

بررسی آزمایشگاهی ضریب شدت جریان سرریز جانبی لبه تیز ذوزنقه‌ای

هانی تبریزی^{۱*}، روح الله فتاحی نافچی^۲ و بهزاد قربانی^۳

چکیده

سرریزهای جانبی به طور معمول در سیستم‌های زهکشی و کنترل سیلاب، جمع‌آوری آب‌های سطحی و بسیاری از پروژه‌های منابع آب و محیط‌زیست کاربرد دارند. این پژوهش ویژگی‌های ضریب شدت جریان سرریز جانبی لبه‌تیز ذوزنقه‌ای شکل را با طراحی ۱۸ سرریز در شرایط زیربحرانی ارزیابی کرده و عوامل تأثیرگذار بر روی ضریب شدت جریان این سازه هیدرولیکی را بررسی می‌کند. در این پژوهش از روش‌های آماری و رگرسیون چندگانه، معادلاتی با $4/3$ و $5/4$ درصد خطا برای محاسبه ضریب شدت جریان ارائه شد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که در نظر گرفتن شیب جانبی سرریز به‌عنوان عامل اثرگذار بر ضریب شدت جریان، دقت برآورد را $1/2$ تا $2/3$ درصد افزایش می‌دهد. همچنین براساس محاسبات انجام شده، نسبت بی‌بعد طول روگذری جریان به طول سرریز، مهم‌ترین عامل اثرگذار روی ضریب شدت جریان در این نوع سرریزها بوده و حذف این عامل خطای محاسبات را $1/4$ درصد افزایش می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: جریان زیربحرانی، ذوزنقه‌ای، رگرسیون چندگانه، سرریز جانبی، سرریز لبه‌تیز، ضریب شدت جریان.

ارجاع: تبریزی ه. فتاحی نافچی ر. و قربانی ب. ۱۳۹۴. بررسی آزمایشگاهی ضریب شدت جریان سرریز جانبی لبه‌تیز ذوزنقه‌ای. مجله پژوهش آب ایران. ۱۶: ۱۳۳-۱۳۳.

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۲- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

۳- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهرکرد.

* نویسنده مسئول: tabrizi.hani@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۶/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۷/۱۲

مقدمه

سرریزهای جانبی^۱ سازه‌های حفاظتی هستند که به طور وسیع در آبیاری، سیستم‌های زهکشی و کنترل سیلاب به کار می‌روند. این سازه‌ها نقش اساسی در کانال‌های توزیع سیستم‌های آبیاری انجام داده و کاربرد بسیاری در رساندن آب مورد نیاز به محل مصرف در شبکه‌ها دارند. بهترین موقعیت برای قرارگیری سرریز جانبی در سیستم‌های مختلف مکانی است که بتوان جریان را به راحتی منحرف کرد تا میزان جریانی معادل عمق نرمال در سیستم باقی بماند. توانایی پیش‌بینی جریان انحرافی به طراحی سازه‌های انحراف جریان، شناخت آن‌ها و کاهش دبی سیلاب کمک زیادی می‌کند. همان‌طور که می‌دانیم شرایط جریان در بالادست کانال اصلی و پایین‌دست یک سرریز جانبی می‌تواند تأثیر اساسی در رفتار جریان روی سرریز بگذارد. انواع مختلف پروفیل طولی جریان در سرریز جانبی براساس عدد فرود به ۴ تیپ زیربحرانی، فوق‌بحرانی، مختلط و بحرانی تقسیم می‌شود (رحیمی، ۱۳۸۶).

دیمارچی (۱۹۳۴) با فرض شرایطی، معادله دینامیکی جریان‌های متغیر مکانی^۲ با کاهش دبی را به شکل زیر ارائه کرد:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{Qy \left(-\frac{dQ}{dx} \right)}{gB^2 y^3 - Q^2} \quad (۱)$$

از طرفی دبی در طول سرریز مستطیلی (هندرسون، ۱۹۶۶) و مثلثی (کومار و پاساک، ۱۹۸۷) به ترتیب برابر است با:

$$\frac{dQ}{dx} = -\frac{2}{3} C_M \sqrt{2g} (y-p)^{1.5} \quad (۲)$$

$$\frac{dQ}{dx} = -\frac{4}{15} C_M \sqrt{2g} (y-p)^{1.5} \quad (۳)$$

با ترکیب دو معادله مذکور برای سرریز دوزنقه‌ای لبه‌تیز داریم:

$$\frac{dQ}{dx} = -\frac{14}{15} C_M \sqrt{2g} (y-p)^{1.5} \quad (۴)$$

در معادله ۴، C_M ضریب شدت جریان^۳ است که تحت عنوان ضریب دیمارچی شناخته می‌شود و P ارتفاع سرریز است. باتوجه به فرض ثابت بودن انرژی مخصوص، مقدار شدت جریان در هر مقطع از کانال از معادله زیر به دست

می‌آید:

$$Q = By\sqrt{2g(E-y)} \quad (۵)$$

با ترکیب معادلات بالا داریم:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{28 C_M \sqrt{(E-y)(y-P)^3}}{15 B (3y-2E)} \quad (۶)$$

با انتگرال‌گیری از معادله ۶ و فرض مستقل بودن C_M از x ، عبارت زیر حاصل می‌شود:

$$C_M = \frac{15 B}{14 L} (\varphi_2 - \varphi_1) \quad (۷)$$

که در آن L طول دو مقطع اندازه‌گیری و اندیس‌های ۱ و ۲ نشان دهنده مقاطع ابتدا و انتهای سرریز است. φ تابع دیمارچی است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\varphi = \frac{2E-3P}{E-P} \sqrt{\frac{E-y}{y-P}} - 3 \sin^{-1} \sqrt{\frac{E-y}{y-P}} \quad (۸)$$

از زمان گذشته تاکنون بررسی‌های زیادی در زمینه این سازه هیدرولیکی انجام شده که بیشتر ماهیت تجربی و آزمایشگاهی دارند به طور مثال سینگ و همکاران (۱۹۹۴) نشان دادند که ضریب شدت جریان علاوه بر عدد فرود بالادست به نسبت ارتفاع سرریز به عمق جریان بالادست سرریز نیز بستگی دارد و با استفاده از رگرسیون‌گیری چندمتغیره معادله‌ای برای محاسبه ضریب تخلیه به دست آوردند. که معادله مذکور به شکل زیر است:

$$C_d = 0.33 - 0.18 Fr_1 + 0.49 \frac{P}{y_1} \quad (۹)$$

الیوتو و همکاران (۲۰۰۱) خصوصیات جریان فوق‌بحرانی را در امتداد سرریز منشوری در کانال‌های دایره‌ای بررسی کردند. براساس عملیات آزمایشگاهی و داده‌های آن‌ها بعضی خصوصیات جریان باقیمانده در کانال اصلی که شامل توزیع جریان در کانال اصلی، زاویه و سرعت جریان خروجی از آن است، بررسی شد. دورگارا و پیللی (۲۰۰۸) کاربرد اصل مومنتم برای تحلیل جریان متغیر مکانی تحت جریان فوق‌بحرانی را بررسی کردند. بررسی‌ها روی سرریز جانبی مستطیلی، با طول‌های متفاوت و با ارتفاع تنظیم شده در یک فلوم شیب دار آلومینیومی انجام شد. آن‌ها تغییرات ضریب دبی سرریز جانبی را تابعی از عدد فرود تشخیص دادند. ونوتلی (۲۰۰۸) یک روش با گام‌های تکرار شونده برای حل معادلات غیرخطی معمولی مانند جریان‌های متغیر مکانی با کاهش دبی روی سرریزهای جانبی پیشنهاد کرد. این روش از یک عمق و دبی معلوم

1- Side weirs

2- Spatially Varied Flow

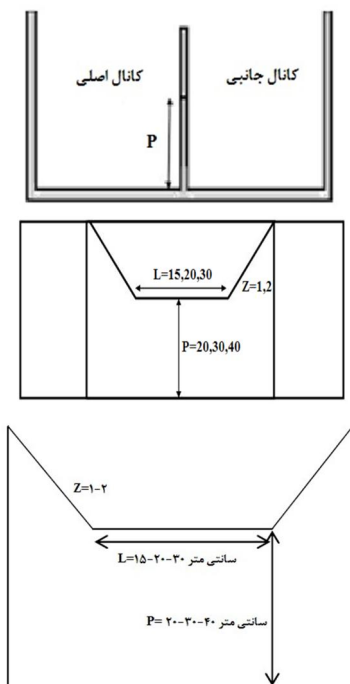
3- Discharge Coefficient

در مقطع کنترل شروع شده و انتگرال تحلیلی از معادله دینامیکی جریان با در نظر گرفتن بستر و شیب اصطکاک انجام شد. همچنین انرژی ویژه و ضریب سرریز و ضریب توزیع سرعت به عنوان تغییرات موضعی در نظر گرفته شدند. هیونگ و سوپ (۲۰۱۰) اثرات عدد فرود بالادست، ارتفاع، طول و عرض سرریز و عرض کانال اصلی را روی ضریب شدت جریان سرریزهای جانبی لبه پهن، در یک کانال عریض مستطیلی بررسی کردند. در این پژوهش ایشان رابطه بین ضریب دبی سرریزهای لبه تیز و لبه پهن با استفاده از مفهوم ضریب دبی دیمارچی بررسی کردند. نتایج نشان می‌داد اثر عدد فرود بالادست در رابطه بین ضریب دبی سرریز جانبی لبه تیز و لبه پهن در کانال‌های روباز عریض، کاهش و اثر مؤلفه‌های نسبی مانند ارتفاع سرریز به عمق بالادست و طول سرریز به عرض کانال اصلی افزایشی است.

همان‌طور که از پژوهش‌های گذشته مشخص است پژوهش‌های متفاوتی در مورد این سازه هیدرولیکی در شکل‌ها و شرایط متفاوت انجام شده است اما مطالعات کمی درباره ضریب شدت جریان سرریز جانبی دوزنقه‌ای لبه تیز و عوامل مؤثر بر تغییرات آن انجام شده است. پس در این پژوهش خصوصیات جریان، عوامل اثرگذار بر ضریب شدت جریان، حساسیت این پارامتر در برابر فاکتورهای بی‌بعد دخیل، با انجام عملیات آزمایشگاهی و استفاده از نرم‌افزارهای آماری بررسی شده است.

مواد و روش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها از فلوم آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهرکرد با مقطع مستطیلی به طول ۲۰، عرض و ارتفاع ۰/۶ متر با شیب ۰/۰۰۱ استفاده شد. جنس دیواره این فلوم از پلاکسی‌گلاس به ضخامت ۲ سانتی‌متر و کف آن فلزی بود. فلوم مذکور با یک پمپ سانتریفوژ با حداکثر دبی ۷۰ لیتر بر ثانیه تغذیه می‌شد جریان در این مدل چرخه‌ای را طی می‌کند که انتهای آن به حوضچه انتهایی ختم می‌شود. اندازه‌گیری دبی پمپاژ شده به داخل فلوم به وسیله کنتور حجمی انجام گرفت. برای اندازه‌گیری عمق جریان از یک عمق‌سنج با دقت ۰/۲ میلی‌متر استفاده شد که این عمق‌سنج قابلیت جابجایی در طول و عرض کانال را داشت. برداشت داده‌های عمق جریان پس از گذشت طول مناسبی از کانال که جریان آرام و تلاطم آن



شکل ۱- مشخصات و ابعاد مدل آزمایشی - نمای نصب سرریز و مقطع عرضی

لایه مرزی می‌توان از تأثیرات تغییر جرم مخصوص، لزجت و خصوصیات جریان در پایین دست صرف نظر کرد. به هر ترتیب دستیابی به متغیرهای مستقل برای محاسبه ضریب شدت جریان با به کارگیری آنالیز ابعادی و شناخت پارامترها و ابعاد اصلی صورت گرفت و با استفاده از نرم افزار آماری SPSS معنی داری این متغیرها بررسی شده و در نهایت متغیرهای مؤثر بر ضریب شدت جریان به صورت زیر به دست آمد:

$$C_d = f \left\{ Fr, \frac{P}{y_1}, \frac{B}{y_1}, \frac{H-P}{P}, \frac{T}{L} \right\} \quad (10)$$

