

**EXTENDED ABSTRACT**

**Evaluation of Critical Sink Surface in Vertical Intake Branched out from Reservoir**

B. Azimi<sup>1</sup>, B. Lashkar-Ara<sup>2\*</sup>, L. Najafi<sup>3</sup> and M. Zakermoshfegh<sup>4</sup>

1-M.Sc Graduate, Civil Engineering Department, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran.

2\*- Corresponding Author, Associate Professor, Civil Engineering Department, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran. (*Lashkarara@jsu.ac.ir*).

3- Instructor, Civil Engineering Department, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran.

4- Assistant Professor, Civil Engineering Department, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran.

Received: 3 November 2017

Revised: 12 February 2018

Accepted: 14 February 2018

**Keywords:** Air Core, Vortex, Dynamic Viscosity, Intake, Air-entrainment.

**DOI:** 10.22055/jise.2018.23695.1690.

**Introduction**

Intakes are the most significant hydraulic structures, which are also used as inlet structures in outlets to supply water for hydro-electric power, irrigation, and drinking. A major problem for vertical circular spillways is that vortexes are formed on their inlet with several negative effects: reducing discharge coefficient, excessive head formation on spillway inlet, structure vibration, increasing of cavitation formation probability, suction of floating bodies into conduit, excessive oscillations on flow surface, unsteady flow formation, and increasing energy losses are the major consequences. Vortex flows result from flow direction variation, viscosity and surface tension. The flow type causes negative effects in operation of structures such as vertical circular spillway (Kabiri Samani and Borghei, 2001).

Taştan and Yildirim (2010) indicated that critical submerged depth for intake in canal with uniform flow equals radius of spherical sink surface, which was finally named critical spherical sink surface. Rankine (1858) represented a model of vortex, namely Rankine compound vortex. In this model, it is assumed fluid particles, which are in the vicinity of vortex center, are solid bodies with high viscosity and rotational motion around their axes (Forced Vortex). The area is located inside nonviscous zone at a distance from vortex center. This research investigates geometric and hydraulic properties of critical sink surface by simulating flow in the environs of vertical intake inlet.

**Materials and method**

In this study, CFD is used to simulate critical sink surface in the vicinity of vertical intake inlet, and finite volume approach is applied to solve governing equations. To make a computational model, the first step is to design geometric properties in accordance with problem physics. To determine flow conditions on boundaries, types of introduced boundaries on model must be considered and each boundary must be given a type. Assigning one type to a boundary is determined by available data and any other required information for the type of boundary. To do so, flow discharge boundary condition was used for boundary conditions introduced to the model on block input boundary. Downstream boundary and side boundaries were modeled as wall and outboard boundary condition was adopted for the model bed. Main scenarios of the research are reservoir levels variations and the contingent flow discharge variations. Effects of diameter  $D$  and intake height  $P$  on flow hydraulic conditions and geometric properties are also investigated by

some subscenarios. Verified results of simulation by certain tests in the model have been filed in River Engineering and Hydraulics Laboratory of Jundi-Shapur University of Technology.

**Results and Discussion**

**Geometric Properties of Critical Sink Surface**

When water level in the spillway reaches a critical value, a vortex is observed in which air core is in the form of spindle. The tip of spindle is located in boundary of vertical intake inlet and the extremity of it on water surface. In the mode, entraining of air into intake occurs in a certain range and the range is considered in the form of a hypothetical sphere, which is introduced by critical spherical sink surface. For example, in Figure (1), geometry of critical sink surface in vicinity of intake inlet for the scenario of  $P/D=8$  has been illustrated. As seen in the figure, the geometry of critical sink surface is not the same as sphere but it is the same as butterfly wings or cardioid. Value of intake inlet height changes the value of altitude density of the shape. The procedure of changes is indicated in Figure (1).

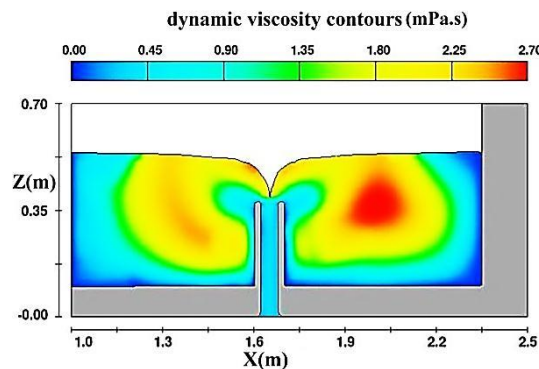


Fig. 1- The geometry of critical sink surface in scenario  $P/D=8$

**Hydraulic Properties of Critical Sink Surface**

After the formation of vortex, most of velocity variations are formed inside sink surface in the vicinity of intake. In the distance from and outside the forced vortex, the velocity decreases gradually. Thus, determination and analysis of velocity variations range in the vicinity of intake and determination of equation related with the range of the variations are explored. Figure (2) illustrates tangentially velocity variations  $\bar{V}_\theta$  for three various scenarios with  $P/D$  equaling 1, 3 and 5, respectively.

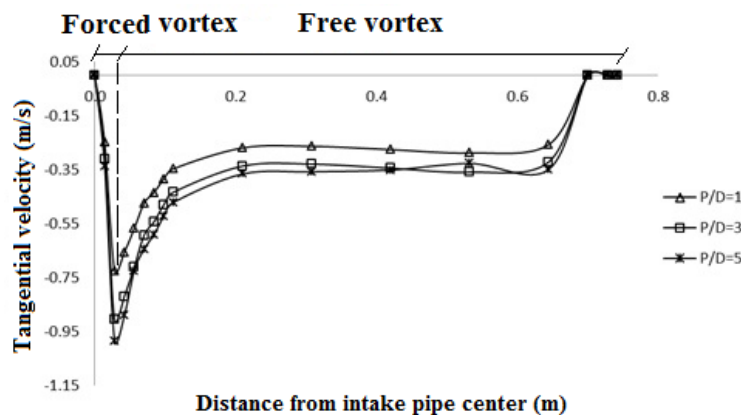


Fig. 2 – Comparison of tangentially velocity for each of three heights with constant diameter of 6 centimeters

## Results

Despite claims made in previous investigations, the results in this research indicate that critical sink surfaces are not in shape of symmetrical sphere but a cardioid. Dimension of the sink surface in proportion to inlet diameter and the surface extends with the increase of inlet diameter. Also, tangential, radial and deep velocities in the zone of sink surface for three various heights of intake show that velocity reaches the most value in the vicinity of inlet edge of intake, gradually reduces in the vicinity of reservoir wall, and finally goes to zero in the boundary of reservoir wall.

## Acknowledgment

The authors would like to thank Jundi-Shapur University of Technology for their support.

## References

- 1- Kabiri Samani, A. Borghei, S. A. 2001. "Consideration effects of placement position of Anti-vortex plates on efficiency of intake structures". Third Conference of Iran Hydraulic. 6<sup>th</sup> - 8<sup>th</sup> Oct 2001.
- 2- Rankine, W.J.M., 1876. *Manual of applied mechanics*. Griffin
- 3- Taştan, K. and Yildirim, N., 2010. Effects of dimensionless parameters on air-entraining vortices. *Journal of Hydraulic Research*, 48(1), pp.57-64.



© 2020 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article 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/>).



## ارزیابی خصوصیات سطح ریزش بحرانی در آبگیر قائم منشعب از مخزن

بهزاد عظیمی<sup>۱</sup>، بابک لشکرآرا<sup>۲</sup>، لیلا نجفی<sup>۳</sup> و محمد ذاکر مشفق<sup>۴</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول.

۲- نویسنده مسئول، دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول Lashkarara@jsu.ac.ir

۳- مربی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول.

۴- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور دزفول.

پذیرش: ۱۳۹۶/۱۱/۲۵

بازنگری: ۱۳۹۶/۱۱/۲۳

دریافت: ۱۳۹۶/۸/۱۲

### چکیده

عمق استغراق در حالت بحرانی منجر به ایجاد یک سطح ریزش بحرانی در اطراف ورودی سرریز قائم می‌شود. مشخصات این سطح ریزش بحرانی تابع خصوصیات جریان نزدیک شونده به سرریز و موقعیت آن نسبت به جداره‌های مخزن می‌باشد. در این پژوهش با استفاده نرم‌افزار Flow-3D به شبیه‌سازی عددی جریان در اطراف سرریزهای مدور قائم با ورودی لبه تیز پرداخته شده است. برای این منظور سناریوهای مختلفی با تغییر در میزان قطر دهانه آبگیر، تدوین گردید. پس از بررسی هیدرولیکی جریان در اطراف سطح ریزش بحرانی، مشخصات هندسی این محدوده مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که هندسه سطح ریزش بحرانی به صورت کره نبوده و از شکل دلواری پیروی می‌نماید، که این ناحیه ریزش متناسب با قطر دهانه آبگیر تغییر حجم می‌دهد. همچنین ارزیابی‌های به عمل آمده در راستای تغییر در میزان ارتفاع آبگیر نشان داد که با افزایش ارتفاع آبگیر با قطر ثابت، از  $P/D=3$  به  $P/D=5$  سرعت‌های شعاعی، مماسی و عمقی در سطح ریزش، به ترتیب ۴۵، ۲۴ و ۱۱ درصد افزایش داشته‌اند.

**کلید واژه‌ها:** هسته هوا، سطح ریزش، کره‌ی بحرانی، گرداب، لزجت دینامیکی.

### مقدمه

آبگیرها یکی از مهم‌ترین سازه‌های هیدرولیکی هستند که به منظور برداشت آب یا آبگیری برای تولید برق، آبیاری یا تأمین آب آشامیدنی و همچنین به عنوان سازه ورودی تخلیه‌کننده‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. سرریز قائم یکی از سازه‌هایی است که به منظور آبگیری از رودخانه‌ها و یا مخازن، در نزدیکی سطح آب کارگذاشته می‌شوند. از جمله مشکلاتی که این نوع آبگیرها با آن مواجه هستند، می‌توان به ایجاد گرداب‌های قوی در دهانه آن‌ها اشاره نمود که منجر به کاهش بازدهی ضریب آبدی سرریز می‌شود، عامل مؤثر بر این پدیده اندرکنش هندسه سازه آبگیر و پارامترهای جریان از جمله زاویه و سرعت جریان تقرب و همچنین موقعیت دهانه‌ی آبگیر در مخزن می‌باشد (Zomorodian and Sabzevari, 2006).

تشکیل گرداب در دهانه آبگیرها و سرریزهای مدور قائم باعث به وجود آمدن هسته‌ی هوا در دهانه‌ی ورودی آبگیر می‌شود. این عمل به دلیل ناکافی بودن عمق استغراق روی سازه ممکن است رخ دهد و منجر به کاهش ظرفیت آبگیر و ورود هوا به داخل مجرا شود. باتوجه به جریان ایجاد شده در حالت بحرانی، در مجاورت ورودی دهانه‌ی سرریز قائم ناحیه‌ی مفروض در پژوهش حاضر ایجاد خواهد شد. دو عامل اصلی خصوصیات جریان نزدیک شونده

به دهانه‌ی سرریز و موقعیت مکان استقرار آبگیر قائم باعث شناسایی و بررسی سطح ریزش مورد پژوهش می‌باشد. یکی از مشکلات اصلی که سرریزهای مدور قائم با آن مواجه هستند تشکیل گرداب‌های قوی در دهانه آن‌ها است که منجر به کاهش ضریب تخلیه سیستم سرریز، اعمال بار آبی در دهانه سرریز، ارتعاش سازه، افزایش احتمال وقوع کاویتاسیون، مکش اجسام شناور به داخل مجرا، وجود نوسانات زیاد در سطح جریان، به وجود آمدن جریان غیر ماندگار و افزایش افت انرژی می‌گردد. جریان‌های گردابه‌ای در اثر تغییر جهت جریان، لزجت و کشش سطحی رخ می‌دهند. وجود این نوع جریان‌ها تأثیر منفی در عملکرد سازه‌هایی نظیر سرریز مدور قائم می‌گذارد (Zomorodian and Sabzevari, 2006). بررسی جریان‌های گردابی در سرریزهای مدور قائم مسئله‌ای مهم می‌باشد زیرا ممکن است اثرات منفی آن بر عملکرد سرریز مدور قائم باعث خسارات جبران ناپذیری مانند ارتعاش سازه، افزایش احتمال وقوع کاویتاسیون، مکش اجسام شناور به داخل مجرا، وجود نوسانات زیاد در سطح جریان، به وجود آمدن جریان غیر ماندگار و افزایش افت انرژی شود. لذا شناخت کامل هندسی و هیدرولیکی در مورد ناحیه تشکیل گرداب و سطح ریزش بحرانی در جهت بهبود بخشیدن به عملکرد این نوع سرریزها حائز اهمیت است. به منظور جلوگیری از تشکیل گرداب با هسته‌ی هوا و پیشگیری از ورود هوا به دهانه‌ی آبگیر توسط

$$V_0 = r\omega = \frac{\Gamma}{2\pi} \frac{r}{r_m^2} \quad r \leq r_m \quad (1)$$

$$V_0 = \frac{\Gamma}{2\pi r} = \omega \frac{r_m^2}{r} \quad r > r_m \quad (2)$$

در این روابط  $V_0$  سرعت مماسی،  $r$  فاصله از محور چرخش،  $r_m$  فاصله یا شعاعی است که در آن حداکثر سرعت مماسی رخ می‌دهد،  $\Gamma$  چرخش (سیرکولاسیون) و  $\omega$  سرعت زاویه‌ای می‌باشد. سیرکولاسیون با معادله (۳) تعریف می‌شود (Rankine, 1872).

$$\Gamma = 2\pi r_m^2 \omega \quad (3)$$

Yildirim و Kocabaş (1995) با کمک گرفتن از جریان پتانسیل توانست یک حل تحلیلی را برای  $(S/D)_{cr}$  در جریان یکنواخت به دست آورد. طبق نظریه که توسط Rankine بیان شده جریان به دو ناحیه تقسیم می‌شود:

۱- جریانی که وارد آبگیر می‌شود.

۲- جریانی که وارد آبگیر نمی‌شود.

Rankine با انجام آزمایش‌هایی روی یک آبگیر قائم در یک کانال با عرض مشخص، نشان داد یک ناحیه‌ی کروی مفروض در اطراف آبگیر شکل می‌گیرد که در داخل این ناحیه آب در ناحیه گرداب اجباری قرار دارد و با سرعت وارد آبگیر می‌شود و خارج از این ناحیه آب با سرعت بسیار کم به سمت ناحیه اطراف آبگیر حرکت می‌کند. Yildirim و Kocabaş (1998) روش CSSS را با داده‌های آزمایشگاهی در حالت مخزن آب ساکن مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که این روش برای آب ساکن نیز برقرار است. بنابراین بر اساس پیشنهاد Yildirim و Kocabaş (1998) می‌توان از روش سطح ریزش کره بحرانی در آبگیری از دریاچه، استخرها و مخازن بهره برد. طبق نظریه‌ی وی، در یک حالت بحرانی وقتی که شعاع این کره به سطح آب می‌رسد، ذرات سطح آب به همراه هوای اطرافش وارد آبگیر می‌شوند. در این حالت شعاع کره تقریباً برابر  $Scr$  است. حال اگر مانند شکل زیر یک مرز جامد در کنار آبگیر قرار گیرد، مقدار سطح کره  $Ac$  کاهش پیدا می‌کند و منجر به تغییراتی در قدرت گردابه و عمق استغراق بحرانی می‌شود.

Tastan و Yildirim (2010) تأثیر پارامترهای بی‌بعد را بر گرداب در حالتی بحرانی یعنی زمانی که که نوک دوک هسته هوا در سطح آب و انتهای دوک در نوک ورودی آبگیر است، مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در این تحقیق بررسی‌های خود را روی آبگیر قائم و با استفاده از جریان متقاطع (Cross Flow) و همچنین در آب راکد صورت دادند. علاوه بر پارامترهای بی‌بعد اثر اصطکاک و مرزهای ایجادکننده اصطکاک نیز در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که مقدار  $(S/D)_{cr}$  با عدد فرود، رینولدز و وبر تغییر می‌نماید. البته به دلیل آن که با افزایش سرعت جریان نزدیکی نیروی

جریان‌های چرخشی سطحی و همچنین به حداقل رساندن چرخش ورودی به آبگیر توسط جریان‌های چرخشی مستغرق، آبگیر می‌باید به قدر کافی مستغرق شود. عمق استغراق بحرانی حداقل عمقی است که در آن گرداب با قدرت مشخص تشکیل نشود. بنابراین اگر تولید گردش در جریان ورودی و تمرکز جریان چرخشی در بالای آبگیر دقیقاً به مقداری برسد که یک گرداب سطح آزاد قادر به نفوذ به آبگیر شود، عمق استغراق روی آبگیر در حالت بحرانی خواهد بود (Knauss, 2017).

Yang et al. (2014) تأثیر شکل دهانه ورودی آبگیر را بر عمق بحرانی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در این تحقیق از هفت ورودی با شکل‌های مختلف در محدوده عدد فرود ۰/۲۵ تا ۰/۶۵ استفاده کردند. نتایج در تحقیقات نشان داد که گرد کردن یا برش دادن دهانه ورودی باعث بهبود الگوی جریان ورودی به آبگیر و همچنین کاهش عمق استغراق می‌شود، همچنین بررسی اثر دیواره بر عمق بحرانی در تحقیق ایشان نشان داد که با نزدیک شدن به دیواره عمق استغراق بحرانی کاهش می‌یابد.

