

تأثیر بازشدگیهای مختلف دریچه‌های کشویی زیرین سدها بر وقوع پدیده‌ی خلأزایی

امیرفرید هاشمی^{*}، امیر خسرو جردی^۲، حسین صدقی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۹/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۲/۱۲

چکیده

سرعت بالای سیال، همراه با افت شدید فشار، باعث اغتشاشهای زیاد در جریان شده، که می‌تواند منجر به وقوع پدیده‌های ویرانگر مانند خلأزایی و کوبش در سازه‌های آبی، و ویرانی جدی در بخش‌هایی از آنها گردد. در این مقاله، نوسانهای فشار، که زائیده‌ی تلاطم شدید جریان می‌باشد، روند آن و پدیده‌ی خلأزایی در ناحیه‌ی شیار دریچه‌ی سرویس شبیه‌های فیزیکی تونل‌های زیرین سدهای کارون ۴ و گتوند علیا با نسبت‌های طول به عرض دریچه به ترتیب ۱/۷۵ و ۲ و در بازشدگی‌های ۱۰٪، ۳۰٪، ۵۰٪، ۷۰٪ و ۱۰۰٪ با ارتفاع‌های آب ۲، ۳ و ۴ متر، و با احتمال وقوع ۰/۱٪ مورد بررسی، تحلیل و مقایسه قرار گرفته‌اند. نتایج به‌دست آمده نشان دادند که در هر دو دریچه، در بازشدگی‌های ۳۰٪، ۵۰٪ و ۷۰٪ دریچه‌ی شاخص خلأزایی کمینه و در بازشدگی‌های ۱۰٪ و ۱۰۰٪ بیشینه می‌باشند. همچنین، فشارسنجی که به لبه‌ی دریچه نزدیکتر است در معرض نوسان‌های بیشتری قرار دارد و با افزایش بازشدگی دریچه نقطه‌ی بحرانی نوسان‌های فشار به نقاط بالاتر انتقال می‌یابد. ضریب بی بعد فشار (C'_p) در نسبت ۱/۷۵ در بازشدگی ۳۰٪، و در نسبت ۲ در بازشدگی ۱۰٪، بیشینه می‌باشد، که نشان دهنده‌ی کوبش و ضربه‌های فشاری به سازه در این بازشدگی‌ها است.

واژه‌های کلیدی: تونل زیرین، دریچه‌ی سرویس، ضریب نوسان‌های فشار، خلأزایی

^۱ - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نراق، گروه کشاورزی، نراق، ایران

^۲ - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه علوم و مهندسی آب، تهران، ایران

^۳ - دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، گروه علوم و مهندسی آب، تهران، ایران

* - نویسنده مسئول: af.hashemi@iau-naragh.ac.ir

مقدمه

پدیده‌ی خلاءزایی، و علل ایجاد و راههای مقابله با آن، همواره مدّ نظر مهندسان و طراحان سازه های هیدرولیکی بوده و است. برای مثال، زیانهای بسیاری پس از دو سال بهره‌برداری در سقف تونل زیرین سد گلن کنیون، که روی رودخانه‌ی کلرادو در ایالات متحده‌ی آمریکا ساخته شده است، ایجاد گردید. واگن (۱۹۶۷)، تحقیقاتی را در این زمینه انجام داد و ناهمواریهای سطح مجرا، و ایجاد اغتشاش در جریان را علت اصلی زیانهای وارده به دریچه ها، و پوشش مجرا عنوان نمود. کن و گارود (۱۹۸۱)، زیانهای ناشی از این پدیده را بر تونل زیرین شماره‌ی ۲ سد تاربالا در پاکستان مورد بررسی قرار داده‌اند، و نوسانهای فشار را از دلایل عمده‌ی وقوع خلاءزایی اعلام کردند. ساقر (۱۹۷۹)، طی تحقیقات خود در دریچه هایی با ارتفاع‌های زیاد جریان، ضمن تأکید بر بسیار کوچک بودن شیار دریچه مشکلاتی مانند خلاءزایی، سایش، ارتعاش و بسته نشدن را عامل از کار افتادن دریچه اعلام کرد. اکبری و همکاران (۱۹۸۲) تحقیقاتی را در رابطه با زمان برداشت نوسانها انجام داده و نشان دادند که از ۶۰ ثانیه به بعد، برداشت نوسانهای فشار از زمان مستقل می شوند. ساقر (۱۹۹۵) زاویه‌ی لبه‌ی دریچه های کشویی را به منظور جلوگیری از ارتعاش و کاهش نیروهایی که به طرف کف اعمال می شود، کمتر از ۴۵ درجه به‌دست آورد. فالوی (۱۹۹۰)، نیز تحقیقاتی را در زمینه‌ی خلاءزایی در سراسر ها و سرریزها انجام داد. او مقدار بحرانی شاخص خلاءزایی را برای مجراها و سرریزها ۰/۲۵-۰/۲ به‌دست آورد، و در آزمایشهای خود از نوسانهای فشار با احتمال وقوع ۰/۱٪ استفاده کرد. ناداشر (۱۹۹۱)، تحقیقات وسیعی را در مورد دریچه های زیرین، بخصوص با ارتفاع زیاد جریان در شکافهای دریچه ها انجام داد، و دریافت که، بطور روشن، کاهش فشار در شکافهای دریچه، که ناحیه‌ی ایجاد گردابند به‌وجود می آید، و مقالات متعددی را در این زمینه ارائه نمود. لوپاردو و همکاران (۱۹۸۲) گرایش به خلاءزایی را در جهش هیدرولیکی با کاربرد یک شبیه فیزیکی مورد بررسی قرار داده، و استفاده از سطح احتمالاتی ۰/۱٪ برای وقوع پدیده‌ی خلاءزایی را پیشنهاد

نمودند. فاتور و همکاران (۲۰۰۷) مقاله ای را با عنوان خلاءزایی در نوسانهای فشار با جریان آشفته در پرش آبی در حوضچه های آرامش ارائه نمودند. در این مقاله به بررسی عملکرد مخرب جریانهای متلاطم در پرش آبی در حوضچه های آرامش با تمرکز بر نقطه شروع خلاءزایی و زیانهای آن در جریانهای با سرعت نسبتاً پایین در دامنه‌ی نوسانهای فشار با احتمال وقوع ۰/۱٪ پرداخته شد. کاری در مورد شبیه آزمایشگاهی سد آرویتو انجام گردید. خسروجردی (۲۰۱۰)، نوسانهای فشار را بر دریچه های با بار آبی بالا، و در شکاف دریچه‌ی زیرین سدها (در حالت دو دریچه ای) در گروه عمران دانشگاه ملبورن استرالیا مورد آزمایش قرار داد، و در بازشدگیهای مختلف دریچه، داده های فشارهای پویایی را برداشت کرد. وی نتیجه گرفت که مقادیر ضرایب نوسانهای فشار در بازشدگی ۱۰ درصد دریچه بیشینه و در بازشدگیهای تا ۷۰ درصد این ضرایب بطور واضحی کاهش می یابند. او شاخص خلاءزایی را نیز (با فشار پویایی در احتمال وقوع ۰/۱٪) محاسبه نمود و در بازشدگی ۱۰ درصد دریچه بیشینه، و در بازشدگیهای تا ۷۰ درصد کمینه مقدار آن را به‌دست آورد. هدف از این پژوهش بررسی وقوع پدیده‌ی خلاءزایی و روندیابی ضرایب نوسانهای فشار در ناحیه‌ی شکاف دریچه های زیرین سدهای کارون ۴ و گتوند علیا در بازشدگی‌های مختلف دریچه، و مقایسه‌ی آنها می باشد که تاکنون به شکل موجود در این مقاله در مورد آن کار نشده است.

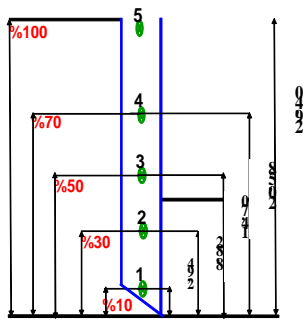
مواد و روشها

آزمایشها در موسسه‌ی تحقیقات آب، و در مورد شبیه های آبی دریچه های زیرین سدهای کارون ۴ و گتوند علیا با مقیاس ۱:۱۷ (پس از ترمیم و آماده سازی شبیه ها) و در ناحیه‌ی شکاف دریچه انجام گردیدند. با کارگذاری ۵ فشارسنج در شکاف دریچه در مقطع عرضی، نوسانهای فشار در هر ۲۰ ثانیه (تواتر ۲۰۰ هرتز) با ۴۰۰۰ برداشت در هر آزمایش (در کل ۹۰ آزمایش) و در ارتفاعهای آب ۲، ۳ و ۴ متر، با استفاده از مبدل فشار اندازه گیری و با استفاده از نرم افزار Data Logging به اعداد واقعی فشار پویایی تبدیل گردیدند. مهمترین

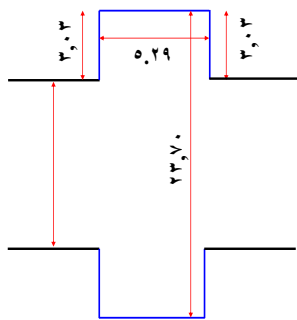
$$C'_{p+} = \frac{P_{\max} - P_{\text{mean}}}{\frac{V_1^2}{2g}} \quad (2)$$

$$C'_{p-} = \frac{P_{\min} - P_{\text{mean}}}{\frac{V_1^2}{2g}} \quad (3)$$

$$C'_p = \frac{RMS}{\frac{V_1^2}{2g}} \quad (4)$$



شکل ۱- مقطع عرضی شکاف دریچه‌ی کارون ۴ (سانتی متر).



شکل ۲- نمای مسطحه‌ی شکاف دریچه کارون ۴ (سانتی متر).

وسایل جهت انجام آزمایش تقویت کننده^۱، مبدل فشار^۲، صافی^۳، رایانه، نرم افزار نصب شده روی آن جهت برداشتن داده های فشار های پویایی، لوله های رابط، و سه پایه می باشند. لازم به ذکر است که در بازشدگی ۱۰٪ دریچه، به دلیل ارتفاع کوتاه شیر، فقط یک فشارسنج پوشش داده می شود، و در باز شدگیهای ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد به ترتیب ۲، ۴، ۳ و ۵ فشار سنج در آزمایشها مورد بهره‌وری قرار می‌گیرند (شکل‌های ۱، ۲، ۳ و ۴).

