

بررسی تأثیر ابعاد و موقعیت صفحات مستغرق افقی در کاهش حد استغراق بحرانی آبگیرهای قائم

نوید ناصحی اسکویی^{۱*} و داود فرسادی زاده^۲

چکیده

یکی از روش‌های تأمین نیاز آبی بخش کشاورزی، آب شهری و صنعتی، برداشت آب از مخازن یا کانال‌های انتقال آب به وسیله آبگیرهای قائم است. این روش بیشتر با پدیده تشکیل جریان‌های گردابی در دهانه آبگیر مواجه است. این امر باعث ورود هوا و ایجاد جریان‌های پیچشی در داخل مجرای انتقال می‌شود که به دنبال آن مشکلات دیگری مانند کاهش ظرفیت آبگیری، افزایش احتمال وقوع پدیده خلأزایی، لرزش و سر و صدا به وقوع می‌پیوندد. در این پژوهش به بررسی تأثیر ابعاد و موقعیت صفحات مستغرق افقی در کاهش عمق استغراق مورد نیاز برای جلوگیری از تشکیل گرداب با هسته هوا پرداخته شد. ابتدا آزمایش‌هایی برای تعیین منحنی دبی-استغراق بحرانی آبگیر، بدون نصب صفحات ضدگرداب انجام شد و یک معادله بی‌بعد بر حسب استغراق نسبی و عدد فرود ارائه شد. سپس تأثیر هر صفحه با ابعاد و موقعیت نصب مشخص به ازای پنج دبی مختلف بررسی شد. عملکرد صفحات در کاهش استغراق بحرانی مورد نیاز نسبت به حالت بدون صفحه یا شاهد، برای هر صفحه در ابعاد و موقعیت‌های مختلف محاسبه شد و بر این اساس بهترین صفحه تعیین شد. براساس نتایج به دست آمده صفحه با ابعاد $2d \times 2d$ در موقعیت نصب $1d$ و با عملکرد $29/85\%$ بهترین گزینه برای کاهش استغراق بحرانی است. در ادامه نیز یک معادله رگرسیونی برای تخمین استغراق نسبی آبگیر دارای صفحات ضدگرداب از روی پارامترهای بی‌بعد عدد فرود، ابعاد نسبی صفحه و موقعیت نسبی صفحه ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: آبگیر، استغراق بحرانی، صفحات ضدگرداب، گرداب سطحی.

ارجاع: ناصحی اسکویی ن. و فرسادی زاده د. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر ابعاد و موقعیت صفحات مستغرق افقی در کاهش حد استغراق بحرانی آبگیرهای قائم. مجله پژوهش آب ایران. ۱۷: ۱۲۷-۱۳۶.

۱- کارشناس ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

* نویسنده مسئول: navid.nasehi@gmail.com

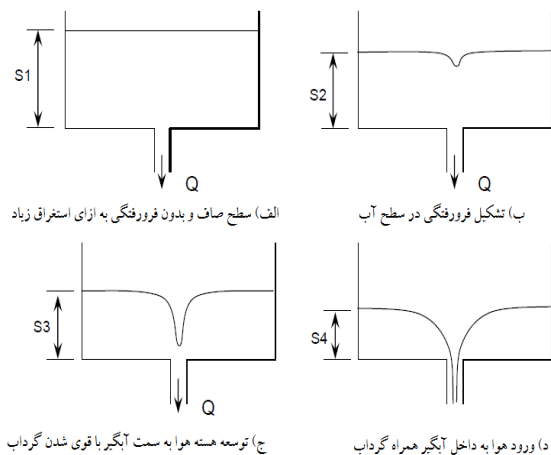
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۰۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۰۴

مقدمه

حدی که ورود هوا به داخل آبگیر شروع شود (استغراقی که به ازای آن نوک هسته هوا منطبق بر دهانه آبگیر شود) تعریف کردند.

برای طراحی آبگیرهای بدون گرداب، باید عمق استغراق، مشخصات هندسی آبگیر و شرایط جریان تقرب در نظر گرفته شوند. در صورتی که نتوان شرایط بهینه در طراحی را با توجه به این سه پارامتر، به هر دلیلی برآورده ساخت، می‌توان از یک سری ابزار ثانویه مانند تجهیزات ضدگرداب برای حذف یا جلوگیری از تشکیل گرداب سطحی استفاده کرد (کناوس، ۱۹۸۷ و ریندلز و گالیور، ۱۹۸۳).



الف) سطح صاف و بدون فرورفتگی به ازای استغراق زیاد

ب) تشکیل فرورفتگی در سطح آب

ج) توسعه هسته هوا به سمت آبگیر با قوی شدن گرداب

د) ورود هوا به داخل آبگیر همراه گرداب

شکل ۱- مراحل مختلف توسعه گرداب سطحی دائمی تا ورود هوا در یک آبگیر قائم روبه پایین

در مورد تعیین حد استغراق بحرانی آبگیر، روش‌های مختلفی در سال‌های اخیر ارائه شده است، که می‌توان آن‌ها را به دو دسته روش‌های حاصل از حل معادلات حاکم بر مسئله و روش‌های آزمایشگاهی تقسیم‌بندی کرد. پژوهش‌گرانی مانند کوئیک (۱۹۷۰)، گوردون (۱۹۷۰)، ردی و پیکفورد (۱۹۷۲) و جین و همکاران (۱۹۷۸) استغراق نسبی را به صورت تابعی از عدد فرود آبگیر بیان کردند. ریندلز و گالیور (۱۹۸۳) در یک طرح تحقیقاتی در مؤسسه SAF تأثیر زاویه جریان تقرب و نسبت طول به عرض کانال تقرب را در استغراق بحرانی آبگیرهای قائم بررسی کردند. زمردیان و باقری سبزواری (۱۳۸۴) مجموعه نمودارهایی بر حسب عدد فرود و عدد گردش برای محاسبه استغراق بحرانی نسبی ارائه کردند که پس از تعیین استغراق نسبی می‌توان ضریب دبی آبگیر را نیز محاسبه کرد. اودگارد (۱۹۸۶) با استفاده از مدل گرداب رانکین، حد استغراق یک آبگیر قائم را به صورت تحلیلی

آبگیرها تأسیساتی هستند که کنار نیروگاه‌ها، ایستگاه‌های پمپاژ، سیستم‌های توزیع آب و سایر تأسیسات هیدرولیکی سدها و کانال‌ها ساخته می‌شوند. انواع آبگیرها از دو جنبه قابل طبقه‌بندی هستند: جهت آبگیر (افقی، قائم یا مایل) و موقعیت دهانه آبگیر که می‌تواند منطبق بر جدار باشد و یا به داخل مخزن یا کانال امتداد داشته باشد.

آبگیر قائم از جمله سازه‌هایی است که برای آبگیری مستقیم از کانال‌های انتقال آب یا مخازن استفاده می‌شود. در مقایسه با سایر انواع آبگیرها، آبگیر قائم سازه‌ای اقتصادی بوده که در صورت طراحی صحیح و دقیق، بهره‌برداری از آن با مشکلات کمتری همراه خواهد بود. همچنین برای جلوگیری از ورود بار رسوبی بستر و قسمت اعظم بار رسوبی معلق به داخل مجرای آبگیری به طور معمول دهانه در نزدیکی سطح آب کار گذاشته می‌شود که اندکی از آن وارد میدان جریان می‌شود. ورود آب به آبگیر تحت این شرایط با ایجاد گردابه همراه است.

تقسیم‌بندی اصلی گرداب‌ها براساس موقعیت محل تشکیل گرداب شامل: الف) گرداب سطحی که از سطح آزاد آب شروع شده و سبب ورود هوا و جریان‌های پیچشی به داخل مجرا می‌شود. ب) گرداب مستغرق که از کف و یا دیواره‌های حوضچه بالادست شروع شده و سبب ورود جریان‌های پیچشی می‌شود (کناوس، ۱۹۸۷).

تشکیل گرداب‌ها و جریان‌های پیچشی باعث ایجاد مشکلات اساسی در آبگیرهای قائم شده و به دنبال آن مشکلات دیگری مانند افزایش افت ورودی، کاهش ظرفیت آبگیری، کاهش راندمان ماشین‌های آبی مانند پمپ‌ها و توربین‌ها، ایجاد لرزش و آغاز خلزایی ایجاد می‌شود (کناوس، ۱۹۸۷).

دهانه آبگیر برای جلوگیری از ورود هوا با گرداب سطحی و حداقل کردن ورود جریان‌های پیچشی با گرداب مستغرق، باید به میزان کافی مستغرق باشد. بنابراین یکی از مهم‌ترین موارد در طراحی آبگیرها حد استغراق لازم است. جین و همکاران (۱۹۷۸) با توجه به شکل ۱، استغراق بحرانی را کوچک‌ترین عمقی که از تشکیل گرداب‌های قوی و مشکل‌ساز جلوگیری کند تعریف کردند. در این شکل شدت جریان در هر چهار حالت یکسان بوده و تنها حد استغراق تغییر داده می‌شود ($S_1 > S_2 > S_3 > S_4$). همچنین یلدریم و همکاران (۲۰۰۰) استغراق بحرانی را به‌عنوان

هدف از این پژوهش بررسی تأثیر ابعاد و موقعیت نصب صفحات مشبک افقی در کاهش حد استغراق بحرانی آبگیرهای قائم و تعیین عملکرد هر صفحه و بهترین ابعاد و موقعیت برای این صفحات است.

مواد و روش‌ها

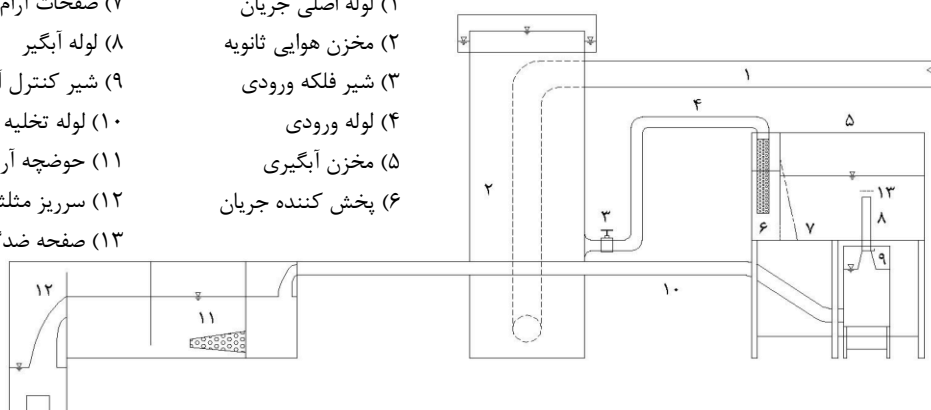
مدل آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز در مخزن آبگیری صورت پذیرفت. پلان مخزن متشکل از یک قسمت مربعی به طول و عرض ۱ متر و یک نیم‌دایره به قطر ۱ متر است. ارتفاع مخزن نیز برابر ۱ متر است. کف مخزن ورق گالوانیزه و دیواره‌های آن از جنس صفحات پلکسی‌گلس است. محل نصب آبگیر نیز در کف و مرکز نیم‌دایره و در محل اتصال آن به قسمت مربعی تعبیه شده است. جریان آب با یک الکتروموتور پمپ با ظرفیت آبدهی ۶۰ لیتر در ثانیه از مخزن اصلی آزمایشگاه، با یک سیستم پخش کننده وارد ابتدای مخزن آبگیری می‌شود. برای آرام کردن جریان ورودی به مخزن و از بین بردن تلاطم آن و همچنین یکنواخت‌سازی سرعت جریان تقرب، از یک سری صفحات پر و مشبک پس از پخش کننده استفاده شده است. آب پس از خروج از لوله آبگیر، به صورت ثقلی در یک مخزن کوچک دیگر تخلیه شده و سپس توسط یک لوله به قطر ۱۲۷ میلی‌متر به ابتدای حوضچه آرامش سرریز مثلثی برای اندازه‌گیری دبی جریان منتقل می‌شود. در شکل ۲ نمایی از اجزای مدل آزمایشگاهی آورده شده است.

تعیین کرد. هایت و میه (۱۹۹۴) سه مؤلفه سرعت مماسی، سرعت شعاعی و سرعت قائم را برای یک آبگیر قائم با استفاده از تعریف گرداب رانکین محاسبه کردند و سپس با استفاده از این اطلاعات روابطی برای تعیین استغراق مورد نیاز آبگیر و میزان گردش جریان ارائه کردند. یلدریم و قوجاباش (۱۹۹۵) حد استغراق بحرانی را برای آبگیر قائم در یک کانال روباز و با استفاده از تعریف بیضی رانکین و حل جریان پتانسیل، تعیین کردند. یلدریم و قوجاباش (۱۹۹۸) حد استغراق بحرانی را برای یک آبگیر واقع در یک مخزن با آب ساکن تعیین کردند. قوجاباش و یلدریم (۲۰۰۲) همچنین با استفاده از تئوری قبلی خود به بررسی تأثیر گردش بر استغراق بحرانی آبگیر قائم رو به پایین در مخزن با آب ساکن پرداختند. آن‌ها با استفاده از پره‌های قائم زاویه جریان تقرب نسبت به امتداد شعاعی را تغییر داده و گردش‌های مختلفی به جریان اعمال کردند و اعلام کردند که با افزایش این زاویه استغراق نسبی افزایش می‌یابد. پرتوی‌آذر و همکاران (۱۳۸۹) با کاربرد مدل Fluent به بررسی حد استغراق آبگیرهای سد آیدوغموش و مقایسه نتایج آن با مقادیر به دست آمده از مدل فیزیکی آبگیر پرداختند.

بررسی روش‌های جلوگیری یا حذف تشکیل گرداب نیز در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهش‌گران است. آلن (۲۰۰۸) تأثیر سازه اشغال‌گیر که به صورت یک قفس بر روی آبگیر نصب می‌شود را بر جلوگیری از تشکیل گرداب و به دنبال آن حد استغراق بحرانی آبگیر در یک مخزن، بررسی کرد. کبیری سامانی (۱۳۷۹) تأثیر تعداد، ابعاد و موقعیت پره‌های قائم ضدگرداب بر کاهش حد استغراق مورد نیاز برای جلوگیری از تشکیل گرداب با هسته هوا را بررسی کرد.

- | | |
|----------------------|----------------------|
| ۱) لوله اصلی جریان | ۷) صفحات آرام کننده |
| ۲) مخزن هوایی ثانویه | ۸) لوله آبگیر |
| ۳) شیر فلکه ورودی | ۹) شیر کنترل آبگیر |
| ۴) لوله ورودی | ۱۰) لوله تخلیه جریان |
| ۵) مخزن آبگیری | ۱۱) حوضچه آرامش |
| ۶) پخش کننده جریان | ۱۲) سرریز مثلثی |
| | ۱۳) صفحه ضدگرداب |



شکل ۲- نمایی از مدل آزمایشگاهی

عمقی پارامتر گردش؛ g شتاب ثقل؛ σ کشش سطحی مایع؛ ρ جرم مخصوص مایع؛ μ لزجت ذاتی مایع. حال با انتخاب ρ ، V و d به عنوان متغیرهای تکراری و با استفاده از تئوری پی باکینگهام می‌توان نوشت:

$$\frac{h_{cr}}{d} = f(Fr, We, Re, N_F) \quad (2)$$

که در آن: h_{cr}/d استغراق بحرانی نسبی؛ $We = V\sqrt{\rho d/\sigma}$ عدد فرود آبگیر؛ $Fr = V/\sqrt{gh}$ عدد وبر؛ $Re = \rho Vd/\mu$ عدد رینولدز؛ $N_F = \Gamma d/Q$ عدد گردش (Q دبی جریان خروجی از آبگیر است). تأثیر لزجت یا عدد رینولدز و کشش سطحی یا عدد وبر در مدل‌سازی جریان‌های گرداب توسط پژوهش‌گران مختلف بررسی شده است. شبیه‌سازی دینامیکی کامل با در نظر گرفتن این دو پارامتر در عمل غیرممکن می‌نماید، لذا برای عدد رینولدز و وبر جریان حدودی تعیین شده است که با رعایت آن‌ها می‌توان از تأثیر این دو پارامتر در مدل‌سازی جریان گردابی، بدون اثر مقیاس، صرف‌نظر کرد. محدوده این اعداد برای گرداب‌های قوی با مکش هوا براساس نتایج پژوهش‌گران در جدول ۱ ارائه شده است.

آبگیر نیز متشکل از یک لوله شیشه‌ای به قطر ۷۵ میلی‌متر است. ارتفاع لوله در داخل مخزن ۴۰ سانتی‌متر است. مقدار استغراق آبگیر و عمق آب پشت تاج سرریز مثلی با دو عمق‌سنج فراصوت که در بالای مدل و پشت سرریز نصب شده‌اند، قرائت شده و توسط دیتالاگر به کامپیوتر ارسال می‌شود. صفحات مشبک در سه اندازه مربعی به صورت مضربی از قطر لوله d ، به طول ضلع d ، $1.5d$ و $2d$ و در سه موقعیت به فاصله $0.25d$ ، $0.5d$ و $1d$ از دهانه آبگیر نصب شدند و تأثیر هر یک بر عمق استغراق بحرانی برای محدوده دبی ۲ تا $9/2$ لیتر بر ثانیه بررسی شد. سوراخ‌های صفحات نیز مربعی شکل و با طول ضلع $0.5d$ است.

تئوری مسئله

با استفاده از روش تحلیل ابعادی می‌توان ارتباط بین پارامترهای مؤثر در حد استغراق بحرانی آبگیرهای قائم را به صورت معادله ۱ نوشت:

$$h_{cr} = f(d, V, \Gamma, g, \sigma, \mu, \rho) \quad (1)$$

که در آن h_{cr} حد استغراق بحرانی آبگیر، V سرعت متوسط جریان در داخل لوله آبگیر به قطر d ؛ Γ متوسط

جدول ۱- محدوده اعداد رینولدز و وبر برای حذف تأثیر لزجت و کشش سطحی سیال در مدل‌سازی

عدد وبر	عدد رینولدز	پژوهش‌گر/ پژوهش‌گران
-	$\rho Q/\mu d > 2/5 \times 10^4$	داگت و کولیکان (۱۹۷۴)
-	$\rho Vd/\mu > 1 \times 10^4$	زیلینسکی و ویلمونت (۱۹۶۸)
$We > 11$	$Re/Fr = \rho g^{-1/5} d^{1/5} / \mu \geq 5 \times 10^4$	جین و همکاران (۱۹۷۸)
$We^2 > 720$	$\rho Vd/\mu > 1/1 \times 10^5$	اودگارد (۱۹۸۶)

استفاده از هرگونه تجهیزات ضدگرداب در این پارامترها تأثیر خواهد گذاشت و برای بررسی این تأثیر بهترین راه استفاده از مدل آزمایشگاهی است. برای بررسی کمی تأثیر هر صفحه در کاهش استغراق مورد نیاز نسبت به حالت بدون صفحه، پارامتر عملکرد نسبی صفحه تعریف شد که مقدار آن از معادله ۴ قابل محاسبه است.

$$Performance(\%) = \frac{h_{np} - h_p}{h_{np}} \quad (4)$$

که در آن h_{np} استغراق بحرانی حالت بدون صفحه برای یک دبی مشخص؛ h_p استغراق بحرانی در صورت نصب صفحه ضدگرداب به ازای همان دبی.

در هنگام آزمایش‌های مقدماتی، سرعت‌های مماسی و شعاعی در اطراف آبگیر اندازه‌گیری شد و با توجه به آن مقدار گردش جریان محاسبه شد. از آنجا که مقدار گردش به دست آمده برای دبی‌های مختلف نسبتاً کم بود، پس می‌توان از تأثیر آن صرف‌نظر کرد. با توجه به توضیحات بالا و رعایت معیارهای ذکر شده، می‌توان معادله ۲ را به فرم خلاصه زیر تبدیل کرد که نشان می‌دهد استغراق نسبی فقط تابعی از عدد فرود آبگیر است.

$$\frac{h_{cr}}{d} = f(Fr) \quad (3)$$

نتایج و بحث

به ازای محدوده دبی مورد نظر و قطر لوله ۷۵ میلی‌متر، اعداد رینولدز، فرود و وبر برای مقایسه با معیارهای جدول ۱ محاسبه شد که کمترین مقدار آن‌ها برای محدوده دبی ۲ لیتر بر ثانیه به صورت زیر است (قطر داخلی لوله ۷۰/۴ میلی‌متر است و دمای آب در زمان انجام آزمایش‌ها ۲۰/۵ درجه سلسیوس بود):

$$Q/vd = 27572/7, \quad Q/vh = 20289/8,$$

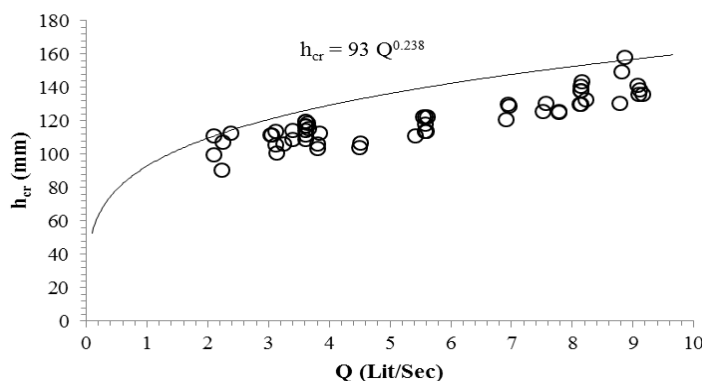
$$Vd/v = 35106/7, \quad Re/Fr = 57925/81,$$

$$We = 15/73$$

به منظور تحلیل و مقایسه نتایج به دست آمده از نصب هر یک از صفحات ضدگرداب در موقعیت‌های مختلف، ابتدا آزمایش‌هایی بدون نصب صفحه انجام شد تا نتایج آن به عنوان شاهد استفاده شود. در شکل ۳ تغییرات عمق

استغراق بحرانی با دبی جریان برای این حالت نشان داده شده است. در ترسیم این شکل از ۵۶ سری داده دبی-استغراق بحرانی استفاده شده است. برای هر دبی چند نقطه به عنوان استغراق بحرانی به دست آمد که در این نقاط نوک هسته هوا منطبق بر دهانه لوله آبگیر است. به طوری که مشاهده می‌شود با افزایش دبی، استغراق مورد نیاز برای جلوگیری از تشکیل گرداب‌های با هسته هوا نیز افزایش می‌یابد ولی رفته رفته شدت این افزایش کم می‌شود.

منحنی رسم شده در شکل ۳ منحنی پوش است و بنا به تعریف منحنی است که اکثر نقاط به دست آمده (نه همه آن‌ها) را احاطه می‌کند (ریندلرز و گالیور، ۱۹۸۳). این منحنی برای بیان بهتر تغییرات استغراق بحرانی رسم شده است که معادله آن نیز در روی شکل آورده شده است.



شکل ۳- نتایج آزمایش شاهد و بدون استفاده از صفحه ضدگرداب

درجه، و نتایج ریندلرز و گالیور (۱۹۸۳) برای جریان تقرب با زاویه صفر درجه، نسبت طول به عرض کانال تقرب برابر ۱/۲ و گرداب نوع ۶ نیز برای مقایسه آورده شده‌اند. به طوری که مشاهده می‌شود معادله ۵ به طور تقریبی بین دو منحنی به دست آمده از پژوهش قوجاباش و یلدریم (۲۰۰۲) قرار دارد و نشان می‌دهد زاویه جریان تقرب در مدل این پژوهش نیز به طور تقریبی برابر صفر درجه بوده است.

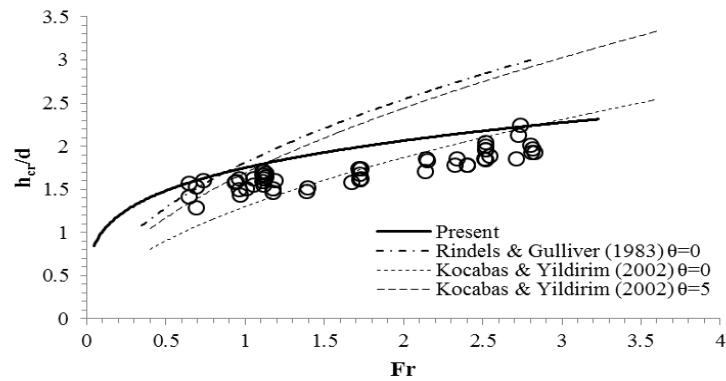
همچنین این معادله با نتایج ریندلرز و گالیور (۱۹۸۳) نیز همخوانی خوبی دارد. در کل می‌توان اختلاف موجود را به نوع و مشخصات هندسی مدل‌های آزمایشگاهی نسبت داد.

برای تعمیم نتایج حاصل از این حالت به مدل‌های دیگر و همچنین مقایسه آن با نتایج سایر پژوهش‌گران در مورد استغراق بحرانی آبگیرهای قائم، می‌توان داده‌ها و شکل بالا را به صورت بی‌بعد نیز رسم کرد. در شکل ۴ تغییرات استغراق بحرانی نسبی با عدد فرود به همراه منحنی پوش آن رسم شده است. رابطه این منحنی به صورت معادله ۵ است.

$$\frac{h_{cr}}{d} = 1.75 Fr^{0.238} \quad (5)$$

این معادله برای محدوده عدد فرود ۰/۶ تا ۲/۸ صادق است.

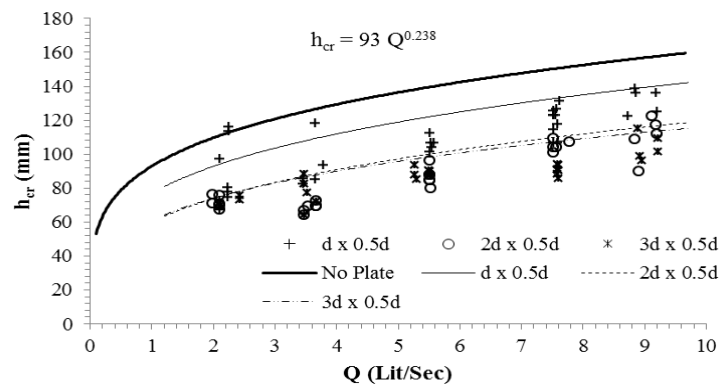
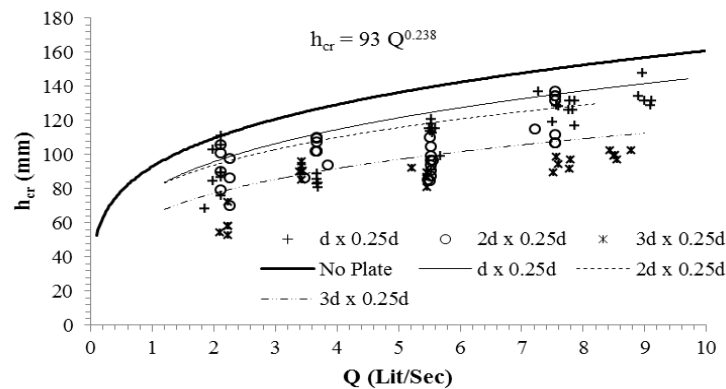
در شکل ۴ نتایج پژوهش قوجاباش و یلدریم (۲۰۰۲)، برای نسبت ارتفاع لوله به قطر آبگیر برابر ۵/۶۸ و زاویه جریان تقرب نسبت به امتداد شعاعی جریان (θ) صفر و پنج



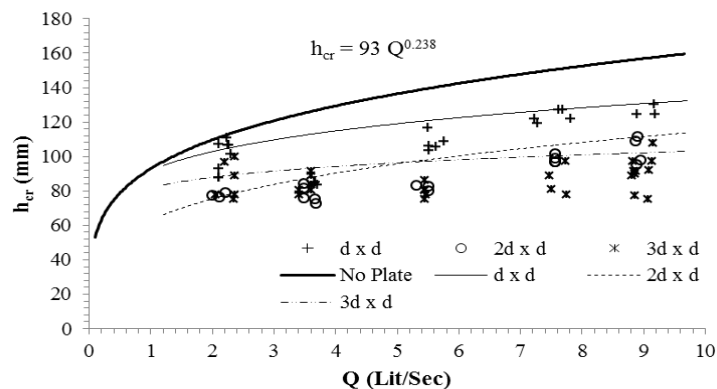
شکل ۴- تغییرات استغراق بحرانی نسبی با عدد فرود

چشم‌گیری افزایش می‌یابد (جز برای موقعیت $0/25d$). زیرا زمانی که ابعاد صفحه از یک اندازه ($2d$) کوچک‌تر باشد، گرداب می‌تواند صفحه را دور زده و از کناره‌های آن وارد آنگیر شود. چنین حالتی در آزمایش‌های صفحه $1d$ بارها مشاهده شد که عامل اصلی عملکرد ضعیف این صفحه به شمار می‌رود. عملکرد صفحه $2d$ و $3d$ نیز به طور تقریبی مشابه همدیگر است. همچنین با افزایش ابعاد صفحه به خصوص در موقعیت‌های نزدیک به آنگیر، ظرفیت آنگیر کاهش می‌یابد.

در شکل ۵ نتایج آزمایش‌های نصب صفحات مشبک در سه موقعیت $0/25d$ ، $0/5d$ و $1d$ به همراه منحنی‌های پوش مربوط به هر سری داده و منحنی پوش آزمایش‌های بدون صفحه نشان داده شده است. شیوه نامگذاری در این شکل به صورت $a \times b$ است که منظور از a و b به ترتیب ابعاد صفحه و موقعیت نصب آن است. به طور مسلم با افزایش ابعاد صفحه عملکرد آن در کاهش استغراق مورد نیاز به دلیل ایجاد افت بیشتر در میدان جریان تقرب، افزایش می‌یابد. چنانچه از شکل ۵ پیدا است، با افزایش ابعاد صفحه از $1d$ به $2d$ عملکرد صفحه به طور



شکل ۵- تأثیر ابعاد صفحات مشبک در موقعیت‌های نصب مختلف



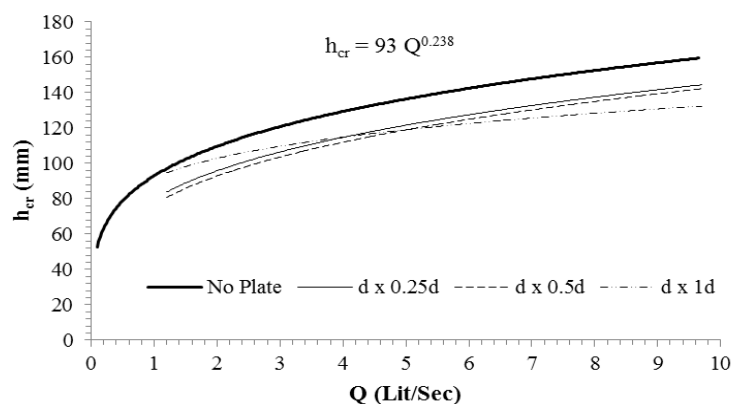
ادامه شکل ۵-

موقعیت $0/5d$ نیز برای دبی‌های کم تا متوسط (کمتر از 4 لیتر بر ثانیه) عملکرد بهتری نسبت به موقعیت $1d$ دارد، اما برای دبی‌های بیشتر از این مقدار تأثیر آن به طور چشم‌گیری به ویژه در صفحه $3d$ کاهش می‌یابد.

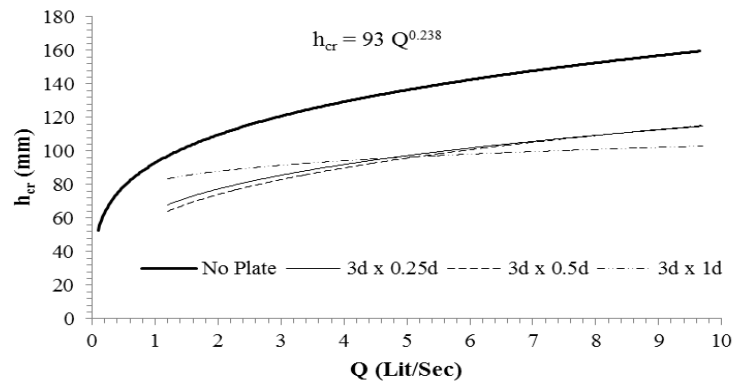
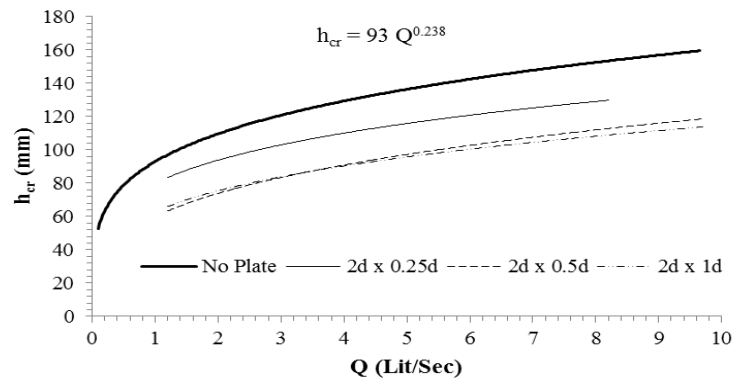
در حالت کلی با افزایش فاصله صفحه از دهانه آبگیر، شیب منحنی آن کمتر شده و چون صفحه به سطح آب نزدیک‌تر می‌شود، گردش جریان را بیشتر مستهلک کرده و استغراق مورد نیاز را کاهش می‌دهد. این روند تا فاصله $1d$ ادامه داشته و بعد از آن عملکرد صفحه کاهش می‌یابد. همچنین از نظر اقتصادی، اجرای این حالت به ویژه برای آبگیرهای بزرگ توجه کمتری خواهد داشت.

با استفاده از معادله 5 عملکرد هر صفحه برای پنج دبی 2 ، $3/5$ ، $5/5$ ، $7/5$ و $9/2$ لیتر بر ثانیه محاسبه شده و سپس میانگین عملکرد هر صفحه در سه موقعیت $0/25d$ ، $0/5d$ و $1d$ در شکل 7 رسم شده است.

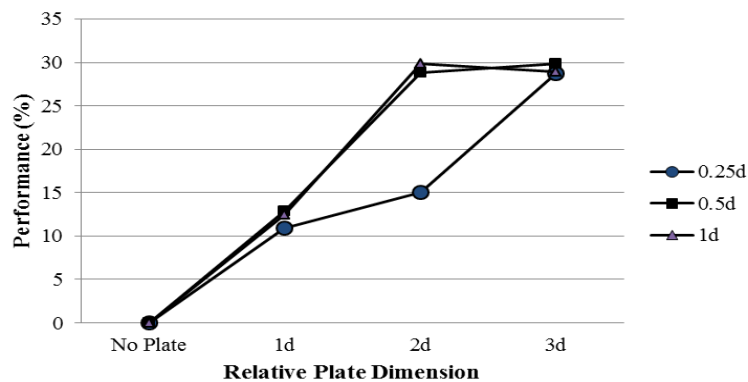
در شکل 6 تأثیر موقعیت نصب صفحات مشبک با ابعاد مختلف نشان داده شده است. در این شکل برای وضوح بیشتر تنها منحنی‌های پوش هر سری آزمایش رسم شده و از آوردن سری داده‌ها پرهیز شده است. به طوری که مشاهده می‌شود با فاصله گرفتن از دهانه آبگیر عملکرد کلی صفحات در محدوده دبی‌های بررسی شده افزایش می‌یابد و استغراق بحرانی به ازای دبی ثابت در عمق کمتری تشکیل می‌شود. موقعیت $0/25d$ که نزدیک‌ترین حالت به آبگیر است، برای هر سه اندازه صفحه کمترین تأثیر را ایجاد می‌کند، به‌خصوص با افزایش دبی از تأثیر آن کاسته می‌شود. تأثیر کم موقعیت‌های بسیار نزدیک به دهانه و یا چسبیده به آن در پژوهش آلن (۲۰۰۸) نیز گزارش شده است. این حالت علاوه بر عملکرد ضعیف سبب کاهش ضریب دبی آبگیر نیز شده و نیروی زیادی به صفحات وارد می‌آورد. مورد اخیر علاوه بر کاهش ظرفیت آبگیری، از نظر پایداری سازه نیز می‌تواند مشکل‌ساز باشد.



شکل ۶- تأثیر موقعیت نصب صفحات مشبک با ابعاد مختلف



ادامه شکل ۶-



شکل ۷- عملکرد صفحات در ابعاد و موقعیت‌های مختلف

بی‌بعد عدد فرود، ابعاد نسبی صفحه و موقعیت نسبی صفحه یک معادله رگرسیون غیرخطی برازش داده شد که در معادله آن ارائه شده است. ضریب تبیین (R^2) این معادله ۰/۹۱۶ است.

$$\frac{h_{cr}}{d} = 1.477 Fr^{0.23} D_r^{-0.204} P_r^{-0.055} \quad (6)$$

که در آن Fr عدد فرود آبیگیر، D_r ابعاد نسبی صفحه یا نسبت طول ضلع آن به قطر داخلی آبیگیر P_r ؛ (d) موقعیت نسبی صفحه یا نسبت فاصله صفحه از دهانه آبیگیر به قطر داخلی آن.

بیشترین شیب افزایش عملکرد مربوط به صفحه ۲d است و با حرکت از صفحه ۲d به صفحه ۳d، می‌توان گفت به طور تقریبی افزایش عملکردی رخ نمی‌دهد (بجز برای موقعیت ۰/۲۵d). عملکرد صفحات برای موقعیت‌های مختلف نیز به طور تقریبی با هم برابر است ولی در حالت کلی با تغییر موقعیت از ۰/۲۵d به ۰/۵d عملکرد افزایش می‌یابد و سپس با تغییر موقعیت از ۰/۵d به ۱d عملکرد به صورت جزئی کاهش می‌یابد.

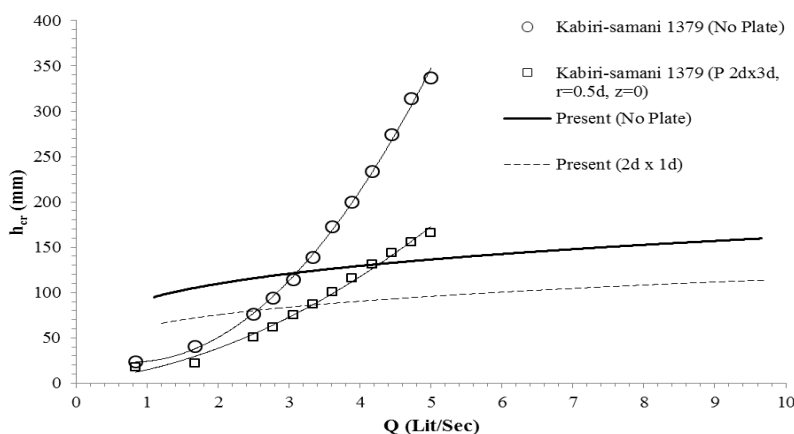
با توجه به داده‌های به دست آمده، برای تخمین استغراق نسبی آبیگیر دارای صفحات ضدگرداب از روی پارامترهای

دبی‌های کم این پژوهش قرار دارد و همچنین دقت در این نکته که مجموع مساحت دو صفحه قائم مورد استفاده در پژوهش آن‌ها دقیقاً سه برابر مساحت صفحه افقی مورد استفاده در این پژوهش است، می‌توان نتیجه گرفت عملکرد صفحات افقی مشبک به مراتب بهتر از صفحات قائم ضدگرداب است.

دلیل متفاوت بودن روند تغییرات نتایج این پژوهش و پژوهش کبیری سامانی (۱۳۷۹) را می‌توان به مشخصات هندسی و نوع مدل آزمایشگاهی و محدوده پارامترهای مورد آزمایش در هر پژوهش، مربوط دانست. این مسئله در نتایج آزمایش‌های سایر پژوهش‌گران نیز مشاهده می‌شود.

برای مقایسه عملکرد صفحات ضدگرداب افقی با صفحات ضدگرداب قائم، نتایج بهترین صفحه افقی مشخص شده در این پژوهش با نتایج بهترین صفحه قائم گزارش شده در پژوهش کبیری سامانی (۱۳۷۹) در شکل ۸ رسم شده است. بهترین صفحه افقی برای محدوده دبی‌های متوسط، صفحه $2d \times 2d$ در موقعیت $1d$ است که عملکرد آن $29/85\%$ است. بهترین صفحه قائم پژوهش کبیری سامانی (۱۳۷۹) نیز دو صفحه مستطیلی متقارن با ابعاد $2d \times 3d$ ($Hd \times Vd$) است که به فاصله شعاعی $0/5d$ از محور آبگیر ($r = 0/5d$)، و در تراز دهانه آبگیر ($z=0$) قرار دارد. عملکرد این صفحات نیز با توجه به معادله ۵، $40/39\%$ محاسبه شده است.

با توجه به حداکثر دبی مورد آزمایش کبیری سامانی (۱۳۷۹) که در محدوده دبی‌های متوسط به سمت



شکل ۸- مقایسه عملکرد صفحات افقی (پژوهش حاضر) با عملکرد صفحات قائم تحقیق کبیری سامانی

منابع

۱. پرتوی‌آذر ش. فرسادی‌زاده د. حسین‌زاده دلیر ع. سلماسی ف. و صدرالدینی ع. الف. ۱۳۸۹. تخمین استغراق بحرانی در آبگیر سد آیدوغموش با کاربرد مدل Fluent. مجله دانش آب و خاک. ۱(۳):۱-۱۴.
۲. زمردیان س. م. ع. و باقری سبزواری م. ر. ۱۳۸۴. تأثیر سرعت و جهت جریان در خروجی کانال تقرب مستطیلی شکل با انتهای مسدود بر ضریب تخلیه آبگیر قائم. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. ۹(۴):۱-۱۶.
۳. کبیری سامانی ع. ۱۳۷۹. تعیین توپولوژی بهینه در طرح صفحات کاهش گرداب آبگیرها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده عمران. دانشگاه صنعتی

نتیجه‌گیری

موقعیت $0/25d$ علاوه بر عملکرد ضعیف سبب ایجاد افت زیاد در آبگیری می‌شود، ولی با افزایش فاصله صفحه از دهانه آبگیر (حداکثر تا موقعیت $1d$) عملکرد آن افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش ابعاد صفحه عملکرد آن افزایش یافته ولی به تدریج از شدت افزایش عملکرد کاسته می‌شود. در نهایت بهترین ابعاد و موقعیت از نظر عملکرد، برای محدوده دبی‌های زیاد صفحه $3d$ در موقعیت $1d$ و برای محدوده دبی‌های متوسط صفحه $3d$ در موقعیت $0/5d$ یا صفحه $2d$ در موقعیت‌های $0/5d$ و $1d$ است. بنابراین بسته به محدوده دبی مورد نظر و با توجه مسائل اقتصادی می‌توان از صفحه $3d$ در موقعیت $1d$ یا صفحه $2d$ در موقعیت $1d$ استفاده کرد.

شریف. ۱۶۷ ص.

4. Allen S. D. 2008. The Influence of Debris Cages on Critical Submergence of Vertical Intakes in Reservoirs. Thesis of M.S. in Civil and Environmental Engineering. Utah State University. 67 p.
5. Daggett L. L. and Keulegan G. H. 1974. Similitude in free-surface vortex formation. ASCE Journal of the Hydraulics Division. 100(11):1565-1580
6. Gordon J. L. 1970. Vortices at intakes. Water Power. 22(4):137-138.
7. Hite J. E. and Mih W. C. 1994. Velocity of air-core vortices at hydraulic intakes. ASCE Journal of Hydraulic Engineering. 120(3):284-297.
8. Jain A. K. Ranga Raju K. G. and Garde R. J. 1978. Vortex formation at vertical pipe intakes. ASCE Journal of the Hydraulics Division. 104. HY10:1429-1445.
9. Knauss J. 1987. Swirling Flow Problems at Intakes. IAHR Hydraulic Design Consideration. A. A. Balkema, Rotterdam. Vol.1. 165 p.
10. Kocabas F. and Yildirim N. 2002. Effect of circulation on critical submergence of an intake pipe. IAHR Journal of Hydraulic Research. 40(6):741-752.
11. Odgaard A. J. 1986. Free-surface air core vortex. ASCE Journal of Hydraulic Engineering. 112(7):610-620.
12. Quick M. C. 1970. Efficiency of air-entraining vortex formation at water intakes. ASCE Journal of the Hydraulics Division. 96. HY7:1403-1416.
13. Reddy Y. R. and Pickford J. A. 1972. Vortices at intakes in conventional sumps. Water Power. 24(3):108-109.
14. Rindels A. J. and Gulliver J. S. 1983. An Experimental Study of Critical Submergence to Avoid Free-surface Vortices at Vertical Intakes. Saint Anthony Fall Hydraulic Laboratory. Project Report No. 224. 78 p.
15. Yildirim N. and Kocabas F. 1995. Critical submergence for intakes in open channel flow. ASCE Journal of Hydraulic Engineering. 121(12):900-905.
16. Yildirim N. and Kocabas F. 1998. Critical submergence for intakes in still-water reservoirs. ASCE Journal of Hydraulic Engineering. 124(1):103-104.
17. Yildirim N. Kocabas F. and Gulcan S.C. 2000. Flow-boundary effects on critical submergence intake pipe. ASCE Journal of Hydraulic Engineering. 120(4):288-297.
18. Zeilinski P. B. and Villemonte J. R. 1968. Effect of viscosity on vortex orifice flow. ASCE Journal of the Hydraulics Division. 94(3):745-753.