

## تأثیر ابعاد صفحات مشبک قائم بر عمق استغراق بحرانی در آبگیرهای قائم با دهانه زنگوله‌ای

ودود نادری<sup>۱\*</sup>، داود فرسادی زاده<sup>۲</sup>، علی حسین زاده دلیر<sup>۳</sup> و هادی ارونقی<sup>۴</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۹/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۲/۱۲

<sup>۱</sup> - دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

<sup>۲</sup> - دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

<sup>۳</sup> - استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

<sup>۴</sup> - استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: vadoudnaderi@gmail.com

### چکیده

تشکیل گرداب در دهانه ورودی آبگیر سدها باعث کاهش ظرفیت آبیگری می‌شود. یکی از روش‌های مرسوم به منظور جلوگیری از ورود هوا و کاهش قدرت گرداب، استفاده از صفحات مشبک می‌باشد. در این تحقیق اثر ابعاد صفحات مشبک قائم بر عمق استغراق بحرانی در یک مدل آزمایشگاهی دهانه آبگیر زنگوله‌ای قائم مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد، استفاده از صفحات مشبک قائم می‌تواند عمق استغراق بحرانی را تا ۳۵ درصد کاهش دهد. در پایان رابطه‌ای بر حسب عدد فرود و ابعاد صفحات مشبک قائم پیشنهاد شد که قادر است با دقت مناسبی استغراق نسبی آبگیر را تخمین بزند.

واژه‌های کلیدی: استغراق آبگیر، صفحات مشبک قائم، گرداب

## Effect of Dimensions of Vertical Meshed Plates on Critical Submergence in Bell-Mouth Vertical Intakes

V Naderi<sup>1\*</sup>, D Farsadizadeh<sup>2</sup>, A Hosseinzadeh Dalir<sup>3</sup> and H Arvanaghi<sup>4</sup>

Received: 10 December 2013 Accepted: 03 March 2014

<sup>1</sup> - Former M.Sc. Student, Water Eng. Dep., Faculty of agriculture, University of Tabriz, Iran

<sup>2</sup> - Assoc. Prof., Water Eng. Dep., Faculty of agriculture, University of Tabriz, Iran

<sup>3</sup> - Prof., Water Eng. Dep., Faculty of agriculture, University of Tabriz, Iran

<sup>4</sup> - Assist. Prof., Water Eng. Dep., Faculty of agriculture, University of Tabriz, Iran

\*Corresponding Author, Email: vadoudnaderi@gmail.com

### Abstract

Formation of the vortex at the entrance of a dam intake reduces its capacity. One of the common methods for preventing the air entry and reducing the power of the vortex is the use of meshed plates. In this research the effect of dimensions of the meshed plates on the critical submergence in an experimental model of bell-mouth vertical intake has been studied. The results showed that, using the vertical meshed plates could reduce the critical submergence up to 35%. At the end, an equation using Froude number and dimensions of the meshed plates was proposed that could predict the relative submergence, accurately.

**Keywords:** Submergence of intake, Vertical meshed plates, Vortex

### مقدمه

منحنی‌های بسته باشند، جریان گردابی شکل می‌گیرد؛ در حرکت چرخشی، گروهی از ذرات سیال حول یک مرکز عمومی دوران می‌کنند. این پدیده می‌تواند باعث بروز مشکلاتی نظیر افزایش افت انرژی، کاهش نرخ آبیگری، کاهش راندمان ماشین‌های هیدرولیکی و عملکرد نامناسب آن‌ها، ایجاد لرزش و صدا و نیز خوردگی در توربین‌ها و لوله آبیگری<sup>۱</sup> بشود.

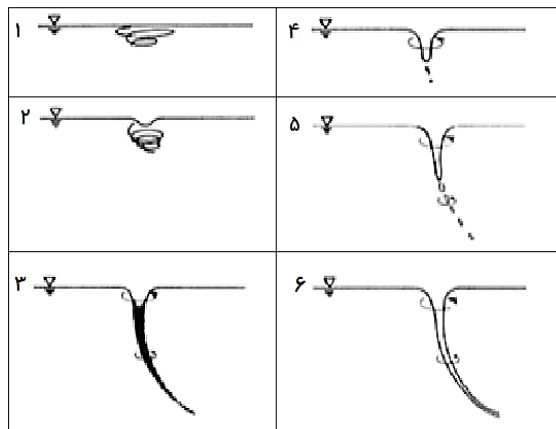
علل مختلفی برای تشکیل جریان گردابی وجود دارد که از آنها می‌توان به موقعیت نامناسب آبیگرها، شرایط نامتقارن جریان ناشی از هندسه حوضچه بالادست و توزیع غیر یکنواخت سرعت اشاره کرد.

یکی از اهداف سدسازی استفاده بهینه از آب جهت مصارف کشاورزی، شهری و تولید برق می‌باشد. در این راستا آبیگرهای بسیاری در سدهای مختلف در دنیا اجرا و مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد. عملکرد هیدرولیکی سازه‌های آبیگر، تاثیر زیادی در انتقال جریان تنظیم شده به پایین‌دست دارد.

یکی از پدیده‌های هیدرولیکی که عمدتاً در نیروگاه‌های آبی سدها و ایستگاه‌های پمپاژ به هنگام آبیگری ظاهر می‌شود، پدیده چرخش آب یا جریان گردابی<sup>۱</sup> می‌باشد. هنگامی که حرکت ذرات سیال به گونه‌ای باشد که در آن خطوط جریان به شکل

<sup>2</sup>Penstock

<sup>1</sup>Swirling Flow or Vortex



شکل ۱ - طبقه بندی گرداب بر اساس شکل ظاهری و قدرت آن (هکر ۱۹۸۱).