شکل‌های ۵ و ۶ شبیه و جریان را در تونل زیرین سد کارون ۴ و شکل‌های ۷ و ۸ شبیه و جریان در تونل زیرین سد گتوند علیا، تقویت کننده‌های شبیه که بر روی بدنه نصب گردیده، و نیز دریچه های اضطراری و سرویس که به شکل کشویی ساخته شده اند نشان می‌دهند. در این مطالعه شرایط جریان در قسمت ورودی شبیه مد نظر است. در این آزمایشها، بر اساس منابع علمی موجود، از عدد فرود به جای عدد رینولدز استفاده شده است، مشروط بر آن که عدد رینولدز در شبیه از حد خاصی (10^5) بزرگتر باشد، تا اثر لزجت قابل صرف نظر کردن گردد (نواک و همکاران ۱۹۸۱). بطور مثال، در دریچه زیرین گتوند علیا با توجه به سرعت بسیار بالای جریان در نمونه‌ی واقعی، ۴۳/۵۷ متر بر ثانیه در زیر دریچه، در صورت استفاده از معیار تشابهی عدد رینولدز در شبیه، سرعت جریان به بالاتر از ۷۴۰/۷۴ متر بر ثانیه می‌رسد که تأمین آن در شبیه امکان پذیر نخواهد بود. پس از اندازه‌گیری و ثبت مقادیر نوسانهای فشار، مقادیر بیشینه، کمینه، میانگین و انحراف از معیار و سایر فراسنجهای آماری داده‌ها محاسبه گردید. همچنین، مقادیر فشارهای پایا نیز در هر آزمایش با استفاده از لوله های متصل به فشارسنجها اندازه‌گیری و ثبت شدند. ضرایب بی بعد نوسان‌های فشار از روابط زیر محاسبه می‌شوند (ناداشر، ۱۹۹۱):

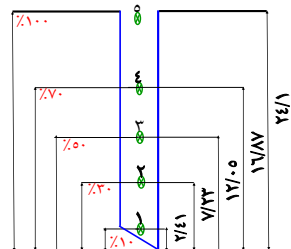
(۱)

$$C_p = \frac{P_{\text{mean}} - P_0}{\frac{V_1^2}{2g}}$$

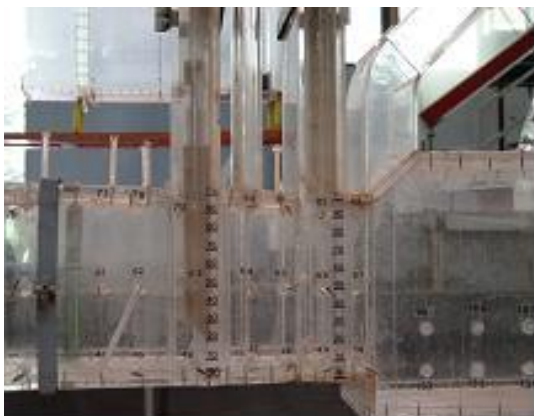
1 - Amplifier
2 - Transducer
3 - Filter



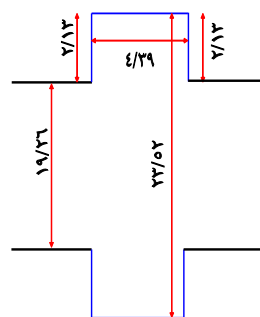
شکل ۶- دریچه ی اضطراری کارون ۴ درحین آزمایش (بازشدهی ۷۰٪، ارتفاع آب، ۳ متر).



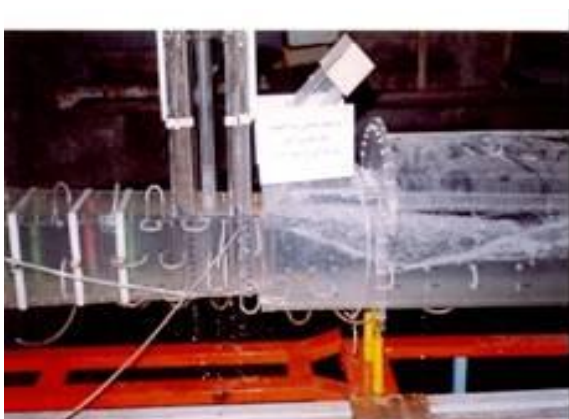
شکل ۳- مقطع عرضی شکاف دریچه ی گتوند علیا (سانتی متر).



شکل ۷- تونل زیرین گتوند علیا و دریچه ها.



شکل ۴- نمای مسطحه ی شکاف دریچه گتوند علیا (سانتی متر).



شکل ۸- دریچه ی اضطراری گتوند علیا درحین آزمایش (بازشدهی ۱۰۰٪؛ ارتفاع آب، ۴ متر).

که در آنها: RMS: انحراف از معیار (متر)، $V_1^2 / 2g$: ارتفاع سرعت ورودی (متر) و P_{mean} : میانگین فشارهای پویایی (متر) و P_{max} و P_{min} : به ترتیب حداکثر و حداقل فشارها (متر) در هر نقطه می



شکل ۵- تونل زیرین کارون ۴ و دریچه ها.

$$P = P'_{0.1\%} + 10.13 \quad (8)$$

در ادامه، $P - P_v$ را محاسبه کرده و در رابطه‌ی مربوط به شاخص خلاءزایی (σ_i) قرار می‌دهیم. در صورتی که این شاخص در محدوده‌ی $0.25 - 0.7$ قرار گیرد، پدیده‌ی خلاءزایی رخ خواهد داد (فالوی، ۱۹۹۰). برای بررسی رفتار نوسانهای فشار و رسیدن به الگوی مشخصی تا در آینده بتوانیم رفتار آنها را پیش بینی نماییم، باید به محاسبه‌ی توزیع احتمالات نوسانهای و مقایسه‌ی آن با توزیع بهنجار معیار بپردازیم. توزیع بهنجار معیار از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$F_p = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad (9)$$

که در این رابطه، F_p تابع چگالی احتمال تغییرات فشار بهنجار شده و Z متغیر معیار می‌باشد. با تبدیل این رابطه به متغیرهای متناظر با فشار خواهیم داشت:

$$F_p = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{P'^2}{2}} \quad (10)$$

مقدار P' (فشار با سطح احتمالاتی خاص) از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$P' = \frac{P - P_{ave}}{S} \quad (11)$$

که در این رابطه: P : فشار برداشتی (متر)، P_{ave} : فشار میانگین (متر) و S : انحراف از معیار (متر) می‌باشد. توزیع بهنجار معیار دارای میانگین صفر و انحراف از معیار ۱ می‌باشد.

نتایج و بحث

تغییرات فشارهای دینامیکی

فشارهای پویا برحسب درصد باز شدگی‌های دریچه در شکاف دریچه‌ی زیرین کارون ۴ و گتوند علیا در شکل‌های ۹ و ۱۰ رسم گردیده اند (Piz مخفف فشارسنج است). افزایش باز شدگی دریچه با مقادیر فشارهای پویایی و پایا نسبت وارونه دارد. این امر می‌تواند به دلیل افزایش دبی باشد، که افزایش افت را به همراه خواهد داشت. همین‌طور در پایین‌ترین فشارسنج در هر

باشند. C_p ضریب بی بعد فشار بوده که نشان دهنده‌ی اختلاف معنی‌دار بین فشارهای پویایی و پایایی است. P_0 نیز فشار مبنا (متر) در یک نقطه می‌باشد، که در این جا فشار پویایی در هر آزمایش در نظر گرفته می‌شود. مقدار بالای C_p' نشان می‌دهد که تغییرات شدید فشار وجود دارد. اگر مقدار آن منفی شود، با افت فشار، و در صورت مثبت بودن آن، با افزایش فشار مواجه هستیم. با در نظر گرفتن فشارهای پویایی، که ممکن است فشار را به زیر فشار بخار برساند، پدیده‌ی خلاءزایی بروز می‌نماید. تعیین میزان وقوع خلاءزایی و ضربات وارده بر محدوده‌ی شکاف دریچه از این طریق مورد بررسی قرار می‌گیرند. شاخص بی بعد خلاءزایی از معادله‌ی زیر به دست می‌آید:

$$\sigma_i = \frac{P - P_v}{0.5\rho V^2} \quad (5)$$

که در آن: p : فشار مطلق جریان (متر) در یک نقطه مبنا است. P_v : فشار بخار آب (برابر با ۰,۲۳ متر) و V : سرعت جریان (متر بر ثانیه) و ρ جرم حجمی آب (کیلوگرم بر مترمکعب) می‌باشد. نکته‌ی مهم در ارتباط با محاسبه‌ی شاخص خلاءزایی محاسبه P می‌باشد. در محاسبه‌ی شاخص خلاءزایی از فشار با احتمال وقوع ۰,۱٪ استفاده می‌شود (فالوی، ۱۹۹۰؛ لویاردو و همکاران، ۱۹۸۲). بدین ترتیب که با استفاده از توزیع‌های آماری (در این جا توزیع بهنجار) ابتدا متغیر (فشار) با احتمال وقوع مورد نظر را از این رابطه‌ی به دست می‌آوریم:

$$X = \bar{X} + K.S \quad (6)$$

که در آن: \bar{X} میانگین داده‌ها، S انحراف از معیار داده‌ها، و K ضریب فراوانی است. با جای گذاری مقادیر متناظر فشار در رابطه‌ی ۶ خواهیم داشت:

$$P'_\% = D_p(ave) + K.D_p(stdev) \quad (7)$$

که در این جا: $P'_\%$: فشار با احتمال وقوع، $D_p(ave)$: میانگین فشارهای پویایی و $D_p(stdev)$ نیز انحراف از معیار داده‌ها می‌باشد. برای به دست آوردن مقدار مطلق فشار باید مقدار $P'_\%$ محاسبه شده را با مقدار فشار جو (۱۰,۱۳ متر) جمع کرد:

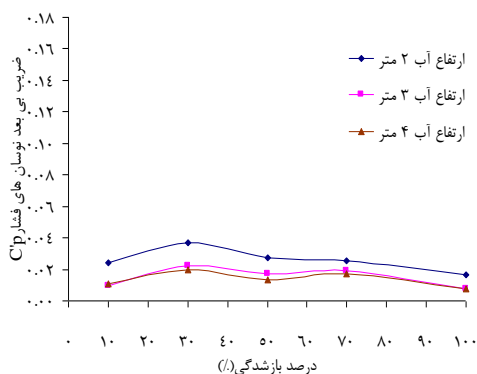
در گتوند علیا در بازشدگی ۱۰٪ اتفاق افتاده است (شکل ۱۲)، که با توجه به شکل ۱۰، فشار در این بازشدگی بیشترین مقدار را دارد؛ لذا، با کوچک شدن نسبت طول به عرض شیار دریچه، بیشترین مقدار ضریب $C'p$ به سمت بازشدگیهای بیشتر میل می نماید.

روند ضرایب نوسانهای فشار $C'p$ و $C'p+$

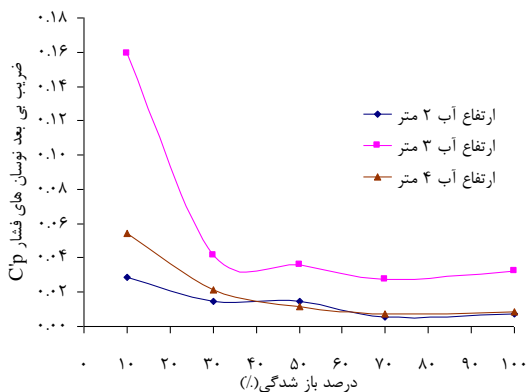
روند این دو ضریب با روند ضریب $C'p$ یکسان است (شکلهای ۱۳، ۱۴، ۱۵ و ۱۶). برای بهتر مشخص شدن تطابق، ضریب $C'p-$ در یک منفی ضرب شده است.

ضریب نوسانهای فشار $C'p$

از باز شدگی ۷۰٪ به بعد، روند $C'p$ در شیار دریچهی زیرین کارون ۴ با نسبت ۱/۷۵ حالت واگرا، و در شیار دریچهی زیرین گتوند علیا با نسبت ۲ حالت همگرا، و در واقع با یکدیگر منطبق گردیده اند (شکلهای ۱۷ و ۱۸).

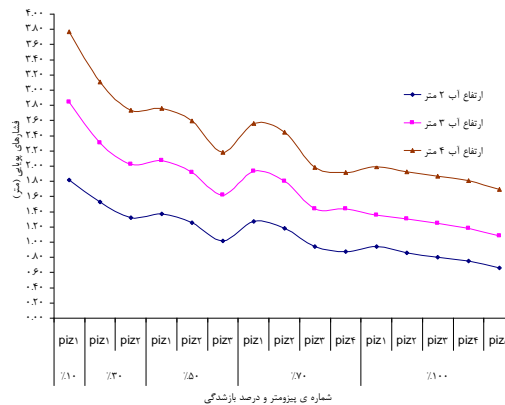


شکل ۱۱- ضریب بی بعد فشار کل $C'p$ به ازای بازشدگیهای دریچه به تفکیک ارتفاع آب (کارون ۴).

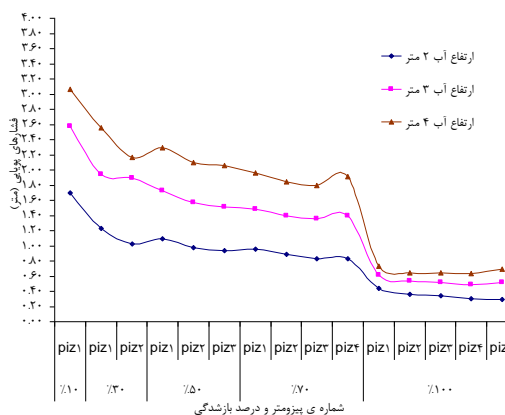


شکل ۱۲- ضریب بی بعد فشار کل $C'p$ به ازای

بازشدگی، بیشترین مقدار فشار، و در بالاترین فشارسنج، کمترین مقدار فشار دیده می شود. این روند در شیار هر دو دریچه مشابه است، که نشان می دهد منحنی فشار مستقل از ابعاد شیار دریچه عمل می کند (شکلهای ۹ و ۱۰).



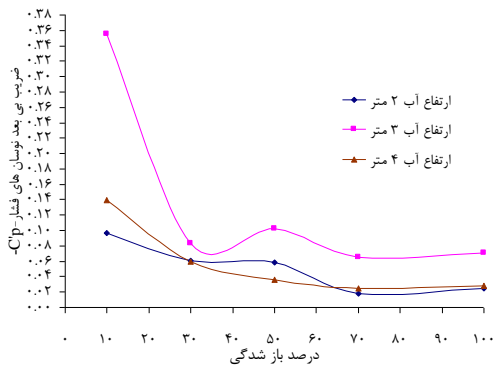
شکل ۹- فشارهای پویایی برحسب درصد بازشدگیهای مختلف دریچه به تفکیک بارآبی و شماره ی فشارسنج (کارون ۴).



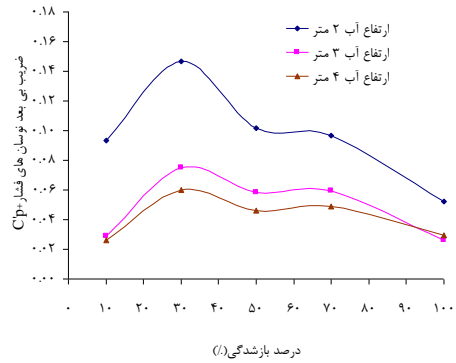
شکل ۱۰- فشارهای پویایی برحسب درصدهای بازشدگیهای مختلف دریچه به تفکیک بارآبی و شماره ی فشارسنج (گتوند علیا).

روند ضریب نوسانهای فشار $C'p$

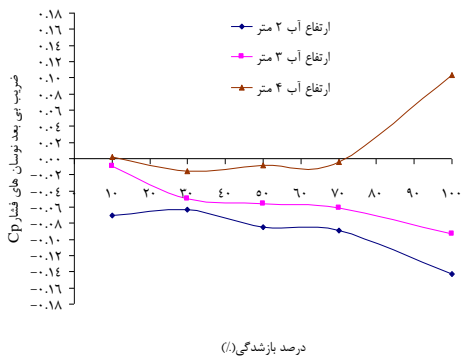
در بازشدگی ۳۰٪ دریچه، ضریب نوسانهای فشار در هر سه ارتفاع آب مورد آزمایش بیشینه گردیده است که نمایانگر اثرات کوبشی جریان در این بازشدگی می باشد. با توجه به شکل ۹، و مقادیر بالای فشار در بازشدگی ۳۰٪، کوبش نیز به سازه در این بازشدگی بیشینه می گردد. لذا، انتظار می رود که در این بازشدگی، کوبش و ضربه های فشاری باعث کنده بازشدگی بتن و زیان به سازه گردند (شکل ۱۱). این روند



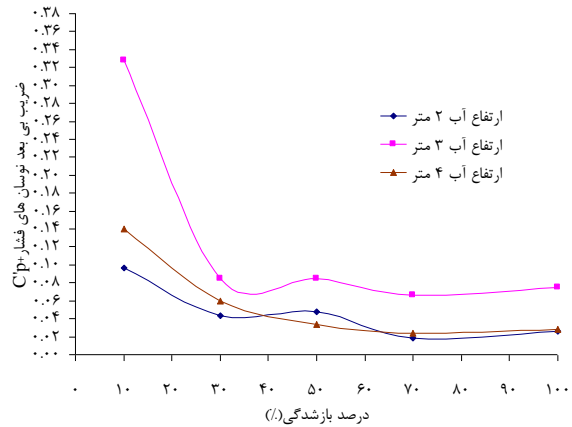
شکل ۱۶- ضریب بی بعد فشار کل -C'p- به ازای باز شدگیهای دریچه به تفکیک ارتفاع آب (گتوندعلیا)



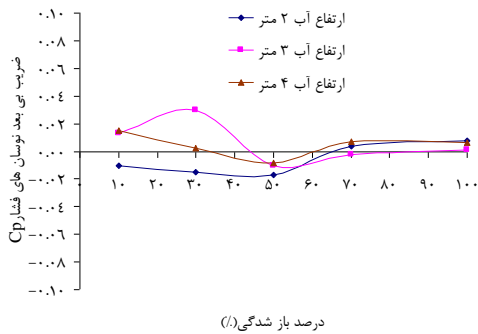
شکل ۱۳- ضریب بی بعد فشار کل +C'p+ به ازای باز شدگیهای دریچه به تفکیک ارتفاع آب (کارون ۴).



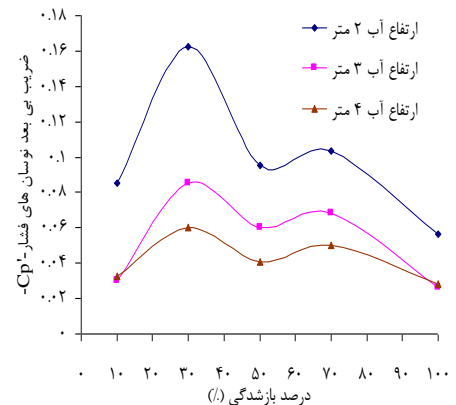
شکل ۱۷- ضریب بی بعد فشار کل Cp به ازای باز شدگیهای دریچه به تفکیک ارتفاع آب (کارون ۴).



شکل ۱۴- ضریب بی بعد فشار کل +C'p+ به ازای باز شدگیهای دریچه به تفکیک ارتفاع آب (گتوندعلیا).



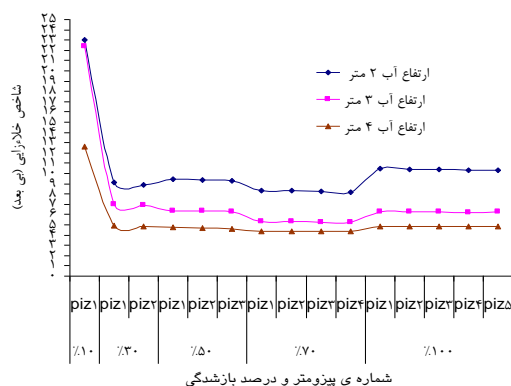
شکل ۱۸- ضریب بی بعد فشار کل Cp به ازای باز شدگیهای دریچه به تفکیک ارتفاع آب (گتوندعلیا)



شکل ۱۵- ضریب بی بعد فشار کل -C'p- به ازای باز شدگیهای دریچه به تفکیک ارتفاع آب (کارون ۴).

شاخص خلأزایی بر حسب باز شدگیهای مختلف دریچه زیرین گتوند علیا

شاخص خلأزایی در باز شدگیهای ۳۰٪، ۵۰٪ و ۷۰٪ دریچه کمینه بوده، که نشان دهندهی خطر وقوع



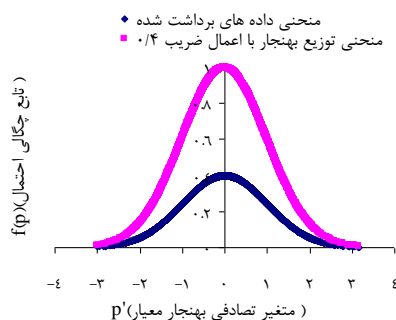
شکل ۲۰- کاویتاسیون به ازای بازشدگیهای دریچه به تفکیک ارتفاع آب و شماره ی پیزومتر (گتوندعلیا).

