# بررسی خطای روابط تجربی و شبیه سازی عددی در محاسبه توان شناورهای زیرسطحی با استفاده از نتایج تست میدانی

سجاد اردشیری'، سید حسین موسویزادگان'، سعید خردمند''، فرزاد اسکندری ٔ، احمد کمالی<sup>ه</sup>

sajjad\_ardeshiri@yahoo.com

۱ - دانشجوی دکتری مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر
 ۲ - استادیار، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
 ۳ - استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر
 ۴ - کارشناس ارشد مخابرات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
 ۵ - کارشناسی ارشد برق، دانشگاه صنعتی اصفهان

### چکیدہ

محاسبات مقاومت و توان برای طراحی انواع شناورها از اهمیت ویژهای برخوردار است. این محاسبات برای شناورهای زیرسطحی با توجه به محدودیتهای آرشیتکتوری و چیدمانی از اهمیت بیشتری برخوردار است. در این مقاله محاسبات توان یک نمونه AUV بررسی شده است. ابتدا فرمولهای تجربی برای محاسبات توان یک نمونه AUV بررسی شده است. ابتدا فرمولهای تجربی برای محاسبات توان شناورهای زیرسطحی ارائه شده است. سپس با روش CFD ، شبیه ازی عددی جریان اطراف AUV به همراه پروانه آن انجام شده است تا با در نظر گرفتن نیروهای برهمکنش هیدرودینامیکی بین بدنه و پروانه، مقاومت و اطراف AUV برسی شده است. ابتدا فرمولهای تجربی برای محاسبات توان شناورهای زیرسطحی ارائه شده است. سپس با روش CFD ، شبیه سازی عددی جریان اطراف AUV به همراه پروانه آن انجام شده است تا با در نظر گرفتن نیروهای برهمکنش هیدرودینامیکی بین بدنه و پروانه، مقاومت و توان مورد نیاز شناور مورد برسی قرار گیرد. تست میدانی و کار آزمایشگاهی جهت محاسبات توان و راندمان شناور مورد نظر انجام شده و تروان مده و توان مده و توانه، مقاومت و توان مورد نیاز شناور مورد برسی قرار گیرد. تست میدانی و کار آزمایشگاهی جهت محاسبات توان و راندمان شناور مورد نظر انجام شده و توان مده و توان مده و توان مده و توان ترم مده است تا با در تش می و می آزمایشگاهی جهت محاسبات توان و راندمان شناور مورد نظر انجام شده و تحلیل نتایج تست میدانی شاور مورد نظر انجام شده و تحلیل نتایج تست میدانی شاور وکارآزمایشگاهی ارائه شده است. در پایان توان محاسبه شده از روشهای تجربی و روش CFD با روش تحلیل نتایج تست میدانی شده است و میزان خطای هرکدام از این روشها ارائه شده است.

واژگان کلیدی: رانش، شناور زیرسطحی، CFD، تست میدانی.

93/17/71	تاريخ دريافت مقاله :
۹۵/۰۲/۰۵	تاريخ پذيرش مقاله :

سال سوم – بهار و تابستان ۱۳۹۵

یک نمونه شناور زیرآبی استفاده کرد. سایر<sup>†</sup>[۳] در سال ۱۹۹۶ با استفاده از نرم افزار فلوئنت، ضریب نیروی درگ وارد بر ROV سوپراکوریپو<sup>۵</sup> را محاسبه نمود و با نتایج حاصل از آزمایش مدل یک چهارم شناور مقایسه کرد که اختلاف ناچیزی را نشان میداد. در سال ۲۰۰۱ کلاوس<sup>2</sup> و همکارانش [۴] تحقیق هیدرودینامیکی و دینامیکی کاملی برای بدست آوردن بهترین طراحی ممکن روی ROV مدوس<sup>۲</sup> انجام دادند.

به این منظور، چهار هندسه مختلف تهیه و توسط نرم افزار فلوئنت تحلیل شد که طراحی نهایی این ROV کاهش بیش از ۲۰٪ درگ در حرکت افقی شناور را بهمراه داشت. کلاوس و همکاران نتایج این تحلیل هیدردینامیکی را با نتایج حاصل از آزمایش مدل واقعی ROV مقایسه کردند و صحت جوابها را نشان دادند. در سال ۲۰۰۵ ایوب<sup>۸</sup> و همکارانش جوابها را نشان دادند. در سال ۲۰۰۵ ایوب<sup>۸</sup> و همکارانش دارپا۲<sup>۴</sup> اثر افزایش یا کاهش طول را با در نظر گرفتن سه طول مختلف از شناور تحلیل کردند. پژوهشگران دیگری نیز نظریات خود را در این مورد ارائه کردهاند که جند نمونه در مراجع [۲-۲] موجود است.

استفاده از فرمولهای تجربی و همچنین روشهای عددی همواره با خطا همراه است و مطالعات در زمینه کاهش میزان خطا و افزایش دقت این محاسبات ادامه دارد.

در این مقاله ابتدا روابط تجربی مرسوم برای محاسبات توان شناورهای زیرسطحی،ارائه شده است. در ادامه معادلات حاکم بر مسئله بیان شده و شبیهسازی با روش دینامیک سیالات محاسباتی (CFD<sup>1</sup>) با استفاده از نرمافزار فلوئنت، ارائه خواهد گردید. سپس دادههای بدست آمده از روش تست میدانی ارائه شده و نتایج تحلیل دادهها، ارائه شده است. در پایان با محاسبه توان مورد نیاز، از روشهای مختلف، به بررسی میزان خطای محاسبات عددی و سایر روابط تجربی در تخمین توان شناور زیرسطحی مورد نظر، در مقایسه با نتایج بدست آمده از تست میدانی شناور پرداخته میشود.

<sup>9</sup> DARPA-2

### ۱ – مقدمه

تخمین مقاومت مربوط به انواع شیناورها و بطور ویژه در شیناورهای زیرسطحی از پیچیدگی خاصی برخوردار است. این محاسبات در زیرسطحیها به علت جانمایی فشرده آن و فضای مورد نیاز موتور به عنوان یکی از مهمترین اقلام در آرشیتکتوری از حساسیت بیشتری برخودار است. هدف محققین آن است که روشی مورد استفاده قرار بگیرد تا بتوان با صرف حداقل زمان و هزینه، بهترین تخمین را از مقاومت یک شیناور بخصوص در مرحله طراحی مفهومی، بدست آورند.

تعیین چیدمانی زیرسطحیها مستلزم انجام چندین مرحله سعی و خطا در بدست آوردن بهترین نوع چیدمانی است و ممکن است که باعث تغییر شکل بدنه شناور زیرسطحی اعم از تغییر در طول، قطر و ملحقات آن گردد. تغییر در ابعاد بدنه شاور زیرسطحی بر روی مقدار مقاومت و توان مورد نیاز تاثیر خواهد گذاشت. این به معنای آن است که توان موتور و در نتیجه ابعاد موتور باید متناسب با آن تغییر یابد. موتور با ابعاد جدید چیدمانی را تحت تاثیر قرار خواهد داد. این قید تنها یکی از چندین قیدی است که ممکن است

در نظر گرفتن سایر پارامترهای مورد نیاز در طراحی، منجر به این نتیجه خواهد شد که چندین مرحله سعی و خطا در چیدمانی باید انجام شود. در هر کدام از این مراحل باید مقاومت شناور و توان مورد نیاز محاسبه گردد و با توجه به فرآیند فوق، اگر از روشهای آزمایشگاهی استفاده شود، این روشها، مستلزم صرف وقت و هزینه زیاد میباشد و ممکن است طراحی مفهومی (اولیه) مدتها بطول انجامد.

به این علت سعی میشود که در مرحله طراحی مفهومی از روشهای سادهتر یعنی روشهای تجربی و عددی استفاده شود.در سال ۱۹۹۲ گوتیمر<sup>۱</sup> و همکارانش[۱] با نوشتن یک کد جریان لزج ضریب فشار وارد بر هندسه یک شاور زیرآبی را محاسبه و صحت نتایج خود را با آزمایش آن در تونل باد تایید نمودند. در سال ۱۹۹۳ ناهن<sup>۱</sup>[۲] از بسته نرمافزاری دات کام<sup>۳</sup> برای تخمین ضرائب هیدرودینامیکی

<sup>5</sup> Super Scorpio

<sup>7</sup> MODUS

<sup>&</sup>lt;sup>8</sup> Ayub

<sup>&</sup>lt;sup>10</sup> Computational Fluid Dynamic

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> Gotimer

<sup>&</sup>lt;sup>2</sup> Nahen

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Datcom

<sup>&</sup>lt;sup>4</sup> Sayer

<sup>&</sup>lt;sup>6</sup> Clauss

### سال سوم - بهار و تابستان ۱۳۹۵

### ۲-مشخصات شناور مورد مطالعه

هندسه مسئله حاضر شامل دو عضو اصلی است. ۱- هندسه بدنه و بالکها ۲- هندسـه پروانه. مشـخصـات هندسـی در جدول (۱) و در جدول (۲) مشـخصـات پروانه ارائه گردیده اسـت. شـکل (۱) نمایی از بدنه شناور مورد مطالعه را نشان میدهـد. در جـدول (۲)، pD قطر پروانـه، مقدار ηο راندمان اوپن واتر پروانه، Z تعداد پره، EAR نسـبت سـطح گسترش یافته، PD نسـبت پیشـروی، I ضریب پیشروی، K<sub>T</sub> ضریب تراست و K<sub>Q</sub> ضریب گشتاور پروانه است.

۳-روشهای تجربی
 ۳-ا-روش اول - روش منبع (Concept) [ ۱۳]
 ۲-۳-روش اول - روش منبع (Concept) [ ۱۳]
 ۲-۳-(۱)
 ۲-۳-(۱)
 ۲-۳-(۱)
 ۲-۳-(۱)
 ۲-۳-(۱)
 ۲-۳-(۱)
 ۲-۳-(۱)
 ۲-۳-(۱)
 ۲-۳-(۱)
 ۲-۳-(1)
 ۲-۳-(1)
 ۲-۳-(1)
 ۲-۳-(1)
 ۲-۳-(1)
 ۲-۳-(1)
 ۲-۳-(1)
 ۲-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-۳-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)
 ۳-8-(1)</l

کردن درمقیاس کامل است. مقدار C<sub>R</sub> از آزمایشات مقاومت مدل بدست میآید وفرض شده است که مستقل از عدد رینولدز باشد یعنی C<sub>RS</sub>=C<sub>RM</sub>، خطاهای همراه این فرض درضریب C<sub>A</sub> درنظر گرفته میشود.

د مقاومت باقیمانده شناور و  $C_{RM}$  :مقاومت باقیمانده مدل  $C_{RS}$ است. ضریب CA از انجام اولین آزمایشات زیردریایی جدید بدست میآید، هر چند که درمرحله طراحی و ساخت مدل، مقدار مناسب C<sub>A</sub> براساس زیردریاییهای پیشین یک مقدار مناسب در نظر گرفته می شود. به عنوان نمونه مقدار مجاز ضريب CA ممكن است بين(10-3-0.6×10) باشد. Cr ضریب کثیفی سطح تا ۱۸۰ روز پس از آب اندازی است. درشــكل (۲) محدوده مقادير (C<sub>A</sub>+C<sub>R</sub>) بازه (۲)×(0.9-1.2) در ازای محدوده بزرگی از ضریب ظرافت آورده شده است. محاسبه ضريب مقاومت اصطكاكي ملحقات: بدنه لخت و هر یک از ملحقات بدنه دارای یک عدد رینولدز خاص هستند که براساس طول کل، روکش و طول کورد متوسط ۱ هریک از ملحقات می باشد و هریک از اینها ضرایب خاص را خواهند داشت وتناسب با هريک به مساحت سطح خيس کل (که به عنوان سـطح مرجع(S<sub>REF</sub>) شـناخته میشـود) به یکدیگر افزوده خواهند شد يعنى :

دو فصلنامه علمی - پژوهشی دریا فنون

$$\begin{split} C_F &= C_{Fhull} \times \left(\frac{_{autor vert} + e^{ist} + e^{ist} + e^{ist} + e^{ist} + e^{ist} + \frac{_{autor} + s^{ist} + \frac{_{autor} + s^{ist} + s^{ist} + e^{ist} + \frac{_{autor} + s^{ist} + s^{ist} + s^{ist} + s^{ist} + \frac{_{autor} + s^{ist} + s^{ist} + s^{ist} + s^{ist} + \frac{_{autor} + s^{ist} + s^{i$$

جدول (۱) مشخصات هندسی کلی شناور زیرسطحی.

۲/۸۵متر	طول کل
۰/۴۵ متر	قطر بدنه
۲۸۵/ متر	طول قسمت دماغه
۰/۷۲ متر	طول پاشنه
۴ عدد	تعداد بالک
۴ متر مربع	سطح خيس بدنه
۰/۰۲۹ متر مربع	سطح هر بالک
۳۸۷/ مترمکعب	حجم کل

پروانه.	مشخصات	ل (۲)	جدوا
---------	--------	-------	------

۰/۲۸	D <sub>p</sub> (m)
•/480	$\eta_{o}$
۶	Z
• /۵Y	EAR
۱/٣	P/D
• /A	J
٠/١٢	KT
• / • ٣ ١	Kq



شکل (۱) هندسه AUV مورد مطالعه.

<sup>2</sup> BareHull

سال سوم – بهار و تابستان ۱۳۹۵

مراحل انجام محاسبات درگ دراین روش به شرح ذیل است. محاسبه ضریب اصطکاک: از فرمول Rn) ITTc'57 مدد رينولدز مي باشد):  $C_{F} = \frac{0.075}{\left(\log_{10}^{R_{n}} - 2\right)^{2}}$ (11)R<sub>n</sub> عدد رینولدز ،V سـرعت جسم (شناور)، طول شناور و ρ چگالی سیال است. زبری نسبی: ۰/۰۵ ضریب اصطکاک درنظر گرفته میشود: (17)  $\delta C_F = 0.05 C_{F_o}$ ضریب اصطکاک کل: ضریب اصطکاک کل از رابطه مقابل محاسبه می گردد:  $C_F = C_{F_0} + \delta C_F$ (۱۳) فاكتور فرم بدنه: فاكتور فرم بدنه از طريق فرمول تجربي با رابطه زیر محاسبه می گردد:  $k = \left(\frac{D}{L}\right) + 1.5 \left(\frac{D}{L}\right)^3$ (14) ضريب مقاومت فشاري (فرم):  $C_{FORM} = kC_{F_0}$ (10) مقاومت اصطكاكى:  $R_F = \frac{1}{2}\rho C_F V^2 S_{WET}$ (19) مقاومت فشارى:

$$\begin{split} R_{FORM} &= \frac{1}{2} \rho C_{FORM} V^2 S_{WET} = \frac{1}{2} \rho k C_F V^2 S_{WET} \quad (1Y) \\ V \text{ uncar mile} , \text{ swet} \text{ supported of } \\ N \text{ uncar mile} \text{ solution} \\ N \text{ adigor for mile} \text{ solution} \text{ solution} \\ N \text{ adigor for mile} \text{ solution} \text{ solution} \\ N \text{ adigor for mile} \text{ solution} \text{ solution} \\ R_T = R_F + R_{FORM} \quad (1A) \end{split}$$

(اندازه طولی) وابسته است محاسبه می شود و در محاسبه می شود و در محاسبه مقاومت سطح خیس شناورلحاظ می گردد که به صورت ذیل ارائه گردیده است.

$$C_{\rm T} = C_{\rm f} (1 + 1.5(\frac{\rm D}{\rm L})^{1.5} + 7(\frac{\rm D}{\rm L}))$$
 (Y · )

دو فصلنامه علمی – پژوهشی دریا فنون



مقاومت کل از رابطه زیر محاسبه می گردد. 
$$R = \frac{1}{2} \rho \; C_T V^2 S_{wet} \tag{7}$$

۲-۳-روش دوم- روش منبع (Theory) [۱۴]

$$C_{\rm F} = \frac{0.075}{\left(\log_{10}^{\rm R_{\rm B}} - 2\right)^2} \tag{(f)}$$

$$C_{\rm F} = \frac{0.455}{\left(\log_{10}^{\rm R_{\rm n}}\right)^{2.58}} \tag{(\Delta)}$$

$$C_{\rm F} = \frac{1}{\left(3.46 * \log_{10}^{\rm Rn} - 5.6\right)^2}$$
(7)

$$R_n = \frac{VL}{\vartheta}$$
 (۷)  
ضریب درگ کل: ضریب درگ کل که شامل ضریب  
اصطکاکی( $C_F$ ) وضریب مقاومت باقی مانده ( $C_r$ ) است، از  
رابطه ذیل محاسبه می شود:

$$\frac{C_{\rm T}}{C_{\rm F}} = 1 + 1.5 \left(\frac{\rm D}{\rm L}\right)^{\frac{3}{2}} + 7 \left(\frac{\rm D}{\rm L}\right)^{3} \tag{A}$$

$$C_{\rm T} = C_{\rm F} (1 + 1.5(\frac{\rm D}{\rm L})^{\frac{3}{2}} + 7 * (\frac{\rm D}{\rm L})^{3}) \tag{9}$$

: D : فطر زیر دریایی و L : طول زیر دریایی است.  
سپس مقاومت کل از رابطه زیر محاسبه می گردد.  
R = 
$$\frac{1}{2}\rho C_T V^2 S_{wet}$$
 (۱۰)

۳−۳ - روش سوم - روش منبع (Some Aspect) [۵۵]
 این روش وفرمولهای مربوط برای شیناورهایی با نسیبت
 طول به قطر 7 > <sup>L</sup>/<sub>D</sub> > 5 و درحالتی که H>5D (H عمق
 غوطهوری شناور میباشد) مورداستفاده قرار می گیرد.

### سال سوم - بهار و تابستان ۱۳۹۵

دو فصلنامه علمی - پژوهشی دریا فنون

n<sub>f</sub> و n<sub>a</sub> به ترتیب پری بدنه را در ناحیه سینه و پاشنه با تحت تاثیر قرار دادن انحنای سهمیها، بیان میکند. شکل (۳) نشان دهنده تاثیر این ضرایب بر روی بدنه زیردریایی است. مقاومت کل بدنه:

$$R_{\rm T} = R_{\rm A} + R_{\rm V} \tag{7}$$

۳−۷− روش هفتم- روش MIT [۱۸] در این روش با استفاده از ضرایب محاسبه شده به شرح ذیل

توان کل مورد نیاز شناور محاسبه می شود. محاسبه ضریب استفاده از طرایب می شود. محاسبه ضریب مقاومت کل به ضریب مقاومت اصطکاکی می باشد.  $C_{\rm frf} = \frac{C_{\rm F}+C_{\rm r}}{C_{\rm F}} = 1 + 1.5 \left(\frac{\rm D}{\rm L}\right)^{1.5} + 7 \left(\frac{\rm D}{\rm L}\right)^3 + 0.002(C_{\rm P} - 0.6)$ 

که در آن CP از رابطه ذیل محاسبه می شود: 
$$C_P = \frac{V}{\pi. \left(\frac{D}{2}\right)^2.L} \tag{$\gamma$-0.1}$$

 $C_{frfe} = [0.14 - 0.18] C_F$  محاسبه درگ برجک: برای محاسبه برجک مساحت سطح (A\_S.C\_{DS}) ضرب می شود (C\_{DS} = 0.009 نرجک در ضریب (A\_S.C\_{DS}) ضرب می شود (C\_{DS} = 0.009 نرجک در ضریب (c\_{00}) محاسبه درگ ملحقات از روش محاسبه درگ ملحقات از روش (c\_{00}) محاسبه درگ ملحقات از روش محاسبه درگ محاسبه درگ محاسبه درگ محاص ((0, 1) محاسبه درگ ملحقات از روش ((0, 1) مقاومت کل بدنه عبارت است از:  $(S_{wet}, (C_F, C_{frf} + C_A) + (A_s C_{Ds}))R_T = 0.5\rho V^2$ 

### ۸-۳–روش هشتم – روش YEFIM'YEF [۱۹]

این روش مقاومت کل بدنه لخت به دو قسمت مقاومت اصطکاکی و مقاومت باقیمانده تقسیم می شود، که هر کدام از مقادیر آن از رابطه های ذیل استخراج می شود. ضریب مقاومت اصطکاکی از رابطه 57'ITTC محاسبه می شود.

$$C_{\rm F} = \frac{1}{(\log({\rm Rn}) - 2)^2}$$

$$\frac{1}{(\log({\rm Rn}) - 2)^2}$$

$$\frac{1}{(\log({\rm Rn}) - 2)^2}$$

$$\frac{1}{(\log({\rm Rn}) - 2)^2}$$

$$C_{\rm r} = 0.009 \frac{A}{S_{\rm wet}} \sqrt{\frac{\sqrt{A}}{2L_{\rm RUN}}} \tag{74}$$

که می توان آن را بصورت ساده شده به شکل زیر نوشت.  $C_r = \frac{0.000789}{\frac{L}{D} - 1.3606}$  (۳۵)

۵-۳-روش پنجم- روش دوم هوانر(مبتنی بر سطح مقطع عرضی<sup>۱</sup>)[۱۶] ضريب مقاومت اصطكاكي از روشITTC'57 استفاده می گردد. محاسبه ضريب مقاومت اصطكاكي:  $C_{F} = \frac{0.075}{\left(\log_{10}^{R_{n}} - 2\right)^{2}}$ (71)محاسبه ضریب مقاومت کل: دراین روش محاسبه درگ به سطح مقطع عرضی بستگی دارد وضریب درگ کل از رابطه زیر محاسبه می گردد.  $C_{T} = C_{F}(3\left(\frac{D}{T}\right) + 4.5\left(\frac{D}{T}\right)^{0.5} + 21\left(\frac{D}{T}\right)^{2})$ (27) نکته ۱: ضریب مقاومت موج سازی برای عمق بیشتر از ۵ برابر قطر بدنه دراین روش صفر درنظر گرفته شده است. نکته ۲: ملحقات ممکن است ۵۰٪ مقاومت بدنه را شامل شود.  $R = \frac{1}{2}\rho C_T V^2 A$ (٣٣)

A : سطح مقطع عرضی شناور میباشد.

# ۳–۹-روش ششم – روش Virginia [۷۰] در این روش مقاومت کل بدنه لخت به دو قســمت مقاومت ویســکوز(فشـــاری) و مقـاومـت نـاشــی از ضــریـب مجاز (۵۵۹هـــاری) و مقـاومـت نـاشــی از مقادیر آن مجاز (۵۹۹های ذیل استخراج میشود که هرکدام از مقادیر آن از رابطه های ذیل استخراج میشود. مقاومت ضریب مجاز: مقاومت ناشـی از ضریب مجاز (زبری مقاومت ضریب مجاز: مقاومت ناشـی از ضریب مجاز (زبری مقاومت ضریب مجاز: ماومـت ناشـی از ضریب مجاز (زبری مقاومت ضریب مجاز: ماومـت ناشـی از ضریب مجاز (زبری مقاومت ضریب مجاز: ماومـت ناشـی از ضریب مجاز (زبری مقاومت ضریب مجاز: ماومـت ناشـی از ضریب مجاز (زبری مقاومت ضریب مجاز: ماومـت ناشـی از ضریب مجاز (زبری مقاومت ضریب محانبه میشود. مقاومت ویسکوز: از رابطه ذیل محاسبه میشود: مقاومت ویسکوز: از رابطه ذیل محاسبه میشود: مقاومت ویسکوز: از رابطه ذیل محاسبه میشود: ماوـت در آن : که در آن :

$$C_{\rm F} = \frac{0.075}{(\log({\rm Rn}) - 2)^2}$$
(Y9)

form fac = 1 + 0.5 
$$\left(\frac{D}{L}\right)$$
 + 3 $\left(\frac{D}{L}\right)^{\left(7 - n_{f} - \frac{n_{a}}{2}\right)}$  (YY)



<sup>1</sup> Front Area

### دو فصلنامه علمی - پژوهشی دریا فنون

 $L_{RUN}$  مساحت سطح خیس و  $S_{wet}$  مساحت سطح خیس و A طول بدنه عقب که برابر 0.4L است. مقاومت کل بدنه:  $R_T = R_F + R_r$  (۳۶)

### 

### ۲-۱۰- روش دهم- روش JACSON [۲۱]

$$C_{\rm F} = \frac{0.075}{(\log(R_{\rm F})^2)^2}$$
((\*.)

ضريب مقاومت باقيمانده:
$$C_{r} = \frac{0.000789}{\frac{L}{D} - K_{2}} \tag{$1$}$$

$$K_2 = 6 - 3.6 * C_{sa} - 2.4 * C_{sf}$$
(°7)

Csa و Csf (ضریب سطح قسمت پاشنه و سینه) از جدول (۳) استخراج می شوند.

جدول (۳) مقادیر انتخاب شده برای Cs.

بدنه جلو					
$n_f(n_a)$	٣	٣/۵			
$C_{\rm sf}$	•/४९९९	۰/۸۹۵۲	•/97••		
بدنه عقب					
n <sub>f</sub> (n <sub>a</sub> ) ۲		۲/۵	٣	٣/۵	
C <sub>sa</sub>	·/8710	•/7784	•/٧۶۴٣	•/٧٩٣۴	

این ضریب نشان دهنده نسبت مساحت سطح بدنه دوران به مساحت سطح یک استوانه مستقیم با همان شعاع حداکثر است. مقاومت کل بدنه:  $R_T = R_F + R_r$  (۴۳)

## ۴- روش CFD

۴-۱-۴ معادلات حاکم بر جریان سیال معادلات حاکم بر مسئله شامل معادله پیوستگی، معادله ناویر استوکس در حالت تراکم ناپذیر لزج و دائم و معادلات مدلسازی اغتشاش است که در ادامه به طور خلاصه به آن اشاره می شود. معادله پيوستگي:  $\vec{\nabla}.(\rho \bar{v}) = 0$ (44) که ho دانسیته سیال و  $ec{\mathbf{v}}$  بردار سرعت است. معادله بقاء اندازه حركت خطى:  $\vec{\nabla}.(\rho\vec{v}.\vec{v}) = -\vec{\nabla}P + \vec{\nabla}.\bar{\tau}$ (40) در این معادله P فشار و ∓ تانسور تنش است که از رابطهی زير بدست ميآيد:  $\overline{\tau} = \mu \left[ \left( \vec{\nabla} \vec{v} + \vec{\nabla} \vec{v}^{\mathrm{T}} \right) - \frac{2}{3} \vec{\nabla} . \vec{v} I \right]$ (49) در این رابطه µ لزجت مولکولی و Iتانسور واحد میباشد. معادلات اغتشاش جریان: مدل استاندار د k-ɛ استفاده شده، که شامل معادلات زیر است. معادله k :  $\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_{i}} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_{t}}{\delta_{L}} \right) \frac{\partial k}{\partial x_{i}} \right] + G_{b} + G_{k} - \rho \epsilon$ (۴۷) معادله ٤:

$$\rho \frac{D\epsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\delta_{\epsilon}} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$$
(FA)

$$\mu_t = \rho C_{\mu} \frac{k^2}{\epsilon} \tag{49}$$

در معادلات فوق  $C_1 \ c_2 \ c_1 \ c_3 \ c_5 \ c_6$  اعداد اشـمیت و پراندتل آشـفته میباشند. ثابتهای استفاده شده در این معادلات به صورت زیر تعریف میشوند:  $C_{1\epsilon}=1.44 \ c_{2\epsilon}=1.92, C\mu=0.09, \sigma_k=1, \sigma_{\epsilon}=1.3$ ثابت $c_{1\epsilon}=1.3 \ c_{1\epsilon}=1.3 \ c_{1\epsilon}=1.92, C\mu=0.09, \sigma_{k}=1, \sigma_{\epsilon}=1.3$ ثابت $c_{1\epsilon}=1.44 \ c_{2\epsilon}=1.92, C\mu=0.09, \sigma_{k}=1, \sigma_{\epsilon}=1.3$   $c_{1\epsilon}=1.44 \ c_{2\epsilon}=1.92, C\mu=0.09, \sigma_{k}=1, \sigma_{k}=1.3$  $c_{1\epsilon}=1.44 \ c_{2\epsilon}=1.92, c_{2\epsilon}=1.34 \ c_$ 

اثر گرادیان سرعت میانگین را در معادله بیان میکند.

۲-۴- روش CFD بلوکبندی و تولید شبکه محاسباتی تحليل جريان اطراف يک مدل هندسي به روش عددي نیازمند تولید دامنه محاسباتی اطراف آن است. یک دامنه محاسباتی فضایی است که معادلات حاکم در آن فضا حول جسم حل شده و نیروها و گشتاورهای اعمالی به جسم بدست آید. یک دامنه محاسباتی باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا اثرات جریان و گرادیانهای اطراف مدل روی مرزها کاملاً از بین رود. برای حل مسئله، اندازه دامنه محاسباتی از جلو و عقب حدوداً ۲۰ برابر طول شناور و از اطراف ۴۰ برابر قطر شناور در نظر گرفته شده است. به واسطهی پیچیدگی هندسه پروانه و همچنین شرایط حل، دامنه محاسباتی بلوک بندی و سـپس هر بلوک به صـورت جداگانه شـبکه بندی شده است. شبکه بندی از جمله ملزومات یک حل عددی است. کل دامنه محاسباتی توسط شبکهبندی به سلولهای محاسباتی تقسیم می شوند و سپس معادلات حاکم بر مسئله به روش حجم محدود دراین سلولها حل می گردد تا کل دامنه محاسباتی تحلیل گردد.

در این پروژه از شبکه محاسباتی ترکیبی با سازمان و بی سازمان به طور همزمان استفاده شده است به گونهای که در بلوکهای اطراف و نزدیک بدنه و همچنین برجک و بالکها از شبکه باسازمان باتوپولوژی ترکیبی O و H استفاده شده است. پروانه به لحاظ وضعیت حرکتی متفاوت در یک بلوک استوانهای مجزا قرار داده شده است و از شبکه بدون سازمان درآن استفاده گردیده است. سایرقسمتهای دامنه تا نقاط دور از جسم توسط سلولهای بی سازمان شبکه بندی شده است. در شکل (۴) بلوک بندی نزدیک بدنه نشان داده شده است. ایجاد شبکه چهار وجهی بر روی سطوح پروانه به خاطر پیچش سطح و زاویه عقبگرد زیاد آن شبکه مناسبی ایجاد نمی کند. بنابراین روی سطوح پروانه از شبکه مثلثی استفاده شده است.



شکل (۴) بلوک بندی دامنه محاسباتی در نزدیکی بدنه وشبکه محاسباتی بر روی بدنه زیر سطحی.

Archive of SID

کل دامنه محاسباتی شامل ۷۰ حجم یا بلوک است که دارای ۸/۴ میلیون شبکه محاسباتی است. ۳/۷ میلیون سلول مربوط به پروانه و بقیه سلولها مختص بقیه دامنه محاسباتی است. حداکثر ۲۷/۳=+۷ و مقدار میانگین y+=۱۱/۶ ملاحظه شده است.

### ۲-۴- دادههای حاصل از روش CFD

با استفاده از روش حل عددی، محاسبات در چند سرعت انجام شد. شبیه سازی عددی جریان اطراف AUV به همراه پروانه آن انجام شده است. مبنای حل، برابری نیروی تراست تولید شده توسط پروانه با نیروی درگ محاسبه شده شناور در سرعتهای مختلف میباشد. برای انجام این محاسبات بدین ترتیب عمل شد که میزان درگ در سرعت مورد نظر محاسبه و سپس دور مورد نیاز پروانه، جهت تولید نیروی تراست برابر با نیروی درگ محاسبه شده، بدست آمد. توجه داریم که با توجه به متصل بودن بدنه و پروانه در انجام محاسبات، ملاحظاتی همچون ضریب ویک و ضریب کاهش تراست، در انجام محاسبات لحاظ شده است. با توجه به اینکه عمق کاری شیناور و انجام آزمایشات در عمق ۱۰ متری انجام شده است، از اثرات کاویتاسیون و سطح آزاد در شبیهسازی، صرفنظر شده است. شکل (۵) نمونهای از کانتور فشار بدست آمده در اطراف بدنه و پروانه را نشان میدهند. در جدول (۴) نتایج نیروی درگ حاصل از محاسبات عددی در سرعتهای مختلف ارائه شده است.

### ۵–تست میدانی

### ۵–۱– دادههای حاصل از تست میدانی شناور

شکل (۶) تصویری از شناور در حرکت سطحی را نشان میدهد. برای بدست آوردن اطلاعات مورد نیاز جهت تحلیل رفتار شناور در سرعتهای مختلف سرعت چرخش پروانه، ولتاژ و جریان خروجی از باطریها به منظور بدست آوردن توان مورد نیاز موتور جهت حرکت وسیله در هر سرعت ثبت گردید. به منظور خلاصه سازی، توان محاسبه شده، که حاصل ضرب جریان در ولتاژ است، ارائه خواهد گردید. در جدول (۵) اطلاعات حاصل از تست میدانی، شامل سرعت حرکت شناور و توان مصرفی موتور در عمق ۱۰ متر ثبت گردیده است. نتایج ارائه شده، از ویرایش اطلاعات چندین بار انجام تست و حذف دادههای پرت بدست آمده است. سال سوم – بهار و تابستان ۱۳۹۵

<i>ی</i> بدنه و ملحقات از رابطه زیر	مقـاومـت كل شـــناور شـــاما
	محاسبه میگردد[۲۲]:
$R_{\rm T} = \frac{1}{2} \rho  C_{\rm D} V^2 S_{\rm wet}$	(۵۲)
CD ، ( m : ضـریب درگ کل،	S <sub>wet</sub> : سـطح خیس شــناور ( <sup>2</sup>
چگالی آب دریا( Kg/m <sup>3</sup> )	V : سرعت شناور (m/s ) .
	توان موثر (P <sub>E</sub> ):
$P_E = R_T V$	(۵۳)
	توان تراست(P <sub>T</sub> ):
$P_{\rm T} = T. V_{\rm A}$	(24)
نه (N) و V <sub>A</sub> سرعت پیشروی	که در آن T میزان تراست پروا
ه میشود.	است که از رابطه (۵۳) محاسب
$V_{\rm A} = V_{\rm S}.(1 - w)$	(۵۵)
V <sub>s</sub> سرعت وسيله است.	در رابطه فوق wضریب ویک و
	توان تحویلی به پروانه (P <sub>D</sub> ) :
$P_D = \frac{P_E}{P_C}$	(۵۶)
PC : ضريب رانش <sup>ا</sup> ميباشد	که در آن P <sub>E</sub> توان موثر (w) و
	که از رابطه (۵۵) محاسبه میگ
$PC = \eta_H \eta_o \eta_r$	(ΔΥ)
مان اوپن واتر <sup>۳</sup> و η <sub>r</sub> رانـدمان	η <sub>0</sub> راندمان بدنه <sup>۲</sup> ، η <sub>0</sub> راند
	چرخشی نسبی ٔمیباشد.
اســـبه راندمانهای فوق ارائه	در ذیل روابط مربوط به محا
	خواهد گردید.
$\eta_{\rm H} = \frac{P_{\rm E}}{P_{\rm E}} = \frac{1-t}{1-t}$	(ΔΛ)
$\eta_0 = \frac{\frac{P_T}{T.V_A}}{\frac{T.V_A}{T.V_A}} = \frac{K_T}{W} \frac{J}{T}$	(۵۹)
$n_{\rm rr} = 2\pi n Q K_Q 2\pi$	(8.)
میک در میانگی: سرعت (V	/ توان جذب شده در میدان
جوابت اورین واتر (میسیات) (V	رتمان <b>ج</b> نب شده در
تاب بت w فاکتور مرک ۲	ريون جيب سين در در بابط فوقي t خير باب کاهش
ع تراست بیمانه، Ko فنید، )	فرروبت تولى والمسريب المسر
$(rns)ails \cdot \cdot \cdot n \cdot (N-m)ai$	تحريب پيسروي پرونت ۲۲ عر گذيتاه د مانه، Q گذتاه د ما
	مىياڭ (
	مىبەسد. تىلىرىيەت (D.c)، تىلماندەل
نهای لارم برای محاسبات. (معرف) بالکتر کی (np) نظر	یوان موتور (M). تمامی راندهر در قال در اندرا به کانک
(۱۱∣۳) و ۱۲دندیدی (۱۱∈)در نظر	در فالب دو راندمان مداییدی
	درفته شده است.

$$P_{\rm M} = \frac{P_{\rm D}}{\eta_{\rm M} \eta_{\rm E}} \tag{(51)}$$

جدول (۴) نتایج حاصل از روش CFD در سرعتهای مختلف.

٢	F(N)
2.5	21.59792
3.5	34.48436
4.5	44.96628
5.5	66.84671
6.5	85.16186
7.5	122.5134
9	167.8166
11	265.547
13	372.2554

جدول (۵) نتایج حاصل از تست میدانی در سرعتهای مختلف

و عمق ۱۰ متر.			
V(knot)	P <sub>M</sub> (w)		
2.3	73.36316		
3.3	154.6625		
5.6	603.6778		
7	1155.478		
8	1721.557		
10.3	3914.002		
10.8	4391.748		
12.4	6425.668		



شکل (۵) کانتور تغییرات فشار استاتیک در صفحه تقارن بدنه.



شکل(۶) تصویر AUV در حرکت سطحی.

۶- تحلیل نتایج بدست آمده از تست میدانی ابتدا معادلات مورد نیاز جهت تحلیل نتایج بدست آمده از تست را معرفی میکنیم.

<sup>1</sup> Propulsion Coefficient

<sup>2</sup> Hull Efficiency

<sup>&</sup>lt;sup>3</sup> Open Water Efficiency
<sup>4</sup> Relative Rotative Efficiency

سال سوم – بهار و تابستان ۱۳۹۵

که در آن P<sub>T</sub> توان کل(N) درگ درگ کل (N) و V سرعت شناور (m/s) می باشد. از آنجایی که راندمان چرخش نسبی دارای مقدار نزدیک به یک و مقدار آن معمولا 0.96<ηr<1.04 می باشدد [۲۲]، در انجام محاسبات از محاسبه آن صرف نظر شده و مقدار آن را برابر یک فرض کردیم. سایر راندمانها و مقادیر مورد نیاز برای انجام محاسبات توان در جدول (۶) ارائه شده است. مقادیر  $\eta_{\rm E}$  و  $\eta_{\rm E}$  از کار آزمایشـگاه بدسـت آمده اسـت. بدین صورت که در شرایط آزمایشگاهی، با اندازه گیری ولتاژ و جریان خروجی از باتریها، توان ورودی که حاصلطرب جریان در ولتاژ است محاسبه گردید (Pin=VI)، سپس با اندازه گیری میزان گشتاور خروجی و همچین سرعت دوران بعد از موتور، بعد از شافت و بعد از آب بندها، توان خروجی در هر ایستگاه از رابطه  $P_{out} = 2\pi n Q$  محاسبه گردید. با تقسیم توان خروجی بر توان ورودی ( $\eta = P_{out}/P_{in}$ ) راندمانها محاسبه گردید. مقدار راندمانها از باتریخانه تا لحظه تحویل

به پروانه بصورت راندمان متوسط مکانیکی و الکتریکی در جدول (۶) ارائه شده است. با تلفیق معادلات (۵۶)، (۵۷) و (۶۱) خواهیم داشت:

 $\eta_H \eta_o \eta_r = P_M. \eta_M \eta_E. PCP_E = P_M. \eta_M \eta_E$  (۶۲) با استفاده از رابطه فوق میتوان توان موثر را مستقیما از توان موتور محاسبه کرد و همچنین بالعکس.

با استفاده از رابطه (۶۰) و رابطه (۵۰) و دادههای جداول (۴) و (۶) می توان ضریب درگ، توان موثر و توان موتور را با استفاده از روش CFD بصورت جدول (۷) در سرعتهای مختلف بدست آورد.

همچنین با استفاده از رابطه (۶۲) و رابطه (۵۲) و دادههای جداول (۵) و (۶) میتوان، توان موثر، نیرو و ضریب درگ را با استفاده از دادههای تست میدانی بدست آورد که در جدول (۸) نتایج محاسبه شده در سرعتهای مختلف خلاصه شده است.

### ۶- تحلیل نتایج بدست آمده از روشهای مختلف

در جدول (۹) بطور خلاصه مقادیر بدست آمده با استفاده از روشهای مختلف رادر سرعتهای مختلف نشان میدهد. با توجه به اینکه حداکثر سرعت شناور در تست میدانی۱۲/۴ نات ثبت گردیده، محاسبات تا این سرعت ارائه شده است.

دو فصلنامه علمی - پژوهشی دریا فنون

جدول (۶) مقادیر مورد نیاز برای انجام محاسبات توان.

W	0.34
t	0.096
$\eta_r$	1
$\eta_{\rm H}$	1.37
PC	0.637
$\eta_M$	0.87
$\eta_{\rm E}$	0.93

جدول (۷) محاسبات ضریب درگ ، توان موثر با استفاده از روش

.CFD						
V(knot)	Ср(-)	$\mathbf{P}_{\mathbf{E}}(\mathbf{w})$				
2.5	0.00638	27.75332				
3.5	0.005328	62.03737				
4.5	0.004202	104.007				
5.5	0.004182	188.9757				
6.5	0.003815	284.5258				
7.5	0.004122	472.2893				
9	0.003921	776.3195				
11	0.004153	1501.403				
13	0.004169	2487.41				

جدول (۸) محاسبات توان موثر، نیرو و ضریب درگ با استفاده

از نست میدانی.						
V	P <sub>M</sub> (w)	P <sub>E</sub> (w)	F(N)	CD(-)		
(knot)						
2.3	73.36316	37.78203	31.95908	0.011434		
3.3	154.6625	79.65119	46.95861	0.008161		
5.6	603.6778	310.8941	108.0093	0.006518		
7	1155.478	595.071	165.3894	0.006388		
8	1721.557	886.6019	215.6133	0.006376		
10.3	3914.002	2015.711	380.7394	0.006792		
10.8	4391.748	2261.75	407.4344	0.006611		
12.4	6425.668	3309.219	519.2072	0.006391		

با توجه به آنکه درگ ملحقات در منابع مختلف بین ۱۵تا ۵۰ درصد درگ کل پیشبینی شده است، اغلب میزان ۲۰٪ برای ملحقات در شــناورهایی مثل AUV ها پیشــنهاد میشـود. بنابراین، در محاسـبات توان موثر روشهایی که برای محاسـبات توان ملحقات روشـی ارائه ننمودهاند، به میزان ۲۰٪ به توان محاسبه شده افزایش یافته است. مقادیر حاصل از روش تست میدانی و CFD از میان یابی دادههای بدست آمده در نرم افزار متلب محاسبه شده است.

در شکل (۷) توان موثر محاسبه شده از روشهای مختلف و در شکل (۸) ضریب درگ کل حاصل از روشهای مختلف، که از تلفیق روابط (۵۰) و (۵۱) و دادههای بدست آمده از روشهای مختلف، بصورت مبسوط نشان داده شده است.

### سال سوم - بهار و تابستان ۱۳۹۵

دو فصلنامه علمی - پژوهشی دریا فنون

	جدول (۹) محاسبات توان موثربا استفاده از روشهای مختلف.								
	V(knot) Method	2.5	4.5	6.5	7.5	9.5	10.5	11.5	12.4
روش ۱	consept	0.03352	0.17426	0.49106	0.73559	1.43552	1.90597	2.46661	3.07072
روش ۲	theory	0.02098	0.10974	0.30983	0.46430	0.90630	1.20327	1.55703	1.93821
روش ۳	Some Aspect	0.02270	0.11875	0.33528	0.50244	0.98075	1.30210	1.68492	2.09742
روش ۴	HOENER1	0.03428	0.17931	0.50627	0.75867	1.48091	1.96615	2.54420	3.16706
روش ۵	HOENER2	0.03170	0.16580	0.46813	0.70152	1.36934	1.81803	2.35253	2.92847
روش ۶	Virginia	0.02344	0.12446	0.35487	0.53384	1.04881	1.39632	1.81141	2.25755
روش ۷	MIT	0.02736	0.14901	0.43159	0.65324	1.29633	1.73319	2.25709	2.81807
روش ۸	YEFIM'YEF	0.01953	0.10264	0.29071	0.43619	0.85322	1.13380	1.46835	1.82854
روش ۹	DTMB	0.02221	0.11638	0.32901	0.49329	0.96372	1.27997	1.65685	2.06281
روش ۱۰	JACSON	0.02738	0.14390	0.40762	0.61162	1.19645	1.58996	2.05915	2.56428
روش۱۱	CFD	0.02775	0.10401	0.28453	0.47229	0.95759	1.32013	1.74790	2.19161
روش ۱۲	test model	0.04616	0.20030	0.49358	0.74084	1.62298	2.11413	2.72002	3.30922





شکل(۸) نمودار سرعت-ضریب درگ کل.

دو فصلنامه علمی - پژوهشی دریا فنون

جدول (۱۰) درصد اختلاف توان موثر محاسبه شده با استفاده از روشهای مختلف نسبت به روش تست مدل.								
v(knot)	2.5	4.5	6.5	7.5	9.5	10.5	11.5	12.4
consept	27.38195	13.00268	0.50963	0.70808	11.55051	9.84601	9.31626	7.20710
theory	54.54563	45.21450	37.22694	37.32759	44.15795	43.08448	42.75669	41.42988
Some Aspect	50.81204	40.71446	32.07080	32.17973	39.57113	38.40948	38.05477	36.61897
HOENER1	25.72718	10.48005	-2.57169	-2.40722	8.75364	6.99958	6.46397	4.29594
HOENER2	31.32254	17.22406	5.15557	5.30765	15.62770	14.00579	13.51053	11.50583
Virginia	49.22291	37.86322	28.10331	27.94026	35.37727	33.95274	33.40438	31.77994
MIT	40.71439	25.60491	12.55841	11.82454	20.12665	18.01882	17.01918	14.84191
YEFIM'YEF	57.69058	48.75759	41.10136	41.12220	47.42889	46.37010	46.01682	44.74419
DTMB	51.89052	41.89909	33.34188	33.41449	40.62003	39.45611	39.08673	37.66490
JACSON	40.68989	28.15726	17.41548	17.44169	26.28041	24.79373	24.29650	22.51095
CFD	39.87042	48.07429	42.35460	36.24919	40.99792	37.55662	35.73922	33.77265

جدول (۱۰) درصد اختلاف توان محاسبه شده از روشهای مختلف نسببت به روش تسبت میدانی را نشان میدهد. با توجه به جدول مشاهده میشود که در سرعتهای ۵/۶ و ۷/۵ نات در روش hoener1 دارای مقادیر منفی شده است. یعنی به میزان ۵/۲و ۴/۲درصد توان محاسبه شده از این روش بیشتر از روش تست مدل بدست آمده است. با توجه به دادهها این نکته حاصل میشود که با افزایش سرعت میزان اختلاف کاهش پیدا کرده و در سرعتهای پایین تر میزان اختلاف زیادتر است. در شکل (۹) میزان درصد اختلاف میانگین برای سرعتهای پایین تر از ۱۰ نات و بالاتر از ۱۰ نات نشان داده شده است.



شکل (۹) میزان درصد اختلاف میانگین برای سرعتهای پایین تر از ۱۰ نات و بالاتر از ۱۰ نات.

با توجه به نمودار مشـخص اسـت که در تمام روشهای محاسبه شده خطای سرعتهای پایین تر از سرعت ۱۰ نات بیشتر از خطای سرعتهای بیشتر از ۱۰ نات میباشد.

### ۷- نتیجه گیری

در این مقاله ابتدا روشهای مختلف محاسبه یک وسیله زیرسطحی و محاسبات مقاومت توان از روش CFD ارائه گردید. سپس دادههای بدست آمده از روش تست میدانی ارائه شد و نحوه استخراج و تحلیل نتایج بدست آمده ارائه شد. توان موثر شناور مورد نظر، از روشهای مختلف محاسبه گردید و با توان موثر بدست آمده از روش تست میدانی مقایسه گردید. نتایج نشان میدهند که روشهای میدانی مقایسه گردید. نتایج نشان میدهند که روشهای محاسبه از مقایسه گردید. نتایج نشان میدهند که روشهای محاسبه معایسه گردید. نتایج نشان میدهند که روشهای میدانی مقایسه گردید. نتایج نشان میدهند که روش است میدانی مقایسه گردید. نتایج نشان میدهند که روش میدانی مقایسه گردید. نتایج نشان میدهند که روش میدانی مقایسه روش کرد. معرفی کمتر از ۲۰ درصد نقطا را داشته و میزان خطای آنها کمتر از ۲۰ درصد انجام محاسبات دارند. بر مبنای محاسبات انجام شده، روش انجام محاسبات دارند. بر مبنای محاسبات انجام شده، روش میدانی میباشد و برای سرعتهای پایین تر از ۱۰نات به ۴۰ درصد افزایش پیدا میکند.

۸- مراجع

[1] Gotimer, E. H. and Lin, C. W., "Application of Computational Fluid Dynamics to Advanced Experimental Techniques", the Intl. Conf. on Computer Aided Design, Manufacture and Operation in the Marine and Offshore Industries, Carderock, Maryland, pp. 1-13, 1992.

[2] Nahon, M., "Determination of Undersea Vehicle Hydrodynamics Drivatives, Using the USAF Datcom", Engineering in Harmony with Ocean, Proceedings, Victoria, BC, Canada, pp.283-288, 1993.

[3] Sayer, P., "Hydrodynamic Forces on ROV Near the Air-sea Interface", Int. J. Offshore and Polar Engineering, Vol. 6, No. 3, pp.177-183,1996.

[4] Clouss, G. F. Hoog, S., Vannahme, M., Gerber, H., Gasparoni, F., and Calore, D., "MODUS: Space Shuttle for Deepwater Interventions", Offshore Technology Conference, Texas, U.S.A., 2002.

[22]Carlton, J. S, "Marine Propeller and Propulsion", Elsevier Ltd, Vol.1, pp. 87-132, 2007.

[5] Ayub, A. M., Sohaib, M., Bilal, S., Zahir, S., and Khan, M. A., "Estimation of Hydrodynamic Coefficient of DARPA-2 and Their Geometry Dependence", National Engineering and Scientific Commision Magazine, Islamabad 43, 2005.

[6] Jagadeesh, P., Murali, K. and Idichandy, V. G., "Experimental Investigation of Hydrodynamic Force Coefficients over AUV Hull Form", Ocean Engineering, Vol.36, pp.113–118, 2009.

[7] Choi, S. K. and Ching, J. C., "Navier–Stokes Solution of Complete Turbulent Flow Past Finite Axisymmetric Bodies", AIAA Journal, Vol. 29, No.6, pp.998–1001, 1991.

[8] Sung, C. H., Fu, T. C., Griffin, M. J. and Huang, T. T., "Validation of Incompressible Flow Computation of Forces and Moments on Axisymmetric Bodies Atincidence", 33rd Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, AIAA 95-0528, pp. 1– 13, 1995.

[9] Mulvany, N., Tu, J.Y., Chen, L. and Anderson, B., "Assessment of Two Equation Turbulence Modeling for High Reynolds Number Hydrofoil flow", International Journal for Numerical Methods in Fluids, Vol. 45, pp.275–299, 2004.

[10] Das, H. N., Jayakumar, P. and Saji, V. F., "CFD Examination of Interactionof Flow on High-Speed Submerged Body with Pump Jetpropulsor", In 5<sup>th</sup>International Conference on High Performance Marine Vehicles, Australia, pp. 8–10, Nov 2006.

[11] Adkins, D. and Yan, Y. Y. "CFD Simulation of Fish-like Body Moving Inviscous Liquid", Journal of Bionic Engineering, Vol. 3, pp.147–153,2006.

[12] Karim, M., Rahman, M. and Alim, A., "Numerical Computation of Viscous Drag for Axisymmetric under Water Vehicles", Journal Mechanical, Vol. 26, pp. 9–21, 2008.

[13] Roy Burchur and Louis Rydill, "Concept in Submarine Design", Vol.1, pp.100-130, 1992.

[14] Yuri N. Kormilitsin, Oleg A. K., "Theory of Submarine Design", Vol.1, pp.46-93, 2001.

[15] Joubert, P. N., "Some Aspects of Submarine Design", University of Melbourne, Defence Science and Technology Organization, Vol.1, pp.100-190 2006.

[16] Poter, H. and Reader, G., "Underwater Vehicle Design with Regard to Power Planet Selection", 2004.

[17] Design Report - Ballistic Missile Defense Submarine SSBMD, Virginia University, Virginia Tech Team 1, pp. 59-68, 2008.

[18] Stenard, J., "Comparative Naval Architecture of Modern Foreign Submarine", MIT, 1988.

[19] Capitan Harry Jackson, "Submarine Design Notes", Vol.1, pp.50-135, 1982.

[20] Grant B. T., "A Design Tool for the Evaluation of Atmosphere Independent Propulsion in Submarines", MIT, 1979.

[21] Rawson K. J. and Tupper E. C., "Basic Ship Theory", Vol.2, 5<sup>th</sup> Edition, pp.427-468, 2001.