



بررسی پتانسیل کاویتاسیون بادر نظر گرفتن فشارهای دینامیکی [۱، ۲] در پرتاب کننده

جامی شکل

حسام وطن دوست

دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی (تاسیسات آبیاری) واحد علوم و تحقیقات دانشگاه آزاد اسلامی

تهران - شهران - خیابان یکم پلاک ۱۹ - واحد ۸

امیر خسرو جردی

استادیار گروه سازه های آبی (آبیاری) دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات

تهران - شهران - خیابان جهاد پلاک ۲۶ - واحد ۲۹

محمد رضا کاویانپور

استادیار دانشکده عمران، گروه مهندسی آب دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

تهران - خیابان میرداماد - دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی - معاونت آموزش

چکیده:

سازه های آبی که با تلاطم شدید جریان روبرو می باشند عمدتاً تحت تاثیر این آشفتگی با وقوع نوسانات فشار نیز روبرو می گردند که منشا بسیاری از صدمات وارد بر سازه از جمله کاویتاسیون و ارتعاش و تخریب آن می باشند. تحقیق حاضر بر گرفته از مطالعات بر روی نوسانات فشار در سازه پرتاب کننده جامی ناشی از نتایج مدل آزمایشگاهی بر روی سرریز سد سهند می باشد که در موسسه تحقیقات آب ایران ساخته و مورد آزمایش قرار گرفته است. در این مدل برداشت اطلاعات در سه منطقه میانی، راست و چپ پرتاب کننده جامی با سه دبی ۸۰۰ و ۱۵۱۰ و ۱۸۵۰ مترمکعب بر ثانیه (در مقیاس واقعی) انجام گرفته است. این مطالعه در نهایت با بررسی های آماری نوسانات فشار همراه گردیده که در طراحی سازه ای و هیدرولیکی پرتاب کننده های جامی قابل استفاده خواهد بود. برای پیش بینی رفتار نوسانات در سازه با برآزش داده ها با توزیع نرمال استاندارد معادله اصلاح شده توزیع نرمال برای ارزیابی آماری این نوسانات مورد استفاده قرار داد.

کلمات کلیدی : پرتاب کننده جامی شکل، نوسانات فشار، توزیع احتمالاتی، کاویتاسیون،

مقدمه:

Computer For Civil Software Engineering Group : www.civil-iran.com , www.ccsofts.com ,
www.AnjomanElmi.com



با توجه وقوع نوسانات شدید فشار در سازه های هیدرولیکی و بخصوص سرریز سدهای بزرگ و روی پرتاب کننده های جامی شکل و امکان تخریب این سازه ها تحت این نوسانات، بررسی فشارهای دینامیک از جمله موضوعات مهم در ارزیابی طراحی این سازه ها شناخته و مورد توجه قرار گرفته است. بررسی نوسانات فشار از آنجهت حائز اهمیت می باشد که منشا صدمات جدی وارد به سازه های آبی بوده و شناخته شده است. با توجه به اهمیت نوسانات فشار در سازه های هیدرولیکی از نقطه نظر وقوع پدیده مخرب کاویتاسیون و نیز ارتعاشات سازه ای روشهای مختلفی جهت کنترل و جلوگیری از آنها در این سازه ها پیشنهاد شده است که در این میان هوا دهی یکی از ساده ترین و مطمئن ترین این روشها معرفی شده است .

