

که امکان محاسبه ی ضریب تخلیه در حالت آب حاوی رسوبات را با استفاده از ضریب تخلیه در حالت آب خالص دارا می باشد. واژه های کلیدی: ضریب تخلیه، سرریز مثلثی، سرریز مستطیلی، سرریز اوجی، سرریز روگذر و کانال باز

بررسی تجربی تأثیر رسوبات بر ضریب تخلیه در سرریزهای مثلثی، مستطیلی، اوجی و روگذر در کانال باز

نادر دیزجی^۱ و امیرمسعود محمودخانی^۲

تاریخ دریافت: ۸۸/۶/۷ تاریخ پذیرش: ۸۸/۹/۲۵

مقدمه

در پی بحرانی که مناطق خشک و نیمه خشک را تهدید می کند، حفظ و اداره ی منابع آبی، کاهش تلفات آب و دقت در میزان مصرف آن، امری ضروری است. استوارت و همکاران و چانسون [۱۰ و ۲] روش های گوناگونی جهت استفاده ی بهینه از آب ارایه داده اند که استفاده از وسایل اندازه گیری جهت اداره ی دقیق آب مورد نیاز، از آن جمله است. به منظور تعیین میزان جریان عبوری از کانال ها، روش های گوناگونی ارایه گردیده که در این میان، استفاده از سرریزها کاربرد بیش تری دارد. سازه ای که آب اضافی را، به ویژه هنگام سیلاب که جریان آب به بدنه ی سد آسیب می رساند و امکان دارد باعث تخریب آن شود، دفع می کند [۴]. در حقیقت این نوع سازه، تخلیه کننده دریاچه ی سد در مواقع اضطراری است. مهم ترین و حساس ترین بخش در سازه های آبی، سرریز می باشد. در حقیقت اگر سرریز یک سد به درستی محاسبه و احداث شود، مشکل ناپایداری سازه و بحث سیلاب در آن منطقه را نخواهیم داشت. همچنین سرریزها از جمله سازه هایی هستند که در اندازه گیری جریان آب در کانال ها و بسیاری از موردهای دیگر مورد استفاده قرار می گیرند [۷ و ۸]. به همین دلیل تلاش های زیادی صورت گرفته است تا روابط تعیین شده برای اندازه گیری جریان این سازه ها از دقتی بیش تر برخوردار باشد. در بسیاری از موردها از جمله شبکه های آبیاری و هنگام وقوع سیلاب، یکی از مشکلات مهم، ورود رسوبات رودخانه ها به درون کانال ها می باشد. با وجود اقدام هایی که برای کاهش ورود رسوبات به کانال ها صورت می گیرد، امکان جداسازی کامل این رسوبات از آب وجود ندارد. تاکنون روابط زیادی برای سرریزها به وسیله ی پژوهشگران ارایه شده که در هیچ یک از این روابط، تأثیر وجود رسوبات (شن، گل و لای، ماسه و غیره) دیده نشده است، در حالی که وجود این ذرات در آب امری کاملاً طبیعی می باشد که بر ضریب تخلیه، تأثیر گذار است.

تئوری سرریزها

سرریزها را بر حسب شکل تاج و این که آیا تمام یا بخشی از عرض

چکیده

در این پژوهش اثر رسوبات بر ضریب تخلیه در سرریزهای مثلثی، ۹۰،۶۰، مستطیلی، اوجی و روگذر در جریان پایدار یکنواخت مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفته است. برای انجام آزمایش از دو دستگاه کانال باز به طول های ۷ متر (برای بده های کم) و ۵ متر (برای بده های زیاد) با توانایی نصب سرریزهای مورد نظر، استفاده شده است. آزمایش ها برای کانال ۷ متری با سه شیب ۰/۰۳۵، ۰/۰۷ و ۰/۰۸۷ و برای کانال ۵ متری با شیب ۰/۰۸۷۳، در دو حالت جریان آب خالص و جریان آب با رسوبات انجام شده است. در کانال ۷ متری بده بین ۸ لیتر بر ثانیه بر واحد عرض (۲ مترمکعب بر ساعت) تا ۱۴/۷ لیتر بر ثانیه بر واحد عرض (۴ مترمکعب بر ساعت) و در کانال ۵ متری بده بین ۱/۸ لیتر بر ثانیه بر واحد عرض (۳/۹۶ مترمکعب بر ساعت) تا ۱۱/۸ لیتر بر ثانیه بر واحد عرض (۲۵/۵۶ مترمکعب بر ساعت) تنظیم شده است. ذرات رسوبی به گونه ی همگن با نرخ وابسته به بده به درون کانال تغذیه شده اند. برای اندازه گیری سرعت، از لوله ی پیتو و برای اندازه گیری عمق از عمق سنج نقطه ای یا قلابی با دقت ۰/۰۲ میلیمتر استفاده شده و هر آزمایش سه تا چهار بار تکرار و داده برداری انجام گرفته است. نتایج به دست آمده بیانگر آن است که از مقایسه با آب زلال، رسوبات معلق سبب کاهش ضریب تخلیه می شوند که این اثر روی ضریب تخلیه، در بده های کم تر و شیب کم تر، نمایان تر بوده و مستقل از نوع سرریز به کار گرفته شده است. همچنین بر اساس داده ها و نتایج به دست آمده، روابطی به روش همبندی برای ضرایب تخلیه ی سرریزهای به کار رفته در این آزمایش پیشنهاد گردیده است

۱ نویسنده مسئول و مربی گروه مهندسی مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا ndizadji@srbiau.ac.ir
 ۲ فارغ التحصیل کارشناسی مکانیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشکده ی مهندسی مکانیک و هوافضا amirmasoud.mkhani@gmail.com

$$V = \sqrt{2gh} \quad (1)$$

و لذا مقدار بده جاری شده از روی سرریز، برابر خواهد شد با:

$$Q = Lq = L \int_{H_v}^{H_e} V \cdot dh = L \cdot \sqrt{2g} \int_{H_v}^{H_e} h^{1/2} \cdot dh = \frac{2}{3} \sqrt{2g} L [H_e^{3/2} - H_v^{3/2}] \quad (2)$$

در این رابطه L عرض کانال می باشد. با توجه به فرضیه های در نظر گرفته شده، در عمل مقدار بده سرریز از مقدار بالا کم تر بوده و بستگی به شکل سرریز و نیز انحنای خطوط جریان روی سرریز دارد که با معرفی ضریب C_d به عنوان ضریب شدت جریان یا ضریب تخلیه، معادله به صورت زیر تصحیح می گردد [۱۶]:

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L \cdot H_d^{3/2} \quad (3)$$

تغییرات C_d که تابعی از $\frac{H_d}{W}$ (فاصله ی تاج سرریز تا بستر کانال) است، به وسیله ی معادله ی رهبوك به صورت رابطه ی (۴) داده می شود که برای مقادیر $\frac{H_d}{W} \leq 5$ قابل استفاده است.

$$C_d = 0.611 + 0.08 \frac{H_d}{W} \quad (4)$$

اگر $5 < \frac{H_d}{W} < 10$ باشد، مقدار C_d بتدریج از مقدار به دست آمده از معادله ی بالا فاصله گرفته و در $\frac{H_d}{W} < 10$ برابر $1/135$ می شود. برای مقادیر $10 < \frac{H_d}{W} < 20$ هنوز پژوهش های کاملی در این زمینه صورت نگرفته و اگر $\frac{H_d}{W} > 20$ باشد، سرریز به صورت یک آب پایه^۱ که در انتهای یک کانال افقی قرار دارد، عمل می کند و به گونه ی تجربی ثابت شده است که در چنین حالتی جریان در بالادست سرریز یا آب پایه، بحرانی می شود [۲-۱۳].

سرریز لبه تیز مثلثی

سرریزهای لبه تیز مثلثی که به صورت متقارن در یک صفحه ی نازک و عمود بر کناره ها و کف کانال قرار می گیرند، به دلیل دارا بودن سطح مقطع نسبتاً کوچک تر، در بده های کم، حساسیت بیش تری نسبت به تغییر ارتفاع داشته و بنابراین در اندازه گیری بده های کم، در مقایسه با سرریزهای مستطیلی از دقتی بیش تر برخوردارند. به همین دلیل، در انجام اندازه گیری های حساس و بده های کم و کارهای آزمایشگاهی، بیش تر از سرریزهای مثلثی که به سرریزهای V شکل نیز موسومند، استفاده می شود. معادله ی بده این نوع سرریزها که از روش تحلیلی و با انتگرال گیری روی جزء نشان داده شده در شکل (۲) و با همان فرضیه های در نظر گرفته شده در بخش پیش به دست می آید، به صورت زیر است [۱۶]:

$$Q = \frac{1}{15} \sqrt{2g} (\tan \theta) H_d^{5/2} \quad (5)$$

که در آن از انرژی حرکتی $(\frac{V^2}{2g})$ صرف نظر شده است، اما مقدار حقیقی بده از آنچه که از معادله ی بالا به دست می آید، متفاوت است و بنابراین جهت تعدیل آن، معادله ی زیر پیشنهاد می شود [۱۶]:

1- Sill

کانال را گرفته اند، تقسیم بندی می کنند [۱۲]. در معمول ترین تقسیم بندی ها، شفاعی بجستان [۱] سرریزها را به دو گروه سرریزهای لبه تیز و سرریزهای لبه پهن تقسیم می کند. همچنین سرریزها به شکل های مستطیلی، مثلثی، دوزنقه ای و سهموی ساخته می شوند.

