

بررسی فشارهای دینامیکی ناشی از برخورد جت خروجی از پرتابه جامی شکل در زوایای مختلف

منوچهر فتحی مقدم^۱، جلیل کرمان نژاد^{۲*}، الهام قنبری عدیوی^۳، ماهر عبیداوی^۴، فریدالدین هدایی^۵

۱- استاد گروه سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز Kermannezhad@gmail.com

۳- دانشجوی دکتری سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی دانشگاه شهید چمران

۵- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی دانشگاه شهید چمران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۴/۴

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۷/۴

چکیده

در این تحقیق فشارهای دینامیکی ناشی از جت خروجی از پرتابه جامی شکل به ازای زوایای مختلف برخورد رفتار سنجی شده است. دبی، فاصله افقی و عمودی محل برخورد از قله جت و زاویه برخورد جت به محل در رفتار فشارهای دینامیکی نقش دارند. آزمایش‌هایی به ازای دبی‌های ۰/۱۱، ۰/۱۸، ۰/۲۵، ۰/۳۲، ۰/۳۹ و ۰/۳۹ متر مکعب بر ثانیه و زوایای برخورد ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه انجام شد. جهت ثبت نوسانات فشاری از فشارسنج الکترونیکی استفاده گردید. بعد از برقراری رابطه بین پارامترها مشخص گردید که پارامترهای مستقل $\frac{H-h}{L}$ (نسبت فاصله قائم قله جت تا محل برخورد به فاصله افقی آن) و θ (زاویه برخورد) بیشترین تأثیر را در $P/(V^2/2g)$ (نسبت ارتفاع فشار به ارتفاع سرعتی) دارند. در انتها با استفاده از پارامترهای بدون بعد رابطه‌ای توانی جهت تعیین میزان حداکثر فشار دینامیکی ارائه شده است.

کلید واژه ها: فشار دینامیکی، زاویه برخورد، فشار سنج الکترونیکی.

Effect of Angle of Impact on Dynamic Pressure of the Flip Bucket Jets

M. Fathi Moghadam¹, J. Kermannezhad², E. Ghanbari Adivi³, M. Obeydavi⁴ and F.Hodaiei⁵

1- Professor, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.

2- MSc. in Water Structures, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran. kermannezhad@gmail.com

3- Ph.D. Student, in Water Structure, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran.

4- MSc. Student, in Water Structures, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran.

5- MSc. Student, in Water Structures, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran.

Received: 20.Sep.2010

Accepted: 25.Jun.2011

Abstract

In this study, dynamic pressures due to impact of a ski jump out of a flip bucket downstream of a chute spillway model have been studied. Experiments were performed for five discharge (0.11, 0.18, 0.25, 0.32, 0.39 m³/s per unit width) and four jet impact angles (0°, 30°, 60°, 90°). Fluctuation of dynamic pressure was measured using a 250 mbar pressure transducer. Discharge (q), horizontal and vertical distance from the peak to jet impact location (L, H-h) and angle impact in downstream (θ) were considered as the main parameters affecting the dynamic pressure. Results showed that pressure coefficient is highly sensitive to horizontal and vertical distances to impact location as well as to the impact angle. Using dimensionless parameters, a power function was correlated for calculation of the dynamic pressure for variable impact angle.

Keywords: Dynamic pressure, Sky jump, jet impact, Transducer

مقدمه

یکی از سازه‌های مستهلک کننده انرژی در پایین دست سدها، استخرهای عمیق می‌باشند. به‌طور کلی طراحی استخرهای عمیق بر مبنای تعیین عمق آب با استفاده از پارامترهای دبی، عمق پایاب، اختلاف ارتفاع سطح آب مخزن تا پایاب و اندازه مصالح بستر پایین دست می‌باشد ولی در بعضی شرایط به دلایل اقتصادی و ایمنی، طراحی حوضچه با استفاده از عمق آبشستگی مناسب نمی‌باشد در این صورت از حوضچه‌های پوشش داده شده توسط دال بتنی استفاده می‌گردد و طراحی براساس تعیین توزیع فشارهای وارد به کف و دیواره‌ها و حدود نوسانات آنها تحت تأثیر پارامترهای مؤثر شامل دبی، سرعت، ارتفاع ریزش، عدد فرود، عمق آب در حوضچه و ابعاد آن پرداخته می‌شود. (زرزانی و برقی، ۱۳۸۲). در مواردی که سد در دره‌های باریک و پیچ دار قرار می‌گیرد هنگام خروج جت جریان از سرریز و یا پرتابه جامی احتمال برخورد با دیواره صخره‌ای مقابل تحت زاویه‌های مختلف وجود دارد. فشار وارد شده می‌تواند باعث ایجاد ترک و در نهایت شکست صخره شود. خصوصیات مثل غیر همگنی، ناهمسانی و تغییرات سه بعدی خصوصیات جریان‌های متلاطم در سازه‌های مستهلک کننده انرژی و همچنین دشواری محاسبه و تعیین فشارهای نوسانی در این سازه، از جمله مشکلاتی است که مانع از مطالعه تحلیلی و دقیق این گونه جریان‌ها می‌شود. در این موارد استفاده از مدل فیزیکی یکی از مناسب ترین روش‌ها برای بررسی و مطالعه متغیرهای هیدرولیکی از جمله فشار هیدرودینامیکی در این سازه‌ها می‌باشد. (ارواین و همکاران^۱، ۱۹۹۷). مکانیزم استهلاک انرژی و ارزیابی فشار دینامیکی در حوضچه استغراق توسط محققین بسیاری در دو دهه اخیر مورد مطالعه و تحقیق قرار گرفته است. هاسلر و هارتونگ^۲، (۱۹۷۳) به کمک مدل فیزیکی، به بررسی فشار مرکزی در محل برخورد جت‌های قائم پرداختند. نحوه استهلاک پروفیل فشار در جت‌های دایره‌ای مایل توسط بلاتوس و راجاراتنام^۳ (۱۹۷۴) مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه این مطالعات می‌توان به تلاش‌های کاستلو و همکاران^۴ (۲۰۰۲، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷)، ارواین و همکاران (۱۹۹۷)، بولارت و اشالیس^۵ (۲۰۰۳)، در زمینه فشارهای دینامیکی ناشی از جت در حوضچه‌های استغراق اشاره کرد. زرزانی و برقی (۱۳۸۲) با مطالعه بر روی حوضچه‌های استغراق مستطیلی، تأثیر عرض کف حوضچه را بر نحوه توزیع فشار دینامیکی مورد بررسی قرار دادند. با این حال تاکنون فشارهای دینامیکی جریان خروجی از پرتابه جامی شکل کمتر بررسی

شده است و این موضوع که زاویه جت هنگام برخورد تا چه اندازه می‌تواند در فشارهای دینامیکی تأثیر بگذارد همچنان نامشخص است. هدف از این مطالعه بررسی تغییرات فشار دینامیکی ناشی از جت خروجی از پرتابه‌های جامی شکل تحت زوایای مختلف برخورد در دبی‌های مختلف در محل برخورد جت در پایین دست پرتابه جامی شکل است. این تحقیق بر این فرضیه استوار است که زاویه برخورد جت در پایین دست عامل مهمی در ایجاد فشارهای دینامیکی است. به طوری که با تغییر زاویه برخورد ضربه‌های ایجاد شده و همچنین فشار کلی وارد شده در محل برخورد جت تغییر خواهد نمود و با توجه به این مطلب می‌توان پایداری محل برخورد جت را بررسی نمود و با دانستن میزان فشار وارد شده، دال بتنی کف حوضچه‌های آرامش پایین دست را متناسب با فشارهای وارد شده، طراحی نمود.

تئوری تحقیق

در ادامه به توضیح عوامل مؤثر در رفتار جت پرتابی، تقسیم بندی جریان جت در محل برخورد و همچنین پارامترهای مناسب جهت نمایش فشار و نوسانات ایجاد شده در محل برخورد جت پرداخته شده است.

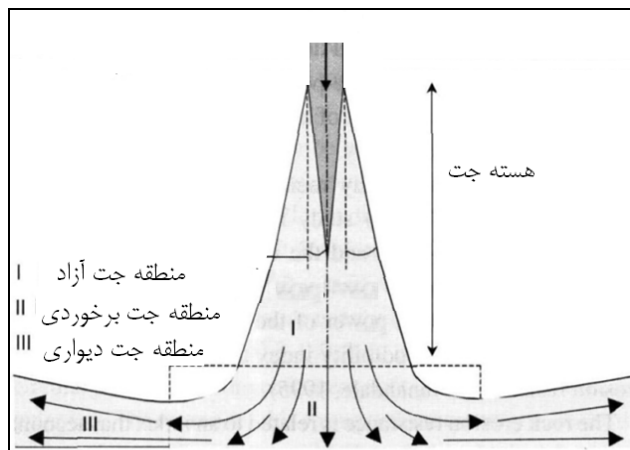
خصوصیات جریان جت

می‌توان گفت جت نوعی جریان آشفته است که به کمک یک منبع مومنت پیوسته تولید می‌شود. رفتار جت به پارامترهای مختلف جت از قبیل سرعت جت، لزوجت، جرم واحد حجم سیال و همچنین پارامترهای هندسی مانند موقعیت مختصاتی، قطر جت و ارتفاع آن و پارامترهای محیطی شامل شرایط محیطی سیالی که جت در آن وارد می‌شود مانند چگالی آن بستگی دارد. بعد از خروج جت از پرتابه، میانگین نوسانات سرعت، از مرکز جت به سمت محیط آن توزیع می‌یابد. در نتیجه سطح جت کاملاً آشفته شده و ممکن است حباب‌های هوا وارد جت شده و به سمت هسته مرکزی حرکت می‌کند. در اثر تبادل مومنت با هوای محیط اطراف، انرژی جنبشی جریان جت کاهش یافته، در نتیجه جت به دو ناحیه اصلی شامل هسته و ناحیه بازشدگی و پخش تقسیم می‌شود. (فالوی و ارواین^۶، ۱۹۸۸).

تقسیم بندی جریان جت در محل برخورد

نواحی مختلف جریان تأثیر زیادی بر روی نحوه توزیع فشار هیدرودینامیک دارد. بسیاری از محققین به بررسی تأثیر نواحی مختلف جریان بر فشار و سرعت پرداخته‌اند که کامل ترین بررسی‌ها به تحقیقات بلاتوس و راجاراتنام (۱۹۷۴ یا ۱۹۷۶) روی برخورد

- 1 - Ervine et al
- 2 - Hasler and Hartung
- 3 - Beltaos and Rajaratnam
- 4 - Casttilo et al.
- 5 - Bollaert and Schleiss



شکل ۱- پخش دو بعدی جت و طول هسته جت (ناحیه گسترش جت) (ارواین و فالوی، ۱۹۹۷)

برخورد ایجاد می‌گردد. این عامل توسط ضریب فشار (C_p) تعریف می‌گردد که به صورت رابطه (۱) محاسبه می‌گردد:

$$C_p = \frac{H_m}{\frac{V_j^2}{2g}} \quad (1)$$

$$V_j = \sqrt{U_0^2 + 2gH} \quad (2)$$

H_m : میانگین فشارهای دینامیکی (متر)، V_j : سرعت جت در لحظه برخورد به سطح آب (متر بر ثانیه)، U_0 : سرعت اولیه تشکیل جت (متر بر ثانیه) و H : ارتفاع سقوط (متر) می‌باشد. هر چه مقدار (C_p) بیشتر باشد فشار وارد شده بیشتر بوده و احتمال شکستگی در محل برخورد افزایش می‌یابد.

عامل دوم نوسانات فشار است. هر چه میزان نوسانات فشار بیشتر باشد یا به عبارتی اختلاف بین حداکثر و حداقل فشار وارد شده بیشتر باشد احتمال شکستگی دال کف به علت تغییر ناگهانی فشار بیشتر است. این عامل توسط حداکثر و حداقل مقادیر نوسانات فشار که به ترتیب با C_p^+ و C_p^- نشان داده می‌شوند، تعریف می‌گردد.

$$C_p^+ = \frac{H_{max} - H_m}{\frac{U_j^2}{2g}} \quad (3)$$

$$C_p^- = \frac{H_m - H_{min}}{\frac{U_j^2}{2g}} \quad (4)$$

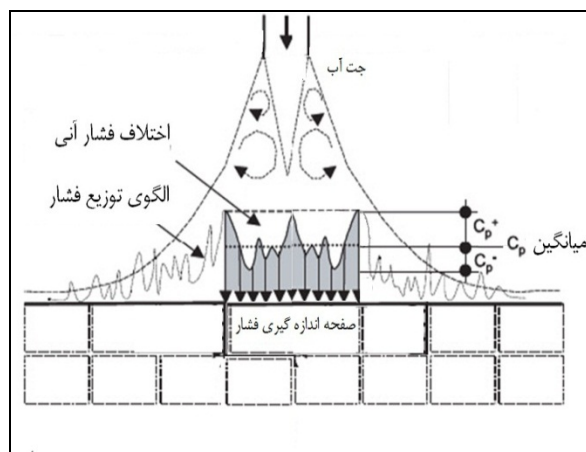
جت‌های مایل و قائم به صفحه مسطح برمی‌گردد. آن‌ها جریان جت را به سه ناحیه مجزا (شکل ۱) طبقه بندی کردند:

- ۱- ناحیه جت آزاد^۱، که در آن مشخصات جریان نزدیک به جت فاقد آشفتگی است.
- ۲- ناحیه برخورد جت^۲، که در آن جت تحت تأثیر انحراف قابل ملاحظه و تغییرات سرعت و فشار ناشی از حضور مرزهای جامد می‌باشد.
- ۳- ناحیه جت دیواره‌ای^۳، که در آن جت موازی مرزهای جامد می‌گردد.

بیشترین فشارهای هیدرودینامیکی در ناحیه برخورد جت و در نزدیکی محل برخورد به کف اتفاق می‌افتد. بنابراین فشارهای هیدرودینامیکی جت آزاد ابتدا تبدیل به فشار با نوسانات بسیار زیاد در ناحیه برخورد می‌شود و سپس بر اساس پخش افقی جت، تبدیل به دیواره برشی^۴ می‌گردد. بنابراین، این ناحیه برخورد است که مستقیماً در میزان فشار جت تأثیر دارد چرا که نوسانات جت در این ناحیه به شکاف لایه زیرین نفوذ کرده و با فرآیند پیش رونده خود موجب شکست دال کف بتنی یا صخره محل برخورد می‌گردد.

پارامترهای مناسب جهت نمایش فشار و نوسانات در محل برخورد در محل برخورد جت دو عامل نقش اساسی در ایجاد شکستگی در دال کف دارند. عامل اول متوسط میزان فشاری است که در محل

-
- 1- Free jet region
 - 2- Impinging jet region
 - 3- Wall jet region
 - 4- Wall shear stress



شکل ۲- اختلاف فشارهای آبی وارد بر بلوک سنگی در معرض لایه برشی جت ریزشی (بلتائوس و راجاراتنام، ۱۹۷۶)

فشار در نقاط مختلف صفحه از آن استفاده می شود. نوسانات فشار توسط فشار سنج الکترونیکی اندازه گیری و ثبت شده است، به همین منظور از دستگاه مبدل آنالوگ به دیجیتال جهت انتقال داده های برداشت شده توسط فشارسنج به کامپیوتر استفاده گردیده است. دستگاه ساخته شده جهت ایجاد زوایا و ارتفاعات مختلف برخورد جت در شکل (۳) نشان داده شده است. در شکل (۴) برخورد جت آب به صفحه اندازه گیری فشار نشان داده شده است.

روش انجام آزمایش

مراحل انجام آزمایش بدین گونه است که ابتدا دبی مورد نظر به کمک شیر ورودی و سرریز مستطیلی خروجی فلوم تنظیم شده است. با برخورد جت به صفحه، پیزومترهای متصل به منافذ روی صفحه شروع به نشان دادن فشارهای وارد شده به صفحه می نمایند. جهت ثبت نوسانات فشار، ترانسدیوسر فشار به آن پیزومتری متصل می شود که بیشترین فشار را در مقایسه با دیگر پیزومترها نشان می دهد (این مقایسه از طریق تابلو پیزومتری که تمامی پیزومترها به آن متصل هستند انجام می شود). از آنجا که سرعت در محل برخورد حائز اهمیت می باشد لذا با استفاده از روابط حاکم بر حرکت پرتابی و داشتن اطلاعات لحظه پرتاب جریان، مانند سرعت اولیه، زاویه پرتاب و فاصله تا محل برخورد، سرعت در لحظه برخورد محاسبه شده است. پس از اتمام برداشت فشارها در دبی مورد نظر، زاویه قرارگیری صفحه تغییر کرده و مراحل فوق مجدداً تکرار می گردد. در نهایت با اتمام اندازه گیری ها در یک دبی و زوایای مختلف، دبی تغییر داده شده و تمامی آزمایش ها با دبی جدید انجام شده است.

به طوری که H_{max} : حداکثر فشار اندازه گیری شده، H_m : میانگین فشار و H_{min} : حداقل فشار اندازه گیری شده را نشان می دهند و

$$\frac{U_j^2}{2g} : \text{ارتفاع نظیر انرژی جنبشی در لحظه برخورد می باشد.}$$

(بلتائوس و راجاراتنام، ۱۹۷۶). در شکل (۲) بصورت شماتیک مفهوم C_p^+ ، C_p^- و همچنین نوسانات فشار نشان داده شده است.

مواد و روش ها

تجهیزات و مدل آزمایشگاهی

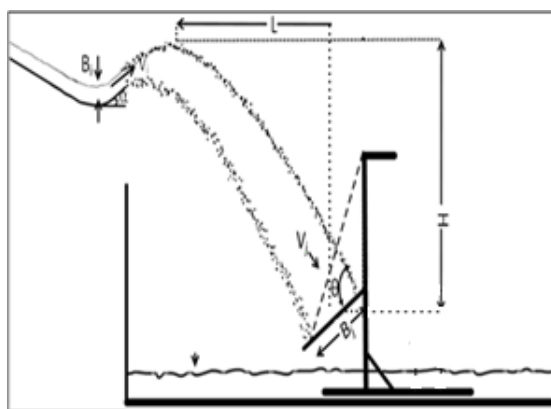
در این مطالعه آزمایش هایی به ازای دبی های ۰/۱۱، ۰/۱۸، ۰/۲۵، ۰/۳۲ و ۰/۳۹ متر مکعب بر ثانیه و زوایای برخورد ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه انجام شده است. پرتابه جامی شکل شامل عرض ۰/۵ متر، زاویه پرتاب (α) ۲۳ درجه، تنداب با شیب ۲/۸ درصد تا فاصله ۶/۳۲ متری از ابتدا ادامه یافته و بعد از آن با شیب ۱۱/۲ درصد (تغییر شیب) به ابتدای قسمت پرتاب کننده جامی متصل می گردد. طول کلی تنداب برابر ۹ متر می باشد. سیستم تغذیه و گردش آب نیز به تبع همان سیستم فلوم مذکور می باشد که شامل سیستم پمپاژ، سرریز مستطیلی برای اندازه گیری دبی، مخزن آرام کننده با قابلیت تنظیم ارتفاع جریان می باشد. جهت اندازه گیری فشارها در محل برخورد از یک صفحه پلاکسی گلاس به ابعاد ۰/۵×۰/۵ متر که تعداد ۳۷ منفذ به صورت دوایر متحد المركز روی آن تعبیه شده است استفاده گردیده است. برای ایجاد زوایای مختلف برخورد این صفحه روی وسیله ای که جهت تغییر زاویه برخورد ساخته شده نصب گردیده است. هر منفذ، از زیر به یک لوله متصل شده که جهت اندازه گیری



