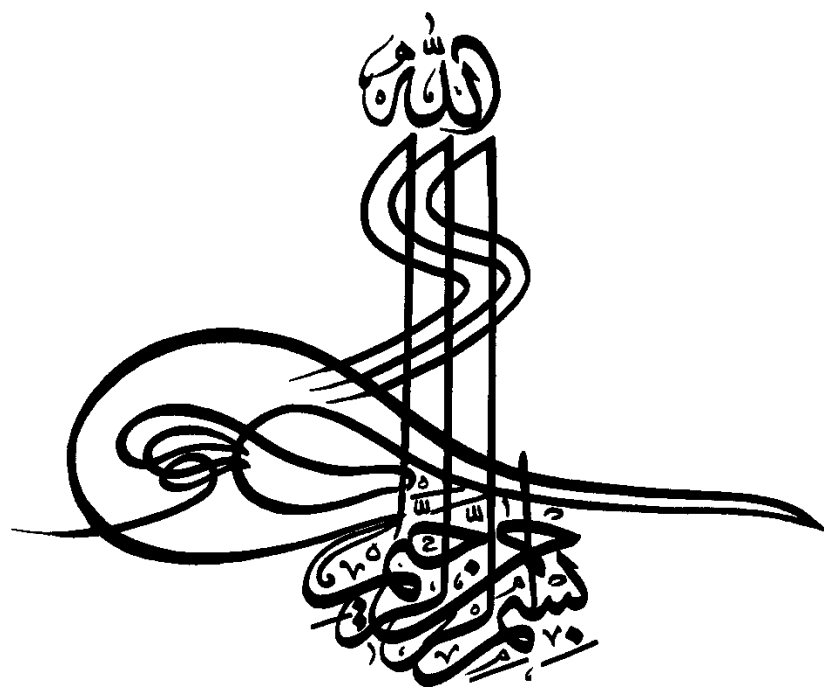


طراحی و ساخت

زیردریایی‌های مدل

**Design & Manufacture
of Model Submarines**

مؤلف: مهندس بهروز اسدی



تقدیم به :

پدر فداکارم و مادر مهربان و عزیزتر از جانم،

به پاس تمام تلاش، حمایت و از خودگذشتگی‌تان

در به ثمر رسیدن نهال دیروز زندگیم و هر چه پربارتر شدن امروزش،

که بی‌شک هرگز جبرانی برای این ایثارشان نخواهم یافت.

با تشکر از :

❖ استاد گران‌قدر و عزیزم، جناب آقای مهندس محمد مونسان که همواره در دوران دانشجویی و پس از آن، خط دهنده و راهنمای اینجانب بوده و هستند و حامی علمی در نگارش این کتاب می‌باشند. امید آن را دارم که این تألیف تشکری از تمام زحمات بی‌دریغ ایشان گردد و از درگاه ایزد منان سلامتی و توفیق روز افزون برایشان آرزومندم.

❖ خواهر عزیزم که همواره مشوق و حامی بنده بوده است.

❖ کلیه‌ی عزیزانی که در چاپ و نشر این کتاب به نحوی بنده را یاری نمودند.

فهرست مطالب

فصل اول (آشنایی با زیردریایی).....	۱
مقدمه	۳
شناور شدن یک جسم در سطح آب	۳
اصل ارشمیدس	۴
اشاره (کشف مهم ارشمیدس).....	۵
مفهوم بویانسی و حالت آن در یک جسم	۶
وضعیت بویانسی یک جسم در محیط یک شاره	۸
مفهوم غوطه‌وری و شناوری	۸
زیردریایی	۹
تاریخچه پیدایش و سیر تکامل زیردریایی‌ها	۱۲
نقش نظامی زیردریایی	۱۶
اشاره (زیردریایی‌های آلمان، عامل اصلی برتری آلمان و فلج کردن ناوگان دریایی انگلیس در اولین ماه‌های جنگ جهانی اول).....	۱۷
اشاره (زیردریایی U-20 آلمان عامل ورود آمریکا به جنگ جهانی اول و بر علیه آلمان)	۱۸
اشاره (پایان جنگ جهانی اول و نقش هولناک زیردریایی‌ها آلمانی در تلفات آن)	۱۹
اشاره (تکیه آلمان بر ناوگان زیرسطحی خود در آغاز جنگ جهانی دوم)	۱۹
نقش‌های دیگر زیردریایی‌ها	۲۰
نقش زیردریایی در ایران	۲۲
تقسیم بندی زیردریایی‌ها	۲۳
زیردریایی‌های نظامی	۲۳

۲۴	زیردریایی‌های تفریحی
۲۴	ربات‌های زیردریایی
۲۵	فصل دوم (انتخاب شکل، ابعادبندی بدنه و سطوح کنترلی)
۲۷	مقدمه
۲۷	شکل بدنه
۲۸	عامل اصلی انتخاب شکل بدنه
۳۲	مفهوم مقاومت بدنه (درگ)
۳۴	شکل آلباکوری در بدنه زیردریایی
۳۴	اشاره (پیدایش شکل آلباکوری)
۳۵	تعیین ابعاد بدنه
۳۶	گام اول (محاسبه حداقل نیروی بویانسی و حداقل حجم بدنه)
۳۷	گام دوم (تعیین ابعاد بدنه)
۳۸	گام سوم (توجه به پارامترهای مؤثر در تعیین ابعاد بدنه)
۳۸	گام چهارم (انتخاب بهترین ابعاد بدنه)
۳۹	انتخاب بهترین محدوده‌ی ابعادی بدنه
۳۹	ملاحظات جانمایی
۴۰	ملاحظات هیدرواستاتیکی و پایداری
۴۱	ملاحظات هیدرودینامیکی
۴۳	سطوح کنترلی
۴۴	بالک‌ها
۴۵	سکان‌ها
۴۵	مقطع سطوح کنترلی
۴۶	کارکرد سطوح کنترلی
۴۷	مساحت مورد نیاز سطوح کنترلی

محل قرار گیری سطوح کنترلی.....	۴۹
سکان ها.....	۴۹
بالک های عقب.....	۵۰
بالک های جلو.....	۵۰
فصل سوم (سیستم های غوص و صعود)	۵۳
مقدمه.....	۵۵
مبانی غوص و صعود زیردریایی.....	۵۵
حالت بویانسی مثبت.....	۵۶
حالت بویانسی خنثی.....	۵۶
حالت بویانسی منفی.....	۵۷
روش های غوص و صعود در زیردریایی ها.....	۵۸
روش استاتیکی در غوص و صعود زیردریایی.....	۵۹
روش دینامیکی در غوص و صعود زیردریایی.....	۶۰
اشاره (تاریخچه روش های غوص و صعود در زیردریایی و استفاده از بالاست).....	۶۱
تعیین حجم مخزن بالاست.....	۶۲
۱- نقش بالاست در غوص و صعود.....	۶۳
۲- نقش بالاست در تعیین فری برد زیردریایی.....	۶۴
۳- ملاحظات و قابلیت جانمایی.....	۶۵
چگونگی کارکرد سیستم های بالاست.....	۶۵
اشاره (اولین نبرد زیردریایی در جنگ جهانی اول).....	۶۷
فصل چهارم (سیستم رانش)	۶۹
مقدمه.....	۷۱
سیستم رانش و اترجت.....	۷۲

سیستم رانش الکترومغناطیس	۷۴
سیستم رانش پروانه‌ای	۷۵
موتور رانش	۷۶
اشاره (ابداع روش اسنورکل توسط آلمان‌ها)	۷۷
موتور الکتریکی و پارامترهای آن	۷۸
RPM موتور	۷۹
گشتاور موتور	۸۰
توان موتور	۸۱
شافت موتور	۸۲
گیربکس	۸۴
فلنج‌های میانی اتصال شافت	۸۵
یاتاقان‌های میانی	۸۵
یاتاقان آببند انتهایی	۸۶
کوپلینگ	۸۸
پروانه رانش	۸۸
پره‌های پروانه	۸۹
قطر پروانه	۹۱
دور پروانه	۹۳
ضریب تراست و ضریب گشتاور پروانه	۹۳
تراست پروانه	۹۵
گشتاور پروانه	۹۵
بازدهی سیستم رانش	۹۶
بازدهی مکانیکی	۹۷
بازدهی هیدرودینامیکی	۹۷

توان مؤثر.....	۹۸
وابستگی مقاومت و توان به سرعت حرکت زیردریایی	۹۹
اشاره (ساخت اولین زیردریایی‌های با سرعت بالا)	۱۰۰
طراحی و انتخاب سیستم رانش پروانه‌ای مناسب برای یک شناور	۱۰۱
اشاره (وضعیت ناوگان زیرسطحی کشورهای مطرح، در آغاز جنگ جهانی اول).....	۱۰۳
اشاره (هولناک‌ترین زیردریایی جنگ جهانی اول)	۱۰۴
اشاره (هیولای جنگ سرد).....	۱۰۴
فصل پنجم (مقدمه‌ای بر تعادل و پارامترهای پایداری)	۱۰۷
مقدمه	۱۰۹
برخی از پارامترهای مؤثر در تعادل و پایداری.....	۱۰۹
نقطه کیل	۱۰۹
خط آب‌خور	۱۰۹
صفحه آب‌خور	۱۱۰
مرکز ثقل	۱۱۰
مرکز بویانسی	۱۱۰
مرکز شناوری	۱۱۱
مرکز متاسنتر	۱۱۱
ارتفاع مرکز ثقل	۱۱۲
ارتفاع مرکز بویانسی	۱۱۲
شعاع متاسنتری	۱۱۲
ارتفاع متاسنتری	۱۱۲
بازوی بازگرداننده.....	۱۱۳
پایداری خطی.....	۱۱۳
پایداری دورانی	۱۱۳

غلتش استاتیکی طولی (تریم).....	۱۱۴
غلتش استاتیکی عرضی (هیل).....	۱۱۴
انواع تعادل و پایداری اجسام در حالت شناوری و غوطه‌وری.....	۱۱۴
شرایط تعادلی در اجسام شناور.....	۱۱۵
شرایط تعادلی در اجسام غوطه‌ور.....	۱۱۶
نیروها و درجات آزادی در شناورها.....	۱۱۶
محاسبه مرکز ثقل.....	۱۱۸
پایداری شکلی و پایداری جرمی.....	۱۱۹
پایداری زیردریایی در سطح آب.....	۱۲۰
پایداری زیردریایی در زیر سطح آب.....	۱۲۰
پایداری در حالت انتقال از سطح آب به زیر آب.....	۱۲۲
فصل ششم (آشنایی با زیردریایی‌های مدل و ربات‌های زیرسطحی)...	۱۲۵
مقدمه.....	۱۲۷
لزوم گسترش و توسعه ربات‌های زیرسطحی.....	۱۲۷
ربات زیر آبی.....	۱۲۹
تاریخچه استفاده از ربات کنترل‌ی زیرسطحی.....	۱۲۹
کاربردهای عمومی ربات‌های زیرسطحی.....	۱۳۰
کاربردهای تجاری و فراساحلی رباتهای زیرسطحی.....	۱۳۲
کاربردهای نظامی رباتهای زیرسطحی.....	۱۳۳
کاربردهای علمی و تحقیقاتی ربات‌های زیرسطحی.....	۱۳۳
کاربرد ربات‌های زیرآبی در خارج از محیط دریا.....	۱۳۴
دسته بندی انواع ربات‌های زیرآبی.....	۱۳۵
ربات‌های زیرآبی کوچک.....	۱۳۵

ربات‌های زیرآبی الکتریکی با قابلیت بالا	۱۳۶
ربات‌های ژرف‌پیما با قابلیت دستیابی به اعماق فوق العاده زیاد	۱۳۷
ربات‌های زیرآبی با ابعاد بزرگ و با قابلیت انجام کارهای سنگین	۱۳۷
ربات‌های زیرآبی خودکار و بدون نیاز به کابل (AUV ها)	۱۳۸
انواع ربات‌های کنترلی زیرسطحی براساس وزن، حجم و قابلیت توان	۱۳۹
اشاره (ربات کنترلی زیرسطحی هیبریدی)	۱۳۹
دسته بندی زیردریایی‌های مدل از نظر نحوه کنترل	۱۴۰
زیردریایی‌های مدل ROV	۱۴۰
زیردریایی‌های مدل AUV	۱۴۱
زیردریایی‌های مدل RC	۱۴۲
استفاده از کابل در ربات‌های زیردریایی	۱۴۲
حالت‌های دید کنترلی در ربات‌های دریایی	۱۴۳
کلاس بندی ربات‌های زیرسطحی	۱۴۴
مبانی طراحی ربات‌های زیرآبی	۱۴۵
معیارهای ارزیابی ربات‌های زیرسطحی	۱۴۷
سیستم‌های مختلف ربات زیرسطحی	۱۴۷
فصل هفتم (ارائه روند طراحی یک زیردریایی مدل)	۱۴۹
مقدمه	۱۵۱
مفروضات اولیه و مورد مطلوب کارفرما	۱۵۱
انتخاب شکل بدنه	۱۵۲
۱) قسمت سینه شناور	۱۵۲
۲) قسمت میانی شناور و بدنه اصلی	۱۵۲
۳) قسمت عقب (پاشنه) زیردریایی	۱۵۴
تعیین ابعاد بدنه	۱۵۴

معرفی اجزای خارجی بدنه	۱۵۶
محل قرار گیری ضمايم خارجی بدنه	۱۵۷
(۱) برجک زیردریایی	۱۵۷
(۲) سکان‌ها	۱۵۸
(۳) بالک‌های عقب	۱۵۹
(۴) بالک‌های جلو	۱۶۰
(۵) پروانه	۱۶۰
مکانیزم سطوح کنترلی	۱۶۱
بالک‌های جلو	۱۶۱
بالک‌های عقب	۱۶۱
سکان‌های عقب	۱۶۲
طراحی و محاسبات ابعاد بالک و سکان	۱۶۳
سکان‌ها	۱۶۴
بالک‌های جلو	۱۶۴
بالک‌های عقب	۱۶۴
تعیین جنس و روش ساخت بدنه	۱۶۵
کامپوزیت‌ها	۱۶۵
مزایای کامپوزیت‌ها	۱۶۶
مشخصات کلی شناور	۱۶۸
چگونگی انتخاب جانمایی اجزا شناور	۱۷۰
محاسبه مرکز ثقل (جرم) شناور	۱۷۲
جانمایی داخلی شناور	۱۷۴
روش غوص و صعود	۱۷۵
تعیین ابعاد مخزن بالاست	۱۷۶

۱۷۸	 محل قرار گیری مخزن بالاست
۱۷۹	 طراحی سیستم رانش و انتخاب موتور
۱۸۰	 مرحله اول
۱۸۰	 مرحله دوم
۱۸۰	 مرحله سوم
۱۸۱	 مرحله چهارم
۱۸۱	 مرحله پنجم
۱۸۲	 مرحله ششم
۱۸۲	 مرحله هفتم
۱۸۲	 مرحله هشتم
۱۸۵	 فصل هشتم (سیستم‌ها و روش ساخت یک زیردریایی مدل)
۱۸۷	 مقدمه
۱۸۷	 ساخت بدنه
۱۹۳	 سطوح کنترلی
۱۹۷	 استندهای داخلی
۱۹۹	 سیستم بالاست
۲۰۲	 سیستم رانش
۲۱۰	 سیستم شلیک موشک
۲۱۲	 سیستم خنک کننده‌ی موتور و درایور آن
۲۱۵	 سیستم مانیتورینگ دما و عمق
۲۱۵	 سیستم فیلمبرداری
۲۱۶	 چیدمانی سرب
۲۱۷	 مدارهای الکتریکی

۲۱۹.....	باتری‌های مورد استفاده
۲۲۱.....	رادیو کنترل
۲۲۱.....	آببندی بدنه در قسمت‌های مختلف
۲۲۲	آببندی بدنه‌ی اصلی
۲۲۳	آببندی لوله‌های پرتاب موشک
۲۲۴	آببندی محل خروج شافت پروانه
۲۲۴	آببندی محل خروج شافت در سطوح کنترلی
۲۲۶	آببندی محل دریچه‌های بدنه
۲۲۸.....	منابع و مراجع

مقدمه مؤلف :

خداوند منان را شکرگزارم که در سایه لطف بی‌کرائش و همراهی همکاران و اساتید گرامی توفیق داد تا بتوانم نتایج زحمات ۱۸ ماهه خویش را در نگارش این کتاب مشاهده و آن را به حضور دانش پژوهان عزیز ارائه کنم.

کتاب حاضر اولین کتاب تألیفی کشور در زمینه بررسی روند طراحی و ساخت زیردریایی‌های مدل و ربات‌های زیرسطحی می‌باشد. در این کتاب سعی شده است با زبانی ساده و قابل فهم برای همگان، علاوه بر ارائه اصول کلی و کارکرد زیردریایی‌ها مباحث طراحی نیز مطرح گردد. هدف اصلی از انتشار این کتاب، ارائه مطالب مورد نیاز جهت طراحی و ساخت یک زیردریایی مدل و بدون سرنشین است، اما در عین حال تا جای ممکن مباحث اصلی طراحی زیردریایی‌های بزرگ نیز بیان گردیده، و همچنین در قسمت‌هایی تحت عنوان اشاره به ارائه‌ی اطلاعات عمومی در مورد زیردریایی‌ها و حوادث مهم تاریخی که زیردریایی‌ها در آن نقش داشته‌اند پرداخته شده است، که از جذابیت خاص خود برخوردار بوده و دانستن آن برای خوانندگان محترم خالی از لطف نیست.

همانطور که مستحضرید، مرزهای گسترده‌ی آبی در شمال و جنوب ایران، بخش وسیعی از کشور را در این نواحی فرا گرفته‌اند و با توجه به وجود مخازن گسترده فسیلی و دریایی، حضور در عمق دریا در دنیای امروز امری ضروری و استراتژیک به حساب می‌آید. بی‌شک علاوه بر نقش حیاتی زیردریایی‌ها در مباحث نظامی کشور، نقش غیر نظامی آنها در این زمینه نیز کاملاً انکار ناپذیر است. اما روندی که امروزه در کشور برای طراحی و ساخت زیردریایی‌ها دنبال می‌شود بیشتر مربوط به مباحث نظامی بوده است و خلاء ناشی از طراحی، ساخت، کاربرد، حضور ربات‌های زیردریایی و در نهایت عدم وجود منابع تئوری و مکتوب به زبان فارسی در مورد علوم مربوط به ربات‌های زیرسطحی در کشور کاملاً قابل لمس است، این در حالیست که کشورهای پیشرفته برای کاربردهای متفاوت به صورت گسترده و مفید از ربات‌های زیرسطحی استفاده می‌کنند.

در واقع هنگامی که در ترم‌های اولیه‌ی دانشجویی خود به زیردریایی و دانش زیرسطحی علاقه‌مند گشته و سعی در افزایش اطلاعات شخصی خود در این زمینه نمودم، با محدودیت‌هایی از نقطه نظر منابع فارسی در این راستا مواجه شدم و این نیاز وقتی که قصد طراحی و ساخت یک زیردریایی بدون سرنشین جهت شرکت در مسابقات ملی طراحی و ساخت زیردریایی‌های بدون سرنشین را داشتم، بسیار بیشتر نمایان شد. شاید این احساس نیاز در آن دوران و عدم وجود منابع فارسی در این زمینه باعث ایجاد انگیزه اصلی نگارش این کتاب با صرف تلاشی ۱۸ ماهه گردید.

در این کتاب سعی بر آن داشته‌ام با توجه به دانش دریایی ناچیز خود در مورد زیردریایی‌ها و ربات‌های زیرسطحی، رشته‌ی تحصیلی (مهندسی دریا و گرایش کشتی سازی) و از همه مهمتر بر اساس تجارب عملی و شخصی در این زمینه، مطالبی را در مورد طراحی و ساخت زیردریایی‌های بدون سرنشین ارائه دهم، و امیدوارم که این مطالب برای آن دسته از عزیزان علاقه‌مند به این مباحث مفید واقع گردد و نقطه‌ی آغازی برای ارائه‌ی منابع و مکتوبات مفیدتر در این راستا، و سببی بر پیشرفت هر چه بهتر و بیشتر دانش ربات‌های دریایی در کشور عزیزمان شود.

طبعاً این اثر با توجه به دانش کم این حقیر، خالی از نقص و کمبود نیست. لذا، از تمامی اساتید و بزرگان حوزه دانش و علم کشور، بخصوص اساتید علوم دریایی که یقیناً اینجانب را به سبب جسارت در محضرشان و نگارش کتاب حاضر خواهند بخشید و یادآور نقص‌ها و کمبودهای موجود این اثر خواهند بود، خواهشمندم بنده را از نظرات، پیشنهادات و انتقادات خود بهره‌مند سازند.

بی‌شک یکی از اصلی ترین عامل‌های پیمودن این راه، اساتید دوران تحصیلم بوده و دانش ناچیز امروزم را در سایه لطف بی‌دریغشان می‌دانم لذا بر خود لازم می‌دانم از آقایان دکتر؛ قاسمی، رهبر، عرب‌یار محمدی، طهماسبی، مروتی، کبیری، و بخصوص مهندس مونسان و یزدخواستی، کمال تشکر و سپاس‌گزاری را داشته باشم.

در پایان مراتب تشکر خود را از دوستان و همکاران خود آقایان مهندس؛ مجید رضایی، ایمان رحیمی، حمیدرضا شفیقی، مهران مطلبی‌نژاد و مجتبی سعیدی که در ساخت شناور آریا همکاری لازم را داشتند، و از آقایان مهندس؛ بهزاد مکفایی، حمید عامری، حامد مظفری، محمدهادی شعبانی، سید محمد مهدی حسینی اطهر و خانم مهناز نیکبخت (طراح جلد) و همچنین زحمات آقای جنتیان مدیر محترم انتشارات کانون پژوهش اصفهان که در تهیه و چاپ این کتاب بنده را یاری نمودند کمال تشکر را دارم. و قدردان زحمات آقایان؛ صالحی، شریعتی، آیتی، اسدی و برهان نیز هستم.

به آن امید که توانسته باشم برای دوست داران دانش زیردریایی و بخصوص زیردریایی‌های بدون سرنشین مرجعی هرچند کوچک گردآوری نموده باشم.

با آرزوی ایرانی سربلند و پر افتخار، و امید پیشرفت هرچه بیشتر دانش دریایی در داخل کشور.

بهروز اسدی

۱۳۸۹

Behrouz_asadi84@yahoo.com

فصل اول

آشنایی با زیردریایی

مقدمه

با پیشرفت علمی امروزی، توانایی و تسلط بشر حاضر در این عصر بر دریا و اعماق آن هر چه بیشتر و بهتر نمایان است. و انسان امروزی توانسته است قلمرو نفوذ خود را تا اعماق دریاها و اقیانوس‌ها گسترش دهد. که ساخت انواع وسایل و شناورهای دریایی با امکانات و قابلیت‌های متفاوت و خاص خود در این راستا صورت پذیرفته است.

جامعه‌ی انسانی، که در گذشته برای سفرهای دریایی و حمل کالا از کشتی‌های کوچک چوبی و با انرژی ماهیچه‌ای استفاده می‌کرد، امروزه با خیل عظیمی از شناورهای بزرگ فولادی و با انرژی‌های فسیلی مواجه است. و انسان دیروز که سفرهای تفریحی دریایی را در گستره‌ی خیال خود می‌پروراند امروز به راحتی می‌تواند با وجود کشتی‌های بزرگ مسافربری و با امکانات خاص و جذابیت‌های منحصر به فرد، بدین آرزوی خود در گذشته رنگی از حقیقت بزند.

در عصر حاضر با ساخت شناورهای تندرو دریایی (مانند هاورکرافت‌ها، هیدروfoil‌ها، قایق‌های پرنده و...) و خصوصاً هواپیماهای دریایی (wig) جوابی عملی برای این سوال گذشتگان «که آیا می‌توان مسیرهای دریایی را با شناورهایی با سرعت بالا طی کرد؟» ایجاد گردیده، و در نهایت شاید بشر دیروز که رفتن به عمق دریا را جزء آرزوهای دست نیافتنی خود می‌دانست، هرگز تصور نمی‌کرد که در آینده وسیله‌ای به نام «زیردریایی» انسان را چون یک ماهی به دنیای پر از رمز و راز، و جذاب زیر آب و اعماق دریاها وارد نماید.

چنان که در ادامه بیان می‌گردد چون زیردریایی‌ها دسته‌ای از انواع شناورها محسوب می‌شوند در این کتاب در بسیاری از موارد تحت عنوان کلی «شناور» از آنها یاد شده است.

شناور شدن یک جسم در سطح آب

اولین سوالی که در ذهن هر کسی ممکن است در مورد یک کشتی و یا یک زیردریایی ایجاد گردد این موضوع است، که چگونه یک جسم می‌تواند در سطح آب شناور شود؟!

جواب این سوال در مفهوم مهمی به نام اصل ارشمیدس نهفته است. و توجه به این اصل است که بشر امروزی را موفق به ساخت سازه‌های بزرگ فولادی شناور بر سطح آب مانند کشتی‌ها، ناوهای بزرگ هواپیما، زیردریایی‌ها و ... کرده است. در حالی که ابعاد و وزن بعضی از آنها در

حد چند صد برابر خانه‌ای که هم اکنون در آن زندگی می‌کنیم و یا مدرسه و دانشگاهی که در آن به علم آموزی اشتغال داریم خواهد رسید. در ادامه به بیان و تعریف اصل ارشمیدس پرداخته می‌شود.

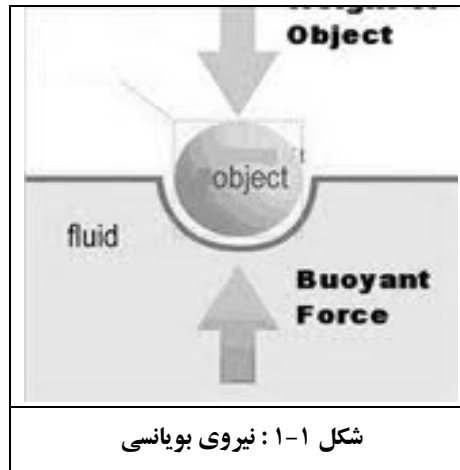
اصل ارشمیدس

وقتی جسمی را درون یک شاره (سیال) مثلاً آب قرار می‌دهیم، توسط حجم جسم مقداری از شاره جابجا می‌شود. اگر جسم تماماً درون شاره فرو رود به میزان حجم خود مقداری از شاره را جابجا کرده و اگر در سطح شاره شناور شود و قسمتی از حجم جسم درون شاره فرو رود به همان مقدار، حجمی از شاره را جابجا می‌کند. این جابجایی شاره توسط حجم جسم، سبب اعمال نیرویی به سمت بالا به جسم می‌گردد. که مقدار این نیرو برابر با وزن مقدار شاره جابجا شده خواهد بود. این موضوع در واقع بیان اصل ارشمیدس می‌باشد. و نیروی ایجاد شده را نیروی ارشمیدس گویند که همواره به سمت بالا، و از رابطه‌ی زیر قابل محاسبه است :

$$B = \rho \cdot V \cdot g$$

دقت می‌کنیم که در این رابطه ρ چگالی شاره‌ای که جسم داخل آن قرار می‌گیرد، V حجم شاره جابه‌جا شده که بدیهی است در حالت شناوری برابر با حجم قسمتی از جسم که داخل شاره قرار گرفته است بوده و در حالت مغروق برابر با حجم کل جسم می‌باشد، و در نهایت g شتاب گرانشی زمین است.

بنابراین نیروی ارشمیدس (نیروی شناوری- نیروی بویانسی) که بر اثر جابجایی مقداری از شاره توسط حجمی از جسمی که در داخل آن شاره قرار می‌گیرد تولید شده، و جهت آن همواره به سمت بالا و عامل اصلی غلبه بر نیروی وزن شناورها و جلوگیری از غرق شدن آنها می‌باشد. این موضوع در شکل ۱-۱ مشخص است.



اشاره (کشف مهم ارشمیدس)

ارشمیدس، ریاضیدان مشهور یونانی، در سده‌ی سوم پیش از میلاد و در شهر سیراکوز زندگی می‌کرد. شهرت او به سبب ابداعاتی همچون اختراع اهرم، اختراع «پیچ ارشمیدس» (که هنوز هم در مصر برای آبیاری مزارع و جهت بالا کشیدن آب رود نیل مورد استفاده قرار می‌گیرد)، و نیز کشف قانون هیدرواستاتیک، که «اصل ارشمیدس» نامیده می‌شود، می‌باشد. او بود که با بدنی برهنه از حمام عمومی به خیابان‌های سیراکوز دوید و فریاد زد: «اوریکا، اوریکا»، یعنی «یافتم، یافتم».

در واقع آنچه که او یافت، موضوعی بود که بعدها سببی بر بیان اصل ارشمیدس او شد. هیرو، پادشاه سیراکوز، از دوستان نزدیک یا شاید از خویشاوندان ارشمیدس، زرگری را مأمور کرده بود تا برایش تاجی از طلای خالص بسازد. وقتی تاج تکمیل شد، و به دست پادشاه رسید شاه تردید داشت که زرگر تمام طلای دریافتی را برای ساخت تاج به کاربرده باشد. و امکان آن را می‌داد که زرگر، از فلز کم ارزش تری مثل نقره یا مس همراه طلا در ساخت تاج استفاده کرده باشد، و بقیه‌ی طلایی را که مصرف نشده بود برای خود نگه داشته باشد.

شاه هیرو، ارشمیدس را احضار کرد و از این ریاضیدان مشهور خواست تا پرده از این راز بردارد و بفهمد آیا واقعاً تاج از طلای خالص است و تمام فلز با ارزشی که پادشاه به زرگر داده در آن

به کار رفته است، و یا نه. در سده‌ی سوم پیش از میلاد، شیمی تحلیلی به اندازه‌ی ریاضیات پیشرفته نبود و ارشمیدس در ریاضیات و مهندسی توانایی بسیار داشت. ارشمیدس می‌دانست که اگر بتواند حجم تاج هیرو را تعیین کند، خواهد فهمید که آیا تاج از طلای خالص، و یا از مخلوطی از طلا با فلزات دیگر درست شده است. او قبلاً برای محاسبه‌ی حجم جامدهایی که شکلی منظم، مثل کره یا استوانه داشتند دستورهای ریاضی ابداع کرده بود. اما او چگونه می‌توانست حجم تاج را با وجود شکل غیر هندسی آن تعیین کند؟! این سؤال بود که در آن مدت سخت ذهن او را مشغول کرده بود! تا آنکه وی مهمترین استحمام خود را انجام داد، وقتی ارشمیدس پای خود را در داخل خزینه حمام گذاشت، دید که آب از آن سر ریز کرد. و متوجه این موضوع مهم شد، که حجم آبی که بیرون ریخته است دقیقاً با حجم قسمتی از بدن او که وارد آب شده برابری می‌کند. اکنون می‌دانست که چگونه باید حجم هر جسم جامد نامنظمی را محاسبه کند، چه پای خودش باشد و چه تاج پادشاه. اگر او تاج را در ظرفی پر از آب قرار می‌داد، می‌توانست حجم آبی را که سرریز می‌کرد اندازه‌گیری کند، و این مقدار با حجم تاج برابر بود. و فریاد زنان از حمام به بیرون دوید که: یافتم، یافتم.

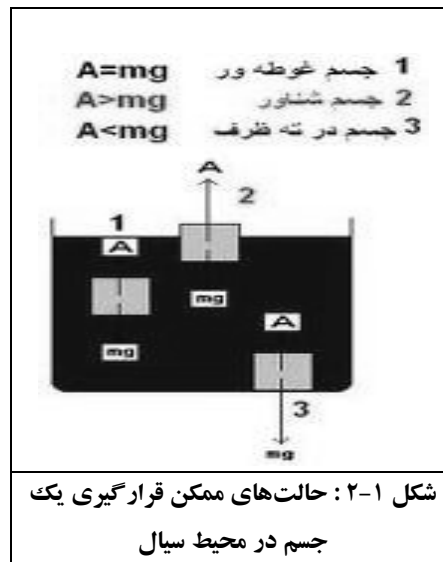
و بعدها ارشمیدس متوجه شد که این حجم جابجا شده سیال، سبب ایجاد نیرویی از جانب شاره می‌شود که در مقابل مغروق شدن یک حجم جامد در آب ممانعت می‌کند. و این شاید داستان مهمترین استحمام بشر بود، که پایه اصلی دانش دریایی تا به امروز قرار گرفته و بنام ارشمیدس ثبت گردید.

مفهوم بویانسی و حالت آن در یک جسم

در واقع اصل ارشمیدس ایجاد نیرویی از جانب شاره به دلیل جابجایی حجمی از سیال توسط مقدار حجمی از یک جامد که در داخل شاره قرار می‌گیرد، و نحوه محاسبه آن را ارائه می‌کند. این نیرو همچنان که گفته شد، عامل اصلی قرار گیری یک شناور در سطح آب محسوب می‌شود و بیشتر تحت عنوان «نیروی بویانسی» (نیروی شناوری) شناخته می‌گردد. و در کتاب حاضر بیشتر از لفظ نیروی بویانسی جهت معرفی این نیرو استفاده می‌شود، هرچند عنوان‌های دیگری چون نیروی ارشمیدس، نیروی هیدرواستاتیک و... نیز مستعمل می‌باشند.

بطور کلی هنگام قرارگیری یک جسم (حجم) جامد، در داخل یک شاره، تنها سه حالت ممکن است از لحاظ موقعیت قرارگیری آن جسم در محیط داخل شاره رخ دهد که به صورت زیر است.

- (۱) قسمتی از جسم در شاره فرو رفته و جسم در سطح شاره شناور گردد.
 - (۲) تمام جسم در شاره فرو رود، و به صورتی که اگر جسم را در هر ارتفاعی در داخل شاره به آرامی رها کنیم در همان ارتفاع به حالت مغروق ثابت بماند.
 - (۳) جسم را به هر صورتی در شاره رها کنیم در محیط شاره کف نشین شود.
- این سه حالت در واقع بیان سه حالت مختلف بویانسی یک جسم جامد در داخل محیط شاره است. که در ادامه به توضیح این حالات پرداخته می‌شود. اگر نیروی بویانسی وارد شده از جانب سیال به یک جسم مفروض را با پارامتر A نشان دهیم حالات ممکن و مختلف بویانسی در آن را می‌توان در شکل ۱-۲ مشاهده کرد.



متذکر می‌شود که مفهوم نیروی بویانسی برای یک جسم جامد تنها در داخل یک محیط شاره گونه معنا خواهد داشت. اما برای بیان حالت‌های مختلف بویانسی در یک جامد که در داخل محیط شاره‌ایی قرار گرفته است. باید توجه کنیم که ایجاد هر کدام از این حالات در تعامل مستقیم با نیروی وزن جسم نیز می‌باشد. به بیان دیگر ایجاد حالات مختلف بویانسی برای یک جسم در داخل محیط شاره، به چگونگی تعامل مقدار نیروی وزن جسم و نیروی بویانسی که از جانب شاره، و در اثر جابجایی حجمی از شاره در اثر قرارگیری جسم در آن ایجاد می‌گردد، می‌باشد.

وضعیت بویانسی یک جسم در محیط یک شاره

یک جسم جامد، با یک حجم بسته (آببند) وقتی در محیط داخل یک شاره با چگالی مشخص قرار می‌گیرد. بسته به مقدار وزن جسم و مقدار نیروی بویانسی که از جانب شاره به آن وارد می‌شود (که به چگالی شاره و حجم آببندی از جسم که در داخل شاره قرار گرفته، وابسته است). حالات زیر برای آن قابل رویداد است.

۱. بویانسی مثبت

۲. بویانسی خنثی

۳. بویانسی منفی

که در واقع معرف همان سه حالت ممکن برای قرارگیری یک جسم در داخل محیط شاره، که در قبل بیان گردید می‌باشد. در این ارتباط و در مورد دلایل و عوامل وابسته، در فصل سوم بشرح توضیح داده خواهد شد.

مفهوم غوطه‌وری و شناوری

پس از بیان مفهوم و حالات بویانسی در یک جسم جامد در داخل محیط شاره نوبت به معرفی دو بیان ساده که در مورد شرایط کارکرد یک زیردریایی بسیار مستعمل است می‌رسد.

در واقع وقتی یک جسم در حالت بویانسی مثبت قرار دارد و در سطح آب قرار می‌گیرد، به اصطلاح بیان می‌شود که جسم در حالت «شناوری» قرار دارد شبیه به آنچه که در شناورهای سطحی مثل یک کشتی رخ می‌دهد. و در مقابل زمانی که جسم در محیط شاره در حالت بویانسی منفی و یا بویانسی خنثی و در زیر سطح شاره قرار گیرد در اصطلاح بیان «مغروق» شدن را برای آن مورد استفاده قرار می‌دهند.

بنابراین یک زیردریایی به سبب ویژگی، شرایط کاری، شرایط مأموریتی و ساختار خود، باید هم قابلیت حرکت در حالت شناوری و سطحی (بویانسی مثبت)، و هم حالت مغروق (بویانسی خنثی) را داشته باشد. در این مورد نیز در فصل سوم صحبت خواهد شد.

زیردریایی

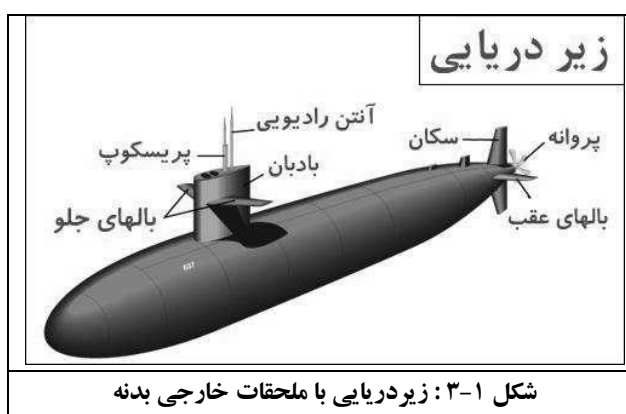
زیردریایی‌ها را می‌توان به عنوان یکی از جذاب ترین، مهمترین و در عین حال پیشرفته ترین اختراعات بشر در حوزه‌های دریایی به احتساب آورد. وسیله‌ای که امکان حرکت و حضور در سطح آب و همچنین اعماق آب را دارا می‌باشد. اختراعی که از آن می‌توان به عنوان دریچه‌ی ورود انسان به دنیای زیرسطح آب نام برد. زیردریایی‌ها نسبت به شناورهای سطحی معمولاً از سرعت کمتری برخوردار هستند، اما دو مزیت و برتری اصلی آنها به صورت :

(۱) امکان حرکت در زیر سطح به صورت مخفی

(۲) امکان غوص کردن به اعماق دریا (در حدود ۳۰۰ تا ۵۰۰ متر)

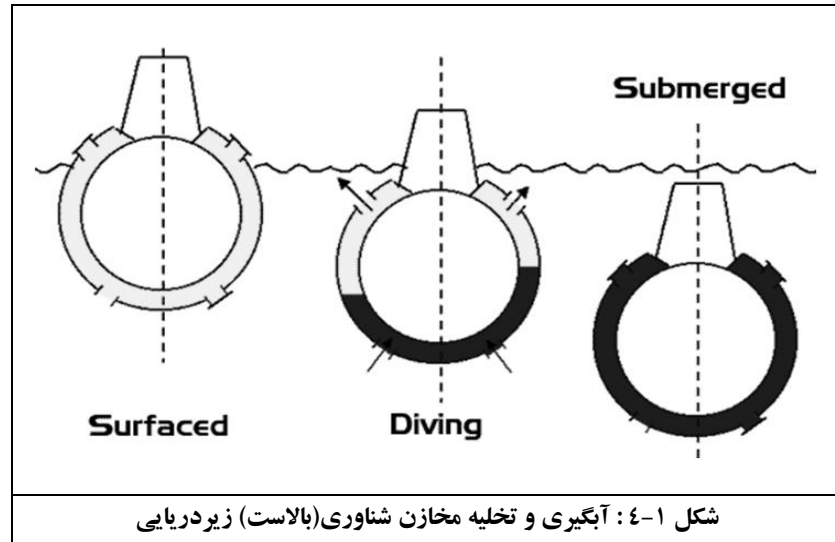
پوشانده‌ی این سرعت کم آنها، نیست به شناورها بوده و آنها را در جایگاه متفاوتی قرار می‌دهد.

تصویری کلی از یک زیردریایی را می‌توان به صورت «یک شناور دوزیست دریایی که قابلیت حرکت در سطح آب را مانند یک شناور دارا بوده و در عین حال برخلاف یک شناور سطحی توانایی رفتن به زیر سطح آب و همچنین حرکت در عمق به صورت مخفی را دارد» ارائه کرد. شکل ۱-۳ نمایی شماتیک از یک زیردریایی با ملحقات خارجی بدنه آن را نشان می‌دهد.



اصول کلی غوص و صعود زیردریایی‌ها براساس کارکرد سیستم تعادل (بالاست) در آنها می‌باشد. در تصویر کلی از این سیستم می‌توان گفت که عبارت است از وجود مخازنی از هوا در زیردریایی، که هنگام غوص دریچه‌های آنها باز شده، و هوای موجود توسط آب محیط اطراف بدنه جایگزین می‌شود. که نتیجه‌ی آن ورود شاره‌ای (آب) با چگالی تقریباً هزار برابر شاره موجود قبلی (هوا) در مخزن است. لذا سببی بر سنگینی بدنه، و غلبه بر بویانسی ذخیره در حالت سطحی خواهد بود و در نتیجه به غوص شناور می‌انجامد. و جهت صعود، و به سطح آب آمدن زیردریایی عکس حالت فوق رخ می‌دهد. و تخلیه‌ی مخازن از آب توسط دمیدن هوا در آنها با استفاده از سیستم هوای فشرده انجام می‌گیرد.

به این صورت که توسط سیستم‌های خاص، هوا با فشار بالا وارد مخازن شده و سبب خروج آب از مخازن به صورت فواره‌ای همانند حالت غوص نهنگ می‌شود. نکته مهم و قابل توجه در مورد غوص زیردریایی‌ها با استفاده از سیستم بالاست و بر خلاف تصور غلط عامه، این است که میزان عمق روی زیردریایی به افزایش آگیری در مخزن‌های بالاست مربوط نیست و تغییر در عمق زیردریایی در حالت زیرسطحی توسط سطوح کنترلی آن انجام می‌گیرد و نقش مخازن بالاست تنها برقراری شرایط بویانسی خنثی برای زیردریایی می‌باشد که در فصل سوم به وضوح در این زمینه صحبت خواهد شد. شکل ۱-۴ نحوه آگیری مخازن بالاست در زیردریایی را نشان می‌دهد.



طراحی و ساخت بدنه‌ی زیردریایی‌ها و شکل‌های غالب آنها نیز از اصول خاص خود پیروی می‌کند و پارامترهای متعددی در آن مؤثر است که در فصل دوم به شرح آن می‌پردازیم. نحوه‌ی تأمین توان مورد نیاز رانش برای یک زیردریایی نیز ممکن است در سطح و زیر سطح آب کاملاً با هم متفاوت باشد. چرا که یک زیردریایی در حرکت زیرسطحی خود به علت عدم امکان خروج گازهای احتراقی و همچنین عدم حضور اکسیژن هوا در زیر سطح آب، قادر به استفاده از موتورهای دیزل خود نبوده و باید از موتور الکتریکی که انرژی آن توسط باتری تأمین می‌شود استفاده کند، و در مقابل برای شارژ باتری‌ها و همچنین حرکت سطحی خود نیاز به ژنراتورهایی دارد که از سوخت دیزل استفاده می‌کنند. در مورد سیستم رانش و نحوه‌ی تأمین قدرت نیز در فصل چهارم صحبت خواهد شد.



شکل ۱-۵: یک زیردریایی نظامی

تاریخچه پیدایش و سیر تکامل زیردریایی‌ها

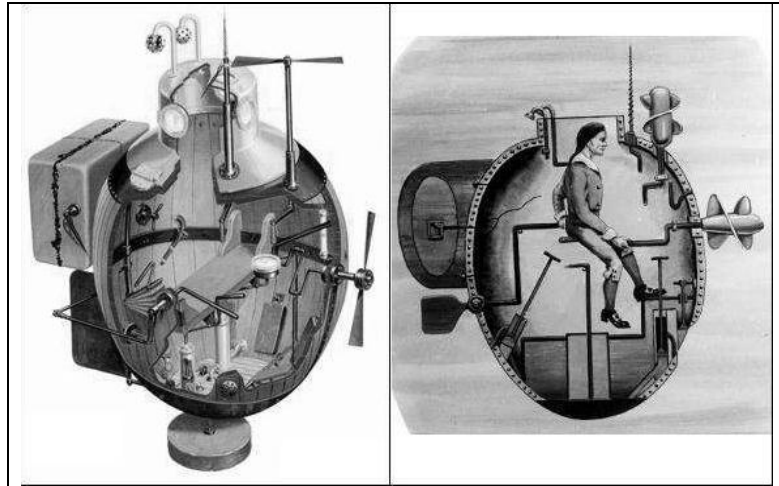
اولین سند ثبت شده در ارتباط با این گونه فعالیت‌ها به سندی بر می‌گردد که ۳۰۰ سال پیش از میلاد توسط اسکندر نوشته شده و در آن آمده است که در مصر باستان، چیزی شبیه بشکه می‌ساختند. که یک روی آن شیشه‌ای، و یک نفر در آن می‌توانست بنشیند. و این بشکه را در آب می‌فرستادند و آن فرد می‌توانست زیر آب را ببیند، که احتمالاً این عمل یک نوع آیین مذهبی به شمار می‌رفته است.

در سال ۱۵۷۸ اولین اشکال زیردریایی پدیدار گشت. که از چوب ساخته شده و ظاهری مانند قایق وارونه داشت.

اولین زیردریایی در سال ۱۵۸۰ توسط ویلیام بورن انگلیسی ساخته شد. زیردریایی او دارای یک پوسته چرمی بود. که با باد کردن آن حجم زیردریایی و در نتیجه بویانسی آن افزایش می‌یافت. و زیردریایی به سطح آب می‌آمد و با کم کردن باد آن بویانسی کاهش یافته و زیردریایی غوص می‌کرد.

در زیردریایی‌های اولیه، از نیروی دست برای حرکت دادن زیردریایی در عمق آب، کمک گرفته می‌شد. در سال ۱۶۲۰ شخصی بنام ون دریل اولین زیردریایی را ساخت، که می‌توانست در عمق ۴/۵ متری حرکت کند.

حجم داخل این زیردریایی بسیار کم بود. بطوریکه فقط یک نفر می‌توانست داخل آن قرار گیرد و برای حرکت دادن آن در عمق به یک فرد بسیار نیرومند نیاز بود تا بتواند پره‌های جلو و فوقانی را با استفاده از نیروی ماهیچه‌ای بچرخاند.



شکل ۱-۶: تصویری از زیردریایی‌های ابتدایی با نیروی ماهیچه‌ای

در سال ۱۶۰۵ ایتالیایی‌ها شروع به ساخت زیردریایی‌های خود کردند و تا سال ۱۷۴۹ و طی ۶۹ سال آنها را چندین بار بهینه‌سازی کرده و به پیشرفت‌هایی در این زمینه دست یافتند. در حدود سال ۱۷۷۰، دیود باشنل زیردریایی را طراحی کرد که می‌توانست به کمک دست، و پدالهای پایی حرکت کند. حدود ۳۰ سال بعد روبرت فولتون، زیردریایی دیگری ساخت که ۳ نفر گنجایش داشت و برای اولین بار، بالهایی برای تنظیم عمق در زیردریایی تعبیه شد. فولتون سپس تلاش کرد تا زیردریایی دیگری با موتور بخار بسازد. مشکل طراحی این موتورها در آن بود که در زیر آب اکسیژن نبود. بنابراین، موتوری طراحی شد که ابتدا وقتی زیردریایی در سطح آب قرار داشت، آب در داخل مخزنی با موتور دیزل (با سوخت گازوئیل) داغ و تبدیل به بخار می‌شد، سپس موتور خاموش می‌شد و زیردریایی به داخل آب شیرجه زده و تا وقتی که بخار داخل مخزن سرد نشده بود، زیردریایی می‌توانست با موتور بخار در عمق دریا حرکت کند.

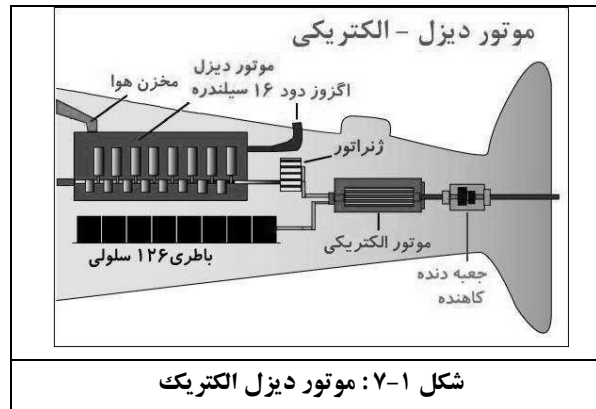
اولین زیردریایی نظامی جهان توسط دیوید باشنل آمریکایی در سال ۱۷۷۶ ساخته شد. در سال ۱۷۷۶ آمریکایی‌ها و در همان سال اعلام اتحاد ایالت‌هایشان اولین زیردریایی خود را ساختند که عبارت بود از زیردریایی کروی و یک نفره که با نیروی محرکه انسانی کار کرده و عجیب آنکه جهت نابودی کشتی‌های جنگی انگلیسی به کار رفت و گویا توانست یک کشتی انگلیسی را برای اولین بار غرق کند.

در سال ۱۸۰۱ یک آمریکایی به نام روبرت زیردریایی را در فرانسه طراحی کرد که دارای سیستم‌های مختلف، و به شکل ماهی و دارای بادبان نیز بود. که در هنگام حرکت روی سطح آب از آن استفاده می‌کرد، این زیردریایی دو نفره می‌توانست پنج ساعت به عملیات بپردازد. در سال ۱۸۵۰ شخصی آلمانی به نام ویلیام اقدام به ساخت یک زیردریایی نمود، که به صورت محدود موفقیت‌هایی را در بر داشت. این زیردریایی توانست تا عمق ۵۵ پا زیر آب فرو رود، ولی او نتوانست فشار داخل آنرا متعادل سازد، بنابراین مجبور به ترک آن شد.

در سال ۱۸۶۰ زیردریایی دیگری طراحی شد که بطور کامل زیر آب نمی‌رفت. و از طریق لوله‌ای که به سطح آب راه داشت، اکسیژن را برای سوخت موتور به داخل زیردریایی مکش می‌کرد.

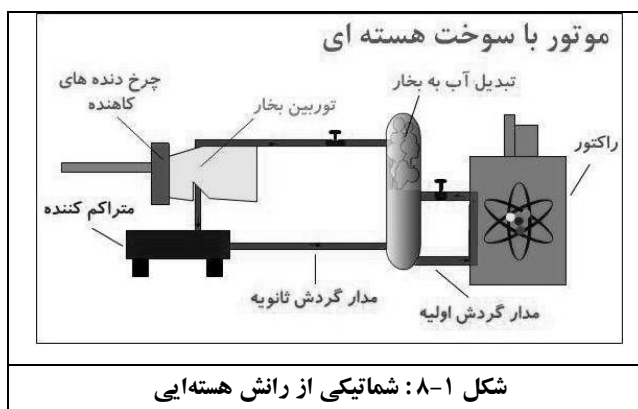
در سال‌های جنگ داخلی آمریکا موتور بخار اختراع گردید، و از آن زمان تا سال ۱۸۹۶ آمریکایی‌ها توانستند زیردریایی را با نام نهنگ بسازند، که باموتور بخار حرکت می‌کرد.

در سال ۱۹۰۰ اولین زیر دریایی با موتور الکتریکی و باتری‌های قوی ساخته شد. در سال ۱۹۰۴ اولین زیردریایی که با موتور دیزل- الکتریکی کار می‌کرد، در فرانسه ساخته شد. موتورهای دیزل در سطح آب، باتری‌های الکتریکی را شارژ می‌کردند و سپس زیردریایی در آب فرو می‌رفت. در این هنگام موتور دیزل خاموش می‌شد و موتور الکتریکی به کمک باتری‌های شارژ شده، زیردریایی را حرکت می‌داد. مشکل این نوع زیردریایی در آن بود که اولاً باتری‌ها خیلی بزرگ و سنگین بودند، و ثانیاً پس از گذشت چند ساعت زیردریایی مجبور بود به سطح آب بیاید. تا موتور دیزل روشن شده و باتری‌ها را مجدداً شارژ کند. اسید داخل باتری‌ها هم در ترکیب با آب دریا، بخار خطرناک و کشنده‌ای را تولید می‌کردند.



در سال ۱۹۱۲ نیروی دریایی آمریکا موتورهای محرک زیردریایی‌های خود را با موتورهای دیزل جایگزین کرد.

در سال ۱۹۵۴ اولین زیردریایی با سوخت هسته‌ای ساخته شد. از مزایای این زیردریایی‌ها، عدم نیاز به هوا است. این نوع زیردریایی‌ها می‌توانند به مدت طولانی (حتی سالها) زیر دریا بمانند و فقط در صورت نیاز به سطح آب بیایند و نیز با سرعت بالای ۵۰ کیلومتر در ساعت در زیر و یا سطح آب حرکت کنند. در این نوع رانش، حرارت راکتور از طریق لوله‌های آب به توربین بخار می‌رسد، و آن را می‌چرخاند. در سیستم رانش این نمونه زیردریایی‌ها مطابق شکل ۱-۸، دو مدار گردش آب طراحی شده است. در مدار اولی، آب در اثر حرارت زیاد راکتور (عمل شکافت هسته‌ای)، به شدت داغ می‌شود. و با گردش آب در مدار اولیه، محفظه تبدیل هم داغ می‌شود. سپس محفظه تبدیل، آب مدار ثانویه را تبدیل به بخار می‌کند. و آن را بسوی توربین بخار می‌فرستد. بخار آب، توربین را می‌چرخاند تا نیروی محرکه و برق زیردریایی تامین شود. سپس بخار آب در محفظه تراکم تبدیل به آب می‌شود و دوباره به محفظه تبدیل بخار ارسال می‌گردد.



نقش نظامی زیردریایی

بی‌شک عمده‌ترین دلیل توسعه و تکامل ساختار زیردریایی‌ها در طول زمان استفاده از آنها به عنوان یک سلاح کاملاً استراتژیک نظامی بوده است.

زیردریایی‌ها از دیرباز به علت مشخصه‌ی مهم خود، یعنی قابلیت رفتن به عمق آب، مخفی شدن و همچنین حرکت در زیر سطح آب به عنوان وسیله‌ای که سببی بر برتری نظامی در حیطه‌ی دریا است، شناخته می‌شدند. به گونه‌ای که در اختیار داشتن چنین وسیله‌ای برای هر کشور دارای مرز آبی یک مهم تلقی می‌شود. تا آنجا که در طول زمان هر یک از صاحبان این صنعت در سراسر جهان تنها به داشتن چنین وسیله‌ای راضی نبوده و همواره جهت بهینه کردن زیردریایی‌های خود، و لذا برای داشتن برتری بیشتر در این زمینه نسبت به رقبای موجود خود همواره کوشیده‌اند، که نتیجه آن سیر تکامل زیردریایی‌ها و تجهیزات مختلف آن در روند زمان می‌باشد.

آنچه در نقش نظامی یک زیردریایی اهمیت بسزایی دارد، قابلیت اختفای آن است و این قابلیت اختفا براساس سیستم‌های ردیابی صوتی امروزی، مبنی بر هرچه کم سروصدا تر بودن یک زیردریایی استوار می‌گردد. چراکه یک زیردریایی پر سروصدا در واقع نه تنها کارایی نظامی نخواهد داشت، بلکه یک هدف متحرک است که به سادگی قابل شناسایی می‌باشد. و در مقابل

یک زیردریایی بدون سروصدا یک برتری نظامی که قابلیت انهدام هر نوع مانعی را دارا است، محسوب می‌گردد.



شکل ۱-۹: یک زیردریایی نظامی در حال پرتاب اژدر و در عمق آب

بنابراین امروزه وجود زیردریایی‌های نظامی، چه از نوع بزرگ سرنشین‌دار که قابلیت حمل چندین موشک و اژدر را دارا است، و چه از نوع زیردریایی‌های کوچک و بدون سرنشین کنترل از راه دور جهت انجام مقاصد جاسوسی و یا به عنوان مین‌های متحرک و منهدم‌کننده، در ناوگان دریایی هر کشوری که دارای مرز آبی است، مهم و مؤثر می‌باشد. نمونه‌هایی از نقش مهم نظامی زیردریایی‌ها در وقایع مهم جهانی در ادامه و در قسمت‌های اشاره آمده است.

اشاره (زیردریایی‌های آلمان، عامل اصلی برتری آلمان و فلج کردن ناوگان دریایی انگلیس در اولین ماه‌های جنگ جهانی اول)

پس از آن که در ۵ سپتامبر ۱۹۱۴ زیردریایی آلمانی U-12 یک اژدر به طرف رزمناو pathfinder شلیک کرد. که آن هم درست به وسط کشتی اصابت کرده و فوراً آن را غرق نمود و ۲۵۹ خدمه این کشتی گشته شدند. در ۲۲ سپتامبر ۱۹۱۴، زیردریایی آلمانی U-9 توانست سه رزمناو را به همراه ۶۲ افسر و ۱۳۹۷ خدمه در عرض یک ساعت غرق کند. بازهم

در ۱۳ اکتبر یک رزمناو اسکاتلندی به نام Hawke به اعماق دریا فرستاده شد. غرق شدن این چهار رزمناو سببی گشت که کشور انگلیس، زیردریایی‌های آلمانی را عمده ترین تهدید علیه خود ببیند. حملات علیه انگلیسی‌ها متوقف نشد و بازهم در ۱۳ اکتبر ۱۹۱۴ زیردریایی آلمانی U-27 توانست ناو هواپیمابر Hermes را غرق کند. در ژانویه ۱۹۱۴ نیز U-24 توانست یک کشتی جنگی انگلیسی را در نزدیکی کانال انگلیس مورد اصابت یک اژدر قرار داده و آن را به همراه ۵۵۷ نفر غرق کند. و این مصداقی بر توانایی زیردریایی‌ها به عنوان یک سلاح استراتژیک و کاربردی در ناوگان دریایی می‌باشد. که آلمانی‌ها با اطلاع از این مهم و سرمایه‌گذاری روی این موضوع در قبل با کمترین خسارت و تلفاتی توانستند در اولین ماه‌های جنگ ناوگان دریایی انگلیس را فلج کنند.

در این نبردها فقط یک زیردریایی انگلیسی توانست یک اژدر به سمت کشتی جنگی آلمانی posen شلیک کند. که آن هم از مسیر خود منحرف شد و به هدف اصابت نکرد.

اشاره (زیردریایی U-20 آلمان عامل ورود آمریکا به جنگ جهانی اول و بر علیه آلمان)

در آوریل ۱۹۱۵، زیردریایی آلمانی U-20 به فرماندهی سویگر (Swieger) برای تنگ‌تر کردن حلقه محاصره انگلیس، راهی این جزایر شد و در آبهای جنوب غربی ایرلند مستقر شد. و توانست ۳ کشتی تجاری را منهدم کند. U-20 هنگام بازگشت به پایگاه خود وقتی به سطح آب آمده بود از دور دودکش‌های یک کشتی مسافربری بزرگ را مشاهده کرد. این کشتی یک کشتی مسافربری آمریکایی به نام Lusitania به همراه ۱۲۵۷ مسافر بود که ۱۹۷ نفر آنها آمریکایی بودند. U-20 به سرعت به زیر آب رفت و یک اژدر به سمت این کشتی شلیک نمود که به آن اصابت کرد و این کشتی از قسمت سینه شروع به غرق شدن کرد. مسافران بسیاری از روی عرشه‌های مختلف این کشتی در حال پایین پریدن بودند و فرمانده زیردریایی که این صحنه را با پریسکوپ مشاهده می‌کرد از شلیک دومین اژدر خودداری کرد و به پایگاه خود بازگشت. در این حمله ۱۲۰۱ مسافر کشته شدند. با حمله به کشتی مسافری Lusitania رئیس جمهور آمریکا «روزولت» از مجلس این کشور درخواست کرد که آمریکا علیه آلمان وارد

جنگ شود. آلمانی‌ها که به شدت از این تصمیم آمریکایی‌ها وحشت زده شدند، اعلام کردند از آن پس به هیچ کشتی تجاری حمله نمی‌کنند. ولی آمریکا تصمیم خود را مبنی بر جنگ علیه آلمانی‌ها گرفته بود و بدین ترتیب به شمار دشمنان آلمان در جنگ افزوده شد. جنگ نامحدود زیردریایی‌ها علیه حتی ناوگان‌های تجاری بزرگترین اشتباه آلمانی‌ها در جنگ جهانی اول بود.

اشاره (پایان جنگ جهانی اول و نقش هولناک زیردریایی‌ها آلمانی در تلفات آن)

سرانجام در ۱۱ نوامبر ۱۹۱۸، قرارداد صلح با شکست آلمان امضا شد. طبق قرارداد، باید زیردریایی‌های آلمان اوراق شده یا بین نیروهای متفقین تقسیم می‌شدند (به دلیل نقش مهم و کاربردی آنها در جنگ). نبرد زیردریایی‌های آلمانی تلفات شگفت‌آوری به دنبال داشت آنها ۱۸ رزمناو، و ۵۰۷۸ کشتی تجاری را با بیش از پانزده هزار خدمه غرق کردند. و در ازای آن ۱۷۸ زیردریایی آلمان به همراه ۵۳۰۰ خدمه در این جنگ از بین رفتند. و این خود تصدیقی بر نقش مهم و تعیین‌کننده زیردریایی‌ها، به عنوان یک سلاح نظامی استراتژیک می‌باشد. آثار این جنگ به قدری هولناک و ویران‌کننده بود. که هر انسانی آرزو می‌کرد، که دیگر هیچگاه نبردی با حضور زیردریایی‌ها رخ ندهد. و این غول هولناک دریایی وارد صحنه نبرد دیگری نگردد. غافل از اینکه ۲۱ سال بعد جنگ دیگری رخ داد که به مراتب ویران‌کننده تر از جنگ جهانی اول بود.

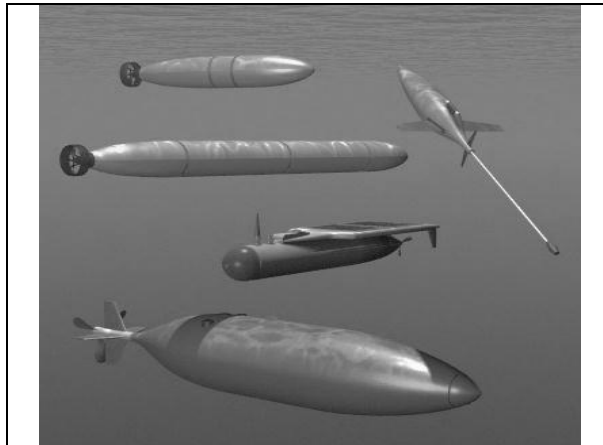
اشاره (تکیه آلمان بر ناوگان زیرسطحی خود در آغاز جنگ جهانی دوم)

آلمان در شروع جنگ جهانی دوم دارای قدرتمندترین ناوگان زیرسطحی بود. که به کمک آن جنگ را به اقصی نقاط دنیا گسترش داد. وقتی اولین گلوله جنگ جهانی دوم، بین آلمان و لهستان شلیک شد، آلمان دارای ۵۷ زیردریایی بود. زیردریایی‌های جدید مدل VLL و LX نیز از قبل برای محاصره اقتصادی انگلستان طراحی و ساخته شده بودند. این دو نوع زیردریایی دارای برد زیادی بوده که می‌توانستند ۱۲ اژدر با خود حمل کنند. در جنگ جهانی دوم

زیردریایی‌های آلمان به این قابلیت رسیده بودند که تا عمق ۱۵۰ متری نفوذ کنند. و می‌توانستند در آبهای عمیق اطراف جزایر انگلستان به راحتی مخفی شوند.

نقش‌های دیگر زیردریایی‌ها

اگرچه شاید در گذشته مهمترین نقش زیردریایی‌ها مربوط به مسائل نظامی بود. اما امروزه حضور این وسیله‌ی شگفت انگیز در عرصه‌های دیگر نیز به خوبی به چشم می‌خورد. استفاده از ربات‌های زیردریایی بدون سرنشین با قابلیت کنترل از راه دور توسط کابل (ROV) و یا از نوع هوشمند (AUV) در مسائل دریایی امروزه بسیار گسترده شده است. از این نوع زیردریایی‌ها به طور گسترده جهت دسترسی به اعماق، زیست شناسی دریا، تهیه‌ی فیلم و عکس در عمق، بازرسی پایه‌های سکوهای نفتی و لوله‌های انتقال نفت در دریا و... به عنوان یک منبع شناسایی و از نوع ربات گونه می‌توان استفاده کرد. این ربات‌ها در انجام فرآیندهایی مثل جوشکاری لوله‌ها و موارد بسیار دیگری که حضور غواص امکان پذیر نیست کاربرد دارند. استفاده از این نوع زیردریایی‌های ربات گونه‌ی کوچک با قابلیت کنترل از راه دور، تنها به محیط دریا و اقیانوس‌ها منحصر نمی‌شود بلکه در بسیاری از موارد خطر آفرین برای انسان می‌توان از آنها به سادگی استفاده کرد. از جمله جهت بازدید در آب خنک کننده‌ی اطراف یک راکتور هسته‌ای و یا مثلاً یک تانک محتوی سیالی سمی و خطرناک، بنابراین لزوم وجود چنین ربات‌های کوچک و سیال رو در داخل نیروگاه‌ها، پالایشگاه‌ها، سدهای آبی، سکوهای نفتی و حتی یک پمپ بنزین معمولی که دارای چندین مخزن بزرگ سوخت است، به خوبی احساس می‌شود. این موضوع سببی بر گسترش هرچه بیشتر این نوع از ربات‌های زیردریایی محسوب می‌شود (در این زمینه در فصل ششم صحبت خواهد شد).



شکل ۱-۱۰: چند ربات مختلف زیرسطحی

در کنار این موارد، آرزوی انسان از گذشته تا به حال مبنی بر ورود او به دنیای زیر سطح آب، عاملی بر استفاده از زیردریایی به عنوان یک وسیله‌ی تفریحی شده است. به گونه‌ای که امروزه علاوه بر صحبت از هواپیماهای خصوصی، بحث داغ زیردریایی‌های خصوصی نیز مطرح است و سرمایه‌داران بسیاری تمایل به این سمت را دارند. و شرکت‌های فراوانی در سراسر جهان در زمینه‌ی طراحی و ساخت انواع زیردریایی‌های تک نفره، دو نفره و چند نفره‌ی تفریحی فعال شده‌اند. بی‌شک بازدید از دنیای زیر سطح آب، در کنار آبزیان مختلف قرار گرفتن، جذابیت صخره‌های مرجانی و بسیاری از عوامل جذاب دیگر، هر انسان با طبعی را متمایل به استفاده از زیردریایی‌های تفریحی می‌کند. و این عامل سبب رونق بسیار چشمگیر صنعت زیردریایی‌های تفریحی، کارخانه‌های ساخت و مؤسسات مربوطه در کنار اشتغال زایی بسیاری گشته است.



کل ۱-۱۱: نمونه‌ای از یک زیردریایی تفریحی

نقش زیردریایی در ایران

کشور عزیزمان ایران به واسطه‌ی موقعیت جغرافیایی خود، دارای مرز گسترده‌ی آبی در شمال و جنوب خود می‌باشد. همین امر حضور صنعت دریایی و عوامل مربوط به آن را در کشور ناگزیر می‌سازد. بنابراین از لحاظ نظامی، با توجه به مرز آبی ایران مخصوصاً در خلیج فارس که از پرتنش‌ترین نواحی جهان در دو دهه‌ی اخیر محسوب می‌گردد، حضور زیردریایی‌های نظامی به عنوان یک سلاح استراتژیک در ناوگان دریایی ایران بسیار مهم بوده، که در زمان جنگ عامل مهم و مؤثری محسوب می‌گردد که سببی بر برتری بوده و در زمان صلح نقش یک عامل بازدارنده را ایفا می‌کند. با توجه به عمق متوسط خلیج فارس که جزء آب‌های کم عمق به حساب می‌آید، زیردریایی‌های کوچک و معمولاً از کلاس میدجت و همچنین زیردریایی‌های بدون سرنشین کنترل از راه دور دارای کارایی خوبی در این نواحی می‌باشند.

از نقطه نظر تفریحی نیز هر چند که تا کنون در این راستا در کشور اقدام خاصی صورت نپذیرفته است اما با توجه به جذابیت‌های دریایی در جنوب کشور و از جمله صخره‌های مرجانی در جزیره‌ی کیش پتانسیل این امر در کشور به خوبی وجود دارد. وجود مخازن گسترده انرژی در آب‌های جنوب کشور، سکوها‌ی نفتی، خطوط انتقال و همچنین نیاز به ربات‌های شناسایی کننده جهت عواملی مانند زیست شناسی دریا، بررسی آبزیان دریایی و بازدید و... از جمله عواملی است که سببی بر هرچه بیشتر مشخص شدن نیاز به ربات‌های کوچک زیردریایی، در ایران می‌باشد.

تقسیم بندی زیردریایی‌ها

در گذر زمان چنان که گفته شد، عامل اصلی پیدایش و گسترش زیردریایی‌ها مباحث نظامی بوده و تصویری به عنوان یک سلاح استراتژیک از آن‌ها مطرح می‌باشد. لذا برخلاف شناورها و کشتی‌ها که عامل اصلی در آنها مباحث تجاری و خدماتی است. دسته‌بندی گسترده و مشخصی از انواع زیردریایی‌ها نمی‌توان ارائه داد. لذا بر اساس چندین عامل اصلی در اینجا دسته بندی از انواع زیردریایی‌ها بیان می‌شود.

در یک دسته‌بندی کلی از نقطه نظر وظیفه‌ی کاری و تعریفی برای یک زیردریایی به صورت زیر می‌توان انواع زیردریایی‌ها را دسته بندی کرد :

- ۱- زیردریایی‌های نظامی
- ۲- زیردریایی‌های تفریحی
- ۳- ربات‌های زیردریایی و بدون سرنشین

زیردریایی‌های نظامی

زیردریایی‌های نظامی در واقع گسترده‌ترین طیف زیردریایی‌های موجود را تشکیل می‌دهند. که جهت مقاصد و فرآیندهای نظامی، طراحی و ساخته می‌شوند و مجهز به سلاح و قابلیت‌های خاص نظامی می‌باشند. این نوع زیردریایی‌ها نیز از نقطه نظرهای متفاوتی مانند میزان

پیشرفتگی، حمل سلاح، کلاس خاص کاری، اتمی و غیر اتمی و ... دسته‌بندی می‌گردند. که رایج‌ترین دسته‌بندی زیردریایی‌های نظامی از لحاظ تناژ آنها می‌باشد. که بر این اساس می‌توان زیردریایی‌های نظامی را در قالب موارد زیر معرفی و دسته‌بندی نمود.

- زیردریایی‌های مرطوب
- زیردریایی‌های میدجت (تناژ کمتر از ۵۰ تن)
- زیردریایی‌های کوچک (تناژ ۵۰ تا ۲۰۰ تن)
- زیردریایی‌های تناژ متوسط (تناژ بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ تن)
- زیردریایی‌های تناژ بالا (تناژ بالای ۷۰۰ تن)

زیردریایی‌های تفریحی

برای این نوع از زیردریایی‌ها دسته‌بندی خاص، و مشخصی نمی‌توان ارائه کرد. این نوع زیردریایی‌ها معمولاً در ابعاد مختلف، قابلیت‌ها و طرح بدنه‌های متفاوت برای مقاصد تفریحی طراحی و ساخته می‌شوند. که در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است.

ربات‌های زیردریایی

این نوع ربات‌ها نیز مربوط به دسته زیردریایی‌های بدون سرنشین و کنترل از راه دور و یا هوشمند می‌شوند. که کارایی و قابلیت‌های خاص خود را دارند و قادر به انجام فعالیت‌های متفاوتی می‌باشند. در مورد ربات‌های زیردریایی و انواع دسته‌بندی و کلاس‌های مختلف آنها در فصل ششم صحبت خواهد گردید.

فصل دوم

انتخاب شکل، ابعادبندی بدنه

و سطوح کنترلی

مقدمه

وقتی صحبت از یک زیردریایی و شکل آن می‌شود، تصوره‌های گوناگونی از اشکال آن در ذهن ایجاد نمی‌گردد و معمولاً ذهنیت غالب به صورت جسمی تقریباً استوانه گونه است. هر چند این تصور به دور از واقع خصوصاً در مورد زیردریایی‌های بزرگ نمی‌باشد. اما در مورد ربات‌های دریایی و زیردریایی‌های بدون سرنشین تنوع اشکال گستره‌ی بالایی را به خود اختصاص می‌دهد. اما آنچه که مهم و قابل توجه می‌باشد اینست در همه‌ی این موارد و انتخاب انواع شکل بدنه و ابعاد بندی آنها ملاحظات خاصی وجود دارد که توجه به آنها الزامی و سببی بر هر چه بهینه‌تر شدن بازدهی، و کارایی کل سیستم خواهد بود. بیشتر این ملاحظات جنبه‌ی تجربی داشته و در گذر زمان در موارد آزمایشی و تست به دست آمده است. و برخی دیگر از این ملاحظات براساس موارد علمی و منطقی استوار می‌باشد. در این فصل سعی بر آن گشته است که ضمن توضیح و شرح پارامترهای مختلف در انتخاب شکل و ابعاد بندی بدنه، چگونگی روند انتخاب و طراحی درست و بهینه‌ی بدنه، در یک زیردریایی مفروض بر اساس پارامترها مختلف و مؤثر شرح داده شود.

شکل بدنه

بدون شک توجه به نوع شکل انتخابی برای بدنه‌ی یک زیردریایی از اهمیت بسزایی برخوردار است. انتخاب این شکل وابسته به موارد متعددی است، که از جمله آن به موارد زیر می‌توان اشاره کرد :

- ✓ دارای حداقل مقاومت بدنه
- ✓ قابلیت مانور خوب در آب
- ✓ مناسب بودن جهت حرکت سطحی و زیرسطحی
- ✓ پایداری
- ✓ سرعت زیردریایی
- ✓ اجزا داخلی و جانمایی آنها

✓ و موارد دیگر

لذا انتخاب هر نوع شکل دلخواهی جهت بدنه‌ی یک زیردریایی مناسب نخواهد بود و توجه به پارامترهای موثر بر آن نقش تعیین کننده‌ای خواهد داشت.

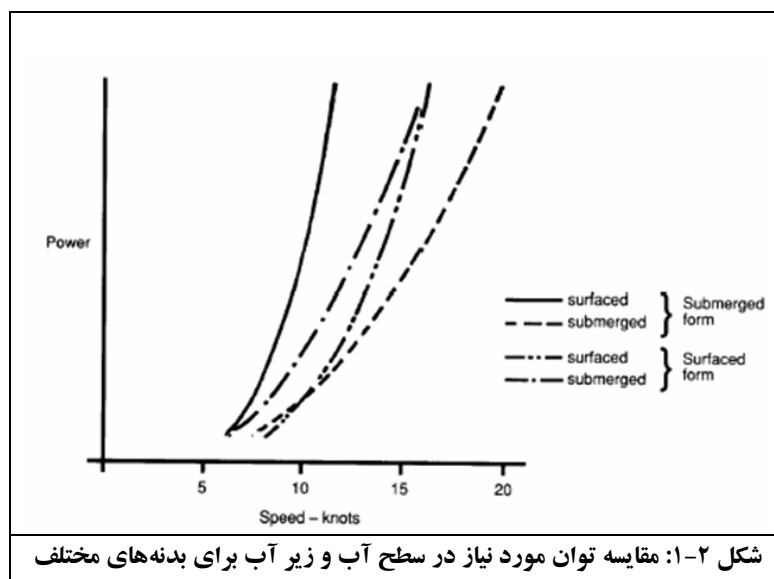
عامل اصلی انتخاب شکل بدنه

عامل اصلی و تعیین کننده‌ی شکل بدنه‌ی یک زیردریایی در واقع میزان نیروی مقاومت (درگ) بدنه است. لذا انتخاب یک شکل بدنه خاص که دارای کمترین نیروی مقاومت در مقابل حرکت باشد. بسیار مهم می‌باشد. البته توجه به این نکته را ضروری می‌داند که چون زیردریایی‌ها در واقع جزء شناورهای دو زیست محسوب می‌شوند (هم قابلیت حرکت در سطح و هم حرکت در زیر سطح را دارند). و از آنجا که شکل ایده‌آل و مناسب با کمترین مقاومت در حرکت سطحی و زیرسطحی با یکدیگر متفاوت است. بنابراین انتخاب یک شکل بدنه‌ی بهینه برای یک زیردریایی و با توجه به نحوه‌ی کارکرد غالب زیردریایی و ماموریت‌های تعریف شده برای آن از اهمیت خاصی برخوردار است. به عنوان مثال شکل بدنه‌ی یک زیردریایی که اغلب ماموریت-های آن در حرکت زیرسطحی بوده و غالباً این حرکت از اهمیت بیشتری برای کاربر آن، برخوردار است. متفاوت خواهد بود با شکل بدنه‌ی زیردریایی که حرکت سطحی در آن، و یا زیردریایی که هر دو حرکت سطحی و زیرسطحی آن برای کاربر مهم است.

جهت روشن تر شدن موضوع به بیان این مطلب می‌پردازیم که به عنوان مثال شکل ایده‌آل (دارای کمترین مقاومت) در حرکت زیرسطحی شکل بدنه دوکی (شکل بدنه شبیه قطره آب چکیده) که شکل غالب زیردریایی‌های امروزی است می‌باشد. و این در حالیست که این شکل جهت حرکت سطحی مطلوب نبوده و دارای مقاومت بالایی است. و همچنین شکل ایده‌آل و مناسب جهت حرکت سطحی شکل بدنه‌هایی با دماغه (سینه) انحنا دار و نوک تیز مثل بدنه‌ی کشتی‌ها و قایق‌ها می‌باشد. که در مقابل این شکل بدنه‌ها نیز برای حرکت در زیر سطح مناسب نیستند.

دلیل این امر را می‌توان در تفاوت مؤلفه‌های تشکیل دهنده‌ی مقاومت در حرکت سطحی و زیرسطحی دانست. همانطور که در ادامه در مورد مقاومت بدنه و مؤلفه‌های آن صحبت خواهد

شد. می‌دانیم که در حرکت سطحی مقاومت موج سازی نقش مهمی را ایفا می‌کند، که به شدت به شکل بدنه وابسته است. به عبارت دیگر شکل بدنه‌های تیز و انحنادار برای غلبه بر این مولفه‌ی مقاومت مناسب هستند. در حالی که شکل بدنه‌های حجیم توپر سببی بر افزایش این نوع مقاومت می‌باشد. همچنین در حرکت زیرسطحی مقاومت اصطکاکی و سیکوز فشاری که وابسته به شکل بدنه و وسیکوزیته‌ی سیال بوده، از اهمیت برخوردارند. و شکل بدنه‌های متقارن، مثل سینه‌ی نیم بیضی گون زیردریایی، سبب توزیع متقارن فشار روی بدنه می‌شود و عاملی بر کاهش مقاومت و سیکوز فشاری، و مناسب جهت حرکت زیرسطحی می‌باشد. با توجه به نمودار شکل ۱-۲ که نسبت توان به سرعت در شکل بدنه‌های مختلف و در حالت حرکت سطحی و زیرسطحی، را نشان می‌دهد. این موضوع به سادگی قابل درک است.



بر اساس این نمودار ملاحظه می‌شود بدنه‌ی زیردریایی در :

- سطح آب دارای بیشترین شیب (بدترین حالت)
- زیر سطح آب دارای کمترین شیب (بهترین حالت)

می‌باشد که در واقع تصدیقی بر موارد قبل است.

به بیان دیگر در این نمودار هرچه شیب، کمتر باشد. بیانگر این موضوع است که هر مقدار سرعت (محور افقی نمودار) بالاتر می‌رود. افزایش مقاومت و لذا توان مورد نیاز (محور عمودی نمودار) نسبت به نموداری که شیب آن بیشتر است، افزایش کمتری می‌یابد. بنابراین هرچه شیب بیشتر باشد، در یک سرعت خاص نیاز به توان بالاتری است.

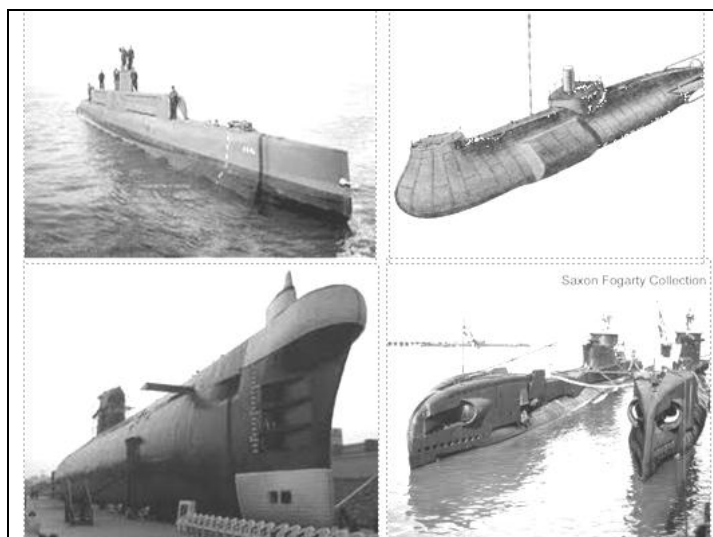
شکل ۲-۲ تصویری از شکل کلی، و شکل سینه‌ی یک زیردریایی و کشتی را نشان می‌دهد.



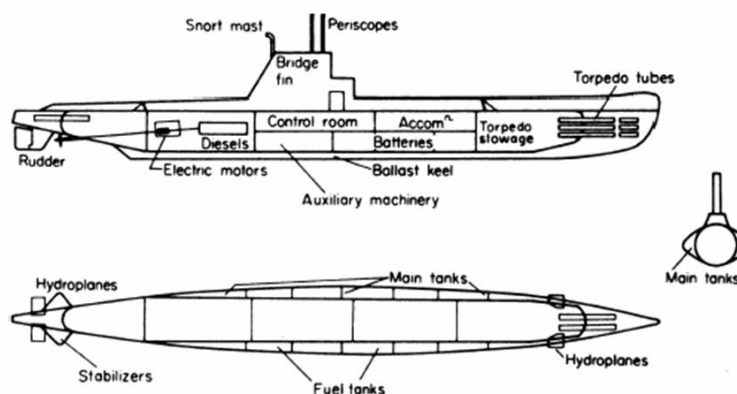
شکل ۲-۲: شکل سینه در کشتی و زیردریایی

بنابراین انتخاب یک حالت بهینه برای شکل بدنه با توجه به غالب ماموریت کاری و تعریف شده برای یک زیردریایی از عوامل مهم طراحی محسوب می‌گردد.

زیردریایی‌های اولیه با توجه به الهام‌گیری از ساخت شناور و کشتی که قابلیت رفتن و حرکت در زیرسطح آب را داشته باشد دارای شکلی شبیه به کشتی بودند. که به تدریج با آشنایی با مؤلفه‌های مقاومت کل و عوامل مؤثر در آن سعی بر بهبود شکل زیردریایی‌ها برای حرکت در زیرسطح شد. و تغییر در شکل سینه زیردریایی‌ها با افزایش عمق غوطه‌وری آنها در روند زمان در این راستا بوده است. در شکل ۲-۳ و ۲-۴ نمایی از فرم بدنه‌های چند زیردریایی قدیمی نشان داده شده است.



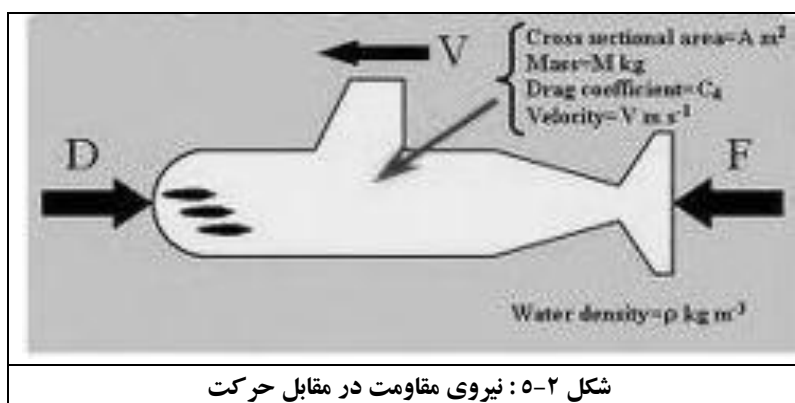
شکل ۲-۳: زیردریایی‌های قدیمی با شکل بدنه‌های خاص



شکل ۲-۴: نمونه‌ای از زیردریایی‌های قدیمی با شکل سینه شبیه به کشتی

مفهوم مقاومت بدنه (درگ)

در واقع منظور از مقاومت بدنه‌ی یک شناور (کشتی، زیردریایی، قایق و ...) نیرویی است، که بدنه‌ی آن شناور در مقابل حرکت در داخل آب ایجاد می‌کند. به بیان دیگر سیستم رانش یک شناور با غلبه بر این نیرو قادر به حرکت شناور در سطح یا زیرسطح آب خواهد بود. بنابراین مقاومت بدنه‌ی شناور یک عامل نامطلوب محسوب می‌گردد. و تا جای ممکن در مراحل طراحی و ساخت سعی بر آن است که این عامل به حداقل ممکن برسد. بدیهی است که طراحی و انتخاب شکل بدنه‌ی نامناسب، سبب افزایش نیروی مقاومت و در نتیجه سبب افزایش توان مصرفی سیستم رانش جهت غلبه بر مقاومت و توانایی در رانش شناور خواهد بود. و این به معنی افزایش مصرف انرژی و استفاده از سیستم رانش قوی‌تر است. در حالی که با یک طراحی بهینه و مناسب قادر خواهیم بود که از موارد ذکر شده اجتناب به عمل آورده، و در مصرف سوخت (انرژی مورد نیاز رانش) و توان مصرفی صرفه جویی لازم را به عمل آوریم. بنابراین همانطور که در شکل ۵-۲ نشان داده شده است با ایجاد نیروی F در سیستم رانش می‌توان بر مقاومت (درگ) بدنه یعنی نیروی D غلبه کرد و زیردریایی را با سرعت V در سیال به حرکت در آورد.



اما منظور از لفظ مقاومت بدنه، مقاومت کلی شناور است. در حالی که اجزاء تشکیل دهنده‌ی این مقاومت مختلف بوده و دارای منشاءهای متفاوتی هستند.

به طور کلی مقاومت کل یک شناور که تحت عنوان «مقاومت شناور» از آن یاد می‌شود، مجموعه‌ای از مؤلفه‌های تشکیل دهنده آن است، که شامل مولفه‌های زیر می‌شود:

- مقاومت اصطکاکی

- مقاومت ویسکوز فشاری

- مقاومت موج (شامل مقاومت موج سازی و مقاومت شکست موج)

- مقاومت ملحقات بدنه

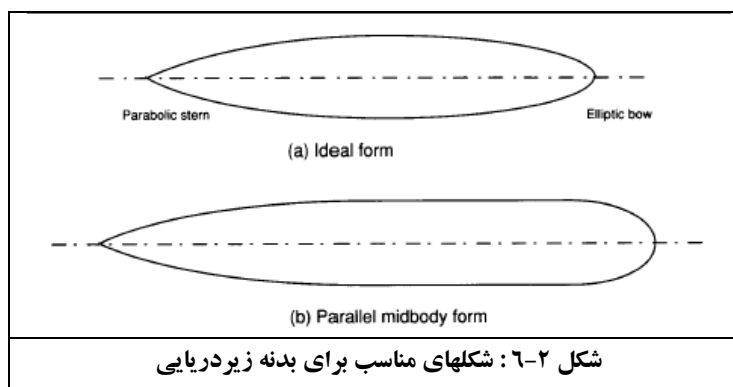
- مقاومت باد

و ...

که معمولاً سهم اصلی مقاومت یک شناور را سه نوع مقاومت اصطکاکی، ویسکوز فشاری و موج بر عهده دارند.

البته سهم هر یک از این سه مقاومت اصلی در حالت‌ها و سرعت‌های مختلف حرکتی بسیار متفاوت خواهد بود و همچنین وابستگی زیادی به شکل بدنه خواهد داشت. به عنوان نمونه مقاومت اصطکاکی تا حد بالایی وابسته به ویسکوزیته و مقدار مساحت سطح خیس بدنه (آن قسمت از بدنه که در حرکت شناور در مجاورت آب قرار می‌گیرد) می‌باشد. در مقابل مقاومت موج بیشتر وابسته به عدد فرود و سرعت حرکت می‌باشد.

از آنجا که بحث در مورد مولفه‌های مختلف مقاومت بدنه و عوامل موثر بر آنها بحث بسیار گسترده و خارج از هدف و ظرفیت این کتاب است. به همین توضیح بسنده کرده و توصیه می‌گردد که حتماً جهت اطلاع و آشنایی بیشتر با این مفهوم اساسی در طراحی بدنه به مباحث مربوط به مقاومت بدنه از مرجع [۱] و یا منابع موجود مراجعه شود. در شکل ۲-۶ نمایی از شکل مناسب برای بدنه زیردریایی با توجه به پارامترهای مقاومتی بدنه ارائه گردیده است.



شکل آلباکوری در بدنه زیر دریایی

امروزه شکل آلباکوری (شکلی نظیر آنچه که در تصویر اول شکل ۲-۶ ارائه گردیده است) در زیر دریایی‌ها از جمله هندسه‌های خاص بدنه محسوب می‌گردد که از هیدرودینامیک خوبی برخوردار بوده، و مورد استفاده قرار می‌گیرد. که در مورد تاریخچه استفاده از آن می‌توان اشاره بعد را ارائه کرد.

اشاره (پیدایش شکل آلباکوری)

در سال ۱۹۵۳، نیروی دریایی آمریکا یک زیر دریایی جدید به نام آلباکور به طول ۲۰۳ فوت ساخت که شکل بدنه آن شبیه کشتی هوایی بود. این زیر دریایی به سرعت زیر آبی ۲۶ گره رسید. که نشان از شکل هیدرودینامیکی مناسب این زیر دریایی داشت. موفقیت فوق العاده این نوع بدنه باعث شد، کلیه زیر دریایی‌های بعدی آمریکا از جمله زیر دریایی هسته‌ای Shipjack نیز با همین شکل بدنه ساخته شود. در شکل ۲-۷ تصویری از یک زیر دریایی با شکل آلباکوری نشان داده شده است.



شکل ۲-۷: زیردریایی با شکل آلباکوری

تعیین ابعاد بدنه

پس از مشخص شدن شکل کلی بدنه بر اساس موارد تعیین کننده آن و مطلوب کارفرما، توجه به هدف کاری زیردریایی، مقاومت بدنه و... نوبت به تعیین ابعاد بدنه می‌رسد. در واقع این مرحله یکی از اصلی‌ترین قسمت‌های طراحی است که توجه و دقت بالایی را می‌طلبد. چرا که شالوده‌ی اصلی در مقدار نیروی بویانسی مورد نظر در این مرحله بسته می‌شود. در واقع در این مرحله با مشخص کردن ابعاد بدنه با توجه به شکل انتخابی، حجم تقریبی و کلی شناور به دست خواهد آمد. و این حجم همانطور که می‌دانیم مطابق فرمول زیر تعیین کننده‌ی مقدار نیروی بویانسی کل در شناور خواهد بود؛

$$F_B = \rho_{H_2O} \cdot V \cdot g \quad (N)$$

همانطور که بیان شد این مرحله در فرآیند طراحی از اهمیت فوق العاده‌ای برخوردار است. چرا که انتخاب نامناسب ابعاد بدنه مشکلات برگشت ناپذیری را در مرحله ساخت و تست به وجود خواهد آورد. بنابراین برای یک شناور مفروض با یک شکل خاص، و محدوده‌ی وزنی اجزاء و ملحقاتی که در آن چیدمان می‌شوند. یک محدوده‌ی ابعادی بهینه و مطلوب جهت تولید نیروی

بویانسی مورد نیاز وجود دارد. و خارج بودن از این محدوده ابعادی ضعف بزرگی در طراحی محسوب می‌گردد. جهت واضح تر شدن موضوع به ارائه‌ی مثال زیر می‌پردازیم.

به عنوان نمونه فرض می‌کنیم که یک زیردریایی استوانه‌ای شکل مطلوب باشد، و در مرحله‌ی انتخاب ابعاد آن قرار داریم. همچنین می‌دانیم که جرم کل زیردریایی (شامل: بدنه و اجزا داخلی) در حدود ۷ کیلوگرم تخمین زده می‌شود. برای بیان نحوه انجام و انتخاب صحیح روند ابعاد بندی بدنه گام‌های کلی زیر را در قالب این مثال توضیح می‌دهیم.

گام اول (محاسبه حداقل نیروی بویانسی و حداقل حجم بدنه)

با توجه به مقدار کل وزن زیردریایی مشخص می‌شود، که ابعاد بدنه باید به گونه‌ای انتخاب گردند که حجمی از کل بدنه را به ما بدهند، که این حجم قادر به تولید حداقل نیروی بویانسی جهت غرق نشدن بدنه باشد.

بنابراین نیروی گرانشی حاصل از وزن شناور و به سمت پایین در این شناور مفروض به صورت:

$$w = m \cdot g = 8 \times 9.81 = 68.67 \quad N$$

و نیروی بویانسی حاصل از حجم آب جابه‌جا شده توسط بدنه و به سمت بالا در این شناور مفروض به صورت:

$$F_B = \rho_{H_2O} \cdot V \cdot g$$

محاسبه می‌گردد. لذا جهت رسیدن به تعادل نیرویی با اعمال تساوی زیر : (البته این تساوی جهت تعیین حداقل نیروی بویانسی مورد نیاز برای جلوگیری از غرق شدن و در نتیجه حداقل محدودیت ابعادی بدنه می‌باشد)

$$w = F_B \Rightarrow 78.48 = \rho_{H_2O} \cdot V \cdot g \Rightarrow V = \frac{68.67}{\rho_{H_2O} \cdot g} = 0.007 \quad m^3$$

بر این اساس مقدار حداقل حجم مورد نیاز بدنه جهت داشتن یک حالت بویانسی خنثی محاسبه می‌گردد. که البته مقدار چگالی وابسته به مقدار شوری آب خواهد بود. که در اینجا چگالی آب شیرین در نظر گرفته شده است.

با بیان مطالب و روابط قبل کاملاً مشخص است. که می‌توان مقدار شتاب گرانش زمین (g) را در تساوی دو نیروی بویانسی و وزن از طرفین رابطه حذف نمود. این موضوع سبب ایجاد یک اصطلاح، مخصوصاً در صنایع کشتی سازی گردیده است. و آن، بیان نیروی بویانسی بر حسب واحد جرم است به همین علت در بیشتر مواقع در این صنعت صحبت از بویانسی بر حسب کیلوگرم و تن می‌شود. به بیان دیگر دو نیروی وزن و بویانسی را به جای استفاده از ماهیت نیروی آنها و بر حسب نیوتن (N)، بر حسب جرم و به صورت اصطلاحی در نظر می‌گیرند. لذا در طراحی کفیسست که تخمین زده شود شناور و اجزاء آن چه جرمی دارند. و جهت مغروق نشدن این جرم در آب چه مقدار بویانسی بر حسب واحد جرم مورد نیاز است.

بنابراین بر طبق این موضوع، بعضاً در کتاب‌ها نیروی بویانسی به صورت زیر معرفی می‌گردد، که در واقع بیان اصطلاحی آن بوده و ماهیت جرمی و نه نیرویی، دارد :

$$F_B = \rho_{H_2O} \cdot V \quad (kg)$$

گام دوم (تعیین ابعاد بدنه)

پس از مشخص شدن حداقل حجم مورد نیاز جهت رسیدن به حالت بویانسی خنثی نوبت به تعیین تخمینی حجم کل بدنه می‌رسد. در واقع برای داشتن حرکت سطحی در زیردریایی (حالت بویانسی مثبت) باید مقداری حجم بدنه را بیشتر از حالت بویانسی خنثی در نظر گرفت. این افزایش حجم بدنه برای داشتن یک مقدار بویانسی ذخیره (برابر حجم مخزن بالاست) در حرکت سطحی است، که در فصل سوم در این مورد توضیح داده خواهد شد. معمولاً مقدار این بویانسی ذخیره (حجم مخزن بالاست) در حدود ۱۰ تا ۳۰ درصد حجم بدنه آببند در نظر گرفته می‌شود، که در این مثال این مقدار را ۱۵ درصد در نظر می‌گیریم، بنابراین حجم کل بدنه در این مثال به صورت زیر قابل تخمین است :

$$V_{tot} = 7 + (0.15 \times 7) \cong 8 \text{ Lit}$$

حال باید به تخمین ابعاد اولیه‌ی بدنه پرداخت، که بتوان با استفاده از آنها و مشخص بودن تخمینی شکل هندسی بدنه به این مقدار حجم از بدنه جهت تامین نیروی بویانسی مطلوب رسید.

گام سوم (توجه به پارامترهای مؤثر در تعیین ابعاد بدنه)

در این مرحله به این نکته باید توجه گردد. که در گام دوم جهت رسیدن به مقدار حجم مفروض از بدنه و با توجه به شکل هندسی آن، انتخاب‌های مختلفی برای ابعاد وجود دارد. به عنوان نمونه در این مثال موارد زیر جهت ابعاد اصلی (قطر و طول) در شکل بدنه استوانه‌ای امکان پذیر است :

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 . L = 0.008 \text{ m}^3 \quad \text{حجم استوانه}$$

$$L = 10 \text{ cm} , \quad D = 31.92 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad V = 0.008 \text{ m}^3 \quad \text{انتخاب اول}$$

$$L = 30 \text{ cm} , \quad D = 18.43 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad V = 0.008 \text{ m}^3 \quad \text{انتخاب دوم}$$

$$L = 50 \text{ cm} , \quad D = 14.27 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad V = 0.008 \text{ m}^3 \quad \text{انتخاب سوم}$$

$$L = 100 \text{ cm} , \quad D = 10.05 \text{ cm} \quad \Rightarrow \quad V = 0.008 \text{ m}^3 \quad \text{انتخاب چهارم}$$

همانطور که مشخص است در همه‌ی این انتخاب‌ها به حجم مطلوب خواهیم رسید، اما نکته مهم در آنست که انتخاب کدامیک از این حالات مناسبتر است ؟ !
برای پاسخ دادن به این سوال گام چهارم را در پی گرفته، و بررسی می‌کنیم.

گام چهارم (انتخاب بهترین ابعاد بدنه)

در این مرحله باید با توجه به ملاحظات مقاومتی بدنه و ابعاد اجزایی که قرار است در داخل بدنه جانمایی شوند، و همچنین سیستم‌های داخلی زیردریایی بهترین انتخاب در مورد ابعاد

بدنه انجام گیرد (در قسمت بعد در مورد چگونگی این انتخاب و ملاحظات مورد توجه در آن صحبت می‌شود).

بنابراین اهمیت انتخاب درست ابعاد بدنه تا اینجا کاملاً محسوس می‌گردد. چرا که انتخاب ابعاد کوچکتر از حدود مورد نیاز سبب کمتر شدن نیروی بویانسی نسبت به نیروی وزن خواهد بود، که سبب غرق شدن شناور ساخته شده می‌شود. و بزرگ بودن ابعاد نسبت به محدوده‌ی معلوم سبب افزایش بی‌دلیل نیروی بویانسی نسبت به وزن می‌گردد. که نتیجه‌ای جز نیاز به افزایش وزن شناور ساخته شده توسط سرب و یا ... نخواهد داشت.

انتخاب بهترین محدوده‌ی ابعادی بدنه

پس از مشخص شدن اهمیت و حساسیت انتخاب درست ابعاد بدنه حال به این نکته باید پردازیم که چگونه می‌توانیم تخمینی از محدوده‌ی مناسب ابعاد بدنه را جهت انجام فرآیند طراحی و پروسه‌ی ساخت انجام دهیم. که گام چهارم که در قبل بیان گردید، بر این اساس صورت می‌گیرد.

بحث مربوط به تجهیزات مختلف داخلی و چیدمانی آنها، تعادل و پایداری بدنه و شکل هیدرودینامیکی مناسب از عواملی هستند که در این راستا باید نقش آنها مورد توجه قرار گیرد. بنابراین در انتخاب بهترین محدوده‌ی ابعادی بدنه، توجه به سه دسته ملاحظات اصلی شامل موارد زیر که در ادامه به شرح هر یک می‌پردازیم کاملاً ضروری است.

- (۱) ملاحظات جانمایی
- (۲) ملاحظات هیدرواستاتیکی و تعادل
- (۳) ملاحظات هیدرودینامیکی

ملاحظات جانمایی

در این مرحله از طراحی قبل از هر چیز، باید یک دید کلی از کلیات شناور مورد طراحی خود را داشته باشیم. یعنی باید برای طراح مشخص باشد که شناور مطلوب او دارای چه ویژگی‌ها و

سیستم‌هایی است. و جهت انجام چنین ویژگی‌هایی چگونه تجهیزاتی و به صورت تقریبی با چه وزن و ابعادی مورد نیاز است. به عنوان نمونه جهت آبیگری و تخلیه مخزن بالاست آیا از پمپ استفاده می‌شود و یا از هوای فشرده و یا موارد دیگر، که در صورت استفاده از هوای فشرده، به عنوان نمونه باید بحث ابعاد و اندازه‌ی یک کپسول هوای فشرده جهت جانمایی داخلی مد نظر قرار گیرد. در حالی که در صورت استفاده از پمپ فضا و سیستم کمتری مورد نیاز است.

بنابراین قبل از انجام فرآیند ابعاد بندی شناور، مشخص شدن دید و تصویری کلی از اجزا و نوع سیستم‌های داخلی، قابلیت‌ها و غیره لازم است. و همین امر سبب می‌شود که حساسیت و دقت خاصی در این مرحله وجود داشته باشد. زیرا پس از نهایی شدن ابعاد بدنه و ساخت آن، محدودیت‌های فضایی و وزنی وجود خواهد داشت که به راحتی امکان تغییر در نوع سیستم-های داخلی را به ما نمی‌دهد. بنابراین پس از ساخته شدن بدنه، دیگر آزادی عمل گذشته در افزایش و یا تغییر سیستم‌های در نظر گرفته شده داخلی از لحاظ ابعادی و وزنی وجود ندارد.

پس از مشخص شدن کلیه اجزا داخلی بدنه و تخمین تقریبی ابعاد و اندازه‌های لازم برای هر کدام از این اجزا، باید بر اساس اصول چیدمانی درست که در ادامه خواهد آمد. به بهترین چیدمان داخلی برای این اجزا اقدام نمود. تا تصویر کلی از اجزا داخلی و محل قرار گیری آنها به دست آید.

این امر سبب می‌شود که محدوده حجمی (Box) که لازم است، جهت قرار گرفتن این اجزا با یک طول، عرض و ارتفاعی به صورت تقریبی، مشخص گردد. پس از این کار با مقایسه‌ی این حجم که از حجم تجهیزات داخلی جهت جانمایی به دست آمده است، و حجم محاسبه شده جهت رسیدن به حداقل نیروی بویانسی برای داشتن یک حالت بویانسی خنثی، که در قسمت قبل نحوه‌ی محاسبه آن توضیح داده شد. به صورت تقریبی تصویری از نمای کلی بدنه و ابعاد آن برای طراح و با توجه به شکل بدنه انتخابی او ایجاد می‌گردد.

ملاحظات هیدرواستاتیکی و پایداری

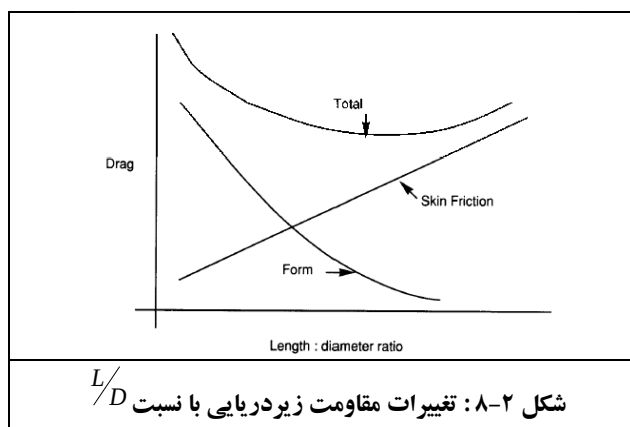
بی شک پایداری و تعادل شناور و زیردریایی ساخته شده در هنگام قرار گیری در آب و شرایط حرکتی، بسیار حائز اهمیت است. به عبارت دیگر زیردریایی وقتی در محیط سیال قرار می‌گیرد

باید از تعادل کافی برخوردار و شرایط پایداری را داشته باشد. پایداری یک شناور بر می‌گردد به پارامترهای پایداری در آن و این پارامترها نیز وابسته به ابعاد بدنه می‌باشند. در این زمینه در فصل پنجم توضیحات بیشتری ارائه می‌شود. بنابراین توجه به ملاحظات و پارامترهای پایداری و تعادل در شناور از جمله مواردی است که طراح باید در بحث ابعاد بندی بدنه بدان توجه لازم را بنماید.

ملاحظات هیدرودینامیکی

بدیهی است که مطلوب بودن یک زیردریایی از لحاظ کارایی هیدرودینامیکی بسیار قابل توجه است. در راستای تعیین ابعاد اصلی زیردریایی ملاحظات جبهه داشتن یک کارایی هیدرودینامیکی خوب وجود دارد که در این قسمت سعی بر معرفی و بیان این موارد می‌گردد. به طور کلی با توجه به شکل معمول زیردریایی‌ها دو پارامتر طول و قطر، اولین مواردی است که محدوده‌ی آنها مشخص می‌گردد. اما جهت داشتن یک هیدرودینامیک خوب برای بدنه باید به این نکته توجه کرد که این دو پارامتر اصلی (قطر و طول) مستقل از یکدیگر نبوده و به هم وابسته می‌باشند. به همین علت معمولاً یک محدوده نسبتی از این دو پارامتر در ملاحظات هیدرودینامیکی ارائه می‌گردد. و معمولاً مقدار انحصاری و مطلق برای هر کدام از آنها، در منابع طراحی و بر اساس ملاحظات هیدرودینامیکی پیشنهاد نمی‌گردد. پس از مشخص شدن تأثیر طول و قطر بر هیدرودینامیک بدنه و همچنین وابستگی این دو پارامتر به یکدیگر به بررسی چگونگی تأثیر آنها می‌پردازیم.

چنان که بیان گردید در اجسام غوطه‌ور مقاومت ویسکوز فشاری و مقاومت اصطکاکی وجود دارد. این دو مؤلفه مقاومت به ابعاد اصلی زیردریایی یعنی طول و قطر وابسته اند. نمودار شکل ۲-۸ روند این وابستگی و در نهایت چگونگی تغییر مقاومت کل، که حاصل جمع این دو مؤلفه مقاومت است، را نشان می‌دهد.



چنان که مشخص است این نمودار چگونگی تغییرات مقاومت اصطکاکی، ویسکوز فشاری و مقاومت کل را بر حسب نسبت $\frac{L}{D}$ (طول به قطر بدنه) ترسیم می‌کند.

این نمودار در واقع نشان دهنده این موضوع است. که افزایش طول بدنه (افزایش نسبت $\frac{L}{D}$) سبب افزایش مقاومت اصطکاکی و کاهش مقاومت ویسکوز فشاری می‌گردد. و در مقابل کاهش طول بدنه و یا افزایش قطر بدنه (کاهش نسبت $\frac{L}{D}$) سبب کاهش مقاومت اصطکاکی و افزایش مقاومت ویسکوز فشاری می‌شود. اما نکته جالب آن است، که چون مقاومت کل در حالت زیرسطحی به صورت تقریبی حاصل جمع این دو مؤلفه‌ی مقاومت به صورت زیر است :

$$R_{tot} = R_f + R_{vp}$$

با تغییرات نسبت $\frac{L}{D}$ تقریباً مقاومت کل ثابت می‌ماند. که به وضوح در نمودار شکل ۸-۲ مشخص است.

اما برای زیردریایی‌ها به خصوص شکل بدنه‌های دوکی شکل براساس تجربیات محدوده‌ای از نسبت $\frac{L}{D}$ برای بدنه پیشنهاد می‌گردد. که در این محدوده مؤلفه‌های مقاومت، بهترین حالت از نظر هیدرودینامیک بدنه و کمترین مقاومت کل را خواهند داشت. این محدوده‌ی $\frac{L}{D}$ بهینه برای زیردریایی‌ها به صورت زیر است :

$$\frac{L}{D} \cong 7-9$$

و لذا با در نظر گرفتن این محدوده می‌توان مقدار قطر و طول شناور را بر اساس ملاحظات هیدرودینامیکی مشخص نمود. بنابراین حال می‌توان به یک تصمیم‌گیری و جمع‌بندی کلی در مورد ابعاد بدنه و بر اساس هر سه ملاحظات :

- ۱- جانمایی
 - ۲- هیدرواستاتیک و پایداری
 - ۳- هیدرودینامیکی
- پرداخت، لذا به خوبی مشخص است. که تعیین ابعاد بدنه در یک زیردریایی فرآیندی کاملاً مبتنی بر سعی و خطا می‌باشد. که در این فرآیند تا جای ممکن باید دقت لازم بعمل آمده تا بهترین شرایط ابعادی بدنه از نقطه نظر هر یک از سه ملاحظات بیان شده قبل، در کنار حصول بویانسی مطلوب توسط حجم بدنه برقرار گردد.

سطوح کنترلی

در زیردریایی‌ها منظور از سطوح کنترلی به صورت کلی سه مورد زیر می‌باشد :

- ۱- سکان‌ها
- ۲- بالک‌های عقب
- ۳- بالک‌های جلو (در صورت وجود)

نقش اصلی این سطوح تامین مانور زیردریایی در آب، کمک به غوص و صعود، و همچنین پایداری بدنه است. که در ادامه به شرح آنها می‌پردازیم.

بالک‌ها

بالک‌ها که در طرفین بدنه (به صورت موازی با سطح آب) نصب می‌گردند. به دو دسته‌ی بالک-های جلو و عقب تقسیم شده و معمولاً دو نقش مهم را برعهده دارند. نقش اصلی آنها همان تغییر زاویه دادن و سبب غوص و صعود کردن بدنه شناور است. و نقش دیگر آنها در واقع تعادل سازی، و به عنوان عامل کاهش غلتش‌های عرضی شناور می‌باشد. به عبارت دیگر این بالک‌ها نقشی شبیه به تیغه‌های ضد غلتش که در کشتی‌ها نصب می‌گردند را ایفا می‌کنند. و به همین دلیل است که گاهی با وجود اینکه بالک‌های جلو قابلیت تغییر زاویه را نداشته، و در غوص و صعود شناور نقشی ایفا نکرده و در کل سببی بر افزایش درگ می‌شوند. اما به صوت ثابت روی بدنه قرار گرفته و در قسمت جلو شناور نصب می‌گردند. تا بتوانند به عنوان یک عامل ضد غلتش (Anti rolling) در مقابل غلتش‌های عرضی زیردریایی عمل کنند. یکی دیگر از کاربردهایی که برای بالک‌های جلو مطرح است (البته این موضوع بیشتر برای زیردریایی‌های بزرگ اتفاق می‌افتد) این است که این بالک‌ها سبب کاهش حرکات شدید بدنه و ناشی از برخورد امواج به سینه شناور (اسلمینگ) می‌شوند. و همچنین از غوص و صعود ناگهانی در قسمت سینه تا حدودی می‌کاهند. اما همچنان که گفته شد نقش اصلی بالک‌ها همان تغییر زاویه دادن آنها و ایجاد یک نیروی لیفت به سمت بالا و پایین در اثر ایجاد دو ناحیه‌ی کم فشار و پرفشار در طرفین بالک است. که بسته به تغییر زاویه بالک به سمت پایین و یا بالا می‌باشد.

در زیردریایی‌های بزرگ در حالتی که مخازن زیردریایی پر می‌شود و زیردریایی به حالت غوطه‌وری کامل می‌رسد (حالت تقریباً بویانسی خنثی) نقش اصلی در غوص و صعود شناور برعهده‌ی بالک‌ها می‌باشد. و در برخی از زیردریایی‌های کوچک و مدل که فاقد مخزن و سیستم بالاست می‌باشند عامل غوص و صعود شناور به صورت کلی برعهده بالک‌ها قرار می‌گیرد (حالت غوص و صعود دینامیکی). بدیهی است که این حالت نیاز به مصرف انرژی زیاد

جهت بالا بردن قدرت سیستم رانش برای غوص کردن با تغییر زاویه‌ی بالک است و در عین حال امکان عمق غوص زیادی را به ما نخواهد داد. مشکل دیگر استفاده از این روش (سیستم فاقد بالاست)، جهت غوص کردن آن است که در این حالت امکان غوص استاتیکی وجود ندارد. و حتماً روشن بودن سیستم رانش و حرکت شناور در کنار داشتن تراست بالا را می‌طلبد. تا بالک با تغییر زاویه‌ی خود بتواند نیروی لیفتی را ایجاد کند، و مؤلفه عمودی آن قادر باشد بر نیروی بویانسی غلبه کرده و شناور را به حالت بویانسی خنثی برساند (در این زمینه در فصل سوم صحبت می‌شود).

سکان‌ها

تأمین مانور زیردریایی و حرکت چپ و راست شناور در محیط سیال توسط سکان‌ها انجام می‌گیرد.

سکان‌ها برحسب نیاز شناور به قدرت مانور و همچنین تأمین سطح کنترلی مورد نیاز جهت این کار، به صورت تک سکان و یا دو سکان (در بالا و پایین بدنه) و به صورت عمود بر بدنه و صفحه‌ی موازی با سطح آب، در قسمت پاشنه بدنه و در نزدیکی پروانه نصب می‌گردند.

مقطع سطوح کنترلی

سطح مقطع سطوح کنترلی از نوع فویل انتخاب می‌شود. و معمولاً از نوع فویل‌های NACA چهار رقمی می‌باشد. آنچه مهم است این است که سطح مقطع این سطوح باید از نوع فویل‌های متقارن باشد. تا در حالت بدون زاویه و با حرکت زیردریایی نیروی لیفتی ایجاد نکنند. و لذا سببی بر انحراف حرکت بدنه نگاشته، و حرکت سیال در طرفین آنها متقارن باشد. بنابراین برای استفاده از فویل‌های NACA چهار رقمی جهت متقارن بودن حتماً باید از فویل‌هایی استفاده گردد که دو رقم اول آنها صفر باشند.

فویل‌های NACA مورد استفاده در شناورهای دریایی و زیردریایی‌ها معمولاً از نوع NACA0012 و NACA0009 می‌باشد. برای اطلاع بیشتر از این مقاطع به منبع [۱۴] مراجعه شود.

کارکرد سطوح کنترلی

همانگونه که گفته شد جهت غوص و صعود یک زیردریایی در زیر سطح آب، اعمال یک نیروی عمودی به سمت بالا و یا پایین ضروری است. و همچنین جهت مانور و چپ و راست رفتن بدنه، اعمال یک نیروی افقی در قسمت پاشنه و برای ایجاد یک گشتاور چرخشی در صفحه‌ی XY (صفحه موازی با سطح آب) نیاز است. اعمال و ایجاد این نیروها بر بدنه زیردریایی به وسیله‌ی سطوح کنترلی صورت می‌گیرد. بالک‌ها نقش غوص و صعود، و سکان‌ها نقش تأمین مانور را در زیردریایی ایفا می‌کنند. ایجاد این نیرو توسط نیروی لیفتی که مطابق رابطه زیر با زاویه گرفتن سطوح اعمال می‌شود صورت می‌پذیرد.

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot C_L \cdot \rho \cdot A \cdot V^2$$

در این رابطه C_L ضریب لیفت سطح کنترلی، A مساحت سطح کنترلی، V سرعت حرکت سطح کنترلی که برابر همان سرعت حرکت بدنه است و ρ چگالی سیال می‌باشد. اما آنچه سبب ایجاد نیرو توسط این سطوح می‌شود به این دلیل است که مقطع این سطوح که به صورت فویل و از نوع متقارن بوده، با سرعت گرفتن و حرکت بدنه، همراه با آن در آب حرکت می‌نمایند. (این سطوح به گونه‌ای روی بدنه نصب می‌شوند، که توسط سیستم‌های تحریک خود قادر به چرخش و تغییر زاویه روی بدنه باشند). در این حالت تغییر زاویه دادن این سطوح سبب نامتوازن شدن سرعت حرکت سیال در طرفین سطوح کنترلی می‌شود. و به بیان ساده‌تر سرعت حرکت سیال در یک طرف بیشتر از طرف دیگر سطح کنترلی می‌گردد. و همین امر بر اساس اصل برنولی به صورت :

$$P + \frac{1}{2} \rho V^2 + \gamma z = cte$$

سبب افزایش فشار در یک طرف سطح (جایی که سرعت کمتر است)، نسبت به طرف دیگر سطح (جایی که سرعت بیشتر است) می‌گردد. که در نتیجه، این اختلاف فشار در طرفین سطح عامل ایجاد نیروی لیفت ذکر شده می‌گردد. که بسته به جهت تغییر زاویه‌ی سطح در مورد بالک‌ها می‌تواند به سمت بالا و یا پایین و در مورد سکان‌ها می‌تواند به سمت چپ و یا راست باشد.

مساحت مورد نیاز سطوح کنترلی

بدیهی است برای آنکه سطوح کنترلی قادر به انجام وظیفه‌ی خود، و تأمین نیروی لیفت مورد نظر جهت غوص و صعود در بالک‌ها و حرکت چپ و راست در سکان‌ها باشند نیاز به مساحت مشخصی دارند (همانگونه که در رابطه لیفت تولیدی که در قسمت قبل ارائه گردید مشخص است). مساحت سطوح کنترلی در هر زیردریایی به صورت مستقیم وابسته به ابعاد و وزن زیردریایی می‌باشد. چرا که نیروی تولیدی توسط تغییر زاویه دادن این سطوح وابسته به مساحت آنها بوده و باید به حدی باشد که قادر به انجام غوص و صعود (بسته به استفاده از غوص و صعود دینامیکی و یا استاتیکی) و یا حرکت چپ و راست زیردریایی باشد. بنابراین به سادگی قابل درک است، که هر زیردریایی مفروض با ابعاد و وزن مشخص خود به یک محدوده مساحت مناسب و مطلوب جهت سطوح کنترلی خود نیازمند است.

توجه به این نکته نیز بسیار حائز اهمیت می‌باشد که انتخاب مساحت سطوح کنترلی به درستی صورت بپذیرد. چراکه کم بودن مساحت این سطوح نسبت به حالت مناسب، سبب کاهش نیروی تولیدی و لذا کاهش و یا حتی عدم کارایی آنها بوده و در مقابل افزایش خارج از محدوده مساحتی مناسب آنها نیز دلیلی بر افزایش بی‌جهت نیروی تولیدی و از همه بدتر افزایش مقدار درگ کل بدنه و در نتیجه مصرف بی‌دلیل انرژی و توان رانش خواهد بود. به صورت معمول روش و رابطه‌ی خاصی جهت تعیین دقیق مساحت سطوح کنترلی در زیردریایی‌ها ارائه نگردیده است و بیشتر مساحت این سطوح به صورت تجربی و تحقیقی تعیین می‌گردد. اما در این راستا، روابط ارائه شده در مقاله‌ی سمپوزیم ۱۹۸۳ تقریب خوبی از مساحت مورد نیاز برای سطوح کنترلی را در هر زیردریایی با توجه به ابعاد آن ارائه می‌دهد.

در این مقاله رابطه‌ای به صورت زیر ارائه می‌گردد :

$$M = \frac{L \cdot D}{A}$$

که پارامترهای آن چنین تعریف می‌شوند :

«L» طول بدنه‌ی زیردریایی

«D» قطر بدنه‌ی زیردریایی

«A» مساحت سطح کنترلی مورد نظر

«M» پارامتری ثابت و بی‌بعد

در واقع این مقاله برای هر یک از سطوح کنترلی شامل سکان‌ها، بالک‌های جلو و بالک‌های عقب، یک مقدار ثابت را در پارامتر «M» معرفی می‌کند. و لذا با داشتن طول و قطر بدنه در هر زیردریایی مفروض و استفاده از رابطه‌ی ارائه شده، می‌توان محدوده‌های مساحت مورد نیاز برای هر یک از سطوح کنترلی (A) را مشخص نمود. بر اساس این مقاله مقدار پارامتر M و در نتیجه مساحت مورد نیاز سکان، بالک‌های جلو و بالک‌های عقب بر اساس طول و قطر بدنه، برای هر زیردریایی را می‌توان به صورت زیر ارائه کرد :

برای سکان‌ها :

$$M = 30.6$$

$$M = \frac{L \cdot D}{A} = 30.6 \Rightarrow A = \frac{L \cdot D}{57.9}$$

برای بالک‌های عقب :

$$M = 25.6$$

$$M = \frac{L \cdot D}{A} = 25.6 \Rightarrow A = \frac{L \cdot D}{57.9}$$

برای بالک‌های جلو :

$$M = 57.9$$

$$M = \frac{L \cdot D}{A} = 57.9 \Rightarrow A = \frac{L \cdot D}{57.9}$$

محل قرار گیری سطوح کنترلی

محل قرارگیری و نصب سطوح کنترلی بر روی بدنه نیز از عوامل دیگری است که باید مورد توجه قرار گیرد، که در این قسمت بدان پرداخته می‌شود.

سکان‌ها

موقعیت مکانی سکان‌ها با توجه به محل قرارگیری مناسب آنها جهت داشتن بازدهی و کارایی بهتر مشخص می‌شود. و در قسمت عقب زیردریایی و در محدوده عملکرد پروانه برای رسیدن به بازدهی بالاتر نصب می‌گردند. در این زمینه نیز روابط و مکان مطلقی نمی‌توان ارائه کرد و محل نصب آنها بیشتر وابسته به تجربه می‌باشد. با این حال برای رسیدن به تصویری از محدوده مکانی مناسب جهت نصب سکان‌ها در زیردریایی‌های با رانش پروانه‌ای می‌توان از رابطه زیر استفاده نمود.

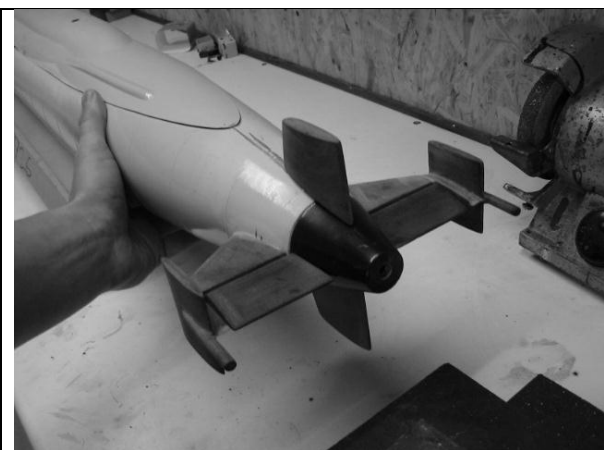
$$L = 1.5 \times D_{\text{propeller}}$$

در این رابطه «L» فاصله انتهای بدنه در قسمت پاشنه تا ابتدای محل قرارگیری سکان و «D» قطر پروانه رانش می‌باشد. این فاصله از لحاظ هیدرودینامیکی و بازدهی بالا و همچنین کنترل مناسب شناور حائز اهمیت است.

بنابراین بر این اساس می‌توان تقریب مناسبی از محل قرارگیری سکان‌های بالا و پایین (در صورت وجود) و در قسمت پاشنه بر اساس قطر پروانه به دست آورد. در مورد سکان قسمت پایین به علت آنکه ارتفاع آن عامل موثری در مانور پذیری و پایداری شناور محسوب می‌گردد، معمولاً ارتفاع آن را بلندتر از ارتفاع سکان بالایی در نظر می‌گیرند.

بالک‌های عقب

برای مشخص کردن محل قرارگیری بالک عقب نیز مانند سکان‌ها از رابطه‌ی قبل استفاده می‌شود. محل نصب آنها نیز درست مشابه محل نصب سکان‌ها، ولی در طرفین بدنه است. یعنی فاصله‌ی انتهایی ترین نقطه‌ی آنها از پروانه برابر $1.5 \times D_{prop}$ است. و با سکان‌ها مجموعاً یک حالت صلیبی در قسمت پاشنه زیردریایی ایجاد خواهند کرد. که در شکل ۹-۲ نشان داده شده است.



شکل ۹-۲: سطوح کنترلی صلیبی در پاشنه

بالک‌های جلو

در منابع معمولاً محل دقیقی برای نصب بالک‌های جلو ارائه نگردیده است. اما در کل برای مانور پذیری و پایداری بهتر تأکید بر هرچه جلوتر بودن محل قرارگیری آنها می‌باشد. محل قرارگیری این بالک‌ها در زیردریایی‌ها متفاوت است در برخی از زیردریایی‌ها در قسمت سینه و در برخی دیگر حتی بر روی برجک زیردریایی نیز نصب می‌شوند. (شکل ۱۰-۲)



شکل ۲-۱۰: بالک‌های جلو در برجک

فصل سوم

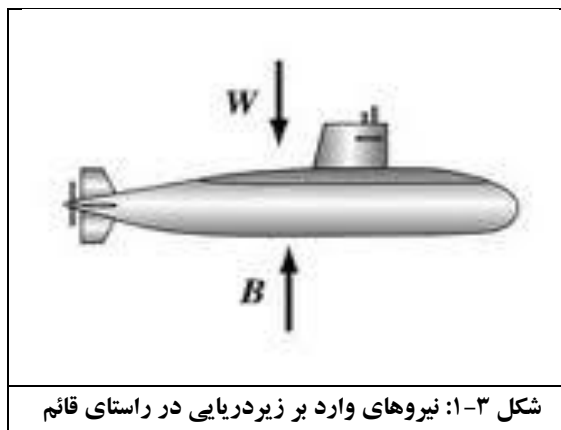
سیستم‌های غوص و صعود

مقدمه

واژه بالاست به معنای متعادل کننده است. و وجه تسمیه‌ی استفاده از آن در زیردریایی‌ها عبارت است، از استفاده از سیستمی که بتواند تعادل نیرویی، بین دو نیروی وزن و بویانسی را قابل کنترل نماید. همچنان که در قبل نیز ذکر گردید یک زیردریایی و یا یک شناور در داخل محیط شاره به سبب نیروی وزن خود متمایل به رفتن به سمت عمق می‌باشد. و در مقابل نیرویی به نام بویانسی از جانب سیال با این تمایل مخالفت می‌کند. که تقابل این دو نیرو سه حالت مختلف را دربر خواهد داشت. در این فصل به چگونگی این این روند، بررسی شرایط مختلف در تقابل دو نیروی وزن و بویانسی، چگونگی کنترل آن، بیان روش‌های غوص و صعود در زیردریایی‌ها، ارائه مزیت‌ها و معایب روش‌های مختلف، حجم بندی مخزن بالاست و موارد دیگر پرداخته می‌شود.

مبانی غوص و صعود زیردریایی

همانطور که گفته شد دو نیروی اصلی وارد شونده بر سازه زیردریایی و یا هر شناور دیگر در راستای قائم، نیروی وزن و نیروی بویانسی مطابق شکل ۱-۳ می‌باشند. که چگونگی وضعیت این دو نیرو نسبت به هم حالات مختلف بویانسی زیردریایی و مبانی غوص و صعود آن را مطابق آنچه در ادامه بیان می‌شود، تشکیل می‌دهند.



شکل ۱-۳: نیروهای وارد بر زیردریایی در راستای قائم

حالت بویانسی مثبت ($W < B$)، نیروی وزن کوچکتر از بویانسی)

در این حالت جسم در حالت سطحی و شناور بر آب خواهد ماند. در واقع این حالت شرط مهم و اولیه‌ای است که در کشتی‌ها، قایق‌ها و حالت سطحی زیردریایی‌ها و هر شناور سطحی دیگری باید برقرار باشد. تا بتواند عاملی بر عدم غرق شدن و حرکت سطحی آن گردد.

حالت بویانسی خنثی ($W = B$)، نیروی وزن و بویانسی با هم برابرند)

این مورد که بیان حالت غوطه‌وری در زیردریایی است، و در حالت ایده‌آل شناور باید در حالت ایستا در زیرسطح باقی مانده و بسته به اینکه در چه عمقی شناور به حالت بویانسی خنثی برسد، در همان نقطه به صورت ایستا باقی می‌ماند. که کوچکترین تغییر در تعادل نیرویی ذکر شده این حالت را از بین خواهد برد. به عنوان مثال حتی اگر به اندازه‌ی یک گرم نیروی وزن کم شود شناور تا سطح آب بالا می‌آید و همچنین در مقابل اگر یک گرم نیروی وزن بیشتر گردد شناور تا رسیدن به کف محیط شاره پیش خواهد رفت.

در واقع این موضوع بیانگر یک اصل مهم، و مطلب اساسی در مورد حجم مورد نیاز برای مخزن بالاست هر زیردریایی می‌باشد، که در قسمت‌های بعد به آن پرداخته می‌شود. و مشخص کننده‌ی آن است که حتی اندکی تغییر در تساوی نیروی وزن و بویانسی قادر خواهد بود، زیردریایی را تا سطح آب و یا تا کف محیط شاره هدایت کند و این درست بر خلاف تصور غلطی که به اشتباه در ذهن بسیاری از افراد شکل گرفته است. مبنی به آنکه هر چه حجم بالاست بیشتر و شناور سنگین‌تر گردد می‌تواند عمق روی بیشتری کند در حالی که همانطور که گفته شد بر هم زدن تعادل وزن و بویانسی حتی به اندازه‌ی یک گرم نیز سبب این غوص شناور تا کف محیط شاره می‌گردد. و همچنین در حالت عکس و در مورد صعود شناور.

اما آنچه در این مورد وجود دارد آنست که رسیدن به این حالت نیازمند داشتن حساسیت و دقت بالایی است که غالباً در عمل غیر ممکن می‌گردد. و برابری کامل دو نیروی بویانسی و وزن یک حالت ایده‌آل محسوب می‌شود. اما همواره سعی بر آن است که وقتی زیردریایی در حالت بویانسی خنثی قرار می‌گیرد تا جای ممکن به برقراری رابطه‌ی بعد نزدیک‌تر شویم :

$$W = B$$

نکته‌ی قابل ذکر در این حالت آن است که به علت حاشیه‌ی ایمنی ترجیح داده می‌شود. که در صورت وجود اندک اختلاف بین نیروی وزن و بویانسی و عدم تساوی رابطله‌ی ذکر شده این اختلاف ناشی از بیشتر بودن نیروی بویانسی بوده، و به بیان دیگر وقتی می‌خواهیم به حالت بویانسی خنثی در عمق سیال برسیم تمایل سازه زیردریایی به سمت شناور شدن، تا نسبت به حالت عمق روی باشد. بنابراین در عمل و در صورت نرسیدن کامل به تساوی نیروی بویانسی و وزن سازه ترجیح بر آنست که اختلاف ناشی از این عدم تساوی نیرویی، به علت بیشتر بودن نیروی وزن از بویانسی نباشد.

به هر حال از لحاظ تئوری زیردریایی در حالت غوطه‌وری باید در حالت بویانسی خنثی ($W=F$) قرار بگیرد. و در عمل باید به این حالت ایده‌آل تا جای ممکن نزدیک شد. و در صورت وجود اندک اختلاف که همچنان که ذکر شد باید به گونه‌ای باشد که ناشی از بیشتر بودن بویانسی بوده و بتوان با استفاده از سطوح کنترلی (بالک‌ها) و ایجاد نیروی لیفت قابل کنترل آنها و به سمت پایین، زیردریایی را در حالت زیرسطحی هدایت کرد.

لازم به ذکر است که وقتی صحبت از اختلاف ناشی از نیروی وزن و بویانسی در حالت بویانسی خنثی می‌گردد، منظور اختلاف بسیار کوچک و کمی است. به صورتی که به سمت صفر میل کرده، و رابطه زیر را داشته باشیم :

$$\lim_{x \rightarrow B} (W - x) = 0$$

در غیر این صورت، و وجود تفاوت محسوس بین دو نیروی بویانسی و وزن سازه، بدنه شناور در حالت بویانسی مثبت و یا بویانسی منفی قرار خواهد گرفت.

حالت بویانسی منفی ($W > B$)، نیروی وزن بیشتر از بویانسی)

حالت سوم در این بحث در واقع زمانی است که وزن شناور به حدی افزایش یابد که نیروی بویانسی حاصل از حجم بدنه‌ی شناور قادر به خنثی کردن آن نباشد و نیروی وزن بیشتر از نیروی بویانسی گردد. این حالت در واقع نباید در زیردریایی و یا یک شناور سطحی رخ دهد زیرا به معنای کف نشینی سازه و غرق شدن آن تلقی می‌گردد. و علت اصلی غرق شدن هر شناوری در محیط سیال وقتی که به هر علتی دچار آبگرفتگی می‌شود همین امر است. چرا که

حجم بدنه و لذا نیروی بویانسی ثابت بوده، اما با آبرگرفتگی شناور و ورود آب به داخل آن به تدریج وزن افزایش یافته و شناور بویانسی ذخیره خود را از دست داده و به حالت بویانسی منفی وارد شده و غرق می‌گردد.

آنچه در این سه حالت و در مورد زیردریایی‌ها بیان شد در واقع حالت عمومی و متداولی است که در طراحی‌ها لحاظ می‌گردد. اما همواره ضروری نبوده و ممکن است یک زیردریایی با توجه به طراحی خاص خود از سیستم بالاستی استفاده کند که آن را در حالت بویانسی منفی قرار داده و به راحتی بتواند کف نشینی کند و یا هر نوع طرح ابداعی و متنوع دیگر که در این زمینه مورد استفاده قرار گرفته و خارج از چارچوب کلی و عمومی ذکر شده باشد.

روش‌های غوص و صعود در زیردریایی‌ها

با توجه به آنچه گفته شد، جهت غوص و صعود کردن یک زیردریایی در محیط سیال باید بتوان تعادل دو نیروی وزن و بویانسی را به نحوی تحت کنترل درآورد. به گونه‌ای که بتوانیم با افزایش نیروی بویانسی نسبت به نیروی وزن سازه زیردریایی، شناور را به سطح آب آورده (صعود) و با برابری و گاهی افزایش نیروی وزن نسبت به نیروی بویانسی سبب به عمق رفتن (غوص) زیردریایی شویم.

برای بر هم زدن و برقراری تعادل بین دو نیروی بویانسی و وزن، دو روش کلی زیر وجود دارد :

۱- روش استاتیکی

۲- روش دینامیکی

در روش اول قابلیت غوص و صعود شناور در حالت سکون و بدون حرکت افقی زیردریایی وجود دارد. در حالی که روش دوم جهت غوص و صعود زیردریایی، حتماً مستلزم حرکت افقی و کارکرد سیستم رانش می‌باشد.

روش استاتیکی در غوص و صعود زیردریایی

گفته شد برای انجام فرآیند غوص و صعود در یک زیردریایی لازم است نیرویی در جهت قائم و حاصل از برآیند دو نیرویی وزن و بویانسی به وجود آید. که بسته به جهت آن سبب غوص و صعود زیردریایی گردد. یعنی اگر نیروی بویانسی بیشتر از وزن باشد برآیند این دو نیرو، نیرویی خواهد بود به سمت بالا که سبب صعود کردن شناور می‌شود. و اگر نیروی وزن بیشتر از بویانسی گردد، نیروی برآیند در جهت پایین بوده و سببی بر غوص کردن شناور می‌شود.

در روش استاتیکی ایجاد نیرویی که قابلیت غوص و صعود را در شناور ایجاد کند و حاصل از برآیند دو نیروی وزن و بویانسی باشد، ربطی به حرکت شناور ندارد (بر خلاف حالت دینامیکی). به عبارت دیگر در این روش چه شناور در حالت حرکت باشد و چه در حالت سکون قابلیت غوص و صعود کردن برای آن وجود دارد. و با تغییر در تعادل نیروی وزن و بویانسی می‌توان این امکان را فراهم کرد. برای تغییر در تعادل نیروی وزن و بویانسی در این روش دو راه عمده وجود دارد که عبارتند از :

۱ - تغییر دادن مقدار نیروی بویانسی

۲ - تغییر دادن مقدار نیروی وزن

در روش اول، از آنجا که نیروی بویانسی وابسته به حجم بدنه است. تغییر در مقدار نیروی بویانسی مستلزم تغییر در حجم بدنه است. به عبارت دیگر باید بدنه به گونه‌ای طراحی و ساخته شود که قابلیت تغییر حجم کلی و آببند آن وجود داشته باشد. به نحوی که با افزایش حجم آببند بدنه قادر به افزایش نیروی بویانسی نسبت به وزن، و لذا صعود زیردریایی شد، و با کاهش حجم آن سبب کاهش بویانسی و لذا در اثر وزن سازه، زیردریایی بتواند غوص نماید. البته از این روش به علت مشکلات خاص خود جهت تغییر در حجم بدنه‌ی آببند، به عنوان روشی مناسب برای غوص و صعود در زیردریایی‌ها استفاده نمی‌گردد.

در روش دوم، که بیانگر اصول غوص و صعود کردن زیردریایی‌های امروزی می‌باشد، جهت ایجاد نیرویی در جهت قائم برای غوص و صعود شناور و بر هم زدن تعادل نیروی وزن و بویانسی از تغییر در نیروی وزن استفاده می‌شود. به این معنی که سیستمی در داخل سازه

بدنه، باید به نحوی تعبیه گردد که قادر باشد وزن کل سازه را دستخوش تغییر نماید. که مناسب ترین راه جهت رسیدن به این هدف، چنان که امروزه نیز مستعمل است استفاده از سیستم بالاست می‌باشد. این سیستم عبارت است از وجود مخازنی در داخل زیردریایی، که با آگیری از محیط اطراف بدنه و تخلیه آن، در داخل محفظه آبیند خود و بلعکس امکان افزایش و کاهش وزن کل زیردریایی را به وجود می‌آورند. و لذا از آنجا که حجم بدنه و بویانسی ثابت بوده، با تغییر در نیروی وزن سببی بر تغییر برآیند دو نیروی وزن و بویانسی در راستای قائم شده، و در نتیجه قابلیت غوص و صعود را برای زیردریایی ایجاد می‌کنند.

همانطور که گفته شد، امروزه برای سیستم غوص و صعود شناور از روش دوم و تغییر در مقدار نیروی وزن شناور استفاده می‌شود. و به صورت وجود مخازن بالاستی در شناور که با آگیری و تخلیه‌ی آنها می‌توان نیروی وزن شناور و در نتیجه تعادل نیرویی در جهت قائم را تحت کنترل گرفت.

روش دینامیکی در غوص و صعود زیردریایی

در روش دینامیکی بر خلاف روش استاتیکی غوص و صعود زیردریایی مستلزم حرکت زیردریایی و وجود نیروی پیش‌رانش (تراست) می‌باشد.

در این روش آنچه که سبب غوص و صعود شناور می‌گردد. بر خلاف مورد قبل تغییر در مقدار نیروی وزن و یا بویانسی نیست، بلکه مولفه‌ی قائم نیروی لیفتی (برآ) است، که در اثر حرکت شناور و تغییر زاویه‌ی سطوح کنترلی آن در آب ایجاد می‌گردد، به همین علت این روش مستلزم حرکت افقی شناور است. در واقع وقتی شناور با نیروی پیش رانش خود به سمت جلو حرکت می‌کند. با تغییر زاویه‌ی سطوح کنترلی نسبت به سطح آب که بسته به اینکه بخواهیم غوص و یا صعود کنیم می‌تواند مثبت و یا منفی باشد، سبب ایجاد تغییر در سرعت حرکت سیال در طرفین سطوح کنترلی و در نتیجه ایجاد دو ناحیه‌ی کم فشار و پرفشار در بالا و پایین سطح کنترلی و نامتوازن کردن توزیع فشار می‌شویم. این عمل سبب ایجاد یک نیروی لیفت در سطح کنترلی و به صورت عمود بر سطح آن می‌گردد. که با توجه به آنچه در فصل دوم گفته شد از رابطه بعد قابل حصول است :

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho A V^2$$

مؤلفه‌ی قائم این نیروی لیفت، که بسته به تغییر زاویه‌ی مثبت و منفی سطح کنترلی می‌تواند به سمت بالا و یا پایین باشد، سبب ایجاد غوص و صعود سازه‌ی زیردریایی می‌گردد. این موضوع در واقع همان بیان کارکرد و چگونگی پرواز هواپیماها می‌باشد. مزیت این روش عدم نیاز به استفاده از تجهیزات بالاست و مباحث جانمایی آنها است. ولی نقص اصلی آن که سبب عدم استفاده از آن می‌شود چنان که در قبل نیز ذکر گردید وابستگی این روش به حرکت زیردریایی و وجود نیروی پیش رانش است. که در کل بازدهی را می‌کاهد و همچنین امکان غوص و صعود زیردریایی در حالت ساکن در آب نیز در این روش وجود نخواهد داشت در حالی که این امر برای زیردریایی‌ها و بخصوص زیردریایی‌های نظامی بسیار حائز اهمیت است. از این روش امروزه بیشتر در زیردریایی‌های مدل کوچک و بدون سرنشین که جانمایی تجهیزات بالاست مشکل بوده و توان و نیروی زیادی جهت غوص دادن سازه زیردریایی لازم نمی‌باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این رو بسیاری از ربات‌های دریایی و کوچک از این روش استفاده کرده و فاقد سیستم بالاست هستند.

اشاره (تاریخچه روش های غوص و صعود در زیردریایی و استفاده از بالاست)

در سال ۱۵۸۰، ویلیام بورن (William Bourne) توانست یک زیردریایی بسازد که اصول عملکرد آن شبیه زیردریایی‌های امروزی بود. زیردریایی او دارای یک پوسته چرمی بود که با باد کردن آن، حجم زیردریایی و در نتیجه نیروی بویانسی آن افزایش یافته و زیردریایی به سطح آب می‌آمد. و برای پایین رفتن آن، باد داخل پوسته چرمی خالی می‌شد و چون زیردریایی به اندازه کافی سنگین بود، به زیر آب می‌رفت.

بدین ترتیب ویلیام بورن برای اولین بار توانست با ساخت یک زیردریایی، اصول غوص و صعود زیردریایی را تشریح کند. در واقع این ایده بورن همان روش استاتیکی و استفاده از تغییر در نیروی بویانسی تلقی می‌گردد. همچنین او با استفاده از همین مفاهیم، زیردریایی دیگری

ساخت که بجای کنترل حجم (تغییر در نیروی بویانسی) از کنترل وزن استفاده کرد. بدین ترتیب که آب دریا وارد بخشی از بدنه می‌شد و باعث ازدیاد وزن زیردریایی می‌گردید (تغییر در نیروی وزن) و برای خارج کردن آن از پدال‌هایی استفاده می‌گشت، که با سیستم خاص خود آب را به بیرون بدنه می‌فرستاد و باعث کاهش وزن می‌گردید. که امروزه از همین اصول کلی برای غوص و صعود زیردریایی استفاده می‌شود. این روش نیز بر پایه‌ی روش استاتیکی و تغییر در نیروی وزن استوار بود.

در سال ۱۶۲۳، یک هلندی به نام دربل (Drebbel) یک زیردریایی پارویی ساخت این زیردریایی در سطح آب و به صورت مماس با سطح آب حرکت می‌کرد. و وقتی پاروهای که در اطراف آن ضد آب شده بود (چیزی شبیه به بالک‌های امروزی در زیردریایی‌ها) شروع به کار می‌کردند، زیردریایی به دلیل شکل خاص دماغه به زیر آب فرو می‌رفت. و وقتی حرکت پاورها متوقف می‌شد، زیردریایی به دلیل ذخیره بویانسی زیاد به سطح آب صعود می‌کرد. در حقیقت در این زیردریایی نیز بر اساس مبانی ارائه شده می‌توان گفت که از سیستم پیشران (سیستم دینامیکی) برای غوص و صعود شناور استفاده شده بود.

تعیین حجم مخزن بالاست

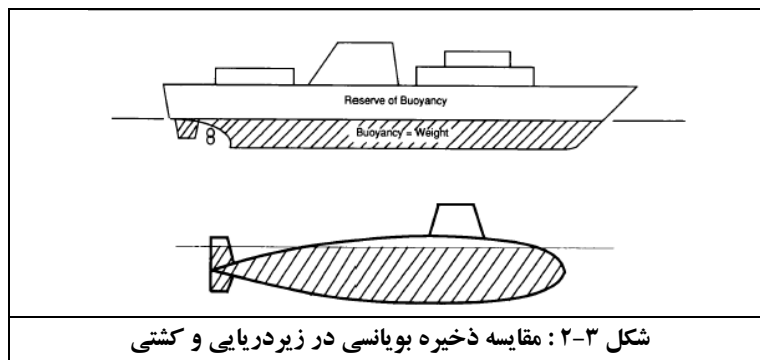
تعیین حجم مخزن بالاست مناسب برای یک زیردریایی از عوامل مهم و اولیه‌ای است که در ابتدایی‌ترین مراحل طراحی جزئیات و همچنین در طراحی مفهومی شناور باید بدان پرداخته شود. و بی‌شک تعیین یک حجم مناسب آگیری برای مخزن بالاست از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد.

در تعیین این حجم موارد مختلفی مشارکت دارند. که در ادامه به سه مورد اساسی آنها پرداخته می‌شود.

۱- نقش بالاست در غوص و صعود

همانطور که در قبل نیز ذکر گردید نقش اصلی و هدف از کاربرد سیستم مخزن بالاست و یا همان تعادل تأمین فرآیند غوص و صعود زیردریایی می‌باشد. به عبارت دیگر حجم مخزن بالاست باید به مقداری باشد که با آگیری و تخلیه‌ی آن قادر به افزایش و کاهش مقدار نیروی وزن کل سازه به نحوی باشیم که امکان خنثی کردن مقدار بویانسی ذخیره‌ی بدنه و رسیدن به حالت بویانسی خنثی را ایجاد نماید. و بدین صورت توانایی زیردریایی در غوص و صعود را فراهم آورد. بنابراین حجم مخزن بالاست باید حداقل برابر با مقدار حجم آببند مربوط به بویانسی ذخیره‌ی زیردریایی باشد.

حجم مربوط به بویانسی ذخیره در کشتی‌ها بسیار بیشتر از زیردریایی‌ها می‌باشد. چرا که عاملی بر ضریب اطمینان بیشتر در زمان آبگرفتگی بدنه در مقابل غرق شدن محسوب می‌گردد. اما در زیردریایی‌ها این حجم کمتر است چرا که برابری آن با حجم مخزن بالاست سبب می‌شود که هرچه بیشتر شدن این حجم مستلزم استفاده از مخزن بالاست بزرگتر شده و به دنبال آن نیاز به تجهیزات و امکانات پیچیده‌تر و قدرتمندتری جهت تخلیه و آگیری در کنار مشکلات جانمایی را ایجاد نماید. در بیان ساده‌تر می‌توان نقش مخزن بالاست را به صورت مخزنی که با آگیری خود به میزان حجم بویانسی ذخیره‌ی بدنه قادر به مغروق کردن کل بدنه زیردریایی بوده، تعیین کرد. در شکل ۲-۳ مقایسه‌ای از ذخیره‌ی بویانسی در یک زیردریایی و کشتی را مشاهده می‌کنید.



۲- نقش بالاست در تعیین فری برد زیردریایی

از عوامل مهم دیگر در تعیین حجم مخزن بالاست، در واقع میزان آب‌خور (جایی که سطح آب بر بدنه مماس می‌شود) در حالت سطحی شناور است. مقدار این آب‌خور از کیل (keel) یعنی خطی که بر انتهایی‌ترین قسمت بدنه مماس می‌شود، تا سطح آب اندازه‌گیری می‌گردد. و در واقع مشخص کننده مقدار فری برد (Freeboard) زیردریایی در حرکت سطحی آن می‌باشد. وقتی یک زیردریایی و بطور کلی یک شناور در سطح آب حرکت می‌کند مقداری از بدنه آن خارج از سطح آب قرار می‌گیرد. در هر شناوری به این مقدار ارتفاع بدنه که در بالای خط آب‌خور و خارج از سطح آب قرار می‌گیرد فری برد آن شناور اطلاق می‌شود. به عبارت دیگر در هر شناوری رابطه زیر را داریم :

$$D = T + F$$

D : ارتفاع و یا عمق کلی شناور از کیل تا قسمت بالای بدنه

T : آب‌خور شناور از کیل تا جایی که سطح آب بر بدنه مماس می‌شود.

F : فری برد شناور از آب‌خور تا قسمت بالای بدنه

بنابراین به سادگی مشخص است که با توجه به ثابت بودن ارتفاع بدنه، تعیین مقدار فری برد به صورت مستقیم وابسته به آب‌خور، و تعیین مقدار آب‌خور نیز ارتباط مستقیم با حجم مخزن بالاست دارد. لذا حجم بزرگتر مخزن بالاست به معنی قابلیت آگیری بیشتر و داشتن بویانسی ذخیره بالاتر در حالت سطحی زیردریایی بوده، و این موضوع به معنای داشتن آب‌خور کمتر و در نهایت مقدار فری برد بیشتر است. و همچنین عکس این موضوع نیز به معنای فری برد کمتر زیردریایی در حالت سطحی (خالی بودن مخزن بالاست) می‌باشد. مقدار این آب‌خور جهت تعیین حجم مخزن بالاست در مراحل طراحی محاسبه و مشخص می‌گردد. به همین علت بدان آب‌خور طراحی گفته می‌شود. و لذا برحسب آنکه آب‌خور طراحی شناور چه مقدار است، و در کجای بدنه قرار می‌گیرد (برای داشتن یک فری برد مناسب) حجم بویانسی ذخیره بدنه و یا همان حجم آببند قسمت بالای سطح آب، در حالت سطحی مشخص و به دنبال آن حجم مورد نیاز مخزن بالاست معین می‌شود. در کشتی‌ها معمولاً ذخیره بویانسی بسیار بیشتر از زیردریایی‌ها می‌باشد

و در نتیجه مقدار فری‌برد در آنها بسیار بالاتر است. شکل ۳-۲ این مطلب را به خوبی نشان می‌دهد.

۳- ملاحظات و قابلیت جانمایی

از دیگر عواملی که در تعیین حجم مخزن بالاست و تجهیزات مورد نیاز جهت کارایی آن باید بدان اشاره کرد، مباحث مربوط به چیدمان و جانمایی آن است. در واقع سیستم بالاست (شامل: مخزن، سیستم‌های تحریک، و ...) باید از لحاظ ابعادی و وزنی در حالت بهینه با طراحی بدنه، جهت جانمایی در داخل بدنه باشند.

چگونگی کارکرد سیستم‌های بالاست

آنچه در مورد سیستم کارکرد مخزن بالاست در یک زیردریایی هدف اولیه و مهم محسوب می‌شود. ساخت مخزنی است که قادر باشد به نحوی مقدار مشخصی از آب و یا سیال اطراف بدنه-ی شناور را آگیری و در زمان لازم تخلیه نماید (روش استاتیکی و تغییر در نیروی وزن جهت غوص و صعود).

پس از مشخص شدن هدف کاربردی مخزن بالاست، باید به انتخاب روش و نوع سیستمی که عمل آگیری و تخلیه را انجام دهد، پرداخت. امروزه با توجه به نوع و ابعاد زیردریایی‌ها از روش‌های مختلفی جهت این کار استفاده می‌شود. به عنوان مثال استفاده از سیستم هوای فشرده، استفاده از پمپ، استفاده از سیستم سیلندر و پیستون و هر روش ابداعی و متنوع دیگری می‌تواند مورد مطلوب قرار گیرد. اما هر یک از این روش‌ها دارای مزایا و معایبی بوده و هریک تجهیزات و امکان‌سنجی خاص خود را می‌طلبد، لذا انتخاب نوع سیستم کاری بالاست در هر زیردریایی باید با توجه به نوع زیردریایی، محدودیت‌های چیدمان داخلی و همچنین ابعاد زیردریایی صورت پذیرد.

به عنوان مثال در یک زیردریایی کوچک مدل و بدون سرنشین معمولاً نمی‌توان از سیستم هوا فشرده برای مخازن بالاست استفاده کرد. چرا که به علت کوچک بودن فضا امکان نصب مخازن

هوای فشرده، در این ابعاد و تجهیزات خاص آن وجود نخواهد داشت. و همچنین حجم مخزن بالاست چنین زیردریایی طبیعتاً کوچک بوده و استفاده از سیستم هوای فشرده کنترل خاصی بر روند تخلیه ایجاد نکرده و سبب می‌شود که به صورت سریع مخزن تخلیه، و غوص ناگهانی را در شناور شاهد باشیم. اما همانطور که در عمل و در این نوع زیردریایی‌ها مشاهده می‌شود. استفاده از سیستمی مانند استفاده از پمپ و یا سیلندر پیستونی مناسب است چرا که امکانات و جانمایی کمتری نسبت به سیستم هوای فشرده، می‌طلبد و از طرفی هم به راحتی می‌توان، بر مقدار آگیری و تخلیه در این حجم کم، بخصوص در سیستم سیلندر و پیستون کنترل داشت.

در مقابل در زیردریایی‌های بزرگ که بر خلاف زیردریایی‌های مدل دارای مخزن‌های بالاست بزرگ و در حد چند صد و یا چند هزار لیتر هستند. از سیستم هوای فشرده جهت تخلیه استفاده می‌گردد. چرا که استفاده از سیستم‌هایی مثل سیلندر و پیستون مشکلات فراوانی در پی داشته و تقریباً غیر ممکن می‌باشد، و مستلزم ساخت یک سیلندر با ظرفیت چند هزار لیتر، پیستون و سیستم تحریک بسیار با قدرتی که قادر به حرکت آن باشد، تجهیزات پیچیده و جانمایی خاص خود می‌باشد. و این در حالیست، که استفاده از سیستم سیلندر و پیستون همانطور که گفته شد در زیردریایی‌های کوچک با بالاست‌هایی که ظرفیت آنها حداکثر به چندین لیتر بیشتر نمی‌رسد بسیار مناسب است.

در مورد استفاده از پمپ‌ها نیز نکته‌ی مهم، توجه به میزان قدرت و افت هد آنها می‌باشد. بخصوص در فرآیند تخلیه‌ی مخزن، چرا که ممکن است یک پمپ با قدرت کم قادر به آگیری مخزن باشد اما با آگیری و غوص شناور که سبب افزایش فشار سیال اطراف بدنه می‌گردد دیگر قادر به غلبه بر این فشار حاصل از محیط سیال اطراف بدنه و تخلیه مخزن نباشد. همانطور که می‌دانیم به ازای هر یک متر افزایش عمق در سیال فشار به میزان ۱۰ کیلو پاسکال افزایش می‌یابد. بنابراین هر چه عمق بالاتر می‌رود به پمپ (همچنین در مورد سیستم‌های دیگر تخلیه و آگیری در سیستم‌های بالاست) قوی‌تری جهت مقابله با این فشار و تخلیه‌ی مخزن بالاست از سوراخ خروجی بدنه، نیاز است.

بنابراین همچنان که مشخص است یکی دیگر از عوامل مؤثر بر انتخاب نوع سیستم آبیگری و تخلیه در مخازن بالاست میزان عمق‌روی زیردریایی است. چرا که یک پمپ با قدرت کم و یا یک سیستم سیلندر پیستون با تحریک ضعیف، پس از آبیگری مخزن در حالت سطحی و به عمق رفتن شناور قادر به تخلیه مخزن بالاست به علت وجود فشار سیال در سوراخ خروجی مخزن روی بدنه نبوده، و شناور مغروق خواهد ماند.

اشاره (اولین نبرد زیردریایی در جنگ جهانی اول)

با شروع جنگ، نبرد زیردریایی‌ها نیز شروع شد. اولین نبرد زیردریایی در ۸ اگوست ۱۹۱۴ در دریای شمال رخ داد که زیردریایی آلمانی U-15 یک اژدر به سمت یک کشتی انگلیسی در حال عبور شلیک کرد و آن را غرق نمود. ولی این زیردریایی چندان هم خوش شناس نبود چرا که دقیقاً فردای آن روز هنگامی که به سطح آب آمده بود، توسط یک رزمناو انگلیسی به نام بیرمنگهام مشاهده شد. اولین شلیک رزمناو به این زیردریایی اصابت نکرد ولی دومین شلیک آن دقیقاً به وسط زیردریایی اصابت و از وسط آن را به دو نیم کرد. بنابراین U-15 اولین زیردریایی بود که به دلیل نداشتن توانایی غوص سریع در آب، توسط یک رزمناو انگلیسی غرق شد. و این موضوع در واقع تصدیقی بر اهمیت طراحی مناسب برای رسیدن به امکان غوص و صعود سریع در زیردریایی‌ها بخصوص انواع نظامی آن می‌باشد.

فصل چهارم

سیستم رانش

مقدمه

یکی از قسمت‌های مهم در یک زیردریایی بحث مربوط به سیستم پیش‌رانش و تجهیزات آن می‌باشد. به صورت کلی سه نوع سیستم رانش مختلف برای رانش‌های دریایی مطرح است، که عبارتند از:

- ۱- سیستم رانش پروانه‌ای
- ۲- سیستم رانش واترجت
- ۳- سیستم رانش الکترومغناطیس

در این میان، گستره‌ی استفاده از سیستم رانش پروانه‌ای بسیار وسیع‌تر و پرکاربردتر از موارد دیگر است. در مورد زیردریایی‌های نظامی که عامل اصلی در آنها کم سروصدا بودن سیستم رانش است (به دلیل عدم شناسایی) سیستم رانش الکترومغناطیسی بسیار مناسب می‌باشد. اما ایجاد سرعت کم، نیاز به وجود ابر رساناها و همچنین هزینه و پیچیدگی خاص سیستم رانش الکترومغناطیس از جمله معایب این نوع سیستم است، که استفاده از آن را محدود می‌کند. بحث در مورد انواع سیستم‌های رانش و معایب و مزایای هر کدام، گسترده و خارج از حوصله این کتاب می‌باشد. لذا در این فصل به توضیح اجمالی در مورد کلیات سیستم رانش‌های واترجت و الکترومغناطیس می‌پردازیم (برای آشنایی بیشتر در این زمینه به منابع مربوطه مراجعه نمایید). و سپس با توجه به استفاده‌ی گسترده از سیستم رانش پروانه‌ای و معمول بودن استفاده از آن در زیردریایی‌ها به اختصار به توضیح نحوه طراحی و انتخاب سیستم رانش پروانه‌ای و اجزا مختلف آن می‌پردازیم.

زمانی که صحبت از یک سیستم پیش‌رانش (تراستر) در یک شناور می‌شود. منظور سیستمی است که بتواند یک نیروی تراست روبه جلو ایجاد نماید. به نحوی که این نیروی تراست قادر به غلبه بر نیروی مقاوم (درگ) در مقابل حرکت بدنه زیردریایی باشد. و شناور را با سرعت ثابت و یا در صورت نیاز با شتاب مطلوب به سمت جلو و در محیط سیال حرکت دهد. (شکل ۲-۵)

سیستم رانش واترجت (Waterjet)

سیستم رانش واترجت در گذشته در قایق‌های تفریحی استفاده می‌شد. ولی امروزه در کشتی‌های تندرو استفاده می‌شود. سیستم رانش واترجت از سه قسمت اصلی زیر تشکیل شده است.

(۱) **مدخل ورودی آب**: این محل به صورت حفره‌ای در زیر بدنه می‌باشد. که وظیفه مکش

آب از زیر بدنه را بر عهده دارد. قطر این ورودی بزرگتر از قطر خروجی (نازل) است.

(۲) **پمپ و محرک آن**: در داخل مدخل عبور آب، یک پمپ یا سیستم توربینی شکل قرار

دارد. که بوسیله یک محرک (prime mover) به حرکت در می‌آید. سیستم توربینی

می‌تواند یک روتور و استاتور ۳-۷ پره‌ای باشد.

(۳) **خروجی (نازل)**: خروجی آب از سیستم واترجت که دارای قطر کمتری از ورودی آب

است، را «نازل» نیز می‌گویند. محل خروجی آب، در نزدیکی سطح آب است. که البته

محل ایده‌آل آن، بیرون از سطح آب می‌باشد که در واقعیت ممکن است امکان پذیر نباشد.

تفاوت قطر ورودی و خروجی آب باعث افزایش دبی آب وارد شده به پمپ می‌شود.

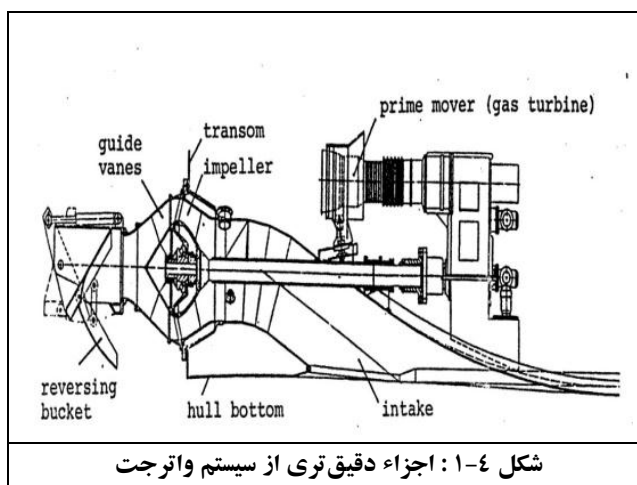
همچنین اختلاف ارتفاع ورودی آب (در زیر شناور) و خروجی آب (در سطح یا نزدیکی

سطح آب) باعث ایجاد اختلاف فشار مناسب جهت افزایش سرعت خروجی آب می‌گردد.

در واقع اساس ایجاد تراست، در این نوع سیستم رانش اختلاف مومنتوم یا همان ایجاد

اختلاف سرعت است.

نمایی از سیستم رانش واترجت را می‌توان در شکل ۴-۱ مشاهده کرد.

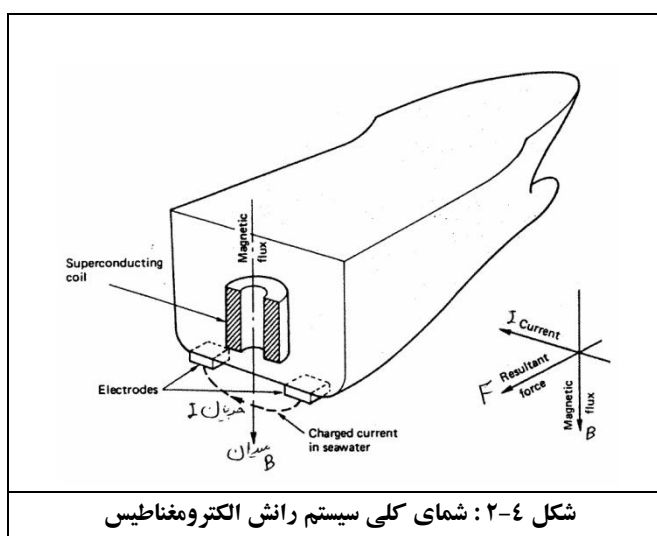


در محل خروجی آب از نازل، یک دهانه با قابلیت تغییر زاویه (reversing bucket) قرار می‌گیرد. که می‌تواند باعث حدود $\pm 30^\circ$ درجه تغییر زاویه سیال خروجی از نازل شود. که در واقع وظیفه سکان و مانورپذیری را انجام می‌دهد. همچنین این دهانه می‌تواند در وضعیتی قرار گیرد. که باعث 180° درجه تغییر مسیر و برگشت سیال شود. به گونه‌ای که شناور بتواند رو به عقب حرکت کند. در واقع در سیستم رانش واترجت، امکان عکس کردن دور پمپ وجود ندارد. و از همین روش و سیستم دهانه معکوس کننده، برای حرکت رو به عقب استفاده می‌شود. در شکل ۴-۱ عامل محرک یک توربین گاز می‌باشد. مزایای اصلی سیستم رانش واترجت از جمله موارد زیر است.

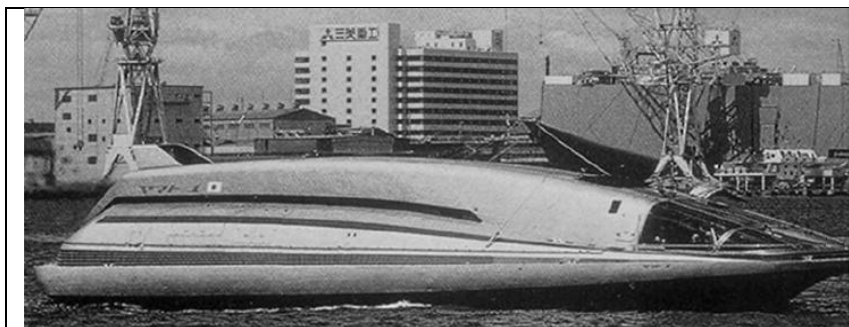
- (۱) عدم وجود ممان واژگون کننده : پروانه‌ها ممان رول دهنده یا واژگون کننده شدیدی را اعمال نمی‌کنند. ولی سیستم رانش واترجت این ممان را اعمال نمی‌کند.
- (۲) ایجاد پیش‌رانش بسیار زیاد و امکان رسیدن به سرعت‌های خیلی بالا به کمک این سیستم رانش.

سیستم رانش الکترومغناطیسی (electro-magnetic propulsion)

بر اساس مبانی فیزیک می‌دانیم که بر سیم‌های حامل جریان الکتریکی در میدان مغناطیسی نیرو وارد می‌شود، و این نیرویی که در میدان مغناطیسی بر سیم حامل جریان الکتریکی وارد می‌شود، بر راستای جریان و نیز بر راستای میدان مغناطیسی عمود است. این موضوع که قانون فیزیکی معروف به «دست راست» می‌باشد، بیان می‌کند که: اگر انگشت اشاره دست راست در جهت جریان و کف دست در راستای میدان مغناطیسی باشد، انگشت شست، نشان دهنده راستای نیروی وارد شده می‌باشد، که عمود بر دو راستای قبلی است. از همین مفهوم برای انجام پیش‌رانش در کشتی‌ها استفاده شد. که شمای کلی سیستم آن را می‌توان در شکل ۲-۴ ملاحظه کرد.



کشتی ژاپنی یاماتو در سال ۱۹۹۲، اولین کشتی بود. که به این سیستم رانش مجهز شد. تصویری از این شناور در شکل ۳-۴، آمده است.



شکل ۴-۳: کشتی یاماتو (۱۹۹۲) - اولین کشتی با سیستم رانش الکترومغناطیس

مزیت اصلی سیستم رانش الکترومغناطیس بدون ارتعاش و سروصدا و بدون کاویتاسیون بودن آن می باشد. که استفاده از آن در شناورهای نظامی، جهت شناسایی نشدن را بسیار مناسب می نماید. این سیستم نیاز به یک میدان مغناطیسی شدید، و سیم پیچ ابر رسانا دارد. که مقاومت صفر را تأمین نماید. لذا از هلیوم مایع در دمای $4/2$ کلوین استفاده می شد. برای محافظت از این کاهش دما از عایق بندی شدیدی استفاده می شود. مجموعه این عوامل باعث می گردد، سیستم رانش الکترومغناطیس یک سیستم با فناوری بالا و پرهزینه محسوب شود. و این از جمله معایب سیستم رانش الکترومغناطیس است. لذا با توجه به این موارد امروزه کمتر از این نوع سیستم رانش استفاده می شود.

سیستم رانش پروانه‌ای

سیستم رانش پروانه‌ای یکی از پر کاربردترین سیستم‌های رانش دریایی می باشد. بدیهی است که هر نوع سیستم رانشی مجموعه‌ای متشکل از اجزای مختلف است. که در کل قادر به تأمین هدف رانش در شناور می گردد. در سیستم رانش پروانه‌ای (تراست پروانه‌ای) این مجموعه به صورت عمومی متشکل از موارد زیر است:

- (۱) موتور رانش
- (۲) شافت رانش
- (۳) گیربکس (در صورت نیاز و وجود)

- (۴) کوپلینگ اتصال موتور به شافت
- (۵) فلنچ‌های میانی شافت (در صورت نیاز و چند تکه بودن شافت)
- (۶) یاتاقان‌های میانی
- (۷) یاتاقان آببندی شافت در محل خروجی از بدنه
- (۸) پروانه‌ی رانش

موارد بالا در مورد سیستم رانش پروانه‌ای و به صورت تک پروانه می‌باشد. و اما در مورد سیستم رانش‌های پروانه‌ای CRP، دو پروانه، پروانه‌های پشت سر هم، پروانه‌های متدخل، و ... نیز با وجود تفاوت‌هایی باز هم کلیات امر به همین روال است. اغلب زیردریایی‌های امروزی دارای سیستم رانش پروانه‌ای و از نوع تک پروانه می‌باشند. هرچند زیردریایی‌های دو پروانه‌ای نیز موجود بوده اما استفاده از این سیستم امروزه زیاد متداول نیست.

موتور رانش

موتور در واقع قسمت مهم و محرک اصلی سیستم رانش به احتساب می‌آید. موتورهای رانش نیز مانند سایر بخش‌ها در یک زیردریایی و در طول سالیان دراز سیر تکاملی خود را طی کرده و از موتورهای پدالی که با نیروی ماهیچه‌ای کار می‌کردند، اختراع موتورهای بخار، موتورهای الکتریکی و سپس موتورهای دیزل تا استفاده از راکتورهای هسته‌ای و رانش هسته‌ای در حال حاضر، پیشرفت کرده اند.

یک زیردریایی در حرکت زیرسطحی خود به علت مشکل خروج گازهای احتراق دیزل در عمق سیال، و عدم حضور اکسیژن هوا جهت کارکرد دیزل (البته این مورد امروزه با ساخت و استفاده از باکس‌های فشرده اکسیژن حل شده است) امکان استفاده و کارکرد موتور دیزل خود را ندارد. و همین امر سبب استفاده از موتورهای الکتریکی در زیردریایی‌ها می‌شود.

بنابراین زیردریایی‌های معمول دارای یک ژنراتور دیزل جهت کارکرد در حالت سطح و شارژ باتری‌های رانش، و یک موتور الکتریکی جهت حرکت زیرسطحی و استفاده از انرژی باتری‌های رانش می‌باشد. به همین علت بسته به توانایی باتری‌ها، زیردریایی برای حرکت زیرسطحی خود

با محدودیت مواجه است. و برای شارژ باتری‌ها و یا به اصطلاح تنفس خود باید به سطح آب آمده، تا ژنراتورهای آن قادر به کارکرد و شارژ باتری‌ها باشند. البته با پیشرفت‌های امروزی و به صحنه آمدن زیردریایی‌های هسته‌ای این مشکل بسیار کم رنگ گشته و زیردریایی‌ها قادر به سپری کردن مدت زمان طولانی در عمق آب بدون نیاز به تنفس می‌باشند.

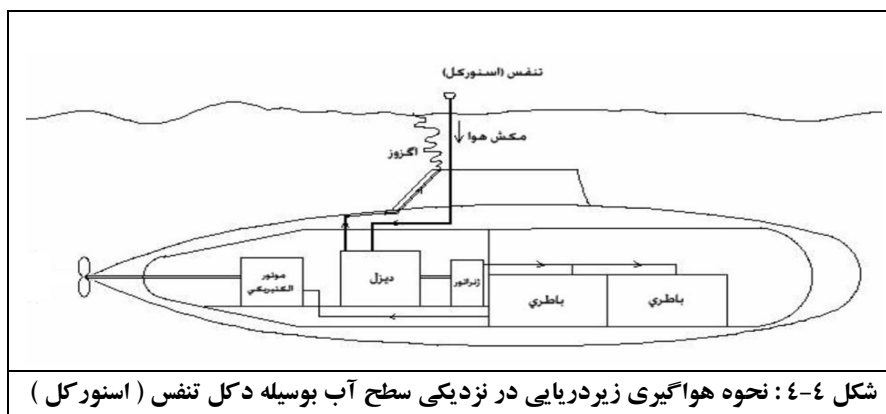
اما با توجه به محدود بودن تکنولوژی زیردریایی‌های با سیستم رانش هسته‌ای و انحصار آن به چند کشور، همچنان مشکل لزوم به سطح آمدن زیردریایی‌ها جهت تنفس وجود دارد.

همچنین در برخی از زیردریایی‌ها موتور اصلی رانش یک موتور الکتریکی است. و از ژنراتورهای دیزل فقط برای شارژ باتری‌ها استفاده می‌شود و در مقابل در برخی دیگر از زیردریایی‌ها از ژنراتورها هم برای شارژ باتری‌ها و هم جهت حرکت سطحی استفاده می‌گردد. و موتور الکتریکی خاموش و فقط برای حرکت زیرسطحی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

اشاره (ابداع روش اسنورکل توسط آلمان‌ها)

با توجه به گشت‌زنی‌های پیوسته متفقین، آلمانی‌ها در سال ۱۹۳۰ روش اسنورکل یا اسنورت را ابداع کردند. که زیردریایی برای نفس‌گیری و کارکرد موتورهای دیزل و شارژ باتری‌ها، در نزدیک سطح آب قرار می‌گرفت. و از طریق یک لوله بلند با هوا مرتبط می‌شد. این روش علیرغم اینکه مزایای زیادی داشت، با مشکلات اجرایی بسیاری مواجه بود. مثلاً هنگامی که دریا موج بود. اولین استفاده عملیاتی موفق از اسنورکل در فوریه ۱۹۴۴ حاصل شد. البته تا قبل از آن نیز، به دلیل ضرورت‌هایی که وجود داشت، اسنورکل به طور گسترده در زیردریایی‌های آلمانی نصب شد. قرار گرفتن زیردریایی در سطح آب، به دلیل سرو صدای امواج، ردیابی زیردریایی را نیز مشکل می‌نمود. و سیستم سونار متفقین نیز کارایی خود را برای ردیابی زیردریایی تا حد زیادی از دست داده بود. پس از اینکه آلمانی‌ها، پایگاه‌های خود را در فرانسه از دست دادند، زیردریایی‌هایی که در آن منطقه به اسنورکل مجهز نبودند، تلفات سنگینی را متحمل شدند. و به پایگاه‌های دریایی، در نروژ منتقل شده، و پس از مجهز شدن به اسنورکل در نوامبر ۱۹۴۴ مجدداً توانستند به آبهای انگلیس برگردند. ابداع سیستم اسنورکل باعث شد متفقین هزاران ساعت گشت هوایی را متحمل شوند و در مقابل نتایج کمتری نسبت به قبل به

دست آورند. بنابراین ابداع این روش سببی شد، که زیردریایی‌های آلمانی مشکل تنفس خود را بدون نیاز به سطح آب آمدن کامل، حل نمایند. و همچنان مزیت اختفای خود را در زیرسطح آب در مقابل هواپیماهای دشمن حفظ نمایند. که سبب برتری بسیاری برای آنها در مقابل دشمن گشت. در شکل ۴-۴ نحوه تنفس زیردریایی در نزدیکی سطح آب، و یا همان سیستم اسنورکل نمایش داده شده است.



موتور الکتریکی و پارامترهای آن

همانطور که گفته شد، از موتورهای الکتریکی هم در زیردریایی‌های بزرگ سرنشین‌دار، و هم در زیردریایی‌های مدل و کوچک، استفاده می‌شود. امروزه با وجود موتورهای بدون جاروبک (Brushless) کارایی و بازدهی این موتورها تا حد بسیار زیادی بالا رفته است. در انتخاب یک موتور برای زیردریایی پارامترهای مختلفی مؤثر است. که اغلب به شدت به یکدیگر وابسته هستند. و لذا انتخاب یک موتور مناسب برای یک زیردریایی علاوه بر آنکه فقط خاص آن زیردریایی و با همان مشخصات می‌باشد، یک فرآیند کاملاً حساس محسوب می‌شود. که مستلزم چندین بار سعی و خطا جهت بهینه کردن کلیه پارامترهای موتور در کنار هم، جهت انتخاب و یا ساخت آن موتور الکتریکی است. در ادامه به معرفی و توضیح نحوه تاثیر هریک از این پارامترهای مختلف موتور پرداخته می‌شود.

RPM موتور

اولین موردی که در مورد یک موتور بیان می‌شود rpm آن موتور است. منظور از rpm موتور تعداد دور چرخشی است، که موتور در یک دقیقه می‌تواند انجام دهد. در یک موتور مقدار rpm و گشتاور موتور با نسبت عکس با یکدیگر متناسبند. به عنوان مثال در یک توان ثابت با افزایش rpm ، گشتاور موتور کاهش و با کاهش آن گشتاور موتور افزایش می‌یابد. که در قسمت بعد چگونگی رابطه‌ی آنها بیان می‌گردد.

rpm موتور به صورت مستقیم (در صورت عدم وجود گیربکس) و یا به صورت غیرمستقیم (در صورت وجود گیربکس) سبب تأمین rpm پروانه می‌شود. با توجه به آنچه در قسمت‌های بعد و در قسمت انتخاب پروانه بیان می‌گردد. متوجه خواهیم شد که مقدار تراست تولیدی در پروانه متناسب با توان دوم rpm پروانه، و همچنین گشتاور مورد نیاز پروانه نیز متناسب با توان دوم rpm آن می‌باشد. یعنی داریم که :

$$T_{propeller} \propto n^2$$

$$Q_{propeller} \propto n^2$$

n : rpm پروانه که به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم وابسته به rps موتور است

T : تراست پروانه

Q : گشتاور پروانه

بنابراین به عنوان مثال اگر rpm پروانه رانش که همانطور که گفته شد به صورت مستقیم و یا غیر مستقیم مرتبط است با rpm موتور، ۲ برابر شود مقدار تراست تولیدی پروانه و گشتاور مورد نیاز آن جهت چرخش ۴ برابر می‌شود. بر این اساس تأثیر مهم مقدار rpm موتور بر روی گشتاور و تراست پروانه مشخص می‌گردد که در انتخاب موتور باید به آن توجه شود. لازم به ذکر است که در روابط ارائه شده مقدار دور موتور را بر حسب RPS (تعداد دوری که موتور در

یک ثانیه می‌زند) بیان می‌کنند. و به اختصار به صورت «n» در روابط ارائه می‌گردد. بنابراین توجه می‌کنیم که در یک موتور رابطه زیر را داریم :

$$n_{motor} = \frac{RPM}{60}$$

گشتاور موتور

میزان قدرت و توانایی موتور در حرکت چرخشی آن توسط پارامتری به نام گشتاور موتور معلوم می‌گردد. گشتاور موتور را معمولاً با « Q_{motor} » نشان داده و بر حسب «N.m» و یا «kg.cm» بیان می‌کنند. و واحد اصلی آن جهت استفاده در روابط همان «N.m» است. گشتاور موتور یک عامل مطلوب محسوب می‌گردد. و هر چه گشتاور موتور بالاتر بوده موتور مناسب‌تر می‌باشد. اما مشکل اصلی آن است، که افزایش گشتاور موتور به معنای کاهش rpm آن و از همه مهم‌تر افزایش ابعاد و اندازه موتور، و وزن آن می‌باشد. که افزایش ابعاد موتور و سنگین شدن آن به معنای محدودیت جانمایی در داخل بدنه‌ی زیردریایی است. مشکل دیگری نیز که در این راستا وجود دارد و غالباً مبحث اصلی جدال بین کارفرما و طراح قرار می‌گیرد بحث هزینه است. چرا که افزایش گشتاور موتور و افزایش ابعاد و وزن آن سبب افزایش قیمت موتور به صورت تصاعدی می‌باشد. معمولاً کارفرماها به دنبال رسیدن به بالاترین سرعت با صرف کمترین هزینه بوده، و این طراح است که در ابتدا با داشتن یک دید کلی باید امکان‌سجی‌های لازم را برآورد کند. و هزینه‌ها را تخمین زده، و بتواند شرایط معقول و منطقی را در قرارداد بپذیرد.

بنابراین، این طراح است که در ابتدای امر باید یک دید کلی در مورد میزان تراست مورد نیاز جهت رسیدن به سرعت مطلوب کارفرما، با توجه به شکل و ابعاد بدنه‌ی مورد نظر او داشته باشد. و بتواند مقدار تقریبی گشتاور موتور مطلوب جهت تأمین گشتاور پروانه و چرخش آن، و با احتساب لزوم وجود گیربکس و موارد دیگر به صورت تقریبی موتور مورد نیاز را مشخص کرده، و تخمین هزینه بزند. و شرایط متعارفی در هزینه‌ی مورد نیاز در قرارداد را بپذیرد.

چراکه همانطور که گفته شد در موتورهای قیمت موتور به صورت تصاعدی با افزایش گشتاور و ابعاد آن افزایش می‌یابد.

توان موتور

در هر موتوری صحبت اصلی در مورد توان آن می‌باشد. در واقع به زبان ساده تأثیر دو عامل گشتاور و rpm موتور در اصطلاحی به نام توان موتور، جمع می‌شود. توان موتور رانش را معمولاً با « P_B » نشان داده، و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$P_B = Q \cdot \omega = Q \cdot \frac{2\pi n}{60}$$

این رابطه در واقع صحت مطالب قبل را مشخص می‌کند. که در یک توان ثابت افزایش گشتاور موتور به معنای کاهش n و لذا rpm موتور است، و بالعکس. در واقع این توان موتور است، که باید با احتساب بازدهی‌های مختلف مکانیکی و هیدرودینامیکی قادر به تأمین توان مورد نیاز رانش باشد. تا بتوانیم به سرعت مطلوب و مورد نظر برسیم. در یک موتور الکتریکی توان موتور بر اساس ولتاژ باتری و جریانی که از آن می‌کشد. نیز به صورت رابطه‌ی زیر قابل حصول است:

$$P_B = V \cdot I$$

و بر این اساس می‌توان رابطه‌ی بین گشتاور و rpm موتور برای داشتن تراست مورد نیاز در پروانه، و همچنین باتری‌های مناسب جهت تأمین انرژی را مشخص کرد. در واقع با داشتن ولتاژ باتری و مقدار آمپری که جهت رسیدن به توان مطلوب باید از باتری‌ها کشیده شود. می‌توان مقدار آمپر ساعت، جریان مورد نیاز باتری با توجه به حداکثر زمان مطلوب جهت کارکرد موتور در زیر سطح آب و بدون شارژ دوباره باتری را مشخص نمود. بنابراین به صورت کلی می‌توان گفت با داشتن سرعت و مقاومت بدنه، توان موثر رانش از رابطه‌ی زیر قابل حصول است:

$$P_E = R \cdot V$$

و با احتساب بازدهی کل سیستم رانش، توان موتور برابر خواهد بود با :

$$P_B = \frac{P_E}{\eta_D}$$

و لذا با داشتن توان موتور مطابق رابطه‌ی زیر :

$$P_B = V \cdot I$$

باید به انتخاب باتری با ولتاژ و آمپر ساعت مناسب بپردازیم. و سپس با داشتن ولتاژ، مقدار آمپری که از باتری در حالت کارکرد متداول موتور (نه با حداکثر توان و نه با حداقل توان) کشیده می‌شود، مشخص شده و با مشخص بودن مقدار آمپر ساعت باتری که از مشخصات آن است. مدت زمان کارکرد موتور با این باتری بدون شارژ دوباره آن معلوم می‌شود. و این همان زمانی است که زیردریایی با استفاده از توان متوسط خود قادر به حرکت در زیر سطح خواهد بود. بدیهی است در صورت استفاده از حداکثر توان رانشی و در پی آن توان موتور، این زمان کاهش یافته و در صورت عکس حالت ذکر شده این زمان افزایش خواهد یافت. پس از معرفی موتور و پارامترهای آن به عنوان قسمت اصلی سیستم رانش پروانه‌ای به معرفی قسمت‌های دیگر سیستم رانش پروانه‌ای همچنان که در قبل ذکر گردیده، خواهیم پرداخت.

شافت موتور

محل قرار گیری موتور به عنوان محرک اصلی در سیستم رانش با توجه به جانمایی داخلی و طراحی شناور می‌تواند، در مکان‌های مختلفی باشد. اما امروزه در بیشتر شناورها و زیردریایی‌ها محل قرار گیری موتور و موتورخانه در قسمت پاشنه‌ی شناور می‌باشد. هر چند که در بسیاری از موارد نیز جانمایی موتور در قسمت میانی شناور مشاهده می‌شود. بهر حال آنچه که مهم تلقی می‌گردد، این است که موتور در هر قسمت از بدنه که جانمایی شود. جهت انتقال قدرت و حرکت چرخشی آن به پروانه که عموماً در قسمت انتهایی پاشنه و در خارج از بدنه قرار می-

گیرد باید تدبیری اندیشیده شود. معمولاً برای این انتقال قدرت از موتور به پروانه از یک شافت اتصال دهنده استفاده می‌گردد. و عموماً در مسیر آن، و وابسته به طول آن یاتاقان‌های نگه دارنده قرار داده می‌شود. که نقش تکیه گاه شافت را بر عهده می‌گیرند.

تلاش طراحان بر آن است، که تا جای ممکن از طول شافت انتقال قدرت کاسته شود (به علت افزایش راندمان و کاهش مشکلات ناشی از عدم همترازی و غیره) به همین علت است، که تا جای امکان سعی می‌شود، که موتور رانش و به اصطلاح موتورخانه در قسمت‌های تحتانی بدنه جانمایی گردد.

انتخاب جنس و قطر شافت در هر شناوری وابسته به عواملی مانند حداکثر ممان پیچشی که ممکن است بر آن اعمال شود، مقدار مقاومت در مقابل خوردگی و موارد دیگر، بر اساس نظر و طراحی طراح، انجام می‌گیرد. اما آنچه در شافت‌های انتقال قدرت از موتور به پروانه در سیستم رانش پروانه‌ای بسیار مهم و حساس می‌باشد. مباحث مربوط به همترازی شافت است. به گونه‌ای که این صنعت امروزه به صورت یکی از زیر شاخه‌های تخصصی در صنایع شناور سازی تبدیل شده، و روش‌ها و مطالب خاص خود را دارد. و همچنان در حال رشد و توسعه می‌باشد. با توجه به آنکه این شاخه دارای گستردگی و تنوع مطالب خاص خود است و خارج از حوصله‌ی این کتاب، به بحث در مورد چگونگی و روش‌های مختلف موجود برای همترازی شافت در شناورها نمی‌پردازیم. و فقط به لزوم این همترازی اشاره می‌شود.

در سیستم رانش پروانه‌ای باید محور موتور رانش، یاتاقان‌های نگهدارنده‌ی میانی، یاتاقان آببند انتهایی شافت و محور پروانه همگی با یکدیگر کاملاً در یک مرکز و هم محور باشند. کوچکترین اختلافی در مرکز محور این اجزاء نسبت به یکدیگر حتی به اندازه‌ای ناچیز وقتی در طول شافت اثر می‌کند (مخصوصاً در شافت‌های بلند) سبب ایجاد مشکلات زیادی از جمله کاهش بازدهی، ایجاد سر و صدا، خرابی یاتاقان‌ها، کاهش عمر موتور، کاهش بازدهی پروانه و ایجاد لنگ در شافت می‌گردد. و حتی در برخی از موارد می‌تواند شکستن و بردین شافت را نیز در پی داشته باشد. لذا همترازی شافت از عوامل مهم و حساس در مراحل ساخت و مونتاژ محسوب می‌شود، که توجه خاصی را می‌طلبد.

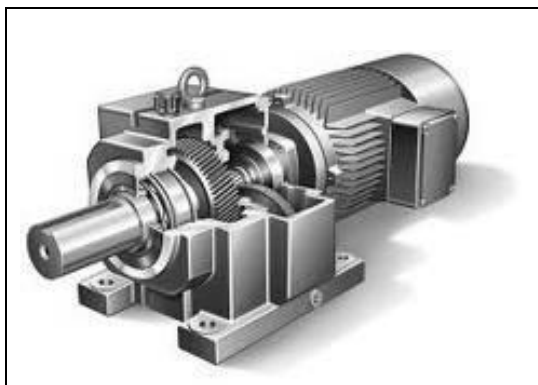
گیربکس

وظیفه اصلی گیربکس کاهش دور، و افزایش گشتاور موتور است. ترجیح طراحان معمولاً بر آن است که تا جای ممکن از استفاده از گیربکس بپرهیزند. اما همواره رسیدن به Rpm و گشتاور مطلوب پروانه به صورت مستقیم و توسط موتور امکان پذیر نمی باشد. به همین علت در برخی موارد جهت رسیدن به Rpm و گشتاور مطلوب پروانه استفاده از یک موتور، و گیربکس مناسب آن ناگزیر می گردد.

اصول کارکرد گیربکس بر اساس درگیر کردن چرخ دنده هایی با قطر متفاوت است. که سبب تغییر در دور و گشتاور محرک اصلی (موتور) می گردد. به عنوان مثال در دو چرخ دنده یک گیربکس رابطه ی زیر برقرار است :

$$\frac{D_1}{D_2} = \frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

در این رابطه « D » بیانگر قطر چرخ دنده، « Q » گشتاور چرخ دنده و « n » دور چرخ دنده است. بنابراین اگر در یک شناور از یک موتور به عنوان مثال با گشتاور 4 N.m و دور Rpm 2000 استفاده شود. و در مسیر آن یک گیربکس ۱ به ۵ قرار دهیم. گشتاور و Rpm تحویلی به پشت پروانه به ترتیب برابر با 20 N.m و 400 Rpm خواهد بود. شکل ۴-۵ نمای برش خورده ی یک گیربکس را نشان می دهد.



شکل ۴-۵: نمایی از یک گیربکس

فلنج‌های میانی اتصال شافت

همواره شافت شناورها به علت‌های متعدد، یکپارچه و یک‌تکه نیستند. این امر بخصوص در شناورهای با شافت بلند و دارای گیربکس، بیشتر محسوس است. در شناورها برای اتصال شافت‌ها به یکدیگر و یکپارچه کردن آن از فلنج‌های میانی استفاده می‌شود. در شکل ۴-۶ تصویر چند فلنج اتصال میانی نشاده داده شده است.



شکل ۴-۶: چند نمونه از فلنج‌های میانی

یاتاقان‌های میانی

بدون شک شافت رانش در طول مسیر خود از موتور به سمت پروانه به علت وزن آن و همچنین پروانه‌ای که روی آن متصل می‌شود نیاز به وجود تکیه‌گاه‌هایی دارد. که بتوانند علاوه بر تحمل وزن شافت و ایجاد یک نیروی عمودی در مقابل وزن شافت کمترین مقاومت و اصطکاک را در برابر حرکت چرخشی شافت داشته باشند. نقش این تکیه‌گاه‌ها بر عهده یاتاقان‌های میانی می‌باشد. که بسته به وزن و طول شافت و جانمایی داخلی، در مسیر شافت به تعداد مناسب و لازم قرار می‌گیرند. شکل ۴-۷ نمایی از چند یاتاقان میانی را نشان می‌دهد. این یاتاقان‌ها دارای بازدهی خاص خود هستند. که بر روی بازدهی مکانیکی و در نتیجه بازدهی

کل و در نهایت بر توان موتور، موثر بوده و سبب کاهش آن، برای رسیدن به پروانه می‌شوند. بازدهی هر یاتاقان بسته به ابعاد و اندازه و همچنین جنس آن تعیین می‌گردد.



شکل ۴-۷: چند نمونه از یاتاقان‌های میانی

یاتاقان آبنند انتهایی (Stren tube)

در محل خروج شافت رانش از بدنه، جهت اتصال به پروانه و ورود به محل سیال، یاتاقان آبنندی قرار می‌گیرد. که این یاتاقان هم نقش یاتاقانهای میانی را دارا است یعنی هم به عنوان تکیه گاه شافت و پروانه عمل می‌کند. و هم نقش آبنند کردن محیط داخل بدنه شناور از محیط سیال خارج از آن، در محل خروج شافت از بدنه را بر عهده می‌گیرد. لذا این یاتاقان با توجه به نقش حساس آبنندی خود، از اهمیت خاصی برخوردار است. این یاتاقان‌ها نیز وابسته به نوع و ابعاد آن، چه از نوع استرن تیوب با ساختار ویژه خود در شناورهای بزرگ تا استفاده از یک بلبرینگ و کاسه نمد در شناورهای کوچک و مدل دارای بازدهی ویژه‌ی خود هستند. که در مباحث محاسبه توان و پیش‌رانش مورد توجه قرار می‌گیرد. و همانند یاتاقان‌های میانی در قسمت بازدهی مکانیکی مؤثر می‌باشند. در شکل ۴-۸ یک استرن تیوب در شناور بزرگ و در شکل ۴-۹ یک نمونه یاتاقان آبنند در شناورهای کوچک نشان داده شده است.



شکل ۴-۸: استرن تیوب در یک کشتی



شکل ۴-۹: نمونه باتاقان آببند در شناور کوچک

کوپلینگ

جهت اتصال محور موتور به شافت رانش، از واسطه‌ای به نام کوپلینگ استفاده می‌شود. و تعریف صحیح‌تر از کوپلینگ را می‌توان به صورت «آنچه که سبب انتقال حرکت چرخشی موتور به شافت می‌شود» بیان کرد. کوپلینگ‌ها معمولاً وابسته به شکل و محور موتور بوده، و انواع مختلف و متنوعی دارند. در شکل ۴-۱۰ چند نمونه از کوپلینگ در شناورهای کوچک و بزرگ نشان داده شده است.



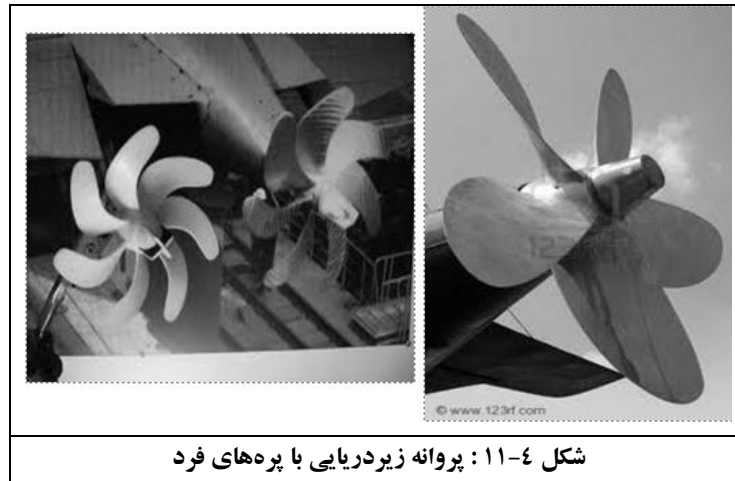
شکل ۴-۱۰: چند نمونه کوپلینگ

پروانه رانش

در روند توضیح سیستم رانش پروانه‌ای پس از توضیح قسمت‌های مختلف که در قبل بیان گردید. در نهایت به پروانه می‌رسیم. پس از موتور که به عنوان محرک اصلی در سیستم رانش محسوب می‌گردد. مهمترین قسمت از سیستم رانش پروانه‌ای در واقع خود پروانه خواهد بود. که در ادامه به توضیحات مربوط به آن و معرفی پارامترها و مشخصات آن می‌پردازیم. لازم به ذکر می‌داند، که بحث در مورد پروانه و طراحی آن بسیار گسترده و خارج از هدف و حوصله این کتاب است. لذا آنچه در ادامه بیان می‌شود، فقط در حد مطالب لازم جهت آشنایی و انتخاب یک پروانه‌ی مناسب برای یک زیردریایی خواهد بود. و از بحث‌های مربوط به ساخت و طراحی پروانه صرف نظر می‌کنیم.

پره‌های پروانه (Blade)

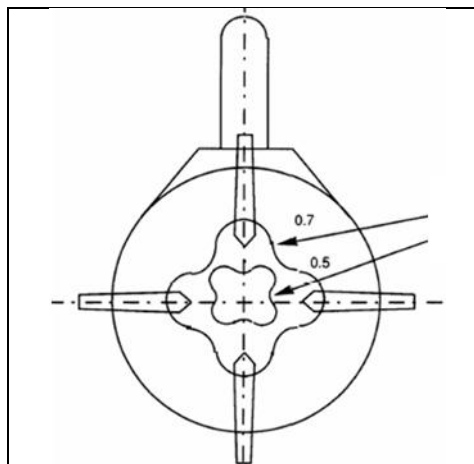
هر پروانه به صورت بدیهی از چند پره تشکیل شده است. تعداد پره‌های پروانه‌های دریایی معمولاً بین ۲ تا ۷ پره می‌باشد. اما آنچه در این زمینه و در مورد زیردریایی‌ها مهم می‌باشد. آن است که تعداد پره‌های پروانه‌ی یک زیردریایی باید یک عدد فرد باشد. (شکل ۴-۱۱)



شکل ۴-۱۱: پروانه زیردریایی با پره‌های فرد

این امر بخصوص در مورد زیردریایی‌هایی که دارای سطوح کنترلی صلیبی شکل در قسمت پاشنه هستند. (یعنی وجود دو سکان در بالا و پایین بدنه و دو بالک در طرفین بدنه که روی هم رفته از زاویه‌ی دید پروانه و از قسمت عقب پروانه به شکل صلیب دیده می‌شوند). از اهمیت خاصی برخوردار است. همانطور که در قبل بیان شد، زیردریایی‌ها اغلب به صورت تک پروانه می‌باشند. و هر چند که امروزه رایج نمی‌باشند، اما زیردریایی‌هایی دو پروانه ای نیز وجود دارند. بنابراین در یک زیردریایی تک پروانه، که پروانه در قسمت پاشنه نصب می‌گردد. اگر تعداد پره‌های پروانه زوج و به عنوان مثال ۴ پره باشد. در مسیر حرکت چرخشی پروانه و در هر دور چرخش آن لحظه‌ای اتفاق خواهد افتاد. که هر چهار پره‌ی پروانه در راستای ۴ سطوح کنترلی صلیبی شکل نصب شده در قسمت پاشنه زیردریایی (دو سکان و دو بالک) قرار گیرند. در این لحظه به دلیل تغییرات شدید سرعت سیال ورودی به پروانه، یک شوک به پروانه وارد خواهد

شد. مطابق شکل ۴-۱۲ و ۴-۱۳ بنابراین در هر دور چرخش پروانه چنین شوکی به آن وارد می‌گردد. که در کل سبب کاهش بازدهی پروانه می‌شود. به همین علت در زیردریایی‌ها پره‌های پروانه را زوج انتخاب نمی‌کنند. و معمولاً پره‌های پروانه زیردریایی‌ها به صورت فرد (۳، ۵ و ۷ پره) انتخاب می‌شوند.



شکل ۴-۱۲: غیریکنواختی و یک در پروانه
زیردریایی بدلیل حضور بالک‌ها و سکان



شکل ۴-۱۳: پروانه زیردریایی و سطوح کنترلی

قطر پروانه

قطر پروانه از عوامل مهم و بسیار مؤثر در نیروی تراست تولیدی پروانه و گشتاور مورد نیاز آن در حرکت چرخشی آن در داخل سیال می‌باشد. همانطور که در ادامه بیان خواهد شد. تراست پروانه متناسب با توان ۴ قطر و گشتاور پروانه متناسب با توان ۵ قطر پروانه خواهد بود. به عبارت دیگر روابط زیر را می‌توان ارائه کرد :

$$T_{propeller} \propto D^4$$

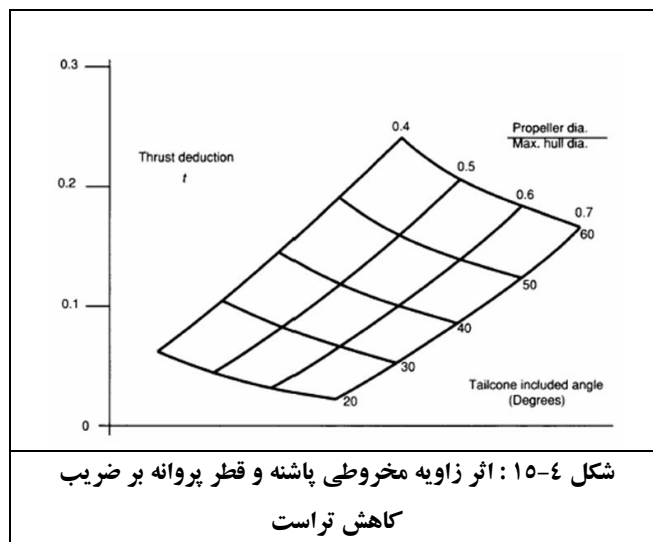
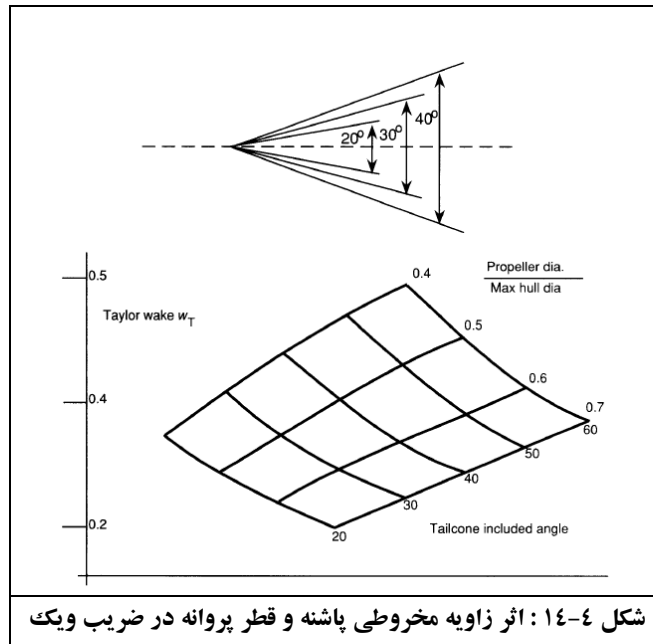
$$Q_{propeller} \propto D^5$$

بدین ترتیب نقشی حیاتی و تعیین کننده‌ی مقدار قطر پروانه در دو پارامتر اصلی پروانه یعنی تراست تولیدی و گشتاور مشخص می‌شود. در زیردریایی‌های تک پروانه قطر پروانه در حدود ۷۰ - ۴۰ درصد قطر بدنه‌ی زیردریایی است. به عبارت دیگر در زیردریایی‌ها داریم :

$$D_{propeller} = (0.4 \sim 0.7) D_{hull}$$

بنابراین با استفاده از این رابطه می‌توانیم، تخمینی از قطر پروانه‌ی مورد نیاز برای زیردریایی را به دست آوریم. و سپس در مراحل بعد و براساس پارامترهای رانش، به انتخاب قطر بهینه و مناسب پروانه جهت رسیدن به تراست مورد نظر برسیم.

اما دو پارامتر قطر پروانه و زاویه مخروطی پاشنه در زیردریایی‌ها از عوامل مهم تأثیرگذار در دو ضریب ویک، و ضریب کاهش تراست هستند. این دو ضریب از پارامترهای هیدرودینامیکی و مؤثر بر توان رانش محسوب می‌شوند. که در مباحث طراحی باید مورد توجه قرار گرفته و شرایط مناسبی در بدنه از نقطه نظر این ضرایب برقرار گردد. بنابراین در بحث طراحی و ابعاد بندی بدنه توجه به نمودار شکل ۴-۱۴ که چگونگی تأثیر زاویه مخروطی پاشنه و قطر پروانه را در ضریب ویک و نمودار شکل ۴-۱۵ که چگونگی تأثیر زاویه مخروطی پاشنه و قطر پروانه را در ضریب کاهش تراست نشان می‌دهد کاملاً ضروری است. و از جمله ملاحظات هیدرودینامیکی محسوب می‌گردد.



دور پروانه (Rpm)

Rpm پروانه که بیانگر تعداد دور چرخش پروانه در یک دقیقه است. و از روی آن به سادگی می‌توان Rps پروانه و یا همان «n» را به صورت زیر محاسبه نمود :

$$Rps_{prop} = \frac{Rpm_{prop}}{60}$$

همانطور که در قبل گفته شد Rpm پروانه، و لذا Rps پروانه، وابسته به Rpm موتور و گیربکس می‌باشد. و Rps پروانه نیز، یکی دیگر از عوامل مؤثر و تعیین کننده‌ی تراست و گشتاور پروانه است به طوری که داریم :

$$T_{prop} \propto n_{prop}^2$$

$$Q_{prop} \propto n_{prop}^2$$

ضریب تراست (K_t) و ضریب گشتاور (K_q) پروانه

همچنان که در فرمول‌های محاسبه‌ی گشتاور و تراست پروانه که در قسمت بعد ارائه می‌گردند، مشخص است. ضریبی به نام ضریب تراست پروانه (K_t) در محاسبه‌ی تراست پروانه و ضریبی به نام ضریب گشتاور پروانه (K_q) در محاسبه‌ی گشتاور پروانه دخیل می‌باشند.

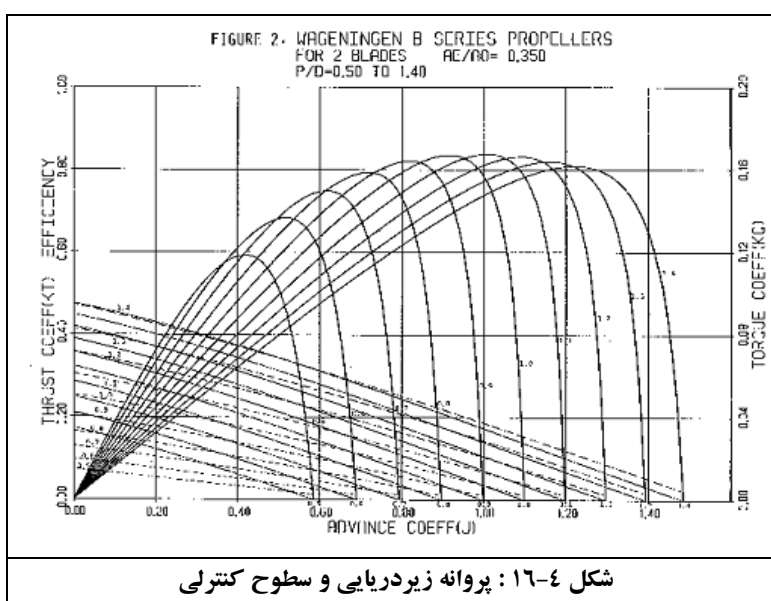
این دو ضریب در واقع برای هر پروانه‌ای از سری‌های استاندارد با توجه به مشخصات آن، و از روی نمودارهای سری‌های استاندارد مشخص می‌شوند. که بحث‌های طراحی خاص، و مربوط به خود را دارند، که به آن نمی‌پردازیم. اما توجه به محدوده‌ی تقریبی این ضرایب، سبب ایجاد تخمین‌های مناسبی از نیروی تراست و گشتاور در پروانه می‌شود.

با توجه به نمودارها سری استاندارد B به صورت معمول و رایج می‌توان گفت که این دو ضریب در محدوده‌های زیر می‌توانند باشند :

$$0.00 < K_t \leq 1.00$$

$$0.00 < K_q \leq 0.20$$

طراحی پروانه امروزه معمولاً براساس روش سری استاندارد B صورت می‌پذیرد. در این روش جهت استخراج (K_t) و (K_q) از نمودارهای استاندارد استفاده می‌شود. سری B شامل ۹۶ مجموعه نمودار است. که هر نمودار فقط مختص به یک تعداد پره (Z) و یک نسبت سطح گسترش یافته $(\frac{A_E}{A_0})$ می‌باشد. در داخل هر یک از این نمودارها، ضرایب (K_t) ، (K_q) و بازدهی در آب آزاد (η_0) برای $\frac{P}{D}$ (نسبت گام به قطر) رسم شده است. یعنی در هر یک از این نمودارها برای هر مقدار از $\frac{P}{D}$ سه نمودار (η_0, K_q, K_T) موجود است. شکل ۴-۱۶ یک نمودار از نمودارهای سری استاندارد B را نشان می‌دهد.



تراست پروانه

منظور از تراست پروانه، نیرویی است که پروانه با چرخش خود در داخل سیال و ایجاد یک منطقه‌ی پرفشار در قسمت جلوی خود (face) و یک منطقه‌ی کم فشار در قسمت عقب خود (back) ایجاد می‌کند. و این نیروی تراست در واقع نیروی محرک شناور محسوب می‌شود. چرا که این نیرو با غلبه بر نیروی مقاوم در مقابل حرکت (درگ) شناور، سبب رانش شناور در محیط سیال می‌گردد.

نیروی تراست پروانه از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود :

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

که در این رابطه همانطور که از قبل گفته شد «D» قطر پروانه برحسب متر، «n» مقدار Rps پروانه بر حسب دور در ثانیه، و «ρ» چگالی سیالی که پروانه در آن می‌چرخد بوده، که برای آب دریا $\rho = 1025 \frac{kg}{m^3}$ و برای آب های شیرین در حدود $\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$ تخمین زده می‌شود. و در نهایت « K_t » هم ضریب تراست پروانه می‌باشد.

بنابراین در طراحی و ساخت یک شناور تلاش بر آن است که تا حد امکان و تا جایی که محدودیت‌های موجود (در ادامه در مورد آنها صحبت می‌شود) اجازه می‌دهند. شرایطی را در پارامترهای مؤثر در مقدار تراست و همچنین در انتخاب و یا ساخت پروانه برقرار کرد. که بتوان به حداکثر تراست ممکن تولیدی توسط پروانه دست یافت.

گشتاور پروانه

بدیهی است، که هر پروانه‌ای جهت انجام حرکت چرخشی خود در محیط سیال نیاز به یک نیروی گردشی دارد. ممان گردشی مورد نیاز جهت حرکت چرخشی پروانه در سیال را گشتاور پروانه گویند.

در اذهان عمومی معمولاً تصور درستی از اهمیت مقدار گشتاور برای چرخش پروانه وجود ندارد. این در حالیست که این امر در محیط سیال و سیستم رانش‌های پروانه‌ای بسیار مهم

است. جهت مشخص شدن اهمیت این امر کفایت به این نکته توجه کنیم، که به عنوان مثال اگر یک پروانه‌ی انتخابی را با یک موتور در محیط معمولی و سیال هوا قادر به چرخاندن باشیم. جهت به چرخش در آوردن همان پروانه در محیط داخل آب برای داشتن شرایطی مشابه (با چگالی حداقل ۱۰۰۰ برابر هوا) نیاز به موتوری داریم که ۱۰۰۰ برابر قوی تر از موتور قبل باشد. تا بتواند گشتاور مورد نیاز جهت حرکت پروانه را تأمین نماید.

گشتاور پروانه از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد :

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

در اینجا نیز «D» بیانگر قطر پروانه، «n» بیانگر Rps پروانه و «ρ» چگالی سیال محیط اطراف پروانه، و «Kq» ضریب گشتاور پروانه است. که از نمودارها قابل حصول می‌باشد. از آنجا که مقدار گشتاور پروانه به عنوان یک عامل نامطلوب تلقی می‌گردد. همواره در مراحل طراحی، انتخاب پروانه و پارامترهای آن و همچنین ساخت، تلاش بر آن است که تا جای ممکن از گشتاور پروانه کاسته شود.

بازدهی سیستم رانش

هر نوع سیستم رانشی و از جمله سیستم رانش پروانه‌ای، به علت عدم وجود شرایط ایده‌آل دارای بازدهی خاص خود می‌باشد. به همین علت تمام توان تولیدی توسط موتور، سهم رانش نخواهد شد. و طبعاً مقادیری از آن به تلفات مسیر و بازدهی‌های اجزاء مختلف سیستم اختصاص خواهد یافت. هر نوع سیستم رانشی در شناور دارای یک بازدهی کل (η_p) است. اما خود این بازدهی کل حاصل دو دسته بازدهی اصلی در شناور و مؤثر از آنها می‌باشد. که عبارتند از :

$$(1) \text{ بازدهی‌های مکانیکی } (\eta_s)$$

$$(2) \text{ بازدهی‌های هیدرودینامیکی } (\eta_D)$$

بنابراین بازدهی کل در یک سیستم رانش را می‌توان به این صورت بیان کرد :

$$\eta_P = \eta_S \cdot \eta_D$$

بازدهی مکانیکی (η_s)

منظور از بازدهی های مکانیکی بازدهی اجزاء داخلی بدنه و سیستم هایی است، که در مسیر شافت از موتور تا قبل از خروج شافت از بدنه قرار می گیرند. و معمولاً شامل بازدهی گیربکس (η_G)، یاتاقان های متعدد میانی (η_B) و یاتاقان آبندی شافت (η_{se}) می گردد. بنابراین به صورت معمول بازدهی مکانیکی به صورت زیر محاسبه می شود :

$$\eta_s = \eta_G \cdot \eta_B \cdot \eta_{se}$$

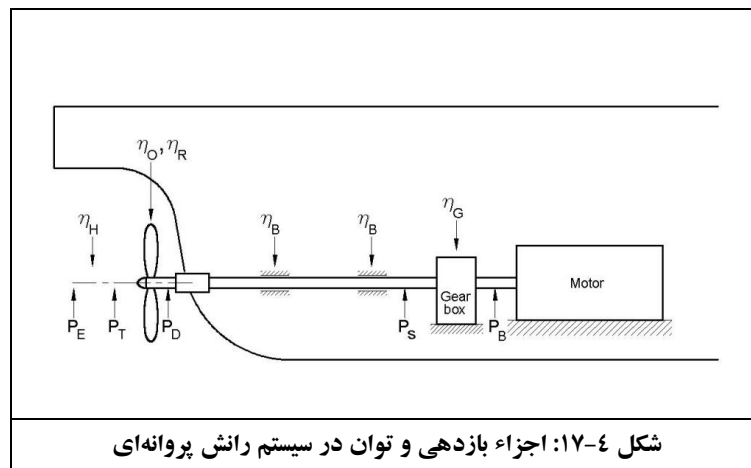
بازدهی هیدرودینامیکی (η_D)

بازدهی های هیدرودینامیکی مربوط به اجزایی از سیستم رانش است که در بیرون از بدنه قرار گرفته و مرتبط با آب دریا می باشند. مانند بازدهی بدنه (η_H)، بازدهی پروانه در آب آزاد (η_O) و بازدهی چرخش نسبی (η_R).

و در این حالت هم به صورت معمول بازدهی هیدرودینامیکی به صورت زیر محاسبه می گردد :

$$\eta_D = \eta_H \cdot \eta_O \cdot \eta_R$$

شکل ۴-۱۷ نمایی از یک سیستم رانش پروانه ای با اجزاء تشکیل دهنده، و همچنین بازدهی و توان در قسمت های مختلف آن را نشان می دهد.



شکل ۴-۱۷: اجزاء بازدهی و توان در سیستم رانش پروانه ای

همانطور که در شکل ۴-۱۷ می‌بینیم، توان خروجی هر یک از اجزاء سیستم را می‌توان با ضرب توان ورودی آن، در بازدهی آن جزء به دست آورد. به عنوان مثال :

توان تحویلی به پشت پروانه از رابطه زیر محاسبه می‌گردد :

$$P_D = \eta_S \cdot P_B = \eta_G \cdot \eta_B \cdot \eta_{se} \cdot P_B$$

توان تراست نیز به صورت زیر قابل حصول است :

$$P_T = \eta_O \cdot \eta_R \cdot P_D$$

توان مؤثر (P_E)

مطابق آنچه که در قبل ذکر گردید، توان تولید شده توسط موتور و خروجی از آن به صورت خالص صرف رانش نمی‌شود. و در مسیر شافت و در اجزاء مختلف تشکیل دهنده‌ی سیستم رانش پروانه‌ای مقادیری از آن کاسته و صرف تلفات می‌گردد. تا در نهایت مقدار باقی مانده‌ای از آن سبب غلبه بر مقاومت سیال شده و عامل محرک بدنه جهت رانش آن در آب می‌شود. این مقدار از توان را به اصطلاح توان مؤثر می‌نامند. و با « P_E » معرفی می‌گردد. مقدار توان مؤثر در هر شناور را با استفاده از رابطه‌ی زیر، و از روی توان موتور می‌توان محاسبه کرد :

$$P_E = \eta_D \cdot P_B$$

اما رابطه‌ی دیگری نیز از راه تعریف توان مورد نیاز جهت حرکت شناور با سرعت V در حالتی که مقاومت بدنه در مقابل حرکت در محیط سیال R باشد. موجود بوده، و به صورت زیر ارائه می‌گردد :

$$P_E = R \cdot V$$

بنابراین با توجه به این مطالب کاملاً روشن است که برای رسیدن به یک سرعت خاص در یک شناور معلوم با استفاده از یک سیستم رانش انتخابی، عامل مهم و مورد توجه «توان مؤثر» آن

سیستم رانش است. نه عواملی مانند توان موتور و توان تراست بر خلاف تصور اشتباهی که غالباً وجود دارد.

وابستگی مقاومت و توان به سرعت حرکت زیردریایی

در فرآیند طراحی هر شناوری و از جمله یک زیردریایی بی شک پارامتر سرعت به عنوان یک عامل ورودی و پایه‌ی طراحی محسوب می‌گردد. اما در نظر گرفتن هر مقدار سرعتی برای یک شناور امکان پذیر نیست. چراکه همانطور که می‌دانیم مقاومت کل یک شناور، چه از نوع زیردریایی و چه کشتی و قایق متناسب با توان دوم سرعت می‌باشد برای مشخص شدن این موضوع کافی است به فرمول محاسبه‌ی مقاومت که به صورت زیر ارائه می‌شود توجه کرد :

$$R = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot V^2 \cdot S_{wet}$$

که پارامترهای مختلف آن را می‌توان به صورت زیر معرفی نمود :

«R» مقاومت کل بدنه.

«P» چگالی سیالی که شناور در داخل آن حرکت می‌کند.

«V» سرعت حرکت شناور.

« S_{wet} » مساحت سطح خیس شناور (مساحتی از بدنه که در حرکت شناور در تماس مستقیم با سیال قرار می‌گیرد).

« C_D » ضریب درگ کل که در حالت کلی می‌توان آن را حاصل جمع سه ضریب مقاومت موج، مقاومت اصطکاکی و مقاومت ویسکوز فشاری (فرم) به صورت زیر معرفی کرد :

$$C_D = C_w + C_f + C_{vp}$$

بنابراین به سادگی قابل درک است که افزایش سرعت سببی بر افزایش مقاومت بدنه می‌باشد. به عنوان مثال با فرض شرایط یکسان در دیگر پارامترهای مؤثر، افزایش سرعت به میزان ۲

برابر سببی بر افزایش مقاومت بدنه به میزان چهار برابر خواهد بود. همچنین همانطور که گفته شد، توان مؤثر رانش نیز از رابطه‌ی زیر قابل حصول است :

$$P_E = R \cdot V$$

لذا با اعمال فرمول مقاومت در این رابطه خواهیم داشت :

$$P_E = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot C_D \cdot S_{wet} \cdot V^3$$

بنابراین کاملاً مشخص است که توان مؤثر رانش در یک شناور متناسب با توان سوم سرعت است. به عبارت دیگر افزایش دو برابری سرعت سبب نیاز به توان رانش ۸ برابر و افزایش ۳ برابر سرعت سبب نیاز به توان رانشی ۲۷ برابر در یک شناور می‌باشد. این تناسب تصاعدی دلیل اصلی مطلبی است که در ابتدای این بحث مبنی بر آنکه سرعت ورودی یک شناور را طراح به هر میزان نمی‌تواند در نظر بگیرد، می‌باشد. چراکه سرعت بالا مستلزم توان مؤثر رانش بسیار بالا و این نیز به معنای استفاده از یک موتور رانش با توان بالاتر است که علاوه بر افزایش قیمت موتورها با افزایش توان آنها سببی بر افزایش ابعاد و وزن آنها نیز می‌باشد. که مشکلات جانمایی داخلی و قیمت بسیار بالا را نیز در پی خواهد داشت. بنابراین این طراح است که باید با هنر و علم خود شرایط متعارفی را در ابعاد بدنه، توان رانش و در نهایت انتخاب موتور و سیستم رانش ایجاد نماید.

اشاره (ساخت اولین زیردریایی‌های با سرعت بالا)

در سال ۱۹۶۸، شوروی یک زیردریایی بسیار سریع از کلاس November را با سرعت زیرآبی ۳۱ گره ساخت که آمریکا را شگفت زده کرد. در پی آن آمریکا نیز زیردریایی لس‌آنجلس را با سرعت بیش از ۳۰ گره ساخت، که از این زیردریایی‌ها می‌توان به عنوان اولین زیردریایی‌های با سرعت بالا یاد کرد که شگفتی خاصی در میزان سرعتی که تا آن زمان برای زیردریایی‌ها مطرح بود ایجاد کردند.

طراحی و انتخاب سیستم رانش پروانه‌ای مناسب برای یک شناور

پس از توضیح و آشنایی با سیستم رانش پروانه‌ای، اجزاء و عوامل مؤثر بر آن، حال نوبت به بیان چگونگی و نحوه‌ی انتخاب یک سیستم رانش پروانه‌ای مناسب برای یک شناور مفروض می‌رسد. مشخص شدن حداکثر سرعت مورد نظر شناور مطلوب، و نهایی کردن آن توسط کارفرما و طراح، همانطور که گفته شد از عوامل مؤثر و مهم ابتدایی، در مراحل طراحی و ساخت می‌باشد.

این مهارت طراح است، که با امکان سنجی‌ها و بررسی‌های درست خود، به انتخاب یک سرعت مناسب برای شناور بپردازد. و یا کارفرما را برای داشتن یک سرعت قابل حصول در شناور با توجه به دیگر پارامترهای مؤثر قانع نماید. چراکه همانطور که گفته شد، نظر کارفرماها همواره بر داشتن سرعت‌های بالاتر، بدون اطلاع از شرایط لازم جهت رسیدن به این حد از سرعت است.

بهرحال پس از مشخص شدن سرعت حداکثری که شناور باید داشته باشد. که با توجه به امکان سنجی‌های اولیه‌ی طراحی پذیرفته شده است می‌توان از این مقدار سرعت به عنوان یک پارامتر اولیه‌ی ورودی جهت انجام فرایند طراحی و انتخاب سیستم رانش مناسب استفاده کرد. با انتخاب شکل و ابعاد بدنه در مراحل قبل و روش‌های موجود، و همچنین توجه به ملحقیات بدنه، تخمینی از مقاومت کل بدنه برای طراح امکان خواهد داشت. این نیروی مقاوم به عنوان دومین پارامتر ورودی مورد نیاز جهت انتخاب سیستم رانش به احتساب می‌آید. بنابراین با داشتن سرعت شناور مطلوب و مقاومت کل آن می‌توان توان مؤثر مورد نیاز جهت رانش را به صورت زیر تخمین زد :

$$P_E = R \cdot V$$

به وضوح مشخص است که سیستم رانش انتخابی باید قادر به تولید حداقل توان مؤثری به اندازه مقدار فوق باشد. بنابراین با داشتن بازدهی کل سیستم رانش (η_p) که از بازدهی کلیه‌ی اجزاء سیستم رانش بدست می‌آید، و در قبل توضیح داده شد. می‌توان محدوده‌ی توان مورد نیاز موتور رانش را مشخص کرد. و خواهیم داشت :

$$P_B = \frac{P_E}{\eta_P}$$

پس از تعیین P_B (توان موتور) در واقع محدوده‌ی توان موتور رانش معلوم می‌گردد. به بیان دیگر طراح می‌داند که برای داشتن سرعت مدنظر او، و با شکل و ابعاد بدنه مفروض، سیستم رانش انتخابی نیاز به موتوری با این محدوده‌ی توان دارد. پس از این مرحله به دنبال موتورهایی با این محدوده‌ی توان خواهیم رفت. و براساس پارامترهای زیر در نهایت به انتخاب موتور مطلوب می‌پردازیم. و یا اقدام به ساخت آن می‌شود.

- ۱- نوع انرژی مصرفی موتور
- ۲- نوع سیستم کاری موتور
- ۳- بازدهی موتور
- ۴- گشتاور موتور
- ۵- Rpm موتور
- ۶- ابعاد و اندازه موتور
- ۷- وزن موتور
- ۸- قیمت موتور
- ۹- قابلیت دسترسی و یا ساخت آن

این موضوع به خوبی اهمیت سرعت شناور که بحث اصلی بین طراح و کارفرما می‌باشد، را مشخص می‌کند. چرا که اغلب کارفرماها از این عوامل مؤثر بی‌خبرند و خواستار بیشترین سرعت ممکن می‌باشند.

به عنوان مثال ممکن است یک کارفرما خواهان سرعت بالای «V» روی یک شناور با ابعاد و شکل مشخص در بدنه آن باشد. در حالی که چنین سرعتی در این شناور مفروض با مقاومت بدنه‌ی معلوم مستلزم توان مؤثر زیادی و در نتیجه موتوری با توان بالا است. که با یک نگاه و توجه به ابعاد و اندازه موتورهایی در این محدوده‌ی توانی به راحتی می‌توان دریافت که اصلاً

چنین موتوری قابلیت جانمایی در داخل بدنه را نخواهد داشت. و بررسی این موضوع و قانع کردن کارفرما بر عهده‌ی طراح است. تا در نهایت بتواند با کارفرما به یک سرعت توافقی امکان پذیر برسد.

آنچه در این فصل و در مورد روند انتخاب سیستم رانش پروانه‌ای بیان شد در واقع کلیات این موضوع بوده و لازم است که بدانیم این فرآیند یک فرآیند سعی و خطا می‌باشد. که عومل بسیاری بر آن مؤثر بوده و تغییر در مقدار هر کدام، تغییر در موارد و اجزاء دیگر را به دنبال خواهد داشت. به عنوان مثال اینکه از چه یاتاقان‌هایی و با چه بازدهی استفاده کنیم بازدهی کل و لذا توان موتور را تغییر خواهد داد. اندکی تغییر در قطر پروانه سبب تغییر زیادی در تراست و گشتاور آن می‌شود که سبب تغییر در انتخاب موتور خواهد بود. همچنین استفاده از گیربکس، نوع پروانه، تعداد پره‌ها، ابعاد و اندازه‌ی بدنه جهت جانمایی موتور، طرح پاشنه‌ی بدنه در محل پروانه، وزن موتور و ... همگی از عوامل کاملاً مؤثر بر انتخاب یک سیستم رانش پروانه-ای مناسب و تشکیل آن می‌باشد. در نتیجه می‌توان گفت که این هنر و مهارت طراح است که با انتخاب یک سیستم رانش مناسب و برقراری شرایطی بهینه از کلیه‌ی عوامل مؤثر بر سیستم رانش در کنار هم، بتواند به توان مؤثر مورد نیاز برسد. در عین حالی که دارای کمترین مصرف انرژی و همچنین بهینه‌ترین هزینه‌ی ساخت در سیستم رانش باشد.

اشاره (وضعیت ناوگان زیرسطحی کشورهای مطرح، در آغاز جنگ جهانی اول)

در آستانه جنگ جهانی اول انگلیس دارای بزرگترین ناوگان دریایی بود، و آلمان نیز با کسب دانش و توانمندی ساخت زیردریایی به سرعت ناوگان خود را گسترش می‌داد. وضعیت کشورهای مختلف و مطرح در این زمان از نقطه نظر ناوگان زیرسطحی و تعداد زیردریایی‌های آنها به صورت زیر بود :

انگلیس : ۷۴ زیردریایی در حال خدمت و ۳۱ زیردریایی در حال ساخت؛

فرانسه : ۶۲ زیردریایی در حال خدمت و ۹ زیردریایی در حال ساخت؛

روسیه : ۴۸ زیردریایی در حال خدمت؛

آلمان : ۲۸ زیردریایی در حال خدمت و ۱۷ زیردریایی در حال ساخت؛

آمریکا: ۳۰ زیردریایی در حال خدمت و ۱۰ زیردریایی در حال ساخت؛
 ایتالیا: ۲۱ زیردریایی در حال خدمت و ۷ زیردریایی در حال ساخت؛
 ژاپن: ۱۳ زیردریایی در حال خدمت و ۳ زیردریایی در حال ساخت؛
 استرالیا: ۶ زیردریایی در حال خدمت و ۲ زیردریایی در حال ساخت.

اشاره (هولناک‌ترین زیردریایی جنگ جهانی اول)

نبرد زیردریایی‌ها در جنگ جهانی اول یکی از هولناک‌ترین نبردهای تاریخ محسوب می‌شود که بر اثر آن میلیون‌ها تن کشتی و زیردریایی غرق شد و هزاران انسان به اعماق دریا فرستاده شدند.

در این میان از زیردریایی U-35 آلمان می‌توان به عنوان هولناک‌ترین زیردریایی جنگ جهانی اول نام برد. این زیردریایی تنها در یکی از سفرهای خود در دریای مدیترانه ۵۴ کشتی را غرق کرد. U-35 در طول خدمت خود، بیشترین تلفات را به دشمنان آلمان وارد نمود چراکه مجموعاً توانست ۱۹۵ کشتی با تناژ حدود ۵۰۰۰۰۰ تن را غرق کند.

اشاره (هیولای جنگ سرد)

در سال ۲۰۰۰، زیردریایی اتمی کورسک از کلاس Oscar به طول ۵۱۰ فوت و وزن سطحی ۱۴۷۰۰ تن و سرعت سطحی ۳۰ گره به همراه ۱۱۸ خدمه در اعماق ۳۵۰ فوتی دریای بارنتز غرق شد. این زیردریایی دارای سیستم‌های رهایی و نجات خدمه بود که در آن حادثه هیچ یک از آن سیستم‌ها به کار نیامد. این زیردریایی ۱۵۰ متری از پیشرفته‌ترین زیردریایی‌های اتمی روسیه بود که آن را «هیولای جنگ سرد» می‌نامیدند.

خوشبختانه این زیردریایی سلاح هسته‌ای به همراه نداشته و در حال انجام یک مانور نظامی بود، مقامات روسی علت حادثه را تصادف با یک جسم دیگر (احتمالاً یک زیردریایی ناتو) عنوان کردند. و مقامات غربی علت آن را انفجار داخلی در محل ذخیره اژدر در جلوی زیردریایی اعلام نمودند. در روزهای ابتدایی این سانحه، روسیه برای مخفی ماندن اسرار این زیردریایی از

پذیرش کمک‌های خارجی امتناع کرد ولی چند روز بعد، مقامات روسی علناً درخواست کمک کردند، ولی از آنجا که ذخیره اکسیژن زیردریایی پس از، از کار افتادن راکتورهای هسته‌ای آن فقط ۷۲ ساعت بود، عملیات نجات با ناامیدی شروع شد که در نهایت هم به نتیجه‌ای نرسید. بعدها مشخص شد که اغلب پرسنل داخل زیردریایی، در همان ساعات اولیه به دلیل پخش شدن نوعی گاز سمی در داخل بدنه، از بین رفته بودند. از نظر تحلیل گران غربی، این سانحه طبق میل مقامات روسی پایان یافت. یعنی «هیچ متخصص غربی نتوانست از داخل کورسک بازدید کند و هیچیک از ۱۱۸ نفر خدمه آن نیز جان سالم به در نبردند که بعدها منبع سخن پراکنی و افشای رمز و رازهای کورسک شوند».

سرانجام پس از یک سال، مقامات روسی برای بیرون کشیدن لاشه این زیردریایی مجبور به ساخت بزرگترین شناور بارج جرثقیل‌دار دنیا شدند.

فصل پنجم

مقدمه‌ای بر تعادل و

پارامترهای پایداری

مقدمه

بحث در مورد پایداری و تعادل شناورها در داخل محیط یک شاره گستردگی و مطالب خاص خود را می‌طلبد. که خارج از هدف و حوصله‌ی این کتاب است، لذا مطالبی که در این قسمت به عنوان ملاحظات هیدرواستاتیکی و تعادلی در انتخاب شکل و ابعاد بدنه مطرح می‌گردد. بسیار کلی و با این دید که مخاطبان محترم با مباحث مربوط به تحلیل پایداری در شناورها آشنایی دارند، خواهد بود. آنچه در این فصل ارائه می‌گردد معرفی پارامترهای مؤثر در تعادل و پایداری یک شناور و آشنایی هرچه بیشتر با این موارد است. و تا جای ممکن سعی بر آن گشته است که از ارائه مبانی مربوط به تحلیل‌های هیدرواستاتیکی که دارای گستردگی خاص خود، و مستلزم پیش نیازهایی در حوزه علوم دریایی است پرهیز شود. لازم به ذکر است که این مورد تحلیل‌ها به صورت گسترده و تخصصی در منابع دیگر ارائه گردیده‌اند. (جهت کسب این اطلاعات، و آشنایی با تحلیل‌های هیدرواستاتیکی می‌توانید به منبع [۱] مراجعه نمایید).

برخی از پارامترهای مؤثر در تعادل و پایداری

در آغاز این فصل به معرفی چند پارامتر و عامل مؤثر در مباحث تحلیل پایداری، که در قسمت‌های قبل نیز از آنها استفاده شد. به شرح زیر می‌پردازیم :

نقطه‌ی کیل (K)

نقطه‌ای منطبق به خطی که مماس بر منتهی علیه کف بدنه (base line) است.

خط آبخور (T)

وقتی یک شناور در حرکت سطحی و در سطح آب قرار می‌گیرد. سطح آب با سطح بدنه جانبی شناور در یک خط مماس می‌شود. ارتفاع این خط از کیل شناور را آبخور شناور گویند. مقدار آبخور در زیردریایی‌ها با توجه به مقدار آبگیری در مخزن بالاست و در کشتی‌ها بر اساس مقدار

بارگیری و آبنگیزی مخازن تعادل می‌تواند تغییر نماید. آبخوری از شناور که مباحث طراحی شناور بر آن اساس صورت می‌پذیرد، را آبخور طراحی (T_{design}) می‌نامند.

صفحه‌ی آبخور (A_w)

در یک شناور و یا در حالت سطحی یک زیردریایی، اگر بدنه را از خط آبخور (خطی که آب بر بدنه مماس می‌شود) و توسط صفحه‌ای موازی با سطح آب مقطع بزنیم. سطح مقطع حاصل در بدنه را صفحه‌ی آبخور شناور می‌گویند.

مرکز ثقل (G)

این نقطه در واقع عبارت است از مرکز ثقل، و یا همان نقطه اثر نیروی وزن شناور به همراه کلیه سیستم‌ها و بارگذاری‌های انجام شده بر روی آن، مرکز ثقل دارای سه مؤلفه‌ی طولی (G_x)، عرضی (G_y)، و عمودی (G_z)، می‌باشد.

مرکز بویانسی (B)

در قرارگیری شناور یا یک زیردریایی در حالت سطحی، بدیهی است که حجمی از بدنه در داخل آب قرار می‌گیرد. مرکز این حجم در هر شناور به عنوان مرکز بویانسی آن شناور محسوب می‌شود. مرکز بویانسی نیز دارای سه مؤلفه‌ی طولی (B_x)، عرضی (B_y) و عمودی (B_z)، می‌باشد.

مرکز بویانسی یک شناور چنان که گفته شد عبارت است از مرکز حجم قسمتی از بدنه‌ی شناور که در داخل شاره قرار می‌گیرد. بنابراین به سادگی مشخص است که این مرکز وابسته به شکل قسمتی از بدنه‌ی شناور می‌باشد که در داخل شاره مغروق می‌گردد. و بدیهی است که با تغییر، افزایش و کاهش آبخور شناور در حالت سطحی مرکز بویانسی تغییر خواهد کرد.

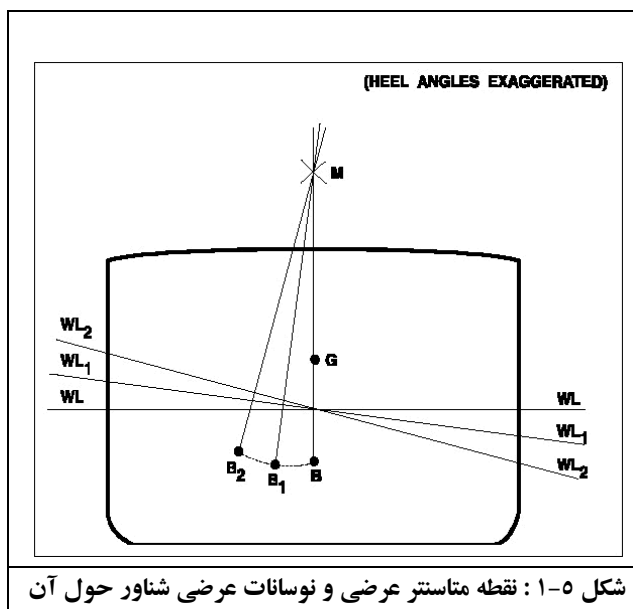
مرکز شناوری (F)

مرکز سطح صفحه‌ی آبخور شناور را مرکز شناوری می‌نامند. این نقطه در تحلیل‌های تعادلی شناورها و حالت سطحی زیردریایی‌ها از اهمیت خاصی برخوردار است. چراکه غلتش‌های طولی و عرضی استاتیکی (تریم و هیل) شناور حول این نقطه اتفاق می‌افتد.

مرکز متاسنتر (M)

این نقطه در واقع نقطه‌ای است، که غلتش‌های دینامیکی شناور حول آن، صورت می‌گیرد. در هر شناور دو نوع نقطه‌ی متاسنتر طولی (M_L)، و عرضی (M_t) وجود دارد. که به ترتیب غلتش‌های طولی دینامیکی، و غلتش‌های عرضی دینامیکی شناور حول این دو نقطه صورت می‌گیرد. (شکل ۵-۱)

البته توجه به این نکته ضروری است که نقطه‌ی متاسنتر در زوایای غلتش کوچک معمولاً ثابت است. و در زوایای غلتش بزرگ ثابت نبوده و روی یک منحنی مشخص تغییر موقعیت می‌دهد.



ارتفاع مرکز ثقل (KG)

فاصله عمودی مرکز ثقل بدنه از کف بدنه را ارتفاع مرکز ثقل گویند.

ارتفاع مرکز بویانسی (KB)

فاصله عمودی مرکز بویانسی بدنه از کف بدنه را ارتفاع مرکز بویانسی گویند.

شعاع متاسنتری (BM)

فاصله عمودی بین مرکز بویانسی و مرکز متاسنتر را شعاع متاسنتری گویند. و از روابط زیر قادر به محاسبه شعاع متاسنتری عرضی و طولی خواهیم بود :

$$BM_t = \frac{I_{xx}}{\nabla} \quad BM_L = \frac{I_{yy}}{\nabla}$$

BM_t و BM_L به ترتیب شعاع متاسنتری عرضی و طولی شناور

I_{xx} ممان دوم صفحه سطح آب‌خور حول محور X

I_{yy} ممان دوم صفحه سطح آب‌خور حول محور Y

∇ حجم جابجایی و یا همان حجم زیر آب شناور

ارتفاع متاسنتری (GM)

فاصله‌ی عمودی بین مرکز ثقل و نقطه‌ی متاسنتری را ارتفاع متاسنتری گویند. و از روابط زیر قادر به محاسبه ارتفاع متاسنتر عرضی و طولی خواهیم بود :

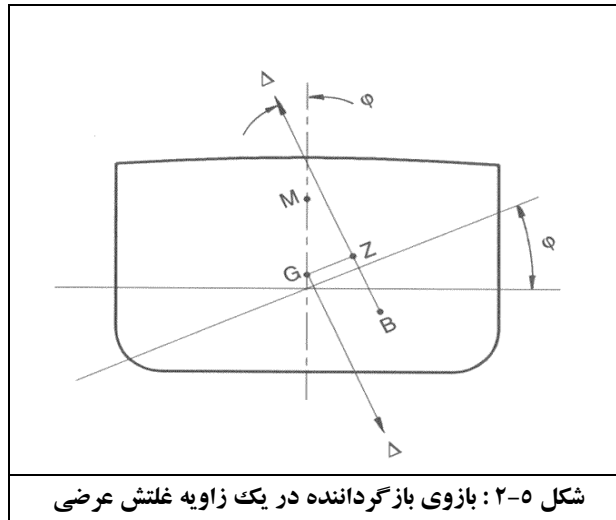
$$GM_t = KB + BM_t - KG$$

$$GM_L = KB + BM_L - KG$$

بازوی بازگرداننده (GZ)

این بازو عامل بازگرداندن شناور از حالت انحراف به حالت اولیه است. و عبارت است از کمترین فاصله‌ی بین راستای موازی دو نیروی وزن (W) و بویانسی (B) در شناور غلتیده شده، مقدار (GZ) عامل اصلی بررسی پایداری در شناورها می‌باشد.

شکل ۵-۲ بازوی بازگرداننده در یک شناور که دچار غلتش عرضی شده است، و نحوه تاثیر آن جهت برگرداندن شناور به حالت اولیه را نشان می‌دهد.



پایداری خطی

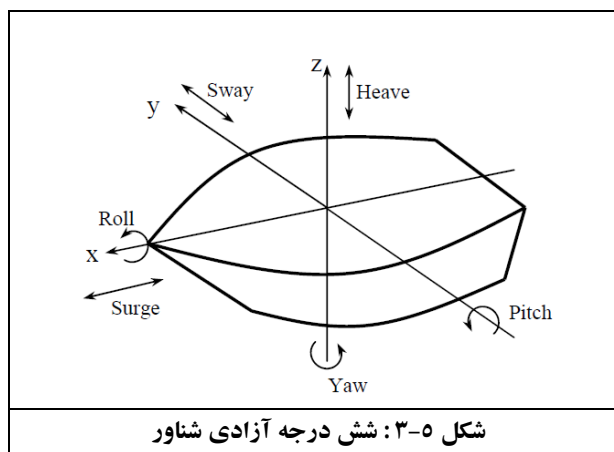
هرگاه در اثر تغییر مکان خطی کوچک نیروهایی ایجاد شوند که منجر به برگرداندن جسم به موقعیت اولیه گردند، گوییم جسم پایداری خطی دارد.

پایداری دورانی

هرگاه در اثر تغییر مکان زاویه‌ای و کوچک، زوج نیرویی ایجاد گردد، که منجر به برگرداندن جسم به موقعیت اولیه شود، گوییم جسم پایداری دورانی دارد.

غلتش استاتیکی طولی (تریم)

هرگاه محورهای مختصات را مطابق شکل ۳-۵ بر بدنه در نظر بگیریم به گونه ای که محور X در راستای طولی شناور و محور Y در راستای عرض شناور و محور Z ، در راستای ارتفاع آن باشد. غلتش حول محور Y را غلتش طولی (تریم) شناور می‌گویند. البته در شکل ۳-۵ حرکات دینامیکی شناور در راستا و حول محورهای مختلف مختصات نیز معرفی گردیده است.



غلتش استاتیکی عرضی (هیل)

با توجه به شرایط قبل و مطابق شکل ۳-۵ غلتش شناور حول محور طولی (محور X) را غلتش عرضی (هیل) شناور می‌گویند.

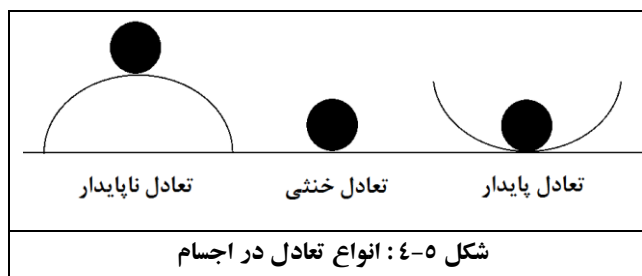
انواع تعادل و پایداری اجسام در حالت شناوری و غوطه‌وری

تعادل یک جسم می‌تواند به سه صورت زیر باشد :

- تعادل پایدار
- تعادل خنثی

- تعادل ناپایدار

برای مشخص بودن این موارد می‌توان شکل ۴-۵ را ارائه کرد.



در تعادل پایدار با تغییر مکان کوچک جسم، تمایل آن به برگشت به حالت اولیه می‌باشد در حالی که در تعادل خنثی با هر تغییر مکان کوچک، جسم موقعیت جدیدی می‌گیرد و در همان موقعیت باقی می‌ماند. در تعادل ناپایدار با ایجاد کوچکترین تغییر مکانی در موقعیت جسم، زوج نیرویی ایجاد می‌گردد، که سبب افزایش تغییر مکان و واژگونی جسم می‌شود. با توجه به موارد قبل شرایط تعادلی از لحاظ پایدار، خنثی و ناپایدار در اجسام شناور (کشتی‌ها، قایق‌ها، زیردریایی در حالت زیرسطحی) و غوطه‌ور (حالت غوطه‌وری زیردریایی) را می‌توان به صورت زیر ارائه کرد.

شرایط تعادلی در اجسام شناور

- ۱- اگر مرکز ثقل (G) پایین تر از مرکز متاسنتر (M) قرار گیرد. جسم تعادل پایدار دارد.
- ۲- اگر مرکز ثقل (G) منطبق بر مرکز متاسنتر (M) قرار گیرد. جسم تعادل خنثی دارد.
- ۳- اگر مرکز ثقل (G) بالاتر از مرکز متاسنتر (M) قرار گیرد. جسم تعادل ناپایدار دارد.

شرایط تعادلی در اجسام غوطه‌ور

- ۱- اگر مرکز ثقل (G) پایین‌تر از مرکز بویانسی (B) قرار گیرد. جسم تعادل پایدار دارد.
- ۲- اگر مرکز ثقل (G) منطبق بر مرکز بویانسی (B) قرار گیرد. جسم تعادل خنثی دارد.
- ۳- اگر مرکز ثقل (G) بالاتر از مرکز بویانسی (B) قرار گیرد. جسم تعادل ناپایدار دارد.

در واقع در اجسام شناور شرایط تعادل به موقعیت دو نقطه مرکز ثقل و متاسنتر نسبت به هم وابسته است. در حالی که در اجسام غوطه‌ور این شرایط به موقعیت دو نقطه مرکز ثقل و مرکز بویانسی بستگی دارد. بنابراین در یک زیردریایی در حالت مغروق شرط پایداری وابسته به موقعیت مرکز شناوری (B) و مرکز ثقل (G) نسبت به یکدیگر می‌باشد. درحالی که در حالت سطحی شرط پایداری به موقعیت مرکز ثقل (G) و مرکز متاسنتر (M) نسبت به یکدیگر بستگی دارد.

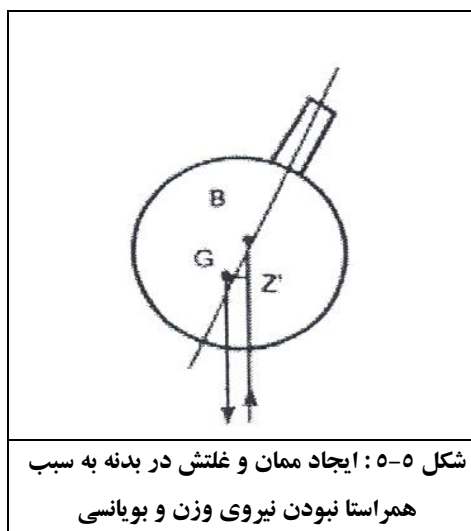
نیروها و درجات آزادی در شناورها

می‌دانیم که پایداری شناورها در حالت استاتیکی بر می‌گردد به نیروهایی که در راستای قائم بر آن وارد می‌شوند. یعنی همان نیروی بویانسی و نیروی وزن و همچنین ممان‌های تولید شده توسط این نیروها نسبت به هم، که وابسته به محل و نقطه اثر آنها می‌باشد. همانطور که می‌دانیم برای یک شناور در داخل محیط شاره (چه در حالت سطحی و چه مغروق) شش درجه‌ی آزادی مطابق شکل ۳-۵ وجود دارد. که شامل سه حرکت خطی و سه حرکت دورانی به صورت زیر می‌باشد:

- ۱- حرکت خطی Surge در راستای محور x
- ۲- حرکت خطی Sway در راستای محور y
- ۳- حرکت خطی Heave در راستای محور z
- ۴- حرکت دورانی Roll حول محور x
- ۵- حرکت دورانی Pitch حول محور y

۶- حرکت دورانی Yaw حول محور Z

بدیهی است که حرکت‌های خطی شناور در هر جهت، مستلزم وارد شدن یک نیروی مؤثر خارجی در همان جهت از محیط بر بدنه‌ی شناور می‌باشند. اما در مورد حرکت‌های دورانی موضوع فرق می‌کند. چرا که همانطور که می‌دانیم، یک حرکت دورانی مستلزم اعمال یک گشتاور (ممان) بر شناور است. و آنچه سبب ایجاد ممان می‌شود، خارج بودن نقطه اثر نیروی وارد بر شناور از مرکز جرم آن است. به عنوان مثال نیروی وزن شناور که در جهت قائم است در صورتی که بر نقطه ثقل وارد نیاید، بسته به فاصله در جهت X و یا Y از مرکز ثقل می‌تواند سبب ایجاد یک گشتاور و در نتیجه غلتش شناور حول محور عرضی، طولی و یا هر دو جهت شود. که همان حرکت استاتیکی تریم (شیب)، و یا هیل شناور محسوب می‌شود. در یک شناور در حالت سطحی نیروی بویانسی به مرکز بویانسی (B) و نیروی وزن به مرکز جرم و یا ثقل شناور (G) وارد می‌شوند. به همین علت موقعیت این دو مرکز نسبت به هم بسیار حائز اهمیت می‌باشد. چرا که غیر یک راستا بودن آنها نسبت به هم، سببی بر ایجاد ممان حاصل از این دو نیرو بر بدنه‌ی شناور می‌شود. (شکل ۵-۵)



شکل ۵-۵: ایجاد ممان و غلتش در بدنه به سبب همراستا نبودن نیروی وزن و بویانسی

بنابراین با زبانی ساده می‌توان گفت که در ایجاد ممان بر بدنه‌ی شناور که سبب غلتش استاتیکی (هیل و تریم) آن در حالت سطحی می‌شود، دو مرکز ثقل و شناوری اهمیت دارند. مرکز ثقل وابسته به جرم بدنه، اجزاء داخلی و نحوه‌ی چیدمانی آنها بوده، و مرکز شناوری وابسته به هندسه‌ی قسمت زیر آب بدنه می‌باشد.

محاسبه مرکز ثقل

همانطور که در قبل نیز ذکر گردید. تعیین مرکز ثقل و موقعیت آن در تحلیل‌های پایداری نقش مهمی را دارد. مرکز ثقل هر شناوری بدون شک، به جرم بدنه، اجزاء و سیستم‌های مختلفی که در آن جانمایی شده، و البته محل قرارگیری این اجزا وابسته است. به طور کلی همانطور که می‌دانیم برای تعیین مرکز ثقل یک سیستم پیوسته که از اجزاء مختلفی با جرم-های $m_1, m_2, m_3, \dots$ تشکیل شده است. پس از مشخص کردن یک مبدأ انتخابی در سیستم و تعیین مرکز جرم هریک از این جرم‌ها نسبت به آن مبدأ انتخابی، از فرمول‌های زیر می‌توان استفاده کرد.

$$X_G = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + \dots + m_nx_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

$$Y_G = \frac{m_1y_1 + m_2y_2 + \dots + m_ny_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

$$Z_G = \frac{m_1z_1 + m_2z_2 + \dots + m_nz_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

پارامترهای این فرمول‌ها به صورت زیر معرفی می‌گردند :

« X_1 » فاصله طولی جرم m_1 از مبدأ انتخابی

« y_1 » فاصله عرضی جرم m_1 از مبدأ انتخابی

« Z_1 » فاصله ارتفاعی جرم m_1 از مبدأ انتخابی

پایداری شکلی و پایداری جرمی

در حالت غوطه‌وری کامل که در زیردریایی‌ها اتفاق می‌افتد. کل هندسه‌ی بدنه در حالت مغروق قرار می‌گیرد. بنابراین مرکز حجم این هندسه‌ی بدنه و لذا مرکز شناوری ثابت بوده، و این امر سببی بر تعریف دو مفهوم پایداری برای دو حالت سطحی و زیرسطحی به صورت پایداری شکلی و پایداری جرمی خواهد بود.

پایداری شکلی اصطلاحی است، که برای بیان پایداری شناورها در سطح آب استفاده می‌شود. در واقع در سطح آب با تغییر در مقدار جرم بدنه (مثلاً در فرآیندهای بارگیری و تخلیه)، غلتش شناور و ... آب‌خور شناور و لذا حجم و مرکز حجم زیر آب، و در نتیجه مرکز شناوری بدنه، جابه‌جا می‌شود. که این جابه‌جایی وابسته به شکل بدنه است. به همین دلیل به پایداری شناور در سطح آب «پایداری شکلی» گفته می‌شود. و در مقابل پایداری جرمی اصطلاحی است، که برای زیردریایی‌ها در حالت مغروق استفاده می‌شود. با غلتش زیردریایی در حالت مغروق مرکز شناوری ثابت بوده و جابه‌جا نمی‌شود. و شکل بدنه به هر نوعی که باشد این نقطه ثابت می‌ماند. اما در این حالت (مغروق) با غلتش زیردریایی مرکز ثقل آن جابه‌جا خواهد شد. و مبنای بررسی پایداری در این حالت جابه‌جایی مرکز ثقل است، و به همین دلیل پایداری در این حالت را «پایداری جرمی» می‌نامند.

با این بیان علت تفاوت اصلی در پایداری یک زیردریایی در حالت سطحی و زیرسطحی آن کاملاً مشخص است. برخلاف شناورهای سطحی که فقط قابلیت حرکت در سطح آب را دارا می‌باشند. زیردریایی‌ها جزء شناورهای دو زیست محسوب گردیده که هم توانایی حرکت در سطح آب، و هم توانایی حرکت در عمق آب را دارند. و چون شرایط پایداری و عوامل مؤثر بر آن، در دو حالت فوق کاملاً با هم متفاوت است و همچنین توجه به شرایطی که در حالت

انتقال از سطح به زیرسطح آب ایجاد می‌گردد. در مورد پایداری یک زیردریایی سه حالت زیر وجود خواهد داشت :

- (۱) پایداری در حالت سطحی
- (۲) پایداری در حالت غوطه وری
- (۳) پایداری در حالت انتقال از سطح آب به زیر آب

پایداری زیردریایی در سطح آب

از آنجا که مساحت سطح آبخور زیردریایی‌ها نسبت به کشتی‌ها بسیار کوچکتر است. لذا در حالت کلی پایداری سطحی یک زیردریایی از کشتی هم تناژ آن بسیار ضعیف تر است. به طور مثال ارتفاع متاسنتر یک زیردریایی ۱۰۰۰ تنی برابر ۳۲ سانتی‌متر و یک بارج ۱۰۰۰ تنی برابر ۷۴ سانتی‌متر می‌باشد. (می‌دانیم که افزایش ارتفاع متاسنتر به معنای افزایش پایداری شناور محسوب می‌گردد). علت این امر را به زبانی ساده می‌توان چنین اعلام کرد، که مؤلفه‌های پایداری برای بدنه‌ی استوانه‌ای (زیردریایی) خیلی ضعیف تر از بدنه‌ی مکعبی (بارج) می‌باشد.

پایداری زیردریایی در زیر سطح آب

نقطه متاسنتر زیردریایی در زیر آب بر مرکز بویانسی منطبق می‌شود. و در واقع مرکز بویانسی وظایف نقطه‌ی متاسنتری را بر عهده می‌گیرد.

علت این تطابق از تعریف نقطه متاسنتری در سطح آب به وجود می‌آید. که از محل تقاطع امتداد مرکز بویانسی (عمود بر خط آب) با خط مرکزی به دست می‌آید. و در زیر آب که خط آبخوری وجود ندارد در واقع مرکز بویانسی همان نقطه‌ی متاسنتر خواهد بود. یعنی $BG = GM, KB = KM$ حال مطابق شکل ۵-۶ یک زیردریایی را در زیر آب در نظر می‌گیریم. در این شکل وضعیت پایداری زیرسطحی در سه حالت پایدار (حالت A)، خنثی (حالت C) و ناپایدار (حالت B) نشان داده شده است. که در این شکل هم وضعیت پایداری

طولی و هم وضعیت پایداری عرضی بررسی گردیده است. که برای هر دو حالت طولی و عرضی حتی در زوایای غلتشی بزرگ بازوی بازگرداننده (عامل اصلی پایداری) برابر است با :

$$GZ = BG \sin \theta$$

Stable	Unstable	Neutral
Positive GZ	Negative GZ	Zero GZ
شکل ۵-۶: پایداری طولی و عرضی زیردریایی در زیر سطح آب در سه حالت پایدار، ناپایدار و خنثی		

چنان که در شکل قبل مشخص است :

در حالت A (تعادل پایدار) مرکز ثقل زیردریایی در زیر مرکز بویانسی قرار داشته، و ارتفاع متاسنتر اولیه مثبت است ($BG > 0$).

در حالت C (تعادل خنثی) مرکز ثقل زیردریایی بر مرکز بویانسی منطبق بوده، و ارتفاع متاسنتر اولیه صفر است ($BG = 0$).

در حالت B (تعادل ناپایدار) مرکز ثقل زیردریایی بالای مرکز بویانسی قرار داشته، و ارتفاع متاسنتر اولیه منفی است ($BG < 0$).

توجه به این نکته را ضروری می‌داند، که مقدار BG در زیردریایی‌ها در حدود ۳-۴ درصد قطر بدنه فشار (بدنه‌ی آببند) زیردریایی می‌باشد. که در بحث طراحی باید بدان توجه گردد.

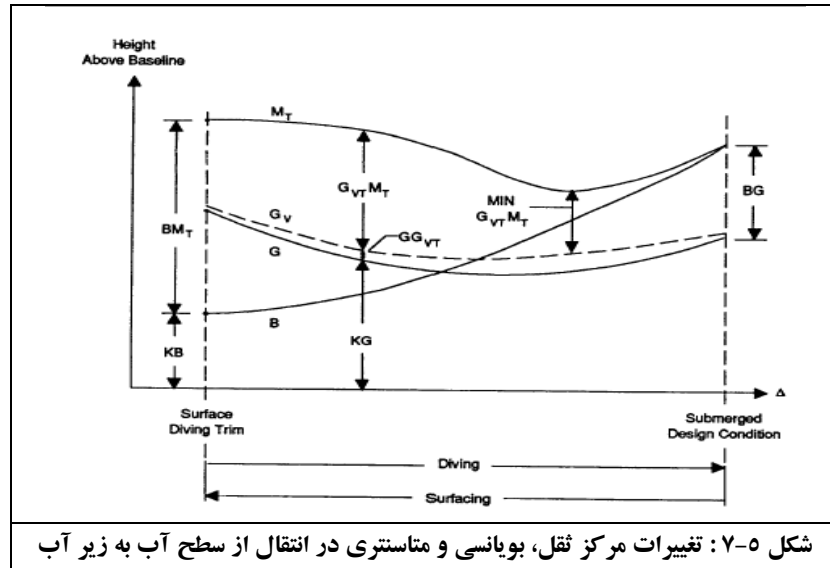
پایداری در حالت انتقال از سطح آب به زیر آب

زیردریایی در هنگام انتقال از سطح آب به زیر آب دچار دو تغییر اصلی می‌شود :

۱) **تغییرات مرکز بویانسی** : همانطور که بیان شد، مخازن شناوری (بالاست) زیردریایی وظیفه انتقال زیردریایی از سطح آب به زیر آب را برعهده دارند. به هنگام غوص کردن، مخازن شناوری پر از آب می‌شوند. و معادل آن، حجمی از بالای بدنه (بالای بدنه فشار، عرشه و برجک به همراه تجهیزات داخل آنها) به زیر آب می‌رود. یعنی در واقع یک حجم بویانسی از بدنه زیر آب کم شده، و به بالای بدنه افزوده شده است. این انتقال باعث بالا آمدن مرکز بویانسی می‌شود. تا جایی که مرکز بویانسی و مرکز متاسنتری بر هم منطبق می‌شوند.

۲) **مرکز ثقل مجازی** : می‌دانیم که مخازن شناوری دارای حجم بزرگی حدود ۱۰-۳۰ درصد حجم کل بدنه فشار هستند. در حین انتقال از سطح به زیر آب یا بالعکس، این مخازن در یک محدوده زمانی به صورت نیمه پر می‌شوند و اثر سطح آزاد زیادی ایجاد می‌کنند. این مورد بیشتر در زیردریایی‌های بزرگ، با حجم بالای مخزن بالاست صادق است. (برای آشنایی با تاثیر سطح آزاد مخازن بر پایداری شناور به منبع [۱] مراجعه شود).

این دو اثر باعث تغییرات قابل ملاحظه‌ای در پایداری، و ایجاد حالت بحرانی می‌شود. نمودار تغییرات مشخصه‌های پایداری در انتقال بین سطح و زیر آب در شکل ۷-۵ برای یک زیردریایی دو پوسته‌ای ارائه شده است.



شکل ۷-۵: تغییرات مرکز ثقل، بویانسی و متاستری در انتقال از سطح آب به زیر آب

فصل ششم

آشنایی با زیردریایی‌های
مدل و ربات‌های زیرسطحی

مقدمه

در این فصل به صورت منحصراً به معرفی ربات‌های زیردریایی پرداخته می‌شود، و پس از بیان جایگاه و نقش گسترده‌ی این ربات‌ها در صنایع مختلف سعی بر ارائه‌ی تعریف‌های علمی از انواع آنها می‌شود. همچنین در این فصل دسته‌بندی‌های مختلف و بر اساس موارد متفاوت در ربات‌های زیر سطحی بیان گردیده است و مبانی کاربردی و مأموریتی در کنار هدف اصلی طراحی در هر دسته از آنها بیان شده است.

دانش ربات‌های دریایی و زیرسطحی با توجه به نقش مهم و کاربردی که این ربات‌ها در صنایع مختلف دارند، امروزه بخشی جدانشدنی از علوم دریایی شده و روزبه‌روز در حال پیشرفت و گسترده شدن است. پارامترهای مهم در طراحی ربات‌های زیرسطحی، معرفی انواع تجهیزات، کنترل و ناوبری در این ربات‌ها نیز از موارد دیگری است که در ادامه بدان پرداخته می‌شود.

لزوم گسترش و توسعه ربات‌های زیرسطحی

منابع و صنایع دریایی نقش و تأثیر مهمی در زندگی انسان‌ها دارند. به همین دلیل مطالعه و بررسی بسیاری از مسائل مهندسی، زیست‌شناسی، تجاری و نظامی مرتبط با دریاها همواره مورد توجه محققان بوده است. لذا توجه به توسعه و گسترش صنایع دریایی و علوم مرتبط با دریا، امروزه برای انجام بسیاری از کاربردهای کشف و استخراج منابع زیرآبی، بازرسی و جمع‌آوری اطلاعات زیست محیطی و تحقیقاتی، نصب، تعمیر و نگهداری سازه‌های ساحلی و دریایی، مستلزم بکارگیری تکنولوژی خاص و جدیدی برای پاسخ‌گویی به نیازهای روزافزون پیش آمده می‌باشد. استفاده از وسائل و ابزارآلات مهندسی که قابلیت به کارگیری در اعماق آب را دارا باشند کاربری‌های متنوعی در فضا و بستر دریا را ممکن می‌سازد، آنچنان که در سال‌های اخیر توسعه و گسترش یافته و توانایی بشر در بررسی، تحقیق و کار در اعماق دریا، را به شدت متحول نموده‌اند. در بسیاری از صنایع مختلف و گوناگون، استفاده از تجهیزاتی که بتوان آنها را بدون حضور مستقیم نیروی انسانی و از راه دور هدایت و کنترل نمود، کاربردهای فراوانی یافته‌اند و در بسیاری از موارد به جزء جدانشدنی کاربردهای تجاری و صنعتی بدل

گشته‌اند، به گونه‌ای که انجام بسیاری از پروژه‌های مهندسی و تحقیقاتی بدون آن‌ها امکان‌پذیر نیست. این تجهیزات شامل ربات‌ها و بازوهای مکانیکی هستند که قابلیت انجام عملیات از پیش برنامه‌ریزی شده و نیز اجرای فرامین لحظه‌ای کاربر را به نحوی مناسب و دقیق، دارند. در صنایع زیردریایی بنا به دلایلی که گفته شد، استفاده از تکنولوژی رباتیک در سال‌های اخیر توسعه و گسترش فراوانی یافته و در بسیاری از شاخه‌های علوم و مهندسی دریا نقش مهم و اساسی را پیدا نموده است. بهبود و افزایش کارایی این تکنولوژی نیازمند افزایش مطالعات مهندسی بر روی تمامی انواع و اجزای سیستم‌ها و ربات‌های زیرآبی، جهت انجام عملیات پیچیده‌تر و فرامین متنوع‌تر بوده و به این منظور حجم عظیمی از مطالعات و تحقیقات مهندسی در سراسر جهان در رشته‌ها و تخصص‌های متفاوت بر این موضوع متمرکز شده‌اند.

در این راستا بدیهی است با توجه به توسعه و گسترش صنایع دریایی، استفاده از فناوری‌های نوین برای پاسخگویی به نیازهای موجود در جمع‌آوری اطلاعات زیست‌محیطی و تحقیقاتی بسیار ضروری خواهد بود. استفاده از فناوری رباتیک در سال‌های اخیر در علوم دریایی نیز مورد توجه قرار گرفته است، که دسترسی به حجم زیادی از اطلاعات مورد نیاز برای انجام تحقیقات مهندسی در زمینه‌های مرتبط با علوم دریایی را امکان‌پذیر کرده است. امروزه ربات‌های زیرآبی یکی از مهمترین اجزای علوم و صنایع دریایی هستند که به وسیله نهادهای تجاری، دولتی، نظامی و تحقیقاتی استفاده شده و انجام وظایف متعددی را به عهده گرفته‌اند.

در سال‌های اخیر، استفاده از وسایل مهندسی که از قابلیت استفاده در اعماق آب‌ها برخوردار هستند و می‌توانند انجام بسیاری از تحقیقات در بستر دریاها و اقیانوس‌ها را امکان‌پذیر کنند، توانایی انسان‌ها در تحقیق و کار در اعماق دریا را بشدت تحت تاثیر خود قرار داده‌اند و در بسیاری از صنایع مختلف استفاده از تجهیزاتی که بتوان آنها را بدون حضور مستقیم نیروی انسانی و را از راه دور هدایت و کنترل کرد، مورد توجه قرار گرفته است، تا جایی که در بسیاری از زمینه‌ها انجام طرح‌های تحقیقاتی بدون حضور ربات‌هایی که می‌توانند عملیاتی را به صورت برنامه‌ریزی شده انجام دهند و دستورات کاربر را به صورت دقیق اجرا کنند، امکان‌پذیر نخواهد بود.

بررسی‌های انجام شده در این زمینه نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر ربات‌های زیرآبی در اندازه‌ها و ابعاد متفاوت طراحی و ساخته شده‌اند که به طیف وسیعی از امکانات و تجهیزات مجهز هستند و حتی در برخی موارد به تولید صنعتی نیز رسیده‌اند. (برداشت از منبع [۸])

ربات زیر آبی

یک ربات زیرآبی، عموماً به وسیله‌ای اطلاق می‌گردد که توسط اپراتور و یا به صورت هوشمند قابلیت و امکان کنترل و هدایت آن در اعماق آب وجود داشته باشد و از طریق اعمال فرامین مشخص شده، قادر به انجام عملیات مورد نظر کاربر از طریق تجهیزات رباتی خود باشد. بنابراین می‌توان گفت در این راستا با طیف گسترده‌ای از نواع این ربات‌ها مواجه می‌باشیم. شامل نمونه‌های کوچک و ساده‌ای که صرفاً مجهز به دوربین فیلم برداری کوچکی هستند، تا گونه‌های پیشرفته و بسیار پیچیده‌ای که در اعماق بسیار بالای دریا امکان انجام عملکردهای متنوع و متعددی را دارند.

تاریخچه‌ی استفاده از ربات کنترل‌ی زیرسطحی

در سال ۱۹۶۰ ربات کنترل‌ی زیرسطحی در سیستم دریایی امریکا برای نجات زیردریایی در آب‌های عمیق و جستجو در بستر اقیانوسها مورد استفاده قرار گرفت. بر این اساس، کاربردی دیگر از این وسیله مانند اکتشاف منابع نفتی ایجاد گردید. در اوایل دهه‌ی ۷۰ نیروی دریایی امریکا که تجهیزات تجسس در اعماق زیاد برای نجات زیردریایی‌های غرق شده در کف اقیانوس را طراحی و به مرحله‌ی ساخت رسانید، این تجهیزات که خود یک زیردریایی مستقل نجات محسوب می‌شدند توسط سایر کشورهای دیگر نیز ساخته و به کار گرفته شد.

در یک دهه‌ی بعد و در دهه ۸۰ نیز گروه‌های اکتشاف نفت در بستر دریا ضرورتاً مجهز به این وسیله شدند. تا امکانات تیم اعزامی خود را گسترش دهند. در نیمه دهه ۸۰ میلادی این صنعت به دلیل کاهش قیمت نفت رکودی را تجربه کرد ولی پس از آن به سرعت شاهد گسترش و نوآوری در این صنعت هستیم. محدوده‌ی این تجهیزات بسیار گسترده بوده و از یک

مرورگر کوچک بستر دریا آغاز می‌شود و تا استفاده از ربات کنترلی زیرسطحی بزرگ با قابلیت نصب تجهیزات و لوله‌ها در بستر دریا ادامه دارد. استفاده از ربات‌های کنترلی زیرسطحی عمیق با توان بالا و امکانات خاص خود مانند: دوربین، سونار، سنسور، بازوهای قوی و غیره امروزه به طور گسترده در صنایع مختلف دیده می‌شود.

کاربردهای عمومی ربات‌های زیرسطحی

امروزه ربات‌های زیرآبی بخش جدانشدنی صنایع و علوم دریایی هستند. در حال حاضر این ربات‌ها بخش بسیار مهم و قابل اعتمادی از صنایع ساحلی و فراساحلی را تشکیل می‌دهند، که توسط نهادهای تجاری، دولتی، نظامی و دانشگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند. ربات‌های زیرآبی مدرن، امروزه طیف متنوعی از وظایف محوله را، از بازرسی محیط‌های خطرناک درون راکتور هسته‌ای، تا تعمیر تأسیسات پیچیده زیردریایی صنایع نفت و گاز، را به عهده گرفته و به انجام می‌رسانند. عموماً ربات‌های زیرآبی جهت انجام ماموریت‌های زیر به کار می‌روند :

۱) **مشاهدات زیردریایی :** جهت کمک و حصول اطمینان از ایمنی و سلامت غواص، مطالعات متنوع و جمع‌آوری اطلاعات مربوط به محیط زیست و شیلات، دریاشناسی و اقیانوس‌شناسی.

۲) **بازرسی سازه‌ها و سکوها دریایی و ساحلی :** جهت بازرسی عینی از عملکرد وسایل و ابزارآلات و یا بازبینی اثرات خوردگی، رسوب، محل وقوع ترک‌ها، تخمین بیولوژیک رسوبات و غیره.

۳) **بازرسی از خطوط لوله :** دنبال کردن خطوط لوله در زیر دریا جهت کنترل و بازبینی خطوط از نظر عدم وجود هرگونه نشتی و دیگر عیوب خطوط لوله و اطمینان از نصب صحیح آن‌ها.

۴) **نقشه‌برداری :** انجام نقشه‌برداری‌های عینی و آکوستیک، که قبل از نصب سازه‌های ساحلی، سکوها فراساحلی، خطوط لوله، کابل‌ها و هر گونه عملیات نصب سازه‌های دریایی، باید انجام گردند.

- (۵) **کمک در انجام عملیات حفاری :** انجام بازرسی‌های عینی، بازبینی هم‌زمان عملیات نصب، به‌کارگیری و تعمیر و نگهداری صنایع حفاری و استخراج در بستر دریا.
- (۶) **کمک به انجام عملیات ساخت :** کمک به هدایت و کنترل بازوهای مکانیکی و دیگر ابزارهای برشکاری، انتقال قدرت و نصب و ساخت در بستر دریا حین عملیات حفاری، ساخت و برپاکردن سازه‌های دریایی، نصب انواع وسائل و ابزارآلات اندازه‌گیری و نمونه‌برداری.
- (۷) **پاک‌سازی قطعات مخروبه :** کمک به انجام ماموریت‌های ایمن‌سازی و پاک‌سازی فضا و بستر دریا در پیرامون اسکله‌ها، سکوها و تأسیسات ساحلی و فراساحلی، که می‌توانند بستر دریا را به انبار بزرگی از مواد و مصالح مخروبه و مستعمل تبدیل کرده و ایمنی محیط کار و سلامت محیط زیست را به خطر اندازند.
- (۸) **تجهیزات زیر دریا :** مشارکت در روند ساخت، کارکرد، بازرسی و تعمیر تجهیزات زیردریا و به خصوص در اعماق زیاد، نگهداری از سکوه‌های بارگذاری شده، برج‌های روشنایی و لنگرها.
- (۹) **کشف و نجات اجساد و اجسام زیر دریا :** جستجو، شناسایی و انجام عملیاتی نظیر نجات اضطراری وسائل زیرآبی غرق شده، بالا آوردن تجهیزات گم شده در بستر دریا و نیز کشف اجساد و اجسام به جای مانده از سوانح هوایی یا دریایی.
- (۱۰) **جایگزینی با غواصان :** مشارکت در بسیاری از ماموریت‌هایی که انجام آن به سبب وجود خطر بسیار زیاد و یا حجم و گستره وسیع، برای غواصان مشکل یا غیرممکن باشد.

موارد ذکر شده بیشتر کاربردهای رایج این ربات‌ها را شامل می‌شود، در حالی که عملکرد این ربات‌ها به موارد قبل محدود نبوده و کاربردهای فراوان و متنوع دیگری را نیز شامل می‌گردند. که در ادامه مورد بحث قرار خواهند گرفت.

کاربردهای تجاری و فراساحلی ربات‌های زیرسطحی

از آن‌جا که درصد بالایی از منابع نفت و گاز جهان در دریا واقع هستند، استفاده از ربات‌های زیرآبی در این زمینه کاربردهای فراوانی دارد، چنان‌که می‌توان گفت مهم‌ترین و وسیع‌ترین کاربرد ربات‌های زیرآبی در سراسر جهان، در صنایع نفت و گاز جهت انجام عملیات اکتشاف و استخراج نفت و گاز است. از اواسط دهه هفتاد تکنولوژی ربات‌های زیرآبی کمک‌های وسیعی به عملیات جستجوی منابع انرژی زیرزمینی در دریا نموده است، و در حال حاضر چنین مأموریت‌هایی توسط ربات‌های زیرآبی با قدرت و اطمینان‌پذیری بالا در اعماق بیش از ۲۵۰۰ متری انجام می‌شوند. امروزه عملیات حفاری جهت استخراج نفت و گاز در آب‌های کم‌عمق تا اعماق بسیار زیاد دریا (۱۵۰۰ متری) صورت می‌پذیرد، که ربات‌های زیرآبی امکان پشتیبانی از کلیه اجزای حفاری را داشته و در تمامی مراحل نصب، ساخت، بازرسی و نگهداری و نیز تعمیر و دیگر فعالیت‌های مربوطه مورد استفاده قرار می‌گیرند. بیش از شصت درصد ربات‌های زیرآبی جهان در صنعت نفت و گاز فعالیت می‌کنند و اغلب در عملیات حفاری مشارکت دارند. سیستم‌های به کار گرفته شده در این پروژه‌ها قابلیت کار در عمق ۳۰ متری تا ۳۰۰۰ متری را دارا بوده و لذا امکان استفاده از تمامی انواع ربات‌های زیرآبی موجود، در این صنعت وجود دارد. علاوه بر صنایع نفت و گاز، ربات‌های زیرآبی در نصب و نگهداری سکوها، سیستم‌های زیردریایی، نصب، حمل و نگهداری و به کاربری خطوط جریانی، سیم‌ها و کابل‌های خطوط مخابراتی نیز نقش مهمی را ایفا می‌کنند. ربات‌های مشاهده‌گر نوعاً در آب‌های کم عمق یا بسترهای پوشیده از درخت و گیاه کاربرد دارند. و ربات‌های سنگین و قدرتمند اغلب در آب‌های عمیق‌تر، مناطقی با جریان‌های زیرآبی قوی و زیاد به خصوص هنگامی‌که استفاده از تکنولوژی و ابزارهای نوین و پیشرفته، بازوهای مکانیکی ماهر و انتقال سیال یا حمل و نگهداری بار مدنظر باشد، به کار می‌روند. در واقع مشارکت در عملیات حفاری، نصب و ساخت تجهیزات صنعتی در اعماق دریا، به اپراتور ماهر، و دانش مهندسی پیشرفته در طراحی و ساخت ربات، و نیز هدایت و ناوبری آن نیاز دارد.

کاربردهای نظامی ربات‌های زیرسطحی

کاربرد نظامی ربات‌های زیرآبی در آغاز به انجام عملیات جستجو و بازیابی وسایل و تسلیحات غرق شده، محدود می‌گشت. به مرور با افزایش سرمایه‌گذاری بر روی این تکنولوژی در صنعت نظامی، قابلیت‌های ربات‌های زیرآبی در این زمینه نیز افزایش قابل توجهی یافت. یکی از مهم‌ترین موارد کاربرد ربات‌های زیرآبی استفاده از آن‌ها در چیدمان و نیز خنثی‌سازی مین‌های جنگی می‌باشد، که اغلب انجام آن با استفاده از شناورهای سطحی و یا غواصان کاری سخت، مشکل و خطرناک محسوب می‌گردد. استفاده از ربات‌های زیرآبی می‌تواند نقش مهمی در طراحی استراتژی‌های جنگی، تدافعی و تامین امنیت مرزهای ساحلی در زمان صلح و نیز کشف و خنثی‌سازی محدوده آب‌های سرزمینی، از مین‌ها و هم‌چنین تسلیحات و ادوات مستعمل به جای مانده از دوران جنگ، داشته باشد. با توجه به گسترش ربات‌های زیرآبی خودکار، به نظر می‌رسد استفاده از این تکنولوژی در صنایع نظامی بسیار وسیع و مطلوب باشد. چرا که در کاربردهای نظامی اغلب مطلوب است که ربات در گستره وسیعی حرکت نماید و از موانع متعدد گذر کند و لذا مناسب‌تر است که ربات بدون کابل بوده و مجهز به تکنولوژی‌های پیشرفته کنترل و هدایت از راه دور باشد. و ضمناً بتواند به صورت خودکار مسیر مطلوب را یافته و نیازی به منبع انرژی خارج از ربات نباشد (AUV ها). همچنین استفاده از این ربات‌ها به عنوان شناورهای منهدم کننده و مین‌های متحرک هوشمند، از جمله کاربردهای دیگر این ربات‌های زیرسطحی در زمینه‌های نظامی است.

کاربردهای علمی و تحقیقاتی ربات‌های زیرسطحی

ضعف تکنولوژی، محققان و دانشمندان را از تحقیق در اعماق دریاها و اقیانوس‌ها برای سال‌ها و تا اوایل سال ۱۸۷۰ محروم نگاه داشته بود. امروزه روش‌های متعددی برای تحقیق در زیر و بستر دریا فراهم آمده است که از سبدهای قابل یدک‌کشی توسط کشتی تا زیردریایی‌های نفربر، از آن جمله محسوب می‌شوند. اما ورود تکنولوژی ساخت و تولید ربات‌های زیرآبی مجهز به دوربین‌ها و بازوهای مکانیکی ماهر و قدرتمند به این عرصه، امکانات قابل توجهی در اختیار

محققان در زمینه‌های زیست‌شناسی و اقیانوس‌شناسی قرار داد. توانایی چنین ربات‌هایی در تهیه فیلم و عکس، و با کیفیت بسیار بالا از مکان‌ها و محل‌هایی در اعماق دریا که پیش از این دست یافتن به آن غیر ممکن بوده است، کمک منحصر به فردی به محققان این عرصه نمود. نمونه‌های فراوانی از این گونه ربات‌های زیرآبی جهت انجام امور پژوهشی و تحقیقاتی در دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی و پژوهشی دنیا طراحی و ساخته شده‌اند، که در فعالیت‌هایی نظیر موارد زیر مشارکت می‌کنند :

- پیمایش میدانی و مشاهدات عینی اعماق و بستر دریا جهت مطالعات زیست‌شناسی و بوم‌شناسی.
- نمونه‌برداری از اعماق و بستر دریا.
- نقشه‌برداری و تهیه عکس و فیلم از بستر دریا.
- مطالعه و بررسی انواع ماهی‌ها و آبی‌ها.
- مطالعه و بررسی وضعیت زیست محیطی جانوران و گیاهان دریایی.
- مشاهده رفتار آتشفشان‌های زیردریایی.

کاربرد ربات‌های زیرآبی در خارج از محیط دریا

کاربردهای فراوان دیگری نیز برای ربات‌های زیرآبی در غیر از محیط دریا و اقیانوس وجود دارد که در این بخش به برخی از رایج‌ترین آن‌ها اشاره خواهد شد. چنان‌که گفته شد در بسیاری موارد ربات‌های زیرآبی برای دستیابی به اعماقی که ورود به آن توسط غواص خطرناک و در برخی موارد، غیرممکن است، استفاده می‌شوند. استفاده از این ربات‌ها در محل‌هایی که باید به صورت مرتب مورد بازدید قرار گیرند و این امر برای غواصان سخت، خسته‌کننده و خطرناک است، در مناطقی که در معرض تابش اشعه‌های رادیواکتیو قرار دارند، یا اماکنی که امکان دید در آن‌ها به طور کلی برای غواص وجود ندارد، تونل‌های خطرناک و طولانی آب در اطراف سدهای بزرگ و عظیم، قرارگرفتن در جریان رودخانه‌های متلاطم و خروشان از جمله کاربردهای ربات‌های زیرآبی در خشکی است. از دیگر موارد کاربری ربات‌های زیرآبی در خشکی عبارت‌اند از:

- بازرسی از پایه‌های پل‌ها؛
- بازدید از بدنه و دریچه‌های سدها؛
- بازدید از مخازن ذخیره آب و دیگر مواد صنعتی جهت بازرسی، نمونه برداری و پاکسازی؛
- تهیه فیلم، عکس، نمونه برداری و انتقال اشیاء و اجسام قدیمی غرق شده؛
- بازدید و بررسی بستر رودخانه‌ها؛
- تهیه فیلم و اسناد ویدیویی؛
- بازرسی از درون خطوط لوله‌های با قطر زیاد؛
- بازرسی از راکتورهای هسته‌ای.

باید به این نکته نیز توجه داشت که در بسیاری از موارد ربات‌های زیرآبی به طور کامل جانشین غواص نمی‌شوند بلکه به عنوان نیروی پشتیبان و جهت تسهیل انجام عملیات‌ها و یا جهت تهیه فیلم و عکس، استفاده از بازوهای مکانیکی، تامین نور و روشنایی محل، و نیز اطمینان از ایمنی و سلامت محیط کاری غواص، به کار می‌روند.

دسته بندی انواع ربات‌های زیر آبی

ربات‌های زیرآبی معمولاً توسط مشخصه‌هایی نظیر اندازه، عمق قابل دستیابی، توان مصرفی و دیگر مشخصات الکتریکی و یا الکتروهایدرولیکی شناسایی و دسته‌بندی می‌گردند. در ادامه به دسته‌بندی ربات‌های زیرآبی بر این اساس اشاره می‌گردد.

ربات‌های زیر آبی کوچک

این گروه شامل ربات‌های زیرآبی با هزینه پایین و اغلب تماماً الکتریکی است. که در اعماق حدود ۳۰۰ متری می‌توانند فعالیت کنند. این ربات‌ها جهت اعمالی مانند بازرسی و مشاهدات زیرآبی به کار می‌روند. در ضمن با تلاش‌های جدید در توسعه و پیشرفت ربات‌های کوچک

بهبودهای قابل ملاحظه‌ای در طراحی سیستم‌های الکتریکی و تولید و انتقال قدرت آن‌ها صورت پذیرفته‌است. که سبب شده از لحاظ عملکرد، قابلیت‌های کاربردی و دستیابی به اعماق بیشتر در سطح مطلوب‌تری نسبت به نمونه‌های پیشین باشند. هزینه تمام شده‌ی این ربات‌ها در حدود ۱۰ هزار تا ۱۰۰ هزار دلار است. امروزه ربات‌های کم هزینه به شکل وسیعی در کاربردهای علمی و پژوهشی، بازسازی صنایع آبی، جستجو، امداد و نجات، بازرسی از سدها، آب‌راه‌ها، بنادر و کشتی‌ها، بازرسی از راکتورهای هسته‌ای و مشاهده و بازرسی از سازه‌های ساحلی به کار می‌روند. تا سال ۲۰۰۰، ۳۵ گونه‌ی مختلف از این گونه ربات‌های زیرآبی طراحی و ساخته شده‌اند. در حال حاضر ۲۷ تولید کننده مختلف ۵۰۰ گونه‌ی متفاوت از این نوع ربات‌ها را تولید می‌کنند. امروزه حدود ۲۲ درصد ربات‌های موجود را، این دسته از ربات‌ها تشکیل می‌دهند.

ربات‌های زیر آبی الکتریکی با قابلیت بالا

این گروه جدید از ربات‌های زیرآبی کوچک و الکتریکی که در کمتر از ۱۰ سال پیش متولد شده‌اند، دارای هزینه به نسبت بالایی (نزدیک ۵۰۰۰۰ دلار) می‌باشند. این ربات‌ها از تکنولوژی جدید موتورهای الکتریکی، سیستم کنترلی قابل کاربری و هدایت توسط کاربر و سیستم انتقال داده‌های مجهز به فیبر نوری استفاده می‌کنند. ربات‌های زیرآبی الکتریکی می‌توانند در عمق ۲۰۰۰ متری دریا کار کنند. توانایی انجام کارهای سنگین هنوز برای ربات‌های الکتریکی ممکن نیست چرا که چنین امری نیازمند سیستم راهبری و بازوهای مکانیکی و الکتروهیدرولیکی پیشرفته است. اما با این حال این گروه از ربات‌های زیرآبی بسیاری از فعالیت‌های دریایی و زیرآبی را با هزینه‌ای پایین انجام می‌دهند. از این دسته ربات‌های زیرآبی به دلیل عملکرد مطلوب‌شان، به شکل وسیعی در حوزه‌های نظامی و دانشگاهی استفاده می‌گردد. این ربات‌ها در مقایسه با انواعی که در صنعت نفت و گاز مورد استفاده قرار می‌گیرند از چندان پیچیدگی قابل ملاحظه‌ای برخوردار نیستند. در ادامه به نمونه‌هایی از ربات‌های زیرآبی با قابلیت‌ها و توانایی‌های بسیار بالاتر و پیچیده‌تر اشاره خواهد شد.

ربات‌های ژرف‌پیما با قابلیت دستیابی به اعماق فوق‌العاده زیاد

این دسته از ربات‌ها امکان رسیدن به اعماق فراتر از ۴۰۰۰ متر را دارند. این ربات‌ها جهت کوچک نگاه داشتن ابعاد (قطر) کابل ارتباطی اغلب از انرژی کمتری استفاده می‌کنند. و بیش‌تر در عملیات امداد و نجات و نیز تحقیق و جستجو در اعماق اقیانوس‌ها به کار می‌روند. در این‌گونه مأموریت‌ها، ربات به توان زیادی جهت مشاهده و بازرسی و حرکت در امتداد مسیر معینی نیاز ندارد. به کمک این‌گونه ربات‌های زیرآبی محققان این امکان را یافته‌اند تا برای مدت زیاد و دفعات مکرر امکان مشاهده اعماق و بستر اقیانوس‌ها را داشته باشند. در کاربردهای نظامی نیز این ربات‌ها جهت بازدید از بستر دریا و نیز کشف و نجات اجسام و اجساد مغروق در بستر اقیانوس‌ها به کار می‌روند.

ربات‌های زیرآبی با ابعاد بزرگ و با قابلیت انجام کارهای سنگین

این دسته از ربات‌های زیرآبی شامل ربات‌هایی با ویژگی‌های منحصر به فردی نظیر قابلیت انجام کارهای سنگین در اعماق حدود ۲۵۰۰ متری و با توانی بالا (بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ اسب بخار) و قابلیت حمل ۵۰۰۰ کیلوگرم بار هستند. که آن‌ها را از دیگر گونه‌های ربات‌های زیرآبی متمایز می‌کند. با توجه به نیاز روز افزون صنایع ساحلی و فراساحلی به نصب وسایل و تجهیزات با وزن و ابعاد بالا در اعماق دریا، این گونه از ربات‌های زیرآبی بزرگ قدرت‌مند و با قابلیت حمل و انتقال بارهای سنگین به وفور در این صنایع به کار می‌روند. نسل جدیدی از این گروه ربات‌های زیرآبی برای استفاده در صنایع نفت و گاز که قابلیت کار در اعماق حدود ۳۰۰۰ متری را دارند، ساخته شده‌است. که در عین دارا بودن ابعاد به نسبت کوچک، به تکنولوژی‌های بسیار پیشرفته‌ای مجهزند. جهت بالا بردن امکان کنترل‌پذیری و کاهش اثرات اغتشاش کابل، دارای کابل‌های ارتباطی با ابعاد حداقل می‌باشند. آن‌چه این دسته از ربات‌های زیرآبی را با انواع ژرف‌پیما متمایز می‌کند این است که در نوع ژرف‌پیما، ربات جهت کاهش ابعاد کابل و کاهش مصرف انرژی فقط امکان استفاده از توان کمی را دارد. اما گونه‌های جدید ربات‌های زیرآبی از توان بالاتری جهت انجام کارهای سنگین در اعماق بسیار زیاد استفاده می‌کنند. انجام

عملیات جستجو و ردیابی در اعماق بیش از ۱۲۰۰۰ متر و انجام عملیات حمل و نصب قطعات در عمق ۶۰۰۰ متر طبیعتاً به تکنولوژی نوین و پیشرفته‌ای نیاز دارد که هم چنان مد نظر طراحان و مهندسان تکنولوژی دریایی قرار می‌گیرد. و برخی موفقیت‌ها در این زمینه اخیراً به دست آمده، و تا کنون فقط نمونه‌های انگشت شماری از این گونه ربات‌ها در دنیا ساخته شده است.

ربات‌های زیر آبی خودکار و بدون نیاز به کابل (AUV ها)

در اغلب ربات‌های زیرآبی از کابل برای انتقال توان به راه‌اندازها و نیز انتقال فرامین استفاده می‌شود (ROV ها). و نیز داده‌های حسگرها و دوربین‌ها نیز از طریق کابل به کاربر انتقال داده می‌شوند. اما کابل از طرفی باعث افت انرژی شده و برای عمق‌های زیاد و محدوده‌های عملکرد وسیع، میزان توان مصرفی را افزایش می‌دهد. و از سوی دیگر برای انتقال توان بالا، افزایش قطر کابل سبب افزایش نیروهای هیدرودینامیکی وارده و افزایش اغتشاش در سیستم می‌شود. لذا در بسیاری از کاربردها استفاده از ربات‌های زیرآبی دارای کابل، مشکلات و محدودیت‌های فراوانی به وجود می‌آورد. تکنولوژی ساخت ربات‌های خودکار زیرآبی که کار بروی آن‌ها از اوایل دهه هشتاد آغاز شده‌است، هنوز دوران آغازین خود را می‌گذراند. این ربات‌ها مجهز به سیستم کنترل و هدایت مرکزی، سیستم ارتباطی پیشرفته و سیستم تولید توان هیدرولیکی به منظور تولید انرژی لازم جهت پروانه‌ها و دیگر ابزارها و بازوهای مکانیکی است. تا حدود سال ۲۰۰۶، در مجموع بیش از هفتاد گونه‌ی مختلف از ربات‌های خودکار و هوشمند (AUV ها) توسط دوازده کشور ساخته شده‌است. علاوه بر انواع ذکر شده برخی دیگر از ربات‌های زیرآبی متناسب با نوع کاربری طراحی و ساخته شده‌اند که به عنوان مثال می‌توان ربات‌هایی که توسط کشتی یا قایق پشتیبان به صورت یدک‌کش به کار می‌روند را نام برد. که در بازرسی از خطوط لوله، نقشه‌برداری و مشاهدات علمی، کاربردهای وسیعی دارند.

انواع ربات‌های کنترلی زیرسطحی براساس وزن، حجم و قابلیت توان

بر این اساس دسته بندی زیر را می‌توان از ربات‌های زیرسطحی ارائه کرد.

نوع میکرو : این نوع کمتر از ۳ کیلوگرم وزن داشته و عمدتاً برای غواصی در مکان‌هایی که برای غواص امکان غواصی وجود ندارد استفاده می‌شود.

نوع مینی : این نوع تا ۱۵ کیلوگرم نیز وزن دارد و عمدتاً کمتر از نوع میکرو برای غواصی استفاده می‌شود.

نوع عمومی : این نوع کمتر از ۵ اسب بخار توان در سیستم رانش دارد و در حد یک سونار کوچک و یا چراغ زیرآبی را حمل می‌کند، عمق این تجهیزات تا ۱۰۰ متر هم می‌رسد.

نوع سبک کاری : این نوع تا ۵۰ اسب بخار توان داشته و دارای یک بازو نیز بوده و تا ۲۰۰ متر عمق نیز بکار می‌رود.

نوع سنگین کاری : این نوع تا ۲۲۰ اسب بخار توان، و دست کم ۲ بازو دارد و تا اعماق ۳۵۰۰ متر کار می‌کند.

نوع مخصوص حفاری : این نوع بیش از ۲۰۰ اسب بخار و غالباً کمتر از ۵۰۰ اسب بخار توان دارند، این تجهیزات توانایی حمل کابل و خواباندن آن در کف اقیانوس تا عمق ۶۰۰۰ متری را دارند.

اشاره (ربات کنترلی زیرسطحی هیبریدی)

برای اولین بار از سال ۱۹۶۰ تاکنون ربات زیرسطحی هیبریدی توانایی اکتشاف عمیق ترین بخش‌های اقیانوس‌ها را تحت شرایط فشار بالای این نقاط و درجه حرارت‌های پایین آب (نزدیک به یخزدگی) و در تاریکی مطلق ایجاد کرده است. این وسیله قابلیت اکتشاف تا عمق ۱۰۹۲ m (حدود ۳۶۰۰ Ft) را دارد. ربات زیرسطحی هیبریدی می‌تواند در دو مود کاری به صورت زیر فعالیت کند.

مود آزاد : که بدون وجود کابل اتصال، ربات در آب شناور است.

مود سیمی: که به وسیله کابل متصل به کشتی، قابل هدایت است.

شکل ۶-۱ نمایی از ربات کنترلی زیرسطحی هیبریدی را در دو مود کاری مختلف آن نمایش می‌دهد. پروژه‌های ربات کنترلی زیرسطحی هیبریدی همچنان در حال انجام است. آزمایشهایی در عمق ۲۵۰۰ متری توسط این ربات در جزایر هاوایی و در نوامبر ۲۰۰۷ صورت گرفته است.



دسته بندی زیردریایی‌های مدل از نظر نحوه کنترل

بر این اساس زیردریایی‌های مدل را می‌توان به سه دسته اصلی و کلی زیر دسته بندی نمود :

(۱) زیردریایی‌های مدل ROV

(۲) زیردریایی‌های مدل AUV

(۳) زیردریایی‌های مدل RC

زیردریایی‌های مدل ROV

این زیردریایی یک وسیله نقلیه‌ی پویش‌گر، قابل کنترل از راه دور و به وسیله کابل در زیردریا است. این دسته از ربات‌های زیرآبی به اپراتور امکان آن را می‌دهند که وسیله را در اعماق آب کنترل و هدایت کند. و از طریق اعمال فرامین، عملیات مورد نظر را به واسطه تجهیزات ربات انجام دهد. این ربات‌های زیرآبی در اندازه‌ها و ابعاد متفاوت و با گستره‌ی متنوعی از

تکنولوژی‌ها و امکانات در سال‌های اخیر طراحی، ساخت، آزمایش و به‌کارگیری شده و حتی در برخی موارد به تولید صنعتی رسیده‌اند. انواع این ربات‌ها از نمونه‌های کوچک و ساده‌ای که صرفاً دوربین فیلم برداری کوچکی هستند، تا گونه‌های پیشرفته و بسیار پیچیده‌ای که در اعماق بالای دریا امکان انجام عملکردهای متنوع و متعددی را دارند، شامل می‌شوند. ویژگی اصلی در این دسته آن است که توسط کابل ارتباطی به اپراتور واقع در سطح دریا متصل شده و کابل ارتباطی توان لازم جهت عملکرد پروانه‌ها و نیز دستورات و سیگنال‌های کنترلی را به ربات، و داده‌های تولید شده توسط حسگرها را به اپراتور در سطح دریا منتقل می‌کند. در اغلب موارد این کابل شامل غلاف مقاومی است که آن را در برابر بارهای وارده و نیز برخوردهای احتمالی با اجسام واقع در زیر آب و پارگی و خرابی ناشی از آن، محافظت می‌کند. از ویژگی‌های خاص دیگر در این دسته آن است که می‌توانند دارای تجهیزات متفاوتی باشند. که از دوربین تلویزیونی کوچک، که جهت مشاهدات ساده به کار می‌رود تا مجموعه‌های پیچیده‌ای از ابزارآلات مانند بازوهای مکانیکی ماهر متنوع و قدرتمند، را شامل می‌شوند. اجزای مختلف این ربات‌ها عبارتند از سیستم هدایتی جهت کنترل ربات، سیستم رانش، سیستم به آب انداختن، منابع تامین قدرت و دیگر ابزار و وسایل پیشرفته.

زیردریایی‌های مدل AUV

امروزه ربات‌های زیرآبی پیشرفته‌ای ساخته شده‌اند. که بدون استفاده از کابل، امکان هدایت‌شان در اعماق دریا وجود دارد. این گونه از ربات‌های زیرآبی را «ربات خودکار زیرآبی (AUV)» می‌نامند. که جهت جستجو در اعماق اقیانوس و انجام مطالعات اقیانوس‌شناسی و نیز مصارف نظامی، کاربردهای فراوانی دارند. در عین حال که عموماً تکنولوژی طراحی و ساخت این دسته از ربات‌های زیرآبی با قابلیت‌ها و توانایی‌های متنوع و با توجه به پیچیدگی‌های خاص آنها، بسیار گران قیمت و پرهزینه است. اما در سال‌های اخیر تلاش‌های زیادی برای ساخت ربات‌های زیرآبی هوشمند با صرف هزینه پایین صورت پذیرفته است.

زیردریایی‌های مدل RC

این نوع ربات‌ها با ابعاد کوچک از ساده‌ترین زیردریایی‌های مدل محسوب می‌شوند. که می‌توان در بازار به راحتی آنها را یافته و خریداری نمود. ربات کنترلی زیرسطحی RC عموماً برخلاف بسیاری از ربات‌های کنترلی زیرسطحی دیگر که الگوی حرکتی هواپیما را دارند، الگوی حرکتی هلیکوپتر را داراست که به آن اجازه چرخش به دو محور خود و حرکت در هر جهتی که هدف نیاز دارد را می‌دهد.

ویژگی اصلی در این دسته نحوه کنترل از راه دور و کنترلی (ریموتی) در آنها می‌باشد. در واقع در این دسته نه با یک زیردریایی کاملاً هوشمند و با کنترل خودکار (AUV) مواجه هستیم، و نه جهت کنترل نیاز به حضور کابل و اتصال سیمی به ربات داریم (ROV). اما در عین حال در این دسته از ربات‌های زیرسطحی محدودیت جدیدی نسبت به دو دسته قبل وجود دارد، و آن عبارت است از عدم جوابگویی و نفوذ زیاد امواج الکترومغناطیسی در آب، که سببی بر عمق روی محدود در این نوع زیردریایی‌ها می‌شود. در این دسته از ربات‌های زیرسطحی مقدار عمق-روی ربات وابسته به بسامد (فرکانس) رادیوکنترل آن خواهد بود. بدیهی‌است استفاده از رادیوکنترل با فرکانس کمتر در محیط آب، برابر است با توانایی مقدار عمق روی بیشتر در زیردریایی.

استفاده از کابل در ربات‌های زیردریایی

می‌دانیم اگر امواج رادیویی بسامد کمی داشته باشند، امواج به دلیل طول موج بالایشان بیشتر در آب نفوذ می‌کنند. اما با کاهش بسامد امواج نرخ انتقال داده‌ها نیز مشکل می‌شود (به دلیل کاهش پهنای باند). و این درحالی است که به منظور انجام بازرسی از راه دور توسط ربات، ارسال تصاویر زنده و ویدیویی برای کنترل آن و نظارت در بازرسی از طریق اپراتور در سطح نیاز است. عملیات با تصاویر ویدیویی به صورت کامل و با توجه به چنین تکنولوژی تنها از طریق پهنای باند بالا امکان پذیر است. با ارائه این مطلب مشخص است وسیله کنترل تمام خودکار از طریق هوش مصنوعی، و کنترل با تصاویر ویدیویی زنده ارسالی از آن و از طریق

امواج رادیویی، به صورت کامل تنها از طریق هوا در بین وسیله نقلیه و اپراتور از راه دور در دسترس است. در سیال آب به علت افزایش چگالی محیط، این مسافت سنجی به صورت کامل از طریق امواج رادیویی امکان پذیر نمی باشد (حداقل با فن آوری‌های فعلی). و انتقال داده‌ها از طریق آکوستیک در آب (تا سال ۲۰۰۶) به کمتر از ۱۰۰ کیلو بایت در هر ثانیه محدود بوده است (که برای تصاویر ویدئویی با وضوح بالا ناکافی می‌باشد). لذا جهت رسیدن به یک تصویر با کیفیت مناسب که به طور همزمان از ربات برای تسلط بر کنترل آن مخابره شود. وجود یک اتصال بسیار محکم از طریق سیم به ربات برای کنترل آن از روی سطح و نیز قابلیت دیداری همزمان در آب محسوس می‌گردد. بنابراین برای چنین منظوری باید یک پیوند سخت از نوع سیم به منظور مقاصد دیداری زنده در زیر آب با ربات وجود داشته باشد.

حالت‌های دید کنترلی در ربات‌های دریایی

اپراتور ربات کنترلی، تا زمانی که قادر به مشاهده وسیله نقلیه کنترل از راه دور به طور مستقیم و با چشم خود می‌باشد، آن را به صورت دید چشمی هدایت می‌نماید. این ناوبری شناور از طریق خط دید کنترل از راه دور، رادیوکنترلر (RC) نامیده می‌شود. به محض مشاهده‌ی هدف از طریق دوربین وسیله نقلیه و یا حسگرها، انتقال از حالت عملیاتی کنترل از راه دور به کنترل از طریق تصاویر ویدیویی خواهیم داشت. این انتقال مهم است، زیرا تغییرات ناوبری و بهره برداری از وسایل نقلیه از طریق دید اپراتوری به دید از طریق دوربین شناور، مدیریت موفق و انتقال بین این حالت‌های کنترلی در چنین زمینه کاری مسلما در انجام دادن مناسب مأموریت کمک خواهد کرد (ROV). اما در مورد ربات کنترلی تمام خودکار از طریق هوش مصنوعی (AUV)، باید گفت خیلی از آنها مانند هواپیماهای کنترل از راه دور ساخته می‌شوند و تفاوت بین هواپیماها و این ربات‌ها علاوه بر تفاوت سیال اطراف به کنترل تمام خودکار از طریق هوش مصنوعی و با استفاده از سنسورهای روی این وسایل بر می‌گردد.

کلاس بندی ربات‌های زیرسطحی

ربات زیر سطحی را در سه مقوله اساسی می‌توان طبقه بندی کرد:

(۱) کلاس کنترلی مشاهده‌گر :

ربات‌های زیر سطحی کلاس کنترلی معمولاً یک «چشم شناور» محسوب می‌شوند. که به طور خاص یک مجموعه از لامپ، دوربین و سنسورهای سوناری را شامل شده که برای شناسایی و گرفتن اطلاعات از مناطق زیرسطح استفاده می‌گردند.

(۲) کلاس کنترلی مشاهده‌گر جدید :

ربات‌های زیرسطحی کنترلی که در این دسته قرار می‌گیرند. قادرند که سیستم‌هایی علاوه بر سیستم‌های مشاهده‌گر را به کار ببرند. کلاس کارکرد AUV ها بیشتر در این زمینه است.

(۳) کلاس کاری :

ربات‌هایی با سیستم کلاس کاری، به طور کلی اندازه‌های بزرگی دارند. که به همراه یک بازوی چند کاره، سیستم‌های رانش و عملگرهای هیدرولیکی و نیز تجهیزات سنگین برای ساخت و ساز در پروژه‌های بزرگ زیرآبی که نیاز به حرکت تجهیزات سنگین در زیر آب را دارند مورد استفاده قرار می‌گیرند. کلاس کارکرد ROV ها بیشتر در این زمینه است.



شکل ۶-۲: نمایی از کلاس‌های کاری مختلف ربات‌های زیرسطحی

مبانی طراحی ربات‌های زیرآبی

امروزه به کمک روش‌های پیشرفته طراحی در کامپیوتر، طراحی ربات‌های زیرآبی نیز پیشرفته‌تر و دقیق‌تر شده‌است. بدیهی است اکنون که طراحی و ساخت ربات‌های پیچیده، چند منظوره و دارای توان دستیابی به اعماق بسیار زیاد دریا و اقیانوس مورد نظر است، دستیابی به سطوح بالایی از دانش طراحی نیز لازم و ضروری خواهد بود. این ربات‌ها باید دارای انعطاف‌پذیری مطلوبی باشند، چنان که قابلیت انجام فعالیت‌ها و مأموریت‌های متنوعی برای آن‌ها مهیا باشد. به منظور تامین اهداف مطلوب در طراحی ربات‌های زیرآبی باید دو نکته را مد نظر داشت که عبارت است از نوع عملکرد مورد نظر و مقدار عمقی که ربات در آن باید به کار بپردازد. علی‌رغم موارد قبل، طراحی ربات زیرآبی باید به صورت مجموعه‌ای واحد و با در نظر گرفتن تمامی ملاحظات لازم و مرتبط طراحی صورت پذیرد. که برخی از آن‌ها شامل موارد زیر می‌شوند:

✓ هزینه‌ی تمام شده

- ✓ اندازه و ابعاد مطلوب با توجه به نیازمندی‌ها و قابلیت‌های مورد نظر
 - ✓ تکنولوژی موجود و در دسترس
 - ✓ توان و قدرت مورد نیاز
 - ✓ ابعاد و وزن
 - ✓ فضای مورد نیاز در عرشه کشتی جهت قرارگیری
 - ✓ حداکثر عمق
 - ✓ نوع شرایط دریایی که ربات در آن امکان کارکرد خواهد داشت
 - ✓ حداکثر بار مفید قابل حمل
 - ✓ کاربرد و چند منظوره بودن آن
 - ✓ ایمنی و اطمینان‌پذیری
 - ✓ ثبت مسیر حرکت (در صورت لزوم)
 - ✓ قابلیت تعمیر و نگهداری
 - ✓ اجزا و سیستم‌های واسطه جهت هدایت و راهبری، و قابلیت‌های در دسترس بودن این سیستم‌ها
- چنان که ذکر شد ربات‌های زیر آبی اجزا مختلف و متعددی دارند که عموماً شامل موارد کلی و اساسی زیر است:

- بدنه‌ی ربات
- سیستم رانش و حسگرها
- واسطه‌(های) کنترلی و نمایشی
- سیستم توزیع قدرت
- کابل‌های هدایتی و ارتباطی
- سیستم هدایت و کنترل

در نهایت طراح با در نظر گرفتن عوامل موثر در طراحی باید مدل بهینه‌ای برای طراحی ربات پیشنهاد کند. ربات‌های زیرآبی در نهایت به واسطه‌هایی متصل هستند، که منظور و هدف کاربر را محقق می‌سازند. بازوهای مکانیکی ماهر و قادر به انجام کار فیزیکی، دوربین‌های تلویزیونی،

نورافکن‌ها و دیگر لوازم ره‌گیری که امکان کارکرد، هدایت، مسیریابی، کنترل و ناوبری ربات را فراهم می‌سازند، از این جمله‌اند.

معیارهای ارزیابی ربات‌های زیرسطحی

یکی از اصلی‌ترین جنبه‌های ارزیابی ربات‌های کنترلی زیرسطحی ویژگی‌های ماموریتی آنهاست. از جمله این ویژگی‌ها می‌توان موارد زیر را برشمرد.

- عمق عملیاتی
- مدت عملیات
- مانورپذیری
- ماکزیمم سرعت (در غوص، صعود و حرکت طولی)
- وزن و ابعاد
- وزن بار اضافی قابل حمل

از جمله مشخصات دیگر قابل توجه در این ربات‌ها مشخصات تغذیه ربات است. سیستم ارتباطی و مخابره داده و ویدیو از دیگر مشخصات قابل بررسی و مهم ربات‌های زیرسطحی محسوب می‌شود. از جمله اطلاعات دیگری که استخراج آنها لازم است مشخصات سنسورها، دوربین‌ها، سیستم‌های کنترلر هیدرودینامیک و هیدرواستاتیک ربات می‌باشد.

سیستم‌های مختلف ربات زیرسطحی

بدیهی‌است هر ربات زیرسطحی مجموعه‌ای از سیستم‌ها و اجزا مختلف را شامل می‌شود. که در حالت عمومی و برای طراحی می‌توان به سیستم‌های زیر در آن اشاره نمود:

- سیستم رانش که توسط تراسترهای قوی با بازدهی بالا صورت می‌گیرد.
- سیستم غوص و صعود (پایداری هیدرواستاتیکی) که می‌تواند توسط مخازن بالاست و یا تغییر جهت تراستر باشد.
- سیستم‌های قابلیت مانور (پایداری هیدرودینامیکی)

- سیستم‌های ناوبری، هدایت و کنترل کننده مرکزی، شامل سنسورها و حلقه های فیدبک
- سیستم‌های ابزار دقیق نظیر سنسورهای فشار، عمق و دما
- سیستم کنترل از راه دور و سیستم ارتباط با سطح که با سیم، بی سیم و یا ترکیبی می‌تواند باشد
- سیستم تغذیه و شارژینگ
- سیستم جبران وزن با توجه به بارهای اضافی متنوع در ربات
- سیستم جراثقال، محفظه و کابل امبریکال (در صورت وجود)

فصل هفتم

ارائه روند طراحی یک

زیردریایی مدل

مقدمه

در این فصل سعی بر آن است که مباحث تئوری ارائه شده در فصول قبل را به صورت کاربردی و در قالب ارائه‌ی روند طراحی و ساخت یک زیردریایی کوچک و بدون سرنشین با قابلیت کنترل از راه دور، تحت عنوان «زیردریایی آریا» بیان کنیم. در واقع این فصل ارائه‌ی یک مثال کلی در زمینه‌های مختلف تئوری ارائه شده در مباحث طراحی می‌باشد. لازم به ذکر است از آنجا که زیردریایی آریا یک نمونه‌ی واقعی بوده که روند طراحی، ساخت و تست آن با موفقیت انجام پذیرفته است. آشنایی با روند طراحی آن بر اساس مطالب فصل‌های قبل، در واقع ارائه یک مثال جامع و گام‌به‌گام از چگونگی فرآیند طراحی یک زیردریایی مدل خواهد بود که در نهایت به ساخت، تست و کاربرد آن انجامیده است. (جهت اطلاعات بیشتر از روند طراحی بخصوص تحلیل‌های هیدرواستاتیکی و هیدرودینامیکی در این شناور به منبع [۳] مراجعه نمایید) همچنین طراحی این زیردریایی در مرحله طراحی جزئیات اولین دوره مسابقات ملی طراحی و ساخت زیردریایی‌های بدون سرنشین، که به همت دانشکده و مجتمع علوم دریایی دانشگاه صنعتی مالک اشتر در سال ۱۳۸۸ برگزار گردید موفق به کسب عنوان تیم برگزیده شده است.

مفروضات اولیه و مورد مطلوب کارفرما

در طراحی و ساخت این زیردریایی مدل محدودیت‌ها و مفروضاتی وجود دارد. که فرآیند طراحی بر اساس این موارد (که مطلوب کارفرما می‌باشد) باید صورت گیرد. این مفروضات به قرار زیر است :

- طول کمتر از ۱۰۰ سانتی متر
- دارای سرعت سطحی ۵ نات و سرعت زیر سطحی ۷ نات
- دارای سیستم رانش پروانه‌ای
- قابلیت کنترل از راه دور
- انرژی مصرفی از نوع الکتریکی و با استفاده از باتری

در واقع این موارد پیش فرض‌های اصلی از کلیات این زیردریایی است، که مبنای طراحی باید بر اساس آنها صورت بپذیرد و بر اساس موارد مطلوب کارفرما و نظر تیم طراحی تعیین گردیده است.

انتخاب شکل بدنه

شکل بدنه‌ی زیردریایی آریا به صورت دوکی شکل انتخاب می‌شود. چنان که در فصل دوم گفته شد، این طرح بدنه ایده‌آل‌ترین طرح بدنه برای حرکت در زیر آب بوده و دارای مقاومت ویسکوز فشاری (R_{vp}) برابر با ۱۰ درصد مقاومت کل است، که نشان از مناسب بودن این طرح می‌باشد. شکل معمول زیردریایی‌های موجود به این صورت بوده و از لحاظ بازدهی و کاهش میزان درگ مناسب است. بنابراین با استفاده از این طرح بدنه با مقاومت کم در حرکت زیرسطحی، رسیدن به سرعت مطلوب با صرف توان کمتری امکان پذیر خواهد بود.

شکل بدنه از سه قسمت اصلی به شرح زیر تشکیل می‌شود :

۱) قسمت سینه‌ی شناور

این قسمت به شکل یک نیم بیضی با نسبت قطرهای $\frac{a}{b} = 2$ (نسبت قطر بزرگ به قطر کوچک) و قطر کوچک آن (b) همان قطر بدنه‌ی اصلی و میانی بدنه است. که به شکل استوانه‌ای بوده، و این انتخاب با توجه به روابط تجربی موجود و پیشنهادی در کتاب‌های هیدرودینامیکی در نظر گرفته شده است.

۲) قسمت میانی شناور و بدنه اصلی

این قسمت که تقریباً قسمت عمده‌ی بدنه و شکل زیردریایی را شامل می‌شود، با توجه به جانمایی اجزا داخلی آن، و همچنین نسبت $\frac{L}{D}$ (نسبت طول کلی به قطر بدنه اصلی زیردریایی) بهینه، به صورت یک استوانه با قطر خارجی 14 cm در نظر گرفته شده است.

طراحی شناور آریا بیشتر برای حرکت در زیرسطح صورت پذیرفته، و هدف کاربری آن بر این اساس تعریف می‌گردد. چنان که می‌دانیم و گفته شد در حرکت در عمق، مقاومت موج سازی تقریباً وجود ندارد و تنها مقاومت اصطکاکی و ویسکوز فشاری (مقاومت شکلی) هستند که نقش عمده در تشکیل مقدار مقاومت کل را بر عهده دارند. با توجه به آنچه در فصل دوم در قسمت ملاحظات هیدرواستاتیکی ارائه گردید و بر اساس نمودار شکل ۲-۸ که رابطه بین مقاومت اصطکاکی و شکلی را با نسبت $\frac{L}{D}$ بدنه نشان می‌دهد، می‌توان مشاهده کرد که افزایش $\frac{L}{D}$ سبب افزایش مقاومت اصطکاکی و کاهش مقاومت شکلی می‌شود. بنابراین اثر $\frac{L}{D}$ بر دو مولفه‌ی مقاومت ذکر شده کاملاً متناقض است، و بنابراین باید یک نسبت $\frac{L}{D}$ بهینه در نظر گرفته شود، به گونه ای که مجموع دو مقاومت اصطکاکی و شکلی یعنی :

$$R_{tot} = R_{form} + R_f$$

کمترین مقدار گردد. که همانطور که در قبل گفته شد، برای بدنه‌ی دوکی شکل مقدار $\frac{L}{D}$ مناسب جهت این هدف برابر است با :

$$\frac{L}{D} = 7 \sim 9$$

با توجه به آنکه طول شناور آریا **۹۸ cm** (۱۰۰ cm با احتساب پروانه) در نظر گرفته شده است. میزان قطر اصلی بدنه برابر با **۱۴ cm** در نظر می‌گیریم. که نسبت $\frac{L}{D}$ در آن کاملاً رعایت شده و خواهیم داشت :

$$\frac{L}{D} = \frac{98}{14} = 7$$

۳) قسمت عقب (پاشنه) زیردریایی

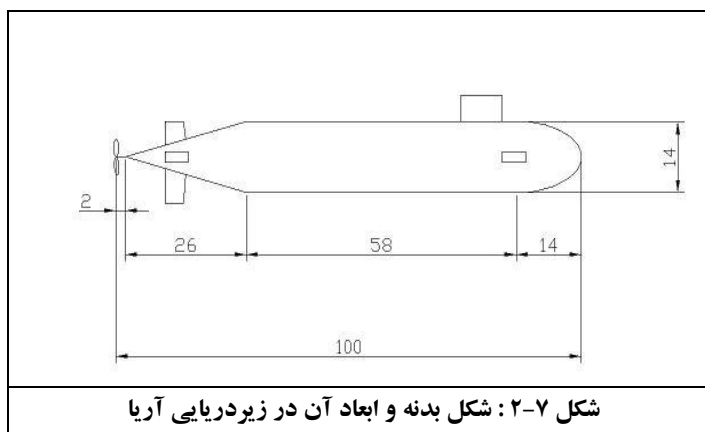
این قسمت از بدنه نیز با توجه به روابط تجربی و شکل زیردریایی‌های موجود، و همچنین برای افزایش بازدهی پروانه به صورت مخروطی در نظر گرفته شده است. که در قسمت ابعاد شناور در ادامه فصل روابط مربوط به محاسبه‌ی زاویه و ابعاد آن آمده است.

یادآور می‌شود که این نوع شکل بدنه که در شناور آریا انتخاب گردیده است. برای حرکت در محیط یک نوع سیال (آب و یا هوا) که مرز مشترک دو سیال و سطح آزاد نداشته باشد، مناسب است. به همین دلیل این نوع شکل بدنه برای هواپیما نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد و امروزه اغلب زیردریایی‌ها و تقریباً هواپیماها را به این شکل می‌سازند.

در واقع با توجه به نمودار شکل ۲-۱، اهمیت سرعت زیر سطحی در شناور آریا و توضیحات قبل، طرح بدنه دوکی شکل، که شکل مناسب برای حرکت زیر سطحی می‌باشد به عنوان طرح بدنه شناور انتخاب گردیده است.

تعیین ابعاد بدنه

همانطور که ذکر گردید، بدنه به صورت ساده از سه بخش اصلی به صورت یک نیم بیضی در قسمت سینه، یک استوانه در قسمت میانی و یک مخروط در قسمت انتهایی تشکیل شده است، که نمایی کلی از شکل بدنه را در شکل ۲-۷ مشاهده می‌کنید.



طول کلی شناور از ابتدایی ترین نقطه سینه تا انتهای پروانه در عقب شناور برابر 100 cm و قطر اصلی قسمت میانی برای 14 cm است.

- طول قسمت نیم بیضی شکل سینه برابر 14 cm می باشد (که 14% درصد طول کل را تشکیل می دهد).

- طول قسمت استوانه ای میانی برابر 58 cm می باشد (که 58% درصد طول کل شناور را تشکیل می دهد).

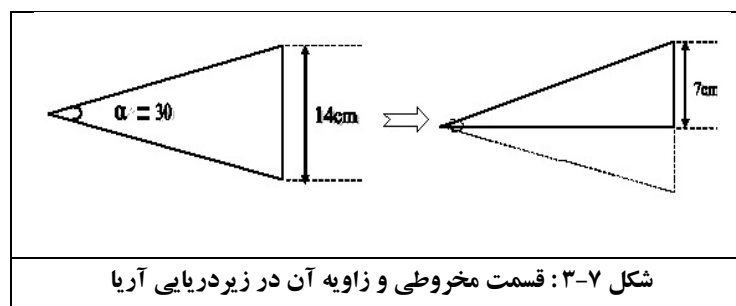
- طول قسمت مخروطی شکل پاشنه برابر 26 cm می باشد (که 26% درصد طول کل شناور را تشکیل می دهد).

همانطور که بیان گردید قسمت سینه شناور از یک نیم بیضی با نسبت قطر بزرگ به کوچک برابر ۲ تشکیل شده، و قطر کوچک آن برابر همان قطر بدنه ای میانی که به شکل استوانه ای و با قطر 14 cm است، می باشد.

با توجه به نمودار شکل های ۴-۱۴ و ۴-۱۵ در مورد تأثیر زاویه مخروطی عقب بر ضریب ویک و ضریب کاهش تراست، که در فصل چهارم ارائه شد. قسمت عقب بدنه به علت کاهش اثر ویک و تأثیر مناسب آن بر ضریب کاهش تراست به شکل مخروط انتخاب شده است. اما در مورد زاویه ای این مخروط با توجه به همان نمودارها می توان چنین نتیجه گرفت که محدوده این زاویه مخروطی عقب در حدود زیر مطلوب می باشد، و هر مقدار این زاویه کوچکتر در نظر گرفته شود، مناسب تر است:

$$20^\circ < \alpha < 40^\circ$$

لذا در شناور آریا با توجه به محدوده ابعادی که برای قسمت پاشنه در نظر گرفته شده است، میزان زاویه ای مخروطی عقب را در حدود $\alpha = 30^\circ$ در نظر می گیریم. بر اساس شکل ۷-۳.



با توجه به محاسبات زیر طول این مخروط در راستای محور مرکزی شناور در حدود 26 سانتی متر به دست می آید.

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{7}{L} \Rightarrow L = \frac{7}{\tan 15} = \frac{7}{0.26} \cong 26 \text{ cm}$$

معرفی اجزای خارجی بدنه

در حالت کلی شکل خارجی بدنه علاوه بر شکل اصلی آن که در قبل توضیح داده شد، متشکل از یک برجک در قسمت بالا و در نیمه جلویی بدنه، دو عدد سکان در بالا و پایین و در قسمت عقب شناور، ۴ عدد بالک که یک جفت آن در طرفین قسمت جلو و یک جفت آن در طرفین قسمت پاشنه و عمود بر محور نصب سکانها، دو عدد لوله پرتاب موشک مدل، نمایشگرهای دیجیتال، چشمی دوربین، سنسورها و همچنین یک پروانه در انتهای ترین قسمت بدنه است؛ که هر جزء در قسمت‌های بعدی به صورت کامل توضیح داده خواهد شد. مشخصات این اجزا در جدول شکل ۷-۱ آمده است.

ردیف	تجهیزات خارجی بدنه	تعداد	محل قرار گیری در بدنه
۱	بالک‌های جلو	۲ عدد	در محدوده‌ی ۲۰ سانتی متری جلوی شناور
۲	بالک‌های عقب	۲ عدد	در محدوده‌ی ۱۵ سانتی متری عقب شناور
۳	سکان‌ها	۲ عدد	در محدوده‌ی ۱۵ سانتی متری عقب شناور
۴	برجک	۱ عدد	در قسمت فوقانی بدنه و متمایل به سینه‌ی شناور
۵	لوله‌ی پرتاب موشک	۲ عدد	در قسمت جلوی شناور
۶	صفحه مانیتورینگ	۲ عدد	در قسمت بالای سینه شناور
۷	پروانه	۱ عدد	در قسمت پاشنه
۸	قسمت شیشه‌ای دید دوربین	۱ عدد	در قسمت سینه‌ی شناور و زیر بدنه

شکل ۷-۱: جدول تجهیزات خارجی بدنه در زیردریایی آریا

محل قرار گیری ضمائم خارجی بدنه

در این قسمت پس از معرفی اجزاء خارجی بدنه به بیان و تعیین محل قرارگیری مناسب آنها در بدنه به شرح زیر می‌پردازیم.

(۱) برجک زیردریایی

در زیردریایی‌های واقعی، ارتفاع عرشه به همراه برجک برابر قطر زیردریایی در نظر گرفته می‌شود و از آنجا که شناور مدل آریا فاقد عرشه است، ارتفاع برجک در حدود ۵ cm در نظر

گرفته شده و با طولی برابر ۹ cm و عرضی برابر ۵ cm است. شکل مقطع برجک مطابق با فویل NACA0012 که از نظر هیدرودینامیکی مناسب بوده، انتخاب می‌گردد. مکان قرار گیری برجک با توجه به نمونه‌های واقعی زیردریایی‌ها در $\frac{1}{3}$ قسمت جلوی بدنه است. که مکان دقیق آن با توجه به نحوه قرار گیری تجهیزات رادیویی که در قسمت ساخت مشخص می‌گردد، خواهد بود.

(۲) سکان‌ها

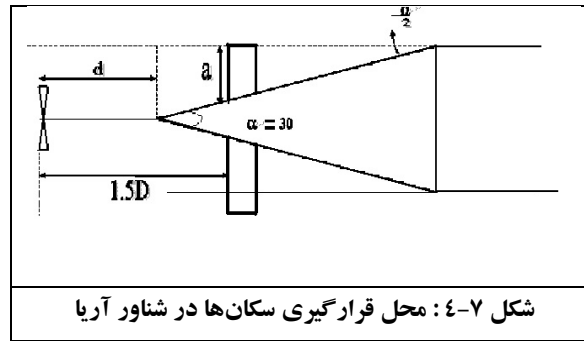
شناور آریا از دو سکان در قسمت انتهایی و در بالا و پایین قسمت مخروطی بدنه جهت پایداری بهتر برخوردار است. مقطع این سکان‌ها نیز از سری فویل‌های NACA و با شماره‌ی NACA0012 می‌باشند.

همانگونه که در فصل دوم بحث شد، موقعیت قرارگیری مناسب سکان‌ها در زیردریایی‌های واقعی بدین‌گونه است که سکان‌ها را در فاصله‌ی $1.5 D$ (D قطر پروانه) از محل قرار گیری پروانه در عقب شناور قرار می‌دهند.

این فاصله از لحاظ هیدرودینامیکی و بازدهی بالا و همچنین کنترل مناسب شناور حائز اهمیت است. بنابراین سکان‌ها بر روی قسمت مخروطی عقب شناور قرار گرفته و فاصله‌ی انتهایی‌ترین نقطه آن‌ها تا پروانه برابر با $1/5$ برابر قطر پروانه خواهد بود، یعنی:

$$L = 1.5 \times D_{propeller} = 1.5 \times 7 = 10.5 \text{ cm}$$

ارتفاع سکان بالای شناور، با توجه به موارد واقعی به گونه‌ای در نظر گرفته می‌شود که ارتفاع آن مماس بر قطور ترین قسمت بدنه‌ی شناور باشد. در شناور آریا با توجه به موقعیت قرار گیری طولی سکان که بر اساس رابطه‌ی قبل مشخص گردید، مطابق شکل ۷-۴ می‌توان محل نصب سکان‌ها را مشخص نمود.



d = فاصله پروانه تا رأس بدنه مخروطی (طول شافت + عرض پروانه)

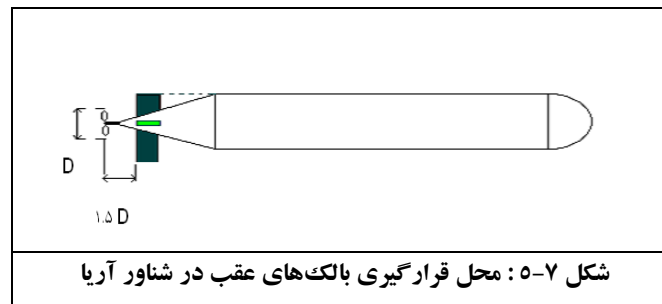
D = قطر پروانه

a = ارتفاع انتهایی سکان

در مورد سکان قسمت پایین به علت آنکه ارتفاع آن عامل موثری در مانور پذیری و پایداری شناور محسوب می‌گردد، ارتفاع آن را بلندتر از ارتفاع سکان بالایی در نظر می‌گیریم.

۳) بالک‌های عقب

در این زیردریایی دو جفت بالک عقب نیز مانند سکان‌ها دارای مقطع NACA0012 می‌باشند. محل نصب آن‌ها نیز درست مشابه محل نصب سکان‌ها، ولی در طرفین بدنه خواهد بود. یعنی فاصله‌ی انتهایی ترین نقطه‌ی آن‌ها از پروانه برابر $1.5 D_{prop}$ است و با سکان‌ها مجموعاً یک حالت صلیبی شکل در قسمت مخروطی عقب زیردریایی را ایجاد می‌کنند. که در شکل ۷-۵ نشان داده شده است.



۴) بالک‌های جلو

شناور آریا دارای دو بالک در قسمت جلو نیز می‌باشد. از آنجا که در منابع، محل دقیقی برای نصب بالک‌های جلو ارائه نگردیده است، ولی برای مانور پذیری و پایداری بهتر تأکید بر هرچه جلوتر بودن محل قرار گیری آن‌ها می‌باشد. لذا بالک‌های جلو در قسمت ابتدایی بدنه‌ی استوانه‌ای میانی و بعد از قسمت بدنه نیم بیضی شکل سینه قرار خواهند گرفت.

۵) پروانه (Propeller)

همانطور که گفته شد شناور آریا دارای سیستم رانش پروانه‌ای است و از یک پروانه در انتهای قسمت مخروطی شکل عقب تشکیل می‌شود. با توجه به مطالب ارائه شده در فصل چهارم در مورد نحوه انتخاب قطر پروانه جهت مناسب بودن تراست تولیدی و نمودار شکل‌های ۴-۱۴ و ۴-۱۵ رابطه بین قطر پروانه و قطر بدنه را می‌توان استخراج کرد. برای این کار به طور معمول از محدوده نسبت زیر استفاده می‌گردد:

$$\frac{D}{H} = 0.4 \sim 0.7$$

بنابراین در شناور آریا با توجه به این محدوده، نسبت فوق در حدود ۰/۵ در نظر گرفته شده، و اندازه قطر پروانه به صورت زیر محاسبه می‌گردد :

$$D = 0.5 \times H$$

$$D = 0.5 \times 14 = 7 \text{ cm}$$

«D» قطر پروانه

«H» قطر بدنه‌ی اصلی

و با توجه به مطالب ارائه شده در فصل چهارم مبنی بر ترجیح استفاده از پروانه‌هایی با تعداد پره‌های فرد در زیردریایی‌ها، از یک پروانه سه پره با قطر ۷ سانتی متر در شناور آریا استفاده می‌گردد.

مکانیزم سطوح کنترلی

سطوح کنترلی این شناور شامل ۴ عدد بالک و ۲ عدد سکان است. دو بالک در قسمت جلوی شناور و تا حد امکان در قسمت ابتدایی سینه، و دو بالک نیز در قسمت عقب شناور و روی قسمت مخروطی شکل قرار دارد. سکان‌های این شناور نیز در قسمت عقب و عمود بر سطح آب قرار دارند.

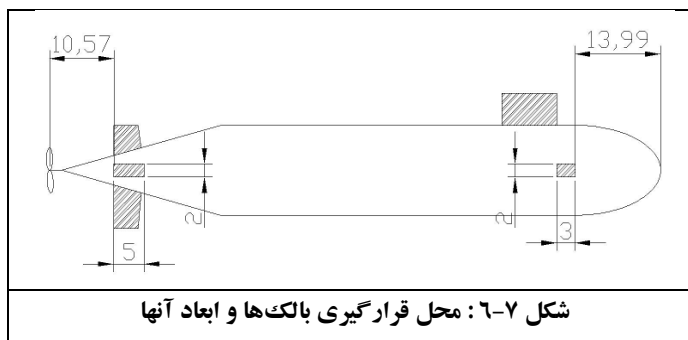
بالک‌های جلو

این بالک‌ها در سرعت‌های پایین مفید هستند، ولی در سرعت بالا کنترل عمق و زاویه پیچ به وسیله بالک‌های عقب و جلو اتفاق می‌افتد؛ این بالک‌ها تا حد ممکن به قسمت سینه شناور نزدیک هستند و بهتر است که در ارتفاع میانی شناور و هم ردیف محور وسط شناور باشند تا جریان سیال کاملاً متقارن گردد.

بالک‌های جلو که در سینه و در دو طرف شناور قرار دارند، به وسیله یک میله هم محورند و تحریک آنها توسط یک سرو موتور انجام می‌شود (در فصل هشتم در این مورد به شرح صحبت می‌شود).

بالک‌های عقب

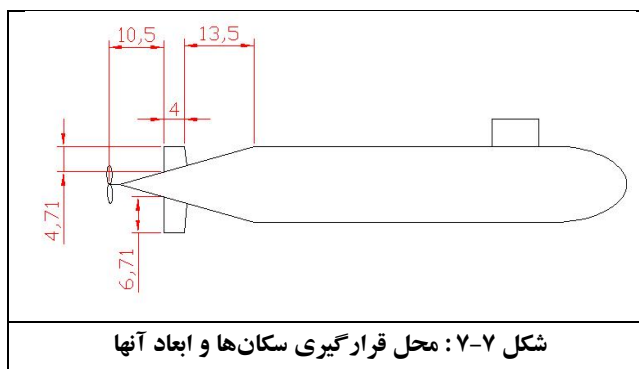
این سطوح کنترلی در قسمت پاشنه شناور قرار داشته و دقیقاً به اندازه $1.5 D$ (D : قطر پروانه) از انتهای ترین نقطه زیردریایی نصب شده‌اند، که کنترل عمق زیردریایی را در حالت بویانسی خنثی بر عهده دارند. لازم به ذکر است که این بالک‌ها هم‌راستا با محور شافت پروانه و در دو طرف بدنه قرار دارند. این بالک‌ها نیز مانند بالک‌های جلو با یکدیگر هم محورند و به وسیله یک سرو موتور تحریک می‌شوند. (شکل ۷-۶)



سکان‌های عقب

سکان‌های طراحی شده این زیردریایی برای رسیدن به مانور بهتر و رسیدن به سطح مطلوب مورد نظر به صورت جفت بوده، که یکی در بالا و دیگری در پایین قسمت مخروطی شکل بدنه قرار گرفته است. برای دور زدن سریع، و بالا بردن قدرت مانور شناور، سکان‌ها کاملاً به صورت متحرک ساخته شده‌اند. سکان بالایی این شناور، هم ارتفاع با قسمت استوانه‌ای و میانی بدنه است و سکان پایینی برای کنترل و پایداری بهینه شناور به اندازه 2cm پایین تر از قسمت استوانه‌ای میانی طراحی شده است.

لازم به ذکر است که سکان‌ها نیز مانند بالک‌های عقب به اندازه‌ی $1.5 D$ (D قطر پروانه) از قسمت عقب شناور فاصله دارند که در شکل ۷-۷ مشخص است.



طراحی و محاسبات ابعاد بالک و سکان

با توجه به مطالب ارائه شده در فصل دوم در مورد محاسبه ابعاد بالک‌ها و سکان‌ها، و بر اساس روابط پیشنهادی در مقاله ۳ سمپوزیم ۱۹۸۳، در زیردریایی آریا به صورت زیر عمل کرده‌ایم. در ابتدا مساحت مورد نیاز هر یک از سطوح را بر اساس طول و قطر بدنه محاسبه، و سپس بر این اساس ابعاد مطلوب جهت رسیدن به نزدیک ترین مساحت محاسبه شده بر اساس این روابط را مشخص می‌نماییم.

$$M = \frac{L \cdot D}{A}$$

A : مساحت سطح کنترلی

L : طول زیردریایی

D : قطر زیردریایی

$$M = \frac{L \cdot D}{A} = 30.6 \Rightarrow 30.6 = \frac{0.98 \times 0.14}{A} \quad \text{برای سکان‌ها}$$

$$\Rightarrow A = 4.48 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$M = \frac{L \cdot D}{A} = 25.6 \Rightarrow 25.6 = \frac{0.98 \times 0.14}{A} \quad \text{برای بالک‌های عقب}$$

$$\Rightarrow A = 5.35 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$M = \frac{L \cdot D}{A} = 57.9 \Rightarrow 57.9 = \frac{0.98 \times 0.14}{A} \quad \text{برای بالک‌های جلو}$$

$$\Rightarrow A = 2.36 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

بعد از محاسبه مساحت بالک‌ها و سکان‌ها به محاسبه اندازه ابعاد آنها می‌پردازیم. قابل توجه است که مقاطع تمامی سطوح کنترلی شناور از نوع فویل‌های NACA0012 می‌باشد و در اینجا ما فقط عرض و طول سطوح را به صورت زیر محاسبه می‌نماییم.

سکان‌ها

عرض سکان‌ها در مقطع آنها 4 سانتی‌متر، ارتفاع آن در سکان بالایی 4.71 سانتی‌متر و در سکان پایینی 6.71 سانتی‌متر است. با توجه مقدار مساحت محاسبه شده در قسمت قبل خواهیم داشت :

عرض * طول = مساحت هر سکان

$$4 \times 4.71 = 18.84 \text{ : مساحت سکان بالایی}$$

$$4 \times 6.71 = 26.84 \text{ : مساحت سکان پایینی}$$

$$18.84 + 26.84 = 45.68 \text{ cm}^2 \text{ : مساحت کل سکان‌ها}$$

که این مقدار تقریباً با مقدار محاسبه شده از فرمول برابر است. (شکل ۷-۷)

بالک‌های جلو

عرض بالک‌های جلو در مقطع آنها 3 سانتی‌متر است و طبق مقدار مساحت محاسبه شده داریم :

$$\frac{23.6}{2} = 11.8 \text{ cm}^2 = \text{مساحت هر کدام از بالک‌های جلو}$$

عرض * طول = مساحت هر بالک

$$11.8 = 3 \times x \Rightarrow x = \frac{11.8}{3} = 3.93 \text{ cm} \cong 4 \text{ cm}$$

بالک‌های عقب

عرض این سطوح در مقطع آنها برابر 5 سانتی‌متر است، بنابراین :

$$\frac{53.5}{2} = 26.75 \text{ cm}^2 = \text{مساحت هر کدام از بالک‌های عقب}$$

$$26.75 = 5 \times x \Rightarrow x = \frac{26.75}{5} = 5.35 \text{ cm} \cong 5.5 \text{ cm}$$

تعیین جنس و روش ساخت بدنه

جنس بدنه در این شناور با توجه به موارد زیر باید انتخاب می‌گردید :

- وزنی که در قسمت محاسبه‌ی وزنی کلی و جانمایی و محاسبات ابتدایی اولیه برای آن در نظر گرفته شده
- مقاومت مورد نیاز برای عمق عملیاتی در نظر گرفته شده
- قابلیت و سادگی ساخت
- امکان ساخت در کارگاه‌های موجود
- دارای سطح صاف و مناسب جهت داشتن کمترین مقاومت اصطکاکی
- مناسب بودن جهت حرکت در محیط آبی
- قابلیت و انعطاف مورد نیاز جهت سوراخ کاری
- و ...

بنابراین با توجه به موارد فوق جنس بدنه از نوع کامپوزیتی انتخاب شد، و امکان ساخت آن در کارگاه‌های مختص و موجود این کار در داخل کشور به سادگی وجود داشت. در ادامه به بررسی علت استفاده از جنس بدنه کامپوزیت در این زیردریایی، و مزایای آن می‌پردازیم.

کامپوزیت‌ها

کامپوزیت‌ها مواد جدیدی هستند، که دامنه وسیعی از خواص را از خود بروز می‌دهند. قابلیت‌های آنها نسبت به تیتانیوم، فولاد و آلومینیوم بسیار بیشتر و بهتر است. کاربردهای این نوع مواد روزبه‌روز در صنایع هوا فضا، دریایی و کاربردهای خاص و حساس در حال گسترش است.

مزایای کامپوزیت‌ها

- ۱- نسبت استحکام به وزن کامپوزیت‌ها بسیار بالاست، به طوری که در استحکام ثابت، ۸۰ درصد نسبت به فولاد و ۶۰ درصد نسبت به آلومینیوم کاهش وزن را از خود نشان می‌دهند. این مواد نسبت چقرمگی به وزن بسیار بالایی نیز دارند.
- ۲- استحکام بالای کامپوزیت‌ها نسبت به سایر مواد باعث می‌گردد تا زیردریایی‌های ساخته شده از این مواد، توانایی دستیابی به عمق‌های بیشتر را به صورت نسبی داشته باشد و در برابر شرایط سخت جنگی و امواج انفجار در زمینه‌های نظامی تحمل بهتری از خود نشان دهند.

ماده	چگالی (g/cm ³)	استحکام تسلیم (MPa)	قطر خارجی (m)	ضخامت دیواره (m)
Aluminium alloy 7075-T6	۲/۹	۵۰۳	۱۱/۹۵	۰/۹۷
Titanium alloy 6-4 STOA	۴/۵	۸۳۰	۱۱/۰۵	۰/۵۲
Composite-GRP Epoxy/S-glass	۲/۱	۱۲۰۰	۱۰/۶۹	۰/۳۵

شکل ۷-۸: مقایسه‌ای بین ضخامت بدنه زیردریایی با قطر داخلی ۱۰ متر از جنس‌های متفاوت برای رسیدن به عمق ۳۰۰۰ متر

- ۳- مقاومت خوردگی کامپوزیت‌ها نسبت به سایر مواد بسیار بالا است. کامپوزیت‌ها اصولاً در اغلب مواد خورنده، خنثی هستند و می‌توانند به بهترین شکل، شرایط و محیط خورنده را تحمل نمایند؛ همچنین امکان ایجاد خواصی نظیر خوردگی انتخابی نیز در آنها وجود دارد.
- ۴- کامپوزیت‌ها اصولاً نسبت به جریان برق عایق هستند ولی با انتخاب نوع فیبر و رزین در آنها می‌توان آنها را هادی جریان الکتریسیته نمود و یا هدایت انتخابی به آنها داد.

- ۵- انبساط حرارتی کامپوزیت‌ها قابل تغییر و تنظیم است. انبساط حرارتی کامپوزیت‌ها را می‌توان با تغییر ترکیب شیمیایی تغییر داد تا با سازه‌های اطراف برابر شده و کمترین تنش در اتصال بین قطعات ایجاد شود. مشکل تنش‌های اعمالی قطعات، مسائلی نظیر خزش و خوردگی تنش را تشدید می‌نماید.
- ۶- کامپوزیت‌ها این قابلیت را دارند که با تنظیم ترکیب و طراحی صحیح، قابلیت جذب انرژی بالا، کم و یا هدایت شونده را داشته باشند. می‌توان با تغییر ترکیب، کامپوزیت‌ها را برای دامنه خاصی از امواج صوتی عایق یا رسانا کرد. با این خاصیت تحمل بدنه در برابر ضربات انفجاری بهتر خواهد شد.
- ۷- اغلب کامپوزیت‌ها تا دمای در حدود ۲۰۰ درجه فارنهایت کارایی خوبی داشته و خواص خود را حفظ می‌کنند. انواع خاصی از کامپوزیت‌ها نیز وجود دارد (Fire Roc) که تا دمای ۲۰۰۰ درجه فارنهایت به خوبی عمل می‌کند.
- ۸- کامپوزیت‌ها را می‌توان به سادگی در شکل‌های پیچیده تولید نمود. و روش‌های ساخت و شکل دهی آنها بسیار کم هزینه و ساده هستند.
- ۹- با طراحی درست در ساخت کامپوزیت‌ها، این مواد حتی در محیط‌ها و شرایط سخت نیز دارای طول عمر بسیار بالایی خواهند شد.
- ۱۰- خصوصیات ذاتی کامپوزیت‌ها مانند روش‌های تولید، موجب می‌گردد تا تولید قطعات از کامپوزیت‌ها هزینه کمی در بر داشته باشد.
- ۱۱- قطعاتی که از چندین قطعه کوچکتر فلزی ساخته می‌شود، در صورتی که از کامپوزیت ساخته شوند، این امکان وجود دارد که به یک قطعه کلی تبدیل شده و در نتیجه هزینه و زمان مربوط به ساخت کاهش پیدا کند.
- ۱۲- کامپوزیت‌ها اصولاً نسبت به امواج الکترومغناطیس شفاف هستند؛ ولی با انتخاب ماده مناسب قابلیت جذب بسیاری از تشعشعات را نیز دارند و می‌توانند انرژی امواج را از منبع منحرف کنند.

۱۳- کامپوزیت‌ها خواص ضد صوت دارند و می‌توانند از عبور امواج مکانیکی از درون زیردریایی به بیرون نیز جلوگیری نمایند. این خاصیت کامپوزیت‌ها موجب اختفا پذیری بیشتر زیردریایی خواهد شد.

۱۴- پروفیل‌های ساندویچی یا ورق‌های ساندویچی نیز از جمله پیشرفت‌های جدید در صنعت مواد است که هم کامپوزیت‌ها و هم سایر مواد مانند فولادها نیز به این صورت تولید شده‌اند. پروفیل ساندویچی شامل دو ورق ساده از ماده مورد نظر است که توسط یک ورق به صورت موج دار، به هم وصل شده‌اند. این پروفیل‌ها دارای خواص ماده اصلی بوده ولی وزن کمتری دارند. و دارای خواص عایق صوتی، ضد آتش و چقرمگی بالا هستند. علی‌رغم وجود این مزایا انتخاب ماده‌ای به این شکل به علت عدم در دسترس بودن منتفی است.

مشخصات کلی شناور

بنابراین تا این قسمت مشخصات زیردریایی آریا را می‌توان به صورت جدول شکل ۷-۹ ارائه نمود.

اطلاعات کلی	مقدار و چگونگی	توضیحات
۱ شکل بدنه	دوکی شکل	متشکل از: ۱- قسمت نیم بیضی شکل سینه به طول ۱۴ cm ۲- قسمت استوانه‌ای شکل میانی به طول ۵۸ cm ۳- قسمت مخروطی شکل پاشنه به طول ۲۶ cm
۲ طول کلی	۱۰۰ سانتی‌متر	از ابتدایی ترین نقطه‌ی سینه تا پروانه
۳ طول بدنه	۹۸ سانتی‌متر	
۴ قطر ماکزیمم بدنه	۱۴ سانتی‌متر	در قسمت استوانه‌ای شکل میانی
۵ حداکثر آب‌خور	۱۱ سانتی‌متر	در حالتی که مخزن بالاست به طور کامل خالی باشد.
۶ وزن سطحی شناور	۱۰/۳ کیلوگرم	
۷ وزن مخزن بالاست	۱ کیلوگرم	در حالت کاملاً پر
۸ وزن غوطه‌وری شناور	۱۱/۳ کیلوگرم	وزن سطحی + وزن مخزن بالاست.
۹ تناژ کلی شناور	۱۱/۳ لیتر	حجم کلی داخلی شناور
۱۰ حجم مخزن بالاست	۱ لیتر	
۱۱ سرعت سطحی	۷ نات	
۱۲ سرعت زیر سطحی	۵ نات	
۱۳ مساحت سطح خیس در حالت غوطه‌وری کامل	۴۲۶۴/۱۲ سانتی‌متر مربع	
۱۴ مساحت سطح خیس در حالت سطحی	۳۵۰۷/۴۵ سانتی‌متر مربع	
۱۵ مساحت مقطع عرضی	۱۵۳/۸۶ سانتی‌متر مربع	
۱۶ قطر پروانه	۷ سانتی‌متر	با احتساب نسبت $D/H = 0.5$
۱۷ طول شافت کلی	۲۶ سانتی‌متر	
۱۸ طول شافت بیرون از بدنه	۳ سانتی‌متر	
۱۹ چگالی آب در طراحی‌ها	1000 kg/m^3	با احتساب آب شیرین استخر

شکل ۷-۹: مشخصات شناور آریا

چگونگی انتخاب جانمایی اجزا شناور

همچنان که در فصل پنجم بیان گردید، در زیردریایی‌ها اصطلاحی به عنوان پایداری جرمی مطرح می‌گردد. بر خلاف شناورها که در آنها با غلتش شناور مرکز بویانسی جابجا شده و این جابجایی وابسته به شکل شناور است و از پایداری شکلی استفاده می‌شود، در زیردریایی‌ها که در حالت کاملاً غوطه‌ور هستند، با غلتش شناور مرکز بویانسی جابجا نمی‌شود و نقطه‌ی ثابتی باقی می‌ماند، و به جای آن در این حالت مرکز ثقل شناور با غلتش آن جابجا می‌شود و مبنای بررسی پایداری شناور در حالت مغروق قرار می‌گیرد.

بر اساس توضیحات ارائه شده در قبل و اینکه انطباق مرکز ثقل بر مرکز بویانسی از لحاظ هیدروپنایمیکی بهتر بوده و با توجه روابط مربوط به محدوده‌ی مناسب مرکز ثقل، به این نتیجه می‌توان رسید که موقعیت قرارگیری مرکز ثقل در زیردریایی‌ها از مواردیست که بسیار حائز اهمیت می‌باشد. و لذا با توجه به این مورد که مکان قرارگیری مرکز ثقل شناور وابسته به جانمایی سیستم‌های داخلی شناور است، اهمیت چگونگی جانمایی اجزاء داخلی شناور مشخص می‌گردد. بر این اساس با توجه به مکانیزم‌ها و سیستم‌های مورد نیاز و همچنین محل متناسب برای هر کدام در محیط داخل بدنه، جانمایی داخلی زیردریایی آریا به صورت زیر انجام پذیرفته است؛

در ابتدا جانمایی چند مورد از سیستم‌های اساسی که محل قرارگیری آنها مشخص است را در نقشه‌های جانمایی در نظر گرفته‌ایم. سپس عوامل دیگر، برای داشتن موقعیت مناسبی از مرکز ثقل کلی شناور و در عین حالی که به ملاحظات جانمایی جهت داشتن یک هندسه خوب از بدنه توجه می‌گردد جانمایی شده‌اند. پس از مشخص شدن شکل کلی شناور و داشتن یک قسمت مخروطی شکل در عقب شناور و با توجه به آنکه موتور تا حد امکان باید به قسمت پاشنه نزدیک باشد جهت داشتن کمترین طول شافت پروانه، موتور الکتریکی را بر اساس محدودیت‌های ابعادی و مشخصات توانی مورد نیاز انتخاب برای آن در قسمت پاشنه جانمایی می‌گردد. به طوری که فضای لازم جهت مکانیزم‌های اتصالی و تحریک سطوح کنترل عقب شناور ایجاد شود.

با جانمایی موتور و مکانیزم‌های کنترل در عقب و قسمت پاشنه با توجه به آنکه دوربین بکار رفته در شناور جهت دید از جلو و زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد و با نظر به ابعاد آن، مکان مناسب جهت جانمایی آن در ابتدایی‌ترین قسمت سینه و متمایل به کف شناور مناسب دیده شده است.

سیستم پرتاب موشک جهت بازدهی مناسب و عملکرد بهتر در حالت سطحی قسمت فوقانی سینه قرار می‌گیرد. با توجه به آنکه آنتن شناور در قسمت برجک قرار خواهد داشت، ترجیح داده شده است که بردهای کنترلی، باتری رانش و همچنین باتری اضافه که برای بخش‌های دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد، در قسمتی در زیر برجک قرار داده شود؛ بدیهی است که بردهای کنترلی نیز در این قسمت برای کاهش میزان سیم کشی‌های الکتریکی کلی قرار خواهند گرفت. یکی دیگر از مواردی که جانمایی و محل قرار گیری آن حائز اهمیت است سیستم بالاست می‌باشد و سعی بر آن است که تا حد امکان در وسط شناور و در محدوده‌ای که مرکز ثقل شناور قرار می‌گیرد، آن را جانمایی کرد. به طوری که بتوان با وزنه‌های اضافی که در قسمت تخمین وزن بدنه و اجزای داخلی آن در نظر گرفته شده است و موارد دیگر تا حد امکان مرکز ثقل آن را در حالت آبگیری بر مرکز ثقل شناور و اجزای داخلی آن منطبق کرد تا از غلتش و ناپایداری شناور در هنگام آبگیری جلوگیری شود. این به آن علت است که در زیردریایی‌ها بر خلاف کشتی‌ها بحث از پایداری جرمی است و نه پایداری شکلی. مورد دیگری که جانمایی آن در محدوده‌ی خاصی باید باشد سیستم تحریک بالک‌های جلو خواهد بود، که در مکان نصب بالک‌های جلو قرار می‌گیرد.

پس از مشخص شدن جانمایی کلی و داخلی موارد ذکر شده با محاسبه‌ی مرکز ثقل این موارد و سیستم‌های مورد نیاز و موجود دیگر، مثل کپسول هوای فشرده و... که باید به گونه‌ای جانمایی شوند، که مرکز ثقل کلی در محدوده مطلوب برای مخزن بالاست قرار گیرد به جانمایی داخلی در شناور پرداخته می‌شود.

علاوه بر موارد فوق مقداری وزن اضافه که قابلیت جانمایی در داخل شناور و جابجایی مکانی و در نتیجه تغییر مرکز ثقل را داشته باشد نیز در نظر گرفته شده است، تا در صورت لزوم در مرحله‌ی ساخت و عمل برای جابجایی مرکز ثقل که عامل مهمی در پایداری شناور محسوب

می‌شود، از آنها استفاده گردد (این موضوع در واقع بیان کاربرد وزنه‌های سربی است که در فصل بعد در مورد چیدمانی آنها صحبت می‌گردد).

محاسبه‌ی مرکز ثقل (جرم) شناور

برای این موضوع مبدا مختصات انتخابی را در قسمت پاشنه در نظر گرفته‌ایم و مرکز ثقل هریک از سیستم‌های داخلی شناور را نسبت به این مبدا سنجیده و با استفاده از فرمول‌های محاسبه مرکز ثقل در یک سیستم پیوسته مطابق زیر، به محاسبه مرکز ثقل کلی زیردریایی پرداخته‌ایم:

$$X_g = \frac{m_1x_1 + m_2x_2 + \dots + m_nx_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

$$Y_g = \frac{m_1y_1 + m_2y_2 + \dots + m_ny_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

$$Z_g = \frac{m_1z_1 + m_2z_2 + \dots + m_nz_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}$$

جدول اقلام وزنی تشکیل شده در زیردریایی آریا که محاسبات مربوط به تعیین مرکز ثقل کل شناور بر اساس آن صورت پذیرفته است در جدول شکل ۷-۱۰ ارائه شده است، و در نهایت با توجه به محاسبات مربوطه در این جدول مختصات مرکز ثقل شناور آریا به صورت زیر قابل ارائه است:

$$X_G = \frac{571820}{10300} = 55.51$$

$$Y_G = \frac{-2685}{10300} = -0.260$$

$$Z_G = \frac{0}{10300} = 0$$

M.Z	M.Y	M.X	Z(m)	Y(m)	X(m)	M(gr)	اقلام وزنی
0	0	84000	0	0	42	2000	وزن بدنه
0	-						
0	2450	63000	0	-3.5	90	700	دوربین و اجزای آن
	-						
0	2250	39000	0	-4.5	78	500	بردهای کنترلی و رادیو کنترلر
0	365	56940	0	0.5	78	730	باطری رانش
0	2250	39000	0	4.5	78	500	باطری اضافی
0	0	30800	0	0	44	700	سیستم بالاست
	-						
0	6000	79500	0	-4	53	1500	کپسول هوای فشرده و شیرهای کنترلی
0	0	21600	0	0	27	800	موتور الکتریکی
0	1200	23200	0	3	58	400	سیستم شلیک موشک
0	1500	25800	0	5	86	300	سیستم تنفس دلفین
0	800	36000	0	2	90	400	سیستم شلیک موشک
0	0	23400	0	0	78	300	سیستم مکانیکی تحریک بالک جلو
0	1200	6800	0	3	17	400	سیستم مکانیکی تحریک بالک عقب
	-						
0	1200	6800	0	-3	17	400	سیستم مکانیکی تحریک سکان
0	1900	15300	0	9.5	76.5	200	سیستم تحریک دکلها
0	0	20680	0	0	44	470	موارد دیگر + وزنه‌های سربی
	-						
0	2685	571820	-	-	-	10300	جمع کلی

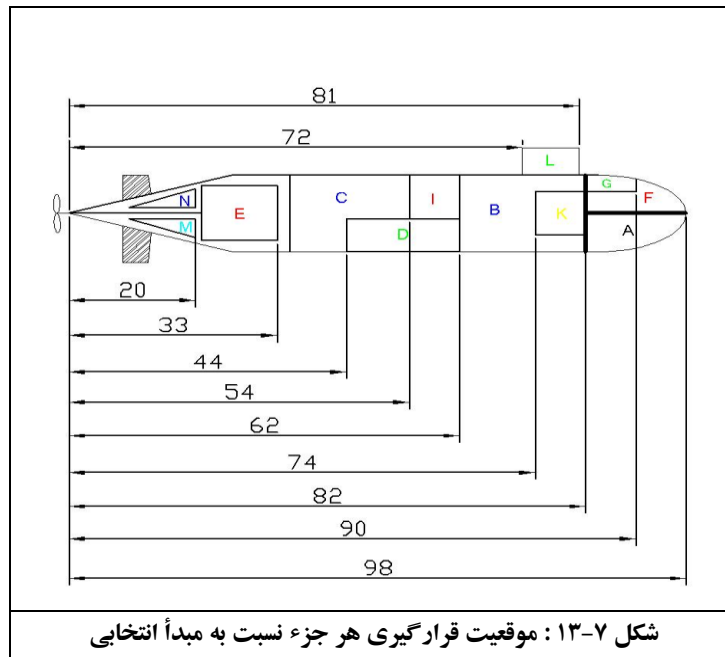
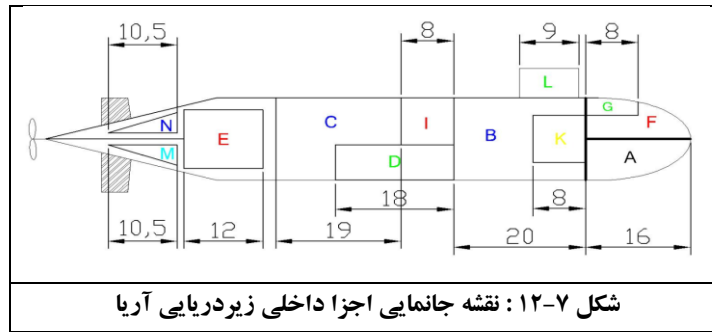
شکل ۷-۱۰: جدول اقلام وزنی در زیردریایی آریا

جانمایی داخلی شناور

پس از پرداختن به ملاحظات جانمایی و مشخص شدن موقعیت قرار گیری هر یک از اجزا داخلی در زیردریایی آریا، می‌توان جانمایی اجزا داخلی را انجام داد و نقشه‌های مربوط به آن را تهیه نمود. لیست نمادهای معرف سیستم‌های به کار رفته در نقشه‌های جانمایی داخلی شناور آریا در جدول شکل ۷-۱۱ و همچنین نقشه‌های جانمایی (در این نقشه‌ها مبدا مختصات در پاشنه در نظر گرفته شده است) در شکل‌های ۷-۱۲ و ۷-۱۳ آمده است.

نماد	اجزا و سیستم مورد استفاده	طول (x)	عرض (z)	ارتفاع (y)
A	دوربین فیلمبرداری و سیستم‌های جانبی	۱۶	۱۴	۷
B	بردهای کنترلی، رادیو کنترلر، باتری سیستم رانش و باتری اضافه	۲۰	۱۴	۱۴
C	سیستم بالاست	۲۰	۱۴	۱۴
D	کپسول هوای فشرده	۱۵	۶	۶
E	موتور الکتریکی	۱۲	۸	۸
F	سیستم مانیتورینگ دما و عمق + سنسور	۱۶	۱۴	۷
I	سیستم شلیک موشک	۸	۸	۶
G	سیستم تنفس نهنگ + لوله‌های پرتاب موشک	۸	۳	۵
K	سیستم مکانیکی تحریک بالک جلو	۸	۸	۸
L	سیستم هوشمند تحریک دکل و آنتن	۹	۵	۴
M	سیستم مکانیکی تحریک سکان	۳.۵	۱۰.۵	۸
N	سیستم مکانیکی تحریک بالک عقب	۳.۵	۱۰.۵	۸
-	بدنه فشار	۹۸	۱۴	۱۴

شکل ۷-۱۱: جدول معرفی نمادهای موجود در نقشه‌های جانمایی



روش غوص و صعود

در این زیردریایی جهت انجام فرآیند غوص و صعود از روش غوص و صعود استاتیکی و بکارگیری مخزن بالاست و یا همان مخزن شناوری (تغییر در نیروی وزن) استفاده شده است.

چون توانایی غوص زیردریایی آریا در حالت ایستایی برای ما مهم بوده، از روش غوص و صعود دینامیکی استفاده نگردیده است، بنابراین نوع غوص و صعود در این شناور استاتیکی می‌باشد. در ادامه با توجه به مطالب ارائه شده در فصل سوم، به طراحی سیستم غوص و صعود زیردریایی آریا و چگونگی تعیین حجم مناسب مخزن بالاست آن بر اساس ملاحظات مربوطه می‌پردازیم.

تعیین ابعاد مخزن بالاست

می‌دانیم برای رسیدن به حالت بویانسی خنثی، باید رابطه زیر برقرار باشد :

$$F_B = mg$$

$$V \times \rho_w \times g = (m_1 + M) \times g$$

V : حجم کلی زیردریایی (حجم آببند بدنه)

ρ_w : چگالی آب

m_1 : جرم آبگیری مخزن بالاست

M : جرم کلی زیردریایی

g : شتاب گرانشی زمین

حجم کلی و داخلی شناور چنان‌که در بحث‌های قبلی ارائه گردید، برابر با 11.3 Lit می‌باشد؛ چگالی آب (ρ_w) را آب شیرین استخر در نظر گرفته ($1000 \frac{kg}{m^3}$) و جرم کلی زیردریایی نیز برابر با ۱۰/۳ kg می‌باشد (همانطور که از جدول ارقام وزنی مشخص است). لذا می‌توان جرم آب گیری مخزن بالاست را به صورت زیر محاسبه نمود :

$$0.0113 \times 1000 = (m_1 + 10.3) \Rightarrow m_1 = 1 \text{ kg}$$

بنابراین با توجه به آنکه آبیگری مخزن از آب استخر با چگالی آب شیرین (1000 kg/m^3)

در نظر گرفته شده است، می توان حجم مورد نیاز برای مخزن بالاست را به صورت زیر محاسبه کرد :

$$V = \frac{m_1}{\rho} = \frac{1}{1000} = 0.001 \text{ m}^3$$

لذا با توجه به توضیحات فصل سوم، محدودیت طولی در نظر گرفته شده در قسمت جانمایی داخلی شناور برای سیستم بالاست و تجهیزات آن و در نظر گرفتن مخزن بالاست به صورت استوانه‌ای و با قطر ۱۳ cm، میزان طول مورد نیاز مخزن به صورت زیر قابل حصول است :

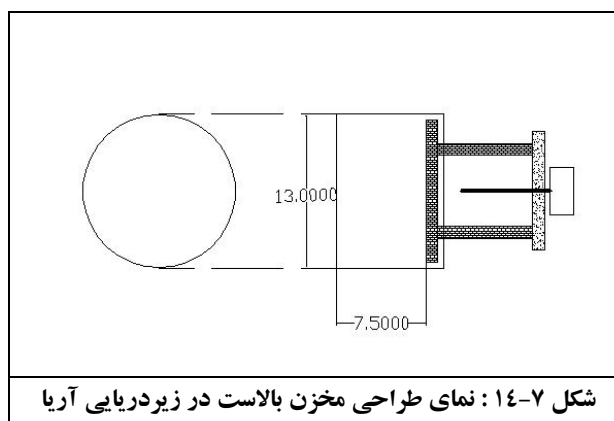
$$V = \frac{\pi}{4} d^2 \cdot L$$

$$\Rightarrow L = \frac{4V}{\pi d^2} = \frac{4 \times 0.001}{3.14 \times 0.13^2} = 0.0753 \text{ m}$$

بنابراین طول مخزن استوانه‌ای بالاست در حدود 7.5 cm در نظر گرفته شده است. در زیردریایی آریا به علت کوچک بودن آن، نیاز به کنترل دقیق بر مقدار آبیگری و تخلیه مخزن جهت جلوگیری از غوص و صعود یکباره و همچنین حجم کم مخزن بالاست (در حدود ۱۰۰۰ سی‌سی) ترجیح داده شد که از سیستم سیلندر و پیستون برای این عمل استفاده گردد. سیستم مخزن بالاست مورد نظر در این شناور به صورت سیلندر پیستونی است که آبیگری و تخلیه‌ی آن توسط حرکت محوری پیستون در داخل یک سیلندر مخزنی استوانه‌ای صورت می‌پذیرد. حرکت پیستون به سمت جلو سبب عمل تخلیه مخزن و حرکت به سمت عقب آن سبب عمل مکش و آبیگری مخزن می‌شود.

سیستم کنترل و حرکت پیستون توسط یک موتور متصل به یک شافت رزوه‌ای که در یک صفحه‌ی مهره‌ای قرار گرفته، و با چرخش ساعتگرد و پادساعتگرد شافت این صفحه به سمت جلو و عقب حرکت می‌کند، انجام می‌پذیرد. این صفحه توسط چهار اتصال به پیستون مخزن

بالاست متصل می‌گردد و سبب حرکت محوری (رفت و برگشتی) پیستون در داخل سیلندر می‌شود. (شکل ۷-۱۴)



هدایت سروو موتور بالاست توسط سیستم‌های کنترلی خواهد بود که می‌توان با هدایت آن میزان حجم و در نتیجه مقدار جرم آبگیری مخزن را کنترل کرد. بنابراین با تغییر این جرم و نیروی وزن زیردریایی و به کمک سطوح کنترلی جلو و عقب (بالک‌ها) می‌توان بر غوص و صعود شناور تسلط لازم را داشت.

همچنین با استفاده از این سیستم، می‌توان با آبگیری مناسب به حالت بویانسی خنثی رسید و عملیات هاورینگ و کف‌نشینی را در شناور آریا اجرا کرد. با عنایت به اینکه استفاده از سیستم بالاست دارای هوای فشرده و در حد زیردریایی‌های کوچک، قابلیت کنترل دقیق بر حجم آبگیری را ندارد، این ویژگی (استفاده از سیستم بالاست سیلندر پیستونی) از امتیازات شناور آریا محسوب گشته است.

محل قرار گیری مخزن بالاست

نکته مهم دیگری که در مورد سیستم بالاست باید بدان توجه گردد، محل قرار گیری سیستم و مخزن بالاست است. در واقع همانطور که در مباحث ملاحظات جانمایی ذکر گردید، مخزن بالاست تا جای ممکن باید منطبق بر مرکز ثقل شناور جانمایی گردد؛ چراکه در غیر این

صورت با آبیگری در مخرن بالاست، شاهد ایجاد زوایای هیل و تریم (مراجعه شود به فصل پنجم) و یا هر دوی آنها به صورت تلفیقی در زیردریایی خواهیم بود که سببی بر خارج شدن شناور از حالت تعادل و پایداری است.

طراحی سیستم رانش و انتخاب موتور

در فصل چهارم به توضیح، ملاحظات و چگونگی طراحی و انتخاب سیستم رانش پروانه‌ای پرداخته شد. در این قسمت سعی بر آن است که با توجه به مطالب ارائه شده در فصل چهارم، و در هشت مرحله، روند طراحی سیستم رانش و انتخاب موتور در زیردریایی آریا بیان گردد. در زیردریایی آریا که سیستم رانش پروانه‌ای، سرعت سطحی ۵ گره (نات - knot) و سرعت زیرسطحی ۷ گره برای آن در نظر گرفته شده، با توجه به شکل و ابعاد بدنه مفروض (شکل تقریباً دوکی با قطر حداکثر ۱۴ سانتی متر و طول یک متر) و توجه به نمودارهای توان-سرعت، و مقاومت-سرعت زیردریایی در حرکت‌های سطحی و زیر سطحی که در مراحل طراحی حاصل شده است؛ می‌توان حداکثر توان مورد نیاز سطحی و زیرسطحی را مشخص نمود (جهت آشنایی با محاسبات هیدرودینامیکی در زیردریایی آریا و محاسبه مقدار مقاومت و توان رانش در آن مراجعه شود به منبع [۳]). البته در این زیردریایی حداکثر توان، مربوط به حرکت زیرسطحی می‌باشد؛ چرا که سرعت حرکت زیرسطحی در نظر گرفته شده بیشتر از حرکت سطحی است.

همانطور که در قبل گفته شد، در مورد رابطه‌ی توان رانش و سرعت حرکت در زیردریایی تناسب زیر را داریم :

$$P \propto V^3$$

بنابراین در این زیردریایی چون سرعت زیرسطحی (۷ گره) بیشتر از سرعت سطحی (۵ گره) بوده، حداکثر توان رانش در حرکت زیرسطحی بیشتر است. هر چند که در حالت کلی مقدار نیروی مقاوم در حرکت سطحی در یک سرعت یکسان بیشتر از حرکت زیرسطحی خواهد بود و عامل اصلی آن وجود مقاومت موج سازی و اضافه شدن آن به سایر مؤلفه‌های مقاومت در

حرکت سطحی است. در ادامه روند انتخاب و طراحی سیستم رانش زیردریایی آریا در قالب هشت مرحله و به صورت گام به گام بیان می‌گردد.

مرحله اول

با مشخص بودن تقریبی از توان مؤثر مورد نیاز از طریق محاسبات هیدرودینامیکی (در حدود ۲۵۰ وات)، به طراحی و انتخاب سیستم رانش مطلوب پرداخته‌ام. در مرحله‌ی اول با توجه به الزام استفاده از موتورهای الکتریکی و سیستم رانش الکتریکی با انرژی باتری، نوع موتور کاملاً مشخص می‌گردد که باید از نوع الکتریکی باشد.

مرحله دوم

در مرحله‌ی بعد، با بررسی انواع موتورهای الکتریکی برای بازدهی بیشتر و مصرف کمتر ترجیح داده شد که از نوع موتورهای بدون جاروبک (Brushless) استفاده گردد. لذا تا این مرحله به دنبال موتورهایی از نوع الکتریکی و Brushless با محدوده‌ی توان ۲۵۰ وات بوده و پس از تهیه‌ی لیست موتورهایی با این مشخصات به سراغ محدودیت‌های دیگر می‌رویم. اولین بحث در این شناور بحث ابعاد و وزن موتور است، با توجه به مشخص بودن ابعاد شناور امکان انتخاب هر موتوری وجود ندارد، بنابراین دایره‌ی موتورهای موجود با مشخصات قبل براساس توجه به ابعاد و وزن موتوری که قابلیت جانمایی در داخل بدنه را دارد محدودتر می‌گردد. البته در مواردی که محدودیت ابعاد شناور از جانب کارفرما ایجاد نمی‌گردد. طراح با محدودیت کمتری در این زمینه مواجه است و با آزادی عمل بیشتری می‌تواند شرایط بهینه‌ای را در ابعاد بدنه، جهت جانمایی موتور مطلوب انتخاب کند.

مرحله سوم

در این مرحله به بررسی امکان دسترسی و تهیه‌ی موتورهای انتخابی پرداخته و آن دسته از مواردی که دسترسی و تهیه‌ی آن با توجه به شرایط مختلف از قبیل هزینه بالا، عدم موجود بودن در بازار و موارد دیگر امکان پذیر نمی‌باشد، کنار گذاشته می‌شود. بنابراین تا این مرحله با

لیست موتورهای با مشخصات قبل که امکان دسترسی، خرید و تهیه آنها وجود دارد مواجه هستیم.

مرحله چهارم

این مرحله بر می گردد به مشخصات منبع انرژی مورد نیاز موتور، یعنی همان باتری های الکتریکی که مهمترین مشخصات آن دو پارامتر ولتاژ و میزان آمپر ساعت آن می باشد. با توجه به انتخاب باتری رانش با مشخصات ولتاژی ۲۲ ولت و جریانی ۵ آمپر- ساعت، باید لیست موتورهای قبل را به موتورهایی که ولتاژ کاری آنها ۲۲ ولت می باشد محدودتر کرد و همچنین توجه نمود که موتورهایی که جهت رسیدن به توان مطلوب ما با ولتاژ ۲۲ ولت، مقدار آمپر کمتری می کشند مناسب تر خواهند بود. بدین ترتیب و با در نظر گرفتن این شرایط لیست ابتدایی ما به موارد محدودی می رسد که با توجه به ملاحظات چند مرحله بعد خواهیم توانست بهترین انتخاب از میان آنها جهت استفاده به عنوان موتور رانش که قسمت اصلی سیستم رانش را تشکیل می دهد، صورت داد.

مرحله پنجم

مرحله بعدی، انتخاب پروانه می باشد. این مرحله یکی از مراحل مهم بوده که معمولاً در شرایط شناورهای مدل مثل زیردریایی آریا روند خاص و مدونی نداشته و بیشتر به صورت تجربی، و به شدت به چند مرحله بعد وابسته است. اما اصولی که به صورت کلی باید به آنها در این زمینه توجه کرد عبارت است از؛ آنکه تعداد پره های پروانه فرد بوده، تا جای امکان (با توجه به محدودیت گشتاور پروانه) بایستی قطر پروانه انتخابی را بیشتر در نظر گرفت، دارای جنس مقاوم در مقابل خوردگی، توجه به مقدار ضرایب آن (k_t و k_q)، توجه به مشخصات هندسی آن مثل زاویه گام (pitch)، زاویه کجی (ریک - Rake)، زاویه شلاقی (اسکیو - skew) و اثرات آنها، به عنوان مثال زاویه ی اسکیو در کل کاهش بازدهی پروانه را در پی دارد، اما سببی بر کاهش کاویتاسیون و در نتیجه سرو صدا خواهد بود. بنابراین اگر مباحث عدم ردیابی مطرح باشد، حتماً پروانه باید دارای زاویه اسکیو بوده همانطور که پروانه های زیردریایی های نظامی دارای زاویه ی اسکیو هستند.

استحکام سازه‌ای پروانه، ضخامت بلیدها، پروفیل بلیدها، مشخصات هندسی بلیدها و ... موارد دیگری هستند که باید در انتخاب پروانه به آنها توجه گردد.

مرحله ششم

در این قسمت با توجه به نیروی تراست مورد نیاز که در مباحث محاسبات هیدرودینامیکی به دست می‌آید (مرجع [۳]) و با در نظر گرفتن رابطه تراست تولیدی توسط پروانه که در فصل چهارم ارائه گردید. سعی بر آن می‌شود تا شرایط مناسب در پارامترهای مختلف و مؤثر در تراست تولیدی، جهت رسیدن به نیروی مطلوب با توجه به مرحله‌ی قبل و مراحل بعد برقرار گردد.

مرحله هفتم

این مرحله نیز همانطور که در قبل گفته شد، کاملاً به دو مرحله‌ی قبل وابسته می‌باشد و عبارت است از تعیین گشتاور مورد نیاز موتور که از روی گشتاور پروانه تعیین می‌گردد. همچنین Rpm موتورهای انتخابی تا مرحله‌ی چهارم لزوم و یا عدم لزوم استفاده از گیربکس را نیز برای ما مشخص می‌کند؛ زیرا در این مرحله مشخص می‌شود که در صورت عدم جوابگویی گشتاور موتور جهت چرخش پروانه باید از گیربکس برای رسیدن به یک Rpm و گشتاور مطلوب و مورد نیاز استفاده شود. در واقع سه مرحله‌ی پنجم، ششم و هفتم را نمی‌توان از هم مستقل دانست و باید این سه مرحله را با یکدیگر مورد بررسی قرار داد تا به انتخاب یک پروانه و موتور مطلوب جهت تحریک آن در عین ارضای تراست مورد نیاز رسید.

مرحله هشتم

در نهایت در این مرحله پس از مشخص شدن مقدار گشتاور و Rpm موتور به انتخاب شافت و یاتاقان‌های نگه دارنده‌ی میانی آن، از لحاظ تعداد مورد نیاز و نوع مطلوب آن می‌پردازیم؛ همچنین یاتاقان آببند انتهایی را مشخص می‌کنیم و در انتخاب این موارد توجه به محدوده‌ی بازدهی این یاتاقان‌ها و توضیحات مربوطه که در فصل چهارم ارائه گردید، جهت تخمین بازدهی کل، و در نتیجه توان مؤثر و انتخاب موتور ضروری است.

در نهایت مشخصات سیستم رانش شناور آریا را می‌توان به صورت جدول شکل ۷-۱۵ بیان نمود.

مشخصات		ردیف	عنوان اجزا
الکتریکی	نوع	1	موتور رانش
out runner – Brashless	دسته بندی	2	
300 w	توان	3	
7000 Rpm	دور	4	
10 cm	ابعاد طولی	5	
8 cm	ابعاد قطری	6	
2.8 N.m	گشتاور	7	
3	تعداد پره	1	پروانه
70 mm	قطر	2	
از نوع استیل با طول ۲۶ cm و قطر ۸ cm		1	شافت
از نوع بلبرینگ‌های دور بالا		1	یاتاقان‌های میانی
شامل دو بلبرینگ دور بالا		1	یاتاقان آبند انتهای
شامل دو کاسه نمد		2	
یک بوش برنجی که جهت قرارگیری کاسه نمدها و بلبرینگ‌ها تراشیده شده و در آن قرار می‌گیرند		3	

شکل ۷-۱۵: جدول مشخصات سیستم رانش زیردریایی آریا

فصل هشتم

سیستم‌ها و روش ساخت یک

زیردریایی مدل

مقدمه

پس از آنکه در فصل قبل به روند طراحی زیردریایی آریا بر اساس ملاحظات و نکات ذکر شده در فصل‌های اول تا ششم پرداختیم، در این فصل با توجه به طراحی صورت گرفته، فرآیند و ساخت زیردریایی آریا را دنبال می‌کنیم. در فصل حاضر سعی شده است که تا جای ممکن کلیه اجزاء و قطعات این شناور مورد بررسی و توضیح قرار گیرند و شرح چگونگی ساخت قسمت‌های مختلف، کارایی هر کدام از سیستم‌ها، نحوه‌ی عملکرد آنها، چگونگی تهیه قطعات، و همچنین روند مونتاژ اجزاء و سیستم‌های مختلف ارائه گردد. همچنین در مراحل مختلف با ارائه‌ی عکس‌های واقعی از قسمت‌های متعدد طرح، تلاش گردیده است که تصویر مناسبی از روند ساخت و مونتاژ قطعات و اجزاء در شناور آریا ارائه شود تا در موارد مشابه مخاطبان بتوانند با وجود این آشنایی با قطعات و روند ساخت، و نیز ابتکار عمل‌های فردی توانایی خود را در رسیدن به هدف مطلوب در امر طراحی و ساخت افزایش دهند.

ساخت بدنه

پس از مشخص شدن شکل بدنه، ابعاد اصلی آن و تهیه‌ی نقشه‌های بدنه در سه نمای مختلف در نرم افزار solid work مراحل ساخت بدنه با توجه به انتخاب جنس بدنه از نوع کامپوزیت آغاز می‌گردد. در اولین مرحله‌ی ساخت نقشه‌ی نما از بالا و نما از پهلوی شناور در مقیاس یک به یک بر روی کاغذ، چاپ و تهیه گردیده و پس از جدا کردن محدوده‌ی این بدنه از کل کاغذ نقشه، طرح آن روی یک ورقه‌ی چوبی از نوع MDF که ابعاد آن قبلاً جهت قرارگیری روی قالب ساخت گچی به صورت یک مستطیل با ابعاد 30×120 سانتی متری تهیه شده بود، کاملاً ثابت شد. توجه به این نکته بسیار حائز اهمیت می‌باشد که می‌بایست خط مرکزی نقشه کاملاً روی خط مرکزی ورقه قرار گرفته و در کل نقشه در وسط ورقه چسبیده شود.

پس از این کار، محدوده‌ی مشخص شده از بدنه، که در مقیاس یک به یک روی ورقه MDF چسبانده شده است را توسط یک اره‌ی عمودبر با زاویه‌ی تیغه ۴۵ درجه نسبت به محور تیغه، و در راستای ضخامت ورقه بریده گردید تا پروفیل چوبی لازم جهت تهیه‌ی قالب گچی برای

کامپوزیت کاری آماده شود. در واقع با استفاده از این ورقه‌ی چوبی و استفاده از CNC، طرح لازم جهت تهیه‌ی قالب گچی مهیا شده و اقدام به ساخت قالب گچی با استفاده از گچ دندان پزشکی (به علت ایجاد سطحی صاف پس از خشک شدن) می‌گردد. در شکل ۸-۱ نمایشی از نحوه‌ی برش و تهیه‌ی پروفیل چوبی مشاهده می‌شود، و در شکل ۸-۲ قالب گچی جهت ساخت نیم بدنه‌های کامپوزیتی نشان داده شده است.



شکل ۸-۱: پروفیل چوبی بدنه



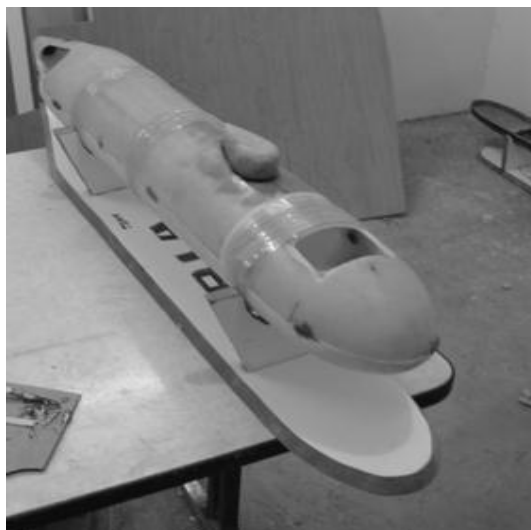
شکل ۸-۲: قالب گچی نیم بدنه

پس از تهیه‌ی قالب گچی نیم بدنه، از آن جهت انجام فرآیند کامپوزیت کاری استفاده می‌گردد. بدین صورت که با استفاده از رزین و الیاف شیشه‌ای موجود کار آغاز و با قرار دادن لایه به لایه‌ی الیاف و کشیدن رزین روی آنها در داخل قالب گچی نیم بدنه‌ی زیردریایی ساخته می‌گردد. در ساخت بدنه این زیردریایی از ۶ لایه الیاف استفاده شده است. شکل ۳-۸ نحوه این لایه گذاری را در داخل قالب گچی نشان می‌دهد.



شکل ۳-۸: لایه گذاری کامپوزیتی در داخل قالب گچی

پس از ساخت دو نیم بدنه‌ی شناور در داخل همین قالب (به سبب تقارن بدنه نسبت به صفحه افقی مرکزی) و مشخص شدن جانمایی داخلی و استندهای لازم، دو نیم بدنه توسط فرآیند کامپوزیت کاری به هم چسبانده و بدنه‌ی کلی کامل می‌گردد. همچنین در مرحله‌ی قبل از چسباندن دو نیم بدنه، ایجاد دو دریچه‌ی لوبیایی شکل در انتها، و یک دریچه‌ی تقریباً مربعی در قسمت جلویی نیم بدنه بالایی جهت دسترسی به فضای داخلی بدنه، صورت می‌پذیرد. شکل ۴-۸ نمایی از این دریچه‌ها را در شکل کامل بدنه نشان می‌دهد.

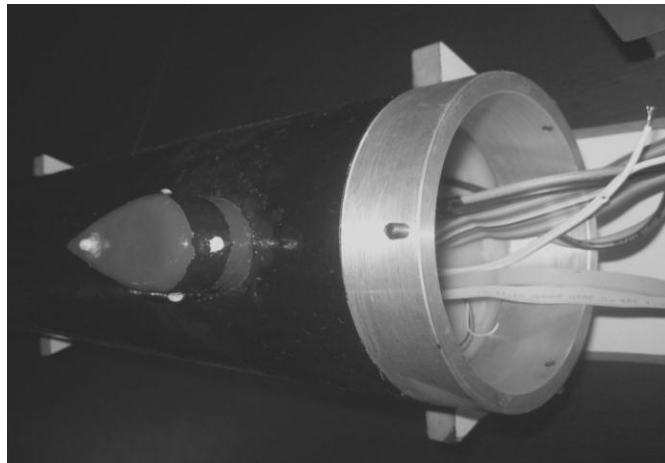


شکل ۸-۴: نمای دریچه‌های دسترسی به فضای داخل
زیردریایی در قسمت جلو و عقب

پس از تهیه‌ی بدنه‌ی کامل زیردریایی به صورت شکل ۸-۴، در قسمت اتصال بدنه نیم بیضی شکل سینه‌ی جلویی و بدنه‌ی میانی، بدنه را در راستای عرضی برش داده و سطح مقطع حاصل که به صورت دایره خواهد بود، برای چسباندن فلنج آلومینیومی ساخته شده برای ایجاد یک دریچه‌ی آب‌بند برای دسترسی به فضای داخل (که قابلیت باز و بسته شدن را دارا است) محیا می‌گردد. این فلنج آلومینیومی به صورت دو تکه می‌باشد که هر تکه‌ی آن به یکی از دو قسمت جدا شده‌ی بدنه، متصل می‌شود که در شکل‌های ۸-۵ و ۸-۶ همراه با نحوه‌ی آب‌بندی آن مشاهده می‌شود.



شکل ۸-۵: قسمت فلنج آلومینیومی متصل به سینه



شکل ۸-۶: قسمت فلنج آلومینیومی متصل به بدنه میانی

پس از اتمام کلیه فرآیندهای ساخت بدنه‌ی کامپوزیتی، بدنه‌ی آماده شده را جهت داشتن یک سطح صاف و تاثیر مثبت آن در کاهش مقاومت اصطکاکی مورد بتانه کاری قرار داده، و با انجام سمباده زنی‌های لازم در نهایت به رنگ زدن آن پرداخته می‌شود. (شکل‌های ۷-۸ و ۸-۸)



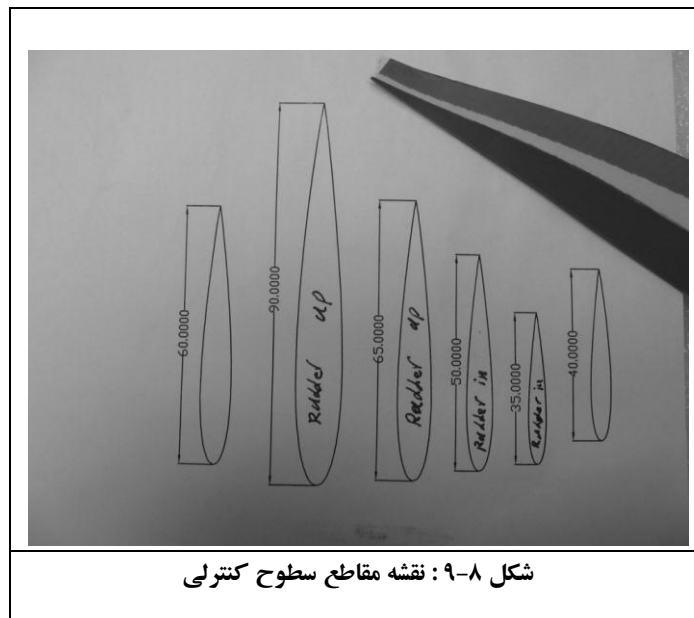
شکل ۷-۸: صاف کاری‌های سطح بدنه زیردریایی



شکل ۸-۸: فرآیند رنگ زدن بدنه زیردریایی

سطوح کنترلی

پس از ساخت بدنه، نوبت به ساخت سطوح کنترلی می‌رسد. در شناور آریا سطح مقطع سطوح کنترلی (بالک‌ها و سکان‌ها) از نوع NACA0012 انتخاب شده‌است. پس از بررسی نمودارهای لیفت و مشخصات این فویل در نرم افزار طراحی فویل (design foil) و مشخص کردن طول کورد آن‌ها بر حسب مساحت مورد نیاز سطح کنترلی (که در مراحل طراحی جزئیات و در فصل قبل در مورد چگونگی تعیین این پارامتر صحبت شد) شکل این فویل‌ها در نرم افزار با دادن مشخصات آن تهیه گردیده و سپس با چاپ این مقاطع با مقیاس یک به یک، نقشه‌ی اصلی سطح مقطع ریشه و بالای هر یک از سطوح کنترلی مهیا می‌گردد، (شکل ۸-۹). سپس با چسباندن مقاطع ریشه و بالای هر یک از سطوح کنترلی که از مابقی کاغذ جدا شده است بر روی یک قطعه چوب با ارتفاع مورد نیاز برای رسیدن به مساحت مطلوب سطوح کنترلی، مطابق شکل ۸-۱۰ محدوده (Box) سطح کنترلی مشخص می‌گردد.

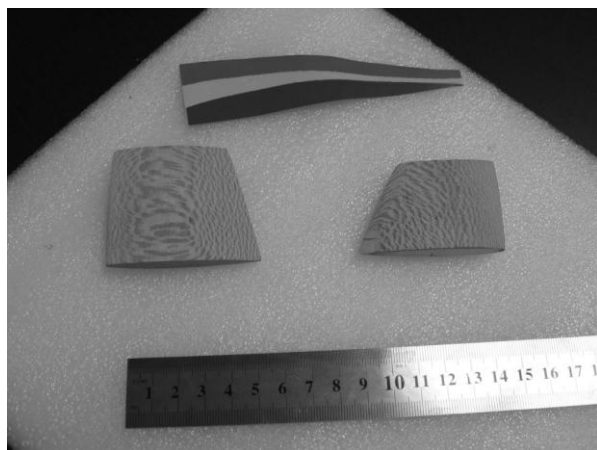


شکل ۸-۹: نقشه مقاطع سطوح کنترلی



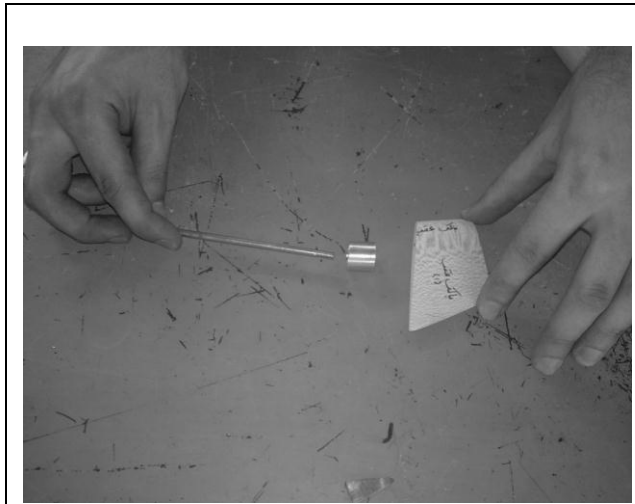
شکل ۸-۱۰: تهیه باکس اولیه سطوح کنترلی

پس از تهیه‌ی باکس هریک از سطوح کنترلی، با استفاده از فرآیند سوهان کاری و صاف کاری طرفین این باکس‌ها، شکل کلی سطح کنترلی به صورت شکل ۸-۱۱ بدست می‌آید.



شکل ۸-۱۱: آماده شدن سطوح کنترلی پس از سوهان کاری

با آماده شدن مدل چوبی سطوح کنترلی، این سطوح توسط یک رزین کامپوزیتی به صورت کامل مورد پوشش قرار گرفته تا به صورت کامل در مقابل آب نفوذ ناپذیر گردند و قابل استفاده در سیال آب و زیردریایی باشند. پس از این مرحله شافت مورد نیاز این سطوح که از جنس استیل و با قطر ۴ میلی‌متر در نظر گرفته شده‌است، در داخل هر کدام از این سطوح کاملاً فیکس می‌گردد و جهت ایجاد یک تکیه گاه برای قرار گیری سطوح کنترلی در بدنه و از همه مهم‌تر آب‌بندی شافت آنها در محل خروج از بدنه از یک بلبرینگ و کاسه نمد استفاده شد که در شکل ۸-۱۲ قابل مشاهده است.



شکل ۸-۱۲: نحوه اتصال شافت سطوح کنترلی و تکیه گاه آن

در نهایت پس از قرارگیری سطوح کنترلی روی بدنه مطابق شکل ۸-۱۳ و طراحی لینک‌های خاص اتصال جهت انتقال حرکت سرو موتورها به سطوح کنترلی و حرکت دادن آنها که در شکل ۸-۱۴ نشان داده شده‌است فرآیند ساخت و جایگذاری سطوح کنترلی در بدنه به اتمام می‌رسد.



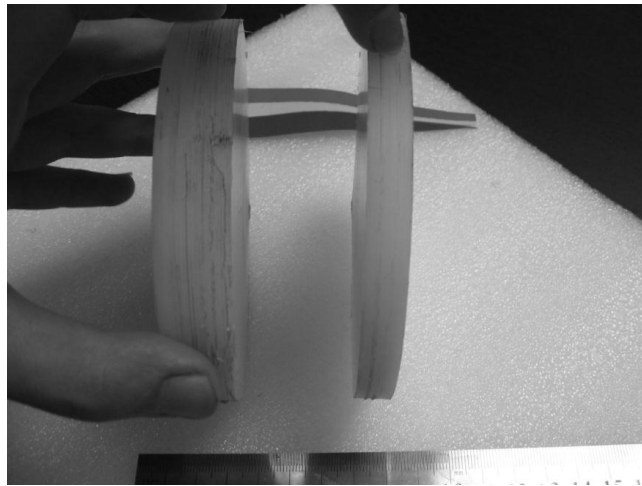
شکل ۸-۱۳: قرار گرفتن سطوح کنترلی روی بدنه



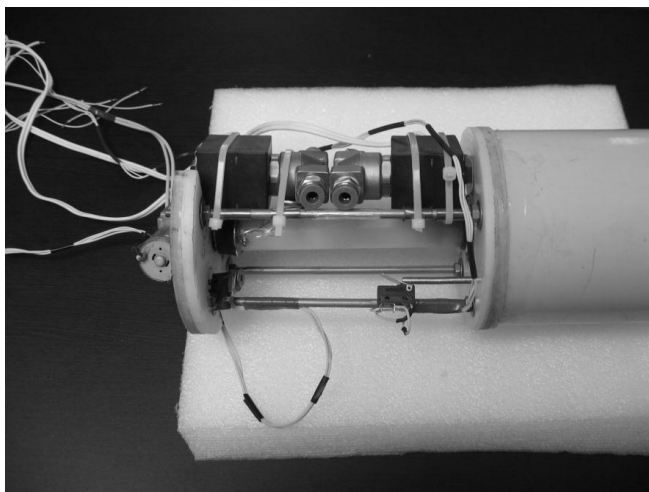
شکل ۸-۱۴: لینک‌های اتصال و انتقال حرکت سرو موتور به سطوح کنترلی

استندهای داخلی

در زیردریایی آرپا برای ایجاد یک شاسی کلی در داخل بدنه جهت قرار دادن اجزا بر روی آن، با توجه به مقطع دایره‌ای داخل بدنه از یک سری گرده‌ی تفلونی استفاده می‌گردد. این گرده‌ها در ضخامت‌های مختلف با توجه به استحکام لازم برای تجهیزاتی که بر روی آن‌ها نصب می‌گردند، تهیه شده‌اند. به عنوان مثال جهت سوار کردن موتور رانش از گرده‌ی ۲ سانتی‌متری و برای استندهای بالاست از گرده‌های ۱ سانتی‌متری استفاده شد. این گرده‌ها به وسیله‌ی میله‌های واسطه به یکدیگر متصل شده و یک مجموعه پیوسته و شاسی واحدی که اجزا روی آن‌ها سوار می‌شوند، را تشکیل می‌دهند. شکل ۸-۱۵ نمایی از این استندهای تفلونی، و شکل ۸-۱۶ قسمتی از نحوه‌ی قرارگیری اجزا روی این شاسی‌ها را نشان می‌دهد.

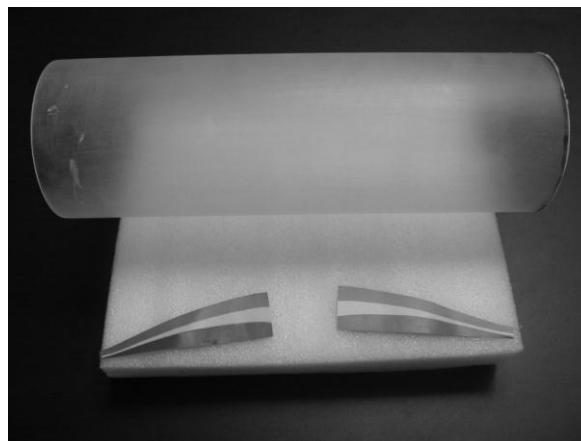


شکل ۸-۱۵: استندهای تفلونی داخل بدنه



شکل ۸-۱۶: نحوه اتصال استندهای تفلونی به یکدیگر و قرارگیری اجزا روی آنها

در بحث استندهای داخلی به دلیل آنکه برخی از اجزا مانند بردهای الکترونیکی، موتور رانش و درایور آن از حساسیت بیشتری برخوردار می‌باشند، به منظور جلوگیری از عدم آسیب احتمالی به آنها در فرآیندهای مونتاژ و دیمونتاژ، از استندهای محافظ از جنس پلکسی گلاس استفاده شده‌است. این اجزای حساس پس از سوار شدن بر روی شاسی‌های خود که غالباً گرده‌های تفلونی هستند، در داخل این محافظ‌های پلکسی گلاسی قرار می‌گیرند.



شکل ۸-۱۷: استند محافظی پلکسی گلاسی

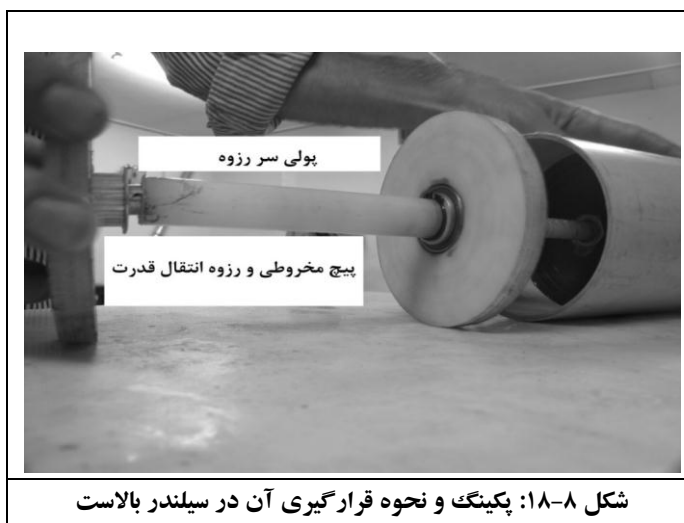
سیستم بالاست

در زیردریایی آریا چنان که در فصل قبل گفته شد، به علت کوچک بودن زیردریایی و همچنین نیاز به کنترل دقیق بر مقدار آبیگری و تخلیه مخزن بالاست، جهت جلوگیری از غوص و صعود یکباره و همچنین حجم کم مخزن بالاست (در حدود ۱۰۰۰ سی‌سی) از سیستم سیلندر و پیستون جهت آبیگری و تخلیه مخزن استفاده گردیده‌است.

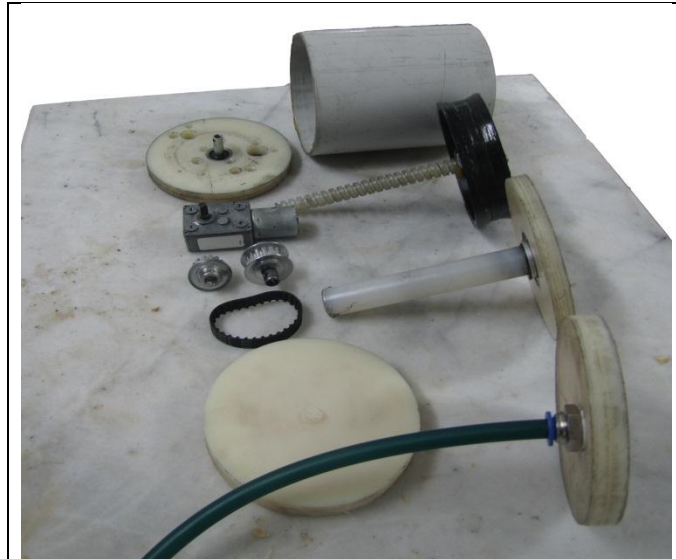
برای ساخت پیستون از یک لوله پلاستیکی، و جهت بستن طرفین آن از دو گرده‌ی تفلون با ضخامت یک سانتی‌متر استفاده گردید. برای ایجاد نقش پیستون از یک واشر لاستیکی دو لبه (پکینگ دو لبه) که کاملاً در دهانه‌ی داخلی لوله‌ی پولیکایی لب به لب و آب‌بند می‌شود، استفاده شده، به این ترتیب با حرکت پکینگ در داخل لوله به صورت خطی مکش و دمش مورد نیاز تامین می‌گردد. اما آنچه که مهم می‌باشد، ساخت سیستمی جهت ایجاد حرکت خطی، و رفت و برگشتی پیستون در داخل سیلندر است.

در بالاست زیردریایی آریا برای تأمین این حرکت اقدام به ساخت یک پیچ رزوه‌ای و مهره‌ی غلاف گونه‌ی آن جهت تبدیل حرکت چرخشی موتور به حرکت خطی رفت و برگشتی در سیلندر شده است که در شکل ۸-۱۸ مشاهده می‌شود. همچنین از یک موتور گیربکس

الکتریکی با دور موتور کم و گشتاور بالا برای ایجاد یک حرکت چرخشی در پیچ رزوه‌ای استفاده می‌گردد.

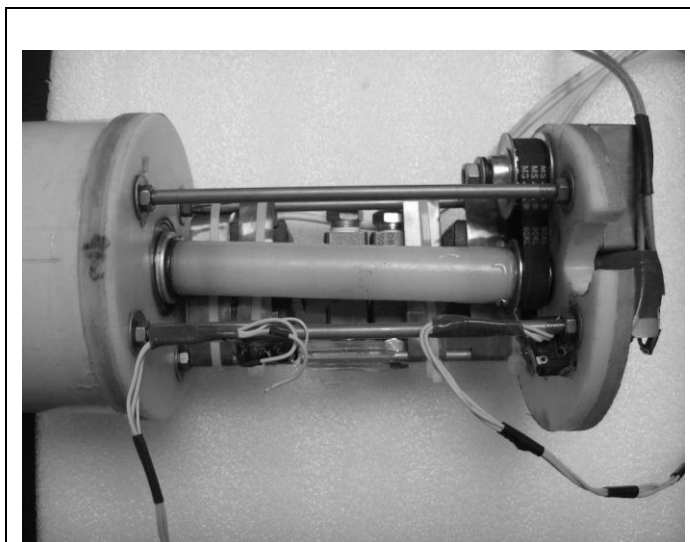


بدین ترتیب چرخش راست گرد موتور سبب حرکت خطی رفت پیستون، و حرکت چپ گرد موتور سبب حرکت خطی برگشتی پیستون می‌شود. اما در این سیستم به علت نیاز به یک موتور با گشتاور بالا و ابعاد مناسب جهت جانمایی در داخل بدنه استفاده از یک موتور گیربکس دوزنقه‌ای که دارای شافت غیر هم محور با موتور آن می‌باشد، ناگزیر می‌گردد. چراکه می‌دانیم گشتاور بالای موتور به معنای افزایش ابعاد آن می‌باشد، بنابراین وجود گیربکس الزامی می‌گردد. در نهایت جهت انتقال حرکت دورانی به انتهای پیچ انتقال قدرت پیستون که در یک محور نیستند از دو پولی و تسمه استفاده گردید. کلیه اجزای سیستم بالاست این شناور در شکل ۸-۱۹ نشان داده شده است.



شکل ۸-۱۹: اجزای سیستم بالاست

بنابراین می‌توان نحوه‌ی کارکرد سیستم بالاست را به این صورت توضیح داد که با انجام دستور تخلیه و یا آگیری توسط رادیو کنترل موتور گیربکس بالاست، دستور لازم را توسط میکرو داخلی دریافت کرده و بسته به نوع زمان آگیری و یا تخلیه، حرکت چپ‌گرد و یا راست‌گرد خواهد داشت. این حرکت چرخشی به پولی در موتور انتقال یافته و سپس با استفاده از تسمه به پولی انتهایی غلاف رزوه‌ای منتقل می‌شود، و غلاف را به چرخش در می‌آورد. این چرخش سبب می‌شود که پیچ انتقال قدرت داخلی غلاف، در اثر حرکت دورانی غلاف به صورت خطی حرکت جلو و عقب نماید و لذا سببی بر حرکت پیستون در داخل سیلندر پلاستیکی شده و بسته به حرکت روبه جلو و یا عقب، قادر به تخلیه و یا مکش آب گردد. در پایان پس از ساخت این موارد با استفاده از ۴ میله واسطه سیستم کلی بالاست به صورت کاملاً صلب و فیکس، روی استندهای تفلونی خود مستقر و محکم می‌شود. شکل ۸-۲۰ نمای کلی این سیستم را نشان می‌دهد.



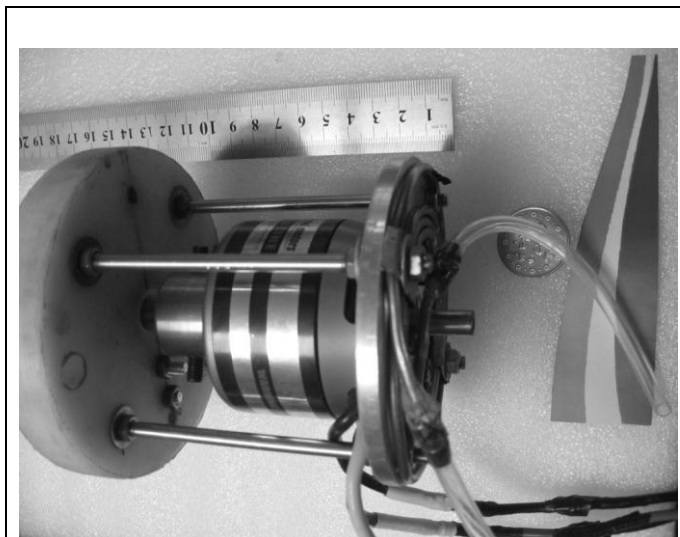
شکل ۸-۲۰: انتقال قدرت در سیستم بالاست از موتور به پیستون

سیستم رانش

چنان که در قسمت‌های قبل بیان گردید، سیستم رانش شناور آریا که از نوع پروانه‌ای است، از قسمت‌های اصلی زیر تشکیل می‌گردد.

- (۱) موتور رانش
- (۲) شافت رانش
- (۳) گیربکس (در صورت نیاز)
- (۴) کوپلینگ اتصال موتور به شافت
- (۵) فلنج‌های میانی شافت (در صورت نیاز و چند تکه بودن شافت)
- (۶) یاتاقان‌های میانی
- (۷) یاتاقان آب‌بندی شافت در محل خروجی از بدنه
- (۸) پروانه‌ی رانش

با توجه به طراحی‌ها و ملاحظات صورت گرفته در این مورد که در فصل قبل بیان گردید، در اینجا به فرآیند تشکیل سیستم رانش در شناور آریا می‌پردازیم. با توجه به اطلاعاتی که از موتور مورد نیاز داریم کار انتخاب موتور به سادگی صورت گرفته و خریداری می‌شود (در واقع حجم اصلی کار در قسمت طراحی جهت تعیین مشخصات موتور صورت گرفته است). تصویری از موتور شناور آریا به عنوان قسمت اصلی سیستم رانش را در شکل ۸-۲۱ می‌بیند. همچنان که در شکل مشخص است، این موتور بر روی یک پایه آلومینیومی به سبب توانایی آن در انتقال حرارت، نصب شده است. و این صفحه‌ی آلومینیومی نیز توسط چهار عدد میله واسطه‌ی استیلی به استند تفلونی دو سانتی‌متری متصل گردیده‌اند و در کل مجموعه جهت محافظت بیشتر مطابق شکل ۸-۲۲ در داخل استند محافظ پلکسی گلاسی قرار داده می‌شود. این مجموعه در واقع تشکیل دهنده‌ی قسمت اصلی سیستم رانش شناور، یعنی همان موتور رانش می‌باشد.



شکل ۸-۲۱: موتور رانش و نحوه قرارگیری آن روی پایه آلومینیومی
خود



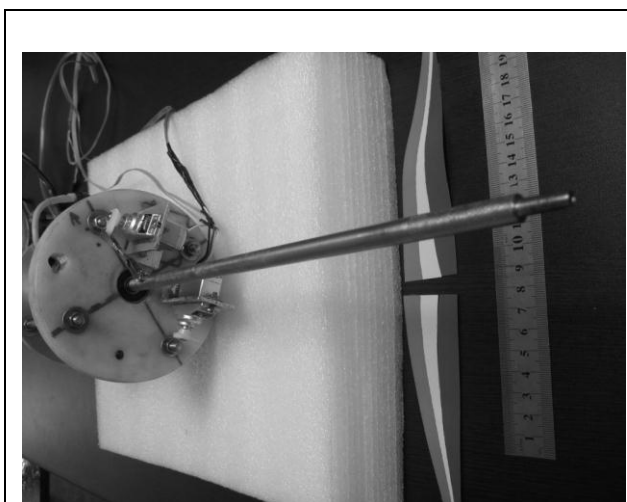
شکل ۸-۲۲: استند محافظ پلکسی گلاسی

بدین ترتیب موتور روی پایه‌ی آلومینیومی خود ثابت و محکم می‌شود و این پایه آلومینیومی که دارای قطر کمتری نسبت به استندهای تفلونی است توسط میله‌های واسطه به گرده‌ی تفلنی متصل شده و در کل با این کار موتور روی شاسی اصلی قرا گرفته و محکم می‌شود. پس از این کار مجموعه سیستم رانش به صورت شکل ۸-۲۳ آماده‌گی لازم جهت جانمایی در داخل بدنه را پیدا می‌کند.



شکل ۸-۲۳: چگونگی جانمایی مجموعه موتور در بدنه

پس از موتور رانش به عنوان عنصر اصلی، قسمت دیگر سیستم رانش که باید بدان پرداخته شود، شافت اتصال موتور به پروانه است. این شافت در زیردریایی آریا با توجه به طول کم، و انتخاب آن از نوع جنس استیل که مقاومت خوبی در مقابل خمش دارد به صورت یک تکه انتخاب و تهیه شده است. همانطور که در فصل قبل بیان گردید، این شافت دارای طولی در حدود ۳۰ سانتی‌متر و قطری برابر ۸ میلی‌متر با توجه به گشتاور و دور انتقالی و احتساب ضریب ایمنی مناسب، می‌باشد. در امر انتخاب و ساخت شافت، توجه به تقارن و هم‌ترازی آن بسیار حائز اهمیت است (با توجه به مطالب فصل چهارم). به همین دلیل جهت رسیدن به شافتی با قطر ثابت و هم‌تراز در سراسر طول شافت سعی بر استفاده از یک گرده استیل متقارن و هم‌تراز، با قطر ۱۰ میلی‌متر شد و سپس برای رسیدن به شافت مطلوب در طی یک فرآیند تراشکاری دقیق به قطر ۸ میلی‌متر تبدیل گردید. به دلیل خطا و تلورانس موجود در ساخت گرده‌های کارخانه‌ای، و همچنین حساسیت بالای شافت از نقطه نظر تقارن و هم‌ترازی در کل طول شافت، مستقیماً از گرده‌های ۸ میلی‌متری موجود استفاده نشده است. در شکل ۸-۲۴ تصویری از شافت رانش در شناور آریا ارائه شده است.

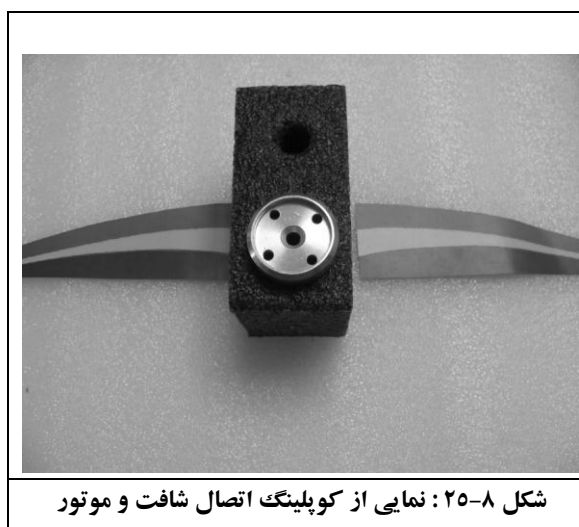


شکل ۸-۲۴: نمایی از شافت رانش و نحوه قرارگیری آن

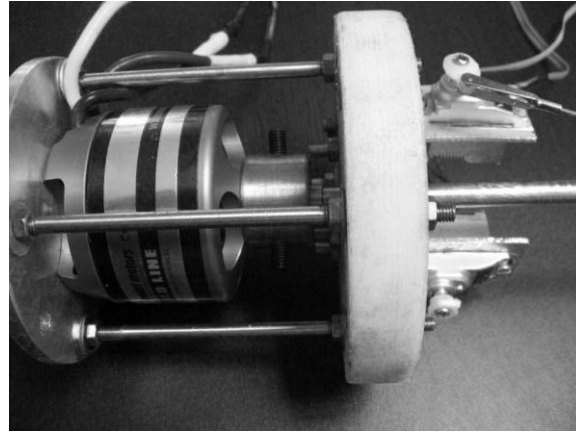
عضو بعدی سیستم رانش گیربکس می‌باشد که با توجه به انتخاب مناسب موتور با گشتاور مطلوب و توانایی تهیه‌ی آن، نیازی به استفاده از گیربکس نمی‌باشد و سیستم رانش در زیردریایی آریا فاقد گیربکس است.

در مرحله بعد، عضو دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد کوپلینگ اتصال شافت به موتور است. برای این منظور اقدام به ساخت و تراش کوپلینگ مطابق شکل ۸-۲۵ گردید. این کوپلینگ از یک طرف مطابق نقشه‌ی شافتی موتور، جهت سوار و فیکس شدن توسط چهار عدد پیچ خود روی موتور همچنان که در شکل مشخص است، تراشیده شد و در سمت دیگر دارای یک سوراخ با قطر داخلی و تقریبی ۸ میلی متر با تلورانس لازم جهت قرار گیری شافت در داخل آن می‌باشد. در این سوراخ دو عدد پیچ مغزی تعبیه گردیده که بستن آنها شافت را در داخل کوپلینگ محکم می‌کند.

تصویر ۸-۲۶ نمایی از کارکرد کوپلینگ و چگونگی اتصال موتور به شافت توسط آن را نشان می‌دهد.



شکل ۸-۲۵: نمایی از کوپلینگ اتصال شافت و موتور



شکل ۸-۲۶: نحوه اتصال کوپلینگ به شافت و موتور

در مورد فلنجهای میانی نیز باید گفت چون در این شناور از شافت یک تکه استفاده گردیده است، نیازی به استفاده از این فلنچ‌ها نخواهد بود. اما جزء بعدی از سیستم رانش یاتاقان‌های میانی هستند که نقش تکیه‌گاهی شافت را بر عهده دارند. در زیردریایی آریا از یک یاتاقان نگه دارنده میانی استفاده می‌شود. این یاتاقان از نوع بلبرینگ‌های دور بالا بوده، که در مرکز شاسی تفلونی که شافت از داخل آن عبور می‌کند و موتور توسط چهار میله روی آن سوار است، جایگذاری می‌شود و بدین ترتیب تکیه گاه مناسب جهت شافت را به وجود خواهد آورد. این یاتاقان و محل قرارگیری آن در شکل ۸-۲۷ نمایش داده شده است.



شکل ۸-۲۷: نمایی از یاتاقان میانی شافت

عضو بعدی سیستم رانش یاتاقان آب‌بند انتهایی می‌باشد، که علاوه بر نقش تکیه‌گاهی برای شافت و پروانه که در خارج بدنه قرار می‌گیرد، نقش آب‌بندی فضای داخل بدنه از محیط سیال در محل خروج شافت از بدنه را نیز بر عهده دارد. در ساخت این یاتاقان آب‌بند از دو بلبرینگ دور بالا و دو کاسه نمد استفاده شده است. (شکل ۸-۲۸)



شکل ۸-۲۸: نمایی از بلبرینگ‌ها

در نهایت پس از تراشیدن یک بوش برنجی با پله‌های خاص داخلی جهت فیکس شدن دو بلبرینگ و دو کاسه نمد در داخل آن، و قرار گیری این مجموعه در داخل بوش برنجی و هم محور شدن آنها در کل تشکیل دهنده‌ی یاتاقان آب‌بند انتهایی خواهند بود. ترتیب قرارگیری کاسه نمدها و بلبرینگ‌ها در داخل بوش به این صورت است که دو کاسه نمد در ابتدا و انتهای بوش قرار گرفته و دو بلبرینگ به صورت چسبیده به هم در بین دو کاسه نمد و در داخل بوش جای می‌گیرند. کاسه نمدها توسط چسب‌های آب‌بندی کاملاً به دیواره بوش آب‌بند می‌شوند و در نهایت این بوش توسط فرآیند کامپوزیت کاری مطابق شکل ۸-۲۹ در قسمت پاشنه‌ی شناور فیکس می‌گردد.



شکل ۸-۲۹: یاتاقان آب‌بند انتهایی

آخرین جزء سیستم رانش که پس از موتور می‌توان از آن به عنوان مهم‌ترین عنصر سیستم رانش یاد کرد، پروانه می‌باشد. توضیحات لازم در زمینه‌ی چگونگی انتخاب پروانه و طراحی آن در فصول قبل ارائه شد. در شناور آریا با توجه به مشخصات لازم و مطلوب که در مراحل طراحی حاصل گردید، اقدام به تهیه و خرید پروانه شد. در شکل ۸-۳۰ تصویری از پروانه‌ی به

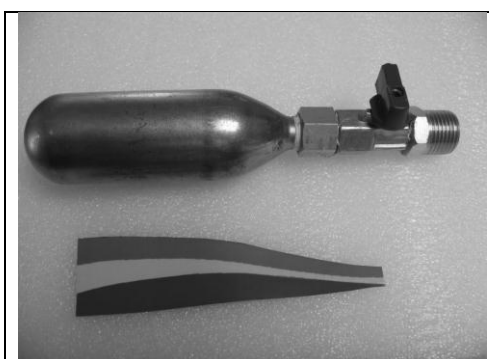
کار رفته در زیردریایی آریا را مشاهده می‌کنیم. که با توجه به ملاحظات مربوط به فرد بودن پره‌ها که در فصل چهارم بیان گردید از یک پروانه سه پره استفاده شده است.



شکل ۸-۳۰: نمایی از پروانه رانش

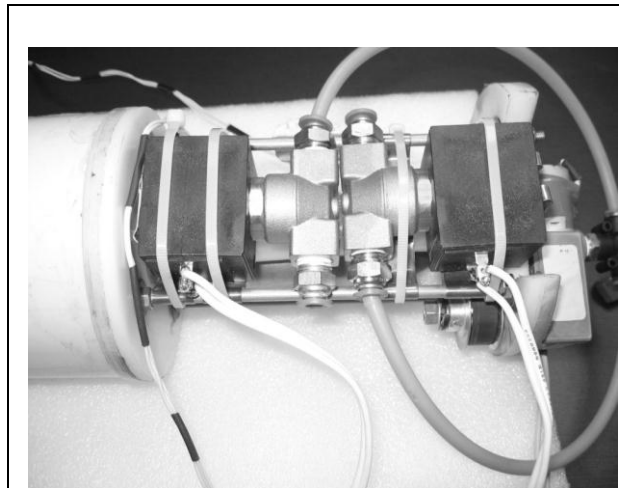
سیستم شلیک موشک

برای انجام فرآیند شلیک موشک‌های مدل، در زیردریایی آریا از سیستم هوای فشرده استفاده گردید. بدیهی است برای این امر وجود یک کپسول هوای فشرده که قادر به تامین این قدرت باشد لازم می‌باشد. بنابراین پس از تحقیقات و جستجوهای زیاد تهیه‌ی چنین کپسولی امکان پذیر گردیده شد. که قابلیت شارژ توسط گازی با فشار بالا (در حدود ۲۰ بار) را داشته و در عین حال دارای ابعاد کوچکی نیز باشد. تصویری از این کپسول در شکل ۸-۳۱ نمایش داده شده است.



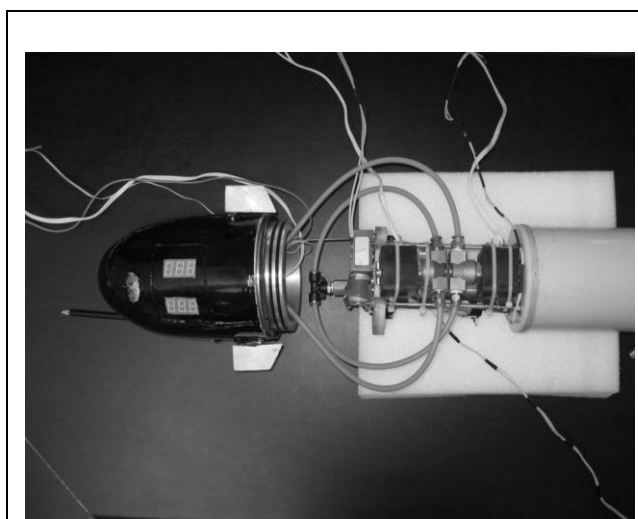
شکل ۸-۳۱: نمایی از کپسول هوای فشرده

اما آنچه در این سیستم مهم می‌باشد آنست که بتوان در بازه زمانی کوتاهی، حجمی از هوای فشرده را در پشت موشک‌ها قرار داد تا عمل پرتاب آنها به نحو مطلوب صورت پذیرد. این عمل توسط دو سلونوئید ولو (شیر برقی) صورت می‌گیرد. هر چند با مشکل فراوان، اما در نهایت تیم آریا موفق به تهیه‌ی سلونوئیدولوهایی که دارای محدوده‌ی ابعادی مناسب و همچنین وزن مطلوب بوده، و در عین حال قابلیت کارکرد در فشار ۲۰ بار را داشته باشند، گردید. در واقع مشکل اصلی در انتخاب این ولوها نیز همین عامل بود. چراکه پیدا کردن ولوی در داخل کشور که سه عامل قبل (ابعاد و وزن مطلوب در کنار فشار کاری ۲۰ بار) را به صورت هم زمان ارضا کند مشکل بود. این ولوها با دستور میکروکنترلر داخلی برای بازه‌ی زمانی ۳۰۰ میلی ثانیه برق دریافت کرده و باز می‌شوند و امکان حضور هوای فشرده از طریق شیلنگ‌های اتصال در پشت موشک‌ها را ایجاد می‌کنند و سپس چون از نوع حالت بسته (close) در حالت بدون برق انتخاب شده‌اند، پس از زمان ۳۰۰ میلی ثانیه و برداشتن جریان برق از روی آنها بسته می‌شوند. شکل ۸-۳۲ تصویر این ولوها و نحوه‌ی جایگذاری آنها را در داخل بدنه نشان می‌دهد.



شکل ۸-۳۲: سلونوئید ولوها و نحوه قرارگیری در شاسی

جهت اتصال کپسول هوای فشرده به ولوها و همچنین از ولوها به انتهای لوله‌های جایگذاری موشک‌ها، از شیلنگ‌ها و اتصالات پنوماتیکی استفاده شده که در شکل ۸-۳۳ به خوبی مشخص است.



شکل ۸-۳۳: شیلنگ‌ها و اتصالات پنوماتیکی

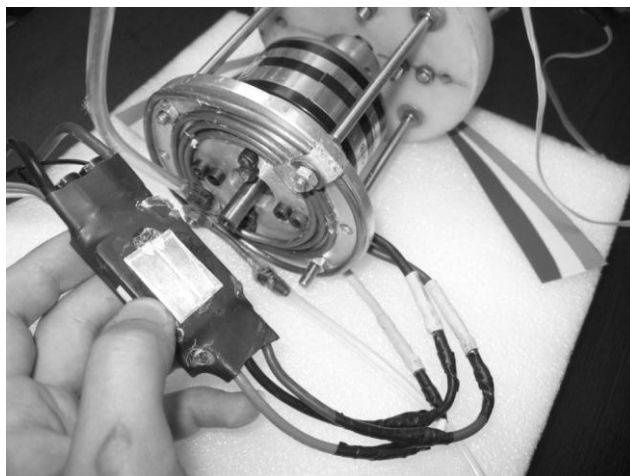
سیستم خنک کننده موتور و درایور آن

بی‌شک با توجه به کارکرد موتور در داخل فضای بسته‌ی زیردریایی و همچنین درایور موتور با توجه به آمپری که از آن کشیده می‌شود، نیاز به خنک کاری آنها وجود دارد. تا جایی که در صورت عدم این خنک کاری امکان سوختن درایور، کم شدن کارایی و یا حتی سوختن موتور نیز وجود خواهد داشت. با این مقدمه ضرورت سیستم خنک کننده در زیردریایی آریا کاملاً محسوس می‌باشد. برای این امر چنان که گفته شد از یک پایه آلومینیومی برای موتور، که قابلیت انتقال حرارت آن را داشته باشد استفاده گردیده است. این پایه‌ی آلومینیومی متشکل از یک گرده‌ی آلومینیومی می‌باشد که موتور روی آن سوار می‌شود، و توسط ۴ میله‌ی واسطه به استند کلی سیستم رانش که از یک گرده تفلونی ۲ سانتی‌متری تشکیل شده است متصل می‌گردد. که در شکل ۸-۲۱ قابل مشاهده است.

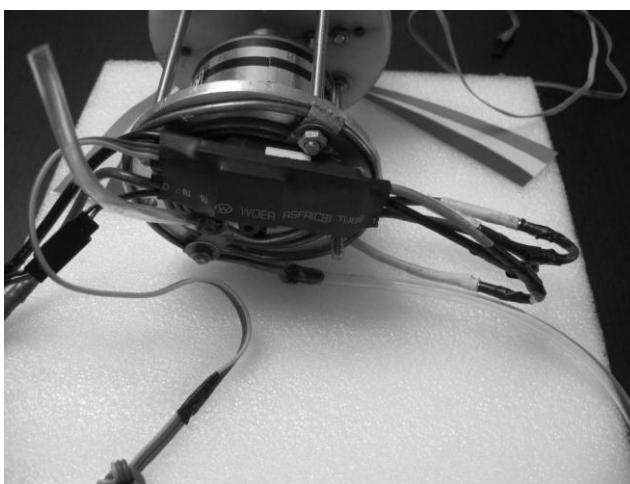
بنابراین این پایه قادر به انتقال حرارت موتور می‌باشد. اما خود این پایه نیز باید به نحوی خنک کاری شود. برای این منظور از یک سری لوله‌ی مسی که در حالت دایره‌ای وار به صورت حلزونی روی طرف دیگر صفحه‌ی آلومینیومی نصب می‌شود استفاده می‌گردد. این لوله مسی توسط پمپ تعبیه شده در داخل بدنه شناور آب را در داخل خود به چرخش درمی‌آورد و به صورت چسبیده و مماس به پایه‌ی آلومینیومی نصب شده و سبب انتقال گرما و لذا خنک شدن آن می‌شوند. که شکل ۸-۳۴ این لوله‌ها را به خوبی نشان می‌دهد. اما کاربرد این سیستم خنک کاری تنها به خنک کردن موتور محدود نمی‌شود. چنان که گفته شد درایور موتور نیز نیاز زیادی به خنک کاری دارد و این امر در حالت استفاده از حداکثر توان رانشی، با توجه به جریان بالایی که در این حالت از باتری و درایور موتور کشیده می‌شود از اهمیت بیشتری برخوردار است. در نتیجه جهت خنک کاری درایور موتور، آن را به صورت مستقیم روی لوله‌های مسی خنک کننده نصب کرده‌ایم و برای خنک کاری و انتقال حرارت بهتر قبل از قرار دادن درایور روی لوله‌های مسی، روکش پلاستیکی آن را برداشته و از ورقه‌های آلومینیومی کوچک در این قسمت استفاده گردیده است. جهت اتصال درایور به لوله‌ها نیز از چسب‌های انتقال دهنده‌ی گرما استفاده می‌گردد. که در شکل‌های ۸-۳۵ و ۸-۳۶ کاملاً مشخص است.



شکل ۸-۳۴: سیستم خنک کاری و لوله‌های مسی آن



شکل ۸-۳۵: درایور موتور و ورقه آلومینیومی کوچک آن



شکل ۸-۳۶: نصب درایور موتور

سیستم مانیتورینگ دما و عمق، روی دماغه‌ی بدنه

در زیردریایی آریا در قسمت بالای بدنه و در سینه‌ی شناور دو صفحه‌ی دیجیتالی جهت نمایش دما و عمق قرار داده شده‌است. یکی از این دو صفحه جهت نمایش دمای آب محیط سیال کنار بدنه مورد استفاده قرار می‌گیرد که داده‌های آن بر اساس سنس کردن سنسور دمای کار گذاشته شده در بدنه ایجاد می‌گردد، و صفحه‌ی دیگر جهت نمایش حداکثر عمقی که شناور در هر حرکت عمق روی خود به آن رسیده‌است، استفاده می‌شود. به طوری که سنسور فشار موجود در بدنه دائماً داده‌های خود را به میکرو انتقال داده و حداکثر این مقدار در میکرو جهت نمایش روی صفحه‌ی دیجیتال و در هنگام قرارگیری در حالت سطحی ثبت می‌گردد. شکل ۸-۳۷ محل و چگونگی این صفحه‌های نمایش را در روی بدنه نشان می‌دهد.



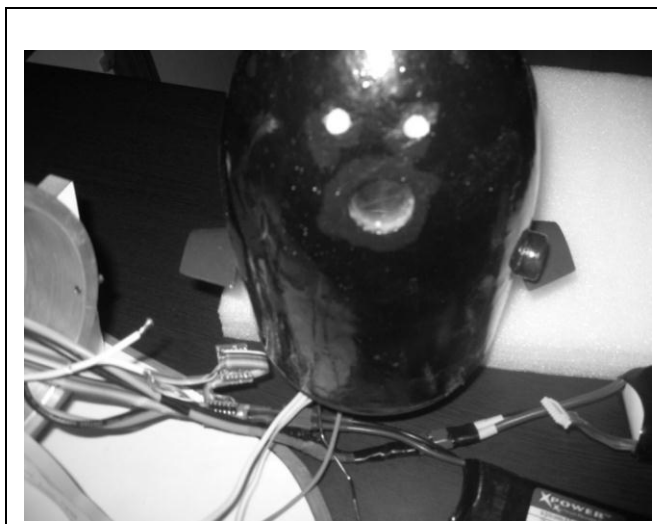
شکل ۸-۳۷: نمایشگرهای بدنه و محل نصب آنها

سیستم فیلمبرداری

جهت فیلمبرداری توسط این زیردریایی در محیط زیرآب از یک دوربین استفاده شده است، که در داخل بدنه جایگذاری می‌شود. به نحوی که چشمی آن روی قسمت در نظر گرفته شده روی بدنه (در قسمت سینه و زیر بدنه) فیکس می‌شود. جهت ایجاد محل شیشه‌ای چشمی دوربین

روی بدنه در قسمت سینه‌ی شناور و در زیر بدنه یک دایره به قطر ۳ سانتی‌متر ایجاد شده، که محل مورد نظر در بدنه توسط یک تلق شیشه‌ای کاملاً آب‌بند می‌شود. در دو نقطه بالای این چشمی دوربین، دو سوراخ در طرفین چشمی جهت جایگذاری لامپ‌های LED با توان بالا ایجاد شده است.

علت قرارگیری این لامپ‌ها در واقع ایجاد نور لازم جهت انجام یک فرآیند فیلمبرداری مناسب، در محیط زیر آب است. در شکل ۸-۳۸ محل چشمی دوربین و دو عدد لامپ نوردهی آن نمایش داده شده است.



شکل ۸-۳۸: چشمی دوربین و لامپ‌های نوردهی آن

چیدمانی سرب

پس از ساخت کامل شناور و جایگذاری کلیه‌ی تجهیزات آن در محل خود، نوبت به آن می‌رسد که وضعیت تعادلی شناور در داخل آب از لحاظ زوایای تریم و هیل بررسی گردد. همانطور که در مرحله طراحی نیز ذکر گردید ساخت شناوری که چیدمانی اجزا آن به قدری دقیق باشد که پس از ساخت و به آب اندازی توزیع وزن در آن کاملاً متقارن بوده و شاهد هیچ گونه زوایای

هیل و تریمی نباشیم کاملاً ایده‌آل و در عمل غیر ممکن می‌باشد. و به همین دلیل است که در قسمت طراحی و تشکیل جدول اقلام وزنی در هر شناوری مقادیری وزنه‌های قابل جابه جایی در نظر گرفته می‌شود. این وزنه‌ها معمولاً از جنس سربی انتخاب می‌شوند. زیردریایی آریا نیز از این امر جدا نیست، و لذا در این شناور نیز جهت انجام تست پایداری و تعادلی در حالت استاتیکی باید یک فرآیند تجربی انجام شود. بنابراین شناور را در آب قرار داده و با توجه به زاویه‌ی هیل و تریم آن و همچنین رسیدن به آبخور مناسب، جهت عملکرد سیستم بالاست برای غوص کردن زیردریایی، اقدام به عمل چیدمانی وزنه‌های سربی مورد نیاز برای توازن وزن در داخل بدنه شناور می‌شود. شکل ۸-۳۹ نمایشی از این سرب‌ها و چگونگی چیدمان آنها، در داخل بدنه را نشان می‌دهد.

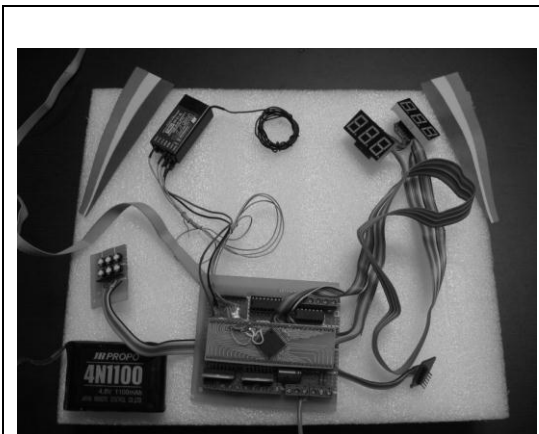


شکل ۸-۳۹: چیدمانی سرب در بدنه

مدارهای الکتریکی

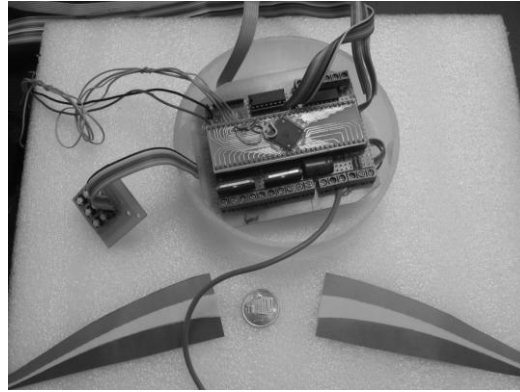
بی‌شک با توجه به سیستم‌های مختلف به کار رفته در زیردریایی آریا و لزوم کنترل متفاوت آنها، وجود یک برد الکترونیکی با قابلیت برنامه پذیری ضروری است. به نحوی که بتواند کلیه‌ی

فرآیندها اعم از حرکت چپ‌گرد و راست‌گرد موتور بالاست، قطع ناگهانی انرژی موتور بالاست در رسیدن آن به نقاط بحرانی، قطع و وصل کردن ولوهای برقی پرتاب موشک، کنترل پمپ آب، دریافت داده از سنسورها و ارائه به صفحه‌های نمایشی و غیره را انجام دهد. در واقع این برد به عنوان مغز اصلی و کنترلی شناور محسوب می‌شود که دستورهای ارائه شده توسط کاربر، بر روی رادیو کنترل را به دستورات لازم قابل پذیرش برای سیستم‌های مختلف داخلی تبدیل می‌کند. صحبت در مورد بردهای کنترلی، میکروکنترلر و در کل فرآیندهای الکترونیکی بسیار گسترده و خارج از هدف و حوصله این کتاب می‌باشد که بدان پرداخته نمی‌شود. شکل ۸-۴۰ نمایی از مدار برد کنترلی داخلی و اجزا الکترونیکی را در شناور آریا نشان می‌دهد.



شکل ۸-۴۰: نمایی از بردهای الکترونیکی، گیرنده،
نمایشگرها و کلیدهای کنترل دستی

مجموعه این بردها نیز جهت حفاظت بیشتر و جانمایی در بدنه در داخل محافظ پلکسی گلاسی قرار گرفته و در بدنه جایگزاری می‌گردند. (مطابق شکل ۸-۴۱)



شکل ۸-۴۱: چگونگی قرارگیری بردهای الکترونیکی در غلاف محافظ پلکسی گلاسی

باتری‌های مورد استفاده

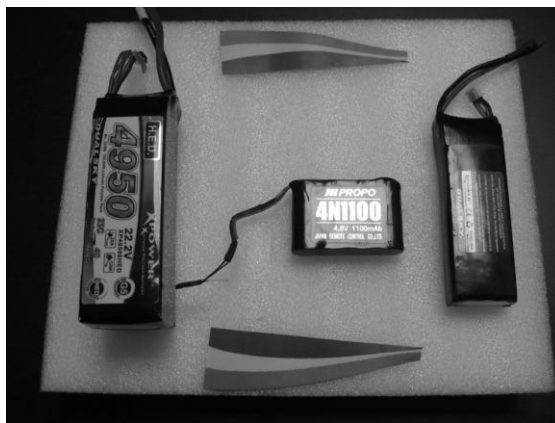
در این زیردریایی برای تأمین انرژی مورد نیاز در قسمت‌های مختلف، لزوم استفاده از باتری-های الکتریکی با قابلیت شارژ دوباره وجود خواهد داشت و جهت تأمین این انرژی، در زیردریایی آریا از سه باتری مختلف به صورت زیر استفاده می‌گردد.

۱- باتری رانش (۲۲ ولت و 4950 mA)

۲- باتری سیستم‌های داخلی (۱۲ ولت و ۴۰۰۰ mA)

۳- باتری گیرنده رادیویی و مدارهای کنترلی (۸.۴ ولت و ۱۱۰۰ mA)

در شکل ۸-۴۲ باتری‌های مورد استفاده در بخش‌های مختلف نشان داده شده‌است.



شکل ۸-۴۲: باتری‌های مختلف مورد استفاده

از باتری رانش جهت تأمین انرژی مورد نیاز موتور رانش استفاده می‌شود. همچنین برای تأمین انرژی مورد نیاز سیستم‌های داخلی شامل موتور بالاست، پمپ، سلونوئیدولوها، سنسورها، دوربین و ... از باتری سیستم‌های داخلی که در شکل ۸-۴۳ نحوه قرار گیری آن در بدنه مشخص است، استفاده می‌شود. در نهایت برای تأمین انرژی گیرنده رادیویی و مدار الکترونیکی از باتری مربوطه‌ی آن استفاده می‌شود.



شکل ۸-۴۳: نحوه قرارگیری باتری سیستم‌های داخلی

رادیو کنترل

در شناور آریا جهت کنترل از راه دور شناور از یک رادیو کنترل همراه با گیرنده مخصوص آن استفاده شد.

مشکل اصلی استفاده از رادیو کنترل‌ها جهت کنترل یک زیردریایی مشکل عدم نفوذ زیاد امواج رادیویی در عمق آب است و همین امر عامل محدود کردن عمق روی این نوع زیردریای‌ها محسوب می‌شود. می‌دانیم که هرچه فرکانس این امواج کمتر گردد مقدار عمق روی آن در محیط سیال افزایش می‌یابد، لذا در این زیردریایی با توجه به جوابگویی یک رادیو کنترل ۷۲ مگاهرتزی تا عمق حدود ۳ متر تصمیم به استفاده از یک رادیو کنترل ۷۲ مگاهرتزی گرفته شد. با توجه به سیستم‌های مختلف بکاربرده شده در شناور و نیاز به کنترل آنها، تعداد ۷ کانال ضروری بود که منجر به انتخاب یک رادیو کنترل ۷ کاناله گردید. در شکل ۸-۴۴ نمایی از رادیو کنترل مورد استفاده در این شناور نمایش داده شده است.



شکل ۸-۴۴: رادیو کنترل مورد استفاده

آب‌بندی بدنه در قسمت‌های مختلف

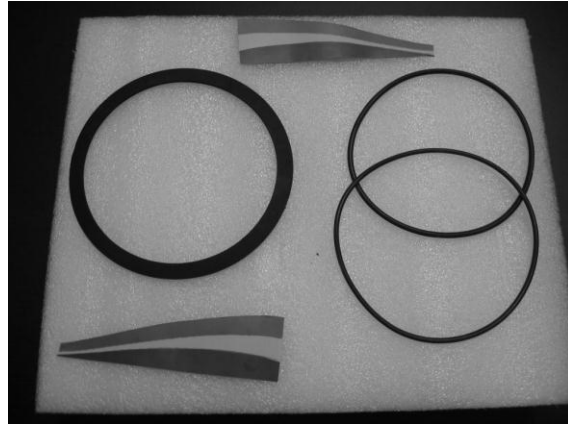
هدف از آب‌بندی در واقع جلوگیری از اختلاط دو سیال با فشارهای مختلف (در اینجا هوای داخل شناور و آب) است. لذا وقتی که شناور در حالت غوطه‌وری قرار دارد. باید محیط‌ها و

قسمت‌های مختلف آن که در معرض نفوذ آب قرار می‌گیرند را آب‌بند کرد. در ادامه به ذکر این قسمت‌ها و چگونگی سیستم آب‌بندی آنها در شناور آریا می‌پردازیم.

آب‌بندی بدنه‌ی اصلی

بدنه‌ی شناور آریا در حالت کلی به صورت صلب و از جنسی آب‌بند، به صورت دو تکه جهت ایجاد دریچه‌ایی برای جانمایی کردن اجزای داخلی، ساخته می‌شود. این محل دو تکه شدن بدنه برای تسهیل در ساخت و انجام جانمایی داخلی در راستای محور عمودی، و در محل اتصال قسمت بیضی گونه سینه و استوانه‌ای میانی بر اساس محدودیت‌های جانمایی در ساخت و محل قرار گیری بالک‌های جلو و مکانیزم‌های آن، در نظر گرفته می‌شود. لذا بدنه در محل دو تکه شدن و در محل برش و جدایش دارای مقطعی تقریباً دایره شکل خواهد بود.

محل اتصال این دو تکه‌ی بدنه، جایی است که در بدنه‌ی اصلی باید به صورت کامل آب‌بندی گردد. همانطور که در قسمت ساخت بدنه بیان گردید برای ایجاد یک دریچه با قابلیت باز و بسته شدن و دسترسی به فضای داخل بدنه در این قسمت اقدام به ساخت یک فلنج آلومینیومی گردیده است. اما خود این فلنج نیز مستلزم آب‌بندی است. برای این کار از آب‌بندهای استاتیکی و از نوع لاستیکی و دو اورینگ استفاده می‌شود که دو لبه واشر با فشار حاصل از مستحکم شدن دو قطعه توسط پیچ‌های اتصال محل دو تکه‌ی فلنج کاملاً آب‌بند می‌شود. علاوه بر آن وجود دو اورینگ داخلی فلنج نیز بر اطمینان و کارایی بیشتر و بهتر آب‌بندی در این قسمت می‌افزاید. این نوع آب‌بندی از نوع آب‌بندهای استاتیکی خواهد بود. شکل ۸-۴۵ نمایی از آب‌بندهای مورد استفاده در این قسمت را نشان می‌دهد و در شکل ۸-۵ چگونگی قرار گیری آنها در فلنج آلومینیومی قابل مشاهده است.



شکل ۸-۴۵: اورینگ‌ها و واشر آببندی در فلنج

آب‌بندی لوله‌های پرتاب موشک

لوله‌های پرتاب موشک در خارج از بدنه اصلی و در محیط سیال قرار می‌گیرند. سلونوئید والوهای انتهایی این لوله‌ها نقش آب‌بندهای یک طرفه را در این قسمت ایفا می‌کنند و چون در حالت بسته بوده، سیال نهایتاً در شیلنگ‌ها تا پشت آنها آمده و راهی برای نفوذ به فضای داخل بدنه نخواهد داشت و سبب آب‌بندی در این نواحی می‌شوند. در هنگام عملکرد سیستم پرتاب موشک نیز چون فشار بالای هوا تزریق می‌شود مانع از نفوذ آب شده و سپس والو دوباره بسته می‌گردد. شکل ۸-۴۶ لوله‌های پرتاب موشک که در خارج از بدنه قرار می‌گیرند را نشان می‌دهد. شیلنگ‌های آب‌بند پنوماتیکی این لوله‌ها را مستقیماً به سلونوئید والوها در داخل بدنه متصل می‌کنند. (شکل ۸-۳۳)



شکل ۸-۴۶: محل قرارگیری لوله‌های پرتاب موشک مدل در بدنه

آببندی محل خروج شافت پروانه

محل دیگر که نیاز به آببندی دارد و حائز اهمیت بالایی می‌باشد محل خروج شافت پروانه در قسمت پاشنه است. این نوع آببند از نوع آببندهای دینامیکی خواهد بود. آببند مورد استفاده در این قسمت شبیه به سیستم یاتاقان‌های محور انتهایی کشتی‌ها (stern tube bearing) می‌باشد و دارای دو نقش اساسی زیر است:

- نقش آببندی در این قسمت را ایفا می‌کند
 - به عنوان تکیه گاه جهت تحمل وزن پروانه و قسمت انتهایی شافت.
- در مورد روند ساخت این یاتاقان آببند انتهایی زیردریایی آریا، در قسمت رانش توضیح داده شد.

آببندی محل خروج شافت در سطوح کنترلی

روش آببندی در این نواحی نیز درست مشابه روش آببندی محل خروج شافت رانش می‌باشد، به این صورت که برای هریک از سطوح کنترلی اقدام به ساخت یک بوش برنجی گردید،

در داخل این بوش برنجی پله‌های لازم جهت جایگذاری یک بلبرینگ و یک کاسه نمد ایجاد شده است. پس از قرار دادن بلبرینگ و کاسه نمد در داخل بوش و فیکس و محکم کردن کاسه نمد در آن توسط چسب آب‌بند، مجموعه آب‌بندی در این قسمت مطابق شکل ۴۷-۸ ایجاد می‌گردد و سپس این مجموعه‌ها مطابق شکل ۴۸-۸ توسط فرآیند کامپوزیت کاری روی بدنه و در محل‌های قرار گیری هر یک از سطوح کنترلی ثابت می‌شوند.



شکل ۴۷-۸: نمای از دو سمت بوش برنجی



شکل ۴۸-۸: نحوه قرارگیری بوش‌های آب‌بندی شافت
سطوح کنترلی در بدنه

آب‌بندی محل دریچه‌های بدنه

آخرین محلی که در بدنه باید مورد آب‌بندی قرار گیرد دریچه‌های دسترسی به فضای داخلی و لینک‌های اتصال سطوح کنترلی در بدنه است. که شامل دو دریچه لوبیایی شکل پاشنه و یک دریچه مربعی در قسمت سینه شناور می‌باشد. در واقع پس از چک کردن کلیه سیستم‌ها و بستن بدنه و آمادگی شناور جهت به آب اندازی، از طریق این دریچه‌ها لینک‌های سرو موتورها به بازوهای سطوح کنترلی در سینه و پاشنه شناور متصل می‌شوند و دریچه‌ها در جای خود قرار می‌گیرند. برای آب‌بندی کامل این دریچه‌ها از چسب آب‌بندی استفاده می‌گردد. شکل‌های ۴۹-۸ و ۵۰-۸ چگونگی آب‌بندی دریچه‌های قسمت پاشنه و سینه در بدنه را به ترتیب نشان می‌دهند.



شکل ۸-۴۹: بستن و آب‌بندی دریچه‌های لوبیایی پاشنه



شکل ۸-۵۰: بستن و آببندی دریچه مربعی سینه شناور

منابع و مراجع

- ۱- کتاب جامع مهندسی معماری دریایی/ محمد مونسان/ ۱۳۸۸/ انتشارات کانون پژوهش
- ۲- کتاب اصول طراحی زیردریایی/ محمد مونسان/ ۱۳۸۸/ انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر
- ۳- پایان نامه کارشناسی طراحی و ساخت زیردریایی کنترل از راه دور آریا/ بهروز اسدی/ ۱۳۸۹/ دانشگاه صنعتی مالک اشتر
- ۴- کتاب مکانیک سیالات شیمز/ هرمن شیمز/ ترجمه بهرام پوستی
- ۵- کتاب آشنایی با زیردریایی های نظامی/ محمد مونسان/ ۱۳۸۳/ انتشارات دانشگاه امام حسین (ع)
- ۶- کتاب مقاومت شناورها/ سعید سیف و مهدی سیف/ ۱۳۷۴/ انتشارات دانشگاه هرمزگان
- ۷- پایان نامه کارشناسی طراحی ROV لوله گذار/ بهزاد مکفایی/ ۱۳۸۹/ دانشگاه صنعتی مالک اشتر
- ۸- سایت دانش نامه آزاد ویکی پدیا

- 9- Jane's Underwater Technology/ edited by Clifford Funnell/ seventh edition / 2004-2005
- 10- Jane's Underwater Warfare systems/ edited by Anthony Watts/ seventeenth edition / 2005-2006
- 11- Submarine Vehicle System Design/ A Group of Authorities/ 1990
- 12- Submarine design and development/ Norman Friedma
- 13- Submarine of world war 2 / Erminio Bagnasco

14- Theory of Wing section/ Ira H.Abbet & Albert Edward Von
Doenhoff/ 1959

15- Paper/ Underwater Robotics ; In IEEE Internation Conference on
Robotics & Automation/ J.Yuh/Apr 2000