



خصوصیات گرداب در بالادست دریچه‌ی کشویی در کانال‌های مستطیلی همگرا

مسعود یوسفیان^۱، محمدکریم بیرامی^۲ و محمدرضا چمنی^۳

۱- کارشناس ارشد مهندسی عمران - آب، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

آدرس پست الکترونیکی مولف رابط: masood_yoosefian@yahoo.com

خلاصه

از دریچه‌های کشویی به دلیل سهولت در ساخت و بهره‌برداری و به منظور قطع و وصل جریان، تنظیم دبی و یا تنظیم سطح آب، استفاده‌ی وسیعی در کارهای آبی می‌شود. در بسیاری از سازه‌های آبی، از جمله دریچه‌های کشویی، تشکیل گرداب در قسمت‌های مختلف سازه، پدیده‌ای مخرب و خطرناک است. تاکنون چندین تحقیق بر روی خصوصیات گرداب‌های بالادست دریچه در حالتی که عرض کانال پایین‌دست و بالادست دریچه یکسان است انجام شده است. در بسیاری از موارد عملی عرض کانال پایین‌دست دریچه کمتر از عرض کانال بالادست دریچه است که تاکنون تحقیقی در این زمینه انجام نشده است. در تحقیق حاضر با استفاده از ۱۰۳ داده‌ی آزمایشگاهی برداشت شده از ۳ مدل آزمایشگاهی با عرض ۳۰۰، ۲۴۰ و ۲۰۰ میلیمتر در پایین‌دست دریچه و ۴۰۵ میلیمتر در بالادست دریچه، خصوصیات ظاهری گرداب، شرایط تشکیل و یا عدم تشکیل گرداب و همچنین محل تشکیل گرداب‌ها مورد بررسی قرار گرفته و روابط بدون بعدی برای تخمین محل ایجاد این گرداب‌ها ارائه گردیده است.

کلمات کلیدی: آبگیر، دریچه‌ی کشویی، گرداب.

مقدمه

عدم طراحی دقیق سازه‌های هیدرولیکی می‌تواند مشکلات بسیار زیادی را در استفاده از آن‌ها به دنبال داشته باشد. یکی از این مشکلات وقوع گرداب‌های قوی در محل ورود جریان به سازه است. گرداب نتیجه‌ی بقای مومنتم زاویه‌ای در محل انقباض جریان است که در این شرایط سرعت زاویه‌ای افزایش یافته و مقطع جریان کاهش می‌یابد. بنابراین پدیده‌ی گرداب در اثر اندرکنش هندسه‌ی سازه‌ی خروجی، سرعت جریان، نیروی ثقل، حرکت وضعی زمین و خصوصیات سیال نظیر لزجت و کشش سطحی شکل می‌گیرد.

عوامل زیادی در شکل‌گیری گرداب مؤثرند. از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- نامتقارن بودن شرایط در میدان جریان نزدیک شونده به سازه