برای اینکه گردابی بر روی آبگیر تشکیل نشود، می‌بایست یک عمق حداقل بر روی دهانه آبگیر وجود داشته باشد. این عمق، عمق استغراق بحرانی<sup>۱</sup> نامیده می‌شود. به طور کلی هر عاملی که در گردش گرداب ایجاد اختلال نماید، عمق استغراق بحرانی را کاهش و برعکس، هر عاملی که قدرت چرخش گرداب را افزایش دهد، عمق استغراق بحرانی را افزایش می‌دهد. به عنوان نمونه افزایش شیب دیواره آبگیر و نزدیک شدن آن به محل تشکیل گرداب، ایجاد اصطکاک زیادتری در مسیر چرخش گرداب کرده و عمق استغراق بحرانی را می‌کاهد ولی از طرفی عدم تقارن مخزن می‌تواند به افزایش قدرت گرداب و در نتیجه افزایش عمق استغراق بحرانی بیانجامد (کوچاباش و بیلدیریم ۲۰۰۲). بررسی‌های متعددی برای تعیین استغراق بحرانی و جلوگیری از ایجاد جریان گردابی انجام شده است. نتیجه برخی از این تحقیقات در قالب معادلات تجربی بدست آمده از بررسی‌های آزمایشگاهی، برخی بر اساس حل تحلیلی معادلات ساده شده جریان گردابی در شرایط ایده آل و برخی دیگر بر اساس حل عددی معادلات پیوستگی و اندازه حرکت با استفاده از روش‌های مختلف ارائه شده است. انوار (۱۹۶۶) با به کارگیری معادلات ناویر-استوکس در جریان‌های گردابی، برای عمق فروافتادگی در گرداب آزاد رابطه‌ای

خصوصیات جریان در بالادست آبگیرها مانند توزیع سرعت، زاویه خطوط جریان نسبت به دهانه آبگیر، میزان آشفتگی جریان و همچنین شکل آبگیر، موقعیت دیواره‌ها و زبری آنها در اطراف آبگیر تاثیر مستقیم در تشکیل و یا استهلاک جریان گردابی دارند (روشن ۱۳۸۴).

هکر (۱۹۸۱) طبقه‌بندی زیر را بر اساس شکل ظاهری و قدرت گردابه‌ها ارائه نمود:

۱. جریان‌های چرخشی ضعیف که در سطح آب دیده می‌شوند.

۲. گردابی که علاوه بر جریان‌های چرخشی، یک گود افتادگی در سطح آب مشاهده می‌گردد. در این نوع گرداب با اضافه نمودن ماده رنگی، سیر چرخش آن را نمی‌توان مشاهده کرد.

۳. جریان گردابی که به صورت یک مخروط از سطح تا عمق آب ادامه می‌یابد و مخروط گرداب به وضوح مشخص می‌باشد. در این نوع گرداب با ریختن ماده رنگی به داخل جریان مخروط چرخشی، ماده رنگی تا محدوده آبگیر مشاهده می‌شود.

۴. گردابی که ذرات شناور روی سطح آب به درون آبگیر کشیده می‌شوند.

۵. جریان گردابی که علاوه بر اجسام شناور، حباب‌های هوا به صورت مقطعی به درون آبگیر کشیده می‌شوند.

۶. گردابی که مخروط هوا به صورت پیوسته به داخل آبگیر امتداد می‌یابد و هوا مستقیماً وارد آبگیر می‌گردد. این نوع گرداب، بحرانی‌ترین و قوی‌ترین حالت ممکن می‌باشد.

شکل ۱ نمونه گرداب‌های طبقه بندی شده توسط هکر (۱۹۸۱) را بر اساس شکل ظاهری و قدرت آن‌ها نشان می‌دهد.

<sup>1</sup> Critical Submergence

بحرانی در آبیگرهای واقع در آب ساکن مخازن را مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که رویه کروی- بحرانی خروجی یا CSSS تعریف شده برای آبیگر کانال‌های با جریان یکنواخت و ایده آل را می‌توان در مورد این آبیگرها نیز به کار برد. همچنین، بیلدیریم و همکاران (۲۰۰۰) تاثیر محدوده لوله آبیگر به صورت مرزهای غیر قابل نفوذ و محل آن‌ها را در حالت‌های مختلف قرارگیری لوله آبیگر مورد بررسی قرار دادند. تاثیر محدوده لوله آبیگر به صورت مرزهای غیرقابل نفوذ و محل آن‌ها بر استغراق بحرانی در یک آبیگر لوله‌ای توسط بیلدیریم و کوچاباش (۲۰۰۲) مورد بررسی قرار گرفت. آنها برای هر حالت سطح خالص رویه کروی- بحرانی خروجی یا CSSS را محاسبه کرده و با کاربرد آن در معادله پیوستگی، استغراق بحرانی آبیگر را تعیین نمودند. کبیری سامانی و برقی (۱۳۸۰) به بررسی تاثیر ابعاد، زاویه و موقعیت قرارگیری صفحات صلب قائم ضد گرداب در آبیگرهای قائم رو به پایین پرداخته و به این نتیجه رسیدند که هرگونه عدم تقارن در قرارگیری صفحات ضد گرداب، درصد هوای موجود در گرداب را افزایش می‌دهد.

ناصی اسکویی (۱۳۹۱) به بررسی تاثیر ابعاد، موقعیت و نوع صفحات مستغرق افقی در کاهش عمق استغراق بحرانی پرداخت؛ وی به این نتیجه رسید که با افزایش ابعاد صفحات ضدگرداب، عملکرد آن‌ها در کاهش عمق استغراق مورد نیاز آبیگر افزایش می‌یابد و رفته رفته از شدت افزایش عملکرد مربوطه کاسته می‌شود. شمسی و کبیری سامانی (۱۳۹۱) با بررسی سرریزهای قائم مدور با شکل دهانه کلید پیانویی، به این نتیجه رسیدند که تغییر شکل دهانه ورودی به کلید پیانویی موجب افزایش ضریب دبی جریان می‌شود. در واقع این امر علاوه بر کاهش عمق استغراق بحرانی موجب کاهش آشفتگی هسته گرداب نیز خواهد شد.

#### مواد و روش‌ها

##### الف) تحلیل ابعادی

با توجه به تاثیر پذیری گرداب از عوامل مختلف هندسی و هیدرولیکی، جهت تحلیل نتایج حاصل از

ارائه داد. او نشان داد حداکثر سرعت محوری بر حسب شعاع لوله آبیگر در فاصله‌ی 0.75R از محور لوله رخ می‌دهد. او در جای دیگر نشان داد که قطر گرداب سطحی تابعی از چرخش است و برای محاسبه دوران و قدرت گرداب روابطی ارائه نمود. انوار (۱۹۶۸) روابطی برای آبیگرهای قائم رو به بالا ارائه کرد. او همچنین روابطی برای  $r/d$  برحسب پارامترهای موثر در آبیگرهای افقی ارائه داد. کویک (۱۹۷۰) گرداب مثبت و منفی را تعریف نمود. در این تعریف گرداب مثبت در جهت عکس گردش عقربه‌های ساعت و گرداب منفی هم جهت با گردش عقربه‌های ساعت معرفی شدند.

داگت و کولگان (۱۹۷۴) ضریب تخلیه جریان را به صورت تابعی از عدد رینولدز و عدد چرخش ارائه نمودند. آنها برای ارتباط عمق استغراق بحرانی با سایر پارامترها روابطی بیان کردند. ردی و پیکفورد (۱۹۷۲) و آملفت (۱۹۷۶) رابطه‌ای برای تعیین استغراق بحرانی در آبیگرهای قائم بر حسب عدد فرود ارائه دادند. جین و همکاران (۱۹۷۸) رابطه‌ای برای استغراق بحرانی آبیگرهای قائم رو به پایین بر حسب پارامترهای موثر ارائه نمودند.

انوار و همکاران (۱۹۷۸) با تحلیل ابعادی نشان دادند که تشابه دینامیکی حرکت سیال در یک آبیگر با ابعاد هندسی مشخص، بوسیله‌ی اعداد بی بعد فرود، رینولدز، وبر و استغراق تعریف می‌شود. دورگین و هکر (۱۹۷۸) شرایط وقوع گرداب را بر اساس موقعیت قرارگیری آبیگر نسبت به محور کانال به سه بخش تقسیم کردند. لوگت (۱۹۸۳) جریان گردابی را با تئوری پتانسیل دو بعدی خویش بیان نموده و پارامتر سرعت آزیموتی را برای اولین بار مطرح نمود. همچنین، معادلاتی توسط هایت و میچ (۱۹۹۴) جهت تعیین سرعت‌های مماسی، شعاعی و محوری و نیمرخ سطح آب برای گرداب‌های دارای هسته هوا در آبیگرها استنتاج شد. بیلدیریم و کوچاباش (۱۹۹۸) استغراق هدف از تحقیق حاضر، بررسی عملکرد صفحات مشبک قائم در ابعاد مختلف بر روی آبیگر با دهانه زنگی-شکل و تاثیر ابعاد مذکور در کاهش عمق استغراق بحرانی می‌باشد.

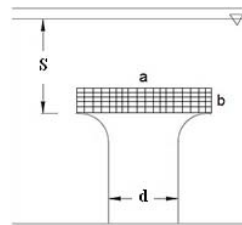
با انتخاب  $d$ ،  $Q$  و  $\rho$  به عنوان پارامترهای تکراری و با استفاده از تئوری پی باکینگهام خواهیم داشت:

$$\frac{S_c}{d} = \varphi_1 \left( \frac{a}{d}, \frac{b}{d}, Re = \frac{Q}{vd}, Fr = \frac{Q}{a^2 \sqrt{gd}}, We = \frac{\rho Q^2}{\sigma d^3}, N_\Gamma = \frac{d\Gamma}{Q} \right) \quad [2]$$

که در آن  $\frac{S_c}{d}$  استغراق نسبی آبیگر،  $Re$  عدد رینولدز شعاعی،  $v$  لزوجت سینماتیکی مایع،  $Fr$  عدد فرود،  $We$  عدد وبر و  $N_\Gamma$  عدد گرداب می‌باشند. در رابطه فوق، اعداد رینولدز و وبر که نشان دهنده اثر لزوجت و کشش سطحی سیال می‌باشند، بر اساس محدوده توصیه شده توسط محققین که در جدول ۱ آورده شده است، در شرایط آزمایش‌های این تحقیق قابل حذف می‌باشند. همچنین با وجود سیستم آرام کننده برای ورود یکنواخت آب، دوران در ورودی مخزن ناچیز بوده و می‌توان از  $N_\Gamma$  نیز صرف نظر نمود. لذا پارامترهای بی‌بعد موثر در استغراق نسبی آبیگر در این تحقیق، مطابق رابطه نهایی ۳ نوشته می‌شود.

$$\frac{S_c}{d} = \varphi_2 \left( \frac{a}{d}, \frac{b}{d}, Fr \right) \quad [3]$$

تحقیق، از روش بی‌بعد سازی پارامترهای موثر در مسئله استفاده شد. شکل ۲ عمق استغراق و ابعاد صفحات مشبک قائم در این تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۲- دهانه آبیگر قائم با صفحات مشبک قائم.

در تحلیل ابعادی این پدیده، عمق استغراق بحرانی پارامتر اصلی و سایر پارامترها به عنوان پارامتر وابسته می‌باشند. بنابراین تابع ابعادی را می‌توان به صورت رابطه ۱ نوشت.

$$S_c = \varphi(d, a, b, Q, g, \rho, \mu, \sigma, \Gamma) \quad [1]$$

که در آن  $S_c$  عمق استغراق بحرانی،  $d$  قطر لوله آبیگر،  $a$  طول صفحات قائم ضد گرداب،  $b$  عرض صفحات قائم ضد گرداب،  $Q$  دبی آبیگری،  $g$  شتاب ثقل،  $\rho$  جرم مخصوص مایع،  $\mu$  لزوجت دینامیکی مایع،  $\sigma$  کشش سطحی مایع و  $\Gamma$  دوران جریان ورودی می‌باشند.

جدول ۱- محدوده اعداد رینولدز و وبر برای حذف اثرات لزوجت و کشش سطحی.

عدد وبر	عدد رینولدز	محقق
$V^2 \rho \cdot d / \sigma \geq 120$	$Q / (vD) \geq 3 \times 10^3$	داکت و کولگان (۱۹۷۴)
$V^2 \rho \cdot d / \sigma \geq 120$	$Q / (vS) \geq 10^4$	انوار و همکاران (۱۹۷۸)
$V^2 \rho \cdot d / \sigma \geq 120$	$(gd^3)^{0.5} / v \geq 5 \times 10^4$	جین و همکاران (۱۹۷۸)

این شیر می‌توان تنظیم کرد. مخزن مورد استفاده در این تحقیق مطابق شکل ۵ شامل یک مکعب به اضلاع یک متر و یک نیم استوانه به شعاع نیم متر و ارتفاع یک متر است که لوله آبیگر در امتداد محور نیم استوانه قرار دارد. کف مخزن از جنس ورق گالوانیزه و دیواره‌های آن از جنس پلکسی گلس می‌باشد تا بتوان به راحتی

(ب) تجهیزات آزمایشگاهی

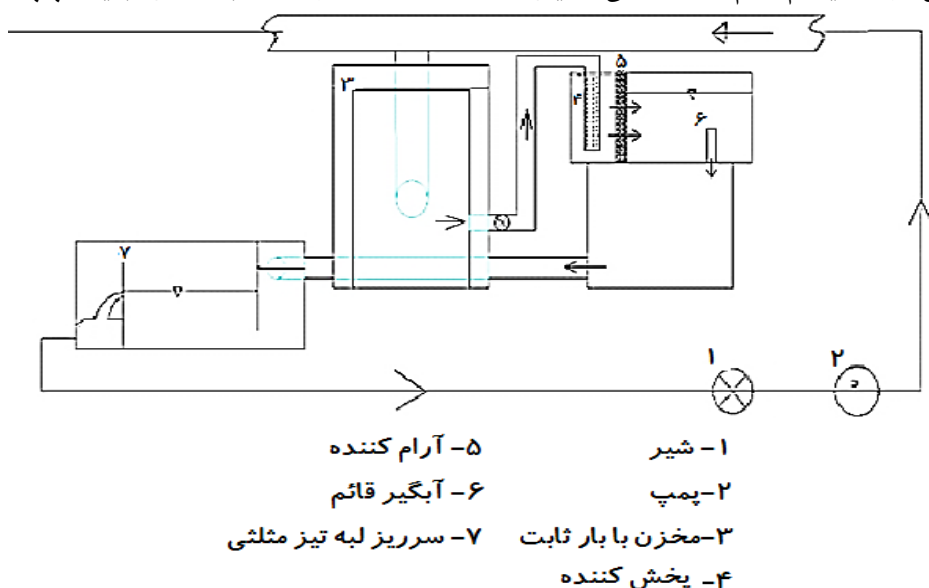
آزمایش‌های مربوط به این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز انجام گرفت. بطوری که در شکل‌های ۳ و ۴ نشان داده شده است، آب توسط یک شیر فلکه وارد مخزن آبیگری می‌شود که دبی ورودی به مخزن آبیگری را به وسیله

در فاصله ۰/۱۵ متری از ابتدای مخزن به ضخامت ۰/۱ متر، متشکل از ۲ صفحه اسفنجی و ذرات قلوه سنگ با قطر متوسط ۰/۰۲ متر می باشد که توسط ۲ صفحه مشبک فلزی احاطه شده است.

آب پس از خروج از مخزن آبیگری وارد حوضچه آرامش شده و پس از اندازه گیری دبی جریان توسط سرریز مثلثی، به مخزن زیرزمینی آزمایشگاه منتقل شده و مجدداً به مخزن آبیگری پمپاژ می شود.

مراحل تشکیل گرداب را از همه جهتها مشاهده کرد. کف مخزن آبیگری ۱/۱ متر از تراز کف زمین بالاتر است.

ارتفاع لوله آبیگر قائم از محل کارگذاری در کف ۰/۴ متر بوده قطر خارجی لوله ۰/۷۵ متر و قطر داخلی آن ۰/۷۰۴ متر می باشد. تلاطم جریان ورودی به مخزن ابتدا توسط یک لوله با دیواره مشبک، تا حدود زیادی گرفته می شود. سیستم آرام کننده اصلی جریان



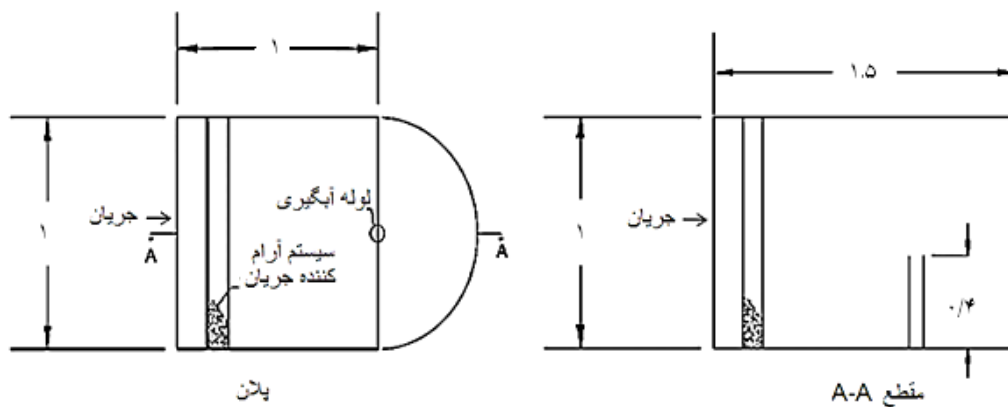
شکل ۳- شمایی از سیستم تامین آب مخزن آبیگر.

مطابق شکل ۶، صفحات مشبک قائم از جنس آهن گالوانیزه با قطر سوراخهایی به شکل لوزی و قطر  $0.12d$  در ابعاد مختلف و مضاربی از قطر درونی لوله آبیگر انتخاب شدند. نحوه استقرار این صفحات در پلان به صورت دو خط هم اندازه است که همدیگر را در نقطه میانی با زاویه ۹۰ درجه قطع نموده اند. پارامترهای مورد بررسی در تحقیق حاضر مطابق جدول ۱۲ می باشند که در آن  $d$  قطر داخلی آبیگر و برابر با  $۷۰/۴$  میلی متر می باشد.

جهت اندازه گیری عمق استغراق لوله آبیگر و نیز اندازه گیری ارتفاع آب روی تاج سرریز مثلثی از دو دستگاه سطح سنج اولتراسونیک استفاده شد. در ورودی آبیگر لوله ای قائم، دهانه زنگوله ای به منظور افزایش ضریب دبی نصب گردید که طول و ارتفاع دهانه مذکور مضربی از قطر داخلی لوله آبیگر انتخاب شد به طوری که ارتفاع آنها از محل قرارگیری روی لوله قائم  $d/2$  معادل  $۳۵/۲$  میلی متر و قطر بزرگ آنها  $2d$  معادل  $۱۴۰/۸$  میلی متر می باشد.



شکل ۴- مخزن آبگیری.



شکل ۵- شمایی از مدل آزمایشگاهی مخزن آبگیر (ابعاد به متر داده شده است).

جدول ۲- پارامترهای مورد بررسی در تحقیق حاضر.

دبی (L/s)	ابعاد صفحات مشبک قائم
۲ تا ۹/۵ (دبی ۱۰)	2.5d×d, 2d×d, 1.5d×d, 2.5d×d/2, 2d×d/2, 1.5d×d/2, 2.5d×d/4, 2d×d/4, 1.5d×d/4



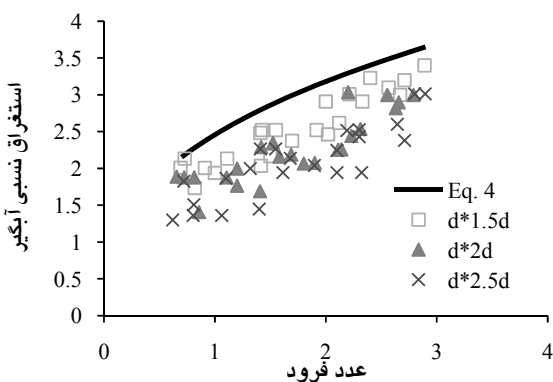
شکل ۶- نمونه‌ای از صفحات مورد استفاده در تحقیق حاضر.

### نتایج و بحث

ترتیب برابر با ۰/۷۵، ۰/۱۳ و ۰/۰۸ می‌باشد. رابطه ۴ از واسنجی ۸۰ درصد از داده‌ها بدست آمده و برای اعتبار سنجی آن از ۲۰ درصد بقیه داده‌های مشاهداتی استفاده شده‌است. رابطه مذکور به صورت زیر است:

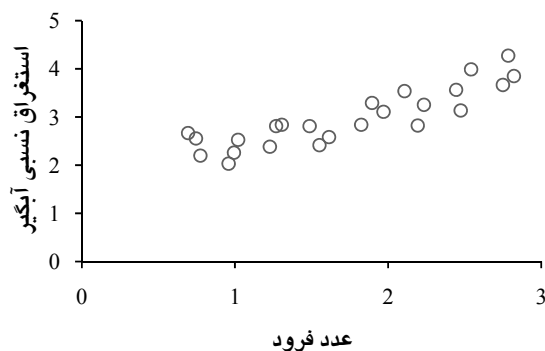
$$\frac{Sc}{d} = 2.46Fr^{0.371} \quad [4]$$

نتایج مربوط به حالت‌های استفاده از صفحات مشبک قائم، به ترتیب در اشکال ۸، ۹ و ۱۰ آورده شده است.



شکل ۸- تغییرات استغراق نسبی نسبت به عدد فرود در حالت استفاده از صفحات مشبک قائم با عرض d.

به منظور تعیین عمق استغراق بحرانی برای حالتی که هیچگونه ابزار ضد گردابی در مسیر جریان قرار ندارد، آزمایش‌هایی بر روی حالت ساده آبیگر قائم زنگوله‌ای انجام گرفت که نتایج بدست آمده از این حالت همراه با معادله برازش داده شده، مطابق شکل ۷ می‌باشد.



شکل ۷- تغییرات استغراق نسبی نسبت به عدد فرود در حالت ساده آبیگر قائم با دهانه زنگوله‌ای.

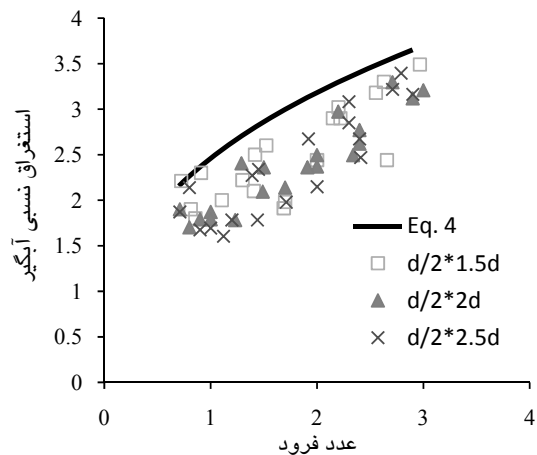
داده‌های فوق نشان می‌دهند که با افزایش عدد فرود جریان در دهانه آبیگر، عمق استغراق نسبی نیز افزایش می‌یابد، برای ۲۵ داده مذکور که از اجرای مدل با سه تکرار در محدوده دبی ۲ تا ۹/۵ لیتر بر ثانیه به‌دست آمد، با استفاده از نرم افزار SPSS رابطه ۴ استخراج شد. این رابطه در محدوده اعداد فرود ۰/۶ تا ۲/۹ ارائه شده و  $R^2$ ، RMSE و خطای نسبی آن به



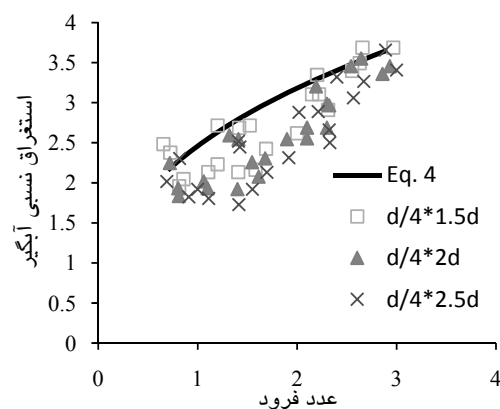
مثبت نسبت به حالت ساده آبیگر قائم با دهانه زنگوله‌ای می‌باشند، بیشترین عملکرد مربوط به صفحات مشبک  $d \times 2.5d$  و برابر با  $35/33$  درصد در بازه عدد فرود صفر تا ۱ و کمترین عملکرد برابر با  $1/4$  درصد مربوط به صفحات مشبک  $d/4 \times 1.5d$  در بازه عدد فرود مذکور می‌باشد. به علت اینکه در ابتدای ورود آب به دهانه آبیگر، جریان به صورت ریزشی بوده و با افزایش عدد فرود جریان، این جریان ریزشی به جریان شعاعی تبدیل می‌شود، در اعداد فرود پایین، وقوع گرداب تاثیر چندانی بر فرایند آبیگری ندارد و با افزایش عدد فرود جریان، وقوع گرداب موجب افزایش عمق استغراق بحرانی می‌گردد. طبق آنچه بحث شد، استفاده از صفحات مشبک قائم روی دهانه آبیگر، در محدوده اعداد فرودی که جریان ریزشی در آن وجود دارد عملکرد بیشتری نسبت به حالتی که در آن جریان تماماً شعاعی است، خواهد داشت و طبق مشاهدات میانگین عملکرد صفحات مشبک قائم در محدوده اعداد فرود صفر تا ۲، بیشتر از عملکرد این صفحات در محدوده اعداد فرود ۲ تا ۳ است.

علت عملکرد بالای صفحات با طول  $2.5d$  نیز به این دلیل است که با گسترش طول صفحات به کمی بیرون‌تر از دهانه آبیگر، برخورد جریان شعاعی این ناحیه یا صفحات موجب بوجود آمدن آشفتگی‌های موضعی در این ناحیه شده و برخورد جریان شعاعی وارد شونده به داخل دهانه آبیگر، با این آشفتگی‌ها، اندکی از سرعت شعاعی آن‌ها کاسته و موجب افزایش آبیگری و کاهش عمق استغراق بحرانی می‌شود. علت عملکرد کمتر صفحات با طول  $1.5d$  نیز به همین پدیده مربوط است، زیرا با کاهش طول صفحات مشبک قائم، لبه‌ی انتهایی این صفحات اندکی کمتر از قطر دهانه آبیگر بوده و جریان شعاعی به راحتی و بدون برخورد به لبه این صفحات وارد آبیگر شده و اگرچه موجب کاهش عمق استغراق بحرانی می‌شود اما میزان عملکرد آن بسیار پایین‌تر از صفحات با طول بیشتر است.

جهت مشخص نمودن تغییرات عملکرد در جهت افزایش طول و یا عرض صفحات مشبک اشکال ۱۲ و ۱۳ ترسیم شد.



شکل ۹- تغییرات استغراق نسبی نسبت به عدد فرود در حالت استفاده از صفحات مشبک قائم با عرض  $d/2$ .



شکل ۱۰- تغییرات استغراق نسبی نسبت به عدد فرود در حالت استفاده از صفحات مشبک قائم با عرض  $d/4$ .

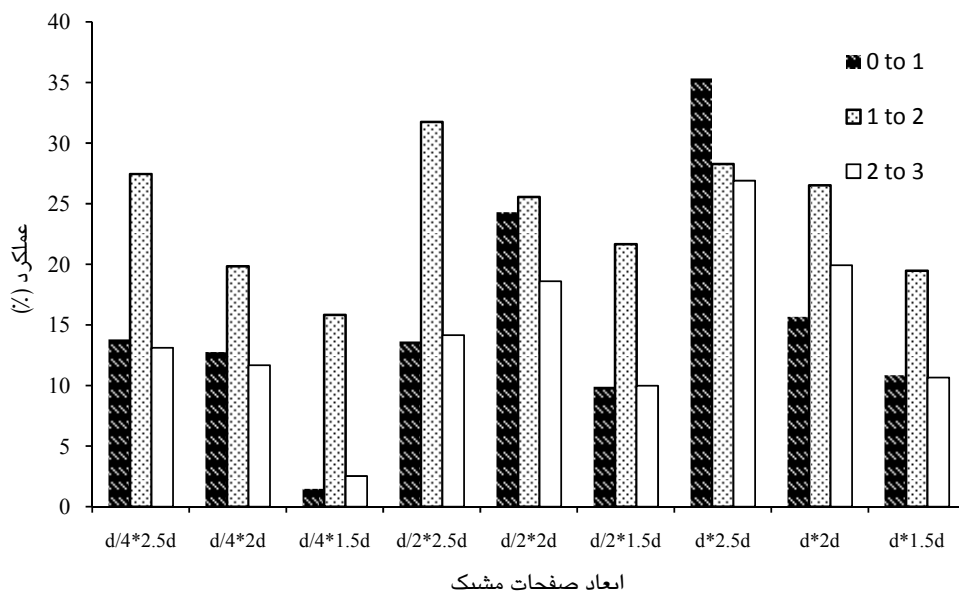
همانگونه که از اشکال فوق مشخص است، در همه حالت‌ها، استغراق نسبی با افزایش عدد فرود افزایش می‌یابد، برای مقایسه کمی نتایج بدست آمده از رابطه ۵ استفاده شد:

$$\text{Performance}(\%) = \frac{h_1 - h_2}{h_1} \times 100 \quad [5]$$

که در رابطه فوق  $h_1$  عمق استغراق بحرانی مرجع (رابطه ۴) و  $h_2$  عمق استغراق بحرانی مقایسه شونده می‌باشند. نتایج مربوط به عملکرد صفحات مشبک قائم در شکل ۱۱ آورده شده است.

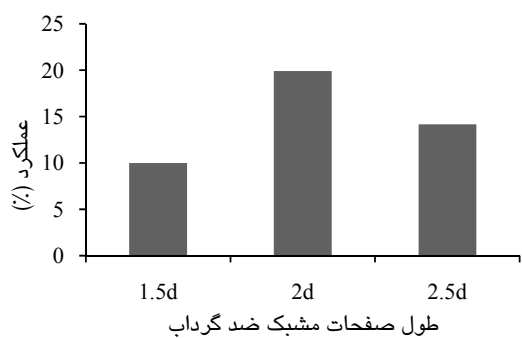
همانگونه که از شکل ۱۱ مشخص است، همه

حالات‌های استفاده از صفحات مشبک قائم دارای عملکرد



شکل ۱۱- عملکرد صفحات مشبک قائم در کاهش عمق استغراق بحرانی نسبت به حالت ساده آبگیر قائم با دهانه زنگوله‌ای (در محدوده اعداد فرود صفر تا یک، یک تا دو و دو تا سه).

همانگونه که از اشکال ۱۲ و ۱۳ مشخص است، تغییرات عملکرد با افزایش عرض صفحات مذکور بیشتر شده و بیشترین مقدار آن در صفحات مشبک با عرض  $d$  اتفاق می‌افتد.

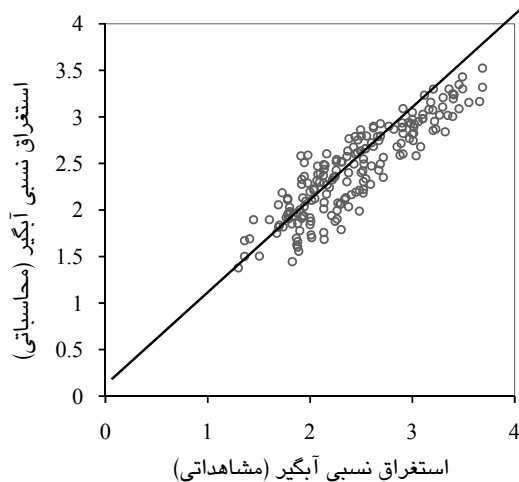


شکل ۱۲- تغییرات عملکرد صفحات مشبک قائم با افزایش طول آن‌ها.

علت عملکرد بالای صفحات با طول  $2.5d$  نیز به این دلیل است که با گسترش طول صفحات به کمی بیرون‌تر از دهانه آبگیر، برخورد جریان شعاعی این ناحیه یا صفحات موجب وجود آمدن آشفتگی‌های موضعی در این ناحیه شده و برخورد جریان شعاعی وارد شونده به داخل دهانه آبگیر، با این آشفتگی‌ها، اندکی از سرعت شعاعی آن‌ها کاسته و موجب افزایش آبگیری و کاهش عمق استغراق بحرانی می‌شود. علت عملکرد کمتر صفحات با طول  $1.5d$  نیز به همین پدیده مربوط است، زیرا با کاهش طول صفحات مشبک قائم، لبه‌ی انتهایی این صفحات اندکی کمتر از قطر دهانه آبگیر بوده و جریان شعاعی به راحتی و بدون برخورد به لبه این صفحات وارد آبگیر شده و اگرچه موجب کاهش عمق استغراق بحرانی می‌شود اما میزان عملکرد آن بسیار پایین‌تر از صفحات با طول بیشتر است.

جهت مشخص نمودن تغییرات عملکرد در جهت افزایش طول و یا عرض صفحات مشبک اشکال ۱۲ و ۱۳ ترسیم شد.

آمده، نمودار پراکنش داده‌های محاسباتی نسبت به داده‌های مشاهداتی در شکل ۱۴ آورده شده است.



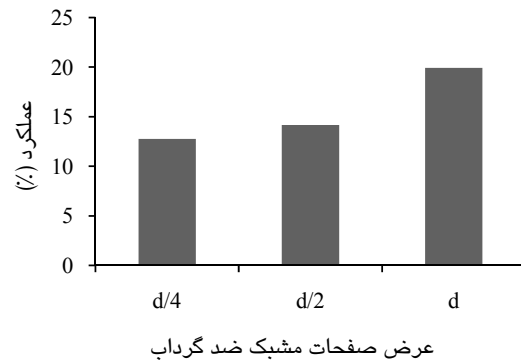
شکل ۱۴- مقایسه مقادیر محاسبه شده استغراق نسبی با داده‌های آزمایشگاهی در حالت استفاده از صفحات مشبک قائم.

مقدار RMSE برای داده‌های مشاهداتی و محاسباتی در تحقیق حاضر برابر با ۰/۰۵۵ می‌باشد که با توجه به فراوانی داده‌های موجود مقدار قابل قبولی است.

#### نتیجه‌گیری کلی

تشکیل گرداب در دهانه آبیگر می‌تواند موجب کاهش راندمان آبیگری و ایجاد پدیده کایتاسیون نماید؛ لذا کنترل آن و کاهش عمق استغراق بحرانی، امری مهم و ضروری است. در این تحقیق برای بررسی عمق استغراق بحرانی در آبیگرهای قائم از صفحات مشبک قائم بر روی آنها استفاده شد. با تغییر ابعاد صفحات مشبک قائم تغییرات قابل ملاحظه‌ای بر روی عمق استغراق بحرانی مشاهده شد.

ذکر این مطلب ضروری است که نتایج بدست آمده در این تحقیق از مدل خاص حاضر بدست آمده و برای حصول نتایج کلی‌تر، مدل‌های بیشتری باید مورد آزمایش و تحلیل قرار گیرند؛ با این حال نتایج اصلی تحقیق حاضر به قرار زیر است:



شکل ۱۳- تغییرات عملکرد صفحات مشبک قائم با افزایش عرض آنها.

بر خلاف حالت قبل، تغییرات عملکرد با افزایش طول صفحات مذکور ترتیب صعودی مشخصی نداشته و بیشترین مقدار عملکرد هنگامی اتفاق می‌افتد که طول صفحات مذکور هم عرض دهانه خارجی آبیگر قائم و برابر با  $2d$  باشد.

