

# Study of Aeration Between Valves in Opening of Service and Emergency Valves and Providing Relationships for Joint Operation of Valves

Sanaz Hasanian Shirvan<sup>1\*</sup>, Damoon Mohamad Ali Nezhadian<sup>2</sup>, Mohamadreza Kavianpoor<sup>3</sup>

1. PhD student, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran.
2. MSc Graduate, Shiraz University, Shiraz, Iran.
3. Professor, Khajeh Nasir al-Din Toosi University of Technology, Tehran, Iran

\* [hosainian\\_1389@yahoo.com](mailto:hosainian_1389@yahoo.com)

Received: 15 September 2021, Accepted: 11 December 2021  J. Hydraul. Homepage: [www.jhyd.iha.ir](http://www.jhyd.iha.ir)

## Abstract

**Introduction:** Drain valves are usually constructed to control and drain flood, regulate flow, drain tank in critical cases, discharge sediment, and transfer current. Therefore, the study of their hydraulic conditions during design and operation should be considered by researchers and designers. As the height of the dam increases, the flow velocity in the semi-open valves of the dam also increases and as a result, the local pressure decreases, which consequently causes the cavitation phenomenon. The presence of air near the rigid boundaries of the flow greatly reduces the destructive effect of cavitation and therefore the method of aeration and its effects and the percentage of air bubbles in the vicinity of these boundaries to prevent cavitation is one of the points to know the different types of aeration mechanism and bubble placement, and the type of valve according to the flow conditions. As mentioned, one of the phenomena that can endanger the safety of valves is cavitation. In these valves, the two-phase flow of air is transmitted at high speed. Due to the separation of the flow lines, a sharp drop in the downstream values of the valve occurs.

**Methodology:** Siazakh rock dam is located in a place called Siazakh and at the junction of two tributaries of Ghezelozen river named Kaqli and Sheikh Haidar, 7 km from Divandere. The level of the dam on the riverbed is 1756 meters above sea level. The purpose of constructing this dam is to supply agricultural water and control river floods. In the middle of the duct, the control system is located, consists of an emergency sliding valve and a sliding service valve. The physical model of the valve includes a repair valve, a metal cover with a rectangular cross section, a duct inlet, a valve groove, a middle duct, an emergency valve, an emergency valve chamber, its grooves, a service valve, a vent between two valves and the entire downstream duct. In order to provide the required water height and required discharge, an open metal tank has been used. This tank is in the form of a cylinder with a diameter of 5 meters and a height of 6 meters. In order to measure the pressures on the valve, 8 piezometers are installed on the valve and all these piezometers are connected to the tightly connected hoses. The experiments were performed for four different heads. Two pumps and an outlet adjustment valve were used to adjust the head, so that only one pump was switched on at the lower heads and the output valve was bypassed to adjust the head. This time was chosen according to the turbulence of the air flow and minimizing its error by trial and error.

**Results and discussion:** After adjusting the head, the service valve was placed in the pre-planned openings and the emergency valve was displaced so much that the most critical situation occurred. The criterion for detecting this critical state is the velocity of air suction from the aeration pipe between the two valves into the duct, which was measured by a hot wire. To measure the air velocity, the hot wire is placed inside the aeration tube in the center of the tube for one minute. After the desired time, the average inlet air velocity is recorded by the hot wire device. The results showed that the most critical situation occurs when the jet passing under the emergency valve hits exactly the lower edge of the service valve. In this case, a severe disturbance occurs between the empty space of the two valves, which causes severe suction of air into the aeration pipe. According to observational experience, this condition is usually achieved when the percentage of emergency valve opening is up to about 5% less than the service valve opening.

**Conclusion:** The results of this study showed that when the emergency valve is broken in a certain opening and consequently the emergency valve enters the circuit, the most critical situation is when the amount of emergency valve opening is equal to the service valve. By measuring the amount of incoming air from the aeration tube in 24 different laboratory modes, and comparing them with different parameters, a relation was provided to determine the aeration coefficient which is a function of the landing number and includes a range between the lower and upper limits of the data. Also, by examining the amount of inlet air flow from the aeration tube for 24 different experiments, it was observed that this amount of air has a relative maximum at two points, the first maximum being related to low openings.

**Keywords:** Flood control, Drain valve, Aeration coefficient, Flow field, Emergency valve



© 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/>)

# بررسی هوادهی بین دریاچه در بازشدگی همزمان دریاچه سرویس و اضطراری و ارائه روابط برای عملکرد توام دریاچه‌ها

ساناز حسینیان شیروان<sup>۱\*</sup>، دامون محمدعلی نژادیان<sup>۲</sup>، محمدرضا کاویانپور<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران.

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.

۳- استاد دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، ایران.

\* hosainian\_1389@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۲۴، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۰، وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

**چکیده:** در مقاله حاضر با استفاده از مدل آزمایشگاهی تخلیه کننده تحتانی سد سیازخ، که در موسسه تحقیقات آب موجود است، به بررسی عملکرد توام دو دریاچه سرویس و اضطراری، پرداخته شد. چنین شرایطی وقتی که دریاچه سرویس خراب است و دریاچه اضطراری وارد عمل می‌شود، رخ می‌دهد. آزمایش‌ها به ازای ۴ بار آبی مخزن و ۶ بازشدگی مختلف دریاچه‌ها از ۱۰٪ تا ۸۰٪ انجام شد. فشار بر روی بدنه مجرای تخلیه کننده قرائت شد و دبی عبوری از لوله هواده بین دو دریاچه توسط سیم داغ اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که زمانی که دریاچه سرویس در یک بازشدگی مشخص خراب شده و دریاچه اضطراری وارد مدار می‌شود، بیشترین میران تقاضای هوا رخ می‌دهد و مقدار بازشدگی دریاچه اضطراری با دریاچه سرویس برابر شده یا کمتر از آن می‌شود. با اندازه‌گیری مقدار هوای ورودی از لوله هواده در ۲۴ حالت مختلف آزمایشگاهی و مقایسه آن‌ها با پارامترهای مختلف، رابطه‌ای برای تعیین ضریب هوادهی ارائه گردید که تابع عدد فرود است و محدوده ای بین حد بالا و پایین عدد فرود داده‌ها را شامل می‌شود.

**کلیدواژگان:** پدیده کاویتاسیون، دریاچه تخلیه، ضریب هوادهی، میدان جریان، دریاچه اضطراری

## ۱- مقدمه

نکاتی است که شناخت انواع مختلف ساز کار هوادهی و قرارگیری حباب‌ها و نوع دریاچه با توجه به شرایط جریان را ضرورت می‌بخشد. باید اشاره داشت که آب در فشار هوای معمولی دردمای صد درجه بخار می‌شود. چنانچه فشار موضعی کاهش یابد که به فشار بخار آب برسد، آب تبخیر و حباب‌های خالی تشکیل می‌شود. با انتقال این حباب‌ها به منطقه‌های پرفشار و منفجر شدن آنها، ضربه‌های زیادی به مرزها وارد می‌شود که به تدریج باعث خوردگی می‌شود که به پدیده جدارخوردگی معروف است. با قراردادن لوله هواده و افزایش فشار موضعی می‌توان از بروز حباب‌ها و وقوع این پدیده جلوگیری کرد. ارزیابی عملکرد هواده‌ها در تونل‌های تخلیه کننده، به علت پیچیدگی این فرایند اغلب بر مبنای رابطه‌های تحلیلی-

دریاچه‌های تخلیه اغلب به منظور کنترل و تخلیه سیلاب، تنظیم دبی، تخلیه مخزن در موارد بحرانی، تخلیه رسوب، و تامین نیازآبی پایین دست در فصل‌های خشک احداث می‌شوند. بنابراین بررسی شرایط هیدرولیکی آن‌ها هنگام طراحی و بهره برداری باید مورد نظر محققان و طراحان قرار گیرد. با افزایش بار آبی در سدها، سرعت جریان در دریاچه‌های نیمه باز سد نیز بالا رفته و در نتیجه فشار موضعی کاهش می‌یابد که در پی آن موجب بروز پدیده جدارخوردگی می‌شود (Hasanian Shirvan et al., 2013). حضور اندک هوا در نزدیکی مرزهای صلب جریان تا حد زیادی باعث کاهش اثر تخریبی جدارخوردگی می‌شود و لذا نحوه هوادهی و اثرات آن و درصد حباب‌های هوا در مجاورت این مرزها برای جلوگیری از جدارخوردگی، از

(2017) Nemati and Ahmadi با بررسی اثر انحنای مجرا پیش از دریچه سرویس زیرین، نشان دادند که با انتخاب ۲۵ متر از طول جریان پیش از دریچه، تلاطم و فشار جریان بعد از دریچه‌ها کاهش می‌یابد.

(2011) Yazdi and Zarrati هوادهی را با سرعت زیاد در درون یک تونل انتقال آب شبیه سازی کرد تا از تاثیرگذاری‌های زینبار جدار خوردگی جلوگیری کند. این بررسی برای مقطع‌های مستطیلی و دایره ای انجام شد و از مدل حجم سیال (VOF) به منظور مدل سازی جریان سطح آزاد استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که سرعت هوادهی در مقطع دایره ای بیشتر از مقطع مستطیلی است. همچنین Kolachian et al. (2012) به منظور شبیه‌سازی نیمرخ سطح آب، سرعت متوسط، فشار و جدار خوردگی پیش و بعد از هوادهی، در دریچه‌های تخلیه سدها از همین مدل استفاده کردند. (2015) Kiczko et al. از یک میدان پتانسیل به عنوان یک مدل عددی برای شبیه سازی جریان در زیر یک دریچه انتهایی استفاده کردند. مقایسه بین داده های تجربی و نتایج آنها، همخوانی خوبی با یکدیگر نشان داد. (2020) Yang et al. با بررسی ویژگی‌ها و شرایط هوادهی جریان در دریچه‌های تخلیه انتهایی سدها، نشان دادند که میزان هوادهی تا حد زیادی به هیدرولیک جریان وابسته است و همچنین تخلیه همزمان همه دریچه ها منجر به بیشترین هوادهی نمی‌شود. همچنین (2020) Hohermuth et al. با بررسی میزان هوادهی خروجی سدهای بزرگ نشان دادند که ورود و خروج هوا به میزان زیادی بستگی به عدد فرود دارد و اندازه دریچه تخلیه، شیب تونل و طول تونل نیز فراسنجه‌های موثر هستند. Sharma (1976) برای تعیین میزان هوای مورد نیاز در جریان قطره‌ای و جریان سطح آزاد، آزمایش‌هایی در یک دریچه تخلیه کننده زیرین با مقطع مستطیلی با ابعاد ۱۰ سانتی متر در ۱۵ سانتی متر انجام داد که نتایج آن شامل معادله‌های زیر شد:

برای جریان قطره‌ای:

$$\beta = 0.2 Fr_c \quad (1)$$

برای جریان سطح آزاد:

$$\beta = 0.09 Fr_c \quad (2)$$

که  $Fr_c$  عدد فرود جریان در مقطع انقباض در زیر دریچه است و  $\beta$  ضریب هوایی است.

تجربی است. به همین منظور محققان با اندازه‌گیری دبی هوای عبوری از هواده‌ها در مدل‌های آزمایشگاهی و در اصل تحت شرایط مختلف و سپس با تحلیل نتایج آزمایش‌ها، رابطه‌هایی را برای میزان هوادهی لازم پیشنهاد کرده‌اند (Ghazali et al. 2015). اما برای عملکرد توام دریچه‌ها، چنین رابطه‌هایی ارائه نشده است. عملکرد توام دریچه‌ها، هنگامی رخ می‌دهد که دریچه سرویس به هر علتی خراب شده است و در حال تعمیر است و به ناچار از دریچه اضطراری هم به طور همزمان استفاده می‌شود. (1953) Peterka از جمله نخستین محققانی بود که به بررسی تاثیر هوادهی در کاهش خطر رخداد جدار خوردگی پرداخت. نتایج بررسی‌های وی نشان داد که با تزریق ۲٪ هوا به درون جریان، خطر وقوع کاویتاسیون به میزان شایان توجهی کاهش می‌یابد.

(1997) Oliveto et al. ضمن بررسی ویژگی‌های هیدرولیکی دریچه‌های تخلیه کننده زیرین مانند هندسه مجرا، نسبت عمق انتهایی، ضریب دبی میانگین، عمق پایاب و افت طولی، آزمایش‌هایی در مورد اثر عدد فرود بالادست انجام دادند و نشان دادند که عدد فرود بالادست، تاثیر مهمی بر سازو کار جریان دارد. (Speerli and Hager 2000) با بررسی ویژگی‌های هوادهی و جریان آب-هوا در دریچه‌های انتهایی، اثر طول مجرا را بر ویژگی‌های اختلاط آب و هوا نشان دادند و بیان کردند که هندسه مجرا به اندازه ویژگی‌های هیدرولیکی جریان، بر میزان هوادهی اثر گذار است. (2010) Hosseini and Sanei به بررسی عملکرد هیدرولیکی مجرای تخلیه کننده زیرین سدها اعم از تعیین ظرفیت آبگذری، قطر لوله هواده و محاسبه شاخص جدار خوردگی در مدل تخلیه کننده سد نرماشیر در آزمایشگاه مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که تغییرپذیری‌های پی در پی دبی و قطر موجب تغییر پذیری سریع در شاخص جدار خوردگی می‌شود. (2015) Ghazali et al. تاثیر تغییر ابعاد مجرا بر ویژگی‌های هیدرولیکی جریان در تخلیه کننده‌های زیرین سد را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که با افزایش عمق و عرض مجرا، دبی و هوادهی جریان افزایش می‌یابد. (2016) Zayeri et al.

پیزومترها به شیلنگ‌های رابط محکم متصل و از طریق فضاهای باز داخل دریچه به بیرون هدایت و با اتصال به مانومترهای قائم، فشار نقاط فوق برداشت شده است. شکل ۲ نیز نمایی از تونل انتقال را نشان می‌دهد. همچنین به منظور آرام سازی جریان، در کف مجرای تخلیه کننده، حوضچه آرامش قرار گرفته است.

پس از تنظیم بار آبی، دریچه سرویس در باز شدگی‌های مختلف قرار داده شد و دریچه اضطراری قدری جا به جا شد و بحرانی‌ترین حالت رخ داد. معیار تشخیص این حالت بحرانی، افزایش سرعت هوا از لوله هواده بین دو دریچه به درون مجرا می‌باشد که توسط سیم داغ اندازه‌گیری شد. در بازشدگی‌های مختلف دریچه اضطراری نسبت به بازشدگی ثابت دریچه سرویس، با قرار دادن سیم داغ در روزنه‌ای که در بدنه لوله هواده تعبیه شده بود، سرعت هوا اندازه‌گیری شد. با مقایسه نتایج، بیشترین میزان آن و حالت بحرانی مشخص شد. جهت اندازه‌گیری سرعت هوا، سیم داغ به مدت یک دقیقه در درون لوله هواده در مرکز لوله قرار داده شد. پس از زمان موردنظر، میانگین سرعت هوای ورودی توسط دستگاه سیم داغ ثبت شد. این زمان با توجه به آشفتگی جریان هوا و به کمینه رساندن خطای آن با سعی و خطا انتخاب شد.

