Archive of SID
DOI: 10.22059/ijswr.2018.261828.667965 تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۵۰، شماره ۵، مهر ۱۳۹۸ (ص ۱۱۹۱-۱۱۸۳)

Discharge Estimation in Semicircular Canals using Flap Plate

HAZHIR GHADERINIA[1], AMIN SEYEDZADEH[2], ALIREZA VATANKHAH[3*]

1. Former M.Sc. Student, Irrigation and Reclamation Eng. Dept., University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
2. Former M.Sc. Student, Irrigation and Reclamation Eng. Dept., University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran
3. Associate Professor, Irrigation and Reclamation Eng. Dept., University College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran

(Received: July. 11, 2018- Revised: Oct. 20, 2018- Accepted: Nov. 21, 2018)

ABSTRACT

The Present study introduces the slit and solid semicircular flap plates for flow measurement in horizontal open circular canals under free flow conditions. This structure consists of a semicircular plate which is installed and hinged from its diameter along a circular canal. The deviation generated by the water flow on the plate is a function of hydraulic characteristics of flow, the geometry of the structure and flow discharge. This simple measuring structure is portable and can easily be installed in circular canals and be used with acceptable precision. In this study, based on the theoretical and experimental studies of the passing flow through the semicircular flap plate, some equations were developed for estimating the flow in circular canals via the dimensionless discharge-critical depth relation. In order to calibrate the proposed equations, the laboratory data were collected and used. In addition, to estimate the passing flow through the flap plate, an explicit relationship was developed to compute the dimensionless critical depth and discharge. The dimensionless critical depth-discharge method used in this study is able to estimate the flow discharge through the semicircular plates with an average error of 3%. Due to the low average errors of the proposed discharge equations for the semicircular flap plate (an average error of 3.6% without considering the Reynolds number and an average error of 3% by considering the Reynolds number), this structure is suggested as a discharge measuring structure in circular open canals.

Keywords: Flap plate, circular open channel, discharge measurement.

*Corresponding Author's Email: arvatan@ut.ac.ir
www.SID.ir

Archive of SID

تخمین دبی در کانال‌های نیم‌دایره‌ای توسط صفحه آویخته

هژیر قادری نیا[۱]، امین سیدزاده[۲]، علیرضا وطن خواه[۳*]

۱.کارشناسی ارشد سازه های آبی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران ، کرج، ایران

۲ .کارشناسی ارشد سازه های آبی، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران ، کرج، ایران

۳. دانشیار، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران ، کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۲۰- تاریخ بازنگری: ۱۳۹۷/۷/۲۸- تاریخ تصویب: ۱۳۹۷/۸/۳۰)

چکیده

تحقیق حاضر به منظور مطالعه صفحه‌های آویخته شیاردار و بدون شیار نیم‌دایره‌ای در کانال‌های نیم‌دایره‌ای افقی روباز تحت شرایط جریان آزاد و استخراج رابطه‌ی تخمین بده این سازه‌ها انجام شده است. این سازه از یک صفحه نیم‌دایره‌ای که در محل قطر آن عمود بر جهت جریان بر روی یک محور افقی به صورت لولایی نصب می‌شود، تشکیل شده است. انحرافی که به وسیله نیروی جریان آب در صفحه ایجاد می‌شود تابعی از مشخصات هیدرولیکی جریان، هندسه سازه و دبی می‌باشد. این سازه‌ی اندازه‌گیری بده، قابل حمل بوده و به راحتی می‌تواند در کانال‌های دایره‌ای نصب شده و مورد بهره-برداری قرار گیرد. در تحقیق حاضر با مطالعه نظری و آزمایشگاهی جریان عبوری از صفحه نیم‌دایره‌ای آویخته در امتداد کانال‌های دایره‌ای، معادلاتی برای تخمین بده جریان در کانال‌های دایره‌ای با استفاده از روش بده-عمق بحرانی بدون بعد توسعه داده شد. به منظور واسنجی معادلات، از داده‌های آزمایشگاهی استفاده شد. همچنین برای تخمین بده عبوری از صفحه آویخته، رابطه‌ای صریح برای تخمین عمق بحرانی و برآورد بده ارائه شد. روش بده-عمق بحرانی بدون بعد استفاده شده در تحقیق حاضر قادر است دبی عبوری از صفحه‌های نیم‌دایره‌ای آویخته را با متوسط خطای ۳٪ برآورد کند. با توجه به خطای روابط ارائه شده برای تخمین بده صفحه آویخته نیم‌دایره‌ای (متوسط خطای۳٪ با در نظر گرفتن عدد رینولدز و متوسط خطای ۳/۶٪ بدون در نظر گرفتن عدد رینولدز)، این سازه به عنوان یک سازه اندازه‌گیری بده در کانال‌های (کانالت‌های) نیم‌دایره‌ای پیشنهاد می‌شود.

واژه های کلیدی: صفحه آویخته، کانال دایره‌ای روباز، اندازه‌گیری بده.

مقدمه

در عصر حاضر اهمیت و ارزش واقعی آب بیش از پیش مشخص شده است و بزرگ‌ترین چالش پیش‌رو برای متولیان آب، افزایش بهره‌وری آن می‌باشد. بحران آب در کشور به علت قرارگیری در اقلیم نیمه‌خشک و تأثیرپذیری شدید از تغییرات اقلیمی در سال-های اخیر جدی شده است. همچنین با توجه به رشد جمعیت و کاهش سرانه آب تجدید پذیر، بر اساس شاخص‌های موجود و شاخص کمسیون توسعه پایدار سازمان ملل، ایران در آستانه تنش شدید آبی قرار دارد (Rahimi and Khaledi, 2000). افزایش بهره‌وری و تغییر الگوهای مصرف می‌تواند از راهکارهای مناسب در این ارتباط باشد. اعمال هرگونه مدیریت صحیح برای بهینه‌سازی مصرف آب مستلزم شناخت و اندازه‌گیری میزان عرضه و تقاضا است. در سال‌های اخیر پیشرفت‌های زیادی در ساخت ابزارهای دقیق اندازه‌گیری جریان صورت گرفته است، برای مثال داپلرهای صوتی و لیزری توانسته‌اند خطای اندازه‌گیری جریان آب را به یک تا دو درصد دبی عبوری کاهش دهند، امّا به دلیل هزینه زیاد، شرایط نگهداری ویژه، نیاز به نیروی متخصص و مسائل حفاظت، استفاده از آن‌ها محدود بوده و استفاده از سازه-های سنتی نظیر دریچه‌ها، سرریزها، فلوم‌ها و روزنه‌ها همچنان رایج است. از این‌رو پیشنهاد تغییر کاربری و ارائه سازه‌های جدید به‌گونه‌ای که تا حد امکان از معیارها و استانداردهای موجود تبعیت کنند، و دقت مناسبی داشته و شرایط بهره‌برداری کشورمان را به‌خوبی لحاظ کنند بسیار مهم است. در این تحقیق سازه‌ای طراحی و اجرا شده که از نظر شباهت کار به دریچه‌های کشویی شبیه است. اغلب شبکه‌های آبیاری، به‌صورت ثقلی و مجاری روباز طراحی شده‌اند که می‌بایست از رقوم آب برای

* نویسنده مسئول: arvatan@ut.ac.ir

www.SID.ir

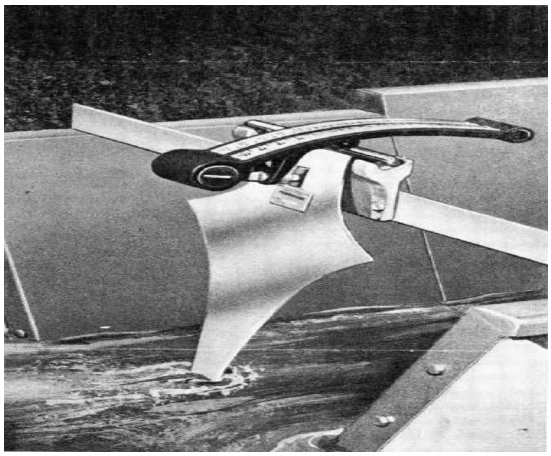
Archive of SID

پوشش بیشتر اراضی استفاده نمود، لذا سازه‌ها می‌بایست با حداقل افت هیدرولیکی، دبی جریان را با دقت قابل قبولی اندازه‌گیری نمایند. بسیاری از سازه‌های موجود دارای این ویژگی نبوده و برای اندازه‌گیری دقیق آب افت هیدرولیکی نسبتاً زیادی ایجاد می‌کنند. در پژوهش حاضر به معرفی و بررسی هیدرولیکی سازه‌ای جدید تحت عنوان صفحه لولایی آویخته به منظور اندازه‌گیری جریان آب در کانال‌های دایره‌ای پرداخته شده است. این سازه کاملاً اقتصادی بوده و بدون نیاز به هزینه زیاد یا فناوری خاص قابل ساخت بوده و به سادگی مورد استفاده و بهره‌برداری قرار می‌گیرد. همچنین این سازه با توجه به کم بودن میزان افت ایجاد شده توسط آن، اختلالی در بهره‌برداری از سازه‌های از پیش اجرا شده ایجاد نخواهد کرد. با توجه به اینکه مشخصات هیدرولیکی جریان عبوری از سازه مورد نظر مشابه سازه آویزه‌ای و دریچه آویخته می‌باشد، به بررسی این سازه‌ها پرداخته می‌شود.

سابقه مطالعات

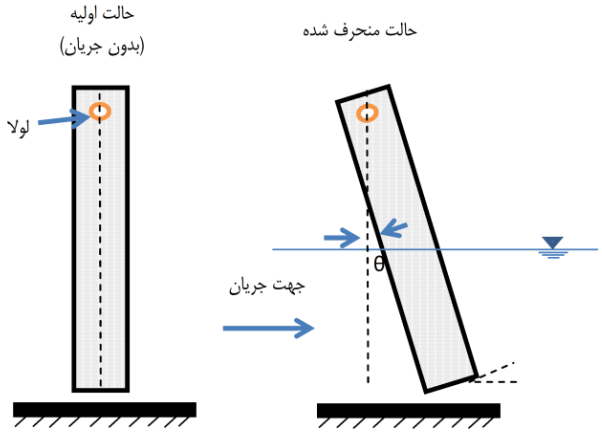
سازه آویزه‌ای

سازه آویزه‌ای عبارت است از یک پره که در داخل جریان آب قرار گرفته و بر روی محور افقی در امتداد مقطع اندازه‌گیری کانال نصب می‌شود (Kraatz and Mahajan, 1975). انحرافی که به‌وسیله نیروی جریان بر روی پره به وجود می‌آید، مشخص‌کننده دبی جریان است. در شکل (۱) یک نمونه از این سازه نشان داده شده است.



شکل ۱- یک نوع سازه آویزه‌ای (Kraatz and Mahajan, 1975)

نوع خاصی از این سازه توسط سازمان خواربار و کشاورزی توسعه داده شده است و در سال 1970 به منظور اندازه‌گیری جریان در آزمایش‌های راندمان آبیاری در کانال راجستان هند به‌کار گرفته شده است. نتایج نشان دادند که در محدوده جریان‌های متوسط (دامنه‌ی بده آزمایش شده از یک لیتر تا ۱۸ لیتر بر ثانیه) سازه خوب کارکرده و دقتی برابر با ۱٪ داشته است. اما هنگامی‌که جریان کمتر یا بیشتر از محدوده طراحی باشد نتایج با خطا همراه خواهد بود. از مزایای این سازه، ارزان بودن آن است و درصورتی‌که دقیق ساخته و نصب شود، اندازه‌گیری‌هایی با دقت ٪۵± به دست می‌آید (Kraatz and Mahajan, 1975). Talman (1983) سازه‌هایی طراحی نمود که با استفاده از اصل مومنتم و نیروی درگی که بر پره وارد می‌شود، دبی جریان قابل اندازه‌گیری است. از نمونه کارهای ایشان طراحی یک وسیله اندازه‌گیری دبی برای خروجی زهکش‌های مزارع آزمایشگاهی می‌باشد. Replogle (1992) در مروری که بر انواع سازه‌های اندازه‌گیری داشته است، به سازه آویزه‌ای نیز اشاره کرده و این سازه را برای اندازه‌گیری دبی جریان در واحد عرض، بر اساس اندازه‌گیری نیروی افقی وارده بر یک تیغه مثلثی شکل که به‌طور ثابت در داخل جریان نگه‌داشته می‌شود، پیشنهاد کرده است. Tariq and Masood (2001) رابطه بین سرعت متوسط و میزان انحراف سازه آویزه‌ای در کانال مستطیلی را ارائه کردند. ایشان از انحراف میله و عمق جریان در شرایط مختلف جریان برای به دست آوردن سرعت متوسط مطابق شکل (۲) استفاده کردند.



شکل ۲- نمایی از مقطع عبوری جریان و انحراف سازه (Tariq and Masood, 2001)

Monaem and Shirin Zadeh (2001) رفتار هیدرولیکی سازه آویزه‌ای را برای سه نوع فلوم مستطیلی با استفاده از روش تحلیل ابعادی مطالعه نمودند و رابطه زاویه انحراف پره و دبی را برای محدوده صفر تا ۳۰ لیتر بر ثانیه برای شرایط عادی و مستغرق ارائه کردند. Monem et al. (2003) در ادامه تحقیق Tariq and Masood (2001) روابط هیدرولیکی سازه آویزه‌ای (میله آویزه‌ای) مستطیلی باریک را برای محاسبه سرعت متوسط جریان در کانال‌های با مقاطع مستطیلی و ذوزنقه‌ای با شیب جداره ۱، ۱/۵ و۲ افقی به یک عمودی به دست آوردند. Mahmoudi and farhoudi (2018) دریچه‌های مربعی و دایره‌ای آویخته در انتهای کانال‌های دایره‌ای افقی روباز را به صورت آزمایشگاهی و نظری مورد مطالعه قرار دادند.

www.SID.ir

Archive of SID

دریچه آویخته

دریچه آویخته متشکل از یک ورقه‌ی فلزی است که توسط یک مفصل به نقطه‌ای لولا می‌گردد. دریچه می‌تواند حول محور لولا تحت تأثیر گشتاورهای وارده، دوران کند. با اضافه و کم کردن وزنه‌های تعادل در روی بدنه دریچه می‌توان تعادل مورد نظر را کنترل نمود. این سازه به لحاظ ویژگی‌های سازه‌ای، قابلیت اندازه-گیری جریان در شرایط آزاد و مستغرق در کانال‌های روباز با مقاطع مستطیلی و یا فاضلاب‌روهای با مقاطع دایره‌ای (شکل ۳) را به‌صورت خودکار در دامنه وسیعی از مقادیر بده جریان دارد.

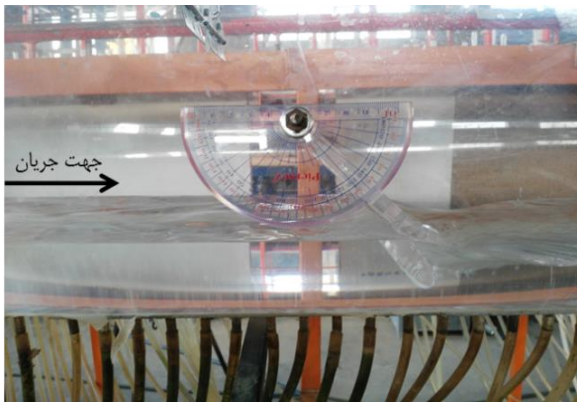
شکل ۳- نمونه دریچه آویخته با مقطع دایره‌ای در انتهای یک مجرا

Vlugter (1940) مطالعات خود را بر روی دریچه‌های آویخته در کانال‌های مستطیلی انجام داد که بعدها توسط De Graaff (1998) ادامه پیدا کرد. او تعداد آزمایش‌های انجام شده توسط Vlugter (1940) در مقیاس کوچک را افزایش و همچنین مدل دریچه را توسعه داد. De Graaff (1998) در کار خود از روش کلاسیک دبی جریان آزاد روزنه استفاده نموده و رابطه تعیین دبی دریچه آویخته را پیشنهاد کرد. بر اساس نظر De Graaff (1998) روش به کار گرفته شده تا ۶۰٪ دبی حداکثر دارای جواب قابل قبول بوده و برای دبی‌های بیشتر، روش قابل اعتمادی نیست. Burrows et al. (1997) یک سامانه کم هزینه را در انگلستان روی دهانه‌های رودخانه تامز ایجاد و توسعه دادند. آن‌ها با نظارت و ثبت درجه بازشدگی دریچه آویخته توانستند هیدروگراف سیل و میزان جریان وارد شده به رودخانه را تخمین بزنند. آنان با استفاده از اصل پیوستگی و مومنتم و با در نظر گرفتن فرض‌هایی ازجمله افقی بودن جریان در بالادست دریچه و توزیع فشار هیدرواستاتیک، ضریب دبی دریچه آویخته را در انتهای کانال استخراج کردند. نتایج آنان نشان می‌دهد که خطای تخمین دبی با توجه به جنس‌های مختلف دریچه برابر ۲۰±٪ و ۳۰±٪ خواهد بود که مقدار قابل توجهی است. Raemy and Hager (1998) مدلی با جزئیات کامل از دریچه آویخته همراه با وزنه تعادل را معرفی کردند. همچنین معادله‌ای را برای تخمین نیروی وارده از جریان به دریچه، که تابعی از بازشدگی دریچه است را پیشنهاد دادند و نتایج به دست آمده خود را با استفاده از معادله مومنتم مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در نهایت اظهار داشتند که "چون تجزیه و تحلیل توزیع فشار قابل ارائه نیست، نمی‌توان لحظه باز شدن دریچه را تعیین نمود." آن‌ها در نهایت برای به دست آوردن لحظه باز شدن دریچه از روابط تجربی استفاده کردند. Replogle and Wahlin (2003) تحقیقی را بر روی دریچه آویخته با مقطع دایره‌ای که در انتهای زهکش‌ها نصب شده، انجام دادند و به این نتیجه رسیدند زمانی که وزن دریچه کم و سرعت جریان زیاد باشد افت انرژی ایجاد شده توسط دریچه به صفر میل می‌کند، و زمانی که وزن دریچه بیشتر و سرعت جریان کمتر باشد میزان افت انرژی بیشتر می‌شود. تحقیقات صورت گرفته حاکی از آن است که افت انرژی در دریچه آویخته نسبت به دیگر سازه‌های هیدرولیکی، که کاربرد یکسانی با این سازه دارند کمتر است.

بررسی منابع و مراجع مختلف نشان می‌دهد که محققین بیشتر مطالعات خود را در مورد دریچه‌های آویخته در انتهای کانال، و سازه‌های آویزه‌ای که ابعاد سازه نسبت به ابعاد کانال کوچک‌تر است (پره مستطیلی یا میله)، انجام داده‌اند. تاکنون بر روی صفحه آویخته لولایی نیم‌دایره‌ای در شرایطی که در عرض کانال دایره‌ای نصب شده باشد، مطالعه‌ای انجام نشده است، و معادلاتی برای دبی خروجی از آن ارائه نشده است، که موضوع تحقیق حاضر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش صفحات آویخته در دو حالت شیاردار و بدون شیار مورد بررسی قرار گرفته‌اند. سازه آویخته مورد نظر از یک صفحه که در داخل جریان آب قرار گرفته تشکیل شده است و بر روی یک محور افقی (عمود بر جهت جریان) در امتداد مقطع اندازه-گیری کانال مطابق شکل (۴) نصب می‌شود.



شکل ۴- صفحه آویخته نصب شده در طول یک کانال نیم‌دایره‌ای

www.SID.ir

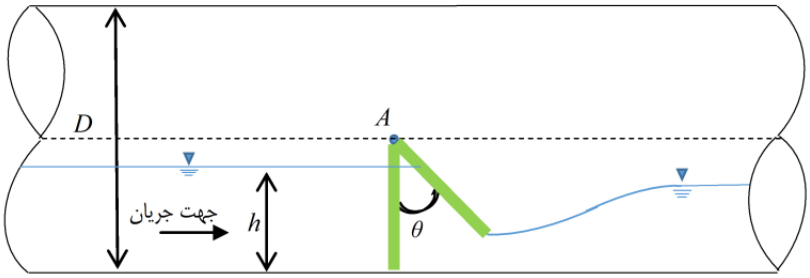
Archive of SID

برای تحلیل صفحه‌های آویخته شیاردار، ابتدا باید میزان شیاردار بودن صفحه مشخص گردد، که در این تحقیق این پارامتر به صورت تخلخل کل صفحه، به صورت زیر معرفی شده است.

$$n = \frac{A_V}{A} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

که در آن A_V برابر سطح منافذ صفحه و A مساحت کل صفحه می‌باشد. مقدار تخلخل کل صفحه‌های آویخته بدون شیار، برابر صفر می‌باشد.

عوامل مؤثر بر بده جریان عبوری از صفحه آویخته در شرایط جریان آزاد، عمق بالادست صفحه (h)، زاویه انحراف صفحه (θ) و تخلخل کل صفحه (n) می‌باشند. نمایی از سازه در شکل (۵) نشان داده شده است. صفحه آویخته در نقطه A لولا شده است.

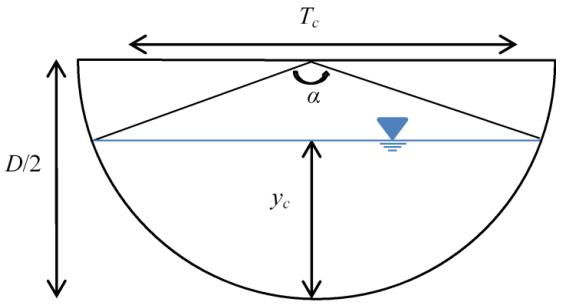


شکل ۵- نمای کلی از صفحه آویخته در طول یک کانال نیم‌دایره‌ای

برای محاسبه عمق بحرانی از معادله (۲) استفاده می‌شود:

$$Q^2 T_c = g A_c^3 \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

در این معادله، T_c، عرض سطح آزاد آب، g، شتاب گرانش، A_c، مساحت مربوط به عمق بحرانی و Q، دبی جریان است. برای تعیین عمق بحرانی یک کانال دایره‌ای با استفاده از معادله فوق، نیاز به روش‌های آزمون و خطا است. برای ارائه یک معادله ساده و صریح برآورد عمق بحرانی و دبی بدون بعد نظری در یک کانال نیم‌دایره‌ای، نیاز به روابط محاسبه سطح مقطع و عرض سطح آزاد آب برای قطعه‌ای از نیم‌دایره با عمق بحرانی مطابق شکل (۶) است. روابط مورد نظر عبارت‌اند از:



شکل ۶- نمایی از مقطع نیم‌دایره

(رابطه ۳)

$$T_c = 2D\sqrt{\eta_c(1-\eta_c)}$$

(رابطه ۴)

$$A_c = 0.25D^2[\cos^{-1}(1-2\eta_c) + 2(2\eta_c - 1)\sqrt{\eta_c(1-\eta_c)}]$$

در این روابط $\eta_c = y_c / D$ عمق بحرانی بدون بعد (نسبت عمق بحرانی به قطر کانال)، T_c عرض سطح آزاد آب و A_c سطح مقطع جریان آب در عمق بحرانی می‌باشد.

با استفاده از رابطه کلی و ضمنی محاسبه عمق بحرانی (رابطه ۲) و جایگذاری روابط (۳) و (۴) در این رابطه، می‌توان برای محاسبه عمق بحرانی بی‌بعد و دبی بی‌بعد در یک کانال نیم‌دایره‌ای، روابط صریح زیر را به ترتیب ارائه داد، که بیشینه خطای آن‌ها نسبت به معادله کلی (۲) ناچیز و برابر ۰/۰۳ درصد است.

$$\eta_c = 0.958\frac{\sqrt{Q_*}}{1-0.1\sqrt{Q_*}} \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

$$Q_* = \frac{\eta_c^2}{(0.958+0.1\eta_c)^2} \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

در روابط فوق $Q_* = Q/(g D^5)$ می‌باشد. بر اساس رابطه (۶)، اگر عمق بحرانی بی‌بعد در کانال دایره‌ای مشخص باشد می‌توان بده بی‌بعد و در نتیجه بده جریان را تخمین زد. در تحقیق حاضر بر اساس تحلیل داده‌های حاصل از آزمایش (تعداد ۲۵۴ آزمایش)، رابطه‌ای مناسب (رابطه ۷) برای محاسبه عمق بحرانی بی‌بعد بر حسب پارامترهای مؤثر بر جریان عبوری از صفحه‌های آویخته (عمق بالادست کانال، h، زاویه انحراف صفحه، θ، و تخلخل کل صفحه، n) ارائه شده است.

تجهیزات آزمایشگاهی و نحوه انجام آزمایش‌ها

وسیله اندازه‌گیری دبی در این تحقیق از یک صفحه نیم‌دایره‌ای که در داخل جریان آب قرار گرفته تشکیل شده است. این صفحه بر روی یک محور افقی در امتداد عمود بر جهت جریان نصب می‌شود. در دو انتهای این محور، دو عدد مهره و واشر قرار دارد،

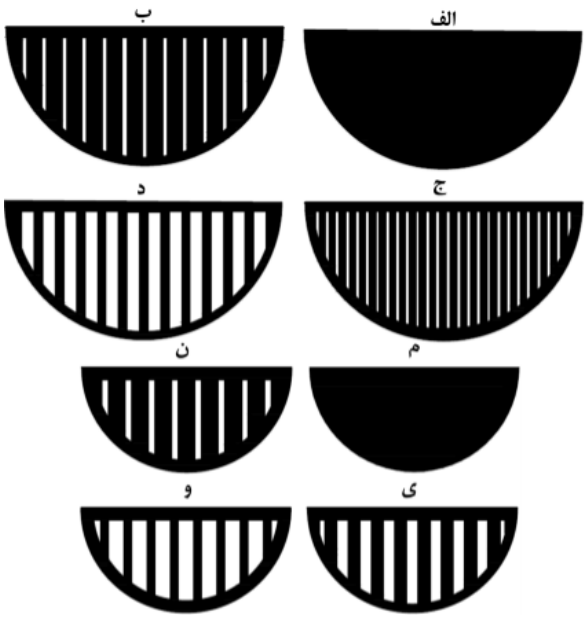
www.SID.ir

Archive of SID

تا محور افقی را به کانال مهار کند. آزمایش‌ها در دو فلوم دایره‌ای با قطرهای ۲۰ و ۳۰ سانتی‌متری انجام شده است. مطابق شکل (۷) نقاله‌ای توسط یکی از مهره‌ها که محور افقی را مهار می‌کند، در حالتی قرار داده شده است که بتوان زاویه انحراف سازه را با کمترین خطا تعیین کرد. محور افقی بالای دریچه آویخته که به عنوان لولا عمل می‌کند، میله‌ای با مقطع عرضی دایره‌ای به طول‌های ۲۲ و ۳۳ سانتیمتری (متناسب با قطر کانال) و به قطر ۰/۵ سانتیمتری است که به‌وسیله مهره و واشر به فلوم متصل شده‌اند. بر روی سازه، پیچ‌های سَرگِرد (حلقوی) طوری نصب شد که به‌راحتی محور افقی از این پیچ‌ها رد شود، و اصطکاک حداقل باشد.

شکل ۷- نحوه قرارگیری محور افقی صفحه آویخته در طول کانال دایره‌ای

صفحه‌های آویخته به صورت نیم‌دایره‌ای شکل از جنس پلکسی گلاس شفاف به قطرهای ۱۸ و ۲۷/۵ سانتیمتری ساخته شدند که به ترتیب برای کانال‌های به قطر اسمی ۲۰ و ۳۰ سانتیمتری مورد استفاده قرار گرفتند. به منظور بررسی میزان اثر تخلخل صفحه‌ها بر افت جریان، هشت نوع صفحه که هر حالت آن دارای چهار ضخامت به ضخامت‌های ۶، ۸، ۱۰ و ۱۴ میلی‌متر بود، بررسی شد. در نهایت ۳۲ صفحه با وزن‌های مختلف مطابق شکل (۸) و جدول (۱) مورد آزمایش و بررسی قرار گرفتند.



شکل ۸- صفحه‌های آویخته مختلف با میزان شیاردار بودن (تخلخل) متفاوت برای دو قطر ۲۰ و۳۰ سانتیمتری

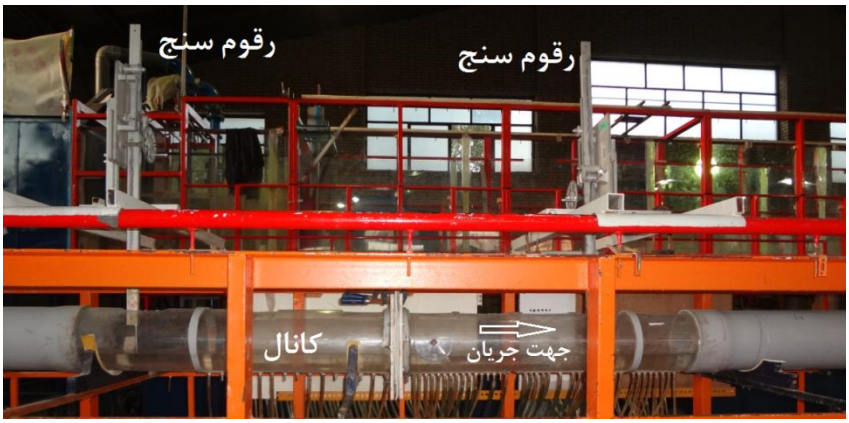
جدول ۱- وزن صفحه‌های آویخته مختلف با میزان تخلخل متفاوت

قطر (سانتیمتر)	ضخامت (میلی‌متر)	شکل	تخلخل کل	وزن (گرم)	قطر (سانتیمتر)	ضخامت (میلی‌متر)	شکل	تخلخل کل	وزن (گرم)
۳۰	۶	الف	۰	۲۰۸/۷۴	۲۰	۶	م	۰	۸۴/۸
۳۰	۸	الف	۰	۲۷۲/۲۵	۲۰	۸	م	۰	۱۱۴/۳۷
۳۰	۱۰	الف	۰	۳۳۵/۴۵	۲۰	۱۰	م	۰	۱۴۷/۷۶
۳۰	۱۴	الف	۰	۴۰۸/۹۹	۲۰	۱۴	م	۰	۱۹۹/۱۷
۳۰	۶	ب	۰/۲۴۴	۱۵۸/۱۹	۲۰	۶	ن	۰/۲۰۲	۶۷/۹۱
۳۰	۸	ب	۰/۲۴۴	۲۰۶/۶۵	۲۰	۸	ن	۰/۲۰۲	۹۰/۷۵
۳۰	۱۰	ب	۰/۲۴۴	۲۴۲	۲۰	۱۰	ن	۰/۲۰۲	۱۱۵/۸
۳۰	۱۴	ب	۰/۲۴۴	۳۶۴/۸۴	۲۰	۱۴	ن	۰/۲۰۲	۱۵۸/۶۶
۳۰	۶	ج	۰/۳۹۶	۱۲۴/۶	۲۰	۶	ی	۰/۳۵۵	۵۵/۳۲
۳۰	۸	ج	۰/۳۹۶	۱۵۷/۴	۲۰	۸	ی	۰/۳۵۵	۷۲/۱۶
۳۰	۱۰	ج	۰/۳۹۶	۱۹۸/۲	۲۰	۱۰	ی	۰/۳۵۵	۹۲/۵۴
۳۰	۱۴	ج	۰/۳۹۶	۲۸۲	۲۰	۱۴	ی	۰/۳۵۵	۱۲۷/۴۸
۳۰	۶	د	۰/۵۴۳	۹۴/۸۵	۲۰	۶	و	۰/۴۶۲	۴۷/۵۸
۳۰	۸	د	۰/۵۴۳	۱۲۲/۲۳	۲۰	۸	و	۰/۴۶۲	۶۰/۴۲
۳۰	۱۰	د	۰/۵۴۳	۱۵۲/۱۶	۲۰	۱۰	و	۰/۴۶۲	۷۷/۳
۳۰	۱۴	د	۰/۵۴۳	۲۱۷/۰۸	۲۰	۱۴	و	۰/۴۶۲	۱۰۸

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه آزمایشگاهی مورد نظر در آزمایشگاه مرکزی گروه آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران واقع است و شامل اجزای اصلی سامانه تأمین آب، سامانه اندازه‌گیری بده جریان، کانال آزمایشگاهی و صفحه‌های آویخته است. در این تحقیق به منظور بررسی تأثیر قطر کانال بر جریان عبوری از صفحه‌ی آویخته، دو قطر مورد بررسی قرار گرفت. برای مشاهده جریان قبل و بعد از سازه، کانال از جنس پلکسی گلاس انتخاب شد و برای افزایش طول کانال به منظور توسعه جریان عبوری، از لوله پلیکا استفاده گردید. طول کانال ۵/۷ متر در نظر گرفته شد، ۱/۹ متر ابتدایی از جنس پلیکا، دو متر بعد از آن از جنس پلکسی گلس و بقیه طول کانال نیز از جنس پلیکا می‌باشد. با توجه به حداکثر بده قابل تأمین توسط سامانه جریان، قطرهای موجود در بازار و مسائل اقتصادی تحقیق، دو قطر اسمی ۲۰۰ و ۳۰۰ میلی‌متر انتخاب شد و دو کانال آزمایشی با ابعاد طولی ذکر شده به‌طور مشابه ساخته شد. برای اندازه‌گیری ارتفاع آب در بالادست صفحه آویخته از یک عدد عمق سنج ساخت شرکت نیرپیک مطابق با شکل(۹) استفاده شد. این دستگاه ارتفاع آب را با دقت ۰/۱ میلی‌متر اندازه‌گیری می‌کند.



شکل۹- محل قرارگیری عمق سنج‌ها در طول کانال دایره‌ای

بعد از ساخت و نصب صفحه آویخته بر روی فلوم‌های آزمایشگاهی، برای اندازه‌گیری عمق جریان در بالادست به فاصله ۹۰ سانتیمتر یک عدد عمق سنج مطابق با شکل(۹) نصب گردید. مراحل انجام آزمایش‌ها به ترتیب زیر بود:

به وسیله شیرفلکه پمپ، حداقل جریانی که موجب انحراف صفحه آویخته می‌شد، در فلوم برقرار شد.

- ارتفاع آب در بالادست و پایین‌دست صفحه آویخته قرائت شد.
- ارتفاع آب روی سرریز مثلثی واقع در ابتدای فلوم برای اندازه‌گیری دبی قرائت شد.

با استفاده از شیرفلکه پمپ، دبی جریان در مقادیر مختلف تنظیم و مراحل فوق برای دبی‌های دیگر تکرار شد.

در هر آزمایش چهار کمیت زیر قرائت و ثبت شد:

- زاویه انحراف صفحه‌های آویخته‌ی شیاردار و بدون شیار
- ارتفاع آب در بالادست صفحه
- ارتفاع آب در پایین‌دست صفحه
- ارتفاع آب روی سرریز مثلثی واقع در ابتدای فلوم

در این تحقیق، محدوده دبی از یک تا ۱۸ لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. این محدوده بر اساس میزان ظرفیت کانالها برای انجام آزمایش، به ۱۰ قسمت برای کانال با قطر ۳۰ سانتیمتری و پنج قسمت برای کانال دایره‌ای با قطر ۲۰ سانتیمتری تقسیم شد. ابتدا از دبی کم شروع کرده و کمیت‌های مورد نظر قرائت شد، سپس دبی افزایش می‌یافت تا به حداکثر مقدار آن برسد. در این تحقیق در مجموع تعداد ۲۵۴ آزمایش انجام شد، که ۹۲ مورد از آن‌ها مربوط به کانال دایره‌ای به قطر ۲۰ سانتیمتر و تعداد ۱۶۲ مورد از آن‌ها در کانال دایره‌ای به قطر ۳۰ سانتیمتری بود.

نتایج و بحث

در این تحقیق، با جمع‌آوری داده‌های آزمایشگاهی، معادلاتی برای تخمین بده جریان از صفحه آویخته شیاردار و بدون شیار در یک کانال افقی روباز با سطح مقطع نیم‌دایره‌ای برای حالت جریان آزاد استخراج و مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور ارائه رابطه‌ای مناسب برای تخمین بده سازه مورد نظر، صفحه‌های آویخته بدون شیار (تخلخل کل برابر صفر) و شیاردار به صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفتند. روش ارائه شده در این تحقیق، یک روش ساده برای تخمین دبی بر پایه عمق بحرانی است. در این روش، تخمین عمق بحرانی با استفاده از مشخصات جریان مانند عمق

www.SID.ir

Archive of SID

بالادست و مشخصات هندسی صفحه، تعیین و نهایتاً رابطه‌ای برای تخمین دبی جریان ارائه شد.

در تحقیق حاضر بر اساس تحلیل ابعادی و با توجه به پارامترهای مؤثر بر جریان عبوری از صفحه‌های آویخته (عمق بالادست کانال، h، زاویه انحراف صفحه، θ، برحسب رادیان، قطر لوله،D، جرم مخصوص آب،ρ، لزجت دینامیکی آب،μ، شتاب ثقل،g، و تخلخل کل صفحه، n)، عمق بحرانی بی‌بعد به شکل تابع زیر قابل بیان خواهد بود:

$$\eta_c = F\left(\theta, n, \frac{h}{D}, \mathrm{Re} = \frac{\rho D\sqrt{gh}}{\mu}\right) \qquad \text{(رابطه ۷)}$$

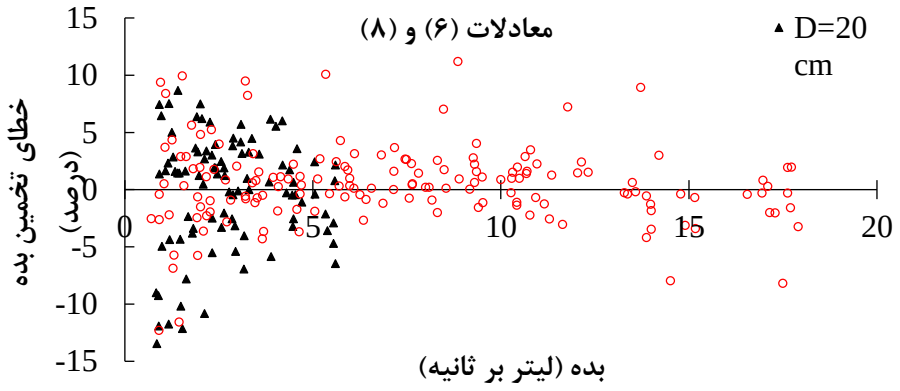
در این رابطه F نماد تابع و Re عدد رینولدز می‌باشد (برای آزمایش‌های تحقیق حاضر $\mu/\rho=1.15\times10^{-6}$ m^2/s). زاویه انحراف صفحه (که اندازه‌گیری آن بسیار ساده است) تابعی از وزن صفحه است؛ بنابراین نیازی به در نظر گرفتن وزن صفحه نیست.

در تحقیق حاضر بر اساس داده‌های آزمایشگاهی رابطه برازشی زیر برای تخمین عمق بحرانی بی‌بعد ارائه شده است.

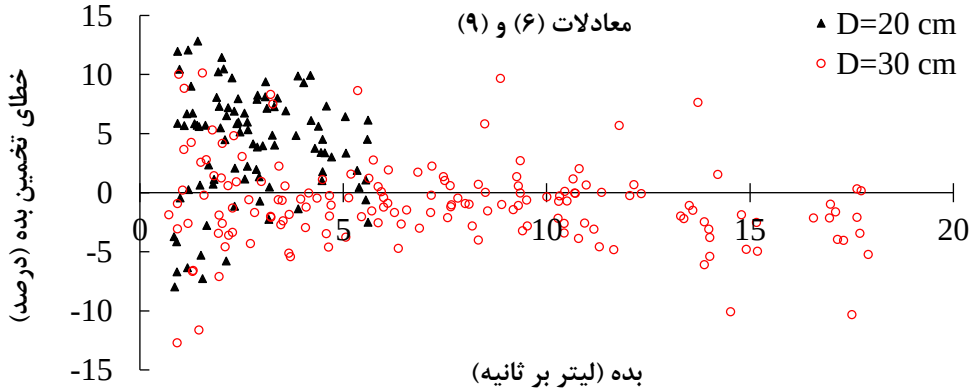
$$\eta_c = \sqrt{1.644\left(\frac{h}{D}\right)^{1.88}\theta^{0.764}\,\mathrm{Re}^{-0.1} + 0.01n^3} \qquad \text{(رابطه ۸)}$$

در استخراج ضرایب معادله (۸) از میانگین قدر مطلق خطای نسبی بده (خطای بده تخمینی از رابطه (۶) نسبت به داده‌های آزمایشگاهی) به عنوان تابع هدف استفاده شده است. در این روش نیازی به تخمین ضریب دبی صفحه آویخته (که جریان از کناره‌ها و شیارهای آن عبور می‌کند) نمی‌باشد. در این روش، ابتدا عمق بحرانی تخمینی برای صفحه‌های آویخته شیاردار و بدون شیار در کانال نیم‌دایره‌ای با استفاده از رابطه (۸) محاسبه شده و با استفاده از این عمق دبی بدون بعد از رابطه (۶) برآورد می‌گردد. خطای متوسط تخمینی دبی از رابطه عمق بحرانی فوق برای ۹۲ داده از کانال نیم‌دایره‌ای با قطر ۲۰ سانتی‌متر (با حداکثر بده ۵/۶ لیتر بر ثانیه) برابر ۳/۹۴ درصد و برای ۱۶۲ داده کانال نیم‌دایره‌ای با قطر ۳۰ سانتی‌متری (با حداکثر بده ۱۷/۹ لیتر بر ثانیه) برابر ۲/۴۴ درصد و برای کل داده‌ها (۲۵۴ داده)، ۳ درصد است. در

شکل ۱۰(۱۰) توزیع خطای حاصل از تخمین دبی با استفاده از رابطه (۸) نسبت به داده‌های آزمایشگاهی تحقیق حاضر برای هر دو قطر کانال نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که روابط (۶) و (۸) در تخمین بده جریان، حداکثر خطایی برابر ۱۳٪/۵ خواهند داشت.



شکل ۱۰- توزیع خطای تخمین دبی برای صفحه‌های آویخته با استفاده از روابط (۶) و (۸)



شکل ۱۱- توزیع خطای تخمین دبی برای صفحه‌های آویخته با استفاده از روابط (۶) و (۹)

www.SID.ir

Archive of SID

در صورتی که از اثرات لزجت صرف‌نظر شود، بر اساس داده‌های آزمایشگاهی تحقیق حاضر رابطه برازشی زیر برای تخمین عمق بحرانی بی‌بعد حاصل می‌شود.

$$\eta_c = \sqrt{0.445\left(\frac{h}{D}\right)^{1.8}\theta^{0.8} + 0.01n^3} \qquad \text{(رابطه ۹)}$$

خطای متوسط تخمینی دبی از رابطه عمق بحرانی (۹) برای کانال نیم‌دایره‌ای با قطر ۲۰ سانتی‌متر برابر ۵/۳۲ درصد و برای کانال نیم‌دایره‌ای با قطر ۳۰ سانتی‌متری برابر ۲/۷۲ درصد و برای کل داده‌ها (۲۵۴ داده)، ۳/۶ درصد است. در شکل ۱۰(۱۱) توزیع خطای حاصل از تخمین دبی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی تحقیق حاضر برای هر دو قطر کانال نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد که روابط (۶) و (۹) در تخمین بده جریان، حداکثر خطایی برابر ۱۲/۸درصد خواهند داشت.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش به منظور برآورد میزان بده عبوری از کانال‌های دایره‌ای رو باز افقی، مدل‌هایی از صفحات آویخته شیاردار و بدون شیار نیم‌دایره‌ای ساخته شد و آزمایشاتی بر روی آن‌ها انجام گرفت. در ادامه به منظور ارائه رابطه آبگذری سازه مورد نظر که تابعی از مشخصات هیدرولیکی جریان و مشخصات هندسی سازه می‌باشد، رابطه‌ای صریح برای تخمین عمق بحرانی کانال‌های دایره‌ای ارائه شد. سپس با استفاده از روش بده عمق بحرانی بدون بعد، رابطه مورد انتظار استخراج و با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی (۲۵۴ سری داده) واسنجی شد که متوسط خطای برآورد آن ۳/۶ درصد در صورت صرف‌نظر کردن از اثرات لزجت و ۳ درصد در صورت لحاظ کردن اثرات لزجت می‌باشد. با توجه به پایین بودن متوسط و بیشینه خطای روابط ارائه شده برای صفحه نیم‌دایره‌ای آویخته در امتداد کانال دایره‌ای، این سازه به عنوان یک سازه اندازه‌گیری ساده با دقت مناسب در برآورد بده در کانال-های دایره‌ای (کانالت‌ها) توصیه می‌شود.

REFERENCES

Burrows, R. Ockleston, G. A. and Ali, K. H. M. (1997). Flow Estimation from Flap-Gate Monitoring. *Water and Environment Journal*, 11(5), 346-355.

De Graaf, B. J. A., (1998). Stability analysis of the Vlugter gate, an investigation of an automatic upstream control structure. M.Sc. Thesis, *Delft University of Technology*, Holland.

Kraatz, D. B. and Mahajan, I. K. (1975). Small Hydraulic Structures–Irrigation and Drainage. *Food and Agriculture Organization FAO*, Rome.

Mahmoudi, B., farhoudi, J. (2018). 'Experimental Studies of flow from Flap Gate in circular open channel at free flow condition', Iranian Journal of Soil and Water Research, 49(1), pp. 159-170. doi: 10.22059/ijswr.2018.231957.667672 (In Farsi)

Monaem, M. J., and Shirin Zadeh, Gh. (2001). Design and Study of Hydraulic Pendant Structures for Measuring Dubai, *2nd International Conference on Hydraulic Structures*, Vol. 2. (In Farsi)

Monem, M. J. Samani, J. M. V., and Mehrabi, E. (2003). Derivation and verification of Hydraulic Relation of Delflection-Meter for Discharge Measurement in Irrigation Canals. *Journal of Agricultural Engineering Research, 4(14)*. (In Farsi)

Raemy, F., and Hager, W. H. (1998). Hydraulic level control by hinged flap gate. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Maritime and Energy*, 130(2), 95-103.

Rahimi, H., and Khaledi, H. (2000). The water crisis in the world and Iran and ways to deal with it. In First National Conference on Dehydration and Drought Management. *Agricultural Jihad Organization of Kerman Province.* (In Farsi)

Replogle, J. A. (1992). Irrigation Flowmeters Revisited: A modern Look. *International Summer Meeting of American Society of Agricultural Engineers (ASAE)*, St. Joseph, Mich., Paper No. 922027.

Replogle, J. A., and Wahlin, B. T. (2003). Head loss characteristics of flap gates at the ends of drain pipes. *Transactions of the ASAE*, 46(4), 1077.

Talman, A. J. (1983). A design for a recording venturi and lifting vane flowmeter. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 28(5), 463-467.

Tariq, A. U. R., and Masood, M. (2001). Deflecting velocity rod for flow measurements in smallchannels. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 127(5), 311-317.

Vlugter, H. (1940). Over zelfwerkende peilregelaars bij den waterstaat in Nederlandsch-Indie. *De Ingenieur in Nederlandsch-Indie*, 6, 84-93.

www.SID.ir