

## اثر آبشکن بر کاهش فرسایش کناره‌های در قوس رودخانه

معصومه زارع<sup>۱</sup>، تورج هنر<sup>۲\*</sup>

تاریخ دریافت: ۹۳/۰۶/۳۰

تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۱/۲۹

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناس ارشد سازه‌های آبی، بخش مهندسی آب، دانشگاه شیراز

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه شیراز

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: toorajhonar@yahoo.com

### چکیده

آبشکن‌ها سازه‌هایی هستند که برای محافظت و کاهش فرسایش کناره‌ها، در قوس یا مسیر مستقیم استفاده می‌شوند. از جمله مسائل مهم در طراحی آبشکن‌ها، بررسی آبشستگی موضعی در دماغه آن‌ها می‌باشد که به علت تنگ‌شدگی مقطع جریان و وجود گردابه‌های قوی به وجود می‌آید. در این تحقیق، آزمایش‌هایی بر روی سری آبشکن‌های مستقیم، مستقر در یک فلوام آزمایشگاهی قوس‌دار، در دبی‌های مختلف و زاویه‌های متفاوت قرارگیری، تحت شرایط آب زلال انجام گرفت. بیشینه عمق آبشستگی در پای هر آبشکن و مساحت رسوبگذاری در بین آن‌ها اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. جهت بررسی ساختار جریان نیز، اندازه‌گیری سرعت در پای آبشکن‌ها توسط یک دستگاه سرعت‌سنج الکترومغناطیس صورت گرفت. نتایج نشان داد که بیشینه عمق آبشستگی در پای آبشکن‌ها مربوط به آبشکن عمودی است و در هر سه نوع آرایش عمودی، دافع و جاذب، آبشکن اول بیشترین عمق آبشستگی و آبشکن آخر از کمترین عمق برخوردار است. همچنین برای آبشکن‌های عمودی و دافع، در یک نسبت مشخص سرعت به سرعت بحرانی، همواره مساحت رسوبگذاری میان آبشکن‌های اول و دوم، بیشتر از آبشکن‌های دوم و سوم است و برای آبشکن‌های جاذب، عکس روند فوق صادق است. در تمامی زاویه‌های قرارگیری آبشکن‌ها نیز با افزایش نسبت سرعت به سرعت بحرانی، مساحت رسوبگذاری در بین آن‌ها کاهش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی، آبشستگی، آب زلال، آبشکن، قوس رودخانه

## Effect of Groyne on Reducing Coastal Erosion in River Bend

M Zare<sup>1</sup>, T Honar<sup>\*2</sup>

Received: 21 September 2014 Accepted: 18 April 2015

<sup>1</sup>- M.Sc. Student, Faculty of Agric., Shiraz University, Iran

<sup>2</sup>- Assoc.Prof., Faculty of Agric., Shiraz University, Iran

\*- Corresponding Author, Email: toorajhonar@yahoo.com

### Abstract

Groynes are constructed in arch or straight streams in order to protect river banks and reduce their erosion. Local scour at the nose of groynes is one of the most important issues in designing groynes that is created due to the contraction of the flow section and presence of strong vortexes. In this study, experiments were carried out on series of straight groynes located in a laboratory channel bend with different flow discharges and different angles under clear water scour condition. The maximum scour depths and sedimentation (deposition) area between them were measured and compared with each other. In order to assess the flow pattern, velocity measurement around the groynes was done with an Electromagnetic velocitymeter. Results showed that the maximum scour depth was around the normal groyne and for the three normal, repelling and attracting arrangements, the first groyne had the maximum scour depth while this depth was minimum at the last one. Also for the normal and repelling groynes, for a given ratio of velocity to the critical velocity, the sedimentation area between the first and second groynes was greater than that between the second and third groynes and for the attracting groynes, the inverse trend was confirmed. For various angles of groynes, while increasing the ratio of velocity to the critical velocity, the deposition between the groynes was reduced.

**Keywords:** Clear water scour, Groyne, River bend, Scour

### مقدمه

بر جای بگذارد لذا به فکر ایجاد تمهیداتی برای مهار سیلاب شدند. در مواردی هم دیده می‌شد که با تغییر مسیر جریان به سمت اراضی مطلوب و یا جلوگیری از تغییر جهت‌گیری آن در سمت نامطلوب، می‌توان زمین‌های زیادی را زیر کشت برد و به بهره‌وری رساند، لذا بشر به فکر کنترل جریان آب افتاد.

رودخانه‌ها از جمله سرمایه‌های یک کشور محسوب می‌شوند و از دیرباز به‌عنوان یکی از اساسی‌ترین منابع تامین آب، مورد توجه بشر بوده‌اند. انسان‌ها به تجربه دریافته‌اند که رفتار مخرب رودخانه‌ها در شرایط سیلابی می‌تواند خرابی‌های جبران ناپذیری را

را مورد مطالعه قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که بیشترین آشفته‌گی در اطراف آبشکن با مقطع دوزنقه‌ای شکل رخ می‌دهد.

صانعی و موسوی (۲۰۱۱) با تحقیق بر روی تأثیر آبشکن بر کاهش فرسایش کناری رودخانه، از پنج دبی متفاوت و سه مکان مختلف جهت قرارگیری آبشکن استفاده کردند و اظهار داشتند که خرابی دیواره‌ها قبل از استفاده از آبشکن ۴۲-۶۲ درصد بوده که بعد از استفاده از آبشکن این مقادیر کاهش یافته است. در مطالعات موسوی نائینی و همکاران (۱۳۸۸) بر روی تأثیر محل قرارگیری آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه بر گردابه‌های اطراف آن، دریافتند که بیشترین گردابه‌ها در انتهای قوس رخ می‌دهد و بین محل تشکیل آن‌ها و مکان وقوع بیشینه عمق آبشستگی رابطه‌ای وجود دارد. یزدی و همکاران (۲۰۱۰) الگوی جریان در اطراف یک آبشکن منفرد را توسط مدل عددی سه بعدی فلوئنت شبیه‌سازی کردند و بیان کردند که طول و عرض ناحیه چرخشی برای زاویه‌های مختلف قرارگیری آبشکن تقریباً ثابت است. در تحقیقات نائینی و فرهنگی مقدم (۱۳۸۷) عملکرد آبشکن‌ها، با مطالعه جریان در اطراف آن‌ها، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش طول آبشکن‌ها و ورود مقدار بیشتری جریان در بین آن‌ها، گردابه‌های محصور بین دو آبشکن ناپدید می‌گردند. هائو و همکاران (۲۰۰۹) نیز به‌منظور مطالعه جریان آشفته در ناحیه آبشستگی موضعی اطراف یک آبشکن غیر مستغرق از دو مدل عددی و آزمایشگاهی استفاده کردند و به نتایجی دست یافتند. سوخودلو و همکاران (۲۰۰۲) با مطالعه بر تغییرات الگوی جریان چرخشی در میدان آبشکن‌ها دریافتند که الگوی سرعت در میدان آبشکن‌ها بستگی مستقیم به نسبت طول آبشکن به طول میدان آبشکن دارد. وقتی این نسبت بیشتر از ۰/۵ باشد، یک جریان چرخشی و برای مقادیر کمتر از ۰/۵ دو جریان چرخشی در میدان آبشکن پدیدار می‌شود. مطالعات کوهنل و همکاران (۲۰۰۲) بر روی الگوی آبشستگی اطراف یک آبشکن بسته با زاویه‌های ۴۵ و ۹۰ درجه، نشان داد که برای هر سه زاویه

