



بررسی آزمایشگاهی و عددی عملکرد هیدرولیکی آبگیر کفی با روزنه مربع شکل در شرایط مختلف زیربحرانی

علی میرنوراللهی^۱، سعید فرزین^{۲*}، حجت کریمی^۳، مجتبی عامری^۴

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۷/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۵

مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد

چکیده

آبگیر کفی از جمله کارآمدترین سازه‌های انحراف آب در رودخانه‌ها می‌باشد که وظیفه انتقال جریان آب به کانال جمع‌آوری را دارا می‌باشد. آبگیر کفی روزنه‌ای، در شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی و انحراف آب به سمت توربین مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این تحقیق تاثیر مشخصات مختلف صفحه مشبک روزنه‌ای مربع شکل مانند شیب طولی صفحه مشبک (S)، نسبت مساحت بازشدگی (A)، تعداد روزنه (N) بر ضریب آبگذری (Cd) و درصد دبی عبوری از صفحه مشبک (P) تحت شرایط مختلف جریان زیربحرانی به صورت آزمایشگاهی و عددی بررسی شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که پارامترهای A و S بیشترین تأثیر را بر P و Cd داشته‌اند. با افزایش ۷ برابری نسبت مساحت بازشدگی، مقدار درصد دبی عبوری به طور متوسط ۷/۵۸ برابر شده است. همچنین با کاهش شیب طولی به میزان ده درجه، مقدار دبی عبوری ۴۵/۵۷ درصد افزایش یافته است. نتایج شبیه‌سازی جریان در نرم‌افزار Flow-3D حاکی از آن است که درصد دبی عبوری از سازه تحت مطالعه، با آشفتگی جریان و فشار رابطه معکوس دارد.

واژه‌های کلیدی: آبگیر کفی روزنه مربع شکل، ضریب آبگذری، مدل‌سازی آزمایشگاهی، جریان زیربحرانی، Flow-3D

^۱ دانشجوی کارشناس ارشد، مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ایران، ۰۹۱۲۰۱۸۲۷۲۳. alimimurollahi@semnan.ac.ir

^۲ دانشیار، گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ایران، ۰۹۱۷۴۱۱۲۸۹۱. saeed.farzin@semnan.ac.ir (نویسنده مسئول)

^۳ دانشیار، گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، ایران، ۰۹۱۲۴۸۰۳۳۵۰. hkarami@semnan.ac.ir

^۴ استادیار، گروه مهندسی عمران، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران، ۰۹۱۲۳۷۳۰۱۰۸. shahrood.ac.ir-m_ameri@iau



مقدمه

کف‌های مشبک، سازه‌های استاندارد هستند که کاربردهای وسیعی در آبیاری از رودخانه‌ها و انحراف آب به سمت توربین‌ها و ته‌نشین کردن رسوبات و مواد جامد معلق در آب دارند (Andaroodi, 2005). ساده‌ترین نوع آبیگرهای کفی، تعبیه یک کانال در کف مجرا و در راستای عمود بر جریان آب می‌باشد که در شبکه جمع‌آوری آب‌های سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kumar et al., 2010). در رودخانه‌های با شیب تند، امکان استفاده از آبیگرهای جانبی وجود ندارد چرا که به علت شیب زیاد رودخانه و وجود رسوبات درشت دانه، پایداری آن‌ها به شدت در معرض خطر است. در این رودخانه‌ها نقاط شکست، محل‌های تغییر شیب و یا پایین افتادگی‌های ناگهانی بستر، محل‌های مناسبی برای نصب سازه‌های صفحه مشبک با شیب مناسب هستند (Andaroodi, 2005). یکی از انواع آبیگرهای کفی، صفحه‌های مشبک روزنه‌ای می‌باشد. در این نوع آبیگر، روزنه‌ها با فواصل و قطرهایی معین در صفحه‌ای مشخص قرار دارند. استفاده از صفحه مشبک، روش کم هزینه‌ای برای آبیگری از رودخانه است. در این روش برخلاف آبیگرهای جانبی محدودیتی برای میزان دبی انحرافی نسبت به دبی پایه رودخانه وجود ندارد. همچنین جریان رودخانه در دهانه آبیگر همواره برقرار است و امکان آبیگری در تمام فصول وجود خواهد داشت. از دیگر مزایای این نوع آبیگر پایداری در برابر بارهای استاتیکی و دینامیکی بخاطر قرار گرفتن کف کانال در پایین‌ترین تراز می‌باشد. عمده‌ترین مشکلات در ارتباط با آبیگرهای صفحه مشبک، عبارتند از گرفتگی آشغال‌گیر در اثر رسوبات، قطعات شناور موجود در آب و تجمع رسوبات رد شده از آشغال‌گیر در کانال انتقال آب در پایین دست آبیگر (Orth et al., 1954). اولین مطالعه انجام شده در زمینه آبیگرهای کفی مربوط به سال ۱۹۵۴ توسط اورث و همکاران می‌باشد (Orth et al., 1954). آنها آزمایش‌هایی روی صفحه مشبک در کانال با شیب ۲۰ درصد و پنج مقطع با اشکال هندسی مختلف از میله‌های عرضی انجام دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد کمترین دبی عبور کرده از آبیگر در هنگام به

کارگیری مقطع T شکل برای میله‌ها حاصل می‌شود. همچنین کمترین طول آبیگر با استفاده از میله‌هایی با مقطع تخم مرغی بدست آمده است. افرادی همچون (Nosedo, 1956)، (Mostkow, 1975)، (Raju et al., 1977)، (Jain et al., 1975)، (al., 1972)، (Venkataraman, 1977) و (Nasser, 1980) مطالعات آزمایشگاهی در رابطه با آبیگرهای کفی انجام داده‌اند. در ادامه به بررسی مطالعات مهم دو دهه اخیر پرداخته می‌شود. Brunella et al., (2003) پژوهش‌های خود را روی آبیگر از کف توسط میله با مقطع دایروی در راستای جریان انجام دادند. آن‌ها معادله‌ای هایپربولیک برای پروفیل سطح آب بدست آورده و آن را با نتایج سایر محققین مقایسه نمودند.

(Righetti & Lanzoni, 2008) با بررسی آزمایشگاهی روی آبیگر کفی، رابطه‌ای برای ضریب آبگذری آبیگر کفی ارائه کردند. Kumar et al., (2010) به مطالعه آبیگر از کف توسط میله با سطح مقطع مستطیلی در راستای جریان پرداختند. آنها ضریب تخلیه آبیگر کفی تحت شرایط مستغرق و آزاد را ارائه کردند. Hosseini et al., (2015) با بررسی اثر شکل مقطع عرضی میله‌ها در آبیگرهای کفی با میله‌هایی در امتداد جریان دریافتند که بهترین شکل مقطع عرضی میله برای انحراف جریان، مقطع عرضی لوزی شکل است. در این نوع آبیگرها با میله‌های لوزی شکل، توزیع فشار یکنواخت‌تر از اشکال دیگر است. Bina & Saghi, (2017) به بررسی آزمایشگاهی آبیگر از کف توسط محیط متخلخل پرداختند و رابطه‌ای برای ضریب آبگذری این نوع آبیگر ارائه کردند. همچنین دریافتند که وجود رسوبات به صورت بار بستر در آزمایش‌های این تحقیق باعث کاهش ضریب تخلیه به میزان ۲/۷۵ درصد نسبت به حالت جریان بدون رسوب گشته است.

در رابطه با پژوهش‌های عددی در زمینه آبیگر کفی، Castillo et al., (2013) به بررسی عددی آبیگر کفی با استفاده از نرم‌افزار ANSYS پرداختند و دریافتند نتایج شبیه‌سازی با نتایج آزمایشگاهی مطابقت مطلوبی داشته است و نرم‌افزار ذکر شده قابلیت خوبی برای شبیه‌سازی این گونه سازه‌ها را دارد. Aghamajidi & Heydari, (2014) با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D به بررسی عملکرد آبیگر

کفی مشبک روزنه‌ای دارای کاربرد وسیعی در کارهای عملی هستند، هدف از پژوهش حاضر بررسی آزمایشگاهی و عددی عملکرد آبگیر کفی روزنه‌ای مربع شکل و ارائه رابطه‌ای جهت پیش بینی ضریب آبگذری، درصد دبی عبوری از صفحه مشبک و پروفیل طولی جریان روی صفحه مشبک است.

مواد و روش‌ها

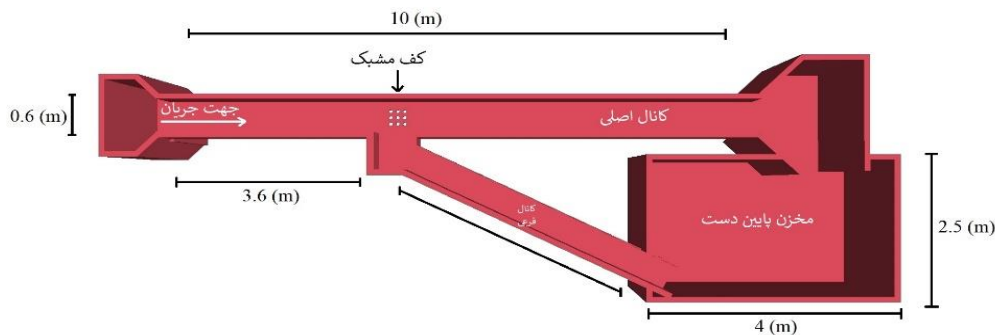
مشخصات آزمایشگاهی

جهت انجام آزمایش‌ها و ساخت مدل فیزیکی، از کانالی با اسکلت فلزی و دیوارهای از جنس شیشه شفاف و طول ۱۰ متر و عرض ۰/۶ متر و ارتفاع ۰/۷۵ متر، در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی عمران دانشگاه آزاد اسلامی شاهرود استفاده گردید. برای اعمال شیب‌های مورد نظر در آزمایش‌ها، کف کانال را ۰/۳ متر بالا آورده و شیشه‌ای در کف کانال قرار داده شد. در فاصله ۳/۶ تا ۴/۲ متری، صفحه مشبک قرار گرفت. دبی ورودی توسط یک دبی سنج آلتراسونیک با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری گردید. جهت تعیین دبی خروجی از صفحه مشبک، از سرریز مثلثی ۹۰ درجه کالیبره شده در انتهای یک مخزن فلزی جانبی به طول ۴/۵ متر، عرض ۱ متر و عمق ۰/۵ متر استفاده شد. همچنین از یک عمق سنج دیجیتال با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر نیز برای اندازه‌گیری عمق آب داخل کانال به کار گرفته شد. جنس شیشه مورد استفاده در این آزمایش صاف و شفاف و با ضخامت ۸ میلی‌متر می‌باشد و جنس صفحه مشبک از صفحات PVC با ضخامت ۸ میلی‌متر انتخاب شد. شکل (۱) نمای کلی کانال آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

