

تأثیر ابعاد و نوع شبکه صفحات ضدگرداب افقی در کاهش استغراق بحرانی آبگیرهای قائم

نوید ناصحی اسکونی^{1*}، داود فرسادی‌زاده²، علی حسین‌زاده دلیر²

تاریخ دریافت: 94/03/20 تاریخ پذیرش: 94/11/12

1- دانشجوی سابق کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

2- استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: navid.nasehi@gmail.com

چکیده

آبگیرهای قائم از سازه‌های متداول برای تأمین آب از طریق مخازن و یا کانال‌های انتقال، برای مصارف کشاورزی، شهری و صنعتی هست. بهره‌برداری از این سازه عاری از مشکلات نبوده و مواردی نظیر پدیده تشکیل جریان‌های گردابی در دهانه آبگیر و ورود هوا مشاهده می‌گردد. به سبب این پدیده مشکلات دیگری مانند کاهش ظرفیت آبگیری، وقوع پدیده خلأزایی، لرزش و سر و صدا ایجاد می‌شود. در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی تأثیر ابعاد و نوع مش صفحات مستغرق افقی روی عمق استغراق بحرانی آبگیرهای قائم پرداخته شده است. 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 گردید. سپس تأثیر هر صفحه با ابعاد معلوم و مش مشخص در یک موقعیت از پیش تعیین شده به‌ازای پنج دبی مختلف بررسی گردید. عملکرد صفحات در کاهش استغراق بحرانی برای هر صفحه با ابعاد و مش مختلف محاسبه شد که بر این اساس صفحه SP 2d با عملکرد 46/2% بهترین عملکرد را در کاهش استغراق بحرانی از خود نشان داد. در ادامه نیز یک معادله رگرسیونی برای تخمین استغراق نسبی آبگیر دارای صفحات ضدگرداب از روی پارامترهای بی‌بعد عدد فرود، ابعاد نسبی صفحه و مساحت نسبی مش صفحه ارائه گردید.

واژه‌های کلیدی: آبگیر قائم، استغراق بحرانی، صفحات ضدگرداب افقی، گرداب سطحی

Effect of Dimensions and Mesh Type of Anti-Vortex Horizontal Plates on Critical Submergence Reduction of Vertical Intakes

N Nasehi Oskuei^{1*}, D Farsadizadeh², A Hosseinzadeh Dalir²

Received: 10 June 2015

Accepted: 01 February 2016

1- Former M.Sc. Student, Water Eng. Dep., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

2- Prof., Water Eng. Dep., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

* Corresponding Author, Email: navid.nasehi@gmail.com

Abstract

Vertical intakes are common structures to supply water through reservoirs or conveying channels for agricultural, urban and industrial zone's demand. Of course, this method has its problems and some difficulties such as vortex flow formation at inlet and air entrance are observed, which cause rather problems, e.g. reduction of intake capacity and motivation of vibrations and cavitation initiation. In this research the effects of dimensions and mesh type of the horizontal stationary plates on critical submergence of vertical intakes were studied experimentally. First, some tests were carried out to determine discharge-critical submergence relation for a condition with no anti-vortex device establishment. Then, a dimensionless equation was fitted between relative submergence and intake Froude number. Finally, the effect of each plate with a specified dimension and mesh type were examined at a constant situation for five different flow rates. The performance of plates in reducing critical submergence was calculated for each setup. Based on the results, the SP 2d plate had the best performance of 46.2%. Also, a regression equation was fitted to predict relative submergence in the presence of anti-vortex plates, using dimensionless parameters of Froude number, relative plate dimensions and relative mesh area.

Keywords: Critical submergence, Horizontal anti-vortex plates, Surface vortex, Vertical Intake

مقدمه

ایجاد مشکلات اساسی در آبیگرهای قائم شده و به دنبال آن مشکلات دیگری مانند افزایش افت ورودی، کاهش ظرفیت آبیگری، کاهش راندمان ماشین‌های آبی مانند پمپ‌ها و توربین‌ها، ایجاد لرزش و آغاز خلأزایی ایجاد می‌شود (کناوس 1987).

برای جلوگیری از ورود هوا و جریان‌های پیچشی به داخل آبیگر، دهانه آن باید از استغراق کافی برخوردار باشد. لذا یکی از مهم‌ترین موارد در طراحی آبیگرها توجه به حد استغراق آن هست. جین و همکاران (1978) با توجه به شکل 1، استغراق بحرانی¹ 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

آبیگر قائم از جمله سازه‌هایی است که برای آبیگری مستقیم از کانال‌های انتقال آب یا مخازن استفاده می‌شود. در مقایسه با سایر انواع آبیگرها، آبیگر 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 آبیگری به‌طور معمول دهانه در نزدیکی سطح آب کار گذاشته می‌شود که اندکی از آن وارد میدان جریان می‌شود. ورود آب به آبیگر تحت این شرایط با ایجاد گردابه همراه است (ناصحی اسکویی 1391).

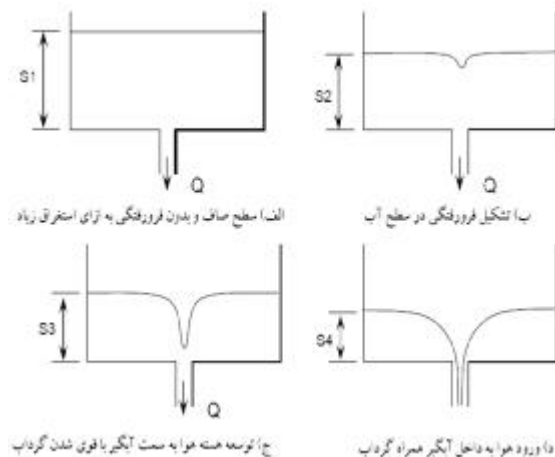
گرداب‌ها بر اساس موقعیت محل تشکیل آن به دو نوع گرداب سطحی و مستغرق تقسیم می‌شوند. تشکیل گرداب‌ها و جریان‌های پیچشی باعث

¹ Critical submergence

سبزواری (1384) 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 (1986) با استفاده از مدل گرداب رانکین، حد استغراق یک آبگیر قائم را به صورت تحلیلی تعیین کرد. هایت و میه (1994) 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 موردنیاز آبگیر و میزان گردش جریان ارائه کردند. یلدریم و قوجاباش (1995) 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 (1998) حد استغراق بحرانی را برای یک آبگیر واقع در یک مخزن با آب ساکن تعیین کردند. قوجاباش و یلدریم (2002) 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. پرتوی آنر و همکاران (1389) با کاربرد مدلفلوئنت³ 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 گرداب نیز در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران است. آلن (2008) تأثیر سازه آشغال‌گیر⁴ 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 (1379) تأثیر تعداد، ابعاد و موقعیت پرده‌های قائم ضدگرداب⁵ بر کاهش حد استغراق موردنیاز برای جلوگیری از تشکیل گرداب با هسته هوا را بررسی کرد. ناصحی اسکویی (1391) ضمن ارائه رابطه‌ای بی‌بعد برای محاسبه استغراق بحرانی در آبگیرهای قائم و مقایسه آن با

یلدریم و همکاران (2000) استغراق بحرانی را به عنوان حدی که ورود هوا به داخل آبگیر شروع شود (استغراقی که به ازای آن نوک هسته هوا منطبق بر دهانه آبگیر شود) تعریف کردند.



شکل 1- مراحل مختلف توسعه گرداب سطحی دائمی تا ورود هوا در یک آبگیر قائم روبه پایین (جین و همکاران 1978).

در صورتی که در طراحی آبگیرهای بدون گرداب، شرایط بهینه با توجه به پارامترهای عمق استغراق، مشخصات هندسی آبگیر و شرایط جریان تقرب، حاصل نشود، می‌توان از یک سری تجهیزات ثانویه مانند سازه‌های ضدگرداب استفاده کرد (ریندلز و گالیور 1983، کناوس 1987).

برای 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 (1970)، گوردون (1970)، ردی و پیکفورد (1972) و جین و همکاران (1978) استغراق نسبی را به صورت تابعی از عدد فرود آبگیر بیان کردند. ریندلز و گالیور (1983) در یک طرح تحقیقاتی در مؤسسه SAF⁵ تأثیر زاویه جریان تقرب و نسبت طول به عرض کانال تقرب را در استغراق بحرانی آبگیرهای قائم بررسی کردند. زمردیان و باقری

³Fluent

⁴ Trash rack

⁵ Anti-vortex vertical plates

²Saint Anthony Falls Hydraulic Laboratory

یکنواخت‌سازی سرعت جریان تقرب، از یک سری صفحات پر و مشبک پس از پخش‌کننده استفاده شده است. آب پس از خروج از لوله آبگیر، به صورت ثقیلی در یک مخزن کوچک دیگر تخلیه شده و سپس توسط یک لوله به قطر 127 میلی‌متر به ابتدای حوضچه آرامش سرریز مثلی برای اندازه‌گیری دبی جریان منتقل می‌شود. در شکل 2 نمایی از اجزای مدل آزمایشگاهی آورده شده است.

آبگیر نیز متشکل از یک لوله شیشه‌ای به قطر 75 میلی‌متر است. ارتفاع لوله در داخل مخزن 40 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.

به منظور کاهش حد استغراق بحرانی از دو نوع صفحه مشبک با مش مربعی که طول ضلع سوراخ‌های آن‌ها $0/05d$ و $0/11d$ (d قطر آبگیر) هست و یک سری صفحه پر بدون سوراخ مربعی شکل در ابعاد $1d$ ، $2d$ و $3d$ استفاده شد (شکل 3). جنس صفحات آهن گالوانیزه هست. در مجموع تعداد 9 صفحه مختلف انتخاب و در موقعیت $1d$ در بالای دهانه آبگیر نصب شده و تأثیر هر یک بر عمق استغراق بحرانی برای محدوده دبی 2 تا $9/2$ لیتر بر ثانیه بررسی شد.

نتایج تحقیقات مشابه موجود، به بررسی تأثیر ابعاد و موقعیت صفحات مستغرق افقی بر حد استغراق بحرانی پرداخت. نادری و همکاران (1394) تأثیر زاویه صفحات قائم و نوع مش آن‌ها بر روی استغراق بحرانی آبگیر قائم با دهانه زنگوله‌ای شکل را بررسی نمودند.