جهت ساماندهی، اصلاح مسیر و حفاظت دیواره-های رودخانه متناسب با شرایط مختلف، تلفیقی از روش‌های گوناگون به‌کار گرفته می‌شود. این روش‌ها به‌طور کلی به‌دو دسته آرام‌کننده‌ها و انحراف‌دهنده‌ها تقسیم می‌شوند.

انحراف‌دهنده‌ها از جمله سازه‌های حفاظتی غیرمستقیم هستند که جهت ساماندهی رودخانه در قوس یا مسیر مستقیم استفاده می‌شوند. آبشکن‌ها از انواع این سازه‌ها می‌باشند که نقش اصلی آن‌ها در رودخانه منحرف ساختن جریان از کناره‌ها به قسمت میانی می‌باشد که این امر منجر به تولید جریان‌های چرخشی در حوالی آبشکن می‌شود. این جریان‌ها از فاصله کمتری در بالادست آبشکن شروع شده و مسافت بیشتری در پایین‌دست را در بر می‌گیرد که نتیجه آن گسترش ناحیه آبشستگی موضعی در پیرامون آبشکن، ته‌نشینی رسوبات در مجاورت دیواره‌های رودخانه بصورت یک بار رسوبی طویل در پایین دست آبشکن و تغییر فرم بستر در بازه پایین‌دست رودخانه می‌باشد. اگر چه به مرور زمان این عمل موجب توسعه و تثبیت بیولوژیک دیواره‌های رودخانه می‌شود اما در دراز مدت باعث ایجاد حفره‌های بزرگ در دماغه آبشکن شده و احتمال شکست سازه را به دنبال خواهد داشت (یاسی و عزیز پناه ۱۳۸۵).

بنابراین مسئله فرسایش و رسوبگذاری در اطراف آبشکن‌ها در رودخانه حائز اهمیت می‌باشد و برای طراحی دقیق و ایمن این سازه‌های حساس در رودخانه می‌بایست از وضعیت رسوبگذاری و فرسایش در اطراف آن‌ها اطلاع دقیقی داشت. در این راستا در چند دهه گذشته تحقیقات متعددی صورت گرفته که به ذکر پاره‌ای از آن‌ها پرداخته می‌شود.

ایکسیوفانگ و همکاران (۲۰۱۲) شدت پخش آشفته‌گی در اطراف ۴ نوع آبشکن کمانی<sup>۱</sup>، پروانه‌ای<sup>۲</sup>، چنگکی<sup>۳</sup> و دوزنقه‌ای<sup>۴</sup> شکل، تحت شرایط جریان یکسان

<sup>1</sup> Arc-like

<sup>2</sup> Fan-like

<sup>3</sup> Hook-like

<sup>4</sup> trapezoidal

موجود می‌باشد. اما در مورد آبشکن‌های مستقر در قوس تحقیقات کمی موجود است (مسجدی و همکاران ۱۳۸۸). لذا ضروری است که پدیده آبشستگی در اطراف این نوع سازه‌ها در داخل کانالی قوس‌دار شبیه به رودخانه واقعی مدل و بررسی گردد. در این تحقیق که برای رودخانه‌های با بستر ماسه‌ای تحت شرایط آشفته و زیر بحرانی در نظر گرفته شده، از سه آبشکن متوالی با زاویه‌های ۹۰، ۱۲۰ و ۵۰ درجه نسبت به کرانه پایین-دست و سه دبی ۳۵، ۴۵ و ۵۴ لیتر بر ثانیه استفاده گردید و در نهایت تأثیر متقابل آبشکن‌های متوالی بر روی میزان فرسایش و ساختار جریان در اطراف آن‌ها، مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها تحلیل ابعادی

پارامترهای متعددی در عملکرد آبشکن‌ها جهت حفاظت سواحل مؤثر می‌باشند. به‌منظور یافتن رابطه بین عوامل مؤثر بر آبشستگی در دماغه سری آبشکن‌های مستقیم، تحلیل ابعادی روی پارامترهای مؤثر انجام شده است. عوامل مؤثر در این زمینه، طبق رابطه ۱ عبارتند از:

$$f\left(\begin{matrix} B, L, L_g, \theta, \sigma_g, d_{50}, \rho_s, u, u_c, y, d_s \\ \rho_w, \mu, g \end{matrix}\right) = 0 \quad [1]$$

که در آن  $B$  عرض سطح بستر کانال،  $L$  طول آبشکن (طول قائم)،  $L_g$  فاصله بین آبشکن‌ها،  $\theta$  زاویه آبشکن نسبت به کرانه پایین‌دست رودخانه،  $\sigma_g$  انحراف معیار ذرات بستر،  $d_{50}$  اندازه متوسط ذرات بستر،  $\rho_s$  جرم مخصوص رسوبات،  $u$  سرعت متوسط جریان،  $u_c$  سرعت بحرانی،  $y$  عمق جریان،  $ds$  ماکزیم عمق آبشستگی،  $\rho_w$  جرم مخصوص آب،  $\mu$  لزجت دینامیکی،  $g$  شتاب ثقل می‌باشند (شکل ۱).

آبشکن و دو نسبت تنگ‌شدگی ۰/۳۰۵ و ۰/۱۵۲ بررسی شده در این مطالعه، آبشکن‌های با زاویه ۴۵ درجه، بیشترین میزان فرسایش بستر را در مجاورت ساحل کانال داشته، در حالی که در آبشکن‌های ۹۰ و ۱۳۵ درجه مقدار کمتری بدست می‌آید.

