

بررسی فشارهای دینامیکی ناشی از برخورد جت خروجی از پرتابه جامی شکل با در نظر گرفتن عمق پایاب

اسماعیل ثابتی^{۱*}، منوچهر فتحی مقدم^۲ و زهرا اولین چارسوقی^۳

۱- دانشجوی دوره کارشناسی ارشد سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشجوی دوره کارشناسی ارشد سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

esmailsabeti@yahoo.com

۲- استاد گروه سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

۳- دانشجوی دوره کارشناسی ارشد سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۷/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۷/۴

چکیده

استفاده از پرتابه های جامی شکل در سدها، به علت نیروهایی که جریان جت خروجی از آنها در محل برخورد به بستر پایین دست وارد می کند و منجر به آبشستگی و یا شکستگی دال کف می شود که در مقایسه با سازه های دیگر، نیاز به بررسی و مطالعه بیشتری دارند. تعیین مشخصات فشارهای دینامیکی محل برخورد در شرایط مختلف، این امکان را به ما خواهد داد که در صورت وقوع چنین شرایطی در سازه های اجرایی احتمال وقوع آبشستگی و میزان دقیق آن را مشخص نماییم و همچنین می توان به طور دقیق احتمال ترک خوردگی دال کف پایان دست و یا مرحله جدا شدن ذرات از بستر را تعیین کرد که در طراحی حوضچه های استغراق اهمیت دارد. در این مطالعه با فراهم آوردن شرایط اندازه گیری فشارهای دینامیکی ایجاد شده بر کف در اثر برخورد جت خروجی از پرتابه جامی شکل سعی در استخراج داده هایی در شرایط مختلف برخورد از نظر دبی جت خروجی و عمق پایاب شده است. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که حوضچه های استغراق پایین دست پرتابه های جامی شکل زمانی مؤثر خواهد بود که نسبت عمق آب حوضچه به ضخامت جت در حال برخورد $\left(\frac{y}{B_1}\right)$ بزرگتر از سه باشد.

کلید واژه ها: فشارهای دینامیکی، حوضچه های استغراق، پرتابه های جامی شکل، عمق پایاب.

مقدمه

جت های دایره ای هستند که برای مثال حوضچه استغراق سد مورو پوینت^۱ در آمریکا (شکل ۱) را می توان نام برد. نوع دوم حوضچه های استغراق مربوط به جریان جت های مستطیلی و یا تیغی می شوند که به عنوان نمونه در سدهای ایوم^۲، باسراک^۳ و آتازار^۴ در اسپانیا، سد گبیدم^۵ در سویس و سد کریستال^۶ در آمریکا (شکل ۲)، مورد استفاده قرار گرفته اند. ورود جت به داخل حوضچه، باعث مستهلک شدن مقدار قابل توجهی از انرژی جت آب در اثر عواملی چون اصطکاک هوا و هواگیری جت در اتمسفر^۷، پودر شدن جریان آب در هوا^۸،

استفاده از پرتابه های جامی شکل در سدها، به علت نیروهایی که جریان خروجی از آنها در محل برخورد به بستر پایین دست وارد و منجر به آبشستگی می شود، در مقایسه با سازه های دیگر، نیاز به بررسی و مطالعه بیشتری دارند. این نوع سازه را، در مکان هایی که بستر مقاومت کافی دارد، می توان استفاده کرد. اغلب در پایین دست این سازه برای جلوگیری از برخورد مستقیم جت خروجی با کف رودخانه از حوضچه های استغراق استفاده می شود.

کارایی حوضچه های استغراق اساساً به کیفیت ناحیه ای که جت جریان به آن برخورد می کند بستگی دارد. چنانچه ناحیه برخورد، ویژگی های متفاوت با آنچه در طراحی در نظر گرفته شده داشته باشد، ممکن است به وارد شدن خسارت هایی به سازه سد منجر شود. اغلب مشاهده شده است که پیش بینی های زمین شناسی، شرایط مناسبی را نشان می دهد، اما آبشستگی بسیار بیشتر از مقدار پیش بینی شده آن بوده است.

به طور کلی دو نوع ساختمان حوضچه استغراق با توجه به هندسه جت خروجی از سرریز سد وجود دارد. نوع اول حوضچه های مربوط به

1. Morrow Point
2. Eume
3. Baserca
4. Atazar
5. Gebidem
6. Crystal
7. Aeration in air
8. Atomization in the air



شکل ۱- سد مورو پوینت



شکل ۲- سد کریستال

اقتصادی و ایمنی، طراحی حوضچه با استفاده از عمق آبستگي مناسب نمی‌باشد که در این صورت از حوضچه‌های پوشش داده یا مصنوعی استفاده می‌شود و طراحی بر اساس تعیین توزیع فشارهای وارد به کف و دیواره ها و حدود نوسانات آنها تحت تأثیر متغیرهای مؤثر شامل: دبی، سرعت، ارتفاع ریزش، ابعاد و هندسه جت ریزشی، عدد فرود، عمق آب در حوضچه ها و ابعاد آن، انجام می شود (۱). ویژگی‌هایی چون غیرهمگنی، ناهمسانی و تغییرات سه بعدی خصوصیات جریان های متلاطم در سازه های مستهلک کننده انرژی و همچنین عدم وجود راه حل مشخص و معین برای تعیین فشارهای نوسانی در این سازه‌ها مانع از مطالعه دقیق تحلیلی این گونه جریان‌ها می باشد. در این موارد استفاده از مدل هیدرولیکی یکی از اساسی‌ترین روش‌ها برای بررسی و مطالعه متغیرهای هیدرولیکی از جمله فشار هیدرودینامیکی در این سازه‌ها می باشد.

بررسی کارهای انجام شده برای حوضچه‌های استغراق و ارزیابی فشارهای دینامیکی نشان می‌دهد که قسمت کمتر این تحقیقات با استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری فشار دینامیکی می‌باشد اما از آن جا که ارزیابی نوسانات فشارهای هیدرودینامیکی در بدست آوردن عمق آب بستگی در حوضچه و همچنین طراحی دال کف حوضچه مؤثر می باشد، لذا برداشت‌های دینامیکی از اهمیت خاصی برخوردار می گردد.

برخورد به سطح آب حوضچه، ورود هوای در برگرفته جت^۱، نفوذ و پخش^۲ در بالشتک آب و نهایتاً برخورد با کف و ایجاد تلاطم در حوضچه و نوسانات سطح آب می‌گردد. این فعل و انفعالات همراه با تشدید آشفستگی جریان و نوسانات شدید فشار همراه است.

افزایش عمق آب در داخل حوضچه‌های استغراق باعث کاهش تأثیر هیدرودینامیک جت بر کف و دیواره‌ها و در نتیجه بی نیازی از تثبیت و پایداری آن می‌گردد. اما نیاز به عمق بیشتر حوضچه دارد که معمولاً هزینه مضاعفی را در بر خواهد داشت. از طرف دیگر با کاهش عمق آب حوضچه، جت بر کف و دیواره‌ها قابل توجه بوده و لذا تمهیدات لازم در تحکیم و پوشش نمودن کف و دیواره‌ها با ضخامت مناسب مد نظر قرار می‌گیرد. همچنین شرایط هندسی و هیدرولیکی جت ورودی به داخل حوضچه، تأثیر مستقیم بر شدت توزیع بارگذاری کف و دیواره های حوضچه دارد. به طور کلی طراحی حوضچه‌های استغراق طبیعی^۳ بر مبنای تعیین عمق آبستگي با استفاده از متغیرهای دبی، عمق پایاب، اختلاف ارتفاع سطح آب مخزن تا پایاب، ابعاد و هندسه جت ریزشی و اندازه مصالح بستر پایین دست می‌باشد. در بعضی شرایط به دلایل

-
1. Air entrainment by the entering jet
 2. Diffusion
 3. Scour hole

بلوک یا دال و کمترین بار روی آن‌ها مشخص شده و نتیجتاً بیشترین نیروی برکنش خالص قابل محاسبه خواهد بود. مقاومت در مقابل این نیروی بالا برنده، از طریق وزن بلوک‌ها و یا دال‌های مستغرق و یا به وسیله مقاومت برشی اتصالات ایجاد می‌شود. برای دال‌های بتنی، تنش‌های خمشی نیز در مقابل این نیروی بالا برنده مقاومت می‌کنند. عمق آبستگي نهایی در حالتی به دست می‌آید که این برکنش خالص به تعادل رسیده باشد و قادر به خارج کردن قطعات سنگ یا برکنش دال از جای خود نباشد. این روش عمدتاً بر پایه مطالعات جامع ارواین و همکاران^۵ شکل گرفته است (۷). بر این اساس یک معیار طراحی برای ضخامت دال به صورت رابطه (۱) ارائه شده است که در آن ضخامت دال (S بر حسب متر)، به صورت تابعی از فشارهای حدی مثبت و منفی در سطح دال و ضریب کاهش Ω به دست می‌آید. بلین و فیوروتو^۶ مقدار ضریب Ω را بین ۰/۱ تا ۰/۲۵ عنوان کردند که بستگی به شکل دال و عدد فرود F_0 اولیه پرش هیدرولیکی دارد (۳).

$$S = \Omega \cdot (C_p^+ + C_p^-) \frac{V_j^2}{2g} \cdot \frac{7}{\gamma s - \gamma} \quad (1)$$

در این رابطه C_p^+ و C_p^- ضرایب حدی مثبت و منفی نوسانات فشار دینامیکی هستند که در ادامه در خصوص نحوه محاسبه آن‌ها توضیحات جامعی ارائه می‌گردد. γ و γs به ترتیب وزن مخصوص آب و دال هستند و $\frac{V_j^2}{2g}$ ، انرژی جنبشی جت ورودی به حوضچه است. بولارت و اشلایس^۷ با انجام آزمایش‌هایی بر روی ترک‌های مدل شده در مکعب‌های سه بعدی، با ابعادی نزدیک به واقعیت، به بررسی فشارهای گذرا در جداره‌ها و تأثیر نوسان فشارهای دینامیکی در این فشارها پرداخته و روابط تحلیلی-تجربی برای حداکثر بارهای دینامیکی وارد بر کف حوضچه استغراق ارائه نمودند (۵).

طول هسته جت

طول هسته در واقع بر اساس طول ناحیه پایدار سازی جریان^۸ در در برخورد جت آب تعیین می‌گردد. در برخورد جت ابتدا در طولی از حوضچه فرآیند پایدار سازی جریان اتفاق می‌افتد و سپس جریان پایدار شده^۹ به کف حوضچه برخورد می‌کند. ناحیه پایدار سازی جریان جایی است که تنش‌های برشی به وجود آمده در کناره جت،

در بسیاری از مطالعاتی که در زمینه بررسی نوسانات فشارهای دینامیکی حاصل از برخورد جت انجام گرفته، بیشتر جت‌های دایره‌ای و بر مبنای جت تشکیل شده از لوله عمودی شکل بوده و کمتر بررسی جت‌های حاصل از پرتابه‌های جامی شکل، که در واقعیت قسمت اعظمی از سازه‌های مستهلک کننده سدها را شامل می‌شوند، پرداخته شده است. بنابراین در تحقیق حاضر مبنای تولید جت پرتابه جامی شکل مد نظر قرار گرفته شد. در مراحل انجام این تحقیق، فشارهای حاصل از کل نقاط سطح برخورد جت برداشت و ثبت شده است اما روند مطالعه بر روی مشخصات فشارهای دینامیکی محور مرکزی جت تمرکز دارد، چرا که بیشترین تأثیر در ایجاد فشارهای بالا در کف حوضچه و در نهایت ایجاد ترک در دال کف و یا افزایش عمق حفره فرسایش بر اثر برخورد محور مرکزی جت انجام می‌گیرد. همچنین هدف نهایی این تحقیق محاسبه و تحلیل مشخصات فشارهای دینامیکی، که در فرمول‌های عمومی تعیین ضخامت دال کف و یا میزان عمق آبستگي مورد استفاده قرار می‌گیرند، است.

تئوری و پیشینه تحقیق

مطالعات انجام شده در زمینه حوضچه‌های استغراق بیشتر به منظور پیش بینی میزان آبستگي در حوضچه انجام گرفته است. در کل، چه در حوضچه‌های استغراق طبیعی که بحث آبستگي و عمق حفره فرسایش مد نظر است و چه در حوضچه‌های مصنوعی با بستر پوشیده شده که برآورد فشارهای دینامیکی و نوسانات آن تعیین کننده است، می‌توان از نتایج تحقیقات گذشته سود جست. چرا که عمق فرسایش ایجاد شده در حوضچه‌های استغراق طبیعی نیز بر اثر فشارهای دینامیکی وارد به کف و نوسانات آن به وجود می‌آید. مطالعات انجام شده در زمینه تخمین میزان فرسایش را می‌توان در چهار مدل کلی که شامل مدل‌های تجربی‌های، مدل‌های تحلیلی-تجربی، مدل محاسبه فشارهای دینامیکی نهایی در کف حوضچه و مدل محاسبه اختلاف فشارهای دینامیکی در کف حوضچه خلاصه کرد. با توجه به این که هدف این تحقیق دست یابی به مشخصات فشارهای دینامیکی است، بنابراین مدل محاسبه فشارهای دینامیکی نهایی در کف حوضچه مورد توجه قرار گرفته و در ادامه مورد بحث و تحلیل قرار می‌گیرد.

در مدل محاسبه فشارهای دینامیکی نهایی با محاسبه متغیرهای میانگین فشار^۱، جذر میانگین مربعات فشار^۲، حداکثر مقدار مثبت و منفی^۳ و مقدار طیفی توان پخش نوسانی فشارهای دینامیکی^۴ عمق آبستگي محاسبه خواهد شد. به کمک این متغیرها بیشترین بار زیر

5. Ervine et al.
6. Bellin and Fiorotto
7. Bollaert and Schleiss
8. Establishment of the Flow
9. Established Flow

1. Mean Dynamic Pressures
2. Root-Mean- Square(RMS)
3. Extreme Dynamic Pressures
4. Power Spectral Content of Dynamic Pressure Fluctuations

این نکته نیز جالب توجه است که روند کاهش ضریب C_p نسبت به $\left(\frac{y}{D_j}\right)$ در جت‌های دایروی سریع تر از جت‌های مستطیلی است. دلیل این تفاوت می‌توان در پارامتری باشد که در جت‌های مستطیلی به عرض برخورد جت نسبت داده می‌شود و یا به دلیل نحوه پخش شعاعی جت در جت‌های دایروی است (جت در همه جهات پخش می‌شود)، در حالی که در جت‌های مستطیلی از پهلو به صورت تک محوره پخش می‌شود.

جذر میانگین مربعات (RMS) نوسانات فشار

نوسانات فشار دینامیکی توسط ضریب C_p' نشان داده می‌شود. ضریب C_p' ، از تقسیم مقدار RMS نوسانات فشار (H') بر هد انرژی جنبشی $\frac{V_j^2}{2g}$ به دست می‌آید (رابطه (۳)) که توسط ارواین و همکاران ارائه شد (۷):

$$C_p' = \frac{H'}{V_j^2 / 2g} \quad (3)$$

حداکثر و حداقل نوسانات فشار (مقدار حدی فشارهای نوسانی)

از سال ۱۹۶۰، تغییرات فشار دینامیکی به وسیله شاخص‌های آماری مورد بررسی قرار گرفته است و روش‌های اندازه‌گیری فشار بالابر (Uplift) کف حوضچه آرامش و تشکیل حفره آبخستگی در اتصالات سنگ، بر اساس محاسبه فشارهای حدی مثبت و منفی بنا نهاده شد. در طول دهه‌های ۸۰ و ۹۰، تأثیر تفاوت فشار میانگین (مونتگومری^۵، ۱۹۸۴؛ رینیوس و اوتو^۶، ۱۹۸۹) و فشارهای آنی (فیوروتو و رینالدو^۷، ۱۹۹۲؛ لیو و همکاران^۸، ۱۹۹۸؛ فیوروتو و سالاندین^۹، ۲۰۰۰)، در زیر و روی دال بتنی و بلوک‌های سنگی به صورت تئوری و آزمایشی مورد بررسی قرار گرفته است (۲). ارواین و همکاران، مطالعات خود را بر روی جت‌های دایروی ریزشی، انجام دادند و متوجه شدند که ضریب مقدار حدی مثبت فشار (C_p^+) در کف حوضچه حدود چهار برابر مقدار RMS و ضریب مقدار حدی منفی فشار (C_p^-) حدود سه برابر مقدار RMS است که این مطلب

سرعت را در جداره‌ها کاهش می‌دهند. پس از اتمام ناحیه پایدار سازی، جت پایدار خواهد بود و در این ناحیه دیگر اثری از هسته جت مشاهده نمی‌شود (۴). بر این اساس، فشار دینامیکی که در مرز آب و بستر اعمال می‌شود ممکن است با برخورد جت "با هسته"^۱ $\left(\frac{y}{D_j \text{ or } B} < 4-6\right)$ مطابق شکل (۳-الف)، برای حوضچه‌های با عمق کم، یا با برخورد لایه برشی با آشفتگی شدید، به صورت جت "توسعه یافته"^۲ $\left(\frac{y}{D_j \text{ or } B} < 4-6\right)$ برای حوضچه‌های عمیق به وجود بیاید. y عمق آب D_j و B_j قطر و ضخامت جت در محل برخورد می‌باشند (۵).

طول شکست جت

برای جت‌های در حال سقوط از ارتفاع‌های زیاد، اغتشاشات سطحی آشفتگی ممکن است به قدری بزرگ باشد که در هسته جت نفوذ کرده نتیجتاً آن را به قطرات جدا از هم تجزیه کند. این پدیده تحت متغیر طول فروپاشی و یا طول شکست جت^۳ L_b ، تعریف می‌شود. به عبارت دیگر از این فاصله به بعد جت در حال سقوط کاملاً توسعه پیدا کرده و دیگر هسته جت وجود ندارد و در واقع به مجموعه‌ای از گلوله‌ها و قطرات آب تبدیل می‌شود. برای هر قطره و گلوله آب به تنهایی سرعت سقوط در اثر مقاومت هوا کاهش یافته و در نهایت به سرعت حد سقوط می‌رسد که به وزن هر قطره یا گلوله آب وابسته است. نتیجتاً چنین درهم کنشی سبب محدود شدن ظرفیت فرسایشی جت کاملاً توسعه یافته می‌شود (۶).

میانگین فشارهای دینامیکی^۳

میانگین فشارهای دینامیکی بر اساس نتایج مطالعات ارواین و همکاران، توسط ضریب بدون بعد C_p محاسبه می‌شود. این ضریب با تقسیم میانگین هد فشار دینامیکی اندازه‌گیری شده در نقطه برخورد به کف ($H_m - y$) بر حسب متر، بر هد انرژی جنبشی $\frac{V_j^2}{2g}$ ورودی بر حسب متر، به صورت رابطه (۲) به دست می‌آید (۷):

$$C_p = \frac{H_m - y}{\frac{V_j^2}{2g}} \quad (2)$$

4. Extrme Dynamic Pressures
5. Montgomery
6. Reinius and Otto
7. Fiorioitto and Rinaldo
8. Liu et al.
9. Fiorioitto and Salandin

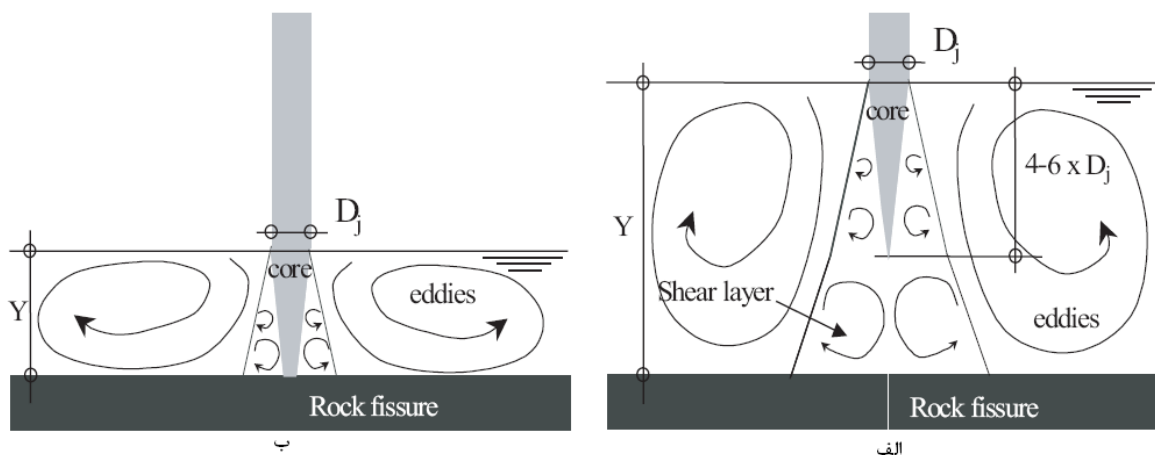
1. Core Jet
2. jet break-up length
3. Mean Dynamic Pressure

$$C_P^- = \frac{H_m - H_{\min}}{\frac{U_j^2}{2g}} \quad (۵)$$

که C_P^+ و C_P^- به ترتیب حداقل و حداکثر H_{\max} و H_{\min} مقادیر لحظه‌ای هد فشار می باشند. جهت انجام آزمایش‌ها از پرتابه جامی شکل مدل سد بالا رود که در آزمایشگاه مدل‌های هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز وجود دارد استفاده شده است.

با چولگی مثبت در جریان‌های برشی با آشفتگی زیاد هم خوانی دارد. نتایج این بررسی ها حاکی از آن بود که مقدار حدی مثبت فشار در $\frac{y}{D_j}$ برابر ۱۰ به وقوع می پیوندد در حالی که مقادیر حدی منفی آن در $\frac{y}{D_j}$ برابر پنج است و دلیل آن این است که انحراف ماکزیمم منفی از میانگین تنها در مقادیر بالای میانگین فشار دینامیکی اتفاق می افتد. همچنین ایشان روابط (۴) و (۵)، را برای محاسبه حداکثر و حداقل نوسانات فشار پیشنهاد کردند (به نقل از (۴)).

$$C_P^+ = \frac{H_{\max} - H_m}{\frac{U_j^2}{2g}} \quad (۴)$$



شکل ۳- حوضچه استغراق: الف) جت توسعه یافته $\left(\frac{y}{D_j \text{ or } B_j} > 4-6\right)$ ، ب) جت با هسته $\left(\frac{y}{D_j \text{ or } B_j} < 4-6\right)$

