was occurred around first Bandal-Like spur. Also in a constant Fr, the maximum depth of scouring decreased with increasing space between Bandal-Like spurs. Finally the impact of placement angel of Bandal-Like spurs on the maximum depth of scouring with degrees of 60, 90 and 120 degree was investigated. The results showed that the maximum depth of scouring in degrees of 90 and 60 degree are maximum and minimum, respectively.

**Keywords:** Scouring, River bank protection, Bandal-Like spur.

**مقدمه**

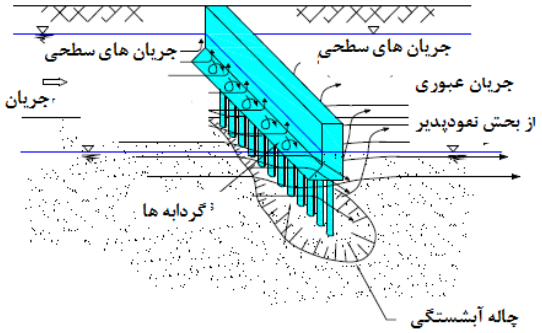
آبشکن‌ها با تعدیل شرایط هیدرولیکی و ایجاد جریان آرام، قدرت فرسایش آب و توان حمل مواد رسوبی را کاهش داده و زمینه مساعدی برای رسوب‌گذاری و تثبیت کناره‌ها را فراهم می‌آورند. این سازه‌ها با تغییر الگوی جریان، زمینه‌ی مساعدی را برای رسوب‌گذاری بین آبشکن‌ها فراهم می‌کنند. محققین زیادی از حدود نیم قرن پیش، روی تعدادی از این پارامترها، تحقیقات آزمایشگاهی انجام داده و ارتباط بین پارامترها و حدود تغییرات آن‌ها را گزارش کرده‌اند. مک کوی و همکاران[1] (۲۰۰۶)، به بررسی میدان‌های جریان در اطراف و بین دو آبشکن عمودی در یک کانال باز مستقیم پرداختند که از خصوصیات جریان، جدایی‌های بزرگ، اختلاف فشار آشکار بین بالادست و پایین دست آبشکن و ایجاد گردابه‌های نامانداگار می‌باشد. آنان از روش عددی شبیه سازی گردابه‌های بزرگ استفاده نموده و گزارش کردند که در جریان اصلی، گردابه‌های نعل اسبی نامانداگار در پایه‌ی آبشکن‌ها و در بالادست جریان ایجاد می‌گردد. هم‌چنین جدا شدن لایه‌ی برشی در بالادست نوک آبشکن باعث تشکیل گردابه‌های بعدی می‌شود، که این گردابه‌ها در اندرکنش با گ ردابه‌های داخل دو آبشکن قابل تشخیص می‌باشد. کوتیاری[2] (۲۰۰۷)، بر اساس مشاهدات روی پایه‌های پل واقعی ساخته شده بر اساس فرمول‌های لیسی و انگلیس، اظهار نمود که این فرمول‌ها مقادیر آبشستگی را کمتر از مقادیر واقعی برآورد می‌کنند. دلیل این امر بر اساس نظر کوتیاری این است که این فرمول‌ها تنها بر اساس داده‌های مربوط به ۱۷ پل که تعداد کمی بوده استخراج شده‌اند و تنها برای ذرات ماسه‌ای غیر چسبنده با قطر متوسط ۰/۰۶تا ۰/۳۷ میلی‌متر قابل کاربرد می‌باشند. ژانگ و ناکاگاوا[3] (۲۰۰۹)، الگوی جریان و تغییرات بستر در حضور آبشکن‌های نفوذپذیر و نفوذناپذیر را مورد بررسی آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی قرار دادند. آزمایش‌ها در یک فلوم مستقیم به طول ۸ متر، عرض ۰/۴ متر و عمق ۰/۴ متر و در شرایط آب صاف انجام شده است. نتایج این تحقیق نشان داد که نفوذپذیری تأثیر مهمی بر روی الگوی جریان و تغییرات بستر می‌گذارد. شبیه‌سازی عددی میدان جریان به کمک حل معادله‌های ناویر- استوکس و به کارگیری مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ انجام شد. نتایج، نشان دادند که در آبشکن نفوذپذیر آبشستگی به دلیل جدایی جریان و گرداب‌های ایجاد شده بین میله‌ها می‌باشد در صورتی که در آبشکن‌های نفوذناپذیر آبشستگی به دلیل جدایی جریان و گرداب‌های نعل اسبی ایجاد شده در پشت آبشکن می‌باشد. گو و همکاران[4] (۲۰۱۱)، با انجام آزمایش‌هایی به بررسی انتقال رسوبات معلق در کانال در حضور آبشکن‌های نفوذپذیر پرداختند. در این تحقیق تأثیر نسبت $\frac{S}{L}$ ( $S$: فاصله بین آبشکن‌ها و $L$: طول آبشکن) بر روی خصوصیات جریان و رسوب، ساختار جریان‌های ثانویه و غلظت رسوبات معلق مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این تحقیق نشان داد که رسوبات معلق بین آبشکن‌های نفوذپذیر به سمت پایین‌دست به صورت یکنواخت توزیع می‌شود، همچنین با افزایش نسبت $\frac{S}{L}$، شدت تنش رینولدز افزایش می‌یابد. تراگوچی و همکاران[5] ( $a$ ,$b$ ۲۰۱۱)، از یک مدل آزمایشگاهی برای بررسی جریان آشفته و تغییرات بستر در اطراف آبشکن استفاده کردند. در این تحقیق از آبشکن نفوذپذیر و نفوذ ناپذیر و یک نوع جدید آبشکن به نام باندال لایک که ترکیبی از آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر است، استفاده کردند و توانستند با استفاده از یک مدل سه بعدی، توزیع سرعت و رسوب‌گذاری را اطراف این سازه در دو حالت مستغرق و غیر مستغرق بررسی کنند. نتایج آزمایش‌ها نشان‌دهنده بیشتر بودن حداکثر عمق آبشستگی در دماغه آبشکن نفوذ ناپذیر نسبت به آبشکن نفوذ پذیر می‌باشد. در نهایت این محققان یک مدل سه بعدی برای شبیه‌سازی جریان و آبشستگی در اطراف آبشکن ارائه کردند. آزمایش‌های مربوط به سازه باندال لایک در یک فلوم به طول ۱۰ متر ، عرض ۰/۸ متر و ارتفاع ۰/۲۸ متر (عمق منطقه آزمایش ۰/۴۵ متر) انجام شد. تجزیه و تحلیل نتایج نشان داد که این سازه در مقایسه با آبشکن‌های نفوذناپذیر چاله آبشستگی کوچک‌تری را ایجاد می کنند. هم‌چنین به

