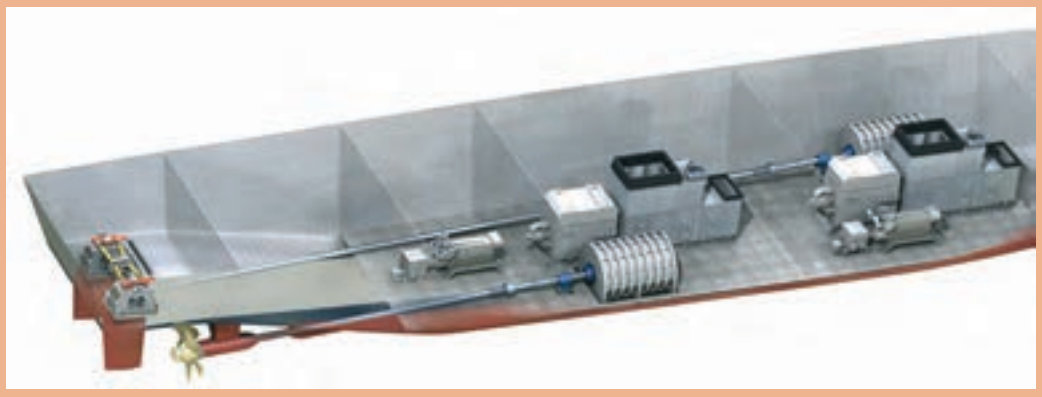
پودمان ۵

نگهداری و تعمیر سامانه های پیش برنده



واحد یادگیری ۵

نگهداری وتعمیر سامانه های پیش برنده

آیا تاکنون پی برده‌اید:

- منظور از پیش برنده کشتی چیست؟
- انواع پیش برنده‌ها در کشتی‌ها کدام‌اند؟
- میزان افت راندمان در پیشرانه کشتی به چه میزان است؟
- متداول‌ترین پیش برنده در کشتی‌های تجاری چیست؟
- نوع پیش برنده چه تأثیری بر روی ساختمان پاشنه کشتی دارد؟

استاندارد عملکرد

یک هنرجو د باید در ابتدا اصول اولیه به‌کارگیری سامانه پیش برنده بر روی کشتی را دانسته و سپس انواع پیش برنده‌هایی که در کشتی‌های مختلف تجاری و نظامی بکار گرفته می‌شود را بشناسد و تفاوت بین آنها را بداند. سپس بتواند مبانی ساده تئوری حاکم بر پیش برنده را دانسته و روش‌های استخراج راندمان سامانه رانش را بداند. از طرفی با توجه به عمومیت داشتن پیش برنده پروانه‌ای، هنرجو آشنایی کامل با هندسه پروانه را پیدا نموده و فرایند انتخاب پروانه را بشناسد.

انواع دستگاه‌های پیش برنده در کشتی‌ها

بطورکلی برای غلبه بر مقاومت اعمالی بر کشتی و رسیدن به یک سرعت دلخواه نیاز است که توسط سامانه رانش در کشتی یک نیروی پیشرانش (تراست) تولید شود. پیش برنده‌ها توان گرفته‌شده از محرکه اصلی (Prime Mover) را به نیروی پیشرانش تبدیل می‌کنند. در طول سالیان متمادی انواع سامانه‌های پیش‌رانش به‌کار گرفته‌شده است. ارشمیدس و لئوناردو داوینچی اولین کسانی بودند که مفهوم پروانه را ارائه کردند. نوع پره پروانه‌های ابتدایی با پروانه‌های امروزی تفاوت بسیار زیادی داشت. ظهور و افول انواع سیستم رانش بر اساس معیارهای اصلی زیر انجام‌شده است:

۱ **بازدهی بیشتر:** به‌گونه‌ای که بتوان با صرف کمترین انرژی ممکن به بیشترین نیروی پیشرانش دست‌یافت.

۲ **سهولت ساخت و نگهداری و تعمیر:** به‌گونه‌ای باشد که بتوان با فناوری در دسترس، نسبت به ساخت آن اقدام نمود و فرایند نگهداری و تعمیر آن به‌سادگی قابل انجام باشد.

۳ **سهولت جانمایی در کشتی:** متناسب با مشخصات شناور، بتوان سامانه پیش برنده را در آن جانمایی نمود.

۴ **سروصدا و ارتعاش کم:** یکی از منابع ایجاد لرزش و سروصدا و ارتعاش در کشتی می‌تواند سامانه پیش برنده باشد؛ بنابراین بایستی مبتنی بر الزامات ایمنی و آسایش حداقل سروصدا و ارتعاش را داشته باشد.

الف) سامانه پیشرانه چرخ پدالی (Paddle Wheel)

پس از نصب توربین بخار بر روی کشتی‌ها از سامانه پیشرانه چرخ پدالی بهره گرفته شد. همان‌طور که در شکل ۱ مشخص است در یک سمت کشتی از یک چرخ پدالی بزرگ استفاده‌شده است. امروزه با توجه به محدودیت‌هایی که برای این سامانه از قبیل بازدهی کم و وزن زیاد وجود دارد مورداستفاده قرار نمی‌گیرد.

شکل ۱ـ سامانه پیشرانه چرخ پدالی

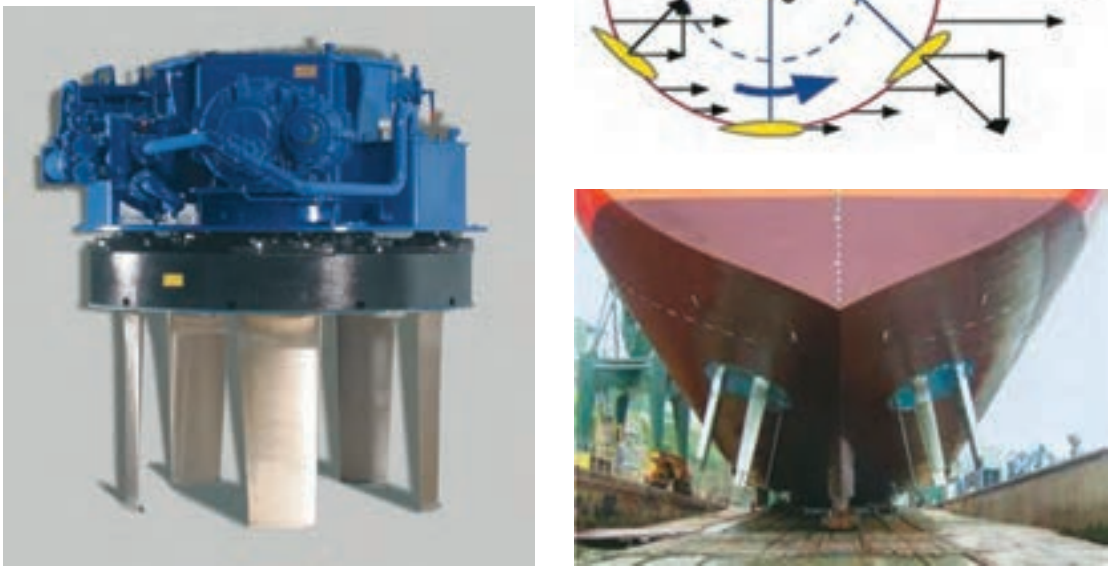
ب) پروانه محور عمودی (Cycloidal Propeller)

در سال ۱۹۲۰ این سامانه در یدک‌کش‌ها و مسافربری‌ها مورداستفاده قرار گرفت و استفاده از آن قابلیت مانور کشتی را افزایش می‌داد. تعداد تیغه‌ها در این سامانه بین ۶ تا ۱۰ عدد است و به‌صورت عمودی نصب‌شده و حول یک محور عمودی دوران می‌نمایند. با زاویه گرفتن این تیغه‌ها، می‌توان نیروی پیش رانش را به‌هر سمت دلخواهی تولید نمود. به‌صورت کلی دو نمونه از این سامانه وجود دارد:

۱ کریستین ـ بوئینگ (kirsten boeing)

۲ وویس اشنایدر (Voith Schneider)

در شکل ۲ یک نمونه از این سامانه نشان داده‌شده است.



شکل ۲ـ سامانه پیش برنده وویس اشنایدر

پ) سامانه رانش الکترومغناطیس (Electro-Magnetic Propulsor)

سیستم پیش‌رانش الکترومغناطیسی همواره به‌عنوان یک سیستم رانش عاری از صدا و ارتعاش موردتوجه محققان بوده است. باوجود معرفی این سیستم رانش از اوایل دهه شصت میلادی، تاکنون تحقیقات زیادی درزمینهٔ بهبود کارایی و بهینه‌سازی هندسه پیشران انجام‌شده است. مطالعات گسترده‌ای در اوایل دهه نود برروی امکان‌سنجی به‌کارگیری از این فناوری در سیستم رانش کشتی انجام‌شده و امکان استفاده از الکترومغناطیس‌های ابررسانا بر روی سیستم رانش کشتی را تائید نموده‌اند. در مورد به‌کارگیری سیستم رانش رسانشی مغناطیسی، دو روش مختلف وجود دارد. روش اول، پیش‌رانش خارجی است که نیروهای الکترومغناطیسی به‌صورت مستقیم

به جریان اطراف بدنه کشتی اعمال می‌شوند. درحالت پیش‌رانش داخلی، میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی درون یک پیشران اعمال‌شده و پیش‌رانش به‌صورت عکس‌العملی انجام می‌شود. با بهره‌گیری از ابررساناهای با دمای بالا، وزن و حجم تجهیزات خنک کننده کاهش می‌یابد. به‌کارگیری از آلیاژهای مخصوص در ساختار پیشران نیز باعث بهبود کارایی سیستم می‌گردد. به‌عبارت‌دیگر بهبود بازدهی به‌صورت مستقیم با وزن پروانه و انتخاب مواد ابررسانا در ارتباط است. در این سیستم عضو متحرکی به نام پروانه وجود ندارد و در آن از ارتباط بین جریان الکتریکی و میدان مغناطیسی، برای تولید نیروی رانش یا پیش رانش(تراست) استفاده می‌شود. با توجه به تجربه موفق استفاده از این نوع سیستم در زیردریایی‌ها و با توجه به ملاحظات و مزایایی که این سیستم دارد، امروزه به‌عنوان یکی از انواع سیستم رانش برای زیردریایی‌ها به شمار می‌آید. شکل ۳، کشتی یاماموتو یک نمونه عملی در دنیا است.

شکل ۳ـ کشتی رانش مغناطیسی یاماموتو (Yamato)

ت) سامانه رانش بادبانی (Wind propulsion)

درگذشته، کشتی‌ها با بادبان‌ها و به کمک نیروی باد حرکت می‌کردند. در اواسط قرن ۱۵ میلادی استفاده از بادبان‌ها برای تأمین نیروی محرکه کشتی‌ها گسترش یافت به‌طوری‌که کشتی‌های بادبانی به‌صورت خطوط منظم سفرهای خود را در دریاها و اقیانوس‌ها اجرا می‌کردند. استفاده از بادبان‌ها در کشتی‌های تجاری و نظامی یک فناوری استراتژیک منظور می‌گردید و اهمیت آن تا سال ۱۸۶۰ ادامه داشت، اما با کشف موتور بخار و قابلیت‌های زیاد آن سیستم رانش بادبانی جای خود را به سیستم رانش بخار داد؛ اما با توجه به افزایش قیمت سوخت و همچنین تصویب قوانینی برای جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای از سوی سازمان‌های جهانی، سازندگان کشتی‌ها به فکر استفاده از انرژی‌های پاک افتادند. به دو دلیل مهمی که بیان شد امروزه صنعت کشتی‌سازی درحال انقلابی مجدد در نحوهٔ رانش کشتی‌ها است. اکثر کشورهای اروپایی و ژاپن از چندین سال قبل به فکر استفاده از انرژی باد در صنعت کشتی‌سازی افتاده‌اند. یک نمونه از این نوع کشتی‌ها در شکل ۴ نشان داده‌شده است.

شکل ۴ـ استفاده از انرژی باد درحرکت کشتی‌ها

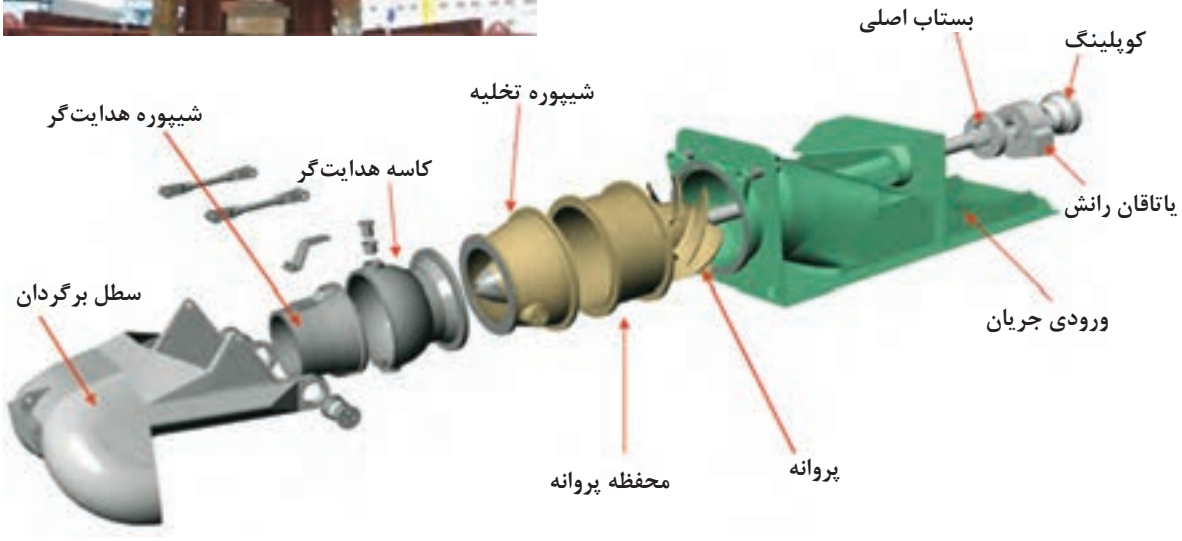
ث) سامانه رانش جت آب (Water Jet)

واترجت سامانه‌ای است که نیروی محرکه در آن جریان آب است (شکل ۵). در این سیستم سکان و پروانه حذف می‌شود. نیروی پیش رانش(تراست) واترجت از عکس‌العمل نیرویی که آب به‌طرف عقب وارد می‌کند به وجود می‌آید. این همان قانون سوم حرکت نیوتن است که هر عملی عکس‌العملی برابر ولی در جهت مخالف دارد. به همین سادگی هنگامی‌که آب با سرعت زیاد از جت بیرون می‌زند نیرویی درجهت خلاف به بدنه جت وارد می‌کند و این نیرو به بدنه شناور منتقل می‌شود و شناور را به جلو حرکت می‌دهد. در بدنه شناور، جت در داخل بدنه و در قسمت پاشنه شناور سوار می‌شود. جت، آب را از کف شناور گرفته و به سمت عقب پرتاب می‌کند. تغییر جهت نیز به کمک تغییر جهت جریان آب خروجی صورت می‌گیرد. همچنین برای حرکت به سمت عقب شناور یک تیغه جلو نازل قرار می‌گیرد که باعث می‌شود جهت جریان تغییر کرده و شناور به سمت عقب حرکت کند. این سیستم در شناورهای تندرو و جنگی و شناورهایی که در نقاط کم‌عمق تردد دارند استفاده می‌شود. امروزه شناورهایی که از سیستم رانش واترجت استفاده می‌کنند دارای شتاب بیشتر، سرعت بالاتر، قابلیت آبخوری کمتر، قدرت مانور و نرم بودن بی‌همتا و کارکرد آرام و بدون سروصدا هستند. به‌علاوه این‌ها دارای هزینهٔ تعمیر و نگهداری پایین‌تر، عمر موتور طولانی‌تر، نصب آسان‌تر، ارتعاش کمتر، بارگذاری بیشتر موتور و استعداد صدمه کمتر نسبت به پروانهٔ معمولی است.

سیستم رانش واترجت مزایای زیادی نسبت به دیگر سیستم رانش‌های معمول دارد. این مزایا عبارت هستند از:

- قدرت مانور بالا
- کنترل دقیق هدایت شناور در همه سرعت‌ها

- سرعت صفر با فراهم شدن ۳۶۰ درجه پیش رانش (تراست) برای داکینگ و ساکن شدن شناور
- امکان حرکت عرضی به کمک جت‌های متعدد
- بازده بالا درحرکت به سمت عقب و همراه با توانایی قطع توان درحرکت
- هزینه تعمیر و نگهداری کم
- آرام و بدون سروصدا



شکل ۵ـ سامانه رانش واترجت

مباحث مربوط به نصب، نگهداری و تعمیر سامانه واترجت در شناورها بسیار حائز اهمیت می باشد. پس از نصب واتر جت برروی شناورها بایستی موارد زیر مورد توجه قرار گیرد:

کلیه بخش‌های هیدرولیکی چک شود که هیچ‌گونه براده و یا ذرات فایبرگلاس و ... بر روی آن وجود ندارد.

کلیه کاورهای بازدید چک شود که کاملاً بسته می باشند.

میزان روغن در هوزینگ (Housing) یاتاقان‌ها (منافذ و مجاری) را با استفاده از ساندینگ (لوله‌های اندازه‌گیری) مربوطه چک شود.

از طرفی بعد از به آب‌اندازی شناور و قبل از روشن کردن موتور بایستی موارد زیر بررسی شود:

۱ بایستی چک شود که هیچ‌گونه نشتی آب در کاسه نمد ها وجود ندارد.

۲ چک شود که سطح روغن در هوزینگ یاتاقان در سطح مناسبی می‌باشد.

۳ چک شود که ارتفاع آبخور شناور حداقل تا راستای محور شافت قرار داشته باشد تا برای عملکرد پمپ به‌مشکلی برنخورد.

ج) سامانه رانش پروانه‌ای

انواع سامانه‌های رانش پروانه‌ای را می‌توان عموماً به‌صورت زیر دسته‌بندی نمود:

- پروانه‌های گام ثابت
- پروانه‌های گام متغیر
- پروانه‌های عکس چرخنده
- سیستم دو پروانه‌ای
- پروانه‌های دارای غلاف
- سیستم رانش آزیپاد
- سیستم پروانه نافذ سطحی (نیمه مغروق)

Fixed Pitch Propeller

Controllable Pitch Propeller

Contra Rotating Propeller

Twin Screw System

Ducted Propeller

(Azipod (Azimuthing Podded Drive

Surface Piercing Propeller

پروانه‌های گام ثابت: رایج‌ترین نوع پروانه در شناورها است. زاویه گام در این پروانه‌ها ثابت است و تغییر نمی‌کنند. تعداد پره‌های پروانه بین ۲ تا ۱۲ پره است.

شکل ۶ـ پروانه گام ثابت

پروانه‌های گام متغیر (گام قابل‌کنترل CPP)، پروانه‌هایی باقابلیت تغییر زاویه گام بوده و از یک مکانیزم تحریک پره به‌صورت مکانیکی و یا هیدرولیکی برای تغییر گام پروانه استفاده می‌شود. ویژگی‌های مهم این پروانه‌ها به‌صورت زیر است و در شکل ۷ نشان داده‌شده است.

- دارای ۳، ۴ یا ۵ پره می‌باشند
- بالا بودن راندمان شناور با مدیریت بهینه انرژی
- قابلیت توقف سریع شناور بدون نیاز به سیستم کلاچ و ترمز
- موتور اصلی احتیاج به کار در جهت عکس ندارد
- تأمین سرعت‌های مختلف پیشروی با یک دور ثابت

البته دقت ساخت و استفاده از توپی بزرگ در این پروانه‌ها از معایب آن به شمار می‌رود.

شکل ۷ـ پروانه گام متغیر

پروانه‌های عکس چرخنده: دارای محور تودرتو و پیچیده است و در کشتی‌های بزرگ با محور طویل کاربرد ندارد. در این پروانه‌ها زاویه گام پره‌ها عکس یکدیگر می‌باشند درنتیجه نیروی پیش رانش (تراست) هردو روبه‌جلو است. قطر پروانه دوم معمولاً کوچک‌تر از پروانه اول است. دور پروانه‌ها ممکن است متفاوت باشد، ولی اغلب موارد دور آن‌ها یکسان است. در این سیستم گشتاورهای ناشی از سیستم رانش خنثی می‌شود و به‌همین علت در اژدرها کاربرد دارد.

شکل ۸ـ پروانه‌های عکس چرخنده

سیستم دو پروانه‌ای: بیشتر در شناورهایی که نیازمند سرعت‌بالا هستند یا برای حرکت به پیش رانش(تراست) بسیار زیادی نیاز دارند استفاده می‌شود. در شناورهای نظامی و مسافری معمولاً از دو پروانه‌ای استفاده می‌شود. این سیستم قابلیت مانور شناور را بالا برده و جهت چرخش پروانه‌ها عکس یکدیگر است.

شکل ۹ـ سیستم دو پروانه‌ای

پروانه‌های دارای غلاف: در این حالت پروانه داخل یک نازل (Duct - Nozzle) قرار می‌گیرد که این نازل خود به ایجاد یک نیروی پیش رانش(تراست) اضافی کمک می‌کند؛ بنابراین باعث افزایش بازده پروانه می‌گردد. یکی از موارد استفاده از نازل برای پروانه‌هایی است که محدودیت قطر دارند؛ یعنی این پروانه‌ها باوجود داشتن قطر کمتر کارایی خوبی پیدا می‌کنند. برای این‌گونه پروانه‌ها از دو نوع نازل استفاده می‌شود:

۱ غلاف‌های افزاینده(Accelerating Duct)

۲ غلاف‌های کاهنده (Decelerating Duct)

شکل ۱۰ــ پروانه غلاف دار

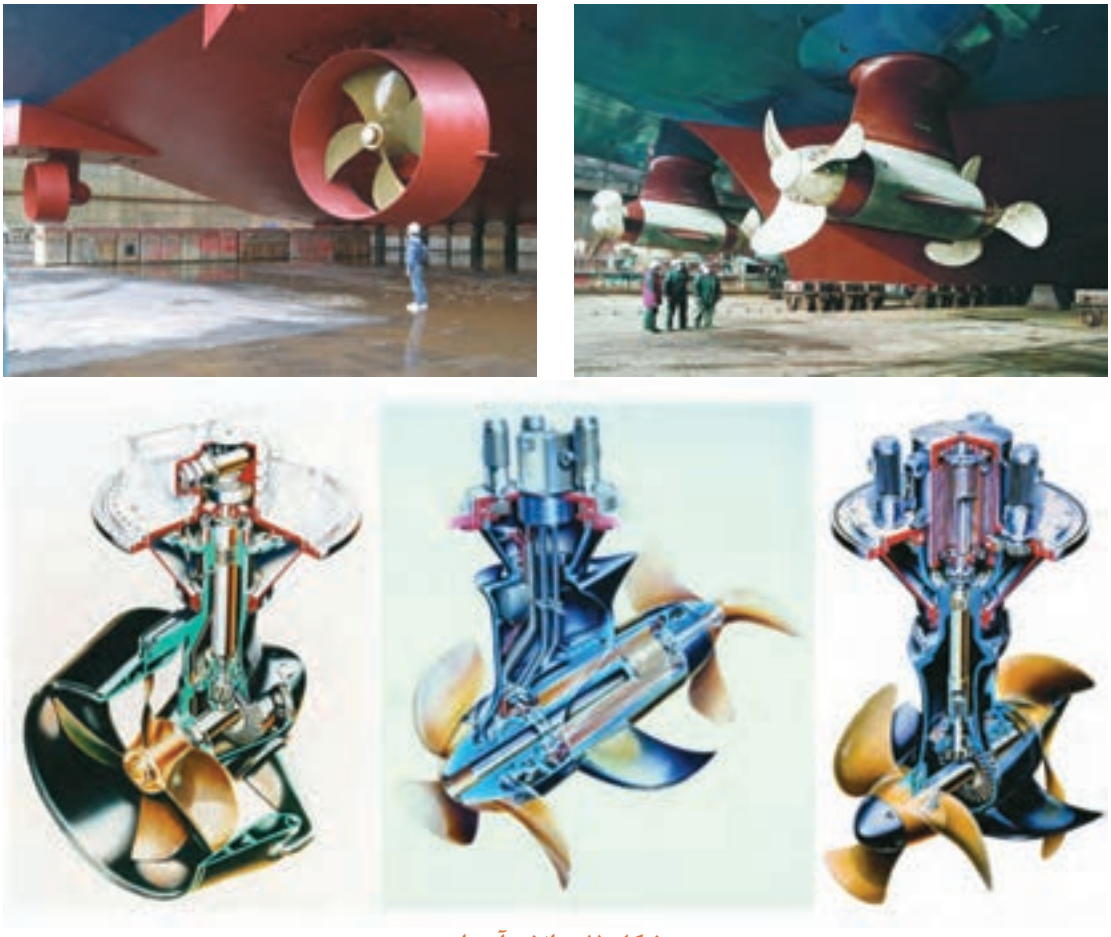
پیش رانش(تراست) ناشی از غلاف می‌تواند تا ۳۰ درصد افزایش یابد؛ و این مورد برای شناورهای کندرو و سرعت‌های پایین و شرایط سنگین بسیار بااهمیت است.

سیستم رانش آزیپاد: یکی از سامانه‌هایی است که امروزه در شناورها استفاده می‌شود. این سیستم در سال ۱۹۵۰ توسط شرکت حمل‌ونقل Z-drive اختراع شد. نخستین تجهیزات در دهه ۱۹۶۰ تحت برند Schottel تولید شد. نوع پروانه‌های مورداستفاده می‌تواند به‌صورت گام ثابت و یا گام متغیر مورداستفاده قرار گیرد. این سیستم دارای دو نوع مکانیکی و الکتریکی در کشتی‌ها مورد بهره‌برداری قرار می‌گیرد که هر دو نوع در شکل ۱۱ نشان داده شده است.

انتقال مکانیکی (Mechanical transmission): در این نوع از سیستم آزیموت، یک موتور در داخل کشتی قرار دارد که توسط دنده به غلاف متصل شده است. موتور می‌تواند دیزلی یا الکتریکی باشد. بسته به چیدمان شافت، سیستم انتقال مکانیکی آزیموت به بخش‌های L-drive و Z-drive تقسیم می‌شود. قسمت

L-drive یک شافت ورودی عمودی و یک شافت خروجی افقی با یک چرخدندهٔ زاویهٔ قائم دارد. بخش Z-drive دارای یک شافت ورودی افقی، شافت عمودی چرخان و شافت افقی خروجی با دو چرخدندهٔ عمود بر هم است. همان‌طور که مشخص است انتقال قدرت و چرخش پروانه‌ها به‌صورت مکانیکی انجام می‌شوند.

انتقال قدرت الکتریکی (Electrical transmission): در این وضعیت، یک موتور الکتریکی مستقل در کنار پروانه قرار می‌گیرد و به‌طور مستقیم و بدون واسطه با پروانه درگیر است. برق موردنیاز این موتور معمولاً توسط توربین گاز یا موتور دیزل کشتی تأمین می‌شود.



شکل ۱۱ـ رانش آزیپاد

سیستم رانش سطحی - SPPها: بانام پروانه‌های نیمه مغروق شناخته می‌شوند. این نوع پروانه نوع خاصی از پروانه سوپر کاویتاسیونی است که در شرایط نیمه مغروق کار می‌کند. پروانه‌های سوپر کاویتاسیونی اغلب به‌عنوان سیستم رانشی با بالاترین راندمان برای شناورهای تندرو مطرح می‌شوند. مشخصه ویژه آن‌ها ضخامت زیاد سطح مقطع پره‌ها در لبه دنباله (trailing edge) است. سیستم رانش سطحی مانند سیستم رانش معمولی ولی با پروانه‌ای متفاوت کار می‌کند. این سیستم در پشت شناور نصب می‌شود و هر پروانه

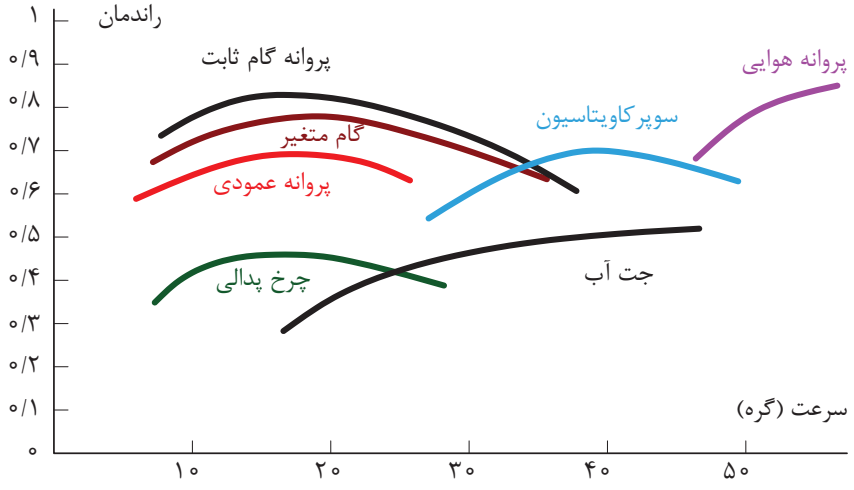
شکل ۱۲ـ سیستم رانش نیمه مغروق

قسمتی از یک دور را بیرون آب است. ازاین‌رو آن را پروانه نافذ سطحی SPP می‌گوییم. در این سیستم امکان استفاده از پروانه‌های بزرگ‌تر وجود دارد چون در آن‌ها محدودیت فاصله نوک پره تا بدنه یا بیشینه آبخور وجود ندارد. از این سیستم برای شناورهای تندرو استفاده می‌شود و یک نمونه از آن در شکل ۱۲ نمایش داده‌شده است.

پروانه‌های دریایی به‌صورت کلی بایستی از موادی ساخته شوند که بتوانند در مقابل آب شور مقاومت به‌خوردگی مناسبی داشته باشند. به‌صورت معمول از جنس آلیاژ برنز و فولاد ضد زنگ استفاده می‌شود. در طول عمر سرویس شناور به‌علت وجود خزه برروی سطح پروانه نیاز است که به‌صورت دوره‌ای نسبت به‌خزه زدایی و تعمیر خوردگی‌های ایجاد شده برروی سطح پره اقدام لازم صورت پذیرد. جهت بررسی سلامت پروانه بعد از خزه‌زدایی و انجام تعمیرات لازم نیاز است که بازرسی‌های رده‌بندی به‌صورت مخرب و یا غیر مخرب (از قبیل بازرسی چشمی و یا رادیوگرافی و یا آلتراسونیک و ...) بر روی آن انجام پذیرد.

مقایسه انواع سامانه‌های رانش

چنانچه بخواهیم به‌صورت ساده یک معیار انتخاب سامانه پیش برنده را برای شناور دلخواه موردبررسی قرار بدهیم می‌توان از نمودار زیر بهره گرفت. در این نمودار محور افقی سرعت حرکت کشتی و محور عمودی، بازدهی سیستم رانش است.



شکل ۱۳ـ انتخاب نوع سیستم رانش موردنیاز برحسب سرعت شناور

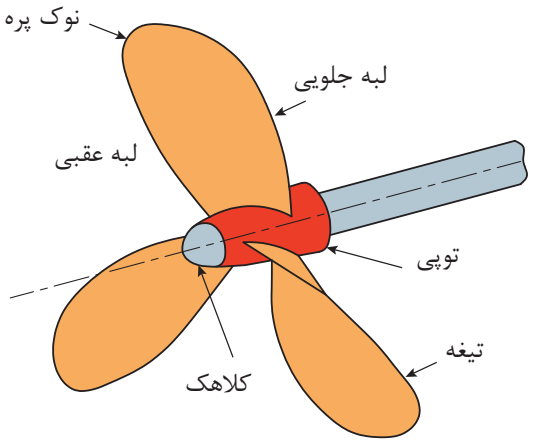
کار در کلاس

کار در کلاس: با کمک هنرآموز خود، چگونگی استفاده از سامانه‌های رانش در شکل ۱۳ را موردبررسی دقیق قرار دهید.

سامانه رانش پروانه‌ای: از بین سامانه‌های رانش، سیستم رانش پروانه‌ای بسیار رایج است که از بین سامانه‌های پروانه‌ای نیز یک معیار مناسب جهت انتخاب وجود دارد. درحال حاضر از پروانه‌های تا حدود قطر ۱۰ متر و حدود وزنی ۱۰۰ تن در کشتی‌های تجاری بهره گرفته می‌شود.

هندسه پروانه‌های دریایی: اجزاء و قسمت‌های مختلف یک پروانه دریایی را می‌توان به‌صورت شکل ۱۴ نشان داد.

ردیف	نام انگلیسی	ترجمه فارسی
۱	Blade	پره
۲	Propeller Axis	محور پروانه
۳	face	رخ پره
۴	back	پشت پره
۵	leading edge	لبه حمله
۶	trailing edge	لبه دنباله
۷	hub-Boss	توپی پروانه
۸	Root	ریشه پره
۹	Tip	نوک پره



شکل ۱۴ـ تعاریف هندسی یک پروانه دریایی

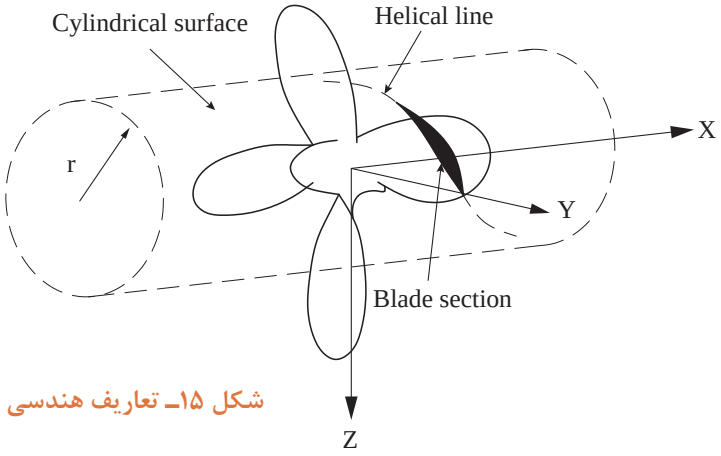
زاویه‌های تعریف‌شده در پروانه:

۱ زاویه گام Pitch Angle

۲ زاویه کجی Rack Angle

۳ زاویه شلاقی Skew Angle

زاویه گام: پره‌ها به‌صورت زاویه‌دار به هاب پروانه متصل می‌شوند و زاویه گام موجب پیشروی پروانه در هر دور می‌شود. مقدار پیشروی افقی پروانه در یک دور را گام پروانه گویند و آن را حرف اختصاری (P) نشان می‌دهند. هر مقطع از پره پروانه مطابق شکل ۱۵ یک مسیر منحنی شکل را می‌پیماید که به آن منحنی هلیکا (هلیکس Helix) می‌گویند.

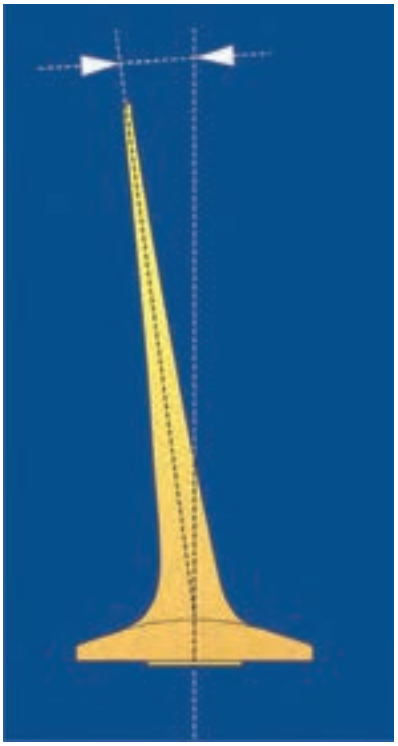


شکل ۱۵ـ تعاریف هندسی یک پروانه دریایی

اگر مسیر هلیکا طی شده در یک دور پروانه به‌صورت یک خط صاف نمایش داده شود زاویه تشکیل‌شده را زاویه گام گویند.

تحقیق کنید

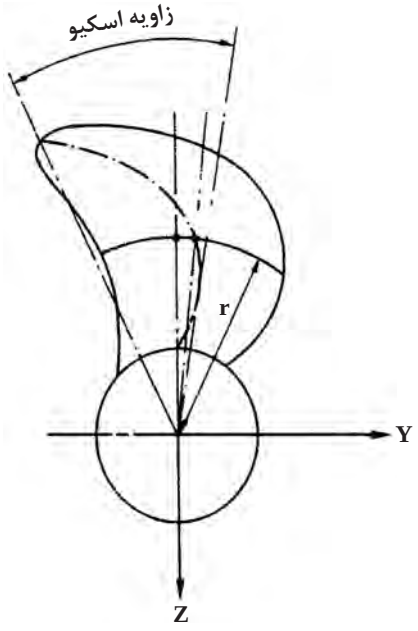
تعریف انواع مختلف گام شامل: ۱ـ گام دماغه ـ دنباله ۲ـ گام رخ ۳ـ گام مؤثر ۴ـ گام هیدرودینامیکی، با کمک هنرآموز خود تحقیق نمایید.



قابل‌ذکر است که گام دماغه ـ دنباله به‌عنوان مرجع اصلی اکثر سازندگان پروانه، برای تعریف مقطع پره به‌کار می‌رود.

زاویه کجی (ریک): زاویه نصب پره‌های پروانه به‌صورت زاویه‌دار روبه‌جلو یا عقب را زاویه ریک و یا کجی می‌نامند. چنانچه کجی پره به سمت عقب شناور باشد زاویه ریک مثبت و چنانچه به‌سمت جلو کشتی باشد زاویه ریک منفی است. در برخی از پروانه‌ها نیز زاویه ریک صفر (زاویه ریک خنثی) است. زاویه ریک مثبت سبب می‌شود که بتوان از پروانه با قطر بزرگ‌تر استفاده نمود و درنتیجه آن نیروی پیش رانش (تراست) بیشتری حاصل می‌شود. از طرفی زاویه ریک منفی ازنظر استحکام سازه‌ای پره شرایط بهتری دارد.

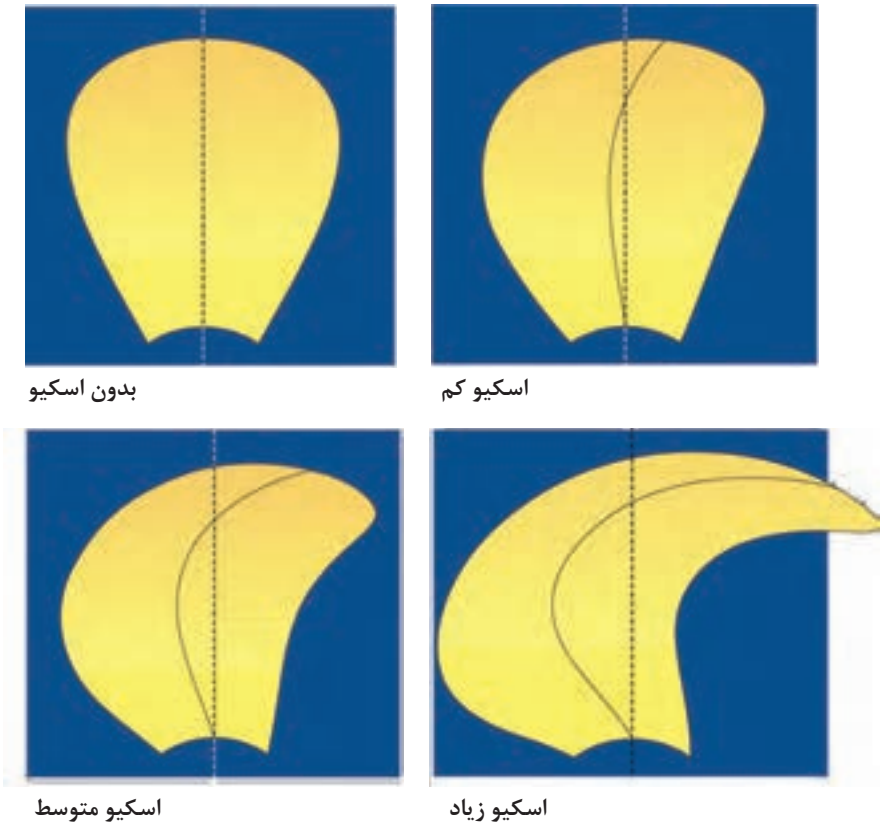
شکل ۱۶ـ زاویه ریک پروانه



زاویه شلاقی (اسکیو): زاویه میان خط مماس بر خط میانی پره با خط واصل میان مرکز توپی با نوک پره را زاویه شلاقی گویند. این زاویه ورود تدریجی بار بر روی پره و ایجاد یکنواختی در نیروی پیش رانش(تراست) و جلوگیری از وارد آمدن بار ناگهانی بر روی پره که منجر به کاهش کاویتاسیون می‌شود و درنتیجه باعث سروصدا به دلیل کاهش کاویتاسیون می‌شود. به‌همین دلیل در زیردریایی‌ها از پروانه‌های با زاویه اسکیو زیاد استفاده می‌شود. افزایش زاویه شلاقی و افزایش تعداد پره‌ها موجب کاهش ارتعاش پروانه می‌شود.

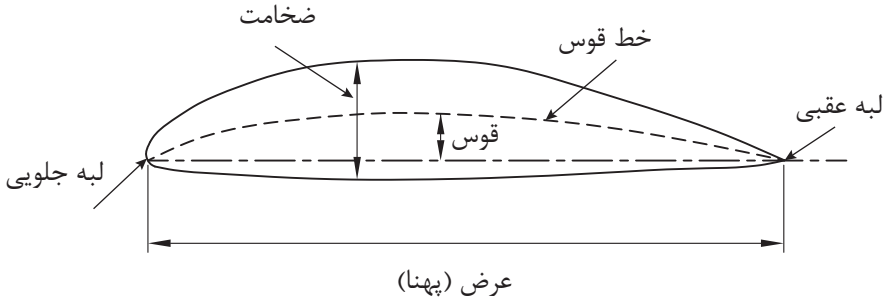
شکل ۱۷ـ زاویه شلاقی

در شکل زیر پروانه بدون اسکیو (Non Skew) و اسکیوهای کم (Low Skew)، متوسط (Medium Skew) و زیاد (High Skew) نشان داده‌شده است.



شکل ۱۸ـ انواع زوایای شلاقی

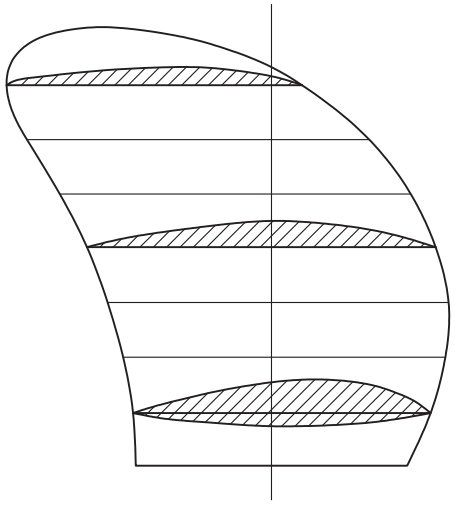
چنانچه پره پروانه در راستای شعاع پروانه برش زده شود، سطح مقطع پره از یک‌شکل خاص که به آن مقطع فویل گویند، تشکیل‌شده است. به مقطع هر جسمی که در جریان آب قرار می‌گیرد، هیدروفویل گویند. مقطع پره استاندارد گذاری‌های مختلفی دارد. یکی از معروف‌ترین استانداردها مربوط به هیدرو فویل‌هایی موسوم به ناکا (National Advisory Committee for Aeronautics – NACA) است. مقاطع فویل می‌تواند به‌صورت متقارن و نامتقارن مورداستفاده قرار گیرد. یک فویل NACA نامتقارن در شکل ۱۹ نشان داده‌شده است.



شکل ۱۹ـ مقطع فویل در پروانه

ضخامت فویل پره مطابق شکل در نزدیکی توپی پروانه بیشترین مقدار است و با افزایش شعاع، این ضخامت کاهش می‌یابد.

برای نیروی پیش رانش(تراست) توسط پروانه، پره نسبت به سیال دارای یک زاویه است که پره با آن زاویه در حین چرخش به‌سیال برخورد می‌نماید. جریان سیال ورودی به پروانه دارای دو مؤلفه محوری و شعاعی است که نتیجه این دو مؤلفه یک بردار سرعت برایند به پروانه خواهد شد. مطابق شکل روبه‌رو، زاویه بین خط کورد مبنا (Base Chord) و سرعت برایند (Resultant Velocity) را زاویه حمله گویند.



شکل ۲۰ـ مقاطع مختلف پره در شعاع‌های مختلف

تحقیق کنید

انواع مقاطعی که در پره پروانه‌های دریایی استفاده می‌شود با کمک هنرآموز خود تحقیق نمایید.

کار در کلاس

با کمک هنرآموز خود، اصطلاحات انگلیسی جدول زیر را به فارسی ترجمه نمایید:

ردیف	نام انگلیسی	ترجمه فارسی
۱	Chord Length	
۲	Camber Line	
۳	Camber	
۴	Thickness	
۵	Nose-Tail Pitch	
۶	Face Pitch	
۷	Effective or Zero Lift pitch	
۸	Hydrodynamic Pitch	
۹	Thrust Force	
۱۰	Attack Angle	
۱۱	No Skew	
۱۲	High Skew	
۱۳	Medium Skew	
۱۴	Low Skew	

تعاریف سطوح پروانه

در بررسی مشخصات هندسی پروانه، یک سری مساحت‌ها به‌عنوان مشخصه پروانه تعریف می‌گردد. به‌صورت کلی هر یک از این تعاریف و علامت اختصاری آن‌ها در زیر ارائه‌شده است.

- سطح دیسک پروانه (A_0)(disk area)
- سطح تصویر شده (AP) (projected area)
- سطح توسعه یافته (AD) (developed area)
- سطح گسترش‌یافته (AE)(expanded area)

تحقیق کنید

انواع سطوح تعریف‌شده برای پروانه را به کمک ترسیم شکل با کمک هنرآموز خود تحقیق نمایید.

تئوری حاکم بر طراحی پروانه‌های دریایی

همان‌طوری که قبلاً به آن اشاره گردید، برای تأمین نیروی پیش رانش(تراست) جهت غلبه بر نیروی مقاومت نیاز به یک پیش برنده جهت تولید نیروی پیش رانش(تراست) است. برای این منظور از پیش برنده جهت افزایش انرژی جنبشی سیال بهره گرفته می‌شود. مطابق قانون دوم؛ شتاب یک جسم برابر است با مجموع نیروهای وارده بر جسم تقسیم‌بر جرم آن. فرمولی که از این قانون برمی‌آید $F=ma$ بوده و به معادله بنیادین مکانیک کلاسیک معروف است. اصول این معادله به این است که شتاب جسمی که تحت تأثیر نیرویی ایجادشده، متناسب و در جهت حرکت آن است. نیروی پیش‌رانش را با $F=T$ و رابطه بالا را می‌توان به شکل زیر بازنویسی نمود:

$$F=(m/\Delta T)\,\Delta V \rightarrow T=\rho Q\,\Delta V$$

برای تولید نیروی پیش رانش(تراست) معین با چگالی (ρ) ثابت می‌توان اختلاف سرعت (ΔV) بزرگ و دبی حجمی کوچک (Q) و بالعکس در نظر گرفت.

تحقیق کنید

چگونگی ارتباط بزرگی سامانه رانش با ΔV و Q را با کمک هنرآموز خود تحقیق نمایید.

در راستای تحلیل پروانه جهت بررسی عملکرد آن از چهار تئوری مهم استفاده می‌شود که به‌صورت زیر تعریف می‌شوند.

۱. تئوری مومنتوم بدون چرخش سیال
۲. تئوری مومنتوم با چرخش سیال
۳. تئوری المان پره
۴. تئوری چرخش

نتیجه حاصل از تحلیل پروانه به استخراج ضرایب هیدرودینامیکی پروانه منجر می‌شود که شامل ضریب تراست، ضریب گشتاور و راندمان است.

تحقیق کنید

مبانی تئوری چهار روش تحلیل پروانه را با کمک هنرآموز خود تحقیق نمایید.

بیشتر بدانید

ده فاکتوری که برای طراحی یک پروانه کشتی کارآمد باید در نظر داشت؟

طی سال‌ها تحقیق و توسعه قابل‌توجهی در زمینهٔ طراحی پروانه برای حصول اطمینان از ایمنی محموله‌ها، مسافرین و کارکنان شناور انجام‌شده است. در این حین با افزایش راندمان در هزینه‌های زیادی نیز صرفه‌جویی شده است. سامانه‌های پیشرانش شناورهای سطحی و همین‌طور وسایل زیرسطحی طی سال‌های زیادی از مکانیزم پیشرانه استانداردی پیروی کرده‌اند. پروانه‌ها بایستی به‌گونه‌ای طراحی شوند که نویز و ارتعاشات کاهش‌یافته و نهایتاً پایین‌ترین سطح کاویتاسیون ممکن را برای دستیابی به راندمان پروانه داشته باشند. تغییراتی که در اساس هندسه پروانه صورت می‌گیرد هیچ تغییری در شیوه‌ای که ما عملکرد پروانه را مشخص و تحلیل می‌کنیم ایجاد نمی‌کند. اساساً، یک طراحی پروانه طبق یکی از دو روش زیر انجام می‌پذیرد:

اول، بر اساس نتایج حاصله از آزمایش‌های آب ـ باز که بر روی یک سری از پروانه‌های مدل انجام می‌گیرد. پروانه‌های مختلف آزمایش‌شده پارامترهای متنوعی مانند تعداد تیغه، مساحت تیغه، نسبت گام و غیره داشتند. بر اساس این نتایج و نیازمندی‌های شناور، پارامترها می‌توانند برای به دست آوردن یک طرح مناسب انتخاب شوند.

روش دوم هم شامل انجام همان روش و اصول اول می‌شود که اشاره شد. این روش شامل یافتن طول کورد، شکل مقطع، گام و غیره و سپس پیدا کردن گشتاور، پیش رانش(تراست) یا جلو برندگی و کارآمدی می‌شود. این روش برای پروانه‌هایی اعمال می‌شود که مشخصه‌هایی غیر از پروانه‌هایی که به‌طورمعمول طراحی می‌شوند را طلب می‌کنند مانند پروانه‌هایی که باید در مسیر دنباله (Wake Pattern) غیریکنواخت کار کنند یا آن‌هایی که در معرض کاویتاسیون قرار می‌گیرند.

معیارهای طراحی برای طراحی پروانه بسان شرایط مرزی عمل می‌کند. برای طراحی یک پروانه بسیار کارآمد بایستی فاکتورهای گوناگونی را طی طراحی آن مدنظر قرارداد. فاکتورهای زیر مواردی هستند که برای بهبود کارآمدی پروانه به ما کمک می‌کنند:

۱ **قطر پروانه:** مشاهده‌شده است که سرعت شفت و قطر پروانه رابطه بسیار نزدیکی با یکدیگر دارند. یک شفت سرعت‌پایین، با یک قطر مشخص، از دیدگاه کارآمدی بسیار سودمند نشان داده‌شده است. از طرف دیگر باعث می‌شود که گشتاور شفت زیاد و نتیجتاً، شفت و جعبه‌دنده بزرگی را طلب کند؛ بنابراین، برای حصول اطمینان از صحت عملکرد بایستی نقطه تعادلی در حین طراحی پروانه یافت شود.

به‌طورکلی، راندمان پیش برندگی با نصب پروانه‌های با قطر زیاد می‌تواند افزایش یابد. از طرفی، این قطر

در پاشنه شناور توسط آبخور شناور محدود می‌شود. می‌بینیم که برای به دست آمدن این بالانس، یک بهینه‌سازی مناسبی در طراحی پروانه‌ها نیاز است.

۲ **دور پروانه (RPM):** انتخاب تعداد دور مناسب برای یک شناور نقش تعیین‌کننده‌ای را در طراحی پروانه ایفا می‌کند. سرعت زاویه‌ای انتخاب‌شده برای شناور بایستی با فرکانس تشدید شافت، بدنه و دیگر ماشین‌آلات پیشرانش تفاوت داشته باشد. اغلب دیده‌شده است که طراحی با دور پایین راندمان جلو برندگی را ۱۰ تا ۱۵ درصد افزایش داده است.

۳ **تعداد تیغه‌ها:** تعداد تیغه‌های انتخاب‌شده بر روی نیروهای متغیر اعمال‌شده بر آن‌ها، تأثیر می‌گذارد. ازنظر راندمان، راندمان آب‌باز با افزایش تعداد تیغه‌ها افزایش پیدا می‌کند.

۴ **هندسه تیغه‌ها:** مسلماً، هندسه تیغه نقش بسیار مهمی در کارآمدی پیش برنده ایفا می‌کند. تحقیقات و آزمایش‌ها برروی پروانه‌ها با مساحت تیغه‌های گوناگون نشان داده است که با کاهش مساحت تیغه راندمان افزایش پیدا می‌کند. این به دلیل افزایش درگ اصطکاکی با افزایش مساحت تیغه است.

۵ **زاویه حمله و ضخامت تیغه:** طراحی زاویه حمله (Angle of attack) پروانه و ضخامت مربوطه به میزان نیروی مورد نیاز بستگی دارد که توسط معمار کشتی تعیین می‌گردد. اگر زاویه حمله بزرگتری درنظر گرفته شود، مقطع طرح کمتر در معرض کاویتاسوین وجه فشار پروانه قرارگرفته و این کاویتاسوین در بخش مکش آن بیشتر می‌شود. این پدیده زمانی که زاویه حمله کم شود برعکس خواهد بود.

۶ **نسبت گام به قطر:** برای به دست آوردن بهترین راندمان پیشرانش برای یک پروانه مشخص، یک نسبت گام به قطر بهینه‌ای بایستی به دست آید که مجدداً به نرخ دور طرح پروانه مربوط می‌شود.

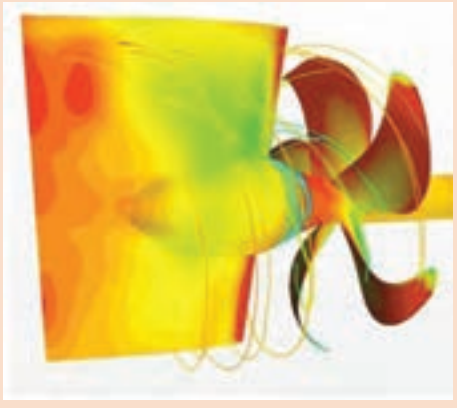
جدای از تغییرات معمولی که برای به‌دست آوردن راندمان بالاتر در پارامترهای پروانه ایجاد می‌شود، اجزای خارجی مشخصی وجود دارند که باعث بهبود جریان در اطراف پروانه و درنتیجه بهبود راندمان پیشرانش می‌شود؛ که به‌قرار زیرند:

۷ **تونل‌های پاشنه:** این وسایل کمک می‌کنند که اثر wake peak برای کشتی‌هایی که پاشنه V شکل دارند کمتر شده و درنتیجه اثرات ارتعاشات کاهش یابد. این تونل‌ها از متعلقات افقی بدنه هستند که در بالای پروانه قرار می‌گیرند که آب را برای اطمینان از جریان یکنواخت در پروانه به سمت پروانه هدایت می‌کند.

۸ **داکت های Schneekluth:** این متعلقات جریان را به‌سمت قسمت بالایی دیسک پروانه هدایت می‌کند که باعث متعادل شدن و بهبود کارآمدی بدنه می‌شود. همچنین این داکت‌ها می‌توانند به شتاب‌دهی

جریان به‌وسیله مقاطع ایرفویل شکل کمک کنند که این کار با ایجاد ناحیه کم‌فشار در مقابل داکت صورت می‌گیرد که طی طراحی به دست می‌آید.

۹ **Grouches Spoilers:** کاربرد آنها جهت‌دهی افقی جریان به‌سمت پروانه است که برای جلوگیری از تشکیل گردابه‌های کیل در شناورهای با پاشنه U شکل و تک پروانه طراحی می‌شوند.



۱۰ **سیستم توپی سکان:** این سیستم باعث کاهش کاویتاسیون و افزایش کارآمدی کل در مجموعه پروانه می‌شود.

سری‌های انتخاب پروانه

کاربرد اصلی سری‌های استاندارد پروانه برای استخراج ضرائب پیش رانش(تراست) و گشتاور و بازدهی پروانه است. این سری‌ها به‌جای استفاده از روابط محاسباتی از روش آزمایش مدل استفاده می‌کنند و بدین ترتیب که مدل‌های کوچکی از پروانه مثلاً به قطر ۲۵ سانتی‌متر ساخته شده و در تونل کاویتاسیون آزمایش می‌شوند. شکل هندسی پروانه‌ها در هریک از سری‌های استاندارد با هم متفاوت است. منظور از «استاندارد» در این سری‌ها، مؤسسات رده‌بندی نمی‌باشند بلکه منظور از آن، سری‌های شناخته‌شده از اطلاعات طراحی پروانه است. طراحی به کمک این سری‌ها دارای بیشترین دقت و ساده‌ترین روش است.

جدول ۱ سری‌های پروانه گام ثابت و بدون غلاف که اطلاعات پروانه‌های آزمایش‌شده در هر سری را داده است به‌اختصار نشان داده شده است.

جدول ۱ـ سری‌های استاندارد پروانه

سری	تعداد پروانه‌ها در سری	Z	A_E/A_0	P/D	D(mm)	r_h/R	وجود کاویتاسیون
B	120	2-7	0.3-1.05	0.6-1.4	250	0.169	خیر
AU	34	4-7	0.5-1.2	0.5-1.2	250	0.18	خیر
گاون	37	3	0.2-1.1	0.4-2	508	0.2	خیر
KCA	30	3	0.5-1.25	0.6-2	406	0.2	بلی
Ma	32	3-5	0.75-1.2	1-1.45	250	0.19	بلی
نیوتن رادر	12	3	0.5-1	1.05-2.08	254	0.167	بلی
KCD	24	3-6	0.44-0.8	1.06-1.6	406	0.2	بلی
Meridian	20	3	0.45-1.05	0.4-1.2	305	0.185	بلی

در این جدول Z تعداد پره‌های مختلف آزمایش‌شده است. مثلاً در سری‌های B پروانه‌های ۲ تا ۷ پره آزمایش‌شده‌اند. نسبت سطح گسترش‌یافته و P/D نسبت گام پروانه‌ها است. سری B جامع‌ترین سری در طراحی پروانه است. نتایج به‌دست‌آمده را بایستی به پروانه واقعی تعمیم داد. R_h/R نسبت شعاع توپی پروانه به شعاع پروانه است که همین نسبت در پروانه واقعی نیز وجود دارد.

تحقیق کنید

کاویتاسیون چیست و انواع تونل‌های کاویتاسیون در کشور را با کمک هنرآموز خود تحقیق نمایید.

بیشتر بدانید

طراحی به کمک سری پروانه‌های B-Wageningen

پروانه‌های سری B در آزمایشگاه دریایی لهستان تهیه شده که حاصل انجام آزمایشات بر روی ۱۲۰ مدل مختلف پروانه با تعداد پره‌ها، سطح گسترش یافته و نسبت گام‌های متفاوت می‌باشد. این آزمایشات توسط آقای Wageningen انجام شده است. شرایط انجام آزمایش در عدد رینولدز ۲×۱۰^۶ بوده است که اگر

شرایط واقعی پروانه موردنظر، دارای عدد رینولدز دیگری است، نتایج باید با روابط ارائه شده، اصلاح شوند.
تعداد پره‌ها و نسبت سطح گسترش یافته این ۱۲۰ مدل از قرار زیر است:
تعداد پره‌ها ۷-۲ پره و هر پروانه برای A_E/A_O = ۰/۳ - ۱/۰۵ می‌باشد.
روابط استفاده شده در این سری به‌صورت زیر است:

$$T = K_t.\rho.n^2.D^4$$

$$Q = K_q.\rho n^2.D^5$$

$$\eta_o = \frac{J}{2\pi}.\frac{K_1}{K_q}$$

$$J = \frac{V_A}{n.D} = \frac{V_s(1-w)}{n.D}$$

که کلیه پارامترهای آن قبلاً معرفی شده‌اند. ضرایب تراست و گشتاور به‌صورت تابعی از عوامل زیر درنظر گرفته شده‌اند:

$$K_t = f_1(J.p/D, A_E/A_O, Z, R_{e,} \frac{t}{c})$$

$$K_q = f_2(J.p/D, A_E/A_O, Z, R_{e,} \frac{t}{c})$$

که عدد رینولدز با توجه به طول کورد در شعاع ۰/۷۵R اندازه‌گیری شده است. نسبت ضخامت پره به طول کورد $(\frac{t}{c})$ نیز در شعاع ۰/۷۵R ارائه شده است (چرا که طول کورد و ضخامت پره در شعاع‌های مختلف باهم متفاوت است).

آشنایی با نمودارهای سری B

نمودارهای موجود در شکل‌های زیر برای K_t و K_q هستند که به‌صورت نموداری ارائه شده‌اند.

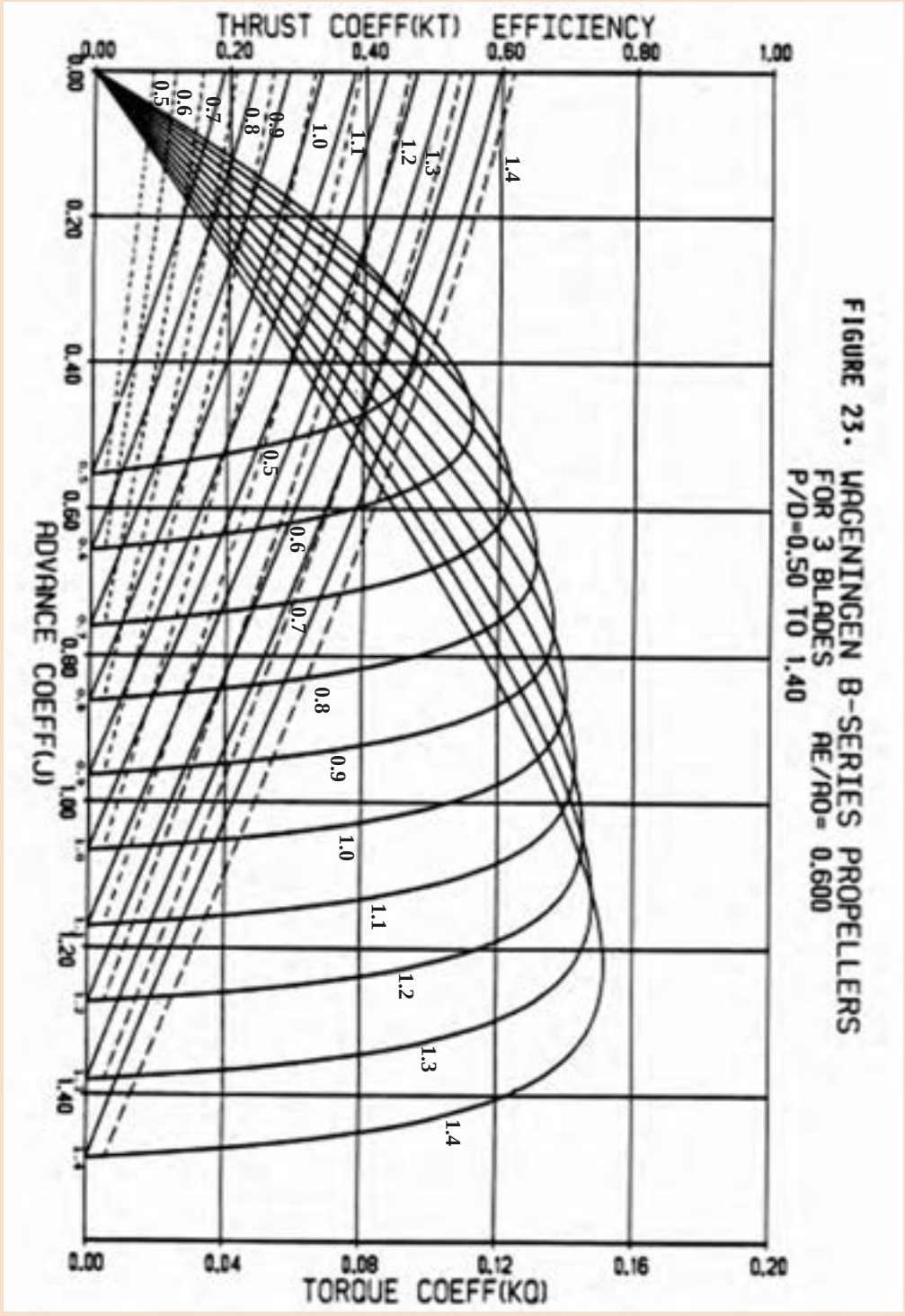
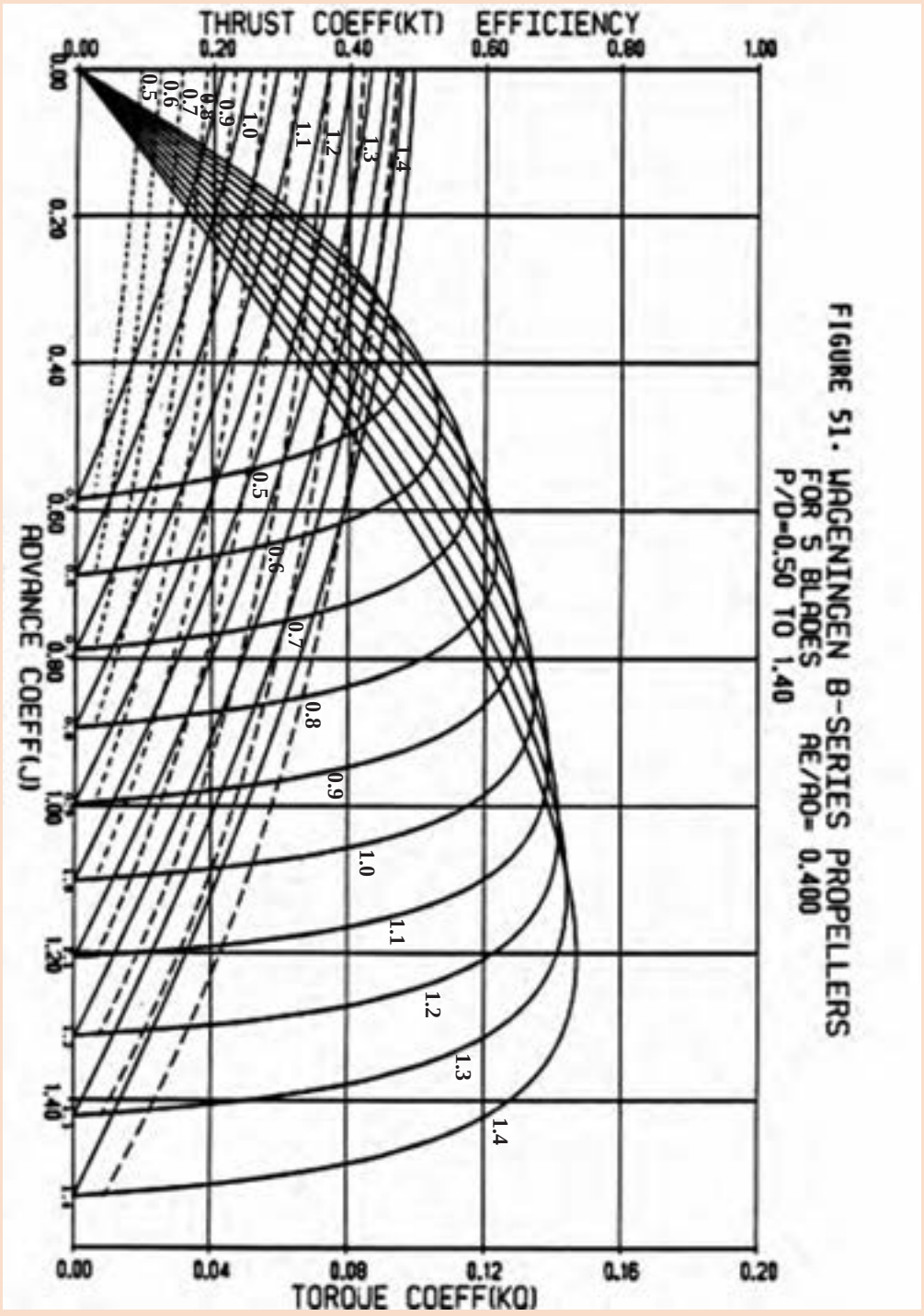


FIGURE 23. WAGENINGEN B-SERIES PROPELLERS
FOR 3 BLADES AE/AO= 0.600
P/D=0.50 TO 1.40



سری B شامل ۹۶ مجموعه نمودار می‌باشد که هر نمودار فقط مختص به یک تعداد پره(Z) و یک نسبت سطح گسترش یافته A_E/A_O است. هر نمودار با یک کد شناخته می‌شود که بیان کننده تعداد Z و A_E/A_O است. مثلاً نمودار ۵۵ ـ B۴ یعنی نمودارهای مربوط به پروانه ۴ پره با نسبت سطح گسترش‌یافته ۵۵ درصد. در داخل هریک از این نمودارها، ضرایب K_t و K_q و بازدهی در آب آزاد برای P/Dهای مختلف = رسم شده است، یعنی برای هر P/D، سه نمودار (K_t و η_o ، K_q) موجود است.

آزمون پروانه در آب آزاد و پشت کشتی

عملکرد پروانه در دوحالت زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۱ عملکرد پروانه در شرایط آب آزاد Open Water

۲ عملکرد پروانه در پشت کشتی Behid of ship

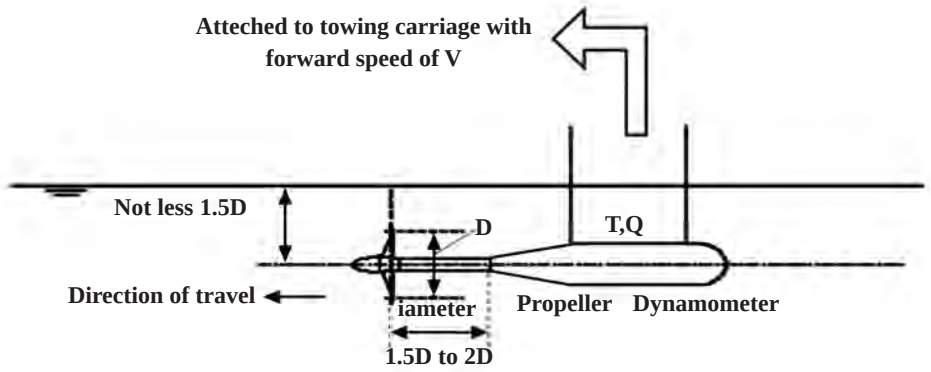
در شرایط آب آزاد می‌توان مدل پروانه را ساخت و در شرایط آزمایشگاهی بدون حضور بدنه کشتی آزمایش را انجام داد. در ساخت مدل پروانه از قوانین تشابه تبعیت می‌شود. برای ایجاد تشابه بین مدل ساخته‌شده و نمونه واقعی پروانه بایستی داشته باشیم:

۱ **تشابه هندسی:** باید ازنظر قطر، سطح و حجم تشابه برقرار باشد

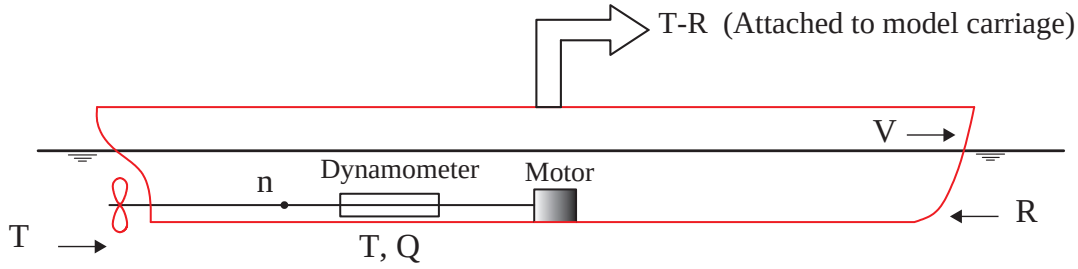
۲ **تشابه سینماتیکی:** بین سرعت مدل و نمونه واقعی تشابه برقرار باشد

۳ **تشابه دینامیکی:** بین نیروهای اعمالی تشابه برقرار باشد

در شرایط پشت کشتی، تأثیر حضور بدنه کشتی برروی عملکرد پروانه موردبررسی قرار می‌گیرد. در این حالت آزمایش خودرانش مدل انجام می‌گیرد. در شکل ۲۱ و ۲۲ یک نمونه آزمایش آب آزاد و خودرانش به ترتیب نشان داده شده است.



شکل ۲۱ـ آزمایش آب آزاد



شکل ۲۲ـ آزمایش خود رانش (آزمایش پروانه پشته بدنه)

تحقیق کنید

با کمک هنرآموز خود کلیه اصطلاحات انگلیسی در شکل ۲۱ و ۲۲ را ترجمه کنید.

ارزشیابی مرحله‌ای

عنوان پودمان	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره دهی)	نمره
نگهداری وتعمیر سامانه‌های پیش برنده	بررسی سامانه‌های پیش برنده	شناسایی انواع سامانه پیش برنده، شناسایی کلیه مشخصات هندسی پروانه، شناسایی تفاوت بین انواع پروانه‌ها	بالاتر از حد انتظار	۱-انواع سامانه پیش برنده را بشناسد. ۲- هندسه پروانه را کامل بشناسد. ۳-تفاوت انواع پروانه‌ها را بداند. هنرجو توانایی بررسی همه شاخص‌های فوق را داشته باشد.	۳
			در حد انتظار	۱-انواع سامانه پیش برنده را بشناسد. ۲- هندسه پروانه را کامل بشناسد. ۳-تفاوت انواع پروانه‌ها را بداند. هنرجو توانایی بررسی دو مورد از شاخص‌های فوق را داشته باشد.	۲
			پایین‌تر از حد انتظار	۱-انواع سامانه پیش برنده را بشناسد. ۲- هندسه پروانه را کامل بشناسد. ۳-تفاوت انواع پروانه‌ها را بداند. هنرجو توانایی بررسی یک مورد از شاخص‌های فوق را داشته باشد.	۱
نمرهٔ مستمر از ۵					
نمرهٔ شایستگی پودمان از ۳					
نمرهٔ پودمان از ۲۰					

ارزشیابی نگهداری و تعمیر سامانه های پیش برنده

۱ـ شرح کار:

۱-انواع سامانه پیش برنده را بررسی کند.

۲- هندسه پروانه را کامل بررسی کند.

۳-تفاوت انواع پروانه‌ها را بررسی کند.

۲ـ استاندارد عملکرد:

انواع پیش برنده‌هایی که در کشتی‌های مختلف تجاری و نظامی به‌کار گرفته می‌شود را بررسی کند.

شاخص‌ها:

بررسی سامانه‌های پیش برنده

۳ـ شرایط انجام کار، ابزار و تجهیزات:

شرایط: کلاس سمعی و بصری و کارگاه و شناورها

ابزار و تجهیزات: رایانه و اینترنت، ویدیو پروژکتور، کارگاه مجهز پیش برنده

۴ـ معیار شایستگی:

ردیف	مرحلهٔ کار	حداقل نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	انواع سامانه پیش‌برنده را بررسی کند.	۲	
۲	هندسه پروانه را کامل بررسی کند.	۱	
۳	تفاوت انواع پروانه‌ها را بررسی کند.	۱	
شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی، و... ۱ـ استفاده از لباس مناسب کار در کارگاه ۲ـ استفاده صحیح و مناسب از ابزار و تجهیزات کارگاه		۲	
میانگین نمرات			*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی و کسب شایستگی ۲ است.

منابع

۱ـ برنامه درسی رشته مکانیک موتورهای دریایی. (۱۳۹۳). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.

۲ـ استاندارد شایستگی حرفه رشته مکانیک موتورهای دریایی. (۱۳۹۲). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.

۳ـ استاندارد ارزشیابی حرفه رشته مکانیک موتورهای دریایی. (۱۳۹۲). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.

۴ـ راهنمای عمل طراحی و تألیف بسته تربیت و یادگیری رشته‌های فنی و حرفه‌ای. (۱۳۹۳). سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی، دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش.

۵ـ کتاب توربین گاز دریایی، عباس فاضلی‌نیا، انتشارات دانشگاه دریایی امام خمینی(ره)

۶ـ کتاب توربین بخار دریایی، عباس فاضلی نیا، انتشارات دانشگاه دریایی امام خمینی(ره)

۷ـ کتاب جامع مهندسی معماری دریایی، محمد مونسان، انتشارات پژوهش،۱۳۹۱.

۸ـ کتاب تعادل کشتی، محمود سالاری، انتشارات مرکز برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی سپاه.

9-Basic Ship Propulsion,J.P Ghose, Allied Publisher, 2004

10- LIOYD’S REGISTER RULE 2017

11- Principles of Naval Architecture” E.V.Lewis” 1988, VolII, SNAME

12- Methodical Experiments with models of Single Screw Merchant Ships”, F.H.Todd,” 1963

13- Marine propellers and propulsion”, J.S. Carlton,”2007, Elsevier publications

14- ENGLISH FOR SEAFARERS “, NIBET-KUTZ-LOGIE P”,UBLISHED BY MARLINS

15- Engineering Mechanics Statics, 7th edition, J. L. Meriam, John Wiley & Sons, Inc.2011.

16- Engineering Mechanics Dynamics, 6th edition, J. L. Meriam, John Wiley & Sons, 2010.

ارگان‌ها و مؤسساتی که در فرایند اعتبارسنجی این کتاب مشارکت داشته‌اند:

۱ ـــ ادارهٔ کل امور دریایی و سازمان‌های تخصصی بین‌المللی سازمان بنادر و دریانوردی
۲ ـــ مؤسسه آموزشی کشتی‌رانی جمهوری اسلامی ایران
۳ ـــ نیروی دریایی راهبردی ارتش جمهوری اسلامی ایران
۴ ـــ نیروی دریایی سپاه پاسداران انقلاب اسلامی ایران
۵ ـــ مرزبانی نیروی انتظامی جمهوری اسلامی ایران
۶ ـــ دبیرخانه کشوری هنرستان‌های علوم و فنون دریایی