Narayanan در سال ۱۹۸۰ با انجام محاسبات، رابطه بین نوسانات فشار و پدیده کاویتاسیون را در یک حوضچه

آرامش اثبات نمود [۱]. نتایج اندازه گیریهای انجام گرفته بر روی مدل و نمونه اصلی حوضچه آرامش توسط Lopardo و همکاران در سال ۱۹۸۲ و سال ۱۹۸۸ محاسبات Narayanan را تأیید نمود. این اندازه گیری ها نشان داد که وقوع پدیده کاویتاسیون در اثر نوسانات شدید فشار حتی اگر فشار زیر فشار بخار آب نباشد در حوضچه های آرامش محتمل خواهد بود [۳، ۴]. همچنین Narayanan در سال ۱۹۸۴ با انجام آزمایشاتی بر روی دریچه نشان داد که نوسانات شدید فشار احتمال وقوع کاویتاسیون را افزایش می دهد. بیشترین احتمال وقوع کاویتاسیون در لایه برشی جدا شده از لبه بالایی دریچه گزارش شد [۴]. Lopardo و Narayanan نوسانات فشار و احتمال وقوع کاویتاسیون را در مدل و نمونه اصلی حوضچه آرامش را با همدیگر مقایسه نموده و گزارش کردند که ظهور حبابهای کاویتاسیون به مدت استمرار فشار نوسانی زیر فشار بخار آب بستگی دارد، به طوری که اگر فشار لحظه ای بیش از $0/2$ در صد زمان کل بررسی در زیر فشار بخار آب باشد احتمال وقوع کاویتاسیون محتمل می باشد. در ضمن برای محاسبه مدت زمان متوسط لازم جهت ظهور حبابهای کاویتاسیون که در آن فشار زیر فشار بخار آب است بلاز جوسکی در سال ۱۹۸۰ رابطه ای ارائه داد [۵].

نتایج حاصله از آزمایشات kavianpour در سالهای ۱۹۹۷ و ۲۰۰۰ بر روی سرریز شوت و در پایین دست سراشیب ها و در مجاری بسته نشان داد که با هوادهی جریان شدت نوسانات کاهش یافته و همچنین میانگین فشار جریان افزایش پیدا می کند که در نتیجه ریسک وقوع پدیده کاویتاسیون به مقدار زیادی تقلیل می یابد. آزمایشات کاویانپور نشان داد که با افزایش میزان هوادهی از حدود ۵٪ به بالا در پایین دست سراشیبها و مجاری بسته، نوسانات فشار افزایش می یابد [۲ و ۶]. مطالعات مشابه صورت گرفته توسط علی محمدی در پایین دست سراشیبهای مستقر در سرریزها هم نشان

Computer For Civil Software Engineering Group ; www.civil-iran.com , www.ccsofts.com ,
داد که با افزایش درصد هوا از ۱۵ الی ۲۰ درصد نوسانات فشار افزایش می یابد [۷].
www.AnjomanElnhi.com

مواد و روشها:

داده های اندازه گیری شده روی پرتابه جامی شکل سد سهند که در سه دبی ۸۰۰، ۱۵۱۰ و ۱۸۵۰ مترمکعب بر ثانیه (در مقیاس واقعی) بدست آمده، مورد استفاده این تحقیق می باشد. اندازه گیری نوسانات فشار که شامل برداشت و ضبط اطلاعات مربوط به تغییرات لحظه ای فشار در یک بازه زمانی و در محل های مورد نظر می باشد با استفاده از ترانسدیوسر یا مبدل فشار، آمپلی فایر یا تقویت کننده، فیلتر و تجهیزات ضبط و نمایش اطلاعات صورت گرفته است. از آنجا که فشارهای دینامیک ناشی از آشفتگی جریان در سازه های هیدرولیکی از نوع پدیده های تصادفی هستند، بررسی ویژگیها و خصوصیات آماری آنها مورد توجه این تحقیق قرار گرفت [۸]. یکی از این پارامترها تابع چگالی احتمال می باشد که تابع چگالی پدیده های تصادفی بیانگر احتمال قرار گیری پارامتر مورد نظر بین دو مقدار فرضی مشخص و از پیش تعیین شده در هر لحظه از زمانی می باشد. به منظور تعیین یک الگوی آماری حاکم بر تغییرات فشار در نقاط مختلف میدان فشار و پیش بینی احتمال وقوع یا عدم وقوع یک محدوده از فشار، بهترین توزیع چگالی احتمال منطبق بر این پدیده باید مشخص گردد. یکی از معمول ترین توابع توزیع احتمالاتی برای متغیرهای تصادفی توزیع نرمال یا توزیع گوس می باشد. البته طبق بررسیهای انجام شده توسط محققین مختلف توزیع نرمال می تواند با تقریبی مناسب در کارهای عملی پدیده مذکور مورد استفاده قرار گیرد [۹ و ۱۰]. این توزیع با شکل زنگوله ای نمایشگر وقوع اتفاقات متنوعی در طبیعت از جمله صنعت و تحقیقات می باشد که معادله ریاضی آن به دو پارامتر میانگین و انحراف معیار به شکل زیر بستگی دارد.

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\bar{x}}{\sigma}\right)^2\right] \quad (1)$$

با استفاده از اندازه گیری های فشار در شکل بی بعد $z = \frac{P(x, y, t) - \bar{p}(x, y)}{\sigma(x, y)}$

$$P(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\left(\frac{z^2}{2}\right)\right] \quad (2)$$

خواهیم داشت:

که در آن Z متغیر استاندارد نامیده می شود. بر اساس نتایج موجود، نوسانات فشار تطابق و همخوانی بهتری با توزیع نرمال داشته، اما اختلاف توزیع نرمال در مناطق فشارهای حادی می باشد. البته بعضی از محققین از توزیعهای دیگری نیز برای مقادیر حادی استفاده نموده اند که توزیع گامبل برگزیده تر می باشد [۱۱].

تجزیه و تحلیل:

برای بررسی عملکرد سازه از نظر کاویتاسیون و ارتباط آن با نوسانات فشار، محاسبه فشارهای نظیر احتمالات ۰/۱٪

و ۱٪ و ۵٪ و ۹۵٪ و ۹۹٪ و ۹۹/۹٪ صورت گرفته است. با داشتن جداول احتمالاتی مقادیر P% که فشار نظیر یک احتمال وقوع مشخص از مقدار میانگین در www.RMSw.AnjomanEj.com بی بعد شده است. محدوده ریسک



وقوع کاویتاسیون بر حسب Tosso معادل احتمال ۱٪ و طبق نظر Lopardo معادل احتمال ۰/۱٪ توصیه می گردد. شکل های (۱) تا (۳) مقادیر $P'\%$ را که نسبت به RMS بی بعد شده اند را در ۳ دبی و ۸۰۰ و ۱۵۱۰ و ۱۸۵۰ معرف سه عدد فرود ۶/۸۲ و ۶/۵۷ و ۶ نشان می دهند. در این اشکال محور افقی معرف نسبت بی بعد x/r و محور عمودی معرف مقدار بی بعد شده $P'\%$ می باشد.

اشکال شماره (۴) و (۵) به بررسی رابطه احتمالات وقوع نوسانات فشار و عدد فرود می پردازد. در این اشکال محور افقی معرف عدد فرود و محور قائم معرف مقدار بی بعد شده $P'\%$ می باشد.

پتانسیل کاویتاسیون با توجه به نمودارهای ارائه شده و مقادیر $\frac{P'\%}{RMS}$ برای احتمال ۰/۱٪ و برآورد RMS در آن نقطه قابل ارزیابی است. با قرار دادن مقادیر $p'\%$ بر حسب فشار مطلق و P_v معادل فشار بخار آب و V_1 سرعت ورودی سیال، δ اندیس کاویتاسیون از رابطه زیر بدست می آید:

$$\delta = \frac{P - P_v}{V_1^2 / 2g} \quad (۳)$$

نتایج حاصله پتانسیل کاویتاسیون در نمودار (۶) نشان داده شده است. همانگونه که ملاحظه می گردد بیشترین احتمال وقوع کاویتاسیون در محدوده میانی قوس برآورد می گردد که با نتایج تجربی همخوانی دارد.