موسوی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقات خود بر روی تأثیر طول و زاویه آبشکن در کاهش فرسایش کناری رودخانه، دریافتند که با افزایش دبی، فرسایش دماغه آبشکن نیز افزایش می‌یابد و بیشترین میزان آبشستگی در دماغه مربوط به آبشکن با طول بیشتر است. واقفی و همکاران (۱۳۸۸) به این نتیجه رسیدند که با افزایش عدد فرود جریان، تمرکز تنش در ناحیه تنگ‌شدگی مقطع (محل استقرار آبشکن) بیشتر و در نتیجه تغییرات توپوگرافی بستر ناشی از آبشستگی موضعی محسوس‌تر است. ولی‌زاده (۱۳۸۵) با انجام آزمایشاتی به‌منظور بررسی مکانیزم اثر آبشکن‌ها در کانال مرکب، بر روی سه آبشکن نفوذ ناپذیر با زوایای ۷۰ و ۱۱۰ درجه نسبت به دیواره کانال در فلومی به طول ۱۵ متر، عرض ۰/۷ و عمق ۰/۶، به این نتیجه رسید که در کلیه نسبت‌های فاصله به طول مورد بررسی، همواره میزان آبشستگی برای آبشکن‌های ۱۱۰ درجه بیشتر از آبشکن ۷۰ درجه است. همچنین آبشکن با زاویه ۷۰ درجه نسبت به بالادست، در مقایسه با ۱۱۰ درجه بهترین پتانسیل را برای اصلاح معبرهای آبی از خود نشان می‌دهند. بهرامی (۱۳۸۳) نیز با مطالعه بر روی بیشینه عمق آبشستگی اطراف سه مدل آبشکن متوالی در یک کانال صحرایی با زاویه‌های ۶۰ و ۱۲۰ درجه نسبت به پایین‌دست، به این نتیجه رسید که از دو زاویه مورد بررسی، کمترین عمق فرسایش مربوط به آبشکن با زاویه ۶۰ درجه و نسبت فاصله به طول ۱/۵ و کمترین میزان فرسایش بستر، در نزدیک ساحل و مربوط به زاویه ۱۲۰ درجه با نسبت فاصله به طول ۱/۵ می‌باشد. همچنین بزرگترین هندسه، حجم و عمق آبشستگی مربوط به آبشکن با زاویه ۱۲۰ درجه بوده است.

در خصوص آبشستگی حول آبشکن در مسیر مستقیم تحقیقات نسبتاً زیادی صورت پذیرفته و روابط زیادی برای محاسبه عمق آبشستگی اطراف آبشکن

پایین‌دست، عمق پایاب را تنظیم می‌نماید. برای جلوگیری از شسته شدن رسوبات قرار گرفته در بخشی از قوس که مدل در آن قرار می‌گیرد، صفحات فلزی پایه داری در بالادست و پایین‌دست این قسمت نصب شد، به طوری که سطح این صفحات فلزی هم سطح رسوبات گردد. ضمناً جهت از بین بردن تفاوت زبری میان بستر رسوبات و صفحات در نظر گرفته شده، لایه نازکی از رسوبات بوسیله چسب روی این صفحات چسبانده شد.



شکل ۲- قوس محل آزمایش.

آزمایش‌ها در سه دبی ۲۵ و ۴۵ و ۵۴ لیتر بر ثانیه انجام شد که برای حصول بیشینه عمق آبشستگی ( $ds$ )، عمق آب به گونه‌ای تنظیم شد تا نسبت سرعت جریان ( $u$ ) به سرعت بحرانی ( $u_c$ ) کمتر از ۰/۹۵ شده و شرایط آبشستگی آب زلال برقرار شود. از این رو عمق آب در کلیه آزمایش‌ها ۱۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با استفاده از معادلات ملویل (۱۹۹۷) و ملویل و سادرلند (۱۹۸۸)، نسبت سرعت به سرعت بحرانی ( $u/u_c$ ) برای دبی‌های فوق به صورت زیر محاسبه شد (رابطه‌های ۵ تا ۹):

$$\begin{aligned} u_{*c} &= 0.0115 + 0.0125(d_{50})^{1.4}, \\ d_{50} = 0.73 &\rightarrow u_{*c} = 0.0195m \text{ s}^{-1} \end{aligned} \quad [5]$$

$$u_c = 5.75u_{*c} \log 5.53 \frac{y}{d_{50}}, \quad [6]$$

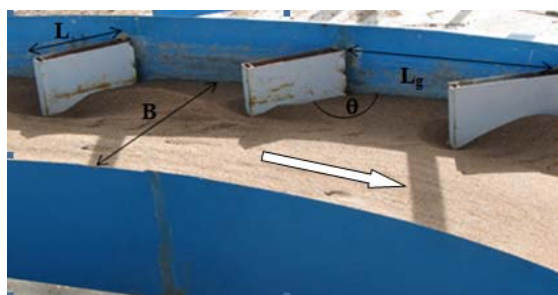
$$y = 140mm \rightarrow u_c = 0.34m \text{ s}^{-1}$$

$$Q = 35Ls^{-1} \rightarrow u = 0.208m \text{ s}^{-1} \quad [7]$$

$$\rightarrow \frac{u}{u_c} = 0.61 \rightarrow Fr = 0.177$$

$$Q = 45Ls^{-1} \rightarrow u = 0.267m \text{ s}^{-1} \quad [8]$$

$$\rightarrow \frac{u}{u_c} = 0.78 \rightarrow Fr = 0.227$$



شکل ۱- پارامترهای مربوط به هندسه کانال و سازه آبشکن.

با انتخاب  $y$ ،  $u$  و  $\rho_w$  به عنوان پارامترهای تکراری، به رابطه ۲ می‌رسیم:

$$f \left( \theta, \sigma_g, \frac{B}{y}, \frac{L}{y}, \frac{L_g}{y}, \frac{d_s}{y}, \frac{d_{50}}{y}, \frac{\rho_s}{\rho_w}, \frac{u}{u_c}, \frac{\rho u y}{\mu}, \frac{u}{\sqrt{gy}} \right) = 0 \quad [2]$$

به کمک نظریه تحلیل ابعادی، معادله بالا را می‌توان بصورت رابطه ۳ نوشت.

$$f \left( \theta, \sigma_g, \frac{B}{y}, \frac{L}{y}, \frac{L_g}{y}, \frac{d_s}{y}, \frac{d_{50}}{y}, \frac{\rho_s}{\rho_w}, \frac{u}{u_c}, Re, Fr \right) = 0 \quad [3]$$

با حذف پارامترهایی که در این پژوهش ثابت فرض شده‌اند و همچنین پارامترهایی که از اهمیت کمتری برخوردارند رابطه ۴ حاصل می‌شود.