نمودار منحنی توزیع بهنجار نوسانهای فشار

شکلهای ۲۱ و ۲۲ تطابق داده های فشار پویا با منحنی توزیع بهنجار را نشان می دهند. با اعمال توزیع بهنجار بر داده های برداشت شده ی نوسانهای فشار، و ضریب ۰.۴ در مخرج کسر رابطه زیر به دست آمد:

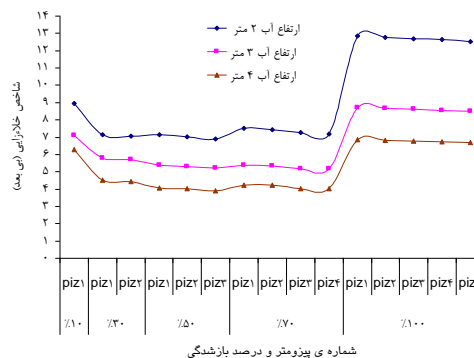
$$F_p = \frac{1}{0.4\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{P'^2}{2}} \quad (12)$$

با استفاده از این رابطه، و جداول احتمالاتی می توان رفتار سازه را در احتمالات وقوع بالا برای بررسی اثرات کوبش، و در احتمالات وقوع پایین برای بررسی پدیده ی خلاءزایی، پیش بینی نمود.



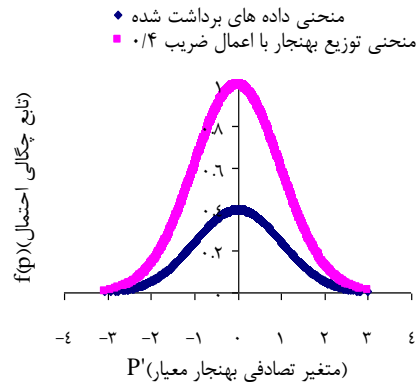
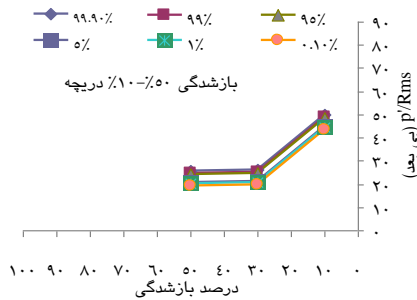
شکل ۲۱- منحنی توزیع بهنجار با اعمال ضریب ۰/۴ (کارون ۴).

این پدیده می باشد. با توجه به سرعت بیشینه در جریان، و اغتشاشهای زیاد، و وجود گردابه ها، و نیز افت ناگهانی و شدید فشار مطابق با شکلهای ۹ و ۱۰ در این بازشدگیها، و در نتیجه ایجاد خلاء زایی، روند منحنی منطقی می باشد. در بازشدگیهای ۱۰٪ و ۱۰۰٪ دریچه همواره شاخص خلاءزایی دارای بیشینه های مطلق و نسبی بوده که نشان دهنده ی کمینه بودن احتمال وقوع خلاءزایی خواهد بود. در بازشدگی ۱۰٪، به دلیل کمی سرعت جریان، و نیز فشار مثبت بسیار بالا (شکلهای ۹ و ۱۰) وقوع خلاءزایی نا محتمل خواهد بود. در باز شدگی ۱۰۰٪ دریچه، به دلیل نبودن مانع در مسیر جریان، تولید نشدن گردابه ها، و کم شدن تدریجی سرعت جریان، احتمال وقوع پدیده ی خلاءزایی به کمترین مقدار می رسد (شکلهای ۱۹ و ۲۰). شکلها نشان می دهند که با افزایش نسبت طول به عرض شیار، بیشینه شاخص خلاءزایی در بازشدگی ۱۰٪ دریچه مقادیر بیشتری را نشان می دهد (شکل ۱۸)، و در بازشدگی ۱۰۰٪، مقادیر کمتری از شاخص خلاءزایی ایجاد می گردد، که می تواند به علت ابعاد هندسی شیار دریچه باشد (شکل ۱۷).



شکل ۱۹- کاویتاسیون به ازای بازشدگیهای دریچه به تفکیک ارتفاع آب و شماره ی پیزومتر (کارون ۴).

ها انجام پذیرد. در صورتی که بتوان ابعاد هندسی شیار موجود در دریچه‌ها را به نحوی به حداقل رساند، یا آنها را حذف کرد می‌توان تا حدود زیادی از پدیده‌ی مخرب خلا‌زایی جلوگیری به عمل آورد، یا آن را مهار کرد.

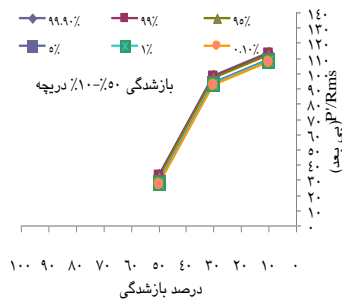


شکل ۲۲- منحنی توزیع بهنجار با اعمال ضریب ۰/۴ (گتوندعلیا).