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

مواد و روش‌ها

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 1 متر و یک نیم‌دایره به قطر 1 متر است. ارتفاع مخزن نیز برابر 1 متر است. کف مخزن ورق گالوانیزه و دیواره‌های آن از جنس صفحات پلکسی‌گلس است. آبگیر در مرکز نیم‌دایره و در محل اتصال آن به قسمت مربعی بر روی کف مخزن تعبیه شده است. جریان آب توسط یک الکتروموتور پمپ با ظرفیت آبدی 60 لیتر بر ثانیه از مخزن اصلی آزمایشگاه، با یک سیستم پخش‌کننده وارد ابتدای مخزن آبگیری می‌شود. برای آرام کردن جریان ورودی به مخزن و از بین بردن تلاطم آن و همچنین

(7) صفحات آرام‌کننده

(8) لوله آبگیر

(9) شیر کنترل آبگیر

(10) لوله تخلیه جریان

(11) حوضچه آرامش

(12) سرریز مثلی

(1) لوله اصلی جریان

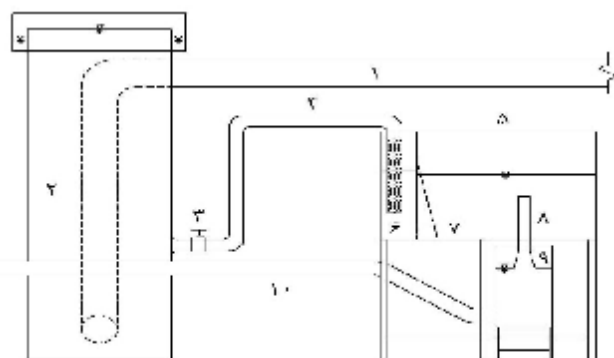
(2) مخزن هوایی ثانویه

(3) شیر فلکه ورودی

(4) لوله ورودی

(5) مخزن آبگیری

(6) پخش‌کننده جریان



شکل 2 - نمایی از مدل آزمایشگاهی.

تأثیر این دو پارامتر در مدل‌سازی جریان گردابی، بدون اثر مقیاس، صرف نظر کرد. محدوده این اعداد برای گرداب‌های قوی با مکش هوا بر اساس نتایج پژوهشگران در جدول 1 ارائه شده است.

در هنگام آزمایش‌های مقدماتی، سرعت‌های مماسی و شعاعی در اطراف آبگیر اندازه‌گیری شد و با توجه به آن مقدار گردش جریان محاسبه شد. از آنجاکه 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 2 را به فرم خلاصه زیر تبدیل کرد که نشان می‌دهد استغراق نسبی فقط تابعی از عدد فرود آبگیر است.

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

استفاده از هرگونه تجهیزات ضدگرداب در این پارامترها تأثیر خواهد گذاشت و برای بررسی این تأثیر بهترین راه استفاده از مدل آزمایشگاهی است.

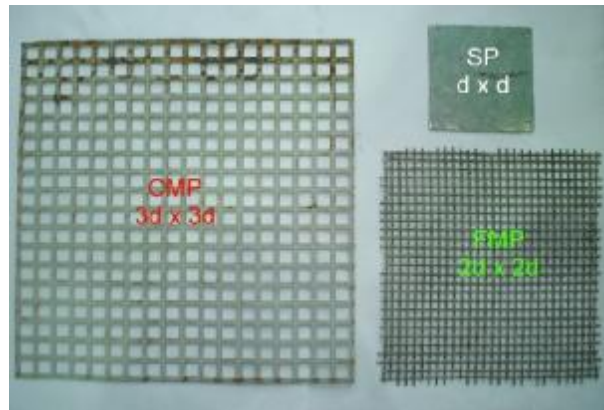
برای بررسی کمی تأثیر هر صفحه در کاهش استغراق موردنیاز نسبت به حالت بدون صفحه، پارامتر عملکرد نسبی صفحه تعریف شد که مقدار آن از معادله 4 قابل محاسبه است.

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

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

نتایج و بحث

به‌ازای محدوده دبی موردنظر و قطر لوله 75 میلی‌متر، اعداد رینولدز، فرود و وبر برای مقایسه با معیارهای جدول 1 محاسبه شد، که کمترین مقدار آنها برای محدوده دبی 2 لیتر بر ثانیه به‌صورت زیر است (قطر داخلی لوله 70/4 میلی‌متر است و دمای آب در زمان انجام آزمایش‌ها 20/5 درجه سلسیوس بود):



شکل 3 - نمونه‌ای از صفحات ضدگرداب مورد استفاده.

با استفاده از روش تحلیل ابعادی می‌توان ارتباط بین پارامترهای مؤثر در حد استغراق بحرانی آبگیرهای قائم را به‌صورت معادله 1 نوشت:

$$h_{cr} = f(d, V, G, g, s, m, r) \quad [1]$$

که در آن h_{cr} حد استغراق بحرانی آبگیر؛ V سرعت متوسط جریان در داخل لوله آبگیر به قطر d ؛ Γ متوسط عمقی پارامتر گردش؛ g شتاب ثقل؛ σ کشش سطحی مایع؛ ρ جرم مخصوص مایع و μ لزجت ذاتی مایع هست. حال با انتخاب ρ ، V و d به‌عنوان متغیرهای تکراری و با استفاده از نظریه پی باکینگهام می‌توان نوشت:

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

که در آن h_{cr}/d استغراق بحرانی نسبی؛ $Fr = V/\sqrt{gh}$ عدد فرود آبگیر؛ $We = V\sqrt{rd/s}$ عدد وبر؛ $Re = rVd/m$ عدد رینولدز و $N_G = Gd/Q$ عدد گردش (دبی جریان خروجی از آبگیر است) هست.

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

⁶ Circulation parameter

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

$$We = 15/73$$

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

جدول 1- محدوده اعداد رینولدز و وبر برای حذف تأثیر لزجت و کشش سطحی سیال در مدل سازی.

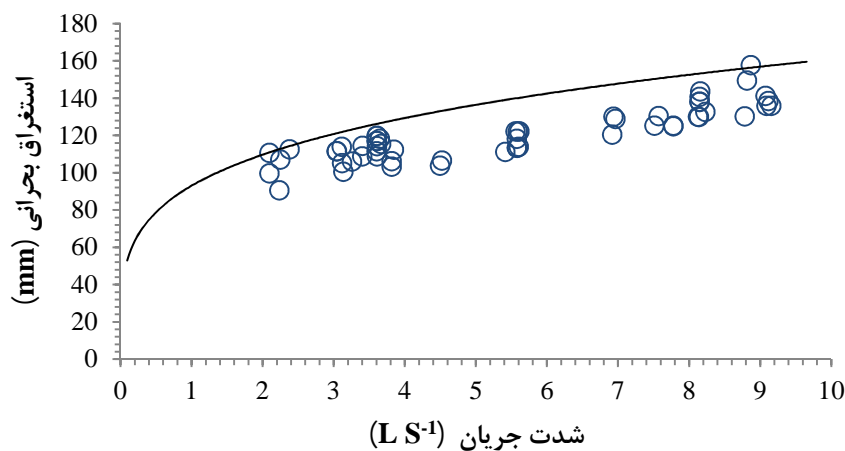
عدد وبر	عدد رینولدز	پژوهشگر/ پژوهشگران
-	$\rho Q/\mu d > 2/5 \times 10^4$	داگت و کولیکان (1974)
-	$\rho Vd/\mu > 1 \times 10^4$	زیلینسکی و ویلمونت (1968)
$We > 11$	$Re/Fr = \rho g^{0/5} d^{1/5} / \mu \geq 5 \times 10^4$	جین و همکاران (1978)
$We^2 > 720$	$\rho Vd/\mu > 1/1 \times 10^5$	اودگارد (1986)

افزایش می یابد ولی رفته رفته شدت این افزایش کاهش می یابد.

منحنی رسم شده در شکل 4 منحنی پوش است و بنا به تعریف منحنی ای است که بیشتر نقاط به دست آمده (نه همه آنها) را احاطه می کند (ریندلرز و گالیور 1983). این منحنی برای بیان بهتر تغییرات استغراق بحرانی رسم شده است که رابطه آن به صورت معادله 5 هست.

$$h_{cr} = 93Q^{0.238} \quad [5]$$

به منظور تحلیل و مقایسه نتایج به دست آمده از نصب هر یک از صفحات ضدگرداب، ابتدا آزمایش هایی بدون نصب صفحه انجام شد تا نتایج آن به عنوان شاهد استفاده شود. در شکل 4 تغییرات عمق استغراق بحرانی با دبی جریان برای این حالت نشان داده شده است. در ترسیم این شکل از 56 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 می شود با افزایش دبی، استغراق مورد نیاز برای جلوگیری از تشکیل گرداب های با هسته هوا نیز



شکل 4- نتایج آزمایش شاهد و بدون استفاده از صفحه ضدگرداب.

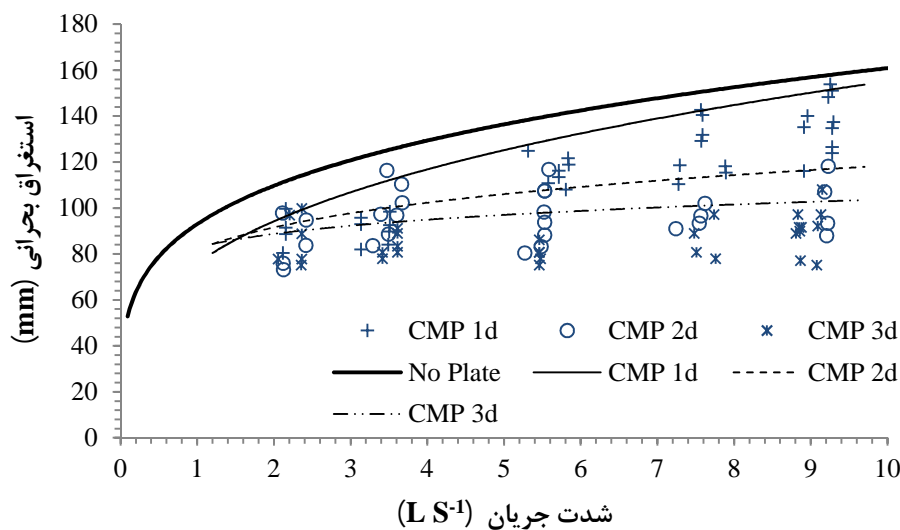
مشخصه نوع صفحه شامل صفحه مشبک با سوراخ درشت 0/11d (CMP)، صفحه مشبک با سوراخ ریز 0/05d (FMP) و صفحه پر (SP) بوده و منظور از b ابعاد صفحه هست. به طور مسلم با افزایش ابعاد صفحه عملکرد آن در کاهش استغراق موردنیاز به دلیل ایجاد افت بیشتر در میدان جریان تقرب، افزایش می یابد. چنانچه از شکل های 5 تا 7 پیدا است، با افزایش ابعاد صفحات، عملکرد آن ها به طور چشمگیری افزایش می یابد لیکن از شدت این افزایش پس از یک اندازه کاسته می شود. زیرا زمانی که ابعاد صفحه از یک اندازه (2d) کوچکتر باشد، گرداب می تواند صفحه را دور زده و از کناره های آن وارد آبگیر شود. همچنین عملکرد صفحه 2d و 3d نیز به طور تقریبی مشابه همدیگر است.

به منظور تعمیم نتایج حاصل از این تحقیق به مدل های دیگر و همچنین مقایسه آن با نتایج سایر پژوهشگران، داده های به دست آمده به صورت رابطه بی بعد استغراق بحرانی نسبی با عدد فرود تبدیل گردید (معادله 6).

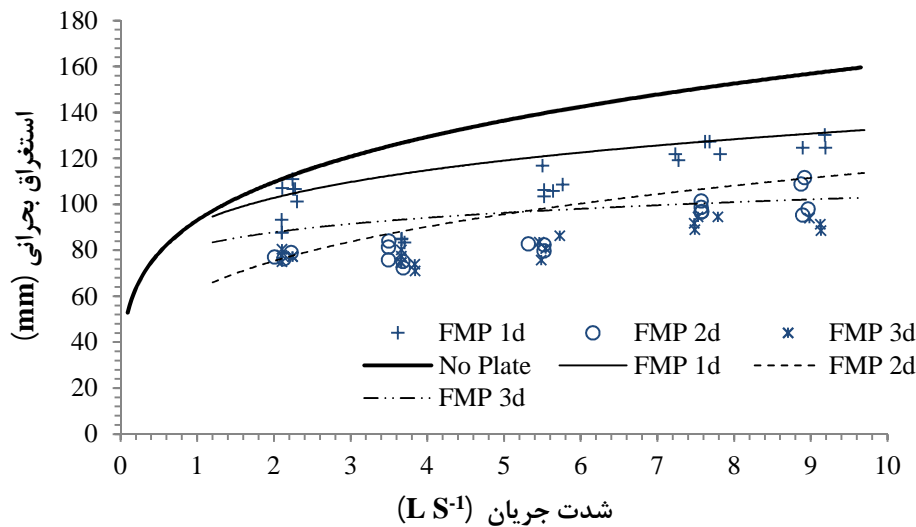
$$\frac{h_{cr}}{d} = 1.75 Fr^{0.238} \quad [6]$$

این معادله برای محدوده عدد فرود 0/6 تا 2/8 صادق است.

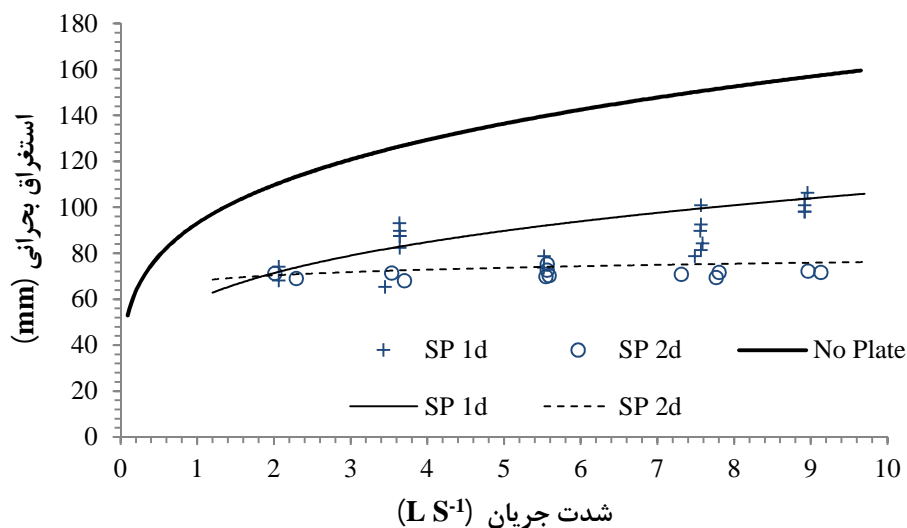
در شکل های 5 تا 7 نتایج آزمایش های نصب صفحات افقی مختلف در موقعیت 1d به همراه منحنی های پوش مربوط به هر سری داده و منحنی پوش آزمایش های بدون صفحه نشان داده شده است. شیوه نام گذاری در این شکل به صورت a b است که a



شکل 5- تأثیر ابعاد صفحات مشبک با سوراخ درشت بر کاهش استغراق بحرانی.



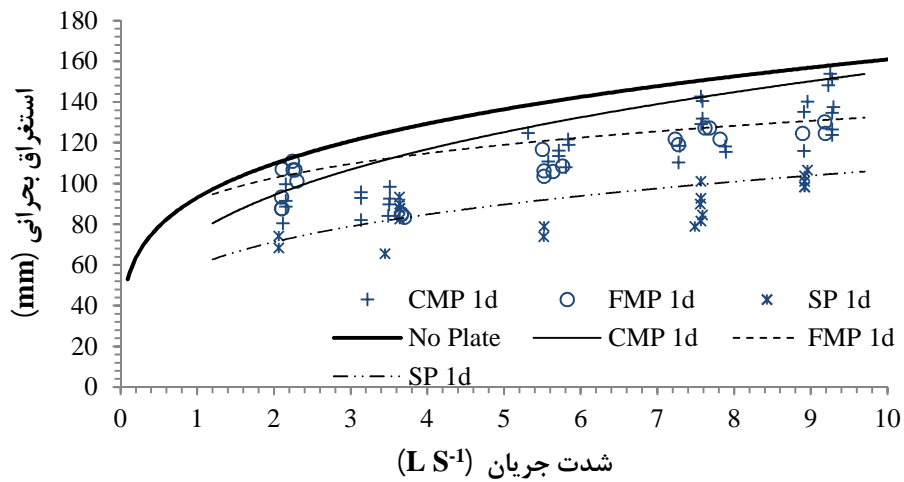
شکل 6- تأثیر ابعاد صفحات مشبک با سوراخ ریز بر کاهش استغراق بحرانی.



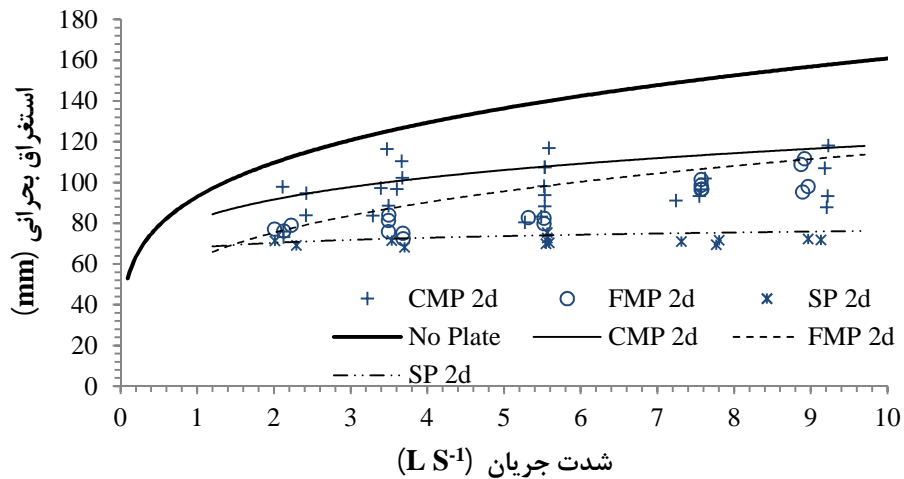
شکل 7- تأثیر ابعاد صفحات پر بر کاهش استغراق بحرانی.

تشکیل هیچ‌گونه گرداب سطحی و ورود هوا به داخل آبگیر را نمی‌دهد. در حالت کلی با ریزتر شدن مش صفحه، شیب و عرض از مبدأ منحنی‌ها کمتر می‌شود. با توجه به عملکرد بسیار مناسب به دست آمده از صفحه SMP 2d و توجه به این نکته که با افزایش ابعاد صفحات علاوه بر کاهش ضریب دبی آبگیر، با ایجاد افت شدید در میدان جریان مواجه خواهیم بود، لذا تکرار آزمایش‌ها برای صفحه SMP 3d از فرآیند تحقیق حذف گردید.

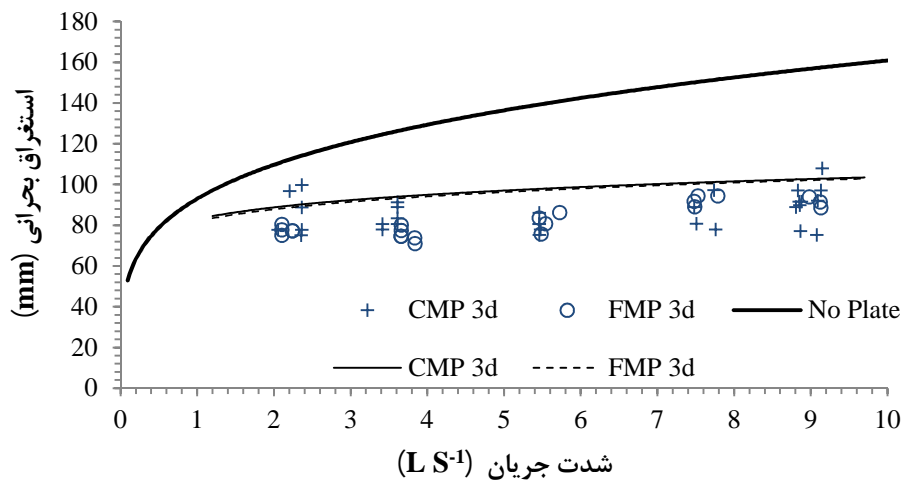
در شکل‌های 8 تا 10 تأثیر نوع مش صفحات با ابعاد مختلف نشان داده شده است. چنانکه مشاهده می‌شود هرچه مش صفحات ریزتر باشد عملکرد کلی صفحات در محدوده دبی‌های بررسی شده افزایش می‌یابد و استغراق بحرانی به ازای دبی ثابت در عمق کمتری تشکیل می‌شود. به طوری که وقتی از صفحات پر با ابعاد مناسب (حداقل 2d) استفاده شود جریان‌های گردابی به محض رسیدن استغراق آبگیر به تراز نصب صفحه، کاملاً مستهلک گردیده و صفحه افقی اجازه



شکل 8- تأثیر نوع مش صفحات با ابعاد 1d بر کاهش استغراق بحرانی.



شکل 9- تأثیر نوع مش صفحات با ابعاد 2d بر کاهش استغراق بحرانی.



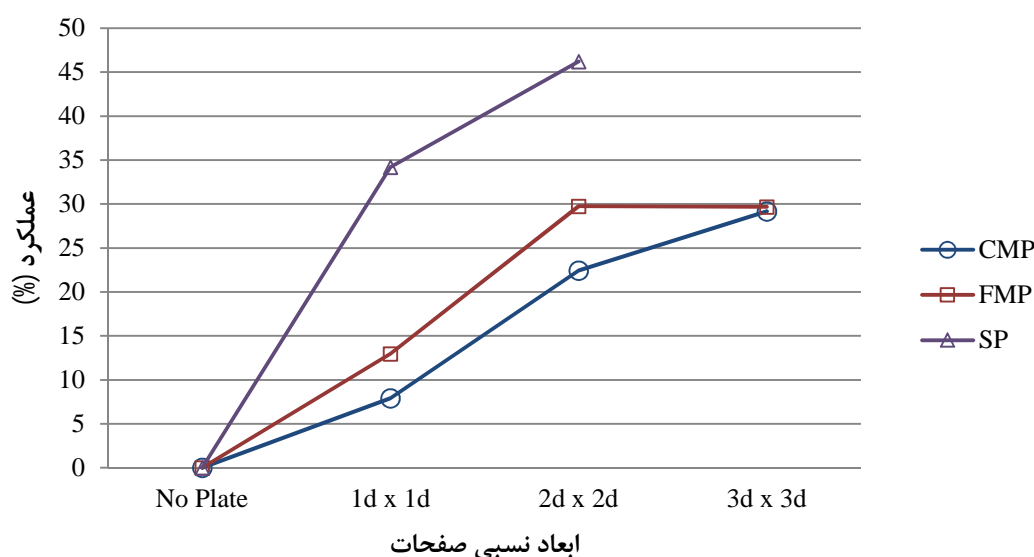
شکل 10- تأثیر نوع مش صفحات با ابعاد 3d در کاهش استغراق بحرانی.

نیز تا یک حد مشخص موجب بهبود عملکرد آن می‌شود.

لازم به توضیح است، عملکرد صفحات مختلف با توجه به موقعیت نصب آن‌ها (به فاصله 1d از دهانه آبیگیر)، غالباً با افزایش دبی، بیشتر می‌شود، لیکن در ترسیم شکل 11 از مقدار متوسط آن استفاده گردیده است. بهترین عملکرد به دست آمده مربوط به صفحه SP 2d و به مقدار 46/2 درصد هست.

با استفاده از معادله 6 عملکرد صفحات برای محدوده دبی آزمایش‌ها محاسبه شده و سپس میانگین عملکرد هر نوع صفحه با ابعاد مختلف در شکل 11 رسم شده است.

چنانچه در شکل 11 نیز پیدا است با ریزتر شدن مش صفحات عملکرد آن‌ها در کاهش حد استغراق بحرانی افزایش می‌یابد. همچنین افزایش ابعاد صفحات



شکل 11 - عملکرد صفحات در ابعاد و موقعیت‌های مختلف.

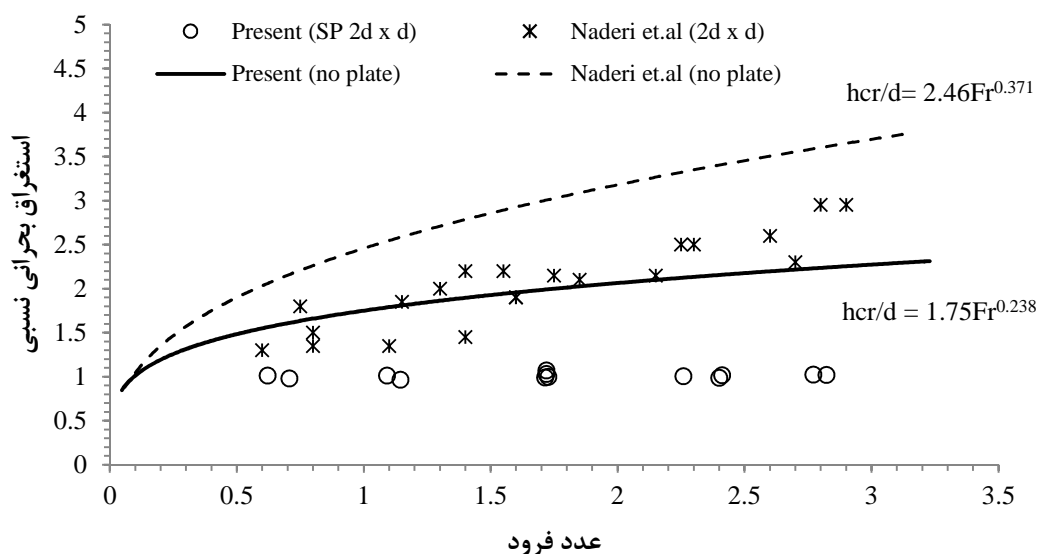
نسبی مش صفحه یا نسبت سطح مسدود صفحه به مساحت کل آن هست.

به منظور مقایسه عملکرد صفحات ضدگرداب افقی با صفحات ضد گرداب قائم، نتایج بهترین صفحه افقی مشخص شده در این پژوهش (SP 2d) به همراه نتایج بهترین صفحه قائم مشبک تحقیق نادری و همکاران (1394) با ابعاد 2/5d و فاصله نصب 1d از دهانه آبیگیر در شکل 12 ارائه گردیده است. چنان‌که پیدا است صفحات افقی از عملکرد بهتری بخصوص در محدوده اعداد فرود بالا، برخوردار می‌باشند.

با توجه به داده‌های به دست آمده، برای تخمین استغراق نسبی آبیگیر دارای صفحات ضدگرداب از روی پارامترهای بی‌بعد عدد فرود، ابعاد نسبی صفحه و مساحت نسبی مش صفحه یک معادله رگرسیونی غیرخطی برازش داده شد که رابطه آن به صورت معادله 7 بوده و ضریب تبیین (R^2) آن برابر 0/86 است.

$$\frac{h_{cr}}{d} = 1.196 Fr^{0.187} D_r^{-0.252} A_r^{-0.476} \quad [7]$$

که در آن Fr عدد فرود آبیگیر؛ D_r ابعاد نسبی صفحه یا نسبت طول ضلع آن به قطر داخلی آبیگیر (d)؛ A_r مساحت



شکل 12 - مقایسه عملکرد صفحات افقی (تحقیق حاضر) با عملکرد صفحات قائم تحقیق نادری و همکاران (1394).

منابع مورد استفاده

- پرتوی آذر ش، فرسادی زاده د، حسین زاده دلیر ع، سلماسی ف و صدرالدینی ع الف، 1389. تخمین استغراق بحرانی در آبگیر سد آیدوغموش با کاربرد مدل Fluent. نشریه دانش آب و خاک، جلد 20/1، شماره 3، صفحه‌های 1 تا 14.
- زمردیان سمع و باقری سبزواری مر، 1384. 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، جلد 9، شماره 4، صفحه‌های 1 تا 16.
- کبیری سامانی ع، 1379. تعیین توپولوژی بهینه در طرح صفحات کاهش گرداب آبگیرها. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف. 167 صفحه.
- نادری و، فرسادی زاده د، حسین زاده دلیر ع و ارونقی ه، 1394. تأثیر ابعاد مشبک قائم بر عمق استغراق بحرانی در آبگیرهای قائم با دهانه زنگوله‌ای. نشریه دانش آب و خاک، جلد 25، شماره 1، صفحه‌های 13 تا 24.
- ناصری اسکویی ن، 1391. بررسی عملکرد صفحات مستغرق افقی در کاهش حد استغراق بحرانی آبگیرهای قائم، پایان نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز. 127 صفحه.
- Allen SD, 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.
- Daggett LL and Keulegan GH, 1974. Similitude in free-surface vortex formation. Journal of Hydraulics Division ASCE 100(11): 1565-1580.
- Gordon JL, 1970. Vortices at intakes. Water Power 22(4):137-138.
- Hite JE and Mih WC, 1994. Velocity of air-core vortices at hydraulic intakes. Journal of Hydraulic Engineering ASCE 120(3): 284-297.
- Jain AK, RangaRaju KG and Garde RJ, 1978. Vortex formation at vertical pipe intakes. Journal of Hydraulics Division ASCE 104. HY10: 1429-1445.
- Knauss J, 1987. Swirling Flow Problems at Intakes. IAHR Hydraulic Design Consideration. A.A. Balkema, Rotterdam. Vol.1. 165 p.
- Kocabas F and Yildirim N, 2002. Effect of circulation on critical submergence of an intake pipe. Journal of Hydraulic Research 40(6): 741-752.
- Odgaard AJ, 1986. Free-surface air core vortex. Journal of Hydraulic Engineering ASCE 112(7):610-620.
- Quick MC, 1970. Efficiency of air-entraining vortex formation at water intakes. Journal of Hydraulics Division ASCE 96 HY7: 1403-1416.
- Reddy YR and Pickford JA, 1972. Vortices at intakes in conventional sumps. Water Power 24(3):108-109.

- Rindels AJ and Gulliver JS, 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.
- Yildirim N and Kocabas F, 1995. Critical submergence for intakes in open channel flow. *Journal of Hydraulic Engineering* 121(12): 900-905.
- Yildirim N and Kocabas F, 1998. Critical submergence for intakes in still-water reservoirs. *Journal of Hydraulic Engineering* 124(1): 103-104.
- Yildirim N, Kocabas F and Gulcan SC, 2000. Flow-boundary effects on critical submergence intake pipe. *Journal of Hydraulic Engineering* 120(4): 288-297.
- Zeilinski P B and Villemonte J R, 1968. Effect of viscosity on vortex orifice flow. *Journal of Hydraulics Division* 94(3): 745-753.