

بررسی عددی پارامترهای هیدرولیکی جریان عبوری از فلوم‌های SMBF چندگانه

شیوا کیانی^{۱*}، طاهر رجائی^۱ و محمد کرم دخت بهبهانی^۲

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۲۹)

چکیده

در این پژوهش به بررسی پارامترهای هیدرولیکی جریان روی فلوم‌های SMBF در دو حالت ساده و چندگانه پرداخته شده است. در این پژوهش به منظور شبیه‌سازی عددی فلوم SMBF از نرم افزار Flow3D استفاده شده است. شبیه‌سازی‌ها در سه دبی (۵، ۱۵ و ۳۰ لیتر بر ثانیه) و سه میزان بازشدگی (۰/۷۵، ۰/۱ و ۰/۱۵ متر) انجام شده است. نتایج نشان داد که در زمان استفاده از فلوم‌های SMBF چندگانه به جای فلوم‌های SMBF ساده، سرعت بیشینه به طور میانگین در دبی ۵ لیتر بر ثانیه ۱۲ درصد، در دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه ۱۹ درصد و در دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه ۱۰ درصد افزایش یافته است. استهلاك انرژی فلوم‌های SMBF چندگانه به طور میانگین در دبی ۵ لیتر بر ثانیه ۲۱ درصد، در دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه ۶۶ درصد و در دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه ۱۲۲ درصد در مقایسه با فلوم‌های SMBF ساده کاهش یافته است. در نهایت مشاهدات نشان داد، در زمان بهره‌وری از فلوم‌های SMBF چندگانه در مقایسه با فلوم‌های SMBF ساده، وسعت گردابه‌ها کاهش یافته و تعداد گردابه‌ها و ناحیه تلاطم جریان افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی: سرعت، استهلاك انرژی، گردابه، SMBF، Flow3D

۱. گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه قم، قم، ایران.

۳. گروه سازه‌های آبی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: shivakiyani78@gmail.com

مقدمه

به منظور کنترل و اندازه‌گیری دبی عبوری جریان در کانال‌های روباز، روش‌های متعددی به منظور ارزان و ساده‌سازی و همچنین سهولت در ساخت و افزایش دقت اندازه‌گیری توسط پژوهشگران بررسی شده‌است. یکی از سازه‌های نوین که امروز مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته‌است، فلوم‌هایی از نوع SMBF است. فلوم‌های SMBF اولین بار توسط سامانی و ماگالانز (۲۰۰۰) مورد مطالعه قرار گرفته‌است (۱۲). این سازه با داشتن دو نیم استوانه در طرفین کانال، باعث تنگ‌شدگی عرضی شده و برای اندازه‌گیری دبی در کانال‌های با جریان زیر بحرانی در بالادست استفاده می‌شود.

اولین مطالعات آزمایشگاهی و نظری در مورد فلوم‌هایی با عمق بحرانی توسط Belanger در سال ۱۸۴۹ و توسط Bazin در سال ۱۸۹۶ صورت گرفت. (هگر، ۱۹۸۶) به بررسی الگوی جریان ناشی از پایه‌های مخروطی شکل موجود در یک کانال مستطیلی در حالت مستغرق و تحت شرایط جریان بحرانی پرداخت. ایشان آزمایش‌هایی برای رسیدن به یک معادله مناسب برای تخمین دبی عبوری جریان انجام داد (۷). (سامانی و همکاران، ۱۹۹۱) مدل‌های آزمایشگاهی را برای بررسی ویژگی‌های هیدرولیکی چند فلوم دایره‌ای شکل انجام دادند. بررسی‌ها نشان داد که وجود ستون داخلی، سطح مقطع جریان را کاهش می‌دهد و شرایط جریان بحرانی را ایجاد می‌کند (۱۱). (سامانی و ماگالانز، ۲۰۰۰) یک فلوم ساده و تنوری تحت عنوان فلوم‌های SMBF پیشنهاد دادند. آنان با فرض تشکیل عمق بحرانی در مقطع تنگ‌شدگی کانال و با در نظر گرفتن معادله انرژی بین بالادست و مقطع تنگ‌شدگی فلوم، رابطه‌ای را با هدف تخمین دبی عبوری جریان در شرایط جریان آزاد پیشنهاد کردند (۱۲). (دی استفانو و همکاران، ۲۰۰۸) ارائه رابطه دبی - اشل یک فلوم نوین تحت عنوان فلوم‌های SMBF که در اصل توسط (سامانی و ماگالانز، ۲۰۰۰) پیشنهاد شده و توسط بایامونته و فرو آزمایش شده‌است، برای اندازه‌گیری دبی عبوری جریان در کانال‌های روباز مورد بررسی قرار دادند (۶).

(کارولو و همکاران، ۲۰۱۶) در پژوهش خود، در گام اول یک معادله دبی - اشل جدید را برای فلوم‌های SMBF به صورت نظری ارائه کردند. در گام بعد معادله ارائه شده به طور تجربی با استفاده از اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی برای مقادیر مختلف نسبت انقباض، اعتبارسنجی شد. در نهایت، اندازه‌گیری‌های میدانی انجام شده در منطقه آزمایشی Sparacia (سیسیل، ایتالیا) جنوبی) توسط یک فلوم SMBF با نسبت انقباض برابر با ۰/۵ در یک کانال افقی قرار داده شد و در نتیجه از داده‌های حاصل شده برای اعتبارسنجی رابطه دبی - اشل جدید استفاده شد (۵). (وطن‌خواه و محمدی، ۲۰۲۰) فرایند مجرای عبور جریان یک فلوم ساده با دو نیم استوانه در دو طرف کانال مستطیلی تحت عنوان فلوم SMBF با شیب صفر درجه را مورد بررسی قرار دادند. آنان برای گسترش دامنه داده‌های موجود قبلی که توسط (بایامونته و فرو، ۲۰۰۷) صورت گرفته بود، به اجرای آزمایش‌های جدید با دامنه وسیع‌تری پرداختند. دو رابطه جدید دبی - اشل با در نظر گرفتن نسبت انقباض و با نادیده گرفتن نسبت انقباض برای محدوده مشخصی از این متغیر ارائه شد (۱۴). (پارسائی و همکاران، ۲۰۲۳) ضریب سرعت جریان را در فلوم‌های سامانی، ماگالانز، بایامونته و فرو (SMBF) تحت شرایط جریان آزاد و مستغرق بررسی کردند. ارزیابی‌ها نشان داد که شرایط جریان مستغرق باعث کاهش ضریب دبی جریان می‌شود (۱۰). (سومه، ۲۰۲۴) در پژوهش خود اثر انقباض ناگهانی غیرمستمر بر اتلاف انرژی جریان‌های فوق بحرانی به صورت عددی را مورد بررسی قرار دادند. بررسی‌ها نشان داد که با افزایش عدد فرود جریان بالادست، اتلاف انرژی در بالادست ($\Delta E/E0$) و پایین دست ($\Delta E/E1$) افزایش می‌یابد (۱۳). (امین‌پور و همکاران، ۱۳۹۷) به تحلیل آبگذری فلوم‌های نوع SMBF در شرایط جریان آزاد و مستغرق پرداختند. بر اساس داده‌های آزمایشگاهی به دست آمده، عمق بالادست سازه، میزان تنگ‌شدگی عرضی فلوم و معادلات دبی عبوری پیشنهادی مختلف مورد مقایسه و بررسی قرار گرفتند. سپس با در نظر گرفتن ضرایب تصحیح جریان عبوری در مقطع

مواد و روش

مشخصات مدل آزمایشگاهی

آزمایش‌های صورت گرفته روی یک کانال مستطیلی باز به طول ۱۲ متر، عرض ۰/۲۵، ارتفاع ۰/۵ متر و دارای شیب بستر کانال مستطیلی افقی در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران واحد کرج انجام شد. (شکل ۱-الف) جزئیات فلوم آزمایشگاهی مد نظر در جدول ۱ آورده شده است. آزمایش‌های انجام شده با استفاده از دبی‌های جریان در محدوده ۱/۴۴ تا ۶۷/۹ لیتر در ثانیه صورت گرفت. مقادیر دبی عبوری با استفاده از سرریزهای مثلثی (دبی کم) و مستطیلی (دبی زیاد) اندازه‌گیری شد. همچنین در این پژوهش، چهار مقدار عرض دهانه فلوم (Bc=0.075, 0/1, 0.15, 0.221 meters) مورد بررسی قرار گرفت.

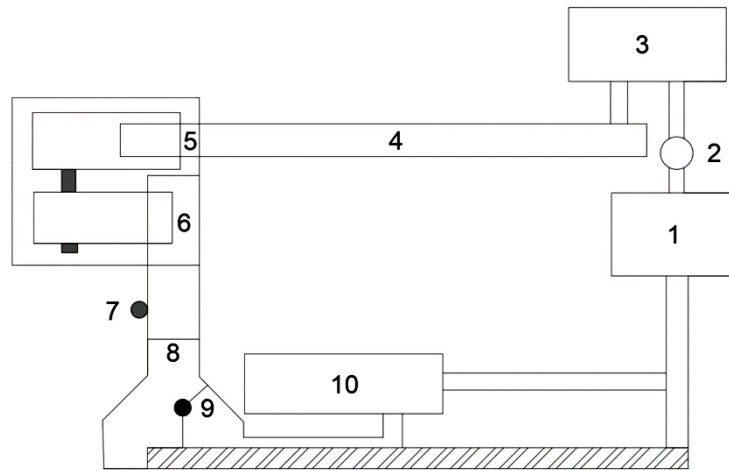
شکل (۱-الف) نمای کلی فلوم آزمایشگاهی مورد بررسی در این پژوهش را نشان می‌دهد. شکل‌های (۱-ب) نمای کلی فلوم SMBF را در دو حالت ساده و چندگانه نشان می‌دهد. باتوجه به شکل (۱-ب)، فلوم SMBF از نوع سازه از دو نیم استوانه متصل شده به جداره‌های کانال تشکیل می‌شود. عرض دهانه بین این دو نیم استوانه Bc بوده و عرض کانال B است. در فلوم SMBF از نوع چندگانه، سازه از چهار نیم استوانه تشکیل شده که در آن دو نیم استوانه به جداره‌ها متصل شده و دو نیم استوانه به صورت قرینه در مرکز کانال نصب شده است. در این شرایط فاصله عرض دهانه فلوم به دو بخش (Bc/2) تقسیم می‌شود.

شبیه‌سازی عددی

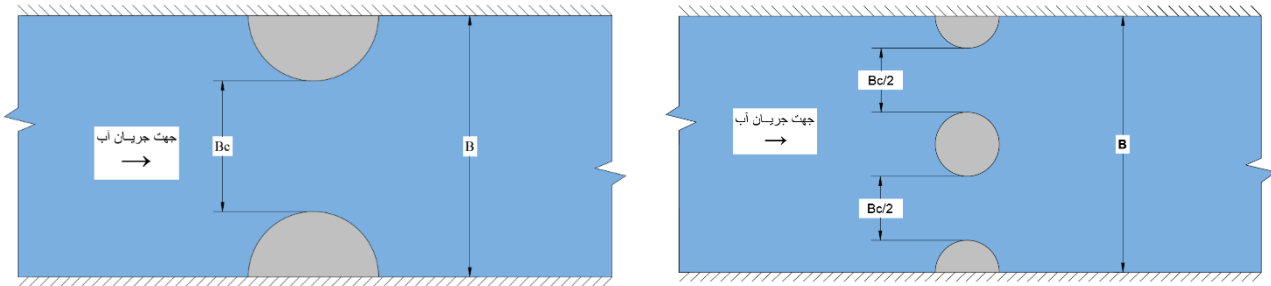
نتایج داده‌های آزمایشگاهی به دست آمده توسط (وطن خواه و محمدی، ۲۰۲۰) ابتدا برای کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل Flow3D استفاده شد. سپس مشخصات شبیه‌سازی تأیید شده برای دیگر شبیه‌سازی‌ها به منظور به دست آوردن داده‌های نهایی مورد نیاز استفاده شد. برای مرحله کالیبراسیون، فلوم SMBF مورد بررسی با مقدار

تنگ‌شدگی و اعمال آن در روابط انرژی، معادله‌ای با هدف تحلیل آبگذری جریان در این نوع فلوم‌ها در شرایط جریان آزاد استخراج شد (۲). (محمدی و وطن خواه، ۱۳۹۹) به بررسی فلوم اندازه‌گیری جریان با دیواره‌های مخروطی و استوانه‌ای شکل در محیط آزمایشگاهی پرداختند. در نهایت با مطالعه نظری و آزمایشگاهی خصوصیات جریان عبوری از سازه‌های استوانه‌ای و مخروطی شکل در شرایط جریان آزاد، معادلاتی را برای تخمین دبی عبوری جریان در یک کانال مستطیلی توسعه داده‌اند (۸). (عباسی و ولی‌زادگان، ۱۴۰۱) به محاسبه دبی و ضریب دبی جریان زیر بحرانی در فلوم‌های دوزنقه‌ای با پایه منشوری در شرایط جریان آزاد پرداختند. بر اساس نتایج و ارزیابی‌های صورت گرفته از مدل‌های آزمایشگاهی متعدد، در تحلیل اول با استفاده از تحلیل ابعادی رابطه و نموداری با هدف محاسبه میزان دبی عبوری جریان، به‌طور جداگانه برای هر شیب جانبی و یک رابطه برای تمامی شیب‌های جانبی بررسی شده ارائه شد. در تحلیل دوم با استفاده هم‌زمان از مفهوم اصل انرژی و تحلیل ابعادی، رابطه و نمودار محاسبه میزان ضریب دبی عبوری جریان برای هر شیب جانبی به‌طور جداگانه و رابطه‌ای کلی برای تمامی شیب‌های جانبی بررسی شده به دست آمد. نتایج نشان داد که تحلیل دوم برای محاسبه دبی جریان نسبت به تحلیل اول مناسب‌تر بوده و از دقت بیشتری برخوردار است (۱).

باتوجه به پژوهش‌های گذشته، تاکنون تمامی مطالعه‌های مرتبط با فلوم‌های SMBF به‌طور عمده در حالت ساده انجام شده است و تأثیر استفاده از فلوم‌های SMBF چندگانه به‌جای حالت ساده این فلوم مورد مطالعه قرار نگرفته است. در این پژوهش به‌منظور نوآوری، اثر کاربرد چهار نیم استوانه کوچکتر به‌جای دو نیم استوانه بر خصوصیات هیدرولیکی جریان مانند سرعت بیشینه، استهلاک انرژی و گردابه‌های جریان با هدف افزایش کارایی و انعطاف‌پذیری و همچنین ارتقا و صرفه‌جویی در هزینه‌های طراحی و ساخت، در شبکه‌های بهره‌برداری و انتقال آب مورد بررسی قرار گرفت.



(الف)



(ب)

شکل ۱. الف) نمای کلی فلوم آزمایشگاهی (ب) نمای کلی فلوم SMBF در دو حالت ساده و چندگانه

جدول ۱. جزئیات تشکیل دهنده فلوم آزمایشگاهی

شماره	توضیحات	شماره	توضیحات
۱	مخزن اصلی	۷	محل قرائت سرریز لبه تیز مستطیلی
۲	پمپ آب	۸	سرریز مستطیلی
۳	مخزن هوایی	۹	دریچه دوطرفه
۴	کانال آزمایشگاهی	۱۰	مخزن اندازه‌گیری
۵	دریچه کشویی		
۶	سرریز لبه تیز مثلثی		

مقادیر اندازه‌گیری شده سطح آب در آزمایشگاه مطابقت داشته باشد. در این پژوهش به منظور بررسی عملکرد فلوم‌های از نوع SMBF در دو حالت ساده و چندگانه و مقایسه این دو نسبت به یکدیگر، در مجموع ۱۸ شبیه‌سازی انجام شد (جدول ۲).

دبی ۶/۵۷۷ لیتر بر ثانیه و عرض دهانه فلوم (BC) ۰/۰۷۵ متر شبیه‌سازی شد. با تغییر تعداد سلول مش و با انتخاب مدل آشفتگی، مدل شبیه‌سازی شده در نرم افزار Flow3D به گونه‌ای شد که نتایج شبیه‌سازی مستقل از تعداد سلول مش بوده و به خوبی با

جدول ۲. مشخصات هیدرولیکی استفاده شده در شبیه‌سازی‌ها برای فلوم SMBF در دو حالت ساده و چندگانه

2 (Bc/2) (m)	B (m)	Q (l/s)	n	Bc (m)	B (m)	Q (l/s)	n
۰/۰۷۵	۰/۲۵	۵	۱۰	۰/۰۷۵	۰/۲۵		۱
۰/۱	۰/۲۵		۱۱	۰/۱	۰/۲۵	۵	۲
۰/۱۵	۰/۲۵		۱۲	۰/۱۵	۰/۲۵		۳
۰/۰۷۵	۰/۲۵	۱۵	۱۳	۰/۰۷۵	۰/۲۵		۴
۰/۱	۰/۲۵		۱۴	۰/۱	۰/۲۵	۱۵	۵
۰/۱۵	۰/۲۵		۱۵	۰/۱۵	۰/۲۵		۶
۰/۰۷۵	۰/۲۵	۳۰	۱۶	۰/۰۷۵	۰/۲۵		۷
۰/۱	۰/۲۵		۱۷	۰/۱	۰/۲۵	۳۰	۸
۰/۱۵	۰/۲۵		۱۸	۰/۱۵	۰/۲۵		۹

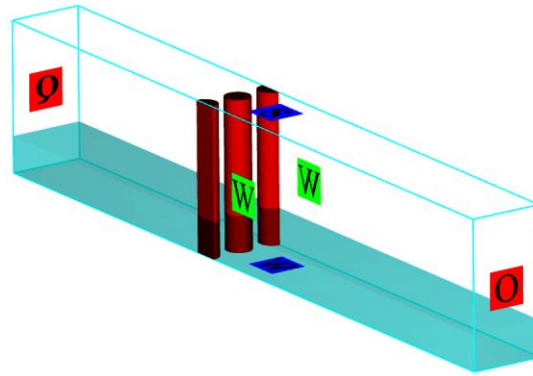
مش‌بندی و شرایط مرزی

در این پژوهش از یک بلوک مش‌بندی استفاده شده که تمامی فضای شبیه‌سازی و سازه فلوم را شامل می‌شود. (شکل ۲) شرایط مرزی اعمال شده در شبیه‌سازی است. شرایط مختلف مرزبندی در شبکه سلول محاسباتی به شکل مرز ورودی به صورت دبی ورودی (Q) و مرز خروجی نیز به علت خروج جریان به صورت جریان خروجی (O) انتخاب شد. دیواره‌های جانبی شبکه سلول‌های محاسباتی و همچنین کف بلوک مش‌بندی در حالت دیوار (W) تنظیم شده و سقف این بلوک نیز به علت وجود هوا به صورت شرط مرزی متقارن (S) در نظر گرفته شده است. (شکل ۲) در این پژوهش برای بلوک مش‌بندی، تعداد مش‌های ۵۰۰۰۰۰۰، ۱۰۰۰۰۰۰ و ۲۰۰۰۰۰۰ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج انتخاب تعداد سلول مش‌بندی مناسب در جدول ۳ آمده است. در طول فرایند اعتبارسنجی، همگرایی حل عددی حالت پایدار با نظارت بر دبی در واحد عرض (q) و با تغییرات در ورودی و خروجی حوزه شبیه‌سازی بررسی شد. (شکل ۳) تغییرات زمانی را با دبی در واحد عرض در دو سری از آزمایش‌های (وطن خواه و محمدی، ۲۰۲۰) با عرض دهانه فلوم (Bc) ۰/۲۲۱ متر و در دبی ۳۹/۸۳۶ و ۴۴/۰۳۳ لیتر بر ثانیه نشان می‌دهد. شکل ۳ نشان می‌دهد که زمان $t=35.0$ ثانیه

۹ شبیه‌سازی از فلوم SMBF در حالت ساده با دبی‌های ۵، ۱۵ و ۳۰ لیتر بر ثانیه و عرض دهانه فلوم (Bc) برابر با ۰/۰۷۵، ۰/۱ و ۰/۱۵ متر مورد بررسی قرار گرفت. همچنین ۹ شبیه‌سازی از فلوم‌های SMBF چندگانه با دبی و میزان بازشدگی یکسان صورت گرفت. در جدول ۲، n (شماره شبیه‌سازی)، Q (دبی عبوری جریان)، B (عرض فلوم)، Bc (عرض دهانه فلوم SMBF) و 2(Bc/2) (مجموع عرض هر دو دهانه فلوم) است.

