

مقاله پژوهشی

DOR: [20.1001.1.24767131.1400.7.1.10.1](https://doi.org/10.24767/131.1400.7.1.10.1)

درصد همانندی: ۰٪

## تحلیل عددی دريفتر لاگرانژی نوع SVP و بررسی تأثیرات مشخصه‌های هندسی بر عملکرد آن

نادر خارستانی<sup>۱\*</sup>، میلاد پیمانی<sup>۲</sup>، محمدرضا خلیل‌آبادی<sup>۳</sup>

kharestani\_n@mut.ac.ir

peimani.milad@gmail.com

khalilabadi@mut.ac.ir

<sup>۱\*</sup> نویسنده مسئول، مجتمع دانشگاهی هوادریا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

<sup>۲</sup> دانشکده مهندسی مکانیک و هوافضا، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز

<sup>۳</sup> مجتمع دانشگاهی هوادریا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۰۴

### چکیده

در این مقاله به منظور بررسی تأثیر ویژگی‌های هندسی یک دريفتر لاگرانژی بر عملکرد آن در شرایط جریان در خلیج فارس، انواع دريفترهای SVP با استفاده از محیط محاسباتی سه بعدی تجزیه و تحلیل شده‌اند. با مشاهده و بررسی شکل جریان در اطراف حفره‌های جانبی و داخلی دراگو مشخص شد که وجود حفره روی دراگو باعث توزیع یکنواخت نیروهای فشاری و لزجت در سطح دراگو می‌شود. اگر از سیلندر بدون حفره به عنوان دراگو استفاده شود، به خصوص در جریان‌های با سرعت بالا، شاهد کاهش قابل توجهی در ضریب پسا و لغزش خواهیم بود. افزایش تعداد حفره‌ها بر روی دراگو تأثیر چندانی در عملکرد دريفتر نخواهد داشت و مؤثرترین عامل تغییرات قطر و ارتفاع دراگو هستند. به گونه‌ای که افزایش ۳۰ درصدی قطر دراگو سبب افزایش ۹۰ درصدی ضریب پسا می‌شود. به طور کلی با بررسی کانطور و بردار سرعت جریان مشخص شد که طراحی هندسه دراگو دريفتر باید به صورتی باشد که در پشت دراگو گردابه‌های چرخشی جریان با شعاع کوچک‌تر شکل گیرد و این گردابه‌های کوچک سبب توزیع یکنواخت نیروهای هیدرودینامیکی در سطح دراگو و جلوگیری از لغزش دريفتر در تغییرات سرعت ناگهانی جریان‌ها می‌شوند.

**واژه‌های کلیدی:** دريفتر لاگرانژی، ضریب پسا، نیروهای هیدرودینامیکی، دراگو، گردابه‌های چرخشی

### ۱. مقدمه

استفاده بشر از دريفترها به زمانی بسیار دور باز می‌گردد. به عنوان مثال از کشتی‌ها و شناورهای آبی به عنوان بارزترین و

پر استفاده‌ترین دريفترهای استفاده شده توسط بشر می‌توان نام برد. همچنین بطری‌های شناور حاوی پیغام در اقیانوس‌ها نیز نمونه‌ای از دريفترهای سطحی مورد استفاده توسط بشر

و TOGA<sup>۵</sup> شدند و با تلاش و پشتکار نیلر و همکارانش یک دریفتر سطحی خوب به نام دریفتر SVP<sup>۶</sup> ارتقا یافت و به سطح استاندارد رسید و در تعداد زیاد ساخته شد [۱۲].

نقطه قوت دریفتر اقیانوسی SVP، قیمت پایین، دقت زیاد در رهگیری جریان‌های اقیانوسی و طول عمر زیاد آن است. این دریفتر در طی پروژه SVP توسط نیلر و همکاران در سال ۱۹۹۱ ابداع شد و طی سال‌ها دچار تغییر و اصلاح شد و پس از تست‌های گسترده و پیشرفت‌های بیشتر با افزودن یک درگاه سنجش فشار جدید به دریفتر SVP اصلی کنونی تبدیل شده است [۱۳].

لامکینگ و جانسون در سال ۲۰۱۳ یک ارزیابی جهانی جریانات به‌دست‌آمده از دریفتر انجام دادند [۱۴] و یک آمار جهانی از جریانات با مقیاس submesoscale تا mesoscale که توسط مسیرهای حلقوی دریفتر شناخته می‌شوند، توسط لامکینگ در سال ۲۰۱۶ چاپ شد [۱۵].

ستوریونی و همکاران در مطالعه‌ای گسترده در سال ۲۰۱۷ دریافته‌اند که استفاده از دریفترهای لاگرانژی و دیگر مشاهدات در محل از گلایدرها و لنگرها<sup>۷</sup>، برای مطالعات دینامیک‌های جریان‌های متغیر حاشیه‌ای غربی و تعاملات آن‌ها با دریاها حاشیه‌ای، زمانی که اطلاعات ماهواره‌ای سطح دریا کافی نیست، بسیار مهم هستند [۱۶].

آسارو در سال ۲۰۱۴ با به‌کارگیری انواع متفاوت دریفتر تا اعماق ۱۵۰ متر و اندازه‌گیری بادهای تعامل طوفان اقیانوس گرمسیری با جریان‌های اقیانوسی را بررسی کرد [۱۷].

یکی دیگر از کاربردهای مهم دریفترهای سطحی، بررسی‌های جریانات و تداوم جریان سرد ایجادشده با طوفان‌های گرمسیری است که چانگ و همکاران در سال ۲۰۱۱ به مطالعه این جریانات توسط دریفترها پرداختند [۱۸].

نیلر و همکاران در سال ۱۹۸۷ مهم‌ترین عامل طراحی دریفتر را نسبت مساحت پسا بیان کردند [۱۹]. آن‌ها پی بردند تا زمانی که مساحت پسا دراگو در حدود ۴۰ برابر مساحت پسا (حاصل ضرب ضریب پسا در مساحت مقطع) قلاب و شناور باشد، میزان لغزش دریفترها می‌تواند در حدود ۰/۹ سانتی‌متر

می‌باشند؛ اما ساخت و توسعه دریفترهای پیشرفته به‌صورت کنونی، از سال ۱۹۷۰ به همت نیلر شروع شد و مورد توسعه قرار گرفتند که با رها کردن تعداد زیاد در اقیانوس‌ها مورد ارزیابی و آزمایش قرار گرفتند سرانجام این آزمایش‌ها دستیابی به اولین نقشه‌های جریان‌های اقیانوسی در سراسر دنیا شده است. اطلاعات به‌دست‌آمده از دریفترها شامل سرعت سطحی و زیرسطحی جریان‌ها، دما، فشار و قدرت جریان‌ها و دیگر اطلاعات مفید به‌واسطه اتصال دستگاه‌های اندازه‌گیر بر روی دریفترها می‌باشند. این اطلاعات کمک بسزایی در پیشرفت علوم اقیانوس‌شناسی، هواشناسی و دریانوردی کرده‌اند [۹-۱].

دریفترها اطلاعات بسیار مهمی را در مورد پراکندگی، انتشار ادی و تحرک اقیانوس‌ها در اختیار محققان قرار می‌دهند. در نتیجه طراحی شکل شناور و دراگو دریفتر باید به گونه‌ای باشد که لغزش سطحی را به حداقل برساند.

دریفترها بر دو نوع کلی دریفترهای شناور (دریفترهای اوپلری<sup>۱</sup>)، مانند کشتی‌ها و دریفترهای سطحی (دریفترهای لاگرانژی<sup>۲</sup>) تقسیم می‌شوند. دریفترهای شناوری بیشتر از امواج سطحی و بادهای تأثیرپذیر هستند در صورتی که دریفترهای سطحی از جریان‌های اقیانوسی تأثیرپذیر هستند. در سالیان اخیر انواع زیادی از دراگو<sup>۳</sup>ها (قطعه مغروق در زیر سطح آب که در برخورد با جریان‌های اقیانوسی است) و شناورها (شناور روی سطح آب) برای ساخت دریفتر مورد آزمایش قرار گرفته‌اند [۱۰].

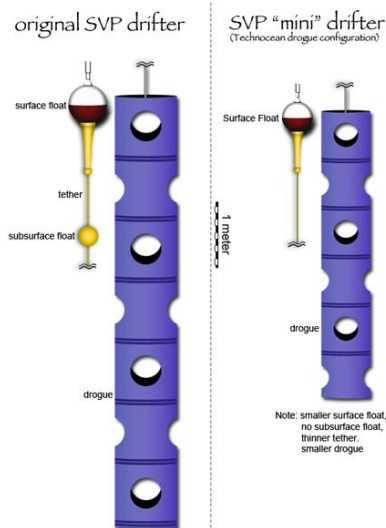
دریفترهای سطحی یک لغزش کوچک رو به پایین دارند، این اختلاف سرعت لحظه‌ای سبب ایجاد خطا در محاسبه سرعت متوسطه ادی‌ها می‌شود [۱۱]. هر چه لغزش سطحی دریفتر بیشتر باشد باعث کاهش دنبال‌کنندگی خوب جریان می‌شود و اطلاعات به‌دست‌آمده از دریفتر خطای بیشتری در بر خواهد داشت.

در طول سالیان افراد زیادی با استفاده از روش‌های گوناگون سعی کردند که مشکل لغزش دریفترها را حل کنند که این تلاش‌ها انگیزه دو آزمایش بزرگ و مهم WOCE<sup>۴</sup>

## ۲. مواد و روش‌ها

همان‌گونه که در بخش قبل بیان شد، دریفت‌ر SVP بهترین مدل دریفت‌ر لاگرانژی ساخته‌شده در سالیان گذشته است. این دریفت‌ر مانند شکل ۱ با دو اندازه متفاوت درآگو ساخته شده است. درآگو دریفت‌ر اورجینال هفت قسمت دارد که ارتفاع هر قسمت ۹۲ سانتی‌متر است و ارتفاع کلی درآگو برابر با ۶۴۴ سانتی‌متر است. مرکز درآگو در عمق ۱۵ متری از سطح آب قرار می‌گیرد. قطر استوانه درآگو ۹۲ سانتی‌متر است. با توجه به شکل چهار قسمت از هفت قسمت درآگو حفره‌ای به قطر ۴۶ سانتی‌متر از مرکز درآگو رد شده است و سه قسمت این حفره از جانب درآگو رد شده است.

دریفت‌ر mini-svp در سال ۲۰۰۳ توسط نیلر به منظور افزایش ضریب پسا سطح و همچنین کمتر شدن وزن و کاهش هزینه‌های تولید ساخته شد [۱۲]. درآگو این دریفت‌ر از ۴ یا ۵ قسمت ۱۲۲ سانتی‌متری ساخته شده است، در این پژوهش از مدلی با ۴ قسمت ۱۲۲ سانتی‌متری استفاده شده است که در شکل ۱ دیده می‌شود.



شکل ۱. شماتیکی از درآگوهای دریفت‌ر original-svp و mini-svp

شکل ۲ مدل طراحی‌شده دریفت‌ر اورجینال در برنامه Design-Modeler را نشان می‌دهد. در این شکل محور Z در راستای نیروی برا قرار دارد که همان محور گشتاور وارد بر قلاب است و محور X در راستای نیروی پسا (جهت جریان) می‌باشد و محور Y نیز در راستای عرض درآگو است. این

در ثانیه در بادهای با سرعت حداکثر ۱۰ متر در ثانیه باشد. به‌عنوان مثال دریفت‌رهای SVP ساخته شده که درآگو حفره‌دار دارند و موضوع اصلی این پژوهش هستند، ضریب مساحت پسا معادل ۳۷/۵ تا ۴۵/۹ دارند.

منا و همکاران در سال ۲۰۱۸ با بررسی نتایج به‌دست‌آمده از دریفت‌رهای SVP، خطای محاسباتی در دنبال‌کنندگی جریان‌های اقیانوسی در شرایط مختلف جوی را بررسی کردند [۲۰]. آن‌ها با بررسی نتایج دریافتند که در حدود ۸۸ درصد از مشاهدات دریفت‌رها می‌توان خطایی در حدود ۵/۲ درصد در محاسبه سرعت جریان‌ها در اثر لغزش‌های سطحی مشاهده نمود. که با توجه به دیگر مدل دریفت‌رها این مقدار خطا بسیار کم است.

لغزش، تفاوت در حرکت جانبی دریفت‌ر (کل مجموعه دریفت‌ر که شامل شناور سطحی، قلاب و درآگو می‌شود) در مقابل حرکت جانبی درآگو در اثر جریان‌های میانگین در اعماق می‌باشد. لغزش در اثر تأثیر مستقیم نیروی باد بر شناور سطحی، نیروی پسای وارده به شناور (در اثر امواج سطحی) و حرکت‌های قلاب در اثر تنش‌های وارده به آن می‌تواند رخ بدهد [۲۱]. مهم‌ترین مشخصه یک دریفت‌ر ایده‌آل این است که بتواند علاوه بر دنبال‌کنندگی خوب جریان‌های اقیانوسی در شرایط سخت جوی نیز لغزش کمی داشته باشد. برای دستیابی به این هدف، درآگو دریفت‌ر باید علاوه بر داشتن ضریب پسای بزرگ میزان گشتاور اعمالی به آن نیز کمتر باشد. به این دلیل هدف این پژوهش بررسی تأثیرات تعداد و نحوه قرارگیری حفره‌ها در درآگو و تأثیرات اندازه طول و قطر درآگو دریفت‌ر SVP بر عملکرد آن می‌باشد. برای بررسی تأثیرات این پارامترها، با به‌کارگیری روش حل عددی مکانیک سیالات محاسباتی به‌وسیله نرم‌افزار انسیس و فلونت در محیطی سه‌بعدی به محاسبه و مقایسه نیروی پسا و گشتاور وارد بر درآگو پرداخته خواهد شد. همچنین با بررسی بردار و کانتورهای سرعت و فشار حول حفره‌های درآگو دیدی دقیق‌تر بر چگونگی تأثیر این حفره‌ها بر عملکرد بهتر دریفت‌ر SVP نسبت به دیگر دریفت‌رها به دست خواهد آمد.

## ۲-۲. معادلات حاکم بر جریان و تئوری حل

با توجه به اینکه دامنه سرعت جریان‌های اقیانوسی در خلیج فارس عموماً در مقدار  $1 \text{ m/s}$  می‌باشد، مقدار عدد رینولدز برای دریفتر اورجینال SVP با قطر هیدرولیکی  $91$  سانتی‌متر و لزجت سینماتیکی آب در دمای اتاق  $\nu = 1.005 \times 10^{-6} \text{ (m}^2/\text{s)}$  به مقدار  $Re = 9 \times 10^5$  محاسبه می‌شود. در نتیجه مسئله در محیطی کاملاً آشفته می‌باشد و برای حل معادلات حاکم بر جریان باید از مدل آشفتگی استفاده نمود.

رابطه (۱) معادله بقای جرم یا همان رابطه پیوستگی را برای جریان غیرقابل تراکم در مختصات کارتزینی نشان می‌دهد.

$$\nabla \cdot \vec{v} = S_m \quad (1)$$

در رابطه (۱)،  $S_m$  میزان جرم افزوده در اثر تغییر فاز ماده می‌باشد، که در مدل‌سازی مذکور به علت نبود تغییر فاز ماده (مسئله تک فاز و در محیط آب است) این مقدار برابر با صفر است.  $\vec{v}$  نیز بیانگر بردار سرعت ذرات جریان است.

رابطه (۲) قانون بقای مومنتوم را برای ذرات جریان غیرقابل تراکم نشان می‌دهد.

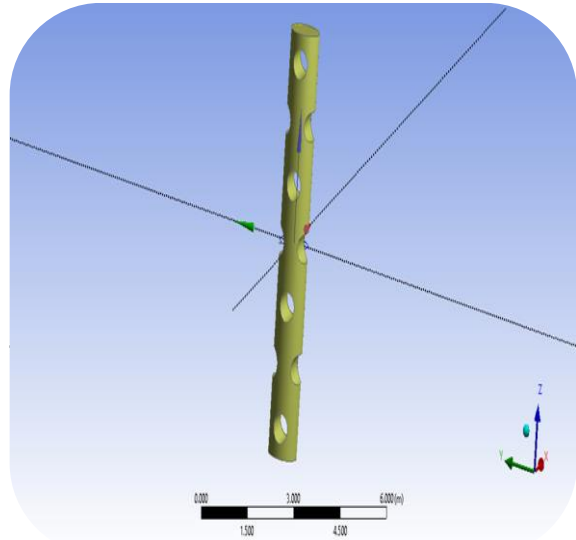
$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \nabla \cdot (\vec{v}\vec{v}) = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \frac{1}{\rho} \nabla \cdot (\vec{\tau}) + \vec{g} + \frac{1}{\rho} \vec{F} \quad (2)$$

در این رابطه،  $p$  بیانگر فشار استاتیکی می‌باشد.  $\vec{\tau}$  معرف تانسور تنش است و در رابطه (۳) آورده شده است. عبارت‌های  $\vec{g}$  و  $\vec{F}$  به ترتیب، معرف نیروی گرانشی و نیروی خارجی وارد بر حجم سیال هستند که در مدل‌سازی دریفتر به علت نبود نیروی خارجی و صرف نظر از تأثیرات نیروی گرانش این دو نیرو برابر با صفر می‌باشند.

$$\vec{\tau} = \bar{\mu} [(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T)] \quad (3)$$

در رابطه (۳)،  $\bar{\mu} = (\mu + \mu_t)$  ترکیبی از لزجت مولکولی و لزجت آشفتگی می‌باشد. لزجت آشفتگی با مدل‌سازی‌های جریان آشفته محاسبه می‌شود که مدل آشفتگی مورد استفاده در این مدل‌سازی مدل  $k-\epsilon$  است.  $\vec{v}^T$  بیانگر ترانپوز تانسور سرعت ذرات می‌باشد.

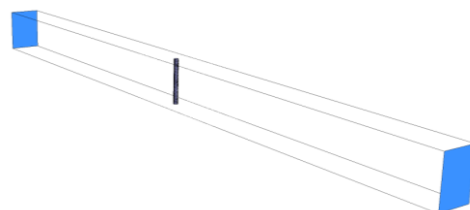
نحوه قرارگیری مختصات در تمام مدل‌سازی‌ها رعایت شده است.



شکل ۲. دراگو طراحی شده دریفتر اورجینال در برنامه Design-modeler

## ۲-۱. ابعاد تانک محاسباتی و شرایط مرزی

برای جلوگیری از اثر دیوار تانک محاسباتی بر جریان گذرنده از روی دریفتر، تانک محاسباتی بر اساس مختصاتی که در شکل ۳ دیده می‌شود در ابعاد  $(-46, +50)$  در  $x$  و  $(-3.5, +3.5)$  در  $y$  و  $(-6.44, +6.44)$  در  $z$  در واحد متر انتخاب شده است. جریان در راستای  $x$  در حال انتشار است و  $z$  راستای ارتفاع دریفتر و  $y$  در جهت عرض دریفتر می‌باشد. مکان شرط مرزی ورودی و خروجی در شکل ۳ مشخص شده است. همچنین شرط مرزی دیوار بالایی تانک محاسباتی شرط تقارن انتخاب شده است. شرط مرزی خروجی شرط جریان خروجی<sup>۸</sup> می‌باشد. شرط مرزی ورودی جریانی با سرعت ثابت می‌باشد. دیوارهای اطراف تانک محاسباتی و دیوار کف (که در شکل ۳ پنهان شده‌اند) و همچنین دیوار دراگو نیز شرط مرزی دیوار بدون لغزش انتخاب شده است.



شکل ۳. شماتیکی از تانک محاسباتی به کاررفته به همراه دریفتر

جدول ۲ مشخصات کلی روش حل را که در همه فرایندهای مدل‌سازی استفاده شده است، نشان می‌دهد. بر اساس این جدول دقت محاسبات معادلات ناویر استوکس از درجه دوم است و حل مسئله مستقل از زمان و در حالت پایا صورت پذیرفته است که از تأثیر نیروی گرانش صرف‌نظر به عمل آمده است. از آنجایی که حلگر بر پایه فشار<sup>۹</sup> برای جریان‌های تراکم‌ناپذیر با عدد رینولدز پایین طراحی شده است، در مقابل روش حلگر پایه چگالی<sup>۱۰</sup> که برای جریان‌های تراکم‌پذیر با رینولدز بزرگ طراحی شده است، بهترین انتخاب برای مدل‌سازی تراکم‌ناپذیر مسئله می‌باشد. از الگوریتم سیمپل<sup>۱۱</sup> برای کوپل سرعت و فشار در این مدل‌سازی استفاده شده است. روش گرادینان گیری Least Squares Cell-Based انتخاب شده است. مدل آشفتگی نیز  $k-\varepsilon$  استاندارد می‌باشد و رفتار مدل در نزدیکی دیواره نیز حالت تابع استاندارد دیوار است. ضرایب فاکتور تصحیح<sup>۱۲</sup> برای مجهولات مسئله نیز همان اعداد تنظیم‌شده با نرم‌افزار انتخاب شده است [۲۱]. مقادیر باقی‌مانده تنظیم‌شده برای شرط ارضاء معادله پیوستگی (در حل الگوریتم سیمپل) مؤلفه‌های مومنوم مقدار  $10^{-3}$  و برای مؤلفه‌های آشفتگی ( $k$  و  $\varepsilon$ )  $10^{-3}$  انتخاب شده است که مقدار باقی‌مانده مؤلفه‌های مومنوم به مقدار  $10^{-3}$  میل کرده و مقدار باقی‌مانده مؤلفه‌های آشفتگی به مقدار  $10^{-3}$  میل نموده است و مسئله بعد از گذشت در حدود ۳۰۰ تکرار به همگرایی رسیده است.

جدول ۲. مشخصات کلی روش حل

Parameter	Settings
Precision	Double-precision
Solver time	Steady
Solver method	Pressure-based solver
Pressure-velocity coupling	SIMPLE
Viscous model	k-ε Standard
Near wall treatment	Standard wall function
Interpolation gradient method	Least squares cell-based
Pressure interpolation method	Body force weighted

### ۳. اعتبارسنجی و استقلال از شبکه

برای اعتبارسنجی روش حل، بهترین مقاله که از لحاظ هندسه واحدی مشابه دريفترهای حفره‌دار است، پژوهش ژو و

مدل آشفتگی  $k-\varepsilon$  در پایه محیطی کاملاً آشفته نوشته شده است و از آنجایی که مدل‌سازی دريفتر با توجه به عدد رینولدز مذکور در رژیم جریان آشفته می‌باشد استفاده از مدل آشفتگی  $k-\varepsilon$  بهترین گزینه برای مدل‌سازی جریان آشفته می‌باشد. روابط انتقال آشفتگی برای دو مؤلفه آشفتگی انرژی جنبشی ( $k$ ) و نرخ اتلاف ( $\varepsilon$ ) بر اساس موازنه انرژی نوشته می‌شوند و برای اختصار به آن اشاره نشده است و تنها در جدول ۱ ثابت‌های این مدل آشفتگی، که در این پژوهش به کار گرفته شده است، بیان گردیده است.

جدول ۱. ثابت‌های مدل آشفتگی استفاده شده

$C_{1\varepsilon}$	$C_{2\varepsilon}$	$C_\mu$	$\sigma_k$	$\sigma_\varepsilon$
۱/۴۴	۱/۹۲	۰/۰۹	۱/۰	۱/۳

با توجه به دستاوردهای نیلر و دیگر محققان که به آن‌ها اشاره شد، نیروهای مهم وارده به دراگو نیروی پسا و نیروی گشتاوری وارد بر قلاب دريفتر می‌باشد. نیروی پسا در برنامه فلونت طبق رابطه (۴) از برآیند نیروی فشاری و لزجت وارد بر دراگو محاسبه می‌شود. در این رابطه با انتخاب بردار  $\vec{a}$  به‌عنوان بردار واحد در راستای جریان  $\vec{a} = (1, 0, 0)$  نیروی به‌دست‌آمده کل نیروی پسا وارد بر دراگو می‌باشد.

$$\vec{F}_D = \vec{a} \cdot \vec{F}_p + \vec{a} \cdot \vec{F}_g \quad (4)$$

برای محاسبه گشتاور وارد بر دراگو در راستای محور گذرنده از دراگو، طبق رابطه (۵) با انتخاب بردار واحد  $\vec{r} = (0, 1, 0)$  در راستای عرض محفظه می‌توان از حاصل ضرب نیروی پسا کل به‌دست‌آمده در این بردار مقدار گشتاور واردشده بر دراگو در راستای قلاب را محاسبه نمود.

$$\vec{M}_z = \vec{r} * \vec{F}_D \quad (5)$$

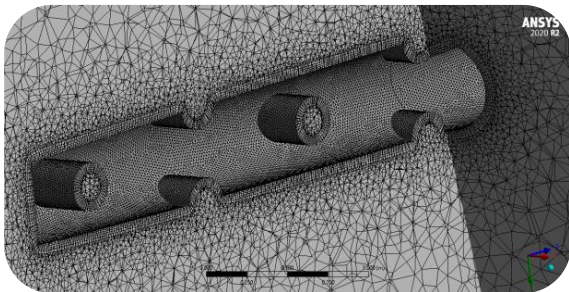
ضریب پسا طبق رابطه (۶) محاسبه می‌شود. در این رابطه  $A$  تصویر مساحت مقطع گذرنده عمود بر جریان است که به‌صورت خودکار می‌توان با نرم‌افزار فلونت آن را محاسبه کرد و در محاسبات آینده برای به دست آوردن حاصل ضرب ضریب پسا در مساحت مقطع استفاده کرد.

$$C_D = \frac{F_D}{0.5\rho U^2 A} \quad (6)$$

مرزی برابر با ۲ متر بر ثانیه انتخاب شده است. با تعداد شبکه‌های متفاوت و تعداد تقسیمات لایه‌مرزی متفاوت به مطالعه تأثیر شبکه‌بندی بر جواب مسئله پرداخته شده است. شکل ۵ نیز نمایی از مقطع برش خورده دریافتی با کیفیت شبکه مدل Mesh-C را نشان می‌دهد.

جدول ۳. مشخصات مدل‌های به کاررفته در بررسی استقلال از شبکه

نام مدل	تعداد سلول‌ها
Mesh-A	۳۴۸۶۵۱
Mesh-B	۷۷۳۴۵۳
Mesh-C	۱۶۴۱۶۳۰
Mesh-D	۳۱۷۶۱۶۵



شکل ۵. نمایی از شبکه به کاررفته در مدل Mesh-C

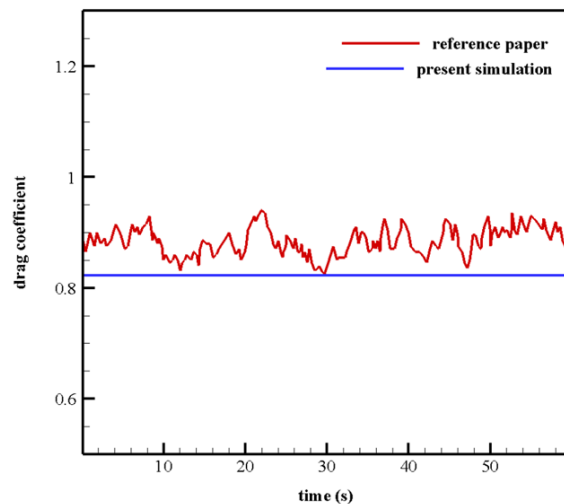
در جدول ۴ نیروی پسا محاسبه شده در چهار شبکه طراحی شده با هم مقایسه شده است و معیار اختلاف نیز حداقل نیروی پسا شبکه است. با توجه به جدول، مشاهده می‌شود که انتخاب شبکه Mesh-D با  $\frac{3}{6}$  میلیون شبکه تنها  $\frac{1}{5}$  درصد در جواب تأثیرگذار است و از آنجایی که این شبکه زمان محاسبات را بسیار بالا می‌برد و محاسبات تنها جنبه مقایسه‌ای با یکدیگر دارند. در نتیجه شبکه Mesh-C با تعداد  $\frac{1}{6}$  میلیون شبکه معیار اصلی برای محاسبات پیش رو می‌باشد. در این شبکه در قسمت شبکه لایه‌مرزی تعداد ۵ شبکه در هر لایه بر مبنای ضخامت اولیه لایه به اندازه  $\frac{0}{0.08}$  متر به کار گرفته شده است که در شکل ۵ نمای نزدیک از شبکه این مدل نشان داده شده است.

جدول ۴. مقایسه اختلاف نیروی پسا در چهار شبکه طراحی شده

مدل	نیروی پسا (N)	درصد تغییر
Mesh-A	۵۴۹۶/۴۵۵	-
Mesh-B	۵۳۸۸/۷۶	۲

همکاران بود که در سال ۲۰۱۵ صورت پذیرفته است. در این مقاله استوانه‌ای حفره‌دار در کانالی که جریان آب از آن می‌گذرد قرار گرفته است [۲۳].

عدد رینولدز مورد استفاده برای جریان سیال در این مقاله برابر با ۱۷۹۸۰ است، که اندازه سرعت جریان ورودی برای ناحیه محاسباتی با توجه به قطر  $\frac{0}{0.4}$  متر استوانه  $\frac{0}{0.45}$  می‌باشد. موقعیت مکانی قرارگیری این جسم استوانه‌ای مانند دریافتی به صورت عمودی می‌باشد. به گونه‌ای در مسیر جریان سیال درون ناحیه محاسباتی قرار گرفته است که جریان آب ورودی به صورت افقی به بدنه سطح جانبی آن برخورد می‌کند. در شکل ۴ ضریب پسای حل عددی مذکور این هندسه با نتایج آزمایشگاهی مورد مقایسه قرار گرفته است که تطبیق خوبی دارد.



شکل ۴. اعتبارسنجی ضریب پسا محاسبه شده با نتایج آزمایشگاهی ژو و همکاران

تولید شبکه محاسباتی با نرم‌افزار ANSYS-Meshing صورت پذیرفته است. شبکه انتخابی از نوع شبکه ساختاریافته به شکل چندضلعی می‌باشد. همچنین با انتخاب شبکه مجزا در نزدیکی حفره‌های دراگو از طریق شبکه‌بندی لایه‌مرزی از صحت اعمال صحیح شبکه‌بندی اطمینان حاصل گردیده است. در این بررسی ۴ مدل شبکه‌بندی بر روی دراگو دریافتی original-svp صورت پذیرفته است و نام و تعداد سلول‌های محاسباتی در جدول ۳ نشان داده شده‌اند. به علت اطمینان از بهترین شبکه حاصل یافته، سرعت شرط

#### ۴-۱. بررسی تأثیر سایز دراگو

با توجه به اینکه ابعاد دراگو بر میزان پسا وارد بر دراگو کاملاً تأثیر گذار است، ابعاد دراگو باید بر اساس ابعاد سطح شناوری و قلاب آن طراحی شوند که بتواند شرط ضریب پسای سطح را ارضا کند. در این قسمت با هدف بررسی تأثیر سایز دراگو بر نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر دراگو، ۳ اندازه متفاوت از دراگو در جریانی با سرعت ۱ متر بر ثانیه شبیه‌سازی شده است. دو مدل از این دراگوها مربوط به دریفت‌های اورجینال و مینی می‌باشند که از سایزهای استاندارد دراگو دریفت SVP هستند و توسط نیلر [۱۳] و دیگر محققان طراحی و در برنامه جهانی سرعت سطحی استفاده شده است و ابعاد این دو دراگو پیش‌تر به‌طور کامل شرح داده شده است. دراگو دریفت دیگر به نام small-svp می‌باشد که با توجه به اهداف عملیاتی مطالعه، طراحی شده است و به‌صورت سیلندری بدون حفره از جنس لوله پولیکا ساخته شده‌اند، از این‌رو مدل دیگری با همین ابعاد بدون حفره به‌صورت سیلندری یکپارچه طراحی و مدل‌سازی شده است تا تفاوت نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر دراگو بدون حفره و با حفره در آن مشخص شود.

دریفت small-svp مانند دریفت mini-svp از چهار قسمت به ارتفاع ۲۲ سانتی‌متر ساخته شده که ارتفاع کلی دراگو برابر با ۸۸ سانتی‌متر می‌باشد. قطر دراگو برابر با ۱۱ سانتی‌متر و قطر حفره‌ها برابر با ۶ سانتی‌متر می‌باشد. نسبت قطر دراگو و حفره‌ها به‌گونه‌ای انتخاب شده است که به یک نسبت از تغییر ارتفاع دراگو نسبت به دریفت mini-svp باشند. یعنی اگر ارتفاع این دراگو حدود ۶ برابر کوچک‌تر شده است، قطر آن نیز به همین نسبت، نسبت به دراگو mini-svp کوچک‌تر شده است.

در جدول‌های ۷ و ۸ نیروهای هیدرودینامیکی و ضرائب پسا و سطح این چهار دراگو نمایش داده شده‌اند. با توجه به این دو جدول مشاهده می‌شود که دراگو دریفت original-svp نیروی پسا و ضریب پسای سطح بزرگ‌تری نسبت به دراگو دریفت mini-svp دارد به‌نوعی که نیروی پسا وارد به آن در حدود دو برابر بزرگ‌تر از دراگو دریفت mini-svp می‌باشد. اما با

Mesh-C	۵۲۶۷/۲۵	۲
Mesh-D	۵۲۳۸/۲۸۵۶	۰/۵

#### ۴. یافته‌ها

برای مشاهده تأثیر سرعت جریان بر نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر دراگو، دریفت در ابعاد اورجینال در سه سرعت جریان متفاوت تحلیل شده است. در جدول‌های ۵ و ۶ می‌توان نتایج این تحلیل را مشاهده نمود. در جدول ۵ مقادیر نیروی فشاری ( $F_p$ ) و لزجت ( $F_v$ ) و برآیند آن دو ( $F_t$ )، که نیروی پسا وارد بر دراگو می‌باشد، به همراه گشتاور وارد بر دراگو ( $M_t$ ) نشان داده شده است. در جدول ۶ ضریب پسا ( $C_d$ ) و سطح مقطع مؤثر پسا ( $A_z$ ) که با نرم‌افزار فلوئنت محاسبه شده است، به همراه حاصل ضرب این دو مقدار که عامل بررسی میزان لغزش توسط نیلر می‌باشد نشان داده شده‌اند. نیروی گشتاور وارد بر قلاب نیز با توجه گشتاور حاصل از نیروهای وارد بر دراگو حول محول گذرنده از دراگو در راستای قلاب با نرم‌افزار فلوئنت محاسبه شده است. با توجه به جدول ۵ با افزایش سرعت نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر دراگو با مجذور این افزایش تغییر یافته‌اند که طبق رابطه نیروی پسا (رابطه ۴) امری منطقی است.

#### جدول ۵. گشتاور کل و نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر دراگو

V [m/s]	$F_p$ [N]	$F_v$ [N]	$F_t$ [N]	$M_t$ [N/m]
۰/۵	۳۳۰/۳۶	۱۵/۴۷	۳۴۵/۸۳	۱۱۱۴/۳۳
۱	۱۳۱۹/۰۶	۵۶/۰۹	۱۳۷۵/۱۹	۴۴۳۱/۳۸
۲	۵۲۶۷/۴۸	۲۰۴/۹۰	۵۴۷۲/۳۹	۱۷۶۳۵/۰۴

#### جدول ۶. ضریب پسا، مساحت مقطع پسا و حاصل ضرب این دو

V [m/s]	$C_d$ [ $\frac{N \cdot S^2}{kg \cdot m}$ ]	$A_z$ [m <sup>2</sup> ]	$C_d \cdot A_z$
۰/۵	۲۱۳/۸۱	۰/۸۴۶۴	۱۸۰/۹۷
۱	۸۵۰/۱۷	۰/۸۴۶۴	۷۱۹/۵۸
۲	۳۳۸۳/۲۶	۰/۸۴۶۴	۲۸۶۳/۵۹

بالای سطح شناوری نسبت به دراگو را در شرایط جوی سخت داشته باشد و همچنین به علت ضریب پسای کوچک، در رهگیری جریان نیز ضعیف عمل خواهد کرد. با توجه به این جدول مشاهده می شود که استفاده از دریفتر بدون حفره تغییر چندانی روی ضرایب هیدرو دینامیکی ندارد اما در شرایطی که دراگو در جریان های اقیانوسی با تغییرات سرعت بالا قرار بگیرد به علت تغییرات ناگهانی در ضریب پسا سبب افزایش گشتاور وارد بر دراگو و در نتیجه لغزش دریفتر می شود. عملکرد حفره بر روی دراگو مانند عملکرد سوراخ های موجود روی توپ گلف است. این سوراخ ها سبب می شود که جریان سریع تر آشفته شود و از همان ابتدا لایه مرزی آشفته روی توپ شکل گیرد. این امر سبب می شود که در تمامی سرعت ها لایه مرزی آشفته حاکم بر لایه مرزی سرعت توپ باشد و به علت تغییر سرعت جریان تغییری در رژیم جریان رخ ندهد که سبب افزایش اختلاف فشار ناگهانی و افزایش پسا وارد بر آن شود (تغییر لایه مرزی آرام به آشفته سبب افزایش ناگهانی ضرایب نیروهای هیدرو دینامیکی می شود).

#### ۴-۲. بررسی تأثیر تغییرات قطر دراگو

در قسمت پیش مشاهده گردید که وجود حفره های داخلی سبب کاهش نیروی فشاری و افزایش نیروی لزجت می شوند و حفره های جانبی سبب افزایش نیروی فشاری و کاهش نیروی لزجت می شوند. به طور کلی وجود این حفره ها به صورت یکی در میان به توزیع نیروهای فشاری و لزجتی در دراگو کمک می کند و سبب می شوند که میزان ضریب پسا در تمام شرایط مختلف جریان بر خوردی به صورت یکنواخت بر روی سطح دراگو پخش شود. در این قسمت با هدف بررسی اندازه قطر دراگو، قطر حفره ها و همچنین تعداد حفره ها در ارتفاع دراگو شش مدل بر اساس دراگو دریفتر mini-svp طراحی شده است. در شکل ۶ نیز می توان نحوه نام گذاری حفره، قطر دراگو، ارتفاع قسمت های دراگو (h) و ارتفاع کل دراگو را مشاهده کرد. مدل D1 و D2 طبق جدول ۹ دارای قطر یکسان حفره مشابه دراگو دریفتر mini-svp

توجه به آزمایش های انجام شده توسط نیلر و دیگر محققان که به آن ها اشاره شد، دریفتر original-svp در شرایط سخت آب و هوایی و با امواج سطحی قوی، دارای لغزش زیاد شناوری نسبت به دراگو در عمق ۱۵ متری می باشد. دلیل این لغزش زیاد در شرایط سخت جوی همان بزرگی گشتاور وارد بر دراگو است که نیلر و پادوان به آن اشاره کردند [۲۴]. با توجه به جدول ۷ مشاهده می شود که گشتاور وارد بر دراگو دریفتر اورجینال حدود دو برابر دریفتر مینی است و این افزایش به علت بزرگ تر بودن سطح دراگو دریفتر اورجینال نسبت به دریفتر مینی می باشد.

جدول ۷. گشتاور کل و نیروهای هیدرو دینامیکی وارد بر دراگو

مدل	$F_p$ [N]	$F_v$ [N]	$F_t$ [N]	$M_t$ [N/m]
SVP-Original	۱۳۱۹/۰۶	۵۶/۰۹	۱۳۷۵/۱۵	۴۴۳۱/۳۸
Mini-SVP	۶۶۲/۶	۲۶/۰۸	۶۸۸/۶۹	۱۷۱۲/۰۸
Small-SVP	۳۳/۶۴	۱/۰۲	۳۴/۶۵	۱۵/۱۳۱
Small-SVP-without dimple	۳۶/۹۳	۰/۹۰۲	۳۷/۸۳	۱۶/۶۴

جدول ۸. ضریب پسا، مساحت مقطع پسا و حاصل ضرب این دو

مدل	$C_d$ [ $\frac{N \cdot S^2}{kg \cdot m}$ ]	$A_z$ [ $m^2$ ]	$C_d * A_z$
SVP-Original	۸۵۰/۱۸	۰/۸۴۶۴	۷۱۹/۵۹
Mini-SVP	۴۲۵/۷۷	۰/۳۷۲۱	۱۵۸/۴۲
Small-SVP	۲۱/۴۳	۰/۰۱۲۱	۰/۲۵۹۳
Small-SVP-without dimple	۲۳/۳۹	۰/۰۱۲۰۹۹	۰/۲۸۲۹

نکته جالب توجه دیگر در این دو جدول، میزان نیروهای هیدرو دینامیکی و ضریب پسای سطح بسیار کوچک دریفتر small-svp می باشد. این ضریب پسای سطح بسیار کوچک نشان می دهد که این دریفتر باید سطح شناوری و قلابی بسیار کوچک داشته باشد که شرط ضریب پسای سطح را ارضا کند. با توجه به این که سطح شناوری دریفترهای mini-svp و original-svp کمره ای به قطر ۳۵ سانتی متر است، سطح شناوری دریفتر small باید بسیار کوچک باشد که عملاً بر روی امواج اقیانوسی عملکردی ضعیف را در بر خواهد داشت. در نتیجه استفاده از ابعاد بسیار کوچک برای دراگو دریفترها عملاً کاری غیر منطقی است که می تواند لغزش



در جدول ۱۰ مشخصات نیروهای هیدرودینامیکی محاسبه شده برای چهار دراگو با قطر متفاوت نمایش داده شده است. با توجه به این جدول مشاهده می‌شود که در مدل D1 و D2 تغییر قطر دراگو با تغییرات نیروهای هیدرودینامیکی رابطه مستقیم دارد. با توجه به جدول ۱۱ در مدل D1 که قطر دراگو کاهش یافته است میزان ضریب پسا و به دنبال آن ضریب مساحت پسا کاهش چشمگیری داشته است و در حدود نصف دراگو اصلی شده است. در نتیجه کاهش قطر دراگو سبب کاهش توانایی دریفتر در عملکرد می‌شود. در مدل D2 که قطر دراگو در حدود ۳۰ درصد نسبت به قطر دراگو اصلی افزایش یافته، شاهد افزایش در حدود ۵۰ درصدی ضریب پسا و افزایش بیش از ۸۰ درصدی ضریب مساحت پسا هستیم. همچنین میزان گشتاور نیز ۳۰ درصد افزایش یافته است که عاملی منفی در کارآمدی دریفتر است. اما با توجه به افزایش زیاد ضریب مساحت پسا می‌توان انتظار داشت که افزایش قطر دراگو سبب عملکرد بهتر دریفتر در شرایط مختلف جوی بشود.

جدول ۱۰. گشتاور کل و نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر دراگو

مدل	$F_p$ [N]	$F_v$ [N]	$F_t$ [N]	$M_t$ [N/m]
Mini-SVP	۶۶۲/۶	۲۶/۰۸	۶۸۸/۶۹	۱۷۲۲/۰۸
Min-SVP-D1	۴۵۸/۵۲	۱۹/۷۶	۵۰۵/۲۸	۱۲۵۹/۸۷
Min-SVP-D2	۸۳۸/۲۷	۳۳/۱۵	۸۷۱/۴۲	۲۱۲۲/۳۲
Min-SVP-DC1	۵۰۲/۶۹	۲۰/۱۹	۵۲۲/۱۹	۱۲۹۷/۷۳
Min-SVP-DC2	۸۵۰/۶۸	۳۲/۴۹	۸۸۳/۱۷	۲۱۷۵/۰۱

جدول ۱۱. ضریب پسا، مساحت مقطع پسا و حاصل ضرب این دو

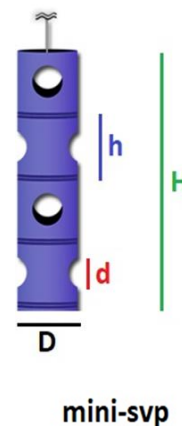
مدل	$C_d$ $\left[ \frac{N \cdot S^2}{kg \cdot m} \right]$	$A_z$ [m <sup>2</sup> ]	$C_d * A_z$
Mini-SVP	۴۲۵/۷۷	۰/۳۷۲۱	۱۵۸/۴۳
Min-SVP-D1	۳۱۲/۳۹	۰/۲۰۲۵	۶۳/۲۶
Min-SVP-D2	۵۳۸/۷۵	۰/۶۴	۳۴۴/۸
Min-SVP-DC1	۳۲۳/۲۷	۰/۲۰۲۵	۶۵/۴۶
Min-SVP-DC2	۵۴۶/۰۲	۰/۶۴	۳۴۹/۴۵

با توجه به دو جدول ۱۰ و ۱۱ در مدل DC1 مشاهده می‌شود که ثابت نگه داشتن نسبت قطر حفره و دارگو نتوانسته است

هستند و تنها در آن‌ها قطر دراگو تغییر کرده است. در نتیجه این دو مدل دارای نسبت متفاوت قطر حفره به دراگو می‌باشند که در جدول مشخص شده است. در مدل DC1 و DC2 طبق جدول ۹ قطرها با نسبت ثابت قطر حفره به قطر دراگو تغییر کرده است. مدل H5 و H6 به منظور بررسی افزایش تعداد حفره‌ها طراحی شده است. به گونه‌ای که در آن‌ها ارتفاع سیلندر داخلی (h) کوچک‌تر شده است. در نتیجه مدل H5 از ۵ سیلندر به ارتفاع ۹۷/۶ سانتی‌متری تشکیل شده است و مدل H6 نیز از شش قسمت تشکیل شده است و هر دو مدل در شکل ۹ نشان داده شده است. در هر دو مدل ارتفاع کل دراگو برابر با ۴۸۸ سانتی‌متر مشابه دراگو اصلی دریفتر mini-svp است (دراگو اصلی از چهار سیلندر ۱۲۲ سانتی‌متری طبق شکل ۹ تشکیل شده است).

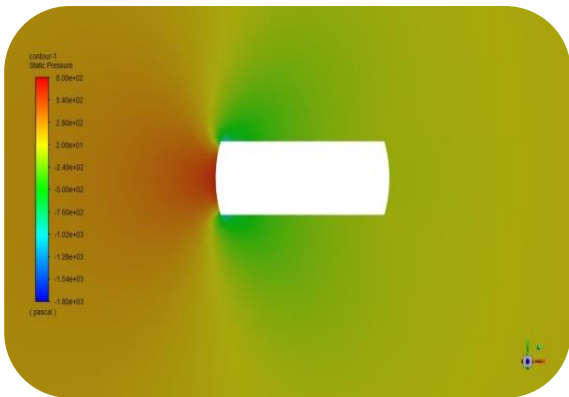
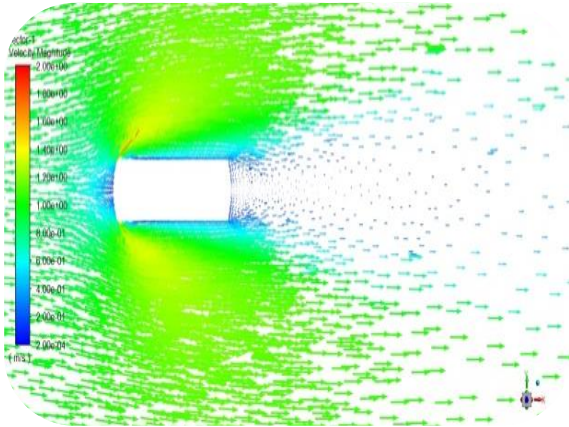
جدول ۹. مشخصات هندسه دراگوهای متفاوت تحلیل شده، تمامی اندازه‌ها به متر می‌باشند.

ارتفاع سیلندر داخلی (h)	نسبت d/D	قطره حفره (d)	قطر دراگو (D)	نام مدل
۱/۲۲	۰/۴۹۲	۰/۳	۰/۶۱	Mini-svp
۱/۲۲	۰/۶۶	۰/۳	۰/۴۵	Mini-svp-D1
۱/۲۲	۰/۳۷۵	۰/۳	۰/۸	Mini-svp-D2
۱/۲۲	۰/۴۹۲	۰/۲۲۱۴	۰/۴۵	Mini-svp-DC1
۱/۲۲	۰/۴۹۲	۰/۳۹۳۶	۰/۰۸	Mini-svp-DC2
۰/۹۷۶	۰/۴۹۲	۰/۳	۰/۶۱	Mini-svp-H5
۰/۸۱۳	۰/۴۹۲	۰/۳	۰/۶۱	Mini-svp-H6

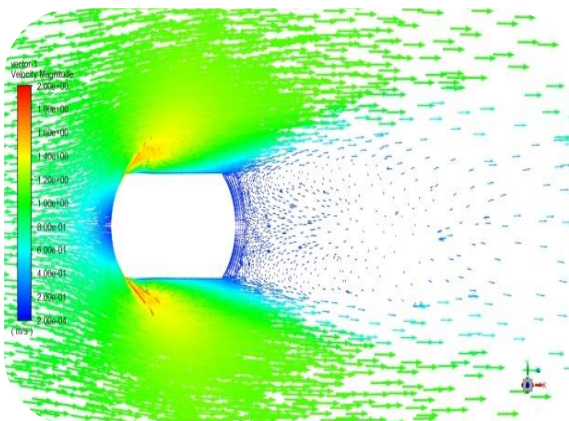


شکل ۶. نحوه نام‌گذاری پارامترهای هندسی مورد بررسی

همین گردابه‌های بزرگ‌تر در پشت دراگو سبب افزایش اختلاف فشار استاتیکی در حول مقطع شده است، و به همین علت در قسمت پیش بیان شد که افزایش سرعت جریان افزایش نیروی فشار اعمالی بر سطح دراگو و در نتیجه افزایش ضریب پسا را به همراه دارد.



شکل ۷. بردار بزرگی سرعت (شکل اول) و کانتور فشار استاتیکی (شکل دوم) در ریفتور D1 در مقطع گذرا از حفره جانبی



در بهبود عملکرد دراگو زمانی که قطر کاهش می‌یابد نقشی داشته باشد و همچنان ضریب مساحت پسا در حدود مدل D1 باقی‌مانده است که نشان‌دهنده عملکرد ضعیف مدل DC1 در شرایط سخت جوی است. همچنین در مدل DC2 مشاهده می‌شود عملکرد این نوع دراگو کاملاً مشابه دراگو D2 می‌باشد. بنابراین می‌توان نتیجه کلی را این‌گونه بیان کرد که، مهم‌ترین عامل در افزایش نیروهای هیدرودینامیکی روی دراگو تغییر قطر دراگو صرف‌نظر از میزان قطر حفره‌ها می‌باشد. همچنین میزان افزایش قطر دراگو علاوه بر افزایش نیروهای هیدرودینامیکی و افزایش ضریب پسا سبب افزایش میزان گشتاور وارد بر قلاب نیز می‌شود، پس میزان افزایش قطر دراگو به‌منظور افزایش عملکرد دریفتور نباید بیش از ۳۰ درصد باشد.

در مدل‌هایی که افزایش قطر دراگو را داشته‌اند مقدار دنباله جریان در پشت دراگو افزایش یافته است. به‌گونه‌ای در پشت دراگو گردابه‌های قوی‌تری تا پایین دست شکل گرفته‌اند و این سبب افزایش اختلاف فشار در طرفین دراگو و افزایش نیروی فشاری به دراگو شده است در نتیجه ضریب پسا افزایش یافته است که با توجه به نتایج نیروهای هیدرودینامیکی جدول ۱۰ کاملاً این نتایج قابل مشاهده هستند. کاهش فشار پشت دراگو و افزایش سرعت جریان باعث می‌شود که بزرگی گردابه‌ها در پشت دراگو افزایش یابد و به دنبال آن افزایش گشتاور اعمالی به دراگو را به همراه داشته باشد. در مدل‌هایی که قطر دراگو کاهش یافته است نیز شاهد کاهش سرعت جریان در پشت دراگو هستیم که سبب کاهش نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر دراگو می‌شود.

برای فهم بهتر این مطلب می‌توان دو شکل ۷ و ۸ را مشاهده نمود. در این دو شکل بردار سرعت و کانتور فشار استاتیکی در مقطع گذرا از موقعیت حفره جانبی در صفحه  $Y-X$  ترسیم شده است. در شکل ۷ مشاهده می‌شود که در پشت دراگو گردابه‌ها بسیار کوچک‌تر از گردابه‌های پشت دراگو مدل D2 در شکل ۸ هستند. به‌نوعی افزایش قطر سبب شده است که فاصله خطوط جریان از یکدیگر بیشتر شود و یک جریان در فضای خالی ایجاد شده در پشت دراگو به وجود آید.

SVP تأثیری ندارد و تنها تغییر قطر و ارتفاع دریفت سبب تغییر نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر دراگو می‌شود.

جدول ۱۲. گشتاور کل و نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر دراگو

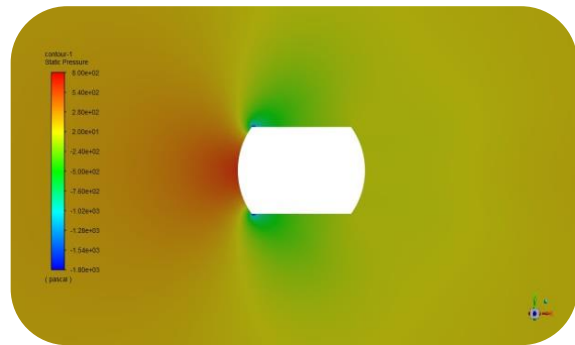
مدل	$F_p$ [N]	$F_v$ [N]	$F_t$ [N]	$M_t$ [N/m]
Mini-SVP	۶۶۲/۶	۲۶/۰۸	۶۸۸/۶۹	۱۷۱۲/۰۸
Mini-SVP-H5	۶۶۲/۶	۲۶/۹۴	۶۸۹/۵۵	۱۶۸۲/۸۳
Mini-SVP-H6	۶۷۲/۰۸	۲۶/۰۴	۶۹۸/۴۸	۱۷۰۵/۳۷

جدول ۱۳. ضریب پسا، مساحت مقطع پسا و حاصل ضرب این دو

مدل	$C_d$ $\frac{N \cdot S^2}{kg \cdot m}$	$A_z$ [m <sup>2</sup> ]	$C_d * A_z$
Mini-SVP	۴۲۵/۷۷	۰/۳۷۲۱	۱۵۸/۴۳
Mini-SVP-H5	۴۲۶/۳۴	۰/۳۷۲۱	۱۵۸/۶۴
Mini-SVP-H6	۴۳۱/۸۳	۰/۳۷۲۱	۱۶۰/۶۸

## ۵. بحث

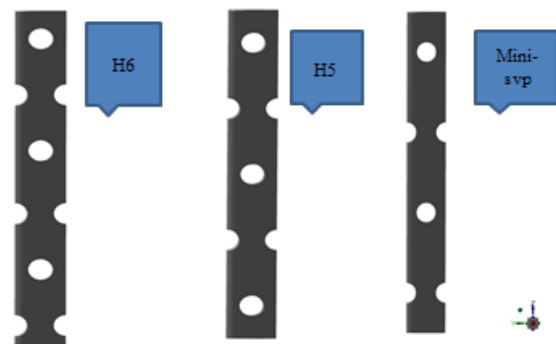
از زمان پیدایش دریفت‌های لایه‌های محققان توانستند مشخصه‌های سینماتیکی جریان‌های اقیانوسی را به دست آورند و در نتیجه نقشه‌ای کامل از جریان‌های اقیانوسی حاصل گردید. در این سال‌ها طراحی‌های دریفت‌ها تغییرهای بسیاری کرد و محققان با آزمایش‌هایی که انجام دادند مشخص کردند که بهترین عملکرد مربوط به دریفت SVP است. این دریفت که در سال ۱۹۸۷ توسط نیلر ساخته شد رفته‌رفته پیشرفت کرد. نیلر بیان کرد که مهم‌ترین عامل طراحی دراگو خوب دریفت این است که ضریب پسای سطح دراگو در حدود ۴۰ برابر مجموع ضریب پسای سطح شناور سطحی و قلاب باشد [۱۹]. همچنین دراگویی که ضریب پسای سطح بالا با گشتاور اعمالی بر قلاب کوچک‌تری دارد، بهترین دنبال‌کنندگی جریان در برابر کم‌ترین لغزش شناور سطحی در مقابل باد و امواج را دارد. در این پژوهش با در نظر گرفتن این دو عامل و مدل‌سازی هندسه‌های متفاوت از دراگو با نرم‌افزار انسیس فلونت در محیطی سه‌بعدی با استفاده از مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  تأثیر هندسه‌های متفاوت دراگو در عملکرد دریفت بررسی شد و نتایج به‌دست آمده به اختصار در ادامه بیان شده است.



شکل ۸. بردار بزرگی سرعت و کانتور فشار استاتیکی دریفت D2 در مقطع گذرا از حفره جانبی

## ۳-۴. بررسی تأثیر تعداد سیلندرها داخلی در ارتفاع دراگو

در قسمت پیش مشاهده گردید که مهم‌ترین عامل تأثیرگذار در نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر دراگو تغییر قطر دراگو صرف‌نظر از اندازه قطر حفره‌ها است. در این قسمت تأثیر تعداد حفره‌ها در دراگو بررسی می‌شود. برای بررسی این عامل دو دراگو با مشخصاتی که در جدول ۹ آورده شده است طراحی گردیده است همچنین در شکل ۹ می‌توان شکل این دو دراگو در مقایسه با دراگو دریفت mini-svp که مرجع مقایسه نتایج است را مشاهده نمود.



شکل ۹. شکل سه دراگو طراحی شده

در جدول ۱۲ نتایج نیروهای هیدرودینامیکی این دو مدل دراگو به همراه دراگو اصلی بیان شده است. با توجه به جدول ۱۲ و بررسی نتایج مشاهده می‌شود که افزایش تعداد حفره‌ها در دراگو تأثیر بسیار ناچیز و قابل‌اغماضی در نیروهای هیدرودینامیکی دارد. در نتیجه می‌توان بیان کرد که افزایش تعداد حفره‌ها در عملکرد هیدرودینامیکی دریفت

## ۶. نتیجه گیری

نتایج این پژوهش را می توان به طور خلاصه به صورت زیر برشمرد:

- افزایش سرعت جریان سبب افزایش نیروی فشاری و لزجتی می شود به گونه ای که با افزایش سرعت نیروی فشاری وارد بر دراگو در حدود مجذور تغییرات سرعت افزایش می یابد؛
- افزایش طول دراگو علاوه بر افزایش نیروهای هیدرودینامیکی سبب اعمال بیشتر گشتاور بر قلاب نیز می شود که خود علتی بر لغزش دريفتر است. همچنین کاهش بیش از اندازه ارتفاع دراگو سبب کاهش ضریب پسای سطح شده که باعث دنبال کنندگی ضعیف جریان می شود؛
- بهترین ارتفاع برای دراگو دريفتر svp همان ارتفاع دراگو mini-svp به ارتفاع ۴۸۸ سانتی متر می باشد؛
- دراگو با سطح صاف و بدون حفره به علت توزیع غیریکنواخت ضریب پسای سطح و همچنین کاهش ضریب پسای در سرعت های بالای جریان دنبال کنندگی ضعیف جریان و لغزش در جریان های شدید خواهد داشت؛
- وجود حفره های جانبی در دراگو سبب افزایش نیروی فشاری می شود و حفره های داخلی دراگو نیروی لزجتی را افزایش می دهد. در نتیجه وجود این حفره ها سبب می شود که ضریب پسای به صورت یکنواخت در سطح دراگو پخش شود و از لغزش دراگو در تغییرات سرعت های ناگهانی جلوگیری به عمل آورد؛
- حفره های جانبی و داخلی دراگو سبب پخش نیروی فشاری و اصطکاک کی حول دراگو می شوند. پخش یکنواخت تر نیروهای سطحی وارد بر دراگو به منزله جذب یکنواخت تر انرژی جنبشی جریان توسط دريفتر می شود و به دنبال آن لغزش سطحی سرعت نیز کاهش می یابد؛

- افزایش تعداد حفره ها در عملکرد دريفتر چندان تغییری ایجاد نمی کند و بهترین آرایش برای حفره ها به گونه ای است که حفره ها باید یکی در میان از بالا به پایین به صورت جانبی و داخلی باشند؛
- قطر دراگو تأثیر بسزایی در ضرایب هیدرودینامیکی دارد، به گونه ای که افزایش ۳۰ درصدی قطر دراگو سبب افزایش در حدود ۹۰ درصدی ضریب پسای سطح می شود. اما افزایش بیش از حد قطر سبب بزرگ شدن گشتاور اعمالی بر قلاب و لغزش شناور سطحی خواهد شد.

## مراجع

- [1] Lumpkin R, Özgökmen T, Centurioni L. Advances in the application of surface drifters. Annual Review of Marine Science. 2017 Jan 3;9:59-81.
- [2] Hosseini SH, Akbarinasab M, Khalilabadi MR. Numerical simulation of the effect internal tide on the propagation sound in the Oman Sea. Journal of the Earth and Space Physics. 2018 Apr 21;44(1):215-25.
- [3] Ghorbani A, Khalilabadi MR. Positioning Using Classification and Regression: Case study of Oman Sea. International Journal of Coastal and Offshore Engineering. 2020 Oct 10;4(3):35-41..
- [4] Khalilabadi MR. Underwater Terrain and Gravity aided inertial navigation based on Kalman filter. International Journal of Coastal and Offshore Engineering. 2020 Oct 10;4(3):15-21.
- [5] Khalilabadi MR, Shojaezadeh SA, Dehghani Ashkzari G. Estimation of Flow Velocity Using Entropy Theory and Verification by Experimental Flume and Natural Rivers Data. Hydrophysics. 2020 Aug 22;6(1):21-34.
- [6] Khalilabadi MR. The effect of meteorological events on sea surface height variations along the northwestern Persian Gulf. Current Science (00113891). 2016 Jun 10;110(11).
- [7] Khalilabadi MR, Sadrinassab M, Chegini V, Akbarinassab M. Internal Wave Generation in the Gulf of Oman (Outflow of Persian Gulf). 2015;44(3):371-75.
- [8] Mahpeykar O, Khalilabadi MR. Numerical modelling the effect of wind on Water Level and Evaporation Rate in the Persian Gulf. International Journal of coastal and offshore engineering. 2021 Oct 10;5(1):47-53.

- [19] Niller PP, Davis RE, White HJ. Water-following characteristics of a mixed layer drifter. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*. 1987 Nov 1;34(11):1867-81.
- [20] Menna M, Poulain PM, Bussani A, Gerin R. Detecting the drogue presence of SVP drifters from wind slippage in the Mediterranean Sea. *Measurement*. 2018 Sep 1;125:447-53.
- [21] Sybrandy AL, Niller PP, Martin C, Scuba W, Charpentier E, Meldrum DT. Global drifter programme barometer drifter design reference. DBCP Report. 2009 Aug;4.
- [22] Fluent AN. Release 16.0, Theory Guide; ANSYS. Inc.: Canonsburg, PA, USA. 2015.
- [23] Zhou B, Wang X, Guo W, Gho WM, Tan SK. Control of flow past a dimpled circular cylinder. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2015 Dec 1;69:19-26.
- [24] Paduan JD, Rosenfeld LK. Remotely sensed surface currents in Monterey Bay from shore-based HF radar (Coastal Ocean Dynamics Application Radar). *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 1996 Sep 15; 101(C9): 20669-86.
- [9] Mollaesmaeilpour S, Mohammad Mahdizadeh M, Hasanzade E, Khalilabadi MR. The Study of Hydrophysical Properties of the Northern Arabian Sea During Monsoon: a Numerical Study. *Hydrophysics*. 2019 Aug 23;5(1):47-59.
- [10] Lumpkin R, Johnson GC. Global ocean surface velocities from drifters: Mean, variance, El Niño–Southern Oscillation response, and seasonal cycle. *Journal of Geophysical Research: Oceans*. 2013 Jun 1;118(6):2992-3006.
- [11] Richardson PL. Agulhas leakage into the Atlantic estimated with subsurface floats and surface drifters. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*. 2007 Aug 1;54(8):1361-89.
- [12] Niller PP. A brief history of drifter technology. In *Autonomous and Lagrangian Platforms and Sensors Workshop*. La Jolla, CA, Scripps Institution of Oceanography; 2003 Apr.
- [13] Niller PP, Paduan JD, Sybrandy AL, Sombardier L. The WOCE/TOGA Lagrangian surface drifter. In *OCEANS 91: ocean technologies and opportunities in the Pacific for the 90's*; October 1-3, 1991; Honolulu HI 1991.
- [14] Lumpkin R, Grodsky SA, Centurioni L, Rio MH, Carton JA, Lee D. Removing spurious low-frequency variability in drifter velocities. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2013 Feb;30(2):353-60.
- [15] Lumpkin R, Centurioni L, Perez RC. Fulfilling observing system implementation requirements with the global drifter array. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. 2016 Apr;33(4):685-95..
- [16] Centurioni L, Horányi A, Cardinali C, Charpentier E, Lumpkin R. A global ocean observing system for measuring sea level atmospheric pressure: Effects and impacts on numerical weather prediction. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2017 Feb 1;98(2):231-8.
- [17] D'Asaro EA, Black PG, Centurioni LR, Chang YT, Chen SS, Foster RC, et al. Impact of typhoons on the ocean in the Pacific. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2014 Sep 1;95(9):1405-18.
- [18] Chang Y, Hammond D, Haza AC, Hogan P, Huntley HS, Kirwan Jr AD, Lipphardt Jr BL, Taillandier V, Griffa A, Özgökmen TM. Enhanced estimation of sonobuoy trajectories by velocity reconstruction with near-surface drifters. *Ocean Modelling*. 2011 Jan 1;36(3-4):179-97.

#### پی‌نوشت‌ها

1. Eulerian drifters
2. Lagrangian drifters
3. Drogue
4. World ocean circulation experiment
5. Tropical ocean and global atmosphere
6. Surface velocity program
7. Mooring
8. Out flow
9. Pressure-based solver
10. Density-based solver
11. SIMPLE
12. Relaxation factor