



مطالعه عددی جریان سیال کنترل شده حول استوانه با محرک‌های ترکیبی

نیکی رضازاده

استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه حکیم سبزواری، سبزوار
تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۵/۰۷؛ تاریخ بازنگری: ۱۳۹۴/۰۲/۰۸؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۱۶

چکیده

در مطالعه حاضر جهت تغییر الگوی جریان روی استوانه، میدان جریان تشکیل شده حول استوانه کنترل شده است. روش‌های کنترل جریان، به دو دسته فعال و غیر فعال تقسیم می‌شوند. در کار حاضر، از روش ترکیبی جهت کنترل استفاده می‌شود؛ یعنی صفحه جداکننده در منطقه دنباله به عنوان روش غیرفعال همراه با محرک الکتروهایدرودینامیکی (روش فعال) به طور همزمان به کار گرفته شده اند. برای شبیه‌سازی جریان، معادلات ناویراستوکس برای میدان سیال و معادلات پایستاری بار الکتریکی و پواسون برای میدان الکتریکی به صورت عددی با روش حجم محدود حل شده‌اند. طول صفحه جداکننده برابر قطر استوانه و مانند آن متصل به زمین است. الکترود سیمی و سطح استوانه برای تحریک الکتروهایدرودینامیکی استفاده گردید. محاسبات برای اعداد رینولدز پایین، $Re=40$ و اختلاف پتانسیل 20,10 kV انجام شده است. نتایج نشان می‌دهد، وجود صفحه جداکننده در عدد رینولدز پایین، منطقه دنباله را پایدار نمی‌کند و گردابه‌های پشت استوانه شروع به حرکت می‌کنند.

کلمات کلیدی: باد یونی؛ نیروی پسا؛ محرک الکتروهایدرودینامیک؛ صفحه جداکننده.

Numerical Simulation of the Controlled Fluid Flow Around the Cylinder Using Compound Actuators

N. Rezazadeh*

Assistant Prof., Mech. Eng., Hakim sabzevari Univ., Sabzevar, Iran.

Abstract

In present work, the fluid flow around the cylinder has been controlled to change the pattern flow. Flow control methods are classified into two types, that were called active and passive methods. In this work, the compound method is applied, the splitter plate in the wake zone as passive method and EHD actuators as active method have been applied simultaneously. For simulation of fluid flow, Navier Stokes equations for fluid flow and conversation of electric charge and Poisson equations for electric field are calculated numerically by finite volume approach. The length of the splitter plate is equal the diameter of the cylinder and it is connected to the ground as well as the cylinder surface. The wire electrodes and the cylinder are used as EHD actuators. Calculations are done for the low Re number, $Re=40$ and the applied voltage $V=10,20$ kV. The results show that the presence of the splitter plate at low Re number does not stabilize the wake zone and the vortexes behind the cylinder start to move.

Keywords: Ion Wind; Drag Force; ElectroHydroDynamic Actuator; Splitter Plate.

۱- مقدمه

با توجه به کاربرد وسیع مطالعه جریان حول استوانه، مسأله مطالعه پدیده‌های انتقال مومنوم و گرما به صورت مجزا و توأم، از گذشته مورد توجه پژوهشگران بوده است. جنبه‌هایی از این جریان همچون، محاسبه نیروهای آیرودینامیکی و توزیع فشار، بررسی پدیده تولید گردابه، سازوکارهای حاکم بر تشکیل دنباله و رشد آن در پایین دست جریان، امروزه نیز به عنوان مسائلی چالش برانگیز در این ارتباط مطرح هستند. بحث عدم همسویی دو پدیده انتقال مومنوم و گرما در جریان اطراف استوانه، از ویژگی‌های خاصی برخوردار است. در برخی از کاربردها با به تأخیر انداختن جدایش لایه مرزی، به کاهش نیروی پسا توجه می‌شود و در کاربردهای دیگر، به جدایش زودتر لایه مرزی به منظور ایجاد اغتشاش اضافی و پرتاب گردابه‌ها در منطقه دنباله و افزایش آهنگ انتقال حرارت سطوح در کنار این موانع توجه می‌شود.

روش‌های کنترل جریان را می‌توان به دو دسته کلی تقسیم کرد: روش‌های غیر فعال و فعال. روش‌های غیر فعال، نیاز به اعمال انرژی بیرونی هنگام کنترل جریان ندارند، در حالی که روش‌های فعال، نیاز به تحریک بیرونی دارند. روش‌های ترکیبی نیز، از هردو روش برای این منظور بهره می‌برند.

از جمله روش‌های فعال، استفاده از میدان‌های الکتریکی است که در کار حاضر استفاده می‌شود، در این روش، پدیده‌های انتقال را می‌توان با استفاده از نیروهای حجمی اضافی افزایش داد، نیروهای حجمی نیروهای الکتریکی هستند. نیاز به توان کم الکتریکی و طبیعت غیرمکانیکی روش‌های EHD، کاربردهای زیادی را برای آنها ایجاد کرده است.

از روش‌های مهم غیر فعال که در چند دهه اخیر مورد توجه قرار گرفته است، استفاده از صفحه‌جداکننده در پشت جسم است. جریان‌های جدا شده در این ساختارها، به شدت تحت تاثیر تغییر هندسه جسم هستند. نتایج موفقیت آمیز، سادگی مکانیزم (اتصال صفحه جداکننده به استوانه در منطقه دنباله)، عدم نیاز به اعمال انرژی اضافی و بهبود مشخصه‌های هیدرودینامیکی و انتقال حرارت به صورت همزمان در شرایط خاص، از مزایای این روش است.

پدیده باد یونی به عنوان "باد الکتریکی" برای اولین

بارتوسط هاکسی [۱]، در سال ۱۷۱۹ میلادی کشف شد و سپس توسط چاتوک [۲]، در سال ۱۸۹۹ مورد بررسی قرار گرفت، مارکو و ولکوف [۳] در سال ۱۹۶۳، کاربرد باد یونی را برای افزایش انتقال گرما تجربه کردند و نقطه تبدیل جریان روی یک صفحه تخت، از رژیم لایه‌ای به آشفته را مشاهده نمودند. اسماعیل‌زاده و آقازینالی [۴]، کاربرد EHD را به منظور کنترل لایه مرزی روی سطح استوانه در شرایطی بررسی کردند که جریان هوا عمود بر آن وارد شده است. آرتانا و همکاران [۵]، کنترل جریان حول استوانه را به وسیله محرک‌های الکتروهیدرودینامیکی در محدوده $23000 < Re < 58000$ مورد مطالعه قرار دادند. لگر و همکاران [۶]، کاهش قابل ملاحظه حجم ناحیه دنباله یک صفحه تخت که به صورت مایل در برابر جریان هوا قرار گرفته بود، را برای سرعت‌های پایین ملاحظه نمودند. آرتانا و همکارانش [۷]، به مطالعه قابلیت یک محرک الکتروهیدرودینامیکی برای تصحیح خصوصیات جریان هوا در اطراف یک استوانه پرداختند. چانگ و همکاران [۸]، مشاهداتی تجربی و عددی برای القای تلاطم بوسیله EHD در جریان روی استوانه انجام دادند.

جایگذاری یک صفحه جداکننده در طول خط مرکزی دنباله، یکی از روش‌های کلاسیک برای کنترل تولید گردابه و کاهش حجم منطقه دنباله به منظور کاهش پسای کل است که اولین بار توسط روشکو [۹] معرفی گردید. روشکو برای عدد رینولدز 1.4×10^4 کم شدن تولید گردابه‌های پرئودیک را با استفاده از یک صفحه جداکننده گزارش کرد که به استوانه متصل بود. بیرمن [۱۰]، مطالعه تجربی برای یک جسم با مقطع نیمه بیضوی انجام داد. او رژیم‌های مختلف جریان و تغییر طول اندازه صفحه جداکننده برای گستره اعداد رینولدز بررسی نمود. لین و وو [۱۱] دریافتند، یک صفحه جداکننده با طول 2D می‌تواند تولید گردابه را کنترل کند، ولی هنگامی که در فاصله بیشتر از 2.5D قرار گیرد، در عدد رینولدز $Re = 100$ دیگرکنترلی روی تولید گردابه نخواهد داشت. اوزونو [۱۲]، جریان پیرامون استوانه را با المان‌های تداخلی (صفحه جداکننده، استوانه مشابه و...) در چیدمان‌های غیر متقارن، مورد مطالعه قرار داد و دریافت اثرات تغییر طول صفحه جداکننده در چیدمان غیرمتقارن، چندان محسوس نیست. هوانگ و همکاران [۱۳]، کنترل نیروهای روی استوانه

فضایی آنها بوجود می‌آید. جمله دوم، مربوط به نیروهای دی الکتروفوتیک است که به این دلیل که ثابت گذردهی الکتریکی تابعی از مکان بوده و ناهمگن است، به وجود می‌آید. جمله آخر، مربوط به تغییرات چگالی سیال است که به دلیل تغییر ثابت گذردهی الکتریکی با چگالی بوجود می‌آید؛ به طوری که نواحی قطبی شده را ایجاد می‌نماید. چون جمله نهایی، چگالی سیال و میدان الکتریکی را به هم مربوط می‌کند، نیروی حجمی الکترواستریکشن نامیده می‌شود.

معادله (۱) باید همراه معادلات ناویر-استوکس حل شود که برای یک سیال تراکم ناپذیر عبارتست از:

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = \rho \vec{g} + \vec{F}_E - \nabla P + \mu \nabla^2 \vec{V} \quad (2)$$

برای سیال تراکم ناپذیر برای معادله پیوستگی داریم:

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \quad (3)$$

معادله پواسون و بقای جریان الکتریکی را به صورت روابط (۴-۵) می‌نویسیم [۱۸]:

$$\nabla \cdot (\epsilon_0 \nabla V) = -q \quad (4)$$

$$\epsilon_0 \vec{E} \cdot \nabla q = -q^2 \quad (5)$$

معادله پواسون برای پتانسیل الکتریکی، یک عبارت پخش و یک عبارت چشمه دارد و معادله پیوستگی جریان، یک عبارت جابجایی و یک عبارت چشمه دارد؛ بنابراین ما می‌توانیم روش عمومی حجم محدود را که به صورت گسترده در دینامیک سیالات محاسباتی کاربرد دارد، برای محاسبه توزیع پتانسیل الکتریکی و بار فضایی بکار ببریم.

۳- حل عددی

روش عددی ارائه شده برای تحقیق اخیر، روش حجم کنترل است و کدی که برای حل معادلات استفاده شده است، TEACH است که برای حل جریان در اطراف استوانه و برای معادلات میدان الکتریکی توسعه داده شده است. در این روش، از هرکدام از متغیرها که به صورت دیفرانسیلی مطرح می‌شود، روی حجم کنترل انتگرال گرفته می‌شود. شبکه بندی محاسباتی از نوع شبکه جابجا شده بوده، در آن متغیرهای اسکالر در گره‌های شبکه محاسبه می‌شوند. مولفه‌های سرعت، روی وجوه حجم‌های کنترلی محاسبه می‌شوند. گسسته سازی براساس روش پیوند (HYBRID) و

را با صفحه جداکننده در جریان آرام انجام دادند و با کم کردن تولید گردابه‌ها، کاهش نیروی پسا را در مکان بهینه ای برای صفحه نتیجه گرفتند. آنها کاهش پسا ۲۳٪ را با روش صفحه جداکننده بدست آوردند و دریافتند، در فاصله های بیشتر از $2.7D$ ، صفحه جداکننده اثری روی مشخصه های دنباله ندارد. اکیلی و همکاران [۱۴]، اثر صفحه جداکننده با ضخامت‌های مختلف را در فواصل مختلف از استوانه در جریان آب، مورد آزمایش قرار دادند و کاهش تولید گردابه و تنش رینولدز نرمال را گزارش کردند. تیواری و همکاران [۱۵]، شبیه‌سازی عددی روی رفتار انتقال حرارت روی لوله همراه با فین طولی (صفحه جدا کننده) در جریان صلیبی انجام دادند، کاهش اندازه دنباله و باریک شدن آن، موجب کاهش انتقال حرارت گردید.

شبیه سازی همزمان این دو روش و شناخت پدیده‌های حاکم بر برهم کنش این روش‌ها و ارائه روش کاملتری برای کنترل جریان، از ویژگی‌های کار حاضر است.

کاسیپاندا [۱۶]، اثر محرک‌های EHD را در یک محفظه همراه با فین‌های عمودی را به صورت عددی بررسی کرد. در این مقاله، حل عددی جریان حول استوانه در عدد رینولدز پایین، در حضور میدان الکتریکی و صفحه جداکننده به طور همزمان انجام گرفته است و بررسی اثر این میدان بر پارامترهای جریان مانند، ضریب فشار و پروفیل‌های سرعت بیان میشود.

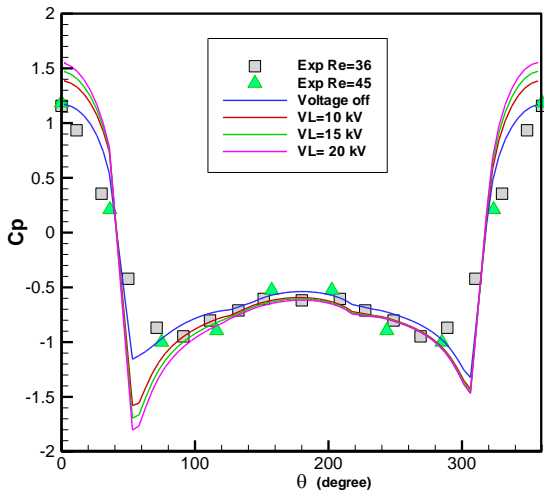
۲- تئوری حاکم بر الکتروهیدرو دینامیک

اصول فیزیکی افزایش مومنتم بر پایه نیروی الکتروهیدرو دینامیکی \vec{F}_E در واحد حجم است که بوسیله میدان الکتریکی \vec{E} در سیالی با گذردهی دی الکتریک ϵ ، چگالی ρ و دمای T ایجاد می‌شود. این نیرو با رابطه (۱) بیان می‌شود [۱۷]:

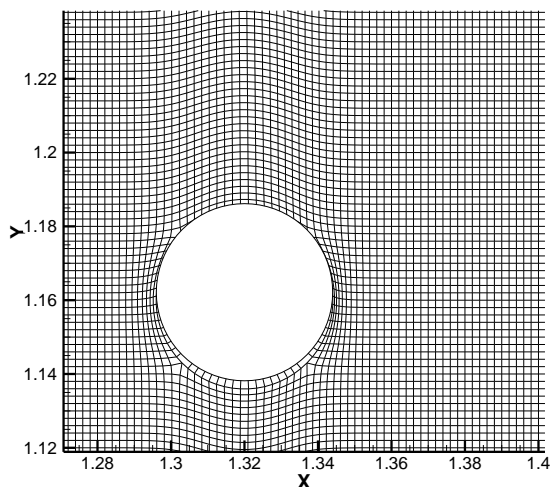
$$\vec{F}_E = q\vec{E} - \frac{1}{2} E^2 \nabla \epsilon + \frac{1}{2} \nabla \left[E^2 \left[\frac{\partial \epsilon}{\partial \rho} \right]_T \rho \right] \quad (1)$$

که q چگالی شار الکتریکی در سیال و عبارت $q\vec{E}$ ، جزء الکتروفوتیک آن است که همان نیروی کولمب اعمال شده بوسیله یک میدان الکتریکی بر بارهای آزاد داخل آن است. جملات دوم و سوم با توجه به طبیعت \vec{E} و ϵ و توزیع

مبنای عدد رینولدز ۴۰ است. دلیل انتخاب عدد رینولدز ۴۰ این است که در این رینولدز، گردابه‌ها هنوز از پشت استوانه جدا نشده‌اند و جریان پایا است. شکل ۳، شبکه محاسباتی مورد استفاده را برای استوانه نشان می‌دهد.



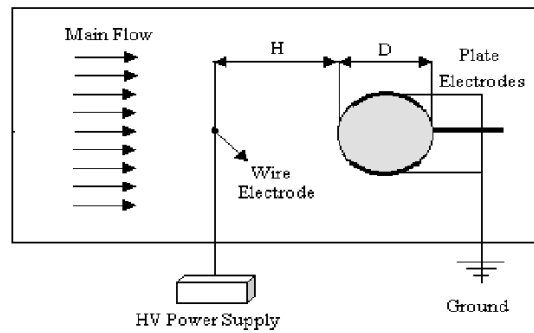
شکل ۲- نمودار مقایسه ضریب فشار با نتایج تجربی



شکل ۳- شبکه محاسباتی حول استوانه

در مرزهای بالایی و پایینی گرادیان تمام متغیرها در راستای عمود بر مرز برابر صفر است. در خروج، شرایط گرادیان صفر برای تمام متغیرها در جهت عمود بر مرز فرض شده، سرعت خروجی از موازنه جرم به دست می‌آید روی دیواره استوانه و صفحه جداکننده، شرایط بدون لغزش اعمال شده است. برای اعمال شرایط مرزی الکتریکی، در مرزهای

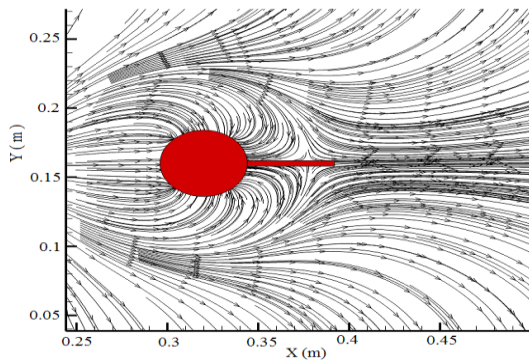
الگوریتم حل SIMPLE بوده، برای حل معادلات گسسته شده از روش ماتریس‌های سه قطری (TDMA) استفاده شده است. در این مطالعه، از استوانه‌ای به قطر ۰/۰۴۸ متر و صفحه جداکننده با طول ۰/۰۴۸ متر و ضخامت ۰/۰۰۴ متر است که در راستای خط مرکزی استوانه در منطقه دنباله به استوانه متصل شده است. یک الکتروود سیمی در امتداد زاویه صفر، نسبت به نقطه توقف در فاصله $H/R=4$ به ترتیب قرار گرفته است که H ، بیانگر فاصله سیم تا نقطه توقف و R ، بیانگر شعاع استوانه می‌باشد. دو الکتروود صفحه‌ای، در موقعیت متقارن $\pm 135 < \theta < \pm 45$ نسبت به نقطه توقف مستقر شده‌اند. هندسه مورد مطالعه در این کار و نحوه استقرار الکتروودهای سیمی و صفحه‌ای در شکل ۱ نشان داده شده است. گاز مورد مطالعه در همه تحلیل‌ها هوا با دمای محیط است.



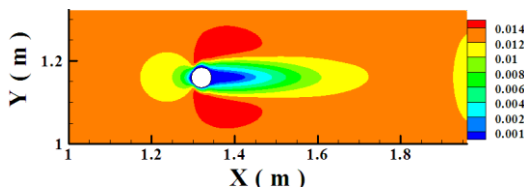
شکل ۱- دیاگرام هندسه و محل قرارگیری الکتروودها

در کار حاضر، دامنه ابعادی طوری انتخاب شده که مرزها تقریباً روی حل هیچگونه اثری نداشته باشند و مرز خروجی به حد کافی دور در نظر گرفته شده است. فضای فیزیکی در نظر گرفته شده، مستطیلی به ابعاد ۰/۹۶ متر طول و ۰/۳۲ متر عرض است که مرکز استوانه در مختصات (۰/۱۶, ۰/۳۲) قرار گرفته است.

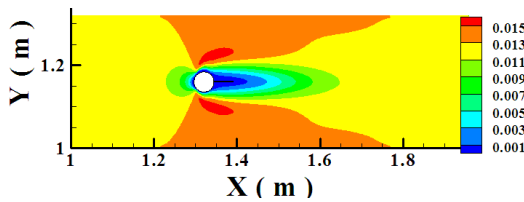
برای شبکه بندی از یک برنامه تولید شبکه استفاده شده است که بر اساس حل معادلات لاپلاس و خطوط هم دما، شبکه بندی را برای جریان حول استوانه تولید می‌کند. این شبکه، ۴۸۰ گره در جهت افقی و ۱۶۰ گره در جهت عمودی دارد. شکل ۲، نمودار مقایسه ضریب فشار با نتایج تجربی را برای ارزیابی روش حل نشان می‌دهد. نتایج تجربی به ترتیب مربوط به اعداد رینولدز ۳۶ و ۴۵ می‌باشند که در ادبیات فن موجود است [۱۹]. محاسبات انجام شده در این تحقیق، بر



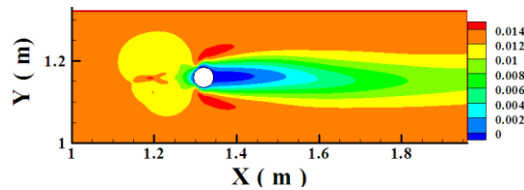
شکل ۵- خطوط میدان الکتریکی حول استوانه-صفحه



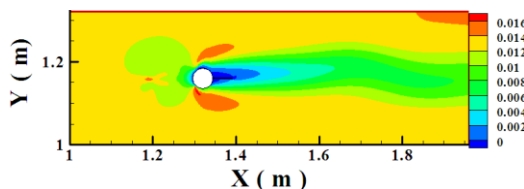
شکل ۶- کانتورهای سرعت افقی در حالت بدون EHD و بدون صفحه جداکننده



شکل ۷- کانتورهای سرعت افقی در حالت بدون EHD و همراه با صفحه جداکننده



شکل ۸- کانتورهای سرعت افقی در جریان اطراف استوانه در اختلاف ولتاژ 10 kV



شکل ۹- کانتورهای سرعت افقی حول استوانه با صفحه جداکننده در اختلاف ولتاژ 10 kV

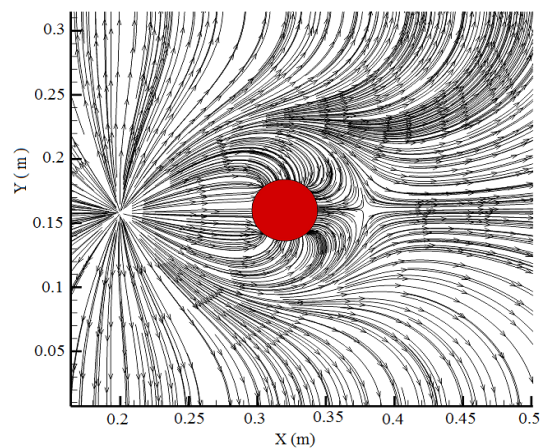
دوردست گرادیان ولتاژ و چگالی بار در جهت عمود بر مرز، صفر در نظر گرفته شده است. برای تعیین شرط مرزی چگالی بار الکتریکی، ابتدا باید با حدس یک مقدار اولیه برای چگالی بار الکتریکی روی الکتروود سیمی (آند)، شدت جریان الکتریکی را روی الکتروود صفحه‌ای (کاتد) محاسبه کنیم و سپس با یک فرآیند سعی و خطا، چگالی بار الکتریکی روی الکتروود سیمی به گونه‌ای تعیین می‌شود که شدت جریان الکتریکی ورودی به کاتد موافق نتایج تجربی موجود یا در حد میکروآمپر باشد. بدین ترتیب، چگالی بار الکتریکی روی آند به عنوان یک شرط مرزی به این صورت تعیین می‌شود. شرط مرزی ولتاژ روی الکتروود سیمی برابر مقدار مورد نظر بوده که در این حل مقادیر ۱۰، ۱۵ و ۲۰ کیلو ولت در نظر گرفته شده، روی الکتروودهای صفحه‌ای برابر صفر است.

۴- نتایج

شکل ۴ و ۵، خطوط میدان الکتریکی را برای هندسه مورد مطالعه نشان می‌دهد که از حل معادلات بدست می‌آید.

شکل ۶، کانتورهای سرعت افقی در جریان اطراف استوانه را در عدد رینولدز ۴۰ در حالت بدون ولتاژ نشان می‌دهد. شکل ۷، همین جریان را با حضور صفحه جداکننده نشان می‌دهد. کانتورها متقارن هستند.

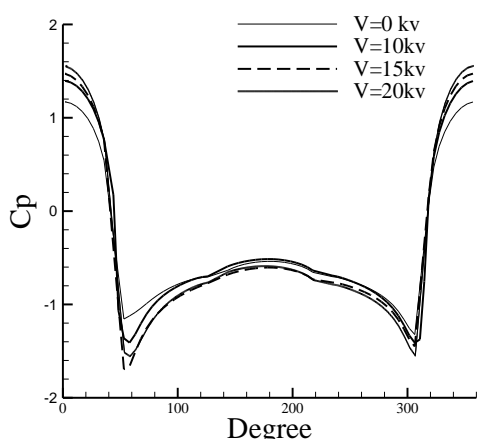
شکل‌های ۸ تا ۱۳ به ترتیب، کانتورهای سرعت افقی را در اختلاف ولتاژهای ۱۰، ۱۵ و ۲۰ کیلوولت نشان می‌دهد.



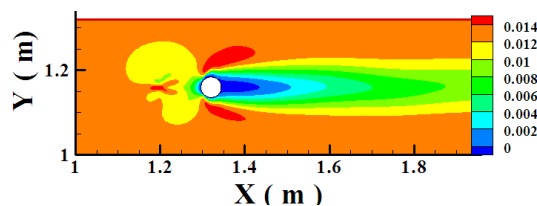
شکل ۴- خطوط میدان الکتریکی حول استوانه

استوانه تا رینولدز ۴۰ به پشت استوانه می‌چسبند و متقارن می‌باشند، ولی با افزایش عدد رینولدز به اعداد بزرگتر از ۴۰، گردابه‌ها از حالت متقارن خارج شده، شروع به جدا شدن از پشت استوانه می‌نمایند. در این مساله نیز در اختلاف ولتاژ ۲۰ کیلوولت، افزایش سرعت در اطراف استوانه تا حدی است که باعث حرکت گردابه‌های پشت استوانه می‌شود. برخلاف دنباله‌ها در اعداد رینولدز بالا که وجود صفحه جداکننده سبب پایدار شدن دنباله و کاهش ساطع شدن گردابه‌ها می‌شود، در جریان‌های رینولدز پایین وجود صفحه جداکننده در این دنباله‌ها به علت اصطکاک، صفحه ناپایداری‌هایی را ایجاد می‌کند که با افزایش مقدار اختلاف ولتاژ و سرعت‌های موضعی در شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ به خوبی دیده می‌شود.

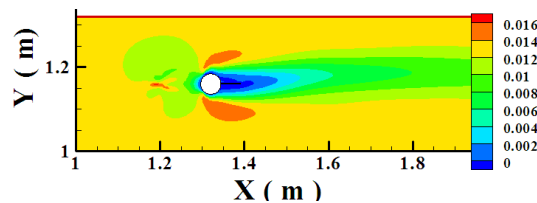
شکل ۱۴، تغییرات ضریب فشار را در حالت بدون صفحه جداکننده برای ولتاژهای مختلف نشان می‌دهد. با مقایسه منحنی‌های ضریب فشار در حالت‌های حضور میدان الکتریکی با نموداری که ضریب فشار را بدون میدان الکتریکی نشان می‌دهد، این نکته مشاهده می‌شود که مقدار ضریب فشار در نزدیکی نقطه سکون افزایش می‌یابد که این افزایش، به دلیل جریان سیالی است که توسط الکتروود با ولتاژ بالا در اطراف سیم، سرعت گرفته و در نتیجه در برخورد با استوانه، اختلاف فشار بیشتری را موجب می‌شود. با افزایش اختلاف ولتاژ، مقدار ضریب فشار نیز در این نقطه افزایش می‌یابد. با حرکت روی استوانه، در نزدیکی‌های نقطه جدایش، جریان شتاب بیشتری می‌گیرد و فشار کاهش می‌یابد؛ یعنی مکش در این نواحی افزایش می‌یابد.



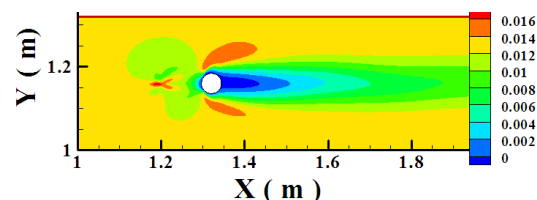
شکل ۱۴- تغییرات ضریب فشار در اطراف استوانه برای تمام اختلاف ولتاژها



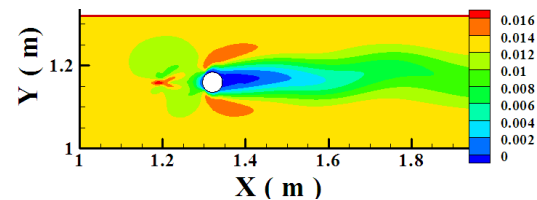
شکل ۱۰- کانتورهای سرعت افقی در اختلاف ولتاژ 15 kV



شکل ۱۱- کانتورهای سرعت افقی در اختلاف ولتاژ 15 kV

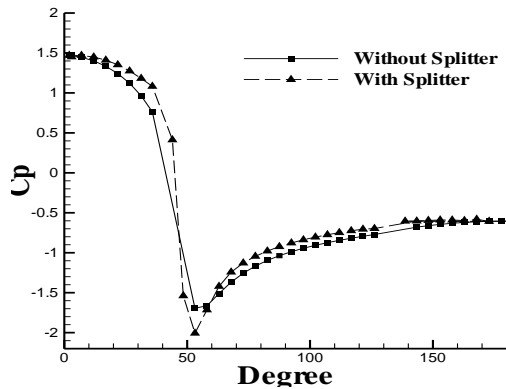


شکل ۱۲- کانتورهای سرعت افقی در اختلاف ولتاژ 20 kV

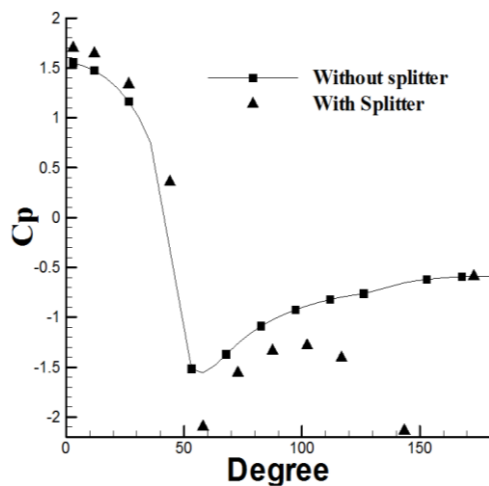


شکل ۱۳- کانتورهای سرعت افقی در اختلاف ولتاژ 20 kV

همانطور که مشاهده می‌شود، بعد از اعمال اختلاف ولتاژ جریان در اطراف الکتروود سیمی سرعت می‌گیرد و با سرعت بیشتری به استوانه برخورد می‌کند. با افزایش اختلاف ولتاژ، این تغییرات بیشتر می‌شود، به طوری که کم کم بر ناحیه دنباله پشت استوانه اثر می‌گذارد و در اختلاف ولتاژ ۲۰ کیلوولت گردابه‌های پشت استوانه از حالت متقارن خارج شده و شروع به نوسان می‌کنند. به دلیل اینکه الکتروودهای صفحه ای در بالا و پایین استوانه قرار گرفته‌اند، سیال در این نواحی دارای سرعت بیشتری می‌شوند؛ در نتیجه سیال در نواحی اطراف گردابه‌ها شتاب گرفته، باعث افزایش قدرت گردابه‌ها و افزایش یافتن طول آنها می‌شود و گردابه‌ها از حالت تقارن خارج شده، شروع به حرکت می‌کنند. گردابه‌های پشت



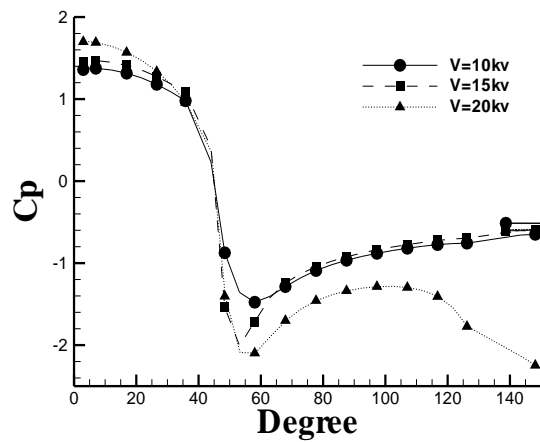
شکل ۱۷- مقایسه تغییرات ضریب فشار برای اختلاف ولتاژ 15kV



شکل ۱۸- مقایسه تغییرات ضریب فشار برای اختلاف ولتاژ 20kV

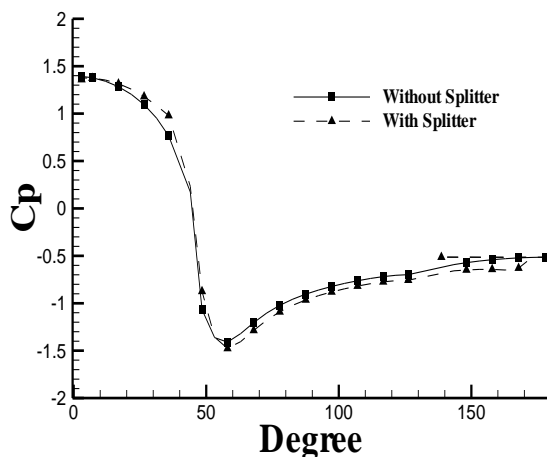
در شکل ۱۹، پروفیل‌های سرعت افقی روی دیواره استوانه در زاویه ۵۳ درجه برای تمام اختلاف ولتاژها برای استوانه بدون صفحه جداکننده مشاهده می‌شود، این زوایا نسبت به نقطه سکون در جهت عقربه‌های ساعت می‌باشند. شار مومنتم سیال بعد از اعمال میدان الکتریکی، به طور چشمگیری افزایش می‌یابد و روی پروفیل‌های سرعت تأثیر می‌گذارد. با افزایش اختلاف ولتاژ، این شار نیز بیشتر می‌شود و سرعت افزایش می‌یابد. شکل ۲۰، مقایسه این پروفیل سرعت بین دو حالت بدون صفحه جداکننده و با صفحه جداکننده در اختلاف ولتاژ 20kV را نشان می‌دهد. مطابق نمودار سرعت نزدیک دیواره در شکل ۲۰ با حضور صفحه جداکننده سرعت افزایش می‌یابد.

شکل ۱۵، همین تغییرات را برای استوانه با صفحه جداکننده برای ولتاژهای مختلف نشان می‌دهد. در این حالت نیز با افزایش قدرت میدان الکتریکی فشار در نقطه سکون افزایش و در ناحیه جدایش کاهش می‌یابد.

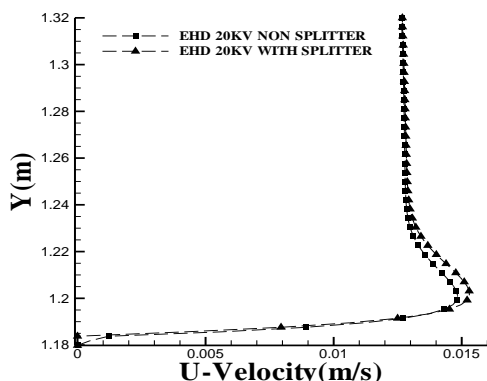


شکل ۱۵- تغییرات ضریب فشار در اطراف استوانه با صفحه جداکننده برای تمام اختلاف ولتاژها

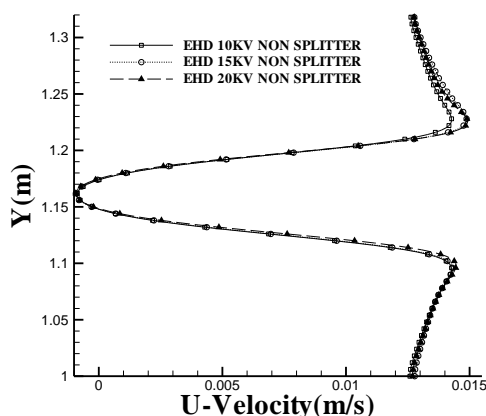
شکل‌های ۱۶ تا ۱۸، مقایسه ضرایب فشار برای استوانه بدون صفحه جداکننده و با صفحه جداکننده در اختلاف ولتاژهای 10kV و 15kV و 20kV را نشان می‌دهد. وجود صفحه جداکننده، فشار بیشتر در سکون و کمتر در جدایش را نتیجه می‌دهد.



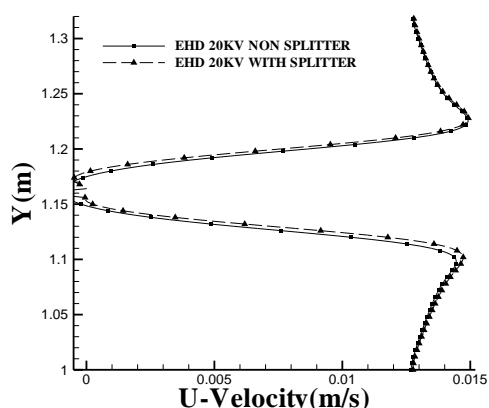
شکل ۱۶- مقایسه ضریب فشار حول استوانه بدون صفحه جداکننده و با صفحه جداکننده برای اختلاف ولتاژ 10kV



شکل ۲۰- مقایسه پروفیل‌های سرعت افقی در زاویه ۵۳ برای استوانه بدون صفحه جداکننده و با صفحه جداکننده در اختلاف ولتاژ 20 kV

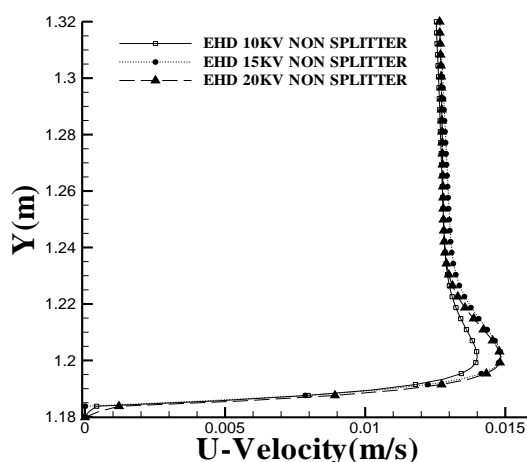


شکل ۲۱- پروفیل‌های سرعت در ناحیه گردابه در مقطع فاصله $L=R$ در پشت استوانه بدون صفحه جداکننده در همه ولتاژها



شکل ۲۲- مقایسه پروفیل‌های سرعت در ناحیه گردابه در مقطع فاصله $L=R$ در پشت استوانه بدون صفحه جداکننده و با صفحه جداکننده در اختلاف ولتاژ 20 kV

در شکل ۲۱، پروفیل سرعت در ناحیه گردابه در مقطع فاصله $L=R$ در پشت استوانه بدون صفحه جداکننده در همه ولتاژها مشاهده می‌شود. افزایش قدرت تحریک EHD افزایش سرعت را نتیجه می‌دهد. شکل ۲۲، مقایسه همین پروفیل را برای حالت‌های بدون صفحه جداکننده و با صفحه جداکننده در اختلاف ولتاژ 20kV نشان می‌دهد. در نمودار با حضور صفحه جداکننده افزایش در سرعت و ناتقارنی بدست می‌آید.



شکل ۱۹- پروفیل سرعت افقی روی دیواره استوانه در زاویه ۵۳ درجه برای تمام اختلاف ولتاژها برای استوانه بدون صفحه جداکننده

۵- نتیجه گیری

به طور کلی میدان الکتریکی قوی قادر است، خصوصیات جریان سیال را بهبود دهد. در آرایش فعلی، افزایش شار مومنتوم در نزدیکی‌های لایه برشی کاملاً محسوس است، ولی به علت اینکه انتشار یون در یک نقطه است، اثرات چندانی در طول ناحیه دنباله ندارد. به علت افزایش سرعت در نواحی بالا و پایین استوانه، شار مومنتوم در نواحی بالا و پایین گردابه‌ها افزایش یافته، باعث افزایش سرعت در ناحیه گردابه می‌شود. به دنبال آن گردابه‌ها از حالت تقارن خارج شده، شروع به حرکت می‌نمایند و در نهایت ضریب فشار در بیشترین حالت در اختلاف ولتاژ ۲۰ کیلوولت تا ۲۸/۸۶ درصد افزایش می‌یابد. حضور صفحه جداکننده در منطقه دنباله به میزان کمی، باعث کاهش ضریب فشار می‌گردد.

- ۶- مراجع
- [10] Bearman PW (1965) Investigation of the flow behind a two dimensional model with a blunt trailing edge and fitted with splitter plates, *J Fluid Mech* 21: 241-255.
- [11] Lin SY, Wu TM (1994) Flow control simulations around a circular cylinder by a finite volume scheme. *Numer Heat Tr A-Appl* 26: 301.
- [12] Ozono S (2000) Flow control of vortex shedding by asymmetrically arranged plates. *J Theoret Appl Mech* 49: 191-196.
- [13] JY Hwang, KS Yang, SH Sun (2003) Reduction of flow-induced forces on circular cylinder using a detached splitter plate. *Phys Fluids* 15(8): 2433-2436.
- [14] Akilli H, Sahin B, Tumen NF (2005) Suppression of vortex shedding of circular cylinder in shallow water by a splitter plate. *Flow Meas Instrum* 16: 211-219.
- [15] Tiwari S, Chakraborty D, Biswas G, Panigrahi PK (2005) Numerical prediction of flow and heat transfer in a channel in the presence of a built-in circular tube with and without an integral wake splitter. *Int J Heat Mass Tran* 48: 439-453.
- [16] Kasayapanand N (2008) Electrohydrodynamic enhancement of heat transfer in vertical fin array using computational fluid dynamics technique. *Int Commun Heat Mass* 35: 762-770.
- [17] Landau LD, Lifshitz EM (1963) *Electrodynamics of continuous media*. Pergamon, New York.
- [18] Grosu FP, Bologna MK (1968) Similarity criteria for convective heat exchange in an electric field. *Appl Elec Phenom (USSR)* 20:120-125
- [19] Batchelor GK (2000) *An introduction to fluid dynamics*. Cambridge mathematical library.
- [1] Hauksbee F (1719) *Physico-mechanical experiments on various subjects*. London, 46-47.
- [2] Chattock AP (1899) On the velocity and mass of ions in the electric wind air. *Phil Magazine* 48: 401-420.
- [3] Marco SM, Velkoff HR (1963) Effect of electrostatic fields on free convection heat transfer from flat plates. *ASME Paper No. 63-HT-9*.
- ۴- اسماعیل زاده الف، آقازینالی م (۱۳۸۵) مدل سازی عددی جریان سیال حول استوانه تحت تأثیر یک محرک الکترو هیدرودینامیکی. *مجله فنی دانشگاه تبریز* ۹-۱: ۳۰.
- [5] Artana G, Sosa R, Moreau E, Touchard G (2002) Control of the near-wake flow around a circular cylinder with electrohydrodynamic actuators. *Exp Fluids* 35: 580-588.
- [6] Leger L, Moreau E, Touchard G (2002) Effect of a DC corona electrical discharge on the air flow along a flat plate. *Ieee T Ind Appl* 38(6): 1478-1485.
- [7] Artana G, Adamo JD, Leger L, Moreau E, Touchard G (2001) Flow control with electrohydrodynamic actuators. *39th AIAA Aerospace Conf., Reno, Paper 03-51*.
- [8] Chang JS, Brocilo D, Urashima K, Dekowski J, Podlinski J, Mizeraczyk J, Touchard G (2006) Onset of EHD turbulence for cylinder in cross flow under corona discharges. *J Electrostat* 64: 569-573.
- [9] Roshko A (1954) On the drag and shedding frequency of two-dimensional bluff bodies. *National advisory committee for aeronautics, Technical Note 3169*, 1-29.