جدول ۳ محدوده تغییرات عوامل بی بعد این پژوهش را نشان می‌دهد. در ادامه با استفاده از مقادیر به دست آمده آزمایشگاهی برای این پارامترهای بی بعد مؤثر و ایجاد رگرسیون غیرخطی، معادله مناسب مورد نظر برقرار شد.

$$C_d = -0.0338(Fr)^{1.603} + 0.661\left(\frac{P}{y_1}\right)^{0.239} - 0.346\left(\frac{B}{y_1}\right)^{0.618} + 0.257\left(\frac{H-P}{P}\right)^{0.483} - 0.723\left(\frac{T}{L}\right)^{0.568} + 1.22 \quad (11)$$

جدول ۳- محدوده تغییرات عوامل تأثیرگذار بر ضریب شدت

جریان سرریز					پارامترهای بی بعد
$\left(\frac{H-P}{P}\right)$	$\left(\frac{T}{L}\right)$	$\frac{B}{y_1}$	$\frac{P}{y_1}$	(Fr)	
تا ۰/۱۵	تا ۱/۰۶	تا ۰/۶	تا ۰/۶	تا ۰/۰۵	محدوده
۰/۵	۲/۳	۱/۱	۰/۸۵	۰/۸۱	تغییرات

بررسی صحت معادلات غیرخطی ارائه شده، با محاسبه خطای میانگین مجذور مربعات (RMSE) و میانگین خطای مطلق (MAE) برای هر کدام از رابطه‌ها انجام شد. رابطه‌های پارامترهای ذکر شده به شکل زیر است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_{dO} - C_{dC})^2} \quad (12)$$

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |C_{dO} - C_{dC}| \quad (13)$$

که در رابطه‌های بالا C_{dO} ، C_{dC} و N به ترتیب ضریب شدت جریان مشاهده‌ای، ضریب شدت جریان محاسبه‌ای و تعداد داده‌های برداشت شده هستند. که C_{dC} از معادلات ۷ و ۸ به دست آمده‌اند. در شکل ۲ مقادیر مشاهده‌ای و محاسبه‌ای ضریب شدت جریان در سطح احتمال ۹۵ درصد نشان داده شده‌اند. که شکل مذکور دقت مناسبی را از خود نشان می‌دهد.

جدول ۱- مشخصات و ابعاد سرریزها

سرریز	طول (cm)	شیب	ارتفاع (cm)
دوزنقه‌ای	۳۰، ۲۰، ۱۵	۲، ۱	۴۰، ۳۰، ۲۰

جدول ۲- محدوده شرایط انجام آزمایش‌ها

خصوصیات هیدرولیکی	محدوده تغییرات
عدد فرود کانال اصلی	$Fr < 0.9$
دبی ورودی	$Q < 70$ (lps)
عمق در کانال اصلی	$26 < y < 60$ (cm)

در این پژوهش برای انجام تحلیل‌ها از رگرسیون چندگانه^۱ استفاده شد، در تحلیل رگرسیون چندگانه هدف به طور معمول پیش‌بینی یک یا چند متغیر ملاک از یک یا چند متغیر پیش‌بینی است. به عبارت دیگر هدف پیدا کردن متغیرهای پیش‌بینی است که تغییرات متغیر ملاک را چه به تنهایی و چه به طور مشترک پیش‌بینی کند. در این مدل رگرسیون، ۳ روش برای ورود داده‌ها وجود دارد که عبارتند از قدم به قدم، انتخاب روبه جلو و انتخاب روبه عقب. اجرای رگرسیون چندگانه در نرم‌افزار SPSS با روش قدم به قدم اجرا شد. در این مدل متغیرهای پیش‌گویی کننده تک تک به معادله اضافه می‌شوند و به دنبال آن اگر نقش معنی داری در رگرسیون نداشته باشد حذف می‌شود.

نتایج و بحث

خصوصیات مختلفی مانند خصوصیات جریان، سیال و هندسه سرریز بر روی ضریب شدت جریان مؤثر خواهد بود که می‌توان به سرعت جریان در بالادست سرریز (V_1)، سرعت جریان در پایین دست سرریز (V_2)، عمق آب در بالادست سرریز (y_1)، عمق آب در پایین دست سرریز (y_2)، شتاب ثقل (g)، لزجت دینامیکی (μ)، کشش سطحی (σ)، جرم حجمی سیال (ρ)، ضریب زبری (ε)، عرض کانال اصلی (B)، شیب کف کانال (S_0)، ارتفاع سرریز (P)، طول سرریز (L)، هد آب روی سرریز H و طول روگذری جریان (T) اشاره کرد. براساس پژوهش‌های انجام شده توسط سایر پژوهش‌گران از برخی پارامترها به علت کم بودن تأثیرشان بر ضریب شدت جریان می‌توان چشم‌پوشی کرد. به این ترتیب که می‌توان اثر کشش سطحی را نادیده گرفت. همچنین با توجه به وجود جریان آزاد غیرقابل تراکم و ضخامت کم

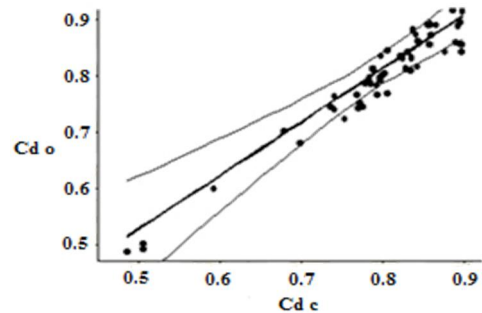
جدول ۵- مقادیر خطا برای روابط ارائه شده به تفکیک شیب

جانبی		رابطه
MAE	RMSE	
۰/۰۳۲۴۵۲	۰/۰۴۲۹۹۱	۱۴
۰/۰۳۷۱۹۸	۰/۰۵۳۷۶	۱۵

برای بررسی میزان اعتبار این نتایج، پژوهش‌های انجام شده با بررسی‌های قبل مقایسه شد. حدادی و رحیم‌پور (۲۰۱۲) و رحیم‌پور و همکاران (۲۰۱۱) به ترتیب جریان روی سرریز جانبی لبه‌پهن و لبه‌تیز را بررسی کردند. محدوده شرایط آزمایشگاهی ایشان در سرریز نوع لبه‌تیز به صورت جدول ۶ است. ایشان عوامل تأثیرگذار بر ضریب شدت جریان مدل لبه‌پهن را عدد فرود کانال اصلی، نسبت طول سرریز به عرض کانال اصلی، عمق آب به ارتفاع سرریز، پهنای سرریز به عرض کانال اصلی و شیب جانبی سرریز بیان کردند. در مدل لبه‌تیز نیز ایشان عدد فرود کانال اصلی، عرض کانال اصلی به عمق جریان، ارتفاع سرریز به عمق جریان، طول سرریز به عمق جریان و شیب جانبی را به‌عنوان پارامترهای تأثیرگذار معرفی و معادله‌ای به شکل چند جمله‌ای برای محاسبه ضریب شدت جریان ارائه کردند. مقادیر به دست آمده برای ضریب شدت جریان در سرریز لبه‌تیز برای شیب جانبی ۱:۱ ۰/۹-۰/۱، ۰/۶۷:۱ ۰/۹-۰/۴ و در شیب جانبی ۱:۰/۵ ۱:۰/۷-۰/۲ و در این پژوهش این مقادیر برای شیب جانبی ۱:۱ ۰/۶-۰/۹۳ و برای شیب ۱:۲ ۰/۴۸-۰/۹۵ به دست آمد. مقایسه ضریب شدت جریان در دو پژوهش نشان می‌دهد که مقادیر این پارامتر در پژوهش مشابه پراکندگی بیشتری از خود نشان می‌دهد. با توجه به جدول ۶ و محدوده شرایط آزمایشگاهی به محدود بودن عدد فرود اعمال شده در کانال اصلی اشاره کرد. همچنین آن‌ها در پژوهش‌های خود برای بررسی میزان خطا، در نموداری دبی انحرافی مشاهده شده و محاسباتی را در سطح احتمال ۹۵ درصد به تصویر کشیدند.

جدول ۶- محدوده شرایط آزمایشگاهی رحیم‌پور و همکاران (۲۰۱۱)

شیب جانبی	۱	۰/۶۷	۰/۵
عدد فرود	۰/۱۵۷-۰/۰۱	۰/۱۳۳-۰/۰۰۷	۰/۱۴-۰/۰۱۱
دبی (لیتر بر ثانیه)	۰/۳۵۸-۰/۱۴۳	۲/۹-۰/۰۱۶	۲/۸۷-۰/۰۷۸۹
عمق جریان (سانتی‌متر)	۱۸/۳-۸/۹	۱۷/۶-۱۱/۱	۱۷/۳-۹/۳
طول سرریز (سانتی‌متر)	۲۰-۴	۱۵-۳/۵	۱۵-۸
ارتفاع سرریز (سانتی‌متر)	۱۵-۸	۱۵-۱۰	۱۵-۸



شکل ۲- مقایسه مقادیر مشاهده‌ای و محاسبه‌ای ضریب شدت جریان (خطوط کمرنگ نشان دهنده سطح احتمال ۹۵ درصد و خط پررنگ خط برازش داده شده از میان ابر داده‌ها هستند.)

جدول ۴- محاسبه مقادیر خطای معادله ۱۱

سرریز	RMSE	MAE
دوزنقه‌ای	۰/۰۶۶۲۷	۰/۰۵۲۸۸

معادله ضریب شدت جریان برای سرریز لبه‌تیز دوزنقه‌ای با در نظر گرفتن شیب جانبی سرریز به‌عنوان عامل بی‌بعد مؤثر بر ضریب شدت جریان، به شکل‌های زیر در خواهد آمد:

$$Z=1 \rightarrow C_d = -0.106(Fr)^{0.251} + 0.086\left(\frac{P}{Y_1}\right)^{-1.94} \quad (14)$$

$$-0.152\left(\frac{B}{Y_1}\right)^{2.45} + 0.89\left(\frac{H-P}{P}\right)^{0.194} - 2.49\left(\frac{T}{L}\right)^{0.46} + 2.98$$

$$Z=2 \rightarrow C_d = -0.045(Fr)^{2.05} + 0.92\left(\frac{P}{Y_1}\right)^{-0.64} \quad (15)$$

$$-0.35\left(\frac{B}{Y_1}\right)^{0.761} + 0.285\left(\frac{H-P}{P}\right)^{1.361} - 0.8\left(\frac{T}{L}\right)^{0.82} + 1.12$$

با توجه به میزان خطای به دست آمده برای معادلات به دست آمده در جدول ۵ می‌توان به این نتیجه رسید که در نظر گرفتن تأثیر شیب جانبی در محاسبه ضریب شدت جریان و تفکیک سرریزها، دقت تخمین را افزایش خواهد داد و کمک زیادی به روند محاسبات خواهد کرد.

تحلیل حساسیت ضریب جریان

برای بررسی حساسیت ضریب شدت جریان نسبت به هر یک از این عوامل و ارزیابی این موضوع که کدامیک از این عوامل در برآورد ضریب شدت جریان دارای اولویت بیشتری هستند تحلیل حساسیت انجام شد. برای ارزیابی حساسیت ضریب شدت جریان نسبت به هر عامل با حذف تک تک عوامل بی‌مؤثر در هر مرحله از معادله ۱۱، معادلات جدیدی ارائه شده و در نهایت برای بررسی دقت روابط، کمیت‌های آماری RMSE و MAE محاسبه و ارزیابی شد. معادلات مذکور در جدول ۷ نشان داده شده‌اند. میزان خطای آماری روابط ارائه شده برای

سرریزهای جانبی دوزنقه‌ای در جدول ۸ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار خطا مربوط به معادله C_1 است. این معادله بیشترین میزان MAE و RMSE را در قیاس با حالت‌های دیگر به خود اختصاص داده و در آن مقدار انحراف از برآورد صحیح ضریب شدت جریان به حداکثر میزان خود رسیده است. در این معادله $\frac{T}{L}$ یا نسبت طول روگذری جریان به طول سرریز از رابطه کلی حذف شده است. با توجه به مقادیر دیگر به دست آمده می‌توان اهمیت سایر عوامل را به یک اندازه دانست.

جدول ۷- روابط ارائه شده برای تحلیل حساسیت ضریب جریان سرریز دوزنقه‌ای

عدد ثابت	$\frac{T}{L}$		$\frac{H-P}{P}$		$\frac{B}{y_1}$		$\frac{P}{y_1}$		Fr		رابطه
	توان	ضریب	توان	ضریب	توان	ضریب	توان	ضریب	توان	ضریب	
۰/۱۵۲	-	-	۰/۰۶۴	۰/۰۶۹	۰/۰۵۱	-۰/۴۸۷	۰/۷۱۷	۱/۱۸۴	۲/۱۳	-۰/۰۴۵	C_1
۱/۷۸	۰/۵۲۹	-۰/۸	-	-	۰/۶۵۵	-۰/۳۰۳	-۰/۶۳۸	۰/۱۹۶	۱/۷۸۲	-۰/۰۹	C_2
۰/۶۲۴	۰/۴۸۳	-۰/۶۵	۰/۱۶۴	-۰/۰۳۹	-	-	۰/۲۸۴	۰/۹۲۴	۱/۷۹۷	-۰/۱۴۳	C_3
۰/۷۸۷	-۰/۹	۰/۶۱	۲/۴۷	-۰/۵۲	۰/۳۴۸	-۰/۴۸۸	-	-	۰/۶۳	-۰/۰۱۹	C_4
۱/۴۷	۰/۵۰۴	-۰/۸۶	۰/۴۳۹	۰/۱۹۴	۰/۶۸۴	-۰/۳۵۱	۰/۰۴۳	۰/۵۴۵	-	-	C_5

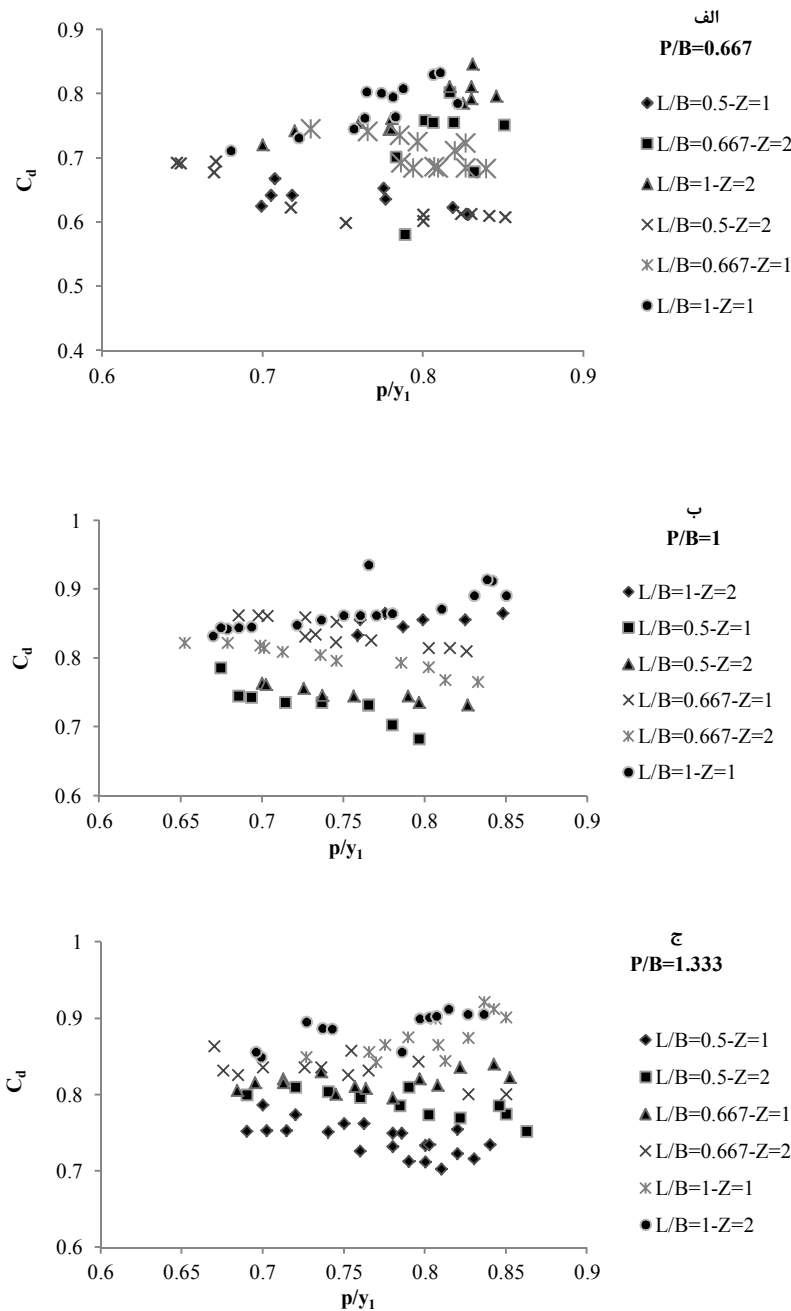
جدول ۸- بررسی حساسیت ضریب جریان سرریز جانبی

خطا-رابطه	C_5	C_4	C_3	C_2	C_1
RMSE	۰/۰۶۶۴۸۵	۰/۰۶۸۰۸۸	۰/۰۶۹۹۹۸	۰/۰۶۷۱۶۴	۰/۰۸۰۶۳۸
MAE	۰/۰۵۳۳۵۵	۰/۰۵۳۴۷۳	۰/۰۵۶۸۲	۰/۰۵۳۳۰۱	۰/۰۶۶۴۹۳

بررسی عوامل تأثیرگذار بر روی ضریب جریان

بر اساس شکل ۳، C_d با افزایش $\frac{P}{y_1}$ برای $\frac{L}{B} = 0.667$ یک روند کاهشی را طی می‌کند و با میل مقادیر این عامل بی‌بعد به سمت ۱، ضریب شدت جریان افزایش ملایمی را نشان می‌دهد. زیرا شدت جریان ثانویه ناشی از جریان انحرافی با افزایش طول سرریز، بیشتر شده و به دنبال آن زاویه انحراف و انرژی جنبشی ناشی از جریان ثانویه به سمت سرریز با افزایش طول نسبی سرریز افزایش می‌یابد (کاریزی و هنر، ۱۳۸۸). در نتیجه این موضوع اثر خود را بر روی ضریب شدت جریان که تابعی از جریان انحرافی است، نشان خواهد داد. همچنین در نسبت‌های $\frac{L}{B}$ کوچک‌تر از ۱، با کاهش ضریب شدت جریان، در قبال افزایش $\frac{P}{y_1}$ روبرو می‌شویم. اما با افزایش طول نسبی این

قاعده تغییر کرده و ضریب شدت جریان برخلاف انتظار با افزایش $\frac{P}{y_1}$ شروع به افزایش خواهد کرد. که البته در مقادیر پایین این افزایش با شیب بسیار ملایمی انجام می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که افزایش نسبت $\frac{L}{B}$ افزایش ضریب شدت جریان را به دنبال خواهد داشت. این موضوع به افزایش توانایی سرریز برای برداشت جریان از کانال اصلی برخواهد گشت زیرا با افزایش طول سرریز جریان منحرف شده به کانال انحرافی افزایش می‌یابد. روند کاهشی برای مقادیر $\frac{L}{B} < 1$ مشابه نتایج بررسی‌های جلیلی و برقی (۱۹۹۶)، آگاسیوگلو و یوکسل (۱۹۹۸)، برقی و جلیلی (۱۹۹۹)، امیرقلو و همکاران (۲۰۱۰) در سرریز مستطیلی است.



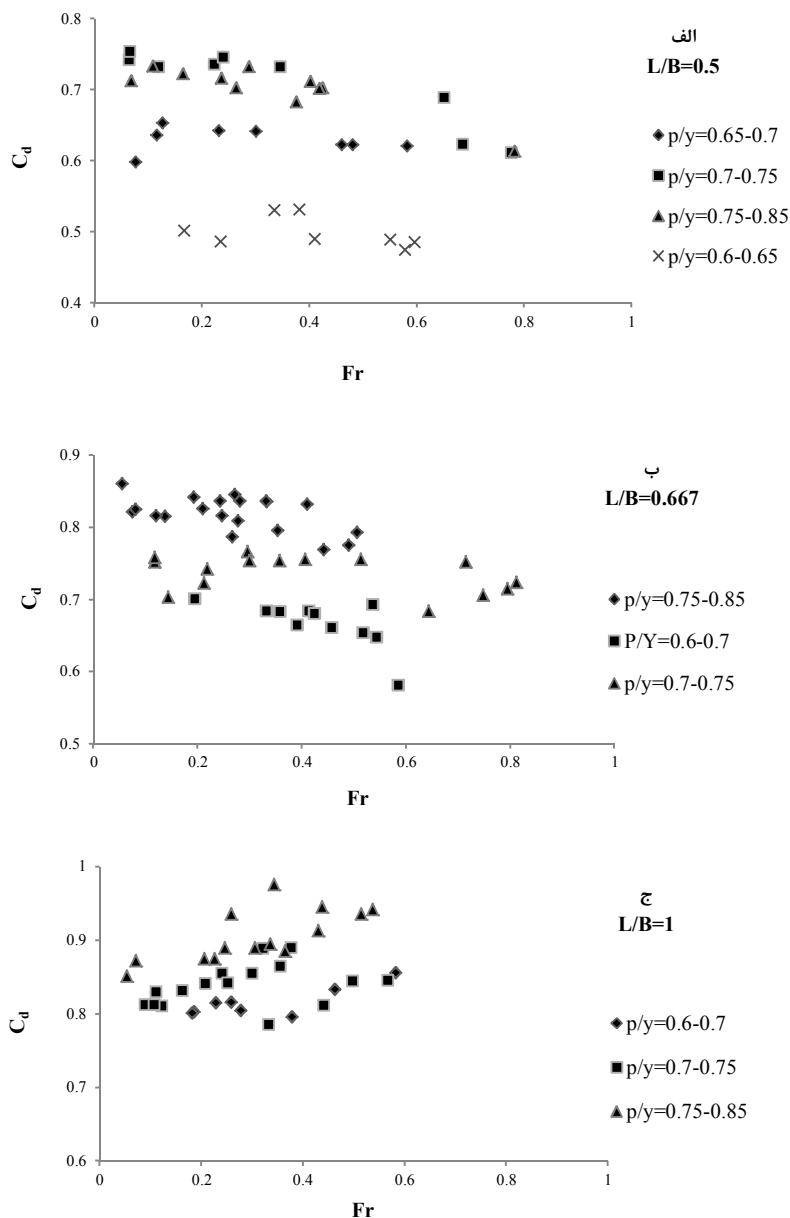
شکل ۳- تغییرات ضریب شدت جریان در برابر نسبت $\frac{P}{y_1}$ در مقادیر متفاوت $\frac{L}{B}$

جانبی به وجود می‌آورد. شدت این جریان ثانویه در مجاورت سرریز بستگی به ارتفاع تاج سرریز جانبی داشته و به دلیل اصطکاک سطح سرریز با افزایش ارتفاع سرریز کاهش می‌یابد. همچنین شدت جریان ثانویه به وجود آمده با جریان انحرافی به وسیله نسبت میانگین انرژی جنبشی جریان جانبی به کل انرژی جنبشی جریان اصلی مقطع مورد نظر تعریف می‌شود (امیرقلو و همکاران، ۲۰۱۰). در مجموع براساس آنچه گفته شد توان و نیروی

در شکل ۴، مقادیر ضریب شدت جریان در برابر عدد فرود همراه با مقادیر بی‌بعد ارتفاع و طول سرریز نشان داده شده است. به وضوح مشخص است که با افزایش $\frac{P}{y_1}$ برای نسبت‌های بالای $\frac{L}{B}$ ضریب جریان افزایش می‌یابد. اثر $\frac{P}{y_1}$ بر روی ضریب شدت جریان را می‌توان با استفاده از مفهوم ناحیه جدایی جریان تشریح کرد. ناحیه جدایی جریان، یک جریان ثانویه قوی در مجاورت سرریز

زاویه انحراف و انرژی جنبشی در مقابل سرریز را در هنگامی که طول نسبی سرریز افزایش می‌یابد به همراه خواهد داشت.

جریان ثانویه به وجود آمده با جریان انحرافی توسط سرریز، از طول و ارتفاع سرریز و عدد فرود در کانال بالادست سرریز تأثیرپذیر است. افزایش جریان ثانویه، رشد



شکل ۴- تغییرات ضریب شدت جریان در برابر اعداد فرود در مقادیر متفاوت $\frac{P}{Y_1}$

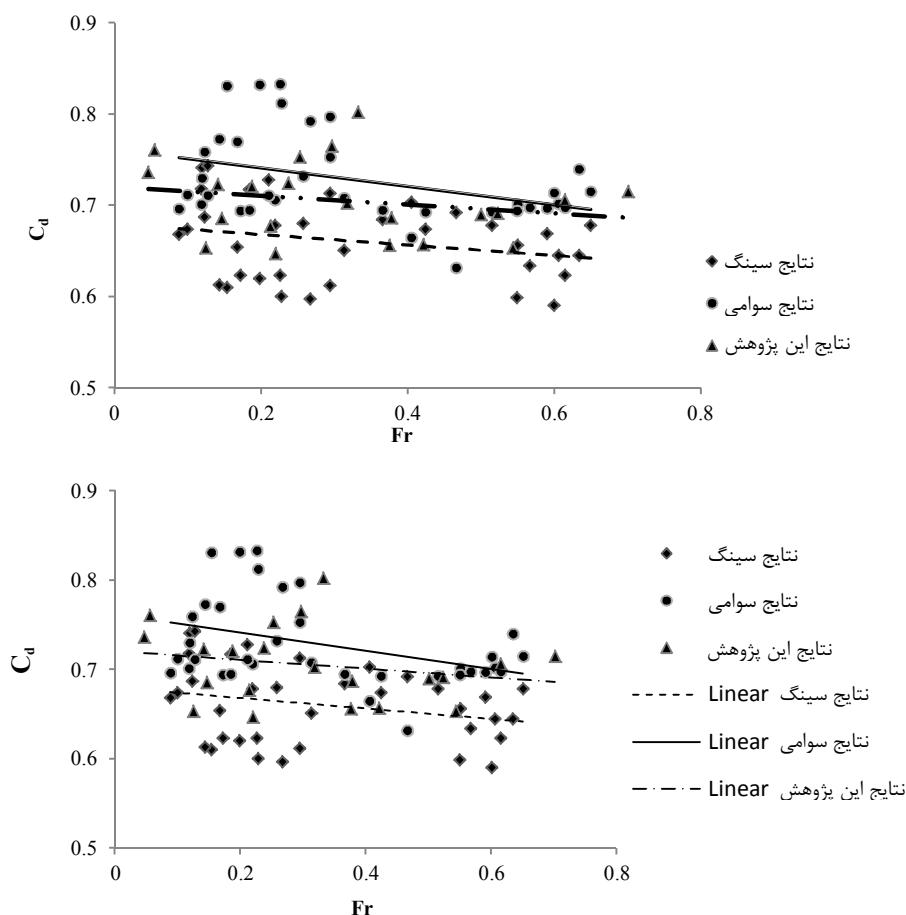
را نشان می‌دهد که نتایج مطابقت به نسبت مناسبی از خود نشان می‌دهند.

در شکل ۶ تغییرات ضریب شدت جریان در برابر نسبت طول روگذری جریان به طول سرریز بررسی شده است. این ۳، روند پیوسته کاهشی ضریب شدت جریان را برای سرریزها پیش‌بینی می‌کنند. افزایش این نسبت به معنای

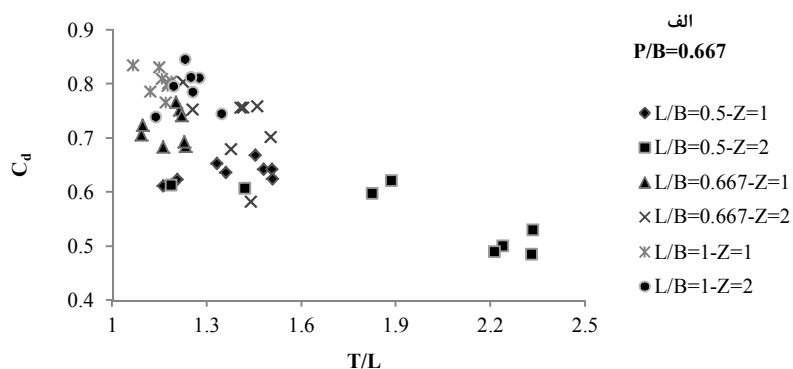
با توجه به کمبود پژوهش‌های در زمینه سرریز دوزنقه‌ای لبه تیز، نتایج حاصل با نتایج پژوهش‌های پیشین در سرریز مستطیلی مقایسه شد. که این مقایسه‌ها در شکل ۵ به تصویر کشیده شده است. این نمودار تغییرات ضریب شدت جریان را در برابر عدد فرود در این پژوهش، پژوهش‌های سینگ و همکاران (۱۹۹۴) و سوامی و همکاران (۱۹۹۴)

افزایش نسبت $\frac{T}{L}$ ، افزایش عمق، کاهش طول سرریز، کاهش عوامل ذکر شده و کاهش پیوسته ضریب شدت جریان خواهد بود.

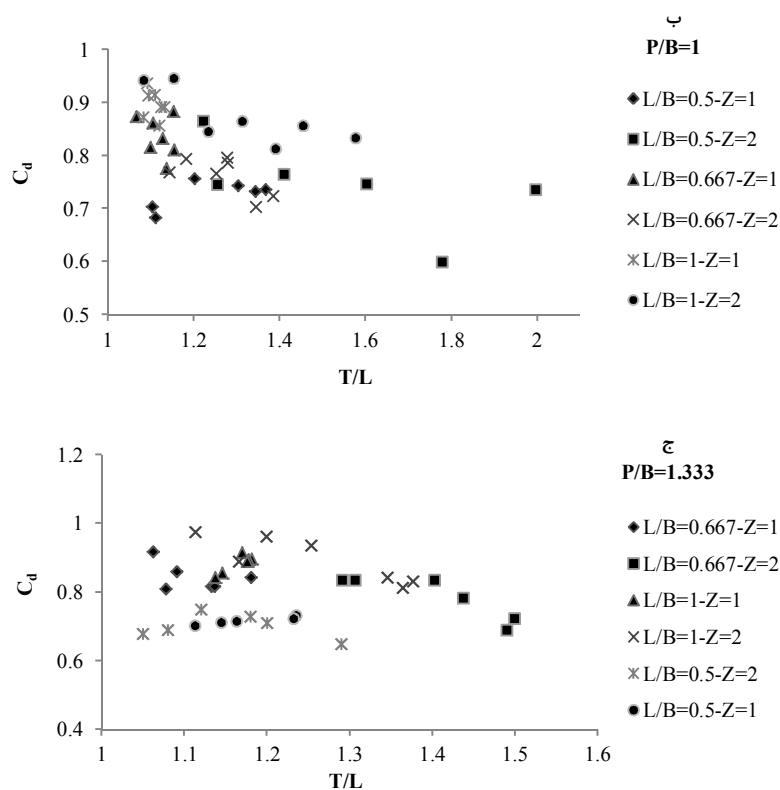
کاهش طول تاج سرریز بوده و همان طور که در قسمت های قبل نیز اشاره شد، طول تاج اثر زیادی بر میزان انحراف جریان خواهد داشت، زیرا افزایش این طول، زاویه انحراف جریان از مسیر مستقیم، سرعت انحراف جریان و انرژی جنبشی را تحت تأثیر خود قرار می دهد. بنابراین برآیند



شکل ۵- تغییرات ضریب شدت جریان در برابر عدد فرود در این پژوهش و پژوهش های مشابه



شکل ۶- تغییرات ضریب شدت جریان در برابر نسبت $\frac{T}{L}$



ادامه شکل ۶-

سرریز داشته به طوری که ۱/۴ درصد نسبت به این عامل حساسیت نشان می‌دهد.

منابع

۱. رحیمی ا. ۱۳۸۶. طراحی هیدرولیکی سرریزهای جانبی (چاپ اول). نشر علم کشاورزی ایران. ۱۱۷ ص.
۲. کاریزی آ. و هنر ت. ۱۳۸۸. بررسی الگوی جریان و توزیع تنش برشی روی سرریزهای جانبی با ورودی تیز گوشه و گرد گوشه. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک. ۱۴(۵۱): ۱۵-۲۵.
3. Agaccioglu H. and Yuksel Y. 1998. Side weir flow in curved channels. ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering. 124(3): 163-175
4. Borghei M. Jalili M. R. and Ghodsian M. 1999. Discharge coefficient for sharp-crested Side weir in subcritical flow. ASCE Journal of the Hydraulic Engineering. 125(10): 1051-1056.
5. De Marchi G. 1934. Essay on the performance of lateral weirs in Italian. L Energia Elettrica, Milan. 11(11): 849-860.
6. Durga Rao K. H. V. and Pillai C. R. S. 2008. Study of flow over side weirs under supercritical conditions. Water Resources Management. 22(1): 131-143.

نتیجه‌گیری

ضریب شدت جریان در سرریزهای جانبی یکی از پارامترهای مهم هیدرولیکی است که در محاسبه مقدار دبی خروجی د سرریز و همچنین پروفیل سطح آب در طول سرریز دارای اهمیت زیادی است. تاکنون معادلات بسیاری برای محاسبه پارامتر سرریز لبه تیز در شکل‌های مستطیلی و مثلثی ارائه شده است. در این پژوهش ضریب شدت جریان سرریز لبه تیز دوزنقه‌ای با ساخت ۱۸ سرریز بررسی شد. تحلیل و آنالیزهای این پژوهش نشان می‌دهد که ضریب شدت جریان سرریز لبه تیز دوزنقه‌ای بین ۰/۴۸ تا ۰/۹۵ متغیر بوده و با توجه به استفاده از روش‌های استفاده شده به عوامل متفاوتی مانند شرایط هیدرولیکی جریان در بالادست سرریز و مقطع عبوری جریان از روی سرریز بستگی دارد. در ادامه معادلاتی با ۴/۳ و ۵/۴ درصد خطا برای برآورد این پدیده ارائه شد. شیب جانبی سرریز اثر قابل توجهی بر محاسبه ضریب شدت جریان خواهد داشت به طوری که دقت نتایج را تا ۱/۲ تا ۲/۳ درصد افزایش خواهد داد. همچنین اثر عوامل بی‌بعد معرفی شده در این پژوهش به یک اندازه نبوده و ضریب شدت جریان حساسیت بیشتری به نسبت طول روگذری جریان به طول

7. Emiroglu M. E. Kaya N. and Agaccioglu H. 2010. Discharge capacity of labyrinth side weir located on a straight channel. *ASCE Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 136(1): 37-46.
8. Haddadi H. and Rahimpour M. 2012. A discharge coefficient for trapezoidal broad crested side weir in subcritical flow. *Flow Measurement and Instrumentation*. 26(6):63-67.
9. Henderson F. M. 1966. *Open channel flow*. New York: Macmillan. 522 p.
10. Hyung P. M. Sop R. D. 2010. Development of discharge formula for broad crested side weir. *Journal of Korea water resources association*. 43(6): 525-531.
11. Jalili M. R. Borghei S. M. 1996. Discussion of discharge coefficient of rectangular side weir. *ASCE Journal of irrigation and drainage engineering*. 122(2): 132-137.
12. Kumar C. P. and Pathak S. K. 1987. Triangular side weirs. *Journal of irrigation and drainage engineering*. 13(1): 98-105.
13. Oliveto G. Biggiero V. and Fiorentino M. 2001. Hydraulic features of supercritical flow along prismatic side weirs. *Journal of hydraulic research*. 39(1): 73-82.
14. Rahimpour M. Keshavarz Z. and Ahmadi M. 2011. Flow over trapezoidals side weir. *Flow Measurement and Instrumentation*. 22(6): 507-510.
15. Singh R. Manivannan D. and Satyanarayana T. 1994. Discharge coefficient of rectangular side weirs. *Journal of irrigation and drainage engineering ASCE*. 120(4): 814-819.
16. Swamee P. K. Pathak S. K. and Ali M. S. 1994. Side weir analysis using elementary discharge coefficient, *Proceeding. ASCE, Journal of Irrigation and Drainage Division*. 120(4): 743-755.
17. Venutelli M. E. 2008. Method of solution of non uniform flow with the presence of rectangular side weirs. *Journal of irrigation and drainage engineering-ASCE*. 134(6): 840-846.

