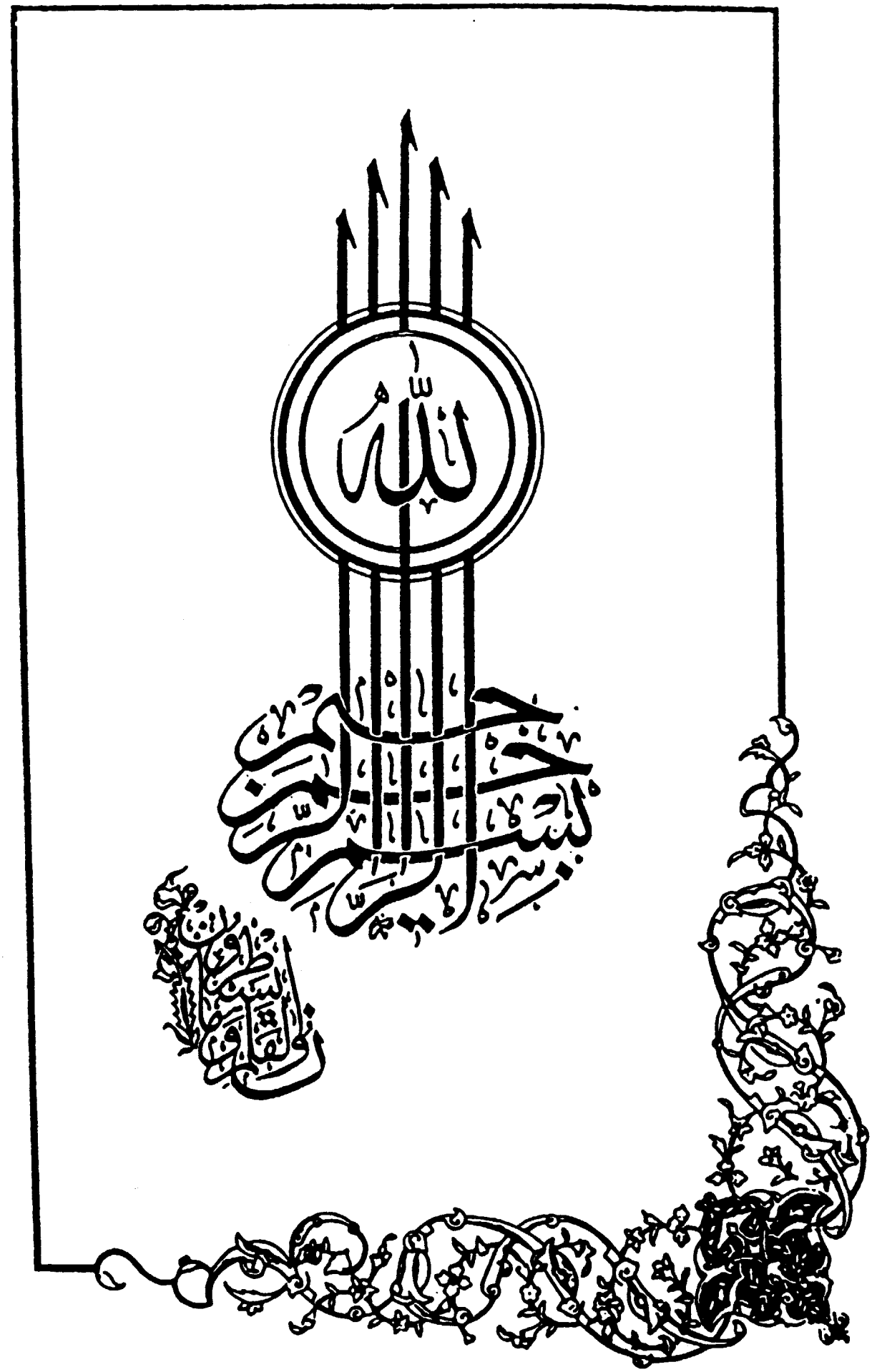


٣٢٧٧٠

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مکانیک

حل جریان سیال حول دسته لوله‌ها

پایان نامه کارشناسی ارشد تبدیل انرژی

حسین نصیبی

استاد راهنما

دکتر ابراهیم شیرانی

۱۳۸۰ /۱/ ۱۰

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تقدیم به مرکز

۳۴۷۷۰

۱۳۷۹

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مکانیک

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته تبدیل انرژی آقای حسین نصیبی

تحت عنوان

حل جریان سیال حول دسته لوله‌ها

10012

در تاریخ ۷۹/۶/۱۴ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت .

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر ابراهیم شیرانی

۲- استاد مشاور پایان نامه دکتر احمد رضا پیشه‌ور اصفهانی

۳- استاد مشاور پایان نامه دکتر محسن دوازده‌امامی

۴- استاد داور پایان نامه دکتر محمد سعید سعیدی

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده دکتر حسن خادمی زاده

تشکر و قدردانی

اینک که با تأییدات یزدان پاک، اثر حاضر در مقام یک پایان نامه کارشناسی ارشد قرار گرفت، این موفقیت را مرهون راهنمائی‌های ارزنده جناب آقای **دکتر ابراهیم شیرانی** استاد راهنمای پایان نامه می‌دانم. به حق ایشان از سرمایه‌های ارزشمند علمی این سرزمین هستند، مقام علمی و اخلاقی‌شان شایسته خالصانه‌ترین تقدیرهاست. از اینروست که لازم می‌دانم نهایت سپاس وتقدیر خود را از ایشان به عمل آورم.

از جناب آقای **دکتر احمد رضا پیشه‌ور اصفهانی** و جناب آقای **دکتر محسن دوازده امامی** به عنوان اساتید مشاور به خاطر بازخوانی و ویرایش پایان نامه بسیار سپاسگزارم. همچنین از جناب آقای **دکتر محمد سعید سعیدی** که به عنوان استاد داور حضور داشتند و زحمت ویرایش نهائی پایان نامه را به عهده گرفتند تشکر می‌نمایم.

از آقایان حسین احمدی کیا و شهرام طالبی دانشجویان مقطع دکتری، سید برهان فهری و سایر دوستانی که در این مدت برای آنها بار زحمت بوده‌ام، سپاسگزارم.

در پایان از تمامی اعضای محترم هیئت علمی دانشکده مکانیک بخصوص آن دسته از اساتید گرامی که در زمان تحصیل از محضرشان استفاده کردم، سپاسگزاری می‌نمایم.

حسین نصیبی

تابستان ۷۹

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات ،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه (رساله) متعلق به دانشگاه صنعتی
اصفهان است .

تقدیم به :

دو شمع فروزان زندگیم

پدر عزیز و مادر مهربانم

به یاد سه فرشته پر کشیده‌ام

رضا ، زهره و امیر عزیزم

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... شش

چکیده ۱

فصل اول : معرفی جریان سیال حول دسته لوله‌ها و مطالعات انجام شده در ارتباط با آن

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تعریف مسئله ۳

۱-۳- جریان عبوری از یک لوله تنها ٤

۱-۳-۱- جریان ایده‌آل (کامل) ٤

۱-۳-۲- جریان سیال واقعی ۵

۱-٤- جریان در یک کانال محدود شده ٦

۱-۵- مدل عمومی جریان عبوری از یک دسته لوله ۷

۱-٦- مروری بر تحقیقات و مطالعات انجام شده ۱۰

فصل دوم : معادلات حاکم بر جریان و روش حل عددی

۲-۱- مقدمه ۱۳

۲-۲- معادلات حاکم بر جریان ۱۳

۲-۳- بی‌بعدسازی معادلات ۱۵

۲-٤- انتقال به دستگاه منحنی‌الخط تعمیم یافته ۱۷

۲-٤-۱- روابط متریک‌ها ۱۷

۲-٤-۲- ناوردهای تبدیل ۱۸

۲-۵- تقریب لایه نازک ۲۰
۲-۵-۱- معادلات لایه نازک ۲۰
۲-۶- جریان مغشوش ۲۱
۲-۶-۱- مدلهای اغتشاش ۲۲

