بررسی تجربی تخلیه کرونا مثبت و منفی با پیکربندی سیم–استوانه در تولید باد یونی و نیروی پیشران ناشی از آن

حامد سلطانی احمدی^۱، رضا ابراهیم نژاد درزی^۲ ،سعید میرزانژاد^۳، روح الله خوشخو^٤ و فرشاد صحبت زاده^ه

ا گروه فیزیک اتمی مولکولی،دانشکده علوم پایه،دانشگاه مازندران،بابلسر hamed.soltani@stu.umz.ac.ir

^۲ گروه فیزیک اتمی مولکولی،دانشکده علوم پایه،دانشگاه مازندران،بابلسر <u>r.darzi26@gmail.com</u>

^۳گروه فیزیک اتمی مولکولی،دانشکده علوم پایه،دانشگاه مازندران،بابلسر<u>saeed@umz.ac.ir</u>

^ئمجتمع مکانیک و هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، تهران <u>r.khoshkhoo@aut.ac.ir</u>

[°] گروه فیزیک اتمی مولکولی،دانشکده علوم پایه،دانشگاه مازندران،بابلسر <u>F.Sohbat@umz.ac.ir</u>

F.Sohbat@umz.ac.ir and <u>hamed.soltani@stu.umz.ac.ir</u>

کلید واژه: بررسی تجربی، تخلیه کرونا، چینش سیم–استوانه، باد یونی، نیروی پیشران

چکیدہ

در این پژوهش با استفاده از یک سیستم تخلیه کرونا سیم-استوانه به بررسی باد یونی تولید شده و نیروی تراست ناشی از آن در پولاریته های مثبت و منفی پرداخته شده است. به این صورت که الکترود استوانه به زمین و الکترود سیم یکبار به پولاریته مثبت و بار دیگر به پولاریته منفی متصل میکنیم. برای ایجاد تخلیه کرونا از منبع ولتاژ DC استفاده میکنیم. با استفاده از نیروسنج میلی نیوتونی و لوله پیتو استاتیک به ترتیب نیروی پیشران و سرعت باد یونی محاسبه شده است. نتایج نشان می دهد با توجه به تفاوتی که در شکل گیری تخلیه کرونا مثبت و منفی و فیزیک حاکم بر آنان وجود دارد این تفاوت ها در سایر پارامترهای موثر در تولید نیروی پیشران و باد یونی نیز مشاهده شده است. همچنین تخلیه کرونا با استفاده از پولاریته مثبت هم باد بونی بیشتری را ایجاد میکند و هم ضریب تاثیر بیشتری نسبت به پولاریته منفی به خصوص در ولتاژهای بالاتر خواهد داشت. لازم به ذکر است که نتایج بدست آمده در شرایط دمای ۲۲ درجه سانتی گراد و رطوبت ۷۵ درصد اندازه گیری شده است.

Experimental study of positive and negative corona discharge with wire-cylinder configuration in ion wind generation and propulsive force resulting from it

 H. Soltani Ahmadi¹, R. Ebrahimnezhad Darzi², S. Mirzanezhad³, R. Khoshkhoo⁴ and F.Sohbatzadeh⁵
^{1,2,3,5}Department of Atomic and Molecular Physics, Faculty of Basic Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, 47416-95447, Mazandaran, Iran
⁴Mechanics and Aerospace Complex, Malek Ashtar University of Technology, Tehran, Iran
* <u>F.Sohbat@umz.ac.ir</u> and <u>hamed.soltani@stu.umz.ac.ir</u>

Abstract

In this research, ion wind generated by a wire-cylinder corona discharge system and the resulting thrust force from positive and negative polarities are investigated. The cylindrical electrode was connected to the ground and the wire electrode was connected once to the positive polarity, then to the negative polarity. We use a DC voltage source to create a corona discharge. The propulsive force and ionic wind velocity were measured using a power meter and a static Pitot tube, respectively. The results show that due to the difference in the formation of positive and negative corona discharge and the physics governing them, these differences have been observed in other



parameters affecting the production of propulsion and ion wind. Moreover, corona discharge with a positive polarity creates more Ionic wind and has a greater thrust effectiveness than negative polarity, especially at higher voltages. It should be noted that the results were measured at a temperature of 22 ° C and humidity of 75%.

Keywords: Experimental Study, Corona Discharge, Wire-Cylinder Arrangement, Ion Wind, Propulsion Force

مقدمه

در آن برای نخستین بار با استفاده از یک تخلیه کرونا و ایجاد نیروی EHD لازم یک پرنده را به پرواز در آوردند. آن ها در سیستم خود از ولتاژ ٤٠ کیلو ولت استفاده کردند[5]. در سال ۲۰۱۸ برای نخستین بار درو و همکارانش یک میکروربات را با استفاده از نیروی پیشران حاصل از تخلیه کرونا با حسگر پردازنده و بدون نیاز به بخش متحرک به پرواز درآوردند. آن ها ربات مورد نظر را به صورت کاملا کنترل شده به پرواز در آوردند و ویژگیهای مختلف آن را بررسی کردند[6].

مواد و روش ها و معادلات

مطابق با شکل ۱ برای پیکربندی سیستم تخلیه کرونا سیم-استوانه از یک الکترود استوانه ای از جنس آلومینیوم به طول ۲۰ سانتی متر و ضخامت داخلي ١٠ ميليمتر استفاده شده است و اين الكترود به زمين اتصال دارد. الکترود سیم نیز از یک سیم مسی به طول ۲۰ سانتی متر و ضخامت ۰٫۱ میلیمتر که یکبار به منبع ولتاژ DC مثبت و بار دیگر به منبع ولتاژ DC منفی متصل شده است. مطابق با شکل ۲ در هر حالت تخليه كرونا متفاوتي در اطراف الكترود سيم تشكيل مي شود. رنج ولتاژ در هر حالت بین ۸ تا ۱۸ کیلوولت در نظر گرفته شده است. فاصله بين الكترودها ٣ سانتي متر در نظر گرفته شده است كه این مقدار با توجه بررسی های انجام شده فاصله بهینه ای برای رسیدن به بیشترین مقدار باد یونی و نیروی پیشران است. مطابق با شکل ۱ نحوه قرار گیری لوله پیتو برای اندازه گیری سرعت و نیروی سنج میلی نیوتونی برای اندازه گیری نیروی پیشران مشخص شده است. برای اندازه گیری سرعت با استفاده از میکرومانومتر مدل MP110ساخت شرکت KIMO که دقت آن یک یاسکال است، اختلاف فشار کل و استاتیک اندازه گیری شده است. همچنین برای

با افزایش اختلاف ولتاژ بین دو الکترود با ضخامتهای متفاوت تا جایی که قوس الکتریکی رخ ندهد، میدان الکتریکی در اطراف الكترود با شعاع كمتر افزایش مییابد كه به تبع أن گازهاي اطراف اين الكترود يونيزه شده و يديده تخليه كرونا بوجود ميآيد[1]. بنابراين اختلاف شعاع بين دو الكترود در ايجاد تخليه كرونا از اهميت ويژه ای برخوردار است. تخلیه کرونا در سیستمهای فشار قوی و خطوط انتقال قدرت پدیدهای نامطلوب و خطرناک محسوب میگردد؛ اما یک تخلیه کرونای کنترل شده میتواند از طریق باردار کردن ذرات اطراف آند و انتقال مومنتم آنها به ذرات خنثی دورتر از آند، جریانی را ایجاد کند که به آن جریان الکتروهیدرودینامیکی (EHD) میگویند و امروزه کاربردهای بسیاری در صنایع مختلف دارد. اولین مشاهده جریان EHD در سال ۱۷۰۹ توسط هاکزبی صورت گرفت. وى متوجه توليد جريان هوايي با سرعت كم هنگام اعمال ولتاژ بين دو الكترود شد [2]. در سال ۱۹۵۷ هارني مشخصات الكتريكي تخليه کرونا و تغییر پارامترهای آیرودینامیکی جریان را برای بررسی میزان نیروی تولید شده توسط این پدیده بررسی نمود[3]. بحث دیگری که در اواخر قرن ۲۰ مطرح شد استفاده از تخلیه کرونا برای توسعه رانشگرها در حوزه مهندسی هوا فضا است. از جمله مزایای این رانشگرها می توان به سهولت در ساخت، وزن سبک، فاقد بخش متحرک بودن و قادر به فعالیت در گستره وسیعی از فشار ها اشاره کرد. از طرفی معایبی مانند راندمان پایین نیز برای این رانشگرها در نظر گرفته می شود. در سال ۲۰۱۷ مونرولین و همکارانش در یک پژوهش تجربی تحت عنوان نیروی الکتروهیدرودینامیکی برای پیشران اتمسفری، سعی کردند به شکل دقیق نسبت نیروی پیشران بر توان برای یک پیکربندی سیم –استوانه تخلیه کرونا بررسی کنند[4]. در سال ۲۰۱۸ ژو و همکارانش پژوهشی را تحت عنوان يرواز يرنده با استفاده از پيشرانه حالت جامد به چاپ رساندند که

هشتمین کنفرانس مهندسی و فیزیک پلاسما (PEP2021)



دانشگاه مازندران ۲۳ و ۲۶ تیرماه ۱٤۰۰



اندازه گیری نیرو نیز از نیروسنج مدل SI-603 با دقت 0.02± میلی نیوتون استفاده شده است. را بطه زیر نحوه محاسبه سرعت را با استفاده از لوله پیتو و میکرومانومتر نشان می دهد:

(1)
$$V(m/s)=K \times \sqrt{\Delta P(pa)} \times \sqrt{\frac{574.2\theta + 156842.77}{P_0}}$$

در رابطه بالا P₀ فشار بارومتریک بر حسب پاسکال، k ضریب لوله پیتو است که برای آزمایش مورد نظر مقدار آن یک است، θ دما بر حسب درجه سانتیگراد و ΔP اختلاف فشار خوانده شده از میکرومانومتر برحسب پاسکال میباشد. رابطه ۲ نیز نحوه محاسبه ضریب تاثیر را نشان می دهد:

(7)
$$\theta = \frac{1}{2}$$

در رابطه بالا T نیروی تراست ایجاد شده ناشی از تخلیه کرونا و P توان الکتریکی مصرفی را نشان می دهد که با توجه به اینکه ما از یک منبع DC و ولتاژ مستقیم استفاده کردیم توان الکتریکی مصرفی از حاصل ضرب ولتاژ در جریان الکتریکی بدست میاید:





شکل۱) شماتیک کلی سیستم و اندازه گیری ها



شكل٢) نحوه تشكيل كرونا A)منفى B)مثبت اطراف الكترود سيم

بحث

شکل زیر تغییرات نیروی پیشران در ولتاژهای ۸ تا ۱۸ کیلوولت را برای پولاریته های مثبت و منفی نشان می دهد. دما ۲۲ درجه سانتی گراد و رطوبت ۷۵ درصد بر محیط حاکم است. همانطور که منحنی نشان می دهد پولاریته منفی زودتر از پولاریته مثبت مقادیر نیرو را ثبت کرده است ولی به مرور مقادیر نیرو در حالت پولاریته مثبت افزایش یافته و مقادیر بیشتری را نسبت به پولاریته منفی نشان می دهند.



شکل۳) تغییرات نیروی تراست برحسب ولتاژ در دو پولاریته شکل ٤ تغییرات سرعت ایجاد شده بوسیله تخلیه کرونا را در حالت پولاریته منفی نشان می دهد. بیشترین مقدار سرعت در ولتاژ ۱۸- کیلوولت و فاصله ۱ میلیمتر نسبت به الکترود استوانه محاسبه شده است. در اینجا نقطه صفر مرکز استوانه در نظر گرفته می شود.









شکل٦) منحنی تغییرات ضریب تاثیر در ولتاژهای متفاوت به ازای پولاریته های مثبت و منفی

همانطور که در منحنی بالا مشخص شده است با افزایش ولتاژ رفته رفته ضریب تاثیر در حالت پولاریته مثبت نسبت به منفی افزایش بیشتری میابد.

نتيجه گيري

نتایج نشان می دهد رابطه مستقیم بین افزایش باد یونی و افزایش نیروی پیشران وجود دارد. به عبارتی با افزایش باد یونی که نشان دهنده انتقال ممنتوم بیشتر بین ذرات و گونه های باردار است نیروی پبشران بیشتری نیز تولید می شود. لازم به ذکر است که باد یونی و نیروی پیشران عمل و عکس العمل یکدیگر هستند. همچنین نتایج نشان می دهد فیزیک حاکم بر کرونا مثبت و منفی متفاوت است که این امر منجر به بالاتر بودن ضریب بهره کرونا مثبت در شرایط محیطی دمای ۲۲ درجه و رطوبت ۷۵ در صد شده است. بررسی ها نشان می دهد در حالت کرونا منفی ابر یونی منفی و فرآیند چسبندگی فرآیندهای غالب در تولید باد یونی و نیروی پیشران می باشند اما در حالت کرونا مثبت ابر یونی مثبت و فرآیند پیشران می باشند اما در حالت کرونا مثبت ابر یونی مثبت و فرآیند

مرجع ها

[1] Raizer, Y. P. & Allen, J. E. (1997). Gas Discharge Physics, Berlin: Springer

[2] Hauksbee, F. (1709). Physico-Mechanical Experiments on Various Subjects, First Edition, pp. 46-47, London: Brugis.



شکل٤) تغییرات سرعت باد در ولتاژهای منفی مختلف و در فواصل متفاوت نسبت به الکترود استوانه

شکل ۵ نمودار و شرایط بالا را برای پولاریته مثبت نشان می دهد. همانطور که در شکل مشخص است بیشترین مقدار سرعت در ولتاژ ۱۸ کیلوولت و در فاصله ۳ میلیمتری نسبت به الکترود استوانه بدست آمده است.



شکل۵) تغییرات سرعت باد در ولتاژهای مثبت مختلف و در فواصل متفاوت نسبت به الکترود استوانه

شکل ۲ طبق رابطه ۲ ضریب بهره پولاریته های مثبت و منفی را در تولید نیروی تراست در شرایط محیطی یکسان و به ازای ولتاژهای مختلف نشان می دهد.



[3] Harney, D. J. (1957). An aerodynamic study of the" electric wind" (Doctoral dissertation, California Institute of Technology).

[4] Monrolin, N., Plouraboué, F., & Praud, O. (2017). Electrohydrodynamic thrust for in-atmosphere propulsion. AIAA Journal, 55(12), 4296-4305.

[5] Xu, H., He, Y., Strobel, K. L., Gilmore, C. K., Kelley, S. P., Hennick, C. C., ... & Barrett, S. R. (2018). Flight of an aeroplane with solid-state propulsion. *Nature*, *563*(7732), 532-535.

[6] Drew, D. S., Lambert, N. O., Schindler, C. B., & Pister, K. S. (2018). Toward controlled flight of the ionocraft: a flying microrobot using electrohydrodynamic thrust with onboard sensing and no moving parts. IEEE Robotics and Automation Letters, 3(4), 2807-2813