

تعیین آزمایشگاهی ضریب دبی سرریز لولایی خودکار

زینب حسین زاده^۱ محمدجواد منعم^۲ صلاح کوچک زاده^۳

۱- دانشجوی دکتری سازه های آبی دانشگاه تربیت مدرس، (zeinabhosseinzade@gmail.com)

۲- دانشیار گروه سازه های آبی دانشگاه تربیت مدرس،

۳- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۸/۲۹

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۷/۲۵

چکیده

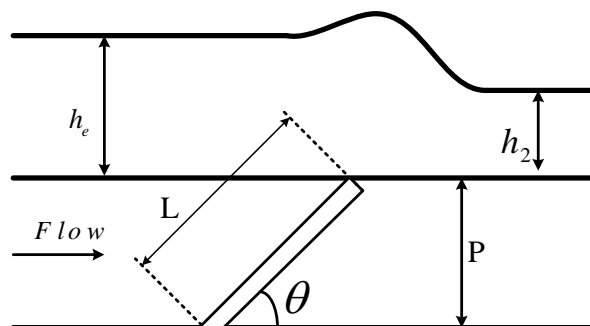
عملکرد مناسب سازه های تنظیم سطح آب در شبکه های آبیاری نقش کلیدی در توزیع مطلوب آب دارند. یکی از این سازه ها سرریز لولایی است که علاوه بر تنظیم سطح آب قابلیت اندازه گیری جریان را دارد. در این تحقیق ضمن بررسی روابط هیدرولیکی سرریز لولایی، رابطه ضریب دبی آن برای شرایط جریان آزاد و مستغرق در آزمایشگاه استخراج گردید. آزمایشات در فلومی شیب پذیر به طول ده متر، عرض کف ۳/۰ متر و عمق ۴۵/۰ متر انجام شد. ابعاد سرریز لولایی مورد مطالعه $۳/۰ \times ۳/۰$ متر بوده و در فاصله شش متری از ورودی فلوم نصب شده بود. دو مجموعه آزمایش برای بررسی دو حالت جریان آزاد و مستغرق انجام شد و به کمک داده های جمع آوری شده روابط قابل استفاده در هر یک از جریان های فوق استخراج و پیشنهاد گردید. با انجام آزمایشات صحت سنجی دقت روابط ارائه شده برای حالت آزاد و مستغرق به ترتیب ۱۱/۷٪ و ۱۳/۵۷٪ حاصل شد.

واژه های کلیدی: سرریز لولایی، ضریب دبی، کانال آبیاری.

مقدمه

طرف دریاچه به یک موتور محرک متصل شده اند که می توانند دریاچه را بالا یا پایین ببرند. شکل (۱) نمایی از یک سرریز لولایی را نشان می دهند.

طبق تعریف واهلین^۱ و ریپلاجل^۲ (۱۹۹۴) سرریز لولایی سازه ای است که در کف کانال لولا شده و زاویه آن با کف قابل تنظیم است. کابل هایی از دو



شکل (۱): نمایی از یک سرریز لولایی

1- Wahlin

2- Replogle

جهت تخمین دبی در سرریز لولایی استفاده کرد. بنابراین با اضافه کردن ضریب C_a به عنوان ضریب تصحیح زاویه، معادله (۱) را می توان به صورت رابطه (۳) ارائه نمود آن را برای برآوده بده به کار گرفت.

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_a C_e b_c h_1^{1.5} \quad (3)$$

که در آن C_a ضریب تصحیح برای زاویه سرریز لولایی و C_e ضریب دبی سرریزهای قائم می باشد. ویلمنت^۳ (۱۹۴۷) رابطه (۴) را برای تعیین دبی در شرایط مستغرق سرریزهای قائم لبه تیز مستطیلی ارائه کرد.

$$Q = C_{df} Q_0 = Q_0 \left[1 - \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{1.5} \right]^{0.385} \quad (4)$$

که در آن Q_0 دبی در شرایط جریان آزاد با ارتفاع بالادست h_1 (متر مکعب بر ثانیه) و h_2 ارتفاع آب پایین دست (متر) می باشد. اگر بتوان ضریب کاهش جریان مستغرق را با توجه به زاویه سرریز لولایی (رابطه (۵)) به درستی تخمین زد، می توان از رابطه (۴) برای برآورد دبی عبوری از سرریز در شرایط مستغرق استفاده کرد.

$$C_{df} = A \left[1 - \left(\frac{h_2}{h_1} \right)^{1.5} \right]^n \quad (5)$$

که در آن A و n ضرایب تجربی هستند و به کمک داده های آزمایشگاهی یا میدانی باید تعیین شوند.

تجهیزات آزمایشگاهی

تمامی آزمایشات در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس در فلومی مستطیلی شکل به طول ۱۰، عرض ۰/۳ و ارتفاع ۰/۴۵ متر انجام شد. شیب این فلوم قابل تنظیم می باشد که در هر دو سری آزمایشات انجام شده در

از مزایای سرریزهای لولایی می توان به مناسب بودن آن ها برای عبور مواد معلق و اجسام زائد شناور و همچنین جریانات ناگهانی اشاره کرد. این سرریزها دارای طراحی، ساخت، نصب و بهره برداری ساده و آسان است. از مزایای دیگر این سازه امکان اندازه گیری دبی حجمی و سهولت اتوماسیون اشاره کرد. اما از معایب این سرریزها می توان آب بندی مشکل آن و معضل تهویه در زیر تیغه ریزش آب را یاد کرد.

مواد و روش ها

معرفی روابط هیدرولیکی سرریز لولایی

کاندسواتر^۱ و کارتر^۲ (۱۹۵۷) معادلاتی برای تخمین دبی برای سرریزهای لبه تیز در حالت جریان آزاد مطابق رابطه (۱) ارائه دادند.

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} C_e b_c h_1^{1.5} \quad (1)$$

که در آن C_e ضریب دبی، b_c عرض سرریز (متر) و h_1 ارتفاع آب روی سرریز (متر) است.

کاندسواتر و کارتر (۱۹۵۷) نشان دادند که ضریب دبی C_e با نسبت های $\frac{h_1}{p}$ و $\frac{b_c}{B_1}$ رابطه خطی دارد (B_1 عرض کف کانال بالادست (متر) و p ارتفاع قائم سرریز از کف کانال (متر) است) که مقدار این ضریب از رابطه (۲) به دست می آید.

$$C_e = m \frac{h_1}{p} + b \quad (2)$$

که در آن m و b ضرایب تجربی هستند. برای سرریزهای بدون فشردگی جانبی این مقادیر به ترتیب ۰/۰۷۵ و ۰/۶۰۲ پیشنهاد شده است.

اگر بتوان ضریب دبی مربوط به زاویه را برای سرریز لولایی به درستی تخمین زد، می توان از معادله کاندسواتر و کارتر (۱۹۵۷) برای سرریزهای لبه تیز،

1- Kindsvater

2 - Carter

3 - Villmonte

می‌گیرد. کف و کناره‌های این سرریز به وسیله لاستیک، آب‌بندی شده است. میزان نشت از دیواره‌ها صفر و از کف سرریز بسیار ناچیز است. دو لوله به قطر ۰/۵ سانتیمتر جهت تهویه زیر تیغه ریزشی آب، در پایین دست سرریز تعبیه شده است. شکل (۳) نمایی از سرریز لولایی را نشان می‌دهد. در انتهای فلوم یک سرریز لولایی جهت تنظیم عمق آب پایین دست به ابعاد $۰/۳ \times ۰/۵۸$ متر وجود دارد که آب پس از عبور از آن از کانال خارج شده و به یک مخزن تخلیه می‌شود. سیستم تأمین آب در این فلوم گردش می‌باشد.



شکل (۳): نمایی از سرریز لولایی

این تحقیق، شیب صفر برقرار شد. آب توسط یک پمپ به داخل مخزن ورودی فلوم پمپاژ می‌شود و پس از آرام شدن جریان در مخزن ورودی وارد فلوم می‌گردد. شکل (۲) نمایی از فلوم آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. در این آزمایشات از سرریز لولایی لبه‌تیز بدون فشردگی استفاده شد. در فاصله ۶ متری از ابتدای فلوم یک سرریز لولایی به ابعاد $۰/۳ \times ۰/۳$ متر از جنس آلومینیوم نصب شده است. این سرریز از طریق یک طناب به یک الکتروموتور که با برق مستقیم کار می‌کند، متصل است. میزان باز و بسته شدن سرریز به وسیله الکتروموتور یاد شده صورت



شکل (۲): نمایی از فلوم آزمایشگاهی

به‌عنوان عمق بالادست سرریز و دبی عبوری از فلوم در نظر گرفته شد. طبق توصیه باس (۱۹۵۳) محدوده فاصله مناسب اندازه‌گیری عمق آب ۴-۶ برابر عمق آب بالای سرریز توصیه شده است. بنابراین توصیه عمق آب در فاصله ۳۰ سانتیمتری از بالادست سرریز اندازه‌گیری شد جدول (۱) مقادیر زوایا و محدوده دبی‌های برقرار شده برای هر زاویه را در حالت جریان آزاد نشان می‌دهد.

نحوه انجام آزمایشات

برای تعیین ضریب دبی در حالت جریان آزاد، ۶ زاویه و برای هر زاویه ۳-۵ دبی برقرار گردید. روند انجام آزمایشات بدین ترتیب بود که ابتدا سرریز در زاویه مشخصی ثابت می‌گردید، سپس دبی معلومی در کانال برقرار می‌شد. عمق آب بالادست سه بار توسط حسگر آلتراسونیک و دبی سه بار توسط دبی‌سنج دیجیتالی قرائت می‌گردید و میانگین آن‌ها

جدول (۱): مقادیر زوایا و دامنه دبی‌های برقرار شده در حالت جریان آزاد

| زاویه (درجه) | دبی (لیتر بر ثانیه) | زاویه (درجه) | دبی (لیتر بر ثانیه) |
|--------------|---------------------|--------------|---------------------|
| ۶۱/۰۴ | ۳/۱۹۹-۹/۱۰۶ | ۳۵/۱ | ۳/۰۵۸-۱۲/۰۱۶ |
| ۵۰/۵۲ | ۳/۵۷۰-۱۲/۲۲۱ | ۱۶/۳۳ | ۳/۴۱۱-۱۲/۶۹۵ |
| ۴۴/۱۷ | ۲/۶۸۴-۱۱/۶۵۶ | ۸/۹۹ | ۳/۲۵۷-۱۲/۴۹۰ |

ویلمنت (۱۹۴۷) بهتر است عمق آب پایین دست در فاصله مناسبی از پایین دست سرریز (۲-۳ متر) اندازه گیری شود تا نوسانات و اغتشاشات بر روی آن تأثیر نگذارد. طبق این توصیه عمق آب در فاصله ۳ متری در پایین دست سرریز اندازه گیری شد. عمل تدریجی بالا آوردن سرریز انتهایی تا جاییکه عمق آب پایین دست تقریباً برابر عمق آب بالادست گردد، ادامه می یافت. جدول (۲) مقادیر زوایا و دامنه دبی های برقرار شده برای هر زاویه را در حالت جریان مستغرق نشان می دهد.

جهت تعیین رابطه ضریب دبی در حالت جریان مستغرق، ۵ زاویه و برای هر زاویه دو یا چهار دبی در نظر گرفته شد. در ابتدا سرریز لولایی در زاویه مشخصی ثابت می گردید، سپس دبی مشخصی در کانال برقرار می شد. عمق آب بالادست در حالت آزاد برای دبی مربوطه پنج بار قرائت و میانگین آن ها به عنوان عمق بالادست در حالت جریان آزاد لحاظ می گردید. برای برقراری جریان مستغرق، سرریز لولایی انتهایی کانال به تدریج بالا آورده می شد و عمق آب بالادست و پایین دست سرریز به وسیله حسگرهای آلتراسونیک قرائت می شد. طبق توصیه

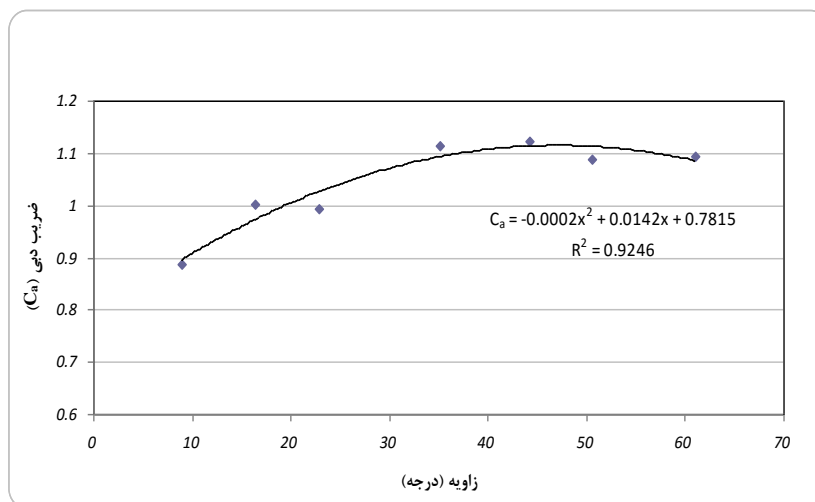
جدول (۲): مقادیر زوایا و محدوده دبی های برقرار شده در حالت جریان مستغرق

| زاویه (درجه) | دبی (لیتر بر ثانیه) | زاویه (درجه) | دبی (لیتر بر ثانیه) |
|--------------|---------------------|--------------|---------------------|
| ۶۲/۹۵ | ۴/۳۰۳-۷/۱۹۸ | ۲۹/۳۸ | ۳/۹۴۳-۱۰/۲۵۶ |
| ۵۰/۸ | ۳/۳۸-۷/۶۹ | ۱۶/۳۳ | ۴/۴۲۶-۱۳/۲۹ |
| ۴۵/۱۸ | ۳/۹۵۹-۱۰/۲۰۴ | | |

نتایج و بحث

آزمایشات مطابق روشی که در قسمت قبل تبیین گردید، صورت گرفت. این آزمایشات برای ۷ زاویه مختلف در محدوده ۶۱/۰۴ - ۸/۹۹ انجام شد و ضریب دبی از روابط ارائه شده محاسبه گردید. شکل

(۴) روند تغییرات ضریب دبی با زاویه را برای حالت آزاد نشان می دهد. سپس بهترین رابطه زاویه - ضریب دبی برای این اعداد مطابق رابطه (۶) برآزش داده شد.



شکل (۴): روند تغییرات ضریب دبی با زاویه در حالت جریان آزاد

که در این رابطه Error مقدار خطا، Q_o مقدار جریان مشاهداتی یا واقعی عبوری از فلوم (لیتر در ثانیه)، Q_{cal} مقدار جریان محاسباتی (لیتر در ثانیه) با استفاده از رابطه (۳) که در آن از رابطه (۶) برای تخمین ضریب دبی استفاده شده است، می‌باشد. جدول (۳) نتایج مربوط به آزمایشات صحت سنجی رابطه زاویه - ضریب دبی سرریز لولایی در شرایط جریان آزاد را نشان می‌دهد.

$$C_a = -0.0002\theta^2 + 0.0142\theta + 0.7815 \quad (6)$$

جهت صحت سنجی بهترین رابطه ارائه شده برای تخمین ضریب دبی سرریز لولایی در حالت جریان آزاد آزمایشاتی در شرایط مشابه با آزمایشات اصلی صورت پذیرفت و مقدار خطا برای هر نمونه به دست آمد. مقدار خطا از رابطه (۷) محاسبه گردید.

$$\text{Error} = \frac{\text{ABS}(Q_o - Q_{cal})}{Q_o} \quad (7)$$

جدول (۳): نتایج آزمایشات صحت سنجی رابطه زاویه-ضریب دبی در حالت جریان آزاد

| زاویه (درجه) | ۱۹/۱۵ | ۲۶/۳۴ | ۳۷/۷۷ | ۴۸/۳۲ | ۵۴/۶۵ |
|------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| دبی واقعی (لیتر در ثانیه) | ۹/۶۲ | ۹/۶۲ | ۶/۹۲ | ۶/۹۲ | ۵/۷۸ |
| دبی محاسباتی (لیتر در ثانیه) | ۹/۰۵ | ۹/۳۰ | ۶/۴۵ | ۶/۱۱ | ۵/۱۲ |
| خطا (%) | ۵/۹۲ | ۳/۳۳ | ۶/۷۹ | ۱۱/۷ | ۱۱/۴۲ |

جدول (۴) مقادیر زاویه، دبی های مربوط به هر زاویه و مقادیر n و A را نشان می‌دهد. در این جدول زاویه و دبی به ترتیب بر حسب درجه و لیتر در ثانیه می‌باشد.

محاسبات ضریب دبی سرریز لولایی در حالت جریان مستغرق نیز مطابق روش ذکر شده انجام شد. برای هر زاویه چند دبی مورد آزمون قرار گرفت که برای هر دبی مقادیر تجربی n و A محاسبه گردید.

جدول (۴): مقادیر دبی، زاویه و ضرایب تجربی در حالت جریان مستغرق

| زاویه | دبی | n | A | زاویه | دبی | n | A |
|-------|-------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|
| ۱۶/۳۳ | ۱۳/۲۹ | ۰/۰۶۹۷ | ۱/۰۹۳۸ | ۴۵/۱۸ | ۱۰/۰۹ | ۰/۰۴۷۷ | ۱/۰۱۹۱ |
| | ۷/۳۲ | ۰/۰۳۰۶ | ۰/۹۷۶۷ | | ۳/۹۶ | ۰/۰۳۷۲ | ۱/۲۵۳۹ |
| | ۴/۴۳ | ۰/۱۲۵۶ | ۱/۴۱۳۶ | | ۷/۶۹ | ۰/۲۹۴ | ۱/۱۷۵ |
| ۲۹/۳۸ | ۱۰/۲۶ | ۰/۰۹۲۷ | ۱/۱۱۶۵ | ۵۰/۸ | ۱۰/۲۶ | ۰/۰۹۲۷ | ۱/۱۱۶۵ |
| | ۷/۱۷ | ۰/۰۷۱۷ | ۱/۱۱۳۴ | | ۵/۷ | ۰/۲۷۶۳ | ۱/۱۷۹۶ |
| | ۳/۹۴ | ۰/۰۳۳۶ | ۱/۰۸۲۱ | | ۳/۳۸ | ۰/۲۱۷۳ | ۱/۰۸۳۵ |
| | | | | ۶۲/۹۵ | ۷/۲ | ۰/۱۴۸۶ | ۱/۲۹۲۶ |
| | | | | | ۴/۳ | ۰/۰۸۷۷ | ۱/۲۸۶۳ |

به هر یک را نشان می‌دهد.

در نهایت بهترین رابطه بین مقادیر n و A و زاویه برازش داده شد. جدول (۵) روابط و مقادیر R^2 مربوط

جدول (۵): روابط برازش داده شده ضرایب تجربی n و A و R² مربوطه

| ضریب | بهترین رابطه زاویه-ضریب دبی | R ² |
|------|---|----------------|
| n | $-0.000010^3 + 0.00150^2 - 0.0490 + 0.5378$ | ۰/۵۹ |
| A | $0.00340 + 1.0427$ | ۰/۵۹ |

صحت سنجی رابطه زاویه - ضریب دبی سرریز لولایی در شرایط جریان مستغرق را نشان می دهد. در این جدول زاویه و دبی به ترتیب بر حسب درجه و لیتر در ثانیه می باشد.

جهت صحت سنجی بهترین رابطه ارائه شده برای تخمین ضریب دبی سرریز لولایی در حالت جریان مستغرق آزمایشاتی در شرایط مشابه با آزمایشات اصلی صورت پذیرفت و مقدار خطا برای هر نمونه به دست آمد. جدول (۶) نتایج مربوط به آزمایشات

جدول (۶): نتایج مربوط به آزمایشات صحت سنجی رابطه زاویه - ضریب دبی سرریز لولایی در شرایط جریان مستغرق

| زاویه | دبی | $\frac{h_2}{h_1}$ | خطا (%) | زاویه | دبی | $\frac{h_2}{h_1}$ | خطا (%) |
|-------|------|-------------------|---------|-------|------|-------------------|---------|
| ۶۵/۵۴ | ۵/۷۷ | ۲۳/۳ | ۱/۱ | ۳۷/۷۷ | ۶/۹۲ | ۵۳ | ۱۲/۴۷ |
| | | ۳۴/۶۹ | ۱/۸ | | | ۶۳/۶ | ۱۲/۱۲ |
| | | ۴۵/۶۵ | ۲/۳ | | | ۷۴/۷ | ۸/۸۷ |
| ۴۸/۳۲ | ۶/۹۲ | ۵۵/۷۹ | ۱۰/۱۵ | ۲۶/۳۴ | ۹/۶۲ | ۷۵/۲۶ | ۳/۴۴ |
| | | ۶۱/۵ | ۱۱/۱ | | | ۷۸/۶۴ | ۴/۴۷ |
| | | ۱۶/۱ | ۳/۹۸ | | | ۸۴/۴ | ۵/۱۸ |
| ۳۷/۷۷ | ۶/۹۲ | ۲۷/۶ | ۱/۴۵ | ۱۹/۱۵ | ۹/۶۲ | ۹۴/۶۲ | ۴/۱۷ |
| | | ۳۹/۴۴ | ۰/۳۴ | | | ۶۲/۲۲ | ۷/۹۶ |
| | | ۴۹/۱ | ۳/۹۶ | | | ۶۹ | ۸/۶۲ |
| ۳۷/۷۷ | ۶/۹۲ | ۵۴/۳۵ | ۱۱/۱۶ | ۱۹/۱۵ | ۹/۶۲ | ۷۷/۴۶ | ۷/۵۴ |
| | | ۳۴/۷۴ | ۱۳/۵۷ | | | ۸۵ | ۸/۱ |
| | | ۴۹ | ۱۲/۴ | | | ۹۲/۹۴ | ۱۰/۶۲ |

نتیجه گیری و پیشنهادات

۲- ماکزیمم خطای رابطه زاویه- ضریب دبی در حالت جریان آزاد طبق آزمایشات صحت سنجی ۱۱/۷ درصد می باشد.

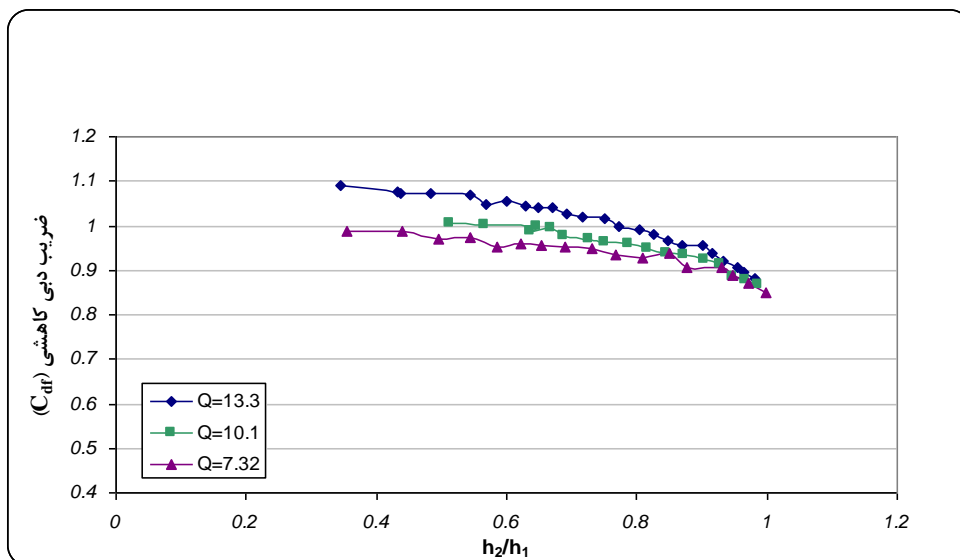
۳- طبق آزمایشات صحت سنجی و با بررسی خطا برای زوایای مختلف، رابطه ارائه شده دبی را برای زوایای کمتر از ۴۵ درجه با دقت بهتری تخمین می زند.

با بررسی داده های آزمایشات تعیین ضریب دبی در حالت آزاد و مستغرق می توان به نتایج زیر دست یافت:

۱- در رابطه زاویه - ضریب دبی در حالت جریان آزاد، ماکزیمم ضریب دبی در حدود زاویه ۴۵ درجه اتفاق می افتد که با نتایج کاندسواتر و کارتر مطابقت دارد.

می‌یابد. شکل (۵) تغییرات ضریب دبی کاهشی (C_{df}) را در نسبت های استغراق ($\frac{h_2}{h_1}$) مختلف را برای زوایه ۱۶/۳۳ درجه نشان می‌دهد.

۴- ضریب دبی سرریزها با انحنا تیغه جریان روی سرریز نسبت مستقیم دارد. هر چه انحنا تیغه جریان بیشتر باشد، ضریب دبی بیشتر خواهد شد. با افزایش عمق آب پایین دست و مستغرق گشتن سرریز، انحنا تیغه جریان روی سرریز کم و دبی عبوری کاهش



شکل (۵): نمودار تغییرات ضریب دبی کاهشی مستغرق در نسبت های مختلف

شد. روند خاصی در نحوه تغییرات ضریب دبی برای زوایای مختلف، نسبت های استغراق مختلف در یک زاویه معین و دبی های متفاوت وجود ندارد. بنابراین می‌توان از رابطه زاویه - ضریب دبی برای محدوده های مختلف زاویه، نسبت استغراق و دبی استفاده کرد.

۵- همانگونه که از شکل ۴ مشخص است با افزایش در صد استغراق، تأثیر عمق پایین دست بر روی عمق بالادست بیشتر می‌شود. بنابراین به ازای یک دبی ثابت مقدار ضریب دبی کاهشی مستغرق کاهش می‌یابد.

۶- ماکزیمم خطای تخمین دبی در حالت جریان مستغرق ۱۳/۵۷٪ برای زاویه ۳۷/۷۷ درجه حاصل

منابع

1. Boss, M.G. 1989. Discharge Measurement Structures. Publication No. 20, 3rd ed. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, the Netherlands. 401 pp.
2. Kindsvater, C. E., and Carter, R. W. 1957. Discharge characteristics of rectangular thin plate weirs. Journal Hydraulic. Division. 83(6), 1-36.
3. Villemonte, J.R 1947. Submerged Weir Discharge Studies. Engineering News Record, pp. 866-869.
4. Wahlin, B.T., and Replogle, J. A., 1994. Flow Measurement Using an Overshot Gate. United States Department Of The Interior Bureau Of Reclamation, Standard Form 208 (Rev. 2-80) R&M b ANSl Sd. m-111 , 298-102.

