

## بررسی آزمایشگاهی ضریب دبی سرریزهای لبه تیز سهموی

حسین شریعتی<sup>1</sup>، سعیدرضا خدائشناس<sup>2\*</sup>

تاریخ دریافت: 93/02/02 تاریخ پذیرش: 94/06/25

<sup>1</sup>- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

<sup>2</sup>- استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

\* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: [khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir](mailto:khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)

### چکیده

سرریزها به‌عنوان یکی از ابزارهای ساده اندازه‌گیری شدت جریان در آبراهه‌های کوچک و متوسط و یا در تأسیسات صنعتی می‌باشند. سرریزهای لبه‌تیز می‌توانند به شکل‌های مختلفی مانند مستطیلی، مثلثی، دوزنقه‌ای، دایره‌ای و سهموی ساخته شوند. در حالت کلی، دبی جریان عبوری از این سرریزها با عبارت  $Q = Kh^n$  بیان می‌شود. در این معادله معمولاً توان  $n$  با شکل ساختمان آن تغییر می‌کند و عدد غیرصحیح هست (به‌عنوان مثال  $\frac{3}{2}$  برای سرریزهای مستطیلی و  $\frac{5}{2}$  برای سرریزهای مثلثی) که محاسبه دستی دبی جریان را با مشکل روبرو می‌سازد. در این تحقیق جهت سهولت محاسبات دبی از روی سرریزهای لبه‌تیز، معادلات حاکم بر سرریزهای سهموی موردبررسی قرار گرفت و معادله‌ای ساده و دقیق جهت محاسبه شدت جریان توسعه داده شد. همچنین با استفاده از مدل فیزیکی در زاویه‌ها و ارتفاع‌های مختلف، خصوصیات هیدرولیکی این سرریزها موردبررسی قرار گرفت. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش زاویه و ارتفاع سرریز سهموی، ضریب دبی افزایش می‌یابد. مقدار متوسط این ضریب در آزمایش‌های انجام‌شده 0/605 به‌دست آمد. همچنین با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی معادله رگرسیونی مناسبی جهت تعیین ضریب دبی از روی این نوع سرریز، با ضریب تبیین ( $R^2 = 0/922$ ) به‌دست آمد.

واژه‌های کلیدی: اندازه‌گیری جریان، سرریز سهموی، ضریب دبی، کانال باز، معادله جریان

## Experimental Study of Discharge Coefficient of Parabolic Sharp-Crested Weirs

H Shariati<sup>1</sup>, SR Khodashenas<sup>2\*</sup>

Received: 22 April 2014

Accepted: 16 September 2015

<sup>1</sup>- Ph.D. Student, Dept. of Water Eng., Ferdowsi Univ. of Mashhad, Iran

<sup>2</sup>- Prof., Dept. of Water Eng., Ferdowsi Univ. of Mashhad, Iran

\*Corresponding Author, Email: [khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir](mailto:khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)

### Abstract

Weirs provide a simple method for measuring the volumetric flow rate in small to medium-sized streams or in industrial discharge locations. Sharp crest weirs can be built in different shapes, such as rectangular, triangular, trapezoidal, circular and parabolic. In general, the discharge of these weirs is expressed by  $Q = Kh^n$ , where the value of  $n$  varies with structure shape (e.g.  $3/2$  for rectangular weir and  $5/2$  for triangular weir) and isn't usually an integer number, then manual calculation of the discharge is facing a problem. In this study to facilitate the discharge calculations, the governing equations of parabolic crest weirs were reviewed and a simple equation was developed for computing the flow rate. Also, by using a physical model with different angles and heights, hydraulic characteristics of these weirs were investigated. The experimental results showed that with increasing the angle and height of parabolic weirs, the discharge coefficient was increased. The average discharge coefficient of experiments was calculated as 0.605. Furthermore, a proper regression-based equation to determine the discharge coefficient, with coefficient of determination  $R^2=0.922$ , was obtained.

**Keywords:** Discharge coefficient, Discharge equation, Flow measurement, Open channel, Parabolic weir

به دو گروه سرریز لبه تیز و سرریز لبه پهن تقسیم می-شوند. همچنین سرریزهای لبه تیز می-توانند به شکل-های مستطیلی، مثلثی، نوزنقه‌ای و سهموی ساخته شوند. تاکنون مطالعات بسیار زیادی در زمینه هیدرولیک جریان در سرریزها انجام شده است. رخشنده‌رو و دانشمند (1380) اثرات لزجت و کشش سطحی در یک سرریز لبه تیز سهمی شکل را بررسی نمودند و نشان دادند که برای ارتفاع‌های آب کمتر از 7 سانتی‌متر بایستی اثرات لزجت و کشش سطحی را منظور نمود. دیزجی و محمود خانی (1388) اثر رسوبات بر ضریب تخلیه سرریزهای مثلثی، مستطیلی، اوجی و روگذر در جریان دائمی و یکنواخت را مورد بررسی آزمایشگاهی قرار دادند. نتایج آنان بیان‌گر

### مقدمه

اندازه‌گیری آب از گذشته دور برای تحویل آب به آب‌بران بر اساس حقایق آنان رواج داشته است. برای قرن‌ها روش‌های سنتی، یعنی اندازه‌گیری زمان تحویل آب و شق نهر (تقسیم جریان) به نسبت معین، معمول بوده است. با رشد تکنولوژی و پدید آمدن روش‌های جدید آبیاری، کنترل و سنجش آب آبیاری از اهمیت بسیار زیادی برخوردار شده است. اکنون علاوه بر کنترل حقایقها موارد دیگری چون قوانین آب، آب‌بها، مدیریت آب آبیاری و حتی کیفیت آب نیازمند سنجش آب می‌باشند. برای اندازه‌گیری جریان یا هیدرومتری از سازه‌های مختلفی استفاده می‌شود که معمول‌ترین آن‌ها سرریزها هستند. در رایج‌ترین تقسیم‌بندی‌ها سرریزها

در حالت کلی دبی جریان عبوری از روی هر نوع سرریز لبه تیز با عبارت زیر بیان می شود:

$$Q = K h^n \quad [1]$$

که  $h$  عمق آب و مقادیر  $K$  و  $n$  ثابت و در سرریزهای مختلف متفاوت است (حسینی و ابریشمی 1384).

مقادیر  $n$  در معادله دبی برای شکل های مختلف سرریز عدد صحیحی نبوده و به عنوان مثال مقدار  $n$  در سرریز

مستطیلی و مثلثی  $\frac{3}{2}$  و  $\frac{5}{2}$  است، که این امر محاسبات

دستی را مشکل می سازد. چنانچه بتوان معادله ای برای

دبی ارائه کرد که توان  $h$  عدد صحیحی باشد محاسبات

مربوط به دبی با راحتی و دقت بهتری انجام خواهد شد.

هدف از تحقیق حاضر بررسی خصوصیات هیدرولیکی

سرریز لبه تیز سهموی با استفاده از مدل فیزیکی و ارائه

رابطه ای جهت تعیین ضریب دبی هست.

#### معادلات حاکم بر سرریز سهموی

با توجه به مطالب ذکر شده، معادله دبی نظری

سرریز با فرض  $n=2$  به شکل ساده شده زیر بیان می شود:

$$Q_t = K h^2 \quad [2]$$

که  $Q_t$  دبی نظری و  $K$  مقداری ثابت است. برای

محاسبه دبی جریان از روی سرریز لبه تیز مفهوم عمق

بحرانی در روی سرریز قابل استفاده نبوده و لذا با

توجه به فرضیات چانسون (2004) در محاسبه دبی

رابطه زیر استخراج می شود:

$$V = \sqrt{2gh} \quad [3]$$

که در آن  $V$  سرعت،  $h$  عمق آب و  $g$  شتاب ثقل است.

طول تاج سرریز ( $L$ ) برحسب توانی از عمق آب ( $h$ ) به-

صورت زیر فرض می شود:

$$L = a h^b \quad [4]$$

این بود که رسوبات معلق سبب کاهش ضریب

تخلیه شده و این اثر روی ضریب تخلیه در دبی ها و

شیب های کمتر نمایان تر بود. ایگاتیناتن و همکاران

(2007) به بررسی خصوصیات سرریز سهموی

پرداختند. آن ها تنها عامل مؤثر بر ضریب دبی را زاویه

رأس سرریز در نظر گرفته و رابطه ای را برای به دست

آوردن ضریب دبی پیشنهاد نمودند. بنا به نتایج آن ها

میانگین ضریب دبی  $0/53 \pm 0/03$  برای زاویه های 30،

45، 60 درجه و با یک افزایش 4/3% برای زاویه 90

درجه بود. کاسترو و همکاران (2008) جریان بحرانی

روی تاج سرریز دایره ای را مطالعه کردند. آنان نشان

دادند ضریب دبی با افزایش  $\frac{E}{R}$  (انرژی مخصوص و  $R$  شعاع انحنا سرریز استوانه ای) افزایش می یابد و

جریان روی تاج سرریز بین  $\frac{E}{R} = 0/5 - 0/6$ ، بحرانی

و برای مقادیر بیشتر فوق بحرانی است. باقری و

حیدرپور (2010) آزمایش هایی روی مدل سرریزهای

لبه تیز مستطیلی با عرض و ارتفاع متفاوت انجام دادند و

معادلاتی برای پروفیل فوقانی و تحتانی و ضریب دبی

این سرریزها در محدود  $0 < \frac{h}{p} < 9$  (  $h$  ارتفاع آب و  $p$  ارتفاع سرریز) پیشنهاد کردند. وطنخواه (2010)

در آزمایش های خود از سرریز دایره ای جهت اندازه-

گیری دبی استفاده کرد و معادله ای برای دبی با بیشینه

خطای 0/08% ارائه کرد. سوامی و همکاران (2011)

مشخصات دبی در سرریزهای مایل را مورد ارزیابی

قرار دادند و رابطه را برای ضریب دبی بر اساس زاویه

و نسبت ارتفاع آب روی سرریز به ارتفاع سرریز

استخراج کردند. بررسی مطالب منتشر شده در زمینه

هیدرولیک سرریزهای لبه تیز نشان می دهد که برای

سرریزهای سهموی شکل اطلاعات بسیار محدود هست

و روابط مناسبی جهت محاسبه ضریب دبی در این

سرریزها وجود ندارد. لذا در پژوهش حاضر با استفاده

از مدل های فیزیکی به بررسی خصوصیات هیدرولیکی

این نوع سرریزها پرداخته شد و روابط دقیقی جهت

محاسبه ضریب دبی ارائه گردید.

که  $f$  فاصله کانونی از مبدأ مختصات  $(0,0)$  است. اگر در معادله 9 مختصات نقطه  $(\frac{L}{2}, H)$  را قرار دهیم، رابطه زیر به دست می آید:

$$f = \frac{L^2}{16H} \quad [10]$$

همچنین مطابق شکل 1 و در نظر گرفتن زاویه  $q$  رابطه زیر را می توان نوشت:

$$L = 2H \operatorname{tg} q \quad [11]$$

لذا می توان رابطه 10 را به صورت زیر نوشت:

$$f = \frac{H}{4} (\operatorname{tg} q)^2 \quad [12]$$

با استفاده از معادله سهمی عمودی و نقطه ای با مختصات  $(\frac{1}{2}, y)$  داریم:

$$1 = 2\operatorname{tg} q \sqrt{Hy} \quad [13]$$

حال مساحت جزء نشان داده شده در شکل 1 برابر خواهد بود با:

$$dA = l dy = 2\operatorname{tg} q \sqrt{Hy} dy \quad [14]$$

برای محاسبه دبی نظری سرریز می توان از رابطه های 7، 8 و 14 استفاده کرد.

$$Q_t = \int_0^h V dA = 2\operatorname{tg} q \sqrt{2gH} \int_0^h \sqrt{(h-y)y} dy \quad [15]$$

حل انتگرال فوق با تغییر متغیرهای  $\operatorname{Sin} q = \sqrt{\frac{y}{h}}$  و  $\operatorname{Cos} q = \sqrt{\frac{h-y}{h}}$  امکان پذیر است.

حال دبی نظری از رابطه 15 برابر خواهد بود با:

$$\begin{aligned} Q_t &= \int_0^h V dA = 2\operatorname{tg} q \sqrt{2gH} \int_0^h \sqrt{(h-y)y} dy = \\ &= \frac{p}{4} \operatorname{tg} q \sqrt{2gH} h^2 \end{aligned} \quad [16]$$

که  $b$  توان مجهول و  $a$  مقدار ثابتی هست. در این صورت مقدار شدت جریان از روی سرریز برابر:

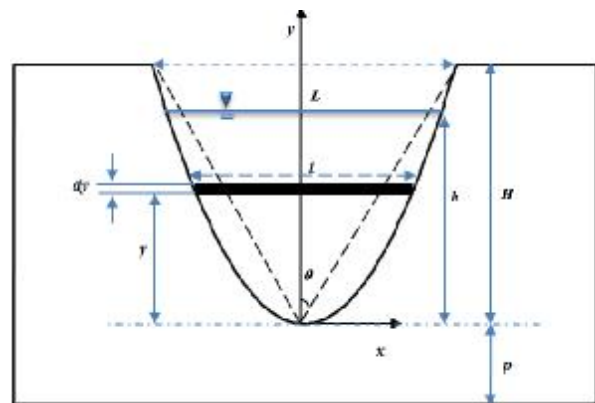
$$Q = AV = (L.h)\sqrt{2gh} = ah^b h \sqrt{2gh} = Kh^{b+\frac{3}{2}} \quad [5]$$

که با مقایسه رابطه به دست آمده و فرض اولیه  $n=2$

مقدار  $b$  برابر  $\frac{1}{2}$  خواهد بود. در نتیجه رابطه 4

به صورت زیر نوشته می شود:

$$L = ah^{\frac{1}{2}} \quad [6]$$



شکل 1- مشخصات هندسی سرریز سهموی.

با توجه به شکل 1 که پروفیل یک سرریز سهموی را نشان می دهد، دبی نظری عبوری از سرریز از طریق تحلیلی و با انتگرال گیری روی جزء نشان داده شده به صورت زیر قابل محاسبه هست:

$$Q_t = \int_0^h V dA \quad [7]$$

که در آن  $dA = l dy$  جزء سطح و  $V$  سرعت در فاصله  $y$  از کف هست که با استفاده از رابطه برنولی به صورت زیر به دست می آید:

$$V = \sqrt{2g(h-y)} \quad [8]$$

از طرفی معادله سهمی به صورت زیر هست:

$$x^2 = 4fy \quad [9]$$

در این پژوهش با توجه به نتایج رخشنده‌رو و دانشمند (1380) و نظر به ضخامت کافی تیغه آب (بزرگتر از 7cm) روی سرریز و محدوده بالای عدد رینولدز (بزرگتر از 5000) در کلیه آزمایش‌ها، از تأثیرات کشش سطحی و لزجت چشم‌پوشی شد و اثرات زاویه (q) و ارتفاع ( $\frac{H}{P}$ ) سرریز بر ضریب دبی سرریز لبه-تیز سهموی مورد بررسی قرار گرفت.

### مواد و روش‌ها

مطالعات آزمایشگاهی این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد در کانالی به طول 10 متر، عرض 0/3 متر و ارتفاع 0/5 متر انجام گرفت. سیستم تأمین آب در کانال به صورت مدار بسته و اندازه‌گیری دبی از طریق دبی‌سنج دیجیتالی که قبلاً واسنجی شده بود صورت گرفت. سرریزهای مورد آزمایش از ورق گالوانیزه انتخاب گردید. عمق آب در بالادست به وسیله یک عمق سنج با دقت  $\pm 0/1$  اندازه‌گیری می‌شد. شکل 2 شمای کانال آزمایشگاهی و مدل‌های مورد استفاده و جدول 1 مشخصات کامل آن‌ها را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از جدول 1 مشخص است چهار زاویه q گونه 1، 1/25، 1/5)  $\frac{H}{P}$  و چهار نسبت ( $\frac{p}{6}, \frac{p}{4}, \frac{p}{3}, \frac{p}{2}$ )، (0/75، به ترتیب برای تأثیر زاویه و ارتفاع در نظر گرفته شد. محدوده دبی در آزمایش‌ها بین 4 تا 20 لیتر بر ثانیه بود. همچنین در کلیه آزمایش‌ها تراز پایاب تأثیری بر جریان ریزشی از روی سرریز نداشت و شرایط جریان آزاد حاکم بود.

همان‌گونه که در رابطه فوق قابل‌مشاهده است برای سرریزهای سهمی شکل با q و H متفاوت، میزان دبی‌های مختلفی به دست می‌آید. برای به دست آوردن دبی اندازه‌گیری ( $Q_d$ ) با معرفی  $C_d$  و  $K = \frac{P}{4} \text{tg} q \sqrt{2gH}$  به عنوان ضریب شدت جریان و ضریب هندسی سرریز سهموی معادله دبی نظری به صورت زیر تصحیح می‌شود:

$$Q_d = C_d \frac{P}{4} \text{tg} q \sqrt{2gH} h^2 = C_d K h^2 \quad [17]$$

### تحلیل ابعادی

کاربرد تحلیل ابعادی در یک پدیده فیزیکی در واقع تعیین رابطه بین متغیرهای مستقل و متغیرهای وابسته پدیده است. پارامترهای مؤثر در جریان بر روی سرریز لبه تیز سهموی را می‌توان به صورت زیر تعریف نمود:

$$f(Q, r, g, h, m, s, q, H, P) = 0 \quad [18]$$

که در آن Q دبی جریان، r جرم مخصوص، g شتاب جاذبه، h عمق آب، m لزجت دینامیکی، s کشش سطحی، q زاویه رأس سهمی، H ارتفاع سرریز و P ارتفاع کف تا لبه سرریز هست. با به کار بردن تئوری باکینگهام، و فرض پارامترهای r، g، h به عنوان متغیرهای تکراری، رابطه‌ای کلی برای تعیین دبی سرریز سهموی به صورت زیر حاصل می‌شود:

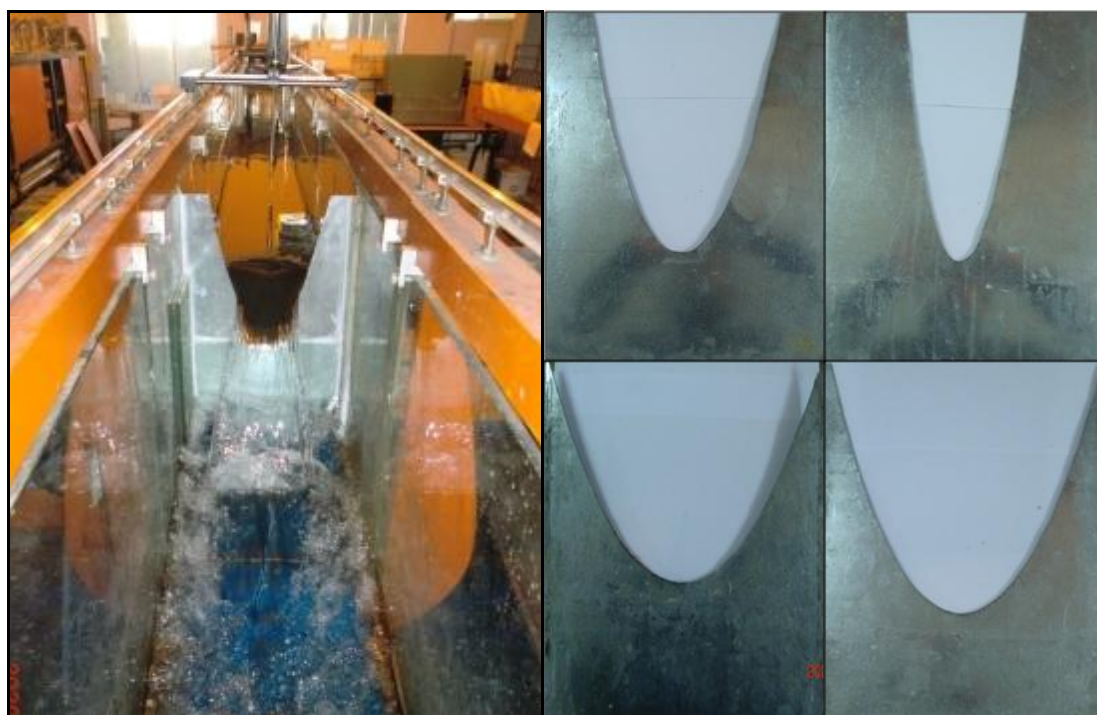
$$\frac{Q}{\sqrt{gh^2}} = f\left(\frac{m}{r\sqrt{gh^2}}, \frac{s}{rgh^2}, q, \frac{H}{P}\right) \quad [19]$$

با توجه به رابطه 17 می‌توان نوشت:

$$\frac{Q}{\sqrt{gh^2}} = \frac{C_d K h^2}{\sqrt{gh^2}} \quad [20]$$

نظر به اینکه بعد K برابر  $LT^{-1}$  است می‌توان گفت نسبت فوق متناسب با  $C_d$  است، بنابراین:

$$C_d = f\left(\frac{m}{r\sqrt{gh^2}}, \frac{s}{rgh^2}, q, \frac{H}{P}\right) \quad [21]$$



شکل 2- پلان مدل آزمایشگاهی.

جدول 1- مشخصات مدل‌های آزمایشگاهی.

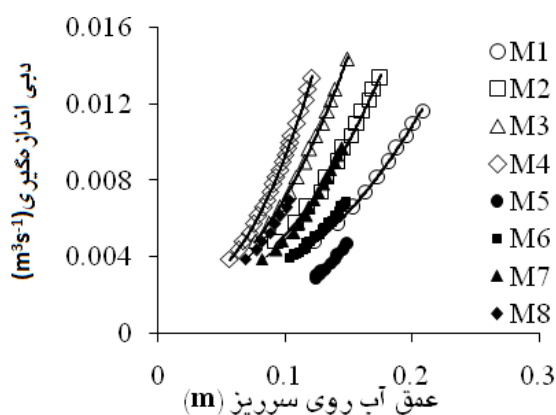
مدل	معادله سهمی	$\theta$	H/P	L(m)	K
M <sub>۱</sub>	$y = 55 / 713 x^2$	p/6	1/250	0/134	0/466
M <sub>۲</sub>	$y = 23 / 314 x^2$	p/4	1/250	0/207	0/720
M <sub>۳</sub>	$y = 12 / 000 x^2$	p/3	1/250	0/289	1/004
M <sub>۴</sub>	$y = 6 / 667 x^2$	p/2	0/750	0/300	1/347
M <sub>۵</sub>	$y = 92 / 855 x^2$	p/6	1/500	0/080	0/361
M <sub>۶</sub>	$y = 38 / 856 x^2$	p/4	1/500	0/124	0/558
M <sub>۷</sub>	$y = 20 / 000 x^2$	p/3	1/500	0/173	0/778
M <sub>۸</sub>	$y = 10 / 000 x^2$	p/2	1/000	0/200	1/100

$$R^2 = \left( \frac{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y - \bar{y})^2}} \right)^2 \quad [22]$$

در روابط بالا،  $x$  مقدار مشاهداتی،  $\bar{x}$  میانگین مقادیر  $x$ ،  $y$  مقدار محاسباتی،  $\bar{y}$  میانگین مقادیر  $y$  و  $n$  تعداد داده‌ها هست.

در این پژوهش به منظور ارزیابی مدل‌های ارائه‌شده از شاخص‌های ضریب تبیین ( $R^2$ ) و میانگین مربعات خطا (MSE) استفاده شده است که از روابط 22 و 23 قابل محاسبه‌اند:

$$MSE = \frac{\sum_{i=1}^n (x - y)^2}{n} \quad [23]$$



شکل 3- تغییرات دبی اندازه‌گیری در برابر ارتفاع.

جدول 2- نتایج آزمایش‌های مدل‌های مختلف.

MSE	R'	K <sub>Ca</sub>	K	C <sub>d</sub>	مدل
$4/701 \times 10^{-5}$	0/992	0/274	0/466	0/588	M <sub>۱</sub>
$7/044 \times 10^{-5}$	0/980	0/431	0/720	0/598	M <sub>۲</sub>
$6/585 \times 10^{-5}$	0/963	0/618	1/004	0/618	M <sub>۳</sub>
$1/513 \times 10^{-5}$	0/984	0/936	1/347	0/695	M <sub>۴</sub>
$8/845 \times 10^{-6}$	0/953	0/198	0/361	0/549	M <sub>۵</sub>
$1/505 \times 10^{-5}$	0/942	0/323	0/558	0/579	M <sub>۶</sub>
$2/315 \times 10^{-5}$	0/982	0/464	0/778	0/597	M <sub>۷</sub>
$1/200 \times 10^{-5}$	0/910	0/678	1/100	0/616	M <sub>۸</sub>

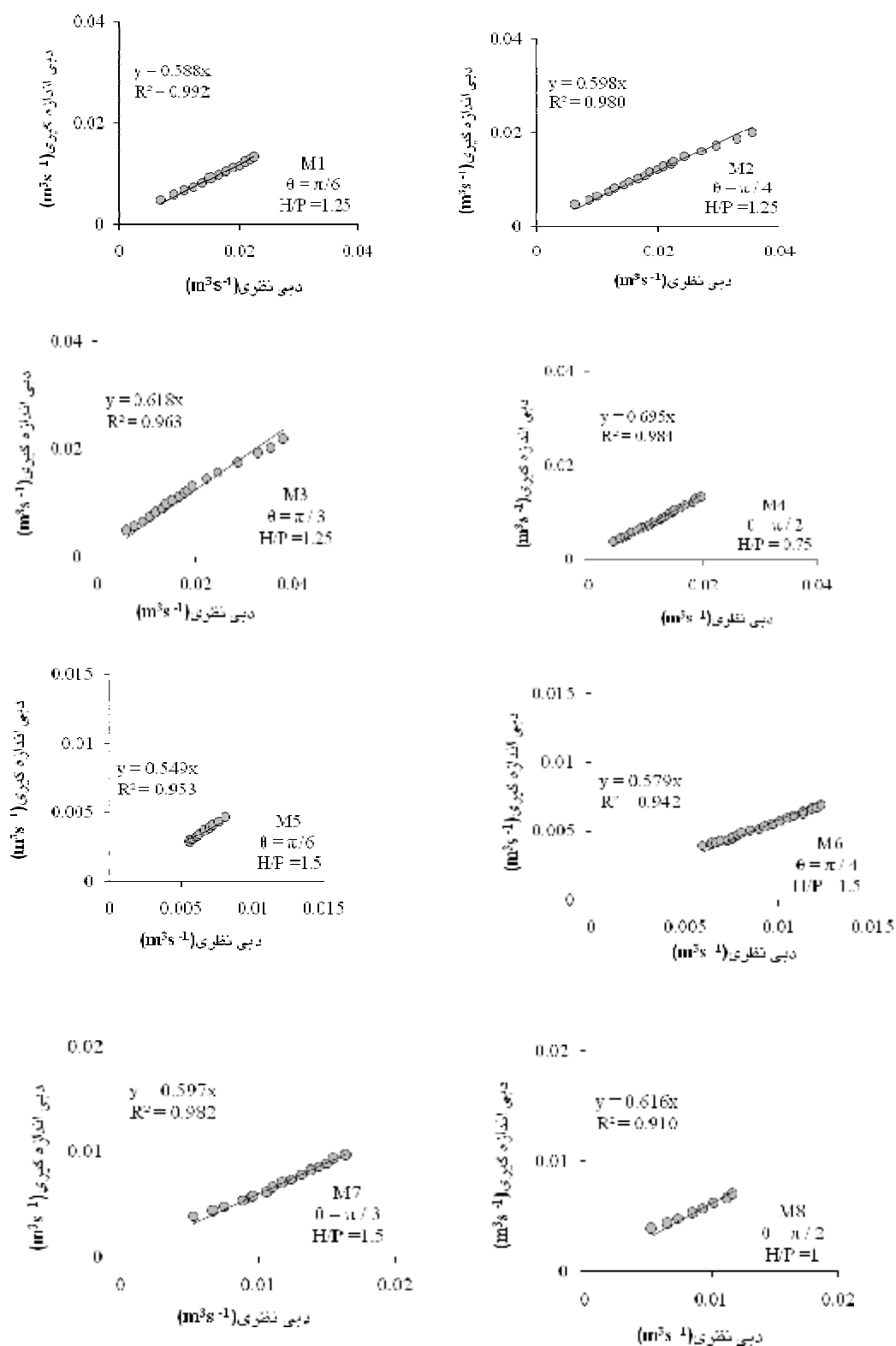
## نتایج و بحث

برابر دبی نظری در شکل 4 رسم شده است. همان‌گونه که فراوان است دبی نظری از دبی اندازه‌گیری بزرگ‌تر است و با افزایش زاویه و ارتفاع سرریز ضریب دبی افزایش می‌یابد. تغییرات ضریب دبی برای مدل‌های آزمایشگاهی بین 0/549-0/695 است که بیشترین و کمترین ضریب دبی مربوط به مدل‌های M<sub>۴</sub> و M<sub>۵</sub> و مقدار متوسط ضریب دبی 0/605 هست. همچنین بیشینه میانگین مربعات خطا مربوط به مدل M<sub>۲</sub> و برابر

در شکل 3 تغییرات دبی در برابر ارتفاع برای مدل‌های مختلف ترسیم شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در عمق‌های کم تغییرات دبی کم و در عمق‌های زیاد تغییرات بزرگ است. با بزرگ شدن زاویه سرریز دبی بیشتر شده و همچنین در یک زاویه ثابت با افزایش ارتفاع دبی افزایش می‌یابد. به‌منظور تعیین ضریب دبی C<sub>d</sub> برای مدل‌های مختلف سرریز سهموی، تغییرات دبی اندازه‌گیری در

نشان می‌دهد.

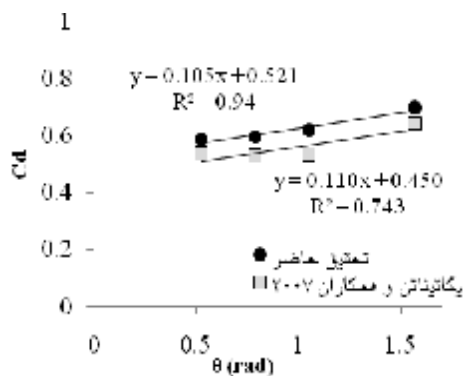
$7/044 \times 10^{-5}$  هست. جدول 2 خلاصه نتایج آزمایش‌ها را



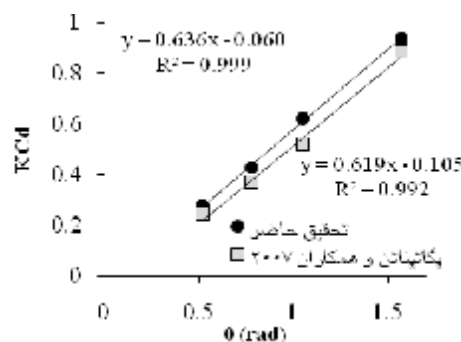
شکل 4- تغییرات دبی اندازه‌گیری در برابر دبی نظری برای مدل‌های مختلف.



از نتایج مدل‌های  $M_1$  تا  $M_6$  پژوهش حاضر که از لحاظ ابعاد هندسی تا حدودی مشابه مدل‌های آزمایشی آنان بود، استفاده شد.



شکل 5- مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج ایگاتیناتن و همکاران (2007).



$$K = 0/614q - 0/325 \frac{H}{P} + 0/595 \quad [24]$$

$$R^2 = 0/927$$

$$C_d = 0/034q - 0/101 \frac{H}{P} + 0/698 \quad [25]$$

$$R^2 = 0/828$$

$$KC_d = 0/389q - 0/324 \frac{H}{P} + 0/514 \quad [26]$$

$$R^2 = 0/922$$

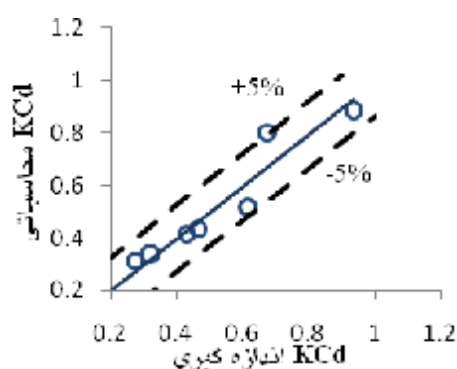
شکل 6 و 7 مقادیر محاسبه شده  $C_d$  و  $KC_d$  از

رابطه 25 و 26 در مقابل ضریب دبی اندازه‌گیری را نشان می‌دهد. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد همه داده‌ها در محدوده خطوط سطح اطمینان 95% قرار دارند، که نشان‌دهنده دقت بالای روابط رگرسیونی ارائه شده است.

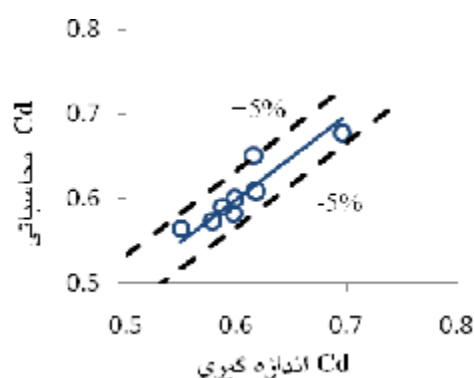
در شکل 5 نتایج پژوهش حاضر با نتایج ایگاتیناتن و همکاران (2007) مقایسه شده است. همان‌گونه که اشاره شد آن‌ها تنها عامل مؤثر بر ضریب دبی را زاویه رأس سرریز در نظر گرفتند، لذا برای مقایسه

همان‌طور که ملاحظه می‌شود نتایج ایگاتیناتن و همکاران (2007) در مورد تغییرات ضریب دبی ( $C_d$ ) نسبت به زاویه ( $q$ ) ضریب همبستگی مناسبی نداشته است. همچنین تغییرات حاصل ضرب ضریب هندسی سرریز در ضریب دبی ( $KC_d$ ) نسبت به زاویه ( $q$ ) در شکل 5 حاکی از هماهنگی مناسب بین نتایج تحقیق حاضر و نتایج ایگاتیناتن و همکاران (2007) است. اختلاف مشاهده شده می‌تواند ناشی از اختلاف ابعاد هندسی مدل‌های بکار رفته در دو تحقیق و همچنین عدم تأثیر ارتفاع سرریز در آزمایش‌ها ایگاتیناتن و همکاران (2007) باشد.

بر اساس نتایج به دست آمده از آزمایش‌ها، با استفاده از رگرسیون خطی چند متغیره به روش کمترین مربعات برای محاسبه ضریب دبی در محدوده  $\frac{P}{6} \leq q \leq \frac{P}{2}$  و  $\frac{H}{6} \leq \frac{H}{P} \leq 1/5$ ، روابط 24، 25 و 26 پیشنهاد می‌شوند:



شکل 6- مقایسه ضریب  $KC_d$  محاسباتی با اندازه‌گیری شده با دامنه خطای  $\pm 5\%$ .



شکل 7- مقایسه ضریب  $C_d$  محاسباتی با اندازه‌گیری شده با دامنه خطای  $\pm 5\%$ .

### نتیجه‌گیری کلی

متوسط ضریب دبی برابر 0/605 بود. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که سرریزهای سهموی قابلیت گنجایش دبی‌های زیاد را داشته و از دقت نسبتاً بالایی در تعیین دبی برخوردار می‌باشند. در نهایت با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی روابطی ساده برای محاسبه ضریب دبی ارائه شد.

در پژوهش حاضر خصوصیات هیدرولیکی سرریزهای سهموی با استفاده از مدل‌های فیزیکی در آزمایشگاه مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش زاویه و ارتفاع سرریز میزان دبی عبوری از سرریز افزایش می‌یابد و مقدار

### منابع مورد استفاده

حسینی م و ابریشمی ج، 1384. هیدرولیک کانال‌های باز. انتشارات دانشگاه امام رضا (ع).  
 رخشنده‌روغ ر و دانشمند ح 1380. بررسی آزمایشگاهی اثرات لزجت و کشش سطحی در معادله یک سرریز لبه تیز سهمی شکل. صفحه‌های 79 تا 86. سومین کنفرانس هیدرولیک ایران. 15 تا 17 آبان‌ماه، دانشکده فنی تهران، تهران.  
 دیزجی ن و محمود خانی ام، 1388. بررسی تجربی تأثیر رسوبات بر ضریب تخلیه در سرریزهای مثلثی، مستطیلی، اوجی و روگذر در کانال باز. نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال 3، شماره 8، صفحه‌های 39 تا 50.

- Bagheri S and Heidarpour M, 2010. Flow over rectangular sharp-crested weirs. *Irrigation Science* 28:173–179.
- Castro-Orgaz O, Giráldez JV and Ayuso JL, 2008. Critical flow over circular crested weirs. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 134: 1661-1664.
- Chanson H, 2004. *Hydraulics of Open Channel Flow*. Second Edition, Elsevier Ltd, The University of Queensland, Australia.
- Igathinathane C, Srikanth I, Prakash K, Ramesh B and Womac AR, 2007. Development of parabolic weirs for simplified discharge measurement. *Biosystems Engineering* 96(1): 111-119.
- Swamee P K, Ojha CSP and Mansoor T, 2011. Discharge characteristics of skew weirs. *Journal of Hydraulic Research* 49(6): 818–820.
- Vatankhah AR, 2010. Flow measurement using circular sharp-crested weirs. *Journal of Flow Measurement and Instrumentation* 21: 118-122.