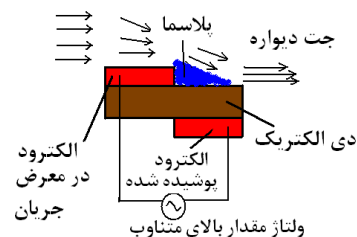




## ۱- مقدمه

عملگر پلاسمایی به‌عنوان یک ابزار کنترل فعال جریان به سبب سادگی ساختاری، سبکی، مصرف کم انرژی و پاسخ زمانی بالا در یک دهه اخیر مورد بررسی محققان آیرودینامیک قرار گرفته است. این وسیله از دو الکتروود با ورق‌های نازک (معمولاً از جنس مس یا آلومینیوم) تشکیل شده که به صورت غیرمتقارن در مقابل هم قرار دارند. بین این دو الکتروود یک ماده عایق دی‌الکتریک (از جنس کاپتون، تفلون، شیشه و ...) قرار دارد تا مانع از برخورد دو الکتروود به هم شود. الکتروود بالایی که معمولاً در معرض جریان قرار دارد به منبع تغذیه ولتاژ بالا وصل شده و الکتروود پایینی که با دی‌الکتریک پوشانده شده است به زمین وصل است. شکل ۱ شماتیک این عملگر را نشان می‌دهد. وقتی یک ولتاژ بالا در حد چند کیلوولت به دو سر این الکتروودها اعمال شود، در اثر یونیزه شدن هوا روی سطح عایق در بالای الکتروود پوشیده شده یک تخلیه پلازما اتفاق افتاده و باعث افزایش مومنتوم ذرات هوا می‌شود. مقدار مومنتوم اضافه شده در تغییر وضعیت جریان هوا روی سطح عملگر موثر است.



شکل ۱ شماتیک عملگر پلاسمایی به همراه تاثیر جریان روی آن

یکی از کاربردهای این وسیله که توسط محققان دنبال می‌شود استفاده از آن در کنترل نقطه جدایش جریان روی ایرفویل است [۱-۴]. با به‌تعویق انداختن نقطه جدایش روی ایرفویل توسط عملگر پلاسمایی می‌توان جریان برگشتی را به تعویق انداخت و بدین ترتیب حباب تشکیل شده در سمت مکش ایرفویل را کاهش داد. در نتیجه کاهش حباب جریان جدا شده سبب کاهش نیروی درگ و افزایش لیفت خواهد شد [۵-۷]. تاکنون کارهای متفاوتی جهت افزایش کارایی عملگر پلاسمایی انجام شده است که می‌توان به تحقیقات انجام شده در زمینه موقعیت قرارگیری عملگرها [۱، ۵، ۳، ۱]، تاثیر هندسه الکتروودها [۸-۹] و مشخصات الکتريکی عملگر پلاسمایی [۹-۱۰] اشاره کرد. کورک و همکارانش [۱۱] نشان دادند که عملگر

پلاسمایی در حالت غیردائمی و با فرکانس تحریکی برابر با عدد اشترووال واحد ( $St = f_e c / U = 1$ ) بهترین تاثیر را در اتصال مجدد جریان روی یک ایرفویل ۱۵ ۰۰ باح دارد. همچنین محققان دیگری چون گوکسل و همکارانش [۱۲] و هوآنگ و همکارانش [۲] عدد اشترووال ۱ را به ترتیب برای افزایش لیفت روی ایرفویل و کاهش افت فشار در پره‌های توربین به‌عنوان حالت بهینه معرفی کرده‌اند. اما این نتیجه توسط محققانی مانند جولیبویس و همکارانش [۳] مشاهده نشده و به نظر می‌رسد که دو نظریه متفاوت در این مورد مطرح است. از طرفی نتایجی که نشان‌دهنده اشترووال بهینه برابر ۱ است در یک مقدار سیکل کاری پایین ارائه شده است و در سیکل‌های کاری دیگر این مسئله تحقیق نشده است.

لذا تحقیق حاضر به بررسی تاثیر میزان سیکل کاری بر بهبود فشار روی یک ایرفویل می‌پردازد. این کار در مقایسه با کارهای انجام شده دیگر در رینولدز بالاتر انجام شده و همچنین تاثیر سیکل کاری را در فرکانس‌های تحریک متفاوت دنبال می‌کند. هدف از کار حاضر بررسی سیکل‌های کاری مختلف در زوایای حمله و فرکانس‌های تحریک متفاوت به منظور بهبود فشار حول ایرفویل، افزایش لیفت و کاهش درگ است. از طرف دیگر در این کار از عملگرهای پلاسمایی بهینه شده توسط فورت و همکارانش [۹] که دارای پهنای الکتروود پایینی بیشتر به منظور افزایش کارایی آن می‌باشد، استفاده شده است.

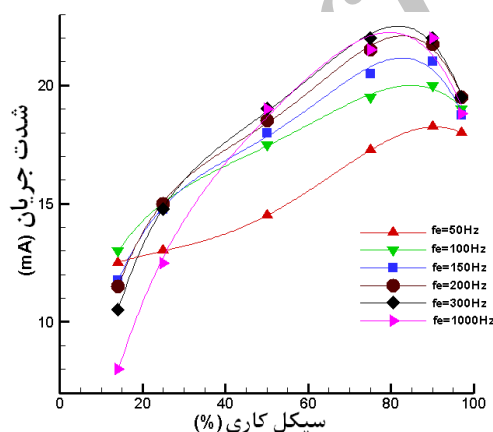
## ۲- تجهیزات آزمایشگاهی

این مطالعه تجربی در یک تونل باد مدار باز به ابعاد سطح مقطع کاری  $1m \times 1/2m$  در طول  $2/5k$  انجام شده است. سرعت قابل کنترل جریان آزاد در تونل باد بین ۳ تا  $60k$  و شدت آشفتنگی آن حدود  $0/15$  درصد است. کلیه آزمایش‌ها در سرعت  $1/25k$  انجام شده است. مدل مورد آزمایش یک ایرفویل  $14c$  با طول وتر  $0/45k$  و طول منظر  $1k$  بوده که یک طرف آن با دیواره اتاق آزمایش و طرف دیگر آن با یک صفحه فلزی مقید شده است تا جریان دوبعدی باشد. برای اندازه‌گیری فشار حول ایرفویل از ۲۸ حفره فشاری روی سطح مکش ایرفویل و ۲۸ حفره در سطح فشار آن با قطرهای  $0/8k$  استفاده شده است. در شکل ۲ موقعیت حفره‌های فشاری و همچنین موقعیت قرارگیری عملگرهای پلاسمایی بر روی این ایرفویل دیده می‌شود.

## ۳- نتایج و بحث

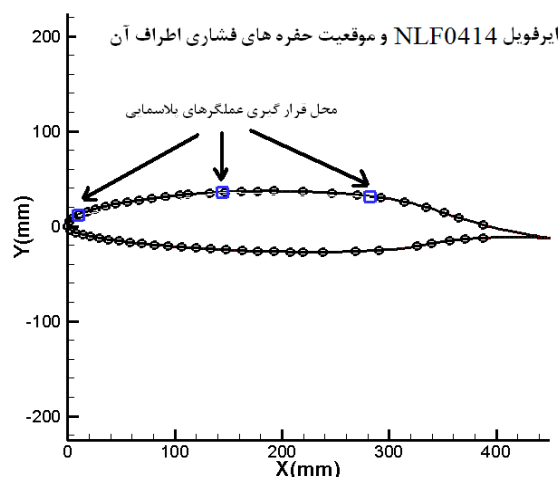
با توجه به مطالعات اولیه انجام شده [۱۳] روی توزیع فشار حول ایرفویل در زوایای حمله متفاوت، می‌توان بیان داشت که زاویه واماندگی این ایرفویل در حالت بدون نصب عملگر پلاسمایی برای شرایط مذکور در ۱۴ درجه اتفاق می‌افتد. در زوایای بیشتر از زاویه واماندگی، در سطح بالای ایرفویل یک ناحیه حباب همراه با جریان برگشتی تشکیل می‌شود که سبب افزایش فشار در بالای ایرفویل می‌شود. با بیشتر شدن زاویه حمله، این ناحیه حباب جدایش بزرگ‌تر شده و در یک زاویه خاص به دنباله تبدیل می‌شود. کنترل جریان برای بهبود ضرایب آیرودینامیکی در زوایای بعد از این زاویه که کارایی بالافت پیدا می‌کند دارای اهمیت بیشتری است. با توجه به این موضوع، در مقاله حاضر کارایی این عملگرها در زوایای حمله ۱۶ تا ۲۰ درجه مورد تحقیق قرار گرفته است.

در ابتدا برای شناخت رفتار الکتریکی عملگرهای پلاسمایی، منحنی میزان مجذور متوسط شدت جریان الکتریکی بر حسب تغییرات سیکل کاری در فرکانس‌های تحریک مختلف در شکل ۳ رسم شده است. با توجه به این شکل، با افزایش مقدار سیکل کاری تا حوالی ۹۰ درصد، شدت جریان الکتریکی افزایش یافته و بعد از آن به میزان کمی کاهش می‌یابد. روند تغییراتی مقدار شدت جریان بر حسب سیکل کاری در فرکانس‌های تحریک مختلف به غیر از اختلاف در شیب منحنی روند مشابهی دارند.