برای بهره‌برداری از تخلیه‌کننده زیرین دریچه سرویس طراحی و ساخته شده و تعداد ۸ پیزومتر برای اندازه‌گیری فشار روی آن نصب شده است. برای تعیین سرعت هوا برای تشخیص حالت بحرانی (منظور از حالت بحرانی نقطه‌ای است که فشار کم شده و جدار خوردگی رخ می‌دهد)، از دستگاهی به نام سیم داغ (هات وایر) استفاده شد (شکل ۳). در این وسیله یک سیم باریک (حسگر) توسط جریان الکتریکی داغ شده و در مسیر جریان سیال شامل مایع‌ها یا گازها قرار می‌گیرد. میزان سرعت سیال با میزان هدر رفت انرژی گرمایی از سیم ارتباط مستقیم دارد به عبارت دیگر هرچه دمای سیم داغ کمتر شود میزان سرعت سیال نیز افزایش می‌یابد.

### ۳- نتایج و بحث

در این شرایط (کارکرد همزمان دو دریچه سرویس و

هدف از این تحقیق، بررسی شرایط هیدرولیکی حاکم بر هوادهی در دریچه‌های تخلیه و ارائه رابطه‌هایی برای عملکرد توام دریچه‌های سرویس و اضطراری است. بایستی اشاره کرد که تا کنون بازشدگی همزمان دو دریچه سرویس و اضطراری ضمن خرابی یکی از آن‌ها بحث نشده است و برای بازشدگی توام دریچه‌ها رابطه‌های هوادهی ارائه نشده است که در این تحقیق به این موضوع پرداخته می‌شود.

### ۲- بررسی آزمایشگاهی و معرفی مدل

آزمایش‌های این تحقیق در آزمایشگاه موسسه تحقیقات آب وابسته به وزارت نیرو صورت گرفت. تخلیه کننده زیرین سدی که بررسی شده شامل یک تونل به قطر ۳/۵ متر که در اتاقک کنترل آن مجهز به دو عدد شیر کشویی کنترل می‌باشد، است. طول تونل تا اتاقک کنترل (شامل سازه ورودی) ۱۵۳ متر، طول سازه اتاقک و تبدیل‌ها در مسیر تونل ۲۲ متر بوده که طول تونل از اتاقک تا خروجی ۱۲۵ متر می‌باشد. در قسمت میانی مجرا، سامانه کنترل، شامل یک دریچه کشویی اضطراری و یک دریچه سرویس کشویی قرار دارد.

برای انجام آزمایش‌های این تحقیق، از یک مدل مجرای تخلیه کننده که شامل دریچه تعمیر، پوشش فلزی با مقطع مستطیلی، ورودی مجرا، شیر دریچه، مجرای میانی، دریچه اضطراری، اتاقک دریچه اضطراری، دریچه سرویس، هواده بین دو دریچه و همچنین کل مجرای پایین دست دریچه سرویس می‌باشد و در موسسه تحقیقات آب موجود است، استفاده شده است. این مدل با مقیاس ۱:۱۲ از جنس ورق شفاف (پلکسی گلاس) و در قسمت‌هایی از فلز، در موسسه یادشده ساخته شده است. به منظور تأمین ارتفاع آب لازم و دبی موردنیاز، از یک مخزن روباز فلزی استفاده شده است. این مخزن به شکل استوانه با قطر ۵ متر و ارتفاع ۶ متر و در ارتفاع ۶ متری، مخزن دیگری به قطر ۲ متر و ارتفاع ۴ متر به آن اضافه شده که ارتفاع کل هر دو مخزن ۱۰ متر می‌باشد. مخزن به وسیله چهار پمپ به ظرفیت هر یک ۲۵۰ لیتر بر ثانیه تغذیه می‌گردد.

برابر شکل شماره (۱) برای اندازه‌گیری فشارهای وارد بر دریچه شماره ۸ پیزومتر روی دریچه تعبیه و تمام این



Fig. 2 View of the water transfer flume simulated with the lower drain of the dams

شکل ۲ نمایی از فلوم انتقال آب شبیه سازی شده با تخلیه کننده زیرین سدها



Fig. 3 velocity meter (Hot Wire) used to measure air speed

شکل ۳ سرعت سنج (Hot Wire) استفاده شده در اندازه گیری سرعت هوا

اضطراری) مشخص شد که بحرانی ترین حالت در بازشدگی دو دریچه، هنگامی رخ می دهد که جت عبوری از زیر دریچه اضطراری به دقت به لبه زیرین دریچه سرویس برخورد کرده باشد. در این حالت، اغتشاش شدیدی بین فضای خالی دو دریچه رخ داده که باعث مکش شدید هوا به درون لوله هواده می شود. این حالت نیز بنابر مشاهده ها، اغلب هنگامی حاصل می شود که درصد بازشدگی دریچه اضطراری تا حدود ۵٪ کمتر از بازشدگی دریچه سرویس باشد. منظور از بحرانی ترین حالت هنگامی است که بازشدگی دریچه سرویس و اضطراری به اندازه ای است که بیشترین مکش هوا رخ می دهد.

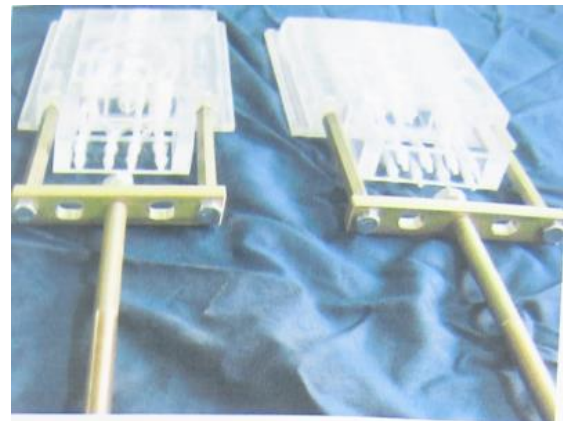


Fig. 1 (Section and plan) view of the model of emergency valve and service

شکل ۱ (مقطع و طرح نقشه) نمایی از مدل ساخته شده برای دریچه اضطراری و سرویس

جدول ۱ ویژگی های آزمایش های انجام شده

Table 1 Specifications of performed experiments

H=181 cm	Emergency Opening (%)	Service Opening (%)	V <sub>air</sub> (m/s)	H=288 cm	Emergency Opening (%)	Service Opening (%)	V <sub>air</sub> (m/s)
	6	10	7		5	10	6.2
17	20	9	15	20	12.2		
38	40	5.95	37	40	11.03		
50	50	6.49	47	50	10		
60	60	6.06	58	60	10.27		
77	80	7.5	78	80	13.2		
H=388 cm	Emergency Opening (%)	Service Opening (%)	V <sub>air</sub> (m/s)	H=483 cm	Emergency Opening (%)	Service Opening (%)	V <sub>air</sub> (m/s)
	5	10	9.21		5	10	10.3
16	20	12.82	15	20	12.64		
35	40	10.92	38	40	12.32		
49	50	13.1	47	50	12.3		
58	60	10.6	59	60	12.4		
79	80	11.97	78	80	13.4		

### ۳-۱- بررسی ضریب هوادهی بین دو دریچه

مشاهده‌ها و اندازه‌گیری‌های مربوط به دبی هوا در مدل نشان داد که بحرانی‌ترین حالت (بیشترین میزان تقاضای هوا) مربوط به بازشدگی ۱۰٪ دریچه سرویس (در شرایط بازشدگی ۵٪ تا ۶٪ دریچه اضطراری) بوده است. شکل شماره (۴) میزان‌های ضریب دبی هوا  $\beta$  در مدل در بازشدگی‌های توام دریچه‌ها را نشان می‌دهد. این شکل شرایط بیشینه دبی هوا را نشان می‌دهد که در هواده اندازه‌گیری و ثبت گردیده است. ضریب هوادهی بیانگر نسبت دبی هوا در هواده به دبی جریان آب درون مجرا می‌باشد و همین‌طور پارامتر  $H$  ارتفاع آب در درون مخزن را در نقطه‌های مختلف نمایش می‌دهد. ضریب  $\beta$  به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\beta = \frac{Qa}{Qw} \quad (3)$$

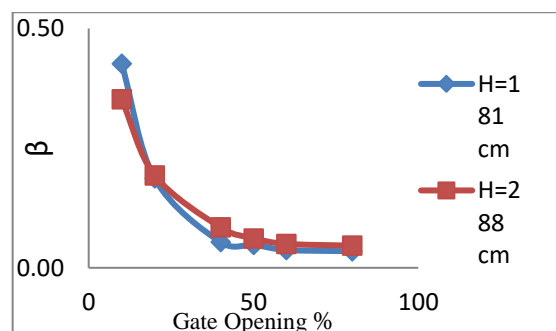


Fig. 4 Changes in aeration coefficient in different heads and different openings

شکل ۴ تغییرات ضریب هوادهی در بازشدگی‌های مختلف به ازای بارهای آبی مختلف

### بین دو دریچه

شکل شماره (۵) تغییرپذیری‌های دبی هوای ورودی به لوله هواده بین دو دریچه را نشان می‌دهد. تغییرپذیری‌های دبی هوای ورودی در بازشدگی کوچک، از میزان حداقل آغاز شده و با شیب تندی تا بازشدگی ۲۰٪ افزایش می‌یابد. این تغییر از ۲۰٪ تا ۵۰٪ به حالت کاهشی بوده و سپس روند افزایشی می‌یابد. حداکثر دبی هوای ورودی مربوط به بازشدگی ۸۰٪ دریچه سرویس و ۷۸٪ دریچه اضطراری در بار آبی ۴۸۳ سانتی متر می‌باشد. بنابراین برابر نمودار، دبی هوای ورودی دارای دو بیشینه می‌باشد که اولی در بازشدگی ۲۰٪ و دومی در بازشدگی ۸۰٪ قرار دارد.