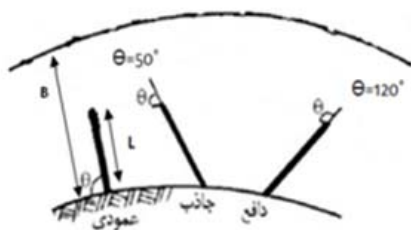
$$\frac{ds}{y} = f \left( \theta, \frac{u}{u_c}, Fr \right) \quad [4]$$

در آزمایش‌های این تحقیق به بررسی اثر پذیری پارامترهای فوق پرداخته شده است که شرح آن در ادامه ارائه می‌شود.

آزمایش‌ها در یک کانال آزمایشگاهی قوس‌دار (مئاندر) به شعاع داخلی ۱/۸، شعاع خارجی ۳، انحناء نسبی (نسبت مجموع شعاع داخلی و نصف عرض به عرض کانال) ۲ با مقطع مستطیلی به طول ۶۰ متر و عرض ۱/۲ متر، با کف بتونی، شیب کف ۰/۰۰۱ با دیواره فولادی به ارتفاع ۰/۴ متر، واقع در آزمایشگاه هیدرولیک رسوب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز انجام شد (شکل ۲). آب به وسیله دو پمپ از یک مخزن اصلی به کانال انتقال می‌یابد و یک دریچه قابل تنظیم در

در این رابطه  $ds$  عمق تعادلی آبشستگی موضعی،  $d$  عمق متوسط آب در بازه بالادست،  $b$  طول مؤثر آبشکن و  $Fr$  عدد فرود بازه بالادست است.

در این تحقیق از سه آبشکن نفوذناپذیر، غیر-مستغرق و مستقیم استفاده شد که با فاصله ثابت ۳ برابر طول آبشکن از یکدیگر، در پیچ خارجی قوس نصب شدند. بر اساس تحقیقات پردوک (۲۰۰۲) در هر مقطع عرضی از بازه رودخانه، مجموع طول مؤثر آبشکن‌ها در دو سمت رودخانه در بیشترین حالت باید معادل ۳۰ درصد عرض رودخانه در وضعیت طبیعی آن باشد. بنابراین طول آبشکن‌ها ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و بیشینه تنگ‌شدگی کانال در این حالت ۲۵ درصد می‌باشد (شکل ۴). با توجه به مقادیر عمق جریان و ضخامت مصالح بستر ارتفاع آبشکن‌ها برابر ۳۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد.



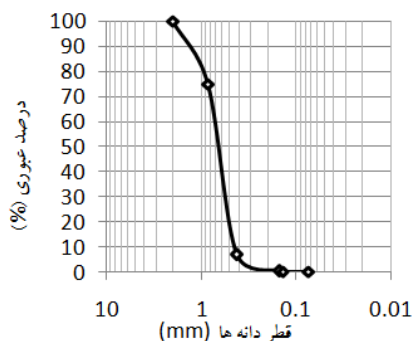
شکل ۴- آرایش قرارگیری آبشکن در رودخانه.

انستیتو هیدرولیک دانمارک زاویه قرارگیری آبشکن‌های جاذب را بزرگتر از ۴۵ درجه و برای آبشکن‌های دافع زاویه بین ۹۵ درجه تا ۱۲۰ درجه را پیشنهاد کرد (بی‌نام ۱۹۹۲). بنابراین در تحقیق حاضر از زاویه ۵۰ درجه برای آبشکن جاذب و از زاویه ۱۲۰ درجه برای آبشکن دافع استفاده شد. معیار زمان تعادل ( $te$ ) در این آزمایش‌ها معیاری است که کومار و همکاران (۱۹۹۹) در تحقیقات خود در نظر گرفتند و آن مدت زمانی است که تغییرات عمق آبشستگی در سه ساعت متوالی بیش از یک میلی‌متر نباشد. لذا در این تحقیق، این مدت با انجام آزمایشی در دبی ۵۴ لیتر بر

$$Q = 54Ls^{-1} \rightarrow u = 0.321m s^{-1}$$

$$\rightarrow \frac{u}{u_c} = 0.94 \rightarrow Fr = 0.273 \quad [9]$$

به توصیه رانکیوی (۱۹۹۸) برای اجتناب از تشکیل فرم بستر (رییل) قطر متوسط ذرات باید از ۰/۷ میلی‌متر بزرگتر باشد. همچنین به توصیه شفافی بجزستان (۱۳۸۴) برای حذف اثر غیریکنواختی ذرات بر آبشستگی موضعی لازم است که انحراف معیار هندسی ذرات کوچکتر از ۱/۳ باشد. با توجه به مطالب فوق از رسوباتی با قطر متوسط ۰/۷۳ میلی‌متر و انحراف معیار هندسی ۱/۲۷ استفاده شد. شکل ۳ منحنی دانه‌بندی ذرات را نشان می‌دهد. همچنین با توجه به اینکه عمق آبشستگی برای اولین آبشکن مشابه یک آبشکن منفرد است، با استفاده از رابطه ۱۰ که برای آبشکن‌های منفرد و مستقیم با امتداد قائم ارائه شده است (لیو و همکاران ۱۹۶۱)، بیشینه عمق آبشستگی برابر با ۱۳/۵۸ سانتی‌متر به دست آمد که با احتساب ۳۰ درصد افزایش احتمالی آن، ضخامت مصالح بستر ۱۶ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (یاسی ۱۳۶۷).



شکل ۳- منحنی دانه‌بندی رسوبات.

$$\frac{ds}{d} = 1.1 \left( \frac{b}{d} \right)^{0.4} Fr^{0.33} \left( \frac{b}{d} \right) < 25 \rightarrow$$

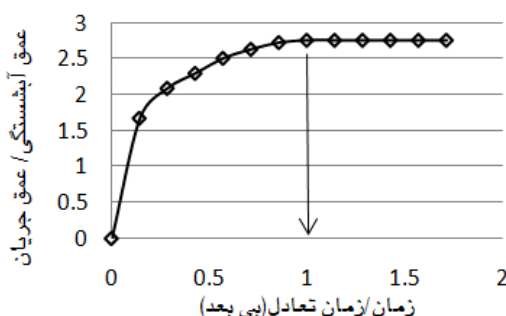
$$\frac{ds}{d} = 1.1 \left( \frac{30}{14} \right)^{0.4} 0.273^{0.33} = 0.97 \rightarrow ds = 13.58cm \quad [10]$$

