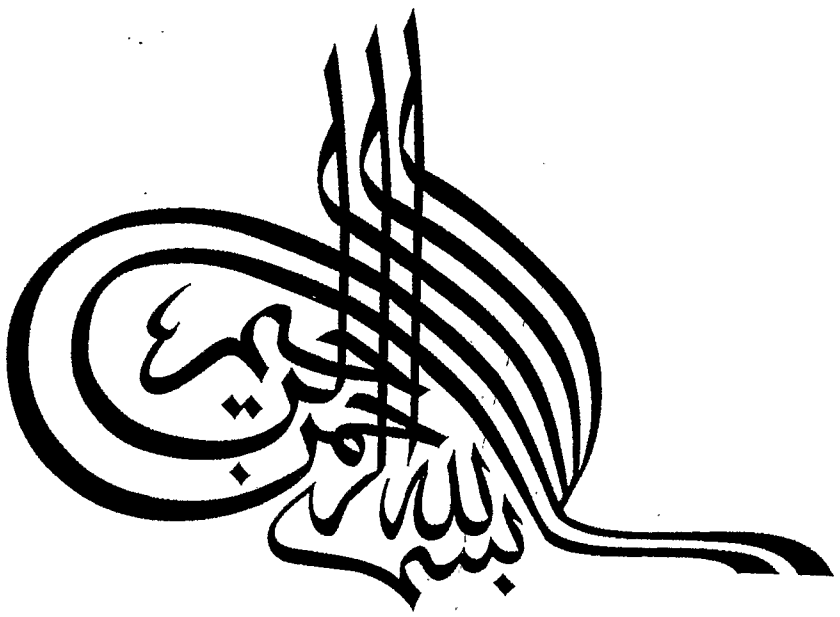

٤٤٠٣٤

۱۳۸۱ /۱۱/ ۳۰
۱۱۸۱ /۱۱/ ۳۰

دانشگاه تبریز
دانشکده فنی
گروه مهندسی مکانیک

۱۳۸۱ /۱۱/ ۳۰

پایاننامه :

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مکانیک گرایش طراحی کاربردی

عنوان :

مطالعه تجربی و تحلیل عددی رفتار مدل باله NACA0015 در فرکانس های طبیعی و مـدهای ارتعاشی تحت زاویه حمله مختلف (ارتعاش القائی)

اساتید راهنما:

دکتر اسماعیل اسماعیل زاده　　دکتر محمد زهساز

استاد مشاور:

دکتر مرتضی همایون صادقی

پژوهشگر :

امیر حسین دائی سرخابی

زمستان ۸۱

نام خانوادگی پژوهشگر: **دائی سرخابی** نام: **امیر حسین**

عنوان پایان نامه: **مطالعه تجربی و تحلیل عددی رفتار مدل باله NACA0015 در فرکانس های طبیعی و مـدهای ارتعاشی تحت زاویه حمله مختلف (ارتعاش القائی)**

اساتید راهنما: **دکتر اسماعیل اسماعیل زاده - دکتر محمد زهساز**

استاد مشاور: **دکتر مرتضی همایون صادقی**

مقطع تحصیلی: **کارشناسی ارشد** رشته: **مکانیک** گرایش: **طراحی کاربردی** دانشگاه : **تبریز**

دانشکده: **فنی** تاریخ فارغ التحصیلی: **زمستان ۸۱** تعداد صفحه: **۷۵**

کلید واژه ها: **ارتعـــاشات الـقائی - بـالـهٔ NACA0015 - دامنـه ارتعـــاشات القـــائی فرکانس پرتاب گردابه ها - Flutter-Galloping**

چکیده

بحث در مورد ارتعاش مجموعه های دینامیکی و تعیین اثرات آن در کارکرد و ایمنـی، یکـی از مبـاحثی است که در بررسی و طراحی مجموعه‌ها مورد توجه قـــرار مـی‌گیـرد. ارتعاشـات در اغلـب مـوارد اثـرات نامطلوبی داشته و موجب تلفات زیادی می گردد.

از جمله سازه هایی که امروز با توجه به کاربرد بسیار وسیع، از نظر ارتعاشات مـورد مطالعـه و بررسـی قرار می‌گیرند، باله ها و پره ها و در حالت کلی اجسام آیرودینامیک می‌باشند. باله‌ها و پره‌هـــا در سـاختمان توربین‌ها، کمپرسورها و اکثر وسایل نقلیه در حالتها و انواع مختلف عمدتاً به منظور تأمین نـــیروی مناسـب بکار گرفته می‌شوند. عملکرد این سازه ها با توجه به این مورد که اغلب در مجاور شاره ها بـــوده و تحـت تاثیر نیروهای مختلف شاره قرار دارند، از نظر دینامیک شاره ها در بررسی ارتعاشات حائز اهمیت می‌باشند. این نوع ارتعاشات که تحت اثرات شاره در سازه بوجود می‌آیند، ارتعاشات القائی نامیده می شوند. در ایـــن تحقیق علاوه بر مطالعه ارتعاشات القائی ، سعی شده مدل بالهٔ NACA0015 به صـــورت تجربـی و تحلیـل عددی تحت اثرات شاره از نظر ارتعاشی مورد بررسی قرار گرفته و جزئیات ارتعاشی از جمله فرکانســها و دامنه های القائی سازه از طرف شاره و همچنین فرکانس پرتاب گردابه‌ها در زاویه های حمله مختلف بالـــه مشخص گردد.

تقدیر وتشکر

درطول چندین سال دوران تحصیلم ، بی شک بدون لطف وتوجه خداوند ، هرگز قادر به کسب موفقیتی نمی بودم واکنون که باری دیگر لطف خداوند شامل حالم گشته وخود را در مقام کسب مدرکی علمی می بینم بر خود لازم می بینم از :

- اساتید راهنمای ارجمند : **آقای دکتر محمد زهساز** و **آقای دکتر اسماعیل اسماعیل زاده**

که تنها با راهنمائیهای پدرانه در لحظه لحظه این تحقیق سخت وطاقت فرسا مشوق وراهگشایم بودند بلکه در طول این مدت انسان بودن وانسان زیستن را نیز به من آموختند

- استاد مشاور محترم : **آقای دکتر مرتضی صادقی**

که با ارائه پیشنهادات و راهکارهای ارزنده راه پیشرفت را برایم هموار نمودند

- ریاست محترم گروه مهندسی مکانیک : **آقای دکتر پرویز علوی**

که همواره سرمشق والگوی زندگیم بودند

ونیز مسئول آزمایشگاه مکانیک سیالات : **آقای مهندس طلوعی** ، مسئول کارگاه ریخته گری : **آقای مهندس نخجیری** ، مسئول واحد کامپیوتر ، **آقای مردانلو**

بخاطر همکاری بی دریغ وصمیمانه

تقدیر وتشکر نمایم .

تقدیم به :

همدم وهمراز سختترین لحظات زندگی

والاترین الگوی انسانیت و مردانگی **پدرم**

بهتـــرین اســـوه کـذشت وفـداکـاری **مادرم**

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

علائم ونمادها i

مقدمه ---------- ۱

فصل اول : پیشینه و پایه های نظری تحقیق ---------- ۳

۱-۱ مقدمه ---------- ۴

۱-۲ مفاهیم عمومی از شاره ها ---------- ۶

۱-۳ باله ها ومشخصات هندسی آنها ---------- ۱۲

۱-۴ ارتعاشات القائی ---------- ۱۴

۱-۴-۱ نیروهای وارده بر اجسام از طرف شاره ---------- ۱۴

۱-۴-۲ ارتعاش القائی ناشی از گردابه ها ---------- ۲۲

۱-۴-۳ تحلیل دینامیکی ارتعاش القائی ناشی از گردابه ها ---------- ۳۰

۱-۴-۴ پدیده های Galloping , Flutter ---------- ۳۲

فصل دوم : مطالعه و بررسی تجربی ارتعاشات القائی روی مدل باله NACA0015 ---------- ۳۴

۲-۱ مقدمه ---------- ۳۵

۲-۲ سکوی مطالعاتی ---------- ۳۶

۲-۲-۱ تونل باد ---------- ۳۶

۲-۲-۲ مدل باله معلق NACA0015 ---------- ۳۸

۲-۲-۳ اندازه گیری سرعت جریان ---------- ۴۱

۲-۲-۴ اندازه گیری فرکانس ---------- ۴۲

۲-۲-۵ آشکار سازی وپردازش تصویری ---------- ۴۳

۲-۳ نحوه انجام مطالعه تجربی ---------- ۴۳

فصل سوم : مطالعه و بررسی عددی ارتعاشات القائی روی مدل باله NACA0015 ---------- ۴۵

۳-۱ مقدمه ---------- ۴۶

۳-۲ اساس ومراحل اجزاء محدود ---------- ۴۸

۳-۲-۱ فاز پیش پردازش ---------- ۴۸

۳-۲-۲ فاز پردازش ---------- ۴۹

۳-۲-۳ فاز پس پردازش ---------- ۴۹

۳-۳ فرموله کردن مسائل به روش اجزاء محدود ---------- ۴۹

۳-۴ برنامه ANSYS وساختار آن ---------- ۵۰

۳-۵ مدلسازی ---------- ۵۱

۳-۵-۱ تعیین نوع المان ---------- ۵۲

۳-۵-۲ تعیین ثابت های حقیقی المان ---------- ۵۳

۳-۵-۳ تعیین خواص مواد ---------- ۵۴

۳-۵-۴ ایجاد شکل هندسی مدل ---------- ۵۴

۳-۵-۵ شبکه بندی ---------- ۵۵

۳-۶ اعمال شرایط مرزی ، بارگذاری وحل مسئله ---------- ۵۶

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

عنوان | صفحه

۱ -۶-۳ آنالیز مودال ---------- ۵۷
۲-۶-۳ آنالیز هارمونیک ---------- ۵۹
فصل چهارم : نتایج و بحث ها ---------- ۶۱
نتیجه گیری و پیشنهاد ها ---------- ۷۳
مراجع ---------- ۷۴

علائم ونمادها :

دامنه نوسان	A_y
ضریب پسا	C_D
ضریب برا	C_L
عرض موثر ، قطر سیلندر	D
مدول الاستیسیته	E
پسا	F_D
برا	F_L
ضریب فنریت	K
طول مشخصه	L
فاصله مرکز جرم تا لبه حمله	L_g
عدد رینولدز	Re
فشار	P
عدد استروهال	S
شعاع سیلندر	a
پهنا ، طول باند	b
طول وتر باله	c

فرکانس طبیعی	f_n	ω_n
فرکانس پرتاب گردابه	f_s	ω_s
جرم سازه	m	
بردار یکه سطح	n	
ضخامت باله	t	
حداکثر خمیدگی باله	h/c	
زاویه استقرار	α	
تنش	σ	
کرنش	$\in$	
ضریب استهلاک	ξ	
لزجت	μ	
تابع پتانسیل	ϕ	
تابع جریان	ψ	
چگالی شاره	ρ	
گردش شاره	Γ	

مقدمه

امروزه پیشرفت تکنولوژی، متخصصان و دست اندرکاران صنایع را بر آن داشته که با بکارگیری دانشهای فنی پیشرفته، گامی موثر در جهت حل مشکلات و بهینه سازی تولیدات خود برداشته باشند. پیشرفت علم آیرودینامیک [۱] و بکارگیری هندسهٔ آیرودینامیکی و سازه هایی همچون باله[۲] ها و پره[۳]ها از جمله مواردی هستند که در طیف وسیعی از مجموعه‌های پیشرفته حائز اهمیت می باشند.

اکثر وسایل نقلیه، توربین ها، کمپرسورها و ... در ساختارشان از سازه‌هایی به شکل آیرودینامیک مانند باله و پره استفاده شده است. در ساختار و طراحی این سازه‌ها مورد بسیار مهمی که باید در نظر گرفته شود، ارتعاشات آنها می‌باشد.

ارتعاشات، حرکت نوسانی اجسام و نیروهای وابسته به آنها را تحت شرایط مختلف مورد بررسی قرار می‌دهد و چون در اکثر موارد، اثرات مخربی را بر جای می‌گذارد، نمی‌توان نسبت به آن بی توجه بود.باله ها و پره ها و اکثر وسایلی که در ساختارشان از هندسه آیرودینامیکی استفاده می‌شود، چون معمولاً در مجاورت و یا داخل شاره ها بکار گرفته می‌شوند، بررسی و تحلیل دینامیک شاره ها از حیث وجود نیروهای اعمالی به سازه بسیار مهم بوده و پرداختن به ارتعاشات القاء شده از طرف شاره اجتناب ناپذیر می‌باشد.

ارتعاشات القائی از طرف شاره روی سازه هایی مانند باله و پره با بررسی مشخصات شاره و گردابه[۴] های پرتاب شده در پشت سازه تحلیل می‌گردد ولی لزوماً این نوع ارتعاشات روی سازه‌هایی به شکل آیرودینامیک خلاصه نشده و سازه ها به شکل غیر آیرودینامیک [۵] نیز دچار حالتی از این پدیده می‌گردند. [۱]

در این تحقیق سعی شده که علاوه بر مطالعه تئوری ارتعاشات القائی، بصورت تجربی و عددی

1- Aerodynamic
2- Airfoil
3- Wing
4- Vortex
5- Bluff

رفتار ارتعاشی مدل بالهٔ NACA0015 تحت اثرات شاره بررسی شـده و فرکانسـها و دامنـه هـای نوسانی القـاء شده در سرعتهای مختلف شـاره و زاویه های حمله مختلف سـازه بـا ایجـاد مـدل، شبیه سازیها و اعمال شرایط لازم به روش عددی توسط نرم افزار ANSYS و روش تجربی به طریـق آشکارسازی و پردازش تصویری[1] مشخص گردد.

1- Image Processing

فصل اول

پیشینه وپایه های نظری تحقیق

۱-۱ مقدمه

امروزه پیشرفت تکنولوژی، جوامع صنعتی را بر آن داشته که به طرحهای مـهم و کـاربردی توجـه ویژه‌ای نمایند. برای نیل به این منظور یکی از مواردی که همیشـه مـورد توجـه قـرار گرفتـه، مسـئله ارتعاشات و حرکتهای نوسانی می‌باشد زیرا به طوری که بیان شد در اکـثر مـوارد ایـن پدیـده اثـرات مخربی روی مجموعه هـا و سـازه هـا داشـته و در صـورت عـدم توجـه، بـه ایجـاد ناسـازگاری در مجموعه‌ها می انجامد.

بدیهی است که جرم، خاصیت الاستیک و خاصیت استهلاک از اجزاء اصلی یک مجموعهٔ ارتعاشی می‌باشند و قبل از مطالعه ارتعاشات در یک مجموعه و یا سازه باید این موارد مشخص گردند.

مطالعه و پیش بینی ویژگی ها و عملکردهای اجسام پیچیده معمولاً کـار دشـواری اسـت بنـابراین اکثراً از روش مدلسازی استفاده می شود، بدین معنی که به جای مطالعه و بررسی یک جسم و یا یک دستگاه واقعی، مدلی از آن ساخته می شود کـه تقریبـاً همـه خصوصیـات از نظـر سـه عـامل جـرم، الاستسیته و استهلاک را دارا باشد و سپس این مدل از نظر ریاضی مطالعه می‌شود. لازم بـه یـادآوری است که بسیاری از وسایل و دستگاهها که ظاهراً متفاوت می‌باشند ممکن است دارای مدل ارتعاشـی یکسانی باشند، مثلاً نوسان یک پاندول با حرکت یک جرم متصل به یک فنر و یـا ارتعـاش موتـوری روی پایه های خود، احتمال دارد در برخی از تحلیل ها مدل ارتعاشی کاملاً یکسانی داشته باشند.

مجموعه های ارتعاشی را می‌توان بطور کلی به دو حالت خطی و غیر خطی، تفکیـک کـرد. بـرای مجموعه های خطی، اصل بر هم گذاری صحت دارد و روشهای ریاضی موجود برای حل آنها کـاملاً شناخته شده است. بر عکس روشهای تحلیل مجموعه های غیر خطی کمتر شناخته شده و کاربرد آنها مشکل می‌باشد. البته باید اشاره کرد که معمولاً اکثر مجموعه های پیچیده، ارتعاش غیر خطـی دارنـد. هر مجموعه یا سازه ای دارای فرکانسهای طبیعی است که از ویژگیهای ذاتی خود آن مجموعـه و یـا سازه می‌باشد. بدین معنی که اگر آن مجموعه یا سازه در اثر شرایط اولیه مرتعش شود با آن فرکانسها نوسان خواهد کرد، به این نوع ارتعاش، ارتعاش آزاد[1] می‌گویند. در این حالت هیچ عـامل یـا نـیروی

1- Free Vibration

خارجی بر مجموعه یا سازه اثر ندارد. حال اگر نیروی محرکی بر مجموعه یا سازه اثر داشته باشد آن مجموعه یا سازه با همان فرکانس محرک شروع به ارتعاش خواهد کرد که به این نوع ارتعاش، ارتعاش اجباری[1] یا واداشته گویند. در این حالت اگر فرکانس نیروی محرک برابر فرکانس طبیعی مجموعه باشد حالت تشدید[2] حاصل می شود که نوسانهای بزرگ و خطرناکی بوجود می‌آید. [۲]

در گذشته شنیده شده که بال هواپیمای سالمی در حین پرواز بدون هیچ نوع برخوردی در اثر ارتعاش زیاد از بدنه جدا گشته و یا شدت حرکت پای سربازان باعث لرزش غیر قابل تحمل یک پل و یا ریزش قسمتی از آن شده است، همه این وقایع نامطلوب در اثر بروز تشدید اتفاق می‌افتد. [۳]

ارتعاش خود محرک[3]، نوعی ارتعاش اجباری است که نیروی متناوب در نتیجهٔ حرکت خود مجموعه بوجود می‌آید و تنها هنگامی که حرکت مجموعه متوقف می شود، از بین می‌رود. البته به این نوع ارتعاش، ارتعاش آزاد با استهلاک منفی نیز گفته می شود.

در استهلاک های مثبت معمول، نیروی استهلاکی با سرعت متناسب بوده و جهت آن مخالف جهت سرعت می‌باشد. در استهلاک منفی این نیرو متناسب با سرعت بوده ولی در جهت موافق آن است، درنتیجه مجموعه هایی که دارای استهلاک منفی باشند، دامنه حرکتشان بجای کم شدن، در اثر گذر زمان زیاد می شود و چون نیروی استهلاکی در اثر توقف حرکت از بین می رود این استدلال مغایرتی با ارتعاش آزاد نخواهد داشت. [۳]

نوع دیگری نیز از ارتعاشات وجود دارد که ارتعاشات القائی نامیده می‌شود و بیشتر روی سازه‌هایی که با شاره ها در تماس بوده و تحت اثرات آنها قرار می‌گیرند، مطرح می‌باشند: خطوط انتقال نیروی پوشیده از یخ در معرض وزش باد شدید، بال هواپیما در سرعتهای بحرانی، برجهای عظیم الجثه در شهرها، مجموعه لوله های مبادله کن گرمائی[4] و لوله های انتقال مواد نفتی در کف اقیانوس ها و دریاها از مواردی هستند که در معرض ارتعاشات القائی قرار دارند. [۱] بطوری که قبلاً نیز اشاره شد مطالعه و بررسی ارتعاشات باله ها و پره ها که نقش بسیار موثری در پیشرفت

1-Forced Vibration
2-Resonance
3-Self Excited Vibration
4-Heat Exchanger Tubes

صنایع داشته و باعث ایجاد تحولاتی شده، از جمله موارد بسیار ضروری و مهم می‌باشند. این سازه‌ها اکثراً به صورت مستقیم یا غیر مستقیم در مجموعه هایی به کار گرفته می‌شوند که در تحلیل دینامیکی آنها، شاره‌ها تاثیر عمده ای دارند. بنابراین لزوم بررسی ارتعاشات القائی روی باله ها و پره ها، اجتناب ناپذیر بوده و برای پرداختن به این موضوع باید شناختی کامل از برخی مفاهیم عمومی شاره ها به عمل آید.

۲-۱ مفاهیم عمومی از شاره ها

مکانیک شاره‌ها علم بررسی رفتار شاره ها در حالت سکون یا حرکت و اثرات شاره بر مرزهای جسم صلب می‌باشد. شاره ها حالتی از مواد می باشند که رفتاری متفاوت نسبت به سایر مواد در مقابل تنش برشی از خود نشان می دهند. جسم جامد می‌تواند در مقابل یک تنش برشی با یک تغییر شکل معین و ثابت مقاومت کند در حالی که اگر شاره ای تحت تنش برشی قرار گیرد تا هنگامی که این تنش اعمال می‌شود، شاره پیوسته در حال تغییر شکل و حرکت خواهد بود. ارتباط بین تنش برشی و تغییر شکل زاویه ای با ضریبی بنام لزجت [1] انجام می گیرد. لزجت خاصیتی از شاره است که بواسطهٔ آن شاره در مقابل تنش برشی از خود مقاومت نشان می‌دهد. مقاومت یک شاره در مقابل نیروی برشی به جاذبهٔ مولکولی و میزان انتقال اندازهٔ حرکت مولکولها بستگی دارد. در یک مایع به دلیل کوچک بودن فواصل بین مولکولها، نیروی جاذبهٔ مولکولی به مراتب بیشتر از گازهاست لذا علت اصلی وجود لزجت مایعات جاذبهٔ مولکولی است. اما در مورد گازها نیروهای جاذبهٔ مولکولی بسیار کوچک هستند و آنچه باعث مقاومت در مقابل تنش برشی می شود، عمدتاً انتقال اندازهٔ حرکت مولکولی آنهاست. [٤]

در مکانیک شاره ها، معمولاً نتایج حاصل برای مسائل عملی، تلفیقی از بررسیهای تجربی و تئوری می‌باشد. دراین نوع بررسی ها با توجه به این که تعداد متغیرهای زیاد در نتایج نهایی نقش دارند به تحلیل ابعادی نیاز می‌باشد. تحلیل ابعادی به کمک نوعی روش فشرده کردن، به رفع پیچیدگی و کاستن از تعداد متغیرهای موثر روی یک پدیده منجر می شود. کاهش متغیرها و گروه بندی آنها به

1- Viscosity

صورت بی بعد که عمده‌ترین هدف تحلیل ابعادی می‌باشد، باعث می‌شود کـه نتـایج فشـرده بدسـت آمده از یک بررسی برای تمام حالتهای مشابه اعتبار داشته باشد. یکی از ایـن متغیرهـای بـدون بعـد، عددرینولدز می‌باشد که نسبت نیروهای اینرسی به نیروهای لزجی اسـت . ایـن متغیـر بـدون بعـد را نخستین بار در سال ۱۸۸۳ یک مهندس ایرلندی بنام آزبورن رینولدز [1] (۱۸۴۲-۱۹۱۲) معرفـی کـرد و به احترام وی عدد رینولدز نام گرفت که با رابطه زیر نشان داده می شود.

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho U l}{\mu} \qquad (۱-۱)$$

ρ , U ,l ,μ به ترتیب چگالی ، سرعت ، طول مشخصه ولزجت شاره می باشد.

این متغیر بدون بعد در هر شرایطی از شارش اهمیت دارد و تنها می‌توان در نواحی جریـان دور از گرادیانهای زیاد سرعت، با تقریبی از آن چشم پوشی کرد. معمولاً مـاهیت اصلـی جریـان و موقعیـت نسبی آن در یک مقیاس بوسیلهٔ عدد رینولدز مشخص می شود. برای مقادیر بزرگ عدد رینولدز یـک یا دویاتمام عبارت موجوددرصورت کسرنسبت به مخرج کسربزرگ‌می‌باشد که درحقیقت نشان دهندهٔ انبساط زیاد شاره،سرعت بالا، چگالی زیاد، لزجت نسبتاً کم ویا ترکیبی ازاین عوامل می‌باشد. [٤]

در بررسی شاره ها معمولاًشاره را در دو حالت واقعی و ایده آل در نظر می‌گیرند. در سـال ۱۹۰٤ پرانت [2] [٥] با ارائه مفهوم لایهٔ مرزی، ارتباط مهمی میان این دو حالت بوجود آورد. برای شاره هـایی که لزجت نسبتاً کمی دارند اثر اصطکاک داخلی در شاره تنها در ناحیه باریکی از محیط که مرز شـاره را تشکیل می‌دهد، قابل توجه است. از این فرضیه می‌توان نتیجه گرفت که خارج از این ناحیه باریک در نزدیکی مرزهای صلب، شاره رفتار ایده آل برای خود دارد یعنی می‌توان با تقریب نسبتاً خوبـی از اثرات لزجت شاره صرفنظر کرد. وقتی که حرکت در یک شاره که دارای لزجت بسیار کم است، آغاز می شود جریان در لحظهٔ اول غیر چرخشی خواهد بود. از آنجا که شاره در مجاورت مرزها نسبت به مرزها سرعت صفر دارد، گرادیان سرعت از مرزها تا جریان شاره آزاد زیاد می‌شود. گرادیان سـرعت در یک شاره واقعی در نزدیکی نیروهای برشی مرزی شروع می شود و سرعت جریان نسبت به مـرز

1- Osborn Reynolds
2- Prandtl