1- McCoy *et al*.
2 - Kothyari
3 -Zhang and Nakagawa
4- Gu *et al.*
5- Teraguchi *et al.*

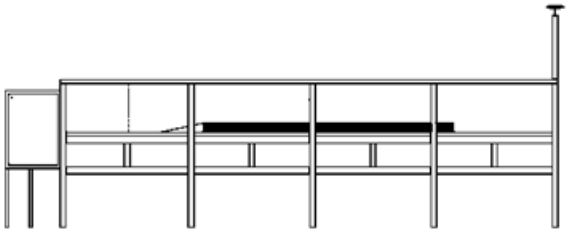
دلیل اینکه بخش پایینی سازه نفوذپذیر است رسوبات معلق از این بخش عبور کرده و در پایین دست سازه ته نشین می‌شوند. از این رو این سازه در رودخانه‌های آبرفتی می‌تواند کارایی خوبی در جهت حفاظت از سواحل و بستر رودخانه داشته باشد. وطن فدا (۱۳۷۰)، مطالعه‌ای روی عملکرد آبشکن‌های باز در زمینه رسوبگذاری انجام و مناسب‌ترین درصد آبشکن را از نظر رسوبگذاری در بین آبشکن‌ها مورد بررسی قرار داد. میری (۱۳۷۸)، مطالعه‌ای روی عملکرد آبشکن‌های باز یک ردیفه و دو ردیفه بر رسوبگذاری اطراف آبشکن‌ها انجام داد و به این نتیجه دست یافت که در آبشکن‌های یک ردیفه رسوبگذاری حداکثر در محدوده بازشدگی ۵۰ درصد و در آبشکن‌های دو ردیفه به ازای بازشدگی ۳۰ درصد صورت گرفته‌است.

## الگوی جریان اطراف باندل لایک‌ها

ساختار باندال لایک‌ها به عنوان یک سازه ترکیبی بسیار ساده است. خصوصیت اصلی سازه باندال لایک این است که قسمت بالایی آن مانند یک آبشکن نفوذناپذیر عمل می‌کند و با انحراف مسیر آب از دیواره‌ها به میانه رودخانه باعث توسعه جریان گردابی در کناره‌ها می‌گردد. انسداد جریان موجب میرا شدن سرعت جریان گردیده و ته‌نشینی رسوبات را در پایین دست باندال‌ها در سواحل در رودخانه‌های آبرفتی تسهیل می‌نماید. قسمت پایین این سازه نیز مانند یک آبشکن نفوذپذیر عمل می‌کند و به علت عدم تغییر شکل ناگهانی خطوط جریان، جریان‌های گردابی با شدت کمتری به‌وجود می‌آید و در نتیجه آبشستگی موضعی محدودتر خواهد بود. آرایش ردیف پایه‌ها سبب افزایش مقاومت بستر همراه با توسعه جریان‌های چرخشی موضعی پیرامون پایه‌های منفرد گردیده و سبب کاهش سرعت جریان، کاهش انتقال رسوبات کف، ته‌نشست مواد رسوبی معلق درشت دانه، و جذب مواد شناور می‌گردد. تراگوچی و همکاران (۲۰۱۱$a$) برای بهبود عملکرد این سازه، مرز بین قسمت نفوذپذیر و نفوذناپذیر را به صورت یک صفحه با زاویه ۳۰ درجه (زاویه انحراف) نسبت به محور عمودی قرار داد. این انحراف سبب کاهش قدرت جریان رو به پایین و در نتیجه کاهش فرسایش موضعی در اطراف سازه می‌گردد. در شکل (۱) مدل مفهومی الگوی جریان در اطراف باندال لایک در حالت غیرمستغرق را نشان می‌دهد.




**شکل۱-الگوی جریان در اطراف باندال لایک در حالت غیرمستغرق(تراگوچی و همکاران ،۲۰۱۱a)**



**شکل۲- نمای جانبی فلوم ازمایشگاهی و بستر رسوبی**

مطالعات گذشته بیانگر فقدان تحقیقات کافی پیرامون سری آبشکن های باندال لایک است. به همین منظور، در این تحقیق با انجام مطالعات آزمایشگاهی بر روی این‌گونه آب‌شکن‌ها در مسیر مستقیم، حداکثر عمق آبشستگی برای زاویه‌ها و فاصله‌های مختلف آب‌شکن تعیین می‌گردد، ضمن اینکه عملکرد آنها با شرایط متناظر در آبشکن-های بسته غیر مستغرق مقایسه می‌گردد.

## مواد و روش ها

**تحلیل ابعادی:** پارامترهای متعددی در عملکرد باندال‌لایک‌ها برای حفاظت سواحل و آبشستگی اطراف دماغه آن‌ها موثر می‌باشند. به منظور یافتن رابطه بین عوامل مؤثر بر آبشستگی در دماغه این نوع آبشکن تحلیل ابعادی روی پارامترهای موثر انجام شده‌است. عوامل مؤثر در این زمینه عبارتند از:

۱- عوامل هندسی کانال: عرض کانال $(B)$ و عرض کانال در مقطع آبشکن $(B_1)$.

۲- عوامل هندسی آبشکن: طول آبشکن $(L)$، فاصله بین آبشکن‌ها $(S)$، زاویه قرارگیری آبشکن نسبت به ساحل $(\theta)$ و نفوذپذیری آبشکن $(\alpha)$.

۳- عوامل هیدرولیکی جریان: سرعت متوسط جریان در مقطع قبل از آبشکن $(V)$، عمق جریان $(h)$، عمق آبشستگی در دماغه آبشکن $(h_s)$ و شتاب ثقل $(g)$.

۴- عوامل مربوط به اندازه رسوبات بستر: قطر متوسط $(d_{50})$، چگالی ذرات $(\rho_s)$، سرعت آستانه حرکت رسوبات بستر $(V_c)$.

۵- خصوصیات فیزیکی سیال: جرم مخصوص سیال $(\rho)$، لزجت دینامیکی $(\mu)$.

با انتخاب $h_s$ به عنوان متغیر وابسته، رابطه زیر را می‌توان نوشت:

$$h_s = f_1(\mu, \rho, \theta, \alpha, \rho_s, s, B_1, B, h, V, V_c, d_{50}, g, L) \qquad (۱)$$

با استفاده از روش $\pi$ – باکینگهام و انتخاب $\rho, V, h$ به عنوان عامل تکراری، رابطه میان پارامترهای بی بعد، به صورت رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{h_s}{h} = f_2\left(\frac{s}{h}, \frac{B_1}{h}, \frac{B}{h}, \frac{L}{h}, \theta, \alpha, \frac{V_c}{V}, \frac{d_{50}}{h}, \frac{\mu}{\rho V h}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{gh}{V^2}\right) \qquad (۲)$$

با توجه به اعداد بدون بعد حاصل شده، چنانچه عدد بدون بعد $\frac{S}{h}$ بر $\frac{L}{h}$ تقسیم شود، عدد بدون بعد $\frac{S}{L}$ حاصل می‌شود. همچنین با تقسیم پارامتر $\frac{B_1}{h}$ بر $\frac{B}{h}$ عبارت $\frac{B_1}{B}$ حاصل می‌شود. همچنین از معکوس نمودن $\frac{\mu}{\rho V h}$ و $\frac{gh}{V^2}$ عدد بی‌بعد رینولدز و فرود حاصل می‌شود. با جایگذاری پارامترهای به دست آمده، رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$\frac{h_s}{h} = f_3\left(\frac{S}{L}, \frac{B_1}{B}, \theta, \alpha, \frac{V_c}{V}, \frac{d_{50}}{h}, R_e, \frac{\rho}{\rho_s}, Fr\right) \qquad (۳)$$

با توجه به اینکه درصد نفوذپذیری، طول باندال‌لایک و عمق جریان در تمام آزمایش‌ها به ترتیب ۴۵ درصد، ۱۱ سانتی‌متر و ۱۶ سانتی‌متر و رسوبات مورد استفاده در آزمایش‌ها ماسه با دانه بندی $d_{50} =$ ۰/۷ میلی‌متر در نظر گرفته شده و شرایط آب زلال ($\frac{V}{V_c} \leq$ ۰/۹۵) در آزمایش‌ها حاکم می‌باشد، این نسبت‌ها برای تمام آزمایش‌ها $\alpha =$ ۴۵ درصد ، $\frac{B_1}{B}$ و $\frac{\rho_s}{\rho}$ ثابت فرض شده‌است، در نتیجه پارامترهای بی‌بعد $\frac{\rho_s}{\rho}$، $\frac{V}{V_c}$، $\alpha$ و $\frac{B_1}{B}$ نیز از بین عوامل بی‌بعد کنار گذاشته می‌شوند و در نهایت رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\frac{h_s}{h} = f_4\left(\frac{S}{L}, \theta, R_e, Fr\right) \qquad (۴)$$

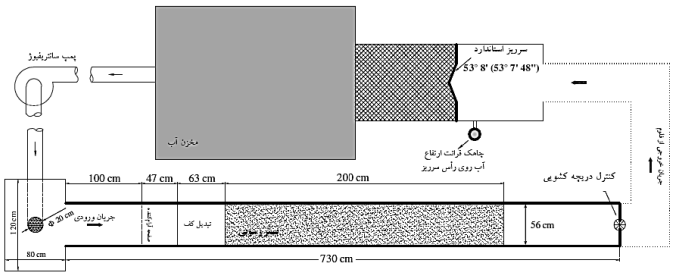
در رابطه بالا هم‌چنین با توجه به آشفتگی جریان (مقدار عدد رینولدز در بازه۳۲۰۰۰–۴۸۰۰۰ قرار دارد) می‌توان از اثر عدد رینولدز نیز صرف نظر نمود.

مشخصات فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده در این تحقیق شامل ۷/۳۰ متر طول، ۰/۵۶ متر عرض، ۰/۶۰ متر ارتفاع دیواره‌ها، و شیب ثابت ۰/۰۰۲۸ می‌باشد. مصالح بستر با دانه بندی یکنواخت و با قطر متوسط ۰/۷ میلی متر و انحراف معیار هندسی ۱/۳ انتخاب گردید. سپس به ازای شرایط مختلف دبی، زوایای مختلف و فاصله بین آبشکن‌ها در حالت آب زلال آزمایش‌ها انجام گردید و پس از شرایط تعادل نسبی، مقادیر عمق آبشستگی در اطراف سری باندل‌لایک‌ها

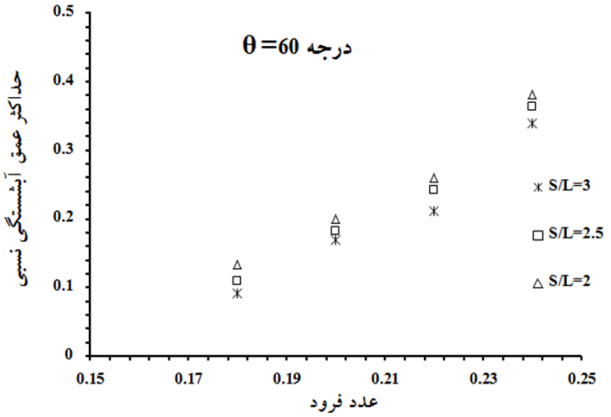
اندازه‌گیری شد. به‌منظور یافتن زمان تعادل نسبی نیز آزمایش می‌توان مدت زمان ۱۵۰ دقیقه را به عنوان زمان تعادل نسبی در نظر گرفت به‌طوری که پس از گذشت این مدت ۸۰ درصد آبشستگی نهایی حاصل شده و از این زمان به بعد سرعت رشد حفره آبشستگی بسیار کم می‌باشد همچنین به منظور فراهم آوردن شرایط آب زلال برای آزمایش‌ها، ابتدا آزمایش‌هایی برای تعیین سرعت بحرانی ($V_C$) رسوبات بستر ترتیب داده شد، در آزمایش‌های تحقیق حاضر، عمق جریان ثابت فرض شد(برابر با ۰/۱۶ متر که تنظیم آن از طریق دریچه ی کشویی انتهای فلوم صورت می‌گرفت). برای دبی ($Q$)، چهار مقدار ۰/۰۲۰، ۰/۰۲۳، ۰/۰۲۵ و ۰/۰۲۷ متر مکعب بر ثانیه در نظر گرفته شد. دبی‌های در نظر گرفته شده معادل عددهای فرود به ترتیب ۰/۱۸، ۰/۲۰ ، ۰/۲۲ و ۰/۲۴ می‌باشند

جداگانه‌ای به مدت ۱۵ ساعت انجام پذیرفت و مشخص گردید که .در شکل‌های (۲) و (۳) به ترتیب نمای جانبی و پلان فلوم آزمایشگاهی، محدوده‌ی بستر رسوبی به همراه سایر ضمائم، ارائه گردیده است.

روش انجام آزمایش‌ها نیز به نحوی بود که ابتدا سطح بستر صاف شده و آب با دبی کم از انتهای کانال وارد می‌شد. این عمل به منظور جلوگیری از شسته شدن رسوبات استفاده می‌شد. بعد از اینکه ارتفاع آب به حدود ۱۰ سانتی‌متر روی رسوبات می‌رسید سپس پمپ با دبی کم روشن و تدریجاً دبی به مقدار موردنظر رسانده می‌شد. در این حالت دریچه انتهایی تا اندازه‌ای باز می‌شد که رسوبات در کل منطقه مورد آزمایش در این دبی به حرکت در نیاید. سپس عمق مورد نظر در بالادست آبشکن تنظیم و آزمایش شروع می‌شد.



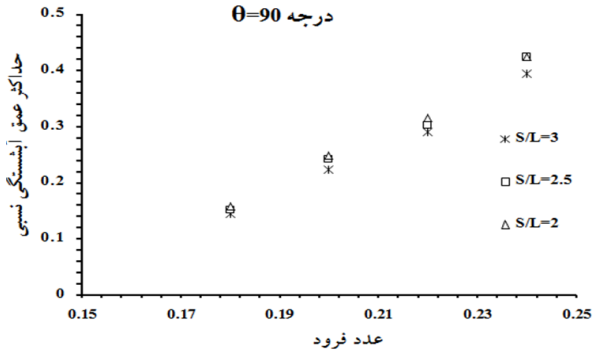

**شکل۳- نمای پلان مدل آزمایشگاهی به همراه ضمائم**



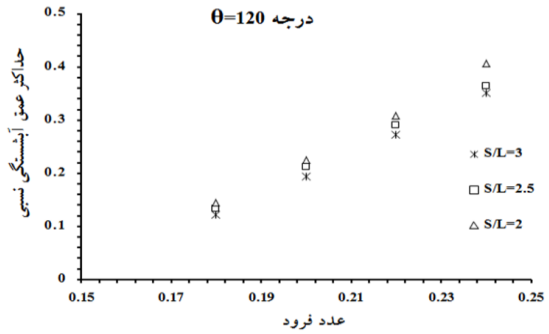

**شکل۴- تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی نسبت به عدد فرود برای ۶۰= $\theta$ درجه.**

## نتایج و بحث

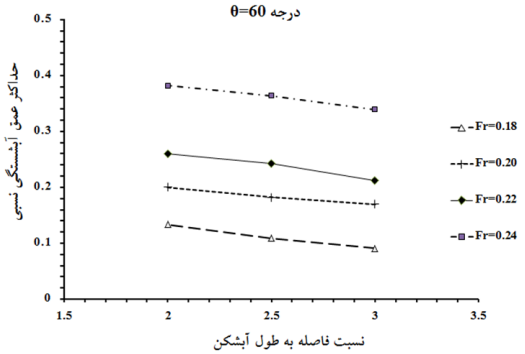
**تغییرات $\frac{h_s}{h}$ با عدد فرود:** شکل‌های (۴) تا (۶) تغییرات حداکثر عمق آبشستگی برحسب اعداد فرود را برای سه نسبت $\frac{S}{L}$ برابر ۲ ، ۲/۵ و ۳ در زوایای ۶۰ ، ۹۰ و ۱۲۰ درجه نشان می دهد. با توجه به نمودار مشخص است که با افزایش عدد فرود میزان حداکثر عمق آبشستگی نسبی برای یک نسبت مشخص از $\frac{S}{L}$ در هر سه زاویه افزایش می یابد. دلیل این امر آن است که با زیاد شدن عدد فرود سرعت جریان بیشتر شده و در نتیجه تنش برشی اعمالی از طرف جریان افزایش و عمق آبشستگی نیز افزایش می یابد. همچنین روند تغییرات حداکثر عمق آبشستگی در فواصل مختلف آبشکن‌ها در یک عدد فرود بسیار به هم نزدیک می باشد. و با کاهش فواصل باندال لایک ها مقدار حداکثر عمق آبشستگی افزایش می یابد که این مقدار افزایش نسبت به فواصل دیگر بسیار ناچیز می باشد. از این‌رو می‌توان گفت که تأثیر فاصله در کاهش عمق آبشستگی در آبشکن نوع باندال لایک بسیار ناچیز است.