آبشکن‌ها، همواره با افزایش نسبت  $u/u_c$  عمق آبشستگی در پای آبشکن‌ها افزایش می‌یابد. دلیل این امر آن است که با توجه به ثابت بودن عمق جریان، سرعت بحرانی نیز ثابت است، لذا با افزایش سرعت جریان، آبشستگی بیشتری به وقوع می‌پیوندد. همچنین در کلیه حالات، تغییرات عمق آبشستگی آبشکن میانی و پایین‌دست تقریباً بهم نزدیک است اما میزان عمق آبشستگی در آبشکن بالادست، اختلاف بیشتری با سایر آبشکن‌ها دارد، به طوری که بیشترین آبشستگی بعد از آبشکن بالادست، در پای آبشکن پایین‌دست رخ می‌دهد و کمترین آن مربوط به آبشکن میانی می‌باشد. این روند در آزمایشات بهرامی (۱۳۸۳) نیز دیده می‌شود که دلیل آن را می‌توان این‌گونه بیان کرد که آبشکن اول چون در بالادست قرار دارد و باعث تنگ‌شدگی ناگهانی مقطع می‌شود، دارای بیشترین مقدار آبشستگی و سپس آبشکن سوم به دلیل بازشدگی ناگهانی مقطع، دارای آبشستگی بیشتری نسبت به آبشکن دوم می‌باشد. در حقیقت آبشکن‌های بالادست و پایین‌دست برای آبشکن میانی، نقش محافظت کننده را دارند.

### تغییرات زمانی بیشینه عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌ها در زاویه‌های مختلف

شکل ۷ تأثیر زاویه قرارگیری آبشکن بر عمق آبشستگی را نشان می‌دهد. واضح است که در تمامی نسبت‌های  $u/u_c$  بیشترین آبشستگی مربوط به آبشکن عمودی است و برای آبشکن دافع (۱۲۰ درجه) فقط در آبشکن بالادست، میزان آبشستگی بیشتر از عمق آبشستگی در آبشکن جاذب بالادست (۵۰ درجه) می‌باشد و برای سایر آبشکن‌ها، همواره میزان آبشستگی برای آبشکن‌های ۵۰ درجه بیشتر از ۱۲۰ درجه می‌باشد. نتایج مقایسه مقادیر بیشینه عمق آبشستگی در تحقیق حاضر با نتایج حاصل از آزمایشات بهرامی (۱۳۸۳) نیز، در جدول ۱ آورده شده است که در صد اختلاف موجود را می‌توان ناشی از اختلاف در چگونگی ساختار جریان در قوس و مسیر مستقیم دانست.

ثانیه، همان‌طور که در شکل ۵ قابل مشاهده است، برابر ۷ ساعت به دست آمد.



شکل ۵- نمودار زمان تعادل در دبی ۵۴ لیتر بر ثانیه.

روش انجام آزمایش‌ها به نحوی بود که بعد از قرار دادن مدل‌ها در کانال و تنظیم دبی و عمق مورد نظر، تا رسیدن به حالت تعادل، به فواصل زمانی مختلف، عمق آبشستگی در پای آبشکن‌ها توسط دستگاه عمق‌سنج با دقت ۰/۱ میلی‌متر قرائت می‌شد. پس از برقراری شرایط مذکور، سرعت سیال در یک شبکه منظم مستطیل شکل ۴×۴ سانتی‌متری در حدود ۴۰۰ نقطه، به طوری که تمام نقاط پیرامون آبشکن‌ها را پوشش دهد، در ارتفاع ۰/۸ عمق آب از کف، توسط دستگاه سرعت‌سنج الکترومغناطیس دو بعدی با دقت  $\pm 0.01 m s^{-1}$  اندازه‌گیری شد. پس از هر آزمایش، پمپ خاموش و دریچه انتهایی بسته شد تا آب موجود در کانال به آرامی زهکشی و تأثیری روی توپوگرافی بستر ایجاد نشود. پس از گذشت چند ساعت و تخلیه کامل آب درون کانال، توپوگرافی بستر در اطراف آبشکن‌ها در شبکه‌های ۴×۴ سانتی‌متری در حدود ۵۰۰ نقطه توسط یک متر لیزری با دقت ۱ میلی‌متر برداشت شد.

### نتایج و بحث

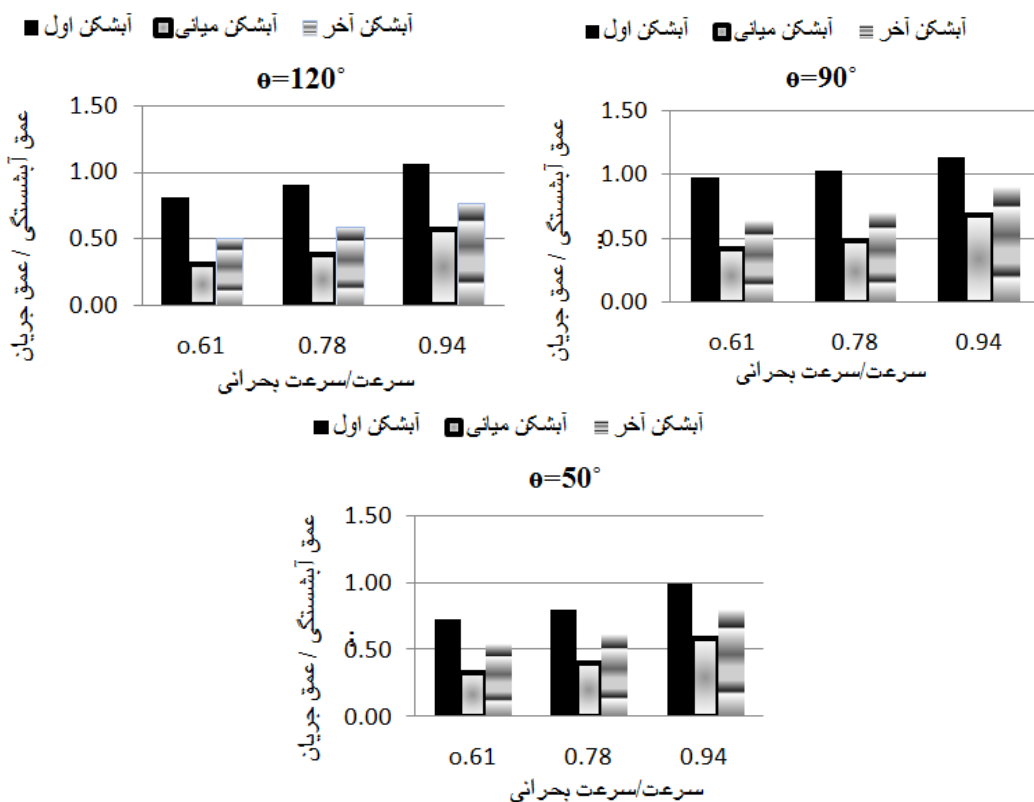
#### تغییرات عمق آبشستگی در پای آبشکن‌ها با نسبت

$$u/u_c$$

شکل ۶ تغییرات عمق آبشستگی در پای آبشکن‌ها را بر حسب نسبت  $u/u_c$  نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌ها مشخص است که در هر سه نوع آرایش