با توجه به حساسیت توزیع نوسانات در این بخش به بررسی و مقایسه توزیع نوسانات با توزیع نرمال می پردازیم. توزیع نرمال استاندارد از رابطه زیر بدست می آید.

$$F_p = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} \quad (۴)$$

که در این رابطه Z متغییر استاندارد می باشد که با تبدیل به فشار P و استفاده از فشار میانگین P_{mean} و انحراف معیار S خواهیم داشت:

$$F_p = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{P^2}{2}} \quad (۵)$$

$$P' = \frac{P - P_{mean}}{S} \quad (۶)$$

لازم به توضیح است که توزیع استاندارد دارای میانگین صفر و انحراف معیار ۱ می باشد. با برازش رفتار نوسانات با توزیع نرمال استاندارد مشاهده گردید که این توزیع، توزیع مناسبی می باشد که پس از اعمال ضریب ۰/۴ رابطه ای کلی برای بیان توزیع نوسانات بدست آمد که بر کلیه نتایج با دبی های مختلف تطابق قابل قبولی را نشان می داد.

$$F_p = \frac{1}{0.4\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{P'^2}{2}} \quad (۷)$$

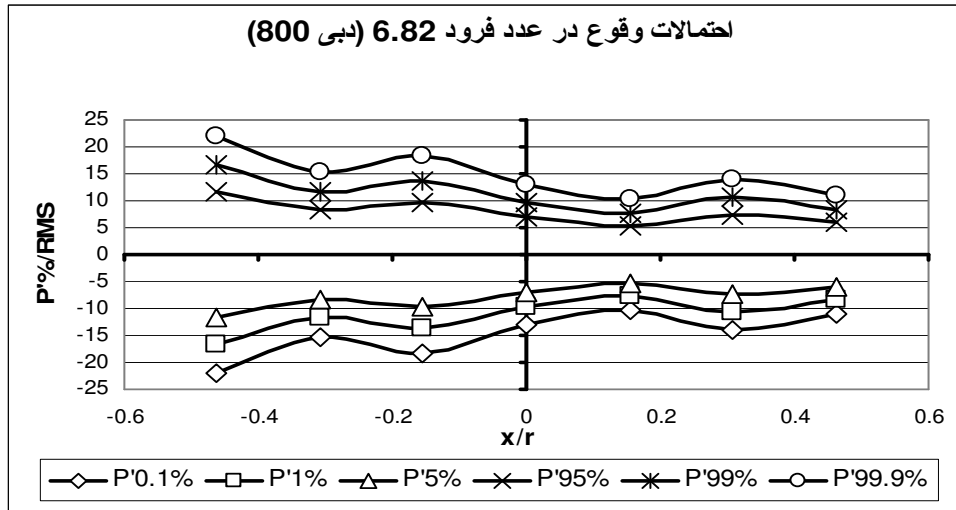


نتیجه گیری و پیشنهادات

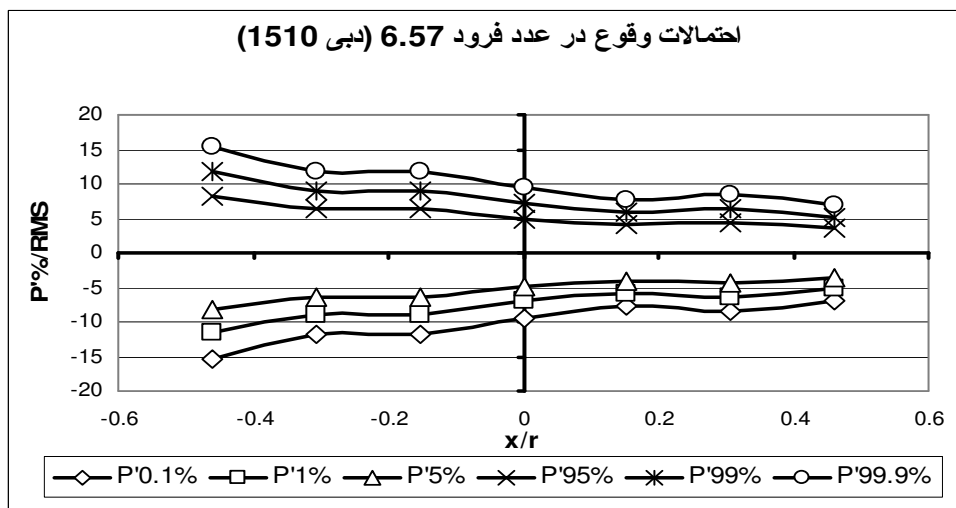
همانگونه که در شکل‌های (۱) تا (۳) مشاهده می‌گردد مقادیر نوسانات فشار در احتمال وقوع های پایین منفی و در احتمال وقوع های بالا مثبت می‌باشند. اضافه نمودن این مقادیر به ضرایب میانگین امکان برآورد سازه ای و ارزیابی هیدرولیکی سازه از نقطه نظر وقوع پدیده کاویتاسیون را فراهم می‌آورد. در مقادیر نوسانات با احتمال وقوع کم افت فشار ایجاد شده فشار مطلق جریان را محتملا به زیر فشار بخار برده که در نتیجه پدیده کاویتاسیون مطرح می‌گردد. در فشارهای بالا طراحی سازه برای تحمل مقادیر فشار حداکثر باید مد نظر قرار گیرد. انتخاب مقادیر درصد وقوع احتمال به معنای انتخاب ریسک طراحی سازه خواهد بود که هرچه این ریسک کوچکتر باشد، پایداری و عملکرد سازه مناسب تر خواهد بود که البته هزینه های اقتصادی طرح را افزایش داده که در تعامل با اهمیت طرح انتخاب می‌گردد. با توجه به نمودار (۶) در ۲ پیرومتر اول و آخر در محدوده $-0.2 < x/r < -0.4$ و $0.2 < x/r < 0.4$ عدد کاویتاسیون کوچکتر از بقیه نقاط است. با برآزش رفتار نوسانات با توزیع نرمال استاندارد مشاهده گردید که این توزیع، توزیع مناسبی می‌باشد که پس از اعمال ضریب ۰/۴ رابطه ای کلی برای بیان توزیع نوسانات بدست آمد.

منابع

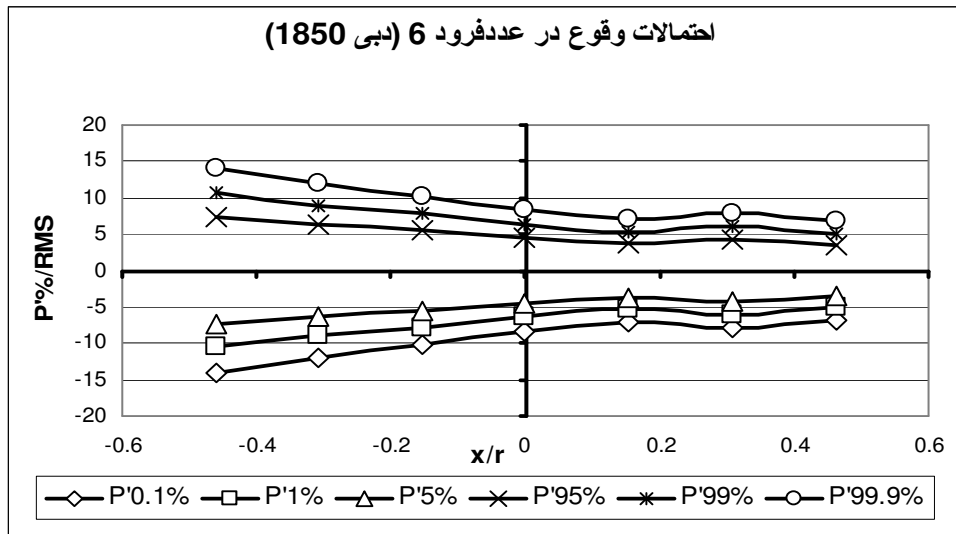
- 1-Narayanan R 1980 cavitation induced by turbulence in stilling Basin journal of Hydraulics Div 106 P(616-619)
- 2-Kavianpour M.r 1997 The reattaching flow downstream of deflector including the effect of air inject .A Thesis submitted to university of Manchester Institute of science and technology for the degree of PHD
- 3- Lopardo R.A 1988 stilling Basin Pressure fluctuation International symposium on model Prototype correlation of Hydraulics structure ASCE P(56-73)
- 4- Lopardo R.A., Delio .j.c and vernet ,G.F 1982 physical modeling on cavitation tendency for macroturbulence of Hydraulics jump international conference on
- 5-Blazjewski R1981 Discussion of the paper " cavitation induced by turbulence in stilling Basin"By Narayanan R journal of Hydraulics Div 107 P(234-245)
- 6- Kavianpour M.r 2000 Effect of air on the structure of flow downstream of ramp Proceeding of international symposium of advanced in hydro- science- Engineering
- ۷- محمدی/علی/۱۳۷۸/ نوسانات فشار پایین دست هواده ها/ پایان نامه کارشناسی ارشد عمران- سازه های هیدرولیکی/دانشگاه خواجه نصیر
- 8-visher,Daniel.l.&Hager,Energy dissipators/Hydraulics structure design Balkema /Rotterdam 1965 chap2(P9-23) chap7(P111-115)
- 9-Fiorotto and Rinaldo 1993" turbulent Pressure fluctuation under Hydraulics jump" journal of Hydraulics vol 30 No 4
- 10-Spillways for Dam A 1987 GIGB,ICOLD,Bultheins 58
- ۱۱- جمالزاده/منیره/۱۳۷۶/ بررسی نوسانات فشار در حوضچه های آرا مش/ پایان نامه کارشناسی ارشد عمران- سازه های هیدرولیکی/دانشگاه امیر کبیر
- ۱۲- وطن دوست/حسام/۱۳۸۵/ بررسی نوسانات فشار در مستهلک کننده جامی شکل/ پایان نامه کارشناسی ارشد سازه



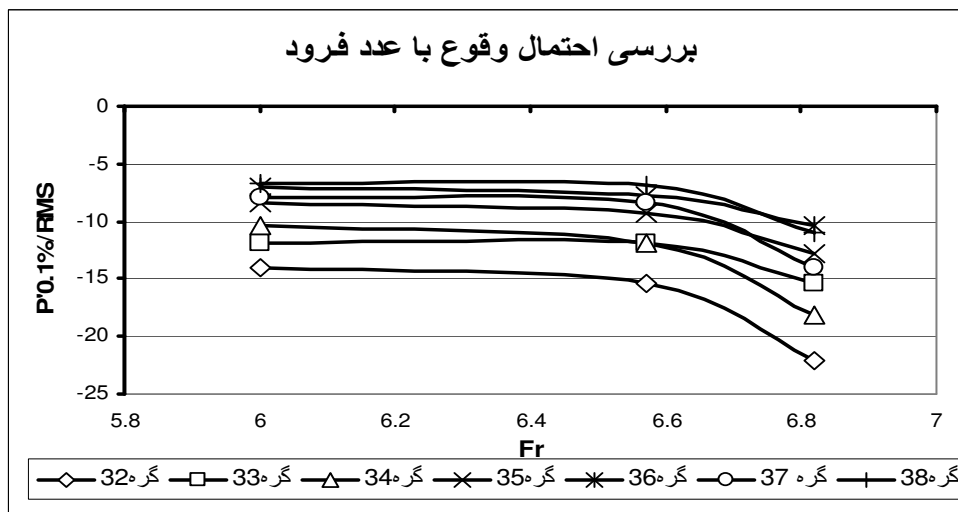
نمودار (۱): احتمال وقوع نوسانات فشار در دبی ۸۰۰ مترمکعب بر ثانیه.



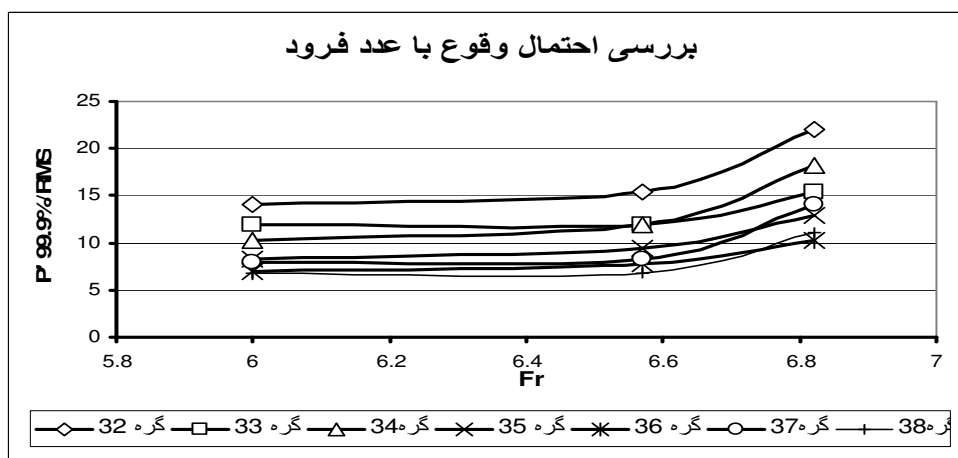
نمودار (۲): احتمال وقوع نوسانات فشار در دبی ۱۵۱۰ مترمکعب بر ثانیه.

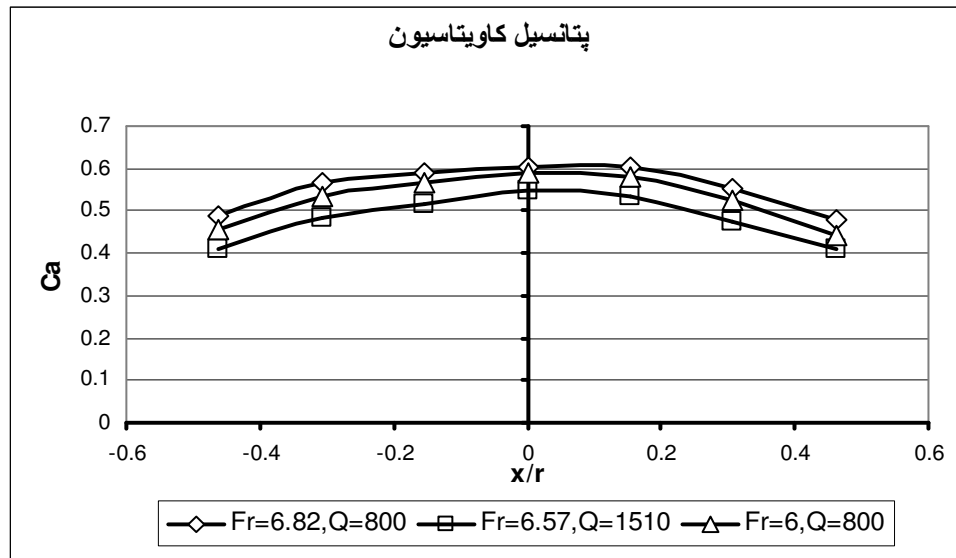


نمودار (۳): احتمال وقوع نوسانات فشار در دبی ۱۸۵۰ مترمکعب بر ثانیه



نمودار (۴): احتمال وقوع نوسانات فشار در محل های مختلف پرتاب کننده.





نمودار (۶): اندیس کاویتاسیون محاسبه شده بر حسب فشار با احتمال وقوع ۰/۱٪ نوسانات.