تأثیر سرعت و جهت جریان در خروجی کانال تقرب مستطیلی شکل با انتهای مسدود بر ضریب تخلیه آبگیر قائم

سید محمد علی زمردیان[۱] و محمدرضا باقری سبزواری[۲]

چکیده

آبگیرهای قائم معمولاً نسبت به دیگر گزینه‌ها سازه‌هایی اقتصادی بوده و به جهت آن که در نزدیکی سطح آب کار گذاشته می‌شوند، از ورود رسوبات درشت دانه به داخل سیستم جلوگیری می‌نمایند. از مشکلات اصلی که آبگیرهای قائم با آن مواجه‌اند ایجاد گرداب‌های قوی در دهانهٔ آنهاست. این گرداب‌ها منجر به کاهش بازدهی سیستم آبگیری می‌شوند. شناخت مهندسین و طراحان از عوامل مؤثر بر گرداب، می‌تواند آنها را در طراحی صحیح و اصولی چنین سازه‌هایی کمک نماید. در این پژوهش به کمک مدل آزمایشگاهی تأثیر سرعت مماسی، جهت جریان در خروجی کانال تقرب بر ضریب تخلیه C_d آبگیر قائم مورد بررسی قرار گرفته و با آنالیز ابعادی نشان داده شده که اعداد بدون بعد رینولدز، فرود، وبر، سیرکولاسیون و استغراق بر تشکیل گرداب در دهانهٔ آبگیر قائم مؤثرند. ارتباط بین عدد فرود، عدد سیرکولاسیون و عدد استغراق ارائه گردیده است که با استفاده از آنها می‌توان عدد استغراق را به دست آورده و توسط آن ضریب تخلیهٔ آبگیر قائم را محاسبه نمود.

واژه‌های کلیدی: تخلیه آبگیر قائم، کانال تقرب، عدد استغراق، ضریب تخلیه، گرداب

مقدمه

آبگیر قائم یکی از سازه‌هایی است که به منظور آبگیری مستقیم از رودخانه‌ها و یا مخازن مورد استفاده قرار می‌گیرد. در مقایسه با سایر انواع آبگیرها، آبگیرهای قائم سازه‌ای اقتصادی بوده که در صورت طراحی صحیح و اصولی، بهره‌برداری از آنها با مشکلات کمتری نیز همراه است. علاوه بر این به جهت آن که دهانه ورودی آنها معمولاً در نزدیکی سطح آب کار قرار دارند، ورود رسوبات درشت دانه به داخل سیستم غیرممکن است. یکی از مشکلات اصلی که آبگیرهای قائم با آن مواجه هستند تشکیل گرداب‌های قوی در دهانهٔ آنهاست که منجر به کاهش بازدهی سیستم آبگیری می‌گردد. گرداب‌ها علاوه بر کاهش بازدهی آبگیر، مشکلات و خطرات دیگری دارند

۱. استادیار آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
۲. دانشجوی سابق کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.4.3.7]

مانند چرخش در جریان ورودی، ورود هوا، ایجاد ارتعاش در آبگیر، خطوط لوله، پمپ‌ها، سروصدا، کاویتاسیون، بهره‌برداری نامناسب از تأسیسات و در نتیجهٔ آن خطر آسیب به اجزای پمپ‌ها و توربین‌ها، کاهش عمر مفید تأسیسات که ممکن است افزایش هزینه‌ها را نیز به دنبال داشته باشند. از عوامل تشکیل گرداب می‌توان شرایط نامتقارن سازهٔ آبگیر، هندسهٔ آن، کافی نبودن استغراق، جدایی جریان، تغییر ناگهانی در جهت جریان و سرعت‌های بالاتر از ۰/۶ متر بر ثانیه در میدان جریان نزدیک شونده به آبگیر را نام برد (۳، ۴ و ۷).

با توجه به نامطلوب بودن تشکیل گرداب، طراحان غالباً در پی حذف یا کاهش این پدیده هستند. بنابراین به دلیل شرایط بسیار متفاوت در طراحی‌ها و متغیرهای زیاد این پدیده، هنوز آیین‌نامه مدونی برای طراحی ارائه نشده است که این به دلیل کمبود و نقصان در مطالعات تجربی و تئوریک این پدیده است و این ضعف، ناشی از ماهیت پیچیدهٔ پدیدهٔ مزبور می‌باشد.

در بررسی جریان گردابی، دو ناحیه قابل مشاهده است. در ناحیه اول، جریان با سرعت قابل ملاحظه‌ای وارد مجرای خروجی آبگیر می‌شود و در ناحیه دوم سیال ساکن و بدون حرکت می‌باشد. اختلاف در توزیع سرعت بین این دو ناحیه باعث ایجاد تنش‌های برشی در مرز این دو ناحیه می‌شود که این تنش‌ها باعث اعمال نیروی گریز از مرکز بر سطح ذرات سیال و دور شدن ذرات از محور دوران خواهد شد. در نهایت هسته هوا در محور جریان چرخشی تشکیل می‌گردد. در نتیجهٔ این امر، فشار در اطراف محور دوران کاهش یافته و سطح آب پایین می‌افتد و هسته هوا در عمق آب پایین‌تر می‌رود. در آبگیرها با کاهش سطح مقطع، جریان سرعت افزایش یافته و فشار در دهانهٔ آبگیر کاهش می‌یابد. در این شرایط تا زمانی که فشار در دهانه از فشار اتمسفر کمتر نشده است، هستهٔ هوا تشکیل نمی‌گردد. ولی به محض تقلیل فشار به کمتر از فشار اتمسفر هستهٔ هوا در دهانهٔ آبگیر شکل می‌گیرد. بنابراین پدیدهٔ گرداب در اثر اندرکنش هندسهٔ سازهٔ خروجی، سرعت جریان، نیروی ثقل، حرکت وضعی زمین وخصوصیات سیال مانند لزجت و کشش سطحی شکل می‌گیرد (۳).

رانکین (۱۸۵۸) مدلی از گرداب که به گرداب مرکب رانکین معروف است ارائه کرد (۱۳). در این مدل فرض بر این است که ذرات سیال که در نزدیکی مرکز گرداب قرار دارند به مثابه جسم صلب با لزجت بالا بوده و دارای حرکت چرخشی حول محور خود می‌باشند (گرداب اجباری). این ناحیه درون یک منطقه غیر لزج (گرداب آزاد) که در فاصله دورتری از مرکز گرداب قرار دارد جای گرفته است (۱۲). پوسی و سو (۱۹۵۰) اثر تشکیل گرداب بر تخلیه آبگیر را بررسی کرده و نشان دادند که تشکیل گرداب می‌تواند باعث افت تخلیه آبگیر تا ۸۰٪ گردد (۹). دنی (۱۹۵۶) با مطالعه روی گروهی از پمپ‌ها به این نتیجه رسید که یک گرداب با بده عبوری اختلاط هوای یک درصد می‌تواند باعث کاهش بازدهی پمپ‌های سانتریفوژ تا ۱۵ درصد گردد (۹). انوار و همکاران (۱۹۷۸) با تحلیل ابعادی نشان دادند که تشابه دینامیکی حرکت سیال در یک آبگیر با ابعاد هندسی مشخص، به وسیلهٔ اعداد بی بعد فرود، رینولدز، وبر و استغراق تعریف می‌شود (۵). زیلنسکی (۱۹۶۸) نشان داده است که در صورتی که عدد رینولدز $R_e \succ ۱۰^۴$ باشد از تأثیر لزجت در آزمایش‌ها می‌توان صرف نظر نمود (۱۵). در مقابل داگت و کلوگان (۱۹۷۴) عدد رینولدز $R_e \succ ۳/۲\times۱۰^۴$ را برای حذف تأثیر ویسکوزیته در آزمایش‌ها پیشنهاد نموده‌اند (۶). واگنر(۱۹۵۶) بیان نمود که در صورتی که ارتفاع تیغهٔ آب روی سرریز در مدل بزرگ‌تر از ۵۰ میلی‌متر باشد می‌توان از تأثیر کشش سطحی بر ضریب تخلیه چشم‌پوشی کرد (۱۰ و ۱۱). جین و همکارانش (۱۹۷۶) نشان داده‌اند که در صورتی که عدد وبر $W \succ ۱۲۰$ باشد از تأثیر کشش سطحی نیز بر گرداب می‌توان صرف‌نظر نمود (۹).

همان طور که اشاره شد، گرداب پدیدهٔ پیچیده‌ای است و به آسانی با روش‌های تحلیلی قابل بررسی نمی‌باشد. به همین جهت معمولاً از مدل‌های فیزیکی هیدرولیکی برای بررسی و شناخت این پدیده استفاده می‌شود. مدل‌های فیزیکی هیدرولیکی در موارد مختلف با موفقیت پاسخگوی خواستهٔ

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.4.3.7]

محققین بوده‌اند. بنابراین ساخت مدل و ایجاد جریان‌های گردابی نسبتاً پایدار با سطح آزاد نقش مهمی در بررسی رفتار جریان و تعیین فاکتورهای مؤثر بر آن دارد. در این تحقیق با ساخت مدل آزمایشگاهی: ۱- تأثیرسرعت مماسی جریان در خروجی کانال تقرب بر قدرت چرخش و ۲- ضریب آبدهی آبگیرقائم مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا به شناسایی پارامترهای بدون بعد مؤثر برگرداب و ارتباط بین این پارامترها پرداخته، و ضریب تخلیهٔ آبگیر قائم از پارامتر بدون بعد عدد استغراق محاسبه گردید.

مواد و روش‌ها

آنالیز ابعادی

تشکیل گرداب در یک مجرای آبگیری یک مسأله کاملا سه بعدی است که بایستی با حداقل فرضیات ساده کننده در معادلات حرکت مورد بررسی قرارگیرد. پارامترهای مؤثر بر گرداب ایجادی در دهانهٔ آبگیر قائم در این تحقیق عبارت‌اند از (۱۴):

$$H = f(d, Q, \Gamma, \nu, \sigma, \rho, g) \qquad [۱]$$

H عمق استغراق (ارتفاع آب روی دهانه آبگیر قائم)، d قطر لولهٔ آبگیر، Q بده جریان، Γ پارامتر دوران و برابر $2\pi r V_\theta$ است، که در آن V_θ سرعت مماسی جریان در فاصلهٔ شعاعی r از محور آبگیر می‌باشد، ν لزجت جنبشی، σ کشش سطحی، ρ دانسیته و g شتاب ثقل می‌باشد. با به کاربردن رابطه باکینگهام و اختیار کردن متغییرهایی چون ρ , d, Q به عنوان متغییرهای تکراری می‌توان نوشت:

$$\frac{H}{d} = f_1\left(\frac{\Gamma d}{Q}, \frac{\nu d}{Q}, \frac{d^5 g}{Q^2}, \frac{\sigma d^3}{\rho Q^2}\right) \qquad [۲]$$

با جایگزینی $Q = V\pi d^2/4$ ، V = سرعت متوسط جریان در آبگیر قائم

$$\frac{H}{d} = f_2\left(\frac{\Gamma d}{Q}, \frac{\nu}{Vd}, \frac{dg}{V^2}, \frac{\sigma}{\rho V^2 d}\right) \qquad [۳]$$

در رابطهٔ ۳ مقدار $\frac{\Gamma d}{Q}$ برابر عدد چرخش، N_Γ، مقدار $\frac{\nu}{Vd}$ معکوس عدد رینولدز R_e، مقدار $\frac{dg}{V^2}$ معکوس مجذور عدد فرود F_r، مقدار $\frac{H}{d}$ عدد استغراق و مقدار $\frac{\sigma}{\rho V^2 d}$ معکوس عدد وبر W، می‌باشد. در نتیجه پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر گرداب در این پژوهش عبارت خواهند بود از :

$$\frac{H}{d} = f_2(N_\Gamma, R_e^{-1}, F_r^{-\frac{1}{2}}, W^{-1}) \qquad [۴ \text{ الف}]$$

با توجه به شرایط پیشنهادی داگت و کلوگان (۱۹۷۴) و جین و همکاران (۱۹۷۶) از اثر اعداد رینولدز و وبر برگرداب در این بررسی صرف نظر شده است (۶ و ۹). بنابراین پارامترهای مؤثر بر گرداب در این تحقیق، عدد استغراق، عدد فرود و عدد سیرکولاسیون می‌باشند و معادله نهایی برابر است با:

$$\frac{H}{d} = f_3(N_\Gamma, F_r^{-\frac{1}{2}}) \qquad [۴ \text{ ب}]$$

هم چنین ضریب آبدهی آبگیر قائم با توجه به رابطه زیر با جذر عدد استغراق نسبت عکس دارد (۱۰).

$$C_d = \frac{4Q}{\pi d^2\sqrt{2gH}} = \frac{4Q}{\pi d^{\frac{5}{2}}\sqrt{2g\frac{H}{d}}} \qquad [۵]$$

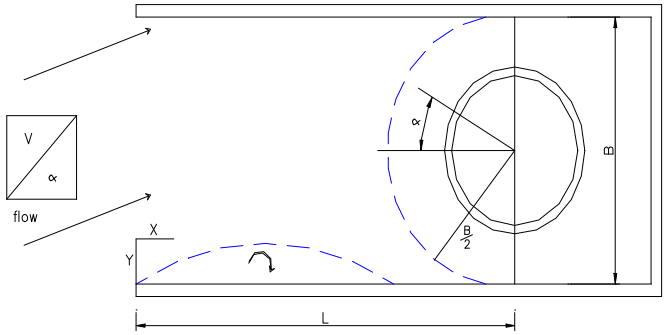
با توجه به مطالب بیان شده، عوامل مؤثر بر تشکیل گرداب در دهانه آبگیر قائم عبارت‌اند از: هندسه سازه آبگیر، پارامترهای جریان وخصوصیات سیال می‌باشد. گالیور و ریندلوز ۱۹۸۷ نیز با استفاده از قانون بقای مومنتم در یک کانال تقرب با انتهای مسدود (Headrace channel)، (شکل ۱)، تئوری کاهش چرخش خود را، جهت کاهش چرخش آب(Circulation) به صورت زیر مطرح نمودند (۷).

$$N_\Gamma = \frac{\tan\alpha}{1 + \frac{\beta}{2}\frac{L}{B}\tan\alpha} \qquad [۶]$$

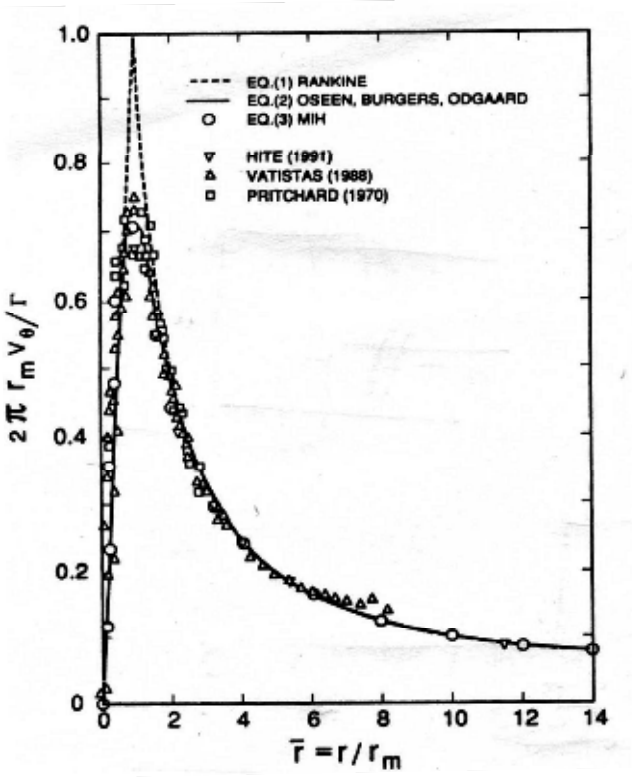
β ثابت تناسب از مرتبهٔ ۱یا ۲، α زاویه تقرب سرعت نزدیک شونده، L و B به ترتیب طول و عرض کانال تقرب می‌باشند. این معادله (تئوری کاهش چرخش گالیور) به خوبی تأثیر دو عامل پارامتر جریان α و هندسه سازه آبگیر L/B را برعدد

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.4.3.7]



شکل ۱. شمای آبگیر قائم همراه با کانال مسدود (۷)



شکل ۲. توزیع سرعت مماسی در گرداب (۸)

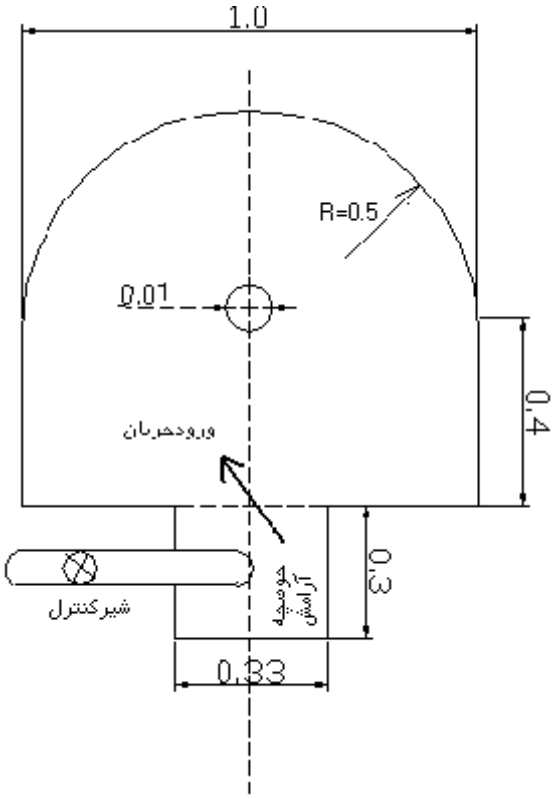
سیرکولاسیون نشان می‌دهد. در این تحقیق نیز جهت مطالعه مورد نظر و با ایده گرفتن از کانال تقرب انتها مسدود فوق مدل آزمایشگاهی به شرح زیر ساخته شد.

ساخت مدل

به منظور آن که بتوان از تأثیر دیواره‌ها بر گرداب ایجادی در دهانه آبگیر قائم چشم‌پوشی نمود در انتخاب قطر لوله‌های آبگیر و فاصلهٔ آنها از دیواره‌ها از معادلات توزیع سرعت مماسی مختلف ارائه شده توسط محققین استفاده شده است. رانکین، ادگارد و هیت- می هر کدام برای توزیع سرعت مماسی گرداب ایجادی در دهانه آبگیر قائم، معادلاتی ارائه نموده‌اند (۸، ۱۰ و ۱۳). شکل ۲ توزیع

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.4.3.7]



شکل ۳. پلان مدل زمردیان و شجاعیان (۲)

سرعت مماسی این معادلات و مقایسهٔ آنها را با نتایج تجربی نشان می‌دهد.

همان گونه که در شکل ۲ دیده می‌شود، در $r/r_m>10$ توزیع سرعت مماسی تقریباً یک نواخت می‌گردد. r_m برابر شعاعی است که ماکزیمم سرعت مماسی در آن ایجاد می‌شود و این مقدار در آبگیرهای قائم برابر شعاع دهانه آبگیر می‌باشد.

با توجه به مطالب فوق حداقل r/r_m برای مدل مقدار ۱۰ در نظر گرفته شده است که اگر بیشترین قطر لوله آبگیر ۷۵ میلی‌متر انتخاب شود، کمترین فاصله محور آبگیر از دیواره‌ها به منظور عدم تأثیر دیواره‌ها بر گرداب ایجادی، برابر ۳۷۵ میلی‌متر است. این مقدار در مدل آزمایشگاهی آبگیر قائم موجود در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید باهنر برابر ۴۰۰ میلی‌متر بوده است. بنابراین این مدل با انجام اصلاحاتی به منظور استفاده در این تحقیق مناسب دیده شد. این مدل توسط زمردیان و شجاعیان (۱) به منظور بررسی تأثیر فاصله دیواره‌ها از محور آبگیر برگرداب ساخته شده است که در مرجع ۲ کلیه اطلاعات ساخت مدل و تجهیزات مصرفی آن آورده شده است. در شکل ۳ پلان و مقطع مدل نشان داده شده است.

لازم به ذکر است که قطر لوله آبگیر و دبی آزمایش‌ها در این تحقیق به گونه‌ای انتخاب شده است که کلیه معیارهای لازم برای در نظر نگرفتن تأثیر اعداد رینولدز و وبر بر آزمایش‌ها را ارضا نماید و سه پارامتر نسبت استغراق، عدد سیرکولاسیون و عدد فرود به عنوان پارامترهای اصلی مؤثر در نظر گرفته شدند. برای استفاده از مدل موجود در این بررسی، اصلاحات زیر روی مدل انجام گردید.

۱. طول کانال تقرب مدل موجود ۰/۳ متر بوده که با توجه به این که در این پژوهش بایستی جریان در کانال تقرب

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.4.3.7]

ابتدا آرام و سپس جهت دهی شده و وارد حوضچه آبگیر شود این طول به ۰/۷ متر افزایش یافت.

۲. به منظور جهت دهی جریان ورودی به حوضچه (تغییر سرعت مماسی جریان تقرب) ۵ پره عمودی در انتهای کانال تقرب نصب شد. این پره‌ها به صورت هم‌آهنگ با هم عمل کرده و به گونه‌ای ساخته شده‌اند که می‌توانند در هر زاویه دلخواه α تنظیم شوند.

۳. برای جهت دهی جریان ورودی به حوضچه (تغییر سرعت محوری جریان تقرب) ۱۰ پره افقی در انتهای کانال تقرب و قبل از پره‌های عمودی نصب گردید. این پره‌ها نیز به صورت هم‌آهنگ با هم عمل کرده و به گونه‌ای ساخته شده‌اند که در هر زاویه دلخواه تنظیم شوند.

۴. در فاصله ۰/۳ متری از ابتدای کانال تقرب یک صفحه مشبک پلاستیکی نصب شده تا تلاطم جریان ورودی به مدل تا حد مورد نیاز کاهش یابد.

۵. جهت افزایش دقت قرائت تراز آب در مدل یک پیزومتر در گوشه مدل و محلی که آب در آنجا کاملاً آرام است قرار داده شده است.

۶. لوله‌های آبگیر به قطرهای ۳۸، ۵۰ و ۷۵ میلی‌متر و به طول ۵۰ سانتی‌متر انتخاب و جهت تنظیم ارتفاع دهانهٔ آنها از کف مدل ۴۵ سانتی‌متر از آنها رزوه شده است. در این صورت ارتفاع دهانه لولهٔ آبگیر از کف مدل از ۵ سانتی‌متر تا ۴۵ سانتی‌متر قابل تنظیم می‌باشد.

پلان و برش مقطع A-A و B-B از مدل در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است. هم‌چنین شکل‌های ۷ و ۸ مدل و دیگر تجهیزات آن را نشان می‌دهد.

آزمایش‌ها

جهت بررسی ارتفاع تراز سطح آب مدل به صورت تابعی از تغییرات سرعت مماسی جریان تقرب، ۲۱۶ آزمایش انجام شده است. جدول ۱ ترکیب آزمایش‌ها را نشان می‌دهد که در مجموع ۱۰۸ آزمایش و با تکرار آزمایش‌ها ۲۱۶ آزمایش انجام شده است.