**شکل ۵- تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی نسبت به عدد فرود برای $\theta = ۹۰$ درجه.**




**شکل ۶- تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی نسبت به عدد فرود برای $\theta = ۱۲۰$ درجه.**



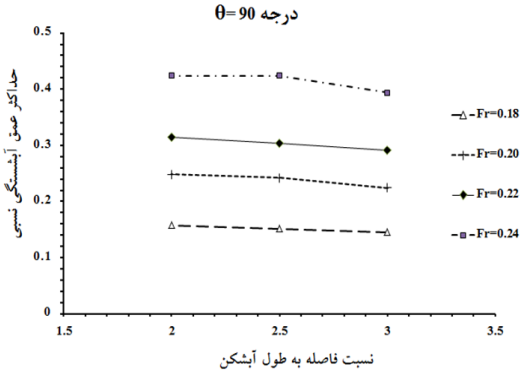

**شکل ۷- تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی به نسبت فاصله به طول آبشکن برای $\theta = ۶۰$ درجه.**

**تغییرات $\frac{h_s}{h}$ با $\frac{S}{L}$:**

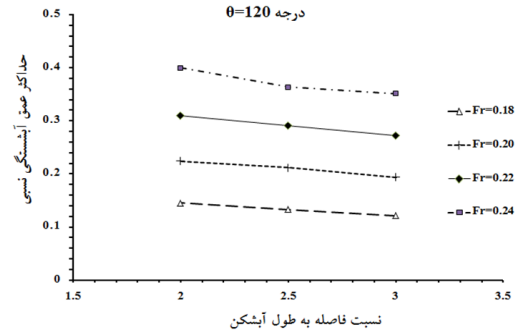
شکل های (۷) تا (۹) تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی $\left(\frac{h_s}{h}\right)$ را با نسبت فاصله به طول آبشکن $\left(\frac{S}{L}\right)$ نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن اول رخ می-دهد. با توجه به این شکل‌ها مشخص است که در یک زاویه مشخص، با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها، میزان حداکثر عمق آبشستگی نسبی روند کاهشی دارد و این روند کاهشی با افزایش عدد فرود محسوس‌تر است. دلیل کاهش عمق آبشستگی با افزایش فاصله بین آبشکن ها در این است که با زیادتر شدن فاصله بین دو آبشکن قدرت جریان عبوری در قسمت پایینی سازه به دلیل برخورد با جریان‌های رو به پایین ضعیف‌تر شده و باعث کاهش سرعت در آن منطقه می‌شود. در صورتی که هر چه فاصله بین آبشکن‌ها کمتر باشد، جریان‌های رو به پایین فرصت کمتری برای انجام این امر را دارند. همچنین با زیادتر شدن فاصله، حفره آبشستگی آبشکن دوم اثر کمتری بر آبشستگی اطراف آبشکن اول خواهد داشت. یعنی با افزایش فاصله بین آبشکن ها عملکرد آبشکن اول به آبشکن تکی نزدیک می‌شود.

**تأثیر زاویه قرارگیری باندال لایک بر روند تغییرات $\frac{h_s}{h}$:**

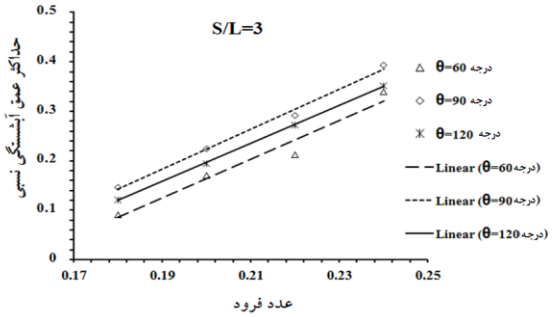
در شکل‌های (۱۰) تا (۱۲) تأثیر زاویه قرارگیری باندال لایک مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور روند تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی در هر زاویه در مقابل اعداد فرود متناظر با آنها مورد بررسی قرار گرفتند. در این شکل‌ها، خطوط ممتد از برازش بهترین خط بر داده‌های آزمایشگاهی حاصل گردیده‌اند.