Lashkar-Ara و Sheikhi (2017) با اجرای آزمایش‌هایی روی آبگیر مدور قائم با ورودی تاج‌دندانه‌ای در شرایط جریان غیرچرخشی در مخزن، به بررسی اثر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی این دسته از سرریزها پرداختند. تحلیل نتایج نشان داد که سرریزهای تاج‌دندانه‌ای با شیب کلیدها ۱:۱/۵ (قائم؛ افق)، نسبت به سرریزهای با شیب ۱:۱ و ۱:۰/۵، ضریب تخلیه جریان بالاتری دارند. همچنین نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که سرریزهای با تعداد سیکل بالاتر در نسبت بار آبی به ارتفاع کم عملکرد بهتری نسبت به سرریزهای با تعداد سیکل پایین‌تر دارند. مقایسه‌ی نتایج خصوصیات هیدرولیکی سرریزهای تاج‌دندانه‌ای با سرریزهای مدور قائم نشان‌دهنده‌ی برتری ضریب تخلیه این دسته از سرریزها در مقایسه با آبگیر مدور قائم است.

Tastan و Yildirim (2010) نشان دادند که عمق استغراق بحرانی برای آبگیر در کانال با جریان یکنواخت برابر شعاع یک سطح ریزش کروی است که این سطح ریزش کروی را سطح ریزش کروی بحرانی (CSSS Critical Spherical Sink Surface) نامیدند. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است مرزهای نفوذ ناپذیر خارج از کره ولی لوله آبگیر داخل کره می‌باشد.

Rankine (1872) مدلی از گرداب که به گرداب مرکب رانکین معروف است ارائه کرد. در این مدل فرض بر این است که ذرات سیال که در نزدیکی مرکز گرداب قرار دارند به مثابه جسم صلب با ویسکوزیته بالا بوده و دارای حرکت چرخشی حول محور خود می‌باشند (گرداب اجباری). این ناحیه درون یک منطقه غیر لزج (گرداب آزاد) که در فاصله دورتری از مرکز گرداب قرار دارد جای گرفته است. لذا با توجه به تقسیم‌بندی فوق سرعت مماسی به صورت معادله‌های (۱) و (۲) بیان می‌شوند.

با توجه به تعریف  $A$  در رابطه (۶) می‌توان مشاهده کرد که با تمایل  $A$  به طرف بی‌نهایت، لزجت  $v$  به سمت صفر میل می‌کند. Shemshi و Kabiri-Samani (2017) با بررسی جریان چرخشی در سرریز مدور قائم با ورودی کلید پیاپویی مدور دریافتند که در شرایط جریان چرخشی ورودی کلید پیاپویی، نسبت به حالت ورودی مدور ساده، باعث کاهش تلاطم جریان و افزایش قدرت تخلیه می‌گردد. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که آستانه استغراق در نسبت‌های  $1/5 \leq S/D$  رخ می‌دهد.

Jain et al. (1978) در مطالعه‌های خود نشان دادند در صورتی که عدد وبر بیش از  $10^4$  باشد کشش سطحی حداقل تأثیر را در جریان‌های گردابی خواهد داشت. آن‌ها برای مطالعه تأثیر لزجت بر استغراق بحرانی گرداب از ترکیب شیمیایی افزایشده سپول (Cepol) استفاده کردند. این محلول سبب افزایش لزجت سینماتیک آب می‌گردد. همچنین نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که با افزایش محلول به عبارتی افزایش لزجت سیال، کاهش معنی‌داری در استغراق بحرانی ایجاد می‌شود. ایشان با تحلیل ابعادی پدیده تشکیل گرداب را با دو دسته اعداد بدون بعد هندسی و سینماتیک مورد تحلیل قرار دادند و نتیجه گرفتند با توجه به اینکه در هر مدل‌سازی نمی‌توان کلیه اعداد بدون بعد را در تشابه لحاظ کرد و به ناچار یکی از این اعداد که بیشترین دخالت را در وقوع پدیده مورد نظر و مدل کردن آن دارد مورد توجه و ملاک مدل‌سازی قرار می‌گیرد. آن‌ها پیشنهاد دادند که برای به‌دست آوردن نتایج استغراق بحرانی در مدلی که با مقیاس عدد فرود کار می‌کند یک ضریب تصحیح بزرگتر از یک به کار رود. آن‌ها مانند بسیاری از محققان دیگر رابطه‌ای بین استغراق بحرانی و عدد فرود را مورد مطالعه قرار دادند و رابطه زیر را پیشنهاد دادند.

$$Fr^{0.5} (S/D)_{cr} = 4.5 \quad (۷)$$

اینرسی جریان متقاطع بر ویسکوزیته، ثقل و نیروی کشش سطحی غالب می‌شود، محدوده تغییرات کمتر خواهد بود. به عبارت دیگر، محدوده اثرگذاری اعداد فرود، رینولدز و وبر بر گرداب به شرایط جریان و شرایط هندسی بستگی دارد و این مقادیر ثابت نیستند. همچنین ایشان در تحقیق خود با انجام آزمایش‌هایی اثر دیواره‌ی جامد را روی  $S_{cr}$  (عمق استغراق بحرانی) بررسی کرد و به این نتیجه رسید که مشخصات این دیواره می‌تواند روی  $S_{cr}$  اثر گذار باشد. به‌عنوان مثال هر چه فاصله‌ی دیواره (مرز) جامد تا مرکز گرداب کمتر است، مقدار  $S_{cr}$  کاهش می‌یابد (یعنی قدرت گرداب کاهش می‌یابد).

Einstein و Li (1955) اثر لزجت سیال را در جریان‌های گردابی به شکل تئوریک مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها برای مطالعه لزجت سیال در این شرایط از نوعی عدد رینالدز شعاعی ( $A$ ) استفاده کردند که پارامتر مشخصه طول در آن، طول هسته هوای گرداب بود.

$$A = \frac{Q}{2\pi L v} \quad (۴)$$

$$Rr = \frac{Q}{v h} \quad (۵)$$

که در آن  $Rr$ : عدد رینالدز شعاعی،  $Q$ : دبی آبگیر،  $v$ : لزجت سینماتیک،  $h$ : میزان استغراق روی دهانه آبگیر و  $L$ : طول هسته هوای گرداب می‌باشد.

نتایج این مطالعه‌ها نشان داد که تلاطم جریان در هسته گرداب سبب ایجاد یک لزجت اضافی ( $\epsilon$ ) در لزجت مؤثر کل ( $v_c$ ) می‌گردد که لزجت مؤثر کل مطابق با رابطه (۶) می‌باشد.

$$v_c = v + \epsilon \quad (۶)$$

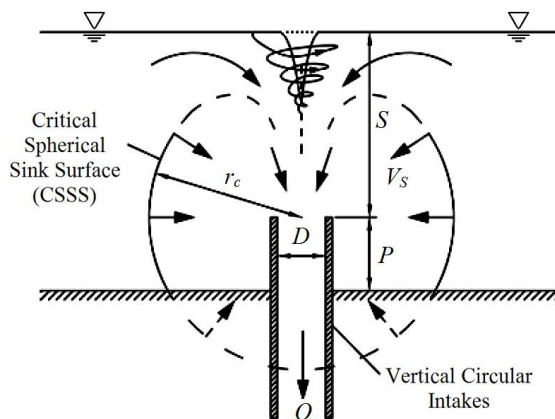


Fig. 1- Critical sphere schematic around the vertical shaft inlet (Wang et al., 2011)

شکل ۱- نمایش شماتیک کره بحرانی در اطراف دهانه آبگیر قائم به نقل از (Wang et al., 2011)

نمودند. اما امروزه با پیشرفت تکنولوژی، نقش روش های محاسباتی و دستاوردهای آنها در علوم مختلف بر کسی پوشیده نیست. در چند دهه اخیر از دینامیک سیالات محاسباتی جهت محاسبه مشتقات دینامیکی استفاده شده است و این امر می تواند تأثیر بسزایی در درک رفتار سیال بخصوص در اطراف دهانه های آبگیر داشته باشد. در مواردی که سیال حاوی ذرات معلق است، مشتقات دینامیکی تأثیر بسزایی در تحلیل نتایج خواهند داشت که بررسی آنها به روش های آزمایشگاهی میسر نیست.

این تحقیق به موازات مطالعات Kocabaş و Yildirim (1998) پایه گذاری شده است با این تفاوت که در تحقیقات Yildirim و Kocabaş (1998) صرفاً با تخمین سرعت، مکان هندسی سطح ریزش بحرانی تقریب زده شده است و در گزارشات منتشر شده شکل عمومی آنها به صورت کره گزارش نموده اند. ولی در تحقیق حاضر از روش دینامیک سیالات محاسباتی جهت حل معادلات حرکت نیوتن بهره گرفته شده است و مسیر حرکت ذرات تعیین شده اند. سپس مکان هندسی سطح ریزش بحرانی با استفاده از بررسی روند تغییرات لزجت دینامیکی تعیین گردید. نتایج تحقیق حاضر در تخمین خصوصیات هندسی سطح ریزش بحرانی در اطراف دهانه های آبگیر منشعب از مخزن، از نتایج متفاوتی با مطالعات Yildirim و Kocabaş (1998) برخوردار است.

### مواد و روش ها

در این تحقیق به منظور شبیه سازی سطح ریزش بحرانی در اطراف دهانه ای آبگیر قائم از نرم افزار FLOW-3D استفاده شده است و معادله های حاکم با روش حجم محدود، حل عددی شده اند. در این نرم افزار الگوریتم جزء سطح/حجم بیانگر مانع FAVOR برای تعریف هندسه در روش حجم محدود به کار رفته است. این الگوریتم موانع داخل میدان را در سلول های محاسباتی به صورت مقدار جزئی بین صفر و یک در نظر می گیرد به نحوی که اگر کل سلول توسط مانع پر شده باشد، مقدار جزء حجم یا سطح برابر یک خواهد بود. سطح آزاد جریان با استفاده از الگوریتم جزء حجم سیال VOF تعیین می شود. ترم های سرعت و فشار به صورت ضمنی و با استفاده از مقادیر فشار و سرعت زمان های سابق در معادله های پیوستگی و مومنتم کوپل می شوند. در این نرم افزار، معادله های شبه ضمنی حاصله به صورت تکراری و با استفاده از روش های تخفیف حل می شوند که در این مقاله از روش GMRES به عنوان حل گر ضمنی فشار استفاده شده است. همچنین از مدل آشفتگی RNG برای بستن معادله های متوسط گیری شده زمانی رینولدز استفاده شده است.

برای ساخت یک مدل محاسباتی، در گام اول مشخصات هندسی مطابق با فیزیک مساله طرح می شود. برای این منظور ابتدا با استفاده از نرم افزار اتوکد مدل سه بعدی دهانه ای آبگیر

Hecker و Padmanabhan (1984) دریافتند که اگر عدد رینالدز شعاعی بزرگتر یا برابر  $10^4 \times 3$  باشد قدرت گرداب مستقل از عدد رینالدز خواهد بود. همچنین توصیه کردند که در مدل از عدد وبر بزرگتر از  $10^4$  استفاده شود تا مدل به شکل مستقل از اثر کشش سطحی عمل کند. همچنین آن ها جریان های چرخشی را نیز مورد مطالعه قرار دادند. در مورد جریان های چرخشی مستغرق آن ها دریافتند که تولید پی در پی این جریان ها و مدل سازی شدت جریان های چرخشی ایجاد شده به وسیله گرداب های مستغرق نیازمند وجود حداقل تأثیر لزجت است. برای مخازن عمیق، آزمایش های انجام شده توسط آن ها نشان داد که لازمه ی ایجاد این شرایط این است که عدد رینالدز جریان آستانه بیشتر از  $10^4 \times 3$  باشد. یعنی:

$$\frac{u_s S_a}{\nu} > 3 \times 10^4 \quad (8)$$

که در آن  $u_s$  سرعت متوسط در جریان آستانه،  $S_a$  عمق جریان آستانه و  $\nu$  لزجت سینماتیک آستانه می باشد.

Asadsangabi et al. (2014) جریان دو فاز را در سرریزهای نیلوفری با استفاده از روش حجم سیال (VOF) مدل کرده و نتایجی را به دست آوردند. جریان دو فاز شامل آب- هوا بوده است که با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) در قالب روش حجم محدود و معادلات ناویراستوکس سه بعدی در اشکال مختلف ورودی حل می شوند. جریان متلاطم به وسیله روش  $K-\epsilon$  مدل شد و براساس نتایج تجربی مدل های بررسی شده، دبی، سرعت، فشار و شاخص کاویتاسیون برای اشکال مختلف ورودی در مقابل یکدیگر مقایسه گردیدند. آن ها نتیجه گرفتند که دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) یک روش مناسب در بررسی بارابی در مقابل دبی و شاخص کاویتاسیون برای اشکال مختلف ورودی از سرریز نیلوفری در مقایسه با مدل فیزیکی با توجه با زمان و هزینه می باشد. Ahadiyan و Nourooz (2017) با استفاده از مدل عددی، تأثیر تعداد تیغه های گرداب شکن را روی کنترل گرداب در ورودی سرریز و افزایش ضریب دبی سرریز نیلوفری مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق ایشان نشان داد که در بین سه آرایش تیغه های گرداب شکن سه، چهار و شش، آرایش شش تایی دارای نتایج مطلوب تری نسبت به حالت های دیگر است و همچنین بیشترین تأثیر را در کاهش ارتفاع آب روی سرریز در حدود ۳۸ درصد داشت. از طرفی با افزایش دبی و استغراق گرداب شکن ها، جریان متلاطم شده و خطوط شکسته با حالت گرداب های مخلوط می گردد.

مطالعاتی که در فوق بدان ها اشاره شد در مجموع به روش های تحلیلی و آزمایشگاهی به بررسی اثر گرداب و سطح ریزش بحرانی در اطراف دهانه آبگیر پرداختند و در مجموع نتایج مفیدی ارائه

$$\bar{V}_z = \frac{V_{m1} + V_{m2} + V_{m3}}{3} \quad (11)$$

لازم به ذکر است که فاصله‌ی دهانه آبیگر تا جداره مخزن به چهار قسمت مساوی شامل پنج موقعیت اندازه‌گیری تقسیم شده است. شماتیک موقعیت‌های اندازه‌گیری در لایه‌های سه گانه‌ی فوق‌الذکر در شکل (۲) نشان داده شده‌اند. پس از استخراج نتایج در هر یک از سناریوهای از پیش تعیین شده شامل تغییر در میزان تراز آب مخزن و همچنین تغییر در قطر و ارتفاع آبیگر قائم، نسبت به تحلیل نتایج حاصله در راستای تعیین شکل هندسی سطح ریزش بحرانی به داخل دهانه آبیگر پرداخته خواهد شد. برای این منظور از تغییرات لزجت دینامیکی در محدوده گرداب‌های آزاد و اجباری تشکیل شده در اطراف دهانه آبیگر بهره‌گیری شده است.

#### صحت‌سنجی مدل

به‌منظور بررسی اثر پارامترهای مختلف بر نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی، لازم است تا خطای مدل در پیش‌بینی پارامترها مشخص شود و از طرف دیگر شرایط استاندارد در خصوص تنظیمات مدل و نتایج حاصل از آن به‌وجود آید. برای این منظور مدل فیزیکی یکی از سناریوها که با پارامتر نسبی ارتفاع به قطر آبیگر  $P/D$  معادل پنج تحت شرایط هیدرولیکی مختلف در آزمایشگاه مورد آزمون قرار گرفته بود، شبیه‌سازی گردید. شرایط هیدرولیکی در آزمایشگاه با ۱۴ دبی مختلف مورد آزمون قرار گرفت. در این شرایط مقادیر بار آبی استاتیکی روی سرریز به قطر دهانه آبیگر  $S/D$  از ۰/۱۸ الی ۲ نمو داده شد. شبیه‌سازی صورت گرفته توسط مدل عددی در یک بلوک شبکه‌بندی شده با ابعاد یکنواخت با اندازه‌ی شبکه‌های ۰/۱ در هر سه راستای  $x$ ،  $y$  و  $z$  صورت پذیرفت. بهینه‌سازی اندازه‌ی شبکه محاسباتی با استفاده از الگوریتم شاخص هم‌گرایی شبکه (Grid Convergence Index) که توسط Roache (1994) ارائه شده، تعیین گردید. در این الگوریتم، با توجه به میزان دبی آزمایشگاهی، این پارامتر به‌عنوان هدف انتخاب شده و ضمن استفاده از شبکه‌بندی‌های مختلف، شبکه بهینه بر اساس الگوریتم مزبور انتخاب خواهد شد. به‌منظور حصول اطمینان از همگرایی حل معادله‌هایی توسط مدل از یکسو و همچنین حفظ ثبات در شرایط مرزی مدل، مقادیر دبی خروجی از مدل و همچنین تغییرات زمانی تراز سطح آب در ورودی از سوی دیگر پایش گردید. نتایج در شکل (۳-الف) و (۳-ب) نمایش داده شده‌اند. همان‌طوری که ملاحظه می‌گردد پس از گذشت ۶۰ ثانیه از اجرای مدل شرایط لازم برای همگرایی و شکل‌گیری جریان دائمی فراهم شده است.

مورد نظر بر اساس سناریوهای از پیش تعیین شده ترسیم و به نرم‌افزار معرفی گردید.

برای تعیین شرایط جریان روی مرزها باید از انواع مرزهای معرفی شده در مدل استفاده نمود. لازم به ذکر است که به هر مرز فقط یک نوع را می‌توان نسبت داد. انتخاب یک نوع برای یک مرز با توجه به اطلاعات در دسترس و اطلاعات مورد نیاز نرم‌افزار برای آن نوع مرز صورت می‌گیرد. شرایط مرزی معرفی شده به مدل در مرز ورودی بلوک از شرط مرزی دبی جریان استفاده شده است. مرز پایین دست و مرزهای کناری به‌صورت دیوار مدل شده و در کف مدل از شرط مرزی خروجی استفاده شده است. برای کف مدل از شرط خروجی استفاده شده است.

سناریوهای اصلی مورد نظر برای بررسی در این تحقیق به تغییرات دبی جریان و به واسطه‌ی آن تغییرات تراز مخزن محدود می‌گردد. همچنین به‌منظور بررسی اثر قطر  $D$  و ارتفاع آبیگر  $P$  بر شرایط هیدرولیکی جریان و مشخصات هندسی سطح ریزش بحرانی به داخل دهانه آبیگر نیز چندین زیر سناریو در دستور کار تحقیق قرار گرفت. برای کنترل صحت نتایج شبیه‌سازی، مقرر گردید تا با انجام چند مرحله آزمون در مدل فیزیکی موجود در آزمایشگاه هیدرولیک و مهندسی رودخانه دانشگاه صنعتی جندی شاپور، شرایط صحت‌سنجی نتایج شبیه‌سازی تسهیل گردد. سپس با استفاده از کنترل تغییرات دبی جریان به مرز ورودی و همچنین تغییرات تراز سطح آب در مدل از صحت نتایج اطمینان حاصل نمود. با توجه به آن‌که هنگام تشکیل گرداب در ناحیه ریزش اطراف آبیگر، گردابان تغییرات سرعت در اطراف دهانه‌ی آبیگر شدید است و با دور شدن از ناحیه مغزه‌ی گرداب به‌تدریج از سرعت جریان کم می‌شود، تشخیص نواحی مختلف جریان تابع مؤلفه‌های مختلف سرعت بوده و تشخیص میزان و موقعیت مکانی آن‌ها کار ساده‌ای نخواهد بود. لذا تعیین و تحلیل محدوده تغییرات سرعت در اطراف آبیگر و تعیین رابطه بین محدوده این تغییرات و شکل هندسی سطح ریزش، امری مهم است. برای بررسی دقیق‌تر این مسئله تغییرات سرعت مماسی  $\bar{V}_\theta$ ، شعاعی  $\bar{V}_r$  و عمقی  $\bar{V}_z$  را در سه تراز  $m1$ ،  $m2$  و  $m3$  در بالای دهانه‌ی آبیگر ملاک محاسبه قرار گرفته است. موقعیت‌های اندازه‌گیری سرعت در تراز ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد عمق استغراق بحرانی قرار دارند. سپس با روش حسابی میانگین سرعت در سه لایه‌ی مذکور توسط روابط (۹) الی (۱۱) استخراج می‌شود.

$$\bar{V}_\theta = \frac{V_{m1} + V_{m2} + V_{m3}}{3} \quad (9)$$

$$\bar{V}_r = \frac{V_{m1} + V_{m2} + V_{m3}}{3} \quad (10)$$



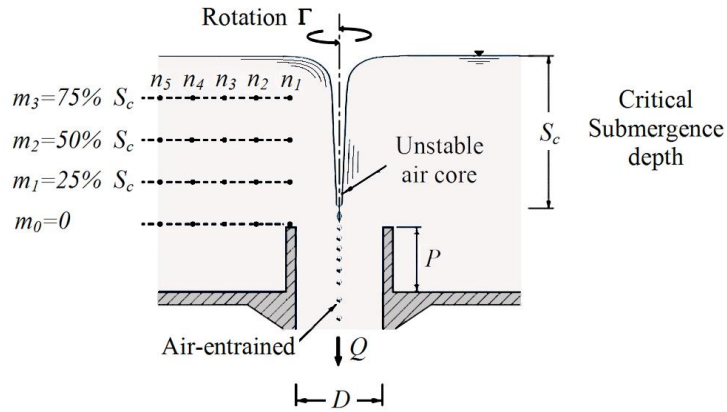
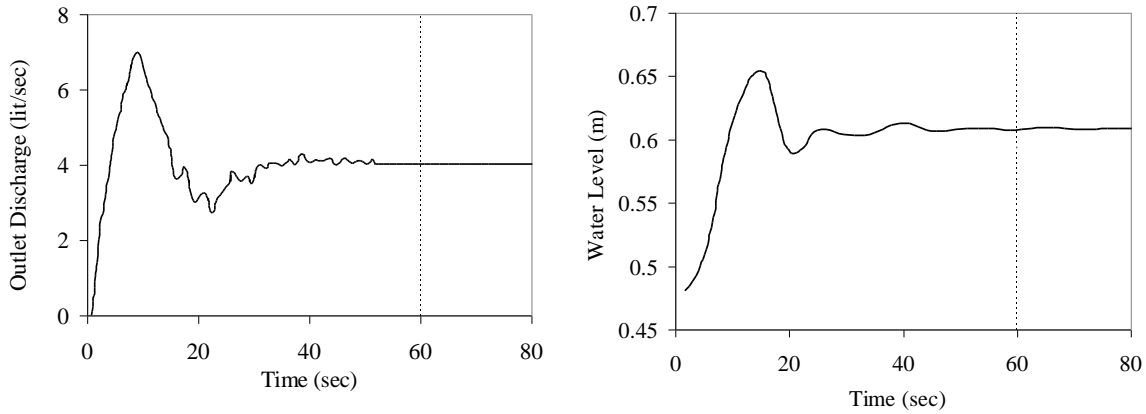


Fig. 2- Evaluated Level for tangential, radial and depth data extraction in the model

شکل ۲- ترازهای مورد ارزیابی در استخراج پارامترهای سرعت مماسی، شعاعی و عمقی در مدل



b) Fluctuation of discharge from the output boundary

a) Fluctuation of water level in the input boundary

Fig. 3- The convergence process of solving equations and achieving a steady state

شکل ۳- روند همگرایی حل معادله‌ها و رسیدن به حالت پایدار

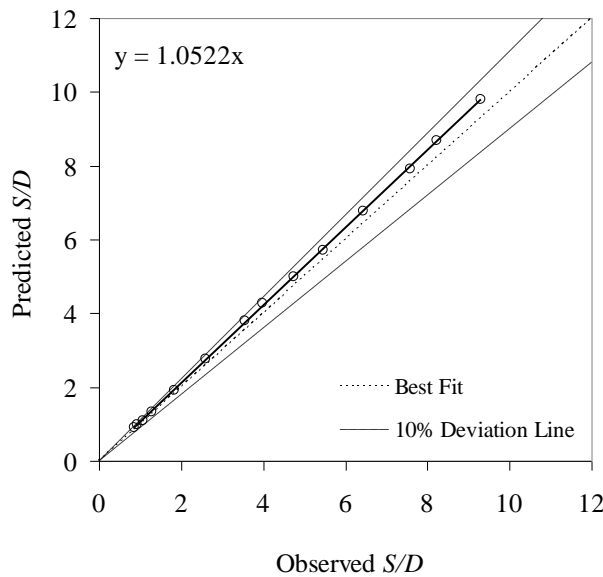


Fig. 4- Comparison of computational values of S/D versus laboratory observations at P/D= 5

شکل ۴- مقایسه مقادیر محاسباتی S/D توسط مدل و مشاهدات آزمایشگاهی نظیر در ارتفاع نسبی P/D=5

همان‌طور که در مقدمه بیان شد، هنگام رسیدن ارتفاع آب روی سرریز به مقدار بحرانی خود گردابی مشاهده می‌شود که در آن هسته هوا به صورت دوکی می‌باشد که نوک دوک در مرز ورودی آبگیر قائم و انتهای آن در سطح آب می‌باشد (شکل ۱). در این حالت ورود هوا به داخل آبگیر از یک محدوده خاصی اتفاق می‌افتد که این محدوده به صورت یک سطح ریزش بحرانی (CSSS) معرفی گردید. ابعاد این حجم فرضی تابع مشخصات هندسی آبگیر شامل قطر  $D$  و ارتفاع  $P$  و همچنین موقعیت آبگیر نسبت به جداره‌های مخزن می‌باشد. برای درک بهتر اثر قطر بر سطح ریزش بحرانی سناریوهای مختلفی تدوین گردید تا واکنش هندسی سطح ریزش بحرانی به هنگام تغییر پارامتر نسبی  $P/D$  ارزیابی گردد. برای این منظور قطر دهانه آبگیر  $D$  از چهار الی هشت سانتی‌متر تغییر یافت و متقابلاً ارتفاع آبگیر  $P$  نیز از ۸ الی ۳۲ سانتی‌متر نمو داده شد. با این عمل سناریوهای اصلی  $P/D$  از یک الی هشت تدوین گردید. سپس فیزیک مدل‌های مذکور ساخته شد و پس از اجرای مدل نتایج در شکل‌های (۵) الی (۱۲) ارائه گردید. بررسی شکل‌های (۵) الی (۱۲) نشان می‌دهند که هندسه سطح ریزش بحرانی مفروض به مشابیه بال پروانه و یا دلواری می‌باشد. لازم به ذکر است که واحد لزجت دینامیکی  $\mu$  نمایش داده شده در کلیه شکل‌ها بر حسب میلی پاسکال-ثانیه می‌باشد.

در شکل (۴) مقادیر  $S/D$  آزمایشگاهی برای دبی‌های مختلف در برابر  $S/D$  های عددی حاصل از مدل‌سازی ارائه شده است. لازم به یادآوری است که  $S$  بیانگر ارتفاع آب روی سرریز می‌باشد. به منظور مقایسه کمی نتایج مدل عددی با مقادیر آزمایشگاهی از توابع خطای میانگین خطای مطلق (MAE) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، مطابق روابط (۱۲) و (۱۳) و همچنین ضریب زاویه خط برازش شده از بین داده‌ها (m) استفاده شده است.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |O_i - P_i| \quad (12)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - O_i)^2}{n}} \quad (13)$$

مقدار پارامترهای مذکور به ترتیب برابر با ۰/۲۲ ، ۰/۰۴۷ و ۵/۲ درصد می‌باشد. بنابراین می‌توان چنین استنباط نمود که نتایج حاصل از شبیه‌سازی صورت گرفته حدود +۵ درصد بیشتر از نتایج آزمایشگاهی گزارش می‌گردد. به واسطه‌ی ناچیز بودن میانگین خطای مطلق در مجموع تطابق نسبی مطلوبی بین نتایج مدل‌سازی و مشاهدات آزمایشگاهی برقرار است.

## نتایج و بحث

### مشخصات هندسی سطح ریزش بحرانی

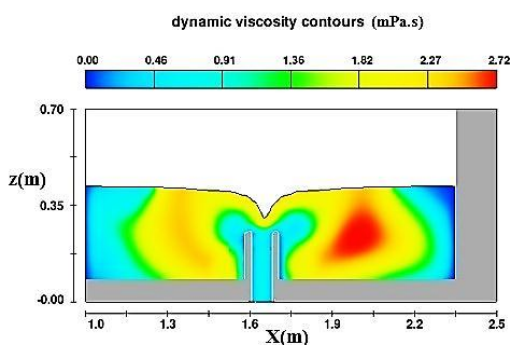


Fig. 6- Geometric change of CSSS at  $P/D=2$   
شکل ۶- واکنش هندسی سطح ریزش بحرانی در  $P/D=2$

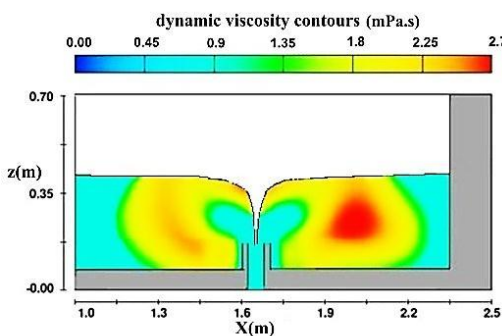


Fig. 5- Geometric change of CSSS at  $P/D=1$   
شکل ۵- واکنش هندسی سطح ریزش بحرانی در  $P/D=1$

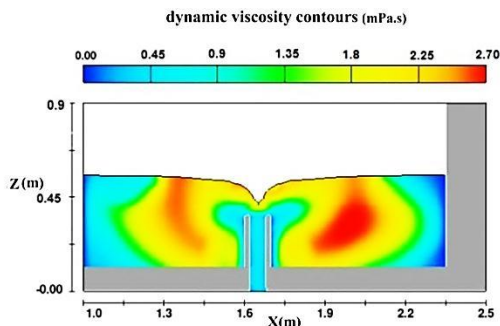


Fig. 8- Geometric change of CSSS at  $P/D=4$   
شکل ۸- واکنش هندسی سطح ریزش بحرانی در  $P/D=4$

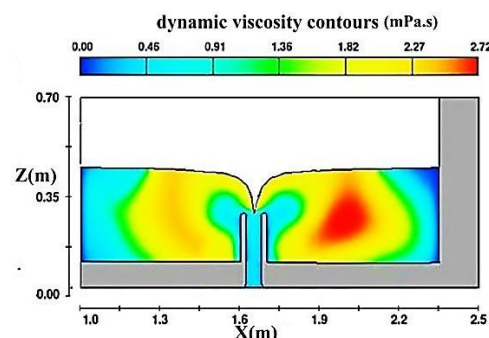


Fig. 7- Geometric change of CSSS at  $P/D=3$   
شکل ۷- واکنش هندسی سطح ریزش بحرانی در  $P/D=3$

$P/D=4$

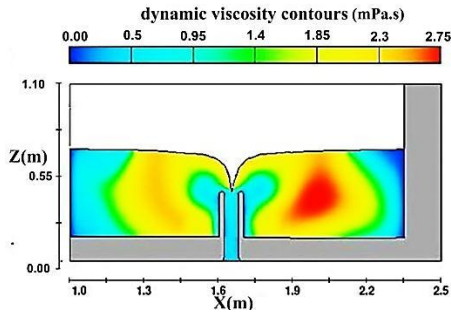


Fig. 10- Geometric change of CSSS at  $P/D=6$   
 شکل ۱۰- واکنش هندسی سطح ریزش بحرانی در  $P/D=6$

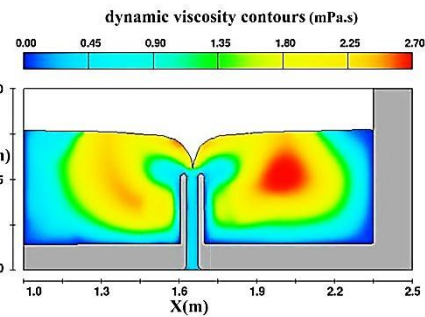


Fig. 9- Geometric change of CSSS at  $P/D=5$   
 شکل ۹- واکنش هندسی سطح ریزش بحرانی در  $P/D=5$

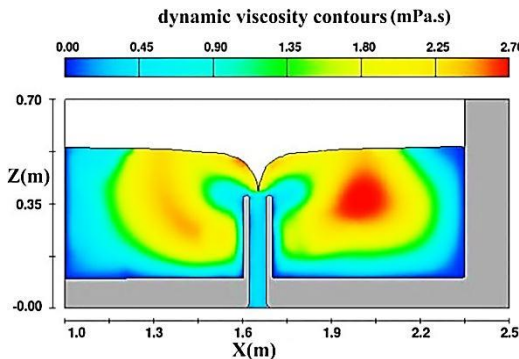


Fig. 12- Geometric change of CSSS at  $P/D=8$   
 شکل ۱۲- واکنش هندسی سطح ریزش بحرانی در  $P/D=8$

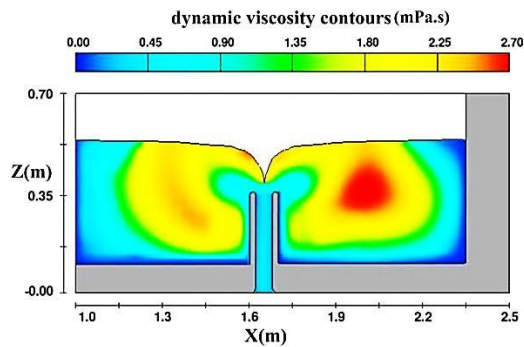


Fig. 11- Geometric change of CSSS at  $P/D=7$   
 شکل ۱۱- واکنش هندسی سطح ریزش بحرانی در  $P/D=7$

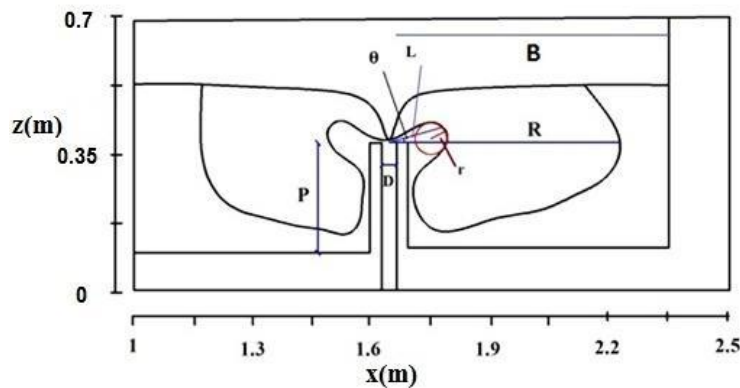


Fig. 13- Technical Specifications of SSS Geometry  
 شکل ۱۳- مشخصات فنی هندسه سطح ریزش

نتایج حاکی از آن است که مشخصات هندسی سطح ریزش بحرانی برای نسبت‌های مختلف  $P/D$  متفاوت است. تفاوت در این حجم ریزش ناشی از اختلاف در قطر دهانه ورودی و هم چنین ارتفاع از کف آبگیر می‌باشد به طوری که برای قطرهای بزرگتر، حجم بزرگتری برای ناحیه لزوج اطراف آبگیر و همچنین حجم بزرگتری برای ناحیه ریزش آب به داخل آبگیر شکل می‌گیرد. در گام بعد نسبت به تحلیل حساسیت نتایج، تحت اثر تغییر در ارتفاع آبگیر پرداخته شده است. برای این منظور با ثابت

از آنجایی که نتایج بررسی‌های انجام گرفته حاکی از آن است که امکان ارائه‌ی یک رابطه‌ای برای تعیین قطر این دلووار وجود ندارد، لذا با هدف ارائه‌ی یک گزارش در خصوص چگونگی تغییرات هندسی سطح ریزش بحرانی در اطراف دهانه آبگیر تلاش گردید تا خصوصیات هندسی حاصل از اجرای مدل تحت پارامتر نسبی  $P/D$  مختلف (که نماد آن‌ها در شکل (۱۳) نمایش داده شده است) در جدول (۱) گزارش شوند.

نسبی  $P/D$  معادل با سه و یک ارائه شده‌اند. نتایج نشان می‌دهند که مشخصات هندسی سطح ریزش پروانه‌ای شکل، تغییری نداشته است اما ناحیه لزوج اطراف آبگیر همزمان با کاهش ارتفاع آبگیر به سمت پایین کشیده شده است. خصوصیات هیدرولیکی سطح ریزش بحرانی از لبه‌ی جدار آبگیر قائم به سمت جدار مخزن مسلماً سرعت دارای تغییرات است.

نظر گرفتن قطر دهانه آبگیر نسبت به نمو ارتفاع آبگیر در چهارچوب سناریوهای تدوین شده اقدام گردید. برای این منظور قطر آبگیر به صورت ثابت معادل با شش سانتی‌متر در نظر گرفته شد و خصوصیات سطح ریزش بحرانی تحت دو مقدار ارتفاع آبگیر نسبت به کف مخزن، برابر با شش و ۱۸ سانتی‌متر در نظر گرفته شد و مشخصات و خصوصیات سطح ریزش بحرانی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج در شکل‌های (۱۴) و (۱۵) به ترتیب با ارتفاع

جدول ۱- خصوصیات فنی و هندسی برای همه نسبت‌های  $P/D$

Table 1- Technical and geometric properties for all ratios of  $P/D$

$P/D$	$R$ (cm)	$r$ (cm)	$L$ (cm)	$\theta$ (Degree)	$r/L$	$B/R$
1	53	6	18	26	0.333	0.014
2	63	6.9	19.71	41	0.35	0.017
3	62	6	17.5	27	0.343	0.0119
4	60	6.5	18.5	30	0.351	0.0123
5	61	6.1	18	28	0.339	0.0121
6	62	8.5	17.2	25	0.337	0.0119
7	62	4	14	17	0.286	0.0119
8	60	4	14.2	17	0.282	0.0123

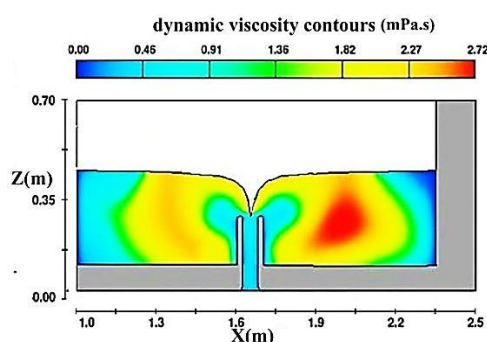


Fig. 14- The CSSS geometry input to intake at  $P/D=3$   
شکل ۱۴- هندسه سطح ریزش بحرانی ورودی به آبگیر در  $P/D=3$

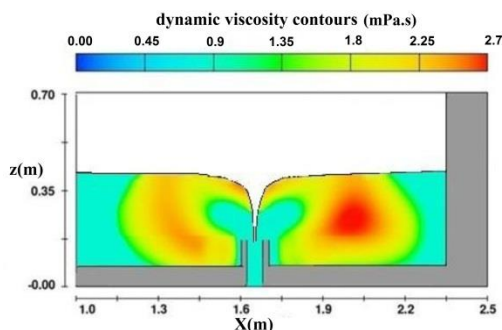
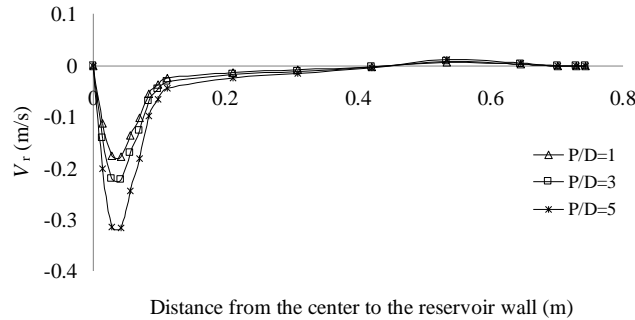


Fig. 15- The CSSS geometry input to pond at  $P/D=1$   
شکل ۱۵- هندسه سطح ریزش بحرانی ورودی به آبگیر در  $P/D=1$

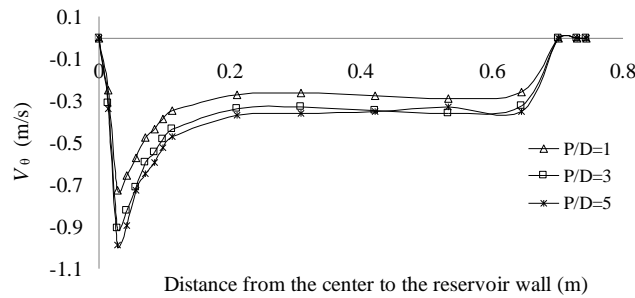
**مشخصات هیدرولیکی سطح ریزش بحرانی**

بر اساس تئوری حاکم بر فضای تحقیق و مطالب بیان شده در بخش مواد و روش‌ها، بیشترین تغییرات سرعت پس از تشکیل گرداب در ناحیه ریزش اطراف آبگیر شکل می‌گیرد. در نواحی دورتر و خارج از محدوده‌ی گرداب اجباری، سرعت به تدریج کاهش می‌یابد. لذا تعیین و تحلیل محدوده تغییرات سرعت در اطراف آبگیر و تعیین رابطه بین محدوده این تغییرات از جمله مواردی است که

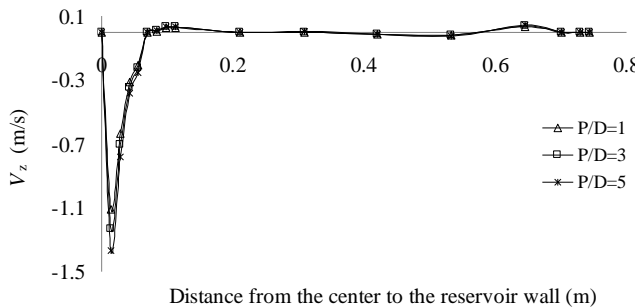
در دستورکار تحقیق قرار دارد. برای بررسی دقیق‌تر این مسئله تغییرات سرعت مماسی  $\bar{V}_\theta$ ، شعاعی  $\bar{V}_r$  و عمقی  $\bar{V}_z$  در موقعیت‌های نشان داده شده در شکل (۳) استخراج گردید. سپس با استفاده از روابط (۹) الی (۱۱) مقادیر متوسط پارامترهای  $\bar{V}_\theta$ ،  $\bar{V}_r$  و  $\bar{V}_z$  محاسبه گردید و نتایج استخراجی در شکل‌های (۱۶) الی (۱۸) نمایش داده شده‌اند.



**Fig. 16- The radial velocity process changes in  $D=6$  cm**  
 شکل ۱۶- روند تغییرات شعاعی سرعت در  $D=6$  cm



**Fig. 17- The tangential velocity process changes in  $D=6$  cm**  
 شکل ۱۷- روند تغییرات سرعت مماسی در  $D=6$  cm



**Fig. 18- The depth velocity process changes at  $D=6$  cm**  
 شکل ۱۸- روند تغییرات سرعت عمقی در  $D=6$  cm

ارتفاع متفاوت آبگیر قائم مشاهده می‌شود که با افزایش ارتفاع آبگیر همگی سرعت‌ها در حال زیاد شدن هستند. استدلال مربوط به افزایش حجم آب متناظر با افزایش ارتفاع آبگیر در مخزن، و لذا افزایش قدرت گرداب و به دنبال آن افزایش سرعت‌ها در اطراف آبگیر می‌باشد. مقایسه‌ی کمی مقادیر سرعت بیشینه در هر یک از سه ارتفاع در جدول (۲) آمده است.

جدول ۲- مقایسه‌ی تغییرات سرعت در ورودی آبگیر با  $D=6$  cm

Table 2- Comparison of velocity changes at the entrance of intake with  $D=6$  cm

$P/D$	$V_x$ max	$V_y$ max	$V_z$ max	$\Delta V_x$ %	$\Delta V_y$ %	$\Delta V_z$ %
1	0.17	0.63	1.1	-22	-2	-10
3	0.22	0.79	1.23	-	-	-
5	0.32	0.98	1.37	45	24	11

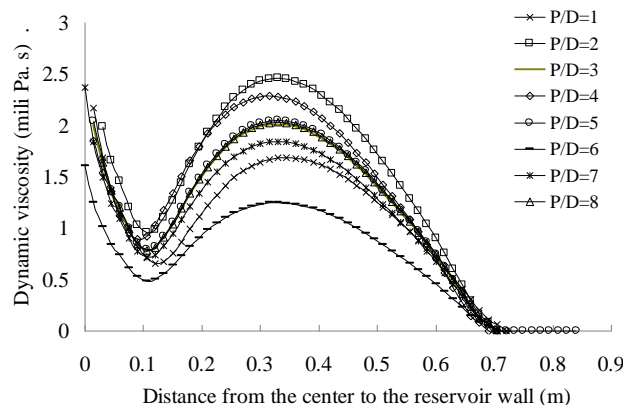


Fig. 19- Dynamic viscosity changes at different  $P/D$  from intake center to reservoir wall

شکل ۱۹- تغییرات لزجت دینامیکی از مرکز آبگیر تا جدار مخزن در  $P/D$  های مختلف

دارد. همچنین در بالا آمدگی نمودارها پایان محدوده سطح لزج مشاهده می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود بعد از این مکان، منحنی افت چشمگیری را دارد.

### نتیجه‌گیری

در این مقاله الگوی سه بعدی جریان در اطراف آبگیرهای مدور قائم مدل‌سازی عددی شد. براساس نتایج حاصل، سطح ریزش بحرانی اطراف این نوع آبگیرها مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که علی‌رغم ادعاهای مطرح شده در تحقیقات پیشین سطح ریزش بحرانییبه داخل دهانه آبگیر، به شکل کره‌ی متقارن نمی‌باشد و از یک شکل دلوار تبعیت می‌نماید. ابعاد این سطح ریزش متناسب با قطر دهانه ورودی بوده و با افزایش قطر ورودی، سطح وسیع‌تری را شامل می‌شود. اثر ارتفاع از کف مخزن در این تحقیق دیده شده است. بنابر نتایج حاصل شده، با افزایش ارتفاع آبگیر تغییر محسوسی در محدوده ناحیه با لزجت بیشتر اطراف آبگیر مشاهده نمی‌شود اما با افزایش ارتفاع آبگیر سطح ریزش و همچنین ناحیه با لزجت بیشتر، اطراف سطح ریزش به سمت بالا و با کاهش آن، به سمت پایین کشیده می‌شود. همچنین

از مقایسه‌ی سرعت جریان در محیط آبگیر قائم با قطر ثابت و ارتفاع متغیر نتیجه می‌شود که خصوصیات هندسی سطح ریزش پروانه شکل تغییر محسوسی نمی‌نماید. اما محیط لزج گرداب، دارای تغییرات متناسب با ارتفاع آبگیر می‌باشد به طوری که با کاهش ارتفاع آبگیر، ناحیه با لزجت بیشتر به سمت پایین کشیده می‌شود. همچنین با بررسی سرعت‌های سه گانه از مرکز آبگیر تا لبه‌ی مخزن در تراز متوسطی از سه تراز یاد شده، در هریک از سه

در بررسی جریان گردابی دو ناحیه قابل مشاهده است. در ناحیه اول جریان مستقیماً وارد مجرای خروجی می‌شود (گرداب اجباری)، در حالی که در ناحیه دوم جریانی مشاهده نمی‌شود و سیال ساکن و بدون حرکت می‌باشد (گرداب آزاد). در ناحیه‌ی اول جریان به مثابه یک جسم صلب در حال چرخش است لذا لزجت و سرعت در این ناحیه زیاد و فشار کم است (Rankine, 1876). برای این منظور از مرکز آبگیر قائم تا یکی از جداره‌های اطراف مخزن تغییرات لزجت ثبت می‌گردد. شایان ذکر است که ارتفاع مورد بررسی میانگینی از ترازهای یاد شده می‌باشد تا این تغییرات در سطح شبه پروانه و تا رسیدن به لبه‌ی مخزن مشاهده شود. برای این منظور در شکل (۱۹) تغییرات لزجت از مرکز آبگیر تا جدار مخزن برای مقایسه در نسبت‌های  $P/D$ ، نشان داده شده است. همان‌طور که از شکل (۱۹) مشهود است، لزجت در  $P/D$  های مختلف متفاوت می‌باشد. به طوری که با کاهش قطر همان‌طور که انتظار می‌رود سرعت گرداب کمتر و در نتیجه مقدار لزجت کمتری را مشاهده می‌شود. همچنین دقیقاً مطابق آنچه انتظار می‌رود در تعمر اول هر نمودار پایان محدوده حجم ریزش به داخل آبگیر دیده می‌شود که این تعمر برای قطر بزرگ‌تر به فاصله بیشتری از مرکز آبگیر قرار

ناحیه گرداب اجباری) که سرعت بیشترین مقدار را دارد به مقدار کمینه خود رسیده و در نواحی دورتر (در محدوده گرداب آزاد) با کاهش سرعت به مقدار بیشینه خود رسیده‌اند.

### سیاسگزاری

بدینوسیله نگارندگان از دانشگاه صنعتی جندی شاپور به پاس فراهم آوردن امکان این تحقیق قدرانی می‌نمایند.

تغییرات سرعت‌های مماسی، شعاعی و عمقی در محدوده سطح ریزش برای سه ارتفاع مختلف آبگیر مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد که در ناحیه مرزی، سطح ریزش سرعت به بیشینه مقدار خود می‌رسد و به تدریج که به جدار مخزن نزدیک می‌شود، مقادیر سرعت از مقدار کمتری برخوردار بوده و نهایتاً در مرز جدار مخزن به مقدار صفر می‌رسند. منحنی تغییرات لزجت دینامیکی از مرکز آبگیر تا جدار مخزن نشان داد که در مرز ناحیه ریزش (انتها

### References

- 1- Ahadiyan, J. and Nouroozi, S., 2017. Effect of Vortex Breaker Blades 45 Degree on Discharge Coefficient of Morning Glory Spillway Using Flow-3D. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 40(1), pp.191-200. (in persian).
- 2- Asadsangabi, F., Talebbeydokhti, N. and Rahnavard, M., 2014. Two phase flow modeling in shaft-spillways using volume of fluid (VOF) method. *Iranian Journal of Science and Technology. Transactions of Civil Engineering*, 38(C1), pp.99-109.
- 3- Einstein, H. A., and Li, H., 1955. Steady vortex flow in real fluid. *La Houille Blanche*, 10(4), pp. 483-496.
- 4- Jain, A.K., Garde, R.J. and Ranga Raju, K.G., 1978. Vortex formation at vertical pipe intakes. *Journal of the Hydraulics Division*, 104(10), pp.1429-1445.
- 5- Knauss, J. ed., 2017. *Swirling flow problems at intakes*. Routledge.
- 6- Lashkar-Ara, B. and Sheikhi, Y. 2017. Introduce of crown wheel spillway and study of its discharge coefficient under free flow regime. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 40(2), pp.209-221 (in Persian).
- 7- Padmanabhan, M. and Hecker, G.E., 1984. Scale effects in pump sump models. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(11), pp.1540-1556.
- 8- Rankine, W.J.M., 1872. *A manual of applied mechanics*. Charles Griffin and Company.
- 9- Roache, P.J., 1994. Perspective: a method for uniform reporting of grid refinement studies. *Transactions-American Society of Mechanical Engineers. Journal of Fluids Engineering*, 116, pp.405-41.
- 10- Shemshi, R. and Kabiri-Samani, A., 2017. Swirling flow at vertical shaft spillways with circular piano-key inlets. *Journal of Hydraulic Research*, 55(2), pp.248-258.
- 11- Tastan, k., Yildirim, N., 2010. Effect of dimensionless parameters on air-entraining vortices. *Journal of Hydraulic Research*, 48(1), pp.57-64.
- 12- Wang, Y., Jiang, C. and Liang, D., 2011. Study on the critical submergence of surface vortices and the design of anti-vortex intakes. *Science China Technological Sciences*, 54(4), pp.799-804.
- 13- Yang, J., Liu, T., Bottacin-Busolin, A. and Lin, C., 2014. Effects of intake-entrance profiles on free-surface vortices. *Journal of Hydraulic Research*, 52(4), pp.523-531.
- 14- Yildirim, N. and Kocabaş, F., 1995. Critical submergence for intakes in open channel flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(12), pp.900-905.
- 15- Yildirim, N. and Kocabaş, F., 1998. Critical submergence for intakes in still-water reservoir. *Journal of Hydraulic Engineering*, 124(1), pp.103-104.

- 
- 16- Zomorodian, S.M.A. and Sabzevari, M.B., 2006. Effect of Velocity and Flow Direction at Approach Channel Outlet on the Discharge Coefficient of Vertical Pipe Intake. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 9(4), pp. 1-16. (in persian).