

## رابطه عمق استغراق بحرانی با سرعت محوری ( $V_z$ )

### در آبگیر افقی سدهای نیروگاهی و تأثیر آن روی قدرت گردابه

فرشید ابراهیمی آوردکلو<sup>۱\*</sup>

سهیل رضاپور<sup>۲</sup>

مسعود منتظری نمین<sup>۳</sup>

علی خراسانی زاده<sup>۴</sup>

#### چکیده

برای انتقال آب از مخزن سد معمولاً از آبیگرهای افقی استفاده می‌شود. در زمان آبیگری از مخازن سدها پدیده‌ای به نام گرداب موجب کاهش راندمان آبیگری و صدمه رساندن به تجهیزات نیروگاهی می‌گردد. عمق آبی که در ترازهای کمتر از آن شدیدترین گردابها تشکیل می‌شود به «عمق استغراق بحرانی» معروف است که در هنگام بهره‌برداری از سدها نباید در ترازهای کمتر از این عمق آبیگری کرد. از این رو، بررسی مهم‌ترین عوامل مؤثر روی عمق استغراق بحرانی از اهمیت بالایی برخوردار است. در این پژوهش با کمک گرفتن از مدل آزمایشگاهی سد سیاه‌بیشه (مدل ۱/۲۰) و مدل عددی دو بعدی در قائم با استفاده از نرم افزار «Fluent» پارامتر سرعت محوری به‌عنوان یکی از مهم‌ترین پارامترهای هیدرودینامیکی مؤثر روی عمق استغراق بحرانی و قدرت گرداب پرداخته شده است.

#### واژه‌های کلیدی

آبگیر افقی، عمق استغراق بحرانی، گرداب، سدهای نیروگاهی، Fluent، سرعت محوری.

---

\* Farshid\_ab83@yahoo.com

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد عمران، گرایش آب، دانشگاه تهران.

۲. دانشجوی دکتری عمران، گرایش سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه تهران.

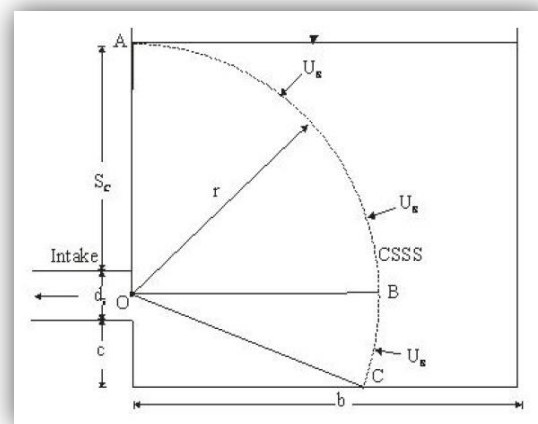
۳. استادیار دانشکده عمران، دانشگاه تهران.

۴. کارشناس سازه‌های هیدرولیکی، موسسه تحقیقات آب.

**مقدمه**

به وجود آمدن گرداب در آبگیرهای نیروگاهی به عوامل زیادی بستگی دارد. یکی از مهم‌ترین این عوامل - که توسط مرکز کنترل نیروگاه سد قابل کنترل می‌باشد - عمق استغراق است که توجه به این مسئله در زمان بهره‌برداری سد می‌تواند منجر به کاهش قدرت گردابه شود و از خطرات احتمالی جلوگیری کند.

یلدریم (Yeldrim-1995) با در نظر گرفتن یک کانال به عرض  $b$  (شکل ۱) یک ناحیه کروی را در اطراف آبگیر لحاظ نموده و بیان کرد که در این ناحیه، آب به داخل آبگیر وارد می‌شود اما خارج از این ناحیه، (طبق نظریه رانکین) آب وارد آبگیر نمی‌گردد. سپس با نوشتن معادله پتانسیل و برابر گذاشتن دبی ورودی به این ناحیه با دبی خروجی توانست مقدار  $r$  (شعاع کره) را حساب کند. [۴]

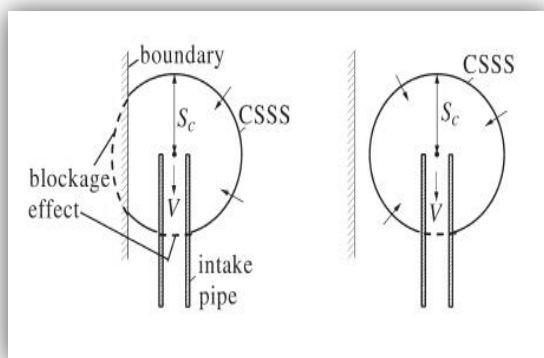


شکل (۱): ناحیه csss

وی فرض را بر این گذاشت که وقتی حد بالایی این ناحیه به سطح آب می‌رسد؛ آنگاه در این موقع می‌توان فاصله سطح آب را تا مرکز آبگیر مقدار  $S_{cr}$  فرض نمود. (مقدار  $U_E$  در شکل بالا همان  $V_z$  است که طبق پیشنهاد ییلدریم، اگر این سرعت بزرگتر از نصف سرعت آب در کانال باشد در آن صورت آب می‌تواند وارد آبگیر شود. او این ناحیه را (Critical Spherical Sink Surface) CSSS نام نهاد.

یلدریم (Yildirim -1998) روش CSSS را با داده‌های آزمایشگاهی در حالت مخزن آب ساکن مقایسه کرد و به این نتیجه رسید که این روش برای آب ساکن نیز برقرار

است. بنابراین، طبق پیشنهاد او می‌توان از روش CSSS در آبگیری از دریاچه، استخرها و مخازن بهره برد. [۵] طبق نظریه ییلدریم ناحیه‌ای در کانال که تحت تأثیر آبگیر قرار می‌گیرد به شکل یک کره است (CSSS) و در یک حالت بحرانی وقتی که شعاع این کره به سطح آب می‌رسد، ذرات سطح آب به همراه هوای اطراف آن وارد آبگیر می‌شوند. در این حالت شعاع کره تقریباً برابر  $S_{cr}$  است. حال اگر مانند شکل (۲) یک مرز جامد در کنار آبگیر قرار بگیرد، مقدار سطح کره ( $A_c$ ) کاهش پیدا می‌کند و منجر به تغییراتی در قدرت گردابه و عمق استغراق بحرانی می‌شود



شکل (۲): تأثیر مرز جامد روی ناحیه csss

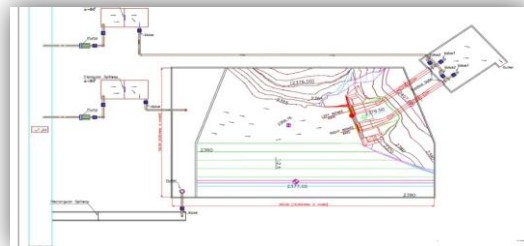
تاستان (tastan-2010) با انجام آزمایشات اثر دیواره جامد را روی بررسی کرد و به این نتیجه رسید که مشخصات این دیواره می‌تواند روی  $S_{cr}$  اثر گذار باشد؛ مثلاً هرچه فاصله دیواره (مرز) جامد تا مرکز گرداب کم‌تر باشد، مقدار  $S_{cr}$  کاهش می‌یابد؛ یعنی قدرت گرداب کاهش می‌یابد. (۶)

در اینجا می‌بایست یادآور شد؛ طبق این آزمایش‌ها و ملاحظات می‌توان صفحات ضد گرداب را در اطراف آبگیرهای نیروگاهی طراحی کرد.

**مدل آزمایشگاهی**

مخزن بالادست سد سیاه‌بیشه در مدل آزمایشگاهی به ارتفاع  $3/5$  متر (از تراز  $2340$  تا  $2410$  متر)، عرض  $10$  متر و طول  $16$  متر در آزمایشگاه موسسه تحقیقات آب وزارت نیرو احداث گردید. سد سیاه‌بیشه دارای دو آبگیر است. دهانه آبگیرها (شکل ۳) با ابعاد  $0/69 \times 0/5$  متر (عرض  $\times$  ارتفاع) و فاصله دو محور آبگیر از هم  $1/33$  متر می‌باشد.

سرعت در مدل تعریف گردید. با استقرار این شبکه در موقعیت مشخص شده، اندازه‌گیری‌های سرعت در ۳۵ نقطه که با اعداد ۱ تا ۵ و حروف A تا G شماره‌گذاری شده‌اند، صورت پذیرفت. اندازه‌گیری‌ها در دو تراز ۲۳۷۲ متر (عمق ۰/۲ از سطح آب) و تراز ۲۳۶۰/۶۰ متر - که منطبق بر تراز محور آبگیر است - انجام گرفت. اندازه‌گیری سرعت‌ها (شکل ۵) با استفاده از دستگاه ADV - که نوعی حس‌گر از راه دور بوده و براساس اثر دوپلر کار می‌کند - انجام گردید. این دستگاه با ارسال صوت، مقادیر سرعت جریان را در هر سه جهت x, y و z اندازه‌گیری می‌کند.



شکل (۳): مدل آزمایشگاهی

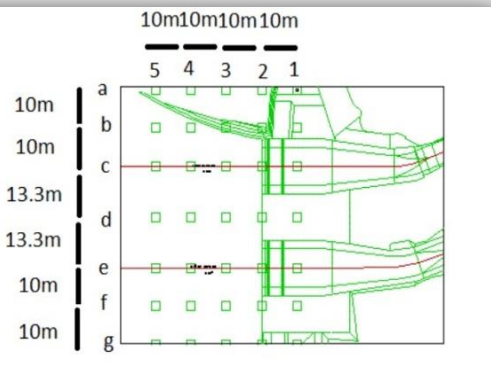
شبکه‌ای فرضی (شکل ۴) به ابعاد ۳/۵×۲ متر، در راستای محور دهانه آبگیرها، برای اندازه‌گیری نقطه‌ای



شکل (۵): دستگاه اندازه‌گیری سرعت ADV

شدیدتری مشاهده شده است؛ لذا داده‌هایی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته‌اند مربوط به این آبگیر است. (شکل ۶)

شکل (۴): شبکه اندازه‌گیری سرعت



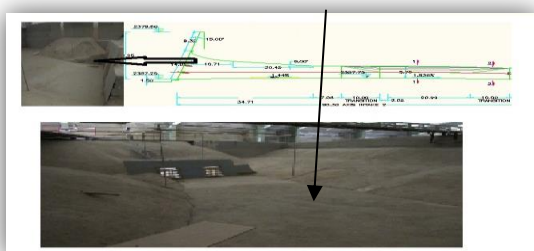
### روند آزمایشات

در جدول زیر روند آزمایشات نشان داده شده است.

جدول (۱): روند آزمایشات

B	A	تراز آب در سطح مخزن
آبگیر راست پمپاژ (۱۰۰)	آبگیر چپ توربین (۱۲۰)	۲۳۷۶
آبگیر راست پمپاژ (۱۰۰)	آبگیر چپ توربین (۱۲۰)	۲۳۸۶
آبگیر راست پمپاژ (۱۰۰)	آبگیر چپ توربین (۱۲۰)	۲۳۹۶
آبگیر راست پمپاژ (۱۰۰)	آبگیر چپ توربین (۱۲۰)	۲۳۸۰
آبگیر راست پمپاژ (۵۰)	آبگیر چپ توربین (۳۵)	۲۳۸۰

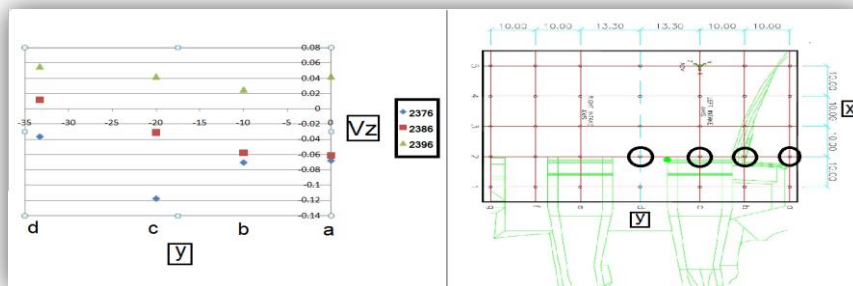
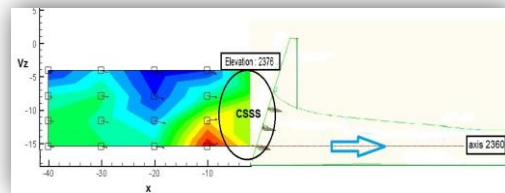
به این علت که در اطراف آبگیر سمت چپ، گرداب‌های



شکل (۶): آبگیر چپ توربین

با نشان دادن الگوی جریان به صورت دوبعدی در قائم (در آبگیر سمت چپ، ناحیه CSSS مانند شکل (۷) مشخص می‌شود.

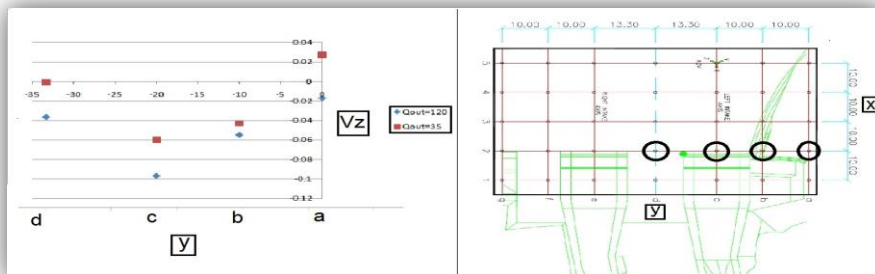
شکل (۷): ناحیه CSSS در آبگیر سمت چپ با انجام آزمایشات طبق جدول ۱ نتایج زیر به دست آمد.



شکل (۸): مقادیر سرعت‌های  $V_z$  در ترازهای مختلف مخزن در نقاط مجاور آبگیر

رفتن دارد و طبق نظریه رانکین و استدلال بیلدریم، گرداب‌های قوی تری را منجر خواهد شد؛ به عبارت دیگر با کاهش تراز مخزن قدرت گردابه افزایش می‌یابد و به سمت عمق استغراق بحرانی پیش می‌رود.

در سمت چپ شکل (۸) مقادیر سرعت‌های  $V_z$  را در ترازهای مختلف مخزن سد در نقاط مجاور آبگیر (شکل سمت راست، دایره‌ها) در سطح آب نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودار سمت چپ دیده می‌شود با کاهش تراز مخزن مقادیر سرعت‌های منفی  $V_z$  افزایش می‌یابد که این یعنی آب موجود در سطح آب، تمایل بیشتری به پائین

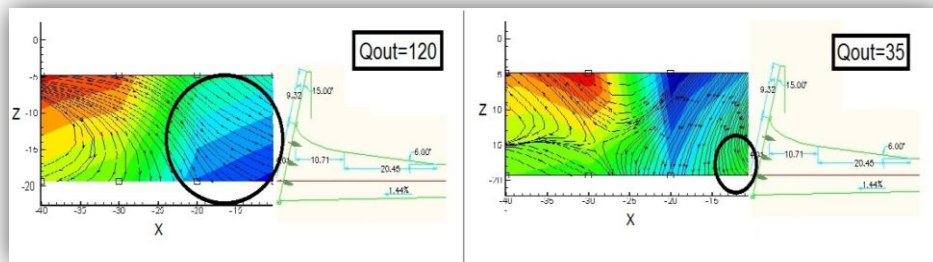


شکل (۹): مقادیر سرعت‌های  $V_z$  در دبی‌های مختلف آگیری در نقاط مجاور آبگیر در تراز ۲۳۸۰

بیشتری به پائین رفتن دارد و طبق نظریه رانکین و استدلال بیلدریم این گرداب‌های قوی تری را منجر خواهد شد؛ به عبارت دیگر با افزایش دبی آگیری، قدرت گردابه افزایش می‌یابد.

در شکل زیر بردارهای  $V_x$  و  $V_z$  در تراز آب مخزن ۲۳۸۰ در دو دبی مختلف آگیری نشان داده شده است.

مقادیر سرعت‌های  $V_z$  در دبی‌های مختلف (سمت چپ شکل ۹) آگیری در نقاط مجاور آبگیر را (شکل سمت راست، دایره‌ها) در سطح آب نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودار سمت چپ دیده می‌شود با افزایش دبی آگیری از ۳۰ به ۱۲۰ متر مکعب بر ثانیه مقادیر سرعت‌های منفی  $V_z$  افزایش می‌یابد که این یعنی آب موجود در سطح آب تمایل



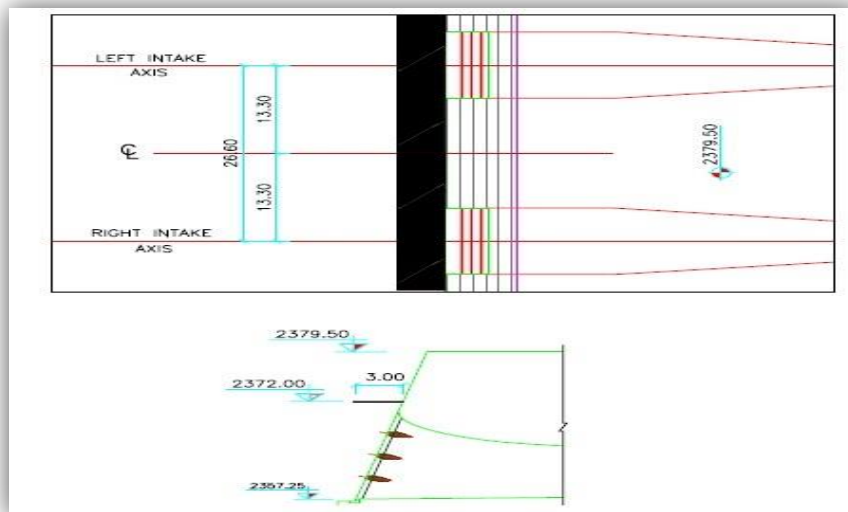
شکل (۱۰): بردارهای  $V_x$  و  $V_z$  در تراز آب مخزن ۲۳۸۰ در دو دبی مختلف آبیگری

گرداب، عامل سرعت در جهت Z ( $V_z$ ) کاهش داده شود تا به دنبال آن از قدرت ورود آب از سطح آب کاسته شود (نظریه Yildirim). به این منظور یک صفحه به عرض ۰،۱۵ متر در مدل آزمایشگاهی (در مدل واقعی ۳ متر) تعبیه شده است. (شکل ۱۱)

همان طور که در شکل (۱۰) دیده می شود با افزایش دبی آبیگری، مقدار محدوده CSSS از ۳۰ به ۱۲۰ مترمکعب بر ثانیه بزرگتر می شود؛ یعنی مقدار عمق بحرانی افزایش پیدا می کند؛ به عبارت دیگر با افزایش میزان آبیگری، قدرت گردابها افزایش خواهد یافت.

### صفحه ضدگرداب

در این پژوهش تلاش شده است برای کاهش قدرت



شکل (۱۱): مشخصات صفحه ضدگرداب در مدل آزمایشگاهی

شکل (۱۲): صفحه ضدگرداب در مدل آزمایشگاهی پس از اجرا با اجرای صفحه ضد گرداب از قدرت گردابه کاسته شد و طبق مشاهدات قدرت گردابه از نوع ۴ به نوع ۲ کاهش پیدا کرد. (شکل ۱۲)

### مدل عددی

برای شبیه سازی الگوی جریان به صورت دو بعدی در قائم از بسته نرم افزاری «Fluent 6.3.26» استفاده شده است. برای مدل کردن آشفتگی جریان از مدل لزجی « $k - \epsilon$ » از نوع RNG استفاده شده است. با استفاده از



شکل (۱۴): مقایسه سرعت‌های  $V_z$  در حالت وجود صفحه ضدگرداب در سمت چپ و با حالت عادی در سمت راست

### نتیجه‌گیری

- نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق حاکی از موارد زیر است:
۱. با افزایش تراز مخزن آب، سرعت‌های  $V_z$  در مجاورت آبگیر کاهش پیدا می‌کند و به‌دنبال آن از قدرت گردابه کاسته می‌شود؛
  ۲. با افزایش دبی آگیری از ۳۰ به ۱۲۰ مترکعب بر ثانیه، مقادیر سرعت‌های منفی  $V_z$  افزایش یافته و در پی آن قدرت گردابه نیز افزایش پیدا می‌کند؛ به عبارت دیگر عمق استغراق بحرانی افزایش می‌یابد؛
  ۳. با اجرای صفحات ضد گرداب عمق استغراق بحرانی کاهش پیدا کرده است؛ یعنی قدرت گردابه کمتر می‌شود و مدل عددی نیز گویای این مسئله است؛
  ۴. عامل سرعت  $V_z$  در قدرت گرداب، بسیار مهم است که با کنترل آن در اطراف آبگیر می‌توان قدرت گرداب را کاهش داد.

### تشکر و قدردانی

از موسسه تحقیقات آب، به‌ویژه مدیریت گروه سازه‌های هیدرولیکی و مسئولین آزمایشگاه که با در اختیار قرار دادن موجود، زمینه این تحقیق را فراهم آوردند، تشکر می‌گردد.

### مراجع

1. Anwar, H.O., Weller, J.A., Amphlett, M.B. (1978). Similarity of free vortex at horizontal intake. J. Hydraulic Res. 16(2), 95–106.
2. Odgaard, A.J. (1986). Free surface air core vortex. J. Hydraul. Eng. 112(7), 610–620.
3. Hite, J.E., Mih, W.C. (1994). "Velocity of air-core vortices at hydraulic intakes. J. Hydraul." Eng. 120(3), 284–297.
4. Yıldırım, N., and Kocabas, F. (1995). "Critical submergence for intakes in open channel flow." J. Hydraul. Eng., 121(12), 900–905.
5. Yıldırım, N., and Kocabas, F. (1998). "Critical submergence for intakes in still-water reservoir." J. Hydraul. Eng., 124(1), 103–104.
6. Taştan, Kerem and Yıldırım, Nevzat(2010) "Effects of dimensionless parameters on air-entraining vortices", Journal of Hydraulic Research, 48: 1, 57 — 64

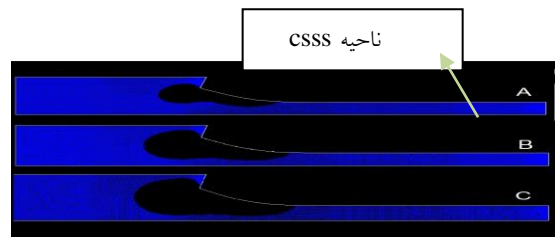
نرم افزار «Gambit» شبکه مثلثی باتوجه به دقت حل مسئله و قدرت پردازشی کامپیوتر شکل یافته است. شرایط مرزی، باتوجه به مدل آزمایشگاهی انتخاب شده است. در ورودی سرعت‌های اندازه گیری شده در مدل آزمایشگاهی به‌عنوان «Velocity inlet» داده شده است و دبی خروجی از مدل به‌عنوان «Out flow» و شرایط سطح آب حالت تقارن (Symmetry) در نظر گرفته شده است. مدل عددی در سه حالت راه اندازی شده است.

– سرعت ورودی ۰/۰۳ متر بر ثانیه؛

– سرعت ورودی ۰/۰۵ متر بر ثانیه؛

سرعت ورودی ۰/۰۷ متر بر ثانیه.

در شکل زیر مقادیر سرعت  $V_z$  نشان داده شده است. نواحی سیاه در نزدیکی آبگیر نشان دهنده سرعت  $V_z$  است که از مقدار ۰/۰۰۹ بیشتر هستند. این مقدار ۰/۰۰۹ به‌صورت حدودی و طبق پیشنهاد ییلدریم – که حدوداً بایستی دوبرابر سرعت در کانال باشد – انتخاب شده است.



شکل (۱۳): سرعت‌های  $V_z$  در تراز ۲۳۷۶

در شکل (۱۳) با افزایش سرعت ورودی یا همان دبی آگیری (عدد فرود) میزان عمق استغراق بحرانی افزایش پیدا می‌کند. با مدل کردن صفحه ضدگرداب و راه‌اندازی نرم‌افزار (شکل ۱۴، سمت چپ) مشاهده می‌شود که مقدار عمق استغراق بحرانی نسبت به حالتی که صفحه ضدگرداب وجود ندارد (شکل ۱۴، سمت راست) کاهش یافته است که این با مشاهدات آزمایشگاهی تطابق دارد.

