

بررسی آزمایشگاهی تأثیر آشغال‌گیر روی مشخصات گردابه تشکیل‌شده در دهانه آبگیر نیروگاه‌های برق آبی در دبی و اعماق استغراق مختلف

نوید آقاجانی^۱

حجت کریمی*^۲

سیدفرهاد موسوی^۳

حامد سرکرده^۴

چکیده

یکی از معضلات و مشکلات اساسی که معمولاً آبگیرهای نیروگاه‌های برق آبی با آن مواجه هستند، تشکیل جریان گردابی و آشفته در دهانه آبگیرها است. استفاده از روش پردازش تصاویر با استفاده از تکنیک PTV در بررسی هیدرولیک جریان عبوری از آبگیر افقی به همراه آشغال‌گیر با بازشدگی معین، تحت اعماق استغراق و دبی‌های مختلف و مقایسه آن با آبگیر بدون آشغال‌گیر موضوعی است که در این پژوهش به آن پرداخته شده است. آشغال‌گیر مورد استفاده دارای درصد بازشدگی ۶۴ درصد می‌باشد و آزمایش‌ها در شش عدد فرود معادل ۰/۶، ۰/۸، ۱، ۱/۲، ۱/۴ و ۱/۶ و پنج نسبت عمق استغراق به قطر آبگیر معادل ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ انجام شده است. لازم به ذکر است قطر دهانه آبگیر در مدل ۱۶ سانتی‌متر است که به صورت لب زنگوله‌ای به ۲۱ سانتی‌متر می‌رسد. طبق نتایج حاصله، بهترین عملکرد آشغال‌گیر در کاهش قدرت گرداب در عدد فرود یک اتفاق افتاده است. در این عدد فرود، با نصب آشغال‌گیر به‌طور میانگین، حدود ۵۶ درصد کاهش قدرت گرداب اتفاق افتاده است که بیشترین مقدار آن نیز در عمق استغراق نسبی ۲ رخ داده است. بیشترین کاهش عمق استغراق بحرانی نسبی نیز در عدد فرود معادل یک رخ داده است که نصب آشغال‌گیر منجر به کاهش ۲۴ درصدی عمق استغراق بحرانی نسبی شده است.

واژه‌های کلیدی

آشغال‌گیر، عمق استغراق نسبی، عدد فرود، گردابه، چرخش گردابه.

۱. دانشجوی دکترای مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، n.aghajani@semnan.ac.ir

۲. استادیار گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، hkarami@semnan.ac.ir

۳. استاد گروه مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، fmousavi@profs.semnan.ac.ir

۴. استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری، sarkardeh@hsu.ac.ir

مقدمه

آبگیرهای افقی نامتقارن که بیشتر مورد استفاده قرار گرفته است به صورت زیر است:

$$\left(\frac{S}{D}\right)_{cr} = 2.3 \times Fr \quad (1)$$

از طرفی امفلت^۵ در سال ۱۹۷۶ فرمول توصیه شده توسط ردی^۶ و پیکفورد^۷ را بررسی و اعلام نمود که این رابطه در آبگیرهای عمودی و افقی نتایج مناسبی ارائه می دهد.

$$\left(\frac{S}{D}\right)_{cr} = C \times Fr^{0.5} - 0.5 \quad (2)$$

C ضریبی تجربی برابر ۳/۳ تا ۳/۹۵ است.

ادگارد^۸ در سال ۱۹۸۶ در مطالعه ای، ورود گرداب با هسته هوایی به آبگیر منفرد واقع در مخزن آب ساکن را از راه تقریب مدل رانکین مورد بررسی قرار داد. او رابطه زیر را پیشنهاد کرد:

$$\left(\frac{S}{D}\right)_{cr} = \frac{48 \times \Gamma}{Fr \sqrt{gD^3}} \quad (3)$$

Γ چرخش گرداب^۹ می باشد و از رابطه زیر به دست می آید:

$$\Gamma = 2\pi r V_{\theta} \quad (4)$$

r فاصله شعاعی از مرکز گرداب و V_{θ} سرعت مماسی گرداب است.

هایت^{۱۰} و می^{۱۱} در سال ۱۹۹۴، مطالعه ای شکل و توزیع سرعت گرداب آزاد را بررسی کردند. آن ها رابطه زیر را برای عمق استغراق بحرانی ارائه کردند که به صورت زیر است:

$$\left(\frac{S}{D}\right)_{cr} = 1.65 \times \tau_N \times Fr \quad (5)$$

τ_N عدد ثابت کلف می باشد و مقدار آن بین ۰/۰۵۵ تا ۲/۴۵ متغیر است.

ایلدیریم^{۱۲} و کوکاباس^{۱۳} در سال ۱۹۹۵، با کمک گرفتن از جریان پتانسیل توانستند یک حل تحلیلی را برای عمق استغراق بحرانی نسبی در جریان یکنواخت به دست آورند. آن ها آبگیرهای عمودی رو به پایین واقع در کانال را به صورت تحلیلی و آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار دادند.

گردابه سطح آزاد به عنوان یکی از مشکلات صنعت در بخش نیروگاه های برق آبی است که تلاش های محققین در این زمینه نشان دهنده اهمیت این موضوع است. گردابه می تواند باعث لرزش های اضافه، کاهش بهره وری، آسیب های سازه ای و همچنین کاهش جریان در توربین های هیدرولیکی، پمپ ها و همچنین عامل آسیب و به عنوان پتانسیل ریسک در نیروگاه ها باشد.

هدایت و مهار آب عاری از اجسام شناور در تضمین سلامت عملکرد نیروگاه های برق آبی بسیار مهم است. هیدرولیک آبگیر، با وجود آشغال گیر، پیچیده است. هدف از این پژوهش مشخص شدن میزان تأثیر عمق استغراق نسبی و دبی در صورت تشکیل گردابه، با استفاده از روش پردازش تصاویر^۱ و استفاده از تکنیک PTV^۲، روی چرخش گرداب، سرعت و نوع گرداب، هیدرولیک جریان روی مخزن و سرعت جریان دهانه آبگیر بررسی شود. تمایز این پژوهش با مطالعات گذشته استفاده از تکنیک PTV در محیط نرم افزار متلب است که تاکنون انجام نشده است و کاملاً جنبه نوآورانه دارد. همچنین مطالعه سرعت محوری (V_z) دهانه آبگیر و ارائه رابطه برای آن است که تاکنون مطالعه در این قسمت صورت نگرفته است.

پیشینه تحقیق

محققین زیادی با استفاده از نتایج مدل و نمونه واقعی^۳ سعی در به دست آوردن رابطه ای برای تعیین پارامتر عمق استغراق بحرانی کرده اند. بعضی از محققین $\left(\frac{S}{D}\right)_{cr}$ را تابعی از سرعت ورودی آبگیر (عدد فرود) دانسته اند (S عمق استغراق و D قطر آبگیر) که در این قسمت آورده شده است. رابطه پیشنهادی گوردن^۴ در سال ۱۹۷۰ بر اساس مشاهدات نمونه واقعی می باشد، جهت تعیین حداقل عمق استغراق در

۷. Odgaard

۸. vortex circulation

۹. Hite

۱۰. Mih

۱۱. Yildirim

۱۲. Kocabas

۱. Image processing method

۲. Particle Tracking Velocimetry

۳. Prototype

۴. Gordon

۴. Amphlett

۵. Reddy

۶. Pickford

پیشنهاد آنان، گردابها بر اساس قدرت مکش ذرات معلق و یا هوا به سه گروه تقسیم شده اند. گروه اول، گردابهایی هستند که تشکیل آنها خطری برای نیروگاه به همراه ندارد که شامل گردابهای نوع یک و نوع دو می شود. گروه دوم گردابهای دارای مخروط چرخشی تا محدوده آبگیر و همچنین مکنده ذرات شناور به داخل آبگیر می باشند که گردابهای نوع سه و چهار را در برمی گیرد. در نهایت نیز گردابهای نوع پنج و شش که گردابهای واردکننده هوا به داخل تونل نیروگاه هستند گروه سوم را تشکیل می دهند. برای اینکه گردابی روی آبگیرها تشکیل نشود می بایست یک حداقل عمق روی دهانه آبگیر وجود داشته باشد. این عمق حداقل، عمق استغراق بحرانی (S_{Cr}) نامیده می شود. آنان با انجام آزمایش به این نتیجه رسیدند که قدرت و انواع گرداب با افزایش شیب دیواره آبگیر تا حالت قائم کاهش می یابد. علاوه بر این افزایش شیب دیواره آبگیر، بی ثباتی گردابها (کاهش قدرت گردابها) را افزایش می دهد. تمام آزمایشها با وجود سازه آشغال گیر دوباره انجام شد و یک رابطه برای قدرت گردابها و عمق استغراق بحرانی دریچه بر پایه عدد فرود دریچه و شیب دیواره به دست آمد. علاوه بر این، یک رابطه بین مقاومت و انواع گردابها نیز ارائه شد. در نهایت نیز برای عدد چرخش^۸ نیز فرمولی به دست آوردند.

$$\left(\frac{S_c}{D}\right)_5 = 2 \left(\frac{1}{Z}\right)^{0.008} Fr^{0.334} T^{0.369}, N_r \geq 0.016 \quad (8)$$

$$\left(\frac{S_c}{D}\right)_3 = 2.43 \left(\frac{1}{Z}\right)^{0.008} Fr^{0.334} T^{0.369}, N_r \geq 0.011 \quad (9)$$

$$N_r = 0.06 \left(\frac{S}{D}\right)^{-1.912} \left(\frac{1}{Z}\right)^{0.015} (Fr)^{0.638} (T)^{0.706} \quad (10)$$

که در آن N_r عدد چرخش، Z شیب دیواره آبگیر و T میزان بازشدگی آشغال گیر^۹ است که در پروژه فوق برابر ۰/۷۵ است.

ناکایاما^۱ و هیساسو^۲ در سال ۲۰۱۰ با روش شبیه سازی جریان گردابی در کانالهای آبگیر LES گردابهای بزرگ^۳ نیروگاههای برق آبی را بررسی کردند. آنها پس از مطالعه دو فرمول LES مدل در مقیاس آزمایشگاهی و استفاده از روش زیر را برای جلوگیری از ایجاد گرداب در آبگیر توصیه کردند:

$$\frac{S}{D} = 2.1 + Fr^{0.66} \quad (6)$$

یینگکوی^۴ و همکاران در سال ۲۰۱۱، با استفاده از مدل آزمایشگاهی سد نیروگاهی Xiluodu به این نتیجه رسیدند که با افزایش شیب بالادست آبگیر می توان عمق استغراق بحرانی را کاهش داد و از قدرت گرداب کاست.

گولیچ^۵ و همکاران در سال ۲۰۱۴، گردابهای کوچک به وجود آمده در سطح آزاد آب را تحت شرایط جریان و هندسی خاص، در آبگیرهای نیروگاههای برق آبی مورد مطالعه قرار دادند. در این مطالعه یک مدل نیمه تجربی ارائه شده که پیش بینی می کند چگونه هندسه آبگیر و شرایط جریان، مشخصات گرداب را مشخص می کند.

مولر^۶ و همکاران در سال ۲۰۱۵، رابطه (۷) را برای تخمین عمق استغراق بحرانی ارائه کردند:

$$\left(\frac{S}{D}\right)_{Cr} = -2.5 Fr_D^{-0.45} + 5.3, Fr_D = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (7)$$

فرمول فوق نیز برای اعداد فرود آبگیر بین ۰/۲۶ تا ۱/۲ ارائه شده است.

روشن^۷ و همکاران در سال ۲۰۰۹، مطالعه ای روی گرداب مدل هیدرولیکی سد گذارلندر (سد مسجسلیمان) و نیروگاه آن داشتند. تحقیقات آنها نشان داد که وجود دیوار ضد گرداب باعث حذف و یا کاهش قدرت گردابها می شود و همچنین از ورود هوا جلوگیری می کند.

سرکرده و همکاران در سال ۲۰۱۰، مقاومت موجود در هر گرداب را با اندازه گیری سرعت مماسی به وسیله ADV اندازه گیری کردند. آزمایشها با یک آبگیر با شیب دیواره، دبی و عمق استغراق متفاوت انجام دادند که نتایج حاصل از آزمایشها نشان از تشکیل شش نوع گرداب داشت. بر اساس

۶. Möller
۷. Roshan
۸. Circulation number
۹. Trashrack opening

۱. Nakayama
۲. Hisasue
۳. Large eddy simulation
۴. yingkui
۵. Suerich-gulick

آبگیر افقی در شرایط تشکیل گرداب با هسته هوا^۸ را مورد بررسی قرار دادند و در انتها مکانیسمی برای تشکیل گرداب‌های سطحی ارائه کردند. آزمایش‌ها را روی یک آبگیر افقی با عمق استغراق ثابت و برای دو عدد فرود مختلف انجام دادند. آن‌ها یک جریان رو به پایین مخروطی شکل بالای محور آبگیر و یکی دیگر زیر محور آبگیر در مخزن مشاهده کردند و در نهایت نیز دامنه غالب سرعت‌های افقی و قائم را مشخص کردند.

خان آرمویی^۹ و همکاران در سال ۱۳۹۳، تأثیر زاویه آبگیری و قدرت گرداب‌های سطحی تشکیل شده در آبگیر منفرد را بر عمق استغراق بحرانی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها خاطرنشان ساختند که با تغییر زاویه آبگیری از حالت عمود به ۴۵ درجه و افقی قدرت گرداب‌های سطحی تشکیل شده کاهش پیدا کرده است.

$$N_F = 0.358(Fr)^{0.25} \left(\frac{S}{D}\right)^{-0.71} \quad (12)$$

$$N_F = 0.41(Fr)^{0.252} \left(\frac{S}{D}\right)^{-0.708} \quad (13)$$

$$N_F = 0.486(Fr)^{0.39} \left(\frac{S}{D}\right)^{-0.584} \quad (14)$$

رابطه‌های فوق به ترتیب مربوط به آبگیر افقی، مایل و قائم است.

شیخی^{۱۰} و همکاران در سال ۱۳۹۳، به بررسی اثر پارامترهای مؤثر بر عمق استغراق بحرانی در دهانه آبگیر افقی پرداختند. معادله پیشنهادی آن‌ها به صورت زیر است:

$$\left(\frac{S}{D}\right)_{cr} = -0.8864 + \left(\frac{7.5114 \times \left(\frac{b}{D}\right)^{-0.3183}}{1 + \exp\left(-\frac{Fr - 1.51}{1.385}\right)} \right) \quad (15)$$

که b عرض کانال است.

آن‌ها رابطه‌ای جهت تخمین عمق استغراق بحرانی در آبگیرهای قائم به دست آوردند و در نهایت معادله زیر را برای تعیین عمق بحرانی نسبی در آبگیرهای قائم ارائه کردند:

امیری و همکاران در سال ۲۰۱۱، تأثیر صفحات مشبک^۱ و یکپارچه^۲ افقی نصب شده در بالای آبگیر را به منظور جلوگیری از تشکیل گرداب‌های سطحی در این مقاله مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها رابطه زیر را به منظور تأثیر میزان بازشدگی صفحه افقی ضد گرداب را بر میزان حاصل ضرب عدد فرود در عدد چرخش ارائه کردند.

$$N_F = 0.421(\theta + .01)^{0.032} \left(\frac{S}{D}\right)^{-0.69} (Fr)^{0.184} \quad (11)$$

که در رابطه بالا θ ، زاویه پره‌هایی^۳ برای ایجاد چرخش اضافی به جریان است.

ابراهیمی اوردکلو^۴ و همکاران در سال ۹۰، رابطه عمق استغراق بحرانی با سرعت محوری در آبگیرهای افقی سدهای نیروگاهی را به دست آوردند و تأثیر آن روی قدرت گرداب را بررسی کردند.

آن‌ها پارامترهای مؤثر بر عمق استغراق بحرانی در آبگیرهای افقی را بررسی کردند و بیان کردند با افزایش دبی آبگیری قدرت گرداب‌ها زیاد می‌شود و افزایش شیب دیواره آبگیر نیز منجر به کاهش عمق استغراق بحرانی و به تبع آن کاهش قدرت گرداب می‌شود.

تقوایی^۵ و همکاران در سال ۲۰۱۲، روی سازه‌های ضد گرداب در سدهای برق آبی بررسی‌هایی انجام دادند. آزمایش‌ها را با توجه دسته گرداب به وجود آمده در عمق استغراق‌های مختلف و دبی‌های مختلف روی ۱۳ مدل سازه ضد گرداب انجام دادند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که صفحات افقی بهترین عملکرد را در حذف گرداب‌ها دارند.

نادری^۶ و همکاران در سال ۲۰۱۲، ضریب دبی را در آبگیرهای قائم با صفحات اضافه به دست آوردند. آنان بیان کردند که وقوع گرداب در یک سازه آبگیر باعث بالا رفتن عمق استغراق بحرانی و کاهش ضریب دبی می‌شود که هر دو آن‌ها باعث عملکرد هیدرولیکی نامطلوب می‌شود.

سرکرده^۷ و همکاران در سال ۲۰۱۳، با انجام آزمایش‌هایی در مجاورت یک آبگیر افقی، الگوی جریان در اطراف یک

۷. Sarkardeh

۸. Air-core vortex

۹. Khanarmouyi

۱۰. Sheikhi

۱. Perforated anti-vortex plates

۲. Solid anti-vortex plates

۳. Vane angle

۴. Ebrahimi

۵. Taghvayi

۶. Naderi

آنالیز ابعادی

رابطه پارامتری مؤثر در جریان گردابی در آبگیرهای منفرد از راه تحلیل ابعادی به صورت رابطه (۱۸) بیان می شود:

$$f(S, \Gamma, V, D, \varphi, g, \sigma, \rho, \nu, T, r) = 0 \quad (18)$$

در رابطه (۱۸)، S عمق استغراق، Γ چرخش گرداب، V سرعت جریان ورودی آبگیر، D قطر درونی آبگیر، g شتاب گرانش زمین، ρ جرم حجمی آب، ν لزجت سینماتیک سیال، σ کشش سطحی، φ زاویه آبگیری، T درصد بازشدگی آشغال گیر و r شعاع مؤثر گرداب است. در این پژوهش سعی بر این است در انتها رابطه هایی به منظور تعیین قدرت گرداب و سرعت محوری در دهانه آبگیر بر اساس پارامترهای فوق در آبگیر همراه با آشغال گیر با بازشدگی ۶۴ درصد که دارای میله های ۶ میلی متر و فاصله آزاد ۲/۵ سانتی متر از یکدیگر هستند، ارائه شود.

مواد و روش ها

مبنای مدل سازی فیزیکی و تحلیل ابعادی

«عدد فرود آبگیر» یکی از مهم ترین پارامترهایی است که جریانات با سطح آزاد در مخزن را تحت تأثیر قرار می دهد. این موضوع به راحتی قابل درک است. زیرا جریان ورودی به آبگیر تحت تأثیر ثقل می باشد. برای مدل کردن جریان آبگیر، جز در مواردی نادر، تقریباً کلیه محققین در این که مدل فیزیکی آبگیرها باید طبق قانون "برابری عدد فرود در نمونه واقعی و مدل"، ساخته شوند، هم عقیده هستند.

امکان ایجاد شرایطی که ذکر شد، مستلزم آن است که جریان با اعداد فرود مختلف بتواند به ازای یک عمق استغراق ثابت در داخل مجرای آبگیر توسعه یابد. بدیهی است حصول چنین امری در حالت جریان ثقلی امکان پذیر نیست زیرا در تخلیه ثقلی جریان، عمق آب در مخزن و سرعت در مجرای آبگیر (عدد فرود) به طور مستقیم باهم در ارتباط اند. برای رفع این مشکل در مدل مورد نظر، باید پمپی به طور مستقیم به مجرای آبگیر متصل گردد تا بتوان با تنظیم قدرت آن، میزان سرعت در مجرا را به صورت مستقل از عمق آب مخزن تنظیم نمود. همچنین به منظور ثابت نگه داشتن عمق آب مخزن، به ازای دبی های مختلفی که توسط پمپ جریان می یابند، لوله رانش پمپ باید مستقیماً به داخل مخزن

$$\left(\frac{S}{D}\right)_{cr} = -8.189 + \left(\frac{3.689 \times (N_r)^{0.168} + \left(\frac{b}{D}\right)^{0.0394}}{[1 + \exp(\text{Fr} - 0.119)]^{-0.316}} \right) \quad (16)$$

N_r عدد چرخش است و برابر $\left(\frac{\Gamma}{VD}\right)$ می باشد.

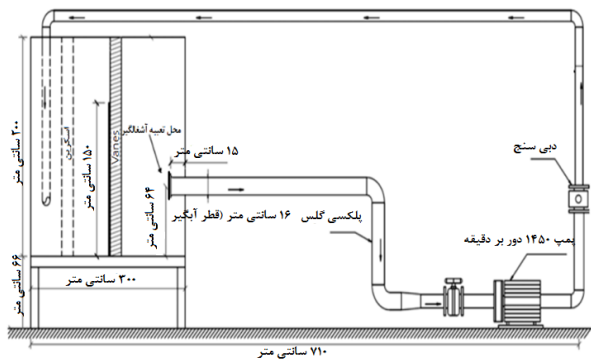
آذریپیرا^۱ و همکاران در سال ۲۰۱۴، تأثیر تشکیل گرداب ها را روی سرعت ورقه ای در مخازن مورد بررسی قرار دادند. آن ها کانتور سرعت ورقه ای را رسم کردند و تأثیر تشکیل گرداب را روی شرایط جریان در مخزن بررسی کردند. نتایج آنان نشان داد، خطوط کانتور سرعت در اعماق مختلف استغراق که نواحی چرخشی تشکیل شده در مکان های پتانسیل مختلف، باعث ایجاد گرداب است.

سرکرده و همکاران در سال ۲۰۱۴، شبیه سازی عددی و تحلیل جریان را در مخزن همراه با گرداب های قوی انجام دادند. آن ها مدل عددی خود را با داده های آزمایشگاهی و تئوری موجود صحت سنجی کردند. آزمایش های آن ها در یک مخزن با گرداب های قوی در بالای آبگیر انجام شد. آن ها یک الگوی جریان به شکل قیف در بالای آبگیر مخزن به رسمیت شناختند و مرزهای جریان را نیز تعریف کردند. نادری و همکاران در سال ۲۰۱۴، اثر صفحات قائم روی ضریب دبی آبگیرهای قائم بررسی کردند و در نهایت فرمولی برای عمق استغراق بحرانی ارائه کردند.

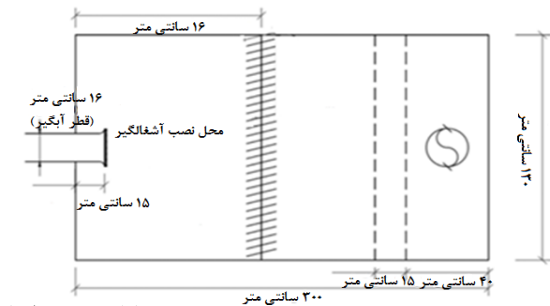
$$\left(\frac{S}{D}\right)_{cr} = 3\text{Fr}^{0.248} \quad (17)$$

با توجه به مطالعات انجام شده فرمول های مختلفی به منظور تعیین عمق استغراق نسبی و قدرت گرداب بر اساس پارامترهای مختلف ارائه شده است. آنچه مشخص است تاکنون مطالعات زیادی پیرامون تأثیر آشغال گیر روی عمق استغراق نسبی و پارامترهای تأثیرگذار گردابه نظیر سرعت در محورهای مختلف و قدرت گردابه انجام نشده است. هدف از این پژوهش مطالعه هیدرولیک جریان روی مخزن و دهانه آبگیر تحت تأثیر وجود آشغال گیر و تعیین عمق استغراق نسبی و ارائه فرمول به منظور قدرت گرداب با روشی مبتنی بر روش لاگرانژی می باشد که تاکنون پژوهشی در این زمینه با این روش انجام نشده است. همچنین در انتها نیز سرعت محوری در دهانه آبگیر (V_z) با توجه به پارامترهای مؤثر تعیین خواهد شد.

