



بررسی تجربی اثر مانع دی‌الکتریک در سرعت القایی در لایه مرزی هوای ساکن با مقایسه باد کرونا و پلاسمای DBD جریان مستقیم و متناوب

غلامرضا تطهیری^{۱*}، غلامحسین پوریوسفی^۲، علیرضا دوست محمودی^۲ و مسعود میرزایی^۳

^۱دکتری، دانشکده فنی و مهندسی، گروه مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد زنجان، زنجان

^۲دانشجوی دکتری، دانشکده هوافضا، آزمایشگاه آیرودینامیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

^۳دانشیار، دانشکده هوافضا، آزمایشگاه آیرودینامیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی، تهران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۹/۲۱؛ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۲/۰۷/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۱/۱۶

چکیده

کنترل جریان در لایه مرزی، یکی از اساسی‌ترین موضوعات علم آیرودینامیک است. عموماً کنترل جریان با هدف کنترل جدایش در لایه مرزی صورت می‌گیرد. امروزه استفاده از محرک‌های فعال الکتروهیدرودینامیکی، به دلیل دسترسی و سادگی نصب، عدم نیاز به تعمیرات خاص، زمان پاسخ بسیار کوتاه و مصرف انرژی بسیار کم، بسیار مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این مقاله، با استفاده از یک هندسه یکسان، اثرات وجود مانع دی‌الکتریک، در سرعت القایی لایه مرزی در هوای ساکن، در باد کرونای ناشی از میدان‌های جریان مستقیم و متناوب مورد بررسی قرار گرفت. با استفاده از نتایج این پژوهش مشخص شد که وجود مانع دی‌الکتریک در میدان جریان مستقیم، باعث کاهش سرعت جریان در لایه مرزی می‌شود. درحالی‌که با وجود مانع دی‌الکتریک در میدان جریان متناوب، می‌توان به سرعت‌های بسیار بیشتری در لایه مرزی رسید. با آشکارسازی از طریق تکنیک تزریق دود، مشخص شد که وجود مانع دی‌الکتریک در الگوی جریان تأثیری ندارد، ولی این الگو در جریان مستقیم در راستای میدان الکتریکی، و در جریان متناوب در راستای مماس بر لایه مرزی است. در نهایت استفاده از میدان جریان متناوب نسبت به جریان مستقیم، علاوه بر نصب دقیق در محل مورد نظر به دلیل کوچکی، می‌تواند باعث دستیابی به سرعت‌های بیشتری در لایه مرزی هوای ساکن شود.

کلمات کلیدی: سرعت القایی؛ باد کرونا؛ تخلیه پلاسما؛ محرک پلاسمای DBD.

Experimental investigation of the effect of dielectric barrier on induced velocity of quiescent air boundary layer with comparison of corona wind and AC-DC DBD plasma

Gh. Tathiri^{1*}, Gh. Pouryoussefi², A. Doostmahmoudi² and M. Mirzaei³

¹ Ph.D., Eng. Dept., Zanjan Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran

² Ph.D. Student, Aerospace Eng. Dept., K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

³ Assoc. Prof., Aerospace Eng. Dept., K.N. Toosi University of Technology, Tehran, Iran

Abstract

Boundary layer flow control, is one of the most important issues of aerodynamics. Generally, the purpose of flow control, is control of the boundary layer separation. Nowadays, researchers have considered the using of active electrohydrodynamic actuators due to the access and easy installation, no need for special repairs, very short response time and very low energy consumption. In this paper, using a similar geometry, the effects of dielectric barrier, on induced velocity in still air boundary layer, in the corona wind of direct and alternating fields was studied. The results showed that the using of dielectric barrier in the field of direct current, the flow velocity in the boundary layer is reduced, while with the dielectric barrier in the field of alternating current, greater speeds in boundary layer could be reached. With detection of smoke injection technique, it was found that the barrier dielectric has no effect on the flow pattern, but this pattern is in the direction of electric field in the direct current and is tangential to the boundary layer in the alternating current. Finally, using the alternating current field, in addition to installing in the exact location due to small size of them, can cause to achieve higher speeds in quiescent air boundary layer.

Keywords: Induced Velocity; Corona Wind; Plasma Discharge; DBD Plasma Actuator.

* نویسنده مسئول؛ تلفن: ۰۹۱۲۲۴۱۹۸۵۸

آدرس پست الکترونیک: gh_tathiri@azu.ac.ir

۱- مقدمه

منبع AC کار می‌کنند [۴ و ۵] و ابزارهای ورقه پلازما [۱، ۶ و ۷].

