

بررسی اندازه طول شکست جت‌های آب ریزشی در حالت آزاد

امین سالم نیا*^۱، منوچهر فتحی مقدم^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۵/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۸/۱۵

چکیده

جریان آب خروجی از روی سدها دارای انرژی بسیار زیادی می‌باشد که در صورت عدم اتلاف این انرژی، جریان آب عبوری می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را به سد و سازه‌های پایین‌دست آن ایجاد نماید. یکی از راه‌های اتلاف این انرژی اضافی خروج آب به صورت جت‌های ریزشی به حوضچه‌های استغراق می‌باشد. جت‌های آب ریزشی تا فاصله‌ای خاص دارای هسته‌ای متراکم از ذرات آب می‌باشد که بخش عمده‌ای از فشار وارده به بستر و دیواره حوضچه ناشی از وجود همین هسته متراکم می‌باشد. اما پس از طی مسافتی در هوا هسته جت رفته رفته به دلیل نفوذ هوا از حاشیه جت و تلاطم کوچک شده و در نهایت شکسته شده و از بین می‌رود. در این تحقیق به بررسی اندازه طول شکست جت و پارامترهای موثر بر آن پرداخته شده است. با متوسط‌گیری از نتایج آزمایشات در قطرهای مختلف و ارتفاع ریزش‌های متفاوت می‌توان نشان داد که نسبت ارتفاع ریزش به طول شکست جت با افزایش متوسط ۳۲ درصدی عدد فرود آزمایش اول به دوم، به طور میانگین ۳۷ درصد کاهش، با افزایش میانگین ۲۳ درصدی از عدد فرود آزمایش دوم به سوم، در حدود ۱۵ درصد کاهش و در نهایت با افزایش ۱۷ درصدی از عدد فرود آزمایش سوم به چهارم این نسبت ۶ درصد افزایش می‌یابد. پس می‌توان نتیجه گرفت روند تغییرات طول شکست جت در برابر افزایش دبی (عدد فرود) ثابت نبوده و بعد از رسیدن به یک نقطه کمینه روندی افزایشی پیدا می‌کند. به علاوه مطابق با تجزیه تحلیل آماری مشخص گردید ضریب گسترش آشفتنگی با طول شکست جت در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی‌دار است.

واژه‌های کلیدی: ارتفاع ریزش، جت قائم، طول شکست جت

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مسائل در طراحی سدها، عبور سیلاب به صورت مطمئن از سد می‌باشد. این سیلاب‌ها دارای انرژی بسیار بالایی بوده که در صورت عدم اتلاف آن می‌تواند خسارات جبران‌ناپذیری را به سد و سازه‌های پایین‌دست آن ایجاد نماید. یکی از راه‌های اتلاف این انرژی خروج آب از روزنه‌ها به هوا و سقوط آن به درون حوضچه استغراق می‌باشد. مکانیزم اصلی اتلاف انرژی اضافی، پخش کردن جت درون هوا و به طبع آن ورود هوا درون جت و در نهایت پخشیدگی و آشفتنگی جت در درون حوضچه استغراق می‌باشد. یکی از مهم‌ترین پارامترهای جت‌های آب طول شکست آنها L_b می‌باشد که این طول از هنگام خروج جت از نازل آغاز شده و تا لحظه کاملاً توسعه یافتگی جت به صورت یک هسته متراکم از آب که در مقابل ورود هوا به درون خود مقاومت می‌کند

ادامه می‌یابد (Castillo., 2007). بدینگونه که پس از خروج آب از دهانه نازل، قطرات منحصربفرد آب تحت تاثیر مقاومت هوا رفته رفته سرعتشان به سرعت حد می‌رسد. در نتیجه، ورود هوا به درون جت هنگامی رخ می‌دهد که نیروی مقاوم (درگ) ناشی از هوا دقیقاً برابر با وزن همان قطره منحصربفرد شود. چنین اثر متقابلی ظرفیت تخریب یک جت کاملاً توسعه یافته را محدود می‌کند (Annandale., 2006). بررسی‌های انجام شده توسط لنگستر، کولا و بلتاوس از اولین مطالعاتی بود که بر روی بررسی فشار مرکزی در محل برخورد جت دایره‌ای قائم انجام شد (Lencaster., 1961) (Cola., 1966) (Cola) (and Beltaos., 1974-1976). پس از آن ارواین و فالوی و ارواین و همکاران به بررسی نوسانات فشار دینامیکی با توجه به شدت توزیع آشفتنگی 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 ورود هوا به آن نیز توسط این محققین مورد بررسی قرار گرفت (Ervine and Falavey., 1987) (Ervine et. al., 1997). در ادامه این مطالعات می‌توان به تلاش‌های کاستلو و همکاران، و بولارت و اشلایس در زمینه فشارهای دینامیکی ناشی از

۱- دانش آموخته گروه سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استاد گروه سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز

* - نویسنده مسئول: (Email: Amin.salemnia@gmail.com)

پذیری حوضچه‌های استغراق را با تغییر شرایط جت‌های آب عمودی بررسی نمایند. آنها دریافتند تغییر در مقدار آبشستگی، علاوه بر مقدار تنش برشی بحرانی بستر و ضریب فرسایش پذیری، به حد بسیار بالایی به شرایط جت آب وابسته است. در نتیجه آنها با ثابت نگه داشتن تمامی شرایط رسوب، با تغییر در شرایط جت آب، اقدام به انجام مجموعه‌ای از آزمایشات نمودند در پایان دریافتند معادلات آبشستگی ارائه شده برای جت‌های مستغرق در پیش‌بینی عمق و حجم چاله آبشستگی ناتوان بوده و خصوصیات جت در مقدار آبشستگی بسیار موثر است (et al., 2017 Karamigolbaghi).

هی و همکاران به بررسی آبشستگی بسترهای ماسه‌ای تحت تاثیر جت‌های عمودی آب پرداختند. آنها دریافتند افزایش دبی جت آب، عمق و حجم چاله آبشستگی رفته‌رفته افزایش می‌یابد، اما با رسیدن جریان به یک مقدار بحرانی، رفتار چاله آبشستگی تحت تاثیر تغییر در مشخصات جریان خروجی از جت آب قرار می‌گیرد. به بیان دیگر، آنها گسترش چاله آبشستگی تحت تاثیر جت عمودی آب را به دو قسمت تقسیم می‌کنند. قسمت اول قبل از رسیدن دبی جت آب به مقدار بحرانی و قسمت دوم بعد از رسیدن آن. آنها دریافتند بعد از دبی بحرانی، مقدار آبشستگی جریان خروجی تغییر زیادی کرده که منجر به تغییر در روند آبشستگی پایین دست می‌شود (He et al., 2017).

با توجه به مطالب عنوان شده می‌توان گفت که اندازه گیری طول شکست جت‌های آب با تغییرات قطر نازل، ارتفاع ریزش و در دبی‌های مختلف 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 می‌باشد، هدف از این مطالعه بررسی تغییرات طول شکست 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 طول شکست جت می‌باشد. به طوری که با تغییر قطر جت و دبی آن ضریب توزیع آبشستگی و به موجب آن طول شکست جت تغییر خواهد نمود. علاوه بر این افزایش ارتفاع ریزش می‌تواند در شرایط مختلف منجر به تغییر در سرعت جت شده و مقادیر متفاوتی از ضریب توزیع آبشستگی را ایجاد نماید. با توجه به این مطلب می‌توان پایداری پایین دست سد را در مقابل برخورد جت بررسی و در صورت نیاز به صورت اقتصادی به تقویت و اصلاح پایین دست اقدام نمود.

جت آب در حوضچه‌های استغراق با توجه به متغیرهایی همچون عدد فرود جت، عمق آب درون حوضچه اشاره کرد (Castillo et al., 2002-2006-2008). نتایج حاصله از مطالعات کرمان نژاد و همکاران 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 (Kerman Nejad et al., 2011). در جت‌های دایره‌ای و در مدل‌هایی که سرعت خروج آب از آنها تا ۲۰ متر بر ثانیه افزایش یافته است مشاهده شده است که شدت توزیع آبشستگی تا ۵٪ هم افزایش یافته است (Bollaert E and Schle., 2003). به علاوه ارواین و فالوی رابطه‌ای تئوری برای پیدا کردن طول شکست جت ارائه بدست آورده و نشان دادند که مهم‌ترین پارامتر در مقدار طول شکست جت، T_{II} یا ضریب توزیع آبشستگی می‌باشد. آنان نتایج آزمایشگاهی را در مقایسه با مقدار بدست آمده طول شکست جت از رابطه قرار داده و دریافتند که رابطه بدست آمده دارای دقت قابل قبولی می‌باشد (Ervin and Falavey., 1987). کاستلو آزمایشات خود را در ارتفاع‌های ریزش مختلف (H) و در محدوده $0.5 \leq H/L_b \leq 0.9$ انجام داد. بدین گونه که او ارتفاع‌های ریزش بین ۱/۶ تا ۱/۷۶ متر را برای ارتفاع ریزش جت انتخاب نموده و ۷ عمق استغراق را به عنوان بالشتک آب بر روی صفحه برداشت فشار و در حوضچه استغراق انتخاب نمود (Castillo., 1985). علاوه بر او پترائوس اینبار محدوده $0.5 \leq H/L_b \leq 2.7$ را با ۴ ارتفاع ریزش ۱/۸۵، ۲/۸۸، ۴/۴۳، ۵/۴۵ و ۱۰ عمق استغراق انتخاب نمود (Puertas., 1994). کاستلو و پترائوس فشارهای لحظه‌ای را در کف یک حوضچه استغراق با ۲۰۰ نقطه و به کمک ترانس‌دوسرهای فشار برداشت کردند که با سرعت ۲۰ برداشت در هر ثانیه و برای هر نقطه مجموعاً ۲ دقیقه انجام پذیرفت (Castillo and Puertas., 2004).

چادری و همکاران در یک مطالعه عددی بر روی مشخصات جت‌های متراکم در آب‌های کم‌عمق انجام دادند. آنها با بررسی این مطالعه به صورت عددی اثر سطوح محوطه بستر آب را بر جت‌های توروبو دایره‌ای با تحلیل پارامترهای کلیدی مانند فشرده سازی، حداکثر سرعت، پروفیل سرعت، رشد جت، مکان حداکثر سرعت و خواص آبشستگی، بررسی می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که محصور تاثیر عمیقی بر ویژگی‌های جابجایی و مخلوط کردن یک جت دارد. جذب در سطح محصور سرکوب می‌شود و به عنوان یک نتیجه، سرعت آن کاهش می‌یابد. یافته‌های این مطالعه برای توصیف خواص جت‌های دایره‌ای که در شرایط محیط محدود قرار دارند مفید خواهد بود (Chowdhury et al., 2017).

کریمی گلباغی و همکاران (۲۰۱۷) در یک پژوهش آزمایشگاهی با طراحی مجموعه‌ای از آزمایشات مختلف تلاش کردند فرسایش-

مواد و روش‌ها

روابط حاکم

جت‌ها در لحظه ورود خود به حوضچه استغراق رفتارهای متفاوتی از خود بروز می‌دهند. به گونه‌ای که گاه کاملاً شکسته شده و به صورت توده‌ای از جریان‌های آب جت و هوا با جریان آب درون حوضچه کاملاً ترکیب شده و یا شکسته نشده و هسته خود را حفظ می‌کنند. این حالت‌ها باعث پیچیده شدن مکانیزم جت‌ها شده و ضرورت مدل‌سازی فیزیکی را برای موارد مختلف روشن می‌سازد.

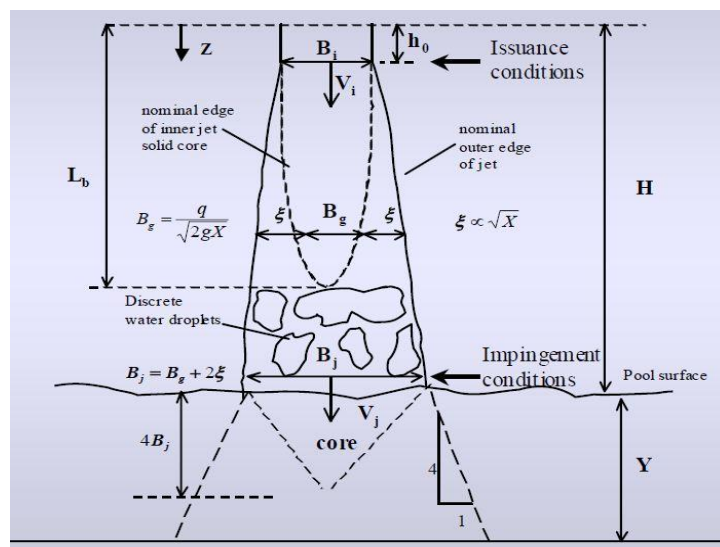
جت نوعی جریان آشفته است که به کمک یک منبع مومنتم پیوسته تولید می‌شود. رفتار جت به پارامترهای مختلف جت از قبیل سرعت جت، لزجت، جرم واحد حجم سیال و همچنین پارامترهای هندسی مانند موقعیت مختصاتی، قطر جت و ارتفاع آن و پارامترهای محیطی شامل شرایط محیطی سیالی که جت در آن وارد می‌شود مانند چگالی آن بستگی دارد. به علاوه، 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. در منطقه h_0 جریان آرام و جت به صورت کاملاً شیشه‌ای خارج می‌شود. باید به این نکته توجه نمود که طول این منطقه آرام در پروتوتایپ بی نهایت کوچک است، اما این طول

می‌تواند در مدل بیشتر باشد. در منطقه L_b ناپایداری‌هایی در سطح آب مشخص می‌شود. در ابتدای این منطقه، امواج به طور منظم و با فواصل کوچک تشکیل می‌گیرند. این امواج کوچک در جهت جریان دائماً تقویت می‌شوند. در نهایت امواج از حالت سطحی به گردابه‌های پیرامونی تبدیل می‌شوند. انتقال حالت از گردابه پیرامونی به یک جریان کاملاً متلاطم از این منطقه آغاز می‌شود (Ervine et. al., 1997). در حقیقت این منطقه از ابتدای تشکیل هسته متراکم مرکزی تا نقطه اضمحلال کامل هسته ادامه می‌یابد. دیویس به این نتیجه رسید که اختلالات سطح آشفته، با جذر فاصله ریزش نسبت مستقیم دارد (Davies., 1972).

$$\xi \propto \sqrt{x} \quad (1)$$

که در این معادله x فاصله از محل شروع ریزش است.



شکل ۱- شکل شماتیکی از خروج آب از نازل (۹)

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 جریان می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$F_0 = \frac{U_0}{\sqrt{gD_0}} \quad (3)$$

در آخر 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 اینجا جریان به صورت توده‌ای کاملاً پیوسته نیست و متشکل از توده‌های منحصربه‌فرد آب است. از آنجا که جت تا نقطه شکست یک توده پیوسته می‌باشد، 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 (Ervine et. al., 1997). آنها رابطه محاسبه طول شکست را در جت‌های دایره‌ای ارائه

است که توزیع سرعت و فشار در محل برخورد جت بیشینه بوده و به تدریج بافاصله گرفتن از محل برخورد کاهش می‌یابد. پس از اتمام برداشت در دبی‌های مورد 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. شکل (۲) نمایی از مدل برداشت داده‌ها و پارامترهای موثر بر آن را نشان می‌دهد. در جدول ۱ متغیرهای مختلف و تعداد آزمایشات را نشان داده شده است.

نتایج و بحث

طول شکست جت

همان‌طور که در قسمت‌های قبلی بیان شده است، در هنگام خروج آب از نازل جت‌های ریزشی تا ارتفاعی مشخص، دارای هسته‌ای متراکم می‌باشند. تخمین حدود ارتفاع هسته جت یکی از مهم‌ترین مسائل جهت طراحی حوضچه استغراق در پایین دست سدها هست. برای استفاده بهتر از نمودارها تلاش گردیده تا حد امکان از اعداد بدون بعد استفاده شود، به همین منظور در شکل (۳) مقادیر نسبت ارتفاع ریزش به طول هسته جت در مقابل عدد فرود را در ارتفاع ریزش‌های مختلف رسم شده است.

همان‌گونه که در شکل‌های بالا نیز مشخص است با افزایش عدد فرود مقادیر نسبت ارتفاع ریزش به طول شکست جت کاهش می‌یابد، به بیان ساده‌تر می‌توان گفت که با افزایش عدد فرود بر طول هسته جت افزوده شده و این روند افزایشی تا رسیدن به یک نقطه کمینه ادامه می‌یابد. اما با رسیدن به یک نقطه مینیمم روند صعودی به خود گرفته و افزایش می‌یابد. به بیان دیگر در یک قطر مشخص با افزایش عدد فرود طول شکست جت نیز افزایش می‌یابد که رفتاری کاملاً مورد انتظار است، زیرا با افزایش عدد فرود سرعت خروج جت آب بیشتر شده و امکان ورود هوا که دلیل اصلی شکست جت‌های آب است کاهش می‌یابد، که با توجه به قرار گرفتن این مقدار در منجر به کوچک تر شدن کسر شده و روند نزولی نمودار می‌گردد. اما پس از رسیدن به نقطه مینیمم، با افزایش عدد فرود، طول شکست جت رفتاری معکوس را از خود نشان داده و اندکی کاهش می‌یابد که موجب بزرگ‌تر شدن کسر و حرکت صعودی نمودار می‌شود که به دلیل افزایش آشفتگی جت به خصوص در لبه‌های خارجی و ورود هوا به درون جت می‌باشد که منجر به کاهش طول هسته جت و افزایش نسبت ارتفاع ریزش به طول هسته شده می‌گردد. این روند را می‌توان در تمام ارتفاع‌های ریزش و در تمامی اقطار مشاهده نمود. هرچند که در قطر ۴/۱ سانتیمتر به علت طول بسیار بالای هسته جت نسبت به ارتفاع ریزش این روند تغییرات در مقایسه با سایر اقطار با شیب ملایم تری صورت می‌پذیرد.

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

$$C = 1.14 T_u F_0^2 \quad (۴)$$

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

$$T_u = \frac{u'}{U_0} \quad (۵)$$

که u' ریشه میانگین اختلاف مربعات سرعت و U_0 سرعت متوسط جت آب می‌باشد (۱۳).

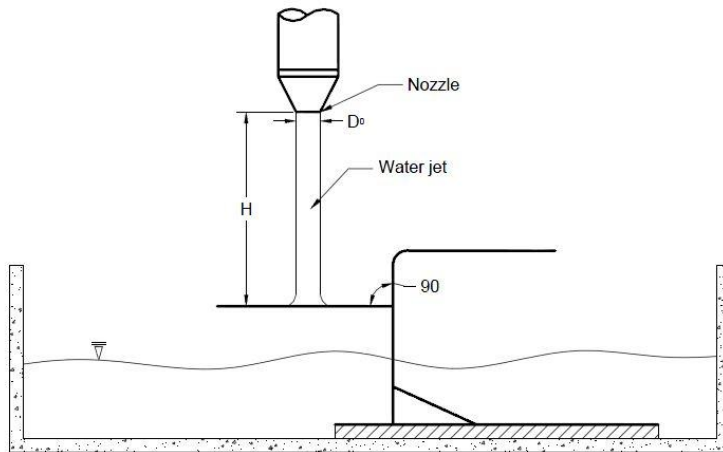
تجهیزات و مدل آزمایشگاهی

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 انتخاب شده و آزمایشات برای همه نازل‌ها انجام گرفت. جهت اندازه‌گیری سرعت و فشار در محل برخورد از یک صفحه پلاستیکی گلاس به ابعاد ۰/۵×۰/۵ متر که تعداد ۱۷ منفذ به صورت دایره متحدالمرکز روی آن تعبیه شده است استفاده گردید. هر منفذ، از زیر به یک پیرومتر 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.

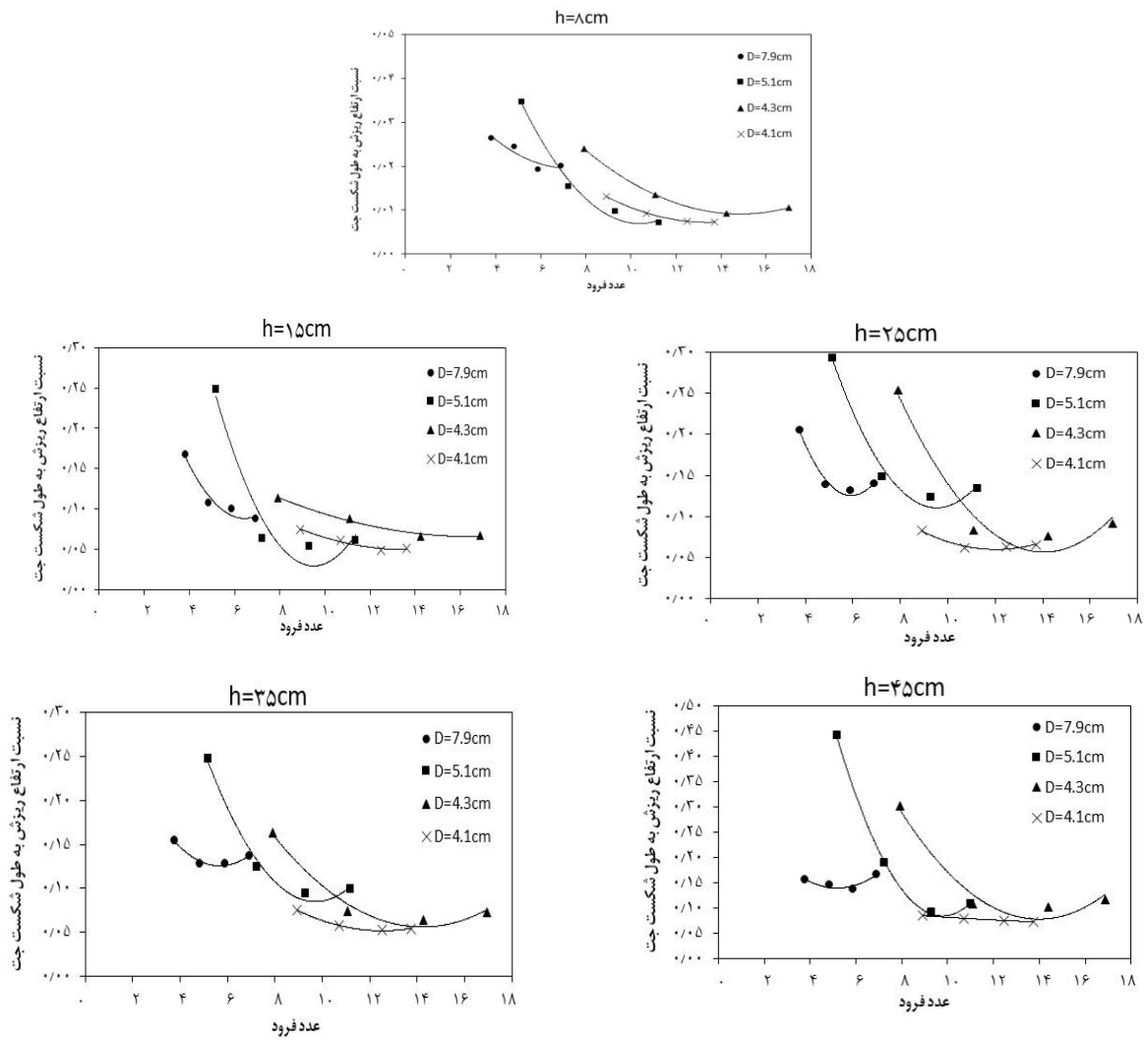
روش انجام آزمایش

آزمایشات بدین گونه انجام گردید که ابتدا ارتفاع مورد نظر تعیین شده، 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. ذکر این نکته ضروری است که ترانسدیوسر فشار به چندین لوله رابط وصل گردیده و بالاترین فشار نشان داده‌شده به عنوان داده اصلی برداشت می‌شود. لازم به ذکر

1- Turbulence intensity
2- Data translation



شکل ۲- نمایی شماتیک از مدل برداشت داده‌ها و پارامترهای موثر بر آن



شکل ۳- روند تغییرات مقدار نسبت ارتفاع ریزش به طول هسته جت در برابر عدد فرود

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	۸، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵
۲۰	۱۶/۹، ۱۴/۵، ۱۱، ۸	۷، ۵، ۴	۴/۳	۸، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵
۲۰	۱۳/۷، ۱۲/۵، ۱۰/۸، ۹	۷، ۵، ۴	۴/۱	۸، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵

جدول ۲- درصد تغییرات نسبت ارتفاع ریزش به طول هسته جت به ازای اعداد فرود مختلف

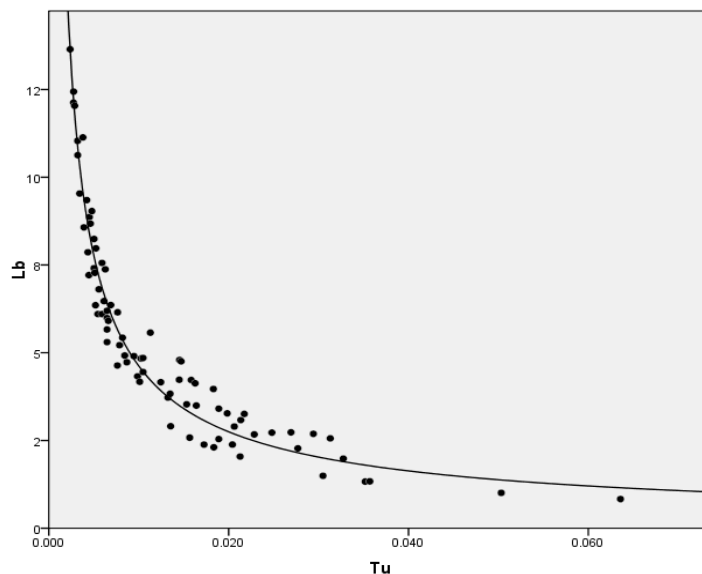
تغییرات H/L_b (درصد)	تغییرات عدد فرود (درصد)	عدد فرود	قطر نازل (سانتیمتر)
-	-	۳/۸	۷/۹
-۲۱	+۲۷	۴/۸	
-۷	+۲۱	۵/۸	
+۵	+۱۷	۶/۸	
-	-	۵/۲	۵/۱
-۵۶	+۴۰	۷/۲	
-۲۹	+۲۸	۹/۲	
+۴	+۲۱	۱۱/۲	
-	-	۷/۲	۴/۳
-۵۰	+۴۰	۱۱/۱	
-۱۷	+۲۸	۱۴/۲	
+۱۳	+۱۹	۱۷	
-	-	۸/۹	۴/۱
-۲۰	+۲۰	۱۰/۷	
-۹	+۱۶	۱۲/۴	
+۱	+۱۰	۱۳/۷	

با توجه به مطالب ارائه شده در قسمت‌های قبل و مطالعات محققین پیشین، اصلی‌ترین عامل در مقدار طول شکست جت ضریب گسترش آشفتگی می‌باشد، به همین منظور در شکل زیر مقادیر طول شکست جت در مقابل ضریب گسترش آشفتگی در مقابل هم و در تمامی آزمایشات در شکل (۴) رسم شده است.

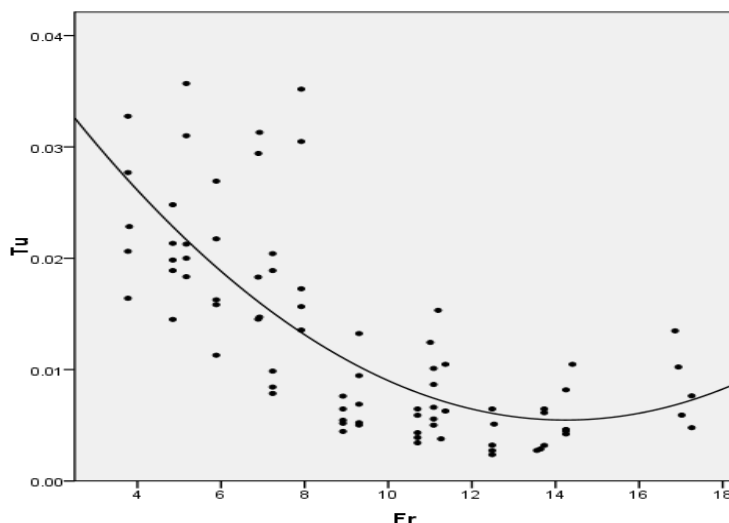
شکل (۴) نشان می‌دهد که طول شکست جت و ضریب گسترش آشفتگی روندی کاملاً معکوس و کاملاً یکنواخت با یکدیگر دارند. همان‌گونه که مشخص است با افزایش ضریب گسترش آشفتگی از مقدار طول شکست جت کاسته می‌شود. زیرا با افزایش آشفتگی به مقدار ورود هوا به جت افزوده می‌شود که ادامه این روند منجر به شکسته شدن هسته مرکزی می‌گردد. با این وجود این روند منجر به نمی‌توان دلیل رفتار دوگانه طول شکست جت در برابر عدد فرود را بیان کرد. به همین منظور در شکل (۵) ضریب گسترش آشفتگی در مقابل عدد فرود رسم شده است.

به علاوه کمترین نوسانات سرعت و فشار و همچنین، کمترین مقدار میانگین نوسانات در کوچک‌ترین قطر رخ داده است که خود مؤید مقدار حداقلی ضریب گسترش آشفتگی و حداکثر تراکم هسته جت در این قطر می‌باشد. به عنوان نمونه در قطر ۵/۱ سانتیمتر با

افزایش ۴۰ درصدی عدد فرود از ۷/۲ به ۱۱/۱، نسبت H/L_b ۵۰ درصد کاهش، با افزایش ۲۸ درصدی عدد فرود از ۱۱/۱ به ۱۴/۲ این نسبت ۲۹ درصد کاهش و در نهایت با افزایش ۱۹ درصدی عدد فرود از ۱۴/۲ به ۱۷ به ۱۳ درصد نسبت ارتفاع ریزش به طول هسته جت ۱۳ درصد افزایش می‌یابد. باید توجه نمود که رفته رفته با افزایش عدد فرود روند تغییرات طول هسته جت کاهش می‌یابد. جهت مقایسه بهتر نتایج با یکدیگر و مقادیر کمی آنها، در جدول (۲) درصد تغییرات H/L_b به ازای اعداد فرود مختلف در قطرهای متفاوت به تفصیل آمده است.



شکل ۴- روند تغییرات ضریب گسترش آشفتگی در برابر طول شکست جت



شکل (۵)- تغییرات طول شکست جت را در مقابل عدد فرود

آشفتگی ادامه می‌یابد، اما پس از رسیدن به این نقطه با افزایش عدد فرود این ضریب افزایش یافته و طول شکست جت کاهش می‌یابد.

تجزیه و تحلیل آماری

از مجموعه مباحث در قسمت‌های قبل و مطالعات محققین پیشین نظیر ارواین (Ervine and Falavey., 1987) این نتیجه بدست آمد که یکی از تأثیرگذارترین پارامترها بر روی خصوصیات جت‌های آب، مقدار ضریب گسترش آشفتگی است. در این قسمت به کمک نرم‌افزار *SPSS* بر روی نتایج آزمایشات آنالیز همبستگی پیرسون صورت گرفته که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است.

شکل (۵) دلیل اصلی روند تغییرات طول شکست جت را در مقابل عدد فرود نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل مشخص است مقادیر ضریب گسترش آشفتگی در مقابل عدد فرود روندی کاملاً نزولی نداشته و پس از رسیده به نقطه کمینه افزایش می‌یابند. این افزایش مقدار ضریب گسترش آشفتگی منجر به تحمیل تغییرات به سایر پارامترهای محاسبه‌شده در جت آب همانند ضریب فشار دینامیکی و طول شکست جت می‌شود. می‌توان بدین‌گونه تشریح نمود که با افزایش عدد فرود ضریب گسترش آشفتگی رفته رفته کم می‌شود، با کاهش این ضریب نوسانات جت کاهش یافته و جت مقاومت بیشتری را در برابر ورود هوا نشان داده و طول هسته جت افزایش می‌یابد، این روند تا رسیدن به نقطه کمینه ضریب گسترش

جدول ۳- ماتریس ضرایب همبستگی بیرسون بین متغیرهای مورد مطالعه

parameters	T_u	F_r	H (m)	D (m)	L_b
T_u	-	-۰/۷**	۰/۳۱۷**	۰/۶۳۳**	-۰/۹۳۶**
F_r	-	-	-۰/۰۰۶	۰/۷۲۳**	۰/۶۵۱**
H (m)	-	-	-	۰/۰۰۶	-۰/۳۵۹**
D (m)	-	-	-	-	-۰/۴۷۸**

** معنی داری در سطح احتمال ۰/۰۱

- با افزایش عدد فرود، ضریب H/L_b روندی اکیدا نزولی نداشته و پس از رسیدن به نقطه کمینه افزایش می یابد، لذا در کارهای اجرایی باید مدلسازی لازم جهت یافتن حداکثر طول هسته انجام پذیرد تا ضمن بررسی اقتصادی، ارتفاع حوضچه استغراق، متناسب با بیشترین طول هسته جت تعیین گردد.
- طول شکست جت و ضریب گسترش آشفتگی روندی کاملاً معکوس و یکنواخت با یکدیگر دارند.
- تغییرات عدد فرود بر روی نسبت H/L_b در اعداد فرود بالاتر، دارای اثرگذاری کمتری در مقایسه با همین مقدار تغییرات در فرودهای پایین می باشد.
- روند تغییرات ضریب گسترش آشفتگی و طول شکست جت در برابر عدد فرود یکسان بوده و پس از یک کاهش اولیه و رسیدن به نقطه یک کمینه افزایش می یابند.
- مطابق با تجزیه و تحلیل آماری طول شکست جت با پارامترهای ضریب گسترش آشفتگی، قطر جت، عدد فرود و ارتفاع ریزش در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی دار بوده که بیشترین مقدار آن برای ضریب گسترش آشفتگی T_u (۰/۹۳۶-) و به صورت منفی می باشد. به بیانی ساده تر هرگونه تغییراتی در مقدار T_u منجر به تغییرات مقادیر طول شکست جت می گردد.

در جدول ۳ ماتریس ضرایب همبستگی بین متغیرهای مورد مطالعه مشخص شده است. نتایج همبستگی بین متغیرها نشان داد که طول شکست جت با پارامترهای ضریب گسترش آشفتگی، قطر جت، عدد فرود و ارتفاع ریزش در سطح احتمال ۰/۰۱ معنی دار است (جدول ۱). به بیانی ساده تر تغییرات در مقدار ضریب گسترش آشفتگی T_u ، قطر جت، عدد فرود و ارتفاع ریزش منجر به تغییر طول شکست جت می گردد. با بررسی دقیق تر و مقایسه طول شکست جت با تک تک پارامترها مشخص می شود که با ضریب گسترش آشفتگی بیشترین همبستگی و به صورت منفی (۰/۹۳۶-) را داشت، در واقع داشتن همبستگی منفی بالا و معنی دار نشان دهنده تاثیر زیاد آن بر روی طول شکست جت است. به گونه ای که افزایش ضریب توزیع آشفتگی منجر به کاهش طول شکست جت می گردد که همخوانی خوبی با نتایج ارواین و فالوی (Ervin and Falavey., 1987) دارد. آنها نیز دریافتند که مهم ترین عامل در اندازه طول شکست جت مقدار ضریب گسترش آشفتگی می باشد. همچنین طول شکست جت با عدد فرود همبستگی مثبت و قابل قبولی (۰/۶۵۱) نشان داد. قابل ذکر است که هرچند پارامتر ارتفاع ریزش همبستگی منفی و معنی داری با متغیرهای ارتفاع ریزش و قطر جت (به ترتیب برابر با ۰/۳۵۹- و ۰/۴۷۸-) نشان داد اما مقدار آن پایین بوده و اثر گذاری آن در قیاس با سایر پارامترها کمتر است.

منابع

- Annandale, G. W. 2006. Scour technology. Mechanism and engineering practice. McGraw-Hill. Civil Engineering Series.
- Beltaos S and Rajaratnam N, 1974. Impinging circular turbulent jets. Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol. 100. No. HY10. 1313-1328 .
- Beltaos S and Rajaratnam N, 1976. Plan of turbulent impinging jets. Journal of hydraulic Research..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.Vol. 41.No.5.

نتیجه گیری کلی

- توزیع سرعت در محل برخورد جت بیشینه بوده و به تدریج بافاصله گرفتن از محل برخورد کاهش می یابد.
- کمترین نوسانات فشار و همچنین، کمترین مقدار میانگین نوسانات در کوچک ترین قطر رخ داده است.
- بیش ترین مقدار بدست آمده برای H/L_b برای قطر نازل ۵/۱، ارتفاع ریزش ۴۵ سانتیمتر و برابر با ۰/۴۴ بوده و کمترین مقدار آن ۰/۰۰۷ و برای قطر ۴/۱ سانتیمتر و ارتفاع ریزش ۸ سانتیمتر می باشد.

- Elettrica, No.11. pp. 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. Proceeding Of The Institution Of The Civil Engineering. Part 2. Vol.83. 295-314.
- Ervine DA, Falavey HT and Withersw,1997. Pressure fluctuation on plunge pool floors. Journal of hydraulic Research ,IAHR. Vol 35.No.2.
- He, Y., Zhu, D.Z., Zhang, T., Shao, Y. and Yu, T., 2017. Experimental observations on the initiation of sand-bed erosion by an upward water jet. Journal of Hydraulic Engineering, 143(7), p.06017007.
- Kerman Nejad J, Fathi-Moghadam M, Lashkarara B and Haghhighipour S, 2011. Dynamic Pressure of Filip Bucket Jet. World Applied Sciences Journal.1165-1171
- Karamigolbaghi, M., Ghaneezad, S.M., Atkinson, J.F., Bennett, S.J. and Wells, R.R., 2017. Critical assessment of jet erosion test methodologies for cohesive soil and sediment. Geomorphology, 295, pp.529-536.
- Lencaster A, 1961. Free overflow spillway. Engineering and Design Principle. National Lab. for Civil Engrs. Report No. 174. Portugal, Lisbon.
- Puetras, J. 1994. Criterios hidraulicos para el diseno de cuencos de disipacion de energia en presas boveda con vertido liber por coronacion. PhD Thesis. Universitat politecnica de Catalunya. Barcelona, Spain.
- 465-480
- Castillo-E., L.G, 1989. Metodologia experimental numerica para la caracteriacion del campo de presiones en los disipadores de energia hidraulica. Aplicacion al vertido en presas boveda. PhD Thesis. Universitat Politecnica de Catalunya. Barcelona, Spain.
- 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 jets. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Castillo E-L.,G, 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, Vol. 41. No. 5. 451-464.
- Castillo E-L.,G, 2006. Aerated Jets and Pressure Fluctuation in Plunge Pools. 7th Int. Conf. on Hydro science and Engineering (ICHE-2006). 10Sep–13Sep. Philadelphia, USA.
- 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 & Research Venice, Italy. 1 – 6 July 2007.
- Chowdhury, M.N., Khan, A.A. and Testik, F.Y., 2017. Numerical Investigation of Circular Turbulent Jets in Shallow Water. Journal of Hydraulic Engineering, 143(9), p.04017027.
- Cola r, 1966. Diffusione Di un Getto Piano Vertical In un Bacino Daqua Daltezza Limitata. L-Energia

Investigation of Break up Length of free Water Jet

A. Salemnia^{*1}, M. Fathi Moghdam²

Received: Augu.22, 2018

Accepted: Nov.06, 2018

Abstract

The flow from the dam is a tremendous amount of energy in the absence of energy dissipation, the flow through the irreversible damage to structures downstream of the dam. A one way of dissipating the excess energy is falling jet in the plunge pool. Flow jets in special distance have a dense core which formed of water particles. Much of the pressure on the bed and pool wall is caused by that dense core. After passing some distance, air intrusion from border and flow turbulence causes to shrinking core and finally it will be vanished. This study examines the failure of the jet length and the parameters affecting it are discussed. Percent from the second to the third experiment the Froude number, approximately 15 % decrease and finally tests the third quarter increased 17 percent compared to 6 percent of the Froude number increases. So we can conclude that the changes failed to increase the jet flow (Froude number) is not constant after reaching a minimum point of the process increases. Further statistical analysis was determined according to the coefficient of expansion Jets in turmoil with the failure probability 0.1 is significant.

Keyword: Fall Height, Vertical Jet, Break up Length

1- Department Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, IRAN

2- Professor of Department Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz, IRAN
(Corresponding Author Email Address: Amin.salemnia@gmail.com)