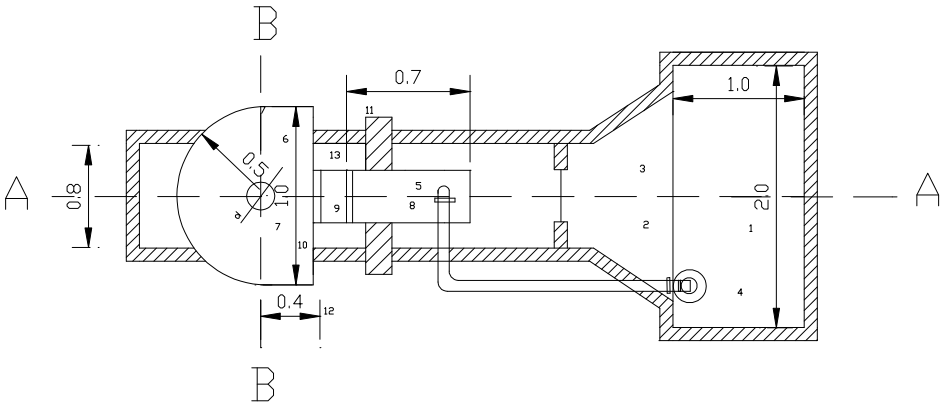
در انجام آزمایش‌ها مراحل یکسانی به شرح زیر انجام گرفته است. ابتدا شیر اصلی ورودی آب به کانال تقرب مدل باز و مقدار بده ورودی تنظیم می‌گردید. پس از حدود ۱۵ دقیقه و حصول اطمینان از یک نواختی بده جریان، زاویه پره‌های جهت دهندهٔ جریان α و ارتفاع دهانهٔ آبگیر از کف حوضچه تنظیم شده است. چون تغییر این ارتفاع منجر به تغییر سرعت‌های مماسی جریان (سرعت جریان تقرب) خواهد شد که پارامتر اصلی این تحقیق است. پس از تنظیمات فوق و طی زمان حدود ۲۰ دقیقه جهت پایدار شدن گرداب ایجاد شده، تراز سطح آب در مدل از پیزومتر قرائت می‌گردید. جهت افزایش اطمینان از نتایج آزمایش‌ها و اثبات قابل تکرار بودن آزمایش، هر آزمایش حداقل دو بار تکرار گردیده است.

در جدول ۲ قطر لوله‌های آبگیر و حد بالا و پایین دبی، عدد رینولدز و عدد وبر برای محدودهٔ قطر لوله و دبی استفاده شده در آزمایش‌ها داده شده و در جدول ۳ نمونه نتایج چند آزمایش نشان داده شده است.

در بخش تحلیل ابعادی نشان داده شده که نسبت H/d یکی از پارامترهای مؤثر بر گرداب می‌باشد. این پارامتر می‌تواند نشان دهندهٔ بازدهی سیستم تخلیه آبگیر قائم باشد. زیرا افزایش H در یک دبی ثابت نشان دهندهٔ کاهش سیستم تخلیهٔ آبگیر است. از این نسبت می‌توان به عنوان پارامتر راندمان سیستم آبگیر قائم استفاده نمود. از رابطهٔ ۵ می‌توان با داشتن نسبت استغراق، مقدار ضریب تخلیه آبگیر قائم را به دست آورد. این رابطه نشان دهندهٔ نسبت معکوس ضریب تخلیهٔ آبگیر با نسبت استغراق آبگیر (H/d) در دبی ثابت است. به عبارتی کاهش نسبت استغراق در دبی ثابت نشان‌دهندهٔ افزایش ضریب تخلیه آبگیر و افزایش راندمان تخلیه است.

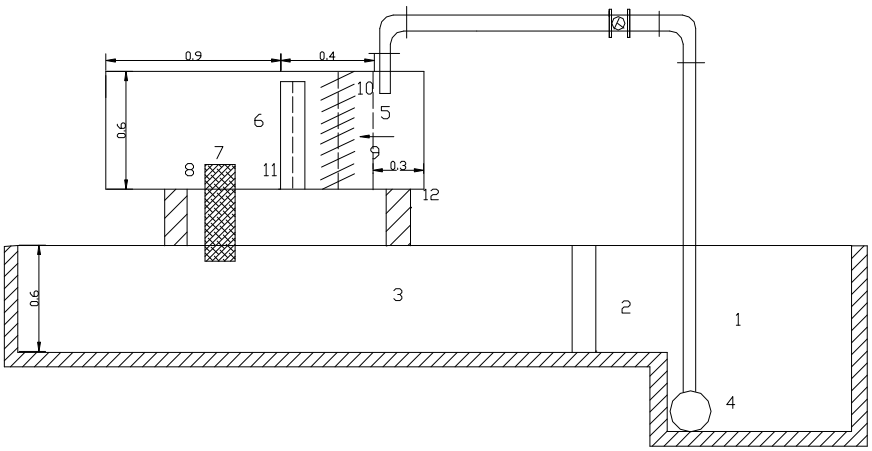
[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.4.3.7]



۱- منبع ذخیره آب ۲- سرریز مثلثی ۳- کانال پایین دست مدل ۴- پمپ ۵- کانال تقریب مدل ۶- حوضچه آبگیر مدل ۷- لوله آبگیر
۸- صفحه مشبک آرام کننده جریان ۹- پره‌های اصلی ۱۰- پره‌های عمودی ۱۱- پایه‌های مدل ۱۲- پیزومتر ۱۳- پیچ تنظیم زاویه پره‌ها

شکل ۴. پلان مدل آزمایشگاهی

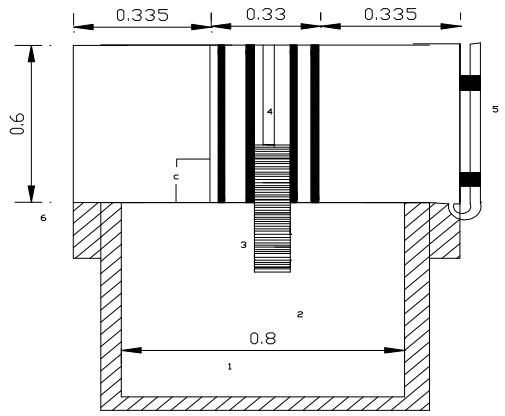


۱- منبع ذخیره آب ۲- سرریز مثلثی ۳- کانال پایین دست مدل ۴- پمپ ۵- کانال تقریب مدل ۶- حوضچه آبگیر مدل
۷- لوله آبگیر ۸- تبدیل ۹- صفحه مشبک آرام کننده جریان ۱۰- پره‌های اصلی ۱۱- پره‌های عمود ۱۲- پایه‌های مدل

شکل ۵. برش مقطع A-A مدل

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.4.3.7]



۱- کانال پایین دست مدل ۲- لوله آبگیر ۳- تبدیل ۴- پره‌های عمودی ۵- پیزومتر ۶- پایه‌های مدل

شکل ۶. برش مقطع B-B مدل آزمایشگاهی

شکل ۷. مدل آزمایشگاهی با سیستم انتقال آب در حال آزمایش

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.4.3.7]

شکل ۸ . مدل درحال آزمایش و گرداب تشکیلی

جدول ۱. متغیرهای آزمایش در بررسی حاضر

ردیف	قطر لوله آبگیر	دبی	ارتفاع دهانه آبگیر	زاویه جریان تقرب	تعداد آزمون
	d	Q	ازکف H’	نسبت به دهانه	
	mm	l/s	mm	α^{o}	
۱	۳۸	۱،۱/۵،۲	۳d، ۴d و ۵d	۱۵،۳۰، ۴۵ و ۶۰	۳۶
۲	۵۰	۲،۲/۵،۳	۳d، ۴d و ۵d	۱۵،۳۰، ۴۵ و ۶۰	۳۶
۳	۷۵	۳ ،۵ ،۴	۲d، ۳d و ۴d	۱۵،۳۰، ۴۵ و ۶۰	۳۶