۱/۳ متر است که دارای ارتفاع ۳ متر است. این مخزن دارای یک آبگیر به قطر لوله ۱۶ سانتی متر می باشد که به صورت لب زنگوله ای با قطر ۲۱ سانتی متر طراحی شده است. شکل شماتیک مخزن فوق در شکل (۱) آمده است. لازم به ذکر است که پمپ مورد استفاده برای این آزمایش، ظرفیت آبدی ۰/۰۶ مترمکعب بر ثانیه را دارا می باشد.

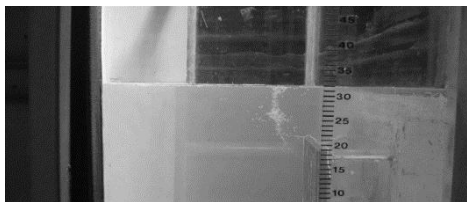


هدایت گردد تا همواره مقدار آب ثابتی در سیستم در حال گردش باشد. بدین ترتیب، می توان در ابتدا مخزن را تا عمق مورد نظری از آب پر کرد و سپس با تغییر دور الکتروموتور، دبی های مختلفی را در آبگیر برقرار کرد. در این تحقیق از مدل آزمایشگاهی که در موسسه تحقیقات آب بر مبنای موارد فوق ساخته شده است، استفاده شد. مخزن آبگیر مورد مطالعه، یک مخزن مستطیلی به طول ۲ متر و عرض



شکل (۱): شماتیک

با گام های زمانی تعیین شده انجام می شود و سپس فریم های حاضر، توسط کد نوشته شده در جعبه ابزار PTV در نرم افزار Matlab پردازش می شوند. کدها با دستور مشخص فراخوانده می شوند و با اعمال پارامترهای مشخص شناسایی ذرات صورت می گیرد و دنبال کردن ذرات به منظور تحلیل روی هیدرولیک جریان عبوری از دهانه آبگیر در دو حالت با آشغال گیر و بدون آشغال گیر با توجه به خط مسیر حرکت ذره و اندازه گیری میدان سرعت و رسم کانتور سرعت و اندازه گیری قدرت گرداب انجام می شود. خاطرنشان می شود فیلم های برداشت شده با یک دوربین حرفه ای همراه با رزولوشن مناسب (چیزی در حدود ۱۰۱۶ در ۱۰۱۶ پیکسل) گرفته شده است که نمای بالا و کنار را در شکل (۲) مشاهده می شود.



روش پردازش تصویر^۱

در این پژوهش از دو دوربین که یکی برای نمای بالا و یکی نمای کنار به منظور بررسی هیدرولیک جریان در محل آشغال گیر و امکان ایجاد گرداب و نوع آن در دهانه آبگیر استفاده شده است. با توجه به فیلم برداری از جریان در اطراف آشغال گیر، کانتور سرعت متوسط و میدان جریان و میزان قدرت گرداب^۲، شعاع گرداب و محل تشکیل آن نسبت به دهانه آبگیر به منظور مطالعه مشخصات جریان حول دهانه آبگیر محاسبه می شوند. برای این کار از تکنیک PTV استفاده می شود. در این روش از چند نورافکن هالوژنی یون لیتیومی به عنوان منبع نور برای شفاف سازی میدان حرکت ذرات و یک آینه نیز برای انعکاس بیشتر نور استفاده می شود. اندازه، چگالی و بازتاب نور^۳ عوامل تعیین کننده در انتخاب نوع ذره است. چگالی ذرات باید متناسب با میدان جریان باشد، اندازه ذره نیز هرچقدر کوچک تر باشد میزان تبعیت بیشتری از حرکت جریان دارد ولی از طرفی باید اندازه ذره طوری باشد که قابل دید در عکس های گرفته شده توسط دوربین باشد. در این آزمایش و با توجه به موارد ذکر شده از ذرات از جنس پلی اتیلن سنگین^۴ با چگالی حدود ۰/۹۴۱ گرم بر سانتی متر مکعب استفاده شده است. پس از انجام آزمایش ها و برداشت فیلم ها از محدوده مورد نظر، فریم بندی

۳. Reflectivity

۴. HDPE

۱. Image Processing method

۲. Circulation

بدون و همراه آشغال‌گیر صورت می‌پذیرد. پارامترهای یادشده در دو حالت مجزا تحلیل می‌شوند و سپس تأثیر آشغال‌گیر روی هر یک از آن‌ها موردبررسی قرار می‌گیرد. ابتدا میزان قدرت گرداب یا چرخش آن را در اعماق استغراق نسبی و دبی‌های مختلف باهم مقایسه می‌شود. چرخش یک انتگرال خطی در اطراف منحنی بسته از میدان سرعت است که با Γ مشخص می‌شود و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\Gamma = \oint V \cdot dl \quad (19)$$

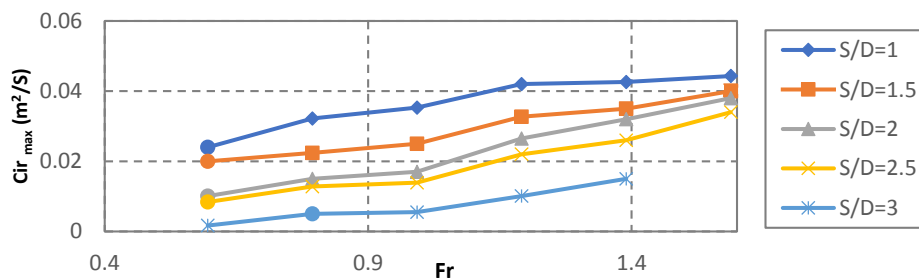
V سرعت سیال در عنصر کوچکی از منحنی تعریف‌شده و dl یک بردار است که نشان‌دهنده طول دیفرانسیل آن عنصر کوچک است. مقدار چرخش گردابه پس از پردازش تصاویر از طریق کد نوشته‌شده در متلب محاسبه شده است.

نتایج حاصله در شکل‌های (۳) و (۴) آورده شده است. با توجه به اینکه با افزایش عمق استغراق نسبی امکان ایجاد گردابه پایدار کمتر است، در این اعماق و عموماً در اعداد فرود پایین، امکان اندازه‌گیری چرخش گردابه به دلیل عدم تشکیل گرداب فراهم نبوده است.

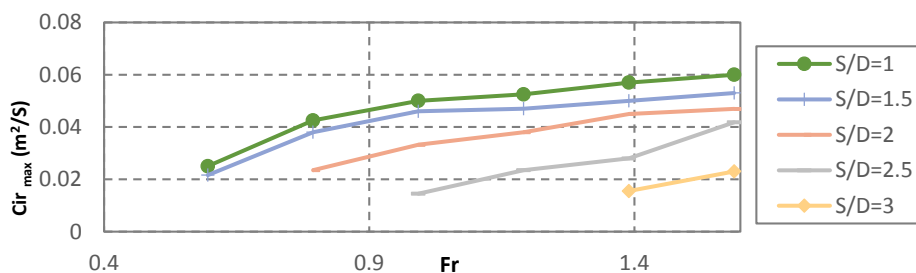
شکل (۲): نمای بالا (شکل بالا) و نمای کنار (شکل پایین) آبگیر آزمایش‌ها در پنج عمق استغراق ۱، ۱/۵، ۲، ۲/۵ و ۳ و شش دبی ۱۵، ۲۰، ۲۵، ۳۰، ۳۵ و ۴۰ لیتر بر ثانیه صورت پذیرفته است که اعداد فرود ۰/۶، ۰/۸، ۱، ۱/۲، ۱/۴ و ۱/۶ متناظر با دبی‌های فوق می‌باشند. لازم به ذکر است با توجه به اینکه سرعت حداکثر جریان نزدیک شونده به آبگیر در حدود ۰/۷۵ تا ۱ متر بر ثانیه است محدوده دبی‌های مورد استفاده در این بازه انتخاب شده است. طبق مطالعات انجام‌شده درصد بازشدگی معمول برای آشغال‌گیرها در حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد در نظر گرفته می‌شود که در این پژوهش بازشدگی ۶۴ درصد مورد مطالعه قرار گرفته است.

نتایج و بحث

همان‌طور که بیان شد در این پژوهش تحلیل روی قدرت و شعاع و محل گرداب نسبت به آشغال‌گیر، سرعت در راستاهای مختلف و عمق استغراق بحرانی در دو حالت آبگیر



شکل (۳): نمودار چرخش گرداب بر حسب عدد فرود و اعماق استغراق در آبگیر با آشغال‌گیر با بازشدگی ۶۴ درصد

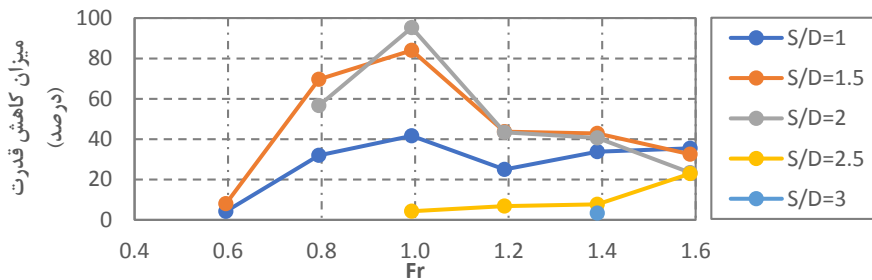


شکل (۴): نمودار چرخش گرداب بر حسب عدد فرود و اعماق استغراق در آبگیر بدون آشغال‌گیر

همان‌طور که از شکل‌های فوق پیداست بیشترین قدرت گرداب در تمامی اعداد فرود مربوط به عمق استغراق نسبی ۱ و در حالت آبگیر بدون آشغال‌گیر است. کمترین قدرت گرداب نیز مربوط به عمق استغراق نسبی ۳ و در حالت آبگیر همراه آشغال‌گیر می‌باشد. نکته شایان توجه عملکرد مؤثر آشغال‌گیر در کاهش قدرت گرداب می‌باشد. با توجه به

شکل‌های فوق، میانگین قدرت گرداب در عمق استغراق نسبی ۱/۵ بدون آشغال‌گیر ۰/۰۴۳ مجذور متر بر ثانیه و میانگین قدرت گرداب در عمق استغراق نسبی ۱ همراه با آشغال‌گیر ۰/۰۳۷ مجذور متر بر ثانیه است که ملاحظه می‌شود با وجود کاهش عمق استغراق، قدرت گرداب حدود ۱۴ درصد کاهش یافته است. با تحلیل اشکال، قدرت گرداب در

عدد فرود ۱/۶ و در اعماق استغراق ۲/۵ بدون آشغال گیر و ثانیه است که این نشان از عملکرد مؤثر آشغال گیر در ۱/۵ با آشغال گیر تقریباً مساوی و برابر ۰/۰۴ مجذور متر بر اضمحلال قدرت گرداب دارد.



شکل (۵): نمودار کاهش قدرت گرداب در صورت نصب آشغال گیر

با توجه به شکل (۵) می توان متوجه عملکرد بسیار مؤثر آشغال گیر در عدد فرود معادل یک شد. در این عدد فرود، با نصب آشغال گیر به طور میانگین، حدود ۵۶ درصد کاهش قدرت گرداب اتفاق افتاده است. بیشترین کاهش قدرت نیز مربوط به عمق استغراق نسبی ۲ و در همان عدد فرود است. دلیل آن نیز تغییر نوع گرداب از حالت ۳ به ۱ است که در ادامه بحث خواهد شد. باید خاطر نشان کرد که بهترین عملکرد آشغال گیر در اعماق استغراق نسبی ۱/۵ و ۲ رخ داده است به طوری که در این اعماق کاهش قدرت گرداب به ترتیب چیزی در حدود ۴۶/۷ و ۵۱/۸ درصد است. دلیل این امر نیز مشخص است. چون عمق استغراق بحرانی حدوداً در همین بازه قرار دارد و با نصب آشغال گیر میزان آن افزایش پیدا می کند و در نتیجه به طور محسوس از قدرت گرداب کاسته می شود.

با تقسیم بندی گرداب ها به شش گروه متوجه تأثیر عملکرد آشغال گیر را روی نوع گرداب می توان شد. همان طور که مشاهده می شود بیشترین تأثیر آشغال گیر روی اعماق استغراق نسبی ۲ و ۱/۵ و اعداد فرود متناظر یک و ۱/۴ است. در این دو حالت به ترتیب گرداب نوع ۳ و ۶ با دو درجه نزول تبدیل به گرداب های ۱ و ۴ شده اند. این نتایج هماهنگی خوبی با نتایج ارائه شده توسط سرکرده و همکاران (۲۰۱۰) دارد.

جدول (۳): میزان عمق استغراق بحرانی نسبی و درصد کاهش آن با نصب آشغال گیر

۱/۶	۱/۴	۱/۲	۱	۰/۸	۰/۶	
۱/۸۹	۱/۸۱	۱/۷۶	۱/۷	۱/۳۱	زیر ۱	بدون آشغال گیر
۱/۷۵	۱/۴۵	۱/۴۱	۱/۳۰	۱/۱۹	زیر ۱	با آشغال گیر
۷/۴	۱۹/۹	۱۹/۹	۲۳/۵	۹/۲	-	درصد کاهش $(S/D)_{cr}$

با توجه به جدول (۳) نیز می توان متوجه شد که بیشترین کاهش عمق استغراق بحرانی نسبی در عدد فرود یک رخ داد است. کمترین تأثیرگذاری آشغال گیر نیز مربوط به $S/D=3$ است. دلیل این امر نیز تشکیل گرداب های ضعیف نوع یک در هر دو حالت با آشغال گیر و بدون آشغال گیر می باشد که باعث شده عملکرد آشغال گیر محسوس نباشد.

پارامتر دیگری که مورد بررسی قرار گرفته است سرعت حداکثر اتفاق افتاده گرداب های تشکیل شده است. همان طور که مشخص است بیشترین سرعت گرداب در سطح آب ایجاد می شود که از برآیند سرعت در راستاهای X و Y گرداب در دامنه تحت تأثیرش با شعاع مؤثر I در سطح آب، توسط کد نوشته شده در متلب محاسبه می شود. سرعت بالاتر گرداب

جدول (۱): نوع گرداب بر اساس عمق استغراق و عدد فرود در آبگیر بدون آشغال گیر

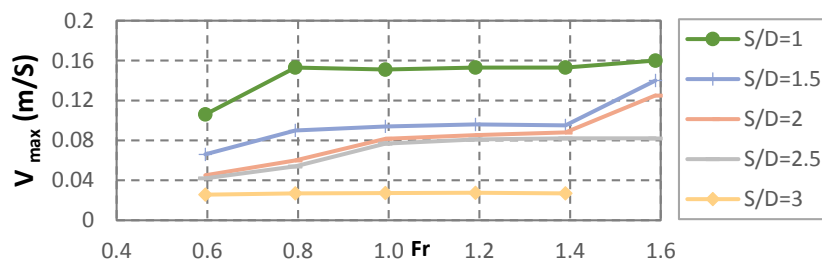
Fr	۱/۶	۱/۴	۱/۲	۱	۰/۸	۰/۶	S/D
۱	۶	۶	۶	۵	۵	۲	۱
۱/۵	۶	۶	۵	۵	۴	۱	۱/۵
۲	۴	۳	۳	۳	۲	-	۲
۲/۵	۴	۳	۲	۱	-	-	۲/۵
۳	۲	۱	-	-	-	-	۳

جدول (۲): نوع گرداب بر اساس عمق استغراق و عدد فرود در آبگیر همراه آشغال گیر

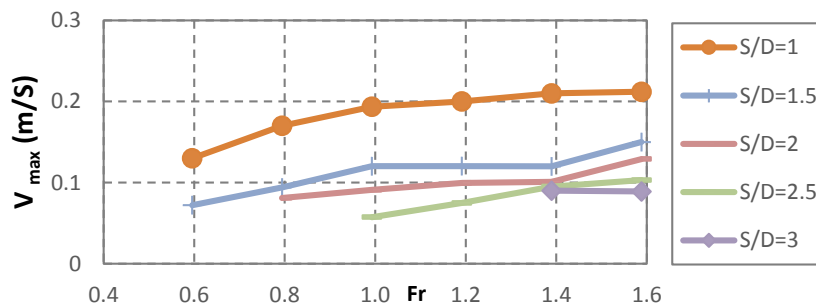
Fr	۱/۶	۱/۴	۱/۲	۱	۰/۸	۰/۶	S/D
۱	۶	۶	۶	۵	۵	۱	۱
۱/۵	۶	۴	۴	۴	۴	۱	۱/۵
۲	۴	۳	۳	۱	۱	۱	۲
۲/۵	۴	۳	۲	۱	۱	۱	۲/۵
۳	۰	۱	۱	۱	۱	۱	۳

آشغال گیر و بدون آشغال گیر در تغییر عدد فرود از ۱/۴ به ۱/۶ است به طوری که این افزایش در حالت‌های بدون آشغال گیر در حدود ۲۶/۵ درصد و در حالت همراه آشغال گیر ۴۴/۵ درصد می‌باشد. دلیل این امر نیز واضح است در این دو عدد فرود عمق استغراق بحرانی نسبی در حدود ۱/۵ تا ۲ قرار دارد و ایجاد گرداب همراه با هسته هوا باعث بروز سرعت‌های بالا در گرداب است.

نشان از قابلیت بالای گرداب در مکش مواد مختلف به درون مجرای آبگیر می‌باشد. نتایج حاصله به شرح ذیل می‌باشد. با توجه به شکل (۶) و (۷)، مشخص است که حداکثر سرعت گرداب در تمامی اعداد فرود در $\frac{S}{D}=1$ و به ترتیب در دو حالت بدون آشغال گیر و با آشغال گیر بیشترین مقدار است. با توجه به اینکه در حالت $\frac{S}{D}=3$ فقط چرخش‌های سطحی رخ می‌دهد، بنابراین تغییرات سرعت نسبت به افزایش دبی قابل چشم‌پوشی است. نکته شایان ذکر افزایش محسوس سرعت گرداب در ۴ حالت $\frac{S}{D}=1/5$ و $\frac{S}{D}=2$ در دو حالت با



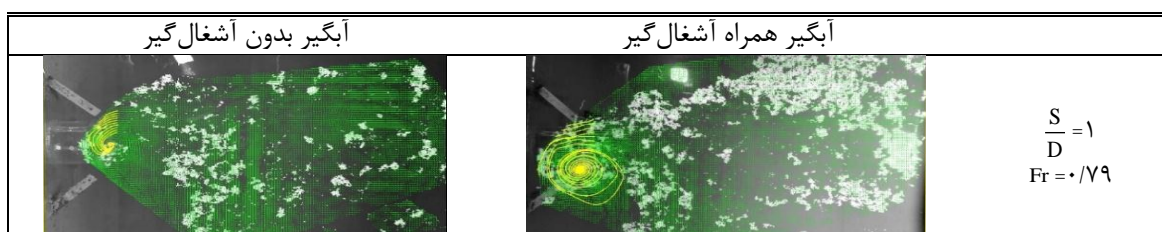
شکل (۶): نمودار حداکثر سرعت برحسب عدد فرود و اعماق استغراق در آبگیر با آشغال گیر با بازشدگی ۶۴ درصد



شکل (۷): نمودار حداکثر سرعت برحسب عدد فرود و اعماق استغراق در آبگیر

است)، مربوط به گردابه تشکیل در تراز سطح آب آورده شده است. باید توجه داشت، نمای گرفته شده توسط دوربین بالا در $\frac{S}{D}=1, 1/5, 2, 2/5$ و ۳ به ترتیب $69 \times 121, 65 \times 100, 60 \times 94$ و 55×90 و 48×80 است. در ادامه دامنه مؤثر گردابه، یعنی جایی که حداکثر سرعت و قدرت گرداب در آن اتفاق می‌افتد، با تعیین شعاع مؤثر گردابه (r) و فاصله مرکز گرداب تا روی آبگیر (D) تعیین شده است.

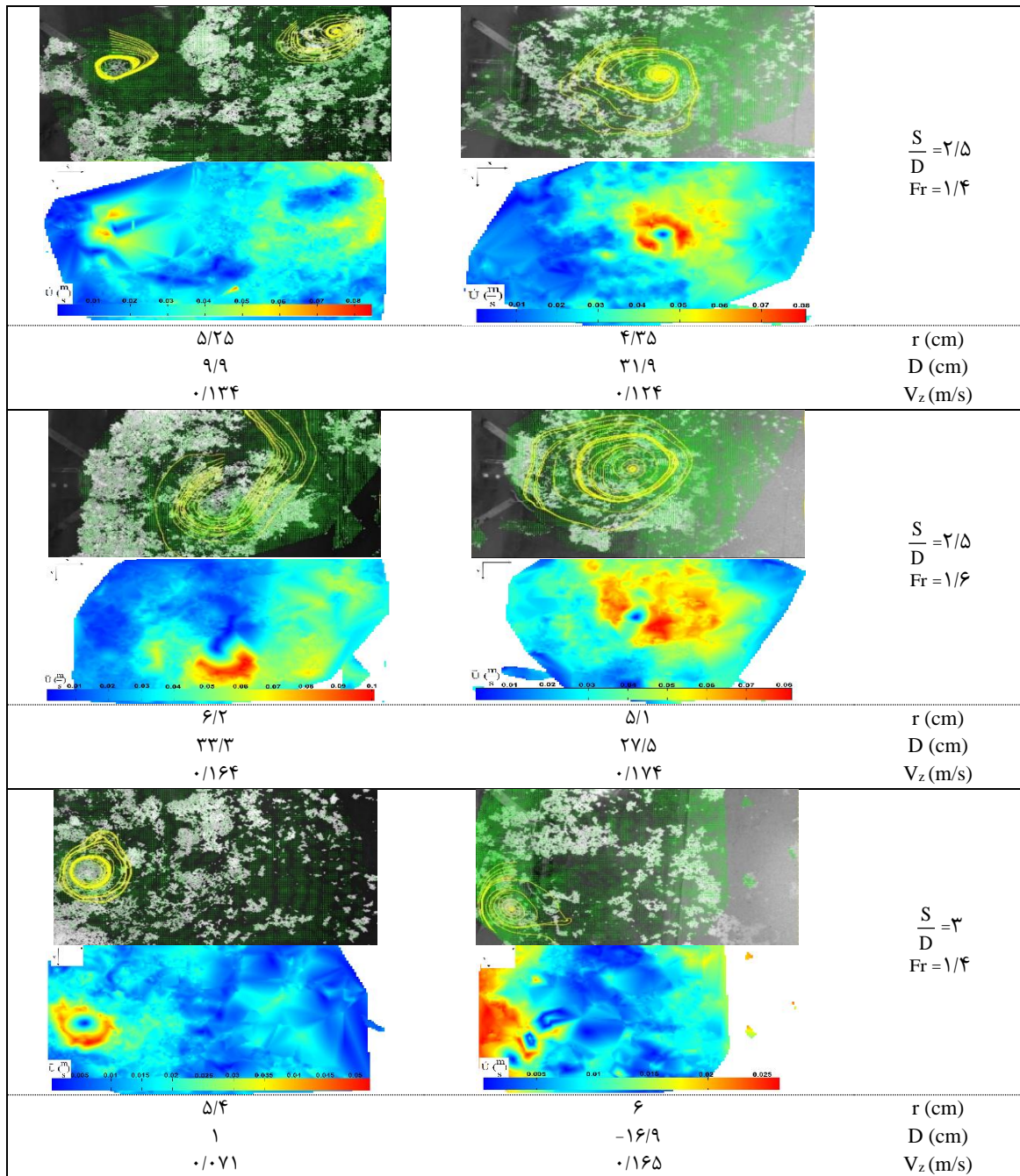
جدول (۴): میدان سرعت و میدان جریان در اعداد فرود و اعماق استغراق مختلف



