

مطالعه آزمایشگاهی پارامترهای آبخستگی بالادست اریفیس مربعی تحت هد ثابت

حسن وثوقی^۱ و هومن حاجی‌کندی^{۲*}^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد عمران- آب، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی^۲ استادیار گروه عمران دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی

* نویسنده مسئول

دریافت ۹۴/۴/۱۸ پذیرش ۹۴/۱۱/۱۰

چکیده

عوامل متعددی در رسوب‌شویی بالادست اریفیس نقش دارند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها شکل اریفیس می‌باشد. بررسی‌های متعددی در زمینه آبخستگی تحت شرایط هد‌های کاهشی در پشت اریفیس‌ها صورت گرفته است؛ ولی در مورد شرایط هد‌های ثابت، اطلاعات زیادی در دسترس نیست. در این مقاله، مکانیزم آبخستگی و پارامترهای حفره آبخستگی بالادست اریفیس مربعی تحت شرایط هد ثابت، برای ارتفاع‌های مختلف آب و اندازه رسوبات ریزدانه و درشت‌دانه مورد مطالعه قرار گرفت. از نتایج آزمایشات مشخص شد که گردابه‌های ایجاد شده در محدوده حفره آبخستگی عامل اصلی انتقال رسوبات و ایجاد حفره بوده‌اند. با انجام آزمایشات بستر ثابت، محدوده تنش برشی بستر مورد مطالعه قرار گرفت. پروفیل‌های بدون بعد عمق حفره آبخستگی در طول محور مرکزی اریفیس و پروفیل‌های بدون بعد عمق حفره آبخستگی در مسیر عرض حفره آبخستگی در مکان‌های مختلف بالادست اریفیس به دست آمده و معادلات مربوط به هر کدام محاسبه گردید که با اختلاف ناچیزی شبیه به هم به دست آمدند. الگوی جریان و مؤلفه‌های سرعت در بالادست اریفیس در هر دو نوع بستر ثابت و متحرک با استفاده از دستگاه سرعت‌سنج صوتی سه‌بعدی (ADV) مورد بررسی قرار گرفت. هرگاه ویژگی‌های جریان در نزدیکی اریفیس به اریفیس آزاد تمایل پیدا می‌کرد، آبخستگی به سمت شرایط تعادل پیش می‌رفت.

واژگان کلیدی: اریفیس مربعی، حفره آبخستگی، سرعت‌سنج سه‌بعدی، مکانیزم انتقال رسوب، فعالیت گردابه.

۱- مقدمه

اریفیس‌ها به صورت معمول در خروجی پایین‌دست سدها جهت انتقال و تخلیه رسوبات مورد توجه قرار دارند. رسوبات انباشته شده در پشت مخازن سدها باعث ایجاد مشکلات زیادی از جمله کاهش حجم واقعی مخزن، آسیب رسیدن به توربین‌ها و تونل‌ها و گرفتگی تخلیه‌کننده‌های پایینی و نامناسب بودن شرایط آبگیری می‌گردد. از جهتی دیگر استفاده بهینه از سدها و مخازن احداث شده از نظر صرفه اقتصادی بسیار مناسب‌تر از ایجاد مخازن جدید است [۱].

تخلیه رسوبات با روش فلاشینگ به عنوان یک روش کاملاً اقتصادی شناخته شده است که در آن آبخستگی رسوبات انباشته شده پشت سدها با استفاده از کاهش سطح آب و باز کردن دریچه‌های تحتانی صورت می‌گیرد و در مخازن بزرگ یا کوچک قابل بکارگیری است. شکل مخازن، مشخصات خروجی از جمله شکل آن‌ها، میزان جریان ورودی و خروجی، شکل تمرکز رسوبات، از جمله عوامل مؤثر در رسوب‌شویی پشت اریفیس‌ها می‌باشند.

Atkinson [۲] با نام بردن از چند سد، به بررسی عملیات رسوب‌شویی در مخازن پرداخته و تأثیر آن را بیان نموده است. برخی از سدها از جمله Baira (هند)، Palagneda (سوئیس)، Gmund (اتریش)، Honglingjin, Hengshan و Naodehai (چین)، Mangahao (نیوزلند) و Santo Doming (ونزوئلا) نمونه‌هایی از سدهایی هستند که با بررسی نحوه تجمع رسوبات در مخازن سدها به مطالعه و بررسی مؤثر بودن عملیات فلاشینگ روی آن‌ها پرداخته شده است [۲، ۳]. Basson و Olsen در سال ۱۹۹۷، Olsen در سال ۱۹۹۹ و Liu و همکاران در سال ۲۰۰۴ از مدل‌های تک‌بعدی و دوبعدی جهت مطالعه فلاشینگ رسوبات در مخازن استفاده کردند. آن‌ها کلیه مطالعات خود را بر پایه هد کاهشی انجام دادند و به نتیجه تأثیر مثبت عملیات فلاشینگ در رسوب‌شویی مخازن رسیدند [۴-۶].

میزان جریان در اریفیس‌ها وابسته به ضریب جریان^۱ است که یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های جریان می‌باشد. Hunt در سال ۱۹۶۸، Michell در سال ۱۸۹۰ و Mises در سال ۱۹۱۷ هر

کدام تحت شرایط متفاوت و با اریفیس‌های گوناگون مطالعاتی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که در یک جت افقی آب از یک مخزن بسیار بزرگ و نامحدود ضریب جریان معادل ۰/۵۸ و برای جت‌های دو بعدی و متقارن معادل ۰/۶۱ خواهد بود که این مقدار متناسب با مساحت اریفیس می‌باشد [۷-۹]. Lea در سال ۱۹۳۸ با مخلوط گلیسرین و روغن‌های دیگر با آب و بهره‌گیری از اطلاعات آزمایشگاهی کلاسیک، بررسی‌هایی روی ضریب دبی انجام داده است و Rouse در سال ۱۹۴۶ اطلاعات و نمودار وی را تصحیح نموده است [۱۰، ۱۱] که علی‌رغم تصحیحات انجام شده، خطاهایی در خواندن نمودار ضریب دبی وجود داشته و برای اهداف تحلیلی قابل استفاده نبوده است، بنابر این تحقیقات کامل‌تر شده و یک معادله ساده با دقت بالا برای محاسبه ضریب تخلیه اریفیس ارائه شد که در برگزیده ویسکوزیته سیال و پتانسیل جریان نیز می‌باشد [۱۲].

الگوی جریان در پشت اریفیس با استفاده از تئوری پتانسیل جریان^۱ برای اولین بار توسط Montes در سال ۱۹۹۴، ارائه شده است [۱۳]. Anayiotos و همکاران در سال ۱۹۹۵ از دستگاه سرعت‌سنج فراصوتی سه بعدی^۲ برای مشخص کردن کانتورهای سرعت^۳ در بالادست اریفیس استفاده کردند و نتیجه گرفتند که هرچه به سمت اریفیس پیش می‌رویم، کانتورها به طور فزاینده-ای شکل سهموی‌تری به خود می‌گیرند [۱۴]. Chanson در سال ۲۰۰۲ رفتار جریان را در یک اریفیس مستطیلی بزرگ که در کف مخزن قرار داشت، مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار داد. وی از یک سرعت‌سنج صوتی سه بعدی استفاده کرده و الگوی جریان را در مخزن و بالادست اریفیس ترسیم نمود و با تمرکز بر روی ظرفیت تخلیه، دو بعدی بودن جریان و ضریب جریان مناسب، آزمایشات خود را انجام داد و به یک ضریب دبی جدید در اریفیس‌های مستطیلی عمودی رسید. آزمایشات وی با اضافه کردن یک ورق سلفون در کنار اریفیس نیز انجام شد و ضریب دبی جدیدی که از قبلی بیشتر بود را ارائه نمود [۱۵]. Shammaa و Rajaratnam در سال ۲۰۰۵ الگوی جریان در پشت اریفیس را با استفاده از تئوری پتانسیل ارائه دادند [۱۶]. Bryant و همکاران در سال ۲۰۰۸ یک مدل فیزیکی را مورد مطالعه قرار داده و جریان را در پشت اریفیس کوچک، اریفیس بزرگ و اریفیس نزدیک سطح، بررسی کردند و یک راه حل جدید برای پتانسیل جریان پشت اریفیس ارائه نمودند و راه حل