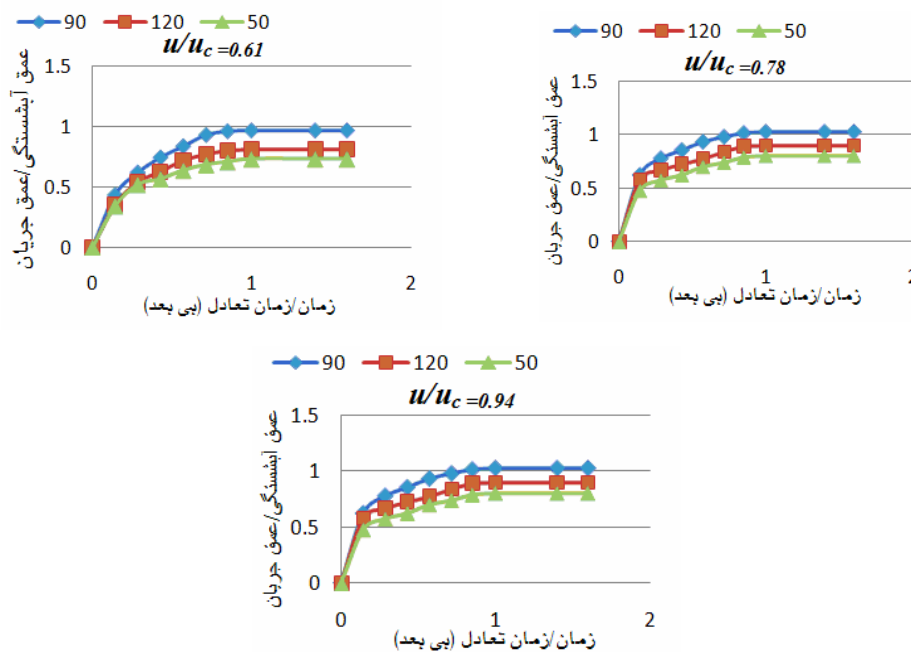
جدول ۱- مقایسه مقادیر بیشینه عمق آبشستگی در تحقیق حاضر با مقادیر حاصل از تحقیق بهرامی (۱۳۸۳).

درصد اختلاف	بیشینه عمق آبشستگی در پای آبشکن جاذب	درصد اختلاف	بیشینه عمق آبشستگی در پای آبشکن دافع
۱۵/۶۶	نتایج تحقیق بهرامی	۰/۸۷	نتایج تحقیق حاضر
۹/۵۳	نتایج تحقیق بهرامی	۱۰/۲۹	نتایج تحقیق حاضر
	۱۰/۲		۱۱/۳



شکل ۶- تغییرات عمق آبشستگی نسبت به  $u/u_c$ .

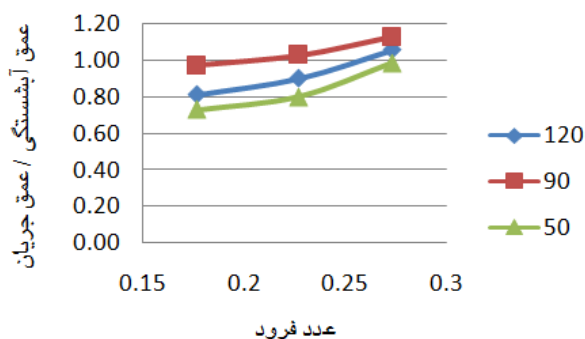




شکل ۷- تغییرات زمانی بیشینه عمق آبشستگی اطراف آبشکن ها در زاویه‌های مختلف.

یک زاویه مشخص، افزایش می‌یابد. 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 می‌یابد.

**تغییرات بیشینه عمق آبشستگی با عدد فرود**  
 شکل ۸ تغییرات بیشینه عمق آبشستگی بر حسب عدد فرود را برای زاویه‌های مختلف قرارگیری آبشکن نشان می‌دهد. با توجه به شکل، مشخص است که با افزایش عدد فرود میزان بیشینه عمق آبشستگی برای

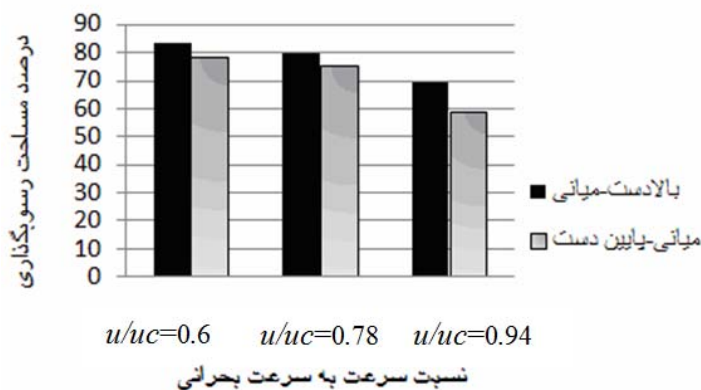


شکل ۸- تغییرات بیشینه عمق آبشستگی نسبت به عدد فرود.

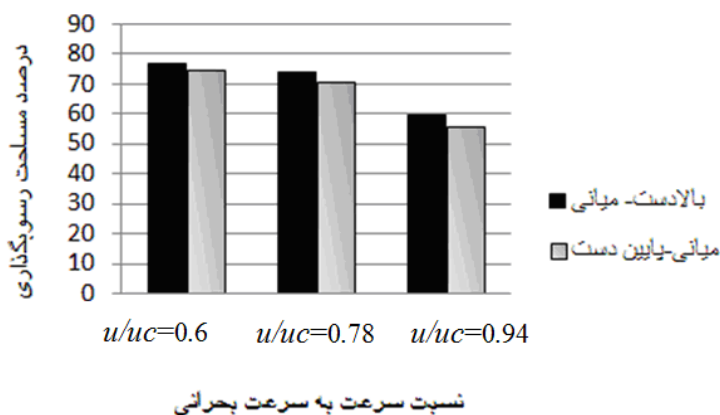
۳۵، ۴۵ و ۵۴ لیتر بر ثانیه، آورده شده است. همان طور که مشخص است، با افزایش نسبت  $u/uc$  در صد مساحت‌های رسوبگذاری کاهش می‌یابد. همچنین در یک نسبت  $u/uc$  ثابت، همواره در صد مساحت‌های

بررسی نسبت مساحت‌های رسوبگذاری شده به مساحت موجود در بین آبشکن‌ها  
 در شکل ۹ نسبت مساحت‌های رسوبگذاری شده به مساحت موجود در بین آبشکن‌های دافع در دبی‌های

رسوبگذاری میان آبشکن‌های اول و دوم، بیشتر از آبشکن‌های دوم و سوم می‌باشد. روند فوق برای



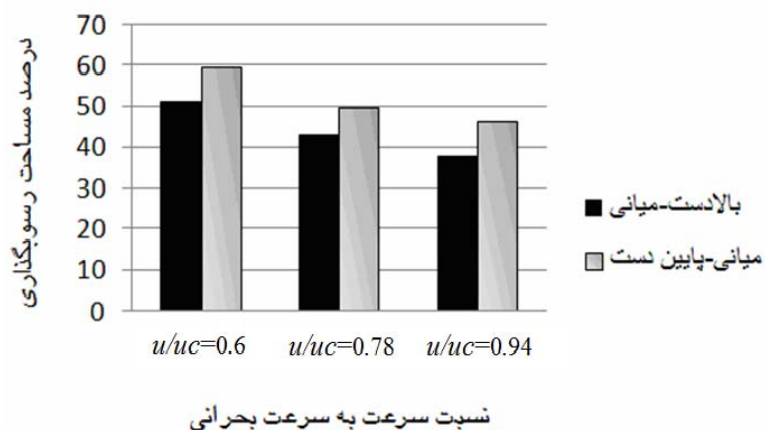
شکل ۹- درصد مساحت‌های رسوبگذاری برای آبشکن‌های دافع در نسبت‌های  $u/uc$  مختلف.



شکل ۱۰- درصد مساحت‌های رسوبگذاری برای آبشکن‌های عمودی در نسبت‌های  $u/uc$  مختلف.

ثابت، همواره در صد مساحت‌های رسوبگذاری میان آبشکن‌های دوم و سوم، بیشتر از آبشکن‌های اول و دوم می‌باشد. آزمایشات ولی‌زاده (۱۳۸۵) نیز مؤید این موضوع است و علت آن را عملکرد متفاوت انواع آبشکن‌ها در انحراف خطوط جریان بیان نموده است.

نسبت مساحت رسوبگذاری شده به مساحت موجود در بین آبشکن‌های جاذب، در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود. واضح است که با افزایش نسبت  $u/uc$  در صد مساحت‌های رسوبگذاری کاهش می‌یابد. در این حالت برخلاف دو آبشکن دافع و عمودی، در یک نسبت  $u/uc$

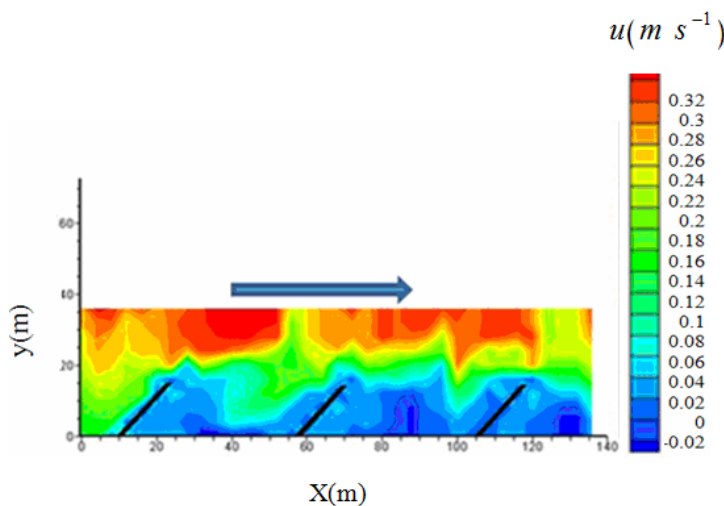


شکل ۱۱- درصد مساحت‌های رسوبگذاری برای آبشکن‌های جاذب در نسبت‌های  $u/uc$  مختلف.

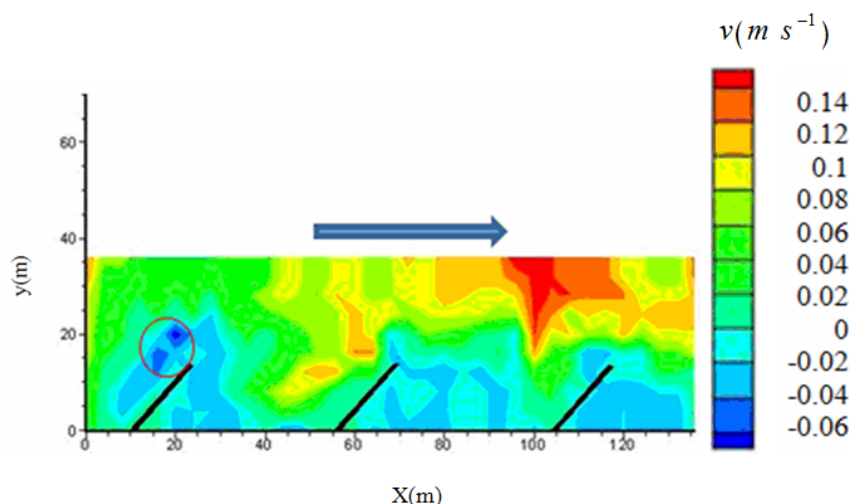
شده و به صفر میل می‌کند. در محدوده بین آبشکن‌ها نیز، سرعت کم شده بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که یک منطقه امن برای رسوبگذاری ایجاد می‌گردد. درصد مساحت‌های رسوبگذاری در شکل ۱۱ نیز، این موضوع را تصدیق می‌نماید.

#### الگوی جریان در اطراف آبشکن‌ها

در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ کانتورهای سرعت در دو جهت طولی و عرضی برای سری آبشکن‌های جاذب در دبی ۴۵ درجه، در محدوده شبکه مستطیل شکل حاوی نقاط برداشت داده‌های سرعت، به‌عنوان نمونه آورده شده‌اند. با توجه به کانتورهای سرعت در جهت طولی، سرعت جریان بعد از برخورد به اولین آبشکن کاسته



شکل ۱۲- کانتورهای سرعت ( $m s^{-1}$ ) در جهت طول.



شکل ۱۳- کانتورهای سرعت ( $m s^{-1}$ ) در جهت عرض.

۱. با افزایش نسبت  $w/uc$  عمق آبشستگی در پای آبشکن‌ها افزایش می‌یابد و در تمامی حالات، بیشینه عمق آبشستگی اطراف آبشکن اول اتفاق می‌افتد.

۲. در یک نسبت  $w/uc$  ثابت، بیشترین آبشستگی مربوط به آبشکن عمودی و بیشترین درصد مساحت رسوبگذاری در بین آبشکن‌های دافع رخ می‌دهد.

۳. به‌طور کلی با توجه به مقادیر آبشستگی و درصد‌های رسوبگذاری، می‌توان بیان کرد که آبشکن‌های دافع به دلیل قدرت انحراف جریان و رسوب‌گیری، کارایی بهتری دارند و به عنوان گیرنده اصلی نیروی آب، در حالتی که ساحل فرسایش‌پذیر داشته باشیم، توصیه می‌شوند ولی در شرایطی که بهبود رودخانه و کشتیرانی مدنظر باشد و نیز در پیچ‌های رودخانه‌ای جهت سهولت در هدایت بهتر جریان، آبشکن‌های جاذب کارایی بهتری را دارا می‌باشند.

برای سرعت در جهت عرض نیز، اعداد مثبت نشان‌دهنده جریان به سمت ساحل مقابل آبشکن‌ها می‌باشند. همان‌طور که مشاهده می‌شود در نزدیکی آبشکن‌ها جهت جریان به سمت ساحلی است که آبشکن‌ها به آن متصل گردیده‌اند اما در نزدیکی دماغه آبشکن‌ها مقادیر سرعت عرضی مثبت بوده که بیانگر انحراف جریان در دماغه آبشکن به سمت مرکز کانال می‌باشد. مقادیر سرعت عرضی نیز در نزدیکی دماغه آبشکن بالادست که در معرض وجود مستقیم جریان قرار دارد، نسبت به نقاط اطراف آن بیشتر است. این روند در آزمایشات ولی‌زاده (۱۳۸۵) نیز مشاهده می‌شود.

### نتیجه‌گیری کلی

بر اساس آزمایش‌های انجام شده، نتایج زیر از این پژوهش حاصل می‌شوند:

### منابع مورد استفاده

بهرامی، ا.، ۱۳۸۳. بررسی صحرایی پدیده آبشستگی در اطراف آبشکن‌های رودخانه‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی. دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز.

شفاعی بجستان، م.، ۱۳۸۴. هیدرولیک رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران، اهواز.

مسجدی، ع.، راهنورد پو تلوری، ع.، ۱۳۸۸. بررسی شکل هندسی آبشکن‌های T شکل در کنترل آبشستگی در اطراف آن در قوس ۱۸۰ درجه رودخانه‌ها. صفحه‌های ۱ تا ۸. دهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، ۱۹-۲۱ بهمن ماه، دانشگاه شهید باهنر، کرمان.

موسوی ب، صانعی م، سلاجقه ع و معتمد وزیری ب، ۱۳۸۹. بررسی آزمایشگاهی تأثیر طول و زاویه آبشکن در کاهش فرسایش کناره‌ای رودخانه. صفحه‌های ۱ تا ۸. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، آبان ماه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.

موسوی نائینی ا، واقفی م و قدسیان م، ۱۳۸۸. تأثیر موقعیت استقرار آبشکن T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه با بستر تخت بر تغییرات ورتیسیته پیرامون آبشکن. صفحه‌های ۱ تا ۸. هشتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۲۴ تا ۲۶ آذر ماه، تهران، دانشگاه تهران.

نائینی ست و فرهی مقدم ک، ۱۳۸۷. بررسی اثر طول و فاصله آبشکن‌ها بر جریان اطراف آن‌ها. صفحه‌های ۱ تا ۱۰. هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۲۱ تا ۲۳ آبان ماه، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور)، تهران. واقفی م، قدسیان م و صالحی نیشابوری س، ۱۳۸۸. مطالعه آزمایشگاهی اثر عدد فرود جریان بر الگوی آبشستگی پیرامون آبشکن T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه. صفحه‌های ۱ تا ۸. هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، ۲۱-۲۳ شهریور ماه، شیراز، دانشگاه شیراز.

ولی‌زاده م، ۱۳۸۵. بررسی ساختار جریان و مطالعه آبشستگی در اطراف آبشکن‌ها در حالت مستغرق در کانال مرکب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه شیراز، شیراز.

یاسی م، ۱۳۶۷. اصلاح مسیر و حفاظت دیواره‌های رودخانه‌های سیلابی با روش‌های طبیعی - ساختمانی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبیاری، دانشگاه شیراز، شیراز.

یاسی م و عزیز پناه ب، ۱۳۸۵. مقایسه خصوصیات جریان در مدل فیزیکی با نتایج مدل‌های یک بعدی، شبه دو بعدی و دو بعدی در یک بازه رودخانه. مجله تحقیقات منابع آب ایران، جلد ۶، شماره ۳، صفحه‌های ۷۸ تا ۷۹.

- Anonymous, 1992. Hydraulic Manual of Mike 11 Mode. a microcomputer based modeling system for rivers and channels, Denmark, Danish Hydraulic Institute (DHI).
- Hao Z, Hajime N, Kenji K and Yasyuki B, 2009. Experiment and simulation of turbulent flow in local scour around a spur dyke. *Journal of Sediment Research* 24: 33-45.
- Kuhnle RA, Alonso CV and Shields FD, 2002. Local scour associated with spur dikes. *Journal of Hydraulic Engineering* 125(9): 972-978.
- Kumar V, Rang Raju KG and Vittal N, 1999. Reduction of local scour around bridge pier using slots and collar. *Journal of Hydraulic Engineering* 125(2): 132-135.
- Liu MK, Chang FM and Skinner MM, 1961. Effect of bridge construction on scour and backwater. Report No. CER60-HKL22, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, 120p.
- Melville BW, 1997. Pier and abutment scour-an integrated approach. *Journal of Hydraulic Engineering* 123(2): 125-136.
- Melville BW, Sutherland AJ, 1988. Design method for local scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*. 114(10):1210-1226.
- Perdok UH, 2002. Application of timber groynes in coastal engineering. M.Sc Thesis, TU delf University of Technology.
- Raudkivi JA, 1998. Loose boundary hydraulics. AA Balkema Rotterdam, Netherlands.
- Saneie M and Mosavi BS, 2011. Experimental investigation of groyne placement on minimizing river bank erosion. *Journal of Water Sciences Research* 2(2): 59-68.
- Sukhodolov A, Uijtewaal W and Engelhardt C, 2002. On the correspondence between morphological and hydrodynamical patterns of groyne fields. *Journal of Earth Surface Processes and Landforms* 27: 289-305.
- Xiufang Z, Pingyi W and Chengyu Y, 2012. Experimental study on flow turbulence distribution around a spur dike with different structure. *Journal of Procedia Engineering* 28: 772-775.
- Yazdi J, Sarkardeh H, Azamathulla HM and A Aminuddin, 2010. 3D simulation of flow around a single spur dike with free-surface flow. *International Journal of River Basin Management* 8(1): 55-62.