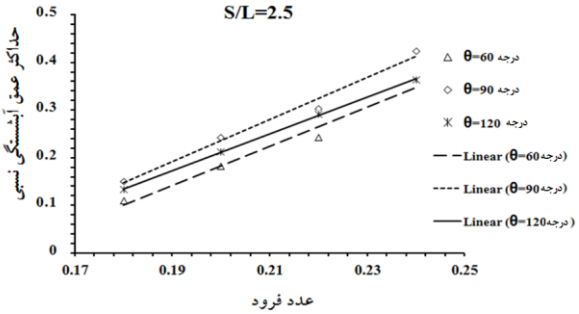

**شکل ۸- تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی به نسبت فاصله به طول آبشکن برای ۹۰ $= \theta$ درجه.**



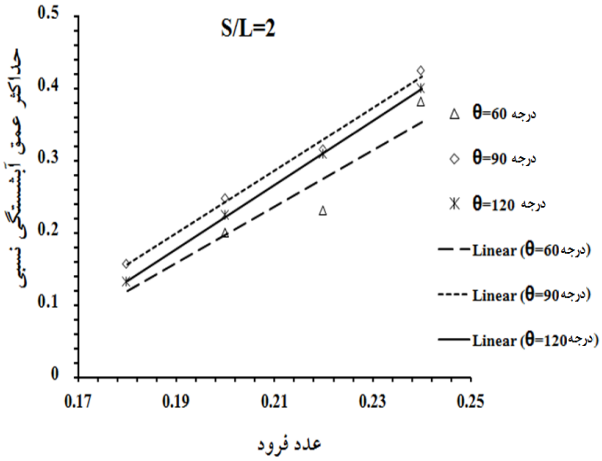

**شکل ۹- تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی به نسبت فاصله به طول آبشکن برای ۱۲۰ $= \theta$ درجه.**




**شکل ۱۰- تأثیر زاویه قرارگیری باندال لایک بر تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی در زوایای مختلف و $\frac{S}{L}$ = ۳.**




**شکل ۱۱- تأثیر زاویه قرارگیری باندال لایک بر تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی در زوایای مختلف و $\frac{S}{L}$ = ۲/۵.**



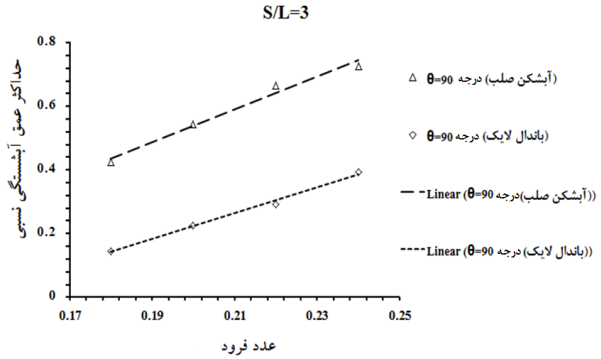

**شکل ۱۲- تأثیر زاویه قرارگیری باندال لایک بر تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی در زوایای مختلف و $\frac{S}{L}$ = ۲.**

بین سه زاویه ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه در شرایط یکسان از نظر کاهش عمق آبشستگی، آبشکن باندال لایک با زاویه ۶۰ درجه به مراتب بهتر از آبشکن‌های دیگر می‌باشد، دلیل این امر جاذب بودن آبشکن ۶۰ درجه می‌باشد. زیرا با عنایت به اینکه در آبشکن‌های جاذب، دماغه آبشکن در جهت جریان آب می‌باشد، در مورد گرداب یا جریان چرخشی در این زاویه باید گفت که در بالادست سازه آبشکن فرصتی برای تشکیل جریان چرخشی وجود ندارد و خطوط جریان پس از برخورد با دیواره آبشکن به صورت مماس بر دیواره حرکت کرده و به محض رسیدن به دماغه آبشکن در اثر تلاقی و تحمل نیروی زیاد از سوی خطوط جریانی که در کانال مسیر مستقیم خود را طی می‌کنند، قادر به جدا شدن زیاد از آبشکن یا به عبارتی پرتاب به سمت مرکز کانال نیستند. بیشترین آبشستگی آبشکن در

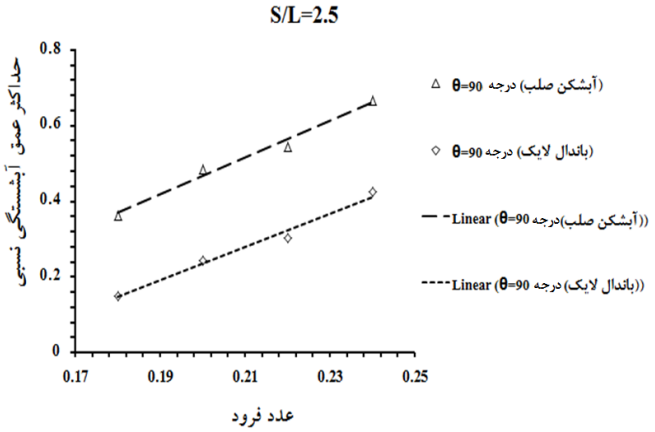
زاویه ۹۰ درجه رخ می‌دهد. علت افزایش آبشستگی در زاویه ۹۰ درجه نسبت به سایر زوایا به خاطر برخورد عمود جریان آب با آبشکن است که خطوط جریان نزدیک ساحل کانال را با یک مانع عمود مواجه می‌کند.

