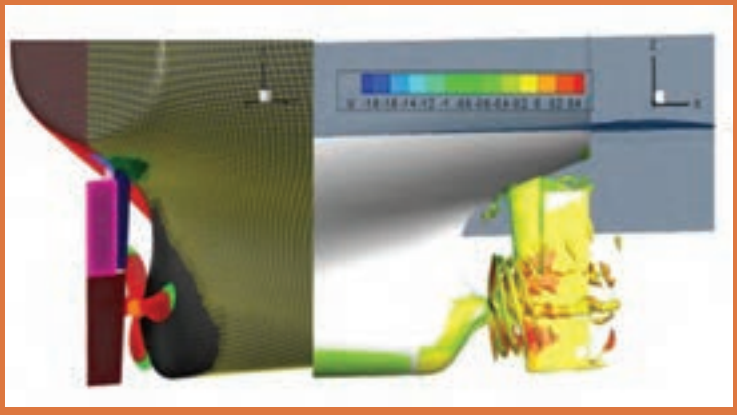
فصل پنجم

نگهداری و تعمیر سامانه‌های پیش برنده



نوع درس: نظری ـ عملی

کل ساعت: ۶۰ ساعت

ساعت نظری: ۲۰ ساعت

ساعت عملی: ۴۰ ساعت

واحد یادگیری ۵

نگهداری و تعمیر سامانه‌های پیش برنده

اهداف کلی

هنرجو باید پس از پایان این پودمان قادر باشد:

۱ انواع پیش‌برنده را بشناسد.
۲ هندسه پروانه را بشناسد.
۳ تفاوت انواع پروانه‌ها را بررسی کند.
۴ روش نگهداری و تعمیر پیش‌برنده‌ها را بداند و اجرا کند.
۵ نکات زیست‌محیطی در رابطه با نگهداری و تعمیر پیش برنده‌ها را رعایت کند.

روش تدریس فصل

۱ عموماً در ابتدای درس و در جلسه اول به‌مقدماتی که در محتوای درس ارائه شده پرداخته می‌شود تا دانش‌آموز با موضوعات درسی درگیر شود.

۲ سعی شود تمامی‌نکات فنی و ایمنی، همراه با دلایل آن درکارگاه بررسی شده و از هنرجویان خواسته شود در مباحث کلاسی و تمرینات کارگاهی شرکت کرده تا بتوانند این نکات را به خوبی فراگرفته و برای همیشه به‌خاطر بسپارند.

۳ توصیه می‌گردد برای تدریس بهتر این فصل هنرآموز از روش تدریس **کلاس معکوس** استفاده کند. یعنی از هنرجویان بخواهد مطالب را در منزل از طریق اینترنت یا کتاب‌های مرتبط با سامانه‌های پیش‌برنده کشتی، مطالعه و یاد گرفته و در کلاس و کارگاه با هدایت هنرآموز تمرینات را پاسخ دهد.

۴ پیشنهاد می‌گردد هنرآموز برای توضیحات تکمیلی مطالب فصل، موارد ذکرشده در بخش‌های **دانش افزایی** را مورد توجه قرار داده و هنگام آموزش آنها را به‌کار گیرد.

۵ توصیه می‌گردد با هدف **تقویت مهارت‌های خوانداری و نوشتاری هنرجویان** و نیز **درک بهتر مطالب**، ازآنان خواسته شود تحقیق و گزارشات خود را به‌صورت دست‌نویس در روی کاغذ نوشته و ارائه دهند. و تاجای ممکن از کپی‌کردن مطالب اینترنت به‌صورت تایپ شده، آماده وخام خودداری شود.

۶ فعالیت‌های از قبیل «فکر کنید»، «بحث کنید»، و... برای فعال کردن هنرجویان و به‌کارگیری اطلاعات، دانسته‌ها و تجربیات آنان است. سعی کنید این فعالیت‌ها به‌دقت اجرا شود و در پایان هرفعالیت، یک بحث کوتاه تکمیلی داشته باشید.

۷ از هنرجویان خواسته شود تمامی‌فعالیت‌های کارگاهی را انجام دهد.

سؤال‌های پیشنهادی

۱ منظور از پیش‌برنده کشتی چیست؟
۲ انواع پیش برنده‌ها در کشتی‌ها کدام‌اند؟
۳ میزان افت راندمان در پیشرانه کشتی به چه‌میزان است؟
۴ متداول‌ترین پیش‌برنده در کشتی‌های تجاری چیست؟
۵ نوع پیش برنده چه تأثیری بر روی ساختمان پاشنه کشتی دارد؟

نگهداری و تعمیر سامانه‌های پش برنده

زمان آموزش	جمع : ۲۰ ساعت

اهداف جزئی واحد یادگیری:

ـ شایستگی‌های فنی:

۱ انواع پیش‌برنده را بشناسد.
۲ هندسه پروانه را بشناسد.
۳ تفاوت انواع پروانه‌ها را بداند.
۴ روش نگهداری و تعمیر پیش برنده‌ها را بداند و اجرا کند.

ـ شایستگی های غیر فنی

در محیط کارگاه و کلاس، رعایت نظم و ترتیب و نظافت‌کاری، کارگروهی، مسئولیت‌پذیری، توجه به محیط زیست و اخلاق حرفه‌ای را یاد بگیرد.

دانش‌افزایی

انواع دستگاه‌های پیش‌برنده در کشتی‌ها

سیستم رانش کشتی بخشی از مهندسی دریایی است که به طراحی یا انتخاب تجهیزات و ماشین‌آلات موتورخانه می‌پردازد. نقش اصلی این نیروگاه تولید نیروی کافی برای غلبه بر نیروی مقاومت وارد بر کشتی و تولید نیروی الکتریکی موردنیاز برای مصارف مختلف کشتی است (روشنایی کنترل سیستم‌ها و پمپ‌ها و تجهیزات دریانوردی و...).

سیستم رانش کشتی شامل سه بخش است:

سسیتم نیروی محرکه (موتور)

سیستم انتقال قدرت

سیستم جلوبرنده

در بحث سیستم رانش دو نیروی اصلی مطرح است. یکی نیروی مقاومت که نیروی مقاومت آب در برابر حرکت کشتی است و دیگری نیروی تر است که نیروی جلوبرنده کشتی است که توسط پروانه تولید می‌شود.
به‌طور خلاصه می‌توان انواع نیروی محرکه کشتی را به ۳ دسته کلی تقسیم کرد
نیروی محرکه انسانی
نیروی محرکه بادی
نیروی محرکه مکانیکی

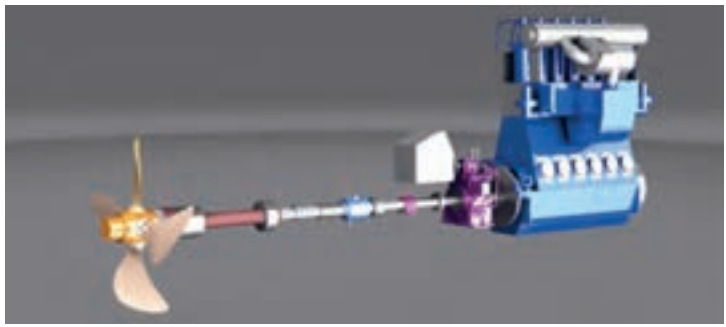
سیستم انتقال قدرت: سیستم انتقال قدرت بین بخش تولیدکننده نیروی محرکه و بخش جلوبرنده قرار دارد و وظیفه اصلی آن تبدیل و یا انتقال انرژی مکانیکی است. سیستم انتقال قدرت گشتاور تولید شده توسط بخش مولد نیروی محرکه را به پروانه و نیروی تراست (جلوبرنده) تولید شده توسط پروانه را به بدنه انتقال می‌دهد.

معرفی فناوری محور سیستم رانش: برای حرکت کشتی باید نیرویی به‌کشتی وارد شود که بر نیروی مقاومت کشتی غلبه کند. این نیرو، نیروی تراست نامیده می‌شود. نیروی تراست توسط سیستم رانش کشتی تولید می‌شود. ویژگی‌های یک سیستم رانش مناسب به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

۱ بازدهی بالا (کمترین مصرف انرژی و تولید بیشترین نیروی تراست).
۲ قابلیت ساخت، نصب، نگهداری و تعمیرات آسان
۳ هزینه پایین
۴ جانمایی آسان در کشتی

اجزای سیستم رانش کشتی به صورت زیر است:

- نیروی محرکه اصلی
- سیستم انتقال قدرت
- رانش‌دهنده



اجزای سیستم رانش کشتی

نیروی محرکه اصلی برای حرکت کشتی می‌تواند از روش‌های زیر تأمین شود:

ـ موتور دیزل(Diesel engine):

موتوری است که با احتراق سوخت انرژی تولید می‌کند. که انواع موتور دیزل به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

۱ موتورهای دور پایین (کمتر از ۲۵۰ دور در دقیقه)

۲ موتورهای دور متوسط (بین ۲۴۰ تا ۹۶۰ دور در دقیقه)

۳ موتورهای دور بالا (بیشتر از ۹۶۰ دور در دقیقه)

انواع موتورهای دیزل برحسب سیکل کاری هم به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

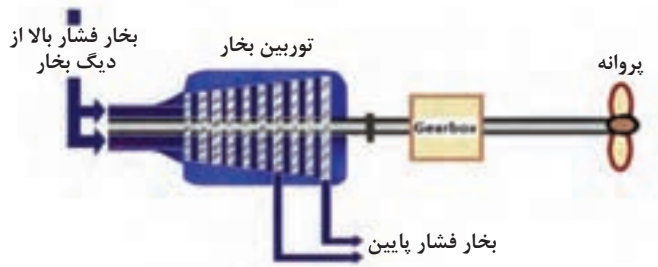
۱ موتورهای دو زمانه

۲ موتورهای چهار زمانه

تصاویری از موتورهای دیزل

ـ توربین بخار

در این نوع از توربین‌ها، بخار آب با فشار بالا وارد یک سری از پره‌ها می‌شود و باعث چرخیدن پره‌ها و شفت متصل به آنها می‌گردد. محور دور خروجی توربین را به گیربکس منتقل کرده و گیربکس دور مورد نیاز پروانه کشتی را تولید می‌کند

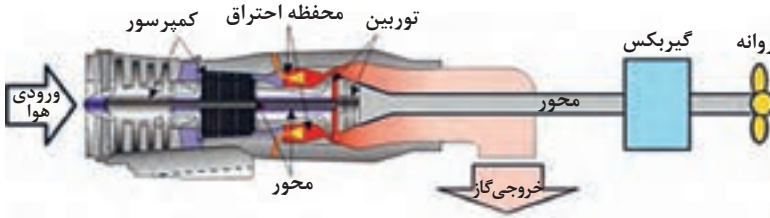


شماتیک عملکرد توربین بخار

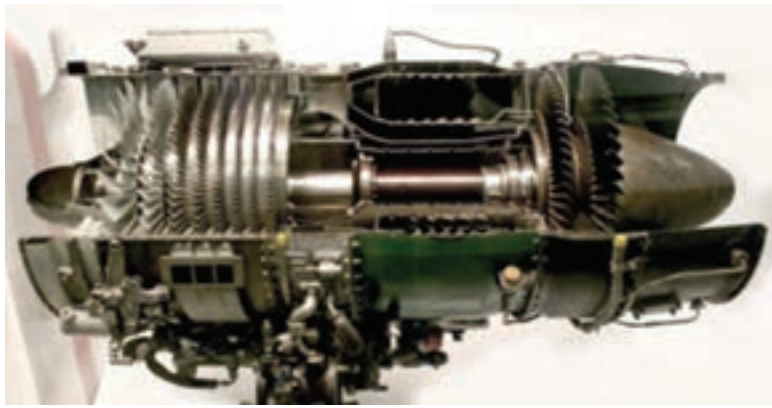
تصویری از توربین بخار

ـ توربین گاز:

در این نوع توربین‌ها، ابتدا هوا وارد کمپرسور می‌شود و فشار آن افزایش می‌یابد. در ادامه، هوا با فشار بالا وارد محفظه احتراق شده و در اثر تزریق گاز، احتراق صورت می‌گیرد. در اثر احتراق، گازهای داغ با فشار و سرعت بالا تولید و وارد توربین می‌شود. این کار باعث چرخش توربین و محور آن می‌شود. این محور به گیربکس متصل است و گیربکس دور مورد نیاز پروانه را تولید می‌کند



تصویر توربین گاز و شماتیکی از عملکرد آن



تصویری از توربین بخار

اگر توربین گاز را با توربین بخار و موتور دیزل مقایسه کنیم به تفاوت‌های زیر دست پیدا می‌کنیم:

مزایا:

نسبت قدرت به وزن بالا
سرعت بالاتر
اندازه کوچک‌تر.
اجزای متحرک کمتر و در نتیجه ارتعاشات کمتر و نیاز کمتر به روان‌کاری.

معایب:

- قیمت بالا
- راندمان کمتر
- زمان شروع به‌کار طولانی نسبت به موتور دیزل
- زمان پاسخ‌دهی طولانی در زمان تغییر دور.

سیستم انتقال قدرت: سیستم انتقال قدرت از شفت‌ها، جعبه‌دنده (گیربکس) و یاتاقان‌هایی تشکیل شده است که قدرت را از نیروی محرکه اصلی به رانش دهنده (به‌عنوان مثال پروانه) انتقال می‌دهد.

شماتیکی از سیستم انتقال قدرت در سیستک پیش‌رانش کشتی

پیش‌برنده‌ها:

به‌طور کلی فناوری پیش‌برنده‌های دریایی جهت ایجاد نیروی رانش به‌منظور غلبه بر مقاومت شناور و حرکت در آب استفاده می‌شوند. پیش‌برنده یکی از مهم‌ترین اجزای متحرک‌های دریایی است و در تمامی‌دوره‌ها همواره سعی در جهت ارتقای آن از نظر قدرت رانش قابل تأمین و بازده شده است. قابلیت‌های مختلفی از شناورها در طی عملیات در ارتقای سیستم‌های پیش‌برنده تأثیرگذار بوده‌اند. این پارامترها عبارت‌اند

از سرعت، مانور، عملکرد هیدرودینامیکی، بهینه‌سازی آکوستیکی و عملکرد سازه‌ای که جهت حصول این توانایی‌ها بهینه‌سازی پیش‌برنده کشتی امری ضروری است.
از انواع فناوری‌های مورد استفاده در پیش‌برنده‌های دریایی می‌توان به پروانه با گام ثابت، پروانه با گام قابل کنترل، پروانه‌های معکوس گرد، پروانه‌های همپوشان، پروانه‌های نیمه مغروق، پروانه‌های داکت دار، پروانه‌های غلاف‌دار، محرکه جت بخار، محرکه الکتریکی ابررسانا، پمپ جت و واتر جت اشاره کرد. شکل صفحه قبل نمونه‌ای از پروانه با گام ثابت را نشان می‌دهد. در این نوع پروانه‌ها، زاویه‌بین پره و هاب و وضعیت پره نسبت به هاب ثابت است. این پروانه‌ها به روش یکپارچه و چند مرحله ساخته می‌شوند پروانه با گام قابل کنترل نشان داده شده است. در این پروانه‌ها، بسته به مأموریت مورد نظر شناور و براساس شرایط مختلف، گام پروانه قابل تغییر بوده و مانور و عملکرد هیدرودینامیکی شناور را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

رانش دهنده‌ها

توان گرفته شده از محرکه اصلی را به نیروی تراست کشتی تبدیل می‌کنند. انواع رانش دهنده‌ها در کشتی به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

ـ سیستم رانش پروانه

ـ سیستم پروانه ثابت

این پروانه‌ها از چند پره تشکیل شده است که برروی یک توپی نصب می‌شوند. این نوع پروانه بیشترین کاربرد را در کشتی‌ها دارد. پروانه‌های گام ثابت می‌تواند دارای دو تا هفت پره (براساس فرکانس ارتعاشی بدنه، سازه و ماشین‌آلات و تعداد سیلندر موتور) باشند. کاربردهای شناورها بسته به تعداد پره ها از قرار زیر است:

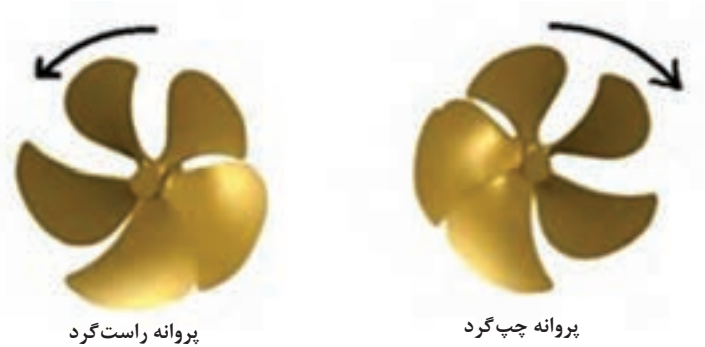
- **دو پره:** شناورهای تفریحی و قایق‌های موتوری کوچک.
- **سه پره:** موتورهای سرعت بالا و متوسط (ماهیگیری، یدک‌کش، قایق موتوری)
- **چهار پره و بالاتر:** شناورهای تجاری و تانکرهای بزرگ.

تصویری از پروانه کشتی

ـ پروانه‌های چپ‌گرد و راست‌گرد

اگر جهت چرخش پروانه ساعت‌گرد باشد: راست‌گرد

اگر جهت چرخش پروانه پادساعت‌گرد باشد: چپ‌گرد



پروانه راست‌گرد　　پروانه چپ‌گرد

پروانه‌های چپ گرد و راست گرد

بیش از ۹۰ درصد شناورهای تک پروانه از پروانه‌های راست‌گرد استفاده می‌کنند.

ـ پروانه های با گام متغیر (CCP): در این نوع پروانه برخلاف پروانه با گام ثابت، پره‌ها بر روی توپی ثابت نیستند و قابلیت تغییر جهت را دارند. این تغییر جهت باعث تغییر گام پروانه می‌شود.

تصاویری از پروانه‌های گام متغیر

مزایای CPP نسبت به پروانه‌های گام ثابت به شرح زیر است:

۱ بازدهی بیشتر و در نتیجه کاهش مصرف سوخت.

۲ قابلیت مانور بهتر کشتی (قابلیت حرکت به عقب بدون نیاز به دور معکوس موتور).

۳ عدم نیاز به گیربکس (تغییر سرعت با تغییر گام پروانه).

معایب CPP نسبت به پروانه های گام ثابت به صورت زیر است:

۱ ساختمان نسبتاً پیچیده.

۲ بالا بودن هزینه ساخت.

۳ تعمیر و نگهداری بیشتر.

تعریف حالت Feathering در منابع به‌صورت زیر بیان شده است:

در شناورهایی که دارای چند پروانه می‌باشند، بعضی اوقات لازم است یکی از پروانه‌ها از دور خارج شود. در این‌حالت، تیغه‌های پروانه‌ها تقریباً در امتداد طول کشتی قرار می‌گیرند و درنتیجه مقاومت هیدرودینامیکی پروانه به‌حداقل می‌رسد.

تصویری از حالت feathering در پروانه ها

ـ پروانه‌های عکس چرخنده: این سیستم شامل دو پروانه می‌باشد که پشت سرهم بر روی یک شفت نصب می‌شوند.

- قطر پروانه عقبی (نزدیک به سکان) کوچک‌تر از پروانه جلویی می‌باشد.
- دارای دو شافت هم محور می‌باشد که پروانه جلو روی شافت بیرونی و پروانه عقب روی شافت داخلی نصب می‌شود. در این حالت سرعت دو پروانه می‌تواند متفاوت باشد.

مزایای پروانه های عکس چرخنده (CRP) به‌صورت زیر عنوان می‌شود:

- استفاده از انرژی جریان پروانه اول (افزایش بازدهی)
- خنثی شدن گشتاورهای وارد بر کشتی (مانور بهتر)
- کاهش بار بر روی سطح هر پره و افزایش راندمان

معایب:

- شافت پیچیده (عدم کاربرد درشتی‌های بزرگ با شافت طولانی).
- خطر کاویتاسیون در پروانه دوم.

– پروانه‌های متداخل

- دو پروانه درکنار هم و با یک فاصله طولی نصب می‌شوند.
- فاصله بین دو شافت: ۰/۸D – ۰/۵D

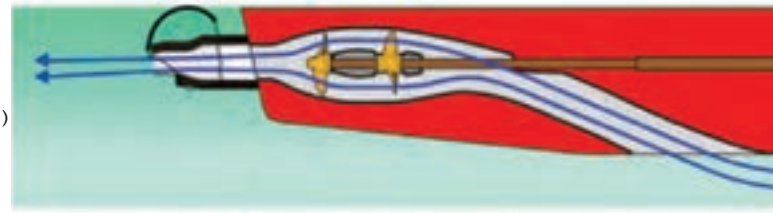
مزیت اصلی: استفاده از انرژی میدان و یک افزایش راندمان

- جهت چرخش آنها به‌سمت بیرون می‌باشد. یعنی پروانه سمت راست ساعت‌گرد و پروانه سمت چپ پادساعت‌گرد می‌چرخد.

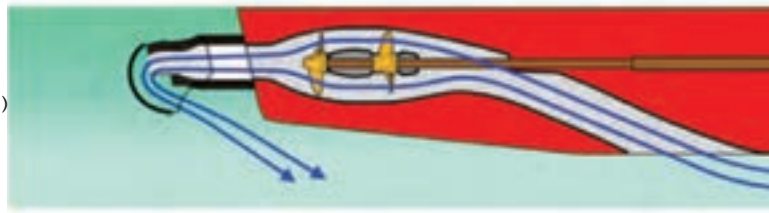
واتر جت :(Water jet)

واترجت از سیستم‌های مدرن رانش می‌باشد که می‌تواند در شناورهای مسافربری یا شناورهای تندرو استفاده شود. اصول کار واتر جت به این صورت است که این سیستم آب دریا را از مدخل ورودی (inlet) مکیده و توسط پمپ به آن سرعت می‌دهد و از قسمت خروجی به بیرون پرتاب می‌کند. در نتیجه نیرویی به سمت جلو به شناور وارد می‌شود.

(۱)



(۲)



تصاویری از طرز کار واترجت‌ها

در این حالت نیروی محرکه می‌تواند موتور الکتریکی یا توربین گاز باشد.
در محل خروجی آب یک دهانه با قابلیت تغییر زاویه تعبیه شده است که می‌تواند باعث تغییر زاویه آب خروجی از نازل شود که در واقع وظیفه سکان و مانورپذیری شناور را انجام می‌دهد. خروجی واترجت معمولاً نزدیک سطح آب قرار دارد. سیستم واترجت یک سیستم رانش با قدرت مانور بسیار بالا می‌باشد.

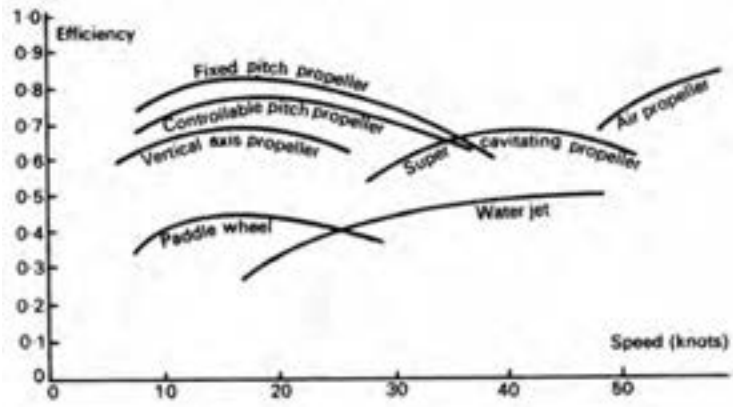
سیستم رانش آزیموت:

این سیستم شامل چند پروانه (۴ یا بیشتر) در زیر بدنه می‌باشد که این پروانه ها می‌توانند به صورت ۳۶۰ درجه بچرخند.

تصویری از سیستم رانش آزیموت

مقایسه انواع سامانه‌های رانش

چنانچه بخواهیم به‌صورت ساده یک معیار انتخاب سامانه پیش‌برنده 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.



انتخاب نوع سیستم رانش موردنیاز برحسب سرعت شناور

کار در کلاس

با کمک هنرآموز خود، چگونگی استفاده از سامانه‌های رانش را موردبررسی دقیق قرار دهید.

پاسخ:

با توجه به نمودار بالا می‌توان چنین بیان نمود که شناورهای قدیمی‌که دارای سرعت پایینی بودند از پیش‌برنده نوع چرخ پدالی (Paddle Wheel) بهره می‌بردند. برای شناورهایی که سرعتی در حدود ۱۰ تا ۳۵ پره دریایی می‌باشند بایستی از پیش برنده پروانه‌ای بهره برد. البته توجه داشت که پروانه گام ثابت دارای بازدهی بیشتری نسبت به پروانه گام متغیر و پروانه محور عمودی می‌باشند.

برای قایق‌های تندرو و شناورهای نظامی و مسافری تندرو که سرعتی بین ۳۰ تا ۵۰ گره دریایی می‌باشند می‌توان از سیستم رانش واترجت و پروانه‌های سوپر کامیتاسیونی استفاده نمود. البته در این بازه سرعتی میزان بازده سیستم رانش سوپر کاویتاسیون دارای بازدهی بالاتری می‌باشند. البته باید توجه داشت که این نوع پیش‌برنده و واتر جت بازدهی کمتری از سیستم پروانه‌ای و به‌خصوص پروانه گام ثابت دارند.

برای هوا ناوها و اثر سطحی نیز که دارای سرعت بالای ۵۰ گره دریایی بهترین سیستم رانش ملخی می‌باشد. البته امروزه از پروانه‌های نیمه مغروق نیز در این بازه سرعتی بسیار استفاده می‌شود.

سامانه رانش پروانه‌ای:

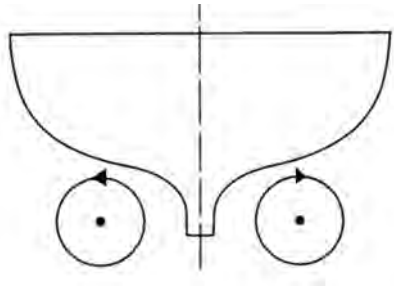
پروانه، برای ایجاد تراست موردنیاز جهت غلبه بر مقاومت شناورها استفاده می‌شود که در آن حرکت چرخشی، به نیروی پیش‌رانش تراست تبدیل می‌شود. به‌طورکلی پروانه‌ها نیروی رانش‌شان را براساس قانون سوم نیوتن و اصل برنولی و به‌وسیله اختلاف فشار بین جلو و عقب پره‌ها به وجود می‌آورند.

اصول عملکرد پروانه‌های دریایی

اساساً، پروانه‌های چرخشی ممکن است به‌عنوان قسمتی از یک سطح حلزونی درنظر گرفته شوند که می‌چرخند و چرخش آنها باعث رانش وسیله روبه‌جلو و آب رو به عقب می‌شود. برخی پروانه‌ها، پره‌های قابل‌کنترل دارند. آنها را پروانه‌های با گام قابل‌کنترل گوییم؛ اما اکثر پروانه‌ها، پره‌های ثابتی دارند عموماً پروانه‌های شناورهای زیرسطحی از نوع گام ثابت هستند و در این تحقیق نیز بررسی‌ها بر روی این نوع پروانه‌ها انجام می‌پذیرد.

جهت چرخش پروانه‌ها برای ایجاد تراست روبه‌جلو می‌تواند در هرجهت دلخواه طراحی شوند. اگر در نگاه از پشت کشتی، آنها در جهت عقربه‌های ساعت بچرخند، پروانه‌های

راست‌گرد نامیده می‌شوند. اگر درخلاف جهت عقربه‌های ساعت بچرخند، پروانه‌های چپ‌گرد نامیده می‌شوند. معمولاً در یک وسیله دو پروانه‌ای، پروانهٔ سمت راست وسیله راست‌گرد و پروانهٔ سمت چپ چپ‌گرد است. یعنی آنها مانند شکل زیر می‌چرخند. گفته می‌شود که آنها برون‌گرد هستند.



چرخش معمول پروانه‌ها در یک کشتی دو پروانه‌ای. نمای شناور از پشت.

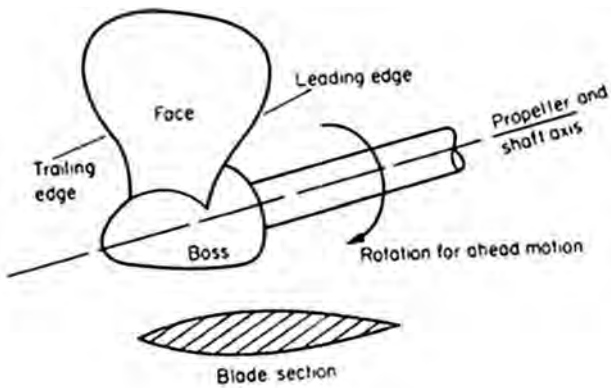
در توجه به هر پرهٔ پروانه، روی پره، سطحی است که در نگاه از پشت دیده می‌شود یعنی وقتی تراست روبه‌جلو تولید می‌شود آن سطح رانش است. سطح دیگر پره پشت آن است.

لبهٔ ورودی پره لبه‌ای است که هنگام تولید تراست روبه‌جلو در آب فرو می‌رود و لبهٔ دیگر، لبهٔ خروجی نامیده می‌شود. با ثابت ماندن بقیهٔ چیزها، تراست ایجاد شده توسط پروانه مستقیماً با مساحت سطح پره صرف‌نظر از نافی تغییر می‌کند. این مساحت می‌تواند به چند روش بیان شود.

سطح پرهٔ گسترش یافتهٔ پروانه: مجموع مساحت‌های روی تمام پره‌هاست.

سطح تصویر شده: تصویر پره‌هاست در صفحهٔ نرمال بر محور پروانه یعنی محور شفت.

سطح دیسک: سطح دایره‌ای است که از نوک پره‌ها عبور کرده و بر محور پروانه نرمال است.



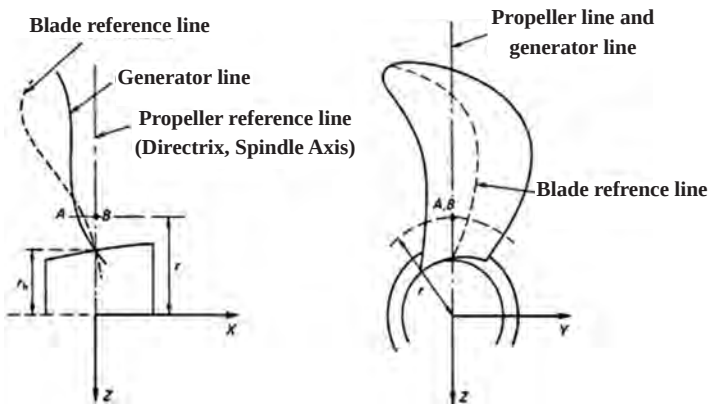
اصطلاحات به‌کاررفته در پروانه

امروزه در کارهای بدون بعد، نسبت سطح پره استفاده می‌شود. این نسبت سطح گسترش‌یافتهٔ پره‌ها به سطح دیسک است.
اگر تغییرات طول نسبت به شعاع را داشته باشیم می‌توانیم با انتگرال‌گیری سطح پرهٔ واقعی را به‌صورت تحلیلی به‌دست آوریم. این سطح به‌سطح گسترش‌یافته معروف است.
در برخی کارهای ابتدایی، مفهوم نسبت سطح دیسک به‌کار گرفته می‌شد که سطح گسترش‌یافته به‌دلیل وجود نافی افزایش می‌یافت. فرود نشان داد که اختلاف سطح به‌دلیل وجود نافی حدود ۲۵ درصد سطح گسترش‌یافته است اما گاون از ۱۲/۵ درصد استفاده کرد.
یک سطح مارپیچ واقعی از چرخش یک خط حول یک محور نرمال بر خود و پیشروی در جهت آن محور با سرعت ثابت ایجاد می‌شود. فاصلهٔ پیشروی خط در یک دور کامل، گام نامیده می‌شود. برای پروانه‌های ساده، گام در تمام نقاط روی پروانه ثابت است. این گام، گام روی پره پروانه نامیده می‌شود و نسبت آن به قطر پروانه سنجیده می‌شود.
فاصله پیشروی پروانه در یک دور چرخش بدون تولید تراست، گام محاسباتی (تئوری) نامیده می‌شود. در عمل این گام بزرگ‌تر از گام هندسی پروانه است. هنگامی‌که تراست تولید می‌شود، پیشروی پروانه به ازای هر دور چرخش، کمتر از گام محاسباتی است. این تفاوت، لغزش نامیده می‌شود.
ضرورت پژوهش موردنظر را در حوزه عملکرد هیدرودینامیکی برای پروانه‌های کلاس زیرسطحی می‌توان از چند دیدگاه مختلف بررسی نمود. از آنجایی‌که رانش زیرسطحی مبتنی بر ذخیره انرژی باتری‌های شناور است؛ با توجه به محدودیت منابع انرژی رانشی شناور، بایستی پروانه به‌عنوان مهم‌ترین المان رانشی در شرایط بهینه باشد تا دستیابی به‌شرایط برد و عملیات شناور حصول یابد. در این تحقیق نیز فاکتورهای هندسی تأثیرگذار برروی راندمان هیدرودینامیکی پروانه مورد ارزیابی قرارگرفته است و رسیدن به شرایط بهینه برای پروانه منوط به تحلیل این فاکتورها است.

پروانه‌ها، اجسامی بسیار پیچیده و مارپیچی هستند، که برای درک بهتر عملکرد هیدرودینامیکی پروانه چه ازنظر تجربی و چه ازنظر تئوری، فهم و یادگیری هندسه پروانه و تعاریف مرتبط با آن امری مهم و ضروری به‌شمار می‌رود.
برای ارائه اطلاعات هندسی پروانه‌ها، هریک از سازندگان پروانه‌ها از راه مخصوص استفاده می‌کنند، از جمله این راه‌ها می‌توان به استفاده از آزمایشگاه و رایانه و... اشاره کرد. تفاوت اصلی این روش‌ها در جزئیات پروانه است و مفاهیم و تعاریف کلی هندسه پروانه در تمامی آنها یکسان است.

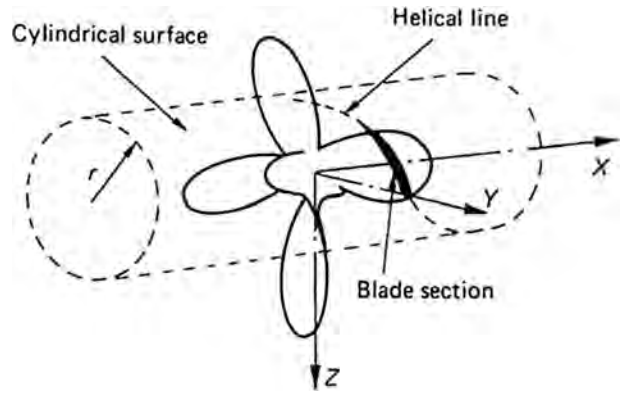
خطوط مرجع پروانه

تیغه پروانه با یک خط نرمالی تعریف می‌شود که «خط مرجع پروانه» نامیده می‌شود. در این حالت در پروانه‌های با گام متغیر گزینه spindle axis با خط مرجع پروانه یکسان می‌آید. خط مرجع پروانه، خطی است که تیغه پروانه را به دو قسمت مساوی تقسیم می‌کنند. در شکل زیرمی‌توان، ترم spindle axis و خط مرجع را نسبت به هم مشاهده کرد. این خطوط، خطوط تکرارشونده می‌باشند و به‌طور ضروری در دستگاه مختصات کارترین که در قسمت قبل توضیح داده شد، قابل‌تعریف نمی‌باشند.



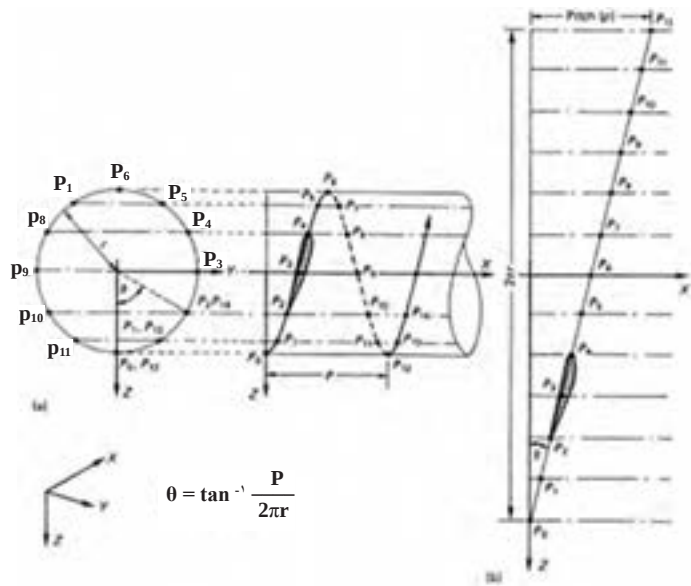
خطوط مرجع پره

اگر یکی از تیغه‌های پروانه را برش بزنیم، مقطع ایروفویل به وجود می‌آید. در اثر گردش پروانه حول شفت، مقطع ایروفویل صفحه‌ای را می‌سازد که به آن صفحه سیلندری گفته می‌شود. این مقطع ایروفویل در اثر گردش پروانه و حرکت کشتی روی یک مسیر مارپیچی حرکت می‌کند که به آن helical line گویند و این خطوط مارپیچی باعث تولید صفحه سیلندری می‌شوند. در شکل صفحه بعد سیلندری و helical line نمایش داده‌شده است.



تعریف صفحه سیلندری پروانه

گام پروانه: نقطه‌ای فرضی p را روی سطح سیلندری به شعاع r را در نظر می‌گیریم. این نقطه همان نقطه ابتدایی p۰ است که در شکل زیر نمایش داده‌شده است. با گردش پروانه، نقطه p۰ مسیر مارپیچی خود را روی سطح سیلندری طی می‌کند. معادله مسیر حرکت نقطه p و تولید نقاط p۰، p۱، p۲ در زیر آمده است.



معرفی گام پروانه

$$\begin{cases} X = f(\varphi) \\ Y = r\sin(\varphi) \\ Z = r\cos(\varphi) \end{cases}$$

زاویه φ، زاویه دوران صفحه $y-z$ در شعاع r نسبت به محور oz در مختصات مرجع عمومی‌است. زمانی که زاویه φ برابر با 360° یا 2π رادیان شود، یعنی پروانه یک دور کامل را بزند، نقطه p از $p0$ تا $p12$ را طی می‌کند. که این نقاط در مسیر مارپیچی نمایش داده‌شده است. حال فاصله بین $p0$ تا $p12$ در امتداد محور x را گام پروانه می‌نامیم و با p نمایش می‌دهیم. نقاط $p0$ و $p12$ نقاطی‌اند که صفحه xz را قطع کرده‌اند، یعنی زمانی که پروانه یک دور کامل را بزند، نقطه p صفحه xz را در سطح سیلندری، دو ب قطع می‌کند.

اگر سطح سیلندری را باز کنیم، به شکل صفحه قبل درمی‌آید که مکان هندسی نقاط p در امتداد خط راست را نمایش داده که در اثر گردش 2π رادیان پروانه ایجادشده است.

سطح تصویر شده مسیر مارپیچی، در اثر گردش 2π رادیان امتداد خط راست برابر با $2\pi r$ و مقدار فاصله‌ای که از یک نقطه در اثر گردش یک دور کامل پروانه به سمت جلو حرکت می‌کند در راستای محور ox و به فاصله 2π، برابر با p است و بر این زاویه مارپیچی و یا زاویه گام پروانه طبق رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$\theta = tg^{-1}(\frac{p}{2\pi r})$$

بدین ترتیب، p را گام پروانه و θ را زاویه گام پروانه می‌نامند.

بنابراین معادله زیر که معادله مسیر مارپیچی بود را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

$$\begin{cases} X = r\varphi tg\theta \\ Y = r\sin(\varphi) \\ Z = r\cos(\varphi) \end{cases}$$

چندین تعریف برای گام پروانه وجود دارد که برای آنالیز پروانه مهم است. اگرچه تعریف گام پروانه در فنّاوری پروانه (پیش برنده) به مسیری مارپیچی روی سطح سیلندری برمی‌گردد، ولی در طراحی چرخ‌دنده، گام به فاصله بین دندانه‌ها اشاره می‌کند.

ترم‌های مهم گام پروانه به صورت زیر می‌باشند:

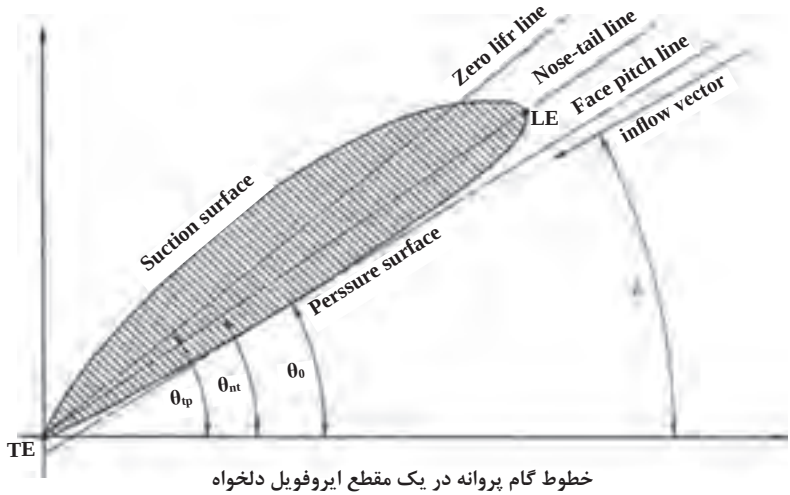
۱ گام دماغه-دم

۲ گام صورت

۳ گام مؤثر

۴ گام هیدرودینامیکی

اختلاف بین این ترم‌ها بسیار در آنالیز پروانه مهم است.
شکل زیرخطوط گام پروانه را در یک مقطع ایروفویل دلخواه نمایش می‌دهد.



خطوط گام پروانه در یک مقطع ایروفویل دلخواه

خط گام دماغه-دم (nose – tail) امروزه بیشتر مدنظر سازندگان و طراحان پروانه است و زاویه گام را برای این خط با θ_{nt} نمایش می‌دهند.
این خط اهمیت هیدرودینامیکی ویژه‌ای دارد و خطی است که نوک مقطع را به انتهای آن، به‌طور مستقیم وصل می‌کند.
گام رخ (Face Pitch)، بیشتر برای پروانه‌های بزرگ‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ اما در طراحی‌های قدیمی‌تر از این خط استفاده می‌شده است و امروزه گاهی در طراحی پروانه‌های کوچک نیز از این خط مورداستفاده قرار می‌گیرد. به‌عنوان‌مثال سری پروانه‌های B Wageningen از این خط گام به‌عنوان یک استاندارد برای بیان خواص شرایط Open water استفاده می‌کند. Face pitch، هیچ اهمیت هیدرودینامیکی ندارد؛ اما یک پارامتری است که سازندگان و طراحان پروانه‌ها از آن برای معرفی عملکرد پروانه استفاده می‌کنند. خط گام Face در واقع خطی است که بر سطح فشار مماس است و این خط یک خط یکتا و مشخص نیست و اصولاً خطوط زیادی را می‌توان سطح فشار مماس کرد. لذا خط گام Face واحد نیست.

تحقیق کنید

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

پاسخ:

گام دماغه ـ دنباله: گام متأثر از زاویه بین خط افقی و خط مابین دماغه ـ دنباله در شکل صفحه قبل بوده و به‌عنوان مرجع اصلی سازندگان برای تعریف پره به‌کار می‌رود.

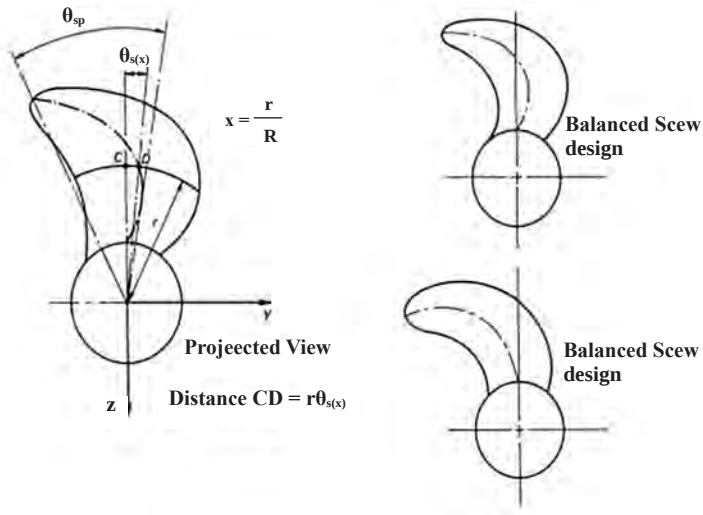
گام رخ: گام متأثر از حرکت رخ پره

گام مؤثر : گام ترکیب گام دماغه ـ دنباله و گام متأثر از زاویه لیفت صفر

گام هیدرودینامیکی: گام متأثر از زاویه‌ای که جریان سیال در آن به مقطع پروانه برخورد می‌کند

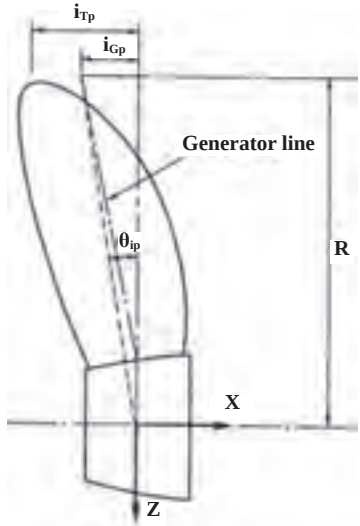
زاویه ریک و اسکیو پروانه: زاویه ریک و اسکیو پروانه به‌واسطه مارپیچی بودن پروانه در صفحات متفاوت تعریف می‌شود و در هرکدام از این صفحات میزان این زوایا متغیر است.

شکل زیر، اختلاف زاویه بین خط مماس بر mid- chord در مرکز هاب و خط هادیی که در نقاط مختلف mid- chord و مرکز هاب قرار دارد را نمایش می‌دهد. بزرگترین زاویه اسکیو، بین خط مماس بر mid- chord و نوک تیغه در مرکز هاب، است.



عریف اسکیو

معمولاً پروانه‌ها به دو صورت balanced skew، Biased Skew می‌شوند. پروانه‌هایی که به‌صورت Balanced skew طراحی می‌شوند، خط مرکز شفت پروانه، chord_mid را حداقل در ۲ نقطه قطع می‌کند. ولی پروانه‌هایی که به‌صورت Biased skew طراحی می‌شوند، خط مرکزی شفت پروانه و ریشه (root) پروانه بر mid- chord مماس است. θ_{ip} و i_p در نوک تیغه پروانه مطابق روابط زیر به دست می‌آید و در شکل زیر نمایش داده‌شده است.



θ_{ip} و i_p در نوک تیغه پروانه

تحقیق کنید

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

پاسخ:

مقاطع پره گسترش یافته مورد استفاده در پره‌های پروانه معمولاً دو نوع تقسیم می‌شود: مقاطع Segmental و مقاطع Aerofoil

مقاطع Segmental دارای رخ تخت و پشت دایروی یا سهموی می‌باشند. در مقاطع ایرفویل رخ ممکن است تخت باشد و یا تخت نباشد. مهم‌ترین مقطع ایرفویل به مقاطع NACA می‌باشد.

کار در کلاس

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

پاسخ:

ردیف	نام انگلیسی	ترجمه فارسی
۱	Chord Length	طول کورد پره
۲	Camber Line	خط کمبر
۳	Camber	مقدار کمبر
۴	Thickness	ضخامت مقطع پره
۵	Nose-Tail Pitch	گام دماغه-دنباله
۶	Face Pitch	گام رخ
۷	Effective or Zero Lift pitch	گام موث
۸	Hydrodynamic Pitch	گام هیدرودینامیکی
۹	Thrust Force	نیروی پیش رانش
۱۰	Attack Angle	زاویه حمله
۱۱	No Skew	شلاقی صفر
۱۲	High Skew	شلاقی زیاد
۱۳	Medium Skew	شلاقی متوسط
۱۴	Low Skew	شلاقی کم

تحقیق کنید

انواع سطوح تعریف شده برای پروانه را به‌کمک ترسیم شکل با کمک هنرآموز خود تحقیق نمایید.

پاسخ

تعاریف سطوح پروانه

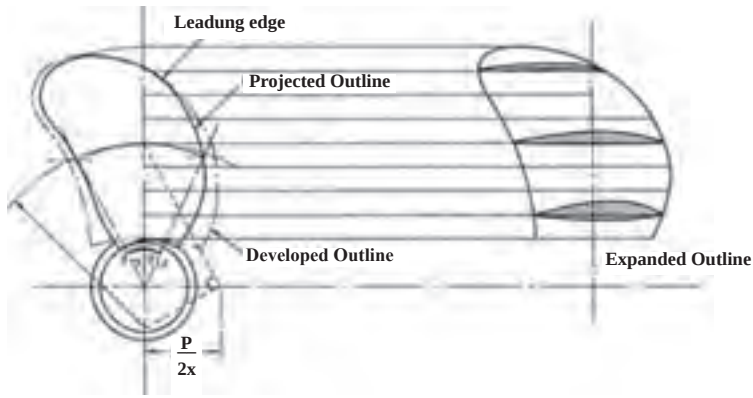
برای محاسبه ضخامت تیغه پروانه، مهم‌ترین محدودیتی که داریم، احتمال وقوع پدیده مخرب کاویتاسیون است.

بنابراین برای محاسبه ضخامت یک مقطع از پروانه با استفاده از محدودیت کاویتاسیون، خط جریانی کردن این مقطع به سمت سطوح تیغه پروانه، امری ضروری است.

چهار سطح اصلی رایج که در تشریح تیغه پروانه از آن استفاده می‌شود به‌قرار زیر است:

۱ سطح تصویر شده
۲ سطح توسعه‌یافته
۳ سطح گسترش‌یافته
۴ سطح جاروب شده

صفحه اصلی تصویر شده، نمایی از پروانه است که پروانه را در قسمت انتهای کشتی در راستای شفت مشاهده می‌کنیم. در واقع نمای پروانه در صفحه Y-Z است. در این نما مقاطع مارپیچی پروانه در زاویه گام مناسب خودشان تعریف شده‌اند؛ و مقاطع روی کمان‌های دایروی قرارگرفته که مرکز آنها محور شفت است. شکل زیراین نما را به‌همراه نمای سطح گسترش‌یافته و سطح توسعه‌یافته نمایش می‌دهد.



نمای پروانه در صفحه Y-Z به همراه نمای سطح گسترش‌یافته و سطح توسعه‌یافته

سطح تصویر شده که نمای پروانه از انتهای کشتی در راستای شفت پروانه است (صفحه Y-Z) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$A_P = Z\int_{rb}^{R}(\theta_{TE} - \theta_{LE})rdr$$

امروزه سطح تصویر شده کمتر مورد توجه قرار می‌گیرد، گرچه این سطح در سال‌های قبل، در فنّاوری طراحی پروانه بسیار مورد استفاده قرار می‌گرفت.
از سطح تصویر شده برای محاسبه نیروی تراست در واحد سطح و برای معین کردن حداقل سطح موردنیاز تیغه پروانه برای جلوگیری از پدیده مخرب کاویتاسیون استفاده می‌کنند. این نکته قابل‌ذکر است که سطح تصویر شده، در واقع همان سطحی است که از نمای بردار نیروی تراست یا شفت پروانه مشاهده می‌شود.
سطح توسعه‌یافته با سطح تصویر شده مرتبط است و سطحی است که براساس مارپیچی بودن پروانه رسم می‌شود؛ و با توجه به اینکه گام پروانه در طول تیغه ثابت نیست و گام در هر مقطع کاهش می‌یابد تا به صفر برسد، این مقاطع روی صفحه اریب قرار می‌گیرند. از این صفحه برای نمایش دادن طول واقعی کورد در هر مقطع و فرم حقیقی تیغه پروانه، استفاده می‌شود. سطح تصویر شده و سطح توسعه‌یافته دو نمایی‌اند که برای رسم پروانه به‌کار می‌روند. شکل صفحه قبل درواقع هر دو نمای یک تیغه از پروانه را به نمایش گذاشته است.
برای محاسبه سطح توسعه‌یافته لازم است که از روش‌های انتگرال‌گیری عددی استفاده کنیم؛ و طول کورد را در هر مقطع داشته باشیم تا بتوانیم منحنی پروفویل توسعه‌یافته را به‌دست آوریم.
برای این منظور، کافی است که از تخمین زیر استفاده کنیم و برای به‌دست آوردن A_D (سطح توسعه‌یافته)، آن را برابر A_E (سطح گسترش‌یافته) قرار دهیم.

$$A_D = A_E$$

در واقع دانستن این نکته که سطح گسترش‌یافته با سطح توسعه‌یافته تقریباً برابر است، ضروری است.
درگذشته، محققان زیادی روابطی را برای تخمین سطح توسعه‌یافته ارائه کرده‌اند که یکی از این روابط توسط Burrill برای پروانه بدون اسکیو (non – skewed) ارائه‌شده است.

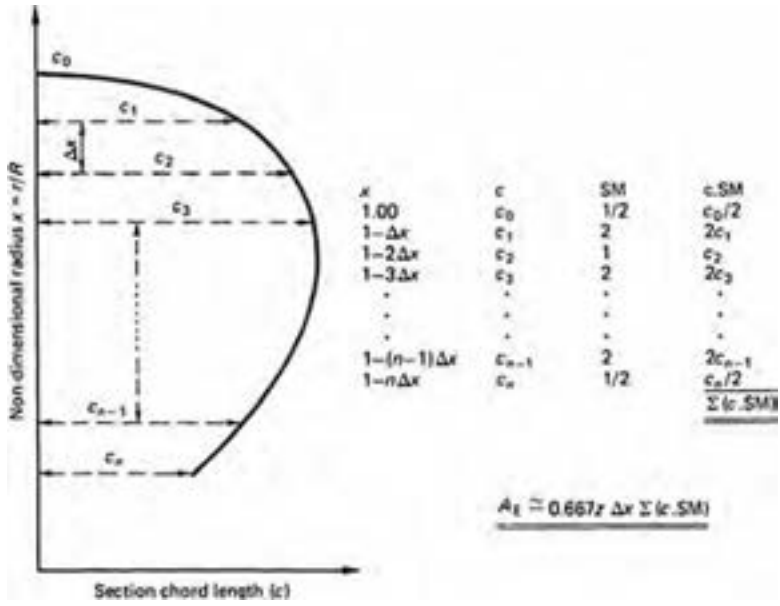
$$A_D \cong \frac{A_P}{(۱/۰۶۷ - ۰/۲۲۹P_iD)}$$

درحالت کلی، سطح توسعه‌یافته از سطح تصویر شده بزرگ‌تر است و مقدار کمی‌از سطح گسترش‌یافته کوچک‌تر است.

سطح گسترش‌یافته، درواقع سطحی است که هیچ دید هندسی درستی را نمی‌توان برای آن متصور شد.
درواقع سطح گسترش‌یافته، برای نمایش صحیح طول کورد در هر مقطع هست و برخلاف سطح توسعه‌یافته، برای نمایش مارپیچی بودن پروانه نیست.
لذا دانستن این نکته که گام پروانه در شعاع‌های بالاتر، کاهش می‌یابد و به صفر می‌رسد در رسم سطح گسترش‌یافته (A_E) برخلاف سطح توسعه‌یافته (A_D) هیچ اهمیتی ندارد.
این نما برای نمایش دادن مقطع عرضی هر شعاع مورداستفاده قرار می‌گیرد. طول کورد واقعی هر مقطع بدون درنظر گرفتن مارپیچی بودن پروانه روی آن منظور می‌شود. سطح گسترش‌یافته از سطوحی است که محاسبه آن بسیار راحت است. به‌همین دلیل است که معمولاً این سطح زیاد مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ و به‌صورت رابطه زیر بیان می‌شود.

$$A_E = Z\int_{rb}^{R} C\ dr$$

به‌عبارت‌دیگر برای محاسبه این سطح، کافی است که از روش انتگرال‌گیری سیمپسون با ۱۱ مقطع، همانطور که در شکل زیرنمایش داده شده است، استفاده کنیم.



روش انتگرال‌گیری سیمپسون

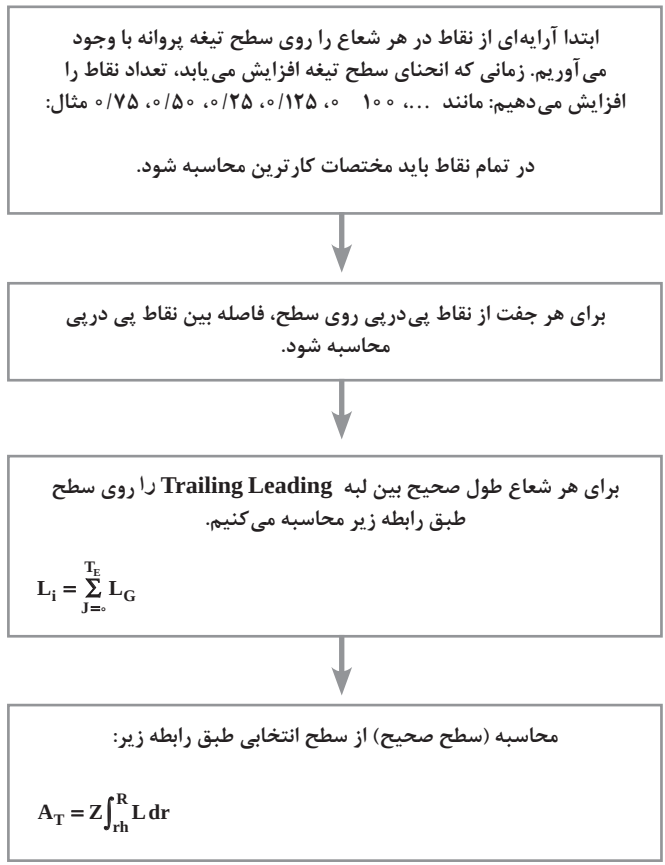
نسبت سطوح تیغه پروانه به‌قرار زیر که $A_{\circ} = \frac{\pi D^{2}}{4}$ است.

$$\left.\begin{aligned}\frac{A_P}{A_{\circ}} &= \frac{4A_P}{nD^{2}}\\ \frac{A_D}{A_{\circ}} &= \frac{4A_D}{nD^{2}}\\ \frac{A_E}{A_{\circ}} &= \frac{4A_E}{nD^{2}}\end{aligned}\right\}$$

با ارائه یک مثال، اختلاف بین سطوح گسترش‌یافته (A_E) و توسعه‌یافته (A_D) تصویر شده (A_P) که در شکل صفحه قبل نمایش داده شده است، مشخص می‌شود. در جدول زیر این مقادیر برای پروانه با ۴ تیغه و نسبت گام ثابت محاسبه‌شده است.
جدول مقادیر سطوح گسترش‌یافته (A_E) و توسعه‌یافته (A_D) تصویر شده (A_P) برای پروانه با ۴ تیغه و نسبت گام ثابت.

	Projected Area	Developed Area	Expanded Area
Area Ratio A/A0	0.480	0.574	0.582

برای محاسبه هرسه سطح مورد بحث فوق، ضخامت تیغه پروانه را درنظر نگرفتیم. برای محاسبه صحیح و دقیق سطح پروانه باید ضخامت آن را نیز درنظر گرفت، یعنی سطوح مکش و فشار را منظور کنیم. که این سطوح مکش و فشار غیر از صفحه تخت برای سطوح پروانه که دارای مقاطع عرضی فویل شکل‌اند متفاوت و متغیر است.
برای محاسبه صحیح مساحت سطح یک تیغه از پروانه باید الگوریتم شکل صفحه قبل را اجرا کنیم. این الگوریتم براساس فاصله خطی بین نقاط متوالی روی سطح است. سطح جاروب شده پروانه برای فواصل پروانه از کشتی و سطح آب و کف دریا و... مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای حالت‌هایی که پروانه دارای زاویه اسکیو زیاد است، استفاده از سطح جاروب شده بسیار اهمیت پیدا می‌کند.
اگر این موضوع به‌دقت کنترل نشود، ممکن است منجر به کج شدن تیغه پروانه و تداخل پروانه با فواصلی که پروانه باید از کشتی و سطح آب و کف دریا و... داشته باشد، بشود و درواقع Clearanceها را از بین ببرد.
سطح جاروب شده در واقع به‌وسیله رسم گردش هردو لبه Trailing و Leading حول محور شفت به دست می‌آید.



الگوریتم محاسبه صحیح مساحت سطح یک تیغه از پروانه

روش‌های رسم پروانه

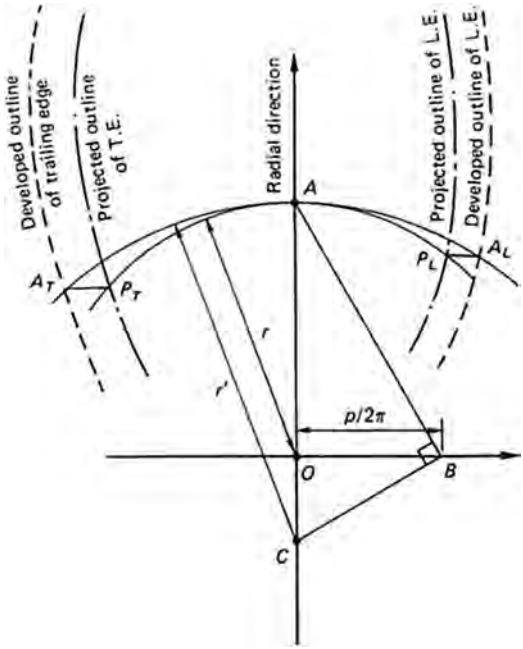
روش‌های متداول برای رسم پروانه وجود دارد، اما متداول‌ترین این روش‌ها توسط Holst توسعه‌یافته است.

این روش بر این نکته تأکید دارد که برای شعاع‌هایی که از شعاع مقطع بزرگ‌تر است، کمان‌های مارپیچی در طول مقطع به‌وسیله کمان‌های دایروی تعریف شود.

این روش ترسیم یک روش تقریبی است اما خطای قابل‌توجهی نیز ندارد مگر آنکه برای پروانه‌های خیلی عریض یا پروانه‌های دارای زاویه اسکیو زیاد استفاده شود.

در این دو حالت روش فوق خطای فراوانی دارد و باید از روش Rosingh برای ترسیم تیغه پروانه استفاده می‌کنیم.

اساس روش Holst در شکل زیر نمایش داده‌شده است. این شکل ساختار ترسیم پروانه را فقط برای یک شعاع نمایش داده است و برای بقیه شعاع‌ها، مانند شعاع مورد نظر پروانه ترسیم می‌شود.
یکسری از کمان‌ها با مرکز O (محور شفت) در هر شعاع روی خط هادی، که تیغه پروانه را به وجود می‌آورد، ساخته می‌شوند.



اساس روش Holst

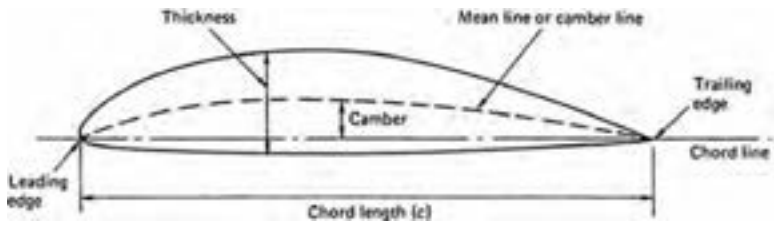
برای هر کمان باید عملیات زیر را انجام داد:

ابتدا روی محور افقی فاصله $\frac{P}{2\pi}$ را جدا نموده و B می‌نامیم و از نقطه A به نقطه B وصل می‌کنیم تا خط AB ساخته شود، سپس زاویه قائمه ABC را می‌سازیم تا خط BC، در نقطه C در زیرخط مرکز شفت، محور را قطع کند. سپس از نقطه O کمانی را به شعاع r و مرکز C رسم می‌کنیم.
در این مرحله فواصل A (خط هادی) تا لبه Leading، A_L (خط هادی) تا لبه Trailing را روی محیط کمان‌های AA_T،AA_L اندازه می‌گیریم.
تصاویر نقاط A_T،A_L روی سطوح توسعه‌یافته روی کمان به شعاع r، نقاط P_T،P_L است. این نقاط لبه‌های Leading، Trailing روی سطح تصویر شده است. در حالی‌که نقاط A_T،A_L روی سطوح توسعه‌یافته می‌باشند.

درنتیجه، بدین ترتیب می‌توانیم کمان‌هایی که از A تا سطح توسعه‌یافته کشیده شده‌اند را اندازه‌گیری کرد. که روی پروانه واقعی نیز این فواصل شکل می‌گیرند.
این روش سال‌های قبل در دفاتر طراحی مهندسی، روشی بوده است که مهندسان برای رسم هندسه پروانه از آن استفاده می‌کرده‌اند ولی امروزه با رشد فنّاوری و برنامه‌های کامپیوتری، دیگر از این روش استفاده نمی‌شود؛ و به‌صورت خودکار سطوح تیغه را ترسیم می‌کنند. به عنوان مثال از تکنیک‌های Spline. Curve_fitting درجه ۳ و... استفاده می‌کنند.

هندسه مقاطع و تعاریف

تا اینجا مبحث، برای به‌دست آوردن سطوح پروانه، ضخامت پروانه را ناچیز درنظر گرفتم؛ اما در این بخش می‌خواهیم در مورد ضخامت پروانه و مقاطع عرضی آن صحبت کنیم.
در سال ۱۹۳۰، NASA، آزمایش‌هایی را روی سری‌هایی از ایروفویل انجام داد که اساس این آزمایش‌ها روی توسعه هندسه ایرفویل از دو طریق معقول و با قاعده بود. برخی از این ایروفویل‌ها برای استفاده در کشتی مطابقت شدند و از این دستاورد سازندگان و طراحان پروانه، استفاده‌های بسیار وسیعی کردند.
هم‌زمان با آزمایش‌های NASA عده‌ای از طراحان متوجه شدند که با دانستن توزیع سرعت روی ایروفویل می‌توانند توسط تغییر شکل مقطع عرضی ایروفویل، سطح فشار خاصی را که مد نظرشان هست را به‌دست بیاورند. لذا طراحان شروع به انجام این کار کردند و مقاطع مختلفی را به‌دست آوردند. شکل زیر تعاریف کلی یک ایروفویل را نمایش می‌دهد.



تعریف کلی یک مقطع ایروفویل

خط کمبر، مکان هندسی نقاطی است که از سطح بالایی و پائینی ایرفویل در راستای عمود بر خط کمبر به یک اندازه مساوی قرار داشته باشد. خطی که دو لبه Leading، Trailing را به‌طور مستقیم به‌هم متصل می‌کند را خط کورد گویند. فاصله بین دو لبه Leading، Trailing روی خط کورد را، طول کورد گویند و با C نمایش می‌دهند. بیشترین فاصله بین خط کورد و خط کمبر در مقطع در راستای عمود بر خط کورد را کمبر گویند. ضخامت ایروفویل، به بیشترین فاصله سطح بالایی و سطح پائینی مقطع ایروفویل در راستای عمود بر خط کورد را گویند.

لبه Leading، لبه پهن و گرد مقطع ایروفویل است و همواره یک شعاع Leading حول نقطه‌ای روی خط کمبر برای آن تعریف می‌کنند.

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 به‌یک 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 جسمی‌که 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:

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

تحقیق کنید

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

پاسخ:

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

زمانی که بتوان اختلاف سرعت را زیاد کرد آنگاه دبی کم لازم است و لذا می‌توان از پیش برنده کوچک همچون واتر جت استفاده نمود. و بالعکس بایستی از پیش برنده بزرگ بهره گرفت. همچون سیستم پروانه‌ای.

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 ۴تحلیل 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.

پاسخ:

۱- تئوری مومنتوم بدون چرخش سیال

فرضیاتی که در این تئوری وجود دارد به‌صورت زیر است:

- پروانه به‌صورت دیسکی است به ضخامت ناچیز به‌طوری‌که قادر است فشار ΔP را به سیال اعمال کند. این معادل این است که بگوییم پروانه دارای تعداد پره‌های بی نهایت است.
- سیال به‌عنوان ایده‌آل با لزجت صفر فرض می‌شود، بنابراین از نیروی درگ حاصله صرف‌نظر می‌شود.
- دیسک به‌سیال عبورکننده از خود هیچ‌گونه سرعت دورانی اعمال نمی‌کند. یعنی پروانه می‌تواند تراست را بدون ایجاد چرخش در جریان پایین‌دست ایجاد نماید.
- دیسک پروانه به‌کل سیال عبورکننده از خود یک شتاب یکنواخت نشان می‌دهد.
- سیال در اطراف دیسک هیچ‌گونه تأثیری از پروانه نمی‌گیرد.

در این تئوری فرض می‌شود که دیسک محرک تمام قدرت دریافتی را صرف افزایش فشار سیال و در نتیجه ایجاد تراست می‌کند.

۲- تئوری مومنتوم با چرخش سیال

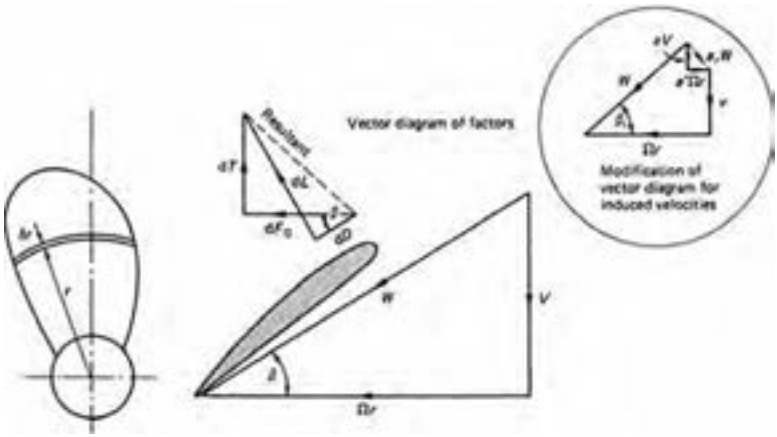
در این تئوری علاوه بر فرضیات ارائه شده در بالا وجود دارد با این تفاوت که دیسک به سیال یک حرکتی چرخشی نیز می‌دهد.

۳- تئوری المان پره

در مقایسه با دو تئوری قبلی، مدل کاملاً متفاوتی از عملکرد پروانه ارائه شد که با جزئیات پروانه یعنی هندسه پره‌های پروانه سروکار داشت. این مدل در فرم اولیه خود سرعت‌های القایی ایجادشده در جریان را درنظر نمی‌گرفت. امّا این سرعت‌های القایی در کارهای بعدی فرود درنظر گرفته شد. تئوری المان پره براساس تقسیم پره به تعدادی المان نواری استوار است. هریک از این المان‌های نواری به‌مانند یک فویل دوبعدی است که در معرض سرعت ورودی W قرار دارد. در شرایط کاری عادی زاویه پیشروی β کمتر از زاویه گام هندسی θ در مقطع است. این مطلب به این معنی است که جریان با سرعتW و زاویه حمله α به مقطع پره که به‌صورت یک فویل دوبعدی درنظر گرفته می‌شود، برخورد می‌کند و درنتیجه یک نیروی لیفت و درگ به مقطع وارد می‌شود؛ بنابراین برای یک مقطع مقادیر نیروی لیفت و درگ به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\begin{cases} dT = \frac{1}{2}\rho Z.C.W^2(C_i\cos\beta - C_d\sin\beta)dr \\ dQ = \frac{1}{2}\rho Z.C.W^2(C_i\sin\beta + C_d\cos\beta)dr \end{cases}$$

که در این رابطه Z تعداد پره‌های پروانه و C طول کورد مقطع است.



تئوری المان پره

همانطورکه اشاره شد با اصلاح مدل اولیه فرود، مدل کامل‌تری به‌دست آمد که سرعت‌های القایی را در نظر می‌گرفت. برای اصلاح مدل اولیه فرود کافی است β را با β_i زاویه گام هیدرودینامیکی جایگزین نماییم. در این‌صورت سرعت ورودی نیز چنان اصلاح می‌شود که سرعت‌های القایی محوری و دورانی را درنظر بگیرد. اگرچه کار فرود در برخی زمینه‌ها برای پیش‌بینی عملکرد هیدرودینامیکی پروانه‌ها با شکست روبه‌رو شد ولی در آن زمان یک پیشرفت بزرگ محسوب می‌شد. به این دلیل که این تئوری حاوی ایده اصلی برای تمام تئوری‌های مدرن و پیشرفته فعلی بود.

نکته مهم دیگری نیز در مورد سرعت‌های القایی وجود دارد که در اینجا به آن می‌پردازیم. تلفات انرژی در پروانه ناشی از تلفات انرژی حاصل از حرکت پره‌های پروانه در سیال ویسکوز و نیز ناشی از اثرات درگ القایی است. بخش اول به‌وسیله طراحی بهینه مقاطع پره‌های پروانه به حداقل می‌رسد. امّا بخش دوم تلفات که بخش عمده و تأثیرگذار است، تابعی از شرایط طراحی است. برای بالا بردن راندمان پروانه لازم است که پارامتری تعریف شود که تضمین‌کننده کمینه شدن درگ القایی باشد. بررسی گردابه‌های به وجود آمده در پشت پروانه، شرط کمینه شدن تلفاتِ انرژی را برای پروانه‌ای که تعداد پره‌های آن بی‌نهایت است (دیسک محرک) و در یک جریان یکنواخت کار می‌کند. پس درگ القایی هنگامی‌کمینه می‌شود که گردابه‌های ایجادشده در پشت پروانه دارای گام ثابت باشند.

۴ـ تئوری چرخش

در این تئوری می‌توان از جریان یکنواخت حول یک سیلندر چرخشی بهره گرفت و با استفاده از قدرت ورتکس میزان نیروی لیفت را محاسبه نمود. در این روش به‌جای پروانه می‌توان از چندین ورتکس با قدرت‌های مختلف در سیال بهره گرفت.

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.

تحقیق کنید

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

پاسخ:

هرگاه در هر قسمت از سیال، فشار به‌حدی پایین بیاید که به حد فشار بخار (فشار بخار فشاری است که در آن مایع شروع به جوشیدن کرده و با بخار خود به‌حالت تعادل می‌رسد) آن سیال برسد در این صورت بر اثر این دوعامل بلافاصله مایعی که در آن قسمت از مایع در جریان است به حالت جوشش درآمده و سیال به بخار تبدیل شده و حباب‌هایی از بخار به‌وجود بیاید. این حباب‌ها به‌علت حرکت از ناحیه کم فشار بزرگ شده و پس رسیدن به ناحیه پرفشار کوچک و نهایتاً می‌ترکد. ترکیدن آن باعث پدیده خوردگی در پروانه می‌شود.

۱ تونل کاویتاسیون دانشگاه صنعتی شریف
۲ تونل کاویتاسیون دانشگاه علم و صنعت ایران
۳ تونل کاویتاسیون دانشگاه صنعتی مالک اشتر
۴ تونل کاویتاسیون دانشگاه صنعتی اصفهان
۵ تونل کاویتاسیون دانشگاه علوم دریایی امام خمینی (ره)
۶ آزمون پروانه در آب آزاد و پشت کشتی

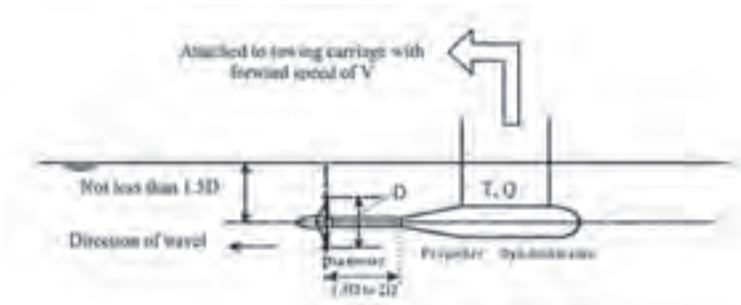
عملکرد پروانه در دوحالت زیر مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۱ عملکرد پروانه در شرایط آب آزاد Open Water
۲ عملکرد پروانه در پشت کشتی Behind of ship

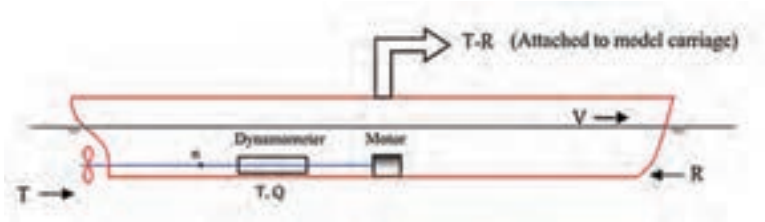
در شرایط آب آزاد می‌توان مدل پروانه را ساخت و در شرایط آزمایشگاهی بدون حضور بدنه کشتی آزمایش را انجام داد. در ساخت مدل پروانه از قوانین تشابه تبعیت می‌شود. برای ایجاد تشابه بین مدل ساخته‌شده و نمونه واقعی پروانه بایستی داشته باشیم:

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 بر روی عملکرد پروانه مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این حالت آزمایش خودرانش مدل انجام می‌گیرد. در شکل زیر یک نمونه آزمایش آب آزاد و خودرانش به‌ترتیب نشان داده شده است.



آزمایش آب آزاد



آزمایش خود رانش (آزمایش پروانه پشته بدنه)

تحقیق کنید

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

پاسخ:

Attached to towing carriage with forward speed of V:	اتصال به ارابه کشش با سرعت پیشروی V
Not less than 1.5D	نباید کمتر از ۱/۵ برابر قطر پروانه D باشد
Direction of Travel	مسیر حرکت
Diameter(D)	قطر D
Propeller Dynamometer	نیروسنج پروانه
T	نیروی پیش رانش
Q	گشتاور پیچشی
n	دور شافت
R	مقاومت مدل

ارزشیابی مرحله‌ای

عنوان پودمان فصل	تکالیف عملکردی (شایستگی‌ها)	استاندارد عملکرد (کیفیت)	نتایج	استاندارد (شاخص‌ها، داوری، نمره دهی)	نمره
نگهداری وتعمیر سامانه‌های پیش برنده	بررسی سامانه‌های پیش‌برنده	شناسایی انواع سامانه پیش‌برنده، شناسایی کلیه مشخصات هندسی پروانه، شناسایی تفاوت بین انواع پروانه‌ها	بالاتر از حد انتظار	۱-انواع سامانه پیش‌برنده 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 پیش‌برنده 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 انتظار	۱ـانواع 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 وتعمیر سامانه های پیش برنده

شرح کار:
۱- انواع سامانه پیش برنده را بررسی کند
۲- هندسه پروانه را کامل بررسی کند.
۳- تفاوت انواع پروانه‌ها را رابررسی کند.

استاندارد عملکرد:
انواع پیش برنده‌هایی که در کشتی‌های مختلف تجاری و نظامی به‌کار گرفته می‌شود را بررسی کند.
شاخص‌ها:
بررسی سامانه‌های پیش برنده

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

معیارشایستگی:

ردیف	مرحلهٔ کار	حداقل نمرهٔ قبولی از ۳	نمرهٔ هنرجو
۱	انواع سامانه پیش برنده را بررسی کند	۲	
۲	هندسه پروانه را کامل بررسی کند.	۱	
۳	تفاوت انواع پروانه‌ها را رابررسی کند	۱	
	شایستگی‌های غیرفنی، ایمنی، بهداشت، توجهات زیست‌محیطی، و... ۱- استفاده از لباس مناسب کار در کارگاه ۲- استفاده صحیح و مناسب از ابزار و تجهیزات کارگاه ۳- رعایت نکات ایمنی دستگاه‌ها، ۴- دقت و تمرکز در اجرای کار، ۵- شایستگی تفکر و یاد گیری مادام‌العمر، ۶- رعایت اصول و مبانی اخلاق حرفه‌ای،		
	میانگین نمرات		*

* حداقل میانگین نمرات هنرجو برای قبولی وکسب شایستگی ۲ است.

منابع

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

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

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

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

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

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

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

۸ Basic Ship Propulsion,J.P Ghose, Allied Publisher, 2004

۹ LIOYD’S REGISTER RULE 2017

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

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

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

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

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

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

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

۱ـ ادارهٔ کل امور دریایی و سازمان‌های تخصصی بین‌المللی سازمان بنادر و دریانوردی

۲ـ مؤسسهٔ آموزشی کشتیرانی جمهوری اسلامی ایران؛

۳ـ نیروی دریایی راهبردی ارتش جمهوری اسلامی ایران؛

۴ـ نیروی دریایی سپاه پاسداران انقلاب اسلامی ایران؛

۵ـ مرزبانی نیروی انتظامی جمهوری اسلامی ایران؛

۶ـ دبیرخانهٔ کشوری هنرستان‌های علوم و فنون دریایی.