- نامنظم بودن هندسه‌ی سازه

- عدم کفایت عمق استغراق

- جدایی جریان و شکل‌گیری گرداب‌های کوچک

- تغییر ناگهانی در جهت جریان

- وجود مانع بر سر راه جریان

- عوامل محیطی نظیر وزش باد و یا چرخش طبیعی زمین

۱- کارشناس ارشد عمران آب

۲- عضو هیأت علمی دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان

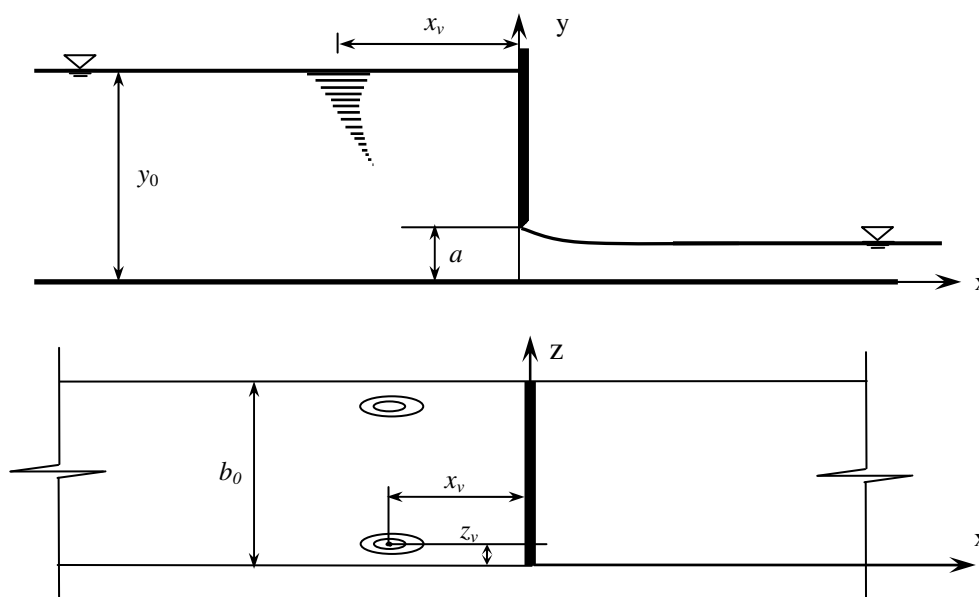
۳- عضو هیأت علمی دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان

وقوع گرداب تأثیرات خطرناک و مخربی نظیر کاهش بازدهی تأسیسات هیدرولیکی، ایجاد شرایط جریان غیر یکنواخت، ورود هوا به سیستم و ایجاد ارتعاش در سازه، سر و صدا، خوردگی و افزایش مشکلات عملیاتی به وسیله مکش هوا و مواد شناور روی سطح آب توسط گرداب‌های سطحی و افزایش ریسک وقوع کاپیتاسیون را به همراه دارد. به همین دلیل گرداب به عنوان پدیده ای نامطلوب، توجه طراحان را به خود معطوف ساخته و غالباً در پی حذف و یا کاهش اثرات این پدیده هستند. لیکن به دلیل شرایط بسیار متفاوت در طراحی‌ها و متغیرهای زیاد پدیده و پیچیدگی جریان‌های گردابی در سازه‌های هیدرولیکی، هنوز روش‌های مدون و کاملی برای مقابله با این پدیده ارائه نشده است. گرداب پدیده‌ای پیچیده‌ای است که به آسانی و با روش‌های تحلیلی قابل بررسی نیست و به همین دلیل معمولاً از مدل‌های فیزیکی برای بررسی ماهیت این پدیده و ابزاری برای طراحی استفاده می‌شود. چون حذف کامل گرداب در یک سازه‌ی هیدرولیکی ممکن است غیر اقتصادی باشد در بسیاری از سازه‌ها تلاش می‌شود با کاهش قدرت گرداب اثرات زیان‌بار گرداب از بین برود [۱].

در بکارگیری پارامترهای بدون بعدی که برای بیان شکل‌گیری این پدیده مورد استفاده قرار می‌گیرند نظرات و تئوری‌های فراوانی وجود دارد. جین و همکاران (۱۹۷۸)، امفلت (۱۹۷۹) و ادرگاد (۱۹۸۶) تلاش‌های دامنه‌داری در این زمینه انجام دادند [۱]. انوار (۱۹۶۶) یکی از مؤثرترین آنالیزها را در این زمینه انجام داد [۲]. با بهره‌گیری از مبانی تحلیل‌های وی، معادلات حرکت بسط داده شد و کامل‌تر گردید.

یکی از عوامل مؤثر بر شکل‌گیری گرداب در یک سیستم آبگیری، عمق آب روی آبگیر است که به آن عمق استغراق گفته می‌شود. عمق استغراق بحرانی نیز با حداقل عمق استغراق معرفی می‌گردد و در واقع عمقی از آب روی دهانه‌ی ورودی یک آبگیر است که اگر عمق آب از آن مقدار کمتر گردد، گرداب سطحی تشکیل می‌گردد. گردن (۱۹۷۰)، امفلت (۱۹۷۶) و انوار و همکاران (۱۹۷۷) روابطی را برای تخمین عمق بحرانی آبگیرهای افقی و چانگ (۱۹۷۹)، کناوس (۱۹۸۳)، گالیور (۱۹۸۷) و ییلدیریم و فیکرت (۱۹۹۶) روابطی را برای تخمین عمق استغراق بحرانی آبگیرهای قائم بدست آوردند [۱]. تحقیقات زیادی نیز به منظور پیدا کردن روش‌هایی برای تضعیف و یا حذف گرداب انجام شده است. انوار (۱۹۶۸) با طولانی کردن مسیر جریان از تشکیل گرداب جلوگیری کرد. جانسون (۱۹۷۲) برای از بین بردن گرداب از شبکه‌های فلزی در بالای آبگیر افقی استفاده نمود. ابلس (۱۹۷۹) از شبکه‌های آشغال‌گیر برای مقابله با این پدیده استفاده کرد [۱].

دریچه‌های کشویی نوعی آبگیر قائم محسوب می‌شوند که تحت فشار عمل می‌کنند. در بالادست دریچه‌ی کشویی و در نزدیکی دیواره‌های کانال دو گرداب تشکیل می‌شود، شکل (۱).



شکل ۱ - محل ایجاد گرداب‌ها در بالادست دریچه

در شکل (۱)، ارتفاع بازشدگی دریچه، b_0 عرض کانال بالادست دریچه، y_0 عمق آب در بالادست دریچه، x_v فاصله‌ی طولی و z_v فاصله‌ی عرضی گرداب از دریچه‌ی کشویی است.

رات و هیگر (۱۹۹۹) تحقیقات وسیعی بر روی خصوصیات جریان از زیر دریچه‌ی کشویی در حالتی که عرض کانال بالادست و پایین‌دست دریچه یکسان است انجام دادند [۳]. این محققین گرداب‌های بالادست دریچه را نیز مورد بررسی قرار دادند و روابط زیر را برای تخمین محل ایجاد گرداب‌ها بدست آوردند.

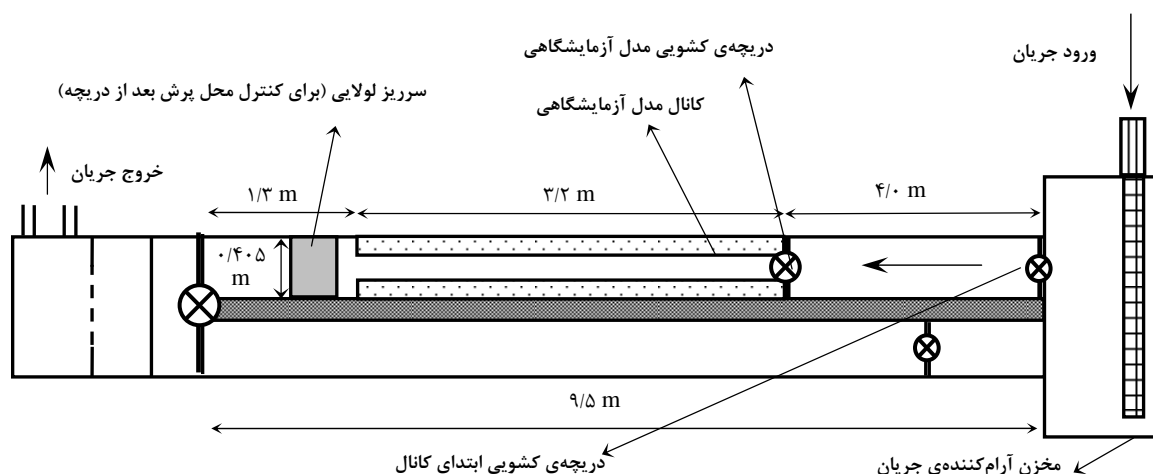
$$X_v = \frac{I}{2} A^{-0.75} \quad (۱)$$

$$Z_v = \frac{2}{3} \exp(-3\lambda) \quad (2)$$

که در آن $Z_v = z_v/a$, $X_v = x_v/a$ و $\lambda = a/b_0$ نسبت ارتفاع بازشدگی دریاچه به عمق آب در بالادست دریاچه (a/y_0) است. این محققین گرداب‌ها را براساس شکل ظاهری به ۶ دسته تقسیم کردند و نموداری برای مشخص نمودن نوع گرداب‌های بالادست دریاچه بر حسب مقدار A ارائه نمودند. در بسیاری از موارد عملی عرض کانال پایین‌دست دریاچه کمتر از عرض کانال بالادست دریاچه است. کاهش عرض کانال در پایین‌دست دریاچه باعث افزایش قدرت گرداب‌های بالادست دریاچه می‌شود که تاکنون تحقیقی در این زمینه انجام نشده است. در تحقیق حاضر با استفاده از ۳ مدل آزمایشگاهی، خصوصیات ظاهری گرداب‌ها، شرایط تشکیل و یا عدم تشکیل گرداب‌ها و همچنین محل تشکیل گرداب‌ها مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است.

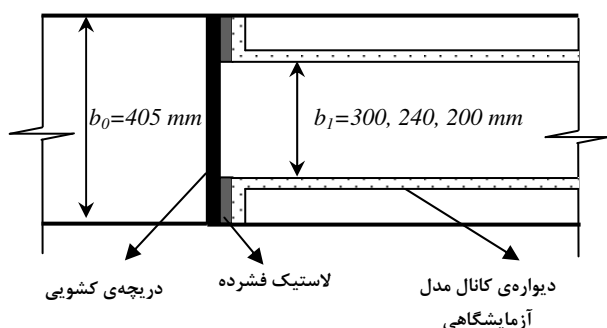
مدل آزمایشگاهی

کلیه آزمایش‌ها در کانال تحقیقاتی دانشکده عمران دانشگاه صنعتی اصفهان انجام گرفت که قسمت‌های مختلف این کانال تحقیقاتی در شکل (۲) مشاهده می‌شود. کانال اصلی تحقیقاتی به وسیله دیواره‌ای به دو کانال کوچکتر تقسیم شده است که آزمایش‌ها در کانال سمت راست انجام شد.

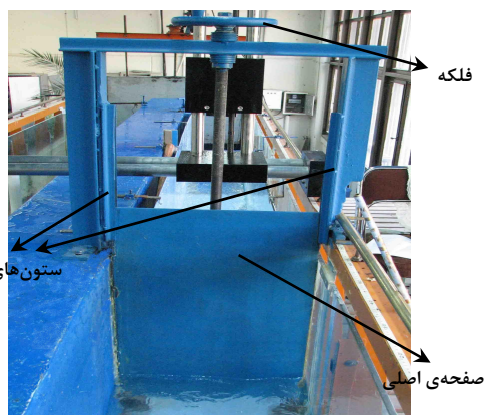


شکل ۲ - قسمت‌های مختلف کانال تحقیقاتی

دریاچه‌ی کشویی استفاده شده در تحقیق حاضر از جنس آهن و به ضخامت ۶ میلیمتر بود. برای جلوگیری از زنگ‌زدگی دریاچه، بر روی آن ۳ لایه رنگ زده شد. همچنین به منظور شکل‌گیری بهتر خطوط جریان لایه پایینی بالادست دریاچه تیز ساخته شد. در شکل (۳) قسمت‌های مختلف دریاچه‌ی مورد استفاده نشان داده شده است. در تحقیق حاضر ۱۰۳ داده‌ی آزمایشگاهی از ۳ مدل آزمایشگاهی با عرض ۲۴۰، ۳۰۰ و ۲۰۰ میلیمتر در پایین‌دست دریاچه (b_1) و ۴۰۵ میلیمتر در بالادست دریاچه (b_0) برداشت گردید، شکل (۴).



شکل ۴ - کانال مدل آزمایشگاهی



شکل ۳ - دریاچه‌ی کشویی مدل آزمایشگاهی

مواد و روش‌ها

در بررسی جریان پای دریچه‌ی کشویی در حالتی که عرض کانال بالادست دریچه بیشتر از کانال پایین‌دست دریچه است، علاوه بر پارامتر A ، پارامترهای دیگری که نشان‌دهنده‌ی تغییر عرض کانال پایین‌دست دریچه هستند، تعریف می‌شود. این پارامترها B و α نامیده شده و به صورت روابط زیر تعریف می‌شوند:

$$B = b_0 / b_1 \quad (3)$$

$$\alpha = \frac{a}{b_0 - b_1} \quad (4)$$

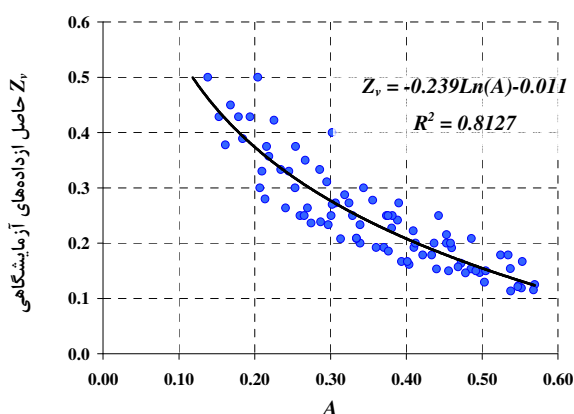
الف- تخمین محل ایجاد گرداب‌های بالادست دریچه

برای بدست آوردن روابطی بی بعد به منظور تخمین محل تشکیل گرداب‌ها، با توجه به شکل (۱)، پارامتر طولی محل تشکیل گرداب (X_v) و پارامتر عرضی محل تشکیل گرداب (Z_v) به صورت زیر تعریف می‌شوند:

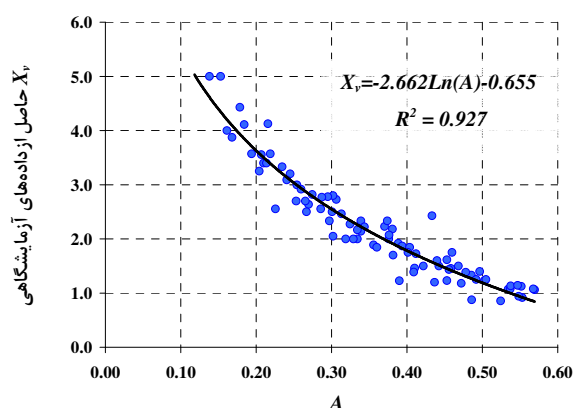
$$X_v = x_v / a \quad (5)$$

$$Z_v = z_v / a \quad (6)$$

در شکل‌های (۵-الف) و (۵-ب) مقادیر X_v و Z_v آزمایشگاهی بر حسب پارامتر A ترسیم گردیده‌اند.



(ب)



(الف)

شکل ۵ - مقادیر X_v و Z_v آزمایشگاهی بر حسب پارامتر A : الف) X_v ، ب) Z_v

پس از بررسی‌های انجام شده و با توجه به شکل‌های (۵-الف) و (۵-ب) و در نظر گرفتن پارامترهای A و B به عنوان پارامترهای مؤثر در تخمین X_v و پارامترهای A ، B و α به عنوان پارامترهای مؤثر در تخمین Z_v ، روابط زیر به منظور تخمین پارامترهای X_v و Z_v بدست می‌آید:

$$X_v = -2.662 \ln(A) - 0.655 \quad (7)$$

$$X_v = 0.469 A^{-1.220} B^{0.280} \quad (8)$$

$$Z_v = -0.239 \ln(A) - 0.011 \quad (9)$$

$$Z_v = 0.083 A^{-1.009} \alpha^{0.234} \quad (10)$$

$$Z_v = 0.131 A^{-0.848} B^{-0.639} \quad (11)$$

$$Z_v = 0.197 A^{-0.631} B^{-1.311} \alpha^{-0.482} \quad (12)$$

روابط (۸)، (۱۰)، (۱۱) و (۱۲) با محاسبه‌ی مقادیر X_v ، Z_v ، A ، B و α از داده‌های آزمایشگاهی و برازش چند متغیره‌ی غیر خطی این داده‌ها بدست آمده‌اند.

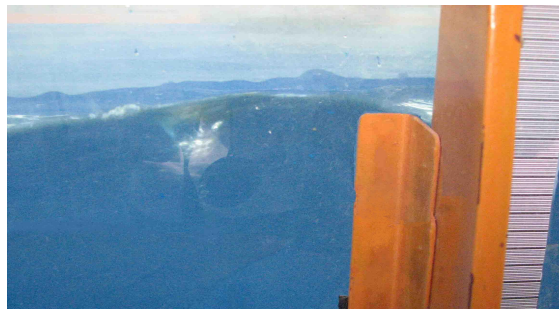
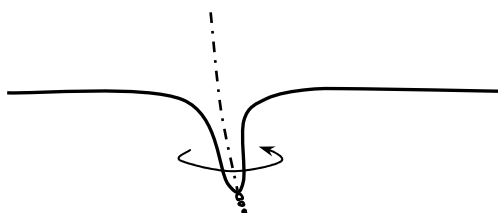
ب- خصوصیات ظاهری گرداب‌های بالادست دریچه

گرداب‌های مشاهده شده در بالادست دریچه‌ی کشویی را بر اساس شکل ظاهری می‌توان به سه گروه زیر تقسیم نمود:

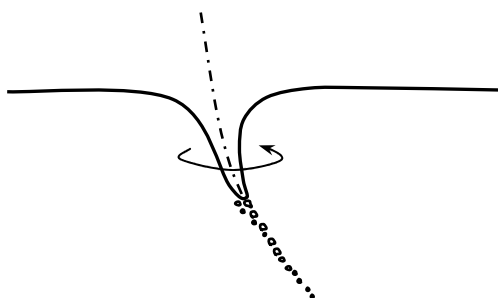
گرداب نوع ۱: گرداب در سطح آب تشکیل شده و حباب‌های هوا به داخل آب نفوذ نمی‌کنند، شکل (۶).

گرداب نوع ۲: حباب‌های هوا به صورت ناپیوسته به عمق آب نفوذ می‌کنند، شکل (۷).

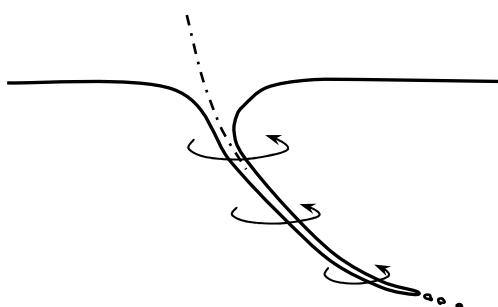
گرداب نوع ۳: لوله‌ای از هوا ایجاد شده و تا نزدیکی دریچه به داخل آب نفوذ می‌کند، شکل (۸).



شکل ۶- گرداب نوع ۱

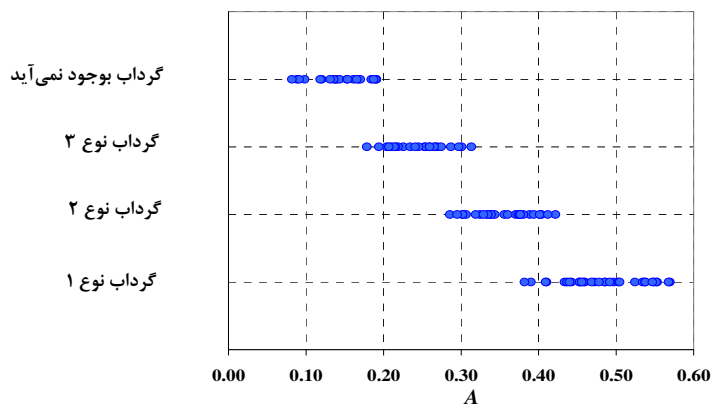


شکل ۷- گرداب نوع ۲



شکل ۸- گرداب نوع ۳

در شکل (۹) انواع گرداب‌های ایجاد شده بر حسب مقادیر مختلف A ، برای ۱۰۳ داده‌ی آزمایشگاهی نشان داده شده است.



شکل ۹- نوع گرداب بالادست دریچه‌ی کشویی بر حسب A

نتایج و بحث

با توجه به اینکه تاکنون تحقیقی مشابه تحقیق حاضر انجام نشده است، داده‌های آزمایشگاهی و یا میدانی دیگری به منظور سنجش صحت روابط ارائه شده در این تحقیق وجود ندارد. بنابراین تنها برای نشان دادن تطابق روابط ارائه شده در این تحقیق با اطلاعات آزمایشگاهی برداشت شده، دو پارامتر آماری میانگین خطای مطلق و بیشینه خطای مطلق که به صورت زیر تعریف می‌شوند، در تحلیل روابط بدست آمده استفاده می‌شود.

$$ME = \max \left(\left| \frac{M_i - S_i}{M_i} \right| \times 100 \right)_{i=1}^n \quad (13)$$

$$AVE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{M_i - S_i}{M_i} \right| \times 100 \quad (14)$$

که در آن، ME و AVE به ترتیب بیشینه خطای مطلق و میانگین خطای مطلق هستند. M_i و S_i به ترتیب مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر تخمین‌زده شده‌ی متغیر مورد نظر و n تعداد جفت نقاط اندازه‌گیری شده و تخمین‌زده شده است.

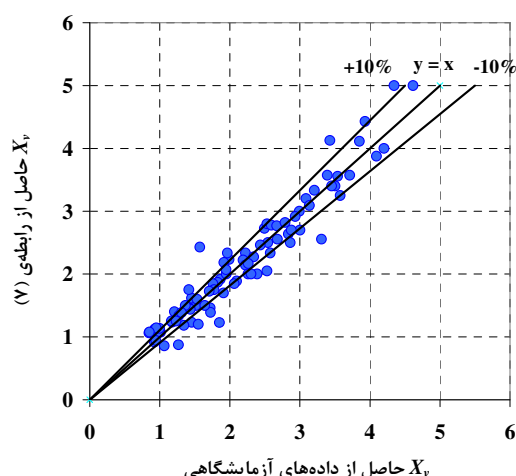
الف- تخمین محل ایجاد گرداب‌های بالادست دریچه

در جدول (۱) پارامترهای آماری محاسبه شده برای روابط بدست آمده به منظور محاسبه‌ی X_v نشان داده شده است.

جدول ۱- پارامترهای آماری محاسبه شده برای روابط بدست آمده برای محاسبه‌ی X_v

بیشینه خطای مطلق	میانگین خطای مطلق	R^2	رابطه	شماره‌ی رابطه
۵۰/۸۳٪	۹/۹۰٪	۰/۹۲۷	$X_v = -2.662 \ln(A) - 0.655$	(۷)
۴۵/۷۲٪	۹/۸۷٪	۰/۹۱۲	$X_v = 0.469 A^{-1.220} B^{0.280}$	(۸)

همان‌گونه که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، استفاده از پارامتر B تأثیر زیادی بر روی افزایش دقت محاسبه‌ی X_v ندارد. این موضوع نشان‌دهنده‌ی این مطلب است که تغییر عرض کانال تأثیر چندانی بر روی فاصله‌ی طولی گرداب تا دریچه ندارد. بنابراین رابطه‌ی (۷) به عنوان رابطه‌ی مناسب برای تخمین X_v در نظر گرفته می‌شود. در شکل (۱۰) تطابق مناسب X_v بدست آمده از رابطه‌ی (۷) با X_v بدست آمده از داده‌های آزمایشگاهی نشان داده شده است.



شکل ۱۰- مقایسه‌ی X_v حاصل از داده‌های آزمایشگاهی و X_v حاصل از رابطه‌ی (۷)

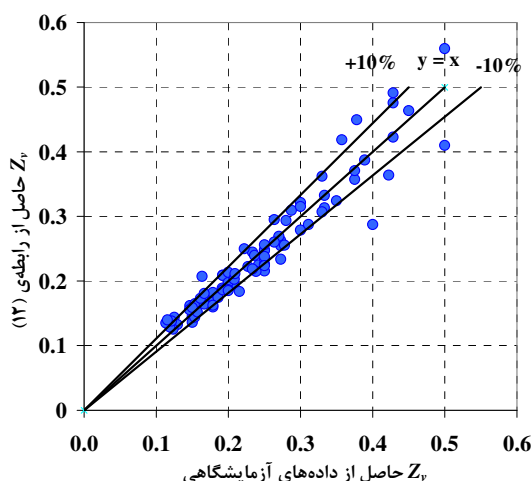


در جدول (۲) پارامترهای آماری محاسبه شده برای روابط بدست آمده به منظور محاسبه Z_v نشان داده شده است.

جدول ۲ - پارامترهای آماری محاسبه شده برای روابط بدست آمده برای تخمین Z_v

بیشینه خطای مطلق	میانگین خطای مطلق	R^2	رابطه	شماره‌ی رابطه
۳۱/۲۳٪	۱۳/۲۳٪	۰/۸۱۳	$Z_v = -0.239 \ln(A) - 0.011$	(۹)
۳۵/۱۰٪	۱۲/۹۰٪	۰/۸۳۶	$Z_v = 0.083 A^{-1.009} \alpha^{0.234}$	(۱۰)
۳۳/۴۸٪	۹/۱۲٪	۰/۹۰۳	$Z_v = 0.131 A^{-0.848} B^{-0.639}$	(۱۱)
۲۸/۱۲٪	۷/۳۸٪	۰/۹۳۵	$Z_v = 0.197 A^{-0.631} B^{-1.311} \alpha^{-0.482}$	(۱۲)

با توجه به جدول (۲)، رابطه‌ی (۱۲) مناسب‌ترین و دقیق‌ترین رابطه برای تخمین پارامتر Z_v می‌باشد. در شکل (۱۱) تطابق مناسب Z_v بدست آمده از رابطه‌ی (۱۲) با Z_v بدست آمده از داده‌های آزمایشگاهی نشان داده شده است.



شکل ۱۱ - مقایسه‌ی Z_v حاصل از داده‌های آزمایشگاهی و Z_v حاصل از رابطه‌ی (۱۲)

ب- خصوصیات ظاهری گرداب‌های بالادست دریچه

بررسی‌های انجام شده نشان داد که نوع گرداب ایجاد شده به مقدار A وابسته است. در شروع هر مرحله از آزمایش (با یک دبی ثابت)، با توجه به بزرگ بودن مقدار A گرداب نوع ۱ بوجود می‌آید. با کاهش ارتفاع بازشدگی دریچه و در نتیجه کاهش مقدار A ، گرداب‌های نوع ۲ و نوع ۳ تشکیل می‌گردید. در مرحله‌ای که مقدار A خیلی کم می‌شد، به دلیل عمق زیاد آب در بالادست دریچه، گردابی بوجود نمی‌آمد. با میانگین‌گیری از مقادیر A در نقاط ابتدا و انتهای بازه‌های مشترک انواع گرداب‌ها، جدول (۳) به منظور تشخیص نوع گرداب‌های ایجاد شده در بالادست دریچه‌ی کشویی ارائه می‌گردد.

جدول ۳ - تشخیص نوع گرداب با استفاده از پارامتر A

نوع ۱	نوع ۲	نوع ۳	عدم تشکیل گرداب	نوع گرداب
بیشتر از ۰/۴۰۲	۰/۳۰۰ - ۰/۴۰۲	۰/۱۸۵ - ۰/۳۰۰	کمتر از ۰/۱۸۵	A



نتیجه گیری

در تحقیق حاضر با استفاده از ۱۰۳ داده‌ی آزمایشگاهی برداشت شده از ۳ مدل آزمایشگاهی، محل تشکیل گرداب در بالادست دریچه‌ی کشویی مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت و روابط بدون بعدی با دقت مناسب به منظور تخمین فاصله‌ی طولی و عرضی گرداب‌ها ارائه گردید. همچنین خصوصیات ظاهری سه نوع گرداب، شرایط تشکیل و یا عدم تشکیل گرداب مورد بررسی قرار گرفت و بازه‌ای از نسبت ارتفاع بازشدگی دریچه به ارتفاع آب در بالادست دریچه که به ازای آن، این سه نوع گرداب در بالادست دریچه بوجود می‌آید و یا هیچ گردابی بوجود نمی‌آید، تعیین گردید.

منابع و مراجع

[۱] کبیری سامانی، ع. (۱۳۷۹)، "تعیین توپولوژی بهینه در طرح صفحات کاهش گرداب آبگیرها"، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد دانشکده‌ی عمران دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران.

[2] Anwar, Habib, O. (1966), "Formation of Weak Vortex", *J. Hydr Res.*, Vol. 4, No. 2, 1-15.

[3] Roth, A., Hager, W.H. (1999), "Underflow of standard sluice gates", *J. Expe Flui.*, 27, 339–350.