

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی

مدل سازی جت و محرک گردابه به منظور کنترل فعال جدایش جریان در شرایط مختلف پرواز

حسین هنرور پرسنائی^۱، محسن کهرم^۲، احسان روحی گل خطمی^۳

۱- دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده فنی مهندسی، گروه مکانیک

۲ و ۳- دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده فنی مهندسی، گروه مکانیک

چکیده

بهبود عملکرد تجهیزات در گستره وسیعی از شرایط کاری یکی از اهداف مهم علم آیرودینامیک است. این هدف می‌تواند به وسیله تغییر شکل جسم مورد بررسی یا با استفاده از تکنیک‌های کنترل جریان به روش‌های فعال و غیرفعال صورت گیرد. در این مقاله نوعی از جت‌های ترکیبی به نام جت و محرک گردابه به صورت دوبعدی شبیه‌سازی شده است. معادلات اساسی بر اساس روش حجم محدود گسسته و توسط الگوریتم پیمپل حل شده است. شبیه‌سازی به صورت غیر پایا بوده است. نرم‌افزار متن‌باز اوپن فوم به منظور مدل‌سازی شبکه‌بندی متحرک و شرایط مرزی نوسانی مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج شبیه‌سازی با نتایج عددی و آزمایشگاهی جت در سیال ساکن مورد مقایسه قرار گرفت که صحت شبیه‌سازی حاضر را تایید نمود. با شبیه‌سازی جت در جریان عرضی آرام و تغییر عرض شکاف جت رژیم‌های جریان القایی مختلف مورد بررسی قرار گرفت سپس با انتخاب عرض مناسب برای دهانه جت، در یک فرکانس و دامنه مشخص تاثیر جت جهت کنترل جریان مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد با در نظر گرفتن دهانه جت به اندازه ۰/۱ عرض صفحه متحرک برای کنترل جریان مناسب‌تر است.

واژه‌های کلیدی: کنترل فعال جریان- محرک جت ترکیبی- جدایش جریان- شبکه‌بندی متحرک

مقدمه

منظور از کنترل جریان در این پژوهش تغییر خصوصیات یا وضعیت حوزه جریان مطابق وضعیت مطلوب ما است. بهترین تعریف برای کنترل جریان توسط فلت برای جریان‌های نزدیک دیواره ارائه شده است که به سادگی قابل بسط به جریان‌های دور از دیواره است [۱]. او این‌گونه کنترل جریان را تعریف کرد: "کنترل لایه مرزی شامل هر مکانیزم یا فرایندی می‌شود که در آن لایه مرزی جریان رفتاری متفاوت با آنچه در حالت عادی بر روی یک صفحه تخت و هموار قرار بود گسترش پیدا کند از خود نشان دهد". پرنتل با ارائه تاریخ‌ساز خود در زمینه‌ی کاربردهای نوین کنترل جریان پیشگام بود، او با معرفی تئوری لایه مرزی و ماهیت جدایش زمینه درک حرکت سیال را فراهم آورد و همچنین آزمایش‌های بسیاری در زمینه‌ی کنترل لایه مرزی انجام داد. کنترل جریان به وسیله ابزارهای مختلف فعال و غیرفعال به منظور تأثیر بر جریان‌های داخلی و خارجی انجام می‌پذیرد. نتایج مهم کنترل جریان فارغ از اینکه هدف ما، تأخیر یا افزایش منطقه گذرا یا توربولانس باشد، کنترل جدایش به منظور تأخیر یا حتی ایجاد آن است، یکی از موارد

کاهش نیروی پسا، افزایش نیروی برآ، کاهش نویز ایجاد شده به دلیل نوسانات جریان و افزایش خصوصیات اختلاطی جریان است [۱]. کنترل جریان به وسیله روش‌های غیرفعال و فعال انجام می‌شود. یکی از روش‌های کنترل فعال استفاده از محرک‌های جت ترکیبی است. جت ترکیبی توسط آری گلیر نام‌گذاری شده است. این نام‌گذاری به دلیل ترکیب جریان با سیال پیرامون خود یا محیط است [۲]. جریان جت ترکیبی به روش‌های مختلفی می‌تواند ایجاد شود مانند محرک‌های الکترومغناطیس (محرک پلاسما)، محرک‌های پیزوالکتریک یا حتی محرک‌های مکانیکی مانند پیستون، هرکدام از این محرک‌ها یک غشاء یا یک دیافراگم را هزاران بار بر ثانیه بالا و پایین می‌برد که باعث مکش سیال پیرامون به داخل محفظه و سپس خروج آن می‌شود. اگرچه این مکانیزم بسیار ساده به نظر می‌رسد ولی ساخت ابزاری با این چرخه بسیار سریع به دانش بالای مهندسی برای طراحی نیاز دارد تا در کاربردهای صنعتی مقاوم باشد [۳].

این ابزارهای کنترلی که (فعال) متحرک هستند مزایای بسیاری نسبت به نوع غیرفعال دارند و به دلیل اینکه ثابت نیستند می‌توانند با شرایط مختلف پرواز مانند شرایط فرود، برخاستن و مانورهای هوایی منطبق شوند. به علت اینکه از این ابزارها تنها زمانی استفاده می‌شود که به وجود آن نیاز باشد انرژی اضافه مصرف نمی‌شود و درگ اضافی به سیستم در سرعت بهینه تحمیل نمی‌شود.

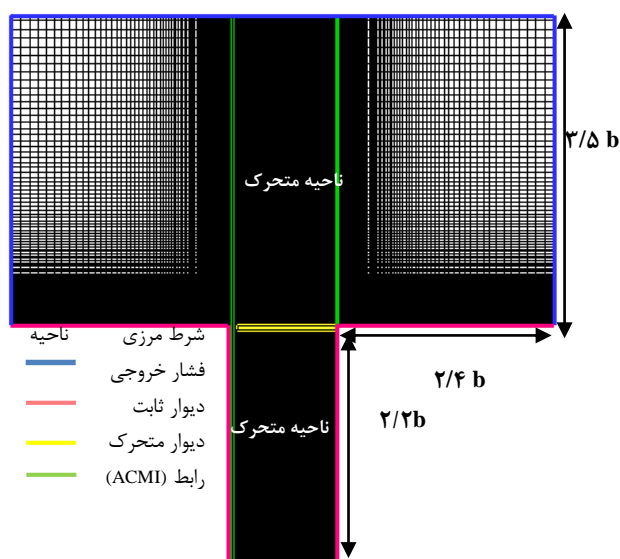
نتایج پژوهش‌های پیشین نشان می‌دهد از این نوع جت می‌توان در گستره وسیعی از شرایط جریان استفاده کرد به این علت که آن‌ها در کنترل لایه مرزی جریان‌های آرام، گذرا و توربولانس بسیار مؤثر هستند [۴]. از این جت‌ها می‌توان برای تغییر پروفیل سرعت، کاهش ضریب شکل و افزایش نیروی برآ استفاده کرد. همچنین از جت‌های ترکیبی می‌توان برای کنترل جت‌های آزاد به منظور افزایش ضریب انتقال ممنتوم و افزایش سرعت گردابه‌ها استفاده کرد [۵]. آمیتای و همکارانش [۶] از این نوع جت به منظور کنترل جدایش روی یک بالواره متقارن استفاده کردند در این آزمایش که در رینولزهای بین ۳۱۰۰۰ و ۷۲۵۰۰۰ انجام شده جدایش جریان در نزدیکی لبه حمله و در زاویه حمله ۵ درجه اتفاق افتاد ولی زمانی که از جت ترکیبی استفاده شد جریان تا زاویه حمله ۱۷٫۵ درجه از سطح جدا نشد. در آزمایشی که توسط سیفرت و همکارانش [۷] انجام شد از این نوع جت برای کنترل جدایش در رینولزهای مختلف که در شرایط مختلف پرواز ایجاد می‌شود استفاده شد. در آزمایشی که روی مدل آزمایشگاهی هواپیمای تجاری شرکت سسنا انجام شد از این جت برای کنترل حرکت پرواز و کنترل جدایش استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از تعدادی جت روی بال هواپیما جدایش جریان را تا ۲ درجه به تأخیر می‌اندازد در حالی که حداکثر ضریب لیفت تا ۱۵٪ افزایش پیدا می‌کند، همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که این نوع جت‌ها توانایی کنترل حرکت پرواز را مشابه روش‌های معمول که با باله‌های متحرک ایجاد می‌شود را دارد [۸].

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، ۰۹۱۰۵۰۰۱۱۹۱، hossein.honarvar.p@gmail.com

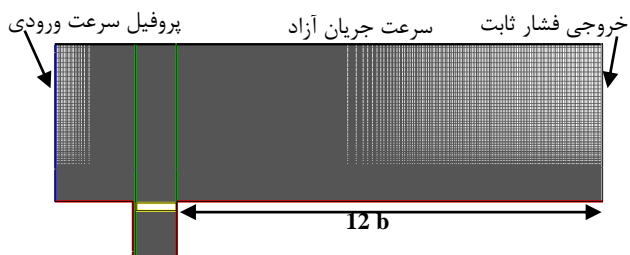
۲- استاد

۳- استادیار

بررسی‌های انجام‌گرفته در این تحقیق بر روی یک محرک در سیال ساکن و جریان عرضی صورت گرفته است. به‌منظور بررسی استقلال محاسبات از شبکه، ناحیه محاسباتی، گام زمانی و اعتبار سنجی، نتایج عددی محمد عقیل و هم‌کاران [۱۰] و نتایج آزمایشگاهی لاهویج و هم‌کاران [۹] در حرکت نوسانی خطی جت مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است. طول صفحه متحرک مورد استفاده برابر ۲۵ میلی‌متر و ضخامت صفحه ۱/۵ میلی‌متر است. عرض شکاف پهن برابر با ۲/۵ میلی‌متر و شکاف باریک برابر با ۰/۳ میلی‌متر است. در شکل (۳) شرایط مرزی نشان داده شده است. به‌منظور شبیه‌سازی حرکت جت ناحیه محاسباتی به دو ناحیه ثابت و متحرک تقسیم شده است. این روش حجم محاسبات را به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌دهد و امکان شبیه‌سازی جت در دامنه‌های بزرگ بدون ایجاد شبکه‌بندی غیرمتعامد را می‌دهد.



شکل ۲- شرایط مرزی و دامنه محاسباتی در سیال ساکن



شکل ۳- شرایط مرزی و دامنه محاسباتی در جریان عرضی

معادلات حاکم

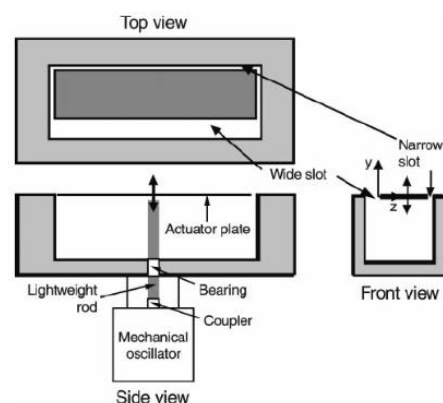
معادلات اساسی که بقای جرم، ممنتوم و اسکالر را بیان می‌کند، در حالت برداری و مستقل از سیستم مختصات و با در نظر گرفتن حرکت شبکه به‌صورت معادله (۱) بیان می‌شوند:

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \text{div}(\rho\phi(U - U_g)) = \text{div}(\Gamma_\phi \text{grad} \phi) + S_g \quad (1)$$

$$\phi = 1, u, v$$

که در آن U و U_g به ترتیب بیانگر سرعت جریان و سرعت شبکه است. در این پژوهش معادلات گسسته جریان با استفاده از الگوریتم جدید پیمپل حدس زده می‌شود روش پیمپل مخفف روش ضمنی فشار مینا برای معادلات

نوع خاصی از جت‌های ترکیبی به نام جت و محرک گردابه اولین بار توسط لاهویج [۹] به‌صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفت و با تغییر فرکانس و دامنه حرکت جت رژیم‌های مختلفی از جریان را ایجاد کرد و رژیم‌های جریان ایجادشده را به سه دسته کلی تقسیم کرد. (جریان جت آزاد، جریان جت دیواره و جریان گردابه‌ای) سپس اعداد بدون بعدی که بر جریان‌های به وجود آمده حاکم است توسط او تعیین شد نتایج تحقیقات او نشان داد که بیشترین بازده محرک تقریباً در عدد استوکس ۷/۹ اتفاق می‌افتد. محمد عقیل و هم‌کاران [۱۰] با شبیه‌سازی حرکت این نوع جت با روش شبکه‌بندی متحرک نتایجی که اولین بار لاهویج به‌صورت تجربی به دست آورد را دوباره بررسی کردند و موفق شدند رژیم‌های مختلف جریان را با جزئیات بیشتر نشان دهند. کادیرچی و هم‌کارانش [۱۱] به دلیل کمبود داده‌های به‌دست‌آمده از نتایج تجربی لاهویج در حالت ناپایا، با برقراری تجهیزات آزمایشگاهی در آب آزمایش جدیدی در فرکانس‌های پایین انجام دادند سپس با آشکارسازی جریان و سرعت سنجی تصویر ذرات رژیم‌های مختلف جریان را مشاهده کردند و با مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج عددی به این نتیجه رسیدند که گردابه‌هایی که به‌وسیله جت به لایه‌مرزی فرستاده می‌شود پروفیل‌های سرعت لایه‌مرزی، ضخامت لایه‌مرزی و ضخامت ممنتوم را به‌طور مشخصی زیاد می‌کنند نتایج حاصل از کار آن‌ها نشان داد که با استفاده از این جت می‌توان جدایش جریان البته در صورتی که صفحه متحرک هم‌سطح جریان یا داخل حفره باشد.

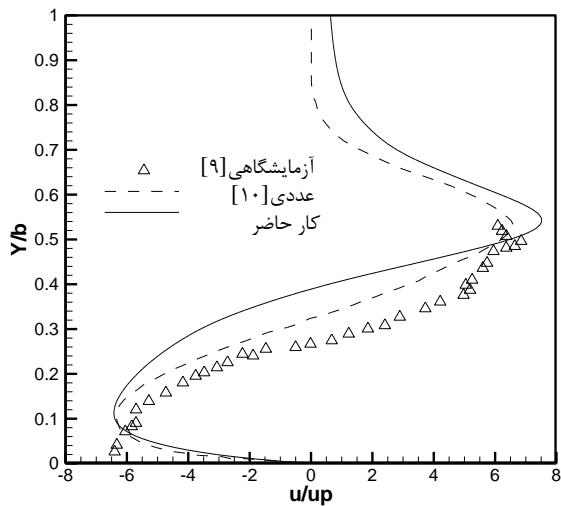


شکل ۱- شماتیک جت و محرک گردابه

شبکه‌بندی و دامنه حل

برای بررسی حرکت نوسانی صفحه متحرک دامنه حل به یک ناحیه مستطیلی متحرک و یک ناحیه ثابت تقسیم شده است. دو ناحیه ثابت و متحرک در دو قسمت شکاف پهن و شکاف باریک جت، با یک شرط مرزی رابط اختیاری نوسانی مربوط شده‌اند. شرایط مرزی و ابعاد محاسباتی به نحوی اتخاذ شده تا مطابق بر شرایط آزمایشگاهی لاهویج باشد. در شبیه‌سازی جت در جریان عرضی به‌اندازه ۱۲ برابر طول صفحه در خروجی جت ابعاد دامنه گسترش یافته تا بتوان تأثیر جریان‌های القایی جت در خروجی جت و حرکت گردابه‌های ایجادشده را مشاهده کرد. اطلاعات اصلی هندسی جت در شکل (۳) آورده شده است. برای شبکه‌بندی، از یک شبکه ساختاریافته بسیار ریز در نزدیکی دهانه خروجی جت در شکاف پهن و باریک استفاده شده است. استقلال نتایج از اندازه شبکه‌بندی، گام زمانی و تعداد نوسان برای رسیدن به شرایط نیمه پایا مورد مطالعه قرار گرفته و در نهایت شبکه‌ای با تعداد ۳۵۰۰۰ گره، گام زمانی ۰/۰۰۱۲۵ دوره نوسان در دوازدهمین دوره نوسان به بعد مورد استفاده قرار گرفته است.

منتشر شده عقیل و همکاران [۱۰] مشاهده می‌شود که شبیه‌سازی حاضر از دقت قابل قبولی برخوردار است. با مشاهده شکل (۴) مشخص می‌شود که نتایج آزمایشگاهی نتوانسته پروفیل سرعت را در نزدیکی دیواره و در قسمت بالای گردابه به‌خوبی پیش‌بینی کند درحالی‌که نتایج عددی پروفیل سرعت را به‌طور کامل پیش‌بینی کرده است.



شکل ۴- پروفیل سرعت متوسط به‌سرعت حداکثر در مقطع عمودی از مرکز گردابه

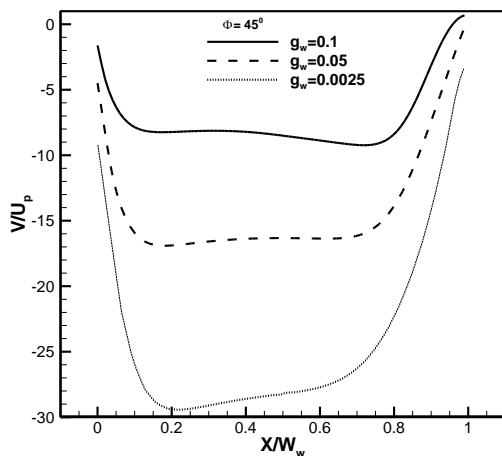
نتایج

مطابق جدول (۱) سه حالت مختلف در جریان عرضی برای بررسی عرض شکاف در کنترل جریان مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱- مقادیر پارامترهای استفاده شده در جریان عرضی

S_a	f (Hz)	U_p (m/s)	b (mm)	w_w (mm)	g_w
۰/۲۵۱۳	۱	۰/۱۲۶۵	۲۵	۲/۵	۰/۱
۰/۲۵۱۳	۱	۰/۱۲۶۵	۲۵	۱/۲۵	۰/۰۵
۰/۲۵۱۳	۱	۰/۱۲۶۵	۲۵	۰/۶۲۵	۰/۰۲۵

در شکل (۵) پروفیل سرعت جریان ایجاد شده در زاویه $\phi = 45^\circ$ از حرکت جت نشان داده شده است. مشاهده می‌شود سرعت جریان عبوری از دهانه جت با کاهش عرض شکاف افزایش پیدا کرده است. در این زاویه مقادیر سرعت منفی است که نشان می‌دهد جت در فاز مکش قرار دارد.



شکل ۵- پروفیل سرعت به‌سرعت حداکثر شکاف په‌ن در $\phi = 45^\circ$

وابسته به فشار است که ترکیبی از الگوریتم سیمپل و پیزو است حل می‌شوند. الگوریتم پیمپل از الگوریتم سیمپل به‌عنوان حلقه خارجی جدید در الگوریتم پیزو استفاده می‌کند. معادله (۲) حرکت صفحه که به‌صورت معادله‌ای نوسانی سینوسی فرض می‌شود، نشان می‌دهد:

$$\omega = 2\pi f,$$

$$T = \frac{1}{f} \quad (2)$$

$$y(t) = y_0 + a \sin(\omega t),$$

$$U_p(t) = a\omega \cos(\omega t) \quad (3)$$

در این رابطه ω و f به ترتیب بیانگر سرعت زاویه‌ای صفحه و فرکانس حرکت صفحه در شبیه‌سازی است. معادله (۱) نیز بیانگر مکان و سرعت لحظه‌ای صفحه متحرک است. در این رابطه a دامنه حرکت صفحه را نشان می‌دهد و y_0 مکان اولیه صفحه را نشان می‌دهد که در سیال ساکن و جریان عرضی به ترتیب برابر با مقادیر $y_0 = -a$ و $y_0 = 0$ است. در حالتی که صفحه در جریان عرضی قرار دارد مکان اولیه به‌اندازه دامنه حرکت صفحه پایین‌تر از سطح دیوار است تا در موقعیت هم‌سطح با دیوار قرار گیرد. به‌منظور بررسی عملکرد جت در شرایط مختلف دامنه بدون بعد، سرعت متوسط جت، رینولز جت و پارامتر جریان عرضی به ترتیب توسط معادلات زیر تعریف می‌شوند. رابطه (۵) پارامتر بدون بعد عرض شکاف په‌ن می‌باشد که نسبت شکاف په‌ن به عرض صفحه را نشان می‌دهد.

$$S_a = \frac{2\pi a}{b} \quad (2)$$

$$V_j = \frac{Q}{W_w} = \frac{1}{W_w} \left[\frac{2}{T} \int_0^{T/2} v_j(t) dt \right] = \frac{4abf}{W_w} \quad (3)$$

$$Re_j = \frac{V_j W_w}{\nu} = \frac{4abf}{\nu} \quad (4)$$

$$g_w = \frac{W_w}{b} \quad (5)$$

سرعت ورودی بر اساس پروفیل سرعت بلازیوس مرتبه ۴ و بر اساس روابط زیر از نتایج آزمایشگاهی کادیرچی و همکاران [۱۲] به‌دست آمده است.

$$\frac{u}{U_\infty} = \left[2\left(\frac{y}{\delta}\right) - 2\left(\frac{y}{\delta}\right)^3 + \left(\frac{y}{\delta}\right)^4 \right],$$

$$\delta = 5 \sqrt{\frac{\nu x}{U_\infty}}, \quad (5)$$

$$x = 1.53m$$

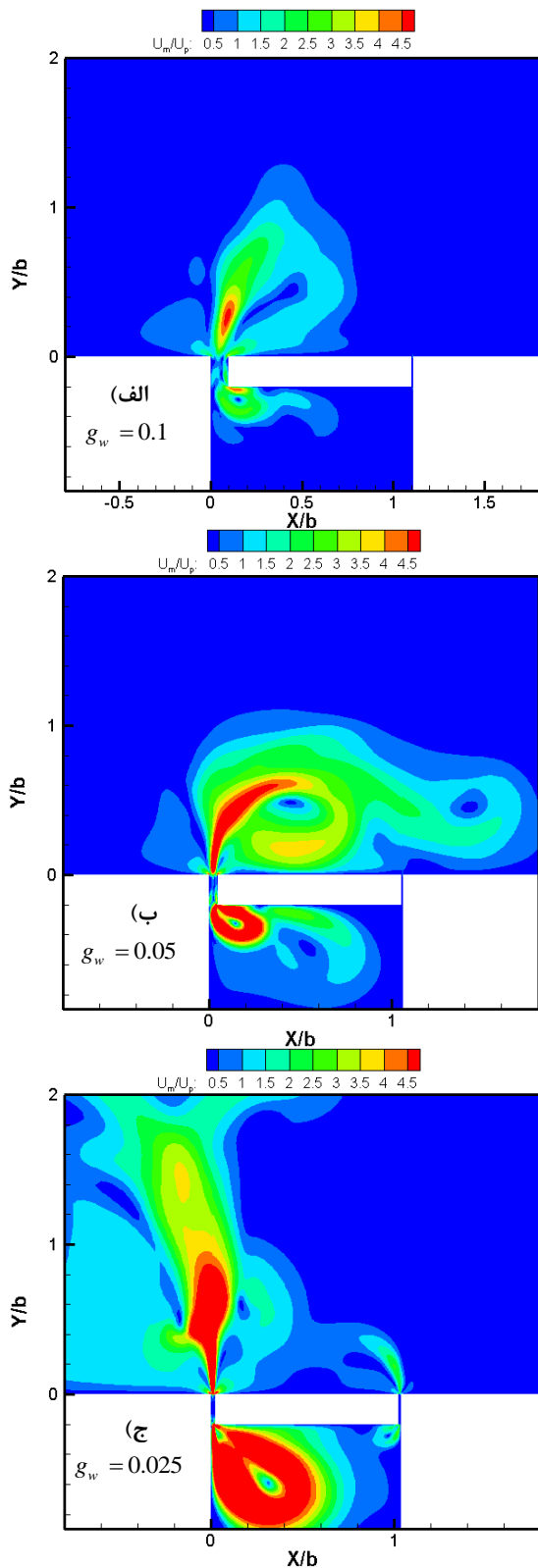
$$\delta = 21mm$$

$$U_\infty = 0.0838 m/s$$

اعتبار سنجی

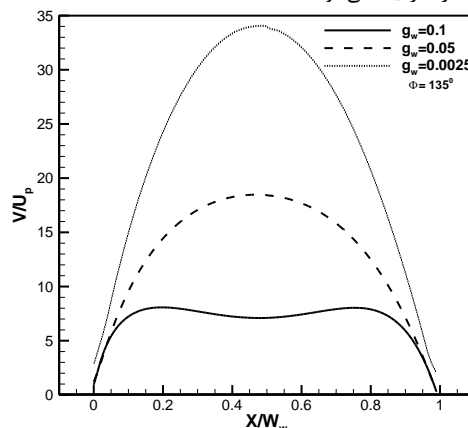
برای بررسی صحت شبیه‌سازی نتایج این شبیه‌سازی با شرایط آزمایشگاهی لاهویج و همکاران [۹] مورد مقایسه قرار گرفته که در آن صفحه‌ای در فرکانس ۱۲۸ هرتز، دامنه په‌ن بعد ۰/۱۸۲۹ و رینولز جت ۹۵ در هوای ساکن مورد بررسی قرار گرفته است. با مقایسه نتایج با شبیه‌سازی عددی

شکل (۸) کانتور سرعت متوسط جت نسبت به سرعت حداکثر صفحه در سه عرض بی بعد شکاف پهن نشان می دهد. مشاهده می شود با کاهش عرض شکاف جریان جت ایجاد شده به جریان جت آزاد نزدیک می شود همچنین سرعت گردابه تشکیل شده درون حفره افزایش پیدا می کند، با کم کرد عرض شکاف مقداری از جریان از شکاف باریک خارج می شود به طوریکه در شکل (ج) جریان عبوری از شکاف باریک قابل مشاهده است.



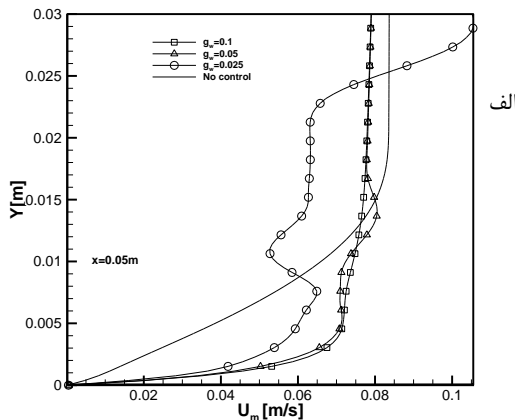
شکل ۸- کانتور سرعت متوسط به سرعت حداکثر در سه عرض مختلف شکاف

شکل (۶) پروفیل سرعت جریان عبوری نسبت به سرعت حداکثر صفحه در زاویه $\phi = 135^\circ$ را نشان می دهد. مشاهده می شود جت در فاز دمشی قرار دارد و با کاهش دهانه جت سرعت جت افزایش پیدا کرده و پروفیل ایجاد شده به پروفیل جریان جت آزاد نزدیک می شود.

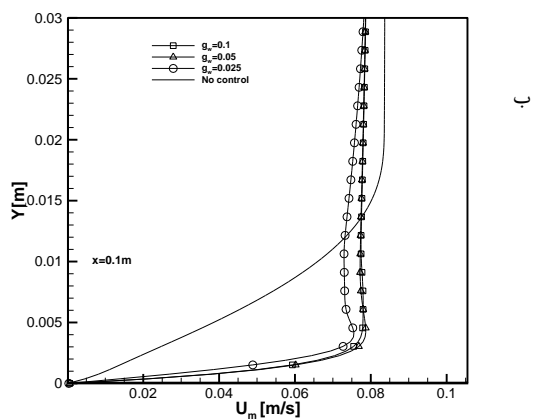


شکل ۶- پروفیل سرعت به سرعت حداکثر شکاف پهن در $\phi = 135^\circ$

پروفیل سرعت در مقاطع مختلف بعد از جت در این سه حالت مقایسه شده است. در شکل (۷) پروفیل سرعت در فاصله ۰/۰۵ متر از دهانه جت نشان داده شده است. مشاهده می شود با استفاده از جت پروفیل سرعت متوسط نسبت به حالتی که از جت استفاده نمی شود کامل تر است. کامل بودن پروفیل سرعت در نزدیک دیوار نشان می دهد استفاده از این جت می تواند از جدایش جریان جلوگیری کند. با مقایسه سه حالت مختلف عرض شکاف مشخص می شود در حالتی که عرض شکاف ۰/۱ صفحه متحرک است استفاده از این جت موثرتر است.



الف



ب

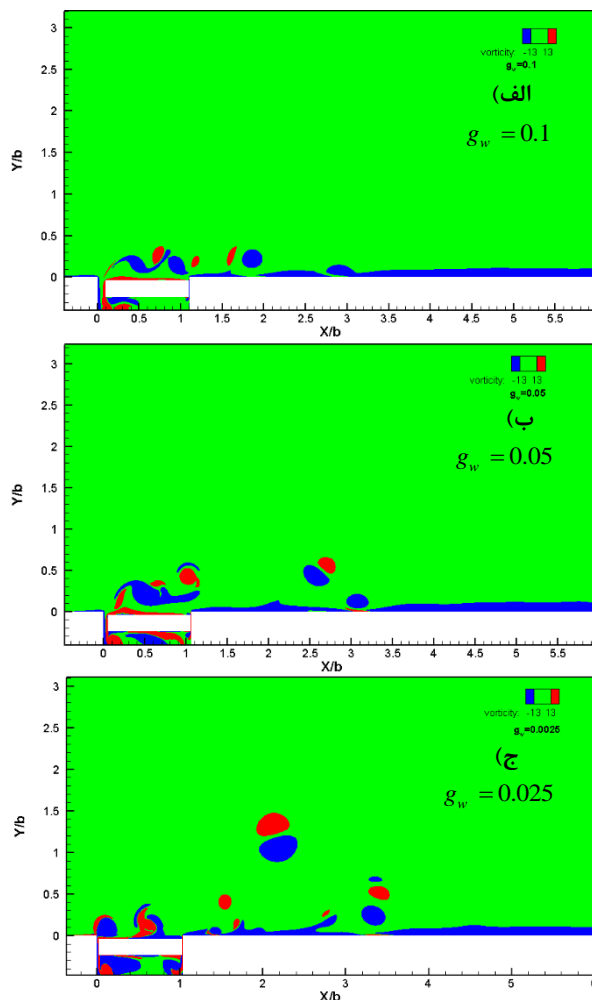
شکل ۷- پروفیل سرعت متوسط در مقاطع مختلف، $x=0.01\text{m}$ (ب) و $x=0.05\text{m}$ (الف)

نشان داده شد در حالی که عرض شکاف برابر $0/1$ عرض صفحه باشد تأثیر جت در کنترل جریان بیشتر است.

مراجع

1. M. Gad-el-Hak, *Flow Control: Passive, Active, and Reactive Flow Management*: Cambridge University Press, 2007.
2. A. Glezer, M. G. Allen, D. J. Coe, B. L. Smith, M. A. Trautman, and J. W. Wiltse, "Synthetic jet actuator and applications thereof," ed: Google Patents, 1998.
3. M. Kamran and M. Rajat, "Synthetic Jets: Basic Principles," in *Synthetic Jets*, ed: CRC Press, 2014, pp. 3-48.
4. A. Glezer and M. Amitay (2002), "SYNTHETIC JETS," Annual Review of Fluid Mechanics, vol. 34, pp. 503-529,
5. D. A. Tamburello and M. Amitay (2008), "Active control of a free jet using a synthetic jet," International Journal of Heat and Fluid Flow, vol. 29, pp. 967-984, 8//.
6. M. Amitay, V. Kibens, D. Parekh, and A. Glezer, "The dynamics of flow reattachment over a thick airfoil controlled by synthetic jet actuators," in *37th Aerospace Sciences Meeting and Exhibit*, ed: American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1999.
7. A. Seifert, D. Greenblatt, and I. J. Wygnanski (2004), "Active separation control: an overview of Reynolds and Mach numbers effects," Aerospace Science and Technology, vol. 8, pp. 569-582, 10//.
8. M. Ciuryla, Y. Liu, J. Farnsworth, C. Kwan, and M. Amitay (2007), "Flight Control Using Synthetic Jets on a Cessna 182 Model," Journal of Aircraft, vol. 44, pp. 642-653, 2007/03/01.
9. J. Lachowicz, C. Yao, and R. W. Wlezien (1999), "Flow field characterization of a jet and vortex actuator," Experiments in Fluids, vol. 27, pp. 12-20,
10. M. A. Rashad and U. Rist (2012), "Numerical investigation of a jet-and-vortex-actuator without and with cross-flow boundary layer," International Journal of Heat and Fluid Flow, vol. 33, pp. 35-44,
11. S. Cadirci, H. Gunes, and U. Rist (2013), "Active flow control applications with a jet and vortex actuator in a laminar cross flow," International Journal of Heat and Fluid Flow, vol. 39, pp. 146-159,
12. S. Cadirci, H. Gunes, and U. Rist (2014), "Numerical investigation of a jet and vortex actuator in a cross flow boundary layer," European Journal of Mechanics-B/Fluids, vol. 44, pp. 42-59,

در شکل (۹) کانتور گردابه های القایی توسط جت نشان داده شده است، همانطور که در قسمت (الف) نشان داده شده است گردابه های ایجاد شده در این حالت ($g_w = 0.1$) به طور منظمی در نزدیک دیوار همراه با جریان حرکت می کنند ولی در شکل (ب) و شکل (ج) گردابه های ایجاد شده به طور نامنظم و در فاصله ای تا $1/5$ برابر عرض صفحه در حالت (ج) ایجاد شده است. گردابه های ایجاد شده با کوچک تر شدن دهانه جت ابعاد بزرگ تری پیدا می کنند.



شکل ۹- کانتور گردابه در سه حالت مختلف مورد بررسی، نوسان چهارم

نتیجه گیری و جمع بندی

ویژگی بارز روش های کنترل جریان فعال قابلیت تغییر فرکانس و دامنه متناسب با شرایط یک نوع خاص از جریان است، یعنی کاربرد آن ها در محدوده وسیع وابستگی آن ها را به محل تحریک کاهش می دهد. در نتیجه هنگامی که این جت ها در محل مناسب قرار گیرند تأثیر بسزایی نسبت به روش های غیرفعال دارند. پارامترهای مؤثر جت عبارت است محل تحریک، فرکانس تحریک و انتخاب دامنه مناسب. به منظور درک بهتر عملکرد جت و محرک گردابه این نوع جت در سیال ساکن و جریان عرضی شبیه سازی شد. پروفیل سرعت در دهانه خروجی جت در فازهای مختلف حرکت جت نشان داده شد. نتایج نشان داد جریان های القایی جت موجب افزودن انرژی به لایه مرزی می شود، که می تواند از جدایش احتمالی لایه مرزی در پایین دست جریان جلوگیری کند. با شبیه سازی جت در سه حالت مختلف عرض شکاف

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه

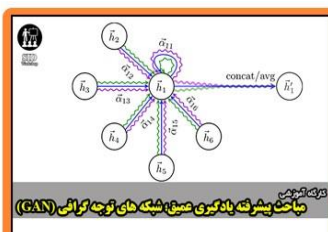


فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی