


Study of The Effects of Anti-Vortex Plates on Vortex Dissipation, Discharge Coefficient and Inlet Loss Coefficient in Hydropower Intakes

Reza Roshan^{1*}, Rasool Ghobadian²

1- PhD Candidate, Water Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran.

2- Associate Professor, Water Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran.

* rezaroshan2631@gmail.com

Received: 1 September 2021, Accepted: 22 March 2022  J. Hydraul. Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: The formation of vortices at the intake and the air entertainment into the intake duct are important hydraulic phenomena that usually occur in the dam intakes and cause such problems as energy loss and reduction of intake discharge coefficient. Among different types of intakes exposed to the vortex phenomenon hydropower intakes are used to supply water for turbines and thus generate electricity. These intakes are mainly horizontal. To prevent the formation of strong surface vortices, their strength must be controlled. A practical solution for this situation is to use anti-vortex structures. These structures mainly eliminate the vortex by reducing the flow velocity near the intake, lengthening the flow path between the free water surface and the mouth of the intake, as well as energy dissipation. Some studies on the structural methods of vortex dissipation have been done by Amiri et al. (2011), Tahershamsi et al. (2012), Monshizadeh et al. (2018), Taghvaei et al. (2012). In this study, the effects of horizontal perforated plates on the dissipation of the strong vortices, the intake discharge coefficient and inlet loss coefficient of the intake are studied.

Methodology: In the present study, a physical model was used to study the performance of horizontal perforated plates. This model was designed to produce the strongest type of vortex with air core and different strengths. The main components of the experimental setup are: reservoir, intake duct, pump and electromotor speed controller device. The dimensions of reservoir is 1.3 m in wide, 3.5 m long and 2 m high. The mouth of intake extends 20 cm into the reservoir and is positioned so that the side walls and the bottom of the reservoir do not affect the flow conditions. The length of the intake pipe is 4.5 m and its diameter is 16 cm. At a distance of 2 m upstream of the intake in the reservoir, some blades are installed vertically that by changing their angle relative to the intake axis, the angle of inflow to the intake can be changed. This makes it possible to strengthen the upstream vorticity to reach stronger vortices. For modeling the perforated anti-vortex plates, some plastic mesh with different openings and different thicknesses were used. For each plate, the corresponding mesh was placed in a metal coil and this coil is screwed to the reservoir wall so that the perforated plate be placed on the mouth of the intake. By creating 36 types of strong vortices, the performance of 10 types of perforated plates with different dimensions, thicknesses and openings was tested.

Results and Discussion: Calibration tests showed that in the range of 1.5D to 2D (where D is the diameter of the intake pipe) for submergence depth, flow discharges of 15 to 30 lit/s and blade angles of 0 to 20 degrees, the stable strong vortices were formed. A total of 36

strong vortices (three relative submergence depths, four flow discharges and three blade angles) were formed with different strengths in the model. In order to consider the appropriate confidence limit in this study, the performance of each of the anti-vortex plates in the model was considered so that it is able to dissipate vortex type-six or decrease to type-two vortices. Therefore, the conditions in which the strength of a type-six vortex was reduced by the relevant anti-vortex plate to a type-three (or higher) vortex are known as critical conditions. It should be noted that the type of vortex is determined based on its appearance. Finally with 360 tests it was concluded that the effect of opening of the plates to eliminate the vortex strength is more than the dimensions and the thickness of the plates. In addition, the effect of using perforated horizontal plates on discharge coefficient and inlet loss coefficient of the intake was studied. It was concluded that the use of perforated anti-vortex plate with openings of 70%, 58% and 50% respectively reduces the intake discharge coefficient by 5.9%, 10.5%, and 13.4%. It is also caused 12.9%, 24.7% and 33.5% for inlet loss coefficient of the intake, respectively.

Conclusion: The effect of submergence depth on the vortex strength is greater than the flow discharge and it is also greater than the geometric asymmetry. Dimensions of the plate have little effect on the vortex dissipation. The thickness of the plates has little effect on the vortex strength. The opening rate of the plates has a great effect on the vortex and a plate with 50% opening, was able to dissipate all strong vortices. The vortex strength has a direct relationship with the inflow angle and the flow discharge and is inversely proportional to the submergence depth. As the flow discharge increases, the discharge coefficient decreases and the inlet loss coefficient increases.

Keywords: Vortex, Intake, Anti-Vortex Devices, Hydropower Intake, Discharge Coefficient.



© 2022 Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran.
This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)

(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

مطالعه اثرات صفحات ضد گرداب بر استهلاك جریان گردابی، ضریب آبگذری و ضریب افت ورودی در آبگیر نیروگاهها

رضا روشن^{۱*}، رسول قبادیان^۲

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده علوم و مهندسی کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه.

* rezaroshan2631@gmail.com

دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۰، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۰۲، وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: پدیده هیدرولیکی مهمی که معمولاً در آگیری از سدها به‌وقوع می‌پیوندد و باعث بروز مشکلاتی نظیر ایجاد افت انرژی و کاهش ضریب آبگذری آبگیر می‌گردد، چرخش آب و ایجاد گرداب در دهانه آگیری و ورود هوا به‌داخل مجرای آن می‌باشد. از میان انواع آبگیرهای در معرض پدیده گرداب، آبگیرهای نیروگاهی که به‌منظور تأمین آب مورد نیاز برای توربین‌ها و نهایتاً تولید برق به‌کار می‌روند، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. این آبگیرها عمدتاً از نوع افقی می‌باشند. برای از بین بردن گرداب می‌توان از صفحات افقی مشبک بر روی پیشانی آبگیر استفاده نمود. در این تحقیق برای بررسی عملکرد صفحات مشبک، از یک مدل فیزیکی استفاده شده است. این مدل طوری طراحی شده که بتواند قوی‌ترین نوع گرداب با هسته هوا و با قدرتهای مختلف را تولید کند. با ایجاد ۳۶ نوع گرداب قوی، عملکرد ۱۰ نوع صفحه مشبک با ابعاد، ضخامت‌ها و بازشدگی‌های مختلف مورد آزمایش قرار گرفت و نهایتاً با انجام ۳۶۰ آزمایش مشخص گردید که تاثیر میزان بازشدگی صفحات مشبک در استهلاك قدرت گرداب، بیش از اثر ابعاد و ضخامت تیغه‌های صفحات می‌باشد. همچنین تاثیر استفاده از صفحه ضد گرداب بر ضریب آبگذری و ضریب افت ورودی آبگیر مورد بررسی قرار گرفت و مشخص شد استفاده از صفحه ضد گرداب مشبک با بازشدگی‌های ۷۰٪، ۵۸٪ و ۵۰٪ به ترتیب به میزان ۵/۹ درصد، ۱۰/۵ درصد و ۱۳/۴ درصد از میزان ضریب آبگذری آبگیر می‌کاهد و بترتیب موجب افزایش ۱۲/۹ درصد، ۲۴/۷ درصد و ۳۳/۵ درصد افت ورودی آبگیر می‌گردد.

کلیدواژه‌گان: گرداب، آبگیر، صفحات ضد گرداب، نیروگاه برق آبی، ضریب آبگذری.

۱- مقدمه

Alden Research Laboratory صورت گرفته (شکل ۲)،

گرداب‌ها بر مبنای شکل ظاهری و قدرت، به شش دسته تقسیم می‌شوند. گرداب‌های قوی (مانند گرداب نوع ۶) به طور کلی بر روی کارکرد و ایمنی آبگیر تاثیر گذار هستند. در این گرداب یک هسته هوا به سمت آبگیر شکل می‌گیرد. برای جلوگیری از تشکیل گرداب‌های سطحی قوی، قدرت آنها باید از طریق فیزیکی کنترل شود. برای این کار راه حل عملی، استفاده از سازه‌های ضد گرداب^۱ می‌باشد. این سازه‌ها به طور عمده با کاهش سرعت جریان در نزدیکی‌های آبگیر، طولانی‌تر کردن مسیر جریان بین سطح آزاد آب و دهانه آگیری و نیز پراکنش انرژی، باعث از

پدیده هیدرولیکی مهمی که اغلب در آگیری از سدها رخ می‌دهد و باعث بروز مسئله‌هایی می‌شود، چرخش آب و ایجاد جریان‌های گردابی در دهانه آگیری و ورود هوا به درون مجرای آن می‌باشد. گرداب‌هایی که در دهانه آگیری‌ها شکل می‌گیرند به طور معمول حالت فضایی و سه‌بعدی دارند (شکل ۱). گرداب‌ها در دهانه آگیری‌ها بر مبنای معیارها و روندهای مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند. بر مبنای محل رخداد، گرداب‌ها به دو دسته سطحی و زیرسطحی (مستغرق) تقسیم می‌شوند. بر مبنای وابستگی به زمان نیز گرداب‌ها به دو دسته پایدار و ناپایدار تقسیم‌بندی می‌شوند. بنابر تقسیم‌بندی مناسبی که توسط

آبگیر برای جلوگیری از تشکیل منطقه ساکن جریان
Tahershamsi et al. (2012) می‌باشد.



Fig. 1 A view of a spiral vortex (Lugt, 1983)
شکل ۱ نمایی از گرداب حلزونی (Lugt (1983)

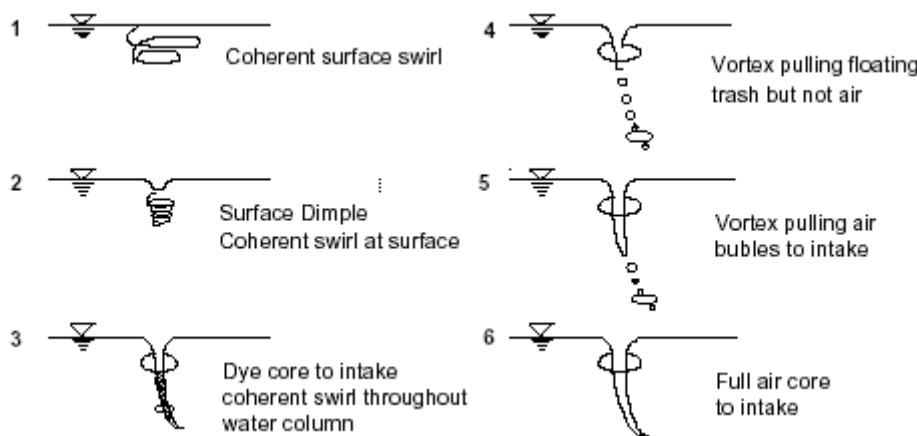


Fig. 2 Different types of vortices based on their strength 2. (Knauss, 1987)
شکل ۲ انواع مختلف گرداب‌ها بر مبنای قدرت آن‌ها (Knauss, 1987)

Dinorwich در انگلستان اشاره کرد. (Roshan (1995) پژوهشی را بر روی مدل‌های فیزیکی آبگیرهای نیروگاه‌های شماره ۱ و شماره ۲ سد کارون یک، به انجام رساند. در این پژوهش چگونگی کارکرد ابزار مختلف ضدگرداب که می‌توانند در آبگیرهای افقی به کار برده شوند، بررسی و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج نشان داد که صفحه مشبک افقی^۱ بر روی پیشانی آبگیر بهترین کارکرد را دارا می‌باشد. تقوایی و همکاران آزمایش‌هایی را بر روی مدلی که بر مبنای قانون تشابه فرود ساخته شده به انجام رساندند. آنان با بررسی بر روی ۱۳ گزینه مختلف ضد گرداب نتیجه گرفتند که صفحه‌های افقی بهترین کارکرد را در استهلاک گرداب دارند (Taghvaei et al., 2012). در رابطه با تأثیر رخداد گرداب بر ضریب آبگذری آبگیر، Stevens & Kolf

بین رفتن گرداب می‌شوند. برخی از بررسی‌های انجام شده بر روی روش‌های سازه‌ای حذف گرداب شامل اجرای صفحه‌های یکپارچه موازی و عمود بر خطوط جریان (Carriveau et al. (2002، استفاده از یک یا دو صفحه عمودی (Borghei (2000، استفاده از صفحه‌های شناور قیفی شکل (Trivellato (2010، استفاده از صفحه بادبزی جلوگیری کننده گرداب (Sohn et al. (2010، استفاده از یک صفحه دایره‌ای شکل متخلخل (Mahyari et al. (2010، استفاده از یک صفحه افقی یکپارچه و مشبک (Amiri et al. (2011 و نصب دیوارهای عمودی در بالای

از دیگر روش‌های جلوگیری از تشکیل گرداب در دهانه آبگیرهای نیروگاهی می‌توان به افزایش دادن عمق استغراق آبگیر اشاره کرد ولی انجام این کار، به دلیل نبود امکان استفاده از حجم آب قابل توجهی از مخزن برای تولید انرژی، غیر اقتصادی می‌باشد. مطمئن‌ترین روش در کاستن یا جلوگیری از تشکیل گرداب، استفاده از ابزار ضدگرداب در دهانه آبگیر می‌باشد. از میان انواع آبگیرهای در معرض پدیده گرداب، آبگیرهای نیروگاهی که به منظور تأمین آب مورد نیاز برای توربین‌ها و در نهایت تولید برق به کار می‌روند، اهمیت ویژه‌ای دارند. این آبگیرها به طور عمده از نوع افقی می‌باشند.

از سازه‌های ضد گرداب در آبگیرهای افقی در برخی از سدها استفاده شده است که از جمله می‌توان به سدهای Mt.Elbert و Grand Coulee در آمریکا و سد

1 Horizontal Perforated Plate

مستقل از عمق آب مخزن تنظیم کرد. همچنین به منظور ثابت نگه داشتن عمق آب مخزن، به ازاء دی‌های مختلف، لوله‌رانش پمپ به طور مستقیم به درون مخزن هدایت می‌شود بنابراین همواره میزان آب ثابتی در سامانه در حال گردش می‌باشد. بدین ترتیب، می‌توان در آغاز مخزن را تا عمق مشخصی از آب پر کرد و آن‌گاه با تغییر دور الکتروموتور، دی‌های مختلف و در نتیجه اعداد فرود متفاوتی را در آبگیر ایجاد کرد. اجزای عمده مدل آزمایشگاهی عبارت‌اند از: مخزن، مجرای آبگیر، پمپ و دستگاه کنترل کننده دور الکتروموتور که این قسمت‌ها در شکل شماره (۳) نشان داده شده است. مخزن مدل به ابعاد ۱/۳ متر عرض، ۳/۵ متر طول و ۲ متر ارتفاع می‌باشد. دهانه آبگیر به میزان ۲۰ سانتی‌متر به درون مخزن پیشروی کرده و طوری مستقر شده که دیوارهای دو طرف و کف مخزن بر شرایط جریان روی آن اثری نداشته باشند. دلیل پیشروی دهانه به درون مخزن این است که همواره یک منطقه ساکن جریان در بالای آبگیرها وجود دارد. وارد کردن لوله به درون مخزن، برای شبیه‌سازی کردن منطقه ساکن جریان در بالای آبگیر می‌باشد.

طول لوله آب‌بر ۴/۵ متر و قطر آن ۱۶ سانتی‌متر می‌باشد. در ۲ متری بالادست دهانه آبگیر در مخزن، پره‌هایی به صورت قائم مستقر شده است که با تغییر زاویه قرارگیری آنها نسبت به محور آبگیر، می‌توان زاویه جریان ورودی به سمت آبگیر را تغییر داد. این امر موجب می‌شود که بتوان گردندگی بالادست را برای رسیدن به گرداب‌های قوی‌تر، تقویت کرد. این مدل در موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو ساخته شده است. از آنجا که در همه شرایط آزمایش‌ها، عدد رینولدز بسیار بیشتر از ۲۰۰۰ بوده (جدول ۱)، جریان حاکم را می‌توان آشفته و مستقل از عدد رینولدز در نظر گرفت. برای اندازه‌گیری مشخصه‌های هیدرولیکی جریان از ابزار و تجهیزات مختلف استفاده شده است. به منظور اندازه‌گیری دی‌جریان در مدل از یک دی‌سنج الکترومغناطیس با نام MAGFLO2500 که در مسیر لوله‌های بازگرداننده آب به درون مخزن نصب شده، استفاده شده است (شکل ۴). با توجه به راهنمای استفاده از دی‌سنج به کار برده شده در مدل، دقت آن در حدود ۱٪ ذکر شده است.

(1959) تحقیقاتی را انجام داده‌اند. بنابر نتایج پژوهش‌های آنان یک رابطه خطی بین ضریب آبگذری و عدد گردندگی گرداب تعریف شده به صورت $N_{\Gamma} = \Gamma/VD$ وجود دارد. در این رابطه Γ بیانگر مقدار گردندگی گرداب بوده و از رابطه $\Gamma = \int_0^{2\pi} v_{\theta} r d\theta = 2\pi r v_{\theta}$ محاسبه می‌شود که در آن V_{θ} سرعت مماسی ثابت حول مداری به شعاع r ($\Gamma > \Gamma_m$ و Γ_m شعاع هسته گرداب) می‌باشد.

(1964) Kamel تاثیر گرانروی بر ضریب آبگذری را با به کار بردن روغن‌های مختلف بررسی کرده است. او نشان داده که برای یک عمق استغراق مشخص، با افزایش گرانروی، جریان چرخشی زیادتری برای تشکیل هسته هوا نیاز است. (1978) Anwar et al. با تحقیقاتی در رابطه با ضریب آبگذری، نشان داد هنگامی که Γ/Q که نوعی عدد گردندگی است افزایش می‌یابد، C_d به صورت خطی کاهش نمی‌یابد، بلکه به سمت یک مقدار حدی میل می‌کند. هدف از این پژوهش بررسی تاثیر صفحه‌های ضد گرداب (AVP) در استهلاک گرداب‌های قوی و نیز تاثیر آنها بر روی ضریب آبگذری و افت ورودی آبگیر می‌باشد. تاکنون در این مورد پژوهش خاصی انجام نشده است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- مدل آزمایشگاهی

باتوجه به اینکه هدف از این پژوهش بررسی تاثیر صفحه افقی مشبک در پیشانی آبگیر بر استهلاک گرداب‌های قوی و نیز ضریب آبگذری آبگیر می‌باشد، مدل آزمایشگاهی می‌بایست قابلیت توسعه گرداب نوع شش با قدرت‌های متفاوت، به ازاء عمق‌های استغراق مختلف را دارا باشد. دستیابی به این امر، مستلزم این است که جریان با اعداد فرود مختلف بتواند به ازاء عمق استغراق ثابت در درون مجرای آبگیر توسعه یابد. بدیهی است دستیابی به چنین امری در حالت جریان ثقلی امکان‌پذیر نیست زیرا در تخلیه ثقلی جریان، عمق آب در مخزن و سرعت در آبگیر (عدد فرود) به طور مستقیم با هم در ارتباط هستند. برای رفع این مسئله در مدل موردنظر، پمپی به طور مستقیم به لوله آبگیر متصل شد. با تنظیم دور الکتروموتور پمپ، می‌توان میزان سرعت در آبگیر را به صورت



Fig. 4 Flowmeter installed in the model
شکل ۴ دی‌سنج نصب شده در مدل



Fig. 5 Piezometers installed on the
شکل ۵ پیزومترهای نصب شده بر روی مجرای آب‌بر

این پیزومترها امکان اندازه‌گیری فشار لحظه‌ای در مقطعی مشخص به‌منظور بررسی تغییرپذیری ضریب آبگذری آبیگر در حالات مختلف را فراهم می‌نمایند. فشارها در مدل فیزیکی توسط دستگاه فشارسنج لحظه‌ای (ترنسدیوسر) انجام شده است که دقت آن کمتر از ۰/۱ درصد فشار اندازه‌گیری شده است که برای این کار دقت بالایی به شمار می‌آید. همچنین داده‌های فشار نوسانی (با فرکانس) ۱۰۰ داده در ثانیه برداشت شده است که با دقت زیاد می‌توان فشار ایستایی (استاتیکی) را استخراج کرد. در شکل ۶ حسگرهای اندازه‌گیری فشار لحظه‌ای که به صفحه تراز متصل شده است دیده می‌شود. شیلنگ‌های پیزومتر از زیر به صفحه تراز متصل شده‌اند.

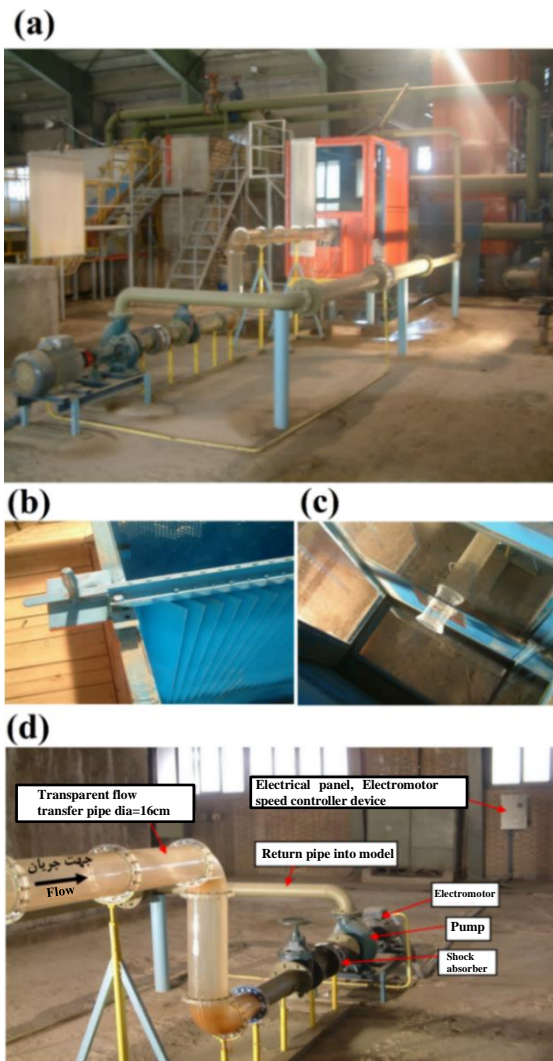


Fig. 3 (a) Reservoir, transparent flow transfer pipe, pump and return pipe into model; (b) blades installed to create geometric asymmetry in model; (c) glass walls of the reservoir and intake; (d) pump, electrical panel, electromotor speed controller device and shock absorber system in laboratory model

شکل ۳ (a) مخزن، لوله شفاف انتقال جریان، پمپ و لوله‌های برگشت جریان به درون مدل (b) پره‌های نصب شده برای ایجاد عدم‌تقارن هندسی در مدل (c) دیوارهای شیشه‌ای مخزن و دهانه آبیگر مدل (d) پمپ، تابلو برق، دستگاه کنترل کننده دور الکتروموتور و سامانه ضربه‌گیر در مدل آزمایشگاهی

به‌منظور اندازه‌گیری فشار پیزومتریک، در مقطع‌ها به فاصله‌های ۳۰ و ۴۰ سانتی‌متری از دهانه آبیگر شماری پیزومتر نصب شده است. همان‌طور که در شکل ۵ ملاحظه می‌شود، در هر مقطع ۴ پیزومتر در بالا، پایین، سمت راست و سمت چپ پیرامون مجرای آب‌بر، وجود دارد.

محدوده ۱۵ تا ۳۰ لیتر بر ثانیه برای دبی (Q) و محدوده ۰ تا ۲۰ درجه برای زاویه پرهها (θ)، گرداب‌های نوع شش پایدار تشکیل می‌شود. در مجموع ۳۶ (۳ عمق استغراق نسبی، ۴ دبی و ۳ زاویه پره) گرداب نوع شش با قدرت‌های مختلف در مدل تشکیل شد. تصویرهای ضعیف‌ترین و قوی‌ترین گرداب نوع ۶ در مدل در شکل شماره (۸) نشان داده شده است. ویژگی‌های هندسی مخزن و فراسنجه‌های هیدرولیکی جریان به همراه محدوده تغییرپذیری آنها در جدول (۱) ارائه شده است. با عنایت به بررسی‌های پیشین و با توجه به کارکرد مطلوب صفحه‌های افقی مشبک، آزمایش‌های مدل تنها بر روی این صفحه‌ها به انجام رسیده است. به منظور بررسی عملکرد صفحه‌های افقی مشبک و همچنین ارائه ابعاد هندسی مناسب برای آنها، آزمایش‌هایی بر روی مدل فیزیکی حاضر با در نظر گرفتن ۱۰ نوع صفحه مشبک انجام شده است. به منظور مدل‌سازی صفحه‌های ضدگرداب مشبک، از توری‌های پلاستیکی با درصد‌های بازشدگی مختلف و ضخامت‌های متفاوت استفاده شده است که در مورد هر صفحه، توری مربوطه در یک کلاف فلزی قرار داده شده و این کلاف طوری به دیواره مخزن پیچ شده است که صفحه مشبک برابر شکل شماره (۹) در پیشانی آبگیر قرار گیرد.

پس از نصب هر یک از صفحه‌ها در پیشانی آبگیر، آزمایش‌هایی به منظور بررسی تأثیر هر صفحه بر روی گرداب نوع شش، با تغییر دادن زاویه پره‌ها، عمق استغراق و دبی، انجام شده است. بررسی انواع گرداب‌ها با تزریق ماده رنگی و مشاهده از بالای مخزن و دیواره جانبی آن انجام گرفته است. نخستین آزمایش بر روی هر صفحه با وجود کمترین دبی، بیشترین عمق استغراق و کمترین زاویه پره‌ها (شرایط مربوط به تشکیل ضعیف‌ترین گرداب نوع شش در مدل) به انجام رسیده است. آزمایش‌های بعدی نیز به ترتیب با افزایش زاویه پره‌ها، کاهش عمق استغراق و افزایش دبی (افزایش تدریجی قدرت گرداب) انجام شده است به طوری که در مورد هر صفحه ۳۶ آزمایش و در مجموع ۳۶۰ آزمایش برای انواع صفحه‌های مشبک به انجام رسیده است.



Fig. 6 Instantaneous pressure sensors in the model
شکل ۶ حسگرهای اندازه‌گیری فشار لحظه‌ای در مدل

برای اندازه‌گیری تراز سطح آب، دیواره سمت راست و نیز دیواره جلویی مخزن، به صورت مدرج درآمده است. در شکل ۷ تراز سطح آب نسبت به مرکز دهانه آبگیر در نظر گرفته شده است. دقت خواندن تراز آب مخزن در حد ۱ میلی‌متر می‌باشد. برای اندازه‌گیری زاویه‌های پره‌ها (برای زاویه دادن به جریان نزدیک شده به آبگیر) نیز از یک نقاله استفاده شده است.



Fig. 7 Calibrated tank wall to measure water level
شکل ۷ دیواره مدرج مخزن به منظور اندازه‌گیری تراز سطح آب

۲-۲- آزمایش‌های مدل

از آنجا که در این پژوهش بررسی گرداب‌های قوی (نوع شش) مورد نظر می‌باشد، بنابراین باید محدوده‌هایی از عمق استغراق، دبی و نیز زاویه پره‌ها در نظر گرفته شود که به‌ازای آنها گرداب نوع شش در دهانه آبگیر مدل تشکیل شود. با انجام آزمایش‌های واسنجی مدل مشخص شد که در محدوده ۱.5D تا 2D قطر مجرای آبگیر است که برابر با ۱۶ سانتی‌متر می‌باشد (برای عمق استغراق (S)،

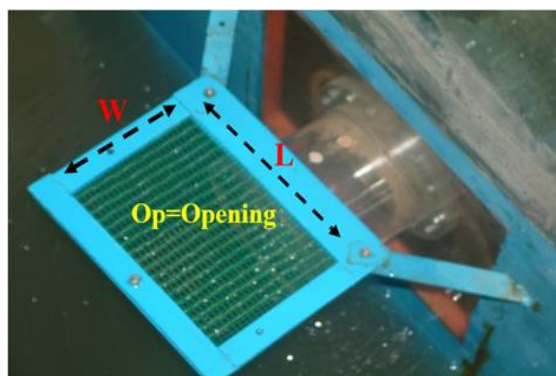


Fig. 9 Perforated Horizontal plate installed on the mouth of the intake (L and W are longitudinal and transverse dimensions)

شکل ۹ صفحه افقی مشبک نصب شده بر روی پیشانی آبگیر (L و W ابعاد طولی و عرضی)

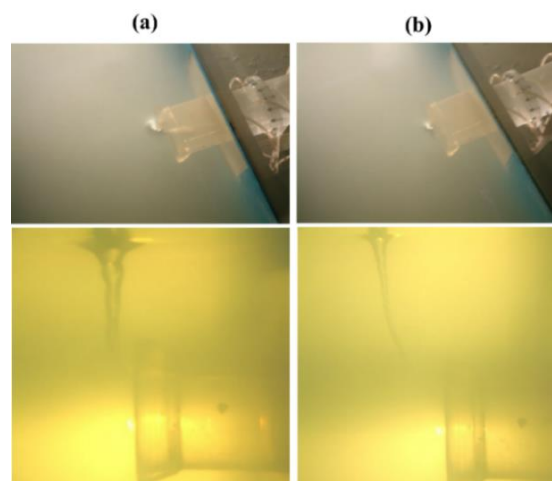


Fig. 8 (a) The strongest type-six vortex; (b) The weakest type-six vortex

شکل ۸ (a) قوی‌ترین گرداب نوع ۶ (b) ضعیف‌ترین گرداب نوع ۶

جدول ۱ ویژگی‌های هندسی مخزن و فراسنجه‌های هیدرولیکی جریان به همراه محدوده تغییرپذیری آنها

Table 1 Geometric characteristics of the model and hydraulic parameters of the flow

Variation Range	Signs & Measure Units	Parameters	Specifications
$0.015 \leq Q \leq 0.030$	Q (m ³ /s)	Flow Discharge	Hydraulic
$0.75 \leq V \leq 1.5$	V (m/s)	Flow Velocity	
$0.24 \leq S \leq 0.32$	S (m)	Submerged Depth	
$0.60 \leq Fr \leq 1.19$	Fr	Froude Number	
$120000 \leq Re \leq 240000$	Re	Reynolds Number	
$1.5 \leq S/D \leq 2.0$	S/D	Relative submergence	
$0.24 \leq L \leq 0.32$	L (m)	Anti-Vortex Plate Length	Geometric
$0.16 \leq W \leq 0.24$	W (m)	Anti-Vortex Plate Width	
2.0	H (m)	Reservoir Height	
0.16	D (m)	Penstock Diameter	
$0.002 \leq T \leq 0.006$	T (m)	Anti-Vortex Plate Thickness	
$\%50 \leq Op \leq \%70$	Op (%)	Anti-Vortex Plate Opening	
$0 \leq \theta \leq 20$	θ (Degree)	Blades Angle	

In above table: Froude and Reynolds numbers are defined as $Fr=V/\sqrt{gD}$ and $Re=VD/\nu$, where ν is the kinematic viscosity of the fluid (in square meters per second).

قسمت مشبک صفحه می‌باشد. این صفحه‌ها بر روی پیشانی آبگیر مستقر می‌شوند. به همین منظور کارکرد ۱۰ صفحه مشبک افقی در استهلاک گرداب بررسی شده است. نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های انجام شده بر روی انواع صفحه‌ها

۳- آزمایش‌ها و بحث

هدف اصلی این پژوهش بررسی کارکرد صفحه‌های مشبک افقی در استهلاک گرداب‌های قوی بر روی دهانه آبگیر افقی نیروگاه‌ها و تعیین بهترین ابعاد، ضخامت و میزان بازشدگی

کم تا متوسط و عمق استغراق نسبی بالا، قدرت گرداب را تا یک درجه کاهش می‌دهد. دلیل این است که هر چند ضخامت بیشتر تیغه‌ها باعث افت بیشتر جریان می‌شود ولی این افت آنقدر نیست که نوع گرداب را تا چند درجه کاهش دهد. در صفحه ۶ ابعاد و ضخامت تیغه‌های صفحه مانند صفحه ۱ تغییر پیدا کرد و میزان بازشدگی صفحه مشبک از ۷۰٪ به ۶۶٪ کاهش یافت. دلیل اینکه در هر مرحله با ۴٪ کاهش بازشدگی اقدام به انجام آزمایش شده، این است که اگر با درصدهای کمتر بازشدگی، آزمایش‌ها ادامه پیدا کند (برای مثال ۲٪)، می‌بایست به جای ۵ صفحه، ۱۰ صفحه یا بیشتر را تا رسیدن به بازشدگی ۵۰٪ آزمایش کنیم (یادآور می‌شود برای هر بازشدگی صفحه، ۳۶ آزمایش به انجام رسیده است). و چنانچه با درصدهای بیشتر آزمایش‌ها انجام می‌گرفت بررسی تاثیر بازشدگی صفحه‌ها با دقت کمتری انجام می‌شد. نتیجه اینکه با ۴٪ کاهش بازشدگی، قدرت (درجه یا نوع) گرداب در محدوده زیادی از آزمایش‌ها کاهش پیدا کرد. دلیل این امر کاهش بیشتر افت انرژی با کاهش درصد بازشدگی می‌باشد. با عنایت به این موضوع بازشدگی صفحه‌های ۷، ۸، ۹ و ۱۰ در هر مرحله ۴٪ کم شد و کارکرد آن بررسی شد. آزمایش‌ها نشان داد که در بازشدگی ۵۰٪ صفحه مشبک، گرداب‌ها به طور کامل از بین رفته یا قدرت آنها به نوع ۱ تا ۲ کاهش می‌یابد. در این حالت در هیچ شرایطی گرداب‌های نوع سه تا شش در بالای صفحه مشاهده نشد. دلیل این موضوع آن است که هر چه فاصله بین تیغه‌ها در قسمت مشبک صفحه کمتر شود امتداد مخروط گرداب به طور مستمر به تیغه‌ها برخورد کرده و قطع می‌شود و موجب از بین رفتن گرداب می‌شود. کارکرد صفحه نوع ۱۰ در

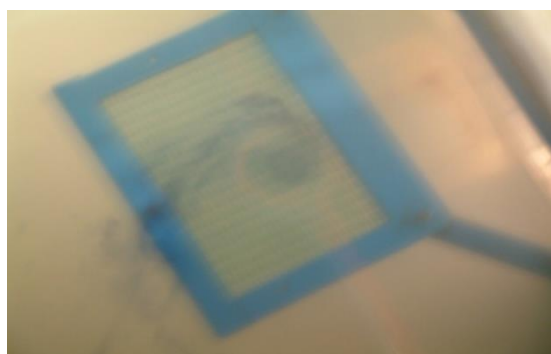


Fig. 10 Dissipated vortex at the top of the type 10 plate
شکل ۱۰ گرداب مستهلک شده در بالای صفحه مشبک نوع ۱۰

به صورت جدول‌هایی که رقم‌های موجود در آن‌ها نشان دهنده نوع گرداب مربوطه در شرایط مختلف می‌باشد، ارائه شده است. به منظور در نظر گرفتن حاشیه اطمینان مناسب در این پژوهش، کارکرد هر یک از صفحه‌های ضدگرداب در مدل حاضر تا جایی مورد قبول واقع شده است که توانسته باشد گرداب نوع شش را از بین برده و یا تا حد گرداب نوع دو (فروافتادگی ناچیز در سطح آب) پایین آورد (رنگ سبز در جدول‌ها). بنابراین شرایطی که در آن‌ها قدرت گرداب نوع شش توسط صفحه ضدگرداب مربوطه تا حد گرداب نوع سه و بالاتر کاهش پیدا کرده باشد، به عنوان شرایط بحرانی شناخته شده و منطقه‌های مربوطه در جدول‌ها به رنگ قرمز نشان داده شده است. لازم به یادآوری است که تشخیص نوع گرداب بر مبنای شکل ظاهری گرداب صورت گرفته است.

۳-۱- بررسی کارکرد انواع صفحه‌های مشبک

در جدول (۲) ویژگی‌های گرداب ایجاد شده در حضور ۱۰ صفحه مشبک با زاویه‌های مختلف و استغراق‌های نسبی معین نشان داده شده است. در نخستین صفحه مشبک بعد طولی صفحه (L) معادل 1.5D، بعد عرضی (W) صفحه معادل 1D، ضخامت تیغه‌های شبکه (T) ۲ میلی‌متر و میزان بازشدگی صفحه مشبک (OP) (نسبت مساحت باز شده صفحه برای عبور جریان به مساحت کل صفحه) برابر ۷۰٪ در نظر گرفته شده است. در صفحه‌های ۲ و ۳ به ترتیب ابعاد عرضی و طولی صفحه به اندازه 0.5D افزایش یافته و تاثیر آن بر استهلاک گرداب بررسی شده است. نتیجه اینکه افزایش ابعاد صفحه تاثیر در کاهش قدرت گرداب (منظور درجه و نوع گرداب است که در شکل ۲ نشان داده شده است) نداشته و کماکان گرداب‌های قوی در دهانه آنگیر دیده می‌شود. دلیل این موضوع آن است که جریان تمایل دارد که از نزدیک‌ترین ناحیه یعنی از قسمت مشبک صفحه به سمت آنگیر حرکت کند لذا ابعاد صفحه در صفحه‌های مشبک بی‌تاثیر خواهد بود. در صفحه‌های ۴ و ۵ ابعاد صفحه مانند صفحه شماره ۱ تغییر کرد ولی ضخامت تیغه‌های شبکه به ترتیب به ۴ و ۶ میلی‌متر افزایش یافت و تاثیر آن بر گرداب قوی شکل گرفته مشاهده شد. آزمایش‌ها نشان داد که افزایش دادن ضخامت تیغه‌ها تاثیر ناچیزی بر قدرت گرداب داشته و در محدوده دی‌های

جدول ۲ تاثیر صفحه‌های ضد گرداب و ویژگی‌های هندسی آنها در کاهش قدرت (نوع) گرداب

Table 2 The effect of anti-vortex plates and their geometric characteristics in reducing the vortex strength

Plate Type (1): [W = 1 D], [L = 1.5 D], [T = 0.002 (m)], [Opening = % 70]									
S/D	2			1.75			1.5		
Fr	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$
0.60 (Q=15)	2	2	2	2	2	2	2	3	3
0.79 (Q=20)	2	3	3	3	3	4	4	4	4
1.00 (Q=25)	4	4	5	5	5	5	5	5	6
1.19 (Q=30)	5	5	6	6	6	6	6	6	6

Plate Type (2): [W = 1.5 D], [L = 1.5 D], [T = 0.002 (m)], [Opening = % 70]									
S/D	2			1.75			1.5		
Fr	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$
0.60 (Q=15)	2	2	2	2	2	2	2	2	3
0.79 (Q=20)	2	3	3	3	3	3	3	4	4
1.00 (Q=25)	4	4	4	4	5	5	5	6	6
1.19 (Q=30)	5	6	6	6	6	6	6	6	6

Plate Type (3): [W = 1 D], [L = 2 D], [T = 0.002 (m)], [Opening = % 70]									
S/D	2			1.75			1.5		
Fr	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$
0.60 (Q=15)	1	1	1	2	2	2	2	2	2
0.79 (Q=20)	2	2	3	3	3	3	3	3	4
1.00 (Q=25)	3	4	4	4	4	4	4	5	5
1.19 (Q=30)	5	5	5	5	6	6	6	6	6

Plate Type (4): [W = 1 D], [L = 1.5 D], [T = 0.004 (m)], [Opening = % 70]									
S/D	2			1.75			1.5		
Fr	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$
0.60 (Q=15)	1	1	1	1	2	2	2	2	2
0.79 (Q=20)	2	2	2	2	2	3	3	3	4
1.00 (Q=25)	3	3	4	4	4	4	4	4	5
1.19 (Q=30)	4	4	5	5	5	6	6	6	6

Plate Type (5): [W = 1 D], [L = 1.5 D], [T = 0.006 (m)], [Opening = % 70]									
S/D	2			1.75			1.5		
Fr	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$
0.60 (Q=15)	1	1	1	1	1	1	1	1	2
0.79 (Q=20)	2	2	2	2	2	2	2	2	3
1.00 (Q=25)	2	3	3	3	3	4	4	4	4
1.19 (Q=30)	4	4	4	4	5	5	5	5	5

Plate Type (6): [W = 1 D], [L = 1.5 D], [T = 0.002 (m)], [Opening = % 66]									
S/D	2			1.75			1.5		

Fr	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$
0.60 (Q=15)	1	1	1	1	1	1	1	1	2
0.79 (Q=20)	1	1	1	2	2	2	2	2	2
1.00 (Q=25)	2	2	2	2	3	3	3	4	4
1.19 (Q=30)	4	4	4	4	4	5	5	5	5

Plate Type (7): [W = 1 D], [L = 1.5 D], [T = 0.002 (m)], [Opening = %62]

S/D	2			1.75			1.5		
Fr	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$
0.60 (Q=15)	1	1	1	1	1	1	1	1	2
0.79 (Q=20)	1	1	1	2	2	2	2	2	2
1.00 (Q=25)	2	2	2	2	2	2	2	2	3
1.19 (Q=30)	3	3	3	4	4	4	4	5	5

Plate Type (8): [W = 1 D], [L = 1.5 D], [T = 0.002 (m)], [Opening = %58]

S/D	2			1.75			1.5		
Fr	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$
0.60 (Q=15)	1	1	1	1	1	1	1	1	2
0.79 (Q=20)	1	1	1	2	2	2	2	2	2
1.00 (Q=25)	2	2	2	2	2	2	2	2	3
1.19 (Q=30)	2	3	3	3	3	4	4	4	4

Plate Type (9): [W = 1 D], [L = 1.5 D], [T = 0.002 (m)], [Opening = %54]

S/D	2			1.75			1.5		
Fr	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$
0.60 (Q=15)	-	-	1	1	1	1	1	1	2
0.79 (Q=20)	1	1	1	1	1	1	1	2	2
1.00 (Q=25)	2	2	2	2	2	2	2	2	2
1.19 (Q=30)	2	2	2	3	3	3	3	3	3

Plate Type (10): [W = 1 D], [L = 1.5 D], [T = 0.002 (m)], [Opening = %50]

S/D	2			1.75			1.5		
Fr	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 10^\circ$	$\theta = 20^\circ$
0.60 (Q=15)	-	-	-	-	1	1	1	1	1
0.79 (Q=20)	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1.00 (Q=25)	1	1	1	1	1	1	2	2	2
1.19 (Q=30)	1	1	2	2	2	2	2	2	2

۳-۲- تاثیر صفحه‌های مشبک ضد گرداب بر ضریب آبگذری و افت ورودی آبگیر

با کاربرد صفحه‌های ضد گرداب افت انرژی در جریان افزایش می‌یابد و کارایی آبگیری کاهش پیدا می‌کند. تاثیر

استهلاک کامل گرداب، در شکل شماره ۱۰ نشان داده شده است. از جدول‌های بالا نتیجه می‌شود که قدرت گرداب رابطه‌ی مستقیمی با زاویه جریان ورودی و عدد فرود آبگیر (دبی جریان) داشته و با عمق استغراق آبگیر نسبت عکس دارد.

با توجه به رابطه‌های (۱) و (۲) رابطه زیر بین ضریب افت موضعی کل (افت ورودی) و ضریب تخلیه برقرار می‌باشد:

$$K = \frac{1}{C_d^2} - 1 \quad (3)$$

به منظور اندازه‌گیری افت موضعی در شرایط مختلف (رخداد گرداب قوی و حضور صفحه‌های مشبک ضدگرداب با بازشدگی‌های مختلف) فشارها در یک مقطع به فاصله ۳۰ سانتی‌متری از ورودی آبگیر (در چهار نقطه پیرامون مقطع) اندازه‌گیری شد. در این آزمایش‌ها صفحه‌های ضدگرداب مشبک با بازشدگی‌های ۷۰٪، ۵۸٪ و ۵۰٪ انتخاب و آزمایش شدند. برای بررسی شرایط مختلف محتمل در هنگام آبگیری از مخزن، ۷ عمق استغراق (۱/۵)، ۱/۷۵، ۲، ۲/۵، ۳، ۴ و ۵ و ۴ عدد فرود آبگیر (۰/۶۰، ۰/۷۹، ۱/۰۰ و ۱/۱۹) برای انجام آزمایش‌ها انتخاب شد. در جدول (۳) میزان میانگین ضریب آبگذری (C_d) و ضریب افت ورودی آبگیر (K) بازنه اعداد فرود مختلف برای حالت بدون صفحه ضد گرداب (رخداد گرداب نوع ۶) و با نصب صفحه‌های مشبک ضد گرداب (با بازشدگی‌های متفاوت) ارائه شده است.

گرداب بر روی راندمان آبگیر توسط ضریب آبگذری توضیح داده می‌شود. در یک آبگیر افقی، با نوشتن رابطه انرژی بین سطح آب مخزن و مقطعی از مجرا که بار فشار آن توسط پیژومتر خوانده شده است، خواهیم داشت:

$$S = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + h_i + h_f = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + f \frac{L V^2}{D 2g} + K \frac{V^2}{2g} \quad (1)$$

در رابطه بالا، S فاصله سطح آب مخزن تا مرکز آبگیر (عمق استغراق آبگیر)، V سرعت جریان در مجرای آبگیر، P/γ هد فشار در مقطع مربوطه، h_i افت طولی تا مقطع مربوطه، f ضریب افت طولی دارسی - وایسباخ، h_f افت موضعی و K ضریب افت موضعی می‌باشد.

ضریب آبگذری به صورت نسبت سرعت حقیقی جریان به سرعت نظری آن تعریف می‌شود. اگر از ضریب افت طولی تا مقطع اندازه‌گیری فشار به دلیل کوتاه بودن طول صرفنظر کنیم و ضریب تخلیه را به صورت ضریبی که تنها در بردارنده اثرات افت موضعی باشد تعریف کنیم، خواهیم داشت:

$$S = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + h_f = \frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + K \frac{V^2}{2g} \quad (2)$$

$$C_d = \frac{V}{\sqrt{2g(S - P/\gamma - h_f)}}$$

جدول ۳ میزان ضریب آبگذری و ضریب افت ورودی آبگیر بازنه اعداد فرود مختلف

Table 3 The values of the discharge coefficient and the inlet loss coefficient of the intake based on different Froude numbers

With AVP (Opening = 50%)		With AVP (Opening = 58%)		With AVP (Opening = 70%)		Without Anti Vortex Plate (AVP)		Froud Number (F_r)	Flow Discharge (lit/s)
K	C_d	K	C_d	K	C_d	K	C_d		
0.2846	0.8831	0.2338	0.9011	0.0928	0.9566	0.0575	0.9724	0.60	15
0.3429	0.8645	0.2443	0.8974	0.1377	0.9379	0.0708	0.9664	0.79	20
0.3619	0.8589	0.2564	0.8929	0.1421	0.9365	0.0787	0.9628	1.00	25
0.3662	0.8564	0.2613	0.8905	0.1490	0.9329	0.0928	0.9566	1.19	30

ورودی در حالت بدون صفحه، کمتر از حالت‌هایی است که صفحه نصب شده است. با کاهش میزان بازشدگی قسمت مشبک صفحه، میزان ضریب آبگذری کاهش و ضریب افت ورودی افزایش می‌یابد. استفاده از صفحه ضد گرداب مشبک با بازشدگی‌های ۷۰٪

همان‌طور که در جدول ملاحظه می‌شود، با افزایش میزان عدد فرود جریان (دبی) میزان ضریب تخلیه کاهش و افت ورودی آبگیر افزایش می‌یابد. میزان ضریب آبگذری در حالت بدون صفحه، بیشتر از حالت‌هایی است که صفحات ضد گرداب مشبک نصب شده است و برعکس میزان افت

نمودار تغییرپذیری ضریب آبنگیزی و افت ورودی آبنگیر در برابر عدد فرود آبنگیر در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نشان داده شده است.

۵۸٪ و ۵۰٪ به ترتیب به میزان ۵/۹ درصد، ۱۰/۵ درصد و ۱۳/۴ درصد از میزان ضریب آبنگیزی آبنگیر می‌کاهد و به ترتیب موجب ۱۲/۹ درصد، ۲۴/۷ درصد و ۳۳/۵ درصد افت ورودی آبنگیر می‌شود.

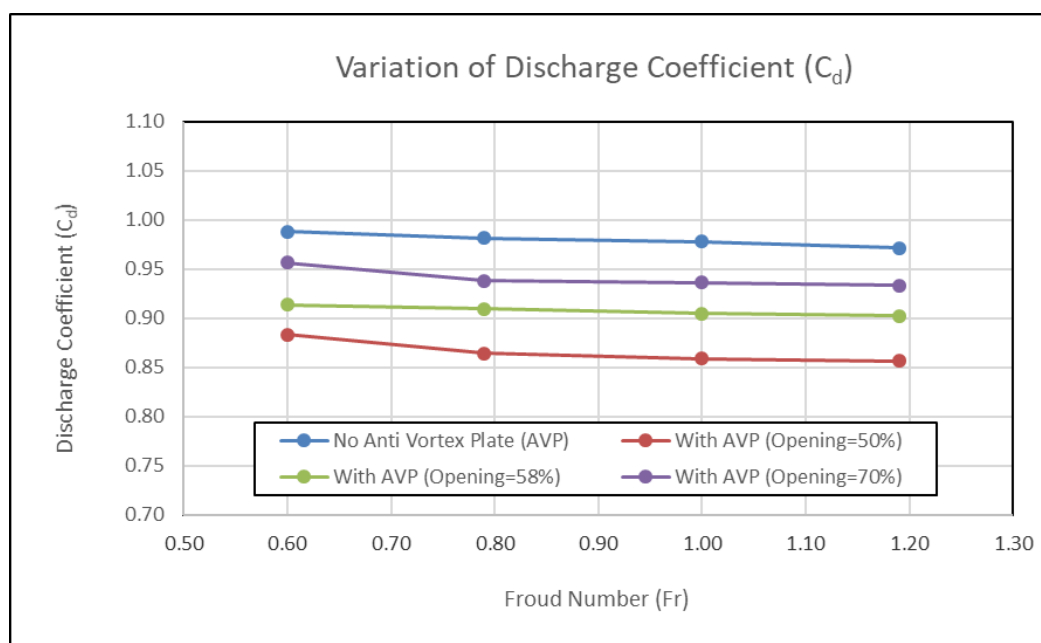


Fig. 11 The variations of intake discharge coefficient against Froude number

شکل ۱۱ نمودار تغییرپذیری ضریب آبنگیزی آبنگیر در برابر عدد فرود

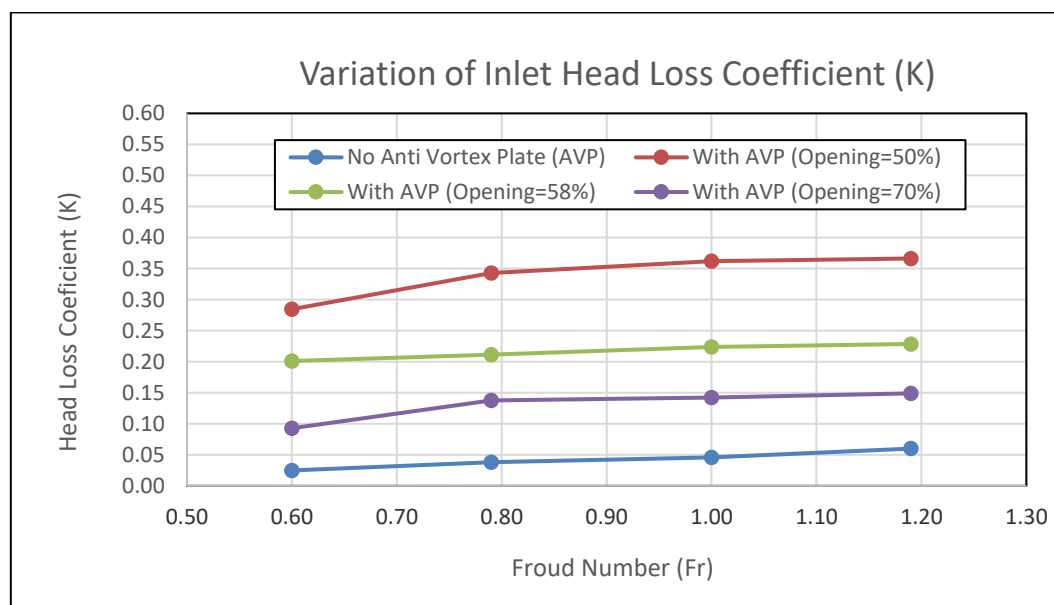


Fig. 12 The variations of inlet loss coefficient of the intake against the Froude number

شکل ۱۲ نمودار تغییرپذیری ضریب افت ورودی آبنگیر در برابر عدد فرود

۴- نتایج

- تأثیر عمق استغراق در استهلاک قدرت گرداب بیشتر از تأثیر دبی آبنگیری (عدد فرود) و آن نیز بیشتر از اثر نبود تقارن هندسی مخزن (زاویه پره‌ها) می‌باشد. به

در مجموع نتایج زیر از انجام این پژوهش به‌دست آمده است:

میزان ضریب آبگذری کاهش و ضریب افت ورودی افزایش می‌یابد.

۵ - سپاسگزاری

آزمایش‌های مدل در موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو به انجام رسیده است. بدینوسیله از مدیر و همکاران گروه سازه‌های هیدرولیکی موسسه تحقیقات آب به ویژه از آقایان دکتر امیررضا زراتی، مهندس مهدی امیری و دکتر حامد سرکرده صمیمانه قدردانی می‌شود.

۶ - منابع

Amiri, S.M., Zarrati, A.R., Roshan, R. and Sarkardeh, H. (2011). Surface vortex prevention at power intakes by horizontal plates. Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management. 164(4), 193-200.

Anwar, H.O., Weller, J.A. and Amphlett, M.B. (1978). Similarity of Free Vortex at Horizontal Intake. J. Hydraulic Research, 2, 95-105.

Borghei, S.M. (2000). Partial Reduction of Vortex in Vertical intake Pipe, Advances in Hydro-Science and Engineering, Seoul-Korea.

Carriveau, E.C., Baddour, R.E. and Kopp, G.A. (2002). Entrainment Properties of Swirling and Non-Swirling Flows at Submerged Water Intakes, Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, 1-10.

Kamel, M. (1964). The Effect of Swirl on the Flow of Liquids Through Bottom Outlets, ASME Paper 64-WA/FE-37.

Knauss, J. (1987). Swirling Flow Problems at Intakes, Hydraulic Structures Design Manual, 1AA, Balkema, Rotterdam, 165 p.

Lugt, H.J. (1983). Vortex Flow in Nature and Technology, Jounh Wiley and Sons.

Mahyari, M.N., Karimi, H., Naseh, H. and Mirshams, M. (2010). Numerical and experimental investigation of vortex breaker effectiveness on the improvement in launch vehicle ballistic parameters. Journal of Mechanical Science and Technology, 24, 1997-2006.

Roshan, R. (1995). Study on Anti Vortex Devices Performance to Dissipate Vortex Strength by Using Physical Model Tests, MS Degree, Tehran University. (In Persian)

گونه‌ای که با افزایش ۵۰ درصد عمق استغراق، ۱ تا ۳ درجه از قدرت (نوع) گرداب کاسته می‌شود.

- قدرت گرداب رابطه‌ی مستقیمی با زاویه جریان ورودی و عدد فرود آبگیر (دبی جریان) داشته و با عمق استغراق آبگیر نسبت عکس دارد.

- به دلیل آنکه جریان تمایل دارد از کمترین مسیر یعنی از بین قسمت مشبک صفحه‌ها عبور کند، ابعاد (طول و عرض) صفحه افقی مشبک، تأثیر چندانی در استهلاک گرداب نداشته و در محدوده آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش، اندازه مناسب برای بعد عرضی (W) صفحه 1D و برای بعد طولی (L) آن 1.5D می‌باشد.

- ضخامت صفحه افقی مشبک تأثیر کمی در استهلاک گرداب دارد و در محدوده دبی‌های کم تا متوسط و عمق استغراق نسبی بالا، قدرت گرداب را تا یک درجه کاهش می‌دهد.

- میزان بازشدگی صفحه افقی مشبک، تأثیر زیادی در استهلاک گرداب داشته و در محدوده آزمایش‌های انجام شده، صفحه مشبک با بازشدگی ۵۰ درصد توانسته است همه‌ی گرداب‌های نوع ۳ تا ۶ به‌وجود آمده در مدل را مستهلک کند.

- با افزایش میزان عدد فرود جریان، میزان ضریب تخلیه کاهش و افت ورودی آبگیر افزایش می‌یابد.

- نبود صفحه ضدگرداب مشبک (وجود گرداب قوی) به طور متوسط موجب ۳/۵ درصد کاهش در ضریب آبگذری و ۷/۵ درصد افزایش افت ورودی آبگیر می‌شود.

- نصب صفحه ضد گرداب با باز شدگی ۵۰ درصد، به طور متوسط سبب کاهش ۱۰/۲ درصد در ضریب آبگذری آبگیر نسبت به حالت بدون صفحه می‌شود.

- میزان ضریب آبگذری در حالت بدون صفحه، بیشتر از حالت‌هایی است که صفحات ضد گرداب مشبک نصب شده است.

- مقادیر افت ورودی در حالت بدون صفحه، کمتر از حالت‌هایی است که صفحه نصب گردیده است.

- با کم شدن میزان بازشدگی قسمت مشبک صفحه،

Tahershamsi, A., Rahimzadeh, H. and Monshizadeh M. (2012). Vortex prevention in intakes using vertical walls, In: 4th IAHR International Symposium on Hydraulic Structure, Portugal.

Trivellato, F. (2010). Anti-vortex devices: Laser measurements of the flow and functioning. *Optics and Lasers in Engineering*. 48, 589-599.

Sohn, C.H., JU, M.G. and Gowda, B.H.L. (2010). PIV study of vortexing during draining from square tanks. *Journal of Mechanical Science and Technology*. 24, 951-960.

Stevens, J.L. and Kolf, R.C. (1959). Vortex Flow through Horizontal Orifices, *Trans. ASCE*. 124, 871-883.

Taghvaei, S.M., Roshan, R., Safavi, K. and Sarkardeh, H. (2012). Anti-vortex structures at hydropower dams, *International Journal of Physical Sciences*. 7(28), 5069-5077.