تحلیل هیدرولیک جریان

در این قسمت با توجه به عمق استغراق و عدد فرود، خط جریان و میدان سرعت در تراز سطح آب بررسی می‌شود. با توجه به فیلم نمای قائم نیز میزان سرعت در ورودی آبگیر آورده شده است. در جدول (۴) خطوط جریان و میدان سرعت کل ($\vec{U}=\sqrt{u^2+v^2}$)، به ازای اعماق استغراق و دبی‌های مختلف (به دلیل کمبود فضا ۷ حالت منتخب آورده شده

		r^* (cm) D^* (cm) V_z^* (m/s)
<p>۶ ۳/۵ ۰/۲۱</p>	<p>۶/۵ ۷ ۰/۲۲۵</p>	
		$\frac{S}{D} = 1/5$ $Fr = 1$
		r (cm) D (cm) V_z (m/s)
<p>۸/۶ ۶/۸ ۰/۱۲</p>	<p>۷/۷.۵ ۱۱/۷ ۰/۲۱</p>	
		$\frac{S}{D} = 2$ $Fr = 1$
		r (cm) D (cm) V_z (m/s)
<p>۵/۱ ۳.۳/۲ ۰/۱۰۵</p>	<p>۵/۹ ۱.۰/۴ ۰/۰۹۲</p>	
		$\frac{S}{D} = 2$ $Fr = 1/4$
		r (cm) D (cm) V_z (m/s)
<p>۷/۱ ۳.۱/۵ ۰/۲۳</p>	<p>۵ ۱.۲/۱ ۰/۲۵</p>	



* شعاع مؤثر گرداب، D فاصله مرکز گرداب تا روی آبگیر و V_z سرعت محوری است.

وجود دارد. علت این امر نیز گرداب بسیار شدید همراه با هسته هوا است که باعث شده محیط وسیع تری را تحت تأثیر خود قرار دهد.

در $\frac{S}{D} = 1/5$ بهترین عملکرد آشغال گیر اتفاق افتاده است. دلیل این امر محدوده عمق استغراق بحرانی است که با نصب آشغال گیر به مقدار آن افزوده می شود. شایان ذکر است در این عمق استغراق نیز، در حالت وجود آشغال گیر سرعت جریان در فواصل دور از آبگیر نزدیک به صفر است و این در حالی است که در حالت آبگیر بدون آشغال گیر به صورت

همان طور که از شکل های فوق پیداست در $\frac{S}{D} = 1$ و در حالت همراه با آشغال گیر اغتشاش جریان کمتر است به طوری که شکل گرداب مشخص است. در حالت آبگیر بدون آشغال گیر مقادیر سرعت کمی بالاتر رفته و اغتشاش بالای جریان باعث شده حالت گرداب کمتر مشخص شود. با توجه به میدان سرعت می توان متوجه شد که در صورت وجود آشغال گیر میزان سرعت با افزایش شعاع گرداب و تا دامنه آن افزایش می یابد ولی در فواصل دور از آبگیر مقادیر سرعت تقریباً نزدیک به صفر است. در صورتی که در حالت آبگیر بدون آشغال گیر در فواصل دور از آبگیر نیز جریان با سرعت کم

عملکرد مؤثر آشغال گیر در اعماق استغراق نسبی کم یعنی ۱ و ۱/۵ اتفاق افتاده است به طوری که هم باعث کاهش ۵۰ درصدی سرعت شده است و هم خطوط جریان فاصله گرفته اند و از میزان آشفتگی جریان کاسته شده است. این اتفاق در سایر اعماق استغراق نیز اتفاق افتاده ولی به صورت چشمگیر نبوده است. دلیل این امر نیز این است که در اعماق کم گرداب نوع قوی شکل می گیرد و وجود آشغال گیر باعث کاهش قدرت گرداب و در نتیجه کاهش آشفتگی و سرعت جریان می شود.

ارائه رابطه به منظور تعیین قدرت گرداب و سرعت دهانه آبگیر

در این پژوهش سعی شده رابطه ای بی بعد، به منظور تعیین قدرت گرداب بر اساس پارامترهای فوق و همچنین شعاع مؤثر گرداب ارائه شود. این روابط به صورت زیر تعریف شده است. رابطه (۲۰) برای تعیین قدرت گرداب در آبگیر همراه بدون آشغال گیر و رابطه (۲۱) نیز برای تعیین قدرت گرداب در آبگیر همراه آشغال گیر پیشنهاد شده است.

$$N_r = 0.25 \left(\frac{r}{R} \right)^{0.7} \quad (20)$$

$$N_r = 0.12 \left(\frac{r}{R} \right)^{0.75} + 0.052 \quad (21)$$

که در رابطه فوق N_r عدد چرخش $\left(\frac{\Gamma}{2\pi g^{1/2} D^{3/2}} \right)$ ، Q دبی ورودی آبگیر، r شعاع مؤثر گرداب و R شعاع دهانه آبگیر می باشد. در روابط زیر نیز چرخش گرداب در دو حالت بدون آشغال گیر (رابطه (۲۲))، همراه با آشغال گیر (رابطه (۲۳)) و در حالت کلی (رابطه (۲۴)) آورده شده است.

$$N_r = 0.04 \left(\frac{S}{D} \right)^{-0.51} (Fr)^{0.67} \quad (22)$$

$$N_r = 0.024 \left(\frac{S}{D} \right)^{-0.66} (Fr)^{0.84} \quad (23)$$

$$N_r = 0.04 \left(\frac{S}{D} \right)^{-0.67} (Fr)^{0.62} (T)^{0.75} \quad (24)$$

که در رابطه فوق T مقدار بازشدگی آشغال گیر است. طبق روابط بالا، در هر دو حالت با آشغالی تر و بدون آشغال گیر، افزایش عمق استغراق نسبی موجب کاهش قدرت گرداب و افزایش عدد فرود و مقدار بازشدگی نیز

نیست. شعاع گرداب نیز در حالت بدون آشغال گیر کمی بزرگتر از حالت همراه با آشغال گیر می باشد.

در $\frac{S}{D} = 2$ در حالت بدون آشغال گیر گرداب در فاصله دورتری نسبت به آبگیر در مقایسه دو عمق استغراق قبلی تشکیل شده است. در حالت همراه با آشغال گیر نیز دو گرداب در دو نقطه متفاوت تشکیل شده است. تشکیل دو گرداب باعث شده سرعت ماکزیمم کاهش پیدا کند. با توجه به خطوط جریان و میدان سرعت در $\frac{S}{D} = 2$ و $Fr = 1/4$ می توان متوجه شد در قسمتی که خطوط جریان فشرده تر است سرعت جریان نیز بیشتر است و با دور شدن خطوط جریان میزان سرعت نیز به طور محسوسی کاهش پیدا می کند.

در $\frac{S}{D} = 2/5$ با توجه به خطوط جریان می توان متوجه شد که تا شعاع حدود ۳۰ سانتی متری جریان چرخشی وجود دارد ولی با نزدیک شدن به مرکز گرداب خطوط جریان به هم نزدیک تر و سرعت نیز بیشتر می شود. این امر با توجه به میدان سرعت نیز قابل برداشت است. نکته جالب توجه افزایش فاصله مرکز گرداب تا روی آبگیر با افزایش عمق استغراق است. به طوری که در این عمق استغراق گرداب در هر دو حالت با آشغال گیر و بدون آشغال گیر در فاصله حدود ۳۰ سانتی متری از مرکز آبگیر تشکیل شده است.

در $\frac{S}{D} = 3$ چرخش های سطحی بسیار ضعیف در سطح آب تشکیل شده است. در صورت وجود آشغال گیر که گرداب با سرعت بسیار پایین و جریان با آشفتگی بسیار کم و شکل گرداب ناپایدار تشکیل شده است. محل تشکیل گرداب نیز در حفاصل بین جداره مخزن و روی گرداب است. در صورتی که در حالت بدون آشغال گیر شکل گرداب مشخص است و سرعت نیز تقریباً دو برابر شده است، خطوط جریان نیز در این حالت فشرده تر شده است.

با مقایسه تمامی خطوط جریان و میدان های سرعت در اعماق استغراق مختلف می توان به این نتیجه رسید که گرداب در هر دو حالت، با افزایش عمق استغراق در فاصله دورتری از روی آبگیر شکل می گیرد. شعاع گرداب های در بازه ۴ تا ۸ سانتی متر متغیر است و می توان گفت با وجود آشغال گیر از مقدار شعاع گرداب در حدود ناچیزی کاسته شده است.