جدول ۲. قطر و حد بالا و پایین دبی، عدد رینولدز و عدد وبر در آزمایش‌ها

قطر دهانه آبگیر d (mm)	دبی Q (lit/sec)	عدد رینولدز $R \times ۱۰^{۴}$	عدد وبر W
۳۸	۱–۲	۲/۷–۵/۲۲	۳۹۹–۱۵۹۶
۵۰	۲–۳	۳/۹۷–۵/۹۶	۷۰۵–۱۵۸۷
۷۵	۳–۵	۳/۹۷–۶/۶۲	۴۷۰–۱۲۹۸

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.4.3.7]

جدول ۳. خلاصه نتایج چند آزمایش

ردیف	قطر لوله آبگیر d (mm)	دبی Q (l/s)	زاویه نسبت به دهانه آبگیر α^{degree}	ارتفاع دهانه آبگیر از کف مدل C (mm)	استغراق آبگیر H (mm)	نسبت استغراق H/d	سرعت مماسی V_θ (m/s)	چرخش Γ	عدد چرخش N_Γ	عددفرود F	ضریب تخلیه آبگیر C_d
۱	۷۵	۵	۱۵	۱۵۰	۱۲۱	۱/۵۸۸	۰/۰۱۷	۰/۰۴۸	۰/۷۳۴	۱/۲۷	۰/۷۱۲
۲	۷۵	۵	۳۰	۱۵۰	۱۵۰	۱/۹۶۹	۰/۰۳	۰/۰۸۵	۱/۲۸۱	۱/۲۷	۰/۶۳۹
۳	۷۵	۵	۴۵	۱۵۰	۱۸۰	۲/۳۷۵	۰/۰۳۸	۰/۱۰۷	۱/۶۴۲	۱/۲۷	۰/۵۸۲
۴	۷۵	۵	۶۰	۱۵۰	۲۰۳	۲/۶۶۴	۰/۰۴۴	۰/۱۲۴	۱/۸۸۶	۱/۲۷	۰/۵۴۹
۵	۵۰	۳	۱۵	۲۰۰	۱۸۸	۳/۷۰۱	۰/۰۰۷	۰/۰۲۰	۰/۳۴۲	۲/۱	۰/۷۰۹
۶	۵۰	۳	۳۰	۲۰۰	۲۱۹	۴/۳۱۱	۰/۱۳	۰/۰۳۶	۰/۶۱۲	۲/۱	۰/۶۵۷
۷	۵۰	۳	۴۵	۲۰۰	۲۵۱	۴/۲۹۱	۰/۰۱۷	۰/۰۴۷	۰/۸۰۴	۲/۱	۰/۶۱۴
۸	۵۰	۳	۶۰	۲۰۰	۲۷۲	۵/۳۵۴	۰/۰۲	۰/۰۵۶	۰/۹۴۰	۲/۱	۰/۵۹۰
۹	۳۸	۱/۵	۱۵	۱۵۲	۱۵۸	۴/۱۴۷	۰/۰۰۴	۰/۰۱۳	۰/۳۲۳	۲/۱۵	۰/۷۴۷
۱۰	۳۸	۱/۵	۳۰	۱۵۲	۱۷۸	۴/۶۷۲	۰/۰۰۸	۰/۰۲۳	۰/۵۸۶	۲/۱۵	۰/۷۰۴

نتایج و بحث

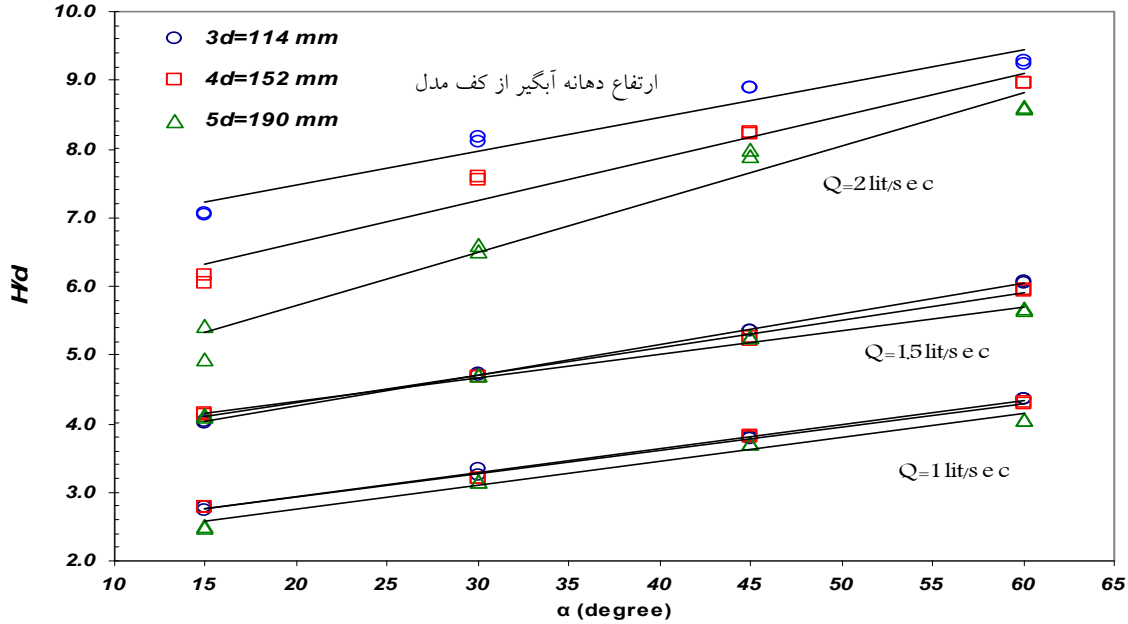
در هر دبی و برای هر لولهٔ آبگیر، نمودار تغییرات نسبت H/d در برابر تغییر زاویه جریان تقرب آبگیر در ارتفاع‌های مختلف دهانه آبگیر رسم شده است (شکل‌های ۹-۱۱).

همان گونه که در این نمودارها دیده می‌شود، روند تغییرات نسبت استغراق (H/d) در برابر تغییر زاویه جریان تقرب α در محدودهٔ آزمایش‌ها خطی و صعودی است. افزایش زاویه جریان خروجی از کانال تقرب منجر به افزایش مؤلفهٔ مماسی جریان تقرب شده و نیز باعث افزایش نسبت استغراق آبگیر می‌گردد. افزایش نسبت استغراق نشان دهندهٔ کاهش بازدهی آبگیر است. تغییر ارتفاع دهانهٔ آبگیر از کف مدل نیز بر نسبت استغراق تأثیر گذار است، به طوری که افزایش ارتفاع دهانهٔ آبگیری از کف مدل منجر به کاهش نسبت استغراق (افزایش بازدهی) می‌گردد.

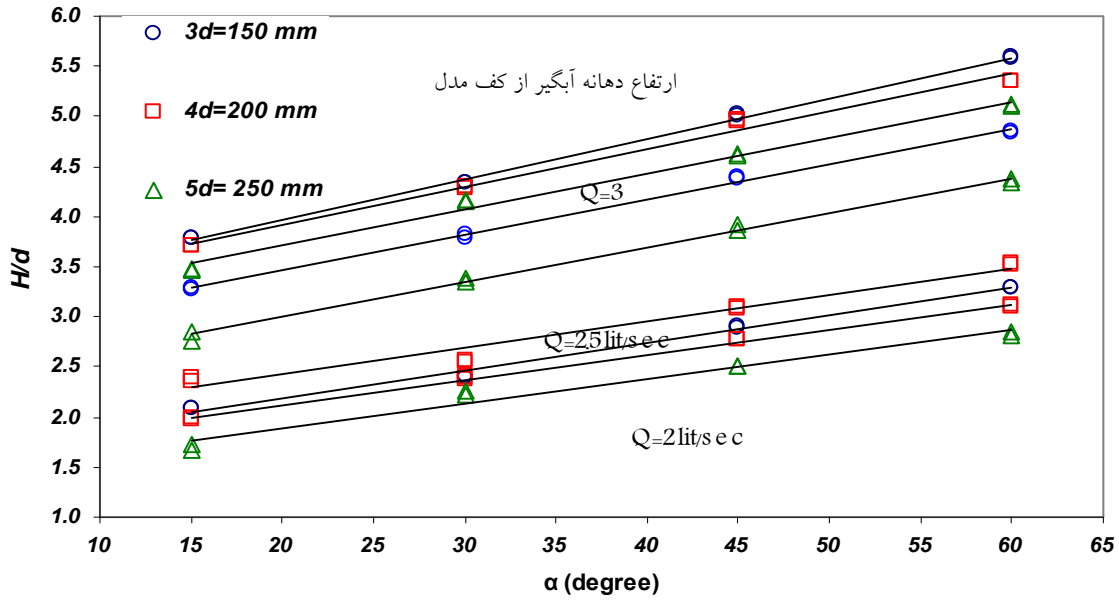
افزایش ارتفاع دهانهٔ آبگیر از کف منجر به افزایش سطح مقطع جریان در کانال تقرب می‌گردد. از آنجا که این افزایش ارتفاع در دبی ثابت انجام شده است، لذا افزایش سطح مقطع جریان باعث کاهش سرعت جریان در کانال تقرب می‌گردد. این کاهش سرعت بر مؤلفهٔ مماسی آن نیز تأثیر گذار بوده و در نتیجه کاهش سرعت مماسی جریان تقرب را در پی خواهد داشت. نمودار شکل‌های ۱۲-۱۴ تغییرات نسبت استغراق را در برابر تغییر سرعت مماسی جریان نشان می‌دهد. تغییر سرعت مماسی در این نمودارها ناشی از تغییر زاویه جریان تقرب و تغییر ارتفاع دهانهٔ آبگیر از کف مدل است. همان گونه که از این نمودارها استنباط می‌شود، تغییر زاویه جریان تقرب و تغییر ارتفاع دهانهٔ آبگیر به دلیل تأثیر مستقیم بر مؤلفهٔ مماسی سرعت باعث تغییر نسبت استغراق آبگیر می‌شود.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.4.3.7]



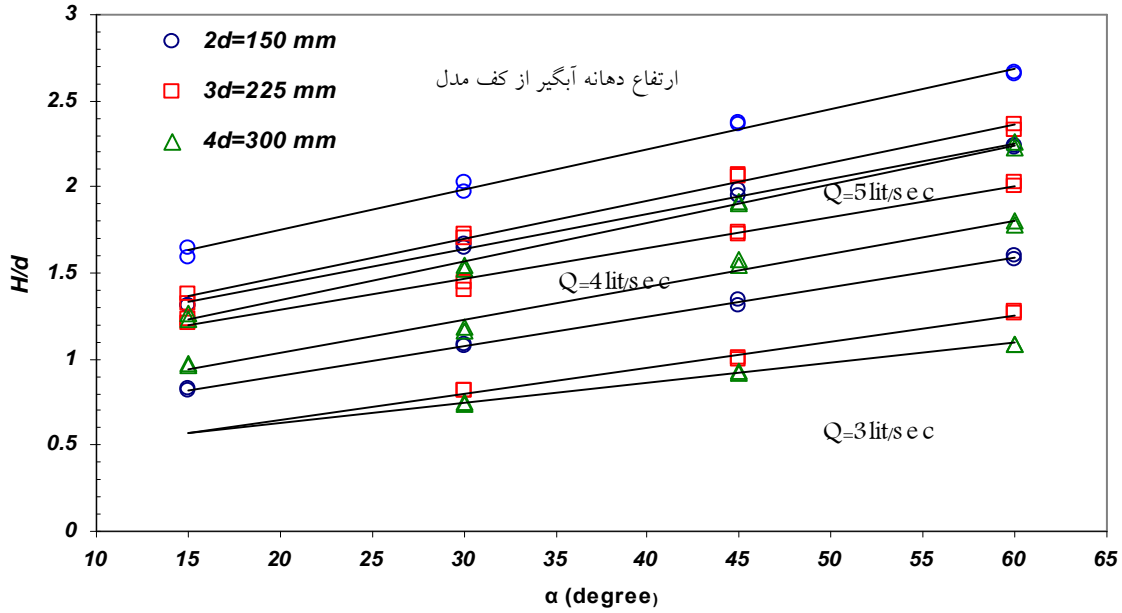
شکل ۹. نمودارتغییرات نسبت استغراق (H/d) در برابر تغییر زاویه جریان تقرب α در لوله آبگیر به قطر d=۳۸ mm و دبی ۱ lit/sec، ۱/۵lit/sec و ۲ lit/sec



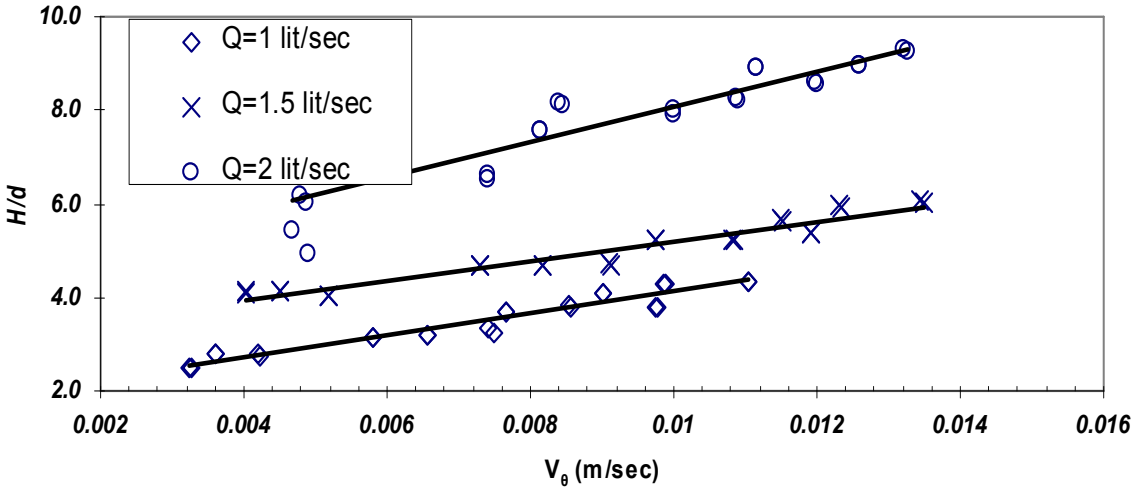
شکل ۱۰. نمودار تغییرات نسبت استغراق (H/d) در برابر تغییر زاویه جریان تقرب α در لوله آبگیر به قطر d= ۵۰mm و دبی ۲ lit/sec، ۲/۵ lit/sec و ۳ lit/sec

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.4.3.7]



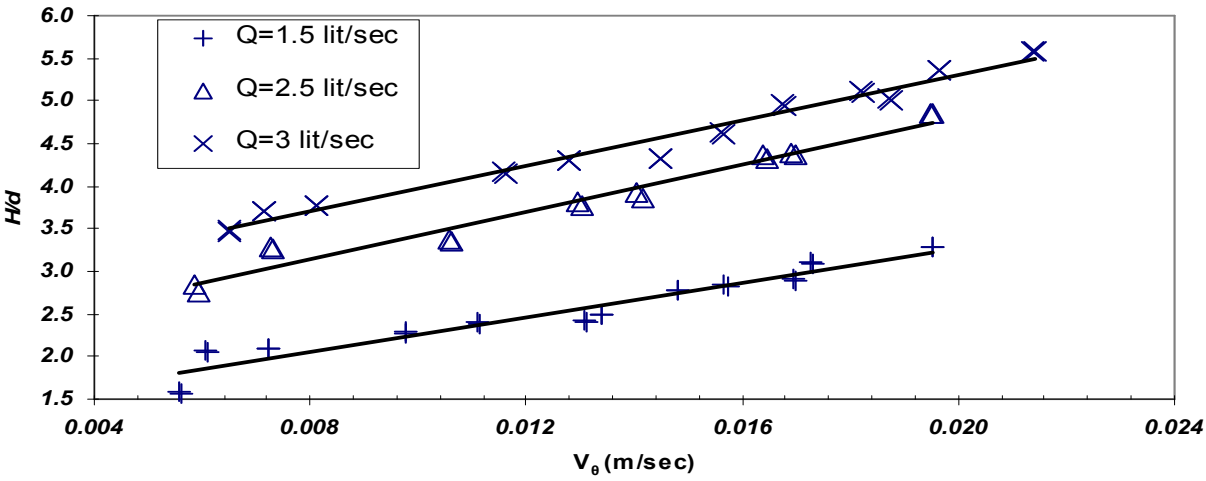
شکل ۱۱. نمودار تغییرات نسبت استغراق (H/d) در برابر تغییر زاویه جریان تقرب α در لوله آبگیر به قطر d=۷۵ mm و دبی ۳ lit/sec، ۴ lit/sec و ۵ lit/sec



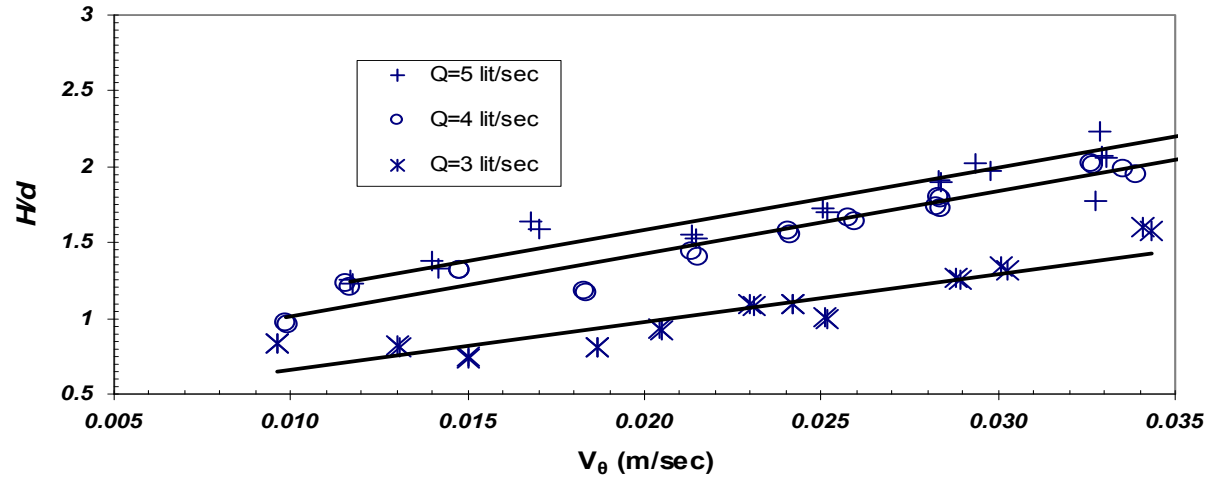
شکل ۱۲. تغییرات نسبت استغراق (H/d) در برابر سرعت مماسی جریان تقرب V_θ برای آبگیر با قطر d=۳۸mm

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.4.3.7]



شکل ۱۳. تغییرات نسبت استغراق (H/d) در برابر سرعت مماسی جریان تقرب V_θ برای آبگیر با قطر d=۵۰ mm



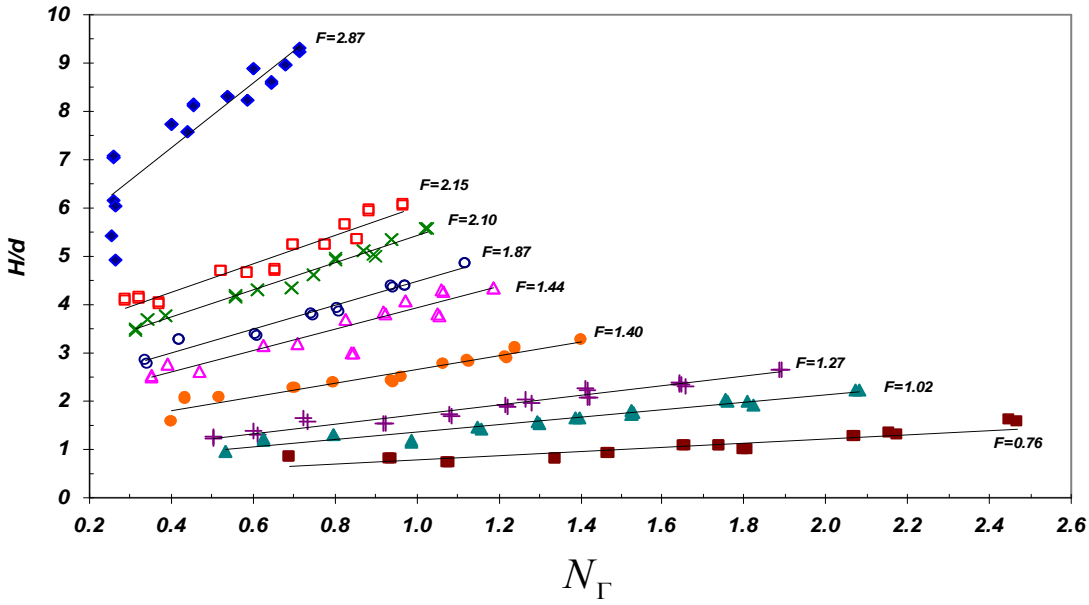
شکل ۱۴. تغییرات نسبت استغراق (H/d) در برابر سرعت مماسی جریان تقرب V_θ برای آبگیر با قطر d=۷۵ mm

همان طور که با تحلیل ابعادی انجام گرفته و اعمال شرایط چشم پوشی از تأثیر کشش سطحی و ویسکوزیته بر آزمایش‌ها، نشان داده شد، عدد سیرکولاسیون، عدد فرود و نسبت استغراق پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر گرداب می‌باشند. نمودار شکل‌های ۱۲-۱۴ را می‌توان با استفاده از اعداد بدون بعد به صورت نمودار شکل ۱۵ خلاصه نمود. در نهایت نمودار تغییرات نسبت استغراق در برابر تغییر عدد چرخش برای اعداد فرود متفاوت در شکل ۱۵ رسم شده است.

همان گونه که در شکل ۱۵ مشاهده می‌گردد، افزایش عدد فرود جریان باعث افزایش عدد استغراق آبگیر می‌شود. هم‌چنین با افزایش عدد فرود شیب خطوط تغییرات عدد سیرکولاسیون در برابر عدد استغراق نیز افزایش می‌یابد. در یک عدد فرود ثابت

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.4.3.7]



شکل ۱۵. تغییرات عدد چرخش N_Γ در برابر نسبت استغراق (H/d) برای اعداد فرود مختلف

افـزایش عـدد سیرکولاسـون منجـر بـه افـزایش عـدد اسـتغراق می‌گردد. شکل‌های ۹-۱۱ در طراحی آبگیرهـا مـی‌توانـد بسـیار مفید باشد. چون اطلاع از مقدار V_θ (سـرعت مماسـی جریـان تقرب)، ارتفاع آبگیری از کف بر ضریب تخلیه آبگیـر قـائم بـه طراحان برای طرح سازه‌های ضد گرداب کمـک خواهـد نمـود. با در نظر گرفتن شرایط جریان در آبگیر و استفاده از شـکل ۱۵ می‌توان عدد استغراق آبگیر را به دست آورده و سـپس ضـریب تخلیه آبگیر C_d را با استفاده از رابطه ۵ محاسبه نمود.

نتیجه‌گیری

آبگیر قائم یکی ازسـازه‌هـایی اسـت کـه بـه منظـور آبگیـری از رودخانه‌ها و یا مخازن استفاده می‌گردد. از مشکلات اصـلی کـه این نوع آبگیرها با آن مواجه هستند، ایجاد گرداب‌های قـوی در دهانهٔ آنهاست که منجر به افت بازدهی سیستم آبگیری می‌شـود. در این مطالعه با ساخت مدل آزمایشـگاهی اثـر مؤلفـهٔ مماسـی سرعت جریان تقرب و ارتفاع دهانهٔ آبگیر بر ضـریب تخلیـهٔ آن با ۲۱۶ آزمایش بررسی شده است. با تحلیل ابعـادی نشـان داده شده است اعداد بدون بعد رینولدز، فرود، وبر، سیرکولاسـیون و نسبت استغراق بر گرداب ایجـادی مؤثرنـد. بـا در نظـر گـرفتن نظرات داگت و کلوگان ۱۹۷۴(۶) و جین و همکـاران ۱۹۷۸(۹) و واگنـر۱۹۵۶ (۱۰) بـرای چشـم پوشـی از اثـر ویسـکوزیته و کشش سطحی بر آزمایش‌ها از اثر اعداد رینولدز و وبر بـر ایـن سری آزمایش‌ها چشم پوشـی شـده اسـت. در شـکل ۱۵ نتـایج آزمایش‌ها با استفاده از اعداد بدون بعد فـرود، سیرکولاسـیون و استغراق نشان داده شده است. با اسـتفاده از رابطـهٔ ۵ مـی‌تـوان نسبت استغراق محاسبه شده از نمودار شـکل ۱۵ را بـه ضـریب تخلیهٔ آبگیر تبدیل نمود. با توجه به نمودار شکل ۱۵ نتایج زیـر استنباط می‌گردد.

۱. افزایش عدد سیرکولاسـیون در یـک جریـان بـا عـدد فـرود ثابت، منجر به کاهش ضریب تخلیهٔ آبگیر می‌شود. هم‌چنین با کاهش عدد فرود جریان، اثر عدد سیرکولاسیون بر ضریب تخلیهٔ آبگیر کاهش می‌یابد و بر عکس.
۲. با افزایش عدد فرود جریان تأثیرپذیری تغییر سیرکولاسـیون بر گرداب نیز بیشتر می‌شود. این مسأله در نمودار شـکل ۱۵ با افزایش شیب خطوط تغییر نسبت استغراق در برابر تغییـر سیرکولاسیون برای اعداد فرود متفاوت مشاهده می‌شود.
۳. با توجه به این کـه عـدد سیرکولاسـیون مسـتقیماً تـابعی از مؤلفهٔ مماسی سرعت می‌باشـد، عـواملی کـه باعـث کـاهش

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-12]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.4.3.7]

سرعت مماسی جریان تقرب می‌گردند، باعث افزایش ضریب تخلیهٔ آبگیر خواهند شد. در نتیجه کاهش زاویه جریان تقرب و هم چنین افزایش ارتفاع دهانهٔ آبگیر از کف باعث افزایش ضریب تخلیهٔ آبگیر می‌شود.

۴. عواملی که باعث افزایش سیرکولاسیون جریان تقرب می‌گردند باعث کاهش بازدهی سیستم آبگیر نیز می‌شوند. با توجه به این امر در طراحی آبگیرها به منظور افزایش راندمان آبگیر، باید سعی شود زاویه جریان تقرب نسبت به دهانهٔ آبگیر حداقل ممکن و هم‌چنین ارتفاع دهانهٔ آبگیر از کف در حداکثر ممکن باشد. که این مسأله می‌تواند باعث تضعیف گرداب و کاهش هزینه‌های تحمیلی بر آبگیر گردد.

با توجه به نتایج فوق اعمال نظرات زیر در طراحی آبگیرها به منظور کاهش آثار مخرب گرداب در سیستم آبگیر قائم وافزایش راندمان تخلیه این آبگیرها پیشنهاد می‌گردد:

کاهش سیرکولاسیون جریان تقرب با روش‌های زیر:

۱. افزایش سطح مقطع کانال تقرب آبگیر به منظور کاهش سرعت تقرب جریان.
۲. سعی در هدایت یک نواخت و مستقیم جریان به سمت آبگیر که این کار را می‌توان با نصب پره‌هایی قبل از آبگیر عملی نمود.
۳. افزایش ارتفاع دهانهٔ آبگیر از کف حوضچه، به منظور اعمال این مسأله در طراحی‌ها می‌توان حوضچه آبگیر را به گونه‌ای طراحی نمود که از کف کانال تقرب تا حد امکان پایین‌تر باشد.

منابع مورد استفاده

۱. زمردیان، س. م.ع. و م. ر. شجاعیان. ۱۳۸۱. مطالعه تأثیر هندسه کانال تقرب بر ضریب آبدهی آبگیر قائم با استفاده از مدل آزمایشگاهی. مجموعه مقالات ششمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز، صفحه ۵۵۹-۵۶۶.

۲. شجاعیان، م. ر. ۱۳۸۱. مطالعه آزمایشگاهی هندسه کانال تقرب بر ضریب تخلیه سرریز نیلوفری. پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران، گرایش سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

۳. کبیری سامانی، ع. و س. م. برقعی. ۱۳۸۰. بررسی نحوه قرارگیری صفحات ضد گرداب بر بازدهی سازه‌های آبگیری. مجموعه مقالات سومین کنفرانس هیدرولیک ایران، تهران، صفحه ۳۷-۴۵.

4. Ansar, M. and T. Nakato. 2001. Experimental study of 3D pump-intake flow with and without cross flow. J. Hydraul. Eng. 127 (10): 824-834.
5. Anwar, H. O., J. A. Weller and M. B. Amphlett. 1978. Similarity of free vortex at horizontal intake. J. Hydraul. Res. 16 (2): 95-100.
6. Dagget, L. L. and G. H. Keulegan. 1974. Similitude conditions in free-surface vortex formation. J. Hydraul. Eng. 100 (11): 1565-1580.
7. Gulliver, J. S. and A. J. Rindels. 1987. Weak vortex at vertical iniakes. J. Hydraul. Eng. 113 (9): 1101-1116.
8. Hite, J. E., W. Mih. 1994. Velocity of air-core vortices at hydraulic intakes. J. Hydraul. Eng. 120 (3): 284-297.
9. Jain, A. K. and K. G. Ranga Raju and R. J.Garde. 1978. Vortex formation at vertical pipe intakes. J. Hydraul. Eng. 104 (10): 1429-1445.
10. Odggard, A. 1984. Free-surface air core vortex. J. Hydraul. Eng. 112 (7): 610-620.
11. Padmanabhan, M., G. E. Hecker. 1984. Scale effects in pump sump models. J. Hydraul. Div., 110 (11): 1540-1556.
12. Poul, T. C., S. K. Sayal, V. S. Sokhuja and G. S. Dhillon. 1991. Vortex seting basion design considerations. J. Hydraul. Eng. 117 (2): 172-189.
13. Rankine. W. J. M. 1858. Manual of Applied Mechanics. C. Griffon Co. pub., London, England.
14. Yildirim, N. and F. Kocabas. 1995. Critical submergence for intakes in open channel flow. J. Hydraul. Eng. 121 (12): 900- 905.
15. Zielinski, P. B. and J. R. Villemonte. 1968. Effect of viscosity on vortex-orifice flow. J. Hydraul. Div.94 (3): 745-752.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-12]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1384.9.4.3.7]