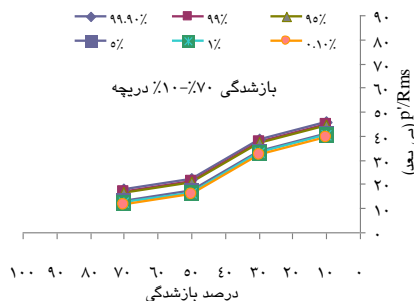
وقوع احتمالات بر حسب بازشدگی‌های دریچه

برای رسم این شکلها احتمالات محاسبه شده‌ی فشارهای پویایی شامل: ۰/۱، ۱/۱، ۵/۱، ۹۵/۱، ۹۹/۱ و ۹۹/۹ را به انحراف معیار داده‌ها تقسیم (p'/Rms) کرده، سپس اعداد حاصل را بر حسب بازشدگیهای مختلف دریچه رسم کردیم تا بازشدگیهایی که در آنها بیشینه احتمال وقوع پدیده‌ی خلا‌زایی می‌باشد مشخص گردند (فالوی، ۱۹۹۰؛ ناداشر، ۱۹۹۱) (شکلهای ۲۳ تا ۲۶). بیشترین اختلاف مقدار بین نقاط کمینه و بیشینه منحنی‌ها در بازشدگی‌های ۵۰ و ۷۰ درصد دریچه می‌باشند. سرعت بالا و افت فشار جریان، و نیز اغتشاشهای زیاد ایجاد شده در جریان در بازشدگیهای ۵۰ و ۷۰ درصد می‌توانند این اختلاف معنی دار را ایجاد کنند. همچنین، با زیاد شدن نسبت طول به عرض دریچه، این اختلاف افزایش می‌یابد (شکلهای ۲۳ و ۲۶).

شکل ۲۳- درصد وقوع احتمال بر حسب بازشدگیهای ۵۰-۱۰ درصد دریچه (کارون ۴).



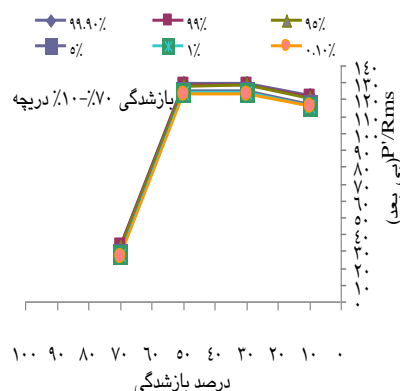
شکل ۲۴- درصد وقوع احتمال بر حسب بازشدگیهای ۵۰-۱۰ درصد دریچه (گتوند علیا).



شکل ۲۵- درصد وقوع احتمال بر حسب بازشدگیهای ۷۰-۱۰ درصد دریچه (کارون ۴).

در شیار دریچه‌های سد کارون ۴ و گتوند علیا در بازشدگیهای ۳۰٪ و ۱۰٪ دریچه، با توجه به فشار مثبت، بسیار زیاد احتمال وقوع پدیده‌ی خلا‌زایی بسیار کم بوده، ولی با توجه به این فشار شدید احتمال وقوع کوبش و ضربه‌های فشاری به سازه بسیار محتمل می‌باشد. بازشدگی ۱۰۰٪ دریچه نیز می‌تواند ایمن‌ترین حالت برای تخلیه‌ی مخزن باشد. در بازشدگیهای ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد دریچه، احتمال وقوع پدیده‌ی خلا‌زایی بیشینه است که ضروری است حفاظت‌های لازم در این محدوده

- Conference and Exhibition, Moscow, Russia.
6. Lopardo, R.A., Delio, J.C. and Vernet, G.F. 1982. Physical modeling on cavitation tendency for macrobulence of hydraulic jump. Paper C3, Pp.109-121. proc., Int. Conf. on Hydraulic Modelling of Civil Eng. Struc., BHRA Fluid Engrs., Coventry, England.
 7. Naudascher, E. 1991. Hydrodynamic forces. p. 134-186. Rotterdam; Brookfield: A.A. Balkema.
 8. Novak, p., Cabelka J. 1981. Models in Hydraulic Engineering: physical principles and design applications. Pitman advanced publishing program, Boston.
 9. Sagar, B.T.A. 1979. Safe practices for high head outlet gates. p.459-467.13 ICOLD Congress, New Delhi, India.
 10. Sagar, B.T.A., 1995. ASCE Hydrogates Task Committee design guidelines for high-head gates. J. Hydraul. Eng. 121: 845-852.
 11. Wagner, W.E. 1967. Glen Canyon diversion tunnel outlets. J. Hydraul. Div. ASCE. 93: 113-134.



شکل ۲۶- درصد وقوع احتمال بر حسب بازشدگیهای ۲۰-۱۰ درصد دریچه (گتوندعلیا).

منابع

1. Akbari, M.E., Mittal, M.K. and Pande, P.K. 1982. Pressure fluctuations on the floor of free and forced hydraulic jumps. Paper C1. Proc. Int. Conf. on the Hydraulic Modeling of Civil Eng. Struc., BHRA Fluid Engrg., Coventry, England paper C1, 87-96.
2. Falvey, H.T. 1990. Cavitation in chutes and spillways. Engineering Monograph 42. Water Resources Technical Publication. US Printing Office. Bureau of Reclamation. Denver.
3. Fattor, C.A., Lopardo MC, Casado JM and Lopardo RA, 2007. Cavitation by Macro Turbulent Pressure Fluctuation in Hydraulic Jump Stilling Basins. C.46. National Institute of Water and Environment (INA), (1802) Ezeiza, Argentina.
4. Kenn, M.J. and A.D. Garrod, 1981. Cavitation damage and the Tarbela tunnel collapse of 1974. p. 65-89. Proc. Institution Civil Engineers. Rawalpindi, Pakistan.
5. Khosrojerdi, A. 2010. Application of pressure fluctuation under slot of high head lift gate. p.78-89. Russia Power