یادداشت فنی

بررسی اثر سطح آزاد بر عملکرد هیدرودینامیکی پروانه

محمد حسن زارع*[۱] ، سید امیر عباس علومی[۲]، امیر حسین نگهی[۳]، سید علی آقا میرجلیلی[۴]

[۱] مربی/ عضو هیات علمی، گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران؛ mhz_zare@iauyazd.ac.ir
[۲] استادیار/ عضو هیات علمی، گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران؛ amiroloomi@iauyazd.ac.ir
[۳] کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد، یزد، ایران؛ amir_ne69@yahoo.com
[۴] استادیار/ عضو هیات علمی، گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران؛ saa_mirjalily@iauyazd.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۰۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۸/۰۱/۲۵

کلمات کلیدی:
بررسی عددی
پروانه
عملکرد پروانه
روش حجم سیال

چکیده

شبیه سازی جریان اطراف پروانه یک مسئله پیچیده سیالاتی می‌باشد خصوصا وقتی پروانه در نزدیک سطح آزاد باشد. در این تحقیق، اثر عمق‌های مختلف، بر رو ی ضریب عملکرد و راندمان یک پروانه سری بی – وگنینگن در نزدیک سطح بصورت عددی بررسی شده است. بدین منظور از نرم افزار تجاری انسیس – فلوئنت برای حل میدان جریان سیال لزج، تراکم ناپذیر و دوفازی استفاده شده است. چرخش پروانه برای جریان دایمی بوسیله مدل دستگاه مرجع چرخان و برای جریان گذرا توسط شبکه لغزان مدلسازی شده است. برای مدلسازی جریان مغشوش و شبیه سازی حرکت سطح آزاد به ترتیب از مدل k-ωsst و روش حجم سیال استفاده شده است. برای اعتبارسنجی نتایج حل عددی با توجه به عدم دسترسی به نتایج تجربی پروانه در نزدیک سطح حل عددی در شرایط آب آزاد انجام شده و ضریب‌های عملکردی پروانه محاسبه شده اند. نتایج حاصل از حل عددی نشان می‌دهد ضریب عملکرد پروانه در عمق‌های مختلف با افزایش نسبت‌های پیش روی کاهش می‌یابد.

Investigating the Effect of Free Surface on Hydrodynamic Performance of Propeller

Mohammad Hasan Zare [1*], Seyed Amir Abbas Oloomi [2], Amirhossein Negahi[3], Seyed Ali Agha Mirjalily[4]

[1] Department of Mechanical Engineering, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran, mhz_zare@iauyazd.ac.ir
[2] Department of Mechanical Engineering, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran, amiroloomi@iauyazd.ac.ir
[3]Department of Mechanical Engineering, Yazd University, Yazd, Iran, amir_ne69@yahoo.com
[4] Department of Mechanical Engineering, Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran, saa_mirjalily@iauyazd.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 30 May. 2018
Accepted: 14 Apr. 2019

Keywords:
Numerical investigation
Propeller
Propeller Performance Volume of Fluid Method

ABSTRACT

Simulation of the flow around propeller is a complex fluid flow problem, especially when the propeller is close to free surface. In this study, the effect of different depths on the performance and efficiency of a B-Wageningen series close to surface of water have been numerically investigated. For this purpose the ANSYS-FLUENT commercial software has been used to solve the viscous, incompressible and two phase flow field. The rotation of the propeller has been implemented using the rotating reference frame model for steady flow and the sliding mesh for unsteady flow. For turbulent flow modeling and free surface simulation, the k-ω SST model and the volume of fluid method have been used, respectively. For validation of numerical results due to lack of access to experimental results of propeller close to surface, numerical solution in open water condition has been performed and performance coefficients have been calculated. The results of the numerical solution show that the propeller coefficient decreases at different depths with increasing forward ratios.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.29.2.0]

۱ - مقدمه

به منظور ایجاد نیروی پیشران برای حرکت یک شناور در آب از انواع سیستم‌های رانش دریایی استفاده می‌شود. در این میان، پروانه‌های دریایی یکی از پرکاربردترین سیستم‌های رانش هستند که بدلیل کاربردهای فراوان بررسی جریان و استخراج منحنی عملکرد آن‌ها از دیرباز مورد توجه محققین این حوزه بوده است.

مدلسازی جریان اطراف پروانه در شرایط آب آزاد به علت پیچیده بودن هندسه شبکه بندی دامنه حل و طولانی بودن زمان حل معادلات حاکم از مسایل پیچیده سیالاتی می‌باشد. در صورت مدلسازی جریان اطراف پروانه در نزدیک سطح با توجه به لزوم در نظر گرفتن مدل دوفازی جریان حل میدان از پیچیدگی بیشتری برخوردار می‌شود. تحقیقات گسترده ای در رابطه با مدلسازی جریان اطراف پروانه صورت گرفته است [۲,۱]. یکی از پدیده‌هایی که می‌تواند در حین کارکرد پروانه در نزدیک سطح بوجود آید پدیده تهویه ناشی از مکش هوا توسط پروانه می‌باشد. وقوع این پدیده بر همگرایی و درنتیجه پیچیدگی حل جریان می‌افزاید. در چند دهه اخیر محققان زیادی پدیده تهویه در پروانه‌ها را بصورت تجربی و تحلیل عددی مورد بررسی قرار داده اند. اغلب این تحقیقات در جهت شناخت بهتر مکانیزم تهویه و بررسی تاثیر این پدیده بر عملکرد پروانه‌ها متمرکز بوده است. فال تینسن [۳] در سال ۱۹۸۱ نتایج حاصا از اثر تهویه پروانه بر روی متوسط مقادیر نیروی پیش رانش و گشتاور پیچشی در حین عملکرد بر روی امواج را ارایه نمود. یانگ و کیناس [۴] در سال ۲۰۰۴ با استفاده از روش المان مرزی و کاپوننتو [۵] با استفاده از متوسط گیری معادلات ناویر- استوکس در سال ۲۰۰۳ نتایج حاصل از محاسبه بارهای دینامیکی اعمالی بر پروانه‌های نیمه مغروقی که توسط الوفسون [۶] در سال ۱۹۹۶ مورد آزمایش قرار گرفته شده بود را ارایه نمودند مقایسه نتایج محاسباتی با نتایج تجربی نشان دهنده تطابق خوب داده‌های محاسباتی با تجربی می‌باشد. جهت درک بهتر از پدیده تهویه و بررسی تاثیر آن بر نیروی پیش رانش پروانه، کوشان [۷] در سال ۲۰۰۶ اقدام به یک سری آزمایش بر روی یک پروانه در وضعیت‌های متفاوت قرارگیری نسبت به سطح آب نمود. نتایج حاصل از این تحقیق مورد استفاده بعضی از محققین قرارگرفت، از جمله کالیفانو و استین [۸] در سال ۲۰۰۹ با تحلیل عددی مکانیزم تهویه پروانه‌های موردآزمایش کوشان را بوسیله نرم افزار فلوئنت بررسی کردند. آنان برای شبیه سازی عددی از مدل جریان آرام، غیر قابل تراکم و دو فازی و جهت مدل نمودن چرخش پروانه از هر دو روش دستگاه مرجع چرخان و شبکه‌های لغزان استفاده نمودند. از نتایج این تحقیق می‌توان به بارهای اعمالی بر روی تیغه‌های پروانه در حین وقوع پدیده تهویه (در نسبت غوطه وری(h/R) ۱,۴ و نسبت پیش روی (J=u/n.D=0.1) اشاره نمود.

یانگ و همکاران، تحلیل عددی پروانه‌های سوپر کاویتاسیونی و نیمه مغروق را مورد بررسی قرار داده و توزیع فشار و ضرایب هیدرودینامیکی را ارائه دادند[۹] . تحقیقات گسترده‌ای در مورد پروانه‌های نیمه مغروق انجام شده است، الکساندر و همکاران، برای یک پروانه‌ی نیمه مغروق ۵ پره، نتایج عددی و تجربی ارائه کرده‌اند [۱۰]. مطالعه تحقیقات گذشته، نشان می‌دهد که فعالیت‌های محدودی به ویژه در حوزه شبیه سازی عددی پروانه در نزدیکی سطح آزاد مایع انجام شده است. لذا در این تحقیق بررسی اثر سطح آزاد بر عملکرد هیدرودینامیکی پروانه پرداخته شد. علاوه برآن، مشخصه‌های عملکردی پروانه در نسبت پیش روی متفاوت و تاثیر پدیده تهویه ناشی از افزایش سرعت چرخش پروانه بر روی ضریب-های عملکرد پروانه، نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. شبیه سازی عددی به صورت سه بعدی، تراکم ناپذیر، مغشوش، دو فازی، غیر دائم و با در نظر گرفتن پروانه انجام شده است. حل میدان جریان با استفاده از کد محاسباتی در نرم افزار انسیس- فلوئنت انجام شد.

۲- معادلات حاکم و روش عددی

با در نظر گرفتن شرایط حاکم بر جریان سیال معدلات ناویر- استوکس طبق رابطه (۱) قابل ارایه می‌شود:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0$$
$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho}\cdot\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\mu}{\rho}\cdot\frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + g_i \qquad (۱)$$

در این معادلات u مولفه سرعت ، p فشار ، ρ چگالی ، μ لزجت و g_i مولفه گرانش می‌باشد.

لازم به ذکر است که در مرجع [۲] اثر نوع مدل آشفتگی بر دقت محاسبه ضریب عملکرد پروانه بررسی شده است. مقایسه نتایج حاصله با نتایج تجربی نشان دهند برتری مدل k-ωsst نسبت به سایر مدل‌های آشفتگی بوده است. علاوه بر آن با توجه به قابلیت این مدل در حل مسایل چند فازی [۱۱] در این تحقیق برای حل مسئله از این مدل استفاده شده است. این مدل جریان آشفته براساس دو مفهوم انرژی جنبشی جریان آشفته (k) و نرخ اتلاف ویژه (ω) می‌باشد که معادلات آن طبق روابط (۲) و (۳) ارایه می‌شوند[۱۲].

$$\frac{\partial(\rho k u_i)}{\partial x_i} + \frac{\partial(\rho K)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i}(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j}) + \widetilde{G_K} - Y_K + S_k \qquad (۲)$$
$$\frac{\partial(\rho \omega u_i)}{\partial x_i} + \frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_i}(\Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j}) + G_\omega - Y_\omega + S_\omega + D_\omega \qquad (۳)$$

در این روابط $\widetilde{G_K}$ و G_ω نشان دهنده ترم تولید در معادلات K و ω، Γ_k و Γ_ω نشان دهنده پخش موثر K و ω، Y_k و Y_ω اتلاف ناشی از جریان آشفته ، D_ω نشان دهنده پارامتر پخش عرضی و S_K و S_ω ترم‌های چشمه تعریف شده توسط کاربر می‌باشند. با

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.29.2.0]

توجه به لزوم در نظر گرفتن تاثیر هم زمان جریان آب در زیر سطح آزاد و جریان هوا در بالای آن از روش حجم سیال (VOF) که توسط هیرت و نیکولز[۱۳] برای مدلسازی جریان دوفازی استفاده شده است. در روش حجم سیال در محل تماس دو فاز معادله پیوستگی نسبت حجمی برای یک فاز یا هر دو فاز حل می‌شود. اگر تعداد فازها q باشد این معادله عبارت است از:

$$\frac{1}{\rho_q}\left[\frac{\partial}{\partial t}\left(\alpha_q\rho_q\right)+\nabla.\left(\alpha_q\rho_q\overrightarrow{v_q}\right)=S_{aq}+\sum_{p=1}^{n}\left(\dot{m}_{pq}-\dot{m}_{qp}\right)\right] \quad (۴)$$

به طوری که $\dot{m}_{pq}$ دبی جرمی انتقال یافته از فاز p به فاز q و $\dot{m}_{pq}$ دبی جرمی انتقال یافته از فاز q به فاز p می‌باشد. S_{aq} نیز ترم چشمه می‌باشد که در این تحقیق مقدار آن صفر است. α_q بیانگر درصد حجمی در یک سلول از فاز q و $\overrightarrow{v_q}$ بردار سرعت فاز q می‌باشد. برای مدلسازی حرکت چرخشی در مدلسازی ناحیه دوار و وارد کردن اثرات شتاب کوریولیس در معادلات حاکم از روش دستگاه مرجع چرخان و روش شبکه‌های لغزان موجود در نرم افزار فلوئنت استفاده شده است[۱۴]. نرم افزار فلوئنت مسائل دستگاه مرجع چرخان را با در نظر گرفتن سرعت مطلق u و سرعت نسبی u_r که وابسته به هم هستند مدل می‌کند(رابطه ۵).

$$\overrightarrow{u_r}=\vec{u}-\vec{\Omega}^{\times}\vec{r} \quad (۵)$$

در این رابطه $\vec{\Omega}$ بردار سرعت زاویه‌ای و $\vec{r}$ بردار موقعیت در دستگاه چرخشی است. سمت چپ معادلات تکانه در رابطه ۶ اورده شده است.

$$\frac{\partial(\rho.\vec{u})}{\partial t}+\vec{\nabla}(\rho.\vec{u}.\vec{u}) \quad (۶)$$

۳- مشخصات هندسی و شرایط مرزی

در این تحقیق مدل پروانه ای از سری استاندارد ب- وگنینگن استفاده شده که مشخصات هندسی آن در جدول ۲ آورده شده است. برای حل عددی جریان اطراف پروانه ابتدا ابعاد دامنه‌ی محاسباتی انتخاب شده است. این ابعاد طوری انتخاب شده که در کنار ارضای مرزهای بی نهایت، زمان محاسباتی کمتری داشته باشد. در شکل ۱ ابعاد دامنه محاسباتی برحسب قطر پروانه و همچنین شرایط مرزی نشان داده شده است. در شکل ۲ نمای کلی از دامنه حل نشان داده شده است. با توجه به شکل۱ ، H فاصله محور پروانه بر حسب متر از سطح آب می‌باشد. با توجه به شرایط مساله مورد نظر مرز ورودی ناحیه حل از دو قسمت مجزای ورودی آب و هوا تشکیل شده است که به طور جداگانه تعریف شده است. برای شرط مرزی، در مرز ورودی شرط سرعت یکنواخت u روی سطح تیغه‌ها و توپی شرط عدم لغزش در مرزهای جانبی شرط مرزی لغزش و در مرز خروجی شرط مرزی فشار خروجی در نظر گرفته شده است.

۴- شبکه بندی دامنه محاسباتی

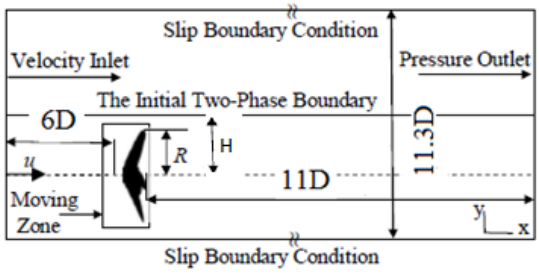
در مطالعه‌ی حاضر برای تولید مدل هندسی پروانه از نرم افزار سالید ورکس استفاده شده است. برای تولید شبکه از ابزار مش موجود در نرم افزار انسیس فلوئنت استفاده شده است. به دلیل پیچیدگی هندسه پروانه در ناحیه متحرک دامنه محاسباتی از شبکه بندی سازمان نیافته با سلول‌های چهاروجهی تتراهدرال به نحوی استفاده شده است، که شبکه سطح تیغه‌های پروانه‌ها از سلول‌های مثلثی تشکیل شده است. شکل ۳ قسمتی از شبکه تولید شده در سطح پروانه را نشان می‌دهد.

جدول۱- تنظیمات اصلی مورد استفاده در نرم افزار فلوئنت

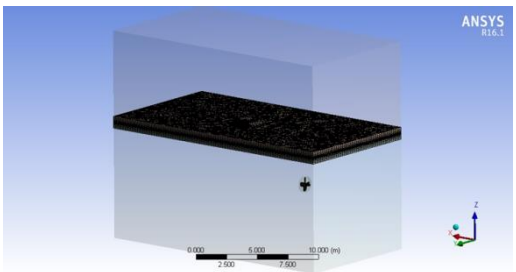
عنوان	روش انتخابی
حلگر	ضمنی، مجزا
کوپل‌میدان سرعت-فشار	سیمپل
مدل توربولانسی	k-ωSst
روش دو فازی	حجم سیال
روش گسسته سازی تکانه	بالا دست مرتبه دوم
روش گسسته سازی انرژی جنبشی آشفتگی	بالا دست مرتبه دوم

جدول ۲- مشخصات هندسی پروانه

تعداد پره‌ها	۴
قطر(m)	۱/۱۵
$\frac{P}{D}$	۱/۱۵
$\frac{A_E}{A_0}$	۰/۴
$\frac{D_{hub}}{D}$	۰/۱۵۸



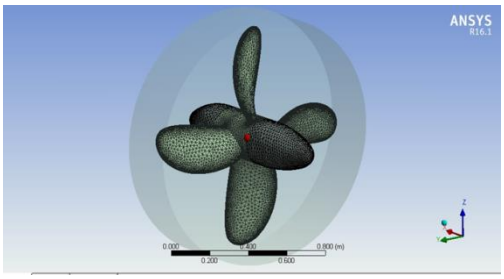
شکل۱- نمای از پروانه و میدان محاسباتی حول آن



شکل۲- نمای کلی از دامنه حل

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.29.2.0]



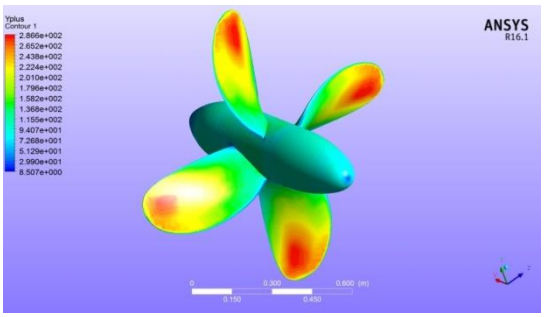
شکل ۳- نمایی از ایجاد شبکه بر روی پروانه

یکی از موارد مهم در شبیه سازی عددی، بررسی عدم وابستگی نتایج به شبکه است. با افزایش تعداد نقاط شبکه نتایج دقیق تری به دست می‌آید اما از طرف دیگر، هزینه محاسباتی و زمان حل مساله افزایش خواهد یافت. در تحقیق حاضر، مطالعه شبکه در حالت غیردائم با مقایسه نتایج مربوط به ضریب تراست و گشتاور در J=0.9 و در عمق ۲ متری روی چهار شبکه مختلف انجام شده است. همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، نتایج شبکه ریز و بسیار ریز نسبت به یکدیگر تغییرات زیادی نداشته است.

جدول ۳- تغییرات ضریب تراست و گشتاوردر شبکه‌های مختلف

شبکه	تعداد المان	ضریب تراست	ضریب گشتاور
درشت	۱۶۵۴۴۱۵	۰/۱۷۷	۰/۰۲۸
متوسط	۲۱۱۸۷۵۱	۰/۱۷۶	۰/۰۲۷
ریز	۲۵۱۹۶۶۸	۰/۱۷۴	۰/۰۲۶
بسیار ریز	۳۲۱۴۲۱۰	۰/۱۷۴	۰/۰۲۶

در شکل ۴ کانتور y^+ روی پروانه با شبکه ریز در J=0.9 و عمق ۲ متر نشان داده شده است. مقدار متوسط این پارامتر ۱۴۸ بوده که با توجه به تابع دیواره استفاده شده در محدوده‌ی مجاز قرار دارد.



شکل ۴- کانتور y^+ روی پروانه با شبکه ریز در حالت J=0.9

۵- نتایج

۵-۱- اعتبارسنجی

با توجه به اینکه نمونه پروانه مورد استفاده جهت مدلسازی عددی از نوع پروانه‌های سری استاندارد بوده (پروانه‌ی ۴ پره‌ای سری بی – وگنینگن) محاسبه مقادیر تجربی ضرایب عملکرد هیدرودینامیکی آنها قبلا از طریق انجام تست آب آزاد صورت پذیرفته است. مطابق جداول ۴، ۵ و ۶ نتایج حاکی از تطابق بسیار خوب نتایج عددی با نتایج تجربی دارد.

جدول ۴- مقایسه ضریب پیش رانش مطالعه عددی با نتایج تجربی مرجع [۱۵]

J	K_t نتایج تجربی [15]	K_t تحقیق حاضر	درصد خطا
۰/۳۳	۰/۲۸	۰/۲۷	۳/۵۷
۰/۴۵	۰/۲۶	۰/۲۳	۱۱/۵۳
۰/۶	۰/۲۳	۰/۲۱	۸/۶۹
۰/۸	۰/۱۸	۰/۱۵	۱۶/۶۶
۰/۹	۰/۱۶	۰/۱۴	۱۲/۵

جدول ۵- مقایسه گشتاور پیچشی مطالعه عددی با نتایج تجربی مرجع [۱۵]

J	K_Q نتایج تجربی [15]	K_Q تحقیق حاضر	درصد خطا
۰/۳۳	۰/۰۵۷	۰/۰۵۳	۷/۰۲
۰/۴۵	۰/۰۵۱	۰/۰۴۹	۳/۹۲
۰/۶	۰/۰۴۴	۰/۰۴۲	۴/۵۴
۰/۸	۰/۰۳۶	۰/۰۳۴	۵/۵۵
۰/۹	۰/۰۲۹	۰/۰۲۸	۳/۴۵

جدول ۶- مقایسه بازده مطالعه عددی با نتایج تجربی مرجع [۱۵]

J	η نتایج تجربی [۱۵]	η تحقیق حاضر	درصد خطا
۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۳۶	۸/۳
۰/۴۵	۰/۴۴	۰/۴۶	۴/۳۴
۰/۶	۰/۵۶	۰/۵۹	۵/۰۸
۰/۸	۰/۶۸	۰/۷	۲/۸۵
۰/۹	۰/۷	۰/۶۸	۲/۸۵

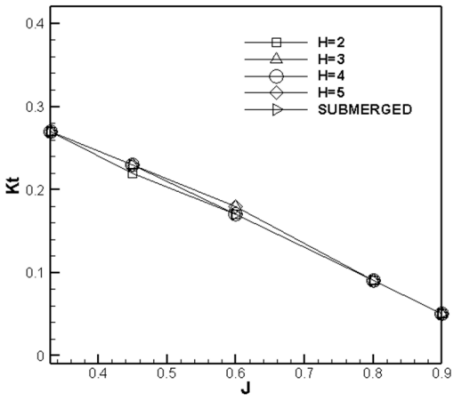
۵-۲- بررسی ضریب‌های عملکرد پروانه در عمق‌های مختلف

در این بخش نتایج حاصل از بررسی ضریب‌های عملکرد پروانه در عمق‌های ۲،۳،۴،۵ متر و کاملا مغروق (SUBMERGED) در نسبت‌های پیش روی ۰/۳۳/۰/۴۵/۰/۶/۰/۸/۰/۰و ۰/۹ با هم مقایسه شده است. در حالت کاملا مغروق عمقی معادل 8D (۸ برابر قطر پروانه) در نظر گرفته شده است. در شکل‌های ۵ و ۶ منحنی‌های ضریب‌های گشتاور پیچشی، نیروی پیش رانش در عمق‌های اشاره شده جهت مقایسه ارائه شده است. با توجه به شکل ۵ و۶ ضریب عملکرد پروانه در عمق‌های مختلف با افزایش نسبت‌های پیش روی کاهش می‌یابد. در شکل ۷ نمودار راندمان پروانه در عمق‌های مختلف برحسب نسبت پیش روی ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود در نسبت پیش روی کمتر از ۰/۸ راندمان پروانه

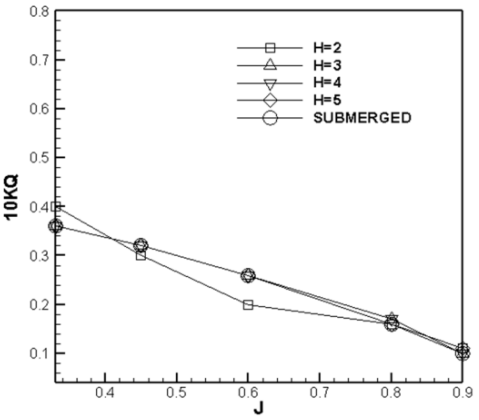
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.29.2.0]

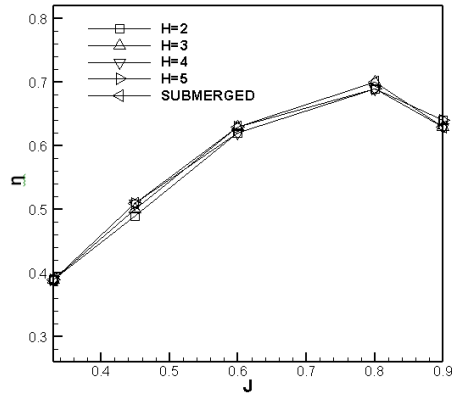
افزایش داشته و بعد از آن روند کاهشی پیدا کرده است. با توجه به شکل ۶ اختلاف زیاد ضریب گشتاور برای عمق ۲ متر نسبت به سایر عمق‌ها به علت ایجاد موج سطحی توسط پروانه، ضریب گشتاور پیچشی نسبت به شرایط آزاد حدود ۱۳ در صد کاهش نسبت به حالت مغروق و شرایط آزاد به علت ایجاد موج سطحی توسط پروانه و همچنین می‌تواند ناشی از ایجاد تهویه در پروانه و عملکرد آن در حالت دو فازی در فواصل نزدیک سطح باشد. بدین منظور برای تعیین ضریب‌های عملکرد پروانه به صورت تجربی در شرایط آب آزاد پیشنهاد می‌شود که حداقل عمق غوطه وری پروانه ۳ برابر شعاع پروانه انتخاب شود[۱۶].



شکل ۵- مقایسه ضریب عملکرد در عمق‌های مختلف



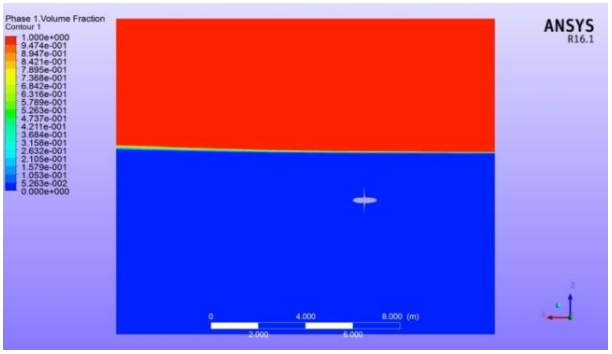
شکل ۶- مقایسه ضریب عملکرد در عمق‌های مختلف



شکل ۷- مقایسه راندمان محاسباتی در عمق‌های مختلف

۵-۳- بررسی کانتورهای مختلف

در شکل ۸ کسر حجمی بخار در H=2 و J=0.9 ارائه شده است. همانگونه که قابل مشاهده است این کانتور از ۳ قسمت تشکیل شده یک قسمت جریان هوا بالای سطح آزاد آب مرز بین آب و هوا و در نهایت آب که کسر حجمی برای هوا ۱ و هرچه به سمت درون آب برویم این مقدار به صفر می‌رسد.

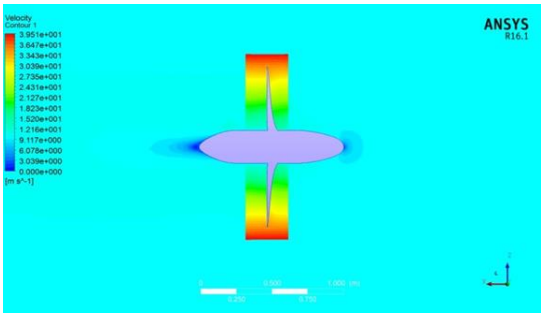


شکل۸- نمای از کسر حجمی فاز بخار و مایع ،H=2,J=0.9

با توجه به شکل ۹ و ۱۰ کانتور سرعت حول پروانه نشان داده شده است. این کانتور در عمق ۲ و J = ۰/۹ می‌باشد. بیشینه مقدار آن در نوک پروانه می‌باشد و هرچه به سمت هاب نزدیک شده این مقدار کاهش پیدا می‌کند. یکی از مهم ترین عوامل بر عملکرد پروانه در کنار سطح پدیده تهویه است. با نزدیک نمودن هر چه بیشتر محور پروانه به سطح آب و یا افزایش سرعت چرخش پروانه در نزدیک سطح این پدیده می‌تواند بوجود آمده یا شدت یابد.



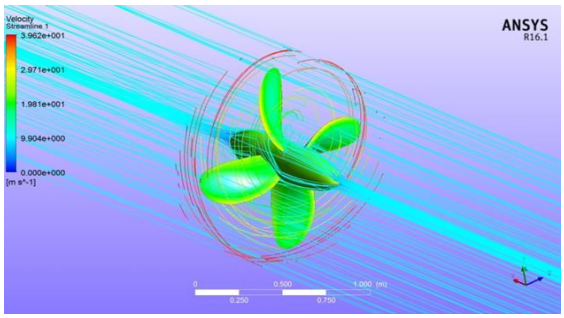
شکل۹- نمایی از توزیع سرعت پروانه ،H=2,J=0.9



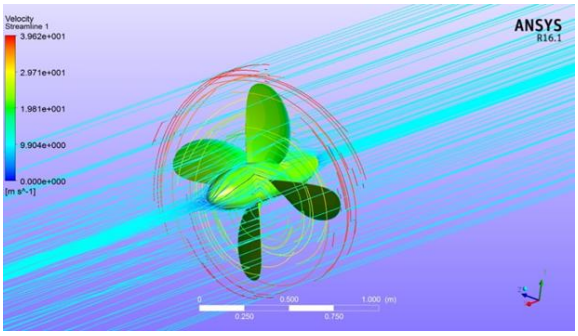
شکل۱۰- نمایی از توزیع سرعت پروانه ،H=2,J=0.9

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.29.2.0]



شکل۱۱-نمای ایزومتریک خطوط جریان پروانه H=2,J=0.9

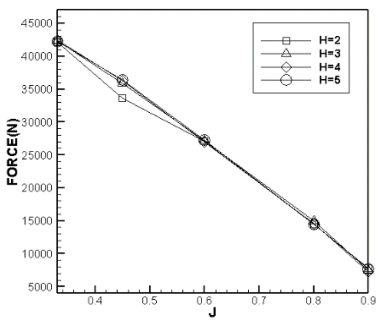


شکل۱۲- نمای ایزومتریک خطوط جریان پروانه H=2,J=0.9

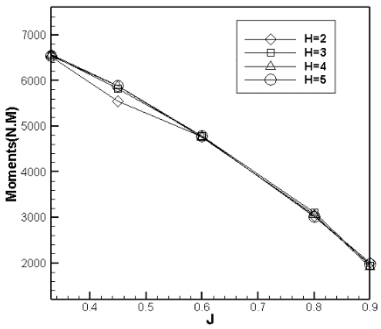
شکل‌های ۱۱ و ۱۲ به بررسی خطوط جریان ایجاد شده در H=۲ و J = ۰/۹ پرداخته است. در دو شکل ۱۱ و ۱۲ خطوط جریان در اطراف پروانه و هاب قابل مشاهده است.

۵-۴- بررسی نیرو و گشتاور در عمق‌های مختلف

در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ منحنی‌های مولفه افقی نیرو در جهت محور X و گشتاور حول محور X در عمق‌های مختلف و در ضریب پیشروی‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به شکل ۱۳ با افزایش ضریب پیشروی در عمق‌های مختلف مولفه نیرو کاهش پیدا کرده است. با افزایش ضریب پیشروی نیرو افقی در عمق‌های مختلف کاهش پیدا کرده است. با توجه به شکل ۱۴ با افزایش ضریب پیشروی در عمق‌های مختلف، گشتاور کاهش پیدا کرده است. نرخ کاهش ضریب‌های عملکرد پروانه در نزدیک سطح نسبت به شرایط آب آزاد افزایش می‌یابد. بیشترین کاهش در نسبت پیشروی ۰/۴۵ می‌باشد. این رخداد بر اثر ایجاد موج سطحی توسط پروانه در عمق ۲ متری بوده و همچنین ناشی از ایجاد تهویه در پروانه و عملکرد آن در حالت دوفازی در فواصل نزدیک سطح می‌باشد.



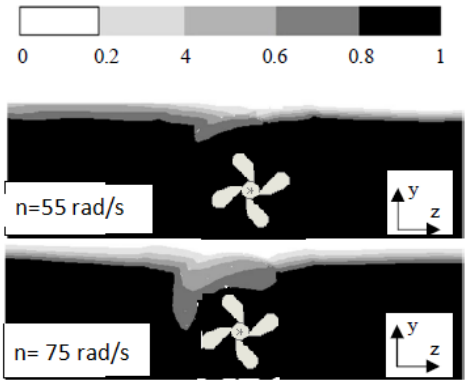
شکل ۱۳- مقایسه مولفه افقی نیرو در جهت x در عمق‌های مختلف



شکل ۱۴- مقایسه گشتاور حول محور x در عمق‌های مختلف

۵-۵-تاثیر پدیده‌ی تهویه بر عملکرد پروانه در نزدیک سطح

یکی از موثرترین عوامل بر عملکرد پروانه در کنار سطح پدیده تهویه می‌باشد. با نزدیک نمودن هر چه بیشتر محور پروانه به سطح آب و یا افزایش سرعت چرخش پروانه در نزدیک سطح این پدیده می‌تواند بوجود آمده یا شدت یابد. برای این منظور با افزایش سرعت چرخش پروانه از ۵۵ رادیان بر ثانیه به ۷۵ رادیان بر ثانیه تاثیر پدیده تهویه بر ضریب‌های عملکرد پروانه بررسی شده است. تغییرات نسبت حجمی آب حول پروانه در مقطع عرضی قرار گرفته در وسط محور توپی پروانه و مقادیر ضریب‌های عملکرد پروانه در سرعت‌های زاویه‌ای ۵۵ رادیان بر ثانیه و ۷۵ رادیان بر ثانیه حاصل از تحلیل عددی انجام شده به ترتیب در شکل ۱۵ و جدول ۷ ارائه شده است. با توجه به شکل ۱۵ ملاحظه می‌شود که با افزایش سرعت چرخش پروانه میزان نفوذ هوا به درون آب افزایش یافته است لذا انتظار می‌رود علاوه بر افزایش بار نوسانی بر روی تیغه‌های پروانه ضریب‌های عملکرد پروانه نیز کاهش یابد. ضریب‌های عملکرد مندرج در جدول ۷ این امر را تصدیق می‌کند.



شکل۱۵- کانتورهای نسبت حجمی (آب) حول پروانه در مقطع عرضی به ازای سرعت چرخشی پروانه (J=0.45)

جدول۷ – ضریب‌های عملکرد پروانه به ازای سرعت چرخشی پروانه (J=0.45)

$10K_Q$	K_t	n(rad/s)
۰/۳۲	۰/۲۳	55
۰/۲۹	۰/۲۱	75

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.29.2.0]

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله با استفاده از نرم افزار تجاری انسیس فلوئنت و شبیه سازی دو فازی سیال به بررسی اثر سطح آزاد بر عملکرد هیدرودینامیکی یک نمونه پروانه پرداخته شده است. نتایج نشان داد که ضریب عملکرد پروانه در عمق‌های مختلف با افزایش نسبت‌های پیش روی کاهش می‌یابد. با افزایش ضریب پیشروی در عمق‌های مختلف، مولفه نیرو و گشتاور کاهش پیدا کرده است. ضریب گشتاور برای عمق ۲ متر نسبت به سایر عمق‌ها به علت ایجاد موج سطحی توسط پروانه، اختلاف زیادی دارد. ضریب گشتاور پیچشی نسبت به شرایط آزاد، ۱۳٪ کاهش نسبت به حالت مغروق دارد. این کاهش ناشی از ایجاد موج سطحی توسط پروانه می باشد. همچنین تهویه در پروانه و عملکرد آن در حالت دو فازی در فواصل نزدیک سطح، منجر به کاهش ضریب گشتاور پیچشی می گردد. با توجه به نتایج تحلیل عددی مشخص گردید که افزایش سرعت چرخش پروانه، باعث افزایش میزان تهویه در پروانه می‌گردد، به نحوی که ۸/۶۹٪ از ضریب پیش رانش و ۹/۳۸٪ درصد از گشتاور پیچشی کاسته می‌شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل طرح پژوهشی با عنوان بررسی و شبیه سازی نویز انتشار یافته از پروانه یک شناور، می باشد که با حمایت مادی و معنوی دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد انجام پذیرفته است. بدین وسیله نویسندگان این مقاله از دانشگاه آزاد اسلامی در حمایت از طرح تحقیقاتی و کلیه عزیزانی که موجب انجام این طرح شده اند؛ کمال سپاس و تشکر را تقدیم می دارند.

۷- مراجع

1- Watanabe, T., Kawamura, T., Takekoshi, Y., Maeda, M. and Rhee, S. H., (2003), *Simulation of steady and unsteady cavitation on a marine propeller using a RANS CFD code*, Proceedings of The Fifth International Symposium on Cavitation, Osaka, Japan.

2- Nakisa, M., Abbasi, M. J. and Amini, A. M., (2010), *Assessment of marine propeller hydrodnamic performance in open water via CFD*, Proceedings of the 7th International Conference on Marine Technology, Dhaka, Bangladesh.

3- Faltinsen, O. M., Minsaas, K. J., Liapis, N. and Skjordal, S. O., (1980), *Perdiction of resistance and propulsion of a ship in a seaway*, Proceedings of the 13th Symposium on Naval Hydrodynamics, Tokyo, Japan.

4- Young, Y. L. and Kinnas, S. A., (2004), *Performance prediction of surface-piercing propellers*, Journal of Ship Research, Vol. 48, No. 4, p. 288-304.

5- Caponnetto, M., (2003), *RANSE simulations of surface piercing propellers*, Proceedings of the 6th Numerical Towing Tank Symposium, Rome, Italy.

6- Olofsson, N., (1996), *Forces and flow characteristics of a partially submerged propeller*, PhD Thesis, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden.

7- Koushan, K., (2006), *Dynamics of ventilated propeller blade loading on thruster*, Proceedings of The World Maritime Technology Conference, London, England.

8- Califano, A. and Steen, S., (2009), *Analysis of different propeller ventilation mechanisms by means of RANS simulations*, Proceedings of The First International Symposium on Marine Propulsions, Trondheim, Norway.

9- Young, Y.L. and Kinnas, S.A. (2003), *Analysis of supercavitating and surface-piercing propeller flows via BEM*, Computational Mechanics, 32, p. 269-280.

10- Alexander, V., Pustoshny, Valery Bointsov, Eduard P.Lebedev, and Anton A. Stroganov., (2007), *Development of 5-blade SPP series for fast speed boat*, Ninth international Conference on Fast Sea, Shanghai.

11- Adjali, S., Imine, O. and Belkadi, M., (2015), *Numerical simulation of free surface water wave for the flow around NACA 0012 hydrofoil and wigley hull using VOF method*, International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering, Vol. 9, No. 5, p. 811-815.

12- Menter, F. R., (1994), *Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications*, AIAA Journal, Vol. 32, No. 8, p. 1598-1605.

13- Hirt, C. W. and Nichols, B. D., (1981), *Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries*, Journal of Computational Physics, Vol. 39, No. 1, p. 201–221.

14- Rishehri, M., Seif, M. S. and Banisi, A. H., (2007), *Study on performance of the propeller in the wake field of marine vehicle with using computational fluid dynamics*, Proceedings of The Ninth Marine Industries Conference, Noor, Iran.

15- Carlton, J.S., (1994), *Marine Propellers and Propulsion*, Butterworth-Heinemann, London.

16- International towing tank conference, testing and extrapolation methods propulsion & propulsion open water test, *Proceedings of the 23th International Towing Tank Conference, Procedure 7.5-02-03-02.1, Revision 01, Venice, Italy, 2002.*

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-02]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1398.15.29.2.0]