کفی پرداختند و بهینه‌ترین شیب طولی برای این نوع آبگیرها را اعلام کردند. (Zerihun, 2015) مدل جریان یک بعدی را برای شبیه سازی جریان آبگیر کفی توسعه داد. Castillo et al, (2016) نشان داد که بهینه‌ترین شیب طولی آبگیر کفی ۳۰ درصد است. Carrillo et al., (2018) با استفاده از نرم‌افزار ANSYS CFX به بررسی آبگیر کفی پرداختند و نتایج پژوهش آنها نیز به نتایج آزمایشگاهی نزدیک بوده است و دریافتند که حضور رسوب در جریان، باعث کاهش انحراف جریان از طریق صفحه مشبک می‌شود. (Chan & Lee, 2018) با مدل‌سازی عددی آبگیر کفی توسط نرم‌افزار ANSYS، جریان فوق بحرانی در این سازه‌ها را بررسی کردند. آنها دریافتند که متوسط غلظت هوا در این آبگیر با افزایش دبی کاهش می‌یابد.

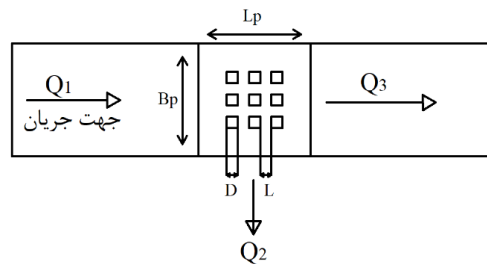
کمان بدست و شفافی بجزستان (۱۳۷۸)، رفتار سازه هیدرولیکی آبگیر کفی همراه با میله موازی در امتداد جریان را بررسی کردند. ایشان رابطه‌ای برای ضریب آبگذری این سازه ارائه کردند. خواجه و همکاران (۱۳۸۷)، به بررسی عددی آبگیر کفی با استفاده از نرم‌افزار Fluent پرداختند. در این تحقیق طول خیس شدگی در این آبگیر ارزیابی شد. بیبا و همکاران (۱۳۹۱)، به بررسی آبگیر کفی پرداختند. ایشان میله‌ها را به صورت طولی قرار دادند و رابطه‌ای برای ضریب آبگذری این سازه ارائه کردند.

با بررسی مطالعات پیشین مشخص شد، که آبگیرهای کفی روزنه‌ای کمتر مورد توجه محققین بوده و اکثر تحقیقات انجام شده مربوط به آبگیرهای تحتانی توسط میله و محیط متخلخل می‌باشد. از آنجایی که آبگیرهای



شکل (۱): مشخصات آزمایشگاه و متعلقات آن

(Fr_1) ، عدد فرود بالادست صفحه مشبک در فاصله $2/1$ متری از آن می‌باشد، (A) نسبت مساحت بازشدگی که از تقسیم مساحت بازشدگی صفحه مشبک (A_p) به مساحت کل صفحه مشبک (A_t) بدست می‌آید، (N) تعداد روزنه های عمود بر جریان می‌باشند که تعداد آن‌ها ۳، ۶ و ۹ عدد بوده و (S) شیب طولی صفحه مشبک است. شکل (۲) مشخصات صفحه مشبک ذکر شده را نشان می‌دهد.



شکل (۲): مشخصات صفحه مشبک و کانال

یکنواخت بودن پروفیل سرعت در مقطع ۱ و ناچیز بودن افت به صورت رابطه (۲) بیان می‌شود.

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} \quad (2)$$

که h_1 و v_1 بیانگر ارتفاع و سرعت جریان در مقطع ۱ و h_2 و v_2 بیانگر ارتفاع و سرعت جریان در مقطع ۲ می‌باشد. در ادامه دبی عبوری از روزنه به صورت رابطه (۳) بیان می‌شود.

$$Q_{the} = A_2 \sqrt{2g \left(h_1 - h_2 + \frac{v_1^2}{2g} \right)} \quad (3)$$

که در این رابطه A_2 طبق رابطه (۴) بیان می‌شود.

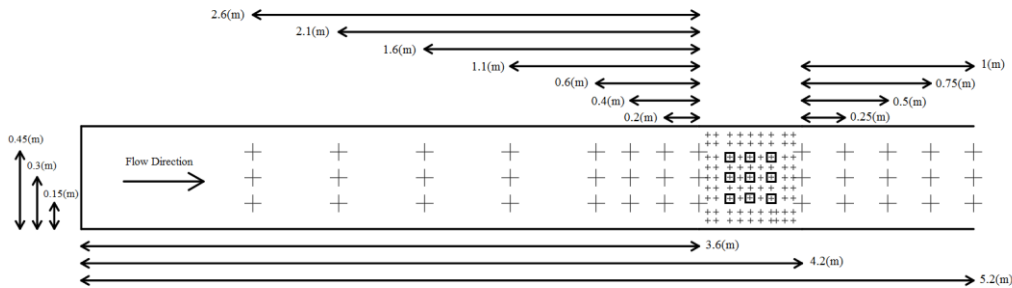
$$A_2 = A_p = \pi \frac{D^2}{4} N \quad (4)$$

آنالیز ابعادی:
بوسیله آنالیز ابعادی و حذف پارامترهای کم اثرتر و ثابت، رابطه زیر برای محاسبه ضریب آبگذری (C_d) بدست آمده است:
$$C_d = f(Fr_1, A, N, S) \quad (1)$$

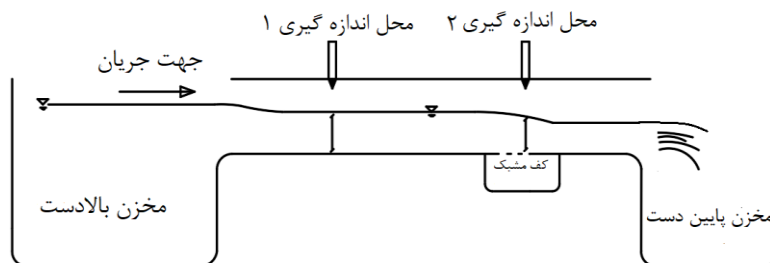
در این آزمایش‌ها، از دو شیب طولی صفحه مشبک (S) ، سه عدد فرود مختلف (Fr_1) ، سه نسبت مساحت بازشدگی مختلف (A) و سه سری روزنه (N) استفاده شد. همچنین D طول روزنه‌های بکار گرفته شده در صفحه مشبک و Q_1 دبی ورودی کانال اصلی و Q_2 دبی عبوری از صفحه مشبک و Q_3 دبی خارج شده از کانال اصلی می‌باشد. در مجموع ۵۴ عدد آزمایش انجام شده است. محدوده پارامترهای هندسی و هیدرولیکی این آزمایش‌ها در جدول (۱) ارائه گردیده است. لازم به ذکر است که به منظور توسعه یافتن جریان، پس از روشن کردن پمپ، به مدت ۳۰ دقیقه تا توسعه یافتن جریان در کانال اصلی صبر شده است و پس از آن آزمایش‌ها انجام شده است. شکل (۳) محل اندازه‌گیری ارتفاع آب در کانال و صفحه مشبک را نمایش می‌دهد. با توجه به شکل (۴)، رابطه برنولی برای مقطع ۱ و ۲ با فرض

جدول (۱): محدوده پارامترهای هندسی و هیدرولیکی آزمایش‌ها

پارامترها	D (cm)	N	S (deg)	Q_1 (lit/s)	Fr_1
مقادیر	2.45 - 10.4	3 - 9	0 - 10	25 - 75	0.5 - 0.9



شکل (۳): محل اندازه‌گیری ارتفاع آب در کانال اصلی و روی صفحه مشبک



شکل (۴): جانمایی و محل قرائت ارتفاع آب

$$\frac{\partial}{\partial x_i} (u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_{ij}} g \quad (7)$$

در رابطه (۴)، N رابطه تعداد روزنه در جهت جریان می‌باشد. در نهایت ضریب آبگذری به صوت رابطه (۵) بیان می‌شود.

$$C_d = \frac{Q_{(mea)}}{Q_{(the)}} \quad (5)$$

که در این رابطه $Q_{(mea)}$ دبی عبوری از صفحه مشبک اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و $Q_{(the)}$ دبی عبوری از صفحه مشبک طبق رابطه (۳) می‌باشد.

که i و j ز درایه‌های یک تانسور استاندارد هستند، u_i مولفه سرعت متوسط زمان در جهت x است، p میدان فشار است، g نیروی گرانشی در واحد حجم است، ρ چگالی است و τ_{ij} تانسور تنش برشی است که می‌تواند به شکل معادله (۸) نوشته شود.

$$\tau_{ij} = \left[\rho(v + v_t) \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] - \left[\frac{2}{3} \rho(\kappa_T + v_t) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \delta_{ij} \right] \right] \quad (8)$$

بدین ترتیب v و v_t نشان دهنده لزجت سینماتیک سیال و لزجت آشفتگی است، به ترتیب، κ_T انرژی جنبشی آشفتگی است و δ_{ij} دلتای کرونکر است.

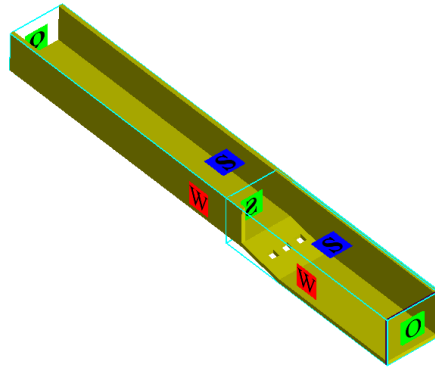
Flow-3D یک نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) است که در این تحقیق از آن کمک گرفته شده است. جهت صحت‌سنجی پارامترهای محاسبه شده توسط نرم‌افزار Flow-3D، از ارتفاع آب روی صفحه مشبک استفاده شده است. شکل (۵) شرایط مرزی در شبیه‌سازی آبگیر در نرم‌افزار Flow-3D را نشان می‌دهد. مطابق شکل

مدلسازی عددی قوانین حاکم معادلات حاکم برای جریان کانال باز، معادلات پیوستگی و اندازه حرکت هستند. برای جریان غیر متراکم، این معادلات را می‌توان در سیستم مختصات دکارتی به این صورت نوشته شود.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (6)$$

سیال به این مرز نرسد، شرایط بالای سطح سیال تا بی نهایت مشابه شرایط اتمسفر در نظر گرفته می شود. شرط مرز جریان خروجی (O) بیانگر آن است که جریان در حال خروج از محدوده محاسباتی بوده و پارامتر خاصی لحاظ نمی شود.

(۵)، برای شبیه سازی جریان در آبگیر از کف از دو مش بلاک مجاور استفاده شد. جدول (۲) شرایط مرزی استفاده شده در این شبیه سازی را نشان می دهد. برای سطح Z_{max} شرط مرزی تقارن (S) می باشد. این انتخاب به این دلیل است که تا وقتی



شکل (۵): شرایط مرزی در شبیه سازی آبگیر از کف در نرم افزار Flow-3D

آشفتگی K-ε به داده های آزمایشگاهی نزدیک تر بود و کم ترین خطا را نسبت به مدل های دیگر دارد.

در تحقیق حاضر، از سه مدل آشفتگی RNG، K-ε و LES استفاده شده است. با توجه به نتایج شاخص های آماری موجود در جدول (۳)، بین داده های ارتفاع آب روی صفحه مشبک اندازه گیری شده در آزمایشگاه و داده های برآورد شده از شبیه سازی عددی در نرم افزار، مدل

جدول (۲): مشخصات شرایط مرزی استفاده شده در شبیه سازی

شماره مش	X_{min}	X_{max}	Y_{min}	Y_{max}	Z_{min}
مش ۱	Q	S	W	W	W
مش ۲	S	O	W	W	W

جدول (۳): مقایسه دقت مدل آشفتگی

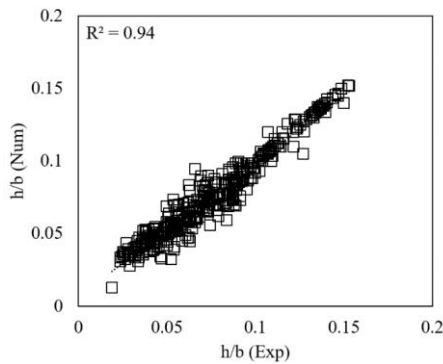
مدل آشفتگی	R^2	RMSE	MAE
RNG	۰/۹۲۴	۰/۰۰۶۳	۰/۰۰۵۴
K-ε	۰/۹۴۱	۰/۰۰۳۳	۰/۰۰۱۸
LES	۰/۹۱۳	۰/۰۰۴۳	۰/۰۰۴۸

صرفه نیست. با این وجود نتایج شبکه بندی متوسط قابل قبول است. شکل (۶) مقایسه نتایج آزمایشگاهی و عددی را نشان می دهد. برای بررسی نتایج، از نسبت دبی عبوری از صفحه مشبک به دبی ورودی و نسبت بی بعد ارتفاع آب بر روی صفحه مشبک به عرض کانال استفاده شده است.

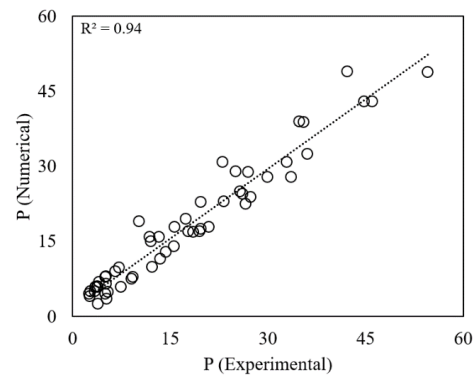
برای انتخاب شبکه حل مناسب، طبق جدول (۴) از ۳ حالت شبکه بندی میدان حل استفاده شده و بهترین آن ها طبق شاخص های آماری موجود، شبکه حل با ابعاد متوسط انتخاب شده است. نکته حائز اهمیت این است که برای تعداد سلول بیشتر در شبکه بندی میدان محاسباتی، زمان شبیه سازی طولانی تر شده و از نظر اقتصادی مقرون به

جدول (۴): مقایسه دقت شبکه‌بندی‌های مورد استفاده

MAE	RMSE	R ²	تعداد سلول	اندازه سلول
۰/۰۰۱۵	۰/۰۰۱۴	۰/۹۵۷۵	۷۸۸۰۰۰	ریز
۰/۰۰۱۸	۰/۰۰۳۳	۰/۹۴۱	۴۲۱۰۰۰	متوسط
۰/۰۰۸۸	۰/۰۰۶۵	۰/۹۲۱۶	۲۴۳۰۰۰	درشت



ب



الف

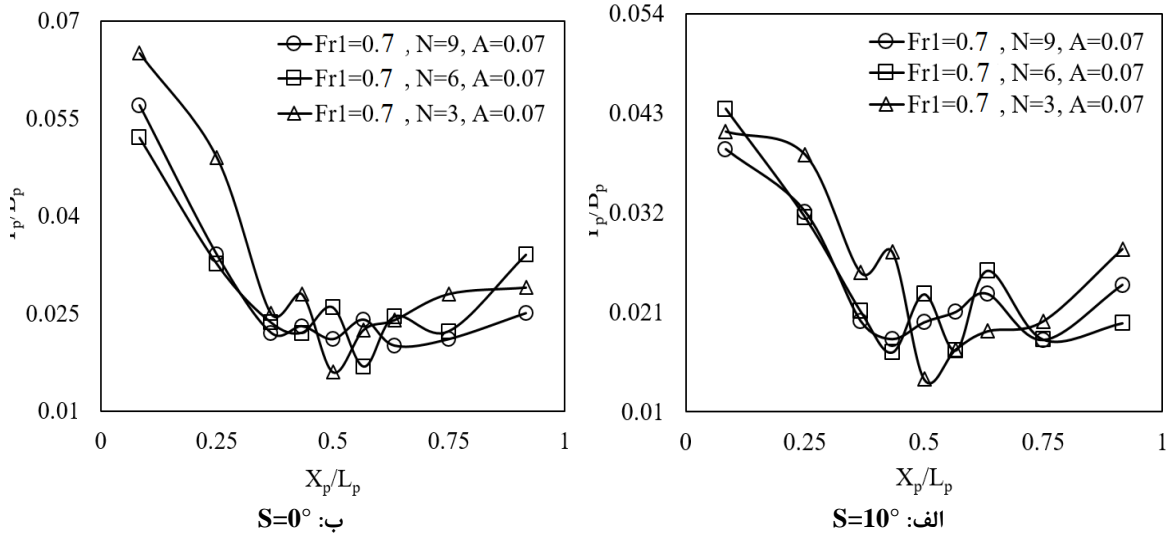
شکل (۶): همبستگی بین نتایج آزمایشگاهی و عددی، الف) نسبت دبی عبوری از صفحه مشبک به دبی ورودی برای تمامی

آزمایش‌ها ب) نسبت ارتفاع آب به عرض کانال برای تمامی آزمایش‌ها

طولی مختلف صفحه مشبک نشان می‌دهد، با عبور جریان از روی صفحه مشبک، در نقاطی که روزنه وجود دارد از ارتفاع آب به شدت کاسته می‌شود. در صفحه مشبک در تعداد روزنه‌های بیشتر، پروفیل طولی جریان یکنواخت‌تر است. چرا که در نسبت بازشدگی برابر هرچه تعداد روزنه بیشتر باشد، امکان تخلیه جریان بیشتر است. در ادامه، رابطه‌ی (۹) نشانگر پروفیل سطح آب برای تمامی آزمایش‌ها می‌باشد.

نتایج و بحث

در آبگیرهای کفی با توجه به شرایط هیدرولیکی مختلف، پروفیل‌های متفاوتی تشکیل می‌شود. در آزمایش‌های انجام شده، شرایط هیدرولیکی طوری تنظیم شد که جریان زیربحرانی قبل از صفحه مشبک تشکیل شود. با عبور جریان از صفحه مشبک و با کاهش دبی، جریان به حالت فوق بحرانی تبدیل می‌شود. همچنین با توجه به شکل (۷) که پروفیل سطح جریان را در دو شیب

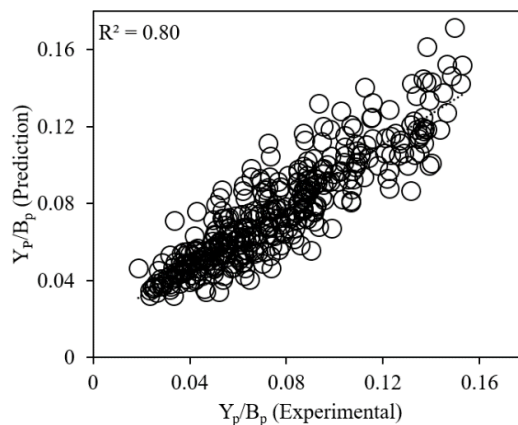


شکل (۷): پروفیل طولی جریان روی صفحه مشبک در $Fr_1=0.7$ الف: $S=10^\circ$ ب: $S=0^\circ$

$$\frac{Y_p}{B_p} = 0.0024 \times (0.897^{Ln(A)}) \times (27.804^{\sinh(Fr_1)}) \times (0.939^{\cos(N)}) \times (1.353^{\tan(X)}) \times (1.172^{\cos(S)}) \quad (9)$$

می‌باشد (LP). شکل (۸) نشان‌دهنده دقت رابطه (۹) برای ۵۴ آزمایش انجام شده می‌باشد.

در رابطه فوق، Y_p ارتفاع جریان روی صفحه مشبک، B_p عرض صفحه مشبک، X نسبت فاصله طولی دلخواه از ابتدای صفحه مشبک (X_p) به طول صفحه مشبک



شکل (۸): مقایسه پروفیل طولی آزمایشگاهی و پیش‌بینی شده

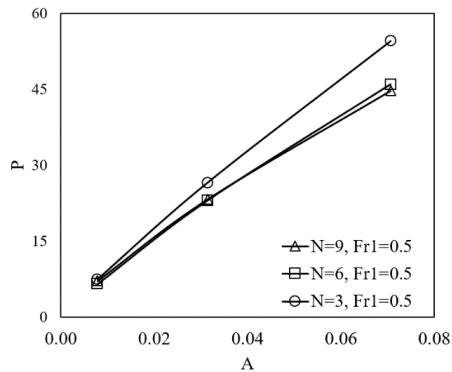
تاثیر نسبت مساحت بازشدگی بر درصد دبی عبوری از صفحه مشبک

شکل (۹) تاثیر (A) بر (P) را نشان می‌دهد. می‌توان مشاهده کرد که با افزایش (A) مقدار (P) افزایش پیدا می‌کند. برای پارامتر نسبت مساحت بازشدگی سه مقدار مختلف 0.1 ، 0.3 و 0.7 انتخاب شده است. مشاهده می‌شود که در صفحه مشبک با شیب طولی 10° درجه با

تحلیل درصد دبی عبوری از صفحه مشبک (P)

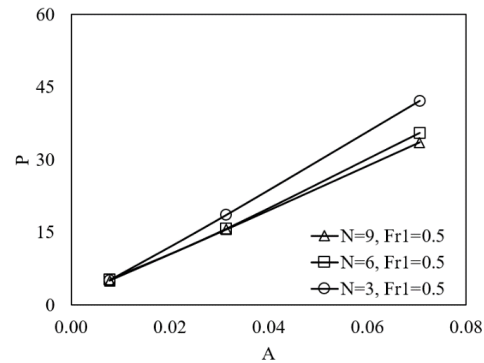
یکی از پارامترهای مهم در آبیگرهای تحتانی، درصد دبی عبوری از صفحه مشبک می‌باشد که طبق رابطه $P = \left(\frac{Q_2}{Q_1}\right) \times 100$ بدست می‌آید. در ادامه عوامل موثر بر این پارامتر بررسی شده است.

و ۶/۹۲ بوده است. همچنین مشاهده می‌شود که در صفحه مشبک با زاویه صفر درجه، حداکثر درصد دبی عبوری ۴۸ درصد و در صفحه مشبک با زاویه ده درجه ۳۷ درصد است.



ب: $S=0^\circ$

افزایش (A) از ۰/۰۱ به ۰/۰۳ و از ۰/۰۱ به ۰/۰۷ مقدار پارامتر (P) به میزان ۳/۳۷ و ۷/۲۸ افزایش یافته است. این درصد افزایش برای صفحه مشبک با زاویه صفر درجه ۳/۵۱



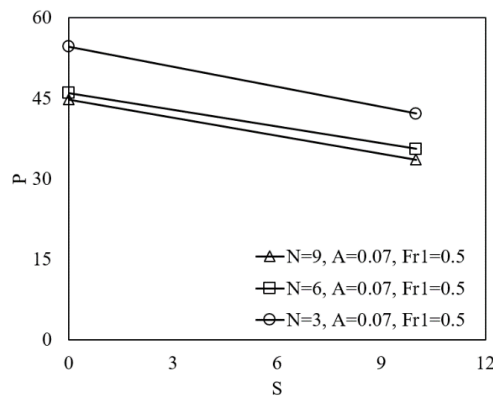
الف: $S=10^\circ$

شکل (۹): بررسی اثر (A) بر (P) در $Fr_1=0.5$ الف: $S=10^\circ$ ب: $S=0^\circ$

متوسط با کاهش شیب از ۱۰ به ۰ درجه، درصد دبی عبوری از صفحه مشبک ۳۴/۹ درصد افزایش نسبی داشته است. به عبارت دیگر با کاهش شیب طولی صفحه مشبک، سرعت جریان کمتر شده و دبی بیشتری خارج شده است.

تأثیر شیب طولی صفحه مشبک بر درصد دبی عبوری از صفحه مشبک

تأثیر شیب طولی صفحه مشبک بر درصد دبی عبوری از صفحه مشبک در شکل (۱۰) آورده شده است. به طور

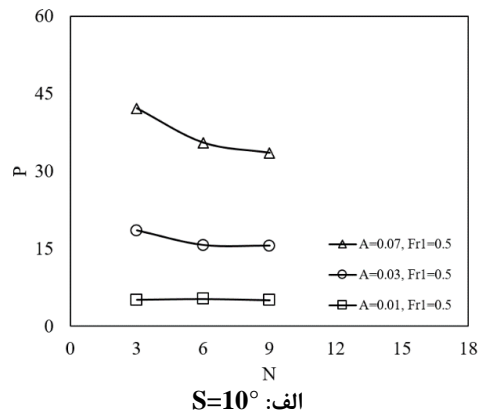
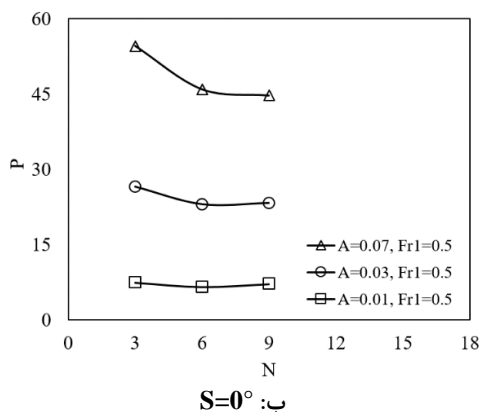


شکل (۱۰): بررسی اثر (S) بر (P) در $A=0.07$, $Fr_1=0.5$

متوسط درصد دبی عبوری از صفحه مشبک با شیب طولی ده درجه ۱۱/۰۷ و ۱/۷۷ درصد افزایش نسبی داشت. این درصد افزایش برای صفحه مشبک با شیب طولی صفر درجه ۹/۶۴ و ۱/۷۸ می‌باشد.

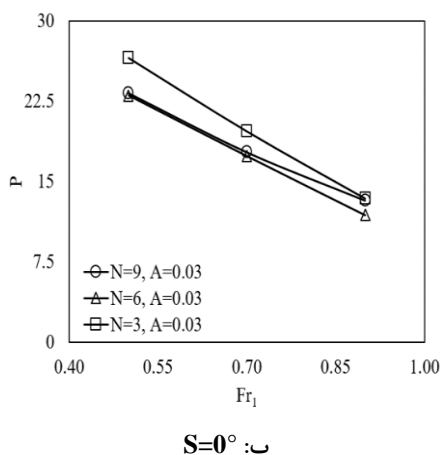
تأثیر تعداد روزنه بر درصد دبی عبوری از صفحه مشبک

شکل (۱۱) نشان دهنده تأثیر کاهش تعداد روزنه در نسبت بازشدگی برابر بر درصد دبی عبوری از صفحه مشبک است. با کاهش تعداد روزنه از ۹ عدد به ۳ و ۶ عدد، به طور



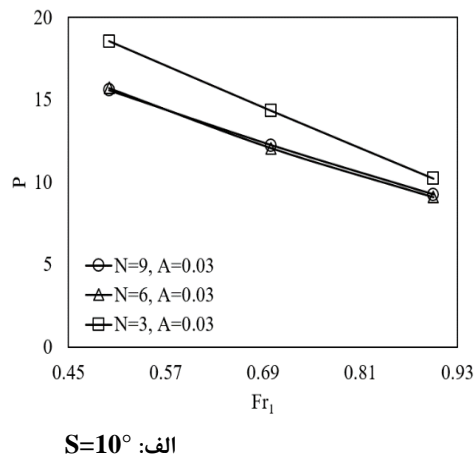
شکل (۱۱): بررسی اثر (N) بر (P) در $Fr_1=0.5$ الف: $S=10^\circ$ ، ب: $S=0^\circ$

طور متوسط $40/02$ و $84/31$ درصد افزایش نسبی داشت. این درصد افزایش برای صفحه مشبک با شیب طولی صفر درجه $39/89$ و $90/15$ درصد بوده است. در پژوهش بینا و همکاران (۱۳۹۱) نیز تأثیر عدد فرود بررسی شده است و دستاوردهای این پژوهش نیز با پژوهش حاضر مطابقت داشته است.



تأثیر عدد فرود بالادست بر درصد دبی عبوری از صفحه مشبک

در شکل (۱۲) مشاهده می‌شود که (Fr_1) تأثیرات چشم‌گیری را بر (P) داشت. به عبارت دیگر با کاهش عدد فرود بالادست از $0/9$ به $0/7$ و از $0/9$ به $0/5$ ، مقدار درصد دبی عبوری از صفحه مشبک با شیب طولی ده درجه به

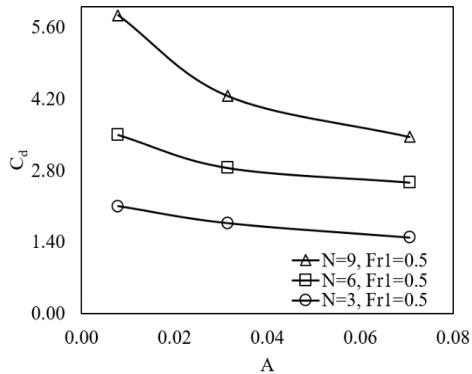


شکل (۱۲): بررسی اثر (Fr_1) بر (P) در $A=0.03$ الف: $S=10^\circ$ ، ب: $S=0^\circ$

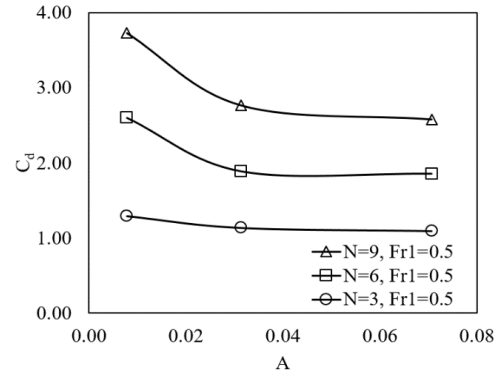
تأثیر نسبت مساحت بازشدگی بر ضریب آبگذری
شکل (۱۳) نشان می‌دهد که، با کاهش نسبت بازشدگی ضریب آبگذری افزایش می‌یابد. به طور متوسط در صفحه مشبک با شیب طولی ده درجه با کاهش نسبت بازشدگی از $0/07$ به $0/03$ و از $0/07$ به $0/01$ ضریب آبگذری $6/71$ و $31/03$ درصد افزایش یافته است. این درصد افزایش برای

تحلیل ضریب آبگذری صفحه مشبک (Cd)
ضریب آبگذری در آبگیر کفی طبق رابطه (۵)، نسبت دبی عبوری از صفحه مشبک در آزمایشگاه و دبی عبوری از صفحه مشبک محاسبه شده توسط رابطه برنولی می‌باشد.

صفحه مشبک با شیب صفر درجه ۱۷/۲۶ و ۴۳/۵۰ درصد بوده است.



ب: $S=0^\circ$

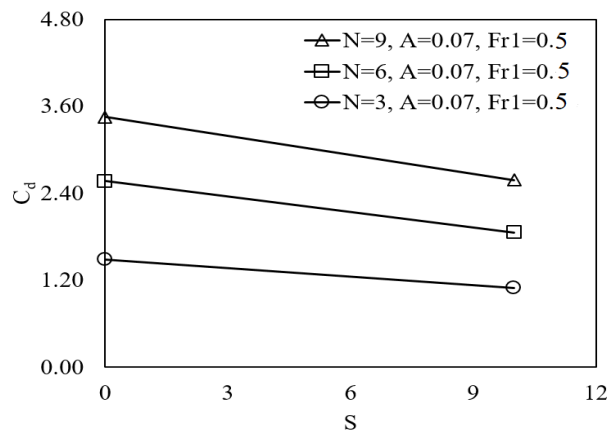


الف: $S=10^\circ$

شکل (۱۳): بررسی اثر (A) بر (Ca) در $Fr_1=0.5$ الف: $S=10^\circ$ ، ب: $S=0^\circ$

آزمایش‌ها، ضریب آبگذری در حالت بدون شیب بیشتر از حالت دیگر است. درصد افزایش ضریب آبگذری در پی کاهش ده درجه شیب طولی صفحه مشبک، برابر با ۴۵/۵۷ می‌باشد.

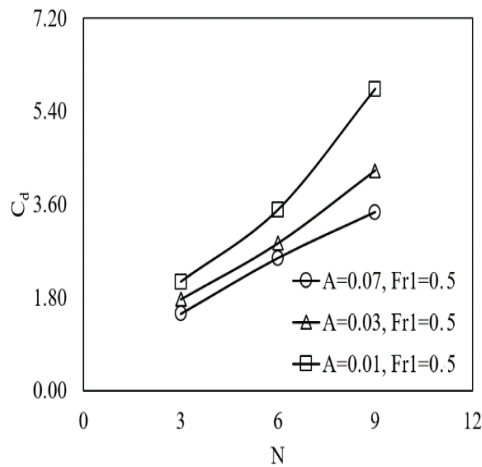
تأثیر شیب طولی صفحه مشبک بر ضریب آبگذری شکل (۱۴) ضریب آبگذری برای دو شیب طولی مختلف صفر و ده درجه را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در تمامی



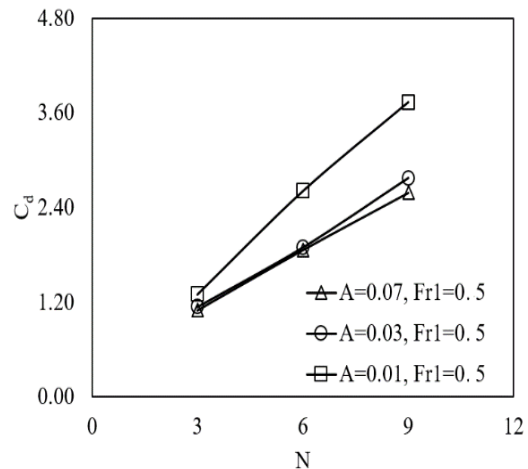
شکل (۱۴): بررسی اثر (S) بر (Ca) در $A=0.07$, $Fr_1=0.5$

صفحه مشبک با شیب طولی ده و صفر درجه با کاهش تعداد روزنه از ۹ به ۶ عدد ضریب آبگذری ۴۵/۷۳ و ۵۰/۰۳ درصد افزایش نسبی داشته است. همچنین با افزایش تعداد روزنه از ۹ به ۳ عدد ضریب آبگذری ۱۶۲/۹۰ و ۱۶۱/۸۶ درصد افزایش نسبی داشته است.

تأثیر تعداد روزنه بر ضریب آبگذری در شکل (۱۵) تأثیر تعداد روزنه بر ضریب آبگذری صفحه مشبک را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود در یک نسبت بازشدگی برابر، با افزایش تعداد روزنه، ضریب آبگذری افزایش پیدا کرده است. این امر در حالیکه در



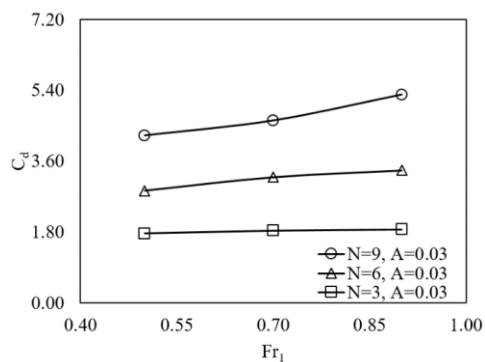
ب: $S=0^\circ$



الف: $S=10^\circ$

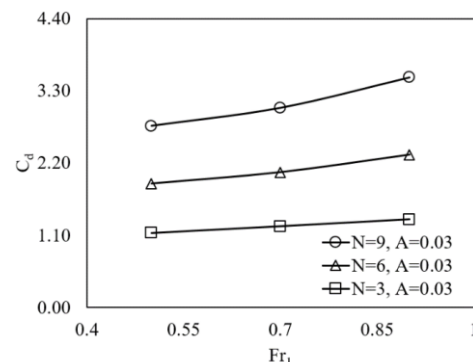
شکل (۱۵): بررسی اثر (N) بر (Ca) در $Fr_1=0.5$ الف: $S=10^\circ$ ، ب: $S=0^\circ$

و صفر درجه با افزایش عدد فرود بالادست از ۰/۵ به ۰/۷ به طور متوسط ۷/۸۱ و ۶/۷۵ درصد می‌باشد، همچنین با افزایش عدد فرود از ۰/۵ به ۰/۹، ضریب آگذری ۱۶/۱۰ و ۱۴/۸۶ درصد افزایش یافت.



ب: $S=0^\circ$

تأثیر عدد فرود بالادست بر ضریب آگذری با توجه به شکل (۱۶) با افزایش عدد فرود در تمامی آزمایش‌ها، ضریب آگذری افزایش یافته است. این درصد افزایش ضریب آگذری در صفحه مشبک با شیب طولی ده



الف: $S=10^\circ$

شکل (۱۶): بررسی اثر (Fr_1) بر (Ca) در $A=0.03$ الف: $S=10^\circ$ ، ب: $S=0^\circ$

تحلیل نتایج عددی

به منظور بررسی مشخصه‌های جریان، ۴ آزمایش انجام شده در این تحقیق که دارای حداکثر و حداقل میزان درصد دبی عبوری از صفحه مشبک در دو شیب طولی صفر و ده درجه بوده است، مورد بررسی قرار گرفته است. مشخصات این ۴ آزمایش انجام شده در محیط نرم افزار Flow-3D را در می‌توان در جدول (۵) مشاهده کرد.

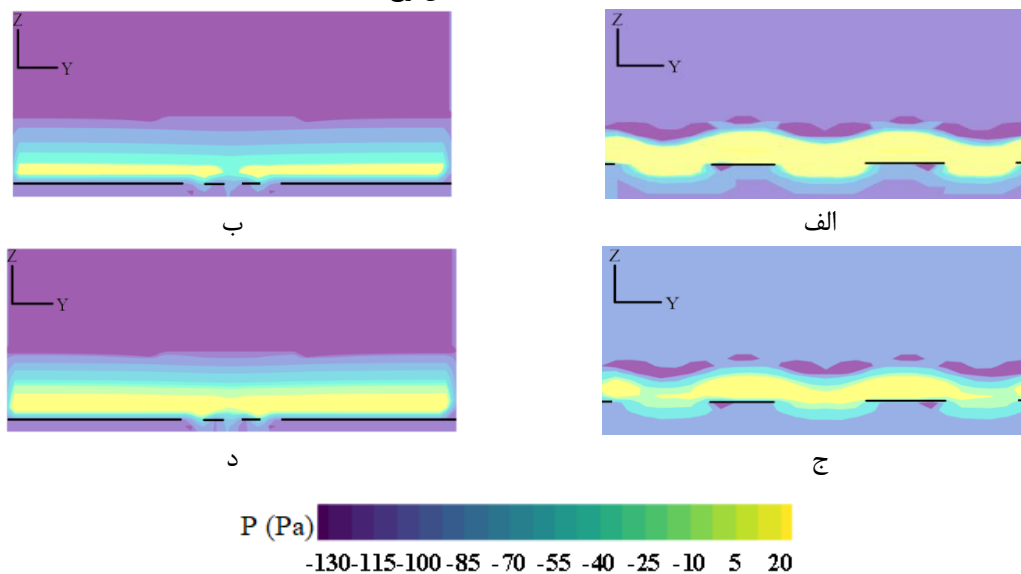
جدول (۵): مشخصات چهار آزمایش بررسی شده در نرم افزار

نام آزمایش	A	S	Fr ₁	N
A ₁	۰/۰۷	۰	۰/۵	۳
A ₂	۰/۰۱	۰	۰/۹	۹
B ₁	۰/۰۷	۱۰	۰/۵	۳
B ₂	۰/۰۱	۱۰	۰/۹	۹

تحلیل پروفیل فشار در محدوده صفحه مشبک

شکل (۱۷) پروفیل طولی فشار در کانال اصلی را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در آزمایش‌هایی که درصد دبی عبوری در آنها بیش از سایر آزمایش‌ها است، فشار منفی روی صفحه مشبک رخ داده است. به عبارت دیگر فشار منفی روی صفحه مشبک باعث مکش جریان به طرف کانال

جانبی شده است. همان‌طور که در شکل (۱۷) مشخص است در آزمایش A₁ و B₁ که درصد دبی عبوری از صفحه مشبک ۵۴/۵۸ و ۴۲/۱۵ بوده است، فشار روی صفحه مشبک، ۱۱۱- و ۸۵- پاسکال می‌باشد. اما در دو آزمایش دیگر که درصد دبی عبوری از صفحه مشبک آن، ۲/۳۱ و ۱/۹۸ بوده است، فشار روی صفحه مشبک مثبت است و مکش رخ نداده است.

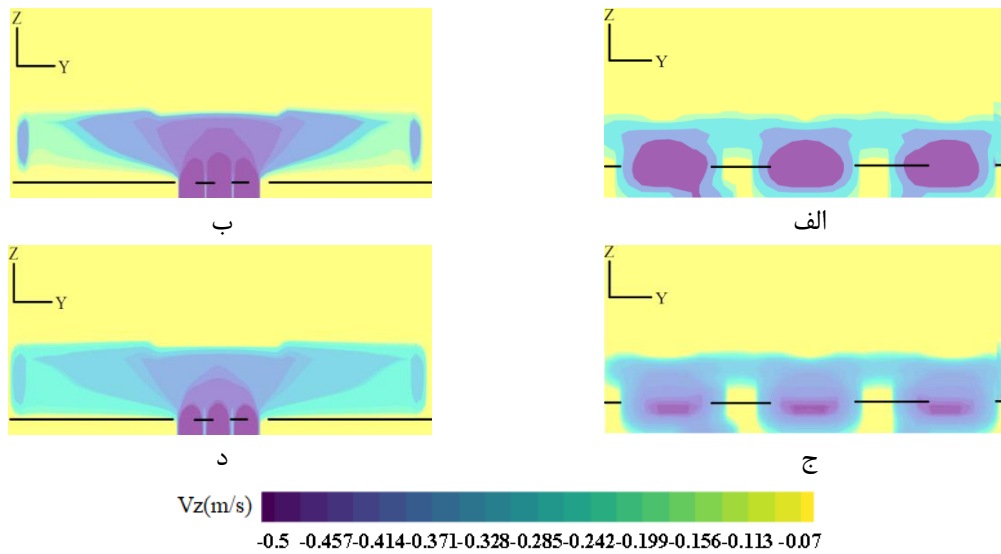


شکل (۱۷): توزیع فشار در کانال اصلی الف) A₁، ب) A₂، ج) B₁ و د) B₂

تحلیل پروفیل سرعت در محدوده صفحه مشبک

با توجه به شکل (۱۸) که مولفه عمودی سرعت را در ناحیه صفحه مشبک نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که در آزمایش‌هایی که مولفه عمودی سرعت روی صفحه مشبک از مقدار بیشتری برخوردار است، درصد دبی عبوری بیشتری نیز از خود عبور داده است. در طول کانال اصلی با نزدیک شدن به صفحه مشبک مولفه عمودی سرعت

افزایش پیدا کرد. مقدار V_z برای آزمایش‌های A₁، A₂، B₁ و B₂ به ترتیب ۰/۴۷، ۰/۸۲، ۰/۳۴- و ۰/۱۵- بوده است. به طور کلی هرچه مولفه عمودی سرعت بیشتر باشد، دبی بیشتری از صفحه مشبک عبور می‌کند اما با مقایسه دو آزمایش A₁ و B₁، با توجه به مقادیر مولفه عمودی سرعت، درصد دبی عبوری از A₁ بیشتر از B₁ می‌باشد. دلیل این امر شیب طولی صفحه مشبک است. چرا که برای خروج جریان از صفحه مشبک سرعت طولی نیز مهم است.

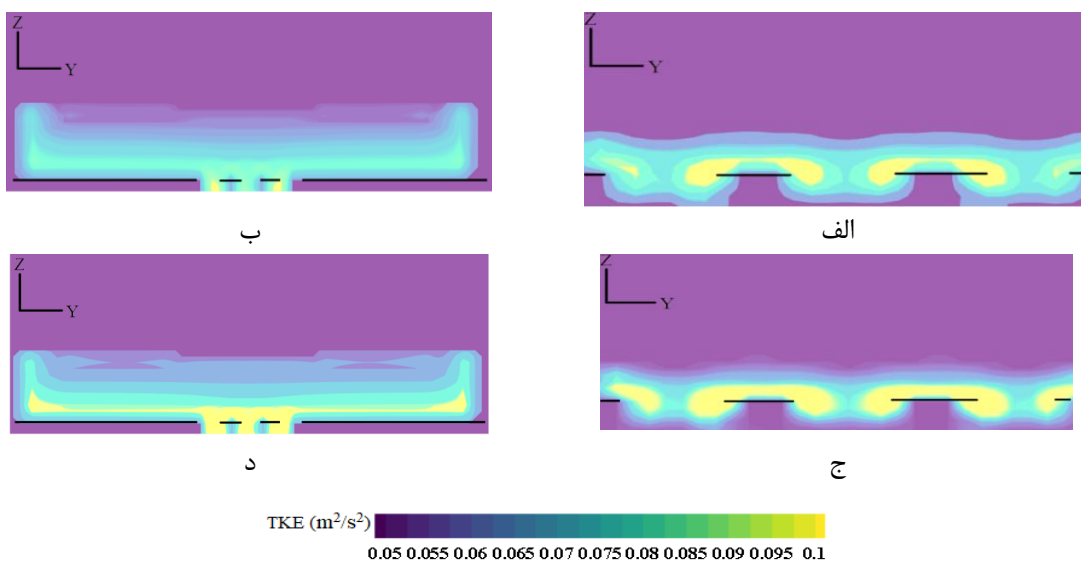


شکل (۱۸): توزیع سرعت در کانال اصلی الف (A₁، ب (A₂، ج (B₁ و د (B₂)

آزمایش‌هایی که تعداد روزنه آن بیشتر از سایر آزمایش‌ها بوده است، آشفتگی نیز بیشتر بود، این امر مسبب کاهش مقدار P شده است. در آزمایش‌های A₁ و B₁ به علت تعداد کم روزنه، مقدار آشفتگی برابر ۰/۰۱۲ و ۰/۰۱۹ بوده است ولی در آزمایش‌های A₂ و B₂ مقدار آشفتگی برابر با ۰/۰۲۱ و ۰/۰۴۳ است.

تحلیل انرژی آشفتگی جریان در محدوده صفحه مشبک

طبق شکل (۱۹)، پروفیل طولی آشفتگی جریان برای چهار آزمایش A₁، A₂، B₁ و B₂ در ناحیه صفحه مشبک نشان داده شده است. مقدار آشفتگی جریان هرچه بیشتر باشد، درصد دبی عبوری از صفحه مشبک کمتر است. در



شکل (۱۹): توزیع انرژی آشفتگی در کانال اصلی الف (A₁، ب (A₂، ج (B₁ و د (B₂)

استخراج روابط

روابط (۱۲) و (۱۳) برای ضریب آگذری از صفحه مشبک با شیب طولی صفر و ده درجه حاصل شده است

با توجه به تاثیر پارامترهای S, A, N و Fr_1 در ضریب آگذری، با انجام رگرسیون خطی و غیرخطی از داده‌های آزمایشگاهی روابط (۱۰) و (۱۱) برای درصد دبی عبوری و

$$P = 0.88 \times (A^{0.85}) \times ((\log N) + 493.48) \times (\cos(Fr_1^{1.60}))$$

$$S=0^\circ \quad (10)$$

$$P = 3.87 \times (A^{0.94}) \times ((\log N) + 110.85) \times (\cos(Fr_1^{1.52}))$$

$$S=10^\circ \quad (11)$$

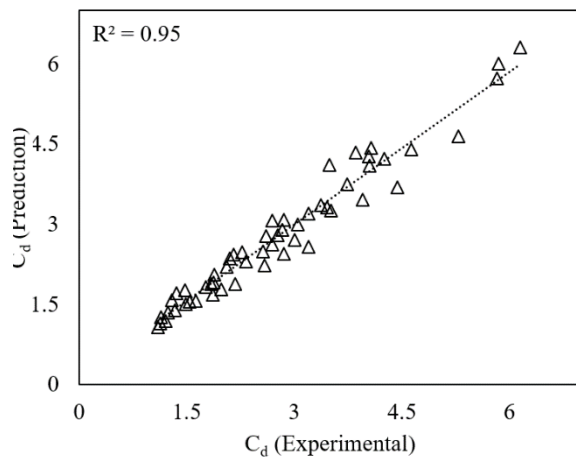
$$C_d = 0.51 - (0.50 \times \log A) \times (0.50 \times N) \times ((0.68 \times Fr_1) + 0.69)$$

$$S=0^\circ \quad (12)$$

$$C_d = 0.48 - (0.44 \times \log A) \times (0.44 \times N) \times ((0.98 \times Fr_1) + 0.2)$$

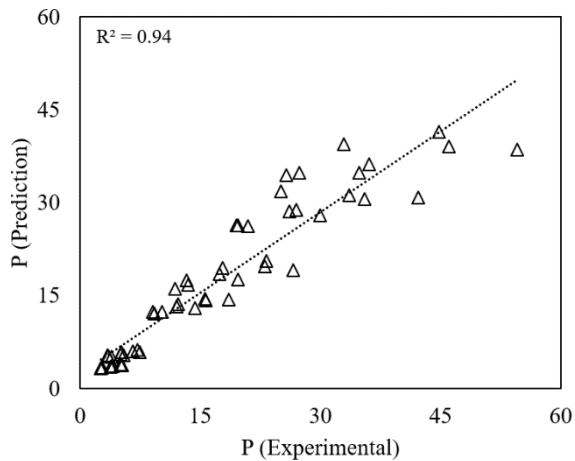
$$S=10^\circ \quad (13)$$

پس از استخراج روابط مذکور، با توجه به آزمایش‌های صورت گرفته، میزان دقت روابط ارائه شده برای صفحه مشبک در شکل (۲۰) نمایش داده شده است



ب: ضریب آگذری

شکل (۲۰): میزان دقت روابط ارائه شده الف: درصد دبی عبوری، ب: ضریب آگذری



الف: درصد دبی عبوری

مربع شکل تابعی از نسبت بازشدگی، عدد فرود، شیب صفحه مشبک و تعداد روزنه است. به عبارت دیگر با کاهش نسبت بازشدگی از ۰/۰۷ به ۰/۰۳ و از ۰/۰۷ به ۰/۰۱، ضریب آگذری در صفحه مشبک با شیب طولی ده درجه ۶/۷۰ و ۳۱/۰۳ درصد و در شیب طولی صفر درجه ۱۷/۲۶ و ۴۳/۵۰ درصد افزایش نسبی داشته است. همچنین کاهش شیب طولی صفحه مشبک از ۱۰ به ۰ درجه به طور متوسط سبب افزایش نسبی ضریب آگذری به مقدار ۴۵/۵۷ درصد شد. تاثیر کاهش تعداد روزنه سبب افزایش ضریب آگذری

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، به منظور بررسی عملکرد آگیر کفی روزنه‌ای با روزنه‌های مربع شکل، ۹ صفحه مشبک طراحی ۵۴ آزمایش انجام شد. با انجام رگرسیون بر داده‌های آزمایشگاهی، روابط ساده و با دقت مناسبی جهت محاسبه ضریب آگذری، درصد دبی عبوری و همچنین پروفیل سطح آب در آگیرهای کفی با صفحه مشبک روزنه‌ای مربع شکل ارائه شد. همچنین بررسی نتایج نشان داد که ضریب آگذری و درصد دبی عبوری در آگیرهای کفی روزنه‌ای

نسبی داشته است. در صفحه مشبک با شیب طولی صفر درجه نیز $۳۹/۸۹$ و $۹۰/۱۵$ درصد افزایش نسبی داشته است. با بررسی مشخصه‌های جریان در نرم‌افزار Flow-3D مشاهده شد که در آزمایشی که درصد دبی عبوری بیشتر داشته است، فشار منفی روی روزنه رخ داده است و این امر سبب مکش جریان شده است. این امر در حالیکه در آزمایش B_1 و A_1 که معرف آزمایش‌هایی است که دارای حداکثر درصد دبی عبوری در دو شیب صفر و ده درجه هستند، مقدار فشار -۱۱۱ و -۸۵ پاسکال بوده است. همچنین کاهش تعداد روزنه در نسبت مساحت بازشدگی سبب کاهش آشفتگی شده است و این امر نیز باعث افزایش درصد دبی عبوری از صفحه مشبک شده است. در آزمایش‌های B_1 و B_2 و همچنین A_1 و A_2 که معرف آزمایش‌هایی است که دارای بیشترین و کمترین درصد دبی عبوری در شیب ده و صفر درجه را داشته است مقدار آشفتگی $۰/۰۱۹$ ، $۰/۰۴۳$ ، $۰/۰۱۲$ و $۰/۰۲۱$ مجذور متر بر مجذور ثانیه است. با بررسی مولفه عمودی سرعت در آبیگر کفی، مشخص شد که آزمایش‌های B_1 و A_1 سرعت جریان بیشتر از آزمایش‌های دیگر بوده است. در آزمایش‌های A_1 و A_2 مولفه عمودی سرعت $-۰/۴۷$ و $-۰/۸۲$ متر بر ثانیه است و در آزمایش‌های B_1 و B_2 این مولفه دارای مقادیر $-۰/۳۴$ و $-۰/۱۵$ متر بر ثانیه است.

شد. به صورتی که با کاهش تعداد روزنه از ۹ عدد به ۶ عدد و از ۹ عدد به ۳ عدد، ضریب آنگذری برای صفحه مشبک با شیب طولی ده درجه $۴۵/۷۳$ و $۱۶۲/۹۰$ درصد و در صفحه مشبک با شیب طولی صفر درجه $۵۰/۰۳$ تا $۱۶۱/۸۶$ درصد افزایش نسبی داشته است. در نهایت، با افزایش عدد فرود بالادست صفحه مشبک از $۰/۵$ به $۰/۷$ و $۰/۵$ به $۰/۹$ در آبیگرهای کفی با شیب طولی ده درجه، سبب افزایش نسبی $۷/۸۱$ و $۱۶/۱۰$ درصدی ضریب آنگذری شد. همچنین در آبیگرهای کفی با شیب طولی صفر درجه نیز، ضریب آنگذری $۶/۷۵$ و $۱۴/۸۶$ درصد افزایش نسبی داشته است. درصد دبی عبوری با افزایش نسبت بازشدگی از $۰/۰۱$ به $۰/۰۳$ و $۰/۰۱$ به $۰/۰۷$ در آبیگر کفی با شیب طولی ده درجه $۳/۳۷$ و $۷/۲۸$ برابر شد. در آبیگرهای کفی با شیب طولی صفر درجه نیز درصد دبی عبوری از صفحه مشبک $۳/۳۵$ و $۶/۹۲$ برابر شد. کاهش شیب طولی صفحه مشبک نیز سبب افزایش $۳۴/۹$ درصدی، دبی عبوری از صفحه مشبک شد. درصد دبی عبوری از صفحه مشبک با شیب طولی ده درجه با کاهش تعداد روزنه از ۹ عدد به ۶ عدد و از ۹ عدد به ۳ عدد $۱/۷۷$ و $۱۱/۰۷$ درصد افزایش داشت. این افزایش نسبی در صفحه مشبک با شیب طولی صفر درجه $۱/۷۸$ و $۹/۶۴$ بود. با کم کردن عدد فرود از $۰/۹$ به $۰/۷$ و از $۰/۹$ به $۰/۵$ نیز درصد دبی عبوری از کف مشبک با شیب طولی ده درجه $۴۰/۰۲$ و $۸۴/۳۱$ درصد افزایش

منابع

- بینا ک. فغفور مغربی، م، جلیلی ا. مقایسه ضریب تخلیه دبی آبیگرهای کفی مشبک با میله‌های متقاطع در دو حالت جریان رسوبدار و بدون رسوب. علوم و مهندسی آبیاری. ۳۵ -(۱): ۴۸-۳۵.
- شفاعی بجستان م. شکوهی‌راد، غ. بررسی آزمایشگاهی ضوابط هیدرولیکی و رسوب در آبیگرهای کفی. مجله بین المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران. ۸ -(۱): ۵۳-۴۳.
- خواجه م، فتاحی م. ه، شمسانی، ا. شبیه سازی عددی سه بعدی هیدرولیک جریان در آبیگرهای دارای اشغال گیر تحتانی با کمک دینامیک سیالات محاسباتی. مجله‌ی مهندسی آب. ۲ : ۴۹-۵۸.

A. K. Jain, G. L. Asowa, A. K. Mehrotra, Bottom racks—an experimental study, Water and Energy International. 32 (2) (1975) 219-222.

Flow Science Inc. Flow-3D user's manual version 9.2, Santa Fe, New Mexico. 2008.

G. Nosedo, Operation and design of bottom intake racks. Proc., 6th Gen. Meeting, IAHR, Politecnico di Milano. (1956) (in Italian).

J. Carrillo, J. García, L. Castillo, Experimental and numerical modelling of bottom intake racks with circular bars, Water. 10(5) (2018) 605.



J. K. White, J. A. Charlton, C. RAMSEY, On the design of bottom intakes for diverting stream flows, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*. 51 (2) (1972) 337-345.

J. Orth, E. Chardonnet, G. Meynardi, Etude de grilles pour prises d'eau dutype. en-dessous, *La Houille Blanche*. 9 (6) (1954) 343-351. (In French).

K. Bina, H. Saghi, Experimental study of discharge coefficient and trapping ratio in mesh-panel bottom rack for sediment and non-sediment flow and supercritical approaching conditions, *Exp. Therm. Fluid. Sc.* 88 (2017) 171-186.

K. G. RangaRaju. Analysis of Flow through Bottom Racks in Open Channels. *Fluid Mechanics Conference Adelaide Australia*, (1997) 237-240.

K. Hosseini, S. Rikhtegar, H. Karami, K. Bina, Application of numerical modeling to assess geometry effect of racks on performance of bottom intakes, *Arab. J. Sci. Eng.* 40 (3) (2015) 677-684.

L. G. Castillo, J. M. Carrillo, J. T. García. Flow and sediment transport through bottom racks. CFD application and verification with experimental measurements. 35th IAHR Congress. China (2013).

L. G. Castillo, J. T. García, J. M. Carrillo. Experimental and numerical study of bottom rack occlusion by flow with gravel-sized sediment. Application to ephemeral streams in semi-arid regions. *Water*, 8(4) (2016), 166.

M. A. Mostkow, A theoretical study of bottom type water intake, *La Houille Blanche*. 4 (12) (1957) 570-580. (In French).

M. Andaroodi, Standardization of civil engineering works of small hydropower plants and development of an optimization Tool. Laboratory of Hydraulic Constructions (LCH), Switzerland, Lausanne, EPFL-LCH (2005).

M. Righetti, S. Lanzoni. Experimental study of the flow field over bottom intake racks. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 134(1)(2008) 15-22.

M. S. Nasser, P. Venkataraman, A. S. Ramamurthy, Flow in a channel with a slot in the bed, *J. Hydraul. Res.* 18 (4) (1980) 359-367.

P. Venkataraman, Divided flow in channels with bottom openings, *Journal of the Hydraulics Division*. 103 (2) (1977) 190-194.

R. Aghamajidi, M. M. Heydari. Simulation of Flow on Bottom Turn out Structures with Flow 3D. *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci*, 3(3) (2014) 173-181.

S. Brunella, W. Hager, H. E. Minor. Hydraulics of Bottom Rack Intake. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, (2003). 129.

S. Kumar, Z. Ahmad, U. C. Kothiyari, M. K. Mittal, Discharge characteristics of a trench weir, *Flow Meas. Instrum.* 21 (2) (2010) 80-87.

S. N. Chan, J. H. Lee. 3D CFD modeling of a supercritical bottom rack intake. 7th IAHR International Symposium on Hydraulic Structures. Germany (2018).

Y. T. Zerihun, Numerical simulation of flow in open channels with bottom intake racks, *Water Utility J.* 11 (2015) 49-61.



EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF THE HYDRAULIC PERFORMANCE OF A SQUARE ORIFICE BOTTOM INTAKE IN DIFFERENT SUBCRITICAL CONDITIONS

Ali Mirnourollahi¹, Saeed Farzin², Hojat Karami³, Mojtaba Ameri⁴

ABSTRACT

Bottom intakes are one of the most efficient water diversion structures in rivers that have the task of transferring the flow to the collecting canal. The orifice bottom intake is used in the surface water collection and diversion network to the turbine. In the present study, the effect of different parameters of square orifice bottom intake including perforated plate longitudinal slope (S), opening area ratio (A) and number of orifices (N) on the discharge coefficient and percentage of flow passing through the perforated plate under different subcritical flow conditions in laboratory and numerical condition investigated. The results showed that parameter A and S had the highest effect on P and C_d . By increasing A from 0.01 to 0.07, the percentage of flow passing through the perforated plate has increased 7.58 times. Also, by decreasing the longitudinal slope by 10 degrees, the percentage of flow passing through the perforated plate increased by 45.57%. Also the simulation results of this structure in Flow-3D software showed that the value of P was inversely related to turbulence and pressure.

Keywords: Square Orifice Bottom Intake, Discharge Coefficient, Laboratory Modeling, subcritical flow, Flow-3D.

¹ M.Sc Student of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

² Associate Professor, Department of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran. *CORRESPONDING AUTHOR: EMAIL: SAEED.FARZIN@SEMNAS.AC.IR*

³ ASSOCIATE PROFESSOR, DEPARTMENT OF WATER ENGINEERING AND HYDRAULIC STRUCTURES, FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, SEMNAN UNIVERSITY, SEMNAN, IRAN

⁴ Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shahrood Branch, Islamic Azad University, Shahrood, Iran



EXPERIMENTAL AND NUMERICAL INVESTIGATION OF THE HYDRAULIC PERFORMANCE OF A SQUARE ORIFICE BOTTOM INTAKE IN DIFFERENT SUBCRITICAL CONDITIONS

Ali Mirnourollahi¹, Saeed Farzin², Hojat Karami³, Mojtaba Ameri⁴

Introduction

Bottom intakes are one of the most efficient water diversion structures in rivers that have the task of transferring flow to the collecting channel. The orifice bottom intake is used in the surface water collection and diversion network to the turbine. (Righetti & Lanzoni, 2008) with a laboratory study on bottom intake, provide an equation for the discharge coefficient. (Kumar et al., 2010) proposed the coefficient of discharge of bottom intake under free and submerged flow conditions by studying the bottom intake with the rectangular cross-sectional bar. (Bina & Saghi, 2017) investigated the bottom intake experimentally by porous media and provided a formula for discharge coefficient of these types of bottom intakes. They also found that the presence of sediments in the form of bed load in the experiments of this study that reduced the discharge coefficient by 2.75% in comparison to the flow have no sediment. By considering of numerical researches in the field of bottom intake (Castillo et al., 2013), they studied numerically the bottom intake with using ANSYS software and found that the simulation results were in good agreement with the laboratory results and this software shows a good ability in simulation of such structures. (Aghamajidi & Heydari, 2014) Using Flow-3D software, they investigated the performance of the bottom intake and declared the optimal longitudinal slope for this type of intake. (Chan & Lee, 2018) By numerically modeling of the bottom intake with ANSYS software, they investigated the supercritical flow for these structures. They found that the average air concentration in the reservoir decreases with discharge increase.

Methodology

In this study, the effects of different parameters of square orifice bottom intake including perforated plate longitudinal slope (S), opening area ratio (A) and number of orifices (N) on the discharge coefficient and percentage of flow passing through the perforated plate under different subcritical flow conditions in laboratory and numerical condition investigated. In order to perform experiments and build a physical model, a channel with a metal frame and transparent glass walls with a length of 10 meters, a width of 0.6 meters and a height of 0.75 meters were used. To apply the desired slopes in the experiments, the channel floor was lifted 0.3 m and a glass was placed at the bottom of the channel. At a distance of 3.6 to 4.2 meters, the perforated plate was placed. The perforated plate material was selected from PVC plates with a thickness of 8 mm. Figure (1) shows a schematic view of the laboratory channel with its equipment.

¹ M.Sc Student of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

² Associate Professor, Department of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran. *CORRESPONDING AUTHOR: EMAIL: SAEED.FARZIN@SEMNAS.AC.IR*

³ ASSOCIATE PROFESSOR, DEPARTMENT OF WATER ENGINEERING AND HYDRAULIC STRUCTURES, FACULTY OF CIVIL ENGINEERING, SEMNAN UNIVERSITY, SEMNAN, IRAN

⁴ Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Shahrood Branch, Islamic Azad University, Shahrood, Iran

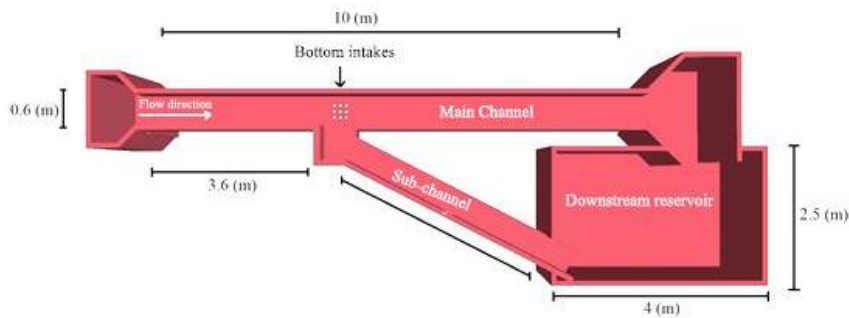


Figure (1): Laboratory specifications

Figure (2) shows the properties of the perforated plate. In these experiments, two longitudinal slopes of the perforated plate (S), three different Froude number (Fr_1), three different opening area ratios (A) and three series of orifices (N) were used. Also, D is the length of the orifice that used in the perforated plate and Q_1 is the discharge of inlet flow in main channel and Q_2 is the discharge passing through the perforated plate and Q_3 is the discharge of out flow in main channel. Total of 54 experiments were performed.

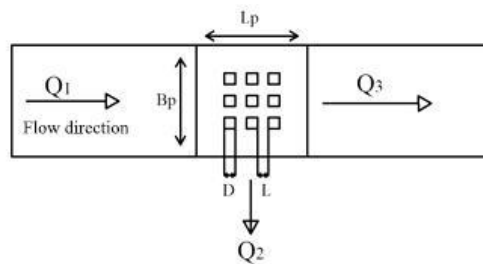


Figure (2): perforated plate and channel profile specifications

In recent study, water height on the perforated plate was used to validate the calculated parameters by Flow-3D software. Figure (3) shows the boundary conditions in the simulation in Flow-3D software.

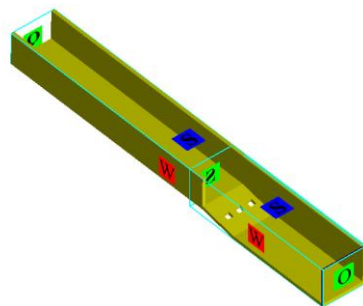


Figure (3): Boundary conditions in bottom intake simulation in Flow-3D software

Conclusion and Discussion

Investigation of the results showed that the discharge coefficient and the percentage of flow rate in square orifice bottom intake depend on the opening ratio, Froude number, perforated plate slope longitudinal and number of orifices. In other words, by reducing the opening ratio from 0.07 to 0.03 and from 0.07 to 0.01, the discharge coefficient in the perforated plate with a longitudinal slope of ten degrees, 6.70 and 31.03 percent and in the longitudinal slope of zero degree 17.26 and 43.50 percent had a relative increase. Also, reducing the longitudinal slope of the perforated plate from 10 to 0 degrees on average caused a relative increase in the discharge coefficient of 45.57 percent. Reducing the number of orifices increased the discharge coefficient. By reducing the number of orifices from 9 to 6 and from



9 to 3, the discharge coefficient for the perforated plate with a longitudinal slope of ten degrees is 45.73 and 162.90 percent and in the perforated plate with a longitudinal slope of zero degrees 50.03 and 161.86 had a relative increase percent. Finally, by increasing the Froude number of upstream of the perforated plate from 0.5 to 0.7 and 0.5 to 0.9 in bottom intake with a longitudinal slope of ten degrees, caused a relative increase of 7.81 and 16.10 percent of the discharge coefficient. Also, in bottom intake with a longitudinal slope of zero degrees, the discharge coefficient has increased by 6.75 and 14.86 percent. The percentage of flow rate increased by increasing the opening ratio from 0.01 to 0.03 and 0.01 to 0.07 in the bottom intake with a longitudinal slope of ten degrees increased 3.37 and 7.28 times. In bottom intakes with zero longitudinal slope, the percentage of flow through the perforated plate was increased 3.35 and 6.92 times, respectively. Examining the flow characteristics in Flow-3D software, it was observed that in an experiment with a higher flow rate, negative pressure occurred on the orifice, which caused the suction in the flow. Also, reducing the number of orifices in the opening area ratio has reduced the turbulence and this has also increased the percentage of flow through the perforated plate.

The most important references

M. Righetti, S. Lanzoni. Experimental study of the flow field over bottom intake racks. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 134(1) (2008) 15-22.

S. Kumar, Z. Ahmad, U. C. Kothiyari, M. K. Mittal, Discharge characteristics of a trench weir, *Flow Meas. Instrum.* 21 (2) (2010) 80-87.

K. Bina, H. Saghi, Experimental study of discharge coefficient and trapping ratio in mesh-panel bottom rack for sediment and non-sediment flow and supercritical approaching conditions, *Exp. Therm. Fluid. Sc.* 88 (2017) 171-186.

L. G. Castillo, J. M. Carrillo, J. T. García. Flow and sediment transport through bottom racks. CFD application and verification with experimental measurements. 35th IAHR Congress. China (2013).

R. Aghamajidi, M. M. Heydari. Simulation of Flow on Bottom Turn out Structures with Flow 3D. *Bull. Env. Pharmacol. Life Sci*, 3(3) (2014) 173-181.

S. N. Chan, J. H. Lee. 3D CFD modeling of a supercritical bottom rack intake. 7th IAHR International Symposium on Hydraulic Structures. Germany (2018).