

تحلیل عددی اثر فاصله سکان از پروانه بر عملکرد هیدرودینامیکی

آنها در شناور تندرو سرشی

علی اصغر مقدس آهنگری^{۱*}، علیرضا اسفندیار^۲، محمد صادقی^۳

۱- پژوهشگر، دانشگاه جامع امام حسین (علیه السلام)، تهران

۲- کارشناس ارشد، دانشگاه جامع امام حسین (علیه السلام)، تهران

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران

*نویسنده مسئول: moghadas14@gmail.com-09113215955

چکیده:

امروزه با پیشرفت‌های چشمگیر در حوزه صنایع دریایی، طراحی بدنه و ملخقات اعم از پروانه، سکان و سیستم‌های کنترلی شناورها دستخوش تغییرات زیادی شده است. یکی از موضوعات مورد توجه در این روزها، شناورهای تندرو و افزایش سرعت پیشروی و قدرت مانور پذیری آنهاست. با پیشرفت تکنولوژی و طراحی‌های جدید در زمینه طراحی پروانه، امروزه پروانه‌هایی تحت عنوان پروانه‌های نیمه مغروق در شناورهای تندرو بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد. به علت اینکه شناورهای تندرو سطح تماس کمی با آب دارند، این پروانه‌ها در راندمان‌های بسیار خوب باعث رانش شناور در سرعت‌های بالا می‌شوند. یک نمونه از این پروانه‌ها، پروانه الافسون است که به عنوان یک نمونه تحقیقاتی در دسترس محققان قرار دارد. در این تحقیق نیز از مدل پروانه الافسون، جهت بررسی در فواصل مختلف سکان از پروانه، استفاده شده است. در این تحقیق به کمک نرم افزار ANSYS-CFX پروانه و سکان در سه فاصله مختلف از هم، مورد آزمایش قرار گرفته و تراست و گشتاور تولیدی پروانه در یک دور کامل محاسبه می‌گردد. همچنین اثر نیرو و گشتاور تولیدی توسط پروانه بر سکان مورد بررسی قرار می‌گیرد. هدف از انجام این تحقیق، پیش زمینه‌ای برای تعیین موقعیت بهینه نصب سکان در شناورهای تندرو جهت افزایش بازدهی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:

پروانه نیمه مغروق، سکان، دینامیک سیالات محاسباتی، ANSYS-CFX

Numerical analysis of distance between rudder and Propeller on their hydrodynamics parameters for planing craft

Moghaddas Ahangari, Aliasghar¹, Esfandiary, AliReza², Sadeghi, Mohamad³

1,2 Imam Hossein comprehensive university

3 Marine Engineering, Amir Kabir University of technology, Tehran, Iran

Abstract:

Today, with significant advances in the maritime industry, body design and appendages, including Propellers, rudders, and surface control systems, have many changes. One of the topics of interest these days is high-speed vessels, which increase their speed and maneuverability. With the advancement of technology and new designs in the field of Propellers design, today Propellers called Surface piercing Propellers (SPP) are widely used in high-speed vessels. Because high-speed vessels have low levels of contact with water, these propellers cause very high efficiency at high speeds. One example of this butterfly is the Oloffson Propellers, which is available to researchers as a research sample. In this study, the Oloffson Propellers model was used to test the Propeller at different distance from the rudder. In this research, by using of ANSYS-CFX software, the interaction between Propeller and rudder at three different distances from each other were tested, and the thrust and torque produced by the Propeller are calculated in a complete cycle. Also, the effect of force and torque produced by the Propeller on the rudder is examined. The aim of this study is to provide a background for rudder installation optimum position on planing boats.

Keywords:

Surface piercing Propeller (SPP), rudder, computational Fluid Dynamics (CFD), ANSYS-CFX

و ۲) حالتی که یک پره را تست می‌کنند و رفتار دینامیکی پره‌ها را تعیین می‌کنند.

نخستین مطالعات، روی تأثیر عدد وبر در سال ۱۹۵۳ انجام شد (shiba, 1953). بر طبق مطالعات او کشش سطحی زمانی تأثیر دارد که پروانه تقریباً به‌طور کامل هوادهی شده باشد. در حقیقت هوادهی کامل، پدیده‌ای کاملاً تصادفی است که در مقدار مشخصی از ضریب پیشروی به نام ضریب پیشروی بحرانی JCR رخ می‌دهد. شیبای رابطه‌ای بین عدد وبر و ضریب پیشروی بحرانی برای یک پروانه را بدست آورد. این رابطه نشان می‌داد که تأثیر عدد وبر تقریباً برای $Wn > 180$ از بین می‌رود. از این لحاظ اگر تست‌های مدل در اعداد وبر بالاتر از ۱۸۰ انجام شوند، نتایج آزمایشگاهی می‌توانند برای پیش‌بینی رفتار پروانه‌ها در عمل نیز مورد استفاده قرار گیرند. در غیر این صورت مرتبط با عدد وبر نیز می‌باشند.

(Hadler, 1968) یکسری اطلاعات جامع در مورد پروانه‌های نیمه‌مغروق ارائه دادند. آن‌ها دو ناحیه نیمه‌هوادهی شده و کاملاً هوادهی شده را در پروانه نیمه‌مغروق شناسایی کردند و بیان کردند که در ناحیه نیمه‌هوادهی شده حباب‌ها فقط در لبه فرار پره شکل می‌گیرند و به علت نسبت لیفت به درگ بالا، این نوع پروانه‌ها ذاتاً دارای راندمان بالاتری می‌باشد ولی در حالت کاملاً هوادهی شده، حباب‌ها تمام سطح پره را می‌پوشانند و در این حالت راندمان به شدت افت کرده و حتی کمتر از یک پروانه مغروق می‌شود. آن‌ها همچنین با بررسی ناحیه گذرا به این نتیجه رسیدند که در اثر عدم پایداری، پروانه و شفت دچار ارتعاشات زیادی می‌شوند. اما ذکر این نکته لازم است که پروانه مورد بررسی آن‌ها دارای تعداد پره کمی بوده (۲ عدد) که همین نیز باعث ایجاد ارتعاش می‌شود. (Shaozong, 1988) فویل‌هایی با مقاطع مختلفی را تست کردند و در نهایت نتایج آن‌ها موید نتایج هادلر و هکر در تست تجربی بود.

در حال حاضر روش‌های تئوریک که برای تحلیل پروانه‌های نیمه‌مغروق استفاده می‌شوند را می‌توان به چهار قسمت کلی تقسیم‌بندی کرد: روش المان پره و خط برآ، روش ورتکس-لتیس، روش المان مرزی و روش دینامیک سیالات محاسباتی.

پروانه‌های نیمه‌مغروق نوع خاصی از پروانه‌های سوپرکاویتاسیونی هستند که به دلیل مزایای متعدد آنها مورد توجه طراحان شناورهای تندرو در صنایع نظامی و کشتی‌سازی قرار گرفته است. از جمله این مزایا می‌توان به سرعت بالا، جایگزینی پدیده کاویتاسیون با هوادهی و کاهش خوردگی سطح پره، قابلیت مانورپذیری بالای آن‌ها، پایداری در سرعت بالا، استفاده از این نوع پروانه‌ها با قطر بزرگتر (به علت عدم محدودیت در فاصله نوک پره با بدنه)، کاهش درگ ملحقات پروانه، کاهش عمق فرورفتگی آن‌ها و ... اشاره کرد. امروزه تکنولوژی پروانه‌های نیمه مغروق یک تکنولوژی شناخته شده است. در سازمان‌های دفاعی کشور نیز این تکنولوژی بسیار از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است. علت این امر این است که پروانه‌های نیمه مغروق عملکرد بهتری را در شناورهای پرسرعت و در سرعت‌های بالا دارا می‌باشند. پره‌های این پروانه‌ها به گونه‌ای طراحی می‌شوند که بخش پر فشار آن‌ها به طور کامل خیس و بخش کم فشار آن‌ها به صورت خشک می‌باشد. به طور کلی گستره کاربرد پروانه‌های نیمه مغروق، مربوط به شناورهای سبک وزن و با سرعت بالا است. پروانه هر شناور باید دارای نیروی تراست لازم برای غلبه بر نیروی مقاوم آب و در عین حال کمترین گشتاور و بالاترین بازدهی باشد. پروانه‌های نیمه‌مغروق به علت سوپرکاویتاسیون بودنشان دارای محیطی دوفازی می‌باشند که می‌توانند با صرف انرژی کمتر، به راندمان بالاتری نسبت به پروانه‌های معمولی دست یابند. لذا همین عوامل سبب شده است تا مورد توجه محققان بسیاری در دنیا قرار گیرند. برای بالاتر بردن راندمان خود این پروانه‌ها، یک سری عوامل هیدرودینامیکی نیز تاثیرگذار است که با شناخت این عوامل می‌توان راندمان پروانه را بالاتر برد.

داده‌های هیدرودینامیکی پروانه‌های نیمه‌مغروق عموماً از نتایج تست مدل بوده و کمتر پیش می‌آید که داده‌های آن‌ها از نتایج تست پروانه در مقیاس اصلی و تست‌های میدانی دریایی باشد. داده‌های موجود به دو دسته‌ی کلی تقسیم می‌شوند: (۱) داده‌هایی که پروانه را در حالت کلی بررسی و تست کرده و نیروها و گشتاورهای میانگین را بدست آورده‌اند و عموماً نیروها را در حالت پایا ارائه کرده‌اند

به منظور اینکه اثرات عمق غوطه‌وری در محاسبات در نظر گرفته شود، (Obermet, 1968) تئوری خطوط برآ را گسترش داد. وی از چند فرض برای ساده‌سازی حل خود استفاده کرد. اول اینکه او فرض کرد که پروانه تحت بارگذاری اندکی قرار گرفته است و هیچگونه هوادهی به پروانه یا ویک آن انجام نمی‌شود. دوم اینکه او با استفاده از روش تصاویر فرض کرد که سطح آزاد یک صفحه افقی تخت است. وی نتایج خود را با نتایج تجربی (Gutsche, 1967) مقایسه کرد که دارای تطابق خوبی بود ولی در مورد ضریب گشتاور هیچ مقایسه‌ای انجام نداد.

(Yegorov, 1961) یکی از اولین تحلیل‌های تئوری را به روش المان پره و خط برآ که مبتنی بر تئوری هیدروفویل دوبعدی‌ای که در آن از اندرکنش‌های پره مجاور، کاویتاسیون و ورتکس ویک صرف‌نظر شده بود ارائه دادند.

مدتی بعد چندین محقق از روش خط برآیی که در آن پروانه‌ها به یک سری از خطوط برآ تبدیل شده بود استفاده کردند.

(Wang, 1977) تئوری فویل برای حالتی که یک فویل هوادهی شده دوبعدی، به صورت عمودی وارد آب با عمقی بی‌نهایت می‌شود را تعمیم داد. او فرض کرد فویل به محض اینکه وارد آب می‌شود، حباب‌های هوا تشکیل شود. همچنین وانگ تلاش زیادی برای تعمیم تئوری فویل کلاسیک به فویلی با سطح مقطع خمیده انجام داد. او دریافت که ضریب پیشروی در بارگذاری مقطع تأثیر گذاشته و با افزایش آن، نیروها نیز افزایش می‌یابد.

(Furuya, 1984) تئوری‌های وانگ را برای یک پروانه نیمه‌مغروق در جریانی سه‌بعدی، توسعه داد. او در ابتدا تئوری وانگ را برای یک فویل دوبعدی استفاده کرد و نیروی لیفت وارد بر فویل را تعیین نمود. این نیروی لیفت سپس میدان فشار را تغییر می‌داد و سرعت‌های القایی جریان بوجود آمده، زاویه برخورد را تغییر می‌داد. بعد از این مجدداً تئوری وانگ اعمال می‌شد و محاسبات با استفاده از این شرایط جدید یک‌بار دیگر انجام می‌شد. این حلقه حل تا جایی ادامه می‌یافت که معیار همگرایی ارضا شود.

(Furuya, 1985) بار دیگر تئوری وانگ را توسعه داد تا با استفاده از آن، مقاطع فویل شکل در پره‌هایی که تحت هوادهی بودند را بتواند ارزیابی کند. او با انتگرال‌گیری بر

روی کل پره و با در نظر گرفتن سطح خیس شده هر پره، ضرایب تراست و گشتاور را محاسبه کرد. وی در مقاله خود اطلاعات جدید و مهمی را برای فهم عملکرد پروانه در ناحیه گذرا و تغییرات نیروها در هر دور گردش ارائه داد. نتایجی که فورویا در ناحیه هوادهی کامل بدست آورده بود، مطابقت خوبی با نتایج مرجع تجربی داشت اما در ضرایب پیشروی پایین‌تر، ضریب گشتاور دقت قابل قبولی نداشت. وی دلیل این امر را اثرات غیر خطی جریان، ضخامت حباب‌های روی پره و ضخامت خود پره و همچنین سرعت القایی نسبتاً بالا می‌دانست.

(Wang, 1990) پروانه نیمه‌مغروق را در نزدیکی سطح آزاد و در زمانی که هوادهی رخ می‌دهد، بررسی کردند. آن‌ها برای حالت نیمه‌هوادهی شده یک روش کاملاً سه‌بعدی برای پروانه نیمه‌مغروق ۴۰۰۲ در عمق غوطه‌وری ۳۳٪ توسعه دادند. این محققان برای تحلیل خود از روشی مشابه روش وانگ، که در قبل توضیح داده شد، استفاده کردند. به این صورت که از یک سری منبع برای نشان دادن ضخامت پره و حباب‌ها، ورتکس‌ها برای لیفت و تصویری از پره‌ها برای اعمال شرط مرزی سطح آزاد استفاده نمودند. البته ذکر این نکته لازم است که هنگام رخداد هوادهی، از ضخامت پره چشم‌پوشی می‌شد. آن‌ها در کار خود بیان کردند که نزدیکی عملکرد پروانه مغروق در مجاورت سطح آزاد، تأثیر چشم‌گیری بر نیروهای اعمالی و جریان دارد. نتایج کیووانگ و همکارانش در چندین مورد تطابق مطلوبی با نتایج تجربی داشتند.

پژوهش و تحقیقاتی که پیش‌تر بررسی شدند فقط گشتاور و تراست را که از لیفت و درگ مقاطع پره محاسبه می‌شدند، مورد بررسی قرار داده بودند.

(Vorus, 1991) نیروهای افقی و عمودی و همچنین ممان‌های ناشی از آن‌ها را در نظر گرفت. او با استفاده از تئوری‌های پروانه، نیروهای سیکنی را مورد بررسی قرار داد. همچنین وی با استفاده از سری فوریه بیان کرد که هارمونیک اول نیروی لیفت پره، نیروی پایای افقی و عمودی پره می‌باشد. همچنین او دریافت که زاویه ریک منفی، اثر زیادی بر روی نیروی عمودی و گشتاور حول محور افقی دارد ولی زاویه اسکیو اثر چندانی بر نیروهای پروانه ندارد. وی در کار خود بیان کرد که زاویه افقی و عمودی شفت نسبت به جریان، نیروهای افقی را می‌تواند تا ۵۰٪ افزایش دهد.

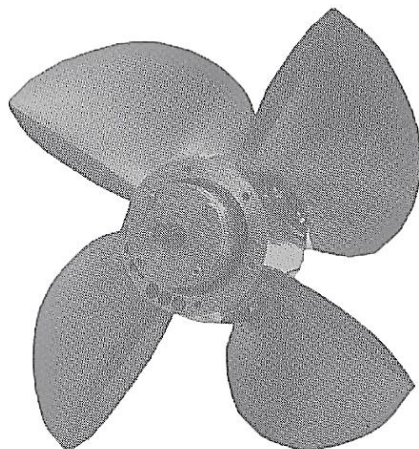
انتقال برای یک کمیت دلخواه اسکالر Φ به صورت معادله ۳ می‌باشد:

$$\begin{aligned} \text{div}(\rho\phi u) & \quad (3) \\ = \text{div}(\Gamma \text{grad } \Phi) + S_\Phi \end{aligned}$$

در این معادله سمت چپ معادله، جابجایی خالص شار و طرف راست آن، شار نفوذی خالص و تولید یا از بین رفتن خاصیت Φ در داخل حجم کنترل را نشان می‌دهد. برای معادلات مذکور فوق نیاز به شرایط اولیه و شرایط مرزی و همچنین روش حل و مدل‌های توربولانسی بوده که در ادامه این فصل به آن‌ها اشاره خواهد شد.

۳- تعریف مدل و معتبر سازی

پروانه 841-B، یک پروانه ۴ پره، با مقاطع گوه‌ای شکل و قطری معادل ۰/۲۵ متر می‌باشد. یک جفت از این پروانه‌ها روی شناوری به طول ۱۳ متر نصب شده بود که نتایج عملکرد آن قابل قبول بوده، اما از لحاظ ارتعاشی نقایصی داشتند. این پروانه در نقطه هامپ شناور تراست کافی را تولید کرد و در بازه گسترده‌ای از سرعت‌ها دارای راندمان مناسبی بود. با توجه به در دست بودن نتایج تست‌های تجربی این پروانه، از آن برای اعتبارسنجی روش حل استفاده گردید. مشخصات کلی این پروانه در جدول ۱ و نمای مدل واقعی آن در شکل ۱ آورده شده است.



شکل ۱- تصویری از پروانه 841-B

هدف ما نیز در این پژوهش این است که با تحلیل جریان اطراف پروانه، رفتار هیدرودینامیکی و عملکردی آن با در نظر گرفتن اثر سکان شناور تندرو بهتر شناخته و معرفی شوند. در همین راستا، در این فصل به پژوهش‌های عددی و تجربی انجام شده مرتبط با پروانه نیمه‌مغروق و سپس در انتها به بررسی مختصری از پژوهش‌های مرتبط با سکان شناور تندور پرداخته خواهد شد.

۲- معادلات حاکم

شکل دیورژانسی معادلات پیوستگی و مومنتوم در جریان سیال وابسته به زمان، سه‌بعدی و تراکم‌ناپذیر به ترتیب به شکل معادله ۱ و ۲ می‌باشند:

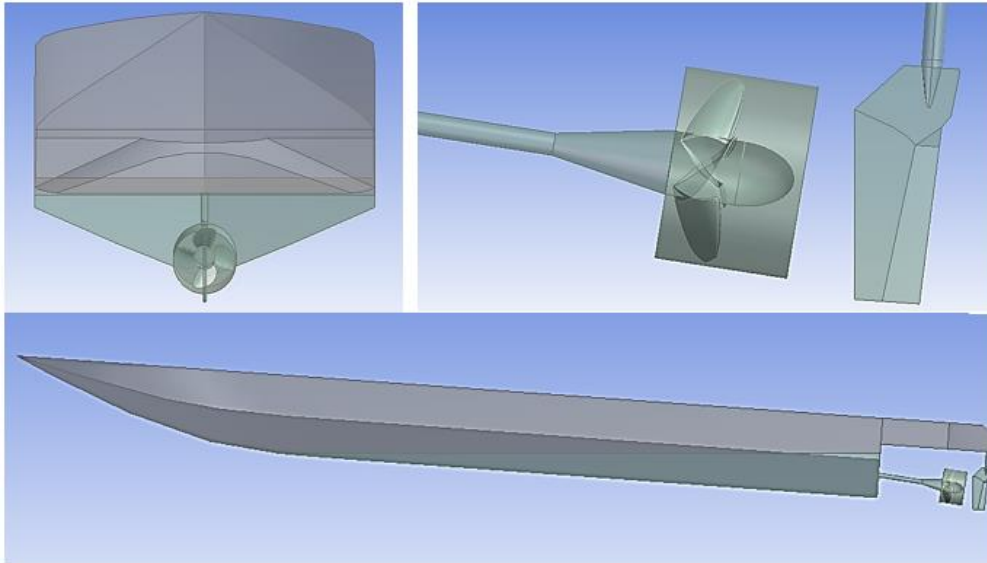
$$\nabla \cdot U = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial(U)}{\partial t} + U \cdot \nabla U \right) & \quad (2) \\ = -\nabla P + \mu \nabla^2 U + S_M \end{aligned}$$

معادله پیوستگی و مومنتوم برای حل چهار کمیت u, v, w, P در سه بعد، چهار معادله را تشکیل می‌دهند که فرم کلی معادلات حاکم بر جریان سیال تراکم‌ناپذیر به صورت معادلات ۱ و ۲ می‌باشند. حلگر CFX به منظور محاسبه سرعت‌ها و فشار همزمان به حل معادله پیوستگی و مومنتوم می‌پردازد. به عبارت دیگر از معادله انتقال مومنتوم برای بدست آوردن سرعت‌ها و از معادله پیوستگی برای بدست آوردن فشار استفاده می‌کند. فرم کلی معادله

جدول ۱- مشخصات مدل پروانه 841-B

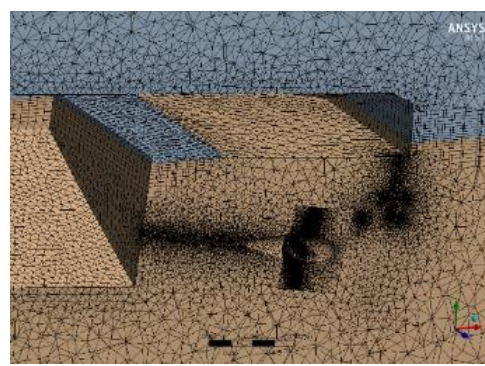
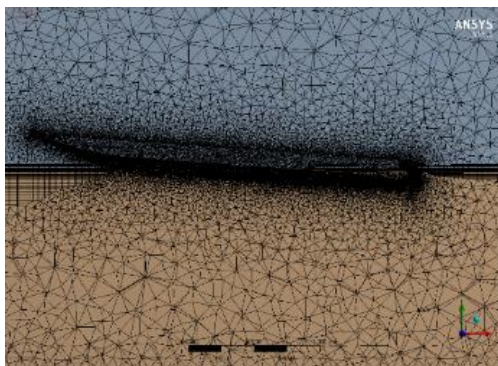
پارامتر	مقدار
قطر	۲۵۰ میلی‌متر
قطر هاب	۸۵ میلی‌متر
گام در شعاع ۰/۷ قطر	۳۱۰ میلی‌متر
نسبت هاب به قطر	۰/۳۴ (-)
نسبت گام به قطر در ۰/۷ شعاع	۱/۲۴ (-)
نسبت سطح گسترش یافته	۰/۵۸ (-)
تعداد پره	۴ (-)



شکل ۲- نماهایی از هندسه نهایی بوجود آمده

گردید. در حوالی نزدیک به پره و همچنین در نزدیک سطح آزاد آب، شبکه‌ها کوچک و منظم شدند تا از در نظر گرفتن لایه‌ی مرزی اطراف پره و همچنین تلاطم ایجاد شده در سطح آزاد آب، اطمینان حاصل شود. نمایی از شبکه‌بندی تشکیل شده در این پروژه در شکل ۳ آورده شده است.

با توجه به شکل ۲ پروانه باید در وسط سکان قرار گیرد. همانطور که واضح است، کیفیت شبکه‌بندی تأثیر زیادی بر روند همگرایی و درستی حل داشته و همچنین بر مدت زمان شبیه‌سازی اثرگذار است. در این پروژه، یک شبکه‌بندی ترکیبی با تعداد تقریبی ۱۰ میلیون سلول ایجاد



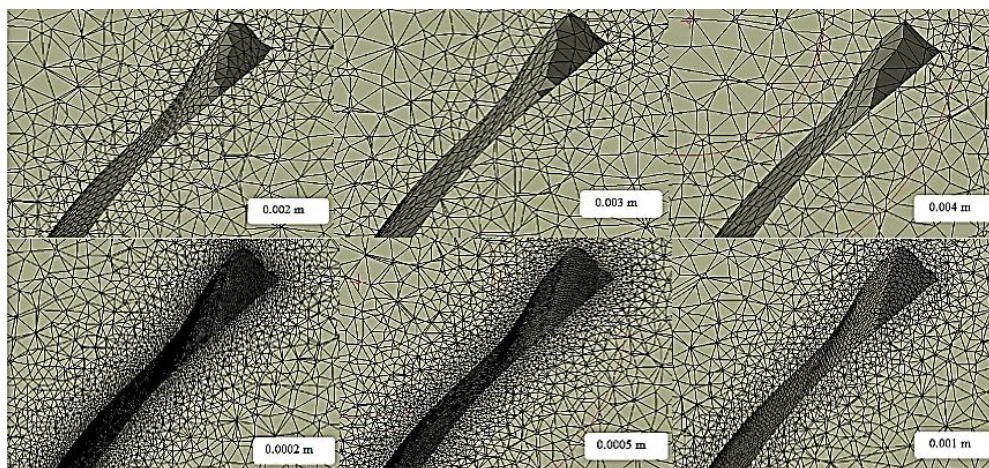
شکل ۳- شبکه‌بندی اطراف شناور تندور، سطح آزاد و پروانه نیمه‌مغروق

در این پروژه از مدل پروانه B-۸۴۱ استفاده گردید که نتایج تست‌های تجربی آن در پروژه دکتری الافسون (Oloffson, 1996) ذکر شده است. الافسون، تست‌های تجربی خود را در سه عدد فرود متفاوت و در چندین ضریب پیشروی ارائه داد. با توجه به حساس و پیچیده بودن شبیه‌سازی پروانه نیمه‌مغروق، از چندین شبکه‌بندی متفاوت استفاده شد تا از عدم وابستگی به شبکه‌بندی، اطمینان خاطر حاصل شود. در این پروژه به منظور صحت‌سنجی خود پروانه، از هفت شبکه‌بندی استفاده گردید و میزان خطا در ضریب تراست با مرجع تجربی

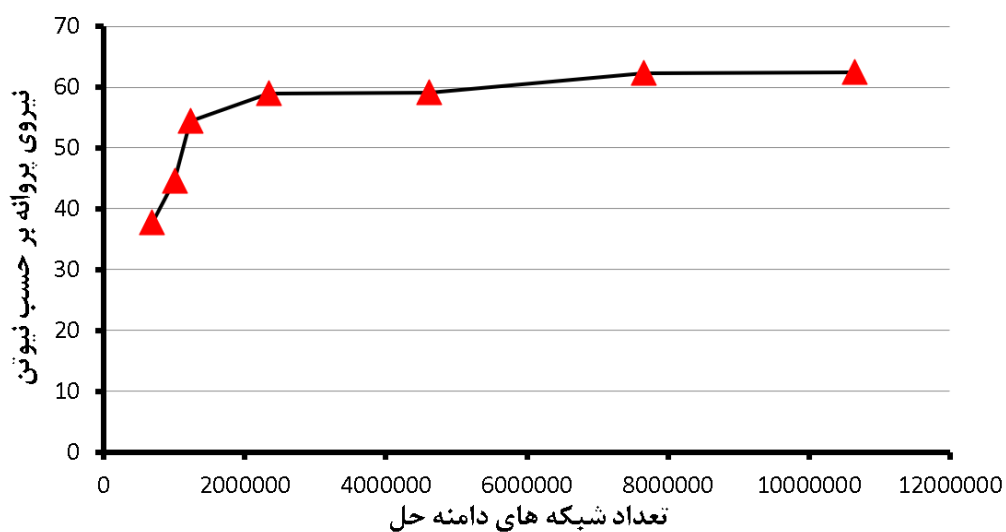
همانطور که واضح است، شرایط مرزی اهمیت زیادی در تعیین صحت جواب دارد. در این پروژه، در ورودی دامنه، از شرط مرزی سرعت معین و در خروجی دامنه از شرط فشار هیدرواستاتیک استفاده شد. برای پروانه و شفت از شرط دیوار بدون لغزش و بدون نفوذ و برای دیواره‌ی جانبی دامنه‌ی محاسباتی از شرط مرزی دیواره صاف استفاده گردید. لازم بذکر است که در تمامی شبیه‌سازی‌ها، سرعت خطی شناور ۱۱/۵ متر بر ثانیه و سرعت دایروی پروانه ۲۷۰۰ دور بر دقیقه در نظر گرفته شده است.

میلیون مش برای کل دامنه مورد نظر لحاظ شد. همچنین در شکل ۶ نتایج شبیه سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است.

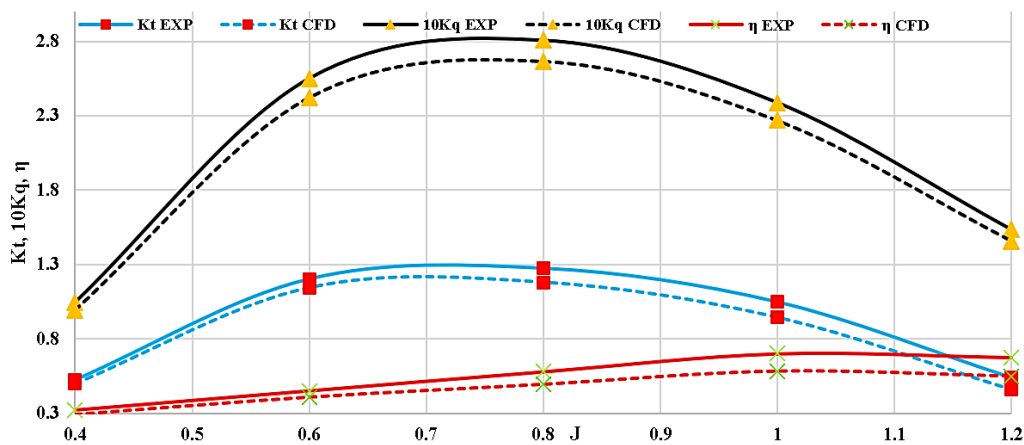
(Oloffson,1996) مقایسه شد. این مقایسه در عدد فرود ۲، ضریب پیشروی ۰/۸ و عمق غوطه‌وری ۳۳ درصد انجام گرفت که در شکل ۵ نشان داده شده‌است. در نهایت تعداد تقریبی ۵ میلیون مش برای پروانه و تعداد تقریبی ۱۰



شکل ۴- بررسی لبه انتهایی پروانه به منظور از بین رفتن آن و همچنین دقت حل



شکل ۵- بررسی استقلال از مش و شبکه‌بندی



شکل ۶ - مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج عددی کار حاضر

نکته‌ای که در بحث استقلال از شبکه باید به آن توجه کرد این است که علاوه بر بررسی استقلال شبکه‌بندی کل دامنه، باید شبکه‌بندی لبه پروانه نیز مورد بررسی قرار بگیرد. به همین منظور مطابق شکل ۴ مش لبه پروانه را به منظور نزدیکی جواب حل عددی به نتایج حل تجربی و یا به عبارت بهتر به منظور اینکه لبه انتهایی پروانه از بین نرود (در اثر درشت بودن مش)، مش را ریز کرده‌ایم که در نهایت مطابق شکل ۴، مقدار 0.00015 متر برای لبه پروانه لحاظ شد.

نکته قابل توجه دیگری که باید به آن پرداخت این است که پروانه در هر گام زمانی چند درجه چرخیده شود که پدیده‌های فیزیکی در اطراف پروانه نادیده گرفته نشود و یا به عبارت بهتر جواب‌های حل عددی به جواب‌های حل تجربی نزدیک‌تر شوند.

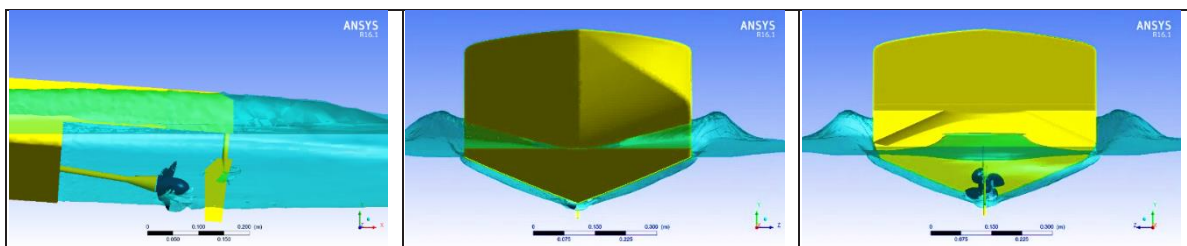
۴- تحلیل عددی و استخراج نتایج

جدول ۲- حالات و شرایط شبیه‌سازی‌های عددی انجام گرفته

ردیف	فاصله سکان تا پروانه	فاصله سکان تا پروانه (متر)
۱	$0.5x$	0.025
۲	x	0.05
۳	$1.5x$	0.075

تولید شده توسط سکان از پارامترهای اساسی هستند که در محاسبه‌ی راندمان کلی و مانور شناور نقش مهمی دارند. تیغه‌ی سکان در معرض دو نوع جریان قرار می‌گیرد، جریان آزاد (جریان کناری) و جریان مرکزی (جریانی که از میان پروانه می‌گذرد و در جهت خط مرکزی پروانه و سکان بر سکان اثر می‌کند که این جریان آشفتگی بیشتری دارد). چگونگی بوجود آمدن جریان در پشت سکان و پروانه در شکل ۷ ارائه شده است.

وقتی یک کشتی به سمت جلو حرکت می‌کند جریان سیال در طول کشتی به سمت پروانه هدایت می‌شود که جریان سیال بر اثر عبور از پروانه شتاب گرفته و دارای حرکت چرخشی نیز می‌شود. چرخش و شتاب ایجاد شده در جریان سیال بر اثر فعالیت پروانه باعث تغییر سرعت و تغییر زاویه‌ی برخورد سیال با سکان می‌شود که در پایین دست پروانه قرار گرفته است. حرکت سیال بر نیروها و ممان تولید شده توسط سکان اثر می‌گذارد. نیروها و ممان

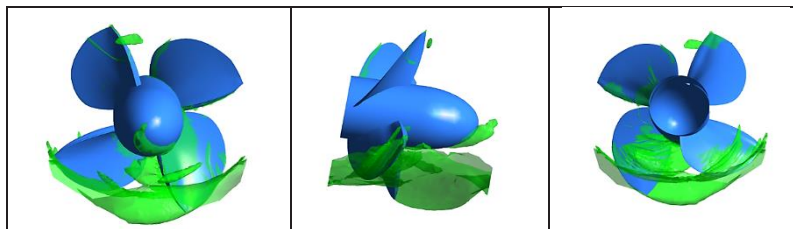


شکل ۷- جریان بوجود آمده اطراف سکان و پروانه نیمه‌مغروق در حالت فاصله سکان از پروانه $0.5x$

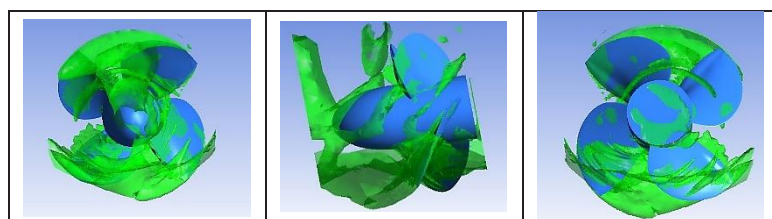
پس از اعتبارسنجی روش حل عددی و کسب اطمینان از دقت این روش در مقایسه با نتایج تجربی الفسون برای خود پروانه، در این فصل نتایج شبیه‌سازی‌های انجام گرفته ارائه خواهد شد. نتایج شبیه‌سازی‌های پروژه‌ی حاضر به کمک مدل توربولانسی $k-\omega$ SST بر روی پروانه نیمه‌مغروق 841-B ارائه شده است. نتایج ضرایب هیدرودینامیکی پروانه نیمه‌مغروق الفسون شامل نیرو، گشتاور، ضریب تراست و ضریب گشتاور در زاویه شناوری ۵ درجه، ارائه شده است. کلیه این شبیه‌سازی‌ها با دور چرخش پروانه ۲۷۰۰ دور بر دقیقه و سرعت خطی شناور $11/5$ متر بر ثانیه ارائه شده است. با توجه به مقدار X ، شبیه‌سازی‌ها در فواصل سکان از پروانه $0.5X$ ، X و $1.5X$ که در جدول ۲ ملاحظه می‌شود، انجام گرفته شده است. متذکر می‌شود که مقدار $x=0.05$ m می‌باشد.

برای مقایسه بهتر تأثیر فاصله سکان بر روی هواگیری اطراف پروانه نیمه‌مغروق با توجه به شکل ۸ تا ۱۰ از سه نمای مختلف جانب، پشت و جلوی پروانه مورد بررسی قرار گرفته است.

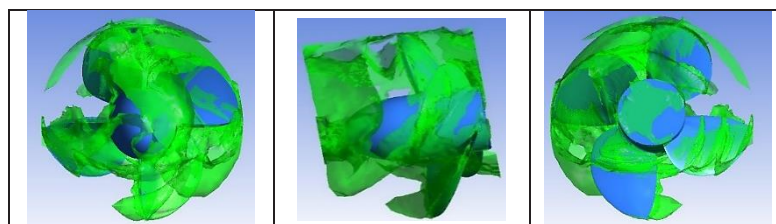
در مجموع می‌توان گفت نتیجه‌ی تأثیر ترکیبی پروانه و سکان به وجود آمدن نیروی است که بر بدنه وارد می‌شود و باعث مانور شناور می‌شود.



شکل ۸- هواگیری از نماهای پشت، جانب و جلوی پروانه نیمه‌مغروق الفسون در فاصله سکان از پروانه 0.5x



شکل ۹- هواگیری از نماهای پشت، جانب و جلوی پروانه نیمه‌مغروق الفسون در فاصله سکان از پروانه x



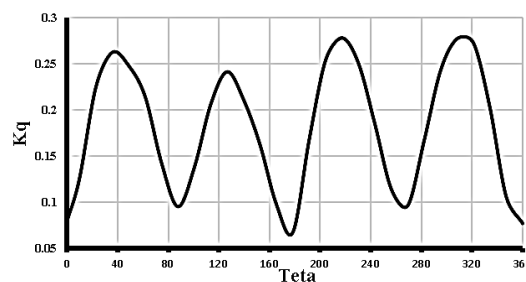
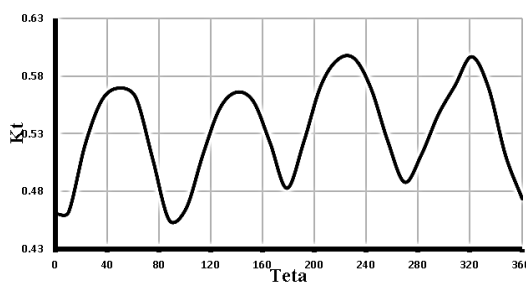
شکل ۱۰- هواگیری از نماهای پشت، جانب و جلوی پروانه نیمه‌مغروق الفسون در فاصله سکان از پروانه 1.5x

با توجه با جدول ۲ نتایج مختلف مربوط به نیرو، گشتاور، ضرایب تراست و گشتاور برای سه فاصله ارائه شده است. لازم بذکر است که معادلات مربوط به ضرایب تراست و گشتاور به صورت زیر می‌باشد:

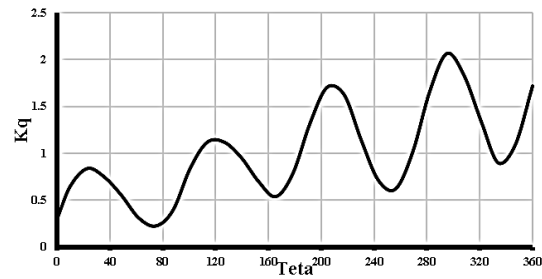
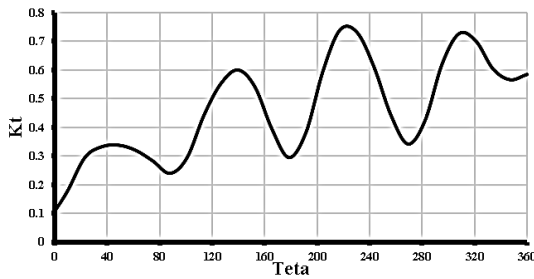
$$K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4} \quad (۴)$$

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \quad (۵)$$

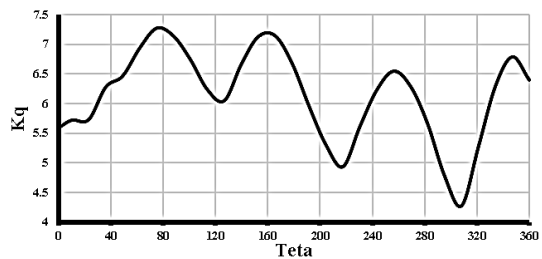
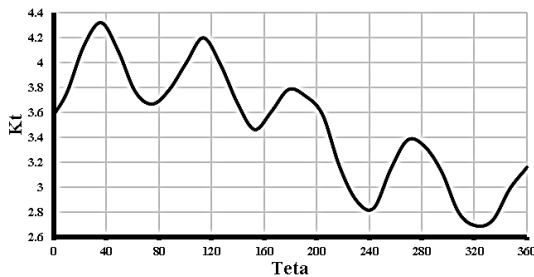
همانطور که از شکل‌های ۸ تا ۱۰ واضح است، هر چقدر سکان از پروانه نیمه‌مغروق دورتر می‌شود هواگیری اطراف پروانه کامل‌تر می‌شود. این نکته یک قابلیت مثبت برای بهبود راندمان پروانه نیمه‌مغروق می‌باشد. در واقع هرچقدر هواگیری دور یک پروانه نیمه‌مغروق کامل‌تر باشد، آن پروانه با عملکرد بهتری کار کرده و در نتیجه دارای راندمان بالاتری می‌باشد.



شکل ۱۱- نمودار ضرایب تراست و گشتاور بر حسب دور پروانه برای 0.5x



شکل ۱۲- نمودار ضرایب تراست و گشتاور بر حسب دور پروانه برای X



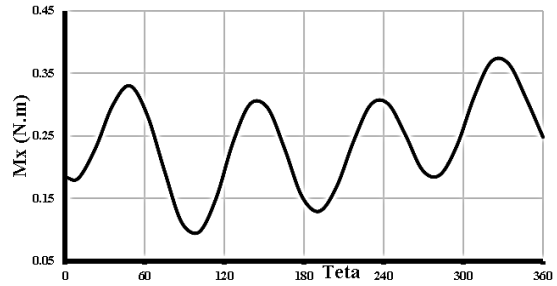
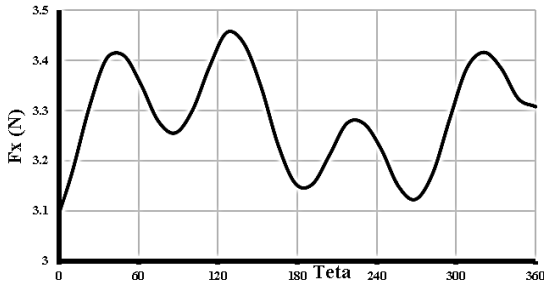
شکل ۱۳- نمودار ضرایب تراست و گشتاور بر حسب دور پروانه برای 1.5X

موجب بوجود آمدن فشار و نیروهای متفاوتی بر روی سطوح پروانه می‌شود. این مقادیر نیرو و فشار در ضرایب پیشروی مختلف (و فواصل سکان از پروانه) متفاوت می‌باشد.

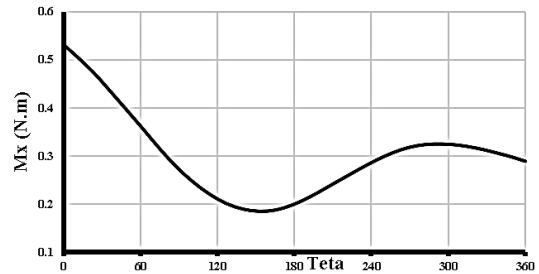
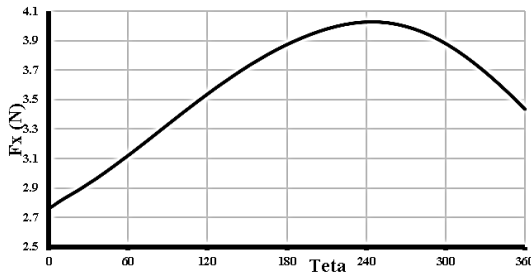
تأثیر سکان در چرخش کشتی بصورت غیر مستقیم است؛ این بدان معناست که حرکت سکان باعث بوجود آمدن ممانی می‌شود که جهت کشتی را تغییر می‌دهد. بنابراین امتداد نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر بدنه از امتداد محور طولی بدنه خارج می‌شود و بعد از مدتی باعث بوجود آمدن حرکت جانبی می‌گردند. نیروهای اینرسی با این حرکت‌های جانبی مخالفت می‌کنند. اگر سکان در موقعیت ثابتی نگه داشته شود، به تدریج نیروهای هیدرودینامیکی و اینرسی با ممان سکان برابر می‌شوند و حالت چرخش دائمی آغاز می‌گردد. از طرفی دیگر یک کشتی ممکن است در شرایط مختلف جوی مانند وجود باد، امواج و یا جریان‌های دریایی در حال مانور باشد. تأثیر جریان‌های دریایی معمولاً در نیروهای هیدرودینامیکی ادغام می‌گردد و بررسی آن با در نظر گرفتن سرعت نسبی بین شناور و آب میسر است. البته مطالعه و بررسی در آب‌های محدود احتیاج به محاسبات خیلی دقیق دارد. تأثیر باد و امواج معمولاً بصورت نیروهای خارجی محسوب می‌شوند. در این قسمت نیز نیروها و گشتاورهای وارد بر سکان در شرایط مختلف مورد بررسی قرار گرفته است.

دقت به این موضوع مهم است که رفتار ناحیه هواگیری کامل، کاملاً متفاوت از ناحیه هواگیری جزئی می‌باشد. در واقع، محل مرکز نیرو وارد بر پروانه، در حالت‌های هواگیری جزئی و کامل، متفاوت است. به طوری که در پروانه مربوط به آزمایش الفسون این مرکز در هواگیری جزئی در ۷۰ درصدی طول وتر تیغه پروانه قرار داشته، در حالی که این مکان برای هواگیری کامل پروانه در ۶۰ درصدی وتر می‌باشد و هرچقدر که هواگیری کامل تر می‌شود این مکان از لبه حمله پره دورتر می‌شود. از طرف دیگر همانطور که از نمودارهای ضرایب هیدرودینامیکی (شکل‌های ۱۱ تا ۱۳) برمی‌آید، این نمودارها دچار افت و خیزهایی شده‌اند که علت آن‌ها هواگیری‌ای است که در پشت پروانه شکل می‌گیرد و برای سرعت‌های دورانی مختلف متفاوت می‌باشد. اما در این پروژه مقدار سرعت دورانی پروانه به طور ثابت و ۲۷۰۰ دور بر دقیقه می‌باشد. پس علت اصلی تفاوت در بوجود آمدن هواگیری جزئی و کامل تأثیر فاصله سکان بر روی عملکرد و هواگیری پروانه نیمه‌مغروق می‌باشد. همانطور که در شکل‌های ۱۱ تا ۱۳ نیز مشاهده می‌شود مقایسه بین نیروهای تراست (جلوبرنده) و گشتاورهای ایجاد شده‌ی فواصل مختلف سکان از پروانه نشان از این است که هر چقدر این فاصله بیش‌تر شده است مقدار این نیرو و گشتاور نیز افزایش یافته است.

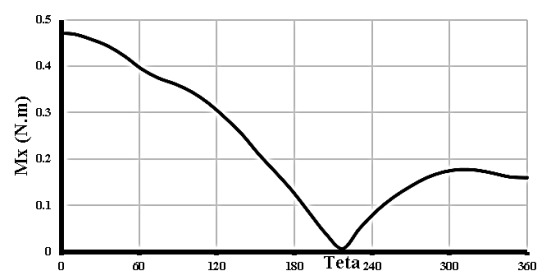
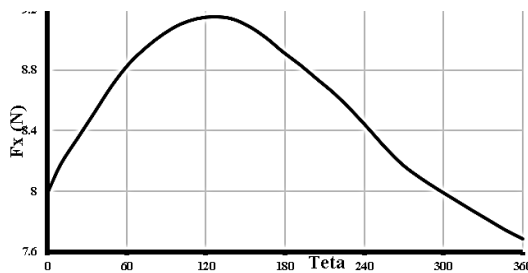
علاوه بر این در یک دور چرخش پروانه، این هواگیری به شکل جالبی تغییر می‌کند. خود این هواگیری متفاوت،



شکل ۱۴- نمودار گشتاور و نیروی وارد بر سکان بر حسب چرخش پروانه برای $0.5x$.



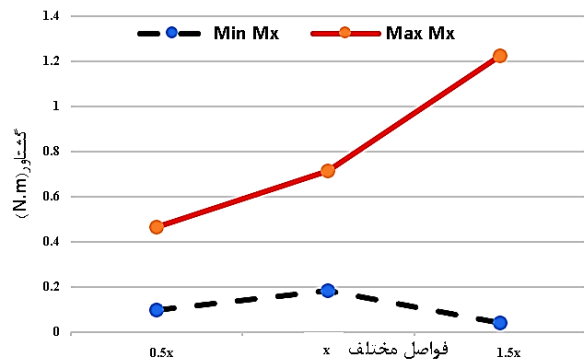
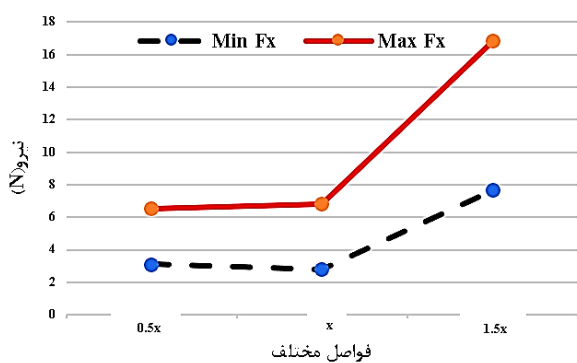
شکل ۱۵- نمودار گشتاور و نیروی وارد بر سکان بر حسب چرخش پروانه برای x .



شکل ۱۶- نمودار گشتاور و نیروی وارد بر سکان بر حسب دور چرخش پروانه برای $1.5x$.

است. به منظور مقایسه بهتر این نتیجه نمودارهای شکل ۱۷ رسم شده است.

همانطور که از شکل‌های ۱۴ تا ۱۶ واضح است، به طور کلی مقادیر نیرو و گشتاور وارد بر سکان افزایش یافته



شکل ۱۷- مقایسه گشتاور و نیروی وارد بر سکان برای فواصل به ترتیب $0.5x$ ، x و $1.5x$.

در نزدیکی پروانه بهتر اتفاق می‌افتد و سکان تماس کمتری با آب دارد. در نتیجه به هر میزان که سکان به پروانه نزدیک‌تر می‌شود به جای برخورد بیشتر با آب، در حاله‌ای از هوا حرکت می‌کند. نکته قابل توجه دیگر این است که در مقایسه کمترین گشتاورهای وارد بر سکان، مقدار

با توجه به مقایسه بیش‌ترین و کمترین مقادیر نیرو و گشتاور وارد به سکان در فواصل $0.5x$ ، x و $1.5x$ (شکل ۱۷) به طور کلی هرچقدر فاصله سکان از پروانه نیمه‌مغروق افزایش یافته است، مقادیر گشتاور و نیروی وارد بر سکان افزایش می‌یابد. علت این امر می‌تواند این باشد که هواگیری

مراجع

- [1] Shiba, H, 1953. Air-drawing of marine propellers. Report of transportation technical research institute, 9, 1-320.
- [2] Hadler, J. B., & Hecker, R, 1968. Performance of partially submerged propellers. In The 7th ONR Symposium on Naval Hydrodynamics, Rome.
- [3] Shaozong, L. and Hengshun, Z, 1988. An Experimental Study on the Performance of Partially Submerged Propeller. Int'l High-Performance Vehicle Conference, Shanghai, China, CSNAME.
- [4] Oberembt, H, 1968. Zur bestimmung der instationären flügel kräfte bei einem propeller mit aus dem wasser herausschlagenden flügeln. University of Hamburg.
- [5] Gutsche, F, 1967. Einfluss der Tauchung auf Schub und Wirkungsgrad von Schiffspropellern. Schiffbauforschung. V 6, No. 516. Pp. 256-277.
- [6] Yegorov, I., Sadovnikov, Y, 1961. Effect of instability on hydrodynamic characteristics of a propeller cutting the water surface". Sudostroyeniye 1, 15-17.
- [7] Wang, D. P, 1977. Water Entry and Exit of a Fully Ventilated Foil. Journal of Ship Research; v21, pp44-68.
- [8] Furuya, O, 1984. A Performance Prediction Theory for Partially Submerged Ventilated Propellers. 15th ONR Symposium on Naval Hydrodynamics.
- [9] Furuya, O, 1985. A Performance Prediction Theory for Partially Submerged Ventilated Propellers. Journal of Fluid Mechanics; v151, pp311-335.
- [10] Wang, G., Zhu, X., and Sheng, Z. "Hydrodynamic forces of a three dimensional fully ventilated foil entering water". Journal of Hydrodynamics, 5(2).
- [11] Wang, G.Q., Jia, D.S. and Sheng, Z. B, 1990. Study on Propeller Characteristics Near Water Surface. Proc 2nd Symp on Propeller & Cavitation, Hangzhou, China, pp161-168, 1992.
- [12] Vorus, W.S, 1991 Forces on surface-piercing propellers with inclination. Journal of Ship Research 35 (3), 210-218.
- [13] N. Olofsson, 1996. Force and flow characteristics of a partially submerged propeller. Ph.D. thesis, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden.

گشتاور وارد بر سکان در فاصله $1.5x$ نسبت به دو فاصله دیگر، به یکباره کمتر شده است. این نکته را می‌توان مهر تاییدی برای نتیجه‌ای که در قسمت قبل گرفته شد نامید. (از قبل نتیجه شد که فاصله $1.5x$ در مقایسه با دو فاصله دیگر از نظر مقادیر تراست و گشتاور و هواگیری اطراف پروانه نیمه‌مغروق بهینه‌تر است.)

از طرف دیگر بیش‌ترین نیروی وارد بر سکان همانطور که انتظار می‌رفت در قسمت جلوی سکان و در محل برخورد آب با سکان رخ می‌دهد.

۵- نتیجه گیری

در کنار طراحی هندسه بهینه المان‌های هیدرودینامیکی یک شناور، موقعیت نصب و استقرار آنها نیز از اهمیت قابل توجه‌ای برخوردار است از این رو بررسی اثر متقابل پروانه و سکان به منظور تعیین موقعیت نسبی بهینه آنها از یکدیگر از عوامل مؤثر در افزایش راندمان هیدرودینامیکی شناورها می‌باشد که علاوه بر افزایش سرعت می‌تواند موجب افزایش قابلیت مانور و ایمنی در مانور گردد. هرچند این موقعیت نصب، علاوه بر بازدهی هیدرودینامیکی، تابع عوامل مختلفی از جمله استحکام سازه‌ای و جانمایی عمومی محل نصب نیز می‌باشد اما در این مقاله صرفاً با نگاه هیدرودینامیکی به آن پرداخته شده است.

نتایج این تحقیق نشان می‌دهد با دور شدن سکان از پروانه نیمه مغروق، بدلیل بهبود هواگیری پروانه نیمه مغروق، راندمان پروانه بهبود یافته و همچنین بدلیل نزدیک شدن مرکز اثر نیروهای هیدرودینامیکی به ریشه پروانه و در نتیجه کاهش ممان خمشی وارد بر پره‌های پروانه، قابلیت اطمینان سازه‌ای آن نیز افزایش می‌یابد.

همچنین با دور شدن سکان از پروانه، نیرو و گشتاور ماکزیمم وارد بر سکان افزایش می‌یابد این افزایش از جهتی موجب افزایش گشتاور هینج سکان شده و محرک قدرتمندتری را برای دوران سکان می‌طلبد اما از نگاهی دیگر با تغییر زاویه سکان گشتاور یاوینگ بیشتری جهت مانورینگ شناور تولید می‌گردد.

لازم به ذکر است این نتایج صرفاً برای پروانه و سکان سطح رو با مقاطع فویل سوپر کاویتاسیونی-که مختص شناورهای تندرو سرشی می‌باشد- معتبر بوده و ممکن است قابل تعمیم به شناورهای تجاری با پروانه و سکان مغروق نباشد.