بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا

پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک

(گرایش تبدیل انرژی)

بررسی عددی کاهش پسای اصطکاکی بوسیله سطوح ریبلتی آب‌گریز جهت کاربردهای دریایی

نگارش:

عبدالرسول بحرینی

استاد راهنما:

دکتر محسن جهانمیری

بهمن ۹۱

دانشگاه صنعتی شیراز

دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا

پایان‌نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی مکانیک

(گرایش تبدیل انرژی)

بررسی عددی کاهش پسای اصطکاکی بوسیله سطوح ریبلتی آب‌گریز جهت کاربردهای دریایی

نگارش:

عبدالرسول بحرینی

استاد راهنما:

دکتر محسن جهانمیری

استاد مشاور:

دکتر مسعود خراتی کوپایی

بهمن ۹۱

بسمه تعالی

بررسی عددی کاهش پسای اصطکاکی بوسیله سطوح ریبلتی آب‌گریز جهت کاربردهای دریایی

پایان‌نامه ارائه شده به عنوان بخشی از فعالیتهای تحصیلی

توسط:

عبدالرسول بحرینی

برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

گروه حرارت و سیالات دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا

دانشگاه صنعتی شیراز

ارزیابی پایان‌نامه توسط هیات داوران با درجه: .....

دکتر	محسن جهانمیری	دانشیار، مهندسی هوافضا	(استاد راهنما)
دکتر	مسعود خراتی کوپایی	استادیار، مهندسی مکانیک	(استاد مشاور)
دکتر	رضا مهریار	استادیار، مهندسی مکانیک	(داور)

مدیر امور آموزشی و تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه صنعتی شیراز است.

تأییدیه‌ی صحت و اصالت نتایج

باسمه تعالی

اینجانب عبدالرسول بحرینی دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک به شماره دانشجویی ۸۹۱۴۴۰۰۹ تأیید می‌نمایم کلیه نتایج این پایان‌نامه، بدون هیچ‌گونه دخل و تصرف، حاصل مستقیم پژوهش صورت گرفته توسط اینجانب است. در مورد اقتباس مستقیم و غیر مستقیم از سایر آثار علمی، اعم از کتاب، مقاله، پایان نامه و .... با رعایت امانت و اخلاق علمی، مشخصات کامل منبع مذکور درج شده است.

در صورت اثبات خلاف مندرجات فوق، به تشخیص مقامات ذی‌صلاح دانشگاه صنعتی شیراز، مطابق قوانین و مقررات مربوط و آئین نامه های آموزشی، پژوهشی و انضباطی و ... عمل خواهد شد و اینجانب حق هرگونه اعتراض و تجدیدنظر را، نسبت به رأی صادره، از خود ساقط می‌کند. همچنین، هرگونه مسئولیت ناشی از تخلف نسبت به صحت و اصالت نتایج مندرج در پایان نامه/رساله در برابر اشخاص ذی‌نفع (اعم از حقیقی و حقوقی) و مراجع ذی‌صلاح (اعم از اداری و قضایی) متوجه اینجانب خواهد بود و دانشگاه صنعتی شیراز هیچ گونه مسئولیتی در این زمینه نخواهند داشت.

تبصره : کلیه حقوق مادی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شیراز است.

عبدالرسول بحرینی

تاریخ و امضاء:

تقدیم به

پدر و مادرم

که از نگاهشان صلابت، از رفتارشان محبت، و از

صبرشان ایستادگی آموختم

و

جانبازان هشت سال دفاع مقدس

آنانکه رنج دیروز و امروزشان

مایه آسایش امروز ماست.

سپاسگزاری

سپاس خدای را که هر چه، هست از اوست و اینکه نیازم را بی پاسخ نگذارد و مرا یاری نمود تا قسمتی از عمر خود را در راه تحصیل علم و دانش سپری نمایم. **سپاس** خدای را که خانواده را کانون امن جهت تربیت و پیشرفت انسان، و پدر و مادر را تکیه گاهی مطمئن برای فرزندان قرار داد. **سپاس** خدای را که همواره استادانی دلسوز و فرزانه را راهنمایم قرار داد تا در راه دراز و بی پایان تحصیل علم، تسکینی بر عطش سیری ناپذیرم باشند.

بر خود لازم میدانم که از تمامی عزیزانی که در مراحل مختلف انجام این تحقیق مرا یاری نمودند، تشکر و قدردانی نمایم.

با تشکر از یاوران همیشگی ام

پدر، مادر، برادر و خواهرانم

با تشکر از مشوقان واقعی راه علم

استاد ارجمند دکتر جهانمیری

استاد گرامی جناب دکتر خراتی کوپایی

همچنین از حمایت های

پژوهشکده سامانه های دریایی و

مرکز محاسبات سریع دانشگاه

در مراحل مختلف انجام این تحقیق تشکر و قدردانی می نمایم.

چکیده

بررسی عددی کاهش پسای اصطکاکی بوسیله سطوح ریبلتی آب‌گریز جهت کاربردهای دریایی

نگارش:

عبدالرسول بحرینی

در سال‌های اخیر همانند حمل و نقل زمینی و هوایی، در زمینه حمل و نقل دریایی نیز دستیابی به سرعت‌های بالا مورد توجه قرار گرفته است. با توجه به اینکه بخش عمده درگ وارد بر شناور درگ اصطکاکی می‌باشد، کاهش این نوع درگ از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در بین روش‌های مختلف کاهش درگ اصطکاکی، استفاده از ریبلت‌ها و سطوح آب‌گریز از نظر عملی‌بودن و نیز مکانیزم کاهش درگ آنها، جهت استفاده بر روی شناورهای بزرگ سودمندتر می‌باشند.

کاهش درگ با استفاده از ریبلت‌ها و سطوح آب‌گریز در جریان مغشوش بصورت عددی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. در این پایان‌نامه کاهش درگ بر روی سطوح ریبلتی آب‌گریز مورد تحقیق قرار می‌گیرد. جهت حل معادلات حاکم از روش‌حجم محدود و مدل شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ استفاده می‌شود. به همین منظور، ابتدا جهت بررسی مدل‌های زیرشبکه مختلف جریان درون کانال مورد بررسی قرار می‌گیرد. در ادامه جهت اعتبارسنجی و نشان‌دادن دقت روش‌های عددی، شبیه‌سازی جریان بر روی ریبلت و سطوح آب‌گریز صورت می‌گیرد. کاهش درگ با استفاده از ریبلت و سطوح آب‌گریز با نتایج شبیه‌سازی عددی مستقیم مقایسه می‌شود. همچنین جهت بدست آوردن نتایج در مساله نهایی، شبکه‌های مختلف بررسی می‌شود. در انتها جریان مغشوش بر روی سطوح ریبلتی آب‌گریز در طول لغزش‌های مختلف مطالعه می‌شود و تاثیر این نوع پوشش بر روی پارامترهای توربولانسی و کاهش درگ تعیین می‌گردد.

کلمات کلیدی: کاهش درگ، سطوح آبگریز، ریبلت، شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- کنترل جریان ۲

۱-۳- نیروهای وارد بر شناور در آب ۴

۱-۳-۱- مقاومت اصطکاکی ۴

۱-۳-۲- مقاومت باقیمانده ۴

۱-۳-۳- مقاومت هوا ۵

۱-۴- روش‌های کاهش درگ اصطکاکی ۶

۱-۴-۱- هواکاری ۶

۱-۴-۱-۱- حفره هوا ۶

۱-۴-۱-۲- میکروحباب‌ها ۷

۱-۴-۱-۳- فیلم هوا ۹

۱-۴-۲- محلول‌های پلیمری ۱۰

۱-۴-۳- محلول‌های سورفکتانت ۱۲

۱-۴-۴- پوشش‌های تطبیقی ۱۳

۱-۴-۵- ریبلت‌ها ۱۵

۱-۴-۵-۱- نقش ریبلت‌ها در کاهش درگ ۱۵

۱-۴-۵-۲- شکل ریبلت‌ها ۱۶

۱-۴-۵-۳- کاربرد ریبلت‌ها جهت کاهش درگ ۱۷

۱-۴-۶- پوشش‌های کاهش‌دهنده درگ ۱۸

۱-۴-۶-۱- پوشش‌های دریایی ۱۸

۱-۴-۶-۲- پوشش‌های آب‌گریز و فوق‌آب‌گریز ۱۹

فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته ۲۴

۲-۱- مقدمه ۲۵

۲-۲- انتخاب ابعاد ریبلت بر پایه پارامترهای بی‌بعد ۲۵

۲-۳- مطالعات آزمایشگاهی و عددی در زمینه ریبلت‌ها ۲۷

۲-۴- مطالعات آزمایشگاهی و عددی بر روی سطوح آب‌گریز و فوق‌آب‌گریز ۲۹

۲-۵- اهداف تحقیق ۳۰

فصل سوم: معادلات حاکم و روش‌های حل عددی ۳۲

۳-۱- مقدمه ۳۳

۳-۲- معادله بقای جرم ۳۳

۳-۳- معادله بقای اندازه حرکت خطی ۳۳

۳-۴- آشفتگی ۳۴

۳-۴-۱- میانگین‌گیری رینولدز ۳۴

۳-۴-۲- معادلات ناویر-استوکس فیلتر شده ۳۶

۳-۴-۳- فیلتر کردن ۳۷

۳-۴-۴-مدل‌های مقیاس زیرشبکه ۳۹

۳-۴-۴-۱- مدل اسماگروینسکی-لیلی ۳۹

۳-۴-۴-۲- مدل اسماگروینسکی-لیلی دینامیک ۴۰

۳-۴-۴-۳- مدل لزجت گردابی موضعی تطبیق‌شونده با دیوار (WALE) ۴۰

۳-۴-۴-۴- مدل زیرشبکه انرژی جنبشی دینامیک ۴۰

۳-۴-۵- رفتار نزدیک دیواره در مدل LES ۴۱

۳-۴-۶- مدل DES ۴۲

فصل چهارم: نتایج عددی ۴۳

۴-۱- مقدمه ۴۴

۴-۲- شبیه‌سازی جریان مغشوش در یک کانال ۴۴

۴-۲-۱- شرح مساله و دامنه محاسباتی ۴۴

۴-۲-۲- روش‌های عددی ۴۶

۴-۲-۳- نتایج و بحث ۴۶
۴-۳- شبیه‌سازی جریان مغشوش بر روی ریبلت ۵۰
۴-۳-۱- دامنه محاسباتی و شبکه حل ۵۰
۴-۳-۲- روش‌های عددی ۵۱
۴-۳-۳- نتایج و بحث ۵۲
۴-۴-شبیه‌سازی جریان مغشوش در یک کانال با دیوارههای آب‌گریز ۵۷
۴-۴-۱- شرح مسئله و دامنه محاسباتی ۵۷
۴-۴-۲- روش‌های عددی ۵۸
۴-۴-۳- نتایج و بحث ۵۸
۴-۵- شبیه‌سازی جریان بر روی ریبلت دارای خاصیت آب‌گریزی ۶۰
۴-۵-۱- شرح مساله و دامنه محاسباتی ۶۰
۴-۵-۲- روش‌های عددی ۶۱
۴-۵-۳- نتایج و بحث ۶۱
فصل پنجم: جمع‌بندی و پیشنهادها ۷۲
۵-۱- جمع‌بندی و نتیجه گیری ۷۳
۵-۲- پیشنهادها ۷۵
پیوست آ: ماتریس تبدیل بین دو مختصات کارتزین ۷۶
مراجع ۸۰

فهرست جدول‌ها

جدول ۱-۱ محلول‌های پلیمری کاهنده درگ ۱۱

جدول ۴-۱ مقایسه مدل‌های زیرشبکه مختلف ۴۷

جدول ۴-۲ سه نوع شبکه انتخاب‌شده جهت بررسی استقلال حل جریان بر روی ریبلت ۵۱

جدول ۴-۳ کاهش درگ مشاهده شده در سه شبکه مختلف ۵۳

جدول ۴- ۴ تغییرات سرعت لغزش و درگ با طول لغزش (طول بی‌بعد لغزش L_s^+ بر پایه $u_{\tau f}$ می‌باشد) ۶۲

جدول ۴-۵ درگ بدست آمده در حالات مختلف و مقایسه با نتایج شبیه‌سازی عددی مستقیم ۷۱

فهرست شکل‌ها

شکل ۱- ۱ یک کشتی کانتینربر ۳

شکل ۱- ۲ مقایسه مؤلفه‌های نیروی وارد بر سه نوع شناور تجاری [۶] ۵

شکل ۱- ۳ روش‌های کاهش درگ اصطکاکی ۶

شکل ۱- ۴ یک مدل کشتی دارای حفره هوا [۷] ۷

شکل ۱- ۵تولید میکروحباب‌های هیدروژن حول جسم دوکی شکل [۸] ۷

شکل ۱- ۶ ضریب درگ کلی محاسبه‌شده با میکروحباب و بدون میکروحباب هیدروژن در اعداد رینولدز مختلف و با استفاده از جریان الکتریکی (بر حسب آمپر) [۸] ۸

شکل ۱- ۷ کاهش مقاومت با تزریق میکروحباب‌ها به یک صفحه ۵۰ متری [۹] ۹

شکل ۱- ۸ وابستگی زاویه فیلم هوای **V** شکل به نرخ خروجی هوا [۷] ۱۰

شکل ۱- ۹ کاهش مقاومت مدل با افزایش نرخ دمش هوا [۷] ۱۰

شکل ۱-۱۰ یک مایسل کروی. دم‌های چربی‌دوست مولکول‌های سورفکتانت بدلیل آب‌گریز بودن در مرکز مایسل و سرهای قطبی مایسل بدلیل آب‌دوست بودن پیرامون کره قرار می‌گیرند. این مایسل هم در آب و هم در چربی حل می‌شود [۱۰]. ۱۲

شکل ۱- ۱۱ مدل و پوشش کرامر- ابعاد بر حسب **mm** [۱۱]. ۱۴

شکل ۱- ۱۲ یک مدل از پوشش‌های تطبیقی و نمونه ساخته شده بر اساس آن [۱۲-۱۳] ۱۵

شکل ۱- ۱۳ ریبلت‌های روی چند نوع کوسه سریع [۱۴] (طول خط ابعاد: ۰/۵ میلیمتر) ۱۷

شکل ۱- ۱۴ خزه سنگین بر روی بدنه دو شناور [۱۶] ۱۸

شکل ۱- ۱۵ زاویه تماس بر روی سطح آب‌دوست (راست) و سطح آب‌گریز (چپ) [۱۸] ۲۰

شکل ۱- ۱۶ **a**) قطرات آب بر روی نیلوفر [۱۹] آبی **b**) تصاویر **SEM** با سه بزرگنمایی نشان‌دهنده ساختار ریخت‌شناسی برگ لوتوس در ابعاد میکرو و نانو [۱۷] ۲۰

شکل ۱- ۱۷ **a**) شماتیکی از هوای به‌دام‌انداخته شده بین ریزساختارهای سطح فوق‌آبگریز؛ سطح میانجی هوا-آب، ناحیه بدون تنش برشی میباشد که سطح خیس‌شده را کاهش میدهد. در این نواحی سیال می‌تواند لغزش قابل ملاحظه‌ای را متحمل شود **b**) فاصله بین هر شیار $60\mu m$ و عمق آن $25\mu m$ و فاصله بین هر دو شیار از هم $60\mu m$ میباشد [۲۰]. ۲۱

شکل ۱-۱۸-الف) نمونه‌ای از دستگاه اعمال رنگ [۲۲] ۲۳

شکل ۱-۱۸-ب) نمونه از سطح رنگ ریبلتی تولید شده در **IFAM** [۲۲] ۲۳

شکل ۲-۱ کاهش درگ برای سه نوع ریبلت بر طبق پارامتر بی‌بعد s^+ [۲۵]. همان‌طور که مشاهده می‌شود کاهش درگ بیشینه در s^+ ۱۸-۱۵ رخ می‌دهد ۲۶

شکل ۲-۲- بهترین هندسه‌های ریبلت از نظر کاهش درگ به ترتیب از چپ به راست: دنـدان‌اره‌ای، حلزونـی‌شـکل و تیغه‌ای [۳۱]. ۲۷

شکل ۲-۳ آشکارسازی گردابه‌های در راستای جریان در مقطع عرضی جریان بر روی ورق تخت (بالا) و ریبلت (پـایین) a و c) در حالت کاهش درگ b و d) در حالت افزایش درگ [۳۳] ۲۸

شکل ۲-۴ طول لغزش برای سطوح مختلف در جریان آرام با استفاده از جریان آب [۴۰] ۳۰

شکل ۴-۱ دامنه محاسباتی جهت حل جریان درون کانال ساده ۴۵

شکل ۴-۲ تاریخچه زمانی ضریب درگ لحظه‌ای و ضریب درگ میانگین لحظه‌ای (مدل WALE) ۴۸

شکل ۴-۳ نمودار $u^+ - y^+$ برای مدل‌های زیرشبکه مختلف ۴۸

شکل ۴-۴ نمودار u_{rms} در عرض کانال ۴۹

شکل ۴-۵ نمودار v_{rms} در عرض کانال ۴۹

شکل ۴-۶ نمودار w_{rms} در عرض کانال ۵۰

شکل ۴-۷ دامنه محاسباتی و سیستم مختصاتی ۵۱

شکل ۴-۸ نمای $y - z$ شبکه عددی B ۵۲

شکل ۴-۹ ضریب درگ لحظه‌ای و میانگین برای صفحه تخت و ریبلت. کاهش درگ مشاهده شده حدود ۸/۶ درصد می‌باشد ۵۳

شکل ۴-۱۰-آ. نوسانات سرعت در راستای جریان بی‌بعد شده با سرعت میانگین مرکز ۵۴

شکل ۴- ۱۰-ب. نوسانات سرعت عمودی بی‌بعد شده با سرعت میانگین مرکز ۵۵

شکل ۴- ۱۰-ج. نوسانات سرعت عرضی بی‌بعد شده با سرعت میانگین مرکز ۵۵

شکل ۴- ۱۱ کانتور نوسانات سرعت در صفحه $y - z$ بترتیب از بالا به پایین: در راستای جریان، عمودی و عرضی. دامنه کانتورها از سطح ریبلت تا دیواره بالایی کانال می‌باشد. ۵۶

شکل ۴-۱۲ هندسه جریان جهت حل جریان درون یک کانال با دیواره‌های آب‌گریز ۵۷

شکل ۴-۱۳ نمودار $u^+ - y^+$ در $L_s^+ = 0.891$ ۵۸

شکل ۴-۱۴ نمودار u_{rms} بر حسب واحد دیواره در $L_s^+ = 0.891$ ۵۹

شکل ۴-۱۵ نمودار v_{rms} بر حسب واحد دیواره در $L_s^+ = 0.891$ ۵۹

شکل ۴-۱۶ نمودار w_{rms} بر حسب واحد دیواره در $L_s^+ = 0.891$ ۶۰

شکل ۴- ۱۷ کانتور سرعت لغزش در راستای x بر روی ریبلت و دیواره تخت در $L_s^+ = 1.8$ ۶۳

شکل ۴-۱۸ کانتور سرعت لغزش در راستای z بر روی ریبلت و دیواره تخت در $L_s^+ = 1.8$ ۶۴

شکل ۴- ۱۹ بردارهای سرعت جریان عرضی (v, w) و کانتور های گردابه در راسـتای جریـان در صـفحه $y - z$ بـرای حالت ریبلت با شرط عدم لغزش ۶۵

شکل ۴-۲۰ بردارهای سرعت جریان عرضی (v, w) و کانتور های گردابه در راستای جریان در صفحه $y - z$ برای $L_s^+ = 1.8$ (شکل بالا: صفحه تخت، شکل پایین: ریبلت) ۶۶

شکل ۴- ۲۱ نمای سه بعدی قدرت گردابه‌ها برای حالت ریبلت با شرط عدم لغزش ۶۷

شکل ۴- ۲۲ نمای سه بعدی قدرت گردابه‌ها برای حالت ریبلت با طول لغزش بی‌بعد $L_s^+ = 1.8$ ۶۸

شکل ۴- ۲۳ کانتور نوسانات سرعت در صفحه $y - z$ برای حالت آب‌گریز ($L_s^+ = 1.8$) بترتیب از بالا به پایین: در راستای جریان، عمودی، عرضی. ۶۹

شکل ۴- ۲۴ مقایسه کاهش درگ در طول لغزش‌های مختلف برای حالت آب‌گریز، ریبلت آب‌گریز و کلی ۷۱