مدل‌های آشفتگی

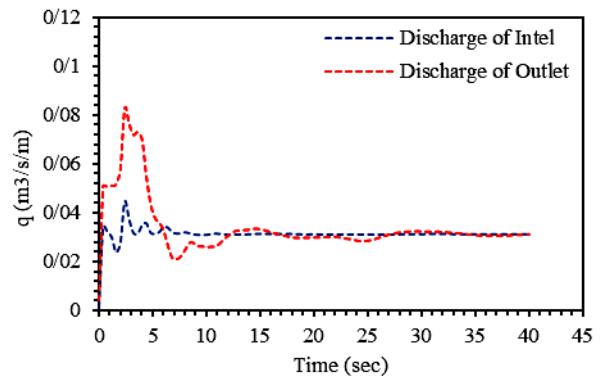
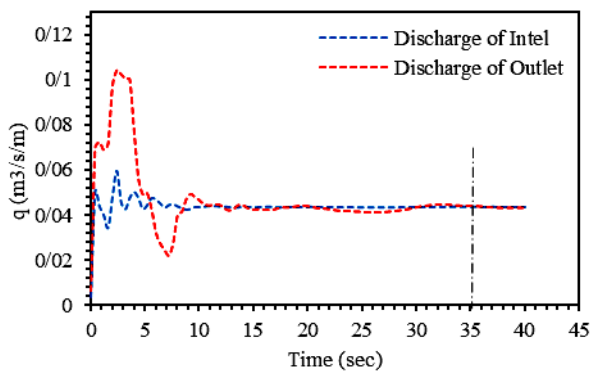
مدل‌های آشفتگی شامل مدل‌های صفر معادله‌ای، مدل‌های تک معادله‌ای، مدل‌های $k-\epsilon$ ، مدل‌های RNG و مدل‌های LES است که متداول‌ترین آنها در بحث سازه‌های هیدرولیکی، مدل‌های $k-\epsilon$ و RNG است. مدل RNG برای توصیف آشفتگی با شدت کم و جریان‌هایی که دارای مناطق برشی قوی هستند، با دقت بیشتری نسبت به مدل استاندارد $K-\omega$ شناخته می‌شود؛ بنابراین مدل RNG کاربرد وسیع‌تری نسبت به $K-\omega$ دارد. علاوه بر این گردابه‌هایی که در اطراف دریچه تشکیل می‌شوند، توسط مدل RNG با دقت بیشتری شبیه‌سازی می‌شوند. همچنین مدل آشفتگی $K-\epsilon$ به دلیل این که دارای تحلیل‌های دو معادله‌ای بوده و ضرایب تقریباً ثابتی دارد، نسبت به RNG از دقت کمتری برخوردار است.



شکل ۲. شرایط مرزی اعمال شده در شبیه‌سازی

جدول ۳. نتایج آماری مش‌بندی، مدل آشفتگی و کالیبراسیون با مدل آزمایشگاهی در دبی ۶/۵۷۷ لیتر بر ثانیه و عرض دهانه فلوم (Bc) ۰/۰۷۵ متر

Accepted	RMSE (m)	MAPE (%)	Y (Num) (m)	Y (exp) (m)	T-model	Mesh	Q (l/s)	Bc(m)	N
	۰/۰۰۶۱۳۰۴	۱/۱۵۲۲۳	۰/۱۲۰۱	۰/۱۲۱۵	RNG		۶/۵۷۷	۰/۰۷۵	۱
	۰/۰۰۶۷۵۱۲	۱/۳۹۹۱۷۶	۰/۱۱۹۸	۰/۱۲۱۵	K-ε	۵۰۰۰۰۰			۲
	۰/۰۱۲۳۶۳۷	۴/۷۷۳۶۶۲	۰/۱۱۵۷	۰/۱۲۱۵	K-ω				۳
←	۰/۰۰۲۷۴۴۳	۰/۲۴۶۹۱۳	۰/۱۲۱۲	۰/۱۲۱۵	RNG				۴
	۰/۰۰۳۶۷۰۵	۰/۴۱۱۵۲۲	۰/۱۲۱	۰/۱۲۱۵	K-ε	۱۰۰۰۰۰۰			۵
	۰/۰۰۶۵۵۱	۱/۳۱۶۸۷۲	۰/۱۱۹۹	۰/۱۲۱۵	K-ω				۶
	۰/۰۰۵۹۰۸۷	۱/۰۶۹۹۵۸۸	۰/۱۲۰۲	۰/۱۲۱۵	RNG				۷
	۰/۰۰۶۱۳۰۴	۱/۱۵۲۶۶۳۳	۰/۱۲۰۱	۰/۱۲۱۵	K-ε	۲۰۰۰۰۰۰			۸
	۰/۰۱۲۳۶۳۷	۴/۷۷۳۶۶۲۵	۰/۱۱۵۷	۰/۱۲۱۵	K-ω				۹



شکل ۳. تغییرات زمانی با دبی در واحد عرض (q) در ورودی و خروجی حوزه شبیه‌سازی برای عرض دهانه فلوم (Bc) ۰/۲۲۱ متر، در دبی‌های الف) ۴۰/۰۳۳ لیتر بر ثانیه ب) ۳۹/۸۳۶ لیتر بر ثانیه

بیشینه بوده و محور افقی مربوط به بازشدگی های بدون بعد بوده که به صورت Bc/B نشان داده شده است که در آن Bc عرض دهانه فلوم بوده و B عرض کانال است. باتوجه به شکل ۴ دیده می شود که سرعت بیشینه با دبی عبوری جریان، رابطه مستقیم داشته و با میزان بازشدگی رابطه عکس خواهد داشت؛ به این صورت که با افزایش دبی در بازشدگی های ثابت، مقدار V_{max} افزایش یافته و با افزایش میزان بازشدگی فلوم (کاهش عرض دهانه فلوم)، این پارامتر مرتباً کاهش خواهد یافت. بررسی ها نشان می دهد که بیشترین سرعت جریان ایجاد شده بر فلوم های $SMBF$ چندگانه به مراتب بیشتر از زمانی است که از فلوم های $SMBF$ ساده استفاده می شود. این پدیده به دلیل کاهش دهانه فلوم و افزایش فشار جریان آب است. ارزیابی ها نشان می دهد که در زمان استفاده از فلوم های $SMBF$ چندگانه به جای فلوم های $SMBF$ ساده، سرعت بیشینه در بازشدگی های (Bc) برابر با $0/075$ ، $0/1$ و $0/15$ متر به طور میانگین در دبی ۵ لیتر بر ثانیه ۱۲ درصد، در دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه ۱۹ درصد و در دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه، ۱۰ درصد در مقایسه با فلوم های $SMBF$ ساده افزایش یافته است. بیشترین میزان افزایش سرعت فلوم های $SMBF$ چندگانه مربوط به دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه و عرض دهانه فلوم (Bc) $0/1$ متر به مقدار ۲۵ درصد و کمترین میزان افزایش سرعت مربوط به دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه و عرض دهانه فلوم (Bc) $0/075$ متر با مقدار ۶ درصد است.

اثر بازشدگی بدون بعد (Bc/B) بر اتلاف انرژی (ΔE)

افت انرژی جریان $(\Delta E = \frac{E_1 - E_2}{E_1})$ ، برای توصیف رفتار

جریان در اطراف فلوم های $SMBF$ مهم است. E_1 مقدار انرژی

در بالادست فلوم $(E_1 = y_1 + \frac{V_1^2}{2g})$ و E_2 انرژی در پایین دست

فلوم است $(E_2 = y_2 + \frac{V_2^2}{2g})$. در رابطه معرفی شده، y ارتفاع

آب و v سرعت آب در مقطع مد نظر است. پس از ارزیابی نتایج و محاسبات صورت گرفته به بررسی تغییرات

برای دستیابی به یک وضعیت پایدار برای دو تخلیه اتخاذ شده مناسب بود؛ بنابراین برای احتیاط بیشتر، زمان اجرای شبیه سازی روی ۴۰ ثانیه تنظیم شد.