تمامی محرک‌های الکتروهیدرودینامیکی از دو الکتروود صفحه‌ای (مانند نوار آلومینیوم یا مس) تشکیل شده‌اند، که توسط یک منبع اختلاف پتانسیل قوی تحریک می‌شوند. معمولاً اگر این تحریک توسط منبع اختلاف پتانسیل مستقیم صورت گیرد، این محرک‌ها را محرک‌های باد کرونا، و در صورتی که توسط منبع اختلاف پتانسیل متناوب صورت گیرد، این محرک‌ها را محرک‌های پلازمایی می‌نامند. معمولاً در محرک‌های DBD یکی از الکتروودها در معرض هوا قرار دارد و الکتروود دیگر درون ماده دی‌الکتریک (پلاستیک، تفلون، پلکس گلاس، پلی آمید، پی وی سی، کاپتون، کوارتز، نایلون و ...) جاسازی می‌شود. ماده دی‌الکتریک که بین این دو الکتروود وجود دارد باعث پایداری فرآیند تخلیه پلازما (انتقال بار) و مانع از گرم شدن الکتروودها خواهد شد. وجود مانع دی‌الکتریک به این دلیل است که در مکانیزمهای افزایش مومنتم از طریق باد کرونا و ورقه پلازما، معمولاً به دلیل امکان ایجاد شکست الکتریکی در سیال، فاصله باز میان الکتروودها زیاد است و عملاً نمی‌توان الکتروودها را از حد معینی به یکدیگر نزدیکتر نمود، همچنین در رژیم تخلیه کرونا که با منبع DC کار می‌کند، در اثر برخورد یونها به کاند، سطح آن بسیار گرم می‌شود. این موضوع باعث کاهش قدرت پلازما و در نتیجه کاهش قدرت اثر آن بر میدان جریان سیال می‌شود. در محرک‌های DBD به دلیل اینکه فاصله میان الکتروودها با یک ماده عایق که مقاومت الکتریکی آن نسبت به تخلیه الکتریکی زیاد است، پوشیده شده است، می‌توان از الکتروودهایی با فاصله بسیار کمتر استفاده نمود و بنابراین شدت میدان الکتریکی که برای یونیزاسیون مولکولهای هوا مورد نیاز است، افزایش می‌یابد. بنابراین می‌توان پلازمایی با قدرت بیشتر جهت تأثیرگذاری بهتر بر جریان سیال تولید کرد. همچنین این امر باعث کاهش قابل ملاحظه اندازه این محرک‌ها شده و امکان نصب آنها را در محیط‌هایی کوچکتر و دقیقاً در محل مورد نظر فراهم می‌آورد. چرا که یک حجم نسبتاً بزرگ پلازما می‌تواند اثرات نامطلوبی را بر مناطقی که مورد نظر نیستند، ایجاد کند. این امر مزیت عمده محرک‌های DBD نسبت به سایر محرک‌های الکتروهیدرودینامیکی را نشان می‌دهد.

کنترل جریان یکی از مهمترین مسائل اساسی در علم آیرودینامیک می‌باشد که از دیرباز مورد توجه و علاقه دانشمندان علم آیرودینامیک قرار گرفته است. هدف اصلی از کنترل جریان حول اجسام، کنترل جدایش در لایه مرزی است. روشهای کنترل لایه مرزی را می‌توان به سه گروه عمده تقسیم کرد: (۱) روش‌های غیرفعال (۲) روش‌های فعال (۳) روش‌های ترکیبی. اگرچه روش‌های غیرفعال بار وزنی زیادی ندارند و نیازی به صرف انرژی برای کنترل جریان ندارند ولی دارای این عیب بزرگ هستند که با تغییر شرایط جریان از جمله عدد رینولدز و تغییر زاویه حمله و ... کارایی خود را از دست می‌دهند و حتی در برخی موارد بر روی کارایی اثر منفی دارند. در مقابل روش‌های فعال، در مواقع لزوم می‌توانند قطع شوند. به همین دلیل است که امروزه توجه بیشتری به روش‌های کنترل فعال جریان معطوف شده است. از میان روش‌های فعال کنترل جریان، محرک‌های الکتروهیدرودینامیکی توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده‌اند. استفاده از محرک‌های الکتروهیدرودینامیکی چندین سال پیش پیشنهاد شد. این محرک‌ها مولکول‌های هوا را یونیزه کرده و در طی فرآیند برخورد ذرات باردار در حال حرکت، با ذرات خنثی گاز، یک مومنتم محلی به آنها اضافه می‌کنند. اساس پدیده الکتروهیدرودینامیک بر این استوار است که شدت جریانهای الکتریکی موجود به حدی کم است که نیروهای مغناطیسی در مقایسه با نیروهای الکتریکی بسیار کوچک و قابل صرف‌نظر کردن هستند. مزیت عمده این محرک‌ها، عدم وجود قطعات متحرک، کاربرد ساده، قابلیت اطمینان، زمان پاسخ بسیار کوتاه، وزن بسیار پایین، کاربرد محرک در سطوح بدون تغییر شکل هندسی سطح، عدم نیاز به برداشتن محرک در مواقع عدم نیاز به آن، توان مصرفی پایین و کارایی نسبتاً خوب در تبدیل انرژی الکتریکی به انرژی مکانیکی می‌باشد [۱].

۲- محرک‌های الکتروهیدرودینامیکی

محرک‌های الکتروهیدرودینامیکی می‌توانند به سه گروه عمده تقسیم شوند: ابزارهای باد کرونا که با منبع DC کار می‌کنند [۲ و ۳]، ابزارهای عایق مانع تخلیه الکتریکی DBD که با

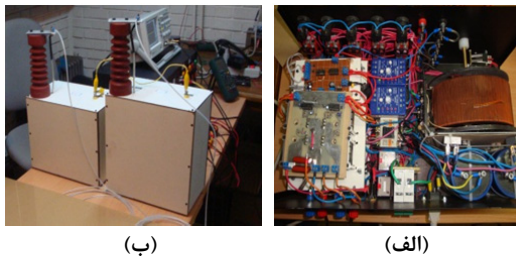
۵۰-۶۰ Hz را به خروجی ولتاژ تا مقدار حداکثر ۵۰ KV با فرکانس ریبلی ۱۰۰ هرتز و شدت جریان حداکثری ۲۰ mA تبدیل نماید. نمایی از ترانسفورماتور و مقاومت این دستگاه در حال کار در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲- (الف) ترانسفورماتور (ب) مقاومت منبع تغذیه مستقیم

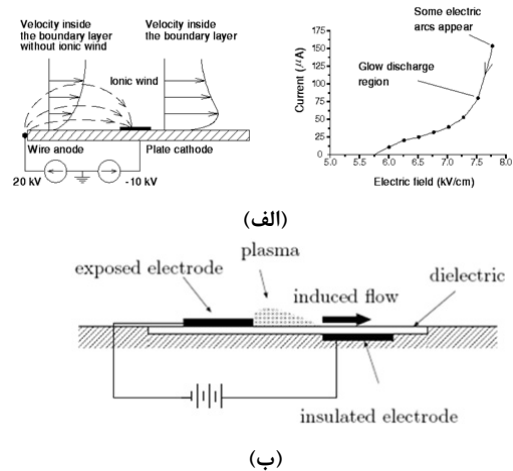
۳-۲- منبع تغذیه جریان متناوب

این دستگاه که برای اولین بار در ایران ساخته شده است، از سه بخش اصلی اسیلاتور برای تولید سیگنال که معمولاً موج سینوسی است، آمپلی فایر برای تغییر توان و ترانسفورماتور تنظیم ولتاژ بالا برای آماده سازی ولتاژ مورد نیاز برای تولید پلاسما، تشکیل شده است. اسیلاتور از چندین بخش مختلف تشکیل شده است که وظیفه آماده کردن یک فرکانس متناوب خروجی تا چندین کیلوهرتز را بر عهده دارد. منبع تغذیه ورودی، همان شرایط برق شهر با ولتاژ ۲۲۰ V و فرکانس ۵۰ Hz می‌باشد. این منبع تغذیه پلاسمای نیمه صنعتی، دارای توان خروجی ۱ کیلووات و ولتاژ خروجی ۷۰ کیلوولت است. نمای داخلی و سیم پیچ این دستگاه در حال کار در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- (الف) نمای داخلی (ب) سیم پیچهای منبع تغذیه مستقیم

نمایی شماتیک از محرکهای باد کرونا و عایق مانع تخلیه الکتریکی (DBD) در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱- نمایی شماتیک از محرکهای (الف) باد کرونا (ب) عایق مانع تخلیه الکتریکی (DBD)

محرک پلاسما یکی از روشهای نوین کنترل فعال جریان آیرودینامیکی است، که بیش از یک دهه است که استفاده می‌شود. این محرک کاربردهای بسیاری در کنترل جدایش در لبه حمله ایرفویل [۸ و ۹]، کنترل واماندگی دینامیکی ایرفویل [۱۰]، کنترل جریان در اجسام دارای انحنا [۱۱-۱۵]، کنترل جریان لایه مرزی [۱۶-۱۸]، کاربردهای بالابرداری بالا [۱۹] و کنترل جریان در توربوماشین‌ها [۲۰-۲۱]، دارد.

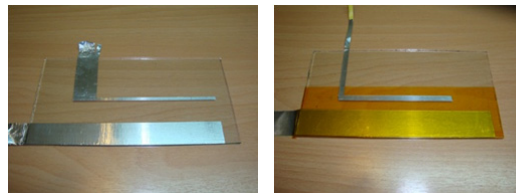
۳- انجام آزمایشات

۳-۱- منبع تغذیه جریان مستقیم

جهت دسترسی به منبع اختلاف پتانسیل d.c. می‌بایست با استفاده از یک مدار یکسوکننده ولتاژ متناوب را به ولتاژ مستقیم تبدیل کرد. ولتاژ مستقیمی که از این روش بدست می‌آید دارای مؤلفه ریبلی متناوب بر روی سطح متوسط d.c. می‌باشد. منبع تغذیه ساخته شده در این پژوهش که یک منبع تغذیه تمام موج است، دارای منبع ولتاژ ورودی ۵۰ هرتزی و ریبیل خروجی ۱۰۰ هرتز می‌باشد. این منبع تغذیه می‌تواند ورودی برق شهری با ولتاژ ۲۴۰-۲۰۰ V و فرکانس

۳-۳- هندسه الکترودها

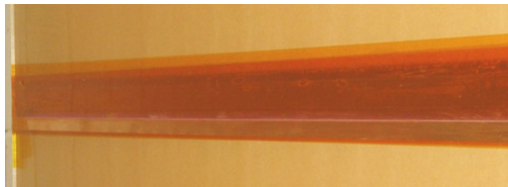
همانطوری که می‌دانیم و در کارهای دیگران نیز بدان اشاره شده است، چگونگی شکل‌گیری باد یونی و پلاسما، به میزان زیادی بستگی به هندسه مسأله از جمله نحوه استقرار الکترودها، ضخامت الکترودها و فاصله آنها از یکدیگر، شدت و نوع میدان الکتریکی اعمالی به دو الکتروود و نوع عایق بین دو الکتروود دارد. در استفاده از منبع جریان مستقیم، صفحاتی از جنس شیشه معمولی و با ابعاد ۱۰۰ mm در ۲۰۰ mm و با ضخامت ۵ mm جهت نصب الکترودها تهیه شد. جهت ایجاد میدان الکتریکی، الکترودهایی از جنس ورق چسبی آلومینیوم و به ضخامت ۴۰ میکرون با عرض ۵ mm برای الکتروود متصل به ولتاژ قوی و عرض ۲۰ mm برای الکتروود متصل به زمین بر روی لبه این صفحه شیشه‌ای تخت چسبانده شدند. این نمونه‌ها در دو هندسه با عایق الکتریکی (DBD) و بدون عایق الکتریکی (corona) ساخته شدند، تا بتوان نحوه تشکیل باد یونی و پلاسما را در این دو حالت مقایسه کرد. برای عایق دی‌الکتریک بین دو الکتروود از چسب کپتون استفاده شده است. این عایق دارای استحکام عایقی الکتریکی ۳۸۹-۴۳۰ kV/mm (هر mil یک هزارم inch می‌باشد) در عرض‌های مختلف ۱ cm تا ۱۰ cm می‌باشد. این دو نمونه در شکل ۴ نشان داده شده‌اند.



شکل ۴- آرایش الکترودها در استفاده از منبع تغذیه جریان مستقیم

در استفاده از منبع جریان متناوب، از الکترودهای مسی به ضخامت ۵۰ میکرون استفاده شد. به دلیل ماهیت جریان متناوب و فرکانس بالای آن و امکان تخلیه الکتریکی در حالت عدم استفاده از عایق بین دو الکتروود، فقط از آرایش الکترودها با عایق بین آنها استفاده شد. الکتروود بالایی روباز به طول ۶۶ cm و به عرض ۱ cm و الکتروود پایینی پوشیده شده به طول ۶۶ cm و به عرض ۵ cm انتخاب شدند و فاصله همپوشانی الکترودهای بالایی و پایینی صفر در نظر گرفته

شد (آرایش لب به لب). جهت افزایش بیشتر ولتاژ اعمالی به دو الکتروود جهت قویتر شدن پلاسما نیز از ۴ لایه چسب کپتون، که هر یک دارای ضخامت ۲ mil می‌باشند، استفاده شد. این نوع آرایش الکترودها در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵- آرایش الکترودها در استفاده از منبع تغذیه جریان متناوب

۴-۳- رژیم‌های تخلیه الکتریکی مستقیم و متناوب
در محرک‌های کرونا که با منبع تغذیه مستقیم کار می‌کنند، با برقراری اختلاف پتانسیل بین دو الکتروود بدون عایق، جریانی از یونها بین دو الکتروود برقرار می‌شود که به باد یونی معروف است. این باد یونی در امتداد میدان الکتریکی مابین دو الکتروود می‌باشد. با افزایش اختلاف پتانسیل بین دو الکتروود این باد یونی قویتر شده تا اینکه نهایتاً در نقطه‌ای تیز و ناهمگن، تخلیه الکتریکی بصورت قوس الکتریکی اتفاق می‌افتد و از قدرت باد یونی می‌کاهد. این موضوع در شکل ۶ نشان داده شده است.



(الف)



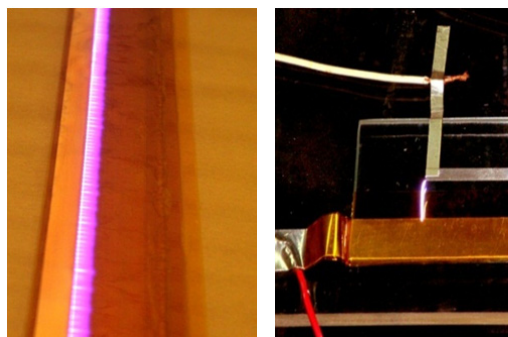
(ب)

شکل ۶- (الف) تشکیل باد کرونا در بین الکترودها با اعمال اختلاف پتانسیل ۱۸ kV (ب) تشکیل قوس الکتریکی و تضعیف کرونا با اعمال اختلاف پتانسیل ۲۰ kV به دو الکتروود

از پارافین مایع استفاده شده است. دود ایجاد شده از طریق پارافین از طریق یک تزریق کننده با سرعت ثابت کم و از طریق یک لوله پلاستیکی انعطاف پذیر به قطر داخلی ۱ mm که بطور مماس با سطح قرار داده شده است، بر روی الکترودها تزریق می‌شود. دود تزریق شده کاملاً لایه‌ای و آرام بوده و در صورت عدم وجود اغتشاش، یک مسافت طولانی را به همان حالت آرام و لایه‌ای طی می‌کند. سیستم تزریق دود ساخته شده با نصب بر روی محرک می‌تواند وجود هر گونه جریانی که در اثر محرک ایجاد شده باشد، را نشان دهد. این کار در یک اتاق کاملاً محبوس انجام می‌شود تا اینکه جریانات هوای موجود در فضا، نتواند تأثیری بر حرکت رشته دود داشته باشد. برای نشان دادن تأثیر وجود میدان الکتریکی بر دود تزریق شده، یک بار آزمایش را در حالت عدم اتصال الکترودها به منبع تغذیه (Off) و یکبار دیگر در حالت اتصال الکترودها به منبع تغذیه (On) انجام می‌دهیم. همچنین آزمایش برای هر دو سیستم الکترودهای ساخته شده (بدون عایق الکتریکی و با عایق الکتریکی مابین الکترودها) تکرار می‌شود.

ابتدا آزمایشات را برای محرک بدون وجود عایق دی-الکتریک مابین الکترودها (باد کرونا) انجام می‌دهیم. همانطوری که در شکل ۸ مشاهده می‌شود، با تزریق دود در حالت خاموش بودن محرک، رشته دود به حرکت کاملاً افقی خود ادامه می‌دهد تا اینکه از سمت دیگر نمونه خارج شده و از حالت رشته‌ای خود خارج شود. حال در همین حالت محرک روشن می‌شود. با افزایش اختلاف پتانسیل ما بین دو الکترودها تا قبل از تخلیه الکتریکی (شکست الکتریکی)، مشاهده می‌شود که رشته دود تزریق شده از حالت افقی خود خارج شده و در جهت پایین دست مدل نمونه، یعنی از سمت الکترودها متصل به ولتاژ مثبت به سمت الکترودها زمین، شروع به حرکت می‌کند. این حرکت که در ادبیات فن به باد کرونا یا باد یونی معروف است، دقیقاً در امتداد خطوط میدان الکتریکی مابین دو الکترودها می‌باشد. با بالا بردن اختلاف پتانسیل و به محض شروع تخلیه الکتریکی مصرف جریان الکتریکی که قبلاً در حد صفر بوده، تا حدود ۱ میلی آمپر بالا رفته و به دلیل تخلیه الکترونها از یک نقطه خاص، باد یونی تضعیف می‌شود.

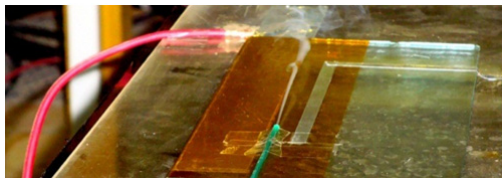
در حالت استفاده از عایق دی‌الکتریک بین دو الکترودها، با وجود منبع تغذیه جریان مستقیم، این باد یونی تشکیل نمی‌شود و یا اینکه به قدری ضعیف است که قابل مشاهده در فضای تاریک آزمایشگاه نمی‌باشد. با افزایش اختلاف پتانسیل در این حالت نیز، قوس الکتریکی در نقطه‌ای تیز تشکیل می‌شود. دلیل این امر نیز وجود عایق دی‌الکتریک در فضای مابین الکترودهاست که مانع تجمع الکترونها و یونها بر روی الکترودها زمین می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد با وجود منبع تغذیه جریان مستقیم، جهت تأثیرگذاری بر جریان هوا، استفاده از محرک تخلیه کرونا نسبت به محرک پلاسمای DBD مناسبتر باشد. مهمترین خاصیت محرکهای DBD اینست که می‌تواند متحمل حجم بزرگی از تخلیه الکتریکی در فشار اتمسفر شود بدون اینکه تخلیه به یک ناحیه باریک قوس الکتریکی محدود شود. این امر با تجمع الکتریکی بر روی سطح دی‌الکتریک ممکن می‌شود. تفاوت رژیمهای تخلیه الکتریکی در محرکهای بدون مانع دی‌الکتریک و با مانع دی‌الکتریک و در میدانهای جریان مستقیم و متناوب، از طریق عکس برداری در آزمایشگاه و در شکل ۷ نشان داده شده است.



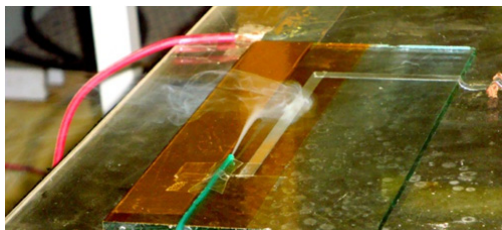
شکل ۷- تفاوت رژیم تخلیه الکتریکی در کرونا (الف) مستقیم (ب) متناوب - با وجود مانع دی-الکتریک

شکل ۷- تفاوت رژیم تخلیه الکتریکی در کرونا (الف) مستقیم (ب) متناوب - با وجود مانع دی-الکتریک

۳-۵- آشکارسازی کیفی میدان سرعت ناشی از باد کرونا و پلاسمای میدان جریان مستقیم و متناوب
برای آشکارسازی کیفی جریان باد کرونا و پلاسمای سطح تخت از تکنیک تزریق دود استفاده می‌شود. برای تولید دود

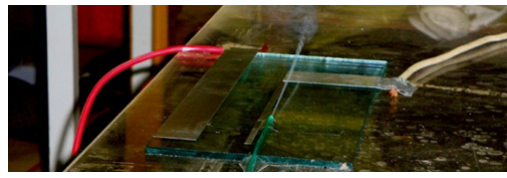


(الف)

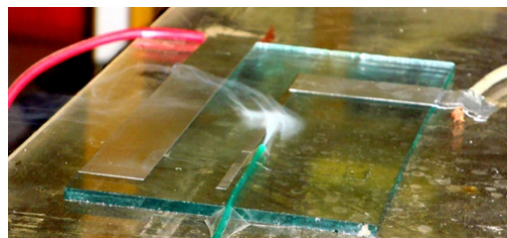


(ب)

شکل ۹- انحراف رشته دود به سمت الکترود زمین در اثر اعمال اختلاف پتانسیل مستقیم ۱۸ kV به دو الکترود در حالت DBD



(الف)



(ب)

شکل ۸- انحراف رشته دود به سمت الکترود زمین در اثر اعمال اختلاف پتانسیل مستقیم ۱۵ kV به دو الکترود در حالت باد کرونا

در مرحله بعد، همین آزمایشات را برای محرک با وجود عایق دی‌الکتریک ما بین الکترودها (DBD) انجام می‌دهیم. همانطوری که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، در این حالت نیز با تزریق دود در حالت خاموش بودن محرک، رشته دود به حرکت کاملاً افقی خود ادامه می‌دهد تا اینکه از سمت دیگر نمونه خارج شده و از حالت رشته‌ای خود خارج شود. حال در همین حالت محرک پلاسما روشن می‌شود. با افزایش اختلاف پتانسیل ما بین دو الکترود تا قبل از تخلیه الکتریکی (شکست الکتریکی)، مشاهده می‌شود که رشته دود تزریق شده از حالت افقی خود خارج شده و در جهت پایین دست مدل نمونه، یعنی از سمت الکترود متصل به ولتاژ مثبت به سمت الکترود زمین، شروع به حرکت می‌کند. با اینکه حرکت رشته دود دقیقاً در امتداد خطوط میدان الکتریکی مابین دو الکترود می‌باشد، ولی شدت حرکت آن به اندازه حالت قبلی نیست. با بالا بردن اختلاف پتانسیل و به محض شروع تخلیه الکتریکی مصرف جریان الکتریکی که قبلاً در حد صفر بوده، تا حدود ۱ میلی آمپر بالا رفته و به دلیل تخلیه الکترون‌ها از یک نقطه خاص، باد یونی تضعیف می‌شود.

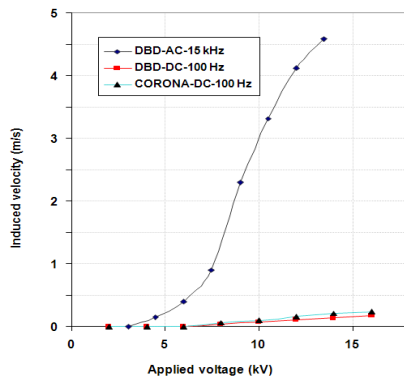
در مرحله بعد به آشکارسازی جریان، در حالت استفاده از محرک پلاسمایی DBD با استفاده از منبع تغذیه متناوب می‌پردازیم. جهت مشاهده بهتر موضوع، ابتدا اتاق کار را تاریک کرده و سپس دوربین سرعت بالا را یک موقعیت

مناسب طوری تنظیم می‌کنیم که قادر به تصویر برداری حدود ۱۰ فریم در ثانیه باشد. دود از طریق یک محفظه با سرعت بسیار کم در محل تشکیل پلاسما تزریق می‌شود. این دود با تاباندن یک نور سفید LED بسیار متمرکز روشن می‌شود، تا رفتار آن در هنگام عکسبرداری کاملاً واضح باشد. همانطوری که در شکل ۱۰ مشخص است، در تصویر ابتدایی که محرک پلاسما هنوز روشن نشده است، دود تزریق شده در روی الکترودها کاملاً ساکن است. به محض روشن شدن پلاسما، یک نیروی لحظه‌ای و آنی به صورت جت، به دود تزریق شده وارد می‌شود، و همانطوری که در تصویر بعدی مشخص است، این نیرو، دود تزریق شده را کاملاً جارو کرده و در لایه مرزی بعد از الکترودها، در جهت پایین دست جریان، به آن شتاب می‌دهد. این شتابدهی به جریان سیال در راستای پایین دست به قدری زیاد است که باعث چرخش رشته دود، بالاتر از لایه مرزی می‌شود. علت این چرخش، شتاب جریان هوا در لایه مرزی و ساکن بودن هوای فضای بالای الکترودها می‌باشد. جریان شتابدار هوا، یک نیروی برشی مماسی در راستای جریان، به مولکولهای هوا وارد کرده و باعث ایجاد چرخش در پایین دست جریان می‌شود.

بنابراین به نظر می‌رسد استفاده از منبع تغذیه جریان متناوب، جهت تأثیرگذاری بر جریان هوا، مناسبتر از منبع تغذیه جریان مستقیم باشد. البته این موضوع در اینجا

میکرولوله پیتوت سیلیکونی این دستگاه در فاصله ۵ میلیمتری پایین دست الکتروود ولتاژ بالا و در نزدیکترین نقطه به سطح زمین قرار می‌گیرد تا بتواند بیشترین سرعت در لایه مرزی را اندازه‌گیری کند.

نمودار مربوط به سرعت لایه مرزی در سه حالت: کرونا با منبع تغذیه جریان مستقیم، پلاسمای مانع تخلیه الکتریکی با منبع تغذیه جریان مستقیم و پلاسمای مانع تخلیه الکتریکی با منبع تغذیه جریان متناوب در شکل ۱۱ نشان داده شده است. همانطوری که مشاهده می‌شود، سرعت جریان القایی در لایه مرزی ناشی از پلاسمای DBD جریان متناوب بسیار بزرگتر از سرعت جریان القایی در لایه مرزی ناشی از کرونا و پلاسمای DBD جریان مستقیم می‌باشد.

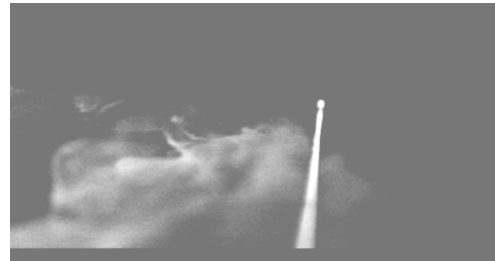


شکل ۱۱- مقایسه سرعت القایی در لایه مرزی هوای ساکن از طریق سه نوع محرک DBD جریان متناوب، DBD جریان مستقیم و کرونا

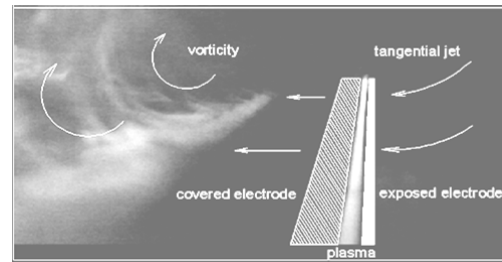
۴- بحث و نتیجه‌گیری

همانطوری که از نتایج آزمایشات مشخص شد، در حالت کلی سرعت‌های ایجاد شده در صورت استفاده از منبع تغذیه جریان مستقیم در هر دو حالت DBD و Corona بسیار کم و در حدود 0.5 m/s می‌باشند، اگرچه سرعت ایجاد شده در مدل شامل دو الکتروود بدون عایق دی‌الکتریک مابین آنها، نسبت به مدل شامل دو الکتروود با عایق دی‌الکتریک بیشتر می‌باشد. در مقایسه، این سرعتها نسبت به سرعت‌های القاء شده با منبع تغذیه متناوب با فرکانسهای بالا (در حدود 5 m/s) بسیار کمتر هستند. در هر دو صورت به نظر نمی‌رسد که این سرعت‌های پایین بتوانند تأثیر قابل توجهی بر سرعت جریان

بصورت کیفی نشان داده شد و جهت ارائه نظر دقیقتر، می‌بایست نتایج کمی نیز در دسترس باشند تا بتوان بطور دقیقتر در این زمینه اظهار نظر کرد.



(الف)



(ب)

شکل ۱۰- انحراف رشته دود در اثر اعمال اختلاف پتانسیل متناوب 6 kV و فرکانس حامل 15 kHz به دو الکتروود در حالت DBD

۳-۶- اندازه‌گیری کمی سرعت از طریق میکرومانومتر برای اندازه‌گیری کمی پارامتر مکانیکی سرعت، در حالت‌های مختلف پلاسمای، نمی‌توان از هات وایر و هات فیلم استفاده کرد و از روش میکرومانومتر و میکرولوله پیتوت استفاده می‌شود. چراکه به دلیل ظرافت سیم موجود در هات وایر و وجود میدان‌های الکتریکی بسیار قوی در محدوده آن، امکان تأثیرپذیری داده‌ها از میدان الکتریکی وجود داشته و نمی‌توان به داده‌های آن بلافاصله بعد از محل قرارگیری الکتروودها اطمینان کرد. همچنین به دلیل وجود یک عایق بسیار قوی در فاصله مابین الکتروودها و همچنین وجود میدان الکتریکی ناشی از یک جریان متناوب، در صورت بالا رفتن شدت میدان الکتریکی و تخلیه الکتریکی احتمالی، این تخلیه الکتریکی از طریق قسمت‌های فلزی دستگاه صورت خواهد گرفت. دستگاه میکرومانومتر استفاده شده در این آزمایش از مدل Testo 5126 ساخت کشور آلمان و با دقت 0.1 Pa می‌باشد.

- [6] Artana G, Sosa R, Moreau E, Touchard G (2003) Control of the near wake flow around a circular cylinder with electrohydrodynamic actuators. *Exp Fluids* 36(6): 580–588.
- [7] Sosa R, Moreau E, Touchard G, Artana G (2004) Stall control of airfoils at high angle of attack with periodically excited EHD actuators. *AIAA Paper No.* 2004–2738.
- [8] Post ML, Corke TC (2004) Separation control on a high angle of attack airfoil using plasma actuators. *AIAA J* 42(11): 2177–2184.
- [9] Benard N, Braud P, Jolibois J (2008) Airflow Reattachment Along a NACA 0015 Airfoil by Surface SDBD Actuator-Time Resolved PIV Investigation. *AIAA Paper* 2008–4202.
- [10] Post ML, Corke TC (2006) Separation control using plasma actuators—dynamic stall vortex control on an oscillating airfoil. *AIAA J*, 44(12): 3125–3135.
- [11] Do H, Kim W, Mungal MO, Cappelli MA (2007) Bluff body flow separation control using surface dielectric barrier discharges. *AIAA Paper* 2007–939.
- [12] Thomas FO, Kozlov A, Corke TC (2008) Plasma actuators for cylinder flow control and noise reduction. *AIAA J* 46(8): 1921–1931.
- [13] Thomas FO, Kozlov A, Corke TC (2005) Plasma actuators for landing gear noise control. *AIAA Paper* 2005–3010.
- [14] Rizzetta D, Visbal M (2008) Large-eddy simulation of plasma-based control strategies for bluff body flow. *AIAA Paper* 2008–4197.
- [15] Gregory J, Porter C, Sherman D, McLaughlin T (2008) Circular Cylinder wake control using spatially distributed plasma forcing. *AIAA Paper* 2008–4198.
- [16] Schatzman D, Thomas FO (2008) Turbulent boundary layer separation control using plasma actuators. *AIAA Paper* 2008–4199.
- [17] Baughn JW, Porter C, Peterson BL, McLaughlin TE, Enloe CL, Font GI, Baird C (2006) Momentum transfer for an aerodynamic plasma actuator with an imposed boundary layer. *AIAA Paper* 2006–168.
- [18] Font GI (2006) Boundary layer control with atmospheric plasma discharges. *AIAA J* 44(7): 1572–1578.
- [19] Corke TC, He C, Patel M (2004) Plasma flaps and slats: an application of weakly-ionized plasma actuators. *AIAA Paper* 2004–2127.
- [20] Huang J, Corke TC, Thomas FO (2006) Plasma actuators for separation control of low-pressure turbine blades. *AIAA Journal* 44(1): 51–57.
- [21] Huang J, Corke TC, Thomas FO (2006) Unsteady plasma actuators for separation control of low-pressure turbine blades. *AIAA Journal* 44(7): 1477–1487.

هوای آزاد در حالت‌های واقعی پرواز که بسیار بیشتر از این مقادیر می‌باشند، داشته باشند. علت این امر را نیز می‌توان به این صورت توضیح داد که در تولید پلاسما می‌توان جریان مستقیم بحث تعویض قطبها وجود ندارد و بنابراین میزان یونیزاسیون مولکولها و تولید یون در لحظات ابتدایی به حداکثر میزان خود می‌رسد و یونهای تشکیل شده بلافاصله بر روی الکتروود زمین یا عایق روی آن تجمع می‌کنند. در این حالت ناحیه پلاسما اشباع می‌شود. در این پلاسما اشباع شده جریان بسیار خفیفی از الکترونها و یونها وجود دارد که عملاً سرعت بسیار کمی را ایجاد می‌کند و نمی‌تواند برای اصلاح جریان روی ایرفویل بکار برده شود. همچنین همانطوری که در آشکارسازی بوسیله دود مشخص شد، این سرعت دقیقاً موازی سطح نمی‌باشد و دارای مؤلفه‌هایی در راستای عمود بر جریان نیز می‌باشد که باعث آشفته‌گی جریان در لایه مرزی می‌شود. به همین علت است که اکثر محققان در کارهای تحقیقی خودشان از میدان جریان متناوب برای اصلاح خصوصیات جریان استفاده می‌کنند، و استفاده از میدان جریان مستقیم فقط در مواردی مانند استوانه که پروفیل سطح آن تقریباً منطبق بر خطوط میدان الکتریکی می‌باشد، و آن هم بدون وجود عایق الکتریکی (برای قویتر شدن کرونا) کاربرد دارد. این موضوع به وضوح در این کار آزمایشگاهی مشاهده شد.

مراجع

- [1] D'Adamo J, Artana G, Moreau E, Touchard G (2002) Control of the airflow close to a flat plate with electrohydrodynamic actuators. *ASME Paper No.* 2002–31041.
- [2] Colver G, El-Khabiry S (1999) Modeling of DC corona discharge along an electrically conductive flat plate with gas flow. *IEEE Trans Ind Appl* 35(2): 387–394.
- [3] Noger C, Chang JS, Touchard G (1997) Active controls of electrohydrodynamically induced secondary flow in corona discharge reactor. in: *Proceedings of the Second International Symposium on Plasma Technology in Pollution Control, Bahia*: 136–141.
- [4] Roth JR, Sherman D (2000) Electrohydrodynamic flow control with a glow discharge surface plasma. *AIAA J* 38(7): 1166–1178.
- [5] Wilkinson SP (2003) Investigation of an oscillating surface plasma for turbulent drag reduction. *AIAA Paper No.* 2003–1023.