شکل ۳- وسیله ایجاد زاویه و صفحه اندازه‌گیری فشار



شکل ۴- برخورد جت آب به صفحه اندازه‌گیری فشار



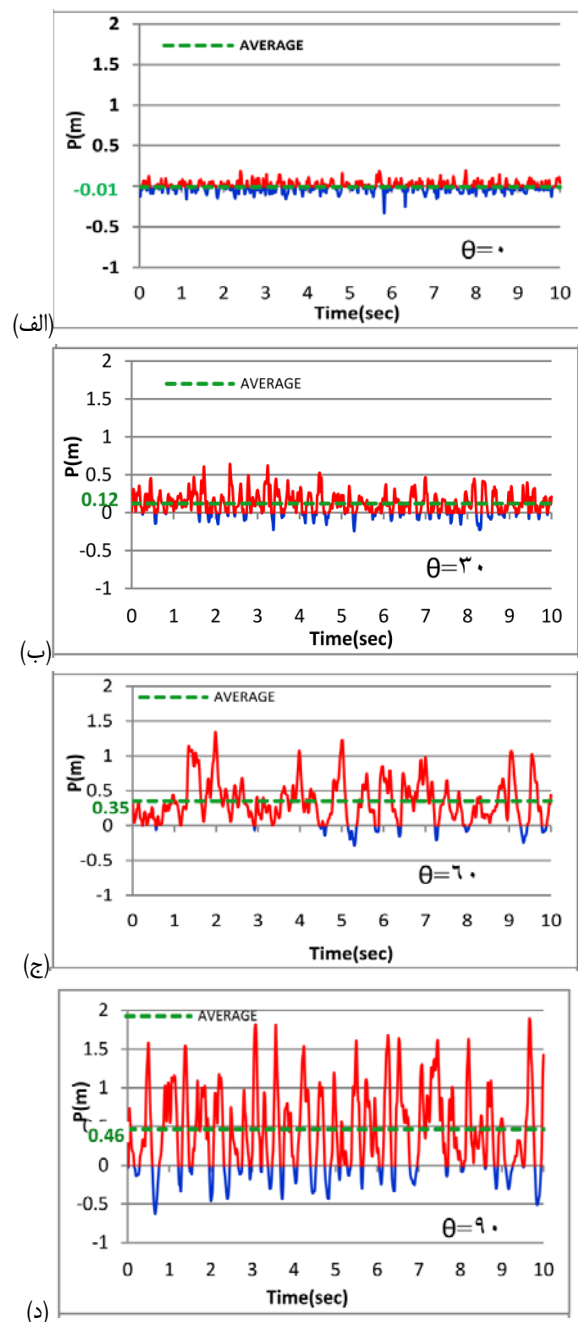
شکل ۵- نمایی شماتیک از برخورد جت به صفحه

پارامترهای مؤثر در فشار حاصل از برخورد جت به صفحه به صورت رابطه (۵) می‌باشد:

$$f(P, H, L, B_i, B_j, \alpha, \theta, V_j, g, \rho_w, \mu_w) = 0 \quad (5)$$

تحلیل ابعادی

پارامترهای مؤثر در تحلیل ابعادی در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۶ - نوسانات فشار به ازای دبی $11 \text{ m}^3/\text{s}$ و زوایای برخورد مختلف

تحلیل ابعادی انجام گرفت و هشت رابطه بی بعد بدست آمد. با بررسی پارامترهای بی بعد به دست آمده مشاهده شد که می توان با انجام عملیات جبری بین پارامترهای بی بعد، اعداد بی بعد معروفی را مانند عدد فرود، عدد رینولدز و عدد اولر استخراج نمود. همچنین با تقسیم پارامترهای بی بعد به یکدیگر پارامترهای بی بعد تکراری حذف می شوند، در نهایت اعداد بی بعد بی تأثیر در آزمایش ها

P : فشار متوسط، H : فاصله قائم قله تا محل برخورد جت به صفحه، L : فاصله افقی قله جت تا محل برخورد. B_z : ضخامت جت قبل از پرتاب، B_z : ضخامت جت در محل برخورد، α : زاویه پرتاب جت، θ : زاویه برخورد جت به صفحه، V_j : سرعت جت در لحظه برخورد، g : شتاب ثقل، ρ_w : جرم حجمی آب، μ_w : لزوجت دینامیکی آب می باشد. با استفاده از روش π باکینگهام و انتخاب متغیرهای تکراری

منفی را می‌توان در این نکته جستجو کرد که در این حالت جت آب با سرعت به صورت مماس با صفحه برخورد نموده و باعث ایجاد نوعی تنش کششی روی سطح صفحه و پیژومترهایی که ترانسدیوسر متصل شده است می‌گردد. بر اساس نتایج ارائه شده در شکل (۷) به ازای یک دبی ثابت با افزایش زاویه برخورد، میزان میانگین فشار افزایش می‌یابد زیرا با افزایش زاویه برخورد مولفه عمودی فشار وارد بر صفحه بیشتر می‌شود. در یک زاویه برخورد ثابت به ازای دبی‌های مختلف با افزایش دبی، میزان سرعت جریان افزایش یافته که این امر باعث می‌گردد تا فشار بیشتری در لحظه برخورد به صفحه وارد شود.

حداکثر و حداقل مقادیر نوسانات فشار دینامیکی

همان‌طور که در قسمت قبلی ذکر شد نوسانات حداکثر و حداقل فشار توسط دو ضریب C_p^+ و C_p^- به صورت کمی در می‌آیند. این ضرایب بر اساس رابطه‌های (۳) و (۴) محاسبه می‌گردند. C_p^+ برابر است با اختلاف بین فشار حداکثر و متوسط اندازه گیری شده تقسیم بر انرژی جنبشی جریان در محل برخورد و C_p^- برابر است با اختلاف بین فشار متوسط و فشار حداقل اندازه گیری شده تقسیم بر انرژی جنبشی در محل برخورد. در شکل‌های (۸) و (۹) مقادیر C_p^+ و C_p^- را به ازای پنج دبی و چهار زاویه برخورد نشان داده شده است. نمودارهای ارائه شده در شکل‌های (۸) و (۹) بیان کننده میزان نوسانات فشار می‌باشد. بر اساس رابطه (۳) یا (۴) در صورت رابطه اختلاف فشار حداکثر و یا حداقل با فشار متوسط قرار دارد. هر اندازه مقدار C_p^+ و C_p^- بیشتر باشد نشان دهنده این موضوع است که اختلاف بیشتری بین بیشترین یا کمترین فشار ثبت شده با فشار متوسط وجود دارد که این امر بیان کننده مفهوم وجود نوسانات بیشتر

مانند عدد رینولدز و زاویه پرتابه جامی (به علت ثابت بودن در آزمایش‌ها) از بین اعداد بی بعد حذف و در نهایت به ازای پارامتر فشار رابطه حل شد. رابطه (۶) نتیجه نهایی مراحل ذکر شده می‌باشد:

$$\frac{P(m)}{\frac{V_i^2}{2g}} = f_5(F_{ri}, \theta, \frac{H}{L}) \quad (6)$$

که در این رابطه F_{ri} عدد فرود می‌باشد و سایر پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند.

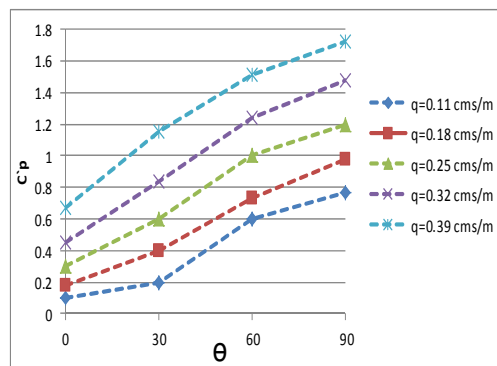
نتایج و بحث

نوسانات فشار در محل برخورد جت به صفحه

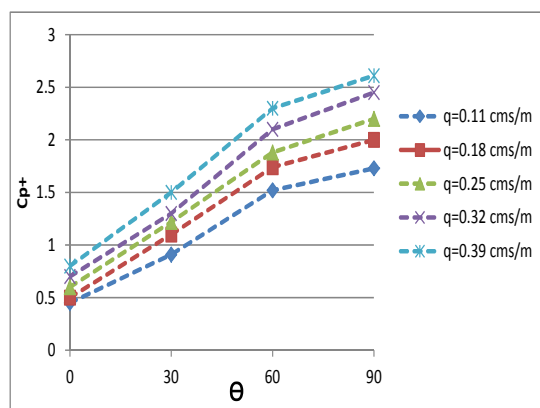
نوسانات فشار ثبت شده توسط ترانسدیوسر به ازای دبی $0.11 \frac{m^3}{s}$ واحد و زوایای برخورد ۰، ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه (جت عمود بر صفحه) در شکل (۶) نشان داده شده است. بیشترین نوسانات فشار و همچنین بیشترین مقدار میانگین در شکل (۶-د) در زاویه برخورد ۹۰ درجه رخ داده است که با کاهش زاویه برخورد، نوسانات فشار و میانگین آنها کاهش می‌یابد. با کاهش زاویه برخورد نوسانات مثبت فشار با نرخ بزرگتری نسبت به نوسانات منفی کاهش می‌یابند که این امر باعث کاهش میانگین نوسانات فشار می‌شود به طوری که در زاویه برخورد صفر درجه، میانگین نوسانات فشار منفی شده است.

میانگین فشار های دینامیکی در محل برخورد به صفحه

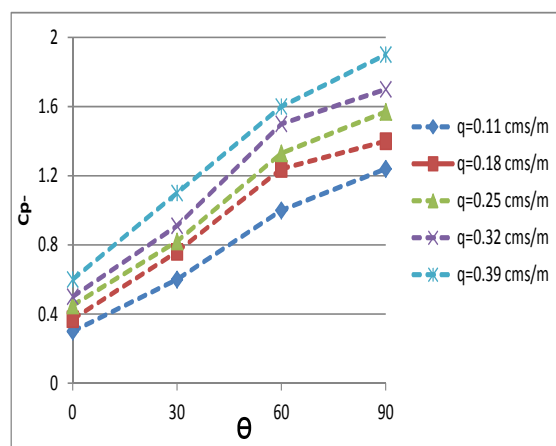
همان‌گونه که در قسمت‌های قبل اشاره شد میانگین فشارهای دینامیکی در محل برخورد توسط ضریب بی بعد C_p نشان داده می‌شود. مقادیر C_p در زاویه برخورد صفر درجه منفی است. دلیل این مقدار



شکل ۷- مقادیر C_p به ازای زوایا و دبی‌های مختلف



شکل ۸- مقادیر C_p^+ به ازای زوایا و دبی‌های مختلف



شکل ۹- مقادیر C_p^- به ازای زوایا و دبی‌های مختلف

برخورد ۶۰ درجه این مقدار به ۲۸ درصد افزایش می‌یابد، بعد از آن به ازای زوایای برخورد ۳۰ و ۰ درجه فراوانی فشارهای منفی به ترتیب ۳۰ درصد و ۵۴ درصد می‌شود. بنابراین مطابق شکل (۱۰) می‌توان گفت با کاهش زاویه برخورد از ۹۰ درجه به صفر درجه، فراوانی فشارهای منفی، از کل فشارها، افزایش یافته و به همان نسبت سهم فشارهای مثبت کاهش می‌یابد. این موضوع نشان می‌دهد که با افزایش زاویه از صفر به ۹۰ درجه شدت ضربه‌های منفی بیشتر، ولی در زمان کمتری اتفاق می‌افتد.

بررسی اثر پارامترهای به دست آمده توسط تحلیل ابعادی بر مقادیر فشار حداکثر (P_{max})

همان‌طور که در تحلیل ابعادی مشخص گردید، فشار دینامیکی با پارامترهای مطرح شده به صورت کلی رابطه بدون بعد (۶) استخراج شد.

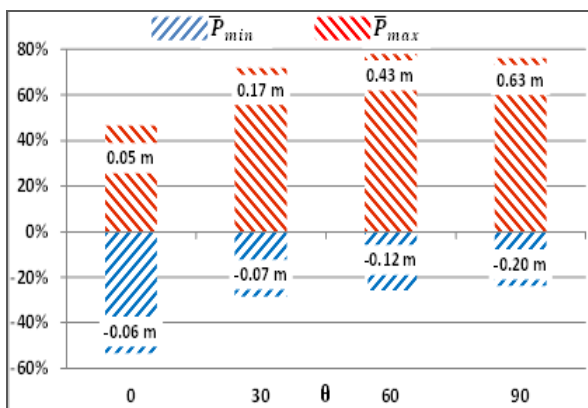
است. بر اساس شکل (۸) به ازای یک دبی ثابت مقادیر C_p^+ با افزایش زاویه برخورد افزایش می‌یابد که این امر نشان دهنده افزایش نوسانات فشار با افزایش زاویه برخورد می‌باشد. همچنین به ازای یک زاویه برخورد ثابت با افزایش دبی میزان نوسانات فشار افزایش می‌یابد.

بررسی روند تغییرات میانگین فشار مثبت (\bar{P}^+) و حداقل

(\bar{P}^-) به ازای تغییر زاویه برخورد

در شکل (۱۰) درصد فراوانی فشارهای مثبت و منفی به صورت نسبتی از کل فشارهای ثبت شده در هر زاویه نشان داده شده است. همچنین متوسط فشارهای مثبت و منفی بصورت جداگانه روی نمودار مشخص شده است.

شکل (۱۰) نشان می‌دهد که در زاویه برخورد ۹۰ درجه فراوانی فشارهای منفی ۲۴ درصد کل فشارهای ثبت شده است، در زاویه



شکل ۱۰- میانگین فشارهای مثبت و منفی به ازای دبی $0.11 \text{ (m}^3/\text{s)}$ و زاویه های $0-90$ درجه

جدول ۱- پارامترهای حاصل از رگرسیون

b_0	b_1	b_2	b_3	R^2	مستقل	وابسته
۱/۲۷	۰/۶۸	۰/۳۴	۰/۲۲	۰/۸۲	$\theta, Fr, \frac{H}{L}$	$\frac{P(m)}{\frac{V_i^2}{2g}}$

در جدول (۱) پارامترهای مستقل و وابسته و مقدار همبستگی ارائه شده است.

براساس پارامترهای جدول (۱) رابطه (۷) استخراج گردیده است. در این معادله θ بر حسب رادیان و فشار در محل برخورد بر حسب متر آب می‌باشد.

$$\frac{P(m)}{\frac{V_i^2}{2g}} = 1.27 * \theta^{0.68} * Fr^{0.24} * \left(\frac{H}{L}\right)^{0.22} \quad (10)$$

نتیجه‌گیری

مقادیر C_p در زاویه برخورد صفر درجه، منفی است. به این دلیل که در این زاویه با عبور جریان به صورت موازی با صفحه، مقداری کشش روی صفحه به وجود آمده که موجب این فشار منفی می‌گردد.

بیشترین نوسانات فشار و همچنین، بیشترین مقدار میانگین نوسانات در زاویه برخورد 90 درجه رخ داده است، که با کاهش زاویه برخورد، نوسانات فشار و میانگین نوسانات کاهش می‌یابد.

برای به دست آوردن بهترین نسبت یا نسبت های بدون بعد که بیشترین همبستگی را با $\frac{P(m)}{\frac{V_i^2}{2g}}$ داشته باشند، ابتدا کلیه نسبت های

به دست آمده از این چهار کمیت محاسبه شد، سپس با استفاده از بخش Solver نرم افزار Excel نسبت هایی از این کمیت ها که بیشترین همبستگی را با پارامتر $\frac{P(m)}{\frac{V_i^2}{2g}}$ داشتند به عنوان بهترین

رابطه، مبنای تدوین این تحقیق قرار داده شد.

رگرسیون توانی

جهت تعیین رابطه مناسب جهت برآورد مقادیر $\frac{P(m)}{\frac{V_i^2}{2g}}$ به علت

اینکه مقادیر زوایای برخورد نسبت به اعداد فرود و مقادیر $\frac{H}{L}$ زیاد می‌باشند. در محاسبات زوایا، به صورت رادیان استفاده شده است.

براساس رگرسیون توانی مشخص گردید که تأثیر زاویه بر روی فشارهای به وجود آمده بسیار از دیگر پارامترها بیشتر می باشد.

تشکر و قدردانی

از گروه سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز جهت ایجاد آزمایشگاه های مناسب و همچنین تشکر و قدردانی می شود از دقت نظر داوران محترم این مقاله .

با افزایش دبی مقادیر C_p' افزایش می یابد، همچنین در یک دبی ثابت با افزایش زاویه برخورد از صفر به ۹۰ درجه مقادیر C_p' افزایش می یابد.

با کاهش زاویه برخورد از ۹۰ به صفر درجه، سهم فشارهای منفی، از کل فشارهای برداشت شده افزایش یافته و به همان نسبت سهم فشارهای مثبت کاهش می یابد.

منابع

- ۱- زررانی و برقی، ۱۳۸۲: بررسی نوسانات فشار هیدرودینامیکی جت های دایره ای و مستطیلی در حوضچه های استغراق: پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، صفحات ۲۵-۳۵.
- 2- Beltaos, S. and N. Rajaratnam. 1974. Impinging circular turbulent jets. Journal of Hydraulic Division, ASCE, 100: 1313-1328 .
- 3- Beltaos, S, and N. Rajaratnam. 1973. Plan of turbulent impinging Journal of Hydraulic Research, 2: 29-59
- 4- Bollaert, E. and A. Schleiss, 2003. Scour of rock due to the impact of plunging high velocity jet. Part II. Journal of Hydraulic Research., 41(5) :451-464.
- 5- Castillo-E.,L.G.:(2002).Parametrical analysis of the ultimate scour and mean dynamic pressures at plunge pools. International Workshop on Rock Scour due to High Velocity Jet, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- 6- Castillo-E.,L.G. (2006).Aerated jets and pressure fluctuation in plunge pools. 7th Int. Conf. on Hydro Science and Engineering (ICHE-2006). Philadelphia, USA.
- 7- Castillo-E.,L.G.(2007).Pressures characterization of undeveloped and developed jets in shallow and deep pool. 32nd Congress of IAHR, The International Association of Hydraulic Engineering and Research Venice, Italy.
- 8- Ervine, D. A., Falvey, H. T. and w. Withers. 1997, Pressure fluctuation on plunge pool floors, Journal of Hydraulic Research, 35(2):257-279.
- 9- Falvey, H. T. and Ervine, A. D. (1988). Aeration in jets and high velocity flows. Proc. International Symposium on Model-Prototype Correction of hydraulic Structures, Colorado Springs- Colorado, 22-55.
- 10- Hartung, F. and E. Hausler(1973). Scours, stilling basins and downstream protection under free overfall jets dams. Transaction 11th ICOLD Madrid, 39-56.