۲- مدل آزمایشگاهی مورد مطالعه

مدل فیزیکی آزمایش شامل یک مخزن مستطیلی شکل به عرض ۵۵ سانتی‌متر، طول ۱۴۵ سانتی‌متر و عمق ۱۰۵ سانتی-متر به عنوان مخزن اصلی و مخزن دیگری با ابعاد ۲۱۰ سانتی-متر عرض، ۳۵۰ سانتی‌متر طول و ۱۱۰ سانتی‌متر ارتفاع به عنوان مخزن پشتیبان و در پایین‌دست می‌باشد و جهت یک جریان آزاد^۴ طراحی شده است؛ به طوری که جریان از اریفیس به مخزن دوم خارج شده و مجدداً به داخل مخزن اصلی به گردش در می‌آید. مخزن اصلی دارای سه وجه و یک کف آلومینیومی و یک وجه مدرج از جنس شیشه پلکسی^۵ می‌باشد که امکان رویت کلیه اتفاقات را در طول آزمایش به ما می‌داد. شکل‌های (۱) و (۲) چیدمان مدل آزمایشگاهی را در حالت پلان و برش، نمایش می‌دهد.

برای انجام آزمایشات با بستر متحرک^۶ یک اریفیس مربعی به طول ۶/۲ سانتی‌متر که محل قرارگیری آن در فاصله ۱۴/۶ سانتی‌متری از کف مخزن تا مرکز اریفیس می‌باشد، طراحی

4- Falling head (drawdown flushing)

5- Constant head

6- Flow pattern

7- Free outfall

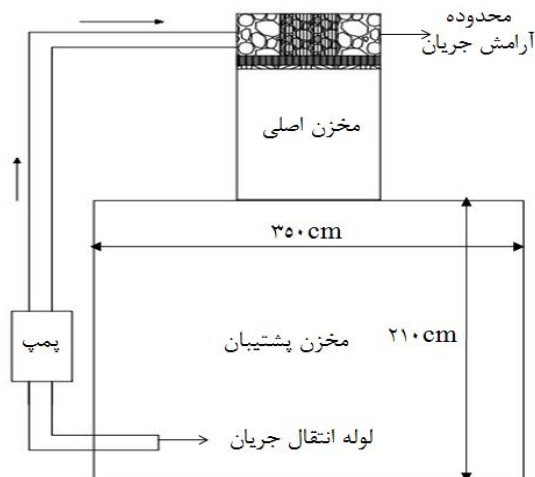
8- Plexiglass

9- Mobile-bed

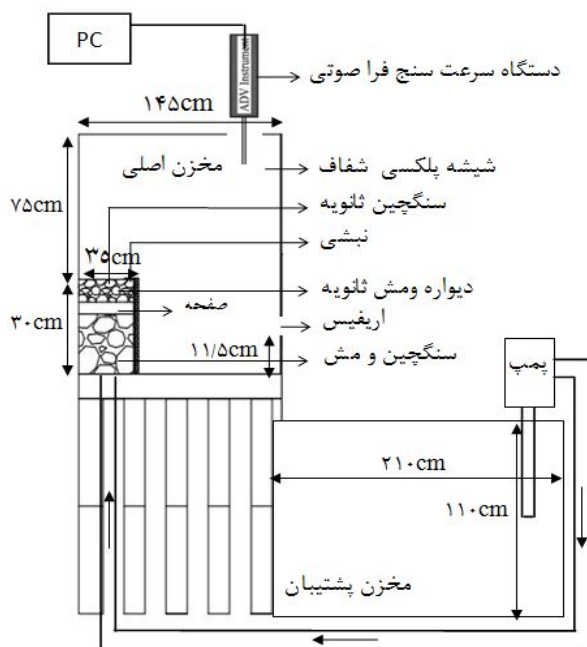
1- Potential flow theory

2- 3-D Acoustic Doppler Velocimeter (ADV)

3- Velocity contours



شکل ۱- پلان چیدمان مدل آزمایش



شکل ۲- مقطع چیدمان مدل آزمایش

این دستگاه قادر به انجام اندازه‌گیری سرعت با استفاده از اثر داپلر بوده و با انتقال یک پالس کوتاه از صدا توسط پروب‌ها و گوش دادن به اکو و اندازه‌گیری تغییر در زمین و یا فرکانس اکو آنرا اندازه می‌گیرد و به سیستم ثبت اطلاعات منتقل می‌کند و با استفاده از نرم افزار حرفه‌ای خاص خود دستگاه، می‌توان اطلاعات را مشاهده و تحلیل کرد. دستگاه مورد استفاده دارای پروب از نوع ساقه‌ای سفت^۳ بوده و کاوشگر متشکل از چهار مبدل دریافت کننده بود که در داخل هر کدام یک بازوی گیرنده وجود داشت و مبدل انتقال در مرکز قرار داشت. هر مبدل دارای

گردید و کف مخزن تا لبه پایینی اریفیس از رسوبات پوشانده شد. اریفیس مربع دیگری به طول ۶/۲ سانتی‌متر که لبه پایینی آن ۲ میلی‌متر از کف مخزن فاصله دارد، برای انجام آزمایشات با بستر ثابت^۱ طراحی گردید.

اندازه اریفیس و همچنین نسبت عرض به ضخامت اریفیس بر پایه کاهش اثرات مقیاسی اریفیس‌های کوچک و همچنین ایجاد یک جریان تک بعدی، انتخاب شد. در این مطالعه نسبت عرض اریفیس (a) به ضخامت آن (b_0)، رقمی بالاتر از ۱۰ انتخاب شد، که این نشان دهنده کمترین تأثیر شرایط مرزی^۲ در جریان می‌باشد.

برای از بین بردن تغییرات ناگهانی سطح جریان و اطمینان از ثابت بودن جریان، قسمت ۳۵ سانتی‌متری پشت مخزن به محدوده ورودی آب اختصاص داده شده است و با یک دیواره به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر از قسمت اصلی مخزن جدا گردید. لوله ورودی جریان از قسمت انتهایی و از کف مخزن وارد شده و فشار آن پس از برخورد به مانع بالاسری تعبیه شده، شکسته شده و جریان به سمت پایین برمی‌گردد و با عبور از سنگچین و مش ایجاد شده به طرف بالا جریان می‌یابد. تعبیه یک نبشی در لبه بالایی دیواره و ایجاد مش مضاعف در سرتاسر سطح رویه و پایین دست دیواره جدا کننده محدوده ورودی آب، باعث کنترل اغتشاشات و جت در هنگام ورود جریان به ناحیه اصلی مخزن می‌شد. با اجرای این تمهیدات در طول آزمایشات، جریانی ثابت و غیر متغیر در مخزن ایجاد گردید. برای ایجاد جریان پایدار، نسبت مناسبی بین هدهای مختلف آب (H) و ضخامت اریفیس (b_0) برقرار بوده است. Montes مقدار مناسب این نسبت را برای دریچه‌های تخلیه افقی کمتر از عدد ۴ بیان کرده است [۲۰، ۱۹].

دبی جریان و کنترل ارتفاع آب مورد نظر توسط یک پمپ با دبی اسمی ۱۰۳۰ لیتر بر دقیقه و شیر کنترل دبی، کنترل می‌گردد. برای اندازه‌گیری سرعت در سه جهت x , y , z از سرعت سنج صوتی سه بعدی (ADV) ۱۰ مگاهرتزی کمپانی NortekTM مدل Vectrino استفاده شده است [۲۱]. دستگاه در بالای مخزن و بر روی یک پایه حرکت دهنده تعبیه شده به طوری که می‌توانست در هر جهتی حرکت کند.

1- Fixed-bed

2- Boundary effects

3- Rigid stem

و عرض آن کمی بیشتر از طول آن و نیز کمی بیشتر از عرض اریفیس مشاهده شد. این محدوده هنگامی که تنش برشی بیش از تنش برشی بحرانی است، با افزایش تنش برشی بحرانی، افزایش می‌یابد هرچند تأثیر اندازه رسوبات، کمتر مورد توجه قرار گرفته است که در این خصوص Powell و Khan [۱۸] نیز با اریفیس مدور به این نتیجه رسیده‌اند.

با ادامه آزمایشات بر روی بستر متحرک که فاصله بین کف مخزن و لبه پایین اریفیس به ارتفاع ۱۱/۵ سانتی‌متر از رسوبات پر شده است، مشخص شد که حرکت و انتقال رسوبات کاملاً وابسته به اضافه تنش بستر بوده و جابجایی رسوبات در محدوده سهموی ذکر شده اتفاق افتاده است. رسوبات نزدیک اریفیس همانند جریان و در طول خطوط شعاعی حرکت می‌کردند. شکل (۳) مربوط به محدوده سهموی تنش برشی بستر ذکر شده و شکل (۴) نمایشگر حرکت رسوبات بالادست اریفیس در آزمایش رسوبات درشت دانه با هد بالا (H3C) می‌باشد. تصاویر ثبت شده توسط دوربین مستقر در بالای اریفیس نشان داد که بعد از حدود ۴۰-۵۰ ثانیه، حفره آبستگی شکل مشخص‌تری یافته است. در این زمان حرکات گردابی در طرفین محور مرکزی اریفیس دیده می‌شد. حرکت گردابه‌ها نظم مشخصی نداشته و چرخش آن‌ها در هر دو جهت ساعت گرد و خلاف ساعت گرد دیده می‌شد.



شکل ۳- محدوده تنش برشی بستر



شکل ۴- انتقال رسوبات بالادست اریفیس در آزمایش H3C

پوشش اپوکسی سخت بوده و کاوشگر نیز دارای پوشش تیتانیوم بود که در این تحقیق به منظور بررسی پارامترهای سرعت و تحلیل رژیم جریان در بالادست اریفیس و درون حفره آبستگی، از این دستگاه استفاده شده است.

آزمایشات با رسوبات غیر چسبنده^۱ در اندازه‌های مختلف انجام شده است که با دو گروه رسوبات ریزدانه و درشت‌دانه معرفی شده‌اند. متوسط اندازه ماسه‌های ریز و درشت به ترتیب برابر ۰/۲۹ و ۰/۸۹ میلی‌متر می‌باشد. انحراف معیار هندسی^۲ (σ) [۲۲] برای ماسه ریز و درشت به ترتیب برابر ۱/۵۰ و ۱/۳۱ می‌باشد.

سه هد ثابت به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر (H1)، ۵۰ سانتی‌متر (H2) و ۷۰ سانتی‌متر (H3) بالای مرکز اریفیس برای هر دانه‌بندی در نظر گرفته شده است. آزمایش‌ها با H3F، H2F، H1F، H3C، H2C، H1C نام‌گذاری شده‌اند که در آن‌ها F و C به ترتیب معرف دانه‌بندی ریز و درشت می‌باشند و این نمادها صرفاً جهت نام‌گذاری رسوبات بوده و به اندازه آن‌ها اشاره نمی‌کند.

نقطه آغاز و صفر سیستم طبق محور مختصات (X,Y,Z) و بر اساس نقطه مرکز اریفیس است که Z در جهت عمود به سطح آب، X در جهت بالا دست اریفیس و Y در جهت طرفین و عرض مخزن می‌باشد.

ابعاد اریفیس مربعی، هد بالای مرکز اریفیس و میانگین سرعت در مرکز اریفیس به ترتیب با H_a و U_0 نمادگذاری شده است و بیشینه عمق، بیشینه نصف عرض و بیشینه طول محوری حفره آبستگی بالادست اریفیس به ترتیب با L و W_m و d_m نمادگذاری شده است.

۳- مشاهدات و بررسی نیروهای فیزیکی متأثر بر حفره آبستگی

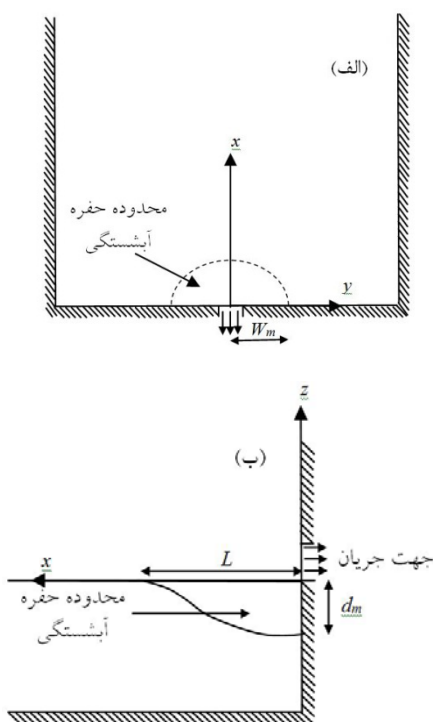
برای بررسی تأثیر نیروهای فیزیکی بر روی حفره آبستگی از اریفیزی که لبه پایینی آن ۲ میلی‌متر از کف مخزن فاصله دارد، استفاده شده و این فاصله با دو نوع رسوب به صورت جداگانه پوشانده و تحت هدهای مختلف، آزمایش انجام شده است. با انجام این آزمایشات که با شرایط بستر ثابت صورت گرفته است، محدوده خاصی از بالادست اریفیس که در آن‌جا تنش برشی بستر بیش از تنش برشی بحرانی می‌باشد، مورد بررسی و محاسبه قرار گرفت. این محدوده به شکل سهموی بوده

1- Non-cohesive sediment

2- Gradation coefficient

۴-۲- محاسبه مشخصات هندسی حفره آبشستگی

آزمایشات تحت هدهای مختلف آب و برای اندازه‌های متفاوت رسوبات انجام شده است. شکل (۶) مشخصات هندسی حفره آبشستگی را نمایش می‌دهد و نتایج آزمایشات در جدول (۱) بیان گردیده است. حداکثر عمق و حداکثر طول حفره آبشستگی با افزایش هد آب و افزایش سرعت جریان، افزایش یافته است. حداکثر عمق و حداکثر طول حفره در رسوبات درشت‌دانه نسبت به رسوبات ریزدانه کمتر بوده است.



شکل ۶- سیستم مختصات و پارامترهای حفره آبشستگی:
(الف) پلان، (ب) نمای برش

حداکثر عرض حفره در رسوبات ریزدانه با افزایش هد آب، بیشتر شده ولی در رسوبات درشت دانه، تغییرات هد آب تأثیر بسیار کمی بر روی حداکثر عرض حفره داشته است. با در نظر گرفتن هندسه کلی حفره آبشستگی در کلیه آزمایشات می‌توان نتیجه گرفت که افزایش هد آب باعث افزایش نمای کلی حفره گردیده و این در حالی است که حداکثر طول و عرض حفره‌ها بلندتر از طول و عرض منطقه تنش برشی اضافی بستر تحت شرایط بستر ثابت بوده است. در ستون آخر جدول (۱) سرعت متوسط در مقطع اریفیس بیان گردیده است که کلیه اندازه گیری‌های هندسی بر اساس آن‌ها بوده است.

گردابه‌ها به صورت تکی یا دوتایی دیده می‌شدند و با گذشت زمان فقط گردابه‌های تکی مشاهده شدند. رسوبات در کنار گردابه‌ها شروع به حرکت کرده و به صورت مارپیچ^۱ و یا موازی^۲ به سمت اریفیس حرکت می‌کردند. به تدریج و با گذشت زمان ۱۰-۱۳ دقیقه‌ای در آزمایشات مختلف، گردابه‌های تکی از محدوده اریفیس دور شده و با قدرت کمتری در محدوده حفره آبشستگی ظاهر و ناپدید می‌شدند.

هر کدام از آزمایشات تا اتمام زمان آزمایش ادامه یافت و این در حالی بود که حفره آبشستگی بسته به نوع آزمایش بعد از ۱۴-۱۵ دقیقه به تعادل رسیده و در ادامه آزمایش تغییری در حفره دیده نمی‌شد.