رابطه رگرسیونی بر اساس پارامترهای بی بعد در حالت استفاده از صفحات مشبک قائم بصورت زیر بدست آمد. در این رابطه از واسنجی ۸۰ درصد از داده‌های بدست آمده و برای اعتبار سنجی آن از ۲۰ درصد بقیه داده‌های مشاهداتی استفاده شده است.

$$\frac{S_c}{d} = 2.109 - 0.308 \frac{a}{d} - 0.372 \frac{b}{d} + 0.664 Fr \quad [6]$$

که ضریب تعیین آن ( $R^2$ ) برابر با ۰/۷۹ می‌باشد و محدوده اعداد  $a/d$ ،  $b/d$  و  $Fr$  به ترتیب برابرند با  $0.1/5 \leq a/d \leq 2/5$ ،  $0.1/25 \leq b/d \leq 1$  و  $0.1/62 \leq Fr \leq 2/9$ .

جهت تحلیل آماری دقیق‌تر رابطه فوق، مقدار

$RMSE^4$  به صورت زیر محاسبه شد:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left[ \left( \frac{S_c}{d} \right)_{Observed,i} - \left( \frac{S_c}{d} \right)_{Predicted,i} \right]^2} \quad [7]$$

که در آن  $n$  تعداد داده‌ها،  $(S_c/d)_{p,i}$  استغراق نسبی مشاهده شده و  $(S_c/d)_{p,i}$  استغراق نسبی محاسبه شده با استفاده از رابطه ۶ هستند. طبق داده‌های بدست

- رابطه‌ای جهت برآورد استغراق نسبی آبگیر زنگوله‌ای ارائه شد که قادر است با دقت قابل قبولی پارامتر مذکور را برآورد نماید.
- استفاده از صفحات مشبک قائم در اعداد فرود مختلف، باعث کاهش عمق استغراق بحرانی می‌شود.
- عملکرد متوسط صفحات مشبک قائمی که طول آنها با قطر بیرونی دهانه زنگوله‌ای برابر است بیش از صفحات مشبک دیگر و برابر با ۲۸/۳۳ درصد می‌باشد.
- عملکرد متوسط صفحات مشبک قائم با افزایش عرض آنها بیشتر می‌شود.

#### منابع مورد استفاده

روشن ر، ۱۳۸۴. بررسی پدیده گرداب با استفاده از مطالعات مدل فیزیکی و روش‌های استهلاک آن در آبگیر نیروگاه‌ها. مجموعه مقالات کارگاه آموزشی مدلسازی در آبیاری و زهکشی، ۲۴ آذر ماه، تهران، صفحه‌های ۱۲۱ تا ۱۳۶.

شمسی ر و کبیری سامانی ع، ۱۳۹۱. تاثیر ورودی کلید پیاپی بر عمق استغراق بحرانی در سرریزهای مدور قائم، یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۱۶ تا ۱۸ آبان ماه، دانشگاه ارومیه، ایران.

کبیری سامانی ع و برقی س، ۱۳۸۰. بررسی نحوه قرارگیری صفحات ضد گرداب بر بازدهی سازه‌های آبگیری. مجموعه مقالات سومین کنفرانس هیدرولیک ایران، ۱۵ تا ۱۷ آبان ماه، تهران، صفحه‌های ۳۷ تا ۴۵.

ناصری اسکویی ن، ۱۳۹۱. بررسی عملکرد صفحات مستغرق افقی برای کاهش حد استغراق بحرانی در آبگیرهای قائم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی سازه‌های آبی، دانشگاه تبریز.

- Amphlett MB, 1976. Air Entraining Vortices at Horizontal Intake, HRC Wallingford Rep., No. OD/7.
- Anwar HO, 1966. Formation of a weak vortex. J Hyd Res 4(1): 1-16.
- Anwar HO, 1968. Vortices in a viscous fluid. J Hyd Res 6(1): 1-14.
- Anwar HO, Weller JA and Amphlett MB, 1978. Similarity of free-vortex at horizontal intake. J Hyd Res 16(2): 95-105.
- Daggett LL and Keulegan GH, 1974. Similitude conditions in free-surface vortex formation. J Hyd Engrg ASCE 100(11): 1565-1580.
- Durgin WW and Hecker GE, 1978, The modeling of vortices at intake structures. Proc. IAHR-ASME-ASCE Joint Symposium on Design and Operation of Fluid Machinery, CSU Fort Collins, Volumes I and III. Colorado State University, U.S.
- Hite JE and Mih WC, 1994, Velocity of air-core vortices at hydraulic intakes. J Hyd Engrg ASCE 120(3): 284-297.
- Hecker GE, 1981, Model-prototype comparison of free surface vortices, J Hyd Engrg 07(10): 1243-1259.
- Jain AK, RangaRaju KG and Garde RJ, 1978, Vortex formation at vertical pipe intakes. J Hyd Engrg ASCE 104(10): 1429-1445.
- Kocabas F and Yildirim N, 2002, Effects of circulation on critical submergence of an Intake pipe. J Hyd Res 40(5): 741-752.
- Lugt HJ, 1983, Vortex Flow in Nature and Technology, John Wiley & Sons.
- Quick MC, 1970, Efficiency of air-entraining vortex formation at water intake. J Hyd Engrg ASCE 96(7): 1403-1416.
- Reddy YR and Pickford JA, 1972, Vortices at intakes in conventional sumps. J Water Power 24(3): 108-109.
- Yildirim N and Kocabas F, 1998, Critical submergence for intakes in still-water reservoirs. J Hyd Engrg ASCE 124(1): 103-104.
- Yildirim N, Kocabas F and Gulcan SC, 2000, Flow-boundary effects on critical submergence of intake pipe. J Hyd Engrg ASCE 126(4): 288-297.
- Yildirim N and Kocabas F, 2002, Prediction of critical submergence for an intake pipe. J Hyd Res 40(4): 507-518.