برمینای شکل (۵)، مقدار هوای ورودی دارای دو بیشینه در بازشدگی کم و زیاد است، لذا دو عامل به‌صورت توأمان بر میزان این متغیر تأثیرگذار می‌باشد. نخستین عامل که علت حرکت جریان هوا به سمت درون مجرا است، افت فشار است. این افت فشار با کاهش بازشدگی، افزایش می‌یابد و بیشترین میزان آن به بازشدگی‌های کوچک‌تر مربوط می‌شود. لذا در بازشدگی کم این عامل تعیین‌کننده می‌باشد. پس از ورود هوا به درون مجرا، عامل دومی وجود دارد که بایستی هوای ورودی را مصرف و به سمت پایین‌دست منتقل کرده تا هوای جدید جایگزین گردد و ورود هوا به‌صورت پیوسته ادامه‌دار باشد. این عامل دبی جریان می‌باشد که با افزایش بازشدگی، افزایش می‌یابد و در نتیجه میزان هوایی که به پایین‌دست منتقل می‌شود افزایش پیدا می‌کند و هوای بیشتری برای جایگزینی این هوا، از لوله هواده وارد مجرا می‌شود (Nazari et al., 2013).

بنابراین با اینکه در بازشدگی ۱۰ درصد میزان افت فشار و در نتیجه تقاضا برای ورود هوا بیشتر از بازشدگی ۲۰ درصد می‌باشد، ولی به دلیل اینکه میزان دبی جریان آب کم بوده، لذا مقدار کمی از این هوای ورودی مصرف و منتقل می‌شود. در نتیجه میزان ورود هوای جدید نسبت به بازشدگی ۲۰ درصد، کمتر می‌باشد.

با توجه به شکل (۵) با افزایش بار آبی مخزن، میزان دبی هوای ورودی به مجرا افزایش پیدا می‌کند. افزایش بار آبی

بنابراین نتایج تغییرپذیری‌های ضریب هوادهی در بازشدگی‌های مختلف، با شیب زیادی در بازشدگی‌های اولیه رو به کاهش است و به مرور با افزایش بازشدگی، از شدت تغییرپذیری‌ها کاسته می‌شود. یعنی افزایش بازشدگی موجب کاهش ضریب هوادهی می‌شود. دلیل این موضوع این است که در یک بار آبی ثابت، تغییرات دبی هوای ورودی در بازشدگی‌های مختلف نسبت به تغییرات دبی آب درون مجرا ناچیز است.

### ۳-۲- بررسی تغییرپذیری‌های دبی هوای ورودی

رابطه (۵) ضریب هوادهی برای کمترین میزان تغییرپذیری‌های ضریب  $\beta$  برای حالتی که دریچه سرویس باز است.

$$\beta = 0.0006(Fr - 1)^{1.5} \quad (5)$$

رابطه (۶) ضریب هوادهی نسبت به عدد فرود ضمن عملکرد توام دریچه‌های سرویس و اضطراری را نشان می‌دهد.

$$\beta = 0.0016(Fr - 1)^{1.5} \quad (6)$$

مطابق شکل‌های ۷ و ۸ این روابط برای حد بالا و پایین و همچنین برای عدد فرود در نمودار آورده شده است.

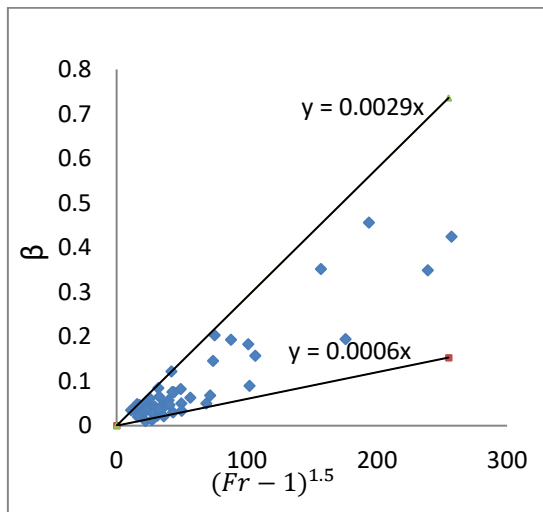


Fig. 7 Diagram of upper and lower limits of aeration coefficient changes

شکل ۷ نمودار حد بالا و پایین تغییرپذیری‌های ضریب هوادهی

رابطه ۳ برای میزان‌های عدد فرود که کمتر از ۲۰ می‌باشند دارای دقت خوبی است و برای اعداد فرود بیشتر از ۲۰ تا حدودی از دقت آن کاسته می‌شود که این امر بدین دلیل است که این اعداد مربوط به بازشدگی‌های نزدیک ۱۰ درصد و کمتر می‌باشند، و در این بازشدگی‌های کم، به دلیل وجود جریان پودری و آشفته‌گی بسیار زیاد، ثبت میزان‌های دقیق سرعت ورودی هوا از لوله هواده با دشواری رو به رو می‌باشد. بایستی اشاره شود که برداشت داده‌ها به دلیل آشفته‌گی بالای جریان و پودری شدن آن، با سختی همراه است. خطای حاصله نیز وجود

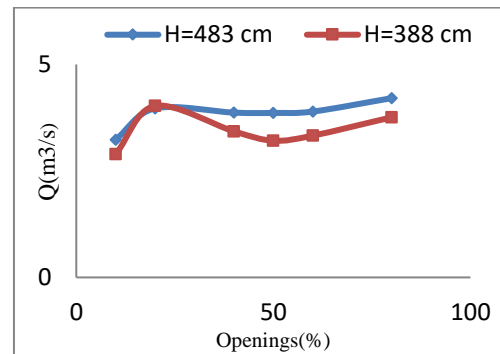


Fig. 5 Changes in the inlet airflow to the aeration pipe  
شکل ۵ تغییرپذیری‌های دبی هوای ورودی به لوله هواده

مخزن باعث می‌شود که دبی آب و افت فشار (شکل ۶)، به ترتیب افزایش و کاهش یابند. لذا در بارهای آبی بالاتر عامل دبی و در بارهای آبی کمتر، عامل افت فشار تعیین‌کننده خواهد بود. در شکل شماره (۶) روند تغییرپذیری‌های فشار (P) به ازای افزایش هد مخزن (H)، به‌عنوان نمونه در بازشدگی ۸۰٪ نشان داده شده است. در نهایت با گردآوری داده‌های بالا و بررسی تغییرپذیری‌های ضریب هوادهی نسبت تغییرپذیری‌های مختلف، دو رابطه برای حد پایین و بالای تغییرپذیری‌های ضریب  $\beta$  و رابطه‌ای نیز جهت به دست آوردن اندازه این ضریب برای حالت‌های مختلف عملکرد توام دریچه سرویس و اضطراری به شرح زیر ارائه شد.

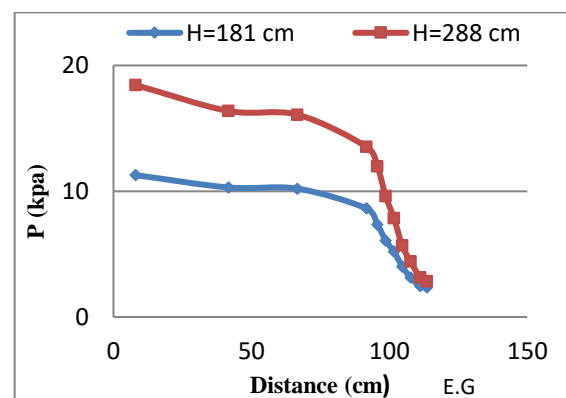


Fig. 6 Floor pressure changes per 80% opening

شکل ۶ تغییرپذیری‌های فشار در کف به ازای بازشدگی ۸۰٪

رابطه (۴) ضریب هوادهی برای بیشترین میزان تغییرپذیری‌های ضریب  $\beta$  برای حالتی که دریچه سرویس باز است.

$$\beta = 0.0029(Fr - 1)^{1.5} \quad (4)$$



به ازای ۲۴ آزمایش مختلف مشاهده شد که این میزان هوا در دونقطه دارای بیشینه نسبی بوده که نخستین بیشینه مربوط به بازشدگی‌های کم بوده و به طور مشخص در بازشدگی ۲۰ درصد صورت پذیرفت و دومین بیشینه در بازشدگی ۸۰ درصد رخ داد. اختلاف مقدار دبی هوا در این دو بیشینه کم بوده و لذا به خاطر خطاهای آزمایشگاهی، به طور یقین نمی‌توان بیشینه مطلق را مشخص کرد. این مسئله در ۴ بارآبی مختلف اندازه‌گیری شده نتایج همانندی به همراه داشته است. نتایج این بررسی بر مبنای مدل آزمایشگاهی انجام شده است و تعمیم نتایج آن به اصل نیازمند آزمایش‌های بیشتر و انجام تحلیل ابعادی گسترده‌تری می‌باشد.

#### ۵- فهرست نشانه‌ها

Fr	عدد فرود
$\beta$	ضریب هوادهی
Q	دبی جریان ( $m^3/s$ )
H	هد مخزن (cm)
p	فشار (kpa)

#### ۶- سپاسگزاری

از همه کارشناسان و دست‌اندرکاران موسسه تحقیقات آب تهران که در انجام این تحقیق به نویسندگان این مقاله یاری کردند کمال تشکر می‌شود.

#### ۷- منابع

Ghazali, F., Salehi Neyshabouri, S. and Kavianpour, M. (2015). Investigation of the effect of changing the dimensions of the duct on the hydraulic properties of the flow in the lower discharge of the dam. *Modares Civil Engineering*, 15(3), 171-182. (In Persian)

Hasanian Shirvan, S. (2013). Numerical and laboratory investigation of cavitation in the lower discharge valves, MSc Thesis, Kerman Shahid Bahonar University. (In Persian)

Hosseini, S. and Sanei, M. (2010). Laboratory determination of water intake capacity of service and emergency valves in the lower discharge

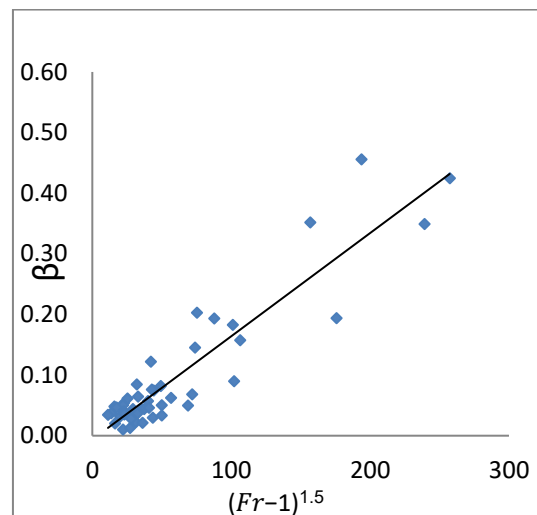


Fig. 8 Diagram of aeration coefficient relative to froude number

شکل ۸ نمودار ضریب هوادهی نسبت به عدد فرود

دارد اما خطا دارای انحراف معیار خوبی است و خطای بزرگی نیست. برای بررسی دقت رابطه پیشنهادی برای ضریب هوادهی، میزان‌های به‌دست‌آمده از آزمایشگاه و میزان‌های حاصل از رابطه ۳ در نمودار شکل ۸ نشان داده‌شده‌اند. محور عمودی نشانگر میزان‌های آزمایشگاهی و محور افقی میزان‌های نظری می‌باشد. پراکندگی حول خط ۴۵ درجه نشانگر همخوانی قابل قبول این دو سری از نتایج با یکدیگر می‌باشد.

#### ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش بررسی‌های آزمایشگاهی انجام شده بر روی مدل آزمایشگاهی سد سیازاخ با استفاده از چهار بارآبی مختلف مخزن و شش درصد مختلف بازشدگی، در جمع ۲۴ آزمایش انجام پذیرفت که در نهایت مشاهده شد هنگامی که درپچه سرویس در یک بازشدگی مشخص خراب‌شده و در نتیجه درپچه اضطراری وارد مدار می‌شود، بیشترین میزان تقاضای هوا در حالتی رخ می‌دهد که میزان بازشدگی درپچه اضطراری با درپچه سرویس برابر یا کمتر از آن می‌شود. با اندازه‌گیری میزان هوای ورودی از لوله هواده در ۲۴ حالت مختلف آزمایشگاهی، و مقایسه آن‌ها با فراسنجه‌های مختلف، رابطه‌ای برای تعیین ضریب هوادهی بصورت تابعی از عدد فرود ارایه شده است. همچنین با بررسی مقدار دبی هوای ورودی از لوله هواده

- Oliveto, G., Biggiero, V. and Hager, W.H. (1997), Bottom outlet for sewers, *Journal of irrigation and drainage*, 123(4), 246-252.
- Peterka, A.J., (1953). The effect of entrained air on cavitations pitting, *Proceedings of Minnesota International Hydraulic Convection*, USA.
- Sharma, H.R. (1976). Air-entrainment in high head gated conduits, *Journal of Hydraulics Division*, ASCE, 102(HY11), 1629-1646.
- Speerli J. and Hager, W.H. (2000). Air water flow in bottom outlets, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 27, 454-462.
- Water Research Institute (2013). Final report of the hydraulic model of the discharge valves of Siazakh Dam in the equipment department. (In Persian)
- Yang, J., Teng, P., Xie, Q. and Li, S. (2020). Understanding Water Flows and Air Venting Features of Spillway, A Case Study. *Water*, 12(8), 2106.
- Yazdi, J. and Zarrati A. (2011). An algorithm for calculating air demand in gated tunnels using a 3D numerical model, *Journal of Hydro-environment Research*, 5(1), 3-13.
- Zayeri, M., Ghomshi, M., Shafaei Bajestan, M. and Fathi, A. (2016). Experimental study of the effect of discharge valve height on concentrated outlet flow concentration. *Iranian Water Resources Research*, 12 (3), 180-188. (In Persian)
- channels of dams (Case study: Lower discharge of Narmashir dam. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 12(1), 53-60. (In Persian).
- Hohermuth, B., Schmocker, L. and Boes, R.M. (2020). Air demand of low-level outlets for large dams. *Journal of Hydraulic Engineering*, 146(8), 40-55.
- Jafari, I. (2013). Investigation of flow field around valves in joint operation of outlet valves of dams, MSc Thesis, Khajeh Nasir al-Din Toosi University of Technology. (In Persian)
- Kiczko, A., Kubrak, J. and Kubrak, E. (2015). Experimental and numerical investigation of non-submerged flow under a sluice gate, *Annals of Warsaw University of Life Sciences, Land Reclamation* No 47(3), 187-201.
- Kolachian, R., Abbaspour, A, and Salmasi, F. (2012). Aeration in Bottom Outlet Conduits of Dams for Prevention of Cavitation, *Journal of Civil Engineering and Urbanism*, 2(5), 196-201.
- Nazari, S., Ahmadi, H. and Kolachian, R. (2013). Numerical and laboratory investigation of cavitation and Aeration of dam in the lower discharge valves, *Engineering Monograph*, 40, 111-122.
- Nemati, M. and Ahmadi, H. (2017). Numerical study of the effect of duct curvature before the lower discharge service valve on the flow hydraulics. *Journal of Hydraulics*, 12(3), 61-68. (In Persian)