



Technical Note

یادداشت فنی

Experimental Study of Vortex Flow  
Phenomena in Orifice Spillways  
(Case study: Karun III Dam)

S.R. Khodashenas<sup>1\*</sup>, H. Sarkardeh<sup>2</sup>,  
M. Marosi<sup>3</sup> and K. Safavi<sup>2</sup>

Abstract

Formation of Vortices is one of the serious problems in dam operation. In the present work, to study the vortex and its effects on orifice spillways of Karun III dam in southwestern Iran, partial (with only one orifice) physical models were constructed. Regarding to the special conditions in orifice spillways (changing discharge by changing the reservoir elevation) this study showed that when a decrease in reservoir elevation occurs, first strong vortices take place and after reaching a maximum value the strength of these vortices decreases. This research also showed that, by increase in vortex strength, the discharge coefficient may reduce down to 10 percent. Measuring the critical submerged depth showed that among theoretical methods, Gordon and Knauss have better results.

**Keywords:** Vortex, Orifice Spillway, Karun III dam, Physical Model, Local Loss.

مطالعه آزمایشگاهی پدیده جریان گردابی در سرریزهای  
روزنه‌ای  
(مطالعه موردی: مدل سد کارون ۳)

سعیدرضا خدائشناس<sup>۱\*</sup>، حامد سرکرده<sup>۲</sup>،  
مرتضی ماروسی<sup>۳</sup> و خداداد صفوی<sup>۲</sup>

چکیده

تشکیل گرداب یکی از مشکلات جدی در بهره برداری از سدها می‌باشد. در این پژوهش بمنظور مطالعه گرداب و اثرات آن در سرریزهای روزنه‌ای سد کارون ۳، مدل فیزیکی تک روزنه سد مورد آزمایش قرار گرفت. آزمایش‌ها نشان داد که در سرریزهای روزنه‌ای با توجه به شرایط ویژه آن‌ها که تغییرات سطح آب مخزن با تغییرات دبی همراه است، با کاهش سطح آب مخزن در ابتدا قدرت گرداب‌ها افزایش و پس از رسیدن به مقدار حداکثر مجددا کاهش می‌یابد. این تحقیق همچنین نشان داد که با افزایش قدرت گرداب ضریب تخلیه ممکن است تا ۱۰٪ کاهش یابد. مقایسه عمق استغراق بحرانی اندازه گیری شده با روشهای مختلف نشان داد، روشهای گوردن و نوس نتایج بهتری می‌دهند.

**کلمات کلیدی:** گرداب، سرریز روزنه ای، سد کارون ۳، مدل فیزیکی، ضریب افت انرژی

تاریخ دریافت مقاله: ۲۴ شهریور ۱۳۸۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۱ اردیبهشت ۱۳۸۹

1- Assistant professor, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, Email: [saeedkhodashenas@yahoo.fi](mailto:saeedkhodashenas@yahoo.fi)  
2- Senior Researcher in Hydraulic structures unit, Water Research Institute of Ministry of Energy, Tehran, Iran.  
3- M.Sc. in Water structures, Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.  
\*- Corresponding Author

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد  
۲- کارشناس ارشد گروه سازه های هیدرولیکی موسسه تحقیقات آب وزات نیرو  
۳- کارشناسی ارشد سازه های آبی دانشگاه چمران اهواز  
\*- نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

در آزمایش‌ها انجام شده، گرداب‌های ضعیف از نوع ۱ و ۲ در عمق استغراق نسبی ۵ تشکیل شد. با کاهش تراز مخزن، گرداب‌ها روندی افزایشی داشت، بطوری که در عمق‌های استغراق نسبی ۳/۱ تا ۳/۷ گرداب‌های نوع ۶ بوجود آمد. از عمق‌های استغراق نسبی ۱/۸ تا ۲/۴، قدرت گرداب‌ها روندی کاهشی را نشان داد تا اینکه در عمق استغراق نسبی ۱/۲، دیگر گرداب محو گردید (شکل ۱).