**مقایسه $\frac{h_s}{h}$ در باندال لایک با آبشکن بسته قائم $(\theta = 90^\circ)$:**

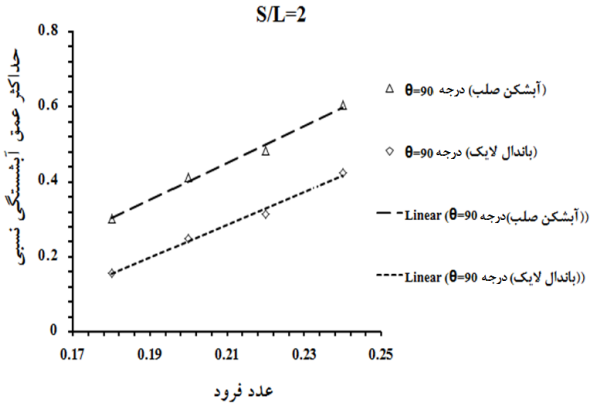
در شکل‌های (۱۳) تا (۱۵) تغییرات حداکثر عمق آبشستگی نسبی نسبت به عدد فرود در باندال لایک‌ها و آبشکن‌های بسته برای، ۲ و ۲/۵، ۳ $\frac{S}{L}=$ و ۹۰ $\theta=$ درجه مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که از این شکل‌ها مشاهده می‌شود، مقدار عمق حداکثر آبشستگی در آبشکن بسته تفاوت قابل توجهی با دیگر آبشکن‌ها دارد و با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها این تفاوت افزایش یافته است. هم‌چنین در این شکل‌ها مشاهده می‌شود که با افزایش عدد فرود عمق حداکثر آبشستگی نیز افزایش می‌یابد. مقدار کاهش عمق نسبی آب‌شستگی در باندال لایک‌ها نسبت به آب‌شکن بسته حداکثر ۵۵-۳۸ درصد می‌باشد. دلیل این امر آن است که در آبشکن‌های بسته با افزایش فاصله جریان گردابی کامل‌تری تشکیل می‌شود که نتیجه آن ایجاد فرسایش بیشتری در فضای بین آبشکن‌ها می‌باشد در صورتی‌که در باندال‌لایک‌ها به دلیل نفوذپذیر بودن قسمت پایینی سازه بخشی از جریان از این ناحیه عبور کرده و باعث ضعیف شدن جریان‌های رو به پایین و جریان‌های گردابی می‌شود و در نتیجه اغتشاشات کمتری در فضای بین آبشکن‌ها ایجاد می‌شود.




**شکل ۱۳- مقایسه تغییرات $\frac{h_s}{h}$ نسبت به عدد فرود در باندال لایک با آبشکن بسته برای ۳ $\frac{S}{L}=$ و ۹۰ $\theta=$ درجه.**



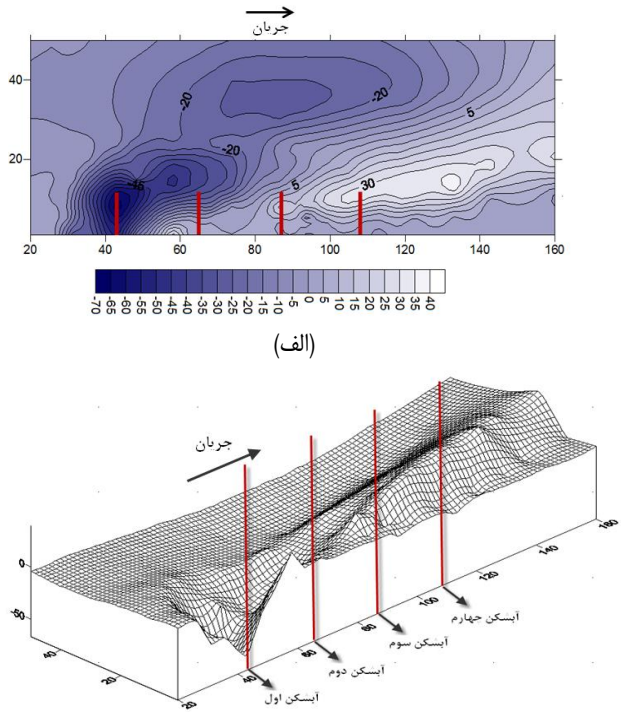

**شکل ۱۴- مقایسه تغییرات $\frac{h_s}{h}$ نسبت به عدد فرود در باندال لایک با آبشکن بسته برای ۲/۵ $\frac{S}{L}=$ و ۹۰ $\theta=$ درجه.**



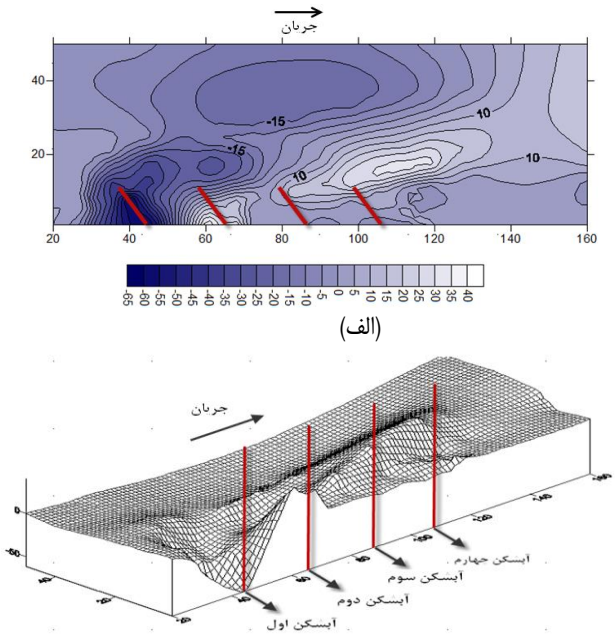

**شکل ۱۵- مقایسه تغییرات $\frac{h_s}{h}$ نسبت به عدد فرود در باندال لایک با آبشکن بسته برای $\frac{S}{L}=$ ۲ و $\theta=$ ۹۰ درجه.**

**تأثیر سری باندال لایک‌ها بر تغییرات توپوگرافی بستر:**

پس از اتمام هر آزمایش پروفیل آبشستگی و رسوبگذاری بستر در اطراف باندال‌لایک‌ها با استفاده از متر لیزری برداشت می‌شد. پس از برداشت نتایج، برای بررسی الگوی فرسایش اطراف آبشکن‌ها، پروفیل‌های بستر تراز ترسیم شده اند که نمونه هایی از آنها در شکل های (۱۶) تا (۱۸) مشاهده می شوند. در این شکل ها از یک نسبت $\frac{S}{L}=$ ۲ و عدد فرود ۰/۲۴ در هر زاویه استفاده شده است. با توجه به این شکل‌ها مشخص است که آبشستگی فقط اطراف آبشکن اول رخ داده است و رسوبات انتقال یافته از آبشستگی اطراف باندال‌لایک در پایین دست آن به صورت یک پشته رسوبی شکل می‌گیرد.



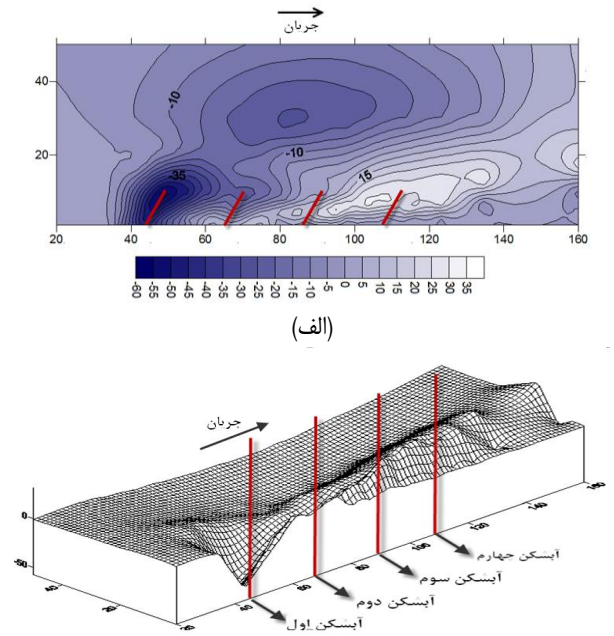

**شکل ۱۶- خطوط تراز بستر(الف) و نمای سه بعدی تغییرات بستر(ب) اطراف سری باندال لایک ها برای $\theta=$ ۹۰ درجه، $\frac{S}{L}=$ ۲ و $Fr=$ ۰/۲۴.**




(الف)

(ب)

**شکل ۱۷- خطوط تراز بستر(الف) و نمای سه بعدی تغییرات بستر(ب) اطراف سری باندال لایک ها برای $\theta = ۱۲۰$ درجه، $\frac{S}{L} = ۲$ و $Fr = ۰/۲۴$.**




(الف)

(ب)

**شکل ۱۸- خطوط تراز بستر(الف) و نمای سه بعدی تغییرات بستر(ب) اطراف سری باندال لایک ها برای $\theta = ۶۰$ درجه، $\frac{S}{L} = ۲$ و $Fr = ۰/۲۴$.**

با مشاهده شکل‌های بالا و شکل‌های مشابه دیگری که در اینجا آورده نشده است، می‌توان نتیجه گرفت که سازه باندال‌لایک در مقایسه با آبشکن‌های دیگر قابلیت کاهش عمق آبشستگی را دارد. همچنین این سازه به عنوان یک سازه برای حفاظت ساحل به شمار می‌آید به این دلیل که بخش نفوذ پذیر سازه (میله ها) باعث کاهش سرعت جریان می‌شود و در نتیجه کاهش سرعت سبب رسوبگذاری و انتقال رسوبات بوسیله جریان در نزدیک بستر و ساحل می‌شود. بخش بالایی سازه نیز سبب انحراف جریان به سمت مرکز کانال شده که این باعث عمیق‌تر شدن کانال به منظور اهداف کشتی رانی و متعادل کردن جریان رودخانه می‌شود.

## نتیجه گیری

هدف از این تحقیق بررسی اثر زاویه و فاصله سری آبشکن‌های نوع باندال لایک روی حداکثر عمق آبشستگی و توپوگرافی بستر بوده‌است که نتایج این تحقیق به صورت زیر خلاصه می‌گردد:

- با افزایش عدد فرود میزان حداکثر عمق آبشستگی نسبی برای یک نسبت مشخص از $\frac{S}{L}$ در هر سه زاویه افزایش می یابد.
- در یک زاویه مشخص، با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها، میزان حداکثر عمق آبشستگی نسبی روند کاهشی دارد و این روند کاهشی با افزایش عدد فرود محسوس‌تر است.
- بین سه زاویه ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه در شرایط یکسان از نظر کاهش عمق آبشستگی، زاویه ۹۰ درجه بیشترین و زاویه ۶۰ درجه کمترین مقدار آبشستگی را داشت.
- در باندل‌لایک‌ها عمق چاله فرسایشی در مقایسه با آبشکن‌های بسته به‌طور محسوسی کمتر می‌باشد. همچنین در سری باندال لایک‌ها آبشستگی فقط اطراف آبشکن اول رخ می‌دهد.

## منابع

۱- میری، م. ۱۳۷۸. بررسی و مقایسه عملکرد آبشکن‌های بسته و باز یک ردیفه و دو ردیفه با استفاده از مدل هیدرولیکی. دومین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران.

۲- وطن فدا، ج. ۱۳۷۰. بررسی نسبت بهینه سطح بازشدگی به سطح کل آبشکن باز در مقابل جریان با استفاده از مدل هیدرولیکی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.

3- GU, Z., Akahori, R and S.Ikeda, 2011, Study on the transport of suspended sediment in an open channel flow with permeable spur dikes. International Journal of Sediment Research, 26(1) :96-111.

4- Kothyari, U. C. 2007. Indian practice on estimation of scour around bridge piers—A comment. Sadhana, 32(3) :187–197.

5- McCoy, A., Constantinescu, S.G. and L.Weber. 2006. Exchange processes in a channel with two vertical emerged obstructions. Journal of Flow, Turbulence and Combustion,77(1-4): 97-126.

6- Teraguchi, H., Nakagawa, H., Kawaike, K., Bans, Y. and H. Zhang. 2011a. Effects of hydraulic structures on river morphological processes. International Journal of Sediment , 26(3) :283-303.

7- Teraguchi, H., Nakagawa, H., Kawaike, K., Baba, Y. and H.Zhang. 2011b. Alternative method for river training works: Bandal-like structures, Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 55: 151-156.

8- Zhang, H. and H. Nakagawa. 2009. Characteristics of local flow and bed deformation at impermeable and permeable spur dykes. Annual Journal of Hydraulic Engineering, JSCE, 53: 145-150.