

اثر قطر خروجی و ارتفاع ریزش بر ضریب فشار دینامیکی جت‌های قائم در حالت ریزش آزاد

امین سالم نیا*^۱، منوچهر فتحی مقدم^۲، صادق حقیقی پور^۳

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۲/۱۱/۱۴

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

^۲ استاد گروه سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

^۳ استادیار گروه عمران موسسه آموزش عالی جهاد دانشگاهی خوزستان

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: amin_salemnia@yahoo.com

چکیده

حوضچه‌های استغراق یکی از انواع سازه‌های مستهلک کننده انرژی اضافی جریان‌های ریزش در پایین دست سدها می‌باشند. سرعت جریان در اثر برخورد جت آب به دیواره و بستر حوضچه به فشار دینامیکی تبدیل می‌شود. در انجام آزمایش‌ها از سیستم ترانسدیوسر فشار برای اندازه‌گیری فشارهای دینامیکی ناشی از جت دایره‌ای غیر مستغرق بر روی یک صفحه صاف استفاده گردید. نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که ضریب فشار دینامیکی با کاهش متوسط ۱۸ درصدی قطر نازل به طور میانگین ۱۴ درصد افزایش و با کاهش میانگین ۳۴ درصدی ارتفاع ریزش در حدود ۱۳ درصد افزایش می‌یابد. اما روند تغییرات ضریب فشار دینامیکی در برابر افزایش دبی (عدد فرود) ثابت نبوده و بعد از رسیدن به یک نقطه بیشینه روندی کاهشی پیدا می‌کند.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع ریزش، جت قائم، حوضچه استغراق، فشار دینامیکی

Effect of Nozzle Diameter and Falling Height on the Dynamic Pressure Coefficient of Vertical Free Water Jets

A Salemnia^{1*}, M Fathi Moghdam², S Haghhighipour³

Received: 30 December 2012, Accepted: 3 February 2014

¹Former M.Sc. Student, Dept. of Water Engineering of Shahid Chamran University, Iran

²Prof., Dept. of Water Engineering of Shahid Chamran University, Iran

³Assist Prof., Dept. of Civil Engineering Post Graduate Institute of Khuzestan Jahad Daneshgahi, Iran

* Corresponding Author Email : amin_salemnia@yahoo.com

Abstract

Stilling basins are constructed at the downstream of dam spillways to dissipate the excess energy of the spilled flows. The turbulent flow velocity converts to the dynamic pressure due to impact of flow pockets with the basin's walls and bed. Experiments were conducted using a pressure transmitter system to measure the resulted dynamic pressures from the impact of a series of rounded non-submerged jet on a flat plate. The analysis of data showed that a 18% moderate decrement in nozzle diameter caused a 14% moderate increment in the dynamic pressure coefficient and a 34% moderate decrement in jet drop length caused an approximately 13% increment in the dynamic pressure coefficient. Nevertheless, variations of the dynamic pressure coefficient with the increment of nozzle discharge had no regular trend and it began to decrease after reaching a maximum point.

Keywords: Dynamic pressure, Fall height, Stilling basin, Vertical jet

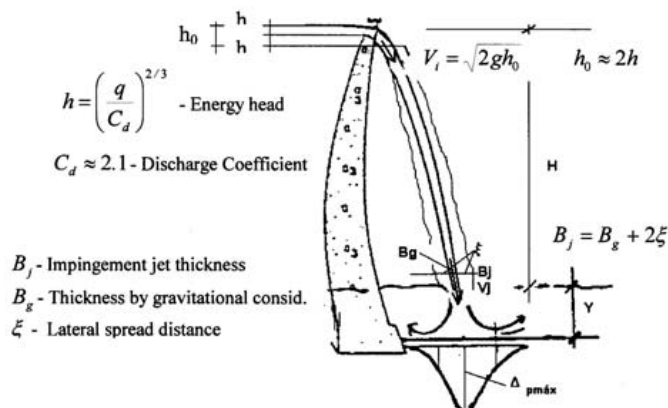
مقدمه

نهایتاً تخریب سد نگردد. به طور کلی طراحی حوضچه‌های استغراق بر مبنای تعیین عمق آبشستگی با استفاده از پارامترهای دبی، عمق پایاب، اختلاف ارتفاع سطح آب مخزن تا پایاب و اندازه مصالح بستر پایین‌دست می‌باشد. در بعضی شرایط به دلایل مختلفی از جمله ضرورت‌های اقتصادی و ایمنی، طراحی حوضچه با استفاده از عمق آبشستگی مناسب نمی‌باشد. در این صورت از حوضچه‌های پوشش داده شده استفاده می‌شود و طراحی آن براساس تعیین توزیع فشارهای وارد به کف و دیواره‌های حوضچه آن انجام می‌شود. ویژگی‌هایی چون غیر همگنی و تغییرات سه

در سال‌های اخیر نیاز به کاهنده‌های انرژی به منظور استهلاک انرژی جت آب ناشی از سیلاب‌ها که از روی سد عبور می‌کند مورد توجه است. به منظور تخلیه آب از کنار و یا از روی سدها معمولاً با سرریزهای آزاد آبشاری مستقر در تراز نزدیک به تاج سد و یا به کمک شوت‌های منحنی به پرتابه‌های جامی شکل صورت می‌گیرد، که در شکل ۱ خروج آب به صورت جت آزاد به هوا نشان داده شده است. اما مسئله اصلی آن است که جریان سیلاب به نحوی خارج گردد که انرژی بالای جت آب منجر به آبشستگی پایین‌دست و

می شود. به همین دلیل استفاده از مدل فیزیکی یکی از بهترین روش‌ها برای بررسی و مطالعه پارامترهای هیدرولیکی از جمله فشار دینامیکی در این سازه‌ها می‌باشد.