سرریزهای لبه تیز

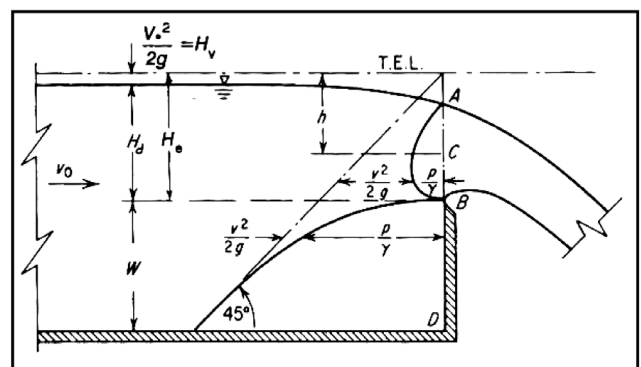
این نوع سرریز عموماً از یک صفحه ی قائم کار گذاشته شده در مسیر جریان، تشکیل شده که دارای لبه و تاجی نسبتاً تیز در بالا (محلی که آب از روی آن عبور می کند) می باشد. سرریزهای لبه تیز افزون بر این که به عنوان وسیله ای برای اندازه گیری بده در کانال باز، مورد استفاده قرار می گیرند، به عنوان یک سرریز که باعث افزایش ارتفاع و حجم آب در بالادست شده و آب از روی آن می گذرد نیز به کار می روند و از آن جا که تئوری هیدرولیکی مربوط به این سرریزها به عنوان پایه و اساس محاسبات و طراحی سرریزهای لبه پهن (سرریز سدها) به کار می رود، از اهمیتی ویژه برخوردارند، کلمنز و همکاران- السن و همکاران- سارکر و رودز - هرشی [۳، ۶، ۱۱، ۱۳].

برای محاسبه ی بده جاری شده از روی سرریزهای لبه تیز، مفهوم عمق بحرانی در روی سرریز قابل استفاده نبوده بلکه برای این منظور چانسون [۱۰] فرضیه های زیر را ارائه می کند:

۱. ارتفاع آب در روی سرریز همان است و انقباض و کاهش عمقی وجود ندارد.
۲. سرعت آب در روی سرریز، در راستای افقی، ثابت است.
۳. فشار در تمام مقطع AB در شکل (۱) همان فشار اتمسفریک است.

سرریز لبه تیز مستطیلی هم عرض کانال

یکی از انواع سرریزهای لبه تیز، سرریز مستطیلی هم عرض کانال است که در داخل یک کانال مستطیلی قرار گرفته و لذا یک جریان دو بعدی در روی سرریز وجود دارد. با توجه به فرضیه های ذکر شده در بخش پیش و نوشتن رابطه ی $h = \frac{V^2}{2g}$ در نقطه ی نظیر C در مقطع AB (شکل ۱) خواهیم داشت [۱۵]:



شکل ۱- جریان از روی سرریز لبه تیز

$$Q = \frac{1}{15} \sqrt{2g} (\tan \frac{\theta}{4}) H_{de}^{5/2} \quad (6)$$

که در آن $H_{de} = H_d + K_H$ می باشد. مقدار K_H برای زوایای گوناگون سرریزهای مثلثی در نموداری مشخص شده است. معمول ترین سرریزهای مثلثی با زاویه $\theta = 90^\circ$ است که در این صورت $\tan \frac{\theta}{4} = 1$ خواهد بود [۲-۱۳].

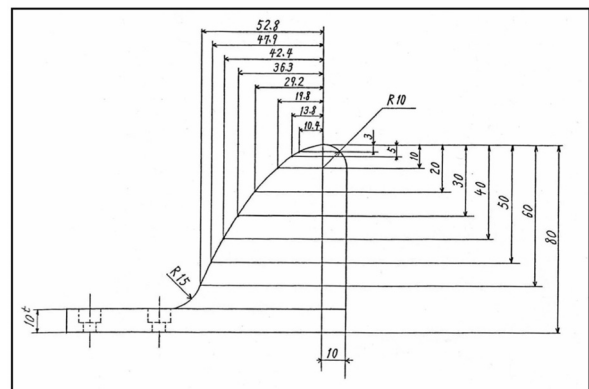
سرریزهای لبه پهن

در این نوع سرریزها، لبه ی سرریز به اندازه ی کافی پهن بوده و در مقایسه با سایر ابعاد دارای اندازه ی شایان توجهی می باشد. تاج سرریزهای لبه پهن، افقی و یا دارای انحنایی ویژه بوده و اگرچه برای اندازه گیری بده نیز مورد استفاده قرار می گیرند، اما بیش تر به عنوان سرریز سدها و گاه به عنوان خود سد (در صورتی که آب مجاز به گذشتن از روی آن باشد) به کار می روند و در هر حال می توان در مواقع لزوم برای ذخیره نمودن حجم های زیاد آب و ارتفاع های بالا، از سرریزهای لبه پهن استفاده نمود [۲-۱۳].

سرریز اوجی و روگذر

این سرریزها براساس محاسبات هیدرولیکی مربوط به سرریزهای با تاج مدور به گونه ای طراحی می شوند که نیمرخ تاج و جلو ساختمان آن (شکل ۲) منطبق بر سطح پایینی آب لبریز شده از یک سرریز لبه تیز مستطیلی با همان ویژگی های مورد نیاز در بالادست سرریز اصلی باشد، کاتالوگ توکیومتر [۵].

بدین منظور یک سرریز مستطیلی لبه تیز با همان ویژگی های کناره ی بالادست، سرریز لبه ی آبریز انتخاب شده و همان مقدار بده از روی سرریز لبه تیز عبور داده می شود. آب ضمن پرتاب از روی این سرریز دارای دو سطح پایینی و بالایی خواهد بود که در هر دو بخش فشار اتمسفریک حاکم است. هر شکلی را که سطح پایینی آب در این حالت به خود اختصاص دهد، برای تاج و جلو سرریز اصلی انتخاب نموده که در این صورت بیشینه ی بده بدون ایجاد پدیده ی کاویتاسیون از روی سرریز عبور خواهد کرد. همچنین این منحنی بر اساس بده بیشینه ای که از روی سرریز عبور خواهد نمود و در اصطلاح بده طرح نامیده می شود، تعیین می گردد.



شکل ۲- نیمرخ سرریز اوجی

از آن جایی که نیمرخ سرریزهای اوجی و روگذر با استفاده از منحنی سطح پایینی آب جاری شده از روی سرریز لبه تیز مستطیلی بدست می آید، می توان برای تعیین بده آن از همان معادله ی بده ی سرریز لبه تیز مستطیلی استفاده نمود.

$$Q = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} L \cdot H_d^{3/2} = CLH_d^{3/2} \quad (7)$$

در این حالت به علت بلندی سرریز $\frac{H_d}{W} \approx 0$ بوده و لذا:

$$C_d = 0.611 + 0.08 \frac{H_d}{W} = 0.611 \quad (8)$$

$$C = \frac{2}{3} + 0.611 \times \sqrt{19/62} = 1/8 \quad (9)$$

در عمل مقدار از حدود تا تغییر نموده و تابعی از H_e ، H_d و W است، شفاعی بجستان [۱].

هیدرولیک جریان های رسوبی

اندازه، شکل، جرم حجمی، وزن مخصوص و سرعت سقوط از جمله ویژگی های مهم یک ذره ی رسوبی هستند که در مطالعه ی چگونگی انتقال رسوب از اهمیتی ویژه برخوردارند. اندازه ی ذره از اساسی ترین ویژگی های ذره ی رسوبی است که به آسانی تعیین می شود. به دست آوردن و تعیین اندازه ی ذرات به تنهایی می تواند بیانگر ویژگی های فیزیکی آن ها باشد. این ویژگی های رسوبی در بسیاری از مسایل کاربردی مفید واقع می شوند. اندازه ی ذره با استفاده از آزمایش الک با شبکه های مشخص به دست می آید، شفاعی بجستان [۱].

سرعت سقوط یا سرعت سقوط نهایی، سرعتی است که ذره در خلال ته نشین شدن در داخل ستونی از آب خالص ساکن به آن می رسد. این پارامتر به گونه ی مستقیم تعیین کننده ی وضعیت حاکم بین جریان و دانه های رسوب در خلال جابه جا شدن رسوب به وسیله ی آب (اعم از حرکت آهسته ی دانه ها، انتقال و یا ته نشینی) است. سرعت سقوط ذرات در مایع به اندازه، شکل، میزان زبری سطوح، چگالی و لزجت سیال بستگی دارد. برای نشان دادن توزیع دانه بندی ذرات رسوبی از یک سری الک که از اندازه ی ذرات به ریز روی هم قرار می گیرد، استفاده می شود. سپس اندازه های گوناگون نسبت به درصد وزنی ذرات عبوری از هر الک روی محور رسم می شود. از منحنی دانه بندی اندازه های گوناگون نسبت به درصد وزنی ذرات عبوری از هر الک روی محور رسم می شود. همچنین از منحنی دانه بندی می توان پارامترهایی از قبیل یکنواخت بودن یا نا یکنواختی ذرات، میانگین اندازه ی ذرات، اندازه ی میانه ی ذرات، میانگین اندازه ی هندسی ذرات و انحراف معیار هندسی ذرات را به دست آورد. ضریب یکنواختی ذرات به صورت زیر است:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (10)$$

D_{60} : قطر ذره ای که ۶۰ درصد وزنی مصالح از آن کوچک ترند.

D_{10} : قطر ذره ای که ۱۰ درصد وزنی مصالح از آن کوچک ترند.

اگر $C_{11} < 4$ باشد، مصالح یکنواخت و اگر $C_{11} > 4$ باشد، مصالح نایکنواخت است. مصالح نایکنواخت مصالحی هستند که از مخلوط ذرات با اندازه‌های متفاوت تشکیل شده‌اند، شفاعی بجستان [۱].

میانگین اندازه‌ی ذرات (D_{50}) عبارت است از اندازه‌ی ذره‌ای که ۵۰ درصد وزنی مصالح از آن کوچک ترند. چنانچه منحنی دانه بندی را به چند بخش تقسیم کنیم، D_t میانگین اندازه‌ی هر بخش و P_t درصد وزنی مصالح در هر بخش خواهد بود. بدین ترتیب اندازه‌ی میانه‌ی ذرات از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید:

$$D_m = \frac{\sum P_t D_t}{\sum P_t} \quad (11)$$

مواد رسوبی که همراه جریان آب در حرکت هستند، ممکن است درون جریان به صورت معلق باشند و یا این که مواد رسوبی به صورت لغزش، پرش و یا غلتیدن روی بستر رودخانه حرکت کنند و یا همزمان به دو صورت بالا انتقال یابند، شفاعی بجستان [۱].

با افزایش تدریجی سرعت برشی بستر (D_0) در یک کانال، مصالح بستر نیز به آهستگی شروع به حرکت می‌کنند و چنان چه مقدار سرعت برشی بستر در مقایسه با سرعت سقوط ذرات افزایش یابد، ذرات به صورت معلق در می‌آیند. بر اساس تجربیات بگنولد، ذره موقعی به حالت معلق باقی می‌ماند که مؤلفه‌ی عمودی سرعت در جریان در هم V_y بیش تر از سرعت سقوط ذرات (w) باشد. مقدار V_y به شدت عمودی جریان در هم بستگی دارد که متناسب به سرعت برشی بستر است. بر این اساس شروع معلق شدن ذرات به صورت زیر ارایه شده است، شفاعی بجستان [۱]:

$$\frac{U_0}{w} > K \quad (12)$$

ضریب K بر اساس مطالعات بگنولد برابر واحد و بر اساس مطالعات انگلوند برابر ۰/۲۵ می‌باشد. یعنی اگر $U_0 > 0.25w$ شود، ذرات به حالت معلق در خواهند آمد. سرعت سقوط از روابط زیر به دست می‌آید، شفاعی بجستان [۱]:

$$D_m < 2 \text{ mm} \rightarrow w = \frac{(1636(\rho_s - \rho)D_m^3 + 9\mu^2)^{0.5} - 3\rho\mu}{(50 \cdot D_{50})} \quad (13)$$

$$D_m < 2 \text{ mm} \rightarrow w = 3/22 (U_{50})^{0.5} \quad (14)$$

همچنین سرعت برشی به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\tau_0 = \rho g R_h S$$

$$U_0 = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = (g R_h S)^{0.5} \quad (15)$$

پارامترهای مؤثر در کانال روباز همراه با رسوب

گراف و سونگ [۹] پارامترهای متعددی را در کانال‌های باز همراه با ذرات رسوب مؤثر می‌دانند که می‌توان در پنج دسته‌ی زیر تقسیم نمود:

۱. ویژگی‌های سیال (ρ ، μ) به ترتیب وزن مخصوص نسبی، دانسیته و ویسکوزیته مطلق آب.

۲. پارامترهای ویژگی‌های موج (Δt ، A ، y_m) به ترتیب بیشینه‌ی

عمق، حجم آب زیر آب پایه در واحد عرض و زمان آن.

۳. پارامترهای مربوط به ویژگی‌های کانال (η ، η_x ، η_a)، شیب بستر، η ضریب شکل هندسه مقطع، η_a پارامتر تصحیح محور طولی کانال، η پارامتر تغییر مقطع عرضی و η_x ضریب تصحیح در جهت x .

۴. ویژگی‌های رسوب (ρ_s ، d_s ، G ، G_c ، G_s ، δ_p ، X ، λ) به ترتیب تخلخل ذرات بستر، X چسبندگی ذرات رسوب، δ_p پارامتر نفوذپذیری ذرات رسوب و یا دیواره‌های کانال، G_s پارامتر شکل ذرات رسوب، G_c پارامتر مربوط به نایکنواختی ذرات رسوب در طول محیط خیس شده، G پارامتر درجه بندی، d_s قطر و ρ_s چگالی ذرات.

۵. جریان پایه (x ، t ، y_0 ، U_0 ، Z_s) به ترتیب عمق، سرعت جریان پایه، تراز کف بستر، زمان و فاصله.

در این آزمایش بسیاری از پارامترهای ذکر شده ثابت هستند، لذا در تحلیل ابعادی شرکت نمی‌کنند. گروههای بدون بعد با استفاده از قضیه‌ی باکینگهام عبارتند از:

$$\left(\frac{y}{y_0}, \frac{U}{U_0}, \frac{Z}{Z_0}, C \right) = f \left\{ Fr, Re, y_m, y_0, \Gamma_{HG}, \frac{A}{y_0 L_0}, \frac{L_0}{y_0} \right\} \quad (16)$$

$$\frac{b}{y_0}, S_0, \tau_c^*, \eta, \eta_a, \eta_x, \eta', d_s, y_0, SG, G_c, G, G,$$

$$S_s, \lambda, X, \left\{ \frac{Z_b}{y_0}, \frac{x}{y_0}, \frac{t}{y_0/U_0} \right\}$$

$$\left(\frac{y}{y_0}, \frac{U}{U_0}, \frac{Z}{Z_0}, C \right) = f \left\{ Fr, \Gamma_{HG}, \frac{A}{y_0 L_0}, \frac{L_0}{y_0}, \frac{b}{y_0}, S_0, S_s, \eta \right\} \quad (17)$$

$$\left\{ \frac{d_s}{y_0}, \frac{Z_0}{y_0}, \frac{x}{L_0}, \lambda, \frac{t}{y_0/U_0} \right\}$$

از مجموعه گروههای بدون بعد ذکر شده، گروههای زیر در زمینه‌ی انتقال رسوب از اهمیتی بیش تر برخوردارند.

$$\tau_c^* = \frac{\tau_c}{(\rho_s - \rho)gd} \quad (18)$$

$$Fr = \frac{U_0}{\sqrt{gy_0}} \quad (19)$$

$$Re = \frac{\rho U_0 R_{h0}}{\mu} \quad (20)$$

$$\Gamma_{HG} = \frac{1}{U_0} \times \frac{\Delta y}{\Delta T} \quad (21)$$

در رابطه‌ی بالا τ_c^* پارامتر شیلدز، Fr عدد فرود، Γ_{HG} پارامتر ناماندگاری جریان، Re عدد رینولدز، R_{h0} شعاع هیدرولیکی جریان پایه، اختلاف بین عمق جریان پایه و عمق جریان در هر لحظه و Δt زمان پایه‌ی آنبمود، می‌باشند. گراف و سونگ [۹] معادله‌های حاکم بر جریان و رسوب را به صورت زیر بیان می‌کنند.

مواد و روش‌ها

وسایل آزمایش

برای انجام این آزمایش از دو دستگاه کانال باز دارای لانه زنبوری با قابلیت تنظیم در شیب‌های متفاوت، استفاده شده است. این کانال‌ها بر اساس کاتالوگ توکیومتر [۵] دارای ویژگی‌های زیر هستند:

● کانال ۷ متری:

L×W: ۷۰۰۰mm×۷۵mm

ابعاد کانال

۱/۵kW

الکتروپمپ طبقه ای

قابلیت تغییر شیب ۰°~۲°

جک هیدرولیکی

● کانال ۵ متری:

L×W: ۵۰۰۰mm×۶۰۰mm

ابعاد کانال

۱/۷۵kW

الکتروپمپ سه طبقه ای

۰/۵°

شیب

این آزمایش در سه شیب ۲°، ۴° و ۵° برای کانال ۷ متری با نصب سرریزهای مستطیلی، مثلثی ۶°، اوجی و روگذر (برای بده‌های کم) و در شیب ۰/۵° برای کانال ۵ متری با نصب سرریز مثلثی ۹°

معادله ی پیوستگی جریان

$$\alpha \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial (uy)}{\partial x} + \alpha \frac{\partial z}{\partial t} = 0 \quad (22)$$

که در حالت جریان پایدار

$$\alpha = \left(\frac{L_0/U_0}{T_0} \right) \rightarrow 0 \quad (23)$$

معادله ی مونتگم

$$\frac{y_0}{L_0 S_0} \left\{ Fr^2 \alpha \frac{\partial u}{\partial x} + (\beta-1) Fr^2 u \frac{\partial u}{\partial x} + (\beta-1) \frac{Fr^2 u^2}{y} + \right. \quad (24)$$

$$\left. (\beta k - k') \right] \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial z}{\partial x} \left. \right\} = 1 - \frac{1}{S_0} S_f$$

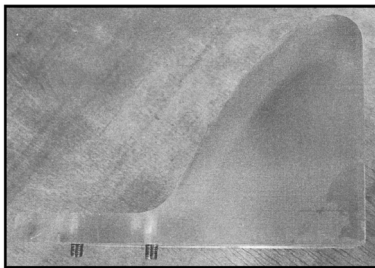
معادله ی پیوستگی رسوب

$$\alpha \frac{\partial z}{\partial t} + \alpha \gamma \frac{\partial ((C/C_0)y)}{\partial x} + \gamma \frac{\partial ((C/C_0)yx)}{\partial x} = 0 \quad (25)$$

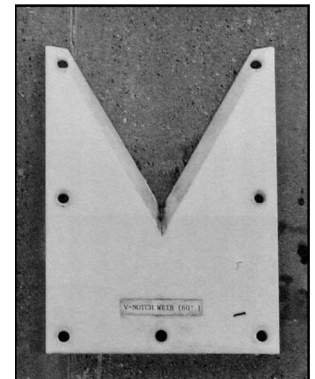
که در آن

$$\gamma = \frac{C_0}{(1-\lambda)} \quad (26)$$

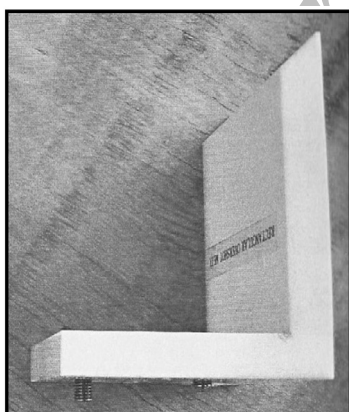
در این رابطه‌ها y_0 عمق جریان پایه، f شیب خط انرژی، u سرعت جریان، β ضریب مونتگم جریان، C بدهی بار کف در جریان غیر دایمی، C_0 بدهی بار کف در جریان دایمی، عمق جریان k و k' ضریب می باشند.



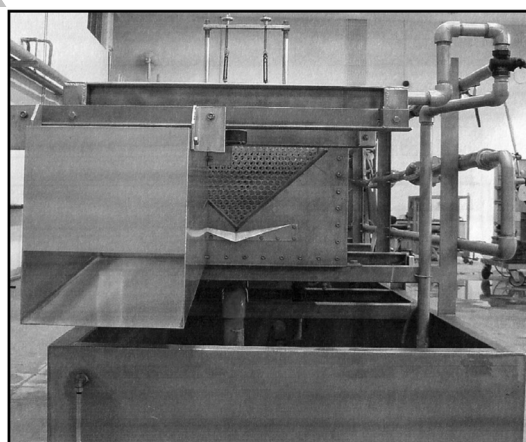
شکل ۶- سرریز اوجی (آبریز)



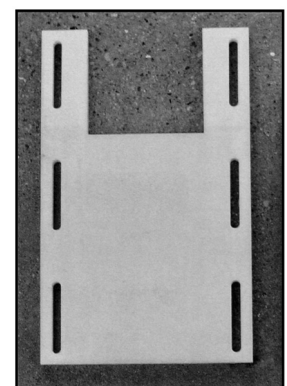
شکل ۳- سرریز مثلثی



شکل ۷- سرریز روگذر



شکل ۵- سرریز مثلثی



شکل ۴- سرریز مستطیلی

1- Point Gauge

2- Hook Gauge

بررسی شرایط معلق ماندن ذرات رسوبی

برای شبیه سازی ذرات رسوبی در طول کانال از تراشه ی چوب درخت راش استفاده شد. معلق شدن ذرات تراشه ی چوب راش به نسبت U_0/w بستگی دارد که با استفاده از روابط (۱۴) و (۱۵) این نسبت به دست آمد و نتایج به دست آمده از آن در جدول (۱) ارائه شده است.

ذرات رسوبی به صورت یکنواخت بر اساس رابطه ی (۱۰) با شرط $Cu < 4$ انتخاب شد. اندازه ی قطر میانه ی ذرات با استفاده از الک پاش و رابطه ی (۱۱) ۵ میلیمتر به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده در جدول (۱)، نسبت U_0/w بزرگ تر از ۰/۲۵ بوده بنابراین ذرات به صورت معلق در جریان آب خواهند بود.

روش آزمایش

آزمایش در شرایط پایدار بر روی سرریز مستطیلی و سرریزهای مثلثی ۶۰° و ۹۰°، اوجی و روگذرانجام گرفته است. نخست برای آب بدون رسوبات با اندازه گیری و استفاده از روابط (۳)، (۶) و (۷)، ضریب تخلیه اندازه گیری شد. (در رابطه ی (۳) برای سرریز مستطیلی برابر ۰/۰۷۵ متر است، همچنین برای سرریز مثلثی ۶۰° مقدار K_H برابر ۰/۰۱۱۶۹۱ متر و برای سرریز مثلثی ۹۰° مقدار K_H برابر ۰/۰۲۹۰۲۵۲ متر است.) سپس ذرات الک شده از

(در بده های زیاد)، در دو حالت جریان آب خالص و جریان آب و رسوبات انجام شده است. در شکل های (۳) تا (۷) تصاویری از سرریزهای مورد استفاده در این آزمایش نشان داده شده است.

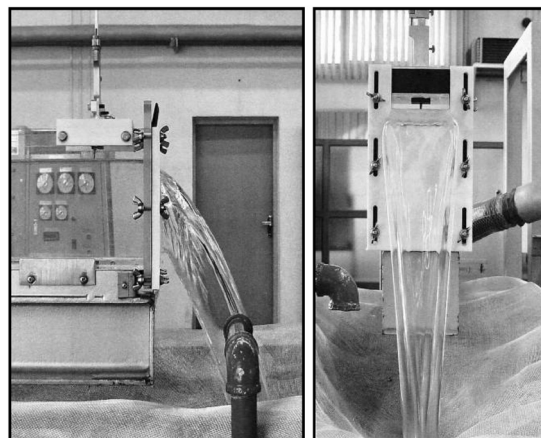
برای اندازه گیری سرعت از لوله پیتو با دقت ۰/۱۴ متر بر ثانیه و برای اندازه گیری عمق از عمق سنج نقطه ای ۱ (در کانال ۷ متری) و از عمق سنج قلابی ۲ (در کانال ۵ متری) با دقت ۰/۰۲ میلیمتر استفاده شده است. بدهی دستگاه نیز برای کانال ۷ متری در محدوده ی بین ۲ متر مکعب بر ساعت تا ۴ متر مکعب بر ساعت تنظیم گردیده و برای کانال ۵ متری در محدوده ی بین ۳/۹۶ متر مکعب بر ساعت تا ۲۵/۵۶ متر مکعب بر ساعت اندازه گیری شده است. بده نیز با بده سنج (روتامتر برای کانال ۷ متری و اندازه گیری وزنی به وسیله ی تراز و با دقت ۵۰ گرم برای کانال ۵ متری) به گونه ی منظم اندازه گیری شد.

فرضیه های آزمایش

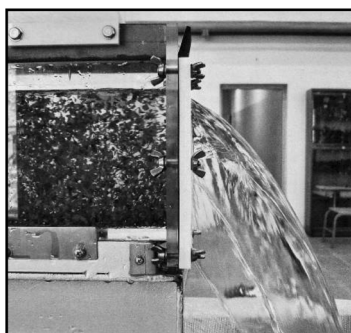
- در این مرحله فرضیه های زیر نیز در نظر گرفته می شود:
۱. رسوبات به گونه ی یکنواخت در تمام مسیر جریان وجود دارد.
 ۲. رسوبات، ته نشین نمی شوند و کاملاً در تمام مسیر، معلق می مانند.
 ۳. بدهی ورودی رسوبات ثابت است.

جدول ۱ - شرایط معلق ماندن ذرات

شیب کانال S	سرعت سقوط w(m/s)	سرعت برشی بستر U_0 (m/s)	$\frac{U_0}{w}$
کانال ۷ متری			
۰/۰۳۵	۰/۲۲۸	۰/۰۹۳	۰/۴۱
۰/۰۷	۰/۲۲۸	۰/۱۳۱	۰/۵۷
۰/۰۸۷	۰/۲۲۸	۰/۱۰۵	۰/۴۶
کانال ۵ متری			
۰/۰۰۸۷۳	۰/۶۴	۰/۱۴۶	۰/۲۲۸



شکل ۸ - سرریز مستطیلی در جریان آب خالص



شکل ۹ - سرریز مثلثی در جریان آب با رسوبات

جدول ۲- نتایج عددی محاسبات سرریز مثلی ۶۰

سرریز مثلی ۶۰ با شیب ۰/۰۸۷ و جریان آب خالص					
ورودی m ^۳ /hr	بده ی	سرعت کانال m/s	ارتفاع آب سرریز m	عدد رینولدز Rr	عدد فرود Fr
۲	۰/۰۵۴	۰/۱۳۷	۱۵۹۶	۰/۰۴۵۶	۰/۰۴۵۶
۲/۵	۰/۰۶۵	۰/۱۴۲	۱۹۳۷	۰/۰۸۶۶	۰/۰۸۶۶
۳	۰/۰۷۵	۰/۱۴۷	۲۲۶۳	۰/۰۹۶۴	۰/۰۹۶۴
۳/۵	۰/۰۸۵	۰/۱۵۱	۲۵۸۲	۰/۱۰۶	۰/۱۰۶
۴	۰/۰۹۵	۰/۱۵۵	۲۸۹۴	۰/۱۱۵	۰/۱۱۵
سرریز مثلی ۶۰ با شیب ۰/۰۸۷ و جریان آب با ذرات معلق					
۲	۰/۰۵۳۵	۰/۱۳۸	۱۵۸۶	۰/۰۷۴	۰/۰۷۴
۲/۵	۰/۰۶۵۶	۰/۱۴۳	۱۹۲۷	۰/۰۸۵۳	۰/۰۸۵۳
۳	۰/۰۷۵	۰/۱۴۸	۲۲۵۳	۰/۰۹۵۲	۰/۰۹۵۲
۳/۵	۰/۰۸۵۱	۰/۱۵۲	۲۵۷۲	۰/۱۰۵	۰/۱۰۵
۴	۰/۰۹۵	۰/۱۵۵	۲۸۸۴	۰/۱۱۴	۰/۱۱۴
سرریز مثلی ۶۰ با شیب ۰/۰۷ و جریان آب خالص					
۲	۰/۰۵۴۸	۰/۱۳۵	۱۶۱۶	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸
۲/۵	۰/۰۶۶	۰/۱۴	۱۹۶۱	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶
۳	۰/۰۷۶۳	۰/۱۴۵	۲۲۸۶	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴
۳/۵	۰/۰۸۶۴	۰/۱۵	۲۶۰۴	۰/۰۷۱	۰/۰۷۱
۴	۰/۰۹۶۲	۰/۱۵۴	۲۹۱۴	۰/۰۷۸	۰/۰۷۸
سرریز مثلی ۶۰ با شیب ۰/۰۷ و جریان آب با ذرات معلق					
۲	۰/۰۵۴۲	۰/۱۳۶	۱۶۰۳	۰/۰۴۷	۰/۰۴۷
۲/۵	۰/۰۶۵۵	۰/۱۴۱	۱۹۴۹	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶
۳	۰/۰۷۵۸	۰/۱۴۶	۲۲۷۲	۰/۰۶۳	۰/۰۶۳
۳/۵	۰/۰۸۵۸	۰/۱۵۱	۲۵۸۹	۰/۰۷	۰/۰۷
۴	۰/۰۹۵۸	۰/۱۵۵	۲۹۰۳	۰/۰۷۸	۰/۰۷۸
سرریز مثلی ۶۰ با شیب ۰/۰۳۵ و جریان آب خالص					
۲	۰/۰۵۵	۰/۱۳۵	۱۶۲۱	۰/۰۴۸	۰/۰۴۸
۲/۵	۰/۰۶۶۳	۰/۱۴	۱۹۶۷	۰/۰۵۷	۰/۰۵۷
۳	۰/۰۷۶۸	۰/۱۴۵	۲۲۹۷	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴
۳/۵	۰/۰۸۷	۰/۱۵	۲۶۱۶	۰/۰۷۲	۰/۰۷۲
۴	۰/۰۹۷	۰/۱۵۳	۲۹۲۸	۰/۰۸	۰/۰۸

سرریز مثلی ۶۰ با شیب ۰/۰۳۵ و جریان آب با ذرات معلق					
۲	۰/۰۵۴۵	۰/۱۳۶	۱۶۰۷	۰/۰۴۷	۰/۰۴۷
۲/۵	۰/۰۶۵۶	۰/۱۴۱	۱۹۵۲	۰/۰۵۶	۰/۰۵۶
۳	۰/۰۷۴۱	۰/۱۴۶	۲۲۸۱	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴
۳/۵	۰/۰۸۶۳	۰/۱۵	۲۶۰۲	۰/۰۷۱	۰/۰۷۱
۴	۰/۰۹۶۲	۰/۱۵۴	۲۹۱۳	۰/۰۷۸	۰/۰۷۸

جدول ۳- نتایج عددی محاسبات سرریز مستطیلی

سرریز مستطیلی با شیب ۰/۰۸۷ و جریان آب خالص					
ورودی m ^۳ /hr	بده ی	سرعت کانال m/s	ارتفاع آب سرریز m	عدد رینولدز Rr	عدد فرود Fr
۲	۰/۰۵۶۲	۰/۱۳۲	۱۶۴۷	۰/۰۴۹	۰/۰۴۹
۲/۵	۰/۰۶۸۱	۰/۱۳۶	۲۰۰۹	۰/۰۵۹	۰/۰۵۹
۳	۰/۰۷۹۷	۰/۱۳۹	۲۳۶۶	۰/۰۶۸	۰/۰۶۸
سرریز مستطیلی با شیب ۰/۰۸۷ و جریان آب با ذرات معلق					
۲	۰/۰۵۶	۰/۱۳۲	۱۶۴۲	۰/۰۵	۰/۰۵
۲/۵	۰/۰۶۸	۰/۱۳۶	۲۰۰۵	۰/۰۶	۰/۰۶
۳	۰/۰۸	۰/۱۴	۲۳۶۲	۰/۰۷	۰/۰۷
سرریز مستطیلی با شیب ۰/۰۷ و جریان آب خالص					
۲	۰/۰۵۶	۰/۱۳۱	۱۶۵۰	۰/۰۵	۰/۰۵
۲/۵	۰/۰۶۸	۰/۱۳۵	۲۰۱۶	۰/۰۶	۰/۰۶
۳	۰/۰۷۹	۰/۱۳۹	۲۳۶۶	۰/۰۷	۰/۰۷
سرریز مستطیلی با شیب ۰/۰۷ و جریان آب با ذرات معلق					
۲	۰/۰۵۶	۰/۱۳۲	۱۶۴۳	۰/۰۵	۰/۰۵
۲/۵	۰/۰۷	۰/۱۳۶	۲۰۱۰	۰/۰	۰/۰
۳	۰/۰۸	۰/۱۴	۲۳۵۹	۰/۰۷	۰/۰۷
سرریز مستطیلی با شیب ۰/۰۳۵ و جریان آب خالص					
۲	۰/۰۵۷	۰/۱۲۹	۱۶۶۷	۰/۰۵۱	۰/۰۵۱
۲/۵	۰/۰۶۸	۰/۱۳۴	۲۰۲۶	۰/۰۵۹	۰/۰۵۹
۳	۰/۰۷۹	۰/۱۳۹	۲۳۶۰	۰/۰۶۸	۰/۰۶۸
سرریز مستطیلی با شیب ۰/۰۳۵ و جریان آب با ذرات معلق					
۲	۰/۰۵۶	۰/۱۳	۱۶۵۸	۰/۰۵	۰/۰۵
۲/۵	۰/۰۶۸	۰/۱۳۵	۲۰۱۶	۰/۰۵۹	۰/۰۵۹
۳	۰/۰۷۸	۰/۱۴	۲۳۴۸	۰/۰۶۷	۰/۰۶۷

جدول ۴- نتایج عددی محاسبات سرریز مثلی ۹۰°

سرریز مثلی ۹۰° با شیب ۰/۰۰۸۷۳ و جریان آب خالص				
عدد فرود Fr	عدد رینولدز Rr	ارتفاع آب سرریز m	سرعت کانال m/s	بده ی ورودی m ^۳ /hr
۰/۰۰۷۷	۱۱۶۰	۰/۱۷۷	۰/۰۱۰۳	۳/۹۷
۰/۰۱۲۹	۲۱۰۳	۰/۱۹۴	۰/۰۱۷۷	۷/۴۵
۰/۰۲۱۱	۳۸۷۷	۰/۲۱۵	۰/۰۳۰۷	۱۴/۳۵
عدد فرود Fr	عدد رینولدز Rr	ارتفاع آب سرریز m	سرعت کانال m/s	بده ی ورودی m ^۳ /hr
۰/۰۲۱۹	۴۰۹۲	۰/۲۱۹	۰/۰۳۲۱	۱۵/۲۴
۰/۰۲۴۶	۴۸۷۶	۰/۲۳۱	۰/۰۳۷۱	۱۸/۵۸
۰/۰۳۲	۶۶۳۹	۰/۲۴۲	۰/۰۴۹۳	۲۵/۸۱
سرریز مثلی ۹۰° با شیب ۰/۰۰۸۷۳ و جریان آب با ذرات معلق				
۰/۰۰۷۸	۱۱۵۹	۰/۱۷۸	۰/۰۱۰۳	۳/۹۷
۰/۰۱۲۸	۲۱۰۳	۰/۱۹۴	۰/۰۱۷۷	۷/۴۵
۰/۰۲۱۱	۳۸۷۶	۰/۲۱۶	۰/۰۳۰۷	۱۴/۳۵
۰/۰۲۲	۴۰۹۱	۰/۲۱۹	۰/۰۳۲۱	۱۵/۲۴
۰/۰۲۴۷	۴۸۷۵	۰/۲۳۱	۰/۰۳۷۱	۱۸/۵۸
۰/۰۳۲	۶۶۳۸	۰/۲۴۲	۰/۰۴۹۳	۲۵/۸۱

جنس تراشه ی چوب درخت راش با دانه بندی یکسان و میانگین قطر ۵ میلیمتر با بده ی جرمی تقریباً ثابت از ابتدای کانال به درون آن به صورت تر تغذیه شد؛ بدین صورت که ذرات درون آب باد کرده و دارای وزن مخصوص بیش تری می گردند و پس از آن که جریان به حالت کاملاً پایدار رسید، با استفاده از عمق سنج نقطه ای یا عمق سنج قلابی ارتفاع آب اندازه گیری شد. بده ی آب نیز با استفاده از روتامتر یا روش وزنی اندازه گیری شد و سپس همانند آب بدون رسوبات با استفاده از روابط (۳)، (۶) و (۷) ضریب تخلیه برای آب با رسوبات محاسبه شد. در شکل (۸) سرریز مستطیلی در جریان آب خالص در دو نما و در شکل (۹) نمایی از سرریز مثلی در جریان با رسوبات نشان داده شده است.

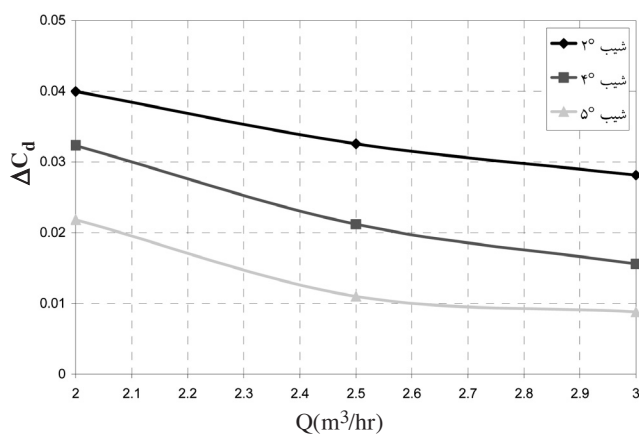
نتایج

نتایج به دست آمده از محاسبه ی ضریب تخلیه در حالت های گوناگون برای سرریزهای مستطیلی، مثلی، اوجی و روگذر در دو حالت جریان آب خالص و جریان آب با رسوبات به دست آمد و نمونه ای از این اعداد با استفاده از روابط ۳، ۶، ۷، ۱۹ و ۲۰ در

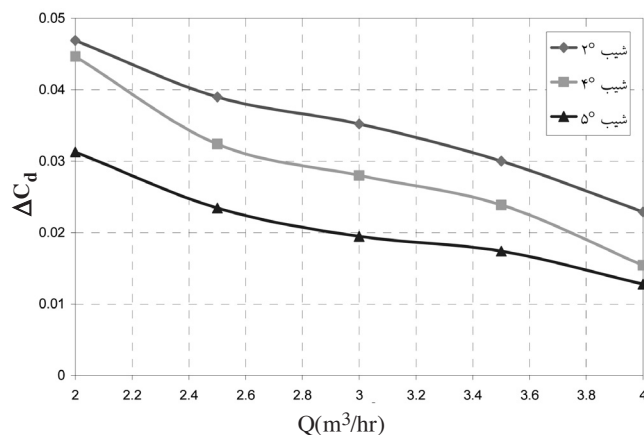
جدول ۵- نتایج عددی محاسبات سرریز روگذر

سرریز روگذر با شیب ۰/۰۰۸۷ و جریان آب خالص				
عدد فرود Fr	عدد رینولدز Rr	ارتفاع آب سرریز m	سرعت کانال m/s	بده ی ورودی m ^۳ /hr
۰/۰۷۴۹	۶۹۷	۰/۰۹۹	۰/۰۷۴۱	۲
۰/۰۸۸۶	۸۶۴	۰/۱۰۳	۰/۰۸۹۳	۲/۵
۰/۰۹۹	۱۰۲۴	۰/۱۰۸	۰/۱۰۲۲	۳
۰/۱۰۷۹	۱۱۸۰	۰/۱۱۴	۰/۱۱۳۹	۳/۵
۰/۱۱۷۸	۱۳۳۷	۰/۱۱۷	۰/۱۲۶۳	۴
سرریز روگذر با شیب ۰/۰۰۸۷ و جریان آب با ذرات معلق				
۰/۰۷۱۴	۶۹۲	۰/۱۰۳	۰/۰۷۱۸	۲
۰/۰۸۴۴	۸۵۶	۰/۱۰۷	۰/۰۸۶۵	۲/۵
۰/۰۹۶۳	۱۰۱۸	۰/۱۱۱	۰/۱۰۰۳	۳
۰/۱۰۷۱	۱۱۷۸	۰/۱۱۴	۰/۱۱۳۴	۳/۵
۰/۱۱۷۴	۱۳۳۶	۰/۱۱۷	۰/۱۲۶	۴
سرریز روگذر با شیب ۰/۰۰۷ و جریان آب خالص				
۰/۰۷۵۲	۶۹۸	۰/۰۹۹	۰/۰۷۴۳	۲
۰/۰۸۸۷	۸۶۴	۰/۱۰۳	۰/۰۸۹۴	۲/۵
۰/۰۹۹۲	۱۰۲۴	۰/۱۰۸	۰/۱۰۲۳	۳
۰/۱۰۸۳	۱۱۸۰	۰/۱۱۳	۰/۱۱۴۲	۳/۵
۰/۱۱۸۲	۱۳۳۸	۰/۱۱۷	۰/۱۲۶۶	۴
سرریز روگذر با شیب ۰/۰۰۷ و جریان آب با ذرات معلق				
۰/۰۷۱۵	۶۹۲	۰/۱۰۳	۰/۰۷۱۸	۲
۰/۰۸۴۵	۸۵۷	۰/۱۰۷	۰/۰۸۶۶	۲/۵
۰/۰۹۶۵	۱۰۱۹	۰/۱۱۱	۰/۱۰۰۴	۳
۰/۱۰۷۲	۱۱۷۸	۰/۱۱۴	۰/۱۱۳۵	۳/۵
۰/۱۱۷۴	۱۳۳۶	۰/۱۱۷	۰/۱۲۶	۴
سرریز روگذر با شیب ۰/۰۰۳۵ و جریان آب خالص				
۰/۰۷۵۴	۶۹۸	۰/۰۹۹	۰/۰۷۴۵	۲
۰/۰۸۸۹	۸۶۴	۰/۱۰۳	۰/۰۸۹۶	۲/۵
۰/۰۹۹۵	۱۰۲۴	۰/۱۰۸	۰/۱۰۲۵	۳
۰/۱۰۸۶	۱۱۸۱	۰/۱۱۳	۰/۱۱۴۵	۳/۵
۰/۱۱۸۴	۱۳۳۸	۰/۱۱۷	۰/۱۲۶۷	۴

سرریز اوجی با شیب ۰/۰۳۵ و جریان آب خالص				
۰/۰۷۵۴	۶۹۸	۰/۰۹۹	۰/۰۷۴۴	۲
۰/۰۸۸۹	۸۶۴	۰/۱۰۳	۰/۰۸۹۵	۲/۵
۰/۰۹۹۵	۱۰۲۴	۰/۱۰۸	۰/۱۰۲۶	۳
۰/۱۰۸۶	۱۱۸۱	۰/۱۱۳	۰/۱۱۴۴	۳/۵
۰/۱۱۸۴	۱۳۳۸	۰/۱۱۶	۰/۱۲۶۷	۴
سرریز اوجی با شیب ۰/۰۳۵ و جریان آب با ذرات معلق				
۰/۰۷۱۷	۶۹۲	۰/۱۰۳	۰/۰۷۲	۲
۰/۰۸۵	۸۵۷	۰/۱۰۶	۰/۰۸۶۸	۲/۵
۰/۰۹۶	۱۰۱۹	۰/۱۱۰۵	۰/۱۰۰۵	۳
۰/۱۰۷۴	۱۱۷۹	۰/۱۱۴۱	۰/۱۱۳۶	۳/۵
۰/۱۱۷۶	۱۳۳۶	۰/۱۱۷۴	۰/۱۲۶۲	۴



شکل ۱۰ - نمودار اختلاف ضریب تخلیه سرریز مستطیلی در دو حالت جریان آب خالص و جریان آب با رسوبات در کانال بر حسب بدهی جریان ورودی



شکل ۱۱ - نمودار اختلاف ضریب تخلیه سرریز مثلثی در دو حالت جریان آب خالص و جریان آب با رسوبات در کانال بر حسب بدهی جریان ورودی

سرریز روگذر با شیب ۰/۰۳۵ و جریان آب با ذرات معلق				
۰/۰۷۱۷	۶۹۲	۰/۱۰۲۸	۰/۰۷۲	۲
۰/۰۸۴۹	۸۵۷	۰/۱۰۶۶	۰/۰۸۶۸	۲/۵
۰/۰۹۶۶	۱۰۱۹	۰/۱۱۰۵	۰/۱۰۰۶	۳
۰/۱۰۷۴	۱۱۷۸	۰/۱۱۴۱	۰/۱۱۳۶	۳/۵
۰/۱۱۷۶	۱۳۳۶	۰/۱۱۷۴	۰/۱۲۶۲	۴

جدول ۶ - نتایج عددی محاسبات سرریز اوجی

سرریز اوجی با شیب ۰/۰۸۷ و جریان آب خالص				
بدهی ورودی m ³ /hr	سرعت کانال m/s	ارتفاع آب سرریز m	عدد رینولدز Rr	عدد فرود Fr
۲	۰/۰۷۴۱	۰/۰۹۹	۶۹۷	۰/۰۷۴۸
۲/۵	۰/۰۸۹۳	۰/۱۰۳۶	۸۶۴	۰/۰۸۸۶
۳	۰/۱۰۲۲	۰/۱۰۸۶	۱۰۲۴	۰/۰۹۹
۳/۵	۰/۱۱۴۱	۰/۱۱۳۶	۱۱۸۰	۰/۱۰۸۱
۴	۰/۱۲۶۴	۰/۱۱۷۲	۱۳۳۷	۰/۱۱۷۹

سرریز اوجی با شیب ۰/۰۸۷ و جریان آب با ذرات معلق

۲	۰/۰۷۱۸	۰/۱۰۳۲	۶۹۲	۰/۰۷۱۴
۲/۵	۰/۰۸۶۵	۰/۱۰۷۱	۸۵۶	۰/۰۸۴۴
۳	۰/۱۰۰۳	۰/۱۱۰۷	۱۰۱۸	۰/۰۶۹۳
۳/۵	۰/۱۱۳۴	۰/۱۱۴۳	۱۱۷۸	۰/۱۰۷
۴	۰/۱۲۶	۰/۱۱۷۷	۱۳۳۵	۰/۱۱۷۲

سرریز اوجی با شیب ۰/۰۷ و جریان آب خالص

۲	۰/۰۷۴۳	۰/۰۹۹۷	۶۹۸	۰/۰۷۵۲
۲/۵	۰/۰۸۹۴	۰/۱۰۳۶	۸۶۴	۰/۰۸۸۷
۳	۰/۱۰۲۴	۰/۱۰۸۵	۱۰۲۴	۰/۰۹۹۲
۳/۵	۰/۱۱۴۲	۰/۱۱۳۵	۱۱۸۰	۰/۱۰۸۲
۴	۰/۱۲۶۶	۰/۱۱۷	۱۳۳۸	۰/۱۱۸۲

سرریز اوجی با شیب ۰/۰۷ و جریان آب با ذرات معلق

۲	۰/۰۷۱۸	۰/۱۰۳	۶۹۲	۰/۰۷۱۵
۲/۵	۰/۰۸۶۶	۰/۱۰۷	۸۵۷	۰/۰۸۴۶
۳	۰/۱۰۰۴	۰/۱۱۱	۱۰۱۹	۰/۰۹۶۵
۳/۵	۰/۱۱۳۵	۰/۱۱۴	۱۱۷۸	۰/۱۰۷۲
۴	۰/۱۲۶۱	۰/۱۱۷۵	۱۳۳۶	۰/۱۱۷۴

جدول‌های (۲) تا (۶) آورده شده است. سپس با استفاده از اعداد به دست آمده، نمودارهایی بر اساس اختلاف ضریب تخلیه در دو حالت جریان آب خالص و جریان آب با رسوبات بر حسب بدهی جریان ورودی ارائه شده که در شکل‌های (۱۰) تا (۱۳) نشان داده شده است.

بر اساس نتایج به دست آمده، با استفاده از رگرسیون با روش تقریب مربعات و نرم افزار Matlab برای هر مرحله از آزمایش در سرریزهای مستطیلی، مثلثی، اوجی و روگذر ضریبی محاسبه شد و در نتیجه روابط همبندی ۶ شده‌ای برای محاسبه‌ی ضریب تخلیه در حالت آب با رسوبات از روی ضریب تخلیه در حالت آب خالص به دست آمد.

برای محاسبه‌ی ضریب تخلیه‌ی سرریز مثلثی ۹۰° با شیب و ۵/۰ در حالت جریان آب با رسوبات با استفاده از ضریب تخلیه در حالت

آب خالص، رابطه‌ی زیر پیشنهاد می‌شود:

$$C_{ds} = 0.9961 C_d \quad (27)$$

که در آن C_{ds} ضریب تخلیه در حالت جریان آب با رسوبات و C_d ضریب تخلیه در حالت جریان آب خالص می‌باشد.

روابط به دست آمده برای سرریزهای مستطیلی، مثلثی ۶۰°، اوجی و روگذر نیز به صورت کلی زیر است:

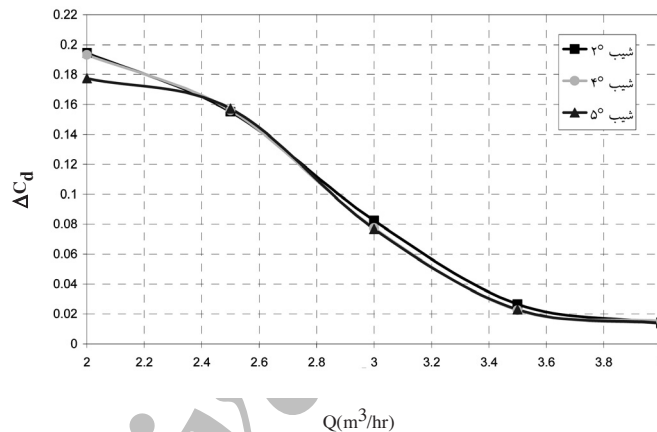
$$C_{ds} = \alpha \cdot C_d \quad (28)$$

که در آن ضریب α به صورت تابعی بر حسب درجه‌ی شیب برای سرریز مستطیلی، مثلثی ۶۰°، اوجی و روگذر از روابط زیر به دست می‌آید:

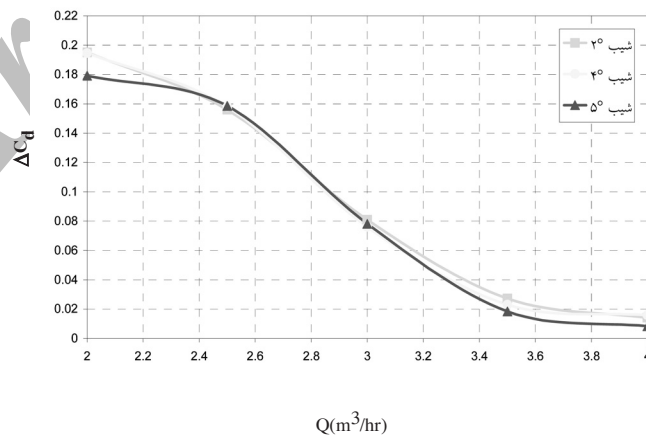
$$\alpha = 0.002\theta^2 - 0.007\theta + 0.96 \quad (29) \quad \text{سرریز مستطیلی}$$

$$R^2 = 0.9648$$

$$\alpha = 0.002\theta^2 - 0.009\theta + 0.96 \quad (30) \quad \text{سرریز مثلثی ۶۰°}$$



شکل ۱۲ - نمودار اختلاف ضریب تخلیه‌ی سرریز اوجی در دو حالت جریان آب خالص و جریان آب با رسوبات در کانال بر حسب بدهی جریان ورودی



شکل ۱۳ - نمودار اختلاف ضریب تخلیه سرریز روگذر در دو حالت جریان آب خالص و جریان آب با رسوبات در کانال بر حسب بدهی جریان ورودی

که با افزایش شیب، اختلاف ضرایب تخلیه در حالت های جریان آب خالص و با رسوبات، کم تر می شود. همچنین سرعت روی سرریز نیز پارامتری مهم است که دیده می شود در هنگامی که سرعت بر روی تاج سرریز زیاد است، همانند سرریز روگذر و اوجی، اختلاف میان دو ضریب تخلیه کوچک می باشد (به شکل های ۱۲ و ۱۳ رجوع شود). در نهایت، برای سرریز مستطیلی، مثلثی، اوجی و روگذر با استفاده از نتایج به دست آمده، روابط (۲۹) تا (۳۲) ارائه شده است که قابلیت محاسبه ی ضریب تخلیه در حالت جریان آب با رسوبات را با استفاده از ضریب تخلیه در حالت جریان آب خالص دارد. با دقت در روابط به دست آمده دیده می شود که این روابط بسیار به یکدیگر نزدیک بوده و می توان نتیجه گرفت که ضریب در شیب های کم با تغذیه ی ثابت، مستقل از نوع سرریز است.

منابع

۱- شفافی بجستان م. ۱۳۸۷. اصول نظری و عملی هیدرولیک انتقال رسوب، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ص ۴۶۰-۴۸۰.

$$R^2 = 0.9181$$

$$\alpha = 0.0007\theta^2 - 0.0035\theta + 0.9 \quad \text{سرریز اوجی} \quad (31)$$

$$R^2 = 0.8002$$

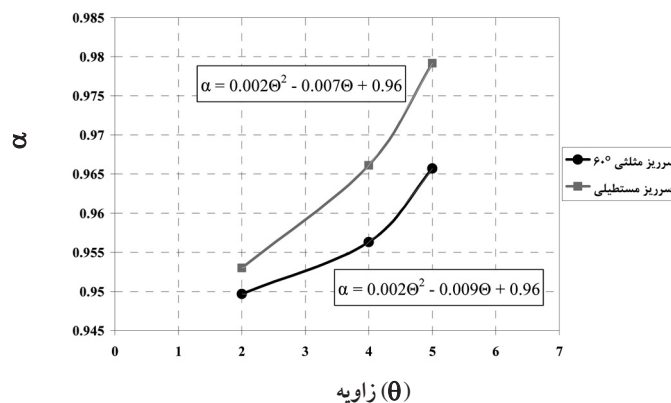
$$\alpha = 0.0016\theta^2 - 0.0095\theta + 0.9 \quad \text{سرریز روگذر} \quad (32)$$

$$R^2 = 0.6113$$

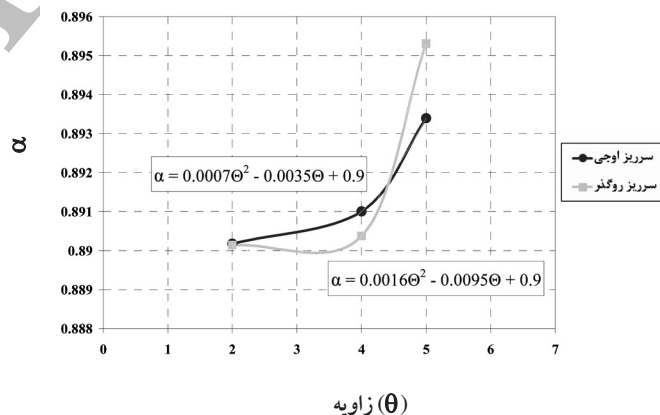
در شکل های (۱۴) و (۱۵)، نمودارهای ضریب بر حسب زاویه ی شیب بستر کانال نشان داده شده است.

نتیجه گیری

نتایج به دست آمده بیانگر آن است که رسوبات سبب کاهش ضریب تخلیه بین ۱ تا ۱۲ درصد می شوند که در بده های زیاد اختلاف بین ضرایب تخلیه در حالت جریان آب با رسوبات و جریان آب خالص، کم است و با توجه به در نظر گرفتن عدم قطعیت در اندازه گیری ها، حتی از این مقدار نیز می توان صرف نظر کرد، ولی در بده های کم، اثر رسوبات محسوس است و باید در نظر گرفته شود. همچنین شیب کانال نیز بر ضریب تخلیه تأثیر گذار است بدین ترتیب



شکل ۱۴ - نمودار ضریب α برای سرریزهای مستطیلی و مثلثی ۶°



شکل ۱۵ - نمودار ضریب α برای سرریزهای اوجی و روگذر

Chapter A14, United States Geological Survey.

9- Graf, W.H. and Song, T. 1997. Bed- Shear Stress in Non-Uniform and Unsteady Open-Channel Flows. *Journal of Hydraulic research*. 33(5) : 399-704.

10- Chanson, H. 2004. *Hydraulics of Open Channel Flow*, Second Edition, Elsevier Ltd., The University of Queensland, Australia, 650 pages.

11- Sarker, M. A. and Rhodes, D.G. 2003. Calculation of free-surface profile over a rectangular broad-crested weir, Elsevier.

12- Ackers, P., White, W.R., Perkins, J.A. and Harrison, A.J.M. 1970. *Weirs and flumes for flow measurement*, Chichester.

13- Herschy, R. 2000. General purpose flow measurement equations for flumes and thin plate weirs, Elsevier Ltd., UK, Volume 6, Issue 4, Pages 283-293.

14- Herschy, R.W. 1975. *Streamflow Measurement*, Elsevier Applied Science, London.

15- Shames, I.H. 1988. *Mechanics of fluids*, 2nd edition, Mc Graw Hill Book Company Inc, p. 296-342.

16- Chow, V. T. 1959. *Open Channel Hydraulics*, Mc Graw Hill Book Company Inc., New York, US, p. 245-274

2- Stewart, B.A. and Howell, T.A. 2003. *Encyclopedia of Water Science*, Marcel Dekker, P 120-122 & 307-309.

3- Clemmens, A. J., Wahl, T. L., Bos, M. G. and Replogle, J. A. 2001. *Water measurement with flumes and weirs*, Rep. No. 57, International Institute for Land Reclamation and Improvement.

4- Coleman, N.L. 1976. Effects of suspended sediment on the open channel velocity distribution, *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 22, No. 10, p.1355-1374.

5- *Catalog: Operation Manual*. 1991. Model IFC5000, Inclinable Flow Channel, Tokyo Meter Co., LTD, Japan.

6- Van, E.E., Hessel, R., Liu, B., Trouwborst, K. O., Stolte, J., Coen, J. and Blijenberg, H. 2003. Discharge and sediment measurements at the outlet of a watershed on the Loess plateau of China, *CATENA*, Volume 54, Issues 1-2, Pages 117-130.

7- Boiten, W. 2002. *Environmental Research Instruments*, Venturi gate, adjustable gate for discharge measurement and fish migration, Elsevier, Volume 13, Issues 5-6, Pages 203-207.

8- Kilpatrick, F.A. and Schneider, W.R. 1973. *Use of Flumes in Measuring Discharge*, Book 3,

Archive