فصل سوم : زوشهای حل محاسباتی و پردازش شبکه

۳-۱- مقدمه ۲۳
۳-۲- روشهای حل عددی در مکانیک سیالات محاسباتی ۲۳
۳-۳- اختلاف محدود زمانی به روش ضمنی ۲۵
۳-۴- خطی سازی معادلات بر حسب زمان ۲۶
۳-۵- اختلاف محدود نسبت به متغیرهای مکانی ۲۷
۳-۶- شکل ماتریسی الگوریتم قبل از فاکتورگیری ۲۸
۳-۷- روش تقریبی فاکتورگیری ۲۹
۳-۸- شکل قطری معادلات ۳۰
۳-۹- میرایی مصنوعی ۳۲
۳-۹-۱- اتلاف مصنوعی صریح وضمنی ثابت ۳۳
۳-۹-۲- مدل اتلاف مصنوعی غیر خطی ۳۴
۳-۱۰- دقت زمانی ، همگرایی و پایداری در حالت دائم ۳۵
۳-۱۰-۱- اثر خطای ناشی از فاکتورگیری بر روی همگرایی ۳۵
۳-۱۰-۲- قدمهای زمانی تابع مکان ۳۷
۳-۱۰-۳- مجموعه شبکه ۳۷
۳-۱۱- پردازش شبکه ۳۷
۳-۱۱-۱- مقدمه ۳۷
۳-۱۱-۲- دستگاه منطبق بر مرز در دستگاه موضعی ۳۸
۳-۱۱-۳- روشهای پردازش شبکه ۳۸
۳-۱۱-۴- روشهای جبری ۳۹

۳-۱۱-۵- روشهای معادلات دیفرانسیل پاره‌ای ۳۹
۳-۱۱-۵- الف- شبکه‌سازی به روش بیضوی ۴۰
۳-۱۱-۵- ب- کنترل دستگاه مختصات ۴۱

فصل چهارم : برنامه‌های کامپیوتری

۴-۱- مقدمه ۴۳
۴-۲- ورودی‌ها و خروجی‌های برنامه ۴۴
۴-۲-۱- فایل ورودی ARC.SEQ ۴۴
۴-۲-۲- فایل ورودی ARC.INP ۴۴
۴-۲-۳- فایل شبکه GRIDG.DAT ۴۷
۴-۳- شرایط مرزی ۴۷
۴-۳-۱- شرط مرزی روی خطوط تقارن ۴۸
۴-۳-۲- شرط مرزی روی لوله‌ها (شرط لزج یا عدم لغزش) ۴۸
۴-۳-۳- شرایط اولیه ۵۰
۴-۳-۴- شرط مرزی ورودی ۵۰
۴-۳-۵- شرط مرزی خروجی ۵۰
۴-۴- ریز برنامه‌های کد ARC2D ۵۰
۴-۵- محاسبه برخی متغیرهای لازم ۵۴
۴-۵-۱- پارامترهای سیالاتی ۵۴
۴-۵-۲- روش محاسبه پارامترهای انتقال حرارتی ۵۵
۴-۶- پردازش شبکه برای دامنه حل موجود ۵۶
۴-۶-۱- مقدمه ۵۶
۴-۶-۲- شبکه جبری ۵۶
۴-۶-۳- شبکه با روش دیفرانسیلی ۵۷

فصل پنجم : نتایج

۵-۱- مقدمه ۶۰

۵-۲- جریان حول یک استوانه تنها ۶۰

۵-۳- نتایج بدست آمده برای گام‌های طولی مختلف ۶۴

۵-۴- نتایج بدست آمده برای گام‌های عرضی مختلف ۷۹

۵-۵- نتایج بدست آمده برای اعداد رینولدز مختلف ۹۳

۵-۶- نتیجه گیری ۱۰۰

۵-۷- پیشنهادات ۱۰۰

پیوست ۱ : فهرست منابع ۱۰۱

چکیده انگلیسی ۱۰۴

چکیده

جریان سیال و انتقال حرارت آرام از یک دسته لوله در جریان عمودی ، بخاطر هندسه پیچیده‌اش ، یک پدیده پیچیده بوده و در بسیاری از کاربردهای مهندسی اهمیت دارد . در این تحقیق جریان سیال حول دسته لوله های با آرایش مربعی، به صورت دو بعدی و به روش عددی بررسی شده است . معادلات ناویر-استوکس و انرژی ، پس از انتقال از دستگاه مختصات دکارتی به دستگاه منحنی‌الخط منطبق بر بدنه حل شده ، برای این منظور از روش بیم-وارمینگ و اختلاف محدود مرکزی استفاده شده است . در این مطالعه ، تأثیر گام طولی و عرضی و عدد رینولدز در محدوده $25<Re<2500$ بر پارامترهای هیدرولیکی و انتقال حرارتی مانند : خطوط جریان ، فشار ، دما ، ضرایب فشار C_P ، مقاومت C_D ،انتقال حرارت جابجایی h ،عدد نوسلت Nu و افت فشار از دسته لوله بررسی شده و شکلهایی از خطوط جریان ، کانتورهای دما و فشار و ... برای شرط مرزی دما ثابت ترسیم شده است . نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که با کاهش گام طولی و عرضی و فشرده‌تر کردن دسته لوله‌ها ، میزان انتقال گرما به دسته لوله افزایش یافته در عوض افت فشار از دسته لوله نیز افزایش می‌یابد که در طراحی ، باید بهینه‌ترین حالت انتخاب شود .

فصل اول
معرفی جریان سیال حول دسته لوله‌ها ومطالعات انجام شده درارتباط باآن

۱-۱-مقدمه:

در نیروگاهها ، صنایع شیمیایی و اکثر صنایع دیگر بطور فزاینده‌ای از مبدلهای حرارتی که شامل یک جریان عمودی روی دسته‌ای از لوله‌ها می باشد ، استفاده می شود . به همین خاطر نیاز به مطالعات وتحقیقات بیشتر روی رفتار هیدرولیکی و انتقال حرارت یک لوله تنها و آرایشهای مختلف لوله‌ها در جریان عمودی یک گاز یا یک سیال لزج احساس می‌شود .

انتقال حرارت به طور محسوسی تحت تأثیر رژیم جریان اطراف لوله می‌باشد . ضمن اینکه جریان عبوری از دسته لوله‌ها یکی از مسائل مشکلی است که از لحاظ عملی اهمیت دارد ، دانستن این فرایند ما را قادر به مطالعات گسترده‌تری روی انتقال حرارت مسئله می کند . بنابراین پیشنیاز بررسی انتقال حرارت ، تحلیل سیالاتی و هیدرولیکی مسئله می‌باشد که در پروژه حاضر ، بیشتر تأکید روی این قسمت مسئله است .

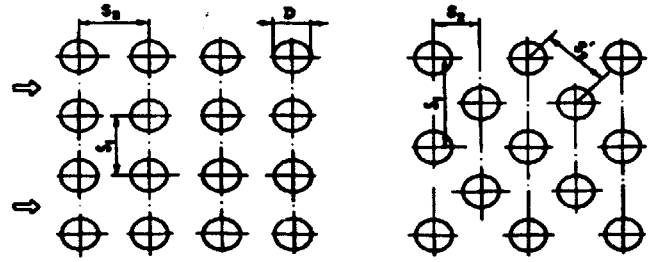
همانطوریکه می‌دانیم اگر طول استوانه به حد کافی بزرگ باشد ، می‌توان از اثرات انتهائی صرفنظر کرد و مسئله را به صورت دوبعدی حل نمود . این فرضی است که در پروژه حاضر از آن استفاده شده است . هر چند که در کارهای تجربی این اثرات به طور طبیعی لحاظ می‌شود و یکی از علل تفاوت کارهای عددی و تجربی به خاطر همین مسئله است . حل سه بعدی این جریان مستلزم وجود کامپیوتر با سرعت وقدرت زیاد

است . اگر چه امروزه علم کامپیوتر پیشرفتهای چشمگیری داشته است ، اما باز هم زمان زیادی برای حل سه بعدی جریان در حل دائم (زمان – دقیق) لازم است .

در فصل اول این پایان نامه که شامل مقدمه است ، سعی شده به طور مختصر مسئله معرفی شده ، همچنین مروری بر تحقیقات و مطالعات انجام شده در زمینه دسته لوله‌ها انجام شود . در فصل دوم به معرفی معادلات حاکم بر جریان پرداخته شده است . فصل سوم اختصاص به تشریح روشهای عددی مرتبط با پروژه دارد . در پروژه حاضر برای حل مسئله از کد کامپیوتری ARC2D[1] استفاده شده است که شرح کامل آن به همراه روش تولید شبکه برای مسئله‌مان در فصل چهارم بحث شده است . فصل پنجم نیز اختصاص به ارائه نتایج ونتیجه گیری دارد .

۱-۲-تعریف مسئله

موضوع پروژه حاضر حل جریان حول یک دسته لوله می باشد . در شکل زیر دو نوع رایج دسته لوله که آرایش مربعی[2] ومثلثی[3] می باشند ، نشان داده شده است .

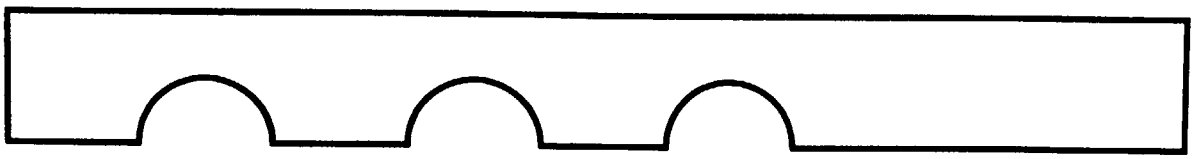


(الف) (ب)

شکل ۱-۱ : آرایش لوله ها در یک دسته لوله الف) آرایش مربعی ، ب) آرایش مثلثی

که خطوط خط چین خطوط تقارن هستند . با در نظر گرفتن خطوط تقارن ، دامنه حل برای یک آرایش مربعی بصورت زیر در خواهد آمد :

1-ARC2D : NASA Ames Research Center, Two-Dimensional, Navier-Stock (NS) Code .
2-In-Line Arrangement
3-Staggered Arrangement



شکل ۲-۱: دامنه حل برای آرایش مربعی

که باید شبکه‌ای مناسب برای آن ساخته شود و توسط یک روش عددی اختلاف محدود (روش بیم – وارمینگ[1]) حل گردد .

قبل از بررسی دسته لوله‌ها ابتدا جریان عبوری از یک لوله تنها ویک لوله در یک دسته لوله را بطور مختصر مورد بررسی قرار می‌دهیم .

۱-۳- جریان عبوری از یک لوله تنها [۱]

۱-۳-۱- جریان یک سیال ایده‌آل (کامل)

در سیال ایده‌آل فرض بر این است که بین سیال و دیواره‌ها امکان لغزش وجود دارد . به عبارت دیگر از نیروی اصطکاک صرفنظر می شود . توزیع سرعت در جریان یک سیال ایده‌آل عبوری از یک لوله به صورت زیر است :

$$u_x = u_0(Sin\varphi)[1+(\frac{R_0}{R})^2] \qquad (۱-۱)$$

که R و R_0 به ترتیب فاصله از محور لوله به سطح لوله ونقطه مورد بررسی می باشد و u_0 سرعت جریان آزاد می‌باشد . از معادله (۱-۱) مشاهده می‌شود که سرعت مماسی u_x با افزایش فاصله از دایره کاهش می‌یابد و در روی سطح لوله سرعت بیشترین مقدار را دارد .

$$u_x = 2u_0Sin\varphi \qquad (۱-۲)$$

بر اساس معادله (۱-۲) ، سرعت در نقاط تکین جلو وعقب استوانه صفر ودر $\phi = 90,270^\circ$ ماکزیمم مقدار را داراست .

با استفاده از معادله (۱-۲) ومعادله برنولی ، توزیع فشار روی سطح لوله را می‌توان بدست آورد :

1-Beam-Warming Scheme

$$P = \frac{P_\varphi - P_0}{\rho u^2 / 2} = 1 - 4Sin^2\varphi \qquad (۳-۱)$$

که P_0 فشار استاتیکی در کانال می‌باشد .

فشار با سرعت رابطه عکس دارد یعنی در نقاط تکین فشار بیشترین مقدار بوده و در نقاط $\phi = 90,270^\circ$ دارای کمترین مقدار است . بخاطر همین توزیع فشار روی سطح لوله ، لوله در مقابل جریان ایده‌آل هیچ مقاومتی نشان نمی‌دهد .

۱-۳-۲-جریان سیال واقعی:

بخاطر لزجت سیالهای واقعی ، در قسمت جلوی لوله یک لایه مرزی آرام تشکیل می‌شود که ضخامت آن به سمت پایین دست ، افزایش می‌یابد . بسته به نسبت نیرو های اینرسی به نیرو های لزج در جریان که توسط عدد رینولدز مشخص می‌شود ، رژیمهای مختلف جریان تشخیص داده شده است .

در $Re\langle 1$ ، نیروهای اینرسی در مقایسه با نیرو های اصطکاک قابل صرفنظر بوده و جریان در نقطه سکون پشت استوانه ، از آن جدا می‌شود . با افزایش عدد رینولدز تأثیر نیرو های اینرسی افزایش می‌یابد ودر $5\langle Re$ لایه مرزی آرام ، قبل از اینکه به نقطه سکون پشت استوانه برسد ، از آن جدا شده و در پشت استوانه یک جفت گردابه پایدار متقارن پدیدار می‌شود . با افزایش بیشتر عدد رینولدز گردابه ها به سمت پایین دست جریان گسترش می‌یابند و در $40\langle Re$ در ناحیه چرخش پایداری حرکت از بین می‌رود و گردابه ها به صورت تناوبی از پشت استوانه جدا شده و به دنباله جریان می‌پیوندند .

پدیده جدایش لایه مرزی ، تابع اصطکاک داخلی در لایه مرزی بوده و به توزیع فشار وسرعت اطراف استوانه بستگی دارد . در توضیح علت پدیده جدایش می‌توان گفت که در هر جریانی مقدار مشخصی از انرژی صرف غلبه بر اصطکاک داخلی در لایه مرزی شده و تلف می‌شود . با کاهش سرعت و افزایش فشار روی قسمت پشتی لوله $(0\langle \frac{dp}{dx})$ ، انرژی باقیمانده برای غلبه بر افزایش فشار کافی نیست بنابراین ذرات سیال در لایه مرزی که سرعت کمی دارند ، به خاطر اصطکاک سرعتشان کمتر می‌شود تا اینکه تقریباً متوقف شده و شروع به حرکت در جهت مخالف می‌کنند ، لایه‌های سیال با حرکت مخالف شروع به چرخش کرده و از سطح لوله جدا می‌شوند .نقطه جدایش لایه مرزی تقریبادر $\phi = 80^\circ$ اتفاق می‌افتد . این مدل جریان تا حدود عدد رینولدز بحرانی ($Re = 2\times10^5$) مشاهده می‌شود .