

# مطالعه‌ی آزمایشگاهی ارتعاشات و نیروهای وارد بر دریچه‌های سرویس و اضطراری در مجاری تخلیه

## کننده‌ی تحتانی سدها

(مطالعه‌ی موردی تخلیه‌ی کننده‌ی تحتانی سد نرماشیر)

سیداحمد حسینی<sup>۱\*</sup>، مجتبی صانعی<sup>۲</sup>، منصور پاره‌کار<sup>۳</sup>، مهدی حبیبی<sup>۴</sup>

\* نویسنده مسئول: عضو هیأت علمی پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری تهران sahosseini@yahoo.com

۳، ۴ و ۳- اعضای هیأت علمی پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری تهران

تاریخ پذیرش: ۸۹/۶/۱۶

تاریخ دریافت: ۸۹/۲/۱۳

### چکیده

وجود جریان تحت فشار در بالادست دریچه‌ی تخلیه‌کننده‌ها، و هم‌چنین مقادیر ناچیز نسبت بازشدگی دریچه به هد آب روی دریچه‌ی تخلیه‌کننده، سبب می‌شود استفاده از روش‌های تئوری معمول با خطاهای چشمگیری در تعیین پارامترهای مختلف همراه باشد. بر این اساس نیاز به انجام مطالعات آزمایشگاهی دقیق می‌باشد. در این مقاله، که برگرفته شده از یک طرح تحقیقاتی بر روی مدل فیزیکی مجرا و دریچه‌های سرویس و اضطراری سد نرماشیر می‌باشد، نتایج حاصل از اندازه‌گیری و مطالعه‌ی نیروها و ارتعاشات وارد بر دریچه‌ها ارائه می‌شود. در این تحقیق پس از طراحی و ساخت مدل فیزیکی مجرا و دریچه‌های سرویس و اضطراری در آزمایشگاه هیدرولیک پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، آزمایش‌های لازم انجام پذیرفت. مقادیر ارتفاع معادل فشار در نقاط مختلف و میزان آبگذری دریچه در ۶ تراز مخزن و ۱۲ بازشدگی از دریچه‌ها، اندازه‌گیری شد. با استفاده از بررسی توزیع فشار در پیژومترهای واقع در زیر و روی دریچه‌های سرویس و اضطراری، نیروهای عمودی وارد در دو هد ماکزیمم و نرمال از مخزن و بازشدگی‌های مختلف از دریچه‌ها، محاسبه شد. روش محاسبه این نیروها بر پایه‌ی استفاده از توزیع فشار به‌دست آمده توسط پیژومترهای نصب شده بر بالا و زیر دریچه‌ی اضطراری و حاصل ضرب آن در سطح پیرامونی هر پیژومتر بود. نتایج نشان داد حداکثر نیروی افقی در بازشدگی ۲ درصد دریچه ظاهر شده و مقدار آن معادل ۲۴۱۰ کیلونیوتن تعیین شد. هم‌چنین حداکثر نیروی افقی وارد بر دریچه‌ی اضطراری نیز در بازشدگی اولیه ظاهر شده و مقدار آن معادل ۲۵۰۷ کیلونیوتن تعیین شد. هم‌چنین نتایج نشان داد حداکثر فرکانس تحریک در اثر عبور جریان از مجرا حدود ۸۰ بر ثانیه بوده که با اتخاذ تدابیر فنی مشخص شد این ارتعاش با اضافه کردن قطر لوله‌ی بالابر یا همان بازوی نگه‌دارنده‌ی دریچه‌ها، در محل پروتوتایپ سد قابل کنترل می‌باشد.

کلید واژه‌ها: ارتعاش، دریچه، دریچه‌ی اضطراری، دریچه‌ی سرویس، سد نرماشیر، مجرای تخلیه‌کننده‌ی تحتانی، مدل فیزیکی، نیروی بالابرنده.

### مقدمه

تعیین‌کننده‌ی نیروی لازم برای بالا و پایین آوردن دریچه می‌باشد.

صادقی پور و هم‌کاران (۱۳۷۷)، مدل دریچه‌ی کشویی تونل تخلیه‌کننده‌ی تحتانی سد مارون را مورد بررسی قرار داده‌اند و نتایج آن را با مدل آیرودینامیکی مقایسه کردند. از فشارهای اندازه‌گیری شده حاصله برای محاسبه‌ی نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر دریچه استفاده شده است.

هنگامی که دریچه‌ای در عرض مجرای جریان قرار گیرد، به دلیل عبور جریان از زیر دریچه و فشار هیدرواستاتیکی وارد شده بر لبه‌ی زیرین آن، اختلاف فشاری بین بالا و پایین دریچه ایجاد می‌کند که منجر به وارد آمدن نیرویی در جهت پایین و یا بالا به دریچه می‌شود. این نیروی فشاری در کنار وزن دریچه و نیروی اصطکاک، عامل

اضطراری قرار دارد. در پایین دست دریچه‌ها نیز جریان وارد یک تونل طولانی به طول ۲۴۰ متر با مقطع دایره‌ای به قطر ۶ متر می‌شود.

سیستم مذکور پس از تشابه‌سازی عدد فرود، با مقیاس هندسی ۱:۱۵ از جنس پلکسی‌گلاس در آزمایشگاه هیدرولیک پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری، مدل‌سازی شد. مدل مجرای تخلیه‌کننده‌ی تحتانی این سد شامل ورودی مجرا به صورت زنگوله‌ای شکل، مجرای مستطیلی بالادست دریچه‌ی اضطراری، دریچه‌های اضطراری و سرویس از نوع کشویی، مجرای واگرای خروجی و بخشی از مجرای مدور پایین دست آن، می‌باشد. به منظور تأمین ارتفاع آب لازم و دبی مورد نیاز، از یک مخزن استوانه‌ای با ارتفاع حدود ۱۸ متر، که به وسیله‌ی دو پمپ به ظرفیت هر یک ۱۰۰ لیتر بر ثانیه تغذیه می‌شد، استفاده گردید. با نصب پیژومتر در محل‌های مناسب مجرا و اجزای مختلف دریچه‌ها شامل لبه‌ی زیرین و صفحات مقاوم داخل دریچه، امکان اندازه‌گیری فشار توسط شیلنگ‌های مانومتر، در نقاط مدنظر فراهم شد. در این مدل، به منظور مقابله با اثرات نامطلوب کاهش فشار در پایین دست دریچه‌ها، یک لوله هواده بلافاصله در پایین دست دریچه‌ی سرویس با قطر ۶ سانتیمتر و ارتفاع ۴۰ سانتیمتر و یک هواده در پایین دست دریچه‌ی اضطراری با قطر ۱۱ میلی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتیمتر تعبیه شد. بخش‌های مختلفی از مدل فیزیکی تهیه شده در شکل شماره‌ی ۱ نشان داده شده است.

نتایج حاصله سازگاری بسیار خوبی با نتایج آزمایش مدل آئرو‌دینامیکی داشت.

براین اساس برای عملکرد مناسب تخلیه‌کننده‌ی تحتانی در برابر مشکلات و محدودیت‌هایی مانند کاویتاسیون، نیروهای هیدرودینامیکی، ارتعاش و سایش سازه‌ای، و همچنین بررسی توانایی تخلیه‌ی کامل مخزن، تخلیه‌کننده‌ی تحتانی باید به طور دقیق طراحی شود که در تمامی شرایط مورد نظر به خوبی کار کند. بر این اساس، برای اطمینان از عملکرد هیدرولیکی مجرای تحتانی سد نرماشیر، مدل مناسب اتاق دریچه‌ها و پایین دست این تخلیه‌کننده در آزمایشگاه هیدرولیک پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهادکشاورزی ساخته و مورد آزمایش قرار گرفت.

#### مشخصات پروتوتایپ و مدل

سد مخزنی نرماشیر، یک سد سنگریزه‌ای با هسته‌ی بتنی است که در ۹۷ کیلومتری جنوب غربی شهرستان بزم بر روی رودخانه‌ی نرماشیر، با ارتفاع حدود ۱۱۶ متر احداث می‌شود. حداکثر ارتفاع تراز آب در این سد حدود ۱۱۰ متر خواهد بود. در مقیاس طبیعی تخلیه‌کننده‌ی این سد از کانالی با مقطع مستطیلی با ابعاد  $۲ \times ۲/۵$  متر و به طول تقریبی ۳۰ متر که به دهانه‌ای شیپوری متصل می‌باشد، تشکیل شده است. در بالادست این دهانه، تونل اصلی قرار دارد که در ابتدای آن دهانه‌ی آبگیر ورودی سد واقع می‌باشد. دهانه‌ی آبگیر، جریان پشت سد را وارد یک زانویی کرده و از آنجا جریان به داخل تونلی به طول ۲۴۰ متر با قطر ۶ متر هدایت می‌شود. در قسمت میانی تونل، سیستم کنترل، شامل یک دریچه‌ی کشویی و یک دریچه‌ی



شکل ۱- تصاویری از بخش‌های مختلف مجرا، دریچه‌ها پیزومترها و تونل خروجی در مدل فیزیکی ساخته شده

در رابطه‌ی (۱):

$F$ : نیروی پایین‌کننده (یا بالا برنده)

$K_t$ : ضریب نیروی پائین‌کننده در قسمت بالای

دریچه

$K_b$ : ضریب نیروی پایین‌کننده در قسمت پایین

دریچه

$B$ : عرض دریچه

$d$ : ضخامت دریچه

$\rho$ : دانسیته‌ی آب

$U_c$ : سرعت جت فشرده‌ی جریان در زیر دریچه

بر این اساس با استفاده از توزیع فشار در زیر و

روی دریچه‌های کشویی، نیروهای عمودی وارده بر

دریچه‌ها محاسبه شد. روش محاسبه‌ی این نیروها

بر پایه‌ی استفاده از توزیع فشار به دست آمده توسط

پیزومترهای نصب شده بر بالا و زیر دریچه‌ی

اضطراری و ضرب آن در سطح پیرامونی هر پیزومتر

بود. در این تحقیق برای محاسبه‌ی  $F_{top}$  هر دو

دریچه از پیزومترهایی که روی قاب دریچه‌های

مواد و روش‌ها

در این تحقیق به منظور اندازه‌گیری مقادیر

متوسط فشار، از تعداد ۶۸ پیزومتر در محل‌های

مختلف مجرای مدل تخلیه کننده، با توجه به

اهمیت فشار در آن نقاط شامل ورودی، بدنه‌ی

دریچه‌ها، شیارهای دریچه‌ها، دیواره‌ها، سقف و کف

مجرا استفاده به عمل آمد. شکل (۲) نمایی از توزیع

مکانی پیزومترها در مجرای مدل و دریچه‌ها را

نشان می‌دهد.

برای دریچه‌های مستقر در داخل تونل‌ها، نیروی

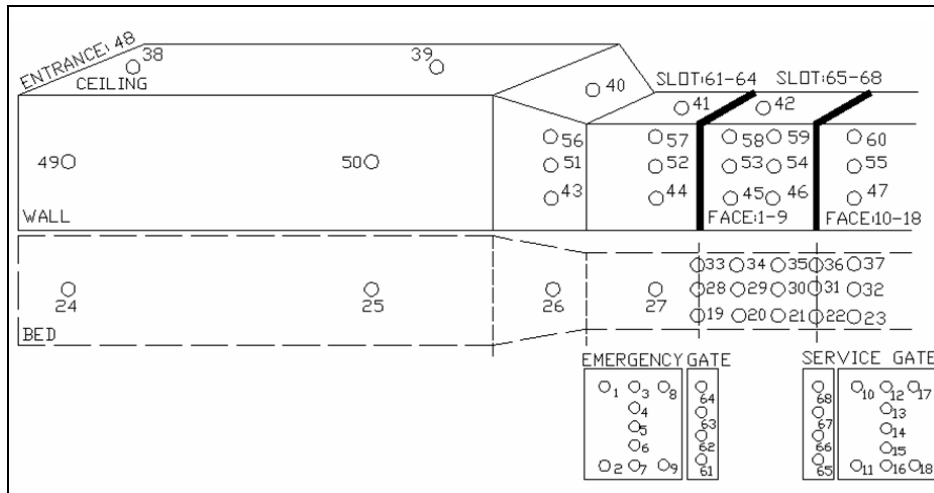
پایین‌کننده (یا بالا برنده) متأثر از شکل هندسی

دریچه و همچنین شدت جریان عبوری از بالا (متأثر

از آب‌بندی) و پایین دریچه می‌باشد که مقدار این

نیرو از رابطه‌ی ذیل قابل محاسبه می‌باشد [۱۰]:

$$F = (K_t - K_b).B.d.\rho.\left(\frac{U_c^2}{2}\right) \quad (1)$$



شکل ۲- توزیع مکانی پیزومترها در مجرای مدل و دریچه‌ها

تغییرات نیروهای قائم و افقی وارد بر دریچه‌ی سرویس در هد نرمال در مدل طبیعی (۹۵/۴۷ متر) می‌باشد.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود حداکثر نیروی قائم وارد بر دریچه‌ی سرویس در بازشدگی حدود ۴۰٪ به مقدار ۷۰ کیلونیوتن می‌باشد و حداکثر نیروی افقی نیز، همان‌گونه که انتظار می‌رفت، در بازشدگی ۲ درصد ظاهر شده و مقدار آن حدوداً معادل ۲۴۱۰ کیلونیوتن می‌باشد.

منحنی نیروی عمودی وارد بر سقف دریچه تا بازگشایی ۱۰۰٪ روند نزولی داشته اما این منحنی در برخورد به لبه‌ی زیرین دریچه تا بازشدگی حدود ۵۰٪ روند نزولی و پس از آن تا ۱۰۰٪ روند تغییرات صعودی به خود می‌گیرد. بر این اساس نیروی پایین‌کننده در بازشدگی حدود ۷۰٪ تا ۱۰۰٪ و ۲٪ تا ۱۰٪ به نیروی بالابرنده تبدیل شده و جهت آن معکوس می‌شود. مشابه روابط بالا در دریچه‌ی اضطراری نیز سطوح و فشارهای اندازه‌گیری شده (پیزومترهای شماره‌ی ۷۲، ۷۳، ۷۴) در بالای دریچه و پیزومترهای شماره‌ی ۲، ۷ و ۹ در زیر دریچه‌ی اضطراری) برای اندازه‌گیری نیروها مورد استفاده قرار گرفت. جدول (۲) و شکل (۴) معرف تغییرات نیروهای قائم و افقی وارد بر دریچه‌ی اضطراری در هد نرمال می‌باشد.

سرویس و اضطراری کار گذاشته شده بود استفاده به عمل آمد. در محاسبات نیز از پیزومتری که بیش‌ترین فشار را نشان می‌داد استفاده به عمل آمد. این مورد در پیزومترهای واقع در زیر دریچه‌ها (زاویه‌ی ۴۵ درجه) نیز به کار گرفته شد. به‌عنوان مثال نیروهای وارد بر دریچه‌ی سرویس به فرم زیر محاسبه شد:

$$F_{top} = P_{piz73} \times A_{top} \quad (2)$$

$$F_{bottom} = (A_{piz16} \times P_{piz16}) \quad (3)$$

$$F_{Dp} = F_{top} - F_{bottom} \quad (4)$$

در رابطه‌ی فوق:

$$F_{top} = \text{نیروی وارد بر بالای دریچه}$$

$$F_{bottom} = \text{نیروی وارد بر زیر دریچه}$$

$$F_{Dp} = \text{اختلاف نیروهای وارده بر بالا و زیر دریچه}$$

#### نتایج و بحث:

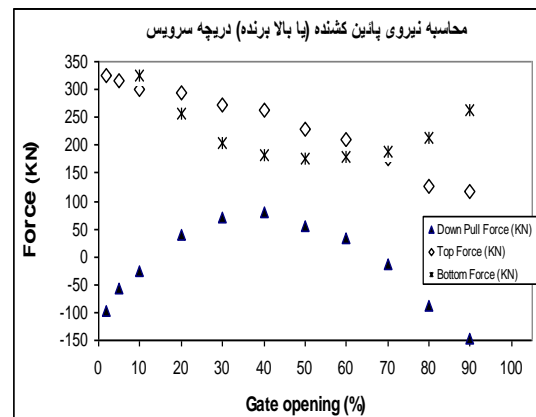
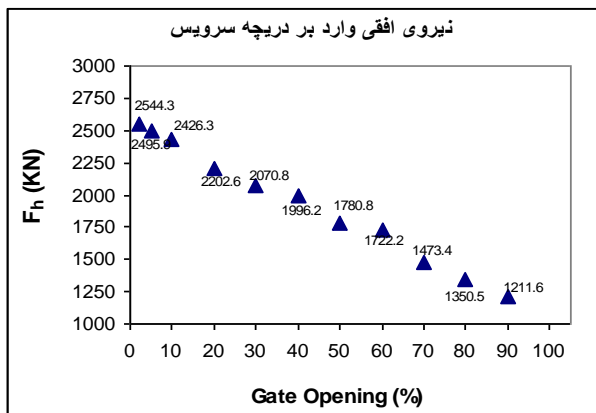
با توجه به فشارهای مربوط به پیزومترها (برحسب مترآب) در بازشدگی‌های مختلف از دریچه‌ی اضطراری، مقادیر مربوط به نیروهای عمودی محاسبه شد. جدول (۱) و شکل (۳) معرف

جدول (۱)- نیروهای افقی و عمودی وارد بر دریچه‌ی سرویس در هد نرمال

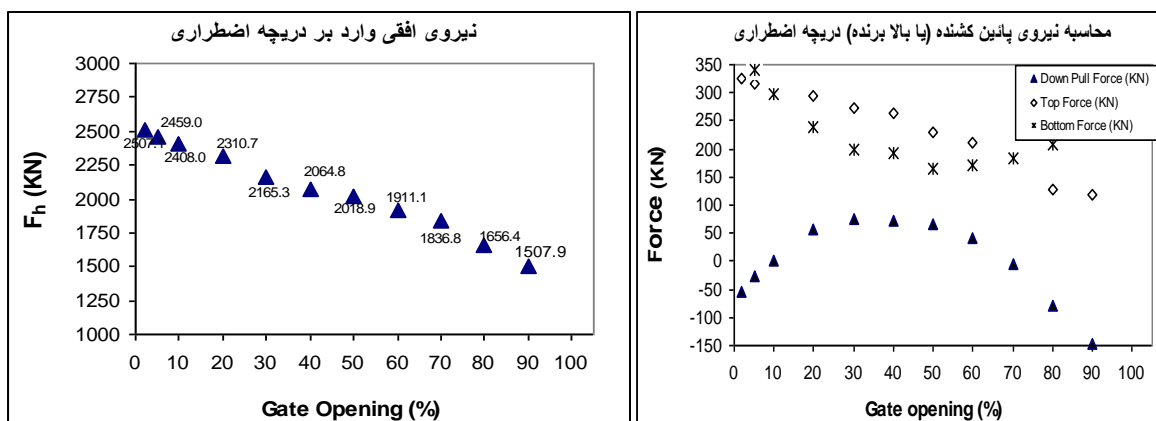
Service Gate opening	P/γ (top) (m)	P/γ (bottom) (m)	A <sub>top</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>bottom</sub> (m <sup>2</sup> )	F <sub>t</sub> (KN)	F <sub>b</sub> (KN)	F <sub>dp</sub> (KN)	F <sub>h</sub> (KN)
۹۰	۲۵۸/۴	۵۴/۹۴	-/۴۲	-/۴۴۸	۱۰۸/۵	۲۴۱/۵	-۱۳۲/۹	۱۰۸۱
۸۰	۲۷۳/۱۱	۴۶/۶۹	-/۴۲	-/۴۴۸	۱۱۴/۷	۲۰۵/۲	-۹۰/۵	۱۲۱۳
۷۰	۳۷۱/۷	۴۲/۷۹	-/۴۲	-/۴۴۸	۱۵۶/۱	۱۸۸/۱	-۳۱/۹	۱۳۱۷/۳
۶۰	۴۴۹/۶۹	۳۷/۸۴	-/۴۲	-/۴۴۸	۱۸۸/۹	۱۶۶/۳	۲۲/۶	۱۶۱۹
۵۰	۴۹۳/۸۴	۳۶/۳۴	-/۴۲	-/۴۴۸	۲۰۷/۴	۱۵۹/۷	۴۷/۷	۱۷۶۵
۴۰	۵۷۱/۸۲	۳۸/۸۹	-/۴۲	-/۴۴۸	۲۴۰/۲	۱۷۰/۹	۶۹/۲	۱۸۴۳
۳۰	۶۰۸/۶۱	۴۵/۷۹	-/۴۲	-/۴۴۸	۲۵۵/۶	۲۰۱/۲	۵۴/۴	۲۰۲۰/۹
۲۰	۶۶۱/۵۹	۵۶/۱۴	-/۴۲	-/۴۴۸	۲۷۷/۹	۲۴۶/۷	۳۱/۱	۲۱۳۴/۱
۱۰	۶۷۷/۷۷	۷۳/۲۴	-/۴۲	-/۴۴۸	۲۸۴/۷	۳۲۱/۹	-۳۷/۲	۲۳۳۴/۴
۵	۷۰۵/۷۳	۸۳/۸۹	-/۴۲	-/۴۴۸	۲۹۶/۴	۳۶۸/۷	-۷۲/۳	۲۴۰۴
۲	۷۲۶/۳۳	۹۱/۰۱	-/۴۲	-/۴۴۸	۳۰۵/۱	۴۰۰	-۹۴/۹۲	۲۴۱۰/۹

جدول (۲)- نیروهای افقی و عمودی وارد بر دریچه‌ی اضطراری در هد نرمال

Emergency Gate opening	P/γ (top) (m)	P/γ (bottom) (m)	A <sub>top</sub> (m <sup>2</sup> )	A <sub>bottom</sub> (m <sup>2</sup> )	F <sub>t</sub> (KN)	F <sub>b</sub> (KN)	F <sub>dp</sub> (KN)	F <sub>h</sub> (KN)
90	26.34	60.35	0.42	0.448	117.8	265.2	-147.4	1507.9
80	27.84	47	0.42	0.448	127.1	206.6	-79.5	1656.4
70	37.89	41.6	0.42	0.448	177.1	182.8	-5.7	1836.8
60	45.84	38.75	0.42	0.448	211.7	170.3	41.4	1911.1
50	50.34	37.55	0.42	0.448	229.7	165.0	64.6	2018.9
40	58.29	43.55	0.42	0.448	263.0	191.4	71.6	2064.8
30	62.04	45.05	0.42	0.448	272.9	198.0	74.9	2165.3
20	67.44	54.5	0.42	0.448	295.2	239.5	55.7	2310.7
10	69.09	68	0.42	0.448	300.1	298.9	1.3	2408.0
5	71.94	77.6	0.42	0.448	315.6	341.0	-25.5	2459.0
2	74.04	86.6	0.42	0.448	325.5	380.6	-55.1	2507.1



شکل (۳)- نیروهای افقی و عمودی وارد بر دریچه‌ی سرویس



شکل (۴) - نیروهای افقی و عمودی وارد بر دریچه اضطراری

مشکلات ارتعاشی سازه‌های هیدرولیکی و به خصوص دریچه‌ها و شیرها یکی از روش‌های مورد توجه می‌باشد. که با توجه به نیاز آن به ساخت مدل هیدرواستاتیک و استفاده از مواد مخصوص برای مدل کردن مدول الاستیسیته‌ی سازه، ساخت آن اغلب پر هزینه می‌باشد. اما در مواردی که دیگر روش‌ها قابل استفاده نباشند، ساخت و مطالعه بر روی چنین مدل‌هایی اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در شرایط عدم امکان ساخت مدل هیدرواستاتیک، با استفاده از روابط تجربی که عمدتاً در مقیاس آزمایشگاهی به دست آمده‌اند، تحلیل تقریبی ارتعاش دریچه بر اثر ناپایداری لایه‌ی برشی (Instability Induced Excitation) و احتراز از حالت تشدید مورد توجه می‌باشد که در این‌جا ذکر تحلیل تقریبی باید مورد توجه قرار گیرد. در یک طرح ایمن دریچه، شکل هندسی و سازه‌ی دریچه باید به گونه‌ای انتخاب شود که دامنه‌ی ارتعاشات آن بسیار کوچک و محدود باشد تا پایداری سازه‌ی آن مورد تهدید قرار نگیرد و نهایتاً تخریب نشود. ارتعاشات دریچه‌ها بر اثر عبور جریان (Resonance) دارای انواع مختلفی بوده و ممکن است بر اثر مکانیزم‌های متفاوتی رخ دهد.

#### ۱- بررسی سرعت عبوری از زیر دریچه‌ها

مقادیر تغییرات سرعت عبوری از زیر دریچه‌ی سرویس، در ۲ هد ماکزیمم و نرمال، در شرایط

همان‌گونه که مشاهده می‌شود حداکثر نیروی قائم در بازشدگی حدود ۳۰٪، به مقدار ۷۵ کیلونیوتن می‌باشد. حداکثر نیروی افقی وارد بر دریچه‌ی اضطراری نیز همان‌گونه که انتظار می‌رود در بازشدگی اولیه ظاهر شده و مقدار آن معادل ۲۵۰۷ کیلونیوتن می‌باشد. منحنی نیروی عمودی وارد بر سقف دریچه تا بازگشایی ۱۰۰٪ روند نزولی دارد؛ اما این منحنی در بر خورد به لبه‌ی زیرین دریچه تا بازشدگی حدود ۵۰٪ آهنگ نزولی به خود گرفته، و پس از آن تا ۱۰۰٪ روند تغییرات، حالت صعودی به خود می‌گیرد. بر این اساس نیروی پایین کشنده در بازشدگی حدود ۷۰٪ تا ۱۰۰٪ و ۲٪ تا ۵٪ به نیروی بالا برنده تبدیل شده و جهت آن معکوس می‌شود.

#### بررسی تقریبی ارتعاشات مخرب دریچه‌ها

سازه‌های هیدرولیکی و خصوصاً دریچه‌ها و شیرهای کنترل جریان در سدها معمولاً تحت تأثیر شرایط هیدرودینامیکی مخربی قرار می‌گیرند که عدم پیش‌بینی آن به تخریب سازه منجر می‌شود. وجود ارتعاش گرچه اجتناب‌ناپذیر می‌باشد اما در صورت مخرب بودن آن باعث بروز خسارات جبران‌ناپذیر به سازه می‌شود؛ لذا طراحی بهینه‌ی این سازه‌ها از نظر هیدرولیکی برای اطمینان از عدم وقوع ارتعاشات مخرب از اهمیت زیادی برخوردار است. استفاده از مدل‌های ارتعاشی برای بررسی و پیش‌بینی

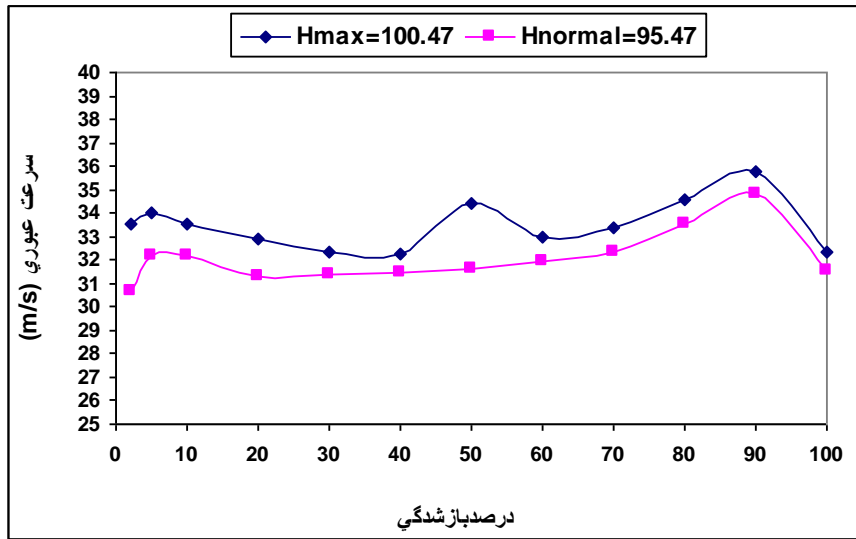
بازشدگی‌های مختلف از دریچه، به شرح جداول (۳) و (۴) و شکل (۵) محاسبه شد.

جدول (۳) - تغییرات سرعت عبوری از زیر دریچه‌ی سرویس در هد ماکزیمم (۱۰۰/۴۷ متر)

[Gate Opening (%)	Q ( $m^3/s$ )	A ( $m^2$ )	V <sub>Gate</sub> (m/s)
100	85.95	2.66	32.31
90	85.55	2.39	35.74
80	73.50	2.13	34.54
70	62.08	1.86	33.34
60	52.59	1.60	32.95
50	45.75	1.33	34.40
40	34.35	1.06	32.28
30	25.82	0.80	32.35
20	17.51	0.53	32.91
10	8.92	0.27	33.52
5	4.52	0.13	34.02
2	1.78	0.05	33.54

جدول (۴) - تغییرات سرعت عبوری از زیر دریچه‌ی سرویس در هد نرمال (۹۵/۴۷ متر)

Gate Opening (%)	Q ( $m^3/s$ )	A ( $m^2$ )	V <sub>Gate</sub> (m/s)
100	83.95	2.66	31.56
90	83.41	2.39	34.84
80	71.44	2.13	33.57
70	60.28	1.86	32.37
60	50.94	1.60	31.92
50	42.02	1.33	31.59
40	33.50	1.06	31.48
30	25.03	0.80	31.37
20	16.67	0.53	31.33
10	8.55	0.27	32.14
5	4.28	0.13	32.18
2	1.63	0.05	30.64



شکل (۵) - تغییرات سرعت عبوری از زیر دریچه‌ی سرویس

در صورتی که  $\frac{f_f}{f_n} < 1$  باشد

$$T.R. = \frac{1}{1 - (f_f/f_n)^2}$$

با توجه به تعاریف ارائه شده، با بزرگ شدن

نسبت  $\frac{f_f}{f_n}$ ، نسبت تشدید از عدد ۱ به سمت صفر

میل می‌کند که در آن دامنه‌ی ارتعاش کوچک‌تر و

مطلوب‌تر خواهد بود. این روش طراحی غالباً

مستلزم آن است که سیستم تعلیق سازه‌ی نرم

انتخاب شود تا فرکانس طبیعی آن کوچک شود. با

آن که این روش طراحی توسط USCOE

در (1980) توصیه شده ولی باید توجه داشت که

فرکانس تحریک جریان آب در سرعت‌های پایین

خود مقدار کوچکی است و لذا ممکن است نتوان

حتی به نسبت حداقل دست یافت. (SCE(1995).

در روش دوم طراحی دریچه‌ها و متعلقات آن‌ها

توصیه کرده است که فرکانس طبیعی سازه چند

برابر فرکانس تحریک ناشی از جریان آب، انتخاب

شود [۸].

۲- بررسی ارتعاشات مخرب دریچه‌ها در اثر عبور جریان

به طور کلی در صورتی که نسبت فرکانس

تحریک ناشی از جریان  $f_f$  ( ) به فرکانس طبیعی

سازه  $f_n$  ( نزدیک شود، حالت تشدید ایجاد

می‌شود که در این وضعیت دامنه‌ی تغییر مکان

سیستم افزایش یافته و نهایتاً موجب تخریب سازه

خواهد شد. لذا برای طراحی ایمن سازه، لازم است

که فرکانس تحریک و فرکانس طبیعی به حد کافی

از یکدیگر دور باشند که به دو صورت قابل حصول

است:

در روش اول فرکانس تحریک چند برابر فرکانس

طبیعی سازه می‌باشد، ولی در روش دوم فرکانس

طبیعی چند برابر بزرگ‌تر از فرکانس تحریک

انتخاب می‌شود. برای ارزیابی وضعیت ارتعاشی

دریچه‌ها [۹] غالباً از فاکتوری به نام «فاکتور تشدید»

( $T.R.$ )، استفاده می‌شود که به صورت زیر تعریف

می‌شود:

در صورتی که  $\frac{f_f}{f_n} > 1$  باشد

$$T.R. = \frac{1}{(f_f/f_n)^2 - 1}$$



## ۳- فرکانس طبیعی ارتعاش دریچه

در صورتی که دریچه به صورت یک سیستم ساده‌ی جرم و فنر در نظر گرفته شود که در امتداد قائم ارتعاش کند، فرکانس طبیعی ارتعاش از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است [۱۰، ۱۱].

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{gE}{l\sigma}}$$

که در آن علائم به کار رفته عبارتند از:

$$f_f = \frac{\sqrt{2gH_e}}{7(2Y)}$$

g : شتاب ثقل

E : مدول الاستیسیته (طراحی بازوی صلب

$E=200\text{kN/mm}^2$  توصیه شده است [۱۲])

L : طول بازوی نگه‌دارنده‌ی دریچه

$\sigma$  : تنش در بازوی نگه‌دارنده‌ی دریچه

$f_n$  : فرکانس طبیعی ارتعاش دریچه

محاسبات فرکانس طبیعی با فرضیات جدول (۵) انجام پذیرفت.

## ۴- فرکانس تحریک ناشی از جریان آب

جریان آب در حین عبور از زیر دریچه، ممکن است با مکانیزم‌های مختلفی موجب تحریک دریچه شود که هر یک فرکانس خاص خود را دارا می‌باشد. یکی از این مکانیزم‌ها مربوط به ناپایداری لایه‌ی برشی در نزدیکی سطح زیرین لبه‌ی دریچه می‌باشد. البته مدت زیادی است که طراحان دریچه به جای استفاده از دریچه‌های با لبه‌ی مسطح از هندسه‌ی لبه‌ی شیب‌دار استفاده می‌کنند تا نقطه‌ی جدایی جریان ثابت و حتی‌الامکان در گوشه پایین دست دریچه واقع شود تا امکان وقوع رخداد ارتعاش عمودی از طریق این مکانیزم تقریباً منتفی شود.

بر این اساس با استفاده از روش USCOE، که از سال ۱۹۵۷، توسط اداره‌ی مهندسی ارتش آمریکا ارائه شده، فرکانس تحریک دریچه‌ی کشویی

قائم با لبه‌ی مسطح از رابطه‌ی زیر محاسبه شد [17]:

که در آن علائم به کار رفته عبارتند از:

$f_f$  : فرکانس تحریک ناشی از جریان آب،

He : ارتفاع مؤثر آب نسبت به لبه‌ی زیرین دریچه

Y : ارتفاع قسمتی از دریچه که در مسیر جریان قرار می‌گیرد،

G0 : ارتفاع بازشدگی زیر دریچه،

G0/D : درصد بازشدگی دریچه.

در رابطه‌ی فوق، عدد استروهل<sup>۱</sup>،  $1/7$  در نظر گرفته شده که در واقع مربوط به صفحه‌ی مستطیلی شکلی است که به صورت قائم در امتداد عمود بر جریان قرار گرفته و دو لایه‌ی برشی از لبه‌ی مسطح بالا و پایین آن عبور می‌کند. براساس روش USCOE، مطلوب آن است که فاکتور تشدید بین صفر و یک قرار گرفته و یا حتی‌المقدور به یک نزدیک باشد. علاوه بر این، با توجه به آن که لبه‌ی دریچه مسطح نبوده و به صورت شیب‌دار با زاویه‌ی ۴۵ درجه انتخاب شده است، احتمال وقوع ارتعاش مخرب از طریق مکانیزم ناپایداری لایه‌ی برشی بر اساس این روش منتفی می‌باشد.

براین اساس نتایج مربوط به محاسبات فرکانس تحریک، فرکانس طبیعی و فاکتور تشدید در اثر عبور جریان از دریچه‌ی سرویس به ازای بازشدگی‌های مختلف از مجرا در جدول (۶) ارائه شده است.

جدول (۵) - فرضیات به کار رفته در محاسبات فرکانس طبیعی

طول (متر)	L	۲/۹۶
مدول الاستیسیته (نیوتن بر متر مربع) <td>E <td>۲E + ۱۱</td> </td>	E <td>۲E + ۱۱</td>	۲E + ۱۱
وزن دریچه (نیوتن) <td>W <td>۲۲۳۴۰</td> </td>	W <td>۲۲۳۴۰</td>	۲۲۳۴۰
قطر (متر) <td>D <td>۰/۳۵</td> </td>	D <td>۰/۳۵</td>	۰/۳۵
سطح مقطع بازوی نگهدارنده (متر مربع) <td>A <td>۰/۰۹۶۱۶۲۵</td> </td>	A <td>۰/۰۹۶۱۶۲۵</td>	۰/۰۹۶۱۶۲۵
تنش فشاری (نیوتن بر متر مربع) <td><math>\sigma</math> <td>۲۳۲۳۱۵/۰۹</td> </td>	$\sigma$ <td>۲۳۲۳۱۵/۰۹</td>	۲۳۲۳۱۵/۰۹
فرکانس طبیعی (هرتز) <td><math>f_n</math> <td>۲۶۸/۹۷۰۹</td> </td>	$f_n$ <td>۲۶۸/۹۷۰۹</td>	۲۶۸/۹۷۰۹

جدول (۶) - نتایج محاسبات فرکانس تحریک، فرکانس طبیعی و فاکتور تشدید دریچه‌ی سرویس به ازای بازشدگی‌های مختلف در هد ماکزیمم

Gate opening	G	Y	H	$H_c$	$f_r$	$f_r/f_n$	T.R.
2	0.04	1.96	100.47	100.43	79.27	0.295	1.09511
5	0.10	1.90	100.47	100.37	31.70	0.118	1.01408
10	0.20	1.80	100.47	100.27	15.84	0.059	1.00348
20	0.40	1.60	100.47	100.07	7.91	0.029	1.00087
30	0.60	1.40	100.47	99.87	5.27	0.020	1.00038
40	0.80	1.20	100.47	99.67	3.95	0.015	1.00022
50	1.00	1.00	100.47	99.47	3.16	0.012	1.00014
60	1.20	0.80	100.47	99.27	2.63	0.010	1.00010
70	1.40	0.60	100.47	99.07	2.25	0.008	1.00007
80	1.60	0.40	100.47	98.87	1.97	0.007	1.00005
90	1.80	0.20	100.47	98.67	1.75	0.006	1.00004

## نتیجه گیری و پیشنهادات

با توجه به نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها و مفاد درج شده در این گزارش پیشنهادهای ذیل ارائه می‌شود:

۱- با توجه به نتایج ارائه شده حداکثر نیروی قائم به دریچه‌ی سرویس در هد نرمال و در بازشدگی حدود ۴۰ درصد به مقدار ۷۰ کیلونیوتن می‌باشد. حداکثر نیروی افقی در هد نرمال به آن دریچه نیز در بازشدگی ۲ درصد ظاهر شده و مقدار آن تقریباً معادل ۲۴۱۰ کیلونیوتن می‌باشد.

۲- حداکثر نیروی افقی نیز، همان‌گونه که انتظار می‌رفت، در بازشدگی ۲ درصد ظاهر شده و مقدار آن حدوداً معادل ۲۴۱۰ کیلونیوتن می‌باشد.

۳- حداکثر نیروی افقی وارد بر دریچه‌ی اضطراری نیز همان‌گونه که انتظار می‌رود در بازشدگی اولیه ظاهر شده و مقدار آن حدوداً معادل ۲۵۰۷ کیلونیوتن می‌باشد.

۴- طبق محاسبات به عمل آمده حداکثر فرکانس تحریک در اثر عبور جریان از مجرا حدود ۸۰ برثانیه می‌باشد که پیشنهاد شد با اضافه کردن قطر لوله‌ی بالابر یا همان بازوی نگهدارنده‌ی دریچه‌ها، این مسأله کنترل شود.

۵- از آن‌جاکه در این آزمایش‌ها زاویه‌ی لبه‌ی دریچه‌ی مورد استفاده ۴۵ درجه بود، پیشنهاد می‌شود زوایای دیگر و هم‌چنین اشکال دیگر لبه‌ی دریچه، با هدف رسیدن به بهترین عملکرد دریچه مورد بررسی قرار گیرد.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله از کلیه‌ی زحمات و حمایت‌های صورت گرفته توسط ریاست و همکاران محترم پژوهشکده‌ی حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهادکشاورزی تشکر به عمل می‌آورند.

## منابع

- ۱- سیمون، آ. ل. ترجمه ی کاشانیان، ح. ۱۳۷۵. "مبانی علم هیدرولیک"، انتشارات جزیل.
- ۲- صادقی پور، م. ص. مهدی قلی، ح. کاویانی، س. ۱۳۷۷. "آزمایش مدل هیدرولیکی دریچه ی کشویی تونل تخلیه ی تحتانی سد مارون". پنجمین کنفرانس دینامیک سازه ها. دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده ی مهندسی، گروه مکانیک.
- 3- ASCE, 1995, Guidelines for Design of Intakes for Hydroelectric Plants
- 4- Crowe. C.T, Egler, D.F, Roberson, J.A. 2001. "Engineering Fluid Mechanics". 1st ed. John Wiley and sons.
- 5- Davis, C.V. and Sorensen, K. E. 1963, "Handbook of Applied Hydraulics". 3rd Ed.
- 6- Delgosha, O. et al, 2005. "Stability of preconditioned Navier-stokes equations associated with a cavitations model", Journal of computers & floods, 34: 319-349.
- 7- Fennimore, E.J, Fanzine, J.B. 2002. "Fluid Mechanics with Engineering Applications". 10th ed. Mc Grow Hill.
- 8- Kavianpour, M.R. and Khosrojerdi, A. 2001. "Physical model studies of new bottom in Iran", 4th international conference of high dams. Tehran, Iran.
- 9- Levin. J. 1995. "Hydraulic of Gates and Valves".
- 10- Naudascher, E. 1991, "Hydrodynamic forces", IAHR (International Association of Hydro Research) design manual No.3, Balkema.
- 11- Novak, P. and Narayanam, R 1990. "Hydraulic Structures", Uni win human, Academic Division, Landan.
- 12- R.K. Bansal 'Fluid mechanics and hydraulic machines' 1997, Sixth Edition, P.K.GUPTA Pub. New Delhi- 1/0002 p.p. 750-754
- 13- Rajaratnam, N. 1977. "Flow Immediately Below Sluice Gates". Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol.103, No.4, pp.345-355.
- 14- Reinhold. V. N. 1988. "Advanced Dam engineering; Design, Construction and Rehabilitation", 2nd Ed.
- 15- Subhashini Ghorai, Nigam, K.D. 2006."CFD modeling of flow profiles and interfacial phenomena in two-phase flow in pipes", chemical engineering and processing 45. Pages, 55-65.
- 16- Swami P. K. and Garg, A. and Saha, S. 2005. "Design of Straight Expansive Pipe Transitions". Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 131, No. 4.
- 17- USCOE, 1980, Hydraulic Design Criteria.
- 18- White, F. M., 1994, Fluid Mechanics, 3<sup>rd</sup> Ed., McGraw-Hill.
- 19- Water Power & dam construction. Experimental investigations at Vatnsfell (Island). August 2007, <http://www.waterpowermagazine.com/storyprint.asp>