تشکر و قدردانی

از مدیریت گروه سازه‌های هیدرولیکی موسسه تحقیقات آب و شخص مهندس روشن که با در اختیار قرار دادن امکانات موجود، موجبات این تحقیق را فراهم کردند، سپاسگزاری می‌شود.

مراجع

- ۱- ابراهیمی اوردکلو، ف. رضاپور، س. منتظری نمین، م و خراسانی زاده، ع. (۱۳۹۰). رابطه عمق استغراق بحرانی با سرعت محوری در آبگیرهای افقی سدهای نیروگاهی و تأثیر آن روی قدرت گردابه. نشریه سد و نیروگاه برق آبی ایران، (۱۱)، ۲۷-۲۲.
- ۲- ابراهیمی اوردکلو، ف. رضاپور، س. منتظری نمین، م و روشن، ر. (۱۳۹۰). بررسی پارامترهای مؤثر بر عمق استغراق بحرانی در آبگیرهای افقی. اولین کنفرانس بین‌المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برق آبی، تهران.
- ۳- خان آرمویی، م. ر. رحیم زاده، ح؛ و سرکرده، ح. (۱۳۹۳). تأثیر زاویه آبگیری بر عمق استغراق بحرانی و قدرت گرداب. مجله مهندسی مکانیک مدرس، ۱۴ (۱۰)، ۳۵-۴۲.
- ۴- شیخی، ی. لشکرآرا، ب؛ و شهریارپور، م. ع. (۱۳۹۳). بررسی اثر پارامترهای مؤثر بر عمق استغراق بحرانی در دهانه آبگیر افقی. سیزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تبریز.
- ۵- شیخی، ی. روحانی‌پور، ک؛ و لشکرآرا، ب. (۱۳۹۴). ارائه رابطه‌ای جهت تخمین عمق استغراق بحرانی در آبگیرهای قائم. دهمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.
- 6- Amiri, S. M. Zarrati, A. R. Roshan, R. & Sarkardeh, H. (2010). Surface vortex prevention at power intakes by horizontal plates. Proceedings of the Institution of Civil Engineers Water Management, 164 (WM4), 193-200.
- 7- Amphlett, M. B. (1976). Air-entraining vortices at a Horizontal Intake. Hydraulics Research Station Wallingford, U.K. Report No. OD/7.
- 8- Azarpira, M. Sarkardeh, H. Tavakkol, S. Roshan, R. & Bakhshi, H. (2014). Vortices in dam reservoir: A case study of Karun III dam. Indian Academy of Sciences, 39(5), 1201-1209.
- 9- Gordon, J. L. (1970). Vortices at intake structures. Water Power (4), 137-138.
- 10- Gulick, F. S. Gaskin, S. J. Villeneuve, M. & Parkinson, E. (2014b). Free surface intake vortices: Theoretical model and measurements. Journal of Hydraulic Research, 52(4), 502-512.
- 11- Hite Jr, J.E. & Mih, W.C. (1994). Velocity of air-core vortices at hydraulic intakes. Journal of hydraulic Engineering, 120(3), 284-297.

موجب افزایش میزان چرخش گرداب خواهد شد که سرکرده و همکاران در سال ۲۰۱۰ و امیری و همکاران در سال ۲۰۱۱ (با آزمایش روی صفحات مشبک افقی روی آبگیر) به شیوه دیگری به این نتایج رسیده‌اند.

در این پژوهش سعی شده رابطه‌ای به منظور تعیین سرعت محوری در دهانه آبگیر پیشنهاد گردد. طبق رابطه (۲۵) مقدار سرعت بر اساس پارامترهای عمق استغراق نسبی، عدد فرود و میزان بازشدگی محاسبه خواهد شد.

$$\frac{V_z}{V_{in}} = 0.18 \left(\frac{S}{D} \right)^{-1.19} (Fr)^{0.71} (T)^{-0.91} \quad (25)$$

که در آن $(V_{in} = Q/A)$ سرعت در داخل مجرای آبگیر است. بر طبق رابطه فوق، با افزایش تراز مخزن آب و مقدار بازشدگی، سرعت محوری در دهانه آبگیر کاهش پیدا می‌کند و افزایش عدد فرود نیز باعث افزایش این سرعت خواهد شد.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر آشغال‌گیر با بازشدگی ۶۴ درصد روی نوع گرداب، چرخش و میزان چرخش گرداب، محل مرکز گرداب نسبت به دهانه آبگیر، شعاع گرداب و میدان سرعت در سه راستای متعامد بررسی شد. طبق نتایج حاصله، بهترین عملکرد آشغال‌گیر در کاهش قدرت گرداب در عدد فرود معادل یک اتفاق افتاده است. در این وضعیت، با نصب آشغال‌گیر به‌طور میانگین، حدود ۵۶ درصد کاهش قدرت گرداب اتفاق افتاده است. بیشترین تأثیر آشغال‌گیر در اعماق استغراق نسبی ۲ و ۱/۵ و اعداد فرود متناظر یک و ۱/۴ می‌باشد. در این دو حالت به ترتیب گرداب نوع ۳ و ۶ با دو درجه نزول تبدیل به گرداب‌های نوع ۱ و ۴ شده‌اند. با بررسی خطوط جریان و میدان سرعت در اعماق استغراق و دبی‌های مختلف، می‌توان دریافت بهترین عملکرد آشغال‌گیر در اعماق استغراق نسبی کم یعنی ۱ و ۱/۵ اتفاق افتاده است به طوری که هم باعث کاهش ۵۰ درصدی سرعت شده است و هم خطوط جریان فاصله گرفته‌اند و از میزان آشفتگی جریان کاسته شده است. این اتفاق در سایر اعماق استغراق نیز اتفاق افتاده ولی به صورت چشمگیر نبوده است.

- 19- Sarkardeh, H. Zarrati, A. R. Jabbari, E. & Tavakkol, S. (2013). Velocity field in a reservoir in the presence of an air-core vortex. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers Water Management*, 167(WM6), 356-365.
- 20- Sarkardeh, H. Zarrati, A. R. Jabbari, E. & Marosi, M. (2014). Numerical Simulation and Analysis of Flow In A Reservoir In The Presence of Vortex. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 8(4), 598-608.
- 21- Taghvaei, S. M. Roshan, R. Safavi, K. & sarkardeh, H. (2012). Anti-vortex structures at hydropower dams. *International journal of the physical sciences*, 7(28), 5069-5077.
- 22- Yildirim, N. & Kocabas, F. (1995). Critical Submergence for Intake Open Channel Flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(12), 900-905.
- 23- YingKui, W. ChunBo, J. & DongFang, L. (2011). Study on the critical submergence of surface vortices and the design of anti-vortex intakes. *Science China Technological Sciences*, 54(4), 799-804.
- 12- Möller, G. Detert, M. & Boes, R. M. (2015). Vortex-Induced Air Entrainment Rates at Intakes. *Journal of hydraulic engineering*, 141(11).
- 13- Naderi, V. Farsadizadeh, D. Hosseinzadeh Dalir, A. & Arvanaghi, H (2013). Discharge Coefficient in Vertical Intakes with Additional Plates. *Journal of hydraulic structures*, 2, 23-32.
- 14- Naderi, D. Farsadizadeh, D. Hosseinzadeh Dalir, A. & Arvanaghi, H. (2014). Effect of Using Vertical Plates on Vertical Intake on Discharge Coefficient. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 39, 8627–8633.
- 15- Nakayama, A. Hisasue, N. (2010). Large eddy simulation of vortex flow in intake channel of hydropower facility. *Journal of Hydraulic Research*, 48(4), 415–427.
- 16- Odgaard, A. J. (1986). Free-surface air-core vortex. *Journal of Hydraulic Engineering*, 112 (7), 610-620.
- 17- Roshan, R. Sarkardeh, H. & Zarrati, A. R. (2009). Vortex study on a hydraulic model of Godar-e-Landar Dam and Hydropower Plant. *Computational Methods in Multiphase Flow*, 63, 217-225.
- 18- Sarkardeh, H. Zarrati, A. R. & Roshan, R. (2010). Effect of intake head wall and trash rack on vortices. *Journal of Hydraulic Research*, 48(1), 108–112