جدول ۱- خلاصه روابط ارائه شده جهت محاسبه طول فروباشیدگی (به نقل از (۸))

نوع جت	L_b	محقق
مستطیلی	$\frac{L_b}{B_i F_i^2} = \frac{0.85}{(1.07 T_u F_i^2)^{0.82}}$	کاستیلو ^۱ (۲۰۰۶)
مستطیلی	$6.4 w^{0.22}$	هورنی ^۲ (۱۹۵۶)
دایروی	$\frac{0.96 \cdot D_i \cdot F_r^2}{T_u^{0.22} \cdot F_r^{2.04}}$	ارواین و همکاران (۱۹۹۷)

1. Castillo
2. Horeni

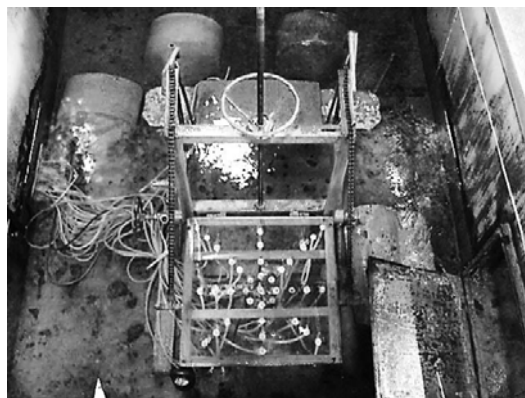
تجهیزات آزمایشگاهی

با صفحه درون آن تعبیه شد. در شکل (۴) صفحه مورد نظر و نحوه چیدمان منفذها مشخص شده است.

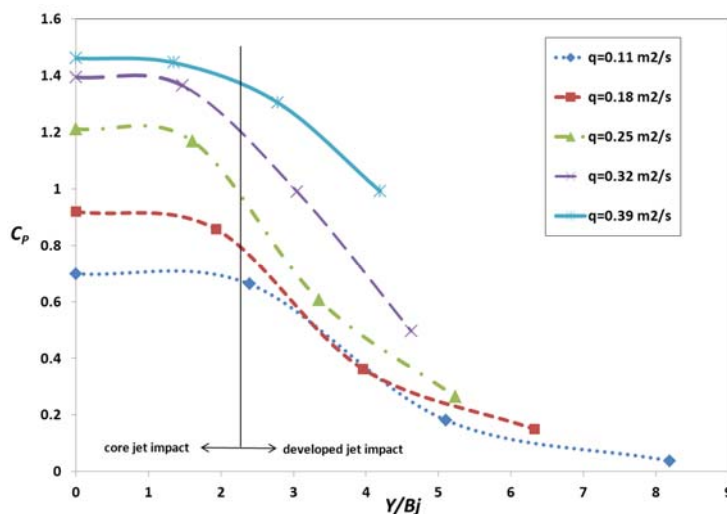
جهت اندازه‌گیری فشارهای دینامیکی از ترانسدیوسرهای فشاری استفاده شده است. برای اندازه‌گیری فشارهای دینامیکی، حسگر ترانسدیوسر به پیزومتر مورد نظر وصل شده و این حسگرها توسط سیم‌های رابط به دستگاه میدل و از آنجا به سیستم کامپیوتری و نرم افزار پردازش اطلاعات مرتبط می‌گردد.

تعداد کل آزمایش‌های مورد تحقیق در این مطالعه شامل ۲۰ آزمایش بوده که اندازه‌گیری‌ها به ازای پنج دبی (۰/۳۲، ۰/۳۹، ۰/۲۵، ۰/۱۸ و ۰/۱۱ لیتر در ثانیه) و چهار عمق پایاب (هر گام با افزایش ۱۵ سانتی متری) به منظور ایجاد حالت برخورد جت با هسته و توسعه یافته صورت گرفته است.

دبی مورد نیاز آزمایش از طریق مخزن اصلی آزمایشگاه تأمین می‌شود و جریان پس از عبور از به ترتیب مخزن آب مدل سرریز، تنداب و پرتابه جامی (جهت تولید جت)، مخزن سقوط جت آب (حوضچه استغراق)، کانال بازگشت و در نهایت عبور از روی سرریز مستطیلی (جهت اندازه‌گیری دبی)، به مخزن اصلی آزمایشگاه بر می‌گردد. برای طراحی حوضچه استغراق پایین دست پرتابه جامی شکل از یک صفحه پلگسی گلاس مربعی به ابعاد ۰/۵×۰/۵ متر استفاده گردید و ۳۷ منفذ به قطر دو میلی متر برای اتصال لوله‌های پیزومتری جهت اندازه‌گیری فشارهای دینامیکی در محل برخورد جت



شکل ۴- صفحه برخورد جت نصب شده بر روی سیستم فلزی درون مخزن سقوط جت



شکل ۵- ضریب C_p در مقابل $\frac{y}{B_j}$ ، در محل برخورد محور مرکزی جت

نتایج و بحث

نتایج به دست آمده در این فصل به بخش‌های مختلفی تقسیم بندی شده که در طی قسمت‌های مربوطه ارائه می‌شود:

ضریب میانگین فشارهای دینامیکی کف

مقادیر اندازه‌گیری شده ضریب C_p در محل برخورد جت، در شکل (۵) برای جت‌های با هسته و توسعه یافته نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است، حد فاصل دو ناحیه برخورد جت با هسته و توسعه یافته، با نسبت $\frac{y}{B_j} = 2-3$ مشخص شده است. بنابراین حوضچه‌های استغراق پایین دست پرتابه‌های جامی شکل زمانی مؤثر خواهد بود که $\frac{y}{B_j} > 2-3$ باشد. نسبت $\frac{y}{B_j}$ به دست آمده برای تعیین حوضچه استغراق مؤثر در تحقیق

حاضر کمتر از مقدار محاسبه شده آن توسط محققین دیگر برای جت‌های عمودی است. دلیل این کاهش را می‌توان در شکل منحنی تراژکتوری جت بررسی کرد. با ثابت بودن تمامی شرایط هیدرولیکی، جت‌های حاصل از پرتابه‌های جامی شکل، فاصله بیشتری را در هوا طی می‌کنند و بنابراین دو مرحله از استهلاک انرژی جریان که در هوا اتفاق می‌افتد (هوادهی و پودر شدن جریان) در این شکل از جت نسبت به جت‌های عمودی بیشتر است و این سبب کاهش انرژی جنبشی جت و در نهایت کاهش فشارهای دینامیکی که در مرز آب و بستر اعمال می‌شود خواهد شد.

بررسی تأثیر طول شکست جت بر ضریب میانگین فشارهای دینامیکی

دو عامل طول شکست جت (L_b) و ورود هوای همراه جت (β_i) به درون حوضچه از جمله عواملی هستند که باعث کاهش ضریب میانگین فشار دینامیکی (C_p) و ضریب نوسانات فشار دینامیکی (C'_p) می‌شوند. در شکل (۶) نمودار ضریب میانگین فشار دینامیکی (C_p) اندازه‌گیری شده در مقابل نسبت طول شکست به طول سقوط جت $\frac{L}{L_b}$ ارائه شده است. همانطور که در شکل (۶)

دیده می‌شود با افزایش نسبت $\frac{L}{L_b}$ ، مقادیر ضریب C_p روند کاهشی دارد. این الگوی کاهشی در حالت بدون عمق آب و عمق آب کم تقریباً روند خطی دارد ولی با افزایش عمق آب این روند کاهش، شکل نمایی به خود می‌گیرد. در زمانی که عمق آب وجود ندارد و یا کم است، کاهش طول شکست و هوادهی جریان جت در حال سقوط

تنها عواملی هستند که در افزایش میزان استهلاک انرژی جت مؤثر می‌باشند. هوادهی جریان جت و افزایش نسبت $\frac{L}{L_b}$ سبب کاهش ضریب C_p خواهند شد اما با افزایش عمق حوضچه استغراق، روند کاهش بیشتر متأثر از شکل‌گیری جریان‌های گردابه و چرخنده است و شکل نمایی به خود می‌گیرد. با توجه به نتایج به دست آمده برای کلیه آزمایش‌ها، مشخص گردید که رابطه معنی‌دار بین ضریب میانگین فشارهای دینامیکی و پارامترهای وابسته به آزمایش وجود دارد که از بین همه این مدل‌ها در نهایت رابطه زیر به عنوان رابطه معنی‌دار استخراج شد:

$$C_p = 1.76 \left(\frac{y}{B_j} \right)^{-1.13} + 0.012 \left(\frac{L}{L_b} \right)^{-3.42} \quad (۶)$$

ضریب رگرسیون بین پارامترهای بی‌بعد فوق‌الذکر در حد قابل قبول و برابر $(R^2 = 0.87)$ بدست آمد که نشان‌دهنده همبستگی قوی بین پارامترهای مورد اشاره می‌باشد.

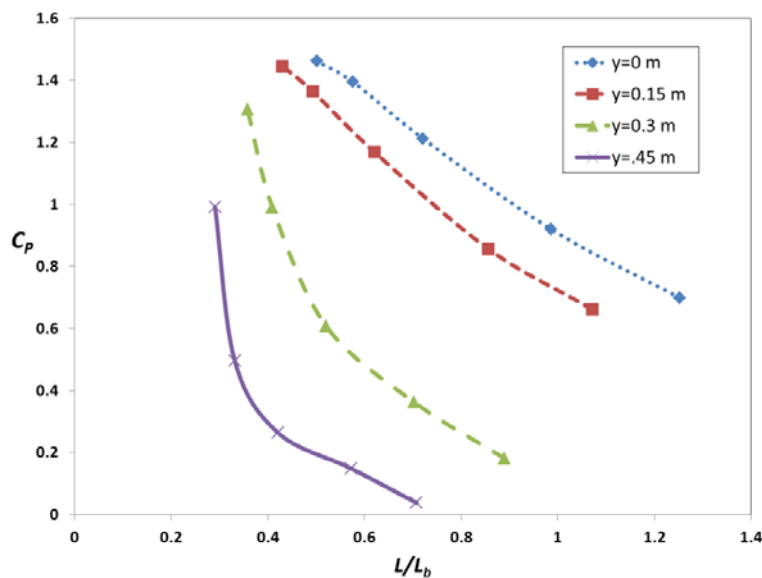
جدر میانگین مربعات (RMS) نوسانات فشار کف

در خصوص جریان آشفته عنوان شد که هر کمیت به صورت مجموعی از یک متوسط زمانی و یک جزء نوسانی بیان می‌شود و جدر متوسط مربعات مقدار نوسانات، شاخصی برای شدت آشفستگی است. نوسانات فشار توسط ضریب RMS نوسانات (C'_p) به صورت کمی در آمده و قابل مقایسه می‌گردد. در شکل (۷)، تغییرات ضریب نوسانات فشار (C'_p)، بر اساس تغییرات عمق بالشتک آب به قطر جت $\left(\frac{Y}{B_j} \right)$ ، نشان داده شده است.

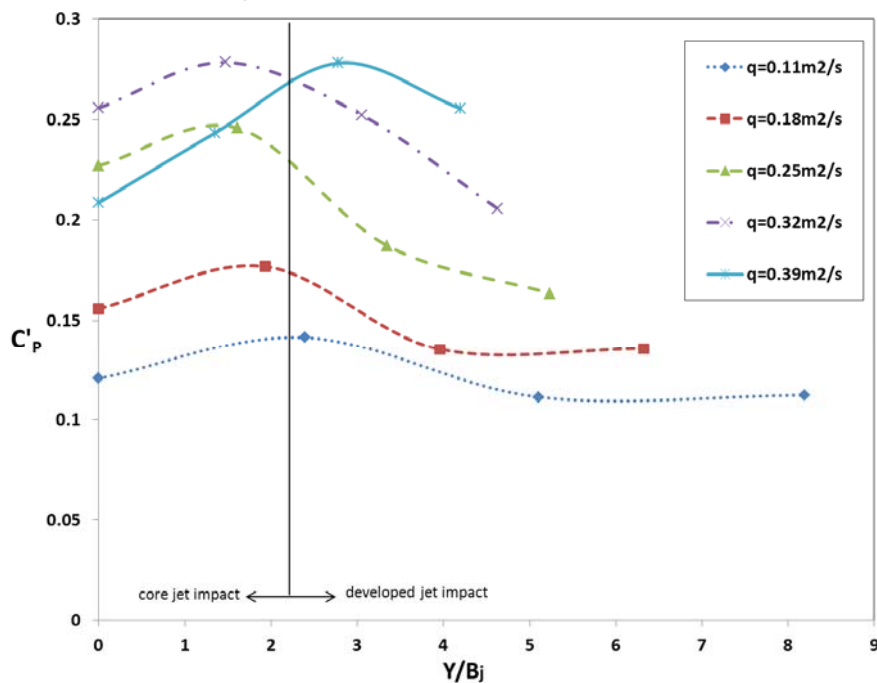
چنانچه مشاهده می‌گردد، روند تغییرات ضریب C'_p بر حسب تغییرات عمق آب در حوضچه $\left(\frac{Y}{B_j} \right)$ ، کاملاً صعودی و یا نزولی نیست و در عمق خاصی ماکزیمم می‌گردد که این امر حاکی از نیاز به عمق مشخصی به منظور تشکیل جریان‌های گردابی و چرخشی با آشفستگی زیاد، حاوی فرکانس‌های کوتاه و انرژی زیاد است. این بدین معنا است که ماکزیمم نوسانات فشار کف در برخورد مستقیم (بدون بالشتک آب)، اتفاق نمی‌افتد و زمانی اتفاق می‌افتد که یک لایه نازک از بالشتک آب وجود داشته باشد. در واقع این لایه نازک فرصت توسعه و پیشرفت جریان‌ات آشفته و تلاطم را فراهم می‌کند.

شکل (۸) نتایج حاصل از اثر طول شکست جت را بر ضریب نوسانات فشار در کنار نتایج سایر محققین نشان داده شده است. با توجه به شکل (۸) حداکثر ضریب جذر میانگین مربعات نوسانات فشار (C'_p) ، در حالت $\frac{L}{L_b} \approx 0.6$ اتفاق می‌افتد که با نتایج سایر محققین مطابقت دارد.

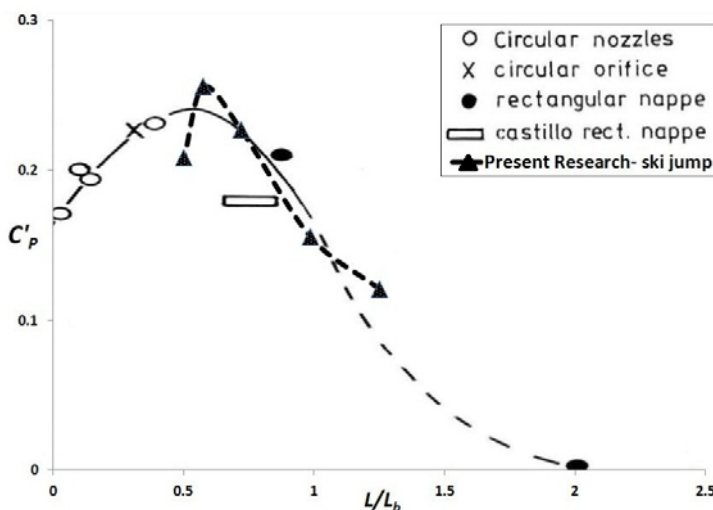
بررسی تأثیر طول شکست جت بر ضریب نوسانات فشارهای دینامیکی
 برای جت‌های در حال سقوط از ارتفاع‌های زیاد، اغتشاشات سطحی آشفتگی ممکن است به قدری بزرگ باشد که در هسته جت نفوذ کرده نتیجتاً آن را به قطرات جدا از هم تجزیه کند. تجزیه جت ریزشی باعث کاهش نوسانات فشار و در نتیجه C'_p می‌گردد. در



شکل ۶- تغییرات ضریب C_p بر اساس تغییر نسبت $\frac{L}{L_b}$



شکل ۷- تغییرات ضریب نوسانات فشار بر اساس تغییرات عمق بالشتک آب به قطر جت $\left(\frac{Y}{B_j}\right)$

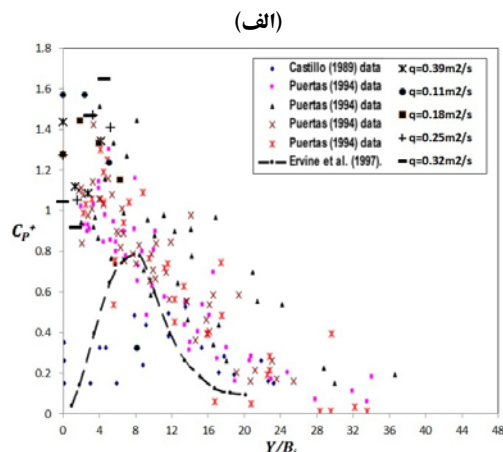
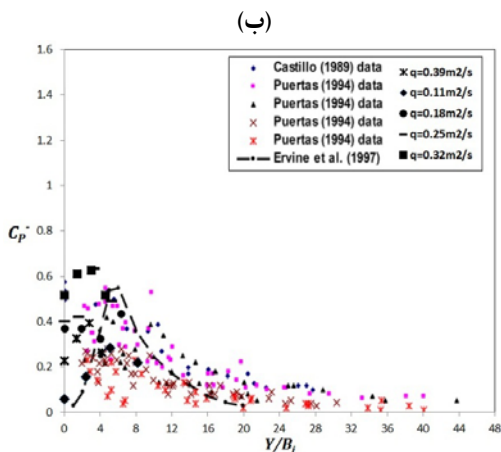


شکل ۸- تغییرات ضریب C'_p بر اساس تغییر نسبت $\frac{L}{L_b}$

حداکثر مقدار ضریب C_P^- در $\frac{Y}{B_j} \approx 4$ برابر با 0.6 است که مقادیر محاسبه شده نزدیکی مناسبی با نتایج حاصل از جت‌های مستطیلی و تیغه ای که توسط محققین دیگر انجام گرفته است دارند. همچنین مقادیر به دست آمده برای ضرایب C_P^+ و C_P^- حاکی از کوچک بودن نسبت $\frac{Y}{B_j}$ در مقایسه با نتایج دیگر محققین دارد که دلیل اصلی آن اندازه کم سرعت و ضخامت بالشتک آب مورد استفاده در این آزمایش‌ها می باشد.

مقادیر حدی فشار های نوسانی

در شکل (۹)، به ترتیب تغییرات ضریب مقادیر حدی مثبت C_P^+ و منفی C_P^- نوسانات فشار بر اساس تغییرات عمق بالشتک آب $\left(\frac{Y}{B_j}\right)$ ، به طور جداگانه برای دبی‌های آزمایش، ترسیم و با نمودارهای ارائه شده دیگر محققین مقایسه گردیده است. همان گونه که در این نمودار ها مشاهده می‌گردد، برای جت های پرتابه جامی شکل، حداکثر مقدار ضریب C_P^+ در $\frac{Y}{B_j} \approx 5$ برابر با $1/6$ و



شکل ۹- ضریب مقادیر حدی مثبت C_P^+ (الف) و ضریب مقادیر حدی منفی C_P^- (ب) در مقابل $\left(\frac{Y}{B_j}\right)$

نتیجه گیری

$\frac{L}{L_b}$ مقادیر ضریب C_p سیر نزولی دارد. این الگوی کاهش تقریباً روند خطی داشته ولی با افزایش عمق آب، شکل نمایی به خود می‌گیرد.

۴- ماکزیمم نوسانات فشار کف در برخورد مستقیم (بدون بالشتک آب)، اتفاق نمی‌افتد و زمانی اتفاق می‌افتد که یک لایه نازک از بالشتک آب وجود داشته باشد. در واقع این لایه نازک فرصت توسعه و پیشرفت جریانات آشفته و متلاطم را فراهم می‌کند.

۵- برای جت‌های پرتابه جامی شکل، حداکثر مقدار ضریب C_p^+ در $\frac{y}{B_j} \approx 5$ برابر با $1/6$ و حداکثر مقدار ضریب C_p^- در $\frac{y}{B_j} \approx 4$ برابر با $0/6$ است.

۱- در حوضچه‌های استغراق پایین دست پرتابه‌های جامی شکل، حد فاصل دو ناحیه برخورد جت با هسته و توسعه یافته، با نسبت $\frac{y}{B_j} = 2 \sim 3$ مشخص می‌شود.

۲- روند تغییرات ضریب C_p در مرحله پایدار سازی $\left(\frac{y}{B_j} < 2 \sim 3\right)$ ، خطی و کاهشی در این ضریب به افزایش نسبت

$\frac{Y}{B_j}$ دیده نمی‌شود ولی با افزایش ضخامت بالشتک آب و عبور از مرحله پایدار سازی جت $\left(\frac{y}{B_j} < 2 \sim 3\right)$ روند کاهش ضریب C_p

افزایش یافته و شکل نمایی به خود می‌گیرد.

۳- در حالت بدون عمق آب و عمق آب کم با افزایش نسبت

منابع

۱. صفرخانی، س. ۱۳۸۶. بررسی نوسانات فشار هیدرودینامیکی کف و دیواره‌های حوضچه استغراق تحت اثر هندسه جت. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف.
2. Bellin, A. and V. Fiorotto. 1995. Direct dynamic force measurement on slabs in spillway stilling basins. ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, 121(10),686-693.
3. Bollaert, E. 2002. Transient water pressures in joints and formation of rock scour due to high-velocity Jet impact. Communication 13 Laboratory of Hydraulic Constructions, EPFL, Lausanne Switzerland.
4. Bollaert, E. and A. Schleiss. 2003. Scour of rock due to the impact of plunging high velocity jets. Part I, Hydraulic Research, IAHR, 41(5): 451-464
5. Bollaert, E. and A. Schleiss. 2003. Scour of rock due to the impact of plunging high velocity jets. Part II, Hydraulic Research, IAHR, 41(5): 465-480
6. Castillo, E. L. G. 2006. Aerated jets and pressure fluctuation in plunge pools. 7th Int. Conf. on Hydrosience and Engineering (ICHE-2006), Philadelphia, USA.
7. Ervine, D. A., Falvey, H. T. and W. Withers. 1997. Pressure fluctuation on plunge pool floors. journal of Hydraulic Research, IAHR, 35(2).
8. Robert, L. G. 1980. Impinging jets. Engineering and Research Center, REC-ERC-80-8.