بعدی خصوصیات جریان های متلاطم در سازه‌های مستهلک کننده انرژی و همچنین عدم وجود روش کلی مشخص و معینی برای تعیین فشارهای دینامیکی در این سازه ها، مانع از مطالعه تحلیلی این گونه جریان‌ها



شکل ۱- خروج آب به صورت شماتیک از لبه سد (کاستلو ۲۰۰۷).

ورود هوا به آن نیز توسط این محققین مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه این مطالعات می‌توان به تلاش‌های کاستلو (۲۰۰۲، ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷)، کاستلو و همکاران (۱۹۹۴ و ۲۰۰۴) و بولارت و اشلیس (۲۰۰۳-۲۰۰۴) در زمینه فشارهای دینامیکی ناشی از جت آب در حوضچه‌های استغراق با توجه به متغیرهایی همچون عدد فرود جت و عمق آب درون حوضچه اشاره کرد. کرمان نژاد و همکاران (۲۰۱۱) در زمینه فشارهای دینامیکی ناشی از پرتابه‌های جامی شکل به مطالعه پرداختند. نتایج حاصله از مطالعات آن‌ها نشان می‌دهد بیش‌ترین نوسانات فشار و همچنین، بیش‌ترین مقدار میانگین نوسانات در زاویه برخورد ۹۰ درجه رخ داده است، که با کاهش زاویه برخورد، نوسانات فشار و میانگین نوسانات کاهش می‌یابد.

با توجه به مطالب عنوان شده می‌توان گفت که اثرات همزمان تغییرات ارتفاع ریزش و قطر خروجی کمتر مورد توجه محققین پیشین قرار گرفته است. به علاوه تحقیقاتی که تاکنون انجام گرفته است همگی در حضور عمق استغراق بوده است، با توجه به اینکه بیش‌ترین و بحرانی‌ترین حالت ضریب فشار دینامیکی در حالت جت‌های آزاد و یا عدم وجود عمق استغراق

در شکل ۱ مشخصات اصلی جت آب در برخورد با سطح آب در حوضچه عبارت است از، سرعت متوسط، V_j و ضخامت جت در لحظه برخورد، $B_j = B_g + \xi$ ، که در آن، B_g ضخامت جت با توجه به اثر گرانش و ξ افزایش جانبی ضخامت جت ناشی از اغتشاش است. که تقریباً برابر با ریشه دوم فاصله سقوط است. از سوی دیگر، باید اشاره نمود که اثر گرانش بر روی جت به کاهش قطر آن منجر خواهد شد (کاستلو ۲۰۰۷).

مکانیزم چگونگی اتلاف انرژی در حوضچه‌های استغراق و بررسی مقادیر مختلف فشارهای دینامیکی مورد توجه محققین بسیاری در طی دو دهه اخیر قرار گرفته است. بررسی‌های انجام شده توسط لنکستر (۱۹۶۱)، کولا (۱۹۶۶) و بلتائوس و راجاتنام (۱۹۷۶) از اولین مطالعاتی بود که بر روی بررسی فشار مرکزی در محل برخورد جت دایره‌ای قائم انجام شد. پس از آن ارواین و فالوی (۱۹۸۷) و ارواین و همکاران (۱۹۹۷) به بررسی نوسانات فشار دینامیکی با توجه به شدت توزیع آشفتگی جت آزاد پرداخته و نتایج جت‌های دایره‌ای را با جت‌های مستطیلی مقایسه کردند، به علاوه درجه شکست جت نیز قبل از ورود به حوضچه و اثرات

می‌باشد، می‌توان بیان نمود که هدف از این مطالعه بررسی تغییرات فشار دینامیکی ناشی از جت عمودی آزاد در ۴ دبی، ۵ ارتفاع ریزش و ۴ قطر خروجی متفاوت در حالت آزاد و بدون حضور عمق استغراق می‌باشد. این تحقیق بر این فرضیه استوار است که تغییرات عدد فرود که ناشی از قطر خروجی متفاوت و دبی‌های مختلف می‌باشد، عامل مهمی در فشارهای دینامیکی ایجاد شده است. به طوری که با تغییر قطر جت و دبی آن ضربه‌های ایجاد شده و همچنین فشار کلی وارد شده تغییر خواهد نمود. علاوه بر این افزایش ارتفاع ریزش می‌تواند در شرایط مختلف منجر به کاهش و یا افزایش نسبی سرعت جت شده و مقادیر متفاوتی از فشار را ایجاد نماید. با توجه به این مطلب می‌توان پایداری پایین‌دست سد را در مقابل برخورد جت بررسی و در صورت نیاز به صورت اقتصادی به تقویت و اصلاح پایین‌دست اقدام نمود.

$$\varepsilon \alpha \sqrt{x} \quad [1]$$

که در این معادله x همان‌گونه که در شکل ۲ نشان داده شده است فاصله از محل شروع ریزش است.

منطقه C منطقه‌ای است که در آن نوسانات سطح آشفته آن قدر بزرگ هستند که هوا بتواند به هسته جت نفوذ کرده و آن را از بین ببرد. در منطقه C ، جریان به صورت توده‌ای کاملاً پیوسته نیست و متشکل از توده‌های منحصربه‌فرد آب است. از آنجا که جت تا نقطه شکست یک توده پیوسته است، دو اثر متضاد قطر جت را تعیین می‌کند. یکی از این اثرات گسترش جت به علت آشفته‌گی در جریان و دیگری انقباض جت با توجه به شتاب گرانشی می‌باشد. ارواین و همکاران (۱۹۹۷) رابطه محاسبه طول شکست را در جت‌های دایره‌ای ارائه کرده‌اند:

$$\frac{L_b}{D_0 F_0} = \frac{1.05}{C^{0.82}} \quad [2]$$

در رابطه بالا L_b طول شکست، D_0 قطر جت و F_0 عدد فرود در جریان می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$F_0 = \frac{U_0}{\sqrt{gD_0}} \quad [3]$$

در رابطه فوق، C پارامتر آشفته‌گی نامیده شده که به صورت زیر معرفی شده است:

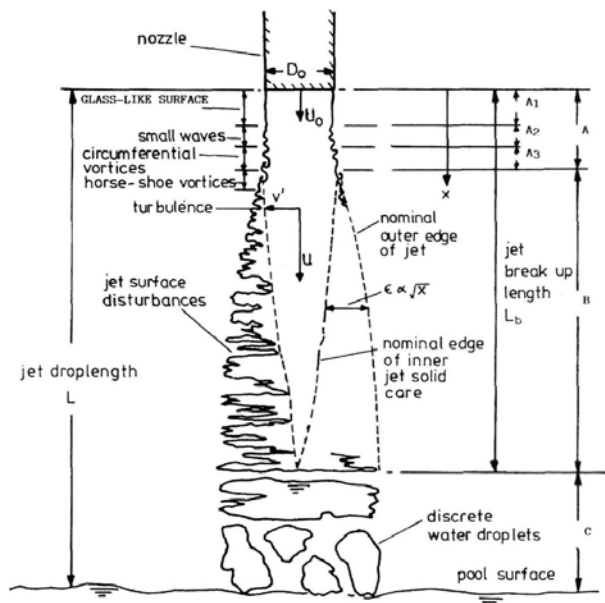
می‌باشد، می‌توان بیان نمود که هدف از این مطالعه بررسی تغییرات فشار دینامیکی ناشی از جت عمودی آزاد در ۴ دبی، ۵ ارتفاع ریزش و ۴ قطر خروجی متفاوت در حالت آزاد و بدون حضور عمق استغراق می‌باشد. این تحقیق بر این فرضیه استوار است که تغییرات عدد فرود که ناشی از قطر خروجی متفاوت و دبی‌های مختلف می‌باشد، عامل مهمی در فشارهای دینامیکی ایجاد شده است. به طوری که با تغییر قطر جت و دبی آن ضربه‌های ایجاد شده و همچنین فشار کلی وارد شده تغییر خواهد نمود. علاوه بر این افزایش ارتفاع ریزش می‌تواند در شرایط مختلف منجر به کاهش و یا افزایش نسبی سرعت جت شده و مقادیر متفاوتی از فشار را ایجاد نماید. با توجه به این مطلب می‌توان پایداری پایین‌دست سد را در مقابل برخورد جت بررسی و در صورت نیاز به صورت اقتصادی به تقویت و اصلاح پایین‌دست اقدام نمود.

مواد و روش‌ها

روابط حاکم

جت نوعی جریان آشفته است که به کمک یک منبع مومنتم پیوسته تولید می‌شود. رفتار جت به پارامترهای مختلف جت از قبیل سرعت جت، لزجت، 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.

یکی از مشکلات مهم در به وجود آوردن یک راه حل کلی برای جت‌های آب این است که جت‌های مستغرق در لحظه ورود به حوضچه استغراق رفتارهای یکسانی ندارند. بدین گونه که یا کاملاً شکسته شده و از بین می‌روند و یا فقط تا حدی شکسته می‌شوند. علاوه بر این، به دنبال ورود جت به حوضچه مقادیر قابل توجهی از هوا وارد شده که باعث کاهش دامنه فشار می‌گردد. شکل ۲ سه رژیم عمده جریان در یک جت عمودی نشان می‌دهد. منطقه A شکل‌گیری اولیه امواج را در سطح جت نشان می‌دهد. این امواج توسط تلاطم داخلی در جت تولید می‌شوند. در منطقه A_1 جریان آرام و جت



شکل ۲- رژیم‌های مختلف جریان در یک جت عمودی (ارواین و همکاران ۱۹۹۷).

متر که تعداد ۱۷ منفذ به صورت دایره متحدالمركز روی آن تعبیه شده است استفاده گردید. هر منفذ، از زیر به یک پیزومتر متصل شده که جهت اندازه‌گیری فشار در نقاط مختلف صفحه از آن استفاده می‌شود. نوسانات فشار توسط ترانسدیوسر اندازه‌گیری و ثبت شده است. به همین منظور از دستگاه دیتا ترانسلیشن^۲ جهت انتقال داده‌های برداشت شده توسط ترانسدیوسر به کامپیوتر استفاده گردید. جهت اندازه‌گیری دبی نیز از یک فلومتر الکترومغناطیسی با دقت اندازه‌گیری ۰/۵٪ استفاده گردید.

روش انجام آزمایش

مراحل انجام آزمایش بدین گونه است که ابتدا ارتفاع مورد نظر تعیین‌شده، نازل مورد نظر بر روی قسمت خروجی جت نصب گردیده، صفحه را در زاویه ۹۰ درجه نسبت به جت آب قرار داده و دبی مورد نظر به کمک شیر ورودی و فلومتر الکترومغناطیسی تنظیم می‌گردد. سپس برداشت فشارهای دینامیکی به وسیله ترانسدیوسر فشار طی زمان ۵ دقیقه انجام می‌پذیرد.

$$C = 1.14 T_u F_0^2 \quad [4]$$

در رابطه بالا T_u شدت توزیع آشفتگی نامیده شده که به طریق زیر محاسبه می‌شود.

$$T_u = \frac{u'}{U_0} \quad [5]$$

که u' ریشه میانگین اختلاف مربعات سرعت و U_0 سرعت متوسط جت آب می‌باشد (ارواین و همکاران ۱۹۹۷).

تجهیزات و مدل آزمایشگاهی

این پژوهش در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام پذیرفت. در این مطالعه آزمایشات با چهار دبی مختلف، پنج ارتفاع ریزش ۸، ۱۵، ۲۵، ۳۵ و ۴۵ سانتی‌متر، و چهار نازل خروجی متفاوت به قطرهای ۷/۹، ۵/۱، ۴/۳ و ۴/۱ سانتی‌متر انجام پذیرفت. برای هر نازل چهار دبی انتخاب‌شده و آزمایشات برای همه نازل‌ها انجام گرفت. جهت اندازه‌گیری فشارها در محل برخورد از یک صفحه پلاکسی‌گلاس به ابعاد ۰/۵×۰/۵

² Data translation

¹ Turbulence intensity

نظر، نازل خروجی تغییر کرده و تمامی آزمایشات با نازل جدید انجام می‌گیرد. در نهایت ارتفاع ریزش تغییر کرده و مراحل فوق مجدداً تکرار می‌گردد. جدول ۱ متغیرهای مختلف و تعداد آزمایشات را نشان می‌دهد.

ذکر این نکته ضروری است که ترانسدیوسر فشار به چندین لوله رابط وصل گردیده و بالاترین فشار نشان داده شده به عنوان داده اصلی برداشت می‌شود. لازم به ذکر است که توزیع فشار در محل برخورد جت بیشینه بوده و به تدریج بافاصله گرفتن از محل برخورد کاهش می‌یابد. پس از اتمام برداشت فشارها در دبی‌های مورد

جدول ۱- مقادیر متغیرهای آزمایشگاهی مورد بررسی.

تعداد آزمایشات	عدد فرود	دبی جت (lit/s)	قطر نازل (cm)	ارتفاع ریزش (cm)
۲۰	۶/۹، ۵/۹، ۴/۹، ۳/۸	۱۱، ۱۴، ۱۷، ۲۱	۷/۹	۸، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵
۲۰	۱۱، ۹/۲، ۷/۲، ۵/۲	۱۱، ۹، ۷، ۵	۵/۱	۲۵، ۳۵، ۴۵، ۸، ۱۵
۲۰	۱۶/۹، ۱۴/۵، ۱۱، ۸	۷، ۶، ۵، ۴	۳/۴	۸، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵
۲۰	۱۳/۷، ۱۲/۵، ۱۰/۸، ۹	۷، ۶، ۵، ۴	۱/۴	۸، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵

نتایج و بحث

پس از انجام آزمایشات متعدد، تحلیل و بررسی بر روی نتایج انجام شده است که در ذیل ارائه گردیده است.

میانگین فشارهای دینامیکی در محل برخورد به صفحه

ضریب فشار دینامیکی (C_p) نشان دهنده میانگین نوسانات فشار دینامیکی روی کف حوضچه می‌باشد. این ضریب در امتداد محور جت با عمق آب داخل حوضچه تغییر می‌کند.

میانگین فشارهای دینامیکی در محل برخورد توسط ضریب بی بعد C_p نشان داده شده که به کمک رابطه زیر محاسبه می‌شود (اروین و فالوی ۱۹۹۷).

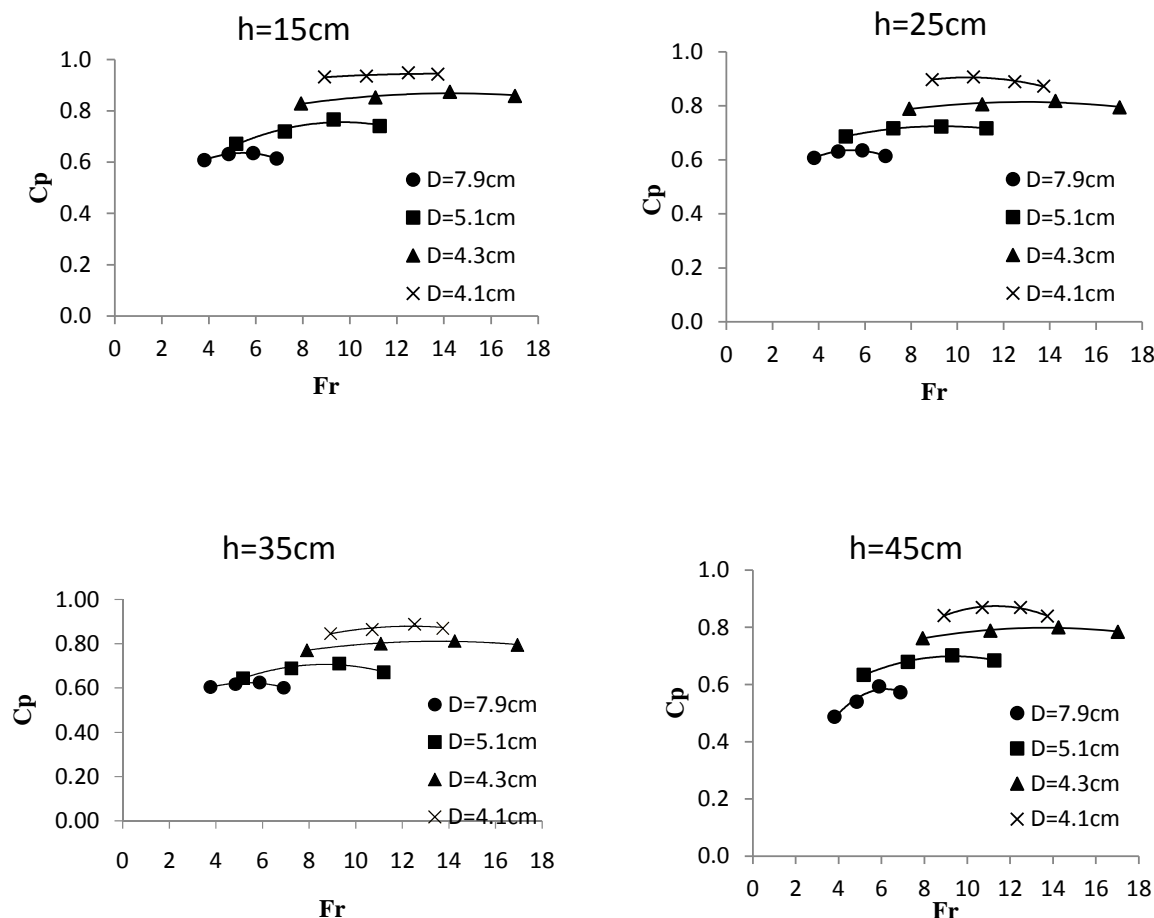
$$C_p = \frac{H_m}{\frac{V_j^2}{2g}} \quad [6]$$

$$V_j = \sqrt{U_0^2 + (2gH)} \quad [7]$$

H_m ، میانگین فشارهای دینامیکی (متر) و 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.

شکل ۳ مقادیر مختلف ضریب فشار دینامیکی در کف را در اعداد فرود مختلف، قطرهای متفاوت و ارتفاع ریزش‌های مختلف نشان می‌دهد.

همان‌گونه که در شکل ۳ مشخص است با کوچکتر شدن قطر خروجی ضریب فشار دینامیکی افزایش یافته و این روند افزایشی ضریب فشار دینامیکی در تمامی ارتفاع‌های ریزش وجود دارد. بدین صورت که با کاهش ۳۵ درصدی قطر، از ۷/۹ سانتی‌متر تا ۵/۱ سانتی‌متر، ضریب فشار دینامیکی به طور متوسط ۲۲ درصد افزایش، با کاهش ۱۵ درصدی قطر، از ۵/۱ سانتی‌متر تا ۴/۳ سانتی‌متر، ضریب فشار دینامیکی ۱۱ درصد افزایش داشته است و در نهایت با کاهش ۴ درصدی قطر، از ۴/۳ سانتی‌متر تا ۴/۱ سانتی‌متر، ضریب فشار دینامیکی ۹ درصد افزایش یافته است. با تأمل در درصد افزایش مقادیر فشار و مقایسه آن با کاهش اقطار نازل‌ها می‌توان دریافت که تغییرات قطر نازل خروجی بر روی ضریب فشار دینامیکی در قطرهای کوچکتر، دارای اثرگذاری بیشتری در مقایسه با همین مقدار تغییرات در قطرهای بالاتر می‌باشد. دلیل این پدیده تأثیر همزمان افزایش عدد فرود و کاهش ضریب توزیع آشفتگی می‌باشد که منتج به متراکم‌تر شدن جت آب می‌شود. مجموع این عوامل باعث افزایش شدت ضربه به صفحه شده است.



شکل ۳- مقادیر ضریب فشار دینامیکی (C_p) در برابر عدد فرود (Fr) به ازای قطرهای مختلف در ارتفاع ریزش‌های الف ۸-ب ۱۵-ج ۲۵-د ۳۵-ه ۴۵ سانتی‌متر.

نکته قابل توجه در شکل ۳ این است که نمودارهای قطرهای مختلف جت روندی کاملاً صعودی و یا کاملاً نزولی ندارند. بدین گونه که ابتدا نمودار صعودی بوده و بعد از رسیدن به نقطه بیشینه ضریب فشار، روندی نزولی را دنبال می‌کنند. با کمی دقت در رابطه ضریب فشار دینامیکی (رابطه ۶) که در قسمت‌های پیشین آورده شده است می‌توان دلیل این تغییر روند نمودار را یافت. علت این کاهش ضریب فشار، تغییر نسبت بین فشار دینامیکی حاصله از روابط تئوری و فشار دینامیکی بدست آمده به صورت عملی در آزمایشگاه می‌باشد. بدین گونه که افزایش دبی جت آب، هم منجر

علاوه بر این، کاهش ضریب توزیع آشفتگی باعث مقاومت بیشتر جت آب در مقابل ورود هوا به درون خود شده، طول شکست جت را افزایش داده و در نتیجه باعث بالا رفتن مقادیر ضریب فشار دینامیکی می‌شود. نتایج حاصله از این تحقیق مطابقت خوبی با نتایج تحقیقات کرمان‌نژاد و همکاران (۲۰۱۱) نشان می‌دهد. آنان نیز دریافتند که با افزایش دبی در پرتابه‌های جامی شکل فشار دینامیکی افزایش می‌یابد، بعلاوه با کم شدن جریان تیغه‌ای پرتابه و افزایش عدد فرود، این افزایش روند سریع تری به خود می‌گیرد.

در لحظه برخورد می‌باشد. در شکل ۴ و ۵ مقادیر C_p^+ و C_p^- را به ازای ۴ عدد فرود و ۴ قطر نازل خروجی و در ارتفاع ریزش‌های مختلف نشان داده شده است.

همان‌گونه که در شکل ۴ مشخص است نوسانات حدی بیشینه فشار حالت کاملاً صعودی و یا نزولی نداشته و در ابتدای مسیر روندی نزولی را دنبال می‌کنند، اما پس از رسیدن به نقطه کمینه که معمولاً پس از دبی سوم رخ می‌دهد، این ضریب افزایش می‌یابد، اما هیچگاه به نقطه شروع نمی‌رسد. باکمی دقت و مقایسه بین نمودار نوسانات حدی بیشینه فشار و نمودار ضریب فشار دینامیکی که در قسمت‌های پیشین آورده شده است می‌توان دریافت که تقریباً در نقطه‌ای که بیش‌ترین ضریب فشار دینامیکی رخ می‌دهد، نوسانات مثبت فشار کمترین تغییرات را دارا می‌باشد. به بیان دیگر در لحظه وقوع بیشینه ضریب فشار، نوسانات حدی بیشینه فشار کمینه است. علاوه بر این با مقایسه میان مقادیر نوسانات حدی بیشینه فشار می‌توان دریافت که با افزایش ارتفاع ریزش، این مقادیر نیز افزایش می‌یابد. به عنوان نمونه مقدار C_p^+ برای نازل به قطر ۵/۱، ارتفاع ریزش ۸ سانتی‌متر و عدد فرود ۵ برابر با ۰/۱۶ می‌باشد، با افزایش ارتفاع ریزش مقدار این ضریب دائماً افزایش یافته و در نهایت در ارتفاع ریزش ۴۵ سانتی‌متر برابر با ۰/۵ شده است. این روند افزایش برای تمامی نازل‌ها رخ می‌دهد. دلیل این افزایش ضریب نوسانات حدی فشار، افزایش مقدار ورود هوا به جت می‌باشد، به بیان دیگر هرچه ارتفاع سقوط جت آب بیشتر گردد، ورود هوا به جت آب افزایش یافته و این افزایش ورود حباب‌های هوا به جت آب، مقادیر فشار به وجود آمده توسط جت آب را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این نظریه کاملاً با شکل ۳ که قبلاً ارائه گردید مطابقت دارد.

همان‌گونه که انتظار می‌رفت مقادیر ضریب C_p^- در اعداد فرود مختلف و ارتفاع ریزش‌های متفاوت، روندی مشابه با C_p^+ را دارا بوده و پس از رسیدن به یک نقطه کمینه، حالت صعودی به خود می‌گیرد. باید

به افزایش سرعت محاسبه شده از روابط تئوری و عدد فرود خواهد شد و هم فشار دینامیکی اندازه‌گیری شده ناشی از برخورد جت آب به صفحه را افزایش می‌دهد، از طرفی با افزایش سرعت، افت ناشی از تنگ شدگی نازل و مقدار افت ناشی از مقاومت هوا در برابر جت آب نیز افزایش می‌یابد. در نتیجه این روند صعودی تا زمانی ادامه می‌یابد که افت ناشی از مقاومت هوا و تنگ شدگی نازل، مقدار فشار اندازه‌گیری شده به کمک ترانس‌دیوسر فشار را تحت تأثیر قرار نداده و اجازه دهد که فشار اندازه‌گیری شده به نسبت فشار محاسبه شده افزایش یابد. اما پس از نقطه بیشینه نمودار، مقدار فشار دینامیکی اندازه‌گیری شده توسط ترانس‌دیوسر فشار به علت افت ناشی از مقاومت هوا نسبت به فشار محاسبه شده از روابط تئوری افزایش کمتری داشته و در نتیجه کسر حاصله کاهش می‌یابد. ضروری است که به این نکته توجه شود که همواره مقدار فشار دینامیکی با افزایش دبی افزایش می‌یابد، اما ضریب فشار دینامیکی می‌تواند کاهش و یا افزایش پیدا کند.

بیشینه و کمینه مقادیر نوسانات فشار دینامیکی

نوسانات بیشینه و کمینه فشار توسط دو ضریب C_p^+ و C_p^- به صورت کمی در می‌آیند. این ضرایب بر اساس فرمول‌های ۸ و ۹ شامل اختلاف فشار بیشینه و متوسط به انرژی جنبشی و همین‌طور اختلاف فشار متوسط و کمینه فشار به انرژی جنبشی به صورت زیر محاسبه می‌گردند.

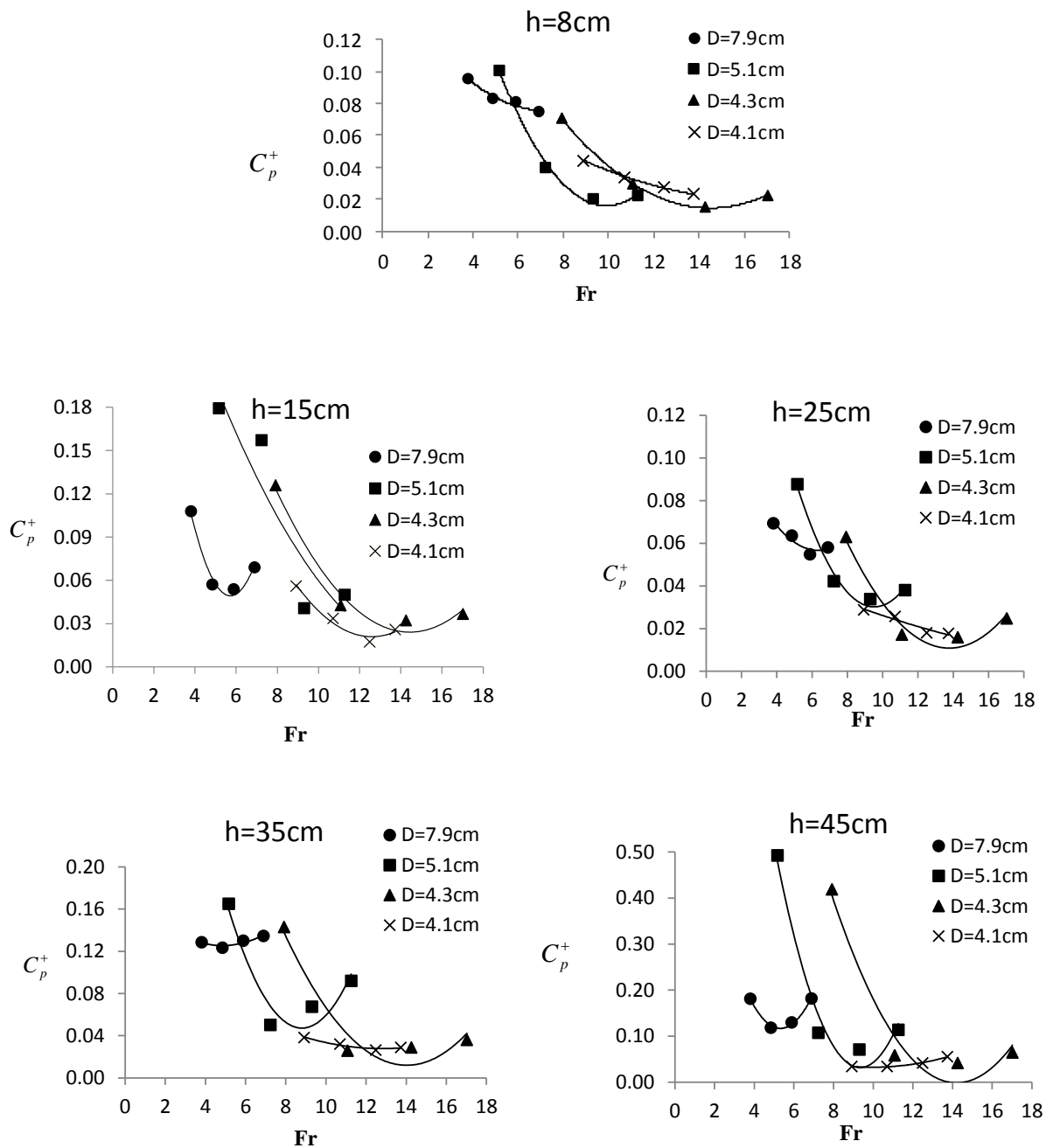
$$C_p^+ = \frac{H_{\max} - H_m}{\frac{U_j^2}{2g}} \quad [8]$$

$$C_p^- = \frac{H_m - H_{\min}}{\frac{U_j^2}{2g}} \quad [9]$$

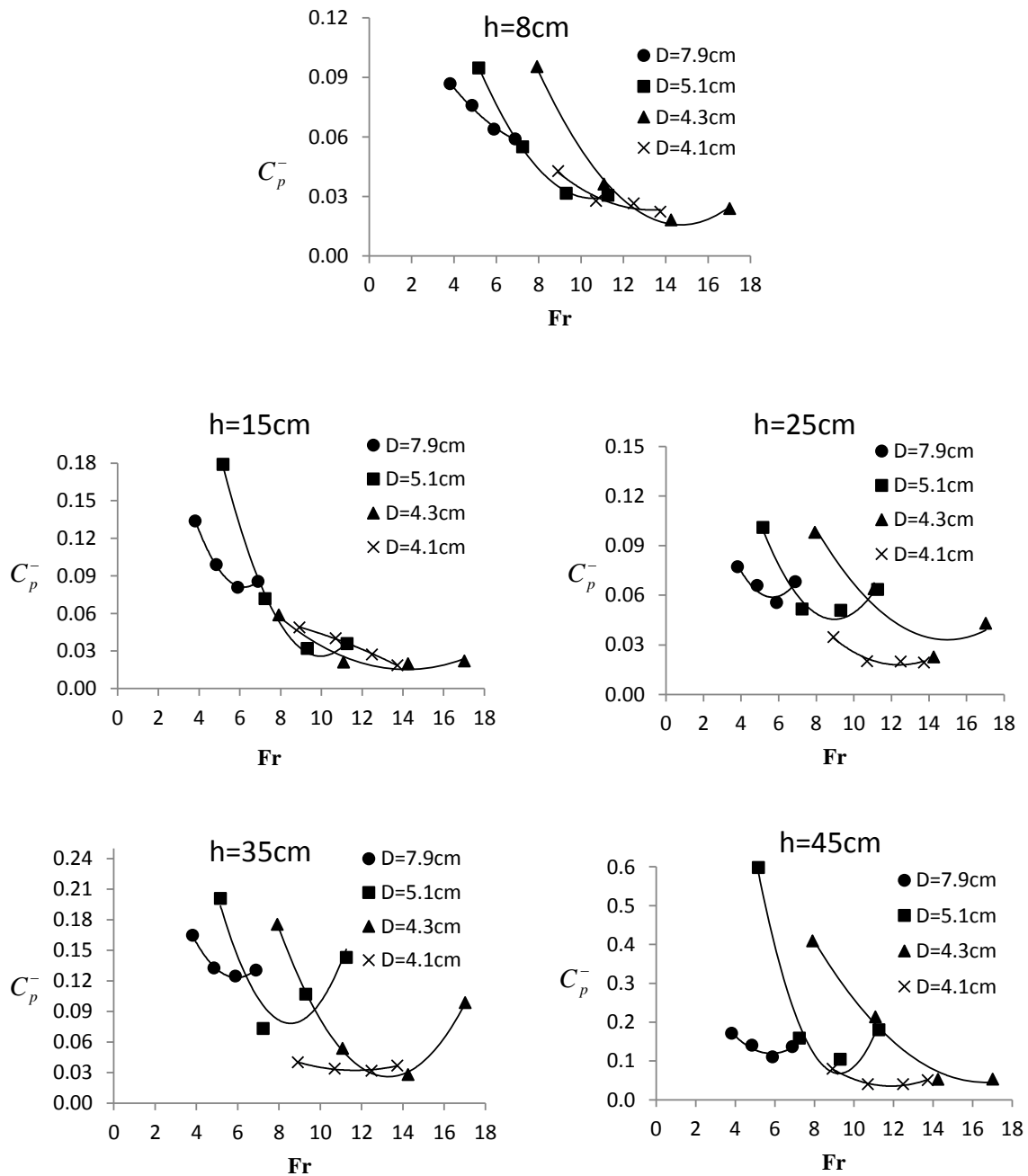
به طوری که H_{\max} ، بیشینه فشار اندازه‌گیری شده، H_m میانگین فشار و H_{\min} ، کمینه فشار اندازه‌گیری شده را نشان می‌دهند. ارتفاع نظیر انرژی جنبشی $\frac{U_j^2}{2g}$

حدی کمینه فشار دینامیکی نیز همانند بیشینه آن بوده و با افزایش ارتفاع ریزش نوسانات حدی افزایش می‌یابد.

توجه کرد که در C_p^- نیز نقطه کمینه در بیشینه ضریب فشار دینامیکی (C_p) رخ می‌دهد. روند افزایشی ضریب



شکل ۴- مقادیر ضریب حدی بیشینه فشار دینامیکی (C_p^+) در برابر عدد فرود (Fr) به ازای قطرهای مختلف در ارتفاع ریزش‌های الف ۸-ب ۱۵-ج ۲۵-د ۳۵-ه ۴۵ سانتی‌متر.



شکل ۵- مقادیر ضریب حدی کمینه فشار دینامیکی (C_p^-) در برابر عدد فرود (Fr) به ازای قطرهای مختلف در ارتفاع ریزش‌های الف ۸-ب ۱۵-ج ۲۵-د ۳۵-ه ۴۵ سانتی‌متر.

می‌یابد. بیش‌ترین نوسانات فشار و همچنین، بیش‌ترین مقدار میانگین نوسانات در کوچک‌ترین قطر رخ داده است. بیش‌ترین مقدار بدست آمده برای ضریب C_p

نتیجه‌گیری کلی

توزیع فشار در محل برخورد جت بیشینه بوده و به تدریج بافاصله گرفتن از محل برخورد کاهش

تغییرات قطر نازل خروجی بر روی ضریب فشار دینامیکی در قطرهای کوچک تر، دارای اثرگذاری بیشتری در مقایسه با همین مقدار تغییرات در قطرهای بالاتر می باشد.

نوسانات حدی بیشینه و کمینه فشار دینامیکی با افزایش ارتفاع ریزش افزایش می یابد. به عبارت دیگر هرچه ارتفاع سقوط جت آب بیشتر گردد، ورود هوا به جت آب افزایش یافته و این افزایش ورود حباب های هوا به جت آب، مقادیر فشار به وجود آمده توسط جت آب را تحت تأثیر قرار می دهد.

برابر با ۰/۹۸۹ می باشد که در حالت برخورد آزاد جت با صفحه و در ارتفاع ریزش ۸ سانتی متر رخ داده است. با افزایش دبی، ضریب C_p افزایش می یابد و لذا در کارهای اجرایی باید از دبی طرح استفاده کرد تا حوضچه استغراق برای بیشترین ضریب میانگین فشار طراحی گردد.

مقادیر حدی بیشینه و مینیم نوسانات فشار در نقطه بیشینه ضریب فشار کمینه می باشند. به بیان دیگر در لحظه ای که بیشینه ضریب فشار دینامیکی رخ می دهد، مقادیر حدی نوسانات بیشینه و کمینه فشار در حالت کمینه می باشند.

منابع مورد استفاده

- Beltaos S and Rajaratnam N, 1974. Impinging circular turbulent jets. Journal of Hydraulic Division, ASCE. 100: 1313-1328 .
- Beltaos S and Rajaratnam N, 1976. Plan of turbulent impinging jets. Journal of Hydraulic Research. 35(3):29-59
- Bollaert E and Schleiss A, 2003. Scour of rock due to the impact of plunging high velocity jets Part II. Journal of Hydraulic Research, IAHR 41(5): 465-480
- Castillo ELG, Puertas J and Dolz J, 1999. Discussion: Pressure fluctuations on plunge pool floors (Ervine DA, Falvey HT and Withers WA). Journal of Hydraulic Research 37(2):272-277.
- Castillo ELG, 2002. Parametrical analysis of the ultimate scour and mean dynamic pressures at plunge pools. International Workshop on Rock Scour due to High Velocity Jets. Federal Polytechnic University of Lausanne.
- Castillo ELG, Puertas J and Dolz J, 2004. Discussion: Scour of rock due to the impact of plunging high velocity jets Part I: A state-of-the art review. (Bollaert E. and Schleiss A). Journal of Hydraulic Research. 41(5): 451-464.
- Castillo ELG, 2006. Aerated jets and pressure fluctuation in plunge pools. 7th Int. Conf. on Hydro science and Engineering (ICHE). 10Sep– 13Sep. Philadelphia, USA.
- Castillo ELG, 2007. Pressures characterization of undeveloped and developed jets in shallow and deep pool. 32nd Congress of the International Association of Hydraulic Engineering & Research (IAHR). 1 – 6 July 2007. Venice, Italy.
- Cola r, 1966. Diffusion of the vertical water jet in a plane basin at a limited energy,). Journal of Hydraulic Research. 11:649-667.
- Davies JT, 1972. Turbulence Phenomena. Academic press, New York And London.
- Ervine DA and Falavey HT, 1987. Behavior of turbulent jets In atmosphere and in plunge pools. Part 2. 83:295-314. proceeding of the institution of the civil Engineering. Glasgow, Scotland.
- Ervine DA, Falavey HT and Withersw, 1997. Pressure fluctuation on plunge pool floors. Journal of Hydraulic Research ,IAHR. 35(2): 491-513
- Kerman Nejad J, Fathi-Moghadam M, Lashkarara B and Haghhighipour S, 2011. Dynamic pressure of Filip Bucket Jet. World Aapplied Sciences Journal. 12(8):1165-1171
- Lencaster A, 1961. Free overflow spillway. Engineering and design principle. National Lab. for Civil Engrs. Report No. 174. Portugal, Lisbon.