جریان نزدیک به بستر، شعاعی نبوده و در جهت شیب حفره آبشستگی به سمت پایین حرکت می‌کرد. جریان در بالای بستر به صورت افزایشی، شعاعی بوده و این نوع حرکت، تنش مورد نظر برای تولید گردابه‌ها را ایجاد می‌کرد. گردابه‌ها تنها در حفره آبشستگی و با انجام آزمایشات بستر متحرک دیده شدند و در آزمایشات بستر ثابت گردابه‌ای دیده نشد. حالت نهایی ایجاد شده در حفره آبشستگی در شکل (۵) نشان داده شده است که در تمامی عملکردهای بستر متحرک موجود بود، هر چند که منطقه خط‌الراس مرکزی و ابعاد حفره آبشستگی متفاوت و متغیر بودند.



شکل ۵- حفره آبشستگی نهایی

۴- مشخصات حفره آبشستگی

۴-۱- مدت زمان انجام آزمایش

آزمایش‌ها برای بستر متحرک که همراه با رسوبات بودند، تا زمانی که توپوگرافی بستر به تعادل برسد، ادامه یافت و این زمانی است که حرکت رسوب درون حفره آبشستگی ناچیز باشد. برای هر یک از رسوبات، هد آب در سه حالت پیش‌فرض، تنظیم و کنترل شد و هد آب تا اتمام زمان آزمایش که در این مطالعه ۳۰ دقیقه بود، ثابت باقی‌ماند.

جدول ۱- پارامترهای حفره آبشستگی در بالادست اریفیس مربعی

نام آزمایش	d_m	W_m	L	d_m/a	W_m/a	L/a	L/W_m	U_0
H1F	۴	۱۱/۵	۹	۰/۶۴۵	۱/۸۵	۱/۴۵	۰/۷۸	۱/۶۰۱
H2F	۴/۸	۱۲/۵	۱۱	۰/۷۷	۲/۰۱	۱/۷۷	۰/۸۸	۱/۹۸۲
H3F	۶	۱۳/۵	۱۲/۵	۰/۹۶۷	۲/۱۷	۲/۰۱۶	۰/۹۲۶	۲/۳۹۱
H1C	۱/۵	۱۱	۸	۰/۲۴	۱/۷۷	۱/۲۹	۰/۷۲۷	۱/۵۴۳
H2C	۲	۱۱/۵	۹	۰/۳۲	۱/۸۵	۱/۴۵	۰/۷۸	۱/۹۶۵
H3C	۲/۸	۱۱/۵	۱۰	۰/۴۵	۱/۸۵	۱/۶۱	۰/۸۶۹	۲/۳۱۹

۴-۳- حجم رسوبات منتقل شده

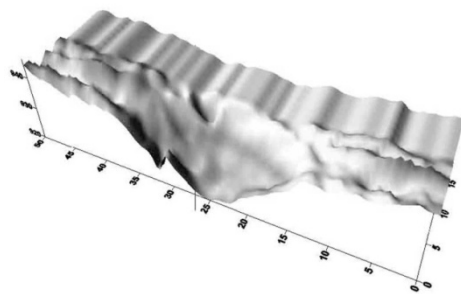
برداشت های اولیه از مشخصات حفره آبشستگی و انتقال به نرم افزار تخصصی 'surfer^۱ این امکان را فراهم نمود تا حجم رسوباتی که با انجام هر یک از آزمایشات، شسته و باعث ایجاد حفره بالادست اریفیس شده، محاسبه گردد. شکل (۷) توپوگرافی حفره آبشستگی را در آزمایش H3F نمایش می دهد و جداول (۲) و (۳) نسبت حجم رسوب شویی در آزمایشات مختلف را بیان می کند. با افزایش هد آب، حجم بیشتری از رسوبات درشت دانه و ریزدانه شسته شد و این روند در رسوبات ریزدانه بسیار بیشتر از رسوبات درشت دانه مشهود بود. حجم رسوبات شسته شده تحت یک هد ثابت در رسوبات ریزدانه بسیار بیشتر از رسوبات درشت دانه به دست آمد.

جدول ۲- نسبت حجم رسوبات شسته شده در هدهای مختلف

نسبت آزمایشات	نسبت حجم حفره ها
$V(H2F)/V(H1F)$	۱/۹۹
$V(H3F)/V(H2F)$	۱/۴۳
$V(H3F)/V(H1F)$	۲/۸۵
$V(H2C)/V(H1C)$	۱/۵۸
$V(H3C)/V(H2C)$	۱/۵۷
$V(H3C)/V(H1C)$	۲/۴۸

جدول ۳- نسبت حجم شستگی در رسوبات متفاوت با هد ثابت

نسبت حجم حفره ها	نسبت آزمایشات
۱/۵۷	$V(H1F)/V(H1C)$
۱/۹۸	$V(H2F)/V(H2C)$
۱/۸	$V(H3F)/V(H3C)$



شکل ۷- توپوگرافی حفره آبشستگی در آزمایش H3F

۴-۴- بررسی پروفیل های عمق حفره آبشستگی در محور مرکزی

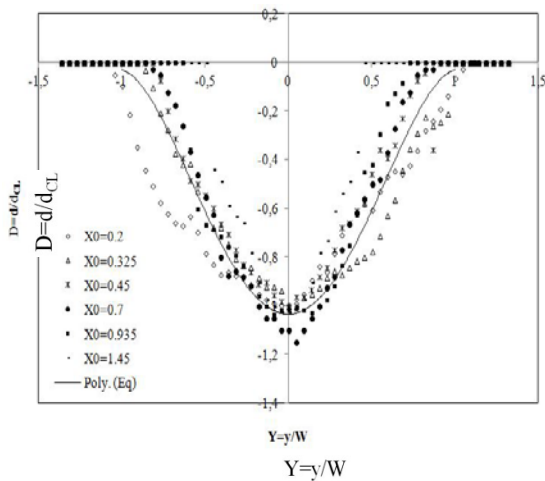
در جهت محور مختصات x، حفره آبشستگی مورد بررسی قرار گرفت و پروفیل های محور مرکزی بستر حفره در بالادست اریفیس اندازه گیری شد. Dey و Barbhuiya [۲۳] محدوده سطح بستر مسطحی را برای حفره آبشستگی در جریان سه بعدی محاسبه و مطرح کردند و Powell و Khan [۱۸] این محدوده را برای حفره آبشستگی بالادست اریفیس دایره ای محاسبه کرده اند.

در حفره آبشستگی پشت اریفیس مربعی از فاصله $2/3 \leq X_0$ و $X_0 = \frac{X}{a}$ ، بستر حفره تقریباً مسطح بود. در شکل (۸) پروفیل های بدون بعد محور مرکزی برای حفره ایجاد شده بر اساس $D_c = \frac{d_{cl}}{d_m}$ نسبت به $X = \frac{x}{L}$ و با در نظر گرفتن جهت مثبت d_m در راستای عمق حفره آبشستگی، نشان داده شده است.

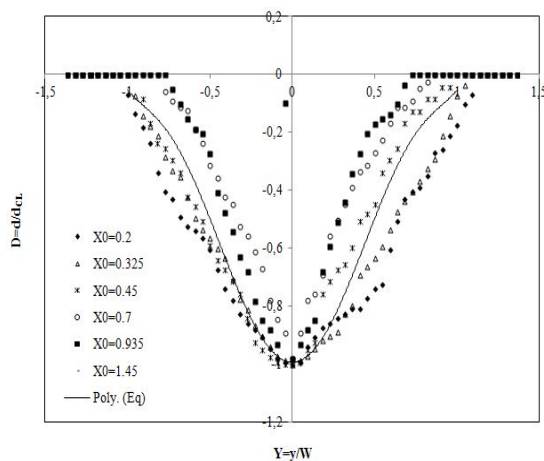
هرچند در طول پروفیل محور مرکزی، زاویه شکست هایی وجود دارد ولی در کل می توان گفت حدود $1/5$ - 1 سانتی متر مانده به انتهای حفره آبشستگی در جهت طولی، دارای شیب تقریباً ثابتی بوده و از آن به بعد به صورت ملایم تری به سطح صفر بستر رسیده است به گونه ای که می توان گفت این محدوده

۴-۵- پروفیل‌های عرضی حفره آبشستگی

پروفیل حفره آبشستگی در طول محور Y و بر اساس $D = \frac{d}{d_{cl}}$ نسبت به $Y = \frac{y}{W}$ بی‌بعد شده و ترسیم شد و d_{cl} در راستای عمق حفره، مثبت در نظر گرفته شده است. حداکثر عمق آبشستگی در چپ و راست محور مرکزی مشاهده گردید و در محور مرکزی یک جدادگی بین محدوده چپ و راست اتفاق افتاد. پروفیل عرضی برای آزمایش H3F و H1C در شکل (۱۰) و (۱۱) ترسیم شده است که در آن‌ها به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان آبشستگی از نظر هندسه حفره و حجم رسوبات منتقل شده، مشاهده شده است.



شکل ۱۰- پروفیل بدون بعد عرضی حفره آبشستگی در آزمایش با رسوب ریزدانه و تحت بالاترین هد- H3F



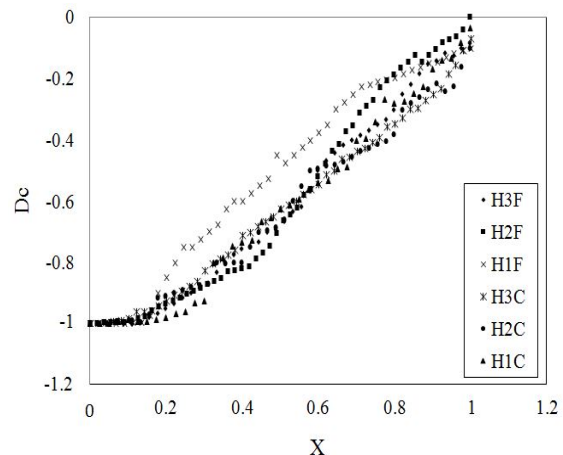
شکل ۱۱- پروفیل بدون بعد عرضی حفره آبشستگی در آزمایش با رسوب درشت دانه و تحت کمترین هد- H1C

از حفره، در محاسبه حجم رسوبات شسته شده قابل اغماض بوده است. اگر شستگی ناچیز محدوده انتهایی طول حفره در نظر گرفته نشود، می‌توان اطلاعات مربوط به پروفیل محور مرکزی حفره آبشستگی را به صورت زیر بیان کرد:

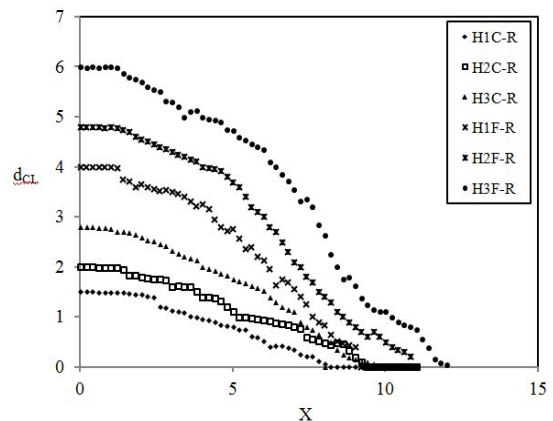
$$Dc = 1.1 (1 - X), \quad \text{if } 0.17 \leq X \leq 1 \quad (1)$$

$$Dc = 1 \quad \text{if } X \leq 0.17 \quad (2)$$

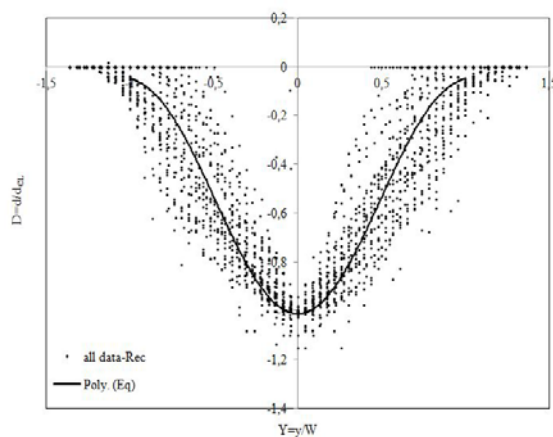
نمودار مربوط به تغییرات محور مرکزی حفره آبشستگی برای تمامی آزمایشات بر اساس d_m نسبت به X در شکل (۹) آورده شده است و در همه آن‌ها شیب با زاویه تقریباً ثابت و مشابهی تغییر می‌کند و از بیشینه عمق (d_m) تا انتهایی حفره می‌رسد.



شکل ۸- پروفیل بدون بعد عمق حفره آبشستگی بالادست اریفیس در راستای محور مرکزی

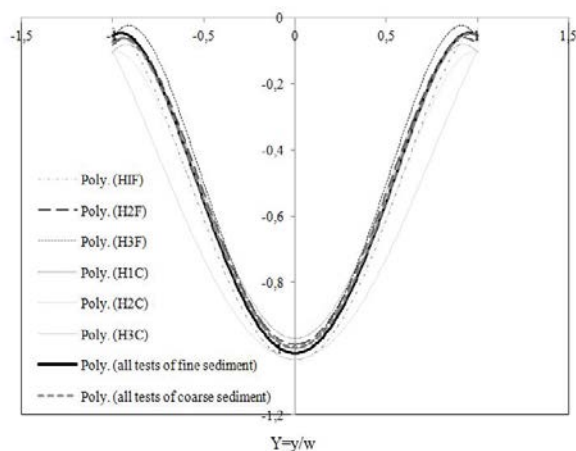


شکل ۹- نمودار تغییرات عمق حفره آبشستگی در بالادست اریفیس در محور مرکزی



شکل ۱۴- پروفیل بدون بعد عرضی حفره آبستگي-کل
آزمایشات ریزدانه و درشت دانه

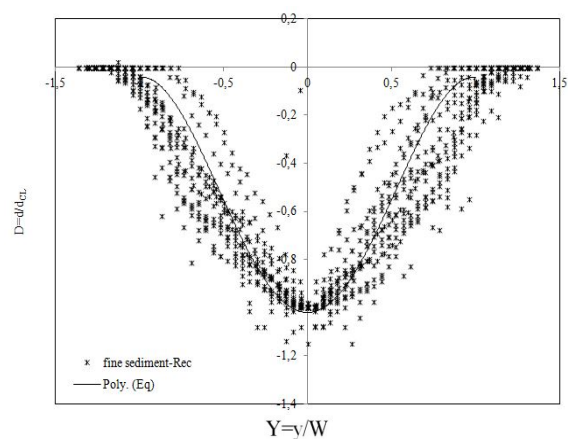
در شکل (۱۵) پروفیل عرضی حفره آبستگي در یکایک آزمایشات و نیز مجموع آزمایشات رسوبات ریزدانه و درشت دانه به صورت مجزا و در محدوده $Y=-1.0$ تا $Y=+1.0$ ترسیم شده است که بیانگر اختلاف ناچیز بین پروفیل‌ها می‌باشد.



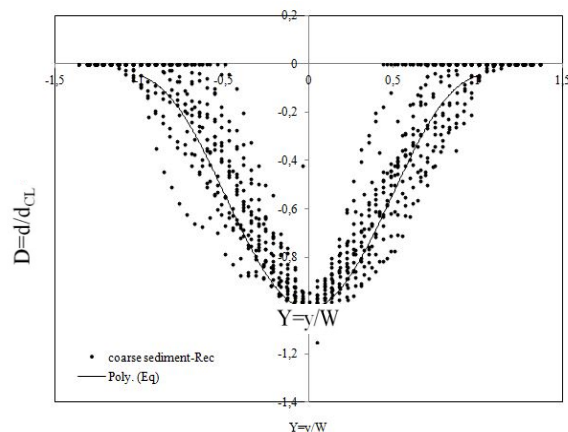
شکل ۱۵- قیاس پروفیل بدون بعد عرضی حفره آبستگي در
آزمایشات مختلف در محدوده $Y=-1.0$ تا $Y=+1.0$

نمودارهای ترسیم شده برای پروفیل‌های بدون بعد عرضی حفره آبستگي مربوط به تمام آزمایش‌ها و نیز پروفیل‌های بدون بعد عرضی حفره آبستگي برای مجموعه کل آزمایشات در محدوده $Y=-1.0$ تا $Y=+1.0$ به صورت روابط جدول (۴) تعریف شده‌اند.

پروفیل‌های عرضی حفره آبستگي برای رسوبات ریزدانه و درشت دانه و همچنین مجموع کلیه آزمایشات تحت هدهای مختلف در شکل‌های (۱۲)، (۱۳) و (۱۴) ترسیم شده است. خط برازش ترسیم شده در نمودارها بیانگر این موضوع می‌باشد که در رسوبات ریز دانه حفره آبستگي دارای سطح پهن تری نسبت به رسوبات درشت دانه بوده و در رسوبات درشت دانه حفره ای "V" شکل و با زاویه‌ای تندتر ایجاد شده است. این در حالی است که پروفیل ترسیم شده برای کل آزمایشات، شکل نزدیک‌تری به پروفیل رسوبات ریز دانه دارد.



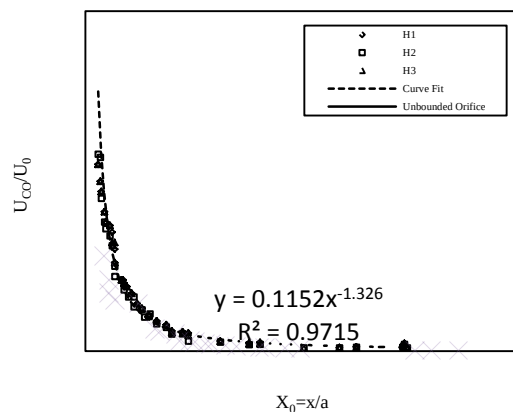
شکل ۱۲- پروفیل بدون بعد عرضی حفره آبستگي-کل
آزمایشات رسوبات ریزدانه با هدهای مختلف



شکل ۱۳- پروفیل بدون بعد عرضی حفره آبستگي-کل
آزمایشات رسوبات درشت دانه با هدهای مختلف

حفره آبشستگی تا فاصله بیش از $X_0=2/2$ ادامه نیافت و در خارج از حفره آبشستگی و در شرایط تعادل حفره آبشستگی، سرعت‌ها به سمت سرعت‌های بستر ثابت تمایل داشتند.

برای بستر ثابت، حداکثر سرعت، چسبیده به بستر اتفاق می‌افتد که این امر با آزمایشات Bryant و همکاران [۱۷] و Powell [۲۴] مطابق است. مکان حداکثر سرعت درون حفره آبشستگی، برای بستر متحرک، بالاتر و نزدیک تر به محور مرکزی اریفیس به دست آمد. برای اریفیس آزاد، حداکثر سرعت در مرکز اریفیس است. در لبه انتهایی حفره آبشستگی ($X_0=2/2$)، مکان حداکثر سرعت در هر دو حالت بستر ثابت و متحرک به هم رسیده‌اند. برای نتیجه‌گیری حول چگونگی وضعیت پیشرفت جریان آبشستگی، از مقایسه ویژگی‌های جریان محور مرکزی اریفیس، حداکثر سرعت‌های عرضی برای بستر ثابت و حفره آبشستگی متعادل شده، استفاده شد. بایستی در نظر داشت زمانی که سرعت محور مرکزی به سمت سرعت محور مرکزی اریفیس آزاد نزدیک می‌گردید یا زمانی که حداکثر سرعت یک نقطه مشخص درون حفره آبشستگی به سمت مرکز اریفیس میل می‌کرد، آبشستگی کاهش می‌یافت و هرگاه ویژگی‌های جریان در نزدیکی اریفیس به اریفیس آزاد تمایل پیدا می‌کرد، آبشستگی به سمت شرایط تعادل پیش می‌رفت.



شکل ۱۶- کاهش سرعت طولی محور مرکزی $U_{co}/U_0(X_0)$ برای حالت بستر ثابت

جدول ۴- معادله پروفیل‌های بدون بعد عرضی حفره آبشستگی

معادله پروفیل بدون بعد عرضی حفره آبشستگی (Eq)	نام آزمایش
$D = -\exp(-3.3 Y ^{2.8})$	H1F
$D = -\exp(-3.1 Y ^{2.2})$	H2F
$D = -\exp(-3.9 Y ^{2.4})$	H3F
$D = -\exp(-2.8 Y ^{2.1})$	کل آزمایشات رسوبات ریزدانه
$D = -\exp(-2.5 Y ^{2.25})$	H1C
$D = -\exp(-2.1 Y ^{2.85})$	H2C
$D = -\exp(-3.4 Y ^{2.2})$	H3C
$D = -\exp(-3.1 Y ^{2.3})$	کل آزمایشات رسوبات درشت دانه
$D = -\exp(-3.1 Y ^{2.3})$	مجموع کل آزمایشات ریزدانه و درشت دانه

۵- الگوی جریان

مجموعه سرعت طولی و عرضی در جهت عمودی و افقی در محور مرکزی اریفیس، در آزمایشات بستر ثابت و بستر متحرک و بعد از آنکه آبشستگی به تعادل رسید، اندازه‌گیری شدند.

شکل (۱۶) کاهش سرعت عرضی در طول محور مرکز اریفیس را نشان می‌دهد، U_{co} برای شرایط بستر ثابت تحت هدهای حداقل، متوسط و حداکثر می‌باشد. با استفاده از سرعت خروجی اریفیس و مقیاس قرار دادن عرض اریفیس، پروفیل‌های سرعت محور مرکزی تحت هدهای متفاوت از یک قوس تبعیت کرده‌اند که در نزدیکی اریفیس، برای یک بستر ثابت بسیار شبیه به یک اریفیس آزاد بوده است. چنانچه $X_0 \geq 0.75$ باشد، سرعت برای بستر ثابت بالاتر از اریفیس آزاد خواهد بود و به دلیل محصور بودن جریان بالادست ناشی از نزدیکی به بستر، سرعت به صورت آهسته‌تری کاهش یافته است.

پروفیل‌های سرعت عرضی در طول محور مرکزی اریفیس برای شرایط بستر متحرک و اندازه‌های مختلف رسوب و هدهای مختلف و نیز پروفیل‌های سرعت عرضی برای یک اریفیس آزاد و بستر ثابت در شکل (۱۷) نشان داده شده است.

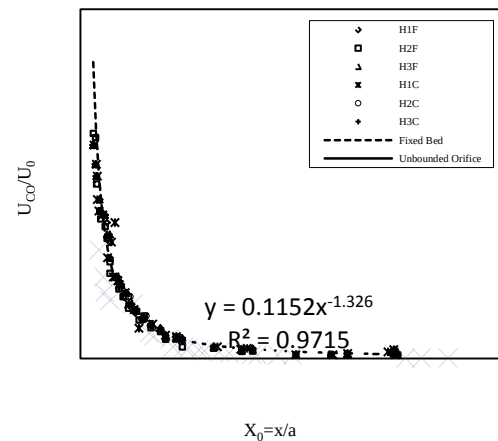
در نزدیکی اریفیس ($X_0 \leq 0.5$)، سرعت‌ها کمتر از سرعت‌های اندازه‌گیری شده برای اریفیس آزاد بوده است، هر چند در این محدوده با افزایش فاصله از اریفیس در مورد اریفیس آزاد، سرعت‌ها تمایل به افزایش داشته‌اند. در محدوده $0.5 \leq X_0 \leq 1/2$ سرعت‌ها در شرایط عمق آبشستگی به تعادل رسیده و مشابه اریفیس آزاد مشاهده شدند. برای $X_0 \geq 1/2$ رژیم جریان آهسته به سمت پروفیل بستر ثابت حرکت کرده است. به طور معمول

۷- نمادها

d	عمق حفره آبشستگی (m)
d_{CL}	عمق حفره آبشستگی در طول محور مرکزی (m)
d_m	حداکثر عمق حفره آبشستگی در طول محور مرکزی (m)
a	ابعاد اریفیس (m)
H	ارتفاع آب بالای مرکز اریفیس (m)
L	بیشینه طول آبشستگی در طول محور مرکزی (m)
W	نصف عرض آبشستگی بالادست اریفیس (m)
W_m	بیشینه نصف عرض آبشستگی بالادست اریفیس (m)
U_{co}	سرعت طولی در مسیر محور مرکزی اریفیس (m/s)
U_o	میانگین سرعت اریفیس (m/s)
x, y, z	مختصات کارتزین (m)
V	حجم (m^3)

۸- مراجع

- [1] Fang, D., Cao, S., "An Experimental Study on Scour Funnel In Front Of A Sediment Flushing Outlet of A Reservoir", Proceedings of the 6th Federal Interagency Sedimentation Conference, Las Vegas, 1996, pp 178-184.
- [2] Atkinson, E., "The Feasibility of Flushing Sediments from Reservoirs", Report OD, 137, HR Wallingford, UK, 1996.
- [3] Wen Shen, H., "Flushing Sediment Through Reservoirs", Journal of Hydraulic Research, 1999, 37, 6, 743-757.
- [4] Basson, G. R., Olsen, K. W., "Modeling Flood Flushing", Water Power and Dam Construction, 1997, 49, 6, 40-41.
- [5] Olsen, N. R. B., "Two-Dimensional Numerical Modeling of Flushing Processes In Water Reservoirs", Journal of Hydraulic Research, 1999, 37, 1, 3-16.
- [6] Liu, J., Minami, S., Otsuki, H., Liu, B., Ashida, K., "Prediction of Concerted Sediment Flushing", Journal of Hydraulic Engineering, 2004, 130, 11, 1089-1096.
- [7] Hunt, B., "Numerical Solution of an Integral Equation for Flow from a Circular Orifice", Journal of Fluid Mechanics, 1968, 31, 2, 361-377.
- [8] Michell, J. H., "On the Theory of Free Streamlines", Philosophical Transactions of the Royal Society of London, 1890, 181, A, 389-431.



شکل ۱۷- کاهش سرعت طولی محور مرکزی $U_{co}/U_o(X_0)$ در حالت تعادل حفره آبشستگی

۶- نتیجه گیری

جریان آب و حرکت رسوبات بالادست یک اریفیس مربع شکل، برای شرایط بستر ثابت و بستر متحرک مورد بررسی قرار گرفت. سه هد آب مختلف و دو اندازه متفاوت از رسوبات استفاده گردید. در ابتدا سطح بستر هم تراز با لبه پایینی اریفیس قرار گرفت. آزمایشاتی که سطح بستر ثابت از رسوبات پوشیده شده بود مشخص ساختند که محدوده‌ای که تنش برش بستر، بیش از تنش برش بحرانی باشد، سهموی شکل بوده و طول و عرض این محدوده با افزایش هد آب (و افزایش سرعت جریان)، افزایش می‌یابد. برای بستر متحرک، حرکت اولیه رسوبات وابسته به تنش برشی اضافی بوده است. پس از به وجود آمدن حفره آبشستگی و در محدوده حفره، گردابه‌ها با محور عمودی پدیدار می‌شوند. این گردابه‌ها باعث می‌شوند تا رسوبات جابجا شده و درون جریان اصلی آب قرار گیرند و از حفره آبشستگی خارج شوند. هر چند حداکثر عمق و طول و عرض آبشستگی با استفاده از مجموعه محدودی از اندازه رسوبات و هدهای آب، مورد آزمایش قرار گرفتند، اما هندسه حفره آبشستگی، با اختلاف ناچیزی شبیه به سایر هدهای آب و اندازه رسوبات، به دست می‌آید. پارامترهای بدون بعد مربوط به حفره آبشستگی تشریح کننده این موضوع هستند که حداکثر عمق حفره آبشستگی متناسب با هدهای آب روی اریفیس، افزایش می‌یابد. در هدهای یکسان، آبشستگی در رسوبات ریزدانه بیشتر از رسوبات درشت دانه اتفاق می‌افتد. ویژگی‌های جریان در نزدیکی اریفیس، در شرایط تعادل آبشستگی، به سوی وضعیت اریفیس آزاد سیر می‌کند.

- [23] Dey, A., Barbhuiya, A. K., "3D Flow Field in A Scour Hole at A Wing-Wall Abutment", Journal of Hydraulic Research, 2006, 44, 1, 33-50.
- [24] Powell, N. P., "Sediment Transport Upstream of Orifices", PhD Thesis, Clemson University, Clemson SC, US, 2007.
- [9] Mises, R. "Berechnung Von Ausfluss Und Überfallzahlen", Z ver Deuts Ing, 1917, 61, 447.
- [10] Lea, F. C., "Hydraulics for Engineers and Engineering Students", 6th Edition, London, 1938.
- [11] Rouse, H., "Elementary Mechanics of Fluids", Wiley & Sons, New York, 1946.
- [12] Swamee, P. K., Swamee, N., "Discharge Equation of a Circular Sharp-Crested Orifice", Journal of Hydraulic Research, 2010, 48, 1, 106-107.
- [13] Montes, J. S., "Potential Flow Solution to 2D Transition From Mild to Steep Slope", Journal of Hydraulic Engineering, 1994, 120, 5, 601-621.
- [14] Anayiotos, A. S., Perry, G. J., Myers, J. G., Green, W. G., Fan, P. H., Nanda, N. C., "A Numerical and Experimental Investigation of The Flow Acceleration Region Proximal to an Orifice", Ultrasound in Medicine and Biology, 1995, 21, 1, 501-516.
- [15] Chanson, H., Aoki, S. I., Maruyama, M., "Unsteady Two-Dimensional Orifice Flow: A Large Size Experimental Investigation", Journal of Hydraulic Research, 2002, 40, 1, 63-71.
- [16] Shammaa, Y., Zhu, D. Z., Rajaratnam, N., "Flow Upstream of Orifices and Sluice Gates", Journal of Hydraulic Engineering, 2005, 131, 2, 127-133.
- [17] Bryant, D. B., Khan, A. A., Nadim, N. M., "Flow Field Upstream of an Orifice", Journal of Hydraulic Engineering, 2008, 134, 1, 98-104.
- [18] Powell, N. P., Khan, A. A., "Scour Upstream of a Circular Orifice under Constant Head", Journal of Hydraulic Research, 2012, 50, 1, 28-34.
- [19] Montes, J. S., "I Rotational Flow and Real Fluid Effects under Planar Sluice Gate", Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 1997, 123, (3), 219-232.
- [20] Montes, J. S., "Hydraulics of Open Channel Flow", ASCE Press, New York, US, 1998.
- [21] Nortek., "10 MHz ADV Precise Measurements of 3-D Fluid Flow", Nortek AS, Norway, 2004.
- [22] Wu, W., "Computational River Dynamics", Taylor & Francis, Oxford, UK, 2008.

EXTENDED ABSTRACT

Experimental Investigation of Scour Upstream of a Square Orifice under Constant Head

Hassan Vosoughi, Hooman Hajikandi *

Faculty of Civil Engineering, Islamic Azad University, Central Tehran branch, Tehran, Iran

Received: 09 July 2015; **Accepted:** 30 January 2016

Keywords:

Square orifice, Scour hole, Acoustic Doppler Velocimeter (ADV), Removal of sediment mechanism, Vortex action

1. Introduction

Orifices are historically used in different hydraulic structures for flow regulation and removal of sediments from reservoirs. The performance of orifices in drawdown flushing to increase the lifetime of dams is vital. Anayiotos et al. [1] performed extensive measurements of the velocity contours upstream of an orifice. They have reported that the shape of the velocity contours at the vicinity of the orifice becomes elliptical. Chanson et al. [2] studied the characteristics of the flow in an orifice under unsteady flow condition. Their measurement were done by means of ADV technique. Bryant et al. [3] conducted experiments to study the flow upstream of a small orifice, a large orifice, an orifice near the free surface, and multiple orifices [3]. Physical and numerical studies were conducted to quantify the scour or sediment removal upstream of orifices under a falling head [4]. One of the most important parameters affecting scour characteristics upstream of the orifices is the shape of the orifices. This paper reports the results of experiments carried out on the mechanism of scour upstream of square orifices. Velocity profiles before and after the scour process are compared to understand the flow behavior associated with the equilibrium scour conditions.

2. Methodology

This paper reports the results of experiments carried out on the mechanism of scour upstream of square orifices. The variables of the research include heads of water upstream the orifice and size of the sediment particles. The experimental set-up consisted of an elevated rectangular box for the reservoir and another for the sump. The reservoir was 1.45m long, 0.55m wide and 1.05m deep. The reservoir was 3.50m long, 2.10m wide, and 1.10m deep. The square orifice of side $a = 6.2$ cm was located at the reservoir axis. The orifice centre was located 14.6 cm above the reservoir floor. The plan and sectional views are shown in Fig. 1.

Finally flow pattern and velocity field was measured by means of 3-D Acoustic Doppler Velocimetry (ADV) technique. The tests were conducted under constant head of 30 cm (H1), 50 cm (H2), and 70 cm (H3) above the orifice centre for each sediment size. The runs are referred to as H1F, H2F, H3F, H1C, H2C, and H3C, where F and C correspond to fine, and coarse sands, respectively.

3. Results and discussion

3.1. Scour hole geometry

The main mechanism of deposited sediments removal is found to be vortex within the scour hole. vortex dominates rotating either in clock or counter-clockwise directions. The final scour hole dimensions along are stated in Table 1. The aspect ratio of the scour hole generally increases with the head. The dimensionless longitudinal and transverse profiles of scour hole along the centerline of the orifice were obtained. Finally flow pattern and velocity field was measured by means of 3-D Acoustic Doppler Velocimetry (ADV) technique. The results indicate that at equilibrium state the flow pattern in the scour hole becomes similar to that of unbounded orifice. For the movable-bed tests, the sediment bed was set at the orifice invert.

* Corresponding Author

E-mail addresses: h_hajikandi@iauctb.ac.ir (Hooman Hajikandi), qalan_vosoughi@yahoo.com (Hassan Vosoughi).

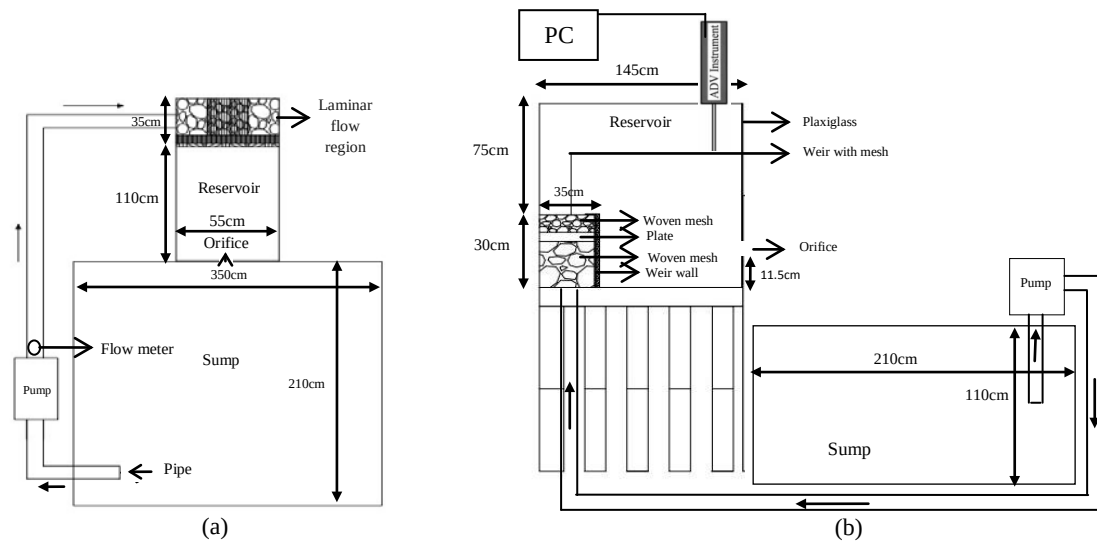


Fig. 1. Physical model: (a) Plan view, (b) Sectional view

Table 1. Scour hole parameters upstream of a square orifice

Test ID	d_m	W_m	L	d_m/a	L/a	W_m/a	L/W_m	U_0
H1F	4	11.5	9	0.645	1.45	1.85	0.78	1.601
H2F	4.8	12.5	11	0.77	1.77	2.01	0.88	1.982
H3F	6	13.5	12.5	0.967	2.016	2.17	0.926	2.391
H1C	1.5	11	8	0.24	1.29	1.77	0.727	1.543
H2C	2	11.5	9	0.32	1.45	1.85	0.78	1.965
H3C	2.8	11.5	10	0.45	1.61	1.85	0.869	2.319

3.2. Transverse scour profiles

The dimensionless transverse profiles of scour hole for all tests at various locations X_0 upstream of the orifice are shown in Fig. 2. The scour profiles are shown in Fig. 2, whose mean trend is:

$$D = -\exp(-3.1|Y|^{2.3}) \quad \text{if } -1.0 \leq Y \leq 1.0 \quad (1)$$

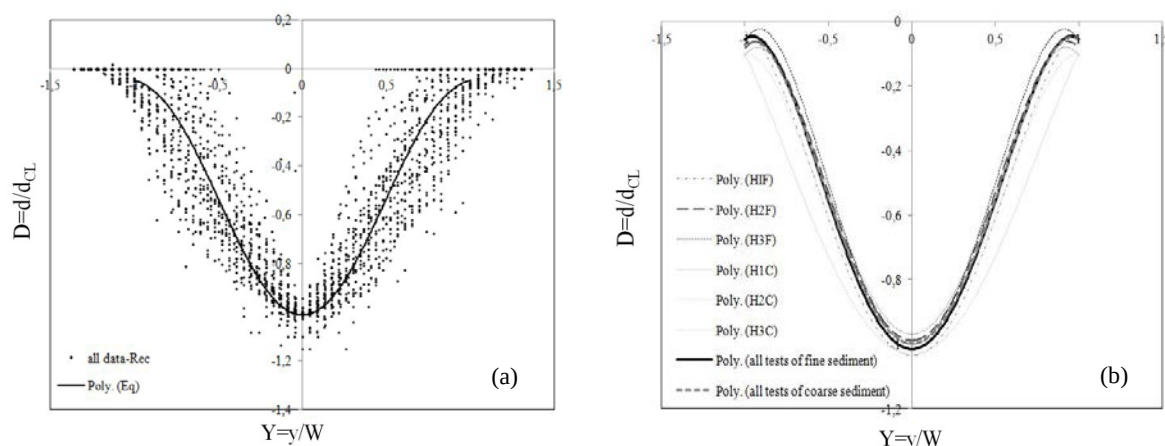


Fig. 2. Non-dimensional transverse scour depth profiles $D(Y)$: (a) all tests (together), (b) all tests (separate)

4. Conclusions

Both the flow and the sediment transport upstream of a square orifice were investigated for fixed- and mobile-bed conditions. Three different heads on the orifice and two different sediment sizes were used. The dimensionless longitudinal and transverse profiles of scour hole along the centerline of the orifice were obtained. The scour hole geometry is similar for different heads and sediment sizes if described by non-dimensional parameters. The

maximum scour depth increases with the head on the orifice and decreases as the sediment size increases. Finally flow pattern and velocity field was measured. The results indicate that at equilibrium state the flow pattern in the scour hole becomes similar to that of unbounded orifice.

5. References

- [1] Anayiotos, A. S., Perry, G. J., Myers, J. G., Green, W. G., Fan, P. H., Nanda, N. C., "A Numerical and Experimental Investigation of The Flow Acceleration Region Proximal to an Orifice", *Ultrasound in Medicine and Biology*, 21 (1), 1995, 501-516.
- [2] Chanson, H., Aoki, S. I., Maruyama, M., "Unsteady Two-Dimensional Orifice Flow: a Large Size Experimental Investigation", *Journal of Hydraulic Research*, 40 (1), 2002, 63-71.
- [3] Bryant, D. B., Khan, A. A., Nadim, N. M., "Flow Field Upstream of an Orifice", *Journal of Hydraulic Engineering*, 134 (1), 2008, 98-104.
- [4] Powell, N. P., Khan, A. A., "Scour Upstream of a Circular Orifice under Constant Head", *Journal of Hydraulic Research*, 50 (1), 2012, 28-34.