با توجه به تخلیه جت آب سر ریزهای روزنه‌ای به اتمسفر، آزمایشات نشان داد که میزان دبی خروجی از این سرریزها با کاهش سطح آب مخزن کاهش می‌یابد. با تغییر همزمان این دو پارامتر موثر بر نوع گرداب، می‌توان انتظار داشت که روند افزایشی قدرت گرداب‌ها صادق نباشد و از یک عمق مشخص اثر کاهنده کاهش دبی بر اثر افزایش کاهش تراز مخزن، بر قدرت گرداب‌ها، غلبه نماید. به عبارتی از آن سطح به بعد قدرت گرداب‌ها رو به کاهش می‌گذارد تا جایی که دیگر گردابی تشکیل نمی‌گردد.

به منظور بررسی تاثیر تشکیل گرداب بر ضریب آبگذری و ضریب افت انرژی، با قرار دادن پیژومتر در نقاط مختلف سرریز روزنه‌ای، فشارها در ۵ نقطه از یک مقطع برداشت شد. سپس با میانگین‌گیری از داده‌ها در یک مقطع فشار متوسط در مرکز آن مقطع بدست آمد. سپس به منظور محاسبه ضریب تخلیه و ضریب افت، افت انرژی از اختلاف فشار دهانه روزنه تا مقطع پس از دریچه با استفاده از معادلات ۱ و ۲ محاسبه شد.

$$C_d = \frac{V}{\sqrt{2g(S - h_f - P/\gamma)}} \quad (1)$$

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

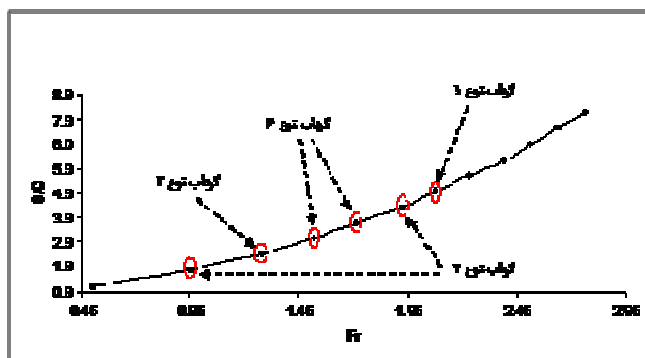
جریان‌های گردابی در محل ورودی آبگیرها و سر ریزهای روزنه‌ای در سدها موجب به وجود آمدن مشکلاتی نظیر افزایش افت انرژی، کاهش ظرفیت آبگیری، ایجاد سر و صدا، ورود هوا و همچنین لرزش و خوردگی در آبگیرها می‌شوند (Knauss, 1987). Hecker (1981) گرداب‌ها را بر اساس قدرت گرداب از ضعیف به قوی به شش گروه طبقه‌بندی کرد. طبق تعریف Knauss (1987) عمق استغراق بحرانی، عمق شروع گرداب نوع ۵ است. این عمق تابع شکل آبگیر، شرایط مرزی جریان ورودی و جهت جریان می‌باشد. در تحقیق حاضر با استفاده از مدل فیزیکی سرریز روزنه‌ای، کارایی برخی فرمول‌های تجربی موجود در زمینه بدست آوردن عمق استغراق بحرانی، تشکیل گرداب در ترازهای مختلف مخزن، تغییرات قدرت و پایداری گرداب‌ها با تغییرات همزمان دبی و عمق استغراق مورد تجزیه تحلیل قرار گرفته است. همچنین تاثیر گرداب بر میزان ضریب آبگذری و ضریب افت نیز بررسی شده است.

## ۲- مواد و روش‌ها

چهار سرریز روزنه‌ای سد کارون ۳ در نیمه ارتفاعی بدنه سد قرار دارند که حداکثر ظرفیت تخلیه ۵۷۴۰ متر مکعب در ثانیه دارند. در این تحقیق برای بررسی عملکرد دقیق سرریز روزنه‌ای از اطلاعات مدل جزئی یک روزنه‌ای استفاده شد. این مدل با مقیاس ۱:۳۳.۳۳ در موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو ساخته شد.

## ۳- نتایج و بحث

تشکیل گرداب بر روی دهانه آبگیر ارتباط زیادی به عمق استغراق آبگیر دارد. عمق استغراق بحرانی ( $S_c$ ) حداقل عمقی است که در آن جریان گردابی قوی بوجود نمی‌آید. نسبت عمق استغراق ( $S$ ) به قطر آبگیر ( $D$ ) را اصطلاحاً عمق استغراق نسبی می‌گویند.



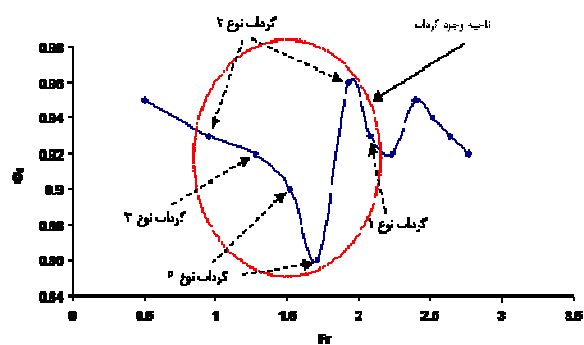
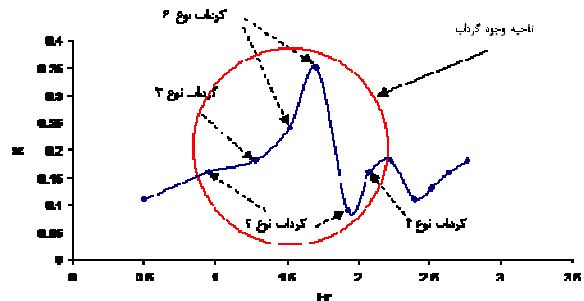
شکل ۱- رابطه عمق استغراق نسبی و عدد فرود و نوع گرداب

همراه است، ضریب افت نیز در این حالت افزایش می‌یابد. این روند تا جایی صادق است که پارامتر دیگری بر جریان تاثیر نداشته باشد. آزمایش‌ها نشان داد، با افزایش عمق استغراق نسبی و متعاقب آن عدد فرود، نوع گرداب‌ها هم تغییر می‌کند و از نوع ۲ به نوع ۶ تغییر می‌کند که این خود باعث افزایش افت انرژی ناشی از تشکیل گرداب‌های قویتر می‌شود. اما با افزایش عمق آب بتدریج پدیده گردابی جریان کم شده و ناپدید می‌شود. بنابراین در عدد فرود ۱/۹ با وجود بیشتر بودن عدد فرود جریان نسبت به ۱/۷، بدلیل کاهش اثر گردابی جریان، میزان افت انرژی و در نتیجه ضریب افت کاهش می‌یابد. این اثر بار دیگر در بین اعداد فرود ۲/۱ و ۲/۲ که گرداب کاملاً حذف می‌شود ملاحظه می‌گردد.

**عمق استغراق بحرانی:** طبق تعریف (Knauss 1987) عمق استغراق بحرانی، عمق شروع گرداب نوع ۵ است. مطالعات مختلفی برای تعیین عمق استغراق بحرانی انجام شده است. در جدول ۱ تعدادی از روابط موجود برای تعیین عمق استغراق بحرانی برای آبیگرهای افقی ارائه شده است. تعدادی از روشها از دو مرجع (Andaroodi (2006) و Daemi (1998) اخذ شده‌اند.

طبق آزمایشات انجام شده، گرداب نوع ۶ در عمق استغراق نسبی ۳/۷ و گرداب نوع ۲ در عمق استغراق نسبی ۴/۳ تشکیل می‌شود (شکل ۱). شکل ۳ مقایسه‌ای بین عمق استغراق بحرانی تعیین شده با فرمول‌های تجربی و نتایج آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

در روابط بالا  $C_d$  ضریب آبیگری سرریز،  $K$  ضریب افت انرژی،  $S$  عمق استغراق آبیگر از مرکز ورودی تا سطح آب،  $Q$  دبی روزنه،  $P$  فشار در مرکز مقطع مورد نظر،  $h_f$  افت انرژی از دهانه آبیگر تا مقطع مورد نظر می‌باشد.

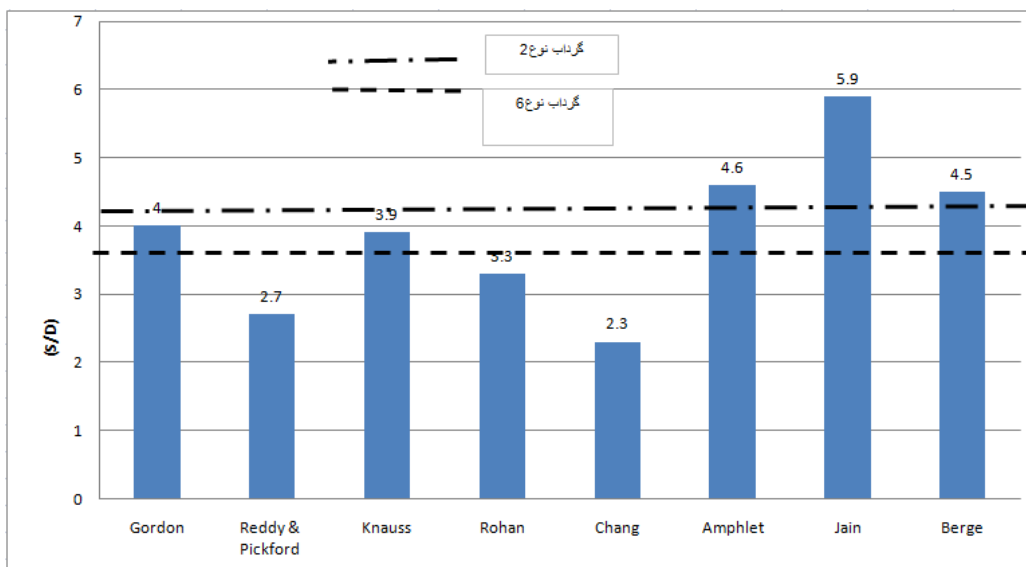


شکل ۲- اثر عدد فرود و نوع گرداب بر ضرایب افت انرژی و آبیگری

مطابق شکل ۲ دو پارامتر مهم بر روی ضریب افت تاثیر دارد. اولین پارامتر عمق استغراق نسبی است که افزایش آن با افزایش دبی

جدول ۱- روابط عمق استغراق بحرانی آبیگرهای افقی

نام محققین	رابطه عمق استغراق نسبی بحرانی
Gordon (1970)	آبیگر متقارن $(S/D)_{cr} = 1.7Fr$ آبیگر نامتقارن $(S/D)_{cr} = 2.3Fr$
Reddy & Pickford (1972)	$(M_R)$ بسته به شرایط جریان بین ۰/۵ و ۱ متغیر است $(S/D)_{cr} = M_R + Fr$
Knauss (1987)	$(S/D)_{cr} = 0.5 + 2Fr$
Rohan*	$(S/D)_{cr} = 2.55Fr^{0.48}$
Chang**	$(S/D)_{cr} = 1.35Fr$
Amphlet**	$(S/D)_{cr} = 3.95Fr^{0.5} - 0.5$
Jain**	$(S/D)_{cr} = 4.5Fr^{0.5}$
Berge**	$(S/D)_{cr} = 3.3Fr^{0.5} + 0.25$
Andaroodi, (2006) (*)	اخذ شده از مرجع (Daemi, 1998) (**)
D قطر سرریز روزنه ای، $S_{cr}$ عمق استغراق بحرانی، $(S/D)_{cr}$ عمق استغراق نسبی بحرانی، V سرعت در روزنه، Fr عدد فرود در روزنه	



شکل ۳- مقایسه نتایج تئوری و آزمایشگاهی عمق استغراق بحرانی نسبی سرریز روزنه‌ای

- با توجه به مشکل بودن تعیین عمق شروع گرداب نوع ۵، مقادیر تئوری با عمق گرداب نوع ۶ و ۲ مقایسه شده اند. با توجه به نتایج شکل ۳، قاعدتاً باید عمق گرداب نوع ۵ که بعنوان بحرانی در نظر گرفته می‌شود بین  $3/7$  و  $4/3$  قرار گیرد. روابط Gordon (1970) و Knauss (1987) عمق استغراق بحرانی را حدود ۴ می‌دهند که با مشاهدات آزمایشگاهی همخوانی خوبی دارند.
- با بررسی عملکرد سرریز روزنه‌ای مشخص گردید که در شرایط وجود گرداب با قدرت‌های مختلف ضریب تخلیه کاهش یافته و متعاقب آن ضریب افت در سرریز روزنه‌ای افزایش می‌یابد.
- مقایسه با نتایج تئوری نشان داد که روش‌های Gordon (1970) و Knauss (1987) نتایج بهتری نسبت به دیگر روش‌های تعیین عمق استغراق بحرانی می‌دهند.

#### ۴- نتیجه گیری

آزمایشات بر روی مدل جزئی سد کارون ۳ نشان داد که :

- در عمق استغراق نسبی  $5/6$  گرداب‌هایی ضعیف از نوع ۱ مشاهده شد. با کاهش عمق استغراق نسبی تا میزان  $3/7$ ، گرداب‌ها با افزایش قدرت به نوع ۶ تبدیل شدند. سپس از عمق استغراق نسبی  $2/4$  مجدداً گرداب‌ها ضعیف شده تا در عمق استغراق نسبی  $1/2$  گرداب‌ها محو شدند. علت این مسئله، عملکرد سرریز روزنه‌ای می‌باشد که در آن دبی جریان تابعی از عمق جریان است. بنابراین نمی‌توان گفت که در عمق‌های کمتر از عمق استغراق بحرانی الزاماً جریان گردابی همیشه وجود دارد. بلکه حتی در عمق‌های کمتر هم می‌تواند جریان گردابی محو شود.
- گرداب‌های شکل گرفته در دهانه آبگیر سرریز روزنه‌ای همگی بجز گرداب شکل گرفته در عمق استغراق نسبی  $3/7$  ناپایدار بودند.

#### ۵- تشکر

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند که مراتب تشکر و سپاس خود را از موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو به خاطر همکاری و در اختیار گذاشتن اطلاعات مقاله، ابراز دارند.

#### ۶- مراجع

- Andaroodi, M. (2006) "Standardization of civil engineering works of small high-head hydropower plants and development of an optimization tool", Laboratoire de Constructions Hydrauliques Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Communication 26, 300 pages
- Daemi, A. (1998), "Study on effective parameters on vortex formation at horizontal intake", Proceeding of Water resources engineering Conference, Vol 2. pp.1900- 1906
- Gordon, J.L. (1970), "Vortices at Inkaes", International Water Power & Dam Construction, No 4, pp137-138

Reddy, Y.R. and Pickford, J.A. (1972), "Vortices at Intake in Conventional Sumps", International Water Power & Dam Construction, Vol 24, No 3, pp. 108-109

Hecker, G.E. (1981), "Model-Prototype Comparison of Free Surface Vortices", Journal of Hydraulic Engineering, Vol.107, No.10, pp. 1243-1259

Knauss, J. (1987) "Swirling Flow Problems at intakes", IAHR Hydraulic structure Manual No 1, A.A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands