

ماهنامه علمى پژوهشى

ی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

تحلیل عددی عملکرد پروانه در نزدیک سطح آب

 *4 عباس ولى 1 ، بهادر سرانجام 2 ، رضىا كمالى 8 ، عطااله ربيعى

1 - دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شیراز
 2 - دانشیار، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، شیراز
 3 - دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز، شیراز
 4 - استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه شیراز، شیراز
 * شیراز، صندوق پستی rabiee@shirazu.ac.ir

چکیدہ	اطلاعات مقاله
شبیه سازی جریان اطراف پروانه یک مسئله پیچیده سیالاتی می باشد خصوصا وقتی پروانه در نزدیک سطح آزاد باشد. در این تحقیق، اثر عمق غوطه وری، سرعت پیش روی و پدیده تهویه روی عملکرد 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.	مقاله پژوهشی کامل دریافت: 10 آبان 1394 پذیرش: 29 آذر 1394 ادائه در سایت: 26 دی. 1394
برای جریان دایمی بوسیله مدل دستگاه مرجع چرخان و برای جریان گذرا توسط شبکه لغزان مدل سازی شده است. برای مدل سازی جریان مغشوش و شبیه سازی حرکت سطح آزاد به ترتیب از مدل k-@ SST و روش حجم سیال استفاده شده است. برای اعتبارسنجی نتایج حل عددی، با توجه به عدم دسترسی به نتایج تحربی بروانه در نزدیک سطح، جل عددی در شرایط آب آزاد انحام شده و ضریب های عملکردی	ارت در سیف، <i>مد دی ۲ و در ا</i> <i>کلید واژگان:</i> پروانه نیروی پیش رانش
پروانه محاسبه شده اند. مقایسه نتایج عددی با نتایج تجربی از تطابق خوبی برخوردار بوده و شبیه سازی عددی را تایید می نماید. نتایج حاصل از حل عددی نشان می دهدکه نسبت غوطه وری و پدیده تهویه از عوامل موثر بر عملکرد پروانه می باشند به نحوی که با کاهش نسبت غوطه وری پروانه از 2.2 به1.1 در نسبت پیش روی 0.4، نسبت ضریب های نیروی پیش-رانش و گشتاور پیچشی به ضریب های عملکرد در	تهویه روش حجم سیال عملکرد پروانه

Numerical Analysis of the propeller performance close to water surface

Abbas Vali¹, Bahador Saranjam¹, Reza Kamali², Ataollah Rabiee^{2*}

1- Department of Naval Engineering, Malek Ashtar University of Technology, Shiraz, Iran.

2- Department of Mechanical Engineering, Shiraz University, Shiraz, Iran

* P.O.B. 7193616548 Shiraz, Iran, rabiee@shirazu.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper Received 01 November2015 Accepted 20 December 2015 Available Online 16 January 2016

5.15

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 immersion depth, advance velocity and the ventilation phenomenon on the performance of a B-Wageningen series propeller 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. Comparing the numerical simulation. Results of the numerical solution show that the submergence ratio and ventilation phenomenon affect the performance of propeller so that by reducing submergence ratio from 2.2 to 1.4 in advance ratio J=0.4, ratio of thrust and torsional moment coefficients to open water performance coefficients reduced to 7.7% and 6%, respectively.

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

A. Vali, B. Saranjam, R. Kamali, A. Rabiee, Numerical Analysis of the propeller performance close to water surface, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 16, No. 1, pp. 291-299, 2016 (in Persian)

است در طراحی و انتخاب پروانه، تغییر ضریبهای عملکردی (ضریبهای پیشرانش و گشتاور پیچشی) در شرایط کارکرد در نزدیک سطح در نظر گرفته شوند.

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 دو فازی جریان، حل میدان جریان از پیچیدگی بیشتری برخوردار میشود.

تحقیقات گستردهای در رابطه با مدلسازی جریان اطراف پروانه صورت گرفته است [2,1]. در مرجع [1] با استفاده از نرمافزار انسیس - فلوئنت¹ جریان حول دو پروانه دریایی چهار پرهای و پنج پرهای در حالت کاویتاسیون دایمی و گذرا شبیهسازی شده است. برای این منظور جریان یکنواخت و جریان ویک² به عنوان ورودی دامنه محاسباتی در نظر گرفته شده و ضریبهای پیشرانش و گشتاور پیچشی محاسبه شده است. دقت مناسب نتایج محاسباتی در مقایسه با نتایج تجربی نشان میدهد که از روش به کارگرفته شده در این مرجع، میتوان برای شبیهسازی رفتار جریان در انواع پروانهها استفاده نمود.

در مرجع [2] تحلیل عددی یک نمونه پروانه سری بی- وگنینگن³ در شرایط آب آزاد بهوسیله نرمافزار فلوئنت شرح داده شده و همچنین اثر تراکم شبکه، نوع مدل آشفتگی و الگوریتم حل عددی بر روی دقت ضریبهای عملکردی محاسباتی در مقایسه با نتایج تجربی بررسی شده است. از نتایج ارایه شده در این مرجع، می توان در شبیهسازی عددی، شبکهبندی میدان جریان، انتخاب مدل آشفتگی پروانهها استفاده نمود.

یکی از پدیدههایی که میتواند در حین کارکرد پروانه در نزدیک سطح بوجود آید پدیده تهویه⁴ ناشی از مکش هوا توسط پروانه میباشد. این پدیده در اثر تماس سطح تیغههای پروانه با اتمسفر و یا ایجاد حفره متصل کننده هوا از بالای سطح به پروانه در اثر کارکرد پروانه در نزدیک سطح ایجاد می-شود. وقوع این پدیده بر همگرایی و در نتیجه پیچیدگی حل جریان میافزاید و همچنین به علت عدم پایداری و تغییرات ناگهانی در نیروی پیشرانش و گشتاور پیچشی و در نتیجه افزایش ناگهانی سرعت دورانی باعث آسیب جدی قطعات مکانیکی و اجزای موتور میشود.

در چند دهه اخیر، محققان زیادی پدیده تهویه در پروانهها را بصورت تجربی و تحلیل عددی مورد بررسی قرار دادهاند. اغلب این تحقیقات در جهت شناخت بهتر مکانیزم تهویه و بررسی تاثیر این پدیده بر عملکرد پروانهها متمرکز بوده است. فال تینسن [3] در سال 1981 نتایج حاصل از اثر تهویه پروانه بر روی متوسط مقادیر نیروی پیشرانش و گشتاور پیچشی در حین عملکرد بر روی امواج را ارایه نمود.

یانگ و کیناس [4] در سال 2004 با استفاده از روش المان مرزی و کاپوننتتو [5] با استفاده از متوسط گیری معادلات ناویر - استوکس در سال 2003 نتایج حاصل از محاسبه بارهای دینامیکی اعمالی بر پروانههای نیمه مغروقی که توسط الوفسون [6] در سال 1996 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 تأثیر آن بر نیروی پیشرانش پروانه، کوشان [7] در سال 2006 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 قرار گرفت، از جمله کالیفانو و استین [8] در سال 2009 با تحلیل عددی مکانیزم تهویه پروانههای مورد آزمایش کوشان را بوسیله نرمافزار فلوئنت بررسی کردند. آنان برای شبیه سازی عددی از مدل جریان آرام، غیرقابل تراکم و دوفازی و جهت مدل نمودن چرخش پروانه از هر دو روش دستگاه مرجع چرخان⁵ و شبکه های نمودن چرخش پروانه از هر دو روش دستگاه مرجع چرخان و شبکه های تیغههای پروانه در حین وقوع پدیده تهویه (در نسبت غوطهوری (h/n) 1.4

به علت پیچیدگی حل میدان جریان حول پروانه در نزدیک سطح اغلب تحلیلهای عددی انجام شده با در نظر گرفتن فرضیاتی جهت سادهسازی همراه بوده و بخش محدودی از عملکرد پروانه را شامل میشود.

مطالعه فعالیتهای در دسترس موجود نشان میدهد که فعالیتهای کمی بویژه در حوزه شبیهسازی عددی با توجه به تاثیرات عمق غوطهوری پروانه در نزدیکی سطح آزاد مایع صورت پذیرفته است. لذا در این تحقیق بررسی تاثیر نسبتهای غوطهوری متفاوت بر عملکرد پروانه در نزدیک سطح با درنظر گرفتن اثر آشفتگی مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر آن مشخصههای عملکردی پروانه در نسبت پیشروی متفاوت برای یک نسبت غوطهوری در نزدیکی سطح بررسی شده و تاثیر پدیده تهویه ناشی از افزایش سرعت چرخش پروانه بر روی ضریبهای عملکرد پروانه نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است. به منظور مدل سازی عددی از مدل جریان مغشوش، غیرقابل تراکم و دوفازی استفاده شده و حل میدان جریان با استفاده از کد محاسباتی

2- معادلات حاکم و روش عددی

با در نظر گرفتن شرایط حاکم بر جریان سیال, معادلات ناویر – استوکس طبق رابطه (1) قابل ارایه می شود:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = \mathbf{0}$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{\mathbf{1}}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\mu}{\rho} \cdot \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} + g_i \tag{1}$$

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

لازم به ذکر است که در مرجع [2] اثر نوع مدل آشفتگی بر دقت محاسبه ضریب عملکرد پروانه بررسی شده است. مقایسه نتایج حاصله با نتایج تجربی، نشان دهنده برتری مدل w - k SST نسبت به سایر مدلهای آشفتگی بوده است. علاوه بر آن با توجه به قابلیت این مدل در حل مسایل چند فازی [9] در این تحقیق برای حل مسئله از این مدل استفاده شده پند فازی [9] در این تحقیق برای حل مسئله از این مدل استفاده شده است. این مدل جریان آشفته براساس دو مفهوم انرژی جنبشی جریان آشفته⁷ (4) و نرخ اتلاف ویژه⁸ (ω) میباشد که معادلات آن طبق روابط (2) و (3) ارایه میشوند [10]. $\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i}(\Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j}) + \widetilde{G_k} - Y_K + S_K$ (2)

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.1.6.9]

5- Rotating Reference Frame6- Sliding Mesh7- Turbulence Kinetic Energy8- Specific dissipation rate

- 1- Ansys-Fluent
- 2- Wake
- 3-B-Wageningen
- 4- Ventilation

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho\omega u_i) = \frac{\partial}{\partial x_i}\left(\Gamma_\omega \frac{\partial\omega}{\partial x_j}\right) + G_\omega - Y_\omega + D_\omega + S_\omega$$
(3)

 Γ_k ، ω و G_k در این روابط $\widetilde{G_k}$ و $\widetilde{G_k}$ نشان دهنده ترم تولید در معادلات k و $\widetilde{G_k}$ و بعاد این روابط F_ω و F_ω نشان دهنده پخش موثر k و ω ، Y_K و ω اتلاف ناشی از جریان آشفته، ω نشان دهنده پارامتر پخش عرضی¹ و S_K و ω ترمهای چشمه تعریف شده توسط کاربر میباشند.

با توجه به لزوم در نظر گرفتن تأثیر هم زمان جریان آب در زیر سطح آزاد و جریان هوا در بالای آن از روش حجم سیال² (VOF) که توسط هیرت و نیکولز [11] در سال 1981 ارایه شده برای مدلسازی جریان دو فازی استفاده شده است. در روش حجم سیال، در محل تماس دو فاز، معادله پیوستگی نسبت حجمی³ برای یک فاز یا هر دو فاز حل می شود. اگر تعداد فازها q باشد این معادله عبارت است از:

$$\frac{1}{\rho_q} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \overline{\nu_q}) = S_{aq} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \right]$$
(4)

به طوری که m_{pq} دبی جرم انتقال یافته از فاز p به فاز p و m_{qp} دبی جرم انتقال یافته از فاز p 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 p و $\overrightarrow{v_q}$ بردار سرعت فاز p میباشد. معادله درصد حجمی برای فاز اولیه قابل حل نخواهد بود. لذا درصد حجمی فاز اولیه براساس رابطه (5) بدست میآید.

$$\sum_{q=1}^{n} \alpha_q = \mathbf{1} \tag{5}$$

معادله نسبت حجمی میتواند به هر دو روش ضمنی و صریح حل شود که در این تحقیق به روش ضمنی حل شده است.

برای مدلسازی حرکت چرخشی درمدلسازی ناحیه دوار و وارد کردن اثرات شتاب کوریولیس در معادلات حاکم از روش دستگاه مرجع چرخان و روش شبکههای لغزان موجود در نرمافزار فلوئنت استفاده شده است [12]

زمانیکه معادلات حرکت برای حالت دستگاه مرجع درحالت چرخش حل می شود، جمله شتاب در معادلات تکانه ظاهر می شود. نرمافزار فلوئنت مسائل دستگاه مرجع چرخان را با در نظر گرفتن سرعت مطلق u و سرعت نسبی u_r که وابسته به هم هستند مدل می کند (رابطه 6).

$$\vec{u_r} = \vec{u} - \vec{\Omega} \times \vec{r}$$

$$(6)$$

$$(6)$$

$$(6)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$(7)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \cdot \vec{u}) + \vec{\nabla} (\rho \cdot \vec{u} \cdot \vec{u})$$
(7)

برای یک دستگاه چرخان، با اعمال سرعت نسبی رابطه (8) بدست

تنظيمات اصلى انجام شده نرمافزار فلوئنت نشان داده شده است.

3- مشخصات هندسي و شرايط مرزي

در این تحقیق ، مدل پروانه ای از سری استاندارد ب– و گنینگن استفاده شده که مشخصات هندسی آن در جدول 2 آورده شده است.

برای حل عددی جریان اطراف پروانه ابتدا ابعاد دامنهٔ محاسباتی انتخاب شده است. این ابعاد طوری انتخاب شده که در کنار ارضای مرزهای بینهایت، زمان محاسباتی کمتری داشته باشد. دامنه محاسباتی از دو ناحیه متحرک و ساکن تشکیل شده است. در شکل 1 ابعاد دامنهٔ محاسباتی برحسب قطر پروانه (D) و همچنین شرایط مرزی نشان داده شده است.

یکی از مهمترین بخشهای تحلیل عددی تعیین شرایط مرزی است. با توجه به شرایط مسالهٔ مورد نظر، مرز ورودی ناحیه حل از دو قسمت مجزای ورودی آب و هوا تشکیل شده است که به طور جداگانه تعریف شدهاند. به همین دلیل از همان ابتدا صفحه ورودی به وسیلهٔ صفحه آبخور به دو بخش تقسیم شده، بخش بالای صفحهٔ آبخور ورودی هوا و بخش پایینی، ورودی آب در نظر گرفته شده است.

برای شرط مرزی این دو بخش در مرز ورودی شرط سرعت یکنواخت *u*، روی سطح تیغه ها و توپی⁴ شرط عدم لغزش (سرعت صفر)، در مرزهای جانبی شرط مرزی لغزش و در مرز خروجی شرط مرزی فشار خروجی در نظر گرفته شده است.

4- شبکه بندی دامنه محاسباتی

در مطالعهٔ حاضر برای تولید مدل هندسی پروانه از نرمافزار کتیا⁵ استفاده شده و سپس شبکهبندی بر روی مدل توسط نرمافزار گمبیت⁶ انجام شده است. به دلیل پیچیدگی هندسه پروانه در ناحیه متحرک دامنه محاسباتی از شبکهبندی سازمان نیافته با سلولهای چهار وجهی تتراهدرال بهنحوی

جدول 1 تنظيمات اصلى مورد استفاده در نرمافزار فلوئنت Table 1 Basic settings used in Fluent software

روش انتخابي	عنوان
ضمنی _، مجزا	حل گر
سیمپل ⁷	کوپل میدان سرعت- فشار
SST $k - \omega$	مدل توربولانسى
حجم سيال	روش دو فازی
	روش گسسته سازی
نیروی کالبدی وزین ⁸	فشار
بالادست مرتبه دوم	تكانه
بالا دست مرتبه دوم	نسبت حجمي
بالادست مرتبه اول	انرژی جنبشی آشفتگی

جدول 2 مشخصات هندسی پروانه

Table 2 Geometric characteristics of propeller

اسکيو ¹⁰ (درجه)	ریک ⁹ (درجه)	$\frac{D_{hub}}{D}$	$\frac{P}{D}$	$\frac{A_E}{A_0}$	قطر (m)	تعداد تيغه
11.8	15	0.167	0.8	0.5	0.25	5

4- Hub
5- Catia
6- Gambit
7- Simple
8- Body Force Weighted
9- Rake
10- Skew

293

 $\frac{\partial}{\partial t} (\rho \cdot \overrightarrow{u_r}) + \overrightarrow{V} (\rho \cdot \overrightarrow{u_r} \cdot \overrightarrow{u_r}) + \rho \overrightarrow{\Omega} \times (2 \overrightarrow{u_r} + \overrightarrow{\Omega} \times \overrightarrow{r}) + \frac{\partial \overrightarrow{\Omega}}{\partial t} \times \overrightarrow{r}$ (8)جهت تحليل جريان حول پروانه لازم است تنظيماتی برای نرمافزار فلوئنت در نظر گرفته شود. برای این منظور برای تحلیل پروانه در نزدیک سطح از تنظیمات ارایه شده در مرجع [8] استفاده شده است. در جدول 1

1- Cross- diffusion
 2- Volume of Fluid
 3- Volume Fraction

مهندسی مکانیک مدرس، فروردین 1395، دورہ 16، شمارہ 1

میاید.



تحلیل عددی عملکرد پروانه در نزدیک سطح آب

Fig. 1 The size of the computational domin and boundary conditions; a) Lateral Cross Section View, b) Longitudinal Section View

استفاده شده است، که شبکه سطح تیغههای پروانهها از سلولهای مثلثی تشکیل شده است [12].

از موارد مهمی که در تحلیل عددی باید به آن توجه نمود، اندازه شبکههای تولید شده میباشد. اندازه شبکه در نتایج تحلیل بسیار تأثیرگذار است، درشت بودن شبکه سبب خطا در تحلیل می گردد. لذا بهتر است سایز شبکهها تا حد امکان ریز باشد. اما با افزایش تعداد شبکهها، حجم محاسبات زیاد و در نتیجه زمان محاسبات زیاد میشود. از طرفی باید اندازه شبکهها به گونهای باشد که با افزایش تعداد شبکهها تغییر زیادی در نتایج ایجاد نگردد. نکتهی دیگری که در هنگام استفاده از شبکهبندی سازمان نیافته باید رعایت کرد نسبت منظری سلول است، بهطوری که میتواند در نهایت بر کیفیت کلی شبکه تولید شده و حتی نرخ همگرای تاثیر گذار باشد.

با توجه به نكات ذكر شده شبكه بندى سطح تيغههاى پروانه به نحوى انجام شده كه ناحيه نزديك نوك، ريشه تيغهها و لبههاى تيغه با مثلثهاى كوچكترى با طول ضلع تقريبى 0.0025 قطر پروانه شبكهبندى شده است [21]. نواحى داخلى روى تيغه با مثلثهاى بزرگترى شبكهبندى شده بهطورىكه اندازه ضلعهاى آن به تدريج و با نسبت رشد 1.1 افزايش يافته است شكل 2 قسمتى از شبكه توليد شده در سطح پروانه را نشان مىدهد. اگر از شبكهبندى سازمان نيافته براى كل دامنه حل استفاده شود، تعداد شبكه ها بالا رفته، زمان محاسباتى نيز افزايش مىيابد؛ بنابراين براى كاهش شبكه ها بالا رفته، زمان محاسباتى نيز افزايش مىيابد؛ بنابراين براى كاهش مقراهدرال استفاده شده است. تعداد سلولها در ناحيه ساكن از شبكه سازمان يافته با المانهاى مكعبى متحل 3 شبكه ها بالا رفته، زمان محاسباتى نيز افزايش مىيابد؛ بنابراين براى كاهش تعداد ملولها در ناحيه ساكن از شبكه سازمان يافته با المانهاى مكعبى تعداد ملولها در ناحيه ماكن از شبكه سازمان يافته با المانهاى مكعبى مقراهدرال استفاده شده است.



Fig. 2 A view of the grid generation on the propeller surface $\mathbf{\hat{H}}$ in $\mathbf{\hat{H}}$ to be the grid generation on the propeller surface $\mathbf{\hat{H}}$ is a state of the grid generation of the propeller surface $\mathbf{\hat{H}}$ is a state of the grid generation of the propeller surface in the grid generation of the grid generation of the propeller surface is a state of the grid generation of the propeller surface is a state of the grid generation of the propeller surface is a state of the grid generation of the propeller surface is a state of the grid generation of the grid generation of the propeller surface is a state of the grid generation of the propeller surface is a state of the grid generation of the grid generation of the grid generation of the propeller surface is a state of the grid generation of the grid generation

برای بررسی استقلال شبکه، با تحلیل عددی در نسبت پیشروی 0.4 و سرعت چرخشی 60 rad/s میدان جریان حول پروانه در چند حالت شبکهبندی حل شده، و به مقایسه نسبت ضریبهای عملکرد محاسباتی به تجربی پرداخته شده است.



Fig. 3 Grid generation of propeller computational domin شکل 3 شبکه بندی دامنه محاسباتی پروانه

عباس ولی و همکا*ر*ان

جدول 3 نسبت ضریبهای عملکرد محاسباتی به تجربی برحسب تعداد سلولها Table 3 Ratio of computed performance coefficients to experimental in terms of the number of cells

نسبت گشتاور پیچشی	نسبت نيروى پيشرانش	تعداد سلول	شبكه
محاسباتی به تجربی	محاسباتی به تجربی		
0.948	0.893	1846532	1
0.975	0.914	2310040	2
0.992	0.932	2865732	3
0.995	0.937	3453234	4

نتایج این بررسی در جدول 3 آورده شده، با توجه به این نکته که افزایش تعداد سلولها باعث افزایش زمان محاسباتی می شود بنابراین با توجه به خطای ناچیز شبکه 3 و 4 نسبت به دیگر شبکهها و همچنین تعداد سلول کمتر شبکه 3 از این شبکه جهت حل میدان جریان دوفازی حول پروانه استفاده شده است.

در این تحقیق میزان بیشینه y^+ در نزدیک سطح پروانه در شبکه انتخاب شده، 124 میباشد. با توجه به مدل آشفتگی انتخاب شده، تغییرات y^+ در محدوده مناسب بوده و شبکه انتخابی دارای کیفیت لازم در محدوده لایه مرزی ایجاد شده، میباشد.

5- ارايه نتايج و بحث

1-5- بررسی صحت حل عددی با شبیه سازی جریان اطراف پروانه در شرایط آب آزاد

در این تحقیق با توجه به عدم دسترسی به نتایج تجربی پروانه در نظر گرفته شده در نزدیک سطح، به بررسی صحت حل عددی با استفاده از مدلهای چرخشی دستگاه مرجع چرخان در حالت دایمی جریان و شبکه لغزان در حالت گذرا در شرایط آب آزاد پرداخته شده که نتایج مذکور جهت بررسی مناسب بودن شبکه بندی انتخاب شده و همچنین در نحوه تحلیل عددی قابل کاربرد می باشد.

برای حل میدان جریان با استفاده از روش شبکه لغزان به علت چرخش تناوبی پروانه، کمیتهای مختلف توابعی از زمان خواهند بود لذا جهت تعیین کمیتهای مورد نیاز لازم است میانگین کمیتها در گامهای زمانی مناسب محاسبه شود. نتایج ارایه شده در این تحقیق بر مبنای روش شبکه لغزان در واقع میانگین زمانی کمیتها میباشد.

در این مطالعه با استفاده از تحلیل عددی ضریبهای پیشرانش، گشتاور پیچشی و راندمان پروانه (($\eta = J \cdot K_T / (2\pi \cdot K_Q)$) برحسب نسبت پیشروی در سرعت چرخشی ثابت پروانه (*n* = 60 rad/s) جهت مقایسه با دادههای تجربی محاسبه شده و نتایج این بررسی به ترتیت در جداول 4، 5 و 6 و همچنین شکل 4 آورده شده، بررسی درصد خطای نسبی نتایج محاسباتی ($\Delta \%$) نشان دهنده دقت مناسب نتایج حاصل از حل عددی انجام شده می باشد.

شده در بعضی از گزارشات به کمتر بودن نتایج محاسباتی نسبت به مقدار دادههای تجربی در تمام محدوده نسبت پیشروی (بالتن و واپری در سال2005 [13]، ریو و جوشی سال 2006 [14] و برچیچ و جانسون سال 2008 [15]) و در بعضی از مستندات به بیشتر بودن نتایج حاصل از محاسبات نسبت به دادههای تجربی اشاره شده است [8].

با بررسی ضریبهای محاسباتی ارایه شده در جدول 4 و 5 میتوان بیان نمود که بیشترین خطای ضریبهای پیشرانش و گشتاور پیچشی درکمترین بار پروانه (J=0.8) میباشد و همچنین ملاحظه میشود که مدل چرخشی شبکه لغزان در محاسبه ضریبهای گشتاور پیچشی دارای خطای کمتری نسبت به دستگاه مرجع چرخان بوده اما در محاسبه ضریب نیروی پیشرانش در نسبتهای پیشروی کمتر از 0.5 دارای خطای بیشتری نسبت به دستگاه مرجع چرخان میباشد.

در جدول 6 راندمان حاصل از روشهای عددی با استفاده از دستگاه مرجع چرخان و شبکه لغزان جهت مقایسه با مقادیر تجربی ارائه شده است. مقایسه این نتایج نشان میدهد که راندمان پروانه در نسبتهای پیشروی 0.2 الی 0.7 دارای خطای کمتری نسبت به مدل شبکه لغزان میباشد.

با وجود دقت مناسب این مدل برای محاسبه ضریبهای پیشرانش و راندمان در محدودهای از نسبت پیشروی، باید به این نکته توجه داشت که این مدل در حل جریان شبه دایمی کاربرد دارد و در حل جریان گذرا لازم است از مدل چرخشی شبکه لغزان استفاده شود [8].

در شکل 4 منحنی نتایج بدست آمده جهت نشان دادن نحوه تغییرات ضریبهای عملکرد پروانه براساس نتایج محاسباتی حاصل از مدلهای دستگاه مرجع چرخان و شبکه لغزان و نتایج تجربی ارایه شده است.

جدول 4 مقایسه ضریب پیشرانش حاصل از روشهای عددی با نتایج تجربی Table 4 Comparison of thrust coefficient for numerical methods with experimental results

_	0/ A	V	%Δ	K_T	K_T	
		K_T	دستگاه مرجع	دستگاه مرجع	نتايج	J
	شبكه لعزان	شبك لغران	چرخان	چرخان	تجربی[16]	
	9.60	0.292	8.36	0.296	0.323	0.1
	8.62	0.265	6.9	0.270	0.290	0.2
	8.20	0.235	5.86	0.241	0.256	0.3
	6.82	0.205	5.90	0.207	0.220	0.4
	8.11	0.170	8.11	0.170	0.185	0.5
	7.53	0.135	10.96	0.130	0.146	0.6
	12.00	0.088	17.00	0.083	0.100	0.7
_	14.89	0.040	27.66	0.034	0.047	0.8

جدول 5 مقایسه ضریب گشتاور پیچشی حاصل از روشهای عددی با نتایج تجربی Table 5 Comparison of torsional moment coefficient for numerical methods with experimental results

	94 A	V	Δ	K_Q	K_Q	
		\mathbf{K}_Q	دستگاه مرجع	دستگاه مرجع	نتايج	J
	شبكه لغزان	سبكة لغران	چرخان	چرخان	تجربی[16]	
_	0.82	0.0365	3.53	0.0355	0.0368	0.1
	1.45	0.0350	3.19	0.0334	0.0345	0.2
	0.00	0.0320	3.13	0.0310	0.0320	0.3
	0.71	0.0280	1.06	0.0279	0.0282	0.4
	0.42	0.0240	1.24	0.0244	0.0241	0.5
	0.00	0.0200	2.00	0.0204	0.0200	0.6
	4.17	0.0150	7.64	0.0155	0.0144	0.7
_	17.5	0.0094	25.00	0.0100	0.0080	0.8

همان طور که از جدول 4 ملاحظه می شود، در تمام محدوده نسبت پیش روی، مقدار ضریب پیش رانش محاسباتی کمتر از داده های تجربی می باشد. با توجه به ضریب های گشتاور پیچشی درج شده در جدول 5 مشخص گردید که در نسبت پیش روی پایین، مقدار ضریب های گشتاور پیچشی محاسباتی کمتر از داده های تجربی می باشد. با افزایش نسبت پیش روی (از نسبت پیش روی 0.5 برای مدل چرخشی دستگاه مرجع چرخان و 0.6 برای شبکه لغزان) ضریب های محاسباتی بیش از نتایج تجربی می گردد. گزار شات متعددی در مورد خطای محاسباتی ضریب گشتاور پیچشی ارایه

مهندسی مکانیک مدرس، فروردین 1395، دورہ 16، شمارہ 1

295

عباس ولی و همکا*ر*ان

جدول 7 نسبت ضریبهای عملکرد پروانه به ضریبهای عملکرد در شرایط آب آزاد

به ازای نسبت غوطهوری

Table 7 Ratio of Propeller performance to open water performance coefficients in terms of submergence ratio

	0	
K_Q	K_T	h
$\overline{K_{Qo}}$	$\overline{K_{To}}$	\overline{R}
0.920	0.873	1.4
0.950	0.910	1.6
0.962	0.930	1.8
0.969	0.939	2.0
0.980	0.950	2.2

کاسته می شود.

با توجه به درصد ضریبهای پیشرانش و گشتاور پیچشی ناشی از لزجت نسبت به ضریبهای عملکرد پروانه مندرج در جدول 8، مشاهده می شود که حداکثر تاثیر لزجت بر ضریب گشتاور پیچشی و پیش رانش به ترتيب 8.8 و 1.6 درصد مىباشد و به ازاى تغيير نسبت غوطهورى اين ضريبها تقريبا ثابت مىباشند.

با توجه به ضریب های عملکرد بدست آمده، نسبت بازده محاسباتی پروانه به بازده محاسباتی در شرایط آب آزاد برحسب نسبت غوطهوری طبق شکل 6 قابل ارائه می باشد. با توجه به شکل، ملاحظه می شود که کاهش عمق غوطهوری باعث کاهش بازده پروانه نسبت به شرایط آب آزاد می شود.

جهت بررسی موجسازی پروانه در نزدیک سطح، نمای امواج تولیدی توسط یروانه در نسبتهای غوطهوری در نظر گرفته شده در شکل7 ارایه



جدول 6 مقایسه راندمان حاصل از روش های عددی با نتایج تجربی Table 6 Comparison of the efficiency for numerical methods with experimental results

% Λ	**	%Δ	η	η	
م∠م/ ثکرا:دار	<i>∏</i> نا:∔ا ₄≲يش	دستگاه مرجع	دستگاه مرجع	نتايج تجربى	J
سبكة لغران	سبات عراق	چرخان	چرخان	[16]	
4.36	0.1273	8.77	0.1327	0.1220	0.1
3.60	0.2410	2.93	0.2573	0.2500	0.2
3.93	0.3506	1.70	0.3712	0.3650	0.3
0.95	0.4655	0.50	0.4723	0.4700	0.4
1.38	0.5637	0.28	0.5544	0.5560	0.5
3.63	0.6446	2.16	0.6085	0.6220	0.6
6.10	0.6536	3.15	0.5966	0.6160	0.7
6.40	0.5384	14.44	0.4329	0.5060	0.8



Fig. 4 Comparison of performance and efficiency curves of propeller in open water condition

شکل 4 مقایسه منحنیهای عملکردی و راندمان پروانه در شرایط آب آزاد

2-5- بررسي تاثير عمق غوطهوري بر عملكرد يروانه

در این بخش اثر عمق غوطهوری بر ضریبهای عملکرد پروانه مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور حل عددی جریان حول پروانه در نسبت پیشروی 0.4 و نسبتهای غوطهوری 1.4، 1.6، 2 و2.2 انجام شده است. با توجه به حل جریان در حالت گذرا، جهت مدل نمودن چرخش پروانه از شبکه لغزان در سرعت چرخشی ثابت (n = 60 rad/s) استفاده شده است. نتایج حاصل از حل جریان شامل، نسبت ضریبهای عملکرد پروانه به ضریبهای مربوطه در شرایط آب آزاد $\left(K_{Q}/K_{Q0} + K_{T}/K_{T0}\right)$ و در صد ضریبهای پیشرانش و گشتاور پیچشی ناشی از لزجت نسبت به ضریبهای عملکرد پروانه $\left(K_{Qv}/K_{Q} + K_{Tv}/K_{T}\right)$ برحسب نسبتهای غوطهوری پروانه ترتیب در جدولهای 7 و 8 ارایه شده است. با توجه به نتایج مندرج در

[DOR: 20.1001.1.10275940.1395.16.1.6.9]

جدول 8 درصد ضریبهای لزجت نسبت به ضریبهای عملکرد به ازای نسبت غوطەورى پروانە

Table 8 percent of coefficient viscosity to performance coefficients in terms of propeller submergence ratio

$\frac{K_{Qv}}{K_{O}}$	$\frac{K_{Tv}}{K_{T}}$	$\frac{h}{R}$
8.8	1.6	1.4
8.7	1.5	1.6
8.5	1.4	1.8
8.4	1.4	2.0
8.1	1.4	2.2

جدول 7 مشاهده می گردد که با کاهش نسبت غوطهوری پروانه از 2.2 به
1.4، ضریب پیشرانش 7.7 درصد و ضریب گشتاور پیچشی پروانه 6 درصد
نسبت به ضریبهای عملکرد در شرایط آب آزاد کاهش یافته است.
جهت مشخص نمودن نحوه تغییرات ضریبهای نسبی، منحنی ضریبها
در شکل 5 ارایه شده است. با توجه به شکل ملاحظه میشود که با کاهش
نسبت غوطهوری از ضریبهای عملکرد پروانه نسبت به شرایط آب آزاد کاسته
شده به نحوی که در نسبت غوطهوری 1.4 با توجه به تحلیل عددی انجام
شده به میزان 12.7 درصد از نیروی پیشرانش پروانه در شرایط آب آزاد

2.2



Fig. 6 Ratio of Propeller efficiency to open water efficiency in terms of submergence ratio

شکل 6 نسبت بازده پروانه به بازده در شرایط آب آزاد برحسب نسبت غوطهوری





شکل 7 نمای تغییرات سطح آب به ازای نسبت غوطهوری پروانه

در شکلهای 8 و 9 منحنیهای ضریبهای گشتاور پیچشی، نیروی پیشرانش و همچنین راندمان پروانه حاصل از تحلیل عددی در نسبت غوطهوری 1.4 و در شرایط آب آزاد جهت مقایسه ارائه شده است.

با توجه به شکل 8 ملاحظه می شود که ضریب های عملکرد پروانه در کنار سطح به ازای نسبت های پیش روی متفاوت، کمتر از ضریب های عملکرد در شرایط آب آزاد می باشد. براساس تحلیل انجام شده میزان درصد کاهش ضریب گشتاور پیچشی و نیروی پیش رانش نسبت به شرایط آزاد به ترتیب از 4.4 تا 7.5 و 2.3 تا 8.4 درصد تغییر می کند، از طرفی معلوم است که نحوه تغییرات منحنی ضریب های گشتاور پیچشی و نیروی پیش رانش یکسان بوده و از یک دیگر تبعیت می کند.

در یک مقایسه دیگر در شکل 9 نمودار راندمان پروانه در نسبت غوطهوری 1.4 و شرایط آب آزاد برحسب نسبت پیشروی ارائه شده، همانطور که ملاحظه میشود در نسبت پیشروی کمتر از 0.4 کاهش



Fig. 8 Comparison of Performance coefficients in submergence ratio 1.4 and open water condition

شکل 8 مقایسه ضریبهای عملکرد در نسبت غوطهوری 1.4 و شرایط آب آزاد





Fig. 9 Comparison of Computational efficiency in submergence ratio 1.4 and open water condition

شکل 9 مقایسه راندمان محاسباتی در نسبت غوطهوری1.4 و شرایط آب آزاد

شده، همان طور که دیده می شود با افزایش عمق غوطهوری پروانه از میزان ارتفاع امواج کاسته شده است.

3-5- بررسی ضریب های عملکرد پروانه در نسبت غوطهوری 1.4 در این بخش نتایج حاصل از بررسی ضریبهای عملکرد پروانه در نسبت غوطهوری 1.4 ارایه شده است. جهت تحلیل عددی، جریان گذرا حول پروانه در نسبتهای پیشروی 0.1، 0.2، 0.3 و 0.4 در نظر گرفته شده و جهت مدل چرخشی از سرعت چرخشی ثابت (n=60 rad/s) استفاده شده است.

مهندسی مکانیک مدرس، فروردین 1395، دورہ 16، شمارہ 1

297

راندمان پروانه در اثر عملکرد در کنار سطح ناچیز میباشد اما در نسبت پیشروی 0.4 میزان اختلاف نسبت به شرایط آب آزاد فزونی یافته و با توجه به تحلیل عددی انجام شده به مقدار 5.3 درصد رسیده است.

4-5- تاثیر پدیدہ تھویہ بر عملکرد پروانہ 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 60 رادیان بر ثانیه به 85 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 60 رادیان بر ثانیه حاصل از تحلیل عددی انجام شده به ترتیب در شکل 10 و جدول 9 ارائه شده است.

با توجه به شکل 10 ملاحظه می شود که با افزایش سرعت چرخش پروانه میزان نفوذ هوا به درون آب افزایش یافته است لذا انتظار می رود علاوه بر افزایش بار نوسانی بر روی تیغههای پروانه ضریبهای عملکرد پروانه نیز کاهش یابد. ضریبهای عملکرد مندرج در جدول 9 این امر را تصدیق می-کند.

6- نتیجه گیری

دینامیک سیالاتی محاسباتی بعنوان یک ابزار قدرتمند میتواند برای تحلیل بسیاری از پدیدههای پیچیده از جمله عملکرد یک پروانه مورد استفاده قرار گیرد. در این مقاله با استفاده از نرمافزار تجاری انسیس- فلوئنت و شبیهسازی دو فازی سیال، تاثیر نسبتهای غوطهوری و تهویه بر روی



عملکرد یک نمونه پروانه مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور بررسی استقلال نتایج از شبکهبندی انجام گرفته است و نتایج بدست آمده از دو روش دستگاه مرجع چرخان و شبکه لغزان برای پروانه در شرایط آب آزاد با دادههای تجربی مقایسه و اعتبارسنجی گردیده است.

با توجه به تحلیل عددی انجام شده، مشخص گردید که در صورت کارکرد پروانه در نزدیک سطح، با کاهش نسبت غوطهوری از 2.2 تا 1.4 به علت ایجاد موج سطحی توسط پروانه، ضریبهای گشتاور پیچشی و نیروی پیشرانش به ترتیب به میزان 6 درصد و 7.7 درصد نسبت به ضرایب عملکرد در شرایط آزاد کاهش یافته است. همچنین راندمان نیز نسبت به شرایط آب آزاد 5.1 درصد کاهش مییابد. نرخ این کاهش برای ضریبهای عملکرد و راندمان به ترتیب در نسبتهای غوطهوری 1.6 و 1.8 بیشتر می گردد. علت این پدیده 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

از دیگر نتایج این تحقیق میتوان به بررسی تاثیر افزایش سرعت پیشروی بر نسبت ضریبهای عملکرد و بازده پروانه در نزدیک سطح نسبت به شرایط آب آزاد اشاره نمود. با توجه به نتایج مشخص گردید که نرخ کاهش ضریبهای عملکرد پروانه در نزدیک سطح نسبت به شرایط آب آزاد افزایش می یابد. به طوری که با افزایش نسبت پیشروی از 0.1 تا 0.4 میزان کاهش ضریب گشتاور پیچشی و نیروی پیشرانش نسبت به شرایط آزاد به ترتیب از فریب گشتاور پیچشی و نیروی پیشرانش نسبت به شرایط آزاد به ترتیب از 4.4 تا 7.5 و 2.3 تا 8.4 درصد می باشد. علاوه بر آن بیشترین کاهش راندمان نسبت به شرایط آب آزاد در نسبت پیشروی 0.4 به میزان 5.3 درصد می باشد.

با توجه به نتایج تحلیل عددی مشخص گردید که افزایش 42 درصدی سرعت چرخش پروانه باعث افزایش میزان تهویه در پروانه می گردد، به نحوی که 4.6 درصد از ضریب نیروی پیشرانش، 4.3 درصد از گشتاور پیچشی و همچنین 0.4 درصد از راندمان پروانه کاسته می شود. کاهش جزیی راندمان ناشی از کاهش تقریبا متناسب هر دو ضریب نیروی پیشرانش و گشتاور پیچشی می باشد.

نتایج حاصل از این پژوهش برای طراحی و انتخاب پروانههایی با عمق عملکردی کم راه گشا است.

7- فهرست علائم

h

п

р

Q

R

t

Т

и

- $({
 m m}^2)$ سطح دايره پروانه M_0^{-1} M_0 سطح گسترش يافته M_E^{-1} Dقطر پروانه $({
 m m})$
 - (m) قطر توپی پروانه (D_{hub}

فاصله محور پروانه از سطح آب (m) سرعت دورانی (rps) گام پروانه (m) گشتاور پیچشی (N.M) شعاع پروانه (m) زمان (s) نیروی پیشرانش (N) سرعت پیشروی پروانه (m/s)

Fig. 10 volume fraction countors (water) around the propeller in lateral cross section in terms of propeller rotational speed (J=0.1) شكل 10 كانتورهاى نسبت حجمى (آب) حول پروانه در مقطع عرضى به ازاى سرعت چرخشى پروانه (J=0.1)

(J=0.1) جدول 9 ضریبهای عملکرد پروانه به ازای سرعت چرخشی پروانه (J=0.1) **Table 9** Propeller performance coefficients in terms of the propeller rotational speed (J=0.1)

K_Q	K_T	n (rad/s)
0.0349	0.28	60
0.0334	0.267	87.5

مهندسی مکانیک مدرس، فروردین 1395، دورہ 16، شمارہ 1

298

Mechatronic and Manufacturing Engineering, Vol. 9, No. 5, pp. 811-815, 2015.

- [10] F. R. Menter, Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications, AIAA Journal, Vol. 32, No. 8, pp. 1598-1605, 1994.
- [11] C. W. Hirt, B. D. Nichols, Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries, *Journal of Computational Physics*, Vol. 39, No. 1,pp. 201–221, 1981.
- [12] M. Rishehri, M. S. Seif, A. H. Banisi, 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, 2007. (in Persian فارسی)
- [13] N. Bulten, I. Oprea, Explanation of deviations in torque prediction for waterjets and propellers with RANS codes, *Marine CFD-4th International Conference on Marine Hydrodynamics*, London, England, March 30-31, 2005.
- [14] S. H. Rhee, S. Joshi, Computational validation for flow around a marine propeller using unstructured mesh based Navier-Stokes solver, *JSME International Journal, Series B Fluids and Thermal Engineering*, Vol. 48, No. 3, pp. 562-570, 2006.
- [15] N. Berchiche, C. E. Janson, Grid influence on the propeller open-water performance and flow field, *Ship Technology Research*, Vol. 55, No. 2, pp. 87-96, 2008.
- [16] M. M. Bernitsas, D. Ray, P. Kinley, K_T , K_Q and efficiency curves for the wageningen b-series propellers, Report No. 237, Department of Naval Architecture and Marine Engineeing, Michigan University, 1981.
- [17] International towing tank conference, testing and extrapolation methods propulsion & propulsor open water test, *Proceedings of The 23th International Towing Tank Conference*, Procedure 7.5-02-03-02.1, Revision 01, Venice, Italy, 2002.

- [1] T. Watanabe, T. Kawamura, Y. Takekoshi, M. Maeda, S. H. Rhee, Simulation of steady and unsteady cavitation on a marine propeller using a RANS CFD code, *Proceedings of The Fifth International Symposium on Cavitation (Cav 2003)*, Osaka, Japan, 2003.
- [2] M. Nakisa, M. J. Abbasi, A. M. Amini, Assessment of marine propeller hydrodnamic performance in open water via CFD, *Proceedings of The 7th International Conference on Marine Technology (MARTEC 2010)*, Dhaka, Bangladesh, 2010.
- [3] O. M. Faltinsen, K. J. Minsaas, N. Liapis, S. O. Skjordal, Perdiction of resistance and propulsion of a ship in a seaway, *Proceedings of The 13th Symposium on Naval Hydrodynamics*, Tokyo, Japan, 1980.
- [4] Y. L. Young, S. A. Kinnas, Performance prediction of surface-piercing propellers, *Journal of Ship Research*, Vol. 48, No. 4, pp. 288-304, 2004.
- [5] M. Caponnetto, RANSE simulations of surface piercing propellers, Proceedings of The 6th Numerical Towing Tank Symposium, Rome, Italy, 2003.
- [6] N. Olofsson, Forces and flow characteristics of a partially submerged propeller, PhD Thesis, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, 1996.
- [7] K. Koushan, Dynamics of ventilated propeller blade loading on thruster, *Proceedings of The World Maritime Technology Conference*, London, England, March 6-10, 2006.
- [8] A. Califano, S. Steen, Analysis of different propeller ventilation mechanisms by means of RANS simulations, *Proceedings of The First International Symposium on Marine Propulsors*, Trondheim, Norway, 2009.
- [9] S. Adjali, O. Imine, M. Belkadi, 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*,

8- مراجع