شکل ۳ تاثیر میزان سیکل کاری بر شدت جریان الکتریکی در فرکانس‌های تحریک مختلف

در بین مقادیر کمترین و بیشترین فرکانس تحریک ( $f_e = 1000\text{ Hz}$  و  $f_e = 50\text{ Hz}$ ) تفاوت‌هایی در رفتار نمودارها



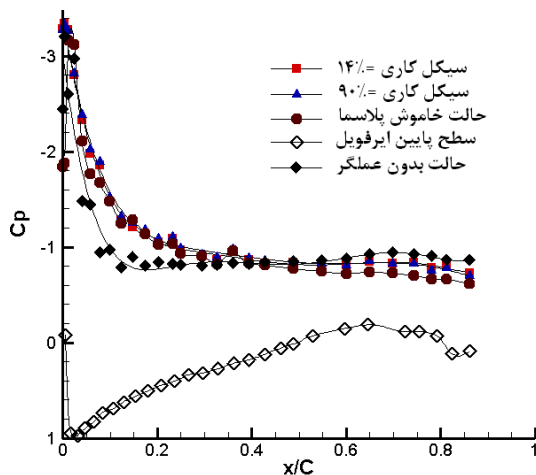
شکل ۲ شماتیک ایرفویل NLF0414-تج ۱۶ همراه با موقعیت تب‌های فشاری و عملگر پلاسمایی

قرائت همزمان فشارها توسط یک مبدل فشار الکترونیکی هانی‌ول مدل ۴بب۵۰۰پپ و یک کارت پ/ا ساخت نشنال اینسترومنت مدل ۶۲۲۴-۶ تیخ با یک مدول ۳۲ کاناله انجام می‌شود. داده‌ها در فرکانس ۱ پتق برای هر حفره فشار و در طول بازه زمانی ۲۰ ثانیه جمع‌آوری و متوسط‌گیری شده است. خطای اندازه‌گیری فشار حدود ۱ درصد است. کالیبراسیون تونل باد یک‌بار توسط لوله پیتوت و یک‌بار توسط پراب سیم داغ یک‌بعدی ۵۵خ۱۱ شرکت دانتک در سرعت ۲۵ ک/ا انجام گرفت. غیریکنواختی سرعت در محفظه آزمایش در هر دو حالت ۵/۵ درصد بود.

منبع تغذیه تولید پلازما از نوع با با توان ۲۵۰ و ولتاژ ماکزیمم ۲۰ kV<sub>p-p</sub> است. فرکانس موج دارای قابلیت تغییر تا ۳۰ kHz و سیکل کاری دارای قابلیت تنظیم از ۲ درصد تا ۹۷ درصد است. فرکانس تحریک نیز از ۱۰ پت تا ۲۰۰۰ پت قابل تغییر است. مقادیر ولتاژ و پارامترهای دیگر ذکر شده به طور مستقل از هم قابل تنظیم‌اند.

عملگرهای پلاسمایی استفاده شده در این تحقیق ۳ عملگر یکسان است که الکتروده‌های آن از جنس مس به ضخامت ۵۰ μm می‌باشد. پهنای الکتروده‌های در معرض جریان و الکتروده پوشیده شده با عایق به ترتیب ۱۶ ک و ۳ ک است که در وسط بال و در راستای منظر آن قرار دارند. موقعیت این عملگرها به ترتیب در فاصله ۹/۶ ک، ۱۴/۶ ک و ۲۸/۳ ک از لبه حمله است. آزمایش‌ها در ولتاژ ۱۴ kV<sub>p-p</sub> و فرکانس موج پتق ۲۸ و با شکل موج سینوسی انجام شده است.

بهبود در ضریب لیفت و ۱/۵ درصد بهبود در ضریب درگ را در مقایسه بین دو حالت روشن پلازما و خاموش آن نشان می‌دهد. اما حضور پلازما در مقایسه با حالت بدون حضور عملگر درصد بهبود در ضرایب لیفت و درگ را به همراه دارد.



شکل ۴ توزیع فشار در سطح بالای ایرفویل در زاویه حمله ۱۶ درجه در حالت‌های عملگر روشن با فرکانس ۵۰ پهن، عملگر خاموش و بدون حضور عملگر

در شکل ۵ تاثیر پلازما با سیکل‌های کاری ۱۴ درصد، ۵۰ درصد، ۷۵ درصد و ۹۰ درصد در فرکانس تحریک ۱۰۰ پهن بر روی توزیع فشار در زاویه حمله ۱۶ درجه آورده شده است. با توجه به این شکل می‌توان پنداشت که در این زاویه حمله تغییر سیکل کاری بر میزان بهبود فشار حول این ایرفویل تاثیر چندانی ندارد. اما حضور پلازما مستقل از میزان سیکل کاری باعث بهبود توزیع فشار می‌شود. این بهبود توزیع فشار با کاهش شیب افزایش فشار همراه است که این خود یکی از نشانه‌های خط جریانی شدن و در نتیجه جلوگیری یا تاخیر جدایش با توجه به نتایج توزیع فشار در این زاویه حمله، ضریب لیفت با حضور عملگر پلاسمایی ۱۰ درصد افزایش می‌یابد.

توزیع فشار حول ایرفویل در زاویه حمله ۱۸ درجه برای حالت‌های خاموش عملگر و روشن با سیکل‌های کاری متفاوت در شکل ۶ آورده شده است. این نتایج برای فرکانس تحریک ۵۰ پهن ارائه شده است. با توجه به این نمودار، تغییر سیکل کاری بر توزیع فشار در حالت‌های روشن بودن پلازما تاثیری ندارد. اما روشن بودن پلازما در این فرکانس تحریک، مستقل از مقدار سیکل کاری باعث جابه‌جایی نقطه جدایش از

مشاهده می‌شود. در کمترین مقدار سیکل کاری (۱۴ درصد) مقدار شدت جریان برای فرکانس ۱۰۰۰ پهن کمترین مقدار را نسبت به فرکانس‌های تحریک دیگر دارد. در این سیکل کاری با کاهش فرکانس تحریک مقدار شدت جریان افزایش می‌یابد تا اینکه در فرکانس ۵۰ پهن این مقدار کاهش کمی پیدا می‌کند. با توجه به نتایج مشاهده می‌شود که در یک مقدار سیکل کاری مشخص بالاترین مقدار جریان در یک فرکانس تحریک خاص اتفاق می‌افتد که با افزایش سیکل کاری این فرکانس افزایش می‌یابد تا جایی که مجدداً در سیکل‌های کاری بالاتر از ۹۰ درصد کاهش می‌یابد. علت این کاهش مقدار شدت جریان در سیکل‌های کاری بالا با توجه به کافی بودن توان منبع تغذیه بر اساس مقالات منتشر شده [۱] می‌تواند تغییر در مدهای پلاسمایی و تشکیل رشته‌های قوس الکتریکی باشد. اگر توان منبع تغذیه ناکافی بود، حداقل در فرکانس‌های تحریک ۵۰ پهن و ۱۰۰ پهن که اختلاف زیادی با مقادیر ماکزیمم شدت جریان در نمودارهای دیگر وجود دارد، نباید این کاهش شدت جریان را می‌دیدیم. پس به نظر می‌رسد که تنها عامل این کاهش می‌تواند تشکیل رشته‌های قوس الکتریکی باشد.

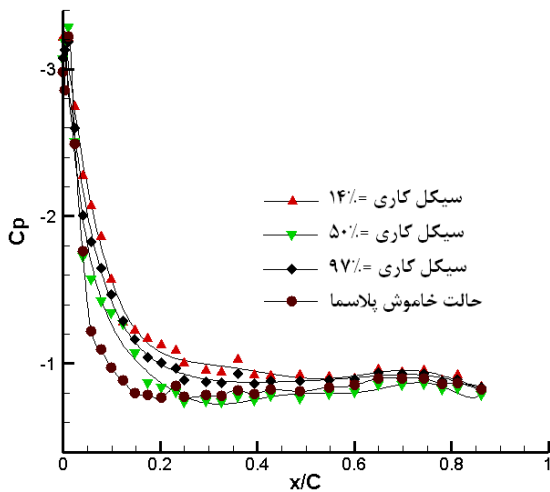
در شکل ۴ نمودار توزیع ضریب فشار روی بال با زاویه حمله ۱۶ درجه در شرایط روشن بودن عملگر با سیکل‌های کاری ۱۴ درصد و ۹۰ درصد (فرکانس تحریک برابر ۵۰ پهن) و در دو حالت خاموش بودن عملگر پلاسمایی و بدون حضور عملگر روی سطح با هم مقایسه شده‌اند. ضریب فشار بر اساس رابطه زیر ارائه شده است.

$$C_p = \frac{P - P_\infty}{q} = \frac{P - P_\infty}{\frac{1}{2} \rho U_\infty^2} \quad (1)$$

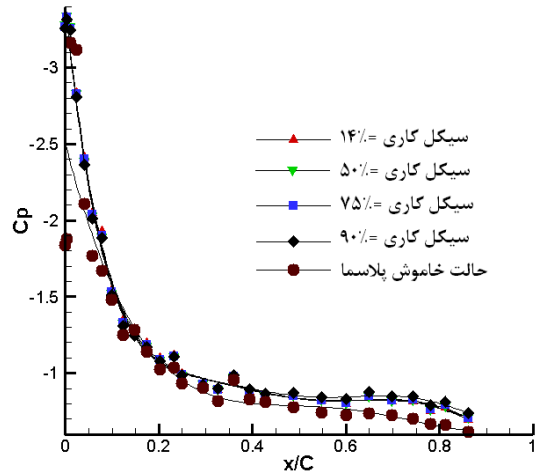
که در این رابطه  $C_p$  ضریب فشار،  $P$  فشار سطحی روی ایرفویل،  $\rho$  دانسیته هوا و  $P$ ،  $q$  و  $U$  به ترتیب فشار، فشار دینامیک و سرعت جریان آزاد در بالادست مدل‌اند.

با توجه به شکل ۴، تاثیر روشن بودن عملگر کمی در انتهای بال و کمی در حوالی الکتروود اول مشهود است. همان‌طور که از این شکل پیداست، نقطه جدایش به وسیله حضور عملگر و زبری ایجاد شده توسط آن حذف شده است. این مسئله با توجه به وجود گرادیان فشار در طول بال و ثابت نماندن فشار در یک ناحیه خاص قابل درک است. بررسی سیکل‌های کاری در این فرکانس تحریک و برای این زاویه حمله تاثیر چندانی را نشان نمی‌دهد. مقادیر توزیع فشار در این شکل مقدار ۱۰ درصد

بهبود فشار را در مقایسه با دو مقدار دیگر سیکل کاری دارد. همچنین این بهبود فشار در سیکل کاری ۹۷ درصد که نزدیک به پلازما در حالت دائمی است و مصرف انرژی بالاتری دارد، تاثیر کمتری در مقایسه با سیکل کاری ۱۴ درصد دارد. با توجه به شکل ۳ سیکل کاری ۱۴ درصد جریان کمتری نسبت به مقادیر ۵۰ درصد و ۹۷ درصد دارد، ولی علی‌رغم مصرف انرژی کمتر کارایی بهتری در بهبود فشار دارد. علت این کارایی بالاتر را می‌توان ایجاد رشته‌ای از گردابه‌ها توسط عملگر پلاسمایی دانست که در سیکل کاری ۱۴ درصد، که نسبت به بقیه سیکل‌های کاری کمتر است، تاثیر بهتری در حذف یا کاهش ناحیه حباب تشکیل‌شده روی ایرفویل دارد.

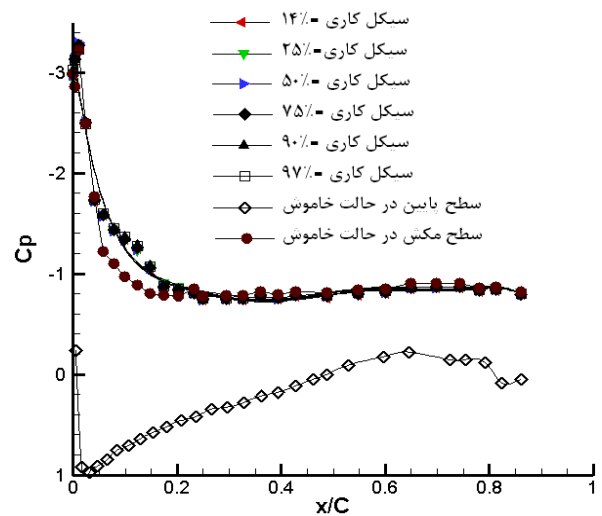


شکل ۵ توزیع فشار در سطح بالای ایرفویل در زاویه حمله ۱۶ درجه در حالت‌های عملگر روشن با فرکانس ۱۰۰ پث (سیکل‌های کاری متفاوت) و عملگر خاموش



شکل ۷ توزیع فشار حول ایرفویل در زاویه حمله ۱۸ درجه در حالت‌های عملگر روشن با فرکانس ۱۰۰ پث (سیکل‌های کاری متفاوت) و عملگر خاموش

شکل ۶ توزیع فشار حول ایرفویل در زاویه حمله ۱۸ درجه در حالت‌های عملگر روشن با فرکانس ۵۰ پث (سیکل‌های کاری متفاوت) و عملگر خاموش

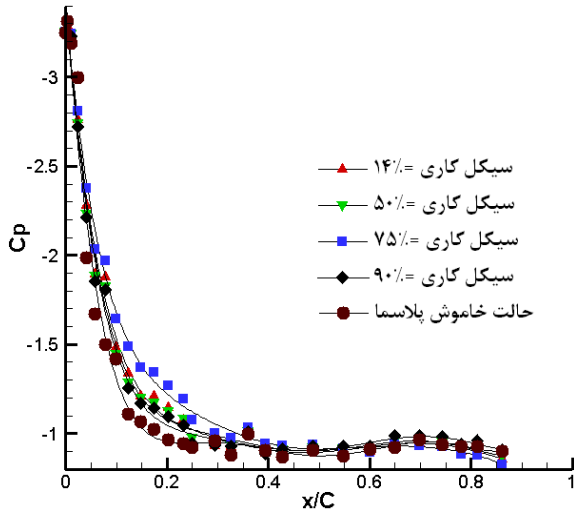


مکانیزم عملگرهای پلاسمایی ایجاد یک جریان جت میکرو در نزدیک سطح همراه با کمی مکش است که با ایجاد قطاری از گردابه‌ها و تولید ورتیسیتته در جهت منظر بال همراه است. با توجه به ماهیت جریان در سطح بالای ایرفویل که بستگی به شرایطی مانند فرکانس و قدرت گردابه‌های ریزش‌شده، اتصال مجدد و تشکیل حباب، سایز حباب تشکیل‌شده و موقعیت قرارگیری آنها دارد کارایی پلازما در بهبود فشار تغییر می‌کند. مطالعات انجام‌شده توسط شادآرام و همکارانش [۱۴] نشان می‌دهد که عملگر پلاسمایی کمی بالاتر از دیواره باعث افزایش

شکل ۷ تاثیر میزان سیکل کاری بر توزیع فشار روی سطح بالایی ایرفویل در فرکانس تحریک ۱۰۰ پث و برای زاویه حمله ۱۸ درجه نشان داده شده است. با توجه به این شکل، مشاهده می‌کنیم که سیکل کاری ۱۴ درصد بهترین میزان

### ۱.۱. غغغغغغغغغغغغ

جابه‌جایی نقطه جدایش و بهبود فشار را شاهدیم و نقطه جدایش از حوالی  $x/C = 0.20$  به حوالی  $x/C = 0.30$  جابه‌جا شده است.



شکل ۹ توزیع فشار حول ایرفویل در زاویه حمله ۲۰ درجه در حالت‌های عملگر روشن با فرکانس ۵۰ پرت (سیکل‌های کاری متفاوت) و عملگر خاموش

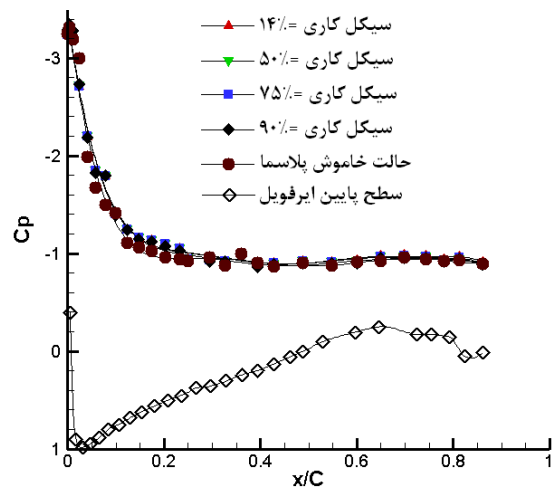
مقدار درصد افزایش لیفت بر حسب تغییرات فرکانس تحریک بی‌بعد (عدد اشتروهال) در سیکل‌های کاری ۱۴ درصد، ۲۵ درصد و ۵۰ درصد در زاویه حمله ۱۸ درجه در شکل ۱۰ نشان داده شده است. در این شکل، عدد اشتروهال بر اساس رابطه زیر تعریف شده است.

$$St = \frac{f_e c}{U_\infty} \quad (2)$$

در این رابطه  $f_e$  فرکانس تحریک،  $c$  طول وتر بال و  $U$  سرعت جریان آزاد است. با توجه به این شکل در سیکل‌های کاری کمتر، ماکزیمم لیفت در عدد اشتروهال کمتر اتفاق می‌افتد و در سیکل کاری ۵۰ درصد مقدار عدد اشتروهال بهینه افزایش می‌یابد. نکته دیگر در مورد این نمودار این است که عدد اشتروهال بهینه برخلاف نتیجه کورک و همکاران **ص** در مقدار ۱ اتفاق نمی‌افتد، بلکه برای سیکل‌های کاری کم (۱۴ درصد و ۲۵ درصد) در حوالی  $1/8$  تا ۲ قابل مشاهده است. روند مشابهی در نمودار تحقیق شده به وسیله گوکسل و همکاران **ص** که روی یک **ژاچ** با  $20500$  **آغ**د انجام شده است دیده می‌شود و تنها تفاوت در عدد اشتروهال بهینه می‌باشد.

شدت آشفتگی جریان آزاد می‌شود و همچنین فرکانس ریزش گردابه با حضور پلازما کاهش می‌یابد. این افزایش شدت آشفتگی نیز می‌تواند باعث مقاومت بیشتر در جلوگیری از جدایش در شرایط گرادیان فشار معکوس شود. با توجه به این نمودار و بررسی روند تغییرات فشار، در بهترین حالت شرایط سیکل کاری در این فرکانس تحریک، نقطه جدایش از  $x/C = 0.15$  به  $x/C = 0.50$  جابه‌جا شده است.

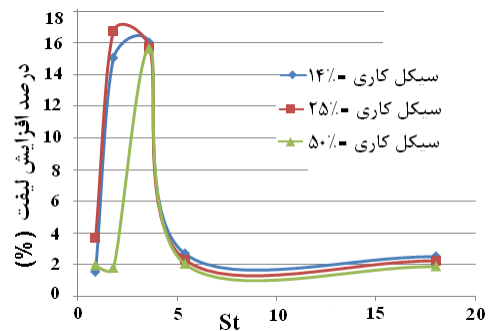
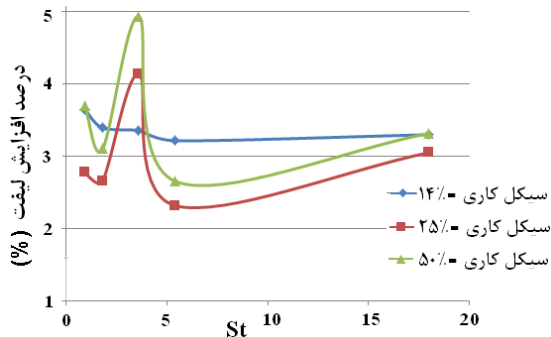
مطابق شکل ۸ میزان تاثیر عملگر پلاسمایی با سیکل‌های کاری متفاوت در بهبود فشار روی سطح بالایی این ایرفویل در زاویه حمله ۲۰ درجه و فرکانس تحریک ۱۰۰ پرت مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که در این زاویه حمله، پلازما در سیکل‌های کاری متفاوت در این فرکانس تحریک تاثیر چندانی بر توزیع فشار در سطح بالایی ایرفویل ندارد. با توجه به بزرگ‌بودن زاویه حمله، در این شرایط عملگر پلاسمایی توانایی به تعویق انداختن جدایش را ندارد. به عبارت دیگر شرایط اتصال مجدد وجود ندارد. در این زاویه حمله، تاثیر پلازما با فرکانس تحریک ۵۰ پرت نیز تحقیق شده است.



شکل ۸ توزیع فشار حول ایرفویل در زاویه حمله ۲۰ درجه در حالت‌های عملگر روشن با فرکانس ۱۰۰ پرت (سیکل‌های کاری متفاوت) و عملگر خاموش

همان‌طور که در شکل ۹ نشان داده شده است، حضور پلازما در این فرکانس تحریک تاثیر بهتری در بهبود فشار و جابه‌جایی نقطه جدایش از خود نشان می‌دهد. به طوری که نشان داده شده است در سیکل کاری ۷۵ درصد بهترین شرایط

درصد یک مقدار ماکزیمم لیفت را شاهدیم که در حوالی عدد اشتروهل برابر ۳/۵ اتفاق می‌افتد.

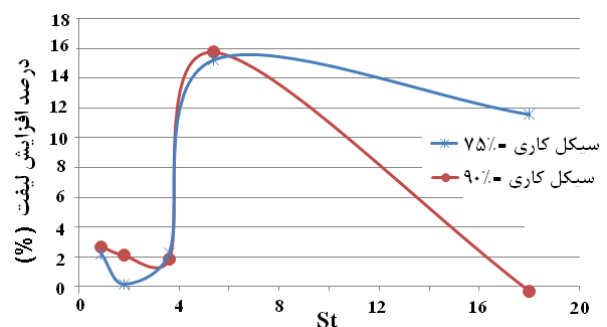
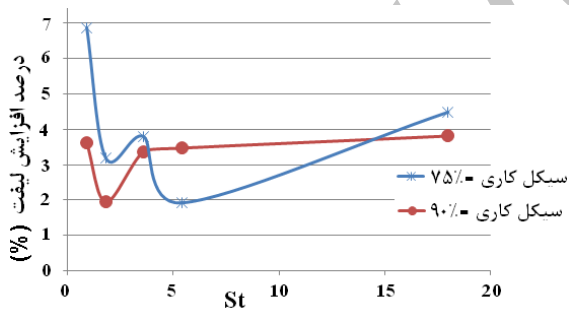


شکل ۱۰ درصد افزایش لیفت بر حسب عدد اشتروهل در سیکل‌های کاری ۱۴ درصد، ۲۵ درصد و ۵۰ درصد برای زاویه حمله ۱۸ درجه

شکل ۱۲ درصد افزایش لیفت بر حسب عدد اشتروهل در سیکل‌های کاری ۱۴ درصد، ۲۵ درصد و ۵۰ درصد برای زاویه حمله ۲۰ درجه

مقدار درصد افزایش لیفت بر حسب تغییرات فرکانس تحریک بی‌بعد در سیکل‌های کاری ۷۵ درصد و ۹۰ درصد در زاویه حمله ۱۸ درجه در شکل ۱۱ نشان داده شده است. در این شکل نمودارها رفتار مشابهی در مقایسه با سیکل‌های کاری کمتر از ۵۰ درصد دارند، با این تفاوت که در سیکل‌های کاری بالاتر از ۵۰ درصد ماکزیمم افزایش لیفت در عدد اشتروهل بالاتری (حوالی ۵) اتفاق می‌افتد. همچنین با توجه به نمودارهای شکل ۱۰ و ۱۱ می‌توان بیان داشت که ماکزیمم افزایش لیفت در زاویه حمله ۱۸ درجه حدود ۱۷ درصد است.

تاثیر سیکل‌های کاری ۷۵ درصد و ۹۰ درصد در افزایش لیفت با تغییر عدد اشتروهل در شکل ۱۳ تحقیق شده است. با توجه به این شکل، در سیکل کاری ۷۵ درصد بیشترین افزایش لیفت در حوالی عدد اشتروهل برابر ۰/۹ دیده می‌شود. ولی به طور کلی وابستگی افزایش لیفت به عدد اشتروهل خیلی کم می‌شود.



شکل ۱۳ درصد افزایش لیفت بر حسب عدد اشتروهل در سیکل‌های کاری ۷۵ و ۹۰ درصد برای زاویه حمله ۲۰ درجه

شکل ۱۱ درصد افزایش لیفت بر حسب عدد اشتروهل در سیکل‌های کاری ۷۵ درصد و ۹۰ درصد برای زاویه حمله ۱۸ درجه

#### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج ارائه‌شده برای توزیع فشار روی سطح بالایی ایرفویل مدل **۱۴تچ ج**، یعنی جایی که عملگرهای پلاسمایی در سه ردیف در مکان‌های ذکرشده به کار گرفته شده است، بهبود فشار در زوایای حمله ۱۶ تا ۲۰ را نشان می‌دهد. این در حالی است که استفاده از عملگرهای پلاسمایی با مشخصات نامبرده شده در

با توجه به شکل ۱۲ در زاویه حمله ۲۰ درجه افزایش لیفت تحت حضور پلازما در مقایسه با زاویه ۱۸ درجه به طور کلی کارایی کمتری دارد. همچنین می‌توان بیان داشت که با بزرگ‌شدن زاویه حمله تا ۲۰ درجه حساسیت درصد افزایش لیفت به شرایط پلازما (فرکانس تحریک و سیکل کاری) کمتر می‌شود. اما همچنان در سیکل‌های کاری ۲۵ درصد و ۵۰





[۱۳] دوست محمودی علیرضا، میرزایی مسعود، ناظمیان علایی محسن، مطالعه تجربی الگوی جریان و ضرایب ایرودینامیکی بر روی ایرفویل ۱۴ تحت چرخش یخ زده، مجدهمین همایش سالانه بین‌المللی مهندسی مکانیک ایران، تهران، دانشگاه صنعتی شریف، اردیبهشت ۱۳۸۹، ۳۰۴۶-۲۰۱۰ پدژد

، ف کع غوغ قعر ک ع غ ذ ، ف پ ع ع ه ل ف د ، ا ک ع ل ع ع غ ق ص ط ل  
 ع ک ل ق ک ل م ک د گ ق ن ع م ع ی ک ه م م ق ع م ک ع ف ل ا ع ک ع  
 13th Annual & 2nd International Fluid Dynamics Conference,  
 کع ل ا ذ م خ ل ا ع ف ی ک ع ل ا ف غ ذ ، ۲۰۱۰ ، م ع د ۲۸-۲۶-۲۰۱۰ ع ت

ology” ، ک ع ل ق خ ل ا ک م ع م ا ع ک ل ق خ ع ف ل ا ع ب  
 AIAA Journal, ۵۸۹۵۹۴، گ ۲۰۰۴، ۳ گ ج، ۴۲، ه ف ز،  
 ک ع ل ک ع ل ک ع ل ا ل Plal، و خ . ه م ع خ ، د ب ع ت ، د ب ع ل ا ک ص ط ل  
 ع ک ل ق خ ع ل ا ک ه ق ق ع ع س ن ک ک ف م ع ه ف د ک گ ا ک ع ، ل م ع ق ذ  
 ۲۰۰۴-۲۰۰۴، گ ۲۰۰۴، گ ۲۰۰۴، AIAA Paper، گ ت م ع م ا  
 ک ف م ع م ل ع د ، د ع ل ا ع ک ع غ ع د ، ب م م ع ق ک ع ل ا ت ، ب ق ل ا ل ه ف ل ل  
 ع ل ا ع ق خ ع ل ق م P، ، د م ف ب ل ا ع غ ع ع خ ، ح ف ل ا ع ه ع ح . ش  
 ژ ا د م ع ق ک ل ا م ک د گ ن ق ت ع ف م ع ل ا گ ن ل ا م ع م م ع ا  
 Notes on Numerical Fluid Mechanics and Multidisciplinary Design،  
 ۹۵، ه ف ز- ۴۲-۵۵، گ ۲۰۰۷، گ ۲۰۰۷،