شکل آ.۱ بردارهای یکه متناظر با دو مختصات کارتزین ۷۶

شکل آ.۲- مختصات $y' - z'$ بر روی یک سطح شیب‌دار. محور x به سمت بیرون می‌باشد ۷۸

فهرست نشانه‌های اختصاری

سطح صفحه تخت	A_f
سطح ریبلت	A_r
عرض شیار خروج هوا	B_a
ضریب اصطکاک	C_f
ضریب درگ صفحه تخت	C_{df}
ضریب درگ ریبلت	C_{dr}
ثابت اسماگرویسکی	C_s
مقدار پیش‌فرض ثابت WALE	$C_w = 0.325$
درگ لحظه‌ای وارد بر صفحه تخت	D_f
درگ لحظه‌ای وارد بر ریبلت	D_r
قطر هیدرولیکی کانال- فاصله تا نزدیک‌ترین دیواره در مدل اسماگروینسکی	d
مدل شبیه‌سازی گردابه‌های جدا شده	DES
مدل انرژی جنبشی دینامیک	DKE
شبیه‌سازی عددی مستقیم	DNS
مدل اسماگروینسکی-لیلی دینامیک	DSM
تابع فیلتر	G
ارتفاع شیار	h
ارتفاع بی‌بعد شیار	$h^+ = \frac{hu_\tau}{\nu}$
انرژی جنبشی آشفتگی	$k = \frac{1}{2}\overline{u_i' u_j'}$
انرژی جنبشی SGS	$k_{sgs} = \frac{1}{2}\left(\overline{u_k^2} - \overline{u}_k^2\right)$
مدل انرژی جنبشی دینامیک موضعی	LDKEM
شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ	LES
طول لغزش- طول اختلاط برای مقیاس‌های زیرشبکه (فصل ۴)	L_s
طول لغزش بی‌بعد	L_s^+
قسمت در میلیون	ppm
نرخ خروج هوا	Q_a
مقاومت کلی شناور	R
مقاومت هوا	R_{AA}
معادلات ناویر استوکس میان‌گیری شده	RANS
عدد رینولدز بر اساس u_c	$Re_c = \frac{u_c \delta}{\nu}$
عدد رینولدز بر اساس u_m	$Re_m = \frac{u_m \delta}{\nu}$
عدد رینولدز بر اساس سرعت تنش دیواره	$Re_\tau = \frac{u_\tau \delta}{\nu}$
مقاومت اصطکاکی شناور	R_F

مقاومت باقیمانده شناور	R_R
فاصله دو شیار	s
فاصله بی‌بعد دو شیار	$s^+ = \frac{su_\tau}{\nu}$
تنش‌های مقیاس زیرشبکه	SGS
کوپلیمر خود صیقل‌شونده	SPC
واحد معادل یک کانتینر ۲۰ فوتی	TEU
سرعت در راستای x	u
سرعت در راستای x (بی‌بعد شده)	$u^+ = \frac{u}{u_\tau}$
سرعت میانگین در مرکز	u_c, U_c
سرعت توده میانگین	u_m
سرعت نوسانی در راستای x	u_{rms}
سرعت لغزش در راستای x	u_s
سرعت تنش دیواره	$u_\tau = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$
سرعت در راستای y	v
سرعت نوسانی در راستای y	v_{rms}
سرعت مدل-سرعت متوسط جریان- حجم سلول محاسباتی	V
سرعت در راستای z	w
سرعت نوسانی در راستای z	w_{rms}
مدل لزجت گردابی موضعی تطبیق‌شونده با دیوار	WALE
سرعت لغزش در راستای z	w_s
فاصله از دیواره بصورت بی‌بعد	$y^+ = \frac{yu_\tau}{\nu}$
زمان بی‌بعد	$\Delta t^+ = \frac{tu_{\tau f}^2}{\nu}$
فاصله بی‌بعد شبکه در راستای x	$\Delta x^+ = \Delta x u_\tau / \nu$
فاصله بی‌بعد شبکه در راستای y	Δy^+
فاصله بی‌بعد شبکه در راستای z	Δz^+
تابع ترکیب	Γ
نصف عرض کانال	δ
ثابت ون‌کارمن	κ
ویسکوزیته سینماتیکی	ν
چگالی سیال	ρ
تنش برشی دیواره	τ_0
تنش برشی دیواره	τ_w
گرادیان فشار	$\frac{\partial p}{\partial x}$

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

در سال‌های اخیر همانند حمل و نقل زمینی و هوایی، در زمینه حمل و نقل دریـایی نیـز دسـتیابی بـه سرعت‌های بالا مورد توجه قرار گرفته است. این اشتیاق به خصوص در مورد شناورهای تجـاری بیشـتر به چشم می‌خورد. کاهش نیروی درگ در برابر حرکت اجسام غوطه‌ور در آب نظیر کشتی‌هـا، امکـان دستیابی به سرعت‌های بالاتر و نیز کاهش مصرف سوخت را فراهم می‌آورد.

در این فصل روش‌های کاهش درگ، با هـدف بیـان روش‌هـای عملـی بـرای کـاهش نیـروی درگ شناورهای تجاری مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین جهت ابتدا نیروهای وارد بر اجسام شناور بیان شـده و سپس با توجه به سهم بسیار بالای مقاومت اصطکاکی به بیان روش‌های کـاهش ایـن مقاومـت مـی-پردازیم. همچنین، مزایا، معایب و مکانیزم هر یک از روش‌های کاهش درگ بیان می‌شود. بـا توجـه بـه موضوع این پایان‌نامه، کاهش درگ بوسیله ریبلت و سطوح آب‌گریز به تفصیل مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

۱-۲- کنترل جریان

کنترل جریان، دست‌کاری میدان جریان جهت بدست آوردن تغییـرات مطلـوب مـی‌باشـد، کـه از نظـر تکنولوژیکی دارای اهمیت بسیار بالایی است. این تغییرات مطلوب شـامل کـاهش درگ، کـاهش نـویز، تأخیر انتقال، بهبود نیروی برا، به تعویق انداختن جدایش و ... می‌باشد. سودمندی بهبود سیسـتم‌هـای کنترل جریان از صرفه‌جویی بیلیون دلاری سوخت در وسایل زمینی، دریایی و هـوایی تـا دسـتیابی بـه صنایع سازگارتر با محیط زیست را شامل می‌شود [۱].

کنترل جریان با توجه به مصرف انرژی یا استفاده از توان کمکی به دو دسـته فعـال[1] و غیـر فعـال[2] دسته‌بندی می‌شود. در کنترل فعال از انرژی یا توان کمکی برای دست‌کاری جریان استفاده مـی‌شـود، در حالی که در کنترل جریان غیرفعال از هیچ توان کمکی (خارجی) استفاده نمی‌شـود. در طـول دهـه گذشته تمرکز بیشتر بر بکارگیری روش‌های فعال بوده است. کنترل جریان غیرفعال شامل شـکل‌دهـی هندسی برای دست‌کاری گرادیان فشار، استفاده از تولید کننده‌هـای گردابـه (از نظـر مکـانیکی) ثابـت برای کنترل جدایش یا استفاده از شیارهای طولی یا ریبلت[3]ها روی سطح برای کاهش درگ مـی‌باشـد [۲].

[1] Active
[2] Passive
[3] Riblet

یکی از مهم‌ترین اهدافی که از کنترل جریان دنبال می‌شود کاهش درگ می‌باشد. مسئله کاهش نیروی درگ در برابر حرکت اجسام داخل یک سیال و در نتیجه، امکان دستیابی به سرعت‌های بالاتر و نیز کاهش مصرف سوخت، یا منابع مورد نیاز انرژی برای حرکت جسم، از دیرباز مورد توجه محققان بوده است. از سوی دیگر کاهش نیروی مقاوم یا درگ، علاوه بر موارد فوق، امکان طی مسافت‌های بیشتر به ازای دفعات کمتر سوخت‌گیری، میزان آلودگی کمتر محیط، همچنین بالا رفتن عمر کارکرد تجهیزات را به دنبال دارد.

علاوه بر این، تکنولوژی‌های کاهش درگ چندین مزیت عملیاتی و تاکتیکی را برای شناورها ارائه می‌دهد، چرا که کاهش درگ باعث تأخیر در انتقال از لایه مرزی آرام به مغشوش می‌شود، یعنی تا سرعت‌های بیشتری جریان آرام باقی می‌ماند. با توجه به اینکه جریان مغشوش عامل اصلی نویز خودساخته[1] زیردریایی است و این نویزها باعث افزایش شناسایی اکوستیکی زیردریایی و اختلال در سیستم سونار زیردریایی می‌شوند، تکنولوژی‌های کاهش درگ، در افزایش توانایی‌های سیستم سونار سهم بسزایی دارند، ضمن اینکه شناسایی اکوستیکی زیردریایی را در سطح پایینی نگه می‌دارند [۳].

در این فصل قصد داریم روش‌های کاهش درگ اجسام غوطه‌ور در آب را با هدف بیان روش‌های عملی برای کاهش درگ شناورهای تجاری، مورد بررسی قرار دهیم. با توجه به این موضوع، اهمیت کاهش درگ وارد بر یک کشتی کانتینربر (شکل ۱-۱)، بیان می‌گردد.

شکل ۱- ۱ یک کشتی کانتینربر

[1] Self-noise