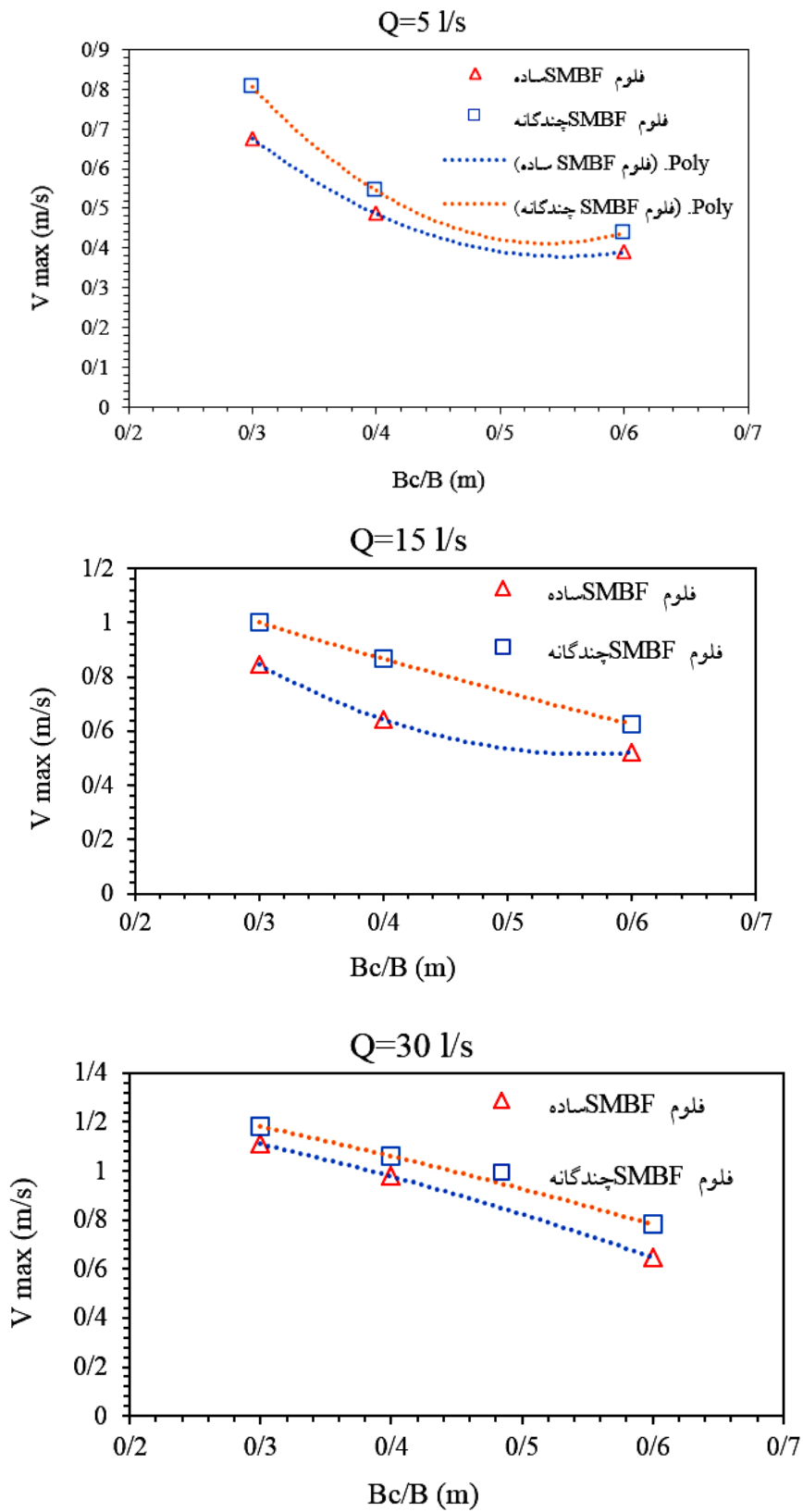
انتخاب مش بندی، مدل آشفتگی و کالیبراسیون

نتایج شبیه سازی عددی فلوم $SMBF$ (وطن خواه و محمدی، ۲۰۲۰) با دبی $6/577$ لیتر بر ثانیه و عرض دهانه فلوم (Bc) $0/075$ متر در تعداد سلول مش بندی و مدل های آشفتگی مختلف در جدول ۳ آورده شده و با داده های آزمایشگاهی مقایسه شده است. جدول ۳ میزان خطا را برای معیارهای مختلف $RMSE$ (ریشه میانگین مربعات خطا)، $MAPE$ (میانگین درصد مطلق خطا) و MSE (میانگین مربعات خطا) مربوط به مقایسه عمق بالادست برداشت شده فلوم $SMBF$ بررسی شده در محیط آزمایشگاهی نسبت به عمق بالادست برداشت شده فلوم $SMBF$ شبیه سازی شده در محیط نرم افزاری در تعداد سلول مش و مدل های آشفتگی مختلف نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که در بین ۹ شبیه سازی صورت گرفته و انتخاب تعداد سلول های مش بندی و مدل های آشفتگی مختلف، بهترین عملکرد در مقایسه با داده های آزمایشگاهی اندازه گیری شده، توسط مدل های RNG و تعداد سلول های مش بندی 1000000 به دست آمد. برای صحت سنجی مدل آشفتگی و تعداد سلول مش بندی از معیارهای محاسباتی نام برده استفاده شد. بررسی ها نشان داد، نتایج در محدوده قابل قبولی از خطاها قرار دارد. در نتیجه در این پژوهش برای تمامی شبیه سازی ها از مدل آشفتگی RNG و تعداد سلول مش بندی 1000000 استفاده شد.

بحث و نتایج

اثر بازشدگی بدون بعد (Bc/B) بر سرعت بیشینه (V_{max})

شکل های ۴ تغییرات سرعت بیشینه (V_{max}) را نسبت به بازشدگی های بی بعد شده (Bc/B) و در دبی های ۵، ۱۵ و ۳۰ لیتر بر ثانیه نشان می دهد. محور عمود مربوط به میزان سرعت



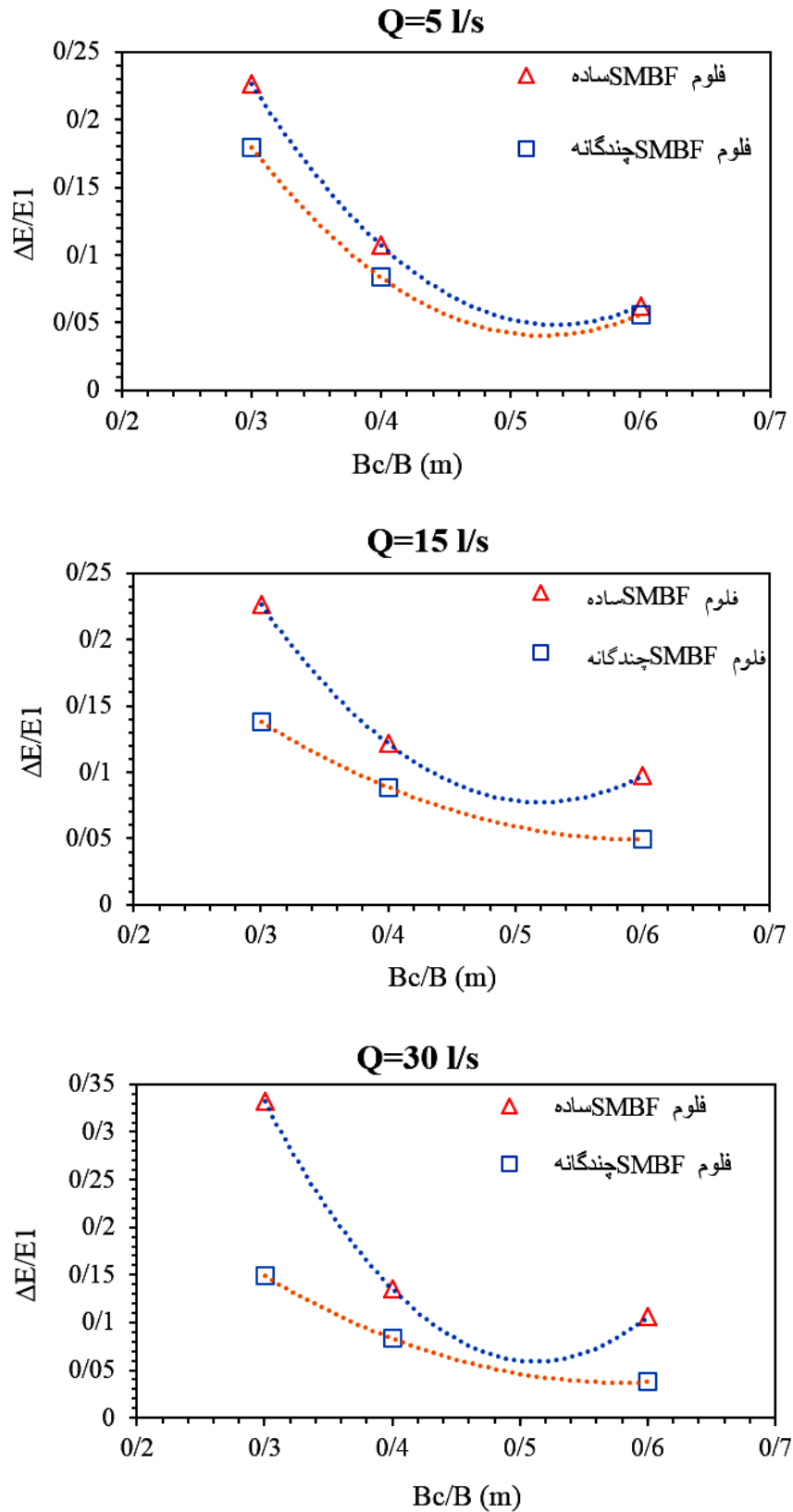
شکل ۴. تغییرات سرعت بیشینه نسبت به تغییرات بازشدگی

استهلاک انرژی نسبت به تغییرات میزان بازشدگی بدون بعد پرداخته شد. محور عمود مربوط به میزان استهلاک انرژی بدون بعد ($\Delta E/E1$) بوده و محور افق مربوط به بازشدگی های بدون بعد بوده که به صورت Bc/B نشان داده شده است که در آن Bc عرض دهانه فلوم بوده و B عرض کانال است. شکل ۵ نشان می دهد که میزان استهلاک انرژی با دبی عبوری جریان رابطه مستقیم دارد؛ به طوری که با افزایش دبی جریان افت انرژی افزایش می یابد. علاوه بر این مقدار استهلاک انرژی فلوم ها با تغییرات بازشدگی بدون بعد (Bc/B) رابطه معکوس دارد؛ به شکلی که با افزایش میزان بازشدگی فلوم ها، استهلاک انرژی مرتباً کاهش پیدا می کند. همچنین نتایج نشان می دهد که در هنگام استفاده از فلوم های $SMBF$ چندگانه، استهلاک انرژی در مقایسه با زمان استفاده از فلوم های $SMBF$ ساده کاهش خواهد یافت. استهلاک انرژی فلوم های $SMBF$ چندگانه در بازشدگی های (Bc) برابر با $0/075$ ، $0/1$ و $0/15$ متر به طور میانگین در دبی ۵ لیتر بر ثانیه ۲۱ درصد، در دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه ۶۶ درصد و در دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه، ۱۲۲ درصد در مقایسه با فلوم های $SMBF$ ساده کاهش یافته است. بیشترین کاهش میزان استهلاک انرژی فلوم در دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه و میزان بازشدگی (Bc) $0/15$ متر اتفاق افتاده که مقدار آن ۱۸۱ درصد است. کمترین میزان کاهش استهلاک انرژی نیز در دبی ۵ لیتر بر ثانیه و میزان بازشدگی (Bc) $0/15$ متر با مقدار ۱۱ درصد رخ داده است. به همین خاطر توصیه می شود در این سازه ها از چنین بازشدگی هایی استفاده نشود؛ زیرا به دلیل افت انرژی زیاد در این میزان بازشدگی ها، باید از سازه های اضافی برای کنترل سطح آب استفاده کرد که این امر باعث افزایش هزینه های اجرایی می شود.

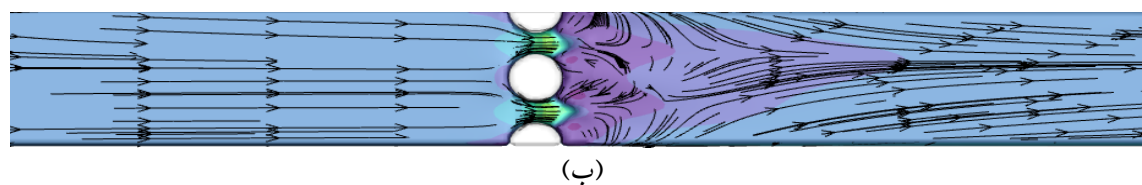
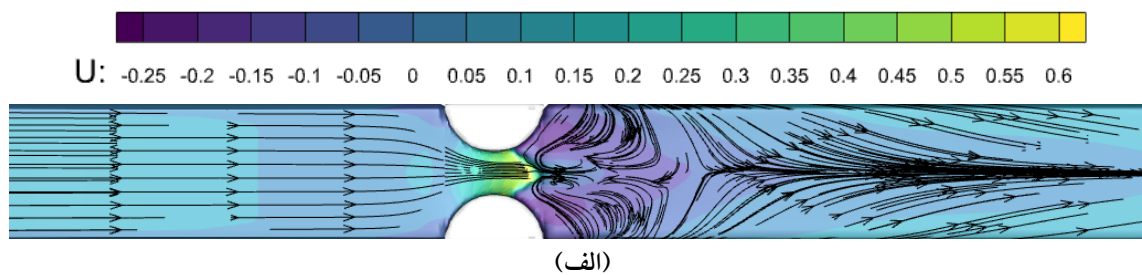
الگوی جریان در محدوده دریچه های سالونی

جریان گردابی مشکلات زیادی برای تأسیسات هیدرومکانیکی آبیگرها ایجاد می کند. از جمله این مشکلات می توان به ورود هوا به مجرای آبیگر و عملکرد نامناسب ماشین های

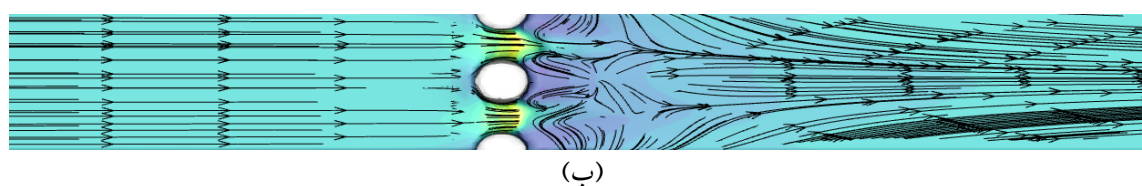
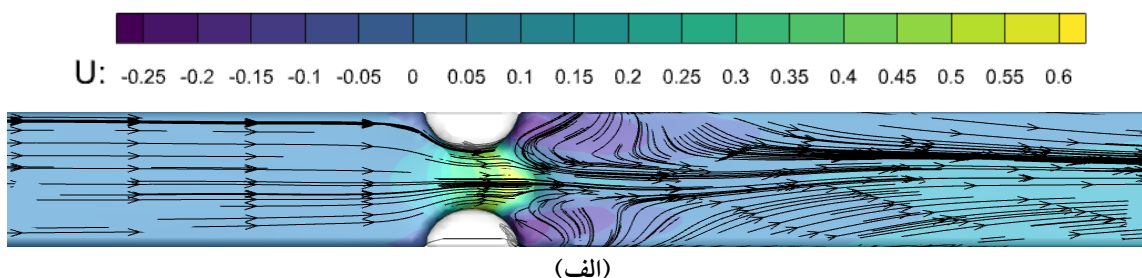
هیدرولیکی و مکش اجسام به دهانه آبیگر اشاره کرد. (نائوس، ۱۹۸۷) در این پژوهش به بررسی الگوی جریان روی فلوم های $SMBF$ در دو حالت ساده و چندگانه و مقایسه آنان با یکدیگر پرداخته است. باتوجه به شکل های ۶ تا ۸ خطوط جریان در دبی ثابت ۵ لیتر بر ثانیه و بازشدگی های (Bc) برابر با $0/075$ ، $0/1$ و $0/15$ متر برای فلوم های $SMBF$ در دو حالت ساده و چندگانه ترسیم شده است. راهنمای آبی، سبز و زرد در شکل های ۶ تا ۸ نشان دهنده تغییرات سرعت در بخش های مختلف کانال است. باتوجه به راهنمای تغییرات سرعت و بررسی های صورت گرفته، مشخص شد که در هنگام استفاده از فلوم های $SMBF$ در حالت ساده، گردابه ها و تلاطم با ابعاد بزرگتر نسبت به فلوم های $SMBF$ در حالت چندگانه به وجود می آید. این پدیده می تواند باعث بروز مشکلاتی نظیر افزایش افت انرژی، کاهش نرخ آبیگری، کاهش راندمان ماشین های هیدرولیکی و عملکرد نامناسب آنها شود. در شکل های ۶ و ۸ خطوط ترسیم شده نشان می دهد که جریان در هنگام عبور از فلوم های $SMBF$ در دو حالت ساده و چندگانه به مرکز منحرف شده که این امر باعث ایجاد گردابه هایی بزرگ با کشیدگی طولی زیاد در اطراف و در نزدیکی دیواره های کانال می شود. گردابه های تشکیل شده در اطراف و پایین دست فلوم های نصب شده موجب ایجاد ارتعاش و خوردگی در بدنه این فلوم ها، سبب کاهش عمر و افزایش هزینه های بهره برداری این سازه ها می شود. این گردابه ها رشد لایه مرزی را مختل کرده و در نهایت باعث افزایش انتقال حرارت بین سیال و سطح مجاور آن می شوند (۴). باتوجه به شکل های ۶ تا ۸ دیده می شود که در زمان بهره برداری از فلوم های $SMBF$ چندگانه در مقایسه با فلوم های $SMBF$ ساده، وسعت گردابه ها کاهش یافته و تعداد گردابه ها و ناحیه تلاطم جریان افزایش پیدا کرده است. در نهایت با بررسی های صورت گرفته مشخص شد که وسعت گردابه با عرض دهانه فلوم رابطه عکس دارد. هنگامی که عرض دهانه فلوم افزایش یابد، شدت گردابه ها و وسعت ناحیه تلاطم جریان در اطراف فلوم کاهش پیدا می کند.



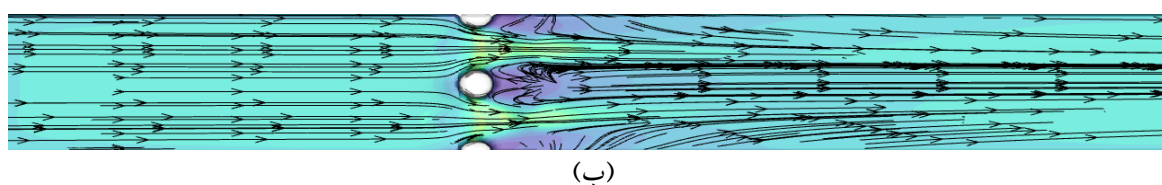
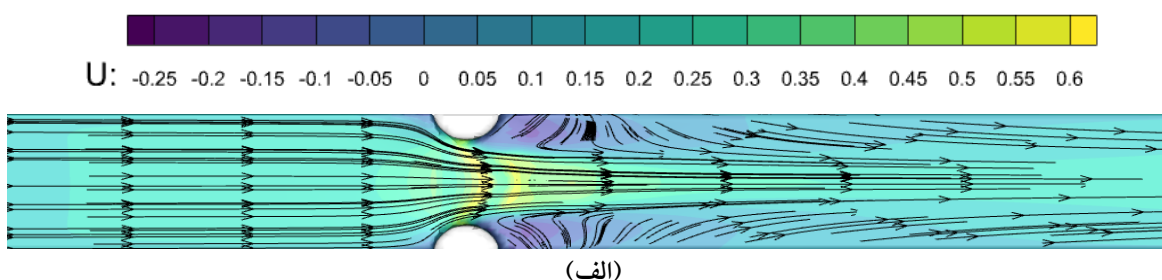
شکل ۵: تغییرات استهلاك انرژی نسبت به تغییرات بازشدگی بدون بعد



شکل ۶. خطوط جریان روی فلوم‌های SMBF الف) ساده (ب) چندگانه در بازشدگی $Bc = 0.75$ متر و دبی ۵ لیتر بر ثانیه



شکل ۷. خطوط جریان روی فلوم‌های SMBF الف) ساده (ب) چندگانه در بازشدگی $Bc = 1$ متر و دبی ۵ لیتر بر ثانیه



شکل ۸. خطوط جریان روی فلوم‌های SMBF الف) ساده (ب) چندگانه در بازشدگی $Bc = 1.5$ متر و دبی ۵ لیتر بر ثانیه

نتیجه گیری

فلوم‌های SMBF در دو حالت ساده و چندگانه، می‌تواند به‌عنوان نسل جدیدی از فلوم‌ها با ویژگی‌های عملکردی خاص برای مدیریت کانال‌های آبیاری مورد استفاده قرار گیرد. در این پژوهش با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی و نرم‌افزار Flow3D، تأثیر استفاده از فلوم‌های SMBF در مقایسه با فلوم‌های SMBF ساده، سرعت بیشینه جریان، استهلاک انرژی و گردابه‌های جریان مورد ارزیابی قرار گرفت. موارد زیر را می‌توان به‌عنوان نتایج کلیدی پژوهش در نظر گرفت:

۱- نتایج نشان داد که سرعت بیشینه با دبی عبوری جریان رابطه مستقیم داشته و با میزان بازشدگی رابطه عکس خواهد داشت؛ به این صورت که با افزایش دبی در بازشدگی‌های ثابت، مقدار v_{max} افزایش یافته و با افزایش میزان بازشدگی فلوم (کاهش عرض دهانه فلوم)، این پارامتر مرتباً کاهش خواهد یافت. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین سرعت جریان ایجاد شده بر فلوم‌های SMBF چندگانه به‌مراتب بیشتر از زمانی است که از فلوم‌های SMBF ساده استفاده می‌شود.

۲- بررسی‌ها نشان داد که میزان استهلاک انرژی با دبی عبوری جریان رابطه مستقیم دارد؛ به‌طوری‌که با افزایش دبی جریان میزان افت انرژی افزایش می‌یابد. همچنین مقدار استهلاک

انرژی در این نوع از فلوم‌ها با تغییرات بازشدگی رابطه معکوس دارد؛ به شکلی که با افزایش میزان بازشدگی فلوم‌ها، استهلاک انرژی مرتباً کاهش پیدا می‌کند. در نهایت نتایج نشان داد که در هنگام استفاده از فلوم‌های SMBF چندگانه، استهلاک انرژی در مقایسه با زمان استفاده از فلوم‌های SMBF ساده کاهش خواهد یافت.

۳- نتایج نشان داد که جریان در هنگام عبور از فلوم‌های SMBF در دو حالت ساده و چندگانه به مرکز منحرف شده که این امر باعث ایجاد گردابه‌هایی بزرگ با کشیدگی طولی زیاد در اطراف و در نزدیکی دیواره‌های کانال می‌شود. همچنین دیده شد که در زمان بهره‌وری از فلوم‌های SMBF چندگانه در مقایسه با فلوم‌های SMBF ساده، وسعت گردابه‌ها کاهش یافته و تعداد گردابه‌ها و ناحیه تلاطم جریان افزایش پیدا کرده‌است.

۴- بر اساس نتایج مدل‌سازی عددی و تحلیلی پژوهش حاضر، کاربرد فلوم‌های SMBF چندگانه مورد بررسی به دلیل بهبود در عملکرد پارامترهای هیدرولیکی در مقایسه با فلوم‌های SMBF ساده، به‌عنوان یک ابزار اندازه‌گیری و کنترل جریان قابل اطمینان و حمل آسان در شرایط جریان آزاد در کانال‌های روباز پیشنهاد می‌شود.

منابع مورد استفاده

1. Abbasi, Valizadegan, E. 2023. Calculation of flow rate and flow coefficient of subcritical flow in trapezoidal flumes with prism base in free flow conditions. *Amirkabir Engineering Journal* 55(1): 131-144
2. Aminpour, Y., A. Vatankhah and J. Farhoudi. 2019. Discharge Analysis of SMBF Flumes in Free and Submerged Flow Conditions. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 50(7): 1635-1649.
3. Baiamonte, G. and V. Ferro. 2007. Simple flume for flow measurement in sloping open channel. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 133(1): 71-78.
4. Biswas, G., K. Torii, D. Fujii and K. Nishino. 1996. Numerical and experimental determination of flow structure and heat transfer effects of longitudinal vortices in a channel flow. *International Journal of Heat and Mass Transfer* 39(16): 3441-3451.
5. Carollo, F. G., C. Di Stefano, V. Ferro and V. Pampalone. 2016. New Stage-Discharge Equation for the SMBF Flume. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 142(5): 04016005.
6. Di Stefano, C., G.V. Di Piazza and V. Ferro. 2008. Field testing of a simple flume (SMBF) for flow measurement in open channels. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 134(2): 235- 240.
7. Hager, W. H. 1986. Modified, trapezoidal Venturi channel. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 112(3): 225-241.
8. Mohammadi, M. and A. VatanKhah. 2020. Flow measurement flume with conical and cylindrical walls. *Iran Water*

- and Soil Research* 51(7): 1651-1637.
9. Knauss, J. 1987. Swirling flow problems at intakes, Balkema.
 10. Parsaie, A., S. Dehdar-Behbahani, G. S. L. Devi, A. Haghiabi and E. Afaridegan. 2023. The discharge coefficient of SMBF flumes under free and submerged conditions. *Applied Water Science* 13(12): 236.
 11. Samani, Z., S. Jorat and M. Yousaf. 1991. Hydraulic characteristics of circular flume. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 117(4): 558-566.
 12. Samani, Z. and H. Magallanez. 2000. Simple flume for flow measurement in open channel. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering* 126(2): 127-129.
 13. Süme, V. 2024. Numerical simulation of supercritical flow in sudden contractions flumes. *AQUA—Water Infrastructure, Ecosystems and Society* 73(7): 1525-1536.
 14. Vatankhah, A. R. and M. Mohammadi. 2020. Stage–discharge equation for simple flumes with semi-cylinder contractions. *SN Applied Sciences* 2: 1-13.

Numerical Investigation of Hydraulic Parameters of Flow Passing through Multiple SMBF Flumes

S. Kiyani^{1*}, T. Rajaei¹, and M. Karamdokht Behbahani²

(Received: June 15-2024 ; Accepted: August 19-2024)

Abstract

In this research, the hydraulic parameters of flow have been investigated on SMBF flumes in two simple and multiple modes. In this research, Flow3D software was used for the numerical simulation of SMBF flow. The simulations have been performed in three flow rates (5, 15, and 30 liters per second) and three opening rates (0.075, 0.1, and 0.15 meters). The results showed that when multiple SMBF flumes are used instead of simple SMBF flumes, the maximum velocity increased by 12% on average at a flow rate of 5 L/s, 19% at a flow rate of 15 L/s, and 10% at a flow rate of 30 L/s. The energy consumption of multiple SMBF flumes has been reduced on average by 21% at a flow rate of 5 L/s, by 66% at a flow rate of 15 L/s, and by 122% at a flow rate of 30 L/s compared to simple SMBF flumes. Finally, the observations showed that during the productivity of multiple SMBF flumes compared to simple SMBF flumes, the size of eddies has decreased and the number of eddies and the area of flow turbulence have increased.

Keywords: Velocity, Energy dissipation, Vorticity, SMBF, Flow3D

1. Department of Civil Engineering, Faculty of Technical and Engineering, Qom University, Qom, Iran.

2. Department of Hydraulic Structures, Faculty of Water Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

*: Corresponding author, Email: shivakiyani78@gmail.com