

## بررسی تأثیرات شکل و ابعاد دیواره‌های جداکننده دریچه‌های سد بر ایجاد گردابه در بالادست سدها

مسعود اسکندری، محمد حیدرنژاد\* و اصلان اکدرنژاد<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۱/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۳/۲۲)

### چکیده

یک از مشکلات در بهره‌برداری از سدهای انحرافی، گردابه‌های تشکیل شده در پشت دریچه‌های این سازه‌ها است، این گردابه‌ها موجب ایجاد ارتعاش و خوردگی در بدنه این دریچه‌ها و در نتیجه کاهش عمر و افزایش هزینه‌های بهره‌برداری سدها می‌شود. در همین راستا این پژوهش به بررسی این گردابه‌ها و نحوه تشکیل آنها پرداخت. نتایج نشان داد که علت تشکیل گردابه‌ها، دریچه یا دیواره جداکننده به تنهایی نیست، بلکه بسته بودن دریچه‌های کناری سبب ایجاد گردابه می‌شود. همچنین با افزایش عرض دریچه میزان ابعاد گردابه تشکیل شده کوچک‌تر می‌شود، به نحوی که با افزایش ۲۰۰ درصدی ابعاد دریچه، به میزان ۲۰۰ درصد ابعاد گردابه کوچک‌تر می‌شود. یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار قطر دیواره جداکننده (دیواره نگهدارنده دریچه) است به نحوی که با افزایش قطر دیواره جداکننده میزان گردابه تشکیل شده بزرگ‌تر می‌شود به این صورت که با افزایش ۱۵۰ درصدی قطر دیواره جداکننده به میزان ۵۰ درصد ابعاد گردابه افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: ورتکس، موانع، نیروی درگ، عدد استروهاال، ابعاد گردابه

۱. گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران.

\*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mo\_he3197@yahoo.com

## مقدمه

گردابه با هسته هوا یک پدیده رایج است که در مقابل آبگیرها، مانند ورودی توربین در مخزن بالادست نیروگاه آبی یا ورودی پمپ در ایستگاه پمپاژ ظاهر می‌شود (۱ و ۱۷). این پدیده اغلب منجر به کاهش و بی‌ثباتی عملکرد ماشین‌آلات و تجهیزات هیدرولیکی می‌شود. گردابه هسته هوا همچنین باعث ایجاد حباب هوا و چرخش قوی در جریان ورودی می‌شود که می‌تواند باعث بارگذاری ناپایدار روی توربین یا راه‌انداز پمپ و افزایش ارتعاش در این سازه‌ها شود (شکل ۱). بنابراین، بررسی پدیده گردابه هسته هوا، درک سازوکار تولید و تکامل آن بسیار مهم است.

پدیده گردابه هسته هوا در ورودی‌های هیدرولیکی به صورت تئوری، تجربی و عددی توسط بسیاری از پژوهشگران در چند دهه گذشته بررسی شده است (۴، ۹ و ۱۲). این پژوهشگران مدل‌های تحلیلی برای گردابه هسته هوا بر اساس مدل‌های گردابه متعارف، مانند گردابه رانکین و گردابه برگرز را پیشنهاد کردند. این مدل‌های تحلیلی تا حدی میدان سرعت ساختار گردابه هسته هوا را توصیف می‌کنند، اما تکامل و دینامیک گردابه بررسی نشده است. آزمایش‌هایی برای بررسی روابط بین گردابه هسته هوا و شرایط عملیاتی، از جمله سطح آب، دبی جریان و قطر دیواره جداکننده انجام شد. همچنین ایشان حالت‌های تشکیل و تأثیر پارامترهای دبی، سرعت و ارتفاع آب بر گردابه با هسته هوا (توخالی) را نشان دادند (۱، ۳ و ۱۶).

در پژوهشی که توسط چان و همکاران (۶) روی یک گردابه با رفتار گردابه چرخشی ثابت (گردابه اجباری) در نزدیکی هسته هوا و رفتار گردابه چرخشی غیرثابت در جریان اصلی صورت گرفت در ناحیه گردابه آزاد سرعت عمودی تقریباً در جهت شعاعی ثابت است. روابط پیش‌بینی‌شده دبی سرعت، میدان سرعت، فشار و اندازه‌های هسته هوا با داده‌ها مطابقت دارند. به‌ویژه تغییر اندازه هسته هوا با سرعت جریان برای اولین بار با موفقیت پیش‌بینی شد. این مطالعه بینش‌های جامعی از جریان ورودی گردابه

مماسی ارائه می‌کند و مبنایی برای طراحی هیدرولیکی چنین سازه‌های ورودی گردابه فراهم می‌کند.

سرکرده و همکاران (۱۳)، مقاومت موجود در هر گردابه را با اندازه‌گیری سرعت مماسی به وسیله ADV برآورد کردند. ایشان آزمایش‌ها را با یک آبگیردارای دیواره جداکننده با دبی و عمق استغراق متفاوت انجام دادند که نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان از تشکیل شش نوع گردابه داشت. بر اساس پیشنهاد آنها، گردابه‌ها بر اساس قدرت مکش ذرات معلق و یا هوا به سه گروه تقسیم شده‌اند. گروه اول، گردابه‌هایی هستند که تشکیل آنها خطری برای نیروگاه به همراه ندارد که شامل گردابه‌های نوع یک و نوع دو می‌شود. گروه دوم گردابه‌های دارای مخروط چرخشی تا محدوده آبگیر و همچنین مکنده ذرات شناور به داخل آبگیر هستند که گردابه‌های نوع سه و چهار را دربر می‌گیرد. درنهایت نیز گردابه‌های نوع پنج و شش که گردابه‌های وارد کننده هوا به داخل تونل نیروگاه هستند گروه سوم را تشکیل می‌دهند. برای اینکه گردابه روی آبگیرها تشکیل نشود می‌بایست یک کمینه عمق روی دهانه آبگیر وجود داشته باشد. این عمق کمینه، عمق استغراق بحرانی (SCR) نامیده می‌شود. آنها با انجام آزمایش به این نتیجه رسیدند که قدرت و نواح گردابه با افزایش شیب دیواره جداکننده آبگیر تا رسیدن به وضعیت گردابه قائم کاهش می‌یابد. علاوه بر این افزایش شیب دیواره آبگیر، بی‌ثباتی گردابه‌ها (کاهش قدرت گردابه‌ها) را افزایش می‌دهد. تمام آزمایش‌ها با وجود سازه آشغال‌گیر دوباره انجام شد و یک رابطه برای قدرت گردابه‌ها و عمق استغراق بحرانی دریچه بر پایه عدد فرود دریچه و شیب دیواره به دست آمد. علاوه بر این، یک رابطه بین مقاومت و انواع گردابه‌ها نیز ارائه شد. درنهایت نیز برای عدد چرخش نیز فرمولی به دست آوردند.

تقوایی و همکاران (۱۸)، روی سازه‌های ضد گردابه در سدهای برق‌آبی بررسی‌هایی انجام دادند. ایشان



شکل ۱. گردابه تشکیل شده در پشت دریچه سد

جریان در اعماق مختلف نشان از تشکیل گردابه دارد که علت آن اختلاف در پتانسیل سرعت جریان است. سرکرده و همکاران (۱۵)، شبیه‌سازی عددی و تحلیل جریان را در مخزن همراه با گرداب‌های قوی انجام دادند. آنها مدل عددی خود را با داده‌های آزمایشگاهی و تئوری موجود صحت‌سنجی کردند. آزمایش‌های آنها در یک مخزن با گردابه‌های قوی در بالای آبگیر انجام شد. آنها یک الگوی جریان به شکل قیف در بالای آبگیر مخزن به رسمیت شناختند و مرزهای جریان را نیز تعریف کردند.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای بررسی تأثیر عوامل هندسی دریچه بر میزان ابعاد گردابه‌های تشکیل شده نیاز به شبیه‌سازی فیزیکی بود، در همین راستا برای دستیابی به این هدف نیاز به تجهیزات و مدل‌هایی بود که در ادامه به بررسی این تجهیزات و مدل‌ها می‌پردازیم. اما برای مدل‌سازی فیزیکی ابتدا باید روابط حاکم بر پدیده مشخص شود و با تکنیک‌های تحلیل ابعادی به شکل مناسبی پارامترهای بدون بعد استخراج شوند.

### تحلیل ابعادی

متغیرهای هندسی، سینماتیکی و دینامیکی در جریان آزاد روی یک سرریز اوجی با دریچه در جدول ۱ نشان داده شده است.

آزمایش‌ها را با توجه به دسته گردابه به وجود آمده در عمق استغراق‌های مختلف و دبی‌های متفاوت روی ۸۹ مدل سازه ضد گردابه انجام دادند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که صفحات افقی بهترین عملکرد را در حذف گردابه‌ها دارند. نادری و همکاران (۱۱)، ضریب دبی را در آبگیرهای قائم با صفحات اضافه به دست آوردند. آنان بیان کردند که وقوع گردابه در یک سازه آبگیر باعث بالا رفتن عمق استغراق بحرانی و کاهش ضریب دبی می‌شود که هر دو آنها باعث عملکرد هیدرولیکی نامطلوب می‌شود. سرکرده و همکاران (۱۴)، با انجام آزمایش‌هایی در مجاورت یک آبگیر افقی، الگوی جریان در اطراف یک آبگیر افقی در شرایط تشکیل گردابه با هسته هوا را بررسی کردند و در نهایت سازوکاری برای تشکیل گردابه‌های سطحی ارائه کردند. ایشان آزمایش‌ها را روی یک آبگیر افقی با عمق استغراق ثابت و برای دو عدد فرود مختلف انجام دادند. آنها یک جریان رو به پایین مخروطی شکل بالای محور آبگیر و یکی دیگر زیر محور آبگیر در مخزن دیدند و در نهایت نیز دامنه غالب سرعت‌های افقی و قائم را مشخص کردند. آذرپیرا و همکاران (۲)، تأثیر تشکیل گردابه‌ها را بر سرعت ورق‌های مخازن مورد بررسی قرار دادند. آنها کانتور سرعت ورقه‌ای را رسم کردند و تأثیر تشکیل گردابه را روی شرایط جریان در مخزن بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد، شکل خطوط

جدول ۱. پارمترهای تأثیرگذار بر پدیده گردابه

پارامتر	نام پارامتر	پارامتر	نام پارامتر
U	سرعت جریان (m/s)	$\mu$	لزجت دینامیکی
g	شتاب ثقل	H	ارتفاع آب در بالادست سرریز
$\rho$	جرم مخصوص	W	میزان بازشدگی دریچه
Q	دبی جریان	L	عرض سرریز
b	عرض دریچه	$\sigma$	کشش سطحی
Hv	ارتفاع گردابه	Lv	عرض دهانه گردابه
D	قطر دیواره جداکننده		

جریان و کاهش نوسانات سطح آب در بالادست سرریز استفاده شد. دبی در این پژوهش در تمام آزمایش‌ها ثابت و ۲۳ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شد. دبی جریان از طریق مخزن زمینی توسط دو پمپ کفکش به یک هد تانک وارد و سپس دبی فلوم از هد تانک تأمین شد. همچنین مقدار دبی با استفاده از سرریز مثلثی کالیبره شده و مانومتری که بر روی آن نصب شده بود اندازه‌گیری شد. برای شبیه‌سازی سد از یک سرریز اوجی از جنس پلاکسی‌گلاس به عرض ۶۰، ارتفاع ۴۰ و طول ۶۰ سانتی‌متر استفاده شد و برای بررسی تأثیر دیواره از لوله‌های از جنس پلیکا با سه قطر ۲، ۳ و ۵ سانتی‌متری استفاده شد که این لوله‌ها در بالادست سرریز نصب شد (شکل ۳).

### محدوده آزمایش‌ها

در آزمایش‌های طراحی شده به بررسی تأثیر ابعاد دیواره جداکننده دریچه، ابعاد و بازشدگی دریچه بر تشکیل گردابه پرداخته می‌شود که این دیواره‌های جداکننده باعث تشکیل گردابه می‌شوند یا خیر؟ برای این منظور استوانه‌ای با شکل‌های مختلف در بالادست سرریز نصب شده و روی سرریز دریچه بین ستون‌ها نصب شد و با باز کردن مقداری از دریچه مستغرق میزان عرض و عمق گردابه تشکیل شده اندازه‌گیری شد. همچنین پارامترهای مورد بررسی و تعداد آزمایش‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است.

این پارامترها به دو گروه مشخصات جریان ( $U, \mu, g, H, \rho$ ) و مشخصات سازه ( $h, L, b$ ) تقسیم می‌شود. پارامترهای تأثیرگذار روی تشکیل ورتکس در رابطه ۱ نشان داده شده است:

$$F = (u, b, h, g, \rho, D, W, \sigma, H, L_v, L, \mu, Q) \quad (1)$$

با آنالیز ابعادی که روی رابطه ۲ صورت گرفت، اعداد بدون بعد زیر به دست آمد.

$$f = \left( \frac{L}{b}, \frac{W}{b}, \frac{D}{b}, \frac{H_v}{b}, \frac{\rho V^2 H_s}{\sigma}, \frac{\rho u D}{\mu}, \frac{U}{\sqrt{gh}} \right) = 0 \quad (2)$$

در رابطه ۲، پارامترهای بدون بعد معروف عدد رینولدز

$$R_e = \frac{\rho u D}{\mu}, \quad \left( F_R = \frac{U}{\sqrt{gh}} \right), \quad \text{عدد وبر و عدد}$$

$$\text{استروهل} \left( W_e = \frac{\rho V^2 H_s}{\sigma} \right) \text{ به دست می‌آید.}$$

### تجهیزات آزمایشگاهی

برای انجام آزمایش‌های پژوهش حاضر از فلوم سازمان آب و برق خوزستان با دیواره‌های شیشه‌ای و کف فلزی به طول ۷ متر و عرض ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر استفاده شده است (شکل ۲).

در ورودی فلوم از صفحات آرام‌کننده جریان برای آرام کردن



شکل ۲. فلوم آزمایشگاهی



(ب)



(الف)

شکل ۳. (الف) سرریز اوجی. (ب) لوله‌های نصب شده در بالادست سرریز

جدول ۲. آزمایش‌های انجام شده

ردیف	متغیر	نام متغیر	تعداد مورد بررسی	مشخصات مدل
۱		شکل دیواره جداکننده‌ها	۱ شکل	دایره‌ای
۲	D	قطر دیواره	۳ قطر	۲، ۳ و ۵ سانتی‌متر
۳	W	بازشدگی دریچه	۶	۱، ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶ سانتی‌متر بازشدگی دریچه
۴	b	عرض دریچه	۳	۱۰، ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متر

تشکیل شده در  $2 < W < 3$  سانتی متری صورت گرفت و بعد از این مقدار به صورت خطی با نرخ ۲۲ درصدی کاهش می یابد. به طور کلی با بازشدگی دریاچه از یک سانتی متر تا ۶ سانتی متر به میزان ۶۰۰ درصد میزان ابعاد گردابه کاهش می یابد که علت این امر می تواند کاهش بار آبی یا افزایش دبی خروجی از دریاچه باشد که فرصت تشکیل گردابه را نمی دهد.

شکل ۵ تأثیر قطر دیواره جداکننده بر میزان تولید گردابه را نشان می دهد، محور عمودی حاصل ضرب عرض و عمق گردابه ( $H_v * D_v$ ) و محور افقی نسبت  $D/b$  قطر دیواره جداکننده و  $b$  عرض دریاچه) است. با افزایش قطر دیواره جداکننده میزان ابعاد گردابه افزایش می یابد، همچنین با افزایش قطر از ۱۰ به ۱۵ سانتی متر، ۵۰ درصد و از ۱۵ به ۳۰ سانتی متر ۲۷ درصد ابعاد گردابه افزایش می یابد.

### نتیجه گیری

گردابه های تشکیل شده در پشت دریاچه های نصب شده روی سرریز اوجی موجب ایجاد ارتعاش و خوردگی در بدنه این دریاچه ها، سبب کاهش عمر و افزایش هزینه های بهره برداری این سازه ها می شود. در همین راستا در این پژوهش به بررسی تأثیر علل تشکیل گردابه و سپس بررسی تأثیر ابعاد دیواره جداکننده یا دیواره نگهدارنده دریاچه ها، عرض خود دریاچه ها و میزان بازشدگی این دریاچه ها بر میزان گردابه تولید شده در پشت این دریاچه ها پرداخته شد. نتایج به دست آمده به شرح زیر است:

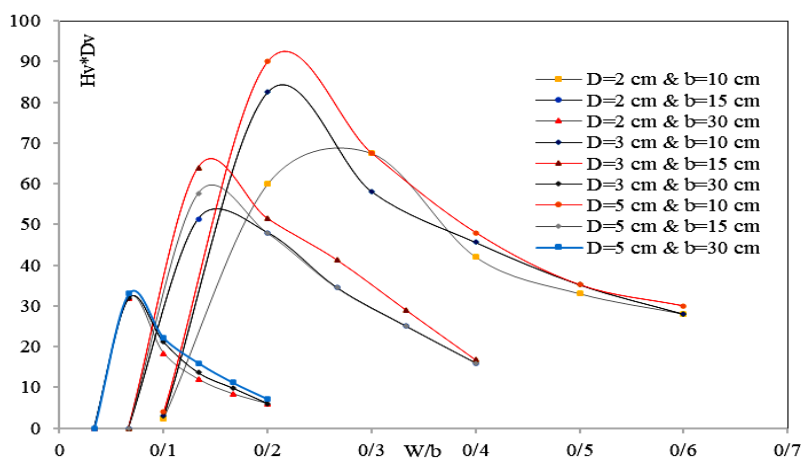
- علت تشکیل گردابه وجود دریاچه نصب شده روی سرریز است که سبب تشکیل گردابه می شود.
- علت تشکیل گردابه، دریاچه و یا دیواره جداکننده به تنهایی نیست و به همین دلیل در آزمایش های بعدی با نصب دریاچه به این سناریو پرداخته شد و نتیجه گرفته شد که دریاچه باعث ایجاد گردابه می شود.
- وقتی دریاچه باز شود از بار آبی  $13/5$  به بعد روی سرریز، گردابه تشکیل می شود.

همان طور که در جدول ۲ نشان داده شده است در این پژوهش ۵۴ آزمایش روی هندسه و شرایط هیدرولیکی صورت گرفت. برای آزمایش ها ابتدا شرایط مدل آماده و نصب شد. سپس با باز کردن شیر پروانه ای دبی جریان تنظیم شد، آنگاه دریاچه نصب شده روی سرریز باز شده تا گردابه تشکیل شود بعد از تشکیل گردابه با استفاده از اشل های نصب شده در اطراف محل تشکیل گردابه میزان عرض و عمق گردابه تشکیل شده اندازه گیری شد. برای تمام ۵۴ آزمایش به همین روش آزمایش ها انجام شد.

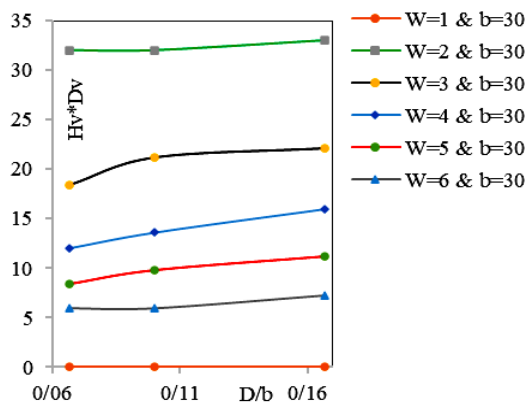
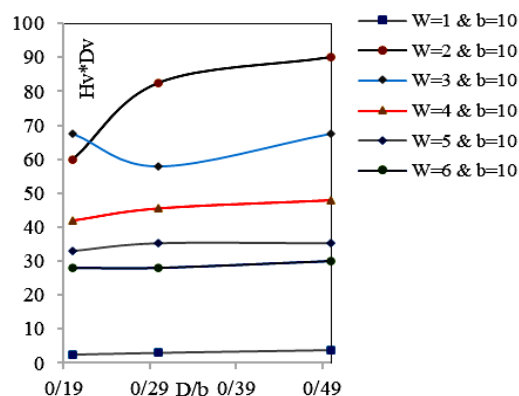
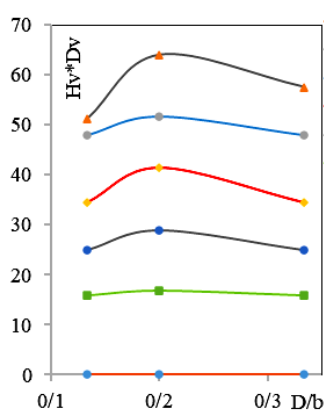
### نتایج و بحث

گردابه های تشکیل شده در پشت دریاچه های نصب شده روی سرریز اوجی موجب ایجاد ارتعاش و خوردگی در بدنه این دریاچه ها، سبب کاهش عمر و افزایش هزینه های بهره برداری این سازه ها می شود. در همین راستا در این پژوهش به بررسی تأثیر علل تشکیل گردابه و بررسی تأثیر ابعاد دیواره نگهدارنده دریاچه ها، عرض دریاچه ها و میزان بازشدگی دریاچه ها بر میزان گردابه تولید شده در پشت این دریاچه ها پرداخته شد. در این پژوهش برای نشان دادن گردابه به وجود آمده ابعاد گردابه که شامل عمق گردابه ( $H_v$ ) و عرض گردابه ( $D_v$ ) است برداشت و در نمودارها در یکدیگر ضرب ( $H_v * D_v$ ) شد. در نمودار شکل ۴ که نشان دهنده تأثیر قطر دیواره جداکننده بر میزان تولید گردابه است، محور عمودی مقدار ضرب عرض و عمق گردابه ( $H_v * D_v$ ) که ابعاد گردابه را نشان می دهد و در محور افقی نسبت  $w/b$  ( $w$  بازشدگی دریاچه و  $b$  عرض دریاچه) است.

همان طور که در شکل ۴ دیده می شود، با افزایش عرض دریاچه ابعاد گردابه کاهش می یابد به صورتی که در  $D$  ثابت، با افزایش ۲۰۰ درصدی عرض دریاچه، در  $D=2\text{cm}$ ، ۱۱۰ درصد، در  $D=3\text{cm}$ ، ۱۶۰ درصد و در  $D=5\text{cm}$ ، ۲۰۰ درصد ابعاد گردابه کوچک تر می شود. همچنین در این شکل مشخص شد که بازشدگی دریاچه با ابعاد گردابه تشکیل شده رابطه خطی ندارد و یک رابطه سهمی شکل دارد و بزرگ ترین گردابه های



شکل ۴. بررسی تأثیر بازشدگی دریاچه بر ابعاد گردابه



شکل ۵. تأثیر قطر دیواره جداکننده بر ابعاد گردابه

جداکننده میزان گردابه تشکیل شده بزرگ‌تر می‌شود به طوری که با افزایش ۱۵۰ درصدی قطر موانع به میزان ۵۰ درصد ابعاد گردابه افزایش می‌یابد.

- در دریاچه به عرض ۱۵ سانتی‌متری، با افزایش قطر دیواره

- منطقه تأمین‌کننده گردابه پشت دیواره است آب ورودی از بالادست دریاچه تأثیری روی گردابه ندارد و زمانی که دریاچه کناری بسته باشد باعث ایجاد گردابه می‌شود.

- در دریاچه به عرض ۱۰ سانتی‌متری، با افزایش قطر دیواره

- که با افزایش ۲۰۰ درصدی ابعاد دریچه، به میزان ۱۶۰ درصد ابعاد گردابه کوچکتر می شود.
- در شرایط ثابت قطر دیواره جداکننده ( $D=2\text{cm}$ )، با افزایش عرض دریچه میزان تولید گردابه کوچکتر می شود به نحوی که با افزایش ۲۰۰ درصدی ابعاد دریچه، به میزان ۲۰۰ درصد ابعاد گردابه کوچکتر می شود.
- بزرگترین گردابه‌های تشکیل شده در بازشدگی ۲ الی ۳ سانتی متری صورت گرفت.
- با بازشدگی دریچه از یک سانتی متر تا ۶ سانتی متر به میزان ۶۰۰ درصد میزان ابعاد گردابه کاهش می یابد.

### تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله بر خود لازم می دانند از سازمان آب و برق خوزستان برای در اختیار قرار دادن تجهیزات آزمایشگاهی قدردانی نمایند.

- جداکننده میزان گردابه تشکیل شده بزرگتر می شود به طوری که با افزایش ۱۵۰ درصدی قطر موانع به میزان ۲۷ درصد ابعاد گردابه افزایش می یابد.
- در دریچه به عرض ۳۰ سانتی متری، با افزایش قطر دیواره جداکننده میزان گردابه تشکیل شده بزرگتر می شود به صورتی که با افزایش ۱۵۰ درصدی قطر موانع به میزان ۳ درصد ابعاد گردابه افزایش می یابد.
- با افزایش قطر دیواره جداکننده مقدار ابعاد گردابه افزایش می یابد همچنین با افزایش عرض دریچه مقدار افزایش گردابه کاهش می یابد که نشان دهنده تأثیر ابعاد دریچه بر ابعاد گردابه تولید شده است.
- در شرایط ثابت قطر دیواره جداکننده ( $D=2\text{cm}$ )، با افزایش عرض دریچه میزان تولید گردابه کوچکتر می شود به نحوی که با افزایش ۲۰۰ درصدی ابعاد دریچه، به میزان ۱۱۰ درصد ابعاد گردابه کوچکتر می شود.
- در شرایط ثابت قطر دیواره جداکننده ( $D=3\text{cm}$ )، با افزایش عرض دریچه میزان تولید گردابه کوچکتر می شود به نحوی

### منابع مورد استفاده

1. Anwar, H. O., J. A. Weller and M. B. Amphlett. 1978. Similarity of free-vortex at horizontal intake. *Journal of Hydraulic Research* 16:95.
2. Azarpira, M., H. Sarkardeh, S. Tavakkol, R. Roshan and H. Bakhshi. 2014. Vortices in dam reservoir: A case study of Karun III dam. *Indian Academy of Sciences* 39:1201-9.
3. Baum, M. R. and M. E. Cook. 1975. Gas entrainment at the free surface of a liquid: entrainment inception at a vortex with an unstable gas core. *Nuclear Engineering and Design* 32: 239.
4. Burgers, J. M. 1948. A mathematical model illustrating the theory of turbulence: Elsevier. 171 p.
5. Caruso, G., L. Cristofano, M. Nobili and D. V. D. Maio. 2014. Experimental investigation of free surface vortices and definition of gas entrainment occurrence maps. *Journal of Physics* 501: 012019.
6. Chan S. N., Q. S., Qiao and H. W. Joseph. 2018. On the three-dimensional flow of a stable tangential vortex intake. *Journal of Hydro-environment Research*.
7. Chen, Y. L., C. Wu, M. Ye and X. M., Ju. 2007. Hydraulic characteristics of vertical vortex at hydraulic intakes. *Journal of Hydrodynamics* 19: 143-149.
8. Cristofano, L., M. Nobili, G. P., Romano and G. Caruso. Velocity profiles in bathtub vortices. validation of analytical models. In: Proceeding of 2014 32nd UIT (Italian Union of Thermo-fluid-dynamics) Heat Transfer Conference. Italy
9. Hite, J. E. and W. C. Mih. 1994. Velocity of air-core vortices at hydraulic intakes. *Journal of Hydraulic Engineering*. 120: 284-297.
10. Moller, G. 2013. Vortex-induced air entrainment rate at intakes: ETH Zurich.
11. Naderi, V., D. Farsadzadeh, A. Hosseinzadeh Dalir and H. Arvanaghi. 2013. Discharge Coefficient in V ertical Intakes with Additional Plates. *Journal of hydraulic structures* 2:23-32.
12. Odgaard A. J. 1986. Free-surface air core vortex. *Journal of Hydraulic Engineering* 112:610-620.



13. Sarkardeh, H., A. R. Zarrati and R. Roshan. 2010. Effect of intake head wall and trash rack on vortices. *Journal of Hydraulic Research* 48:108-12.
14. Sarkardeh, H., A. R. Zarrati, E. Jabbari and S. Tavakkol. Velocity field in a reservoir in the presence of an air-core vortex. *In: Proceedings of 2013 the Institution of Civil Engineers Water Management*. Thomas Telford Ltd. 167: 356-365.
15. Sarkardeh, H., A. R. Zarrati, E. Jabbari and M. Marosi. 2014. Numerical Simulation and Analysis of Flow In A Reservoir In The Presence of Vortex. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics* 8:598-608.
16. Suerich-Gulick, F., S. J. Gaskin, M. Villeneuve and E. Parkinson. 2013 Characteristics of free surface vortices at low-head hydropower intakes. *Journal of Hydraulic Engineering* 140: 291-299.
17. Suerich-Gulick, F., S. J. Gaskin, M. Villeneuve and E. Parkinson. 2014. Free surface intakevortices: theoretical model and measurements. *Journal of Hydraulic Research* 52:502-512.
18. Taghvaei, S. M., R. Roshan, K., Safavi and H. Sarkardeh. 2012. Anti-vortex structures at hydropower dams. *International journal of the physical sciences* 7: 5069-5077.

## **Effects of Cutoff Wall Shape and Size of Dam Gates on Vortex Formation Upstream of Dams**

**M. Eskandari, M. Heidarnejad\* and A. Egdernejad<sup>1</sup>**

(Received: February 15-2023 ; Accepted: June 12-2023)

### **Abstract**

The formation of vortices behind the gates of diversion dams is an operational challenge. Such vortices lead to vibration and corrosion in the gate, reducing the lifetime and raising the operational cost of the dam. This study investigated these vortices and their formation. It was found that the gate or cutoff wall was not the only explanation for the vortices; the closed side gates also contribute to vortex formation. Furthermore, an increase in the gate width reduced vorticity; the vortex size experienced a 200% reduction as the gate size increased by 200%. The cutoff wall diameter was another determinant. An increase in the cutoff wall diameter raised vorticity. The vortices increased by 50% as the wall diameter increased by 150%.

**Keywords:** Vortex, Obstacles, Drag, Strouhal number, Vortex size

---

1. Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.

\*: Corresponding author, Email: mo\_he3197@yahoo.com