

شبیه‌سازی عددی اثر میکروریبلت‌ها بر پارامترهای

هیدرودینامیکی شناورهای پروازی

علی‌رضا حیدریان^۱، مهدی ریشه‌ری^۲، علی‌رضا کاظمی‌پور^۳

^۱ کارشناسی ارشد هیدرومکانیک کشتی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر؛ Alireza_heydarian2008@yahoo.com

^۲ کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف؛ mahdirishehri@gmail.com

^۳ کارشناسی مهندسی دریا، دانشگاه خلیج فارس بوشهر؛ al.kazemipour@mehr.pgu.ac.ir

(تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۵/۵/۱۲)

چکیده:

امروزه، با توجه به اهمیت انرژی و سرعت در سطح جهان و با در نظر گرفتن محدودیت انرژی جهان، در مباحث مربوط به بهینه‌سازی انرژی همواره باید بهترین حالت‌ها را برای طراحی در نظر گرفت. در بحث صنعت دریایی و با توجه به گسترده‌ی مرزهای آبی کشور و در نظر گرفتن موقعیت استراتژی خاص منطقه همواره باید به دنبال راهی جهت کاهش مصرف انرژی و افزایش سرعت شناورهای تندرو بود. در این بررسی، طبیعت به عنوان راهنمایی جهت رسیدن به هدف مورد استفاده قرار گرفته است. با بررسی سطح پوست جانوران پُرسرعت دریایی نظیر کوسه و دلفین، ایده‌ی استفاده از سطوح ریبلت‌دار به وجود آمد. جهت مطالعه اثرات ریبلت‌ها از نرم‌افزار آنسیس CFX استفاده شده است. ریبلت‌ها بر روی یک ورق پروازی شبیه‌سازی شده و اثرات آنها مورد مطالعه قرار گرفته است. بر اساس نتایج آزمایشگاهی به دست آمده از آزمایش‌های عملی در حوضچه‌های کشش به اعتبارسنجی شبیه‌سازی‌های انجام شده پرداخته شده است. بر اساس نتایج حاصل از نرم‌افزار، ریبلت‌ها می‌توانند در حالت دوفازی تا شش درصد کاهش درگ برای ورق پروازی داشته باشند.

کلمات کلیدی:

پارامترهای هیدرودینامیکی، ورق پروازی، کاهش درگ، ریبلت، آنسیس CFX، شبیه‌سازی دو فازی.

Numerical Simulation of the Effects of Micro Riblets on Hydrodynamics Parameters of Planning Vessels

Alireza Heydarian^{1,*}, Mahdi Rishehri², Ali Dehghanian³, Alireza Kazemipour³

^{1,*} Master Student, Persian Gulf University of Bushehr, Iran; al.heydarian@mehr.pgu.ac.ir

² Master of Science, Sharif University of Technology, Iran; mahdirishehri@gmail.com

³ PhD Student, Amirkabir University of Technology; dehghanian@aut.ac.ir

⁴ Undergraduate students, Persian Gulf University of Bushehr, Iran; al.kazemipour@mehr.pgu.ac.ir

(Submitted: 2016/July/20; Accepted: 2016/Aug/2)

Abstract

Nowadays, considering the importance of the energy and speed in the world as well as the limited available energy, the optimum condition should be always considered in designing. In the field of marine industry, considering the length of the water constraints of our country and special strategic situation of the region, there should be an ongoing attempt to reduce energy consumption and increase speed of the high speed crafts. In this research, nature has been used as a guide to reach our target. Study of the skin of the fast marine's faunas such as sharks and dolphins, has generated the idea of riblet covered surfaces. Various riblet surfaces made in the world and currently used has been studied and ANSYS-CFX has been used to study their performance. In this study riblets applied on planning plate and investigated the effects on hydrodynamics parameters. The results has been validated with the experimental results performed in the towing tank. Riblets can reduce the drag up to 6% in the two phase condition.

Keywords: Hydrodynamics Parameters, Planning plate, Riblet, ANSYS CFX, Drag Reduction.

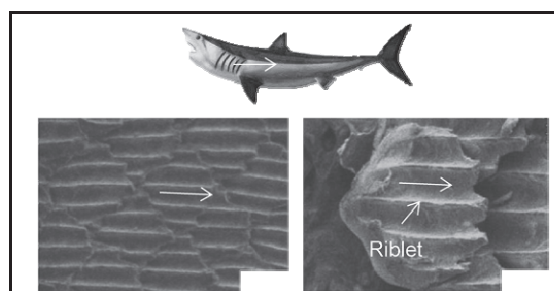
در دانش قدیمی اما نوظهور الهام‌گیری از طبیعت، همواره طبیعت مورد سؤال قرار می‌گیرد. در این راستا جهان آفرینش از سه طریق برای مشکلات و مسائل راه‌حل خود را ارائه می‌کند: در روش اول، طبیعت به عنوان یک راهنما در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب سیر دستیابی به هدف را روشن می‌سازد. در شیوه دوم، طبیعت به عنوان مدل در نظر گرفته می‌شود و دقیقاً مورد الگوبرداری قرار می‌گیرد. در آخرین روش، راه‌حل طبیعت به عنوان راه‌حل معیار در نظر گرفته شده و از آن برای محک زدن راه‌های دیگر استفاده می‌شود. جستجو و تحقیق بر روی روش‌های کاهش درگ در دو سه دهه گذشته به طور قابل ملاحظه‌ای مورد توجه واقع شده است. در زمینه‌ی شناورهای تندرو بسته به نوع سایز آن، درگ اصطکاک سطحی و یا ویسکوز در حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد از درگ کل تحت شرایط کروز محاسبه می‌شود. امروزه، انرژی و مشکلات محیطی امری بسیار جدی می‌باشد و با توجه به این که بهبود بخشیدن بازدهی انرژی به منظور نقل و انتقالات توسط وسایل نقلیه متفاوت بسیار مهم است، یکی از راه‌های افزایش راندمان، کاهش درگ اصطکاک است که سهم زیادی از درگ کل را در وسایل حمل و نقل در برمی‌گیرد [۱]. از روش‌های الهام‌گرفته‌شده از طبیعت استفاده از ریلتهای سطح پوست کوسه به منظور کاهش درگ می‌باشد. برای برخی از افرادی که بر روی کوسه‌ها و سطح آنها مطالعه کرده‌اند، همیشه این گمان وجود داشته است که چه ویژگی در سطح پوست کوسه‌ها موجود است که با این جثه‌ی بزرگ می‌تواند با سرعت زیادی حرکت کنند. علاقه به بررسی علمی هیدرودینامیک جانوران پُرسرعت دریایی به سال ۱۹۳۶ برمی‌گردد که گری تحلیل خود را از رفتار دلفین منتشر کرد. این عقیده پذیرفته شده بود که سرعت شنای آنها 9 m/s است. گری بدن یک دلفین را روی یک طرف صفحه مسطح به طول ۲ متر مدل کرد. عدد رینولدز متناظر از 2×10^6 تا 3×10^6 تجاوز نکرد. بر طبق این بحث گری فرض کرد، جریان غالباً درهم است و بنابراین، دلفین نیروی درگ زیادی را متحمل می‌شود. چنانچه در سرعت 9 m/s عضلاتش مجبور است توانی هفت برابر توان دیگر موجودات دریایی را تحمل کند. این مطلب او و دیگران را مجاب ساخت که

دلفین قادر است جریان حول خود را آرام نگه دارد [۲]. این موضوع به نام تناقض گری مشهور شد. با دقت در جزئیات متوجه می‌شویم که در ۱۹۳۶ گری نمی‌توانسته از اثر گرادیان فشار خارج از لایه‌ی مرزی آگاه باشد. در سال ۱۹۵۰ کرامر یک مطالعه دقیق روی پوست دلفین ارائه کرد و یک پوشش هم جهت نزدیک به آن که خواص اساسی آن را داشت، طراحی کرد [۳]. پوشش‌های هم جهت کرامر از لاستیک طبیعی خیلی نرم ساخته شده بود و او اثرات چربی، بیشتر مرطوب شده را با وارد کردن یک لایه روغن سیلیکون خیلی لزج داخل سوراخ‌هایی که با پُرزهای کوتاه تشکیل شده، شبیه‌سازی کرد. او کاهش پسای تا ۶۰٪ را در آب دریا در سرعت m/s ۱۸ اجرا کرد. به عنوان یک مثال تاریخی دیگر از کاربرد تکنولوژی کاهش درگ می‌توان به مسابقات فینال قایقرانی جام آمریکا در سال ۱۹۸۶ اشاره کرد که دنیس کرنر در آن پیروز شد [۴]. بعد از این پیروزی، او از ابزار مرموزی که روی بدنه قایق برای کاهش درگ ایجاد کرده بود، پرده برداشت که در سرتاسر جهان در روزنامه‌ها بازتاب زیادی داشت. بعد از این ماجرا مؤسسات دفاعی در چندین کشور تحقیقات طبقه‌بندی‌شده‌ی گسترده‌ای را در این زمینه ترتیب دادند. ابزار مرموز به کار رفته همان شیارهایی بودند که با ممانعت از گسترش گردابه مانع توسعه اغتشاش و در نتیجه کاهش درگ می‌شدند و افزایش سرعت را به دنبال داشت. "چوی و همکاران" در سال ۱۹۹۳ به استفاده از شبیه‌سازی عددی مستقیم به بررسی مکانیزم کاهش درگ به وسیله ریلته پرداختند [۵]. در این شبیه‌سازی جریان بین یک کانال که سطح پایینی آن ریلته بود مورد بررسی قرار گرفت. نتایج این شبیه‌سازی توافق خوبی با نتایج والش داشت. ضمن اینکه پارامترهای توربولانسی و تنش‌های رینولدز با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شدند.

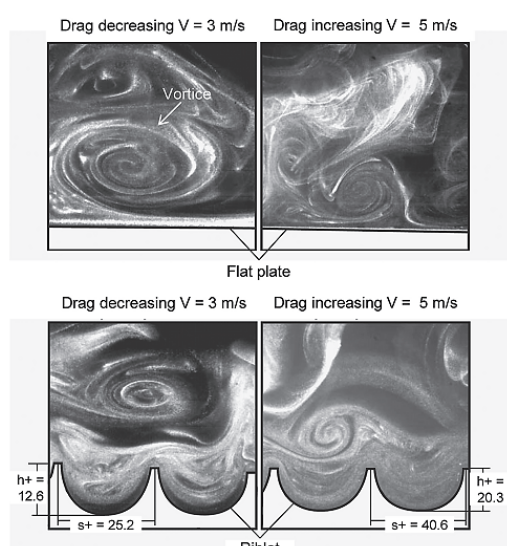
۲- الهام از پوست کوسه

سطح پوست کوسه‌ها به طور طبیعی از میکروذراتی ساخته شده است که می‌توانند گردابه‌ها را کنترل کنند. این کنترل گردابه‌ها سبب کاهش انتقال ممنتوم و تنش برشی و در نهایت موجب کاهش درگ خواهد شد. با بررسی یک کوسه‌ی پُرسرعت (کوسه‌های ماکو از این نوع هستند)، به بررسی ویژگی‌های سطحی آنها خواهیم

رسید. سطح پوست کوسه از قطعاتی هم‌اندازه به نام ریبلت و دندانها^۱ تشکیل شده است. بر اساس شکل ۱، این دندانها موازی و هم جهت با حرکت شای کوسه‌ها می‌باشد. اندازه و نحوه قرارگیری این ریبلت‌ها روی سطح بر روی مکانیزم کاهش درگ تأثیرگذار می‌باشد [۶]. اگرچه خواص عملکردی پوست کوسه سبب جلب توجه اهمیت آن هم برای زیست‌شناسان و هم برای مهندسين شده است، اما ساختار هیدرودینامیکی پیچیده سطح پوست آن سبب شده تا به امروز هیچ مطالعه‌ی دقیقی از ساختار پوست کوسه به دست نیامده است. زیست‌شناسان به مطالعه میکرو ساختارها پرداختند و مهندسين علاقه‌مند به بررسی ویژگی‌های سطحی مؤثر در کاهش درگ شدند.



شکل (۱): نحوه‌ی قرارگیری ریبلت‌ها در مسیر جریان [۶].



شکل (۲): جریان اطراف صفحه تخت و صفحه ریبلت‌دار.

ریبلت‌ها یا همان شیارهای منظم بر روی سطح بدنه، هم جهت با جهت جریان آزاد است.

۳- اثر ریبلت‌ها

اخیراً چند تن از دانشمندان به بررسی فیزیکی نحوه عملکرد ریبلت‌ها پرداخته‌اند. یکی از آنها بیکسلر از پروفیسورها و محققین آزمایشگاه نانوتکنولوژی کانادا می‌باشد [۵]. به عقیده‌ی بیکسلر جریان‌های سیال توسط دو جریان آرام و مغشوش توصیف می‌شوند. جریان آرام به صورت هموار و پیوسته و جریان مغشوش به صورت تصادفی و راندوم می‌باشد. به علاوه، جریان آرام توسط نیروی ویسکوز بین مولکول‌های سیال کنترل می‌شوند. این در حالی است که جریان‌های توربولنت توسط نیروهای اینرسی کنترل می‌شوند. گردابه‌ها در جریان مغشوش سبب افزایش حرکت مولکول‌ها و در نتیجه تنش برشی و انتقال ممنتوم و در نهایت افزایش درگ می‌شوند.

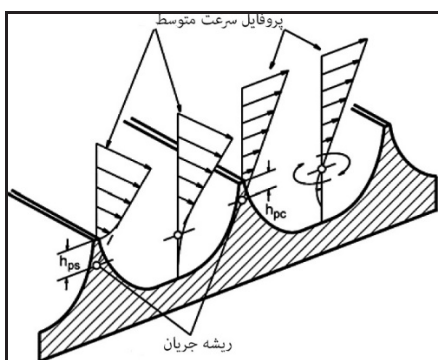
ریبلت‌ها اولین بار توسط یک کمپانی آمریکایی با نام کمپانی (3M) ساخته شدند. جنس این شیارها از پلی‌وینیل‌فلوراید است و به وسیله‌ی فرآیندهای ریخته‌گری ساخته می‌شود. ریبلت‌ها به اندازه‌ی کافی انعطاف‌پذیرند، زیرا باید امکان کاربرد آنها بر روی سطوح انحنادار امکان‌پذیر باشد و همچنین، محکم به سطح بچسبند. قالب شیارها ریز و دارای نوک‌های نسبتاً تیزی می‌باشد که به شیارهای V-شکل معروف هستند. تکثیر این الگو با تکنیک قالب‌گیری پی.دی.ام.اس^۲ است تا بتوانیم ام.آ.راف^۳ را بسازیم [۷]. مشخصات سطوح شیاردار طولی توسط والش مورد آزمون قرار گرفت [۸]. شیارهای منظمی که در ایرکرافت‌ها کاربرد دارند، بررسی می‌شوند. سال‌های زیادی تحقیقات گسترده بر روی شیارهای منظم در مرکز تحقیقات ناسا در آمریکا انجام شده است.

روی هر سطحی که با سیال در تماس است لایه‌ی مرزی تولید شده و گسترش می‌یابد. ساختار سیال در این لایه با قسمت‌های دیگر سیال متفاوت می‌باشد. در روی سطح جسم بر اساس فرضیه عدم لغزش سرعت برابر صفر در نظر گرفته می‌شود تا جایی که در انتهای لایه‌ی مرزی سرعتی برابر سرعت جریان سیال خواهد داشت. جریان مغشوش که در اغلب سیستم‌های با سرعت شناوری بالا اتفاق می‌افتد، سبب افزایش درگ اصطکاکی می‌گردد.

^۱ Denticles

^۲ Poly Dimethyl Siloxan (PDMS)

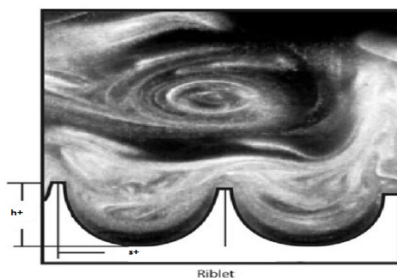
^۳ Micro Riblet Film



شکل (۳): پروفیل سرعت در راستا و عمود بر جریان [۹].

با توجه به آزمایش‌های صورت گرفته و تصاویر حاصل از آزمایش‌ها، ریبلت‌ها از دو طریق درگ را کاهش می‌دهند، ابتدا با ایجاد مانع برای گذار گردابه‌ها از زیر لایه‌ی ویسکوز به بیرون و افزایش تنش برشی و در نتیجه افزایش درگ و دوم با لیفت گردابه‌های سطحی به بالاتر و کاهش اثرات متقابل این گردابه‌ها بر سطح جسم شناور می‌باشد.

با توجه به شکل ۴، گردابه‌های موجود در جریان در نزدیکی سطح که از عوامل مهم ایجاد درگ هستند، در اثر استفاده از سطوح ریبلت‌دار از سطح فاصله گرفته و تنها با مساحت‌های کوچکی در نوک ریبلت‌ها در تماس با سرعت زیاد جریان خواهند بود و از طرف دیگر در درون گودی‌های ریبلت‌ها سرعت جریان عبوری به شدت کاهش یافته و در نتیجه کاهش سرعت، تنش برشی و در نهایت درگ کاهش می‌یابد. لازم به ذکر است که امکان انتقال گردابه به درون گودی‌ها وجود دارد. اما به علت پایین بودن سرعت این گردابه‌ها و گذرا بودن آنها تأثیر چندانی بر درگ ندارند.



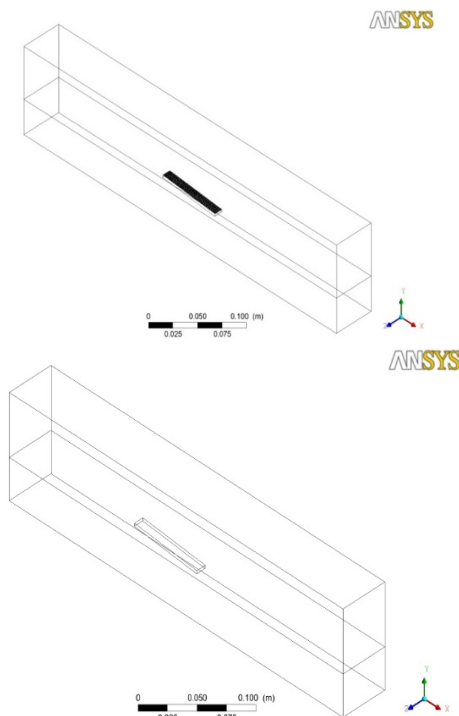
شکل (۴): مشاهده جریان توربولنت اطراف ریبلت [۴].

باید توجه داشت که استفاده از سطوح ریبلت‌دار منجر به افزایش سطح تماس با سیال شده که این امر سبب افزایش درگ می‌گردد. اما تأثیر کاهش درگ توسط ریبلت‌ها نسبت به تأثیر افزایشی درگ قوی‌تر بوده و در

وابسته به خواص سیال، آرام یا مغشوش بودن لایه‌ی مرزی اتفاق می‌افتد. اما به طور عمومی لایه‌ی مرزی در ابتدا آرام و پس از عبور از نقطه‌ی گذار جریان مغشوش می‌گردد. ضخامت لایه‌ی مرزی با افزایش فاصله از جسم افزایش و با افزایش سرعت کاهش می‌یابد.

۴- مکانیزم عملکرد ریبلت‌ها

جریان در زیر لایه‌ی ویسکوز، کاملاً منظم است، اما لایه‌های بیرونی آشفته، نامنظم و کاملاً درهم است. بیشتر این حرکات درهم در بالای زیر لایه ویسکوز به علت پرتاب شدن ورتکس‌های درجهت جریان است که در سطح زیر لایه‌ی ویسکوز تولید می‌شوند. ورتکس‌های درجهت جریان (ورتکس‌هایی که حول محور در جهت سرعت متوسط می‌چرخند) در زیر لایه‌ی ویسکوز غالب هستند. بر اساس شکل ۳ همان گونه که این ورتکس‌ها می‌چرخند و در جهت سطح جریان پیدا می‌کنند، به طور طبیعی در جهت عمود جریان نیز دارای حرکت می‌شوند. فعل و انفعالات بین ورتکس‌ها و سطح و همچنین، بین ورتکس‌های همسایه که در حین حرکت به هم برخورد می‌کنند، باعث شروع حرکت انفجاری می‌شوند، که در آن ورتکس‌ها سریعاً از سطح زیر لایه‌ی ویسکوز به سمت لایه‌ی مرزی خارجی دفع می‌شوند. زمانی که ورتکس‌ها به بیرون پرتاب شدند با دیگر ورتکس‌های موجود درگیر شده و به گونه‌ای می‌چرخند که بردارهای سرعت گذرا، در جهت جریان، می‌توانند به بزرگی بردارهای سرعت در جهت جریان اضافه شوند [۵]. این حرکت (ترکیدن و پرتاب شدن) ورتکس‌ها به خارج از زیر لایه‌ی ویسکوز همگی فرم‌های انتقال مومنتوم به سیال بوده و فاکتورهای مهمی در درگ سیال می‌باشند. کاهش رفتار پرتابی ورتکس‌ها در جهت جریان یک هدف مهم برای کاهش درگ می‌باشد، چرا که امکان کاهش درگ با این روش قابل توجیه می‌باشد.



شکل (۵): نحوه‌ی قرارگیری ریبلت‌ها بر روی ورق پروازی.

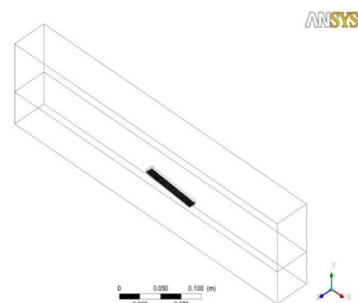
ورق مورد نظر دارای طول ۰٫۱ متر و ریبلت‌های شبیه‌سازی‌شده دارای ارتفاع ۱۶۰ میکرومتر و فاصله ۳۴۰ میکرومتر می‌باشند. المان‌بندی هر ۳ حالت شبیه‌سازی برابر و تعداد المان‌ها ۲٫۷ میلیون می‌باشد. سرعت سیال برابر با ۱۰ متر بر ثانیه در ورودی می‌باشد. نوع جریان گذرا و سیال عامل آب و هوا می‌باشد. مدل توربولانسی مورد استفاده در این شبیه‌سازی Shear Stress Transport بوده که حالتی از مدل توربولانسی $k-\omega$ می‌باشد. در انجام محاسبات از محاسبات توربولانسی عددی با رزولوشن بالا استفاده شده است [۱۰]. هر گام زمانی برای این شبیه‌سازی ۰٫۰۱ ثانیه و کل زمان شبیه‌سازی ۳ ثانیه می‌باشد. شبیه‌سازی در حالت دو فازی به صورت در نظر گرفتن اثر سطح آزاد سیال می‌باشد و جریان آب و هوا در سطح به صورت کسر حجمی جریان آب و هوا تعریف شده است. از طرفی در هر سه حالت شبیه‌سازی کلیه شرایط شبیه‌سازی اعم از عدد رینولدز، شرایط مرزی و کلیه شرایط حل جهت دستیابی به جواب دقیق یکسان در نظر گرفته شده است.

۶- تأثیر ریبلت‌ها بر ضریب درگ

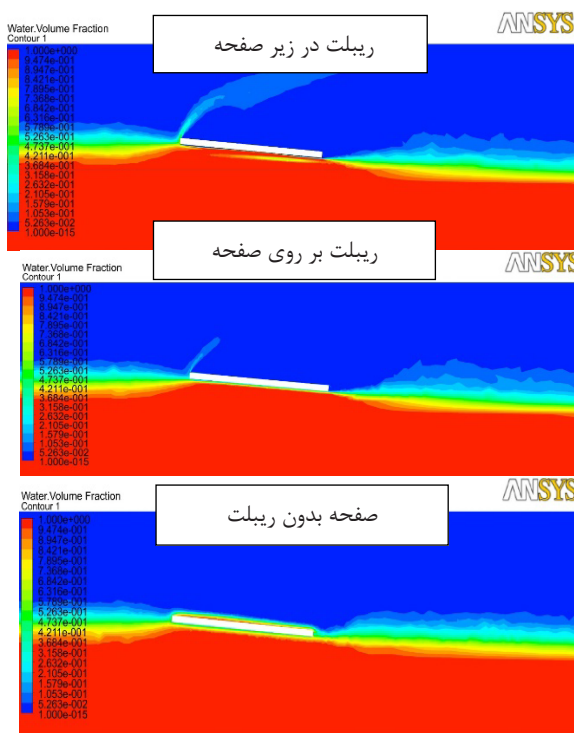
مجموع درگ کاهش می‌یابد. بر اساس نتایج حاصل از نرم‌افزار زمانی که روی سطح ورق ریبلت‌ها وجود دارد رفتار ورق به گونه‌ای است که گویی ورق سریع‌تر از آب خارج شده و لیفت ایجاد می‌گردد. این افزایش لیفت سبب قرارگیری هرچه سریع‌تر شناور در سیال هوا شده و از آن جایی که هوا ویسکوزیته کمتری نسبت به آب دارد. در نتیجه، درگ شناور کاهش می‌یابد. بر اساس شکل ۸ در حالتی که ریبلت‌ها روی ورق قرار می‌گیرند، سبب ایجاد لیفت بیستر شده و ورق از آب کاملاً جدا می‌گردد.

۵- شبیه‌سازی در حالت دو فازی آب و هوا

این شبیه‌سازی نیز در نرم‌افزار انسیس CFX صورت گرفته است [۱۰]. در این شبیه‌سازی اثر ریبلت‌ها بر روی یک ورق در حالت پروازی همانند یک شناور پروازی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. صفحه‌ی تخت شبیه‌سازی‌شده دارای ابعاد 10×10 سانتی‌متر می‌باشد. در ابتدا یک سرعت ثابت ۳۰ متر بر ثانیه بر روی صفحه قرار داده می‌شود و ریبلت‌ها با نسبت اندازه $h/s = 0.5$ بر روی آن مدل‌سازی شد. نتایج حاصل از مدل‌سازی بیانگر ایده‌آل بودن نسبت $h/s = 0.5$ می‌باشند. در این حالت، شاهد کاهش درگ ۶ درصدی بوده‌ایم که در آزمایش‌های تجربی این عدد بین ۴ تا ۷ درصد بوده و این آزمایش در حوضچه‌ی کشش مختلف در دنیا انجام شده است. در این شبیه‌سازی، در سه حالت ریبلت روی ورق، زیر ورق و در حالت بدون ریبلت به صورتی که در شکل ۵ نشان داده است، شبیه‌سازی انجام گرفته است. در این شبیه‌سازی‌ها، ریبلت‌ها توسط نرم‌افزار CATIA روی ورق پهن شده است تا دقیقاً شبیه به حالتی که در عمل صورت می‌پذیرد، باشد و ریبلت‌ها روی سطح بریده نشده است. نتایج حاصل از نرم‌افزار در نهایت با نمونه‌های آزمایش‌شده در دنیا مقایسه شده و صحت‌سنجی نتایج انجام خواهد گرفت.



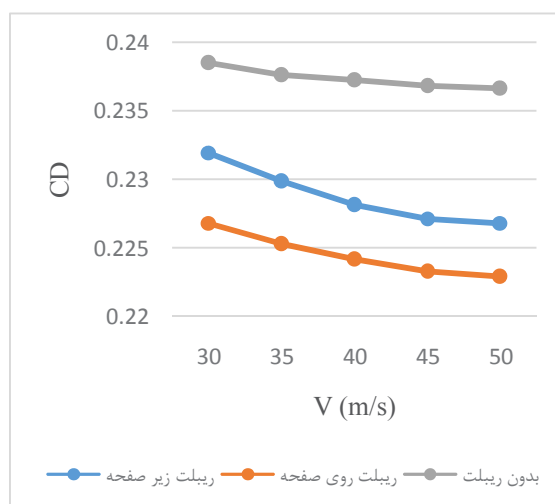
نیروی درگ دارای اهمیت کمتری می‌باشد. و در حالتی که ریبلت روی ورق می‌باشد، ایده‌آل‌ترین حالت برای استفاده در شناورها می‌باشد؛ چون هم نیروی درگ را با درصد بیشتری نست به صفحه ساده کاهش داده و هم نیروی لیفت را افزایش می‌دهد.



شکل (۷): کانتور کسر حجمی آب برای سه حالت شبیه‌سازی در سرعت ۳۰ متر بر ثانیه.

بر اساس شکل ۸، در حالتی که ریبلت‌ها روی ورق قرار می‌گیرند سبب ایجاد لیفت ۴ درصدی نسبت به حالت بدون ریبلت شده و ورق از آب کاملاً جدا می‌گردد. بر اساس شکل ۸، زمانی که ریبلت‌ها زیر ورق قرار می‌گیرند، لیفت کمتری نسبت به زمانی که ریبلت‌ها روی صفحه قرار دارند، خواهند داد.

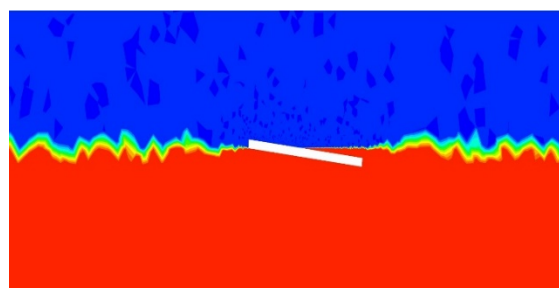
بر اساس شکل ۶ ماکزیمم کاهش درگ یعنی، شش درصدی زمانی که ریبلت‌ها روی صفحه قرار گرفته‌اند، نسبت به حالت بدون ریبلت نشان داده شده است. بر اساس نتایج حاصل از نرم‌افزار زمانی که روی سطح ورق ریبلت‌ها وجود دارد، رفتار ورق به گونه‌ای است که گویی ورق سریع‌تر از آب خارج شده و لیفت ایجاد می‌گردد. این افزایش لیفت سبب قرارگیری هرچه سریع‌تر شناور در سیال هوا شده و از آن جایی که هوا ویسکوزیته کمتری نسبت به آب دارد، در نتیجه، درگ شناور کاهش می‌یابد.



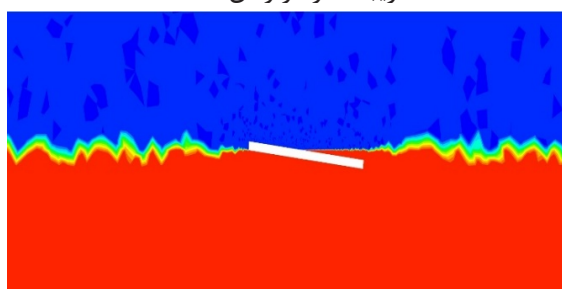
شکل (۶): ضریب درگ ورق پروازی در سه حالت مختلف ریبلت روی صفحه، زیر صفحه و بدون ریبلت در سرعت‌های مختلف.

۷- تأثیر ریبلت‌ها بر ضریب لیفت

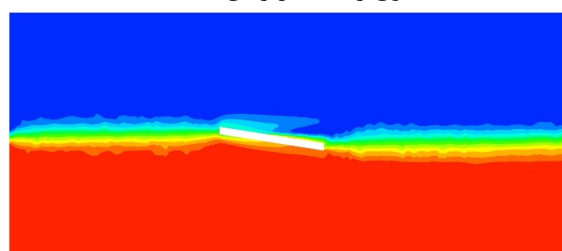
بر اساس کانتورهای نشان داده شده در شکل ۷ زمانی که ریبلت‌ها در زیر سطح ورق قرار می‌گیرند، ورق نیروی لیفت بیشتر داشته و همان گونه که در کانتور نشان داده می‌شود، ورق میزان بیشتری لیفت کرده و زیر ورق درصد بیشتری هوا نسبت به دو حالت دیگر قرار گرفته است. اما در این حالت، بر اساس نتایج به دست آمده دارای ضریب درگ بیشتری نسبت به حالت دوم یعنی قرارگیری ریبلت‌ها در روی سطح ورق می‌باشد. در حالت دوم، نیروی لیفت بیشتر از حالت بدون ریبلت بوده و ورق از آب بیرون آمده و دارای کمترین میزان ضریب درگ می‌باشد، نسبت به حالت‌های دیگر می‌باشد. بر اساس نتایج به دست آمده، زمانی که ریبلت روی سطح قرار گرفته که دارای لیفت بیشتری است، برای شناورهای مناسب است که به نیروی لیفت بیشتری نیاز دارند و



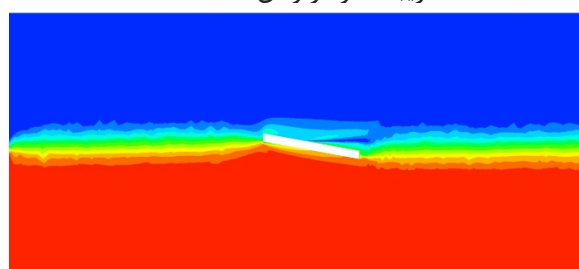
صفحه ریبلت دار در زمان $T=0$ s



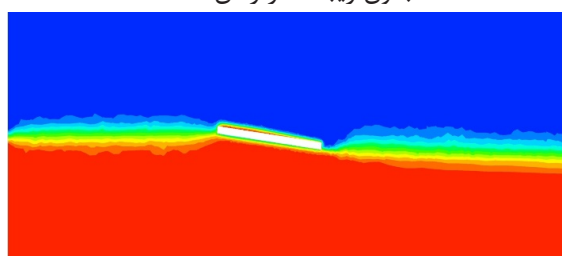
صفحه بدون ریبلت در زمان $T=0.5$ s



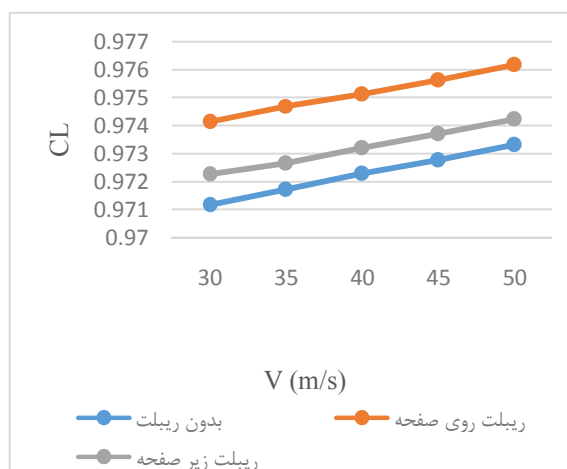
صفحه ریبلت دار در زمان $T=0.5$ s



صفحه بدون ریبلت در زمان $T=1$ s



صفحه ریبلت دار در زمان $T=1$ s



شکل (۸): ضریب لیفت ورق پروازی در سه حالت مختلف ریبلت روی صفحه، زیر صفحه و بدون ریبلت در سرعت‌های مختلف.

در شناورهای پروازی مسأله‌ی خروج شناور از آب بسیار مهم و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است و یکی از علل استفاده از پله در این نوع شناورها به همین دلیل می‌باشد. این در صورتی است که استفاده از ریبلت‌ها بسیار راحت‌تر و کم‌هزینه‌تر نسبت به ایجاد پله در بدنه شناورها می‌توانند سبب لیفت بیشتر و پرواز سریع‌تر شوند.

بر اساس کانتورهای کسر حجمی ارائه شده در شکل ۹ و نکات گفته‌شده در بخش‌های قبل، در زمان‌های مختلف به وضوح می‌توان مشاهده کرد که صفحه ریبلت دار در پایان شبیه‌سازی از آب جدا شده و هوا در زیر صفحه قرار گرفته است، این در حالی است که صفحه بدون ریبلت، هم چنان در آب قرار دارد و از سطح آب جدا نشده است. این موضوع می‌تواند گواهی بر ضریب درگ کمتر صفحه ریبلت دار نسبت به بدون ریبلت باشد. از این رو، استفاده از ریبلت‌ها بر روی شناورهای پروازی و تندرو انتخابی هوشمندانه جهت کاهش درگ این نوع شناورها نسبت به سایر روش‌های کاهش درگ می‌باشد. ریبلت‌ها با ایجاد اغتشاش در جریان، مومنوم را افزایش داده و سبب تأخیر در جدایش جریان هوا و ایجاد گردابه‌ها بر روی سطح شناور شده و این سبب کاهش درگ می‌گردد.

صفحه بدون ریبلت در زمان $T=0$ s

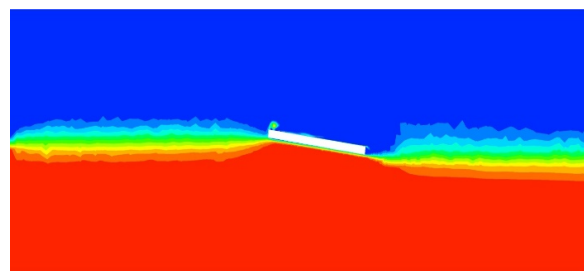
نوع سیال	ماکزیمم کاهش درگ	نوع ریبلت	محقق
			[۲]
روغن	۹/۹ درصد	لبه پ خ	بوشان ۲۰۱۰ [۷]
هوا	۷ درصد	لبه پخ	داویس ۱۹۹۷ [۱۱]
هوا	۸ درصد	دندانه‌ای	جورج لادرز (ناسا) ۱۹۹۸ [۱۲]
آب	۱۱ درصد	دندانه‌ای	مطالعه حاضر

۹- نتیجه‌گیری

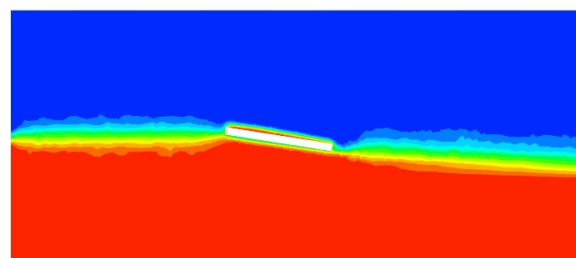
با توجه به این که کوسه‌ها می‌توانند به سرعت زیادی در آب حرکت کنند، بر آن شدیم تا با الهام از سطح پوست آن‌ها برای کاهش درگ در شناورها استفاده کنیم. ریبلت‌های موجود در سطح پوست کوسه با ایجاد نیروی لیفت سبب کاهش نیروی درگ می‌شوند. کاهش نیروی درگ در شناورها یعنی سرعت سیال اطراف سیال افزایش می‌یابد موضوع مورد بررسی این خواهد بود که در واقع سطح پوست دلفین‌ها دارای چه خاصیتی می‌باشد که جدایش جریان دیرتر اتفاق می‌افتد. شبیه‌سازی نرم‌افزاری انجام‌شده بر روی ریبلت‌ها بیانگر کاهش درگ آنها و عملی بودن استفاده از آنها می‌باشد. براساس اطلاعات به دست آمده از شبیه‌سازی در حالت دو فازی بر روی یک ورق در حالت پروازی نیروی درگ را تا شش درصد می‌توان کاهش داد که در نتایج آزمایشگاهی نیز در حوضچه‌های کشش به کاهش درگ هفت درصدی دست یافته‌اند. این مقدار کاهش در درگ در عین حالی که مورد قبول می‌باشد، هزینه و فناوری پیچیده‌ای ندارند و می‌توان آنها به راحتی بر روی شناورها نصب کرد. استفاده از ریبلت‌ها جهت کاهش درگ در شناورهای تندرو می‌تواند راه‌حلی هوشمندانه و کم‌هزینه باشد.

مراجع:

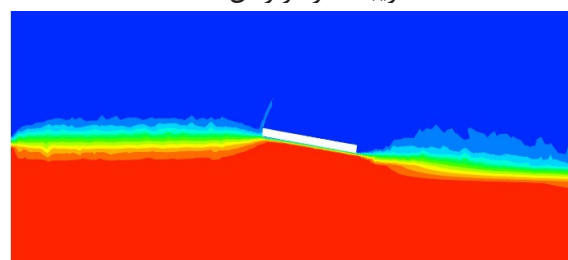
[1] Bechert, D., et al., "Biological surfaces and their technological application- Laboratory and flight experiments on drag reduction and separation control," in 28th Fluid Dynamics



صفحه بدون ریبلت در زمان $T = 3 \text{ s}$



صفحه ریبلت‌دار در زمان $T = 3 \text{ s}$



شکل (۹): مقایسه وضعیت ورق پروازی در گام‌های مختلف زمانی در حالت ریبلت‌دار و بدون ریبلت.

۸- اعتبار سنجی

نتایج آزمایش‌ها و تست‌های انجام شده در نقاط مختلف جهان که با استفاده از ریبلت‌های تولید شده در شرکت 3M می‌باشد و دارای نسبت ارتفاع به فاصله ۰.۵، شبیه به نمونه شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار می‌باشد که در جدول ۱ آمده است.

جدول (۱): نتایج آزمایش‌ها و تست‌های انجام شده در نقاط مختلف جهان.

نوع سیال	ماکزیمم کاهش درگ	نوع ریبلت	محقق
آب	۹ درصد	دندانه‌ای	والش و همکاران ۱۹۸۴ [۸]
آب	۱۱ درصد	دندانه‌ای	بیکسلر و بوشان ۲۰۱۴ [۵]
آب	۱۳ درصد	دندانه‌ای	بکرت ۲۰۰۷

Conference, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1997.

[2] Bechert, W. D., Bruse, M. and Hage, W., "Experiments with three-dimensional riblets as an idealized model of shark skin," Experiments in Fluids, Vol. 28, No. 5, 2000, pp. 403-412.

[3] Bechert, D. W., et al., "Experiments on drag-reducing surfaces and their optimization with an adjustable geometry," Journal of Fluid Mechanics, 1997, pp. 59-87.

[4] Dean, B. and B. Bhushan, "Shark-skin surfaces for fluid-drag reduction in turbulent flow: a review," Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2010. 368 (1929): pp. 4775-4806.

[5] Bixler, G. D. and Bhushan, B., "Biofouling: lessons from nature," Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2012. 370 (1967): pp. 2381-2417.

[6] Brian Dean, B. B., "Shark-Skin Surfaces for Fluid-Drag Reduction in Turbulent Flow: A Review. Advances in Mechanics, 2012. 42 (6): pp. 821-836.

[7] Bhushan, B., "Shark skin Surface for Fluid-Drag Reduction in Turbulent Flow," in Biomimetics: Bioinspired Hierarchical-Structured Surfaces for Green Science and Technology, B. Bhushan, Editor, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg, 2012, pp. 227-265.

[8] M, W. and A, L., "Optimization and application of riblets for turbulent drag reduction," in 22nd Aerospace Sciences Meeting, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 1984.

[10] Carman, M. L., et al., "Engineered antifouling microtopographies – correlating wettability with cell attachment," Biofouling, 2006, 22(1): pp. 11-21.

[11] ANSYS CFX-Solver Theory Guide, 2011.

[12] C., Davies, and Carpenter, P. W., "Instabilities in a plane channel flow between compliant walls;" Journal of Fluid Mechanics, 1997, 352: pp. 205-243.

[13] Davies, C. and Carpenter, P. W., "Numerical simulation of the evolution of Tollmien & Schlichting waves over finite compliant panels," Journal of Fluid Mechanics, 1997, 335: p. 361-392.