دانشگاه صنعتی مالک اشتر

ویرایش دوم

اصول طراحی زیردریایی

تألیف: Roy Burchur – Louis Rydill

ترجمه: محمّد مونسان

(عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر)

اصول طراحی زیردریایی

ترجمه: محمّد مونسان

۳۴

CONCEPTS IN SUBMARINE DESIN

این کتاب بر اساس ترجمه کتاب **Concepts in submarine design** می‌باشد که در آن اصول طراحی زیردریایی‌های نظامی بیان شده است.

کتاب «اصول طراحی زیردریایی» به عنوان اولین کتاب فنی در مورد زیردریایی به زبان فارسی، اطلاعات ارزشمندی از تاریخچه تکامل زیردریایی‌ها و جوانب مختلف طراحی زیردریایی از قبیل هیدرواستاتیک، هیدرودینامیک، سازه و بدنه، جانمایی های داخلی، دینامیک و کنترل حرکت، روش‌های ساخت، نسبت حجم و وزن و سایر ملاحظات طراحی ارائه کرده است. برخی از این موارد مخصوص زیردریایی‌های نظامی می‌باشد ولی اغلب مطالب این کتاب، برای هر نوع شناور زیرسطحی مفید و قابل کاربرد است.

هدیه‌ای به مردان عرصه دریایی کشور عزیزمان ایران اسلامی

بخصوص تلاشگران و محققین عرصه زیرسطحی

ISBN: 978 - 964-8452-03-7

9789648452037

بسم الله الرحمن الرحيم

اصول
طراحی زیردریایی

ویرایش دوم

ترجمه: محمّد مونسان

بهار ۱۳۸۸

برچر، روی
Burcher, Roy
اصول طراحی زیردریایی/[روی برچر، لوئیس رایدیل] ترجمه محمد مونسان.- تهران: دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۸۳
ی، ۴۹۹ص.: مصور.- (انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر:۳۴)
ISBN ۹۶۴-۸۴۵۲-۰۳-۲: ۴۳۰۰۰ ریال
فهرستنویسی بر اساس اطلاعات فیپا.
عنوان اصلی:
Concepts in submarine desigh, ۱۹۹۴.
۱.زیردریاییها – طرح و ساختمان. الف. رایدیل، لوئیس Rydill, Louis ب. مونسان، محمد، مترجم. ج. دانشگاه صنعتی مالک اشتر.
د. عنوان.
۶ الف۴ب / VM۳۶۵ ۶۲۳/۸۲۰۵
۱۳۸۳
کتابخانه ملی ایران ۸۳-۳۳۵۲۱م

«مجتمع دانشگاهی علوم و فناوری دریایی »

انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر

عنوان کتاب : ..... اصول طراحی زیردریایی
ترجمه : ..... محمد مونسان
ناشر : ..... انتشارات دانشگاه صنعتی مالک اشتر
طرح روی جلد : ..... فریناز عسگری
چاپ / لیتوگرافی / صحافی : .....چاپخانه اصفهان
تیراژ :.....۱۰۰۰جلد
نوبت چاپ : .....دوم ، بهار ۱۳۸۸
قیمت : ..... ۶۵۰۰ تومان
. شابک: ۷-۰۳-۸۴۵۲- ۹۶۴ - ۹۷۸ ISBN: ۹۷۸ - ۹۶۴ -۸۴۵۲ - ۰۳-۷

کلیه حقوق چاپ برای ناشر محفوظ است .
نقل مطالب فقط با ذکر مشخصات کامل کتاب و با اشاره به نام ناشر مجاز است .
آدرس: تهران، لویزان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مرکز آموزشی، پژوهشی و خدمات اطلاع‌رسانی،
مدیریت انتشارات و مستندسازی. تلفن: ۲۲۹۳۲۸۹۱

فهرست

پیشگفتار	ش
مقدمه	ظ
فصل اول: طراحی کلی	**۱**
اهداف طراحی	۳
مراحل طراحی	۷
فصل دوم: نقاط عطف در سیر پیشرفت زیردریایی	**۱۷**
اصطلاح شناسی: غوطه ورشونده و زیردریایی	۱۹
اولین نقطه عطف: زیردریایی هلند	۲۱
دومین نقطه عطف: زیردریایی آلمانی مدل u-۳۵	۲۴
سومین نقطه عطف: زیردریایی مدل **XXI**	۲۷
چهارمین نقطه عطف: زیردریایی آلباکور	۳۲
پنجمین نقطه عطف: مدل اسکیپ جک	۳۴
خلاصه	۳۸
فصل سوم: هیدروستاتیک زیردریایی	**۴۱**
اصول اولیه شناوری	۴۳
زیردریایی در سطح آب	۴۶
آرایش مخازن شناوری اصلی	۵۰
زیردریایی در زیر آب	۵۸
عوامل و ارکان شناوری	۶۱
عوامل و ارکان وزن	۶۶
مخازن تعادل و جبران وزن	۷۲
مخازن ویژه	۷۶

تعادل هیدروستاتیکی ۸۰
مرور ۸۶
فصل چهارم: نسبت وزن به حجم در زیردریایی **۸۹**
هدف ۹۱
اهمیت چگالی ۹۲
وزن ۹۶
کنترل و ارزیابی وزن زیردریایی ۱۰۰
حجم ۱۰۴
مقادیر ذخیره در ارزیابی هزینه ۱۰۷
مقادیر اضافی (ذخیره) در تعیین حجم ۱۱۲
عوامل تعیین کننده ابعاد زیردریایی ۱۱۳
محل نصب تجهیزات ۱۱۴
بدنه کاذب(روکش بیرونی) ۱۱۵
موادسازه‌ای پوسته سخت ۱۱۶
مرور ۱۱۸
فصل پنجم: سازه زیردریایی **۱۱۹**
مقدمه ۱۲۱
نیازهای عملیاتی زیردریایی در عمق آب ۱۲۲
شکل پوسته سخت(بدنه زیردریایی) ۱۲۵
تغییرشکل الاستیک پوسته ۱۳۱
تغییرشکل کمانش پوسته ۱۳۴
سایر روش‌های شکست و تخریب ۱۴۱
سازه‌های تقویت کننده داخلی ۱۴۳
منافذ بدنه فشار ۱۴۶
اثرضربه ناگهانی ۱۵۰
ساخت س۱۵۱ازه‌ها

خستگی ۱۵۳
انتخاب مواد ۱۵۴
سایرسازه‌ها ۱۵۶
روبناسازی ۱۶۲
خلاصه ای از فلسفه طراحی سازه‌ای ۱۶۳
فصل ششم: تولید قدرت در زیردریایی **۱۶۷**
مقدمه ۱۶۹
بیان نیازها ۱۷۰
مقاومت در برابر حرکت ۱۷۵
نسبت سرعت - قدرت ۱۸۴
مقاومت در سطح آب ۱۸۵
سیستم رانش ۱۹۰
الزامات طراحی سیستم رانش ۲۰۶
الزامات طراحی سیستم تولید قدرت ۲۱۷
فصل هفتم: شکل هندسی و جانمایی‌ها **۲۱۹**
مقدمه ۲۲۱
عواملی که شکل و جانمایی را تحت تأثیر قرار می‌دهند ۲۲۱
عوامل تعیین کننده قطر بدنه ۲۲۴
جانمایی‌های داخلی ۲۲۵
برخی ملاحظات و جزئیات طراحی ۲۲۸
مرور ۲۴۸
فصل هشتم: کنترل و دینامیک زیردریایی **۲۵۱**
مقدمه ۲۵۳
برخی از مفاهیم اولیه ۲۵۵
نیازهای عملیاتی ۲۵۸
معادلات حرکت زیردریایی ۲۶۳

مشتقات هیدرودینامیکی ۲۶۶
کنترل و پایداری در صفحه افقی ۲۶۸
تعادل و کنترل در صفحه عمودی ۲۷۴
سیستم‌های کنترل عمق و هدایت زیردریایی ۲۸۴
تأثیر شکل بدنه و ملحقات بدنه در کنترل دینامیکی زیردریایی ۲۹۱
بهبود در شرایط اضطراری ۳۱۵
اثرات مختلف در طراحی ۳۳۱
فصل نهم: سیستم‌های زیردریایی **۳۲۵**
مقدمه ۳۲۷
سیستم‌های هیدرولیک ۳۲۸
سیستم‌های هوای پرفشار ۳۴۰
سیستم‌های توزیع آب ۳۵۰
سیستم‌های کنترل هیدرواستاتیک ۳۵۷
سیستم‌های کنترل محیط زیردریایی ۳۵۸
تمهیدات نجات خدمه ۳۶۳
سیستم‌های الکتریکی ۳۶۸
موتورهای پیشران ۳۷۳
جمع‌بندی ۳۸۳
فصل دهم: ملاحظات ساخت و هزینه‌ها در طراحی زیردریایی **۳۸۵**
مقدمه ۳۸۷
مراحل ساخت زیردریایی ۳۸۸
ساخت سازه بدنه اصلی ۳۹۱
تعیین هزینه ۳۹۸
تأثیر طراحی بر هزینه و ساخت ۴۰۲
خلاصه ۴۱۰
فصل یازدهم: بررسی اصول طراحی زیردریایی **۴۱۳**

مقدمه ۴۱۵
مطالعات مفهومی ۴۱۶
روش‌های طراحی مفهومی ۴۲۵
اصول تعیین اندازه ۴۳۳
اصول تعیین اندازه سیستم‌های مستقل از هوا ۴۴۴
سایر شاخص‌های تعیین اندازه‌ها ۴۴۸
ماهیت تکرارها ۴۵۷
دورنمای آینده ۴۶۶
ضمائم **۴۶۹**
ضمیمه۱: شرایط هیدرواستاتیکی شناوری ۴۷۱
ضمیمه ۲: راهکار عملی حفظ تعادل ۴۷۶
ضمیمه ۳: ارزیابی وزن و ظرفیت مخازن متغیر ۴۸۱
ضمیمه ۴: استحکام پوسته سخت زیردریایی ۴۸۵
ضمیمه۵ : تخمین مقاومت و پیشرانش۴۹۱

ر

تقدیم به:

جانبازان هشت سال دفاع مقدس

آنان که رنج دیروز و امروزشان

مایه آسایش امروز ماست.

و با تشکر از:

- پدر و مادر زحمتکش و دلسوزم،
- همسر صبور و فداکارم
- همکاران پژوهشکده زیرسطحی دانشگاه صنعتی مالک اشتر در چندین مرحله ویرایش این اثر

پیشگفتار ویرایش دوم کتاب:

وله الجوار المنشات فی البحر کالا علم (الرحمن ـ ۲۴)

و شناورهای با عظمت که چون کوهها در دریا روانند، از آن خداوند (از نشانه‌های خداوند) هستند.

تاریخچه بکارگیری وسایل زیرآبی به ۹ قرن قبل از میلاد مسیح باز می‌گردد که از پوست بادکرده حیوانات به عنوان مخزن هوا برای رفتن به زیر آب استفاده می‌کردند ولی تا قبل از قرن گذشته، بدلیل فراهم نبودن امکانات و پیشرفتهای فناوری، ساختن یک زیردریایی واقعی امکان پذیر نبود.

قدمت ساخت وسایل زیرآبی نشان از آرزوی دیرینه انسانها برای آگاهی از دنیای عجیب زیر آب و تسخیر آن دارد که از ایده‌های ابتدایی شروع شده و طی سالیان طولانی، توسط افراد عامی مانند نجار، آهنگر، کفاش و حتی کشیش و در سده اخیر توسط مهندسان و متخصصان تکامل یافته است.

با مروری بر تاریخچهٔ تکامل فناوری زیردریایی مشخص می‌گردد که این سیر تکامل فقط در چند کشور معدود مانند فرانسه، انگلیس، آمریکا، آلمان و روسیه جریان داشته است چرا که در این کشورها، زیردریایی به عنوان یک وسیلهٔ جالب و با اهمیت برای عموم مردم شناخته شده بود و برخی از طرح‌ها نیز با پشتیبانی مالی مردم ساخته شدند.

ولی متأسفانه در کشور ما علی‌رغم داشتن حدود ۳۰۰۰ کیلومتر مرز آبی، فرهنگ دریایی مهجور مانده است و ایران هیچگاه به عنوان یک کشور صاحب صنایع و ناوگان قدرتمند دریایی، مطرح نبوده است و به تبع آن زیردریایی نیز در بین مردم کشورمان ناشناخته بوده است و فقط در سه دهه اخیر شاهد

تلاش‌هایی در این زمینه بوده‌ایم. طراحی و ساخت زیردریایی نظامی پیشرفته نهنگ و زیردریایی میدجت غدیر گام‌های اول ایران اسلامی در ورود به عرصه دانش و فناوری زیردریایی است. با این حال زیردریایی هنوز هم برای مردم و حتی افراد تحصیلکرده کشورمان یک وسیله ناآشنا و غریب است بطوری‌که تا قبل از انتشار این کتاب، حتی یک کتاب هم در زمینه فناوری زیردریایی به زبان فارسی وجود نداشت.

*در این شرایط تصمیم به ترجمه کتاب «***Concepts in Submarine Design***» گرفته شد تا قدمی در راه آشنایی بیشتر مردم عزیز میهن اسلامی‌مان بخصوص دانشجویان و مهندسان دریایی کشور با زیردریایی باشد. این کتاب اصول طراحی زیردریایی را با گرایش به طراحی زیردریایی‌های نظامی بیان می‌دارد. با استقبال خوب جامعه دریایی کشور، این کتاب به چاپ دوم و ویرایش دوم رسید و برخی از اشکالات چاپ اول رفع گردید. در ترجمه و معادل‌یابی لغات فنی آن مشکلات بسیاری وجود داشت که با همت و تلاش آقایان: مهندس جبل عاملیان(بازنگری و ویرایش کل فصول)، مهندس عابدی(بازنگری و ویرایش کل فصول) ، مهندس اردشیری (بازنگری و ویرایش کل فصول)، شهید ناخدا فاضل، مهندس حسینی الست، مهندس پاکروان، مهندس مینوتن، مهندس حمیدیا، مهندس مشتریخواه، مهندس عباسی، مهندس عقیلی، مهندس حیدری، مهندس افخمی، مهندس فرهاد صفری، مهندس احمدرضا صفری، مهندس عسگری جزی، مهندس مسلمی و مهندس طلایی قسمت عمده این مشکلات مرتفع گردید. البته با این وجود ممکن است این اثر از اشکالات دیگری هم برخوردار باشد لذا از پیشنهادات و انتقادات خوانندگان گرامی جهت تکمیل‌تر شدن این اثر استقبال می‌شود. لازم به ذکر است که روش مترجم در ترجمه این کتاب، تکیه بر انتقال مفاهیم بوده است لذا ممکن است در برخی فصول، ترجمه بعضی از جملات نیامده باشد و بعضی از جملات نیز برای کامل‌تر شدن مفهوم، از سوی مترجم اضافه شده باشند. کتابهای « آشنایی با زیردریایی‌های نظامی» و « تاریخچه فناوری زیردریایی‌های آلمانی» نیز از جمله کتابهای دیگری است که در این زمینه تهیه شده‌اند تا گامی در جهت آشنایی با فناوری زیرسطحی و*

زیردریایی در کشور باشند ولی در این بین، کتاب « اصول طراحی زیردریایی» از ویژگی‌های منحصربفردی در بیان خصوصیات فنی و جوانب مختلف طراحی زیردریایی برخوردار است.

وظیفه خود می‌دانم از اساتید گرانقدر خود در دانشگاه صنعتی امیرکبیر و دانشگاه صنعتی شریف، آقایان: مهندس معتمدی، دکتر ایرانمنش، شهید ناخدا فاضل، حجه الاسلام مرادزاده، دکتر فدوی، دکتر سایبانی، دکتر خدمتی، دکتر صراف، مهندس بابایی، دکتر صفار اول، دکتر کتابداری، مهندس قدرت‌نما، دکتر زراعتگر، دکتر قاسمی، دکتر صیادی و دکتر سیف نهایت تشکر و امتنان خویش را ابراز دارم.

از همکاران محترم پژوهشکده زیرسطحی و مجتمع دانشگاهی علوم و فناوری دریایی دانشگاه صنعتی مالک اشتر آقایان مهندسین حسینی الست، حیدری، عربیار محمدی، شهریاری و فیض بخشیان در چاپ این کتاب صمیمانه تشکر می‌کنم بخصوص مرد بزرگ و دانشمند عرصه زیرسطحی کشور، مهندس حمیدیا که ایران اسلامی، کسب دانش فنی طراحی زیردریایی و پیشرفت در این عرصه را مرهون ایشان است.

همچنین وظیفهٔ خود می‌دانم از زحمات همسر فداکار و پدر و مادر عزیزم که در طول سالیان تحصیل صبورانه تلاش نمودند و امکانات و شرایط مادی و معنوی تحصیل مرا فراهم نمودند، تشکر و قدردانی نمایم و برای آنها آرزوی طول عمر پرخیر و برکت دارم.

امیدوارم این اثر، جبران گوشه‌ای از زحمات کلیه این عزیزان باشد.

محمد مونسان

m_moonesun@yahoo.com

چاپ دوم - ۱۳۸۸

سخن مؤلفین و آشنایی با کتاب
«اصول طراحی زیردریایی»

«این کتاب جنبه های مختلف مهندسی و معماری زیردریایی و ارتباط آنها با یکدیگر و سایر قابلیت‌های عملیاتی مورد نیاز در آنها را توضیح می دهد. علاوه بر ملاحظات معماری، اصول هیدرودینامیکی، سازه‌ای، پایداری و رانش که در فرآیند طراحی زیردریایی دخیل هستند بیان می گردد. تعامل بین این جنبه‌ها مورد توجه ویژه قرار گرفته و فصل آخر به طور کامل به ارائه طراحی مفهومی برای زیردریایی اختصاص یافته است. در کار طراحی زیردریایی، کامپیوتر کاربردهای گسترده‌ای دارد و لذا مثالهایی در این زمینه ارائه می‌گردد. تأکید در این کتاب بر فراهم کردن بینش مهندسی برای درک اصول طراحی زیردریایی می‌باشد. این کتاب می‌تواند به عنوان یک کتاب آموزشی برای دانشجویان و به عنوان یک مرجع برای کاربردهای مهندسی و طراحی باشد.»

مقدمه:

دو مؤلف این کتاب دارای بیش از ۳۵ سال سابقه فعالیت طراحی زیردریایی در نیروی دریایی سلطنتی و همچنین تدریس آن می‌باشند. هر دوی آنها در ارتباط با کارخانه کشتی‌سازی ویکرز(VSEL)[۱] تنها سازندگان زیردریایی انگلستان بودند. لوئیس ری دیل[۲] و رُی بارچر[۳] به عنوان پرفسور VSEL در طراحی‌های زیرسطحی و مهندسی در دانشگاه لندن(UCL)[۴] بوده‌اند. ری بارچر یک رشتهٔ طراحی فوق لیسانس را در دانشگاه لندن اداره می‌کند که مورد استفاده

۱. Vickers Engineering Limited
۲ Louis Ry dill
۳. Roy Burcher
٤. University College London

دانشجویان کشورهای متعدد می‌باشد. با این سابقه، ما به خوبی از کمیابی کتاب ها در خصوص طراحی و مهندسی زیردریایی مطلع هستیم. همینطور مقالات فنی محدودی راجع به این موضوع یافت می‌شود . تنها یک مقاله در سال ۱۹۶۰ از انجمن مهندسی دریایی و مهندسان دریایی امریکا با عنوان «جنبه‌های مختلف معماری در طراحی زیردریایی‌ها» توسط آرنتزن[۵] و مندل[۶] منتشر شد که می‌توانست مورد استفاده قرار گیرد. شکی نیست که بدلیل مباحث سرّی که در طراحی و عملکرد زیردریایی‌های نظامی وجود دارد، تشریح عملکرد دقیق آنها و بخصوص پس از به کار گیری نیروی پیشرانه هسته‌ای در زیردریایی‌ها، مشکل می‌باشد. البته چیزهای زیادی در مهندسی و طراحی زیردریایی وجود دار که می‌توان آنها را بدون تقابل با موارد سرّی، بیان داشت. دوره آموزشی(UCL) در حقیقت کاملاً رده بندی شده نیست و تمام دانشجویان علاقه‌مند می‌توانند از آن استفاده کنند. این کتاب، بیانگر تجارب نویسندگان در این دوره بوده و بدون اینکه وارد جزئیات تئوری مواد فراهم شده برای ساخت و یا قابلیت‌های برنامه‌های کامپیوتری شود، نوشته شده است و در طی چند هفته، اصول طراحی زیردریایی را به نحو مناسب به دانشجویان ارائه می‌نماید. این کتاب ابتدا مایل به ارائه مقدمه‌ای در طراحی زیردریایی با فراهم آوردن اصول اولیه آن می‌باشد. تأکید در اینجا بیشتر در زمینهٔ اصول طراحی و کمتر بر روی تحلیل این اصول می‌باشد، البته بجز در مواردی که برای فهم قسمت‌هایی از طراحی زیردریایی و عواملی که شکل طراحی یک زیردریایی را شامل می‌شود، ضروری باشد. این کتاب برای مهندسان کشتی‌سازی و افرادی با زمینهٔ کارهای دریایی و طراحی و مهندسی زیردریایی، سازه و نحوهٔ عملکرد و پشتیبانی خدماتی آن آشنایی دارند، می‌تواند مفید باشد.

ما می‌خواهیم بر این تأکید کنیم که این کتاب حداقل برای مهندسانی که می خواهند در هریک از زمینه‌های شیوهٔ ساخت و چگونگی عملکرد آن کار کنند، بخصوص برای مهندسان کشتی‌سازی که بطور مستقیم روی طراحی آن کار می‌کنند، می‌تواند مفید باشد. از آنجا که تجربه ما در زمینهٔ زیردریایی‌های نظامی می‌باشد، در نوشته خود روی آن متمرکز شده‌ایم.

فکر می‌کنیم که بیشتر آنچه گفته‌ایم می‌تواند در مورد هریک از وسایل نقلیه زیرآبی دارای سرنشین بکار رود، اما پیشنهاد می‌شود که در مورد اصول طراحی و مهندسی وسایل زیرآبی که دارای سرنشین نیستند، از این کتاب استفاده ننمایند؛ چرا که دارای تفاوت‌هایی می‌باشد که از نظر ایمنی در اصول فنی آن، مناسب نیست.

---

۵. Arentzen
۶. Mandel

مشاهده خواهید نمود روشی که ما در بیان مطالب خود در این کتاب بکار برده ایم، یک رویهٔ اختصاصی و مفید است.

ساختار کتاب

ما با مشکلاتی در بنای اصول این کتاب موجه بودیم. این بدین خاطر بود که هر جنبه آنچنان در ارتباط با سایر بخش‌ها می‌باشد که مجزا کردن آنها از یکدیگر مشکل بود و به همین دلیل برخی موارد به صورت تکراری در قسمت‌های مختلف توضیح داده شده‌اند. ما کار را با ارائه اصول و قواعد کلی فرآیند طراحی که در هر پروژه بزرگ مهندسی بکار می‌رود، شروع می‌کنیم . سپس در فصل های بعدی، مشکلات طراحی را از نقطه نظرات و جوانب متفاوت دنبال می‌نماییم تا آمادگی کافی قبل از ورود به مرحلهٔ طراحی مفهومی زیردریایی بوجود آید.

در دومین فصل خلاصه‌ای از تاریخچه زیردریایی‌ها را از جهت ویژگی‌های خاص شان آورده‌ایم. شناورهایی که نقطه عطفی در روند رو به پیشرفت زیردریایی‌ها تا به امروز بوده‌اند.

سپس به سراغ اصول مهندسی دریایی رفتیم. ملاحظات هیدرواستاتیک زیردریایی که هم در روی سطح آب و هم به هنگامیکه کاملاً در زیر سطح آب می‌باشد، بررسی شده است. این قسمت تأثیر زیادی روی طراحی کل زیردریایی دارد. فصل بعدی، در مورد جابجایی وزن و فضای داخل زیردریایی و چگونگی ارتباط آنها با تعیین ابعاد زیردریایی می‌باشد. به عنوان یک مشخصهٔ اصلی زیردریایی، ما روی امکان غوطه وری شناورها و خصوصیات سازهٔ پوستهٔ سخت[۷] برای مقاومت در برابر فشار در عمق آب، بحث می‌نماییم. در مبحث سازه سعی ما بر روی فهم چگونگی عملکرد سازه زیردریایی است و ارائه جزئیات بیشتر در مورد آنالیز سازه مورد توجه نبوده است. برای افرادی که می‌خواهند بیشتر در این زمینه بدانند لیستی از مراجع در این زمینه، در پایان کتاب ارائه شده است.

عنوان بعدی، بررسی سیستم رانش در زیردریایی‌ها است. این قسمت شامل بحث روی سرعت‌های مورد نیاز و نیروی مقاوم در زیردریایی است. مصرف بهینهٔ انرژی، مستلزم طراحی یک شکل مناسب بدنه بیرونی و انتخاب وسایل پیشرانه متناسب می‌باشد.

در فصل بعد فضابندی قسمت‌های گوناگون درون بدنهٔ سخت باتوجه به الزامات سازه‌ای و نیازمندی‌های سیستم های تأمین انرژی و پیشرانه مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

---

۷. Pressure hull

یک زیردریایی وقتی در زیر آب است، آزادانه می‌تواند در هر جهتی حرکت کند اما محدودیت‌هایی وجود دارد و لذا در ادامه، چگونگی کنترل زیردریایی در سرعت‌های مختلف ارائه می‌شود. هندسه بدنه درجات آزادی را با توجه به ضوابط ایمنی محدود می‌کند.

به کار گیری سیستم‌های ویژه مورد نیاز زیردریایی و چگونگی تخمین ابعاد زیردریایی و جابجایی این سیستم‌ها چنانکه در اصول طراحی اجازه داده شود، از دیگر موارد بیان شده در این کتاب است. طراح اصلی باید بودجه مورد نیاز را مشخص کرده و وظایف را چنان تعریف کند که طراحان متخصص قسمت‌های مختلف بتوانند سیستم‌های مورد نیاز را فراهم کنند. چگونگی ساخت و مکان یابی مناسب ساخت پس از این مراحل مشخص می‌شود. موارد و شرایطی که به طور غیرمستقیم روی فرآیند طراحی زیردریایی اثر می‌گذارند باید در طی مراحل طراحی در نظر گرفته شوند. در فصل آخر فرآیندهای اصل تولید زیردریایی را چنانکه نیازهای عملی را برآورده سازد، بیان داشته‌ایم. چند روش به طراحان پیشنهاد شده است که با توجه به شرایط، مناسب ترین شیوه و راه حل انتخاب می‌شود. ما هر قاعده و قانون ضروری که می‌تواند آزادی و نوآوری را در طراحی محدود کند، مورد بحث قرار می‌دهیم. به هنگام نوشتن این فصول، ما مواردی را بیان کرده‌ایم که بیان آنها از اهداف اصلی کتاب، نسبتاً دور است اما با توجه به شرایط و زمینه کاری خواننده، می‌تواند مفید واقع شود. این موضوعات در انتهای کتاب بصورت ضمیمه آمده است. سرانجام ما امیدواریم این کتاب به عنوان یک مرجع برای طراحان باشد و چندان در این ادعا، اغراق نکرده باشیم. طراحی زیردریایی در بر گیرنده تلاش گروه‌های بسیاری از مهندسان و دانشمندان است که ممکن است تعداد آنها در مراحل مختلف طراحی و ساخت تغییر کند.

دانشگاه کمبریج

ری بارچر – لوئیس ری دیل

درباره مترجم

آقای **مهندس محمد مونسان** فارغ التحصیل مقطع کارشناسی مهندسی کشتی‌سازی دانشگاه صنعتی امیرکبیر و فارغ‌التحصیل مقطع کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک دریا از دانشگاه صنعتی شریف بوده و هم‌اکنون عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر است.

وی پایان‌نامه کارشناسی خود را با عنوان « مبانی طراحی زیردریایی‌های نظامی» به انجام رسانید و پس از آن به انتشار اولین کتاب فنی به زبان فارسی در زمینه زیردریایی‌های نظامی با عنوان «اصول طراحی زیردریایی» اقدام نمود. کتاب‌های دیگر ایشان عبارت است از « آشنایی با زیردریایی‌های نظامی»، « تاریخچه فناوری زیردریایی‌های آلمانی»، «تحلیل پایداری شناورها» و «طراحی کشتی‌های تجاری». ایشان همچنین مقالات متعددی در زمینه فناوری زیردریایی در کنفرانس‌های داخلی و خارجی به چاپ رسانیده‌اند.

فصل اول

« طراحی کلی »

مقدمه :

در این کتاب تلاش می‌کنیم تا جوانب مختلف که در طراحی زیردریایی‌ها مهم هستند را بیان کنیم، البته طراحی زیردریایی خود یکی از فعالیت‌های بی‌شمار طراحی مهندسی است وموضوعاتی وجود دارند که در همه طراحی‌ها عمومیت دارند.

قبل از پرداختن به جنبه‌های خاص طراحی زیردریایی، به‌نظر می‌رسد، معرفی جنبه‌های عمومی‌تر و نشان‌دادن نحوه ارتباط آنها با طراحی زیردریایی در این فصل، ارزشمند باشد.

اهداف طراحی

۱-۱) از آنجائیکه شاخص‌های مورد استفاده در طراحی می‌تواند بسیار با یکدیگر متفاوت باشد، لذا پیشنهاد می‌کنیم سه عاملی که در همه طراحی‌ها در نظر گرفته می‌شود و به عنوان اصول طراحی هستند، مد نظر قرار گیرند:

الف- تولید باید اهداف کاربردی خریدار یا کاربر را برآورده کند.

ب- طراحی باید با توجه به فناوری‌های در دسترس و مواد و منابع موجود انجام گیرد.

ج- هزینه آن باید از نظر خریدار قابل قبول باشد.

عناوین بیان شده بر یکدیگر اثر داشته و وابسته هستند و در مواقعی ممکن است با یکدیگر مغایر باشند. در برخی شرایط و با توجه به درجه اهمیت، طراحی یک عامل بر دیگر عوامل تقدم می‌یابد و معیار طراحی واقع می‌شود.

در مواردی که مشخصه‌های فنی و عملیاتی طرح بسیار حائز اهمیت است، تنها طرحی مطلوب است که قادر باشد به تمام نیازهای کاربردی، جامهٔ عمل بپوشاند. در چنین شرایطی

خریدار باید آمادگی پرداخت هزینه را داشته باشد و سرمایه‌گذاری لازم برای فراهم آوردن فناوری و منابع مورد نیاز در اجرای طرح فراهم شود.

ممکن است فناوری و منابع، تعیین کننده باشد، به ویژه اگر قرارست طرح در کشوری غیراز کشور طراح ، تولید شود. لذا طراح باید همچنین محدودیت منابع را کـه در کـشورش یـا شـرکت مورد نظر وجود دارد، در نظر بگیرد. قابلیت تولید یک طرح هم از نظر هزینه و هم از نظـر زمـان تولید دارای اهمیت است. طراح باید مراحل تولید را بداند و بفهمد که محدودیت در چـه جاهـایی وجود دارد. اشتباه در ارزیابی محدودیت‌ها و قابلیت‌ها در مرحله تولید می‌تواند بسیار هزینه‌بر باشد. برای مثال، یک نوع جعبه دنده، اگر چه از نظر سازه‌ای مناسب به نظر می‌رسـید، ولـی بـه علـت شرایط بارگذاری در طی ساخت، شکسته شد. در طراحـی کـشتی و زیردریـایی، در نظـر گـرفتن الزامات ساخت می‌تواند از ایجاد اشکال در نحوه قرار گرفتن قـسمت‌هـای مختلـف در کنـار هـم جلوگیری کند (در برخی مواقع طراحی مناسب می‌تواند هزینه‌ها را نسبت به مقـدار مـورد انتظـار، کاهش دهد.)، در غیر این صورت در قسمت ساخت و تجهیز شناور مشکلاتی بوجود خواهـد آمـد که هزینه را افزایش خواهد داد.

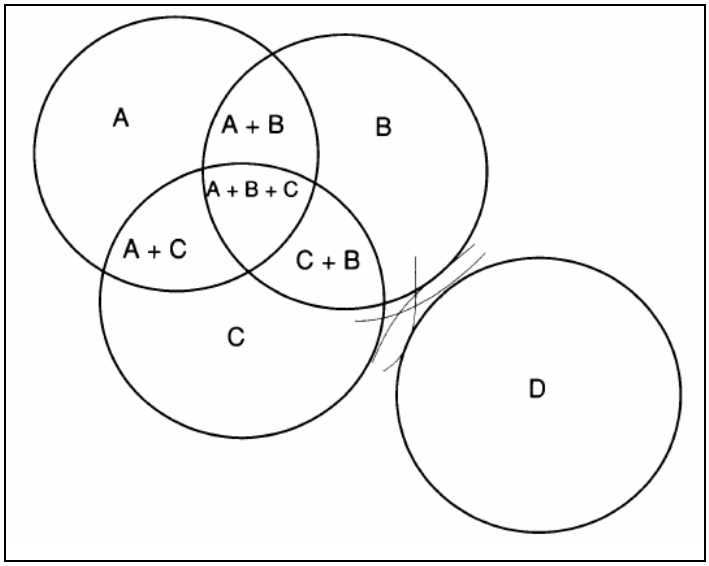
در برخی طرحها شاخص هزینه تقدم دارد، چرا که محدودیت بودجه وجود دارد. در مجموع، همه طراحی‌ها دارای یک هزینه اجرایی هستند که می‌تواند به عنـوان معیـاری در یـک طراحـی مناسب بکار رود. ممکن است یک سقف هزینه تعیین شده باشد که طراحی را بسیار تحـت تـأثیر قرار خواهد داد. برخی از پروژه‌ها بر اساس کمترین هزینـه سـاخت و طراحـی بنـا مـی‌شـوند. در شرایط معمولی طراحی، هر سه شاخص بیان شده مهم هستند بدون اینکه هیچیک برتری داشته باشند. بنابراین طراح می‌تواند اقدام به خلق یک طرح رضایت‌بخش کند در حالیکه هزینه نیز قابل قبول باشد.

برای دست یافتن به یک شیوهٔ مناسب در طراحی، باید ارتباط تنگاتنگی بین طراح و کاربر از مراحل اولیه طراحی، وجود داشته باشد. طراح باید کاملاً توقعات کاربر را بفهمد و همچنین کاربر باید اهمیت و تقدم نیازهایش را بداند.

۲-۱) این ارتباط بین طراح و کاربر معمولاً در طراحی، «مصالحه[1]» نامیده می‌شود.

ما باید در طراحی به یک راه حل بهینه[2] با توجه به شرایط موجود، برسیم. برای روشن شدن موضوع می‌توانیم از شکل زیر استفاده نمائیم. فرض می‌کنیم که A و B و C، سه مورد از احتیاجات طراحی باشد و در موقعیت‌های متفاوت قرار گرفته باشند. حول هر یک از نقاط دایره‌ای رسم می‌کنیم بطوریکه ۷۰ درصد نیاز برآورده شود (شکل ۱-۱). این دایره‌ها ممکن است در قسمت‌هایی بر هم منطبق شوند که طراح دارای گزینه‌های مختلف برای انتخاب است. طراح باید منطقه (A+B+C) را چنان انتخاب کند که دسترسی به هریک از نیازها بیش از ۷۰ درصد باشد. همچنین طراح می‌تواند مناطق A+B ، B+C یا C+A را طوری انتخاب کند که در مواردی بازدهی بیشتری را در انتخاب ۲ مورد از ۳ مورد بدهد و با توجه به اهمیت هزینه می‌تواند درصد ناحیه‌های انتخاب شده تفاوت کند. ممکن است برای رسیدن به الزامات مورد نظر، یکی از آنها را، A یا B یا C را بر دو عامل دیگر برتری داد. وضعیت D از آنجا که دارای انطباق ۷۰ درصد نمی‌باشد، مشکلاتی را ایجاد می‌کند لذا در نظر گرفته نمی‌شود.

1- Compromise
2- Optimum



شکل (۱-۱) محدودهٔ مشترک در شاخص‌های مختلف طراحی

۳-۱) عامل دیگری که در کنار این سه عامل باید در نظر گرفته شود، تأثیرگذاری متقابل[1] می‌باشد. به عنوان مثال، محدودیت منابع بر نحوه اجرا و تعیین سقف هزینه تاثیر خواهد گذاشت. در فصل‌های آتی خواهید دید که این تاثیرگذاری متقابل در مراحل مختلف طراحی روی می‌دهد. در زیردریایی‌ها روی جزئیات مراحل طراحی بسیار تأکید می‌شود، چنانکه اثر هر تصمیمی روی سایر مشخصه‌های طراحی بررسی می‌شود، احیاناً یک عامل پیش‌بینی نشده می‌تواند کل طراحی را تحت تأثیر قرار دهد.

یک طراحی خوب ممکن است مانند یک معما (پازل)[2] در نظر گرفته شود که شامل همه قطعات و قسمت‌های سیستم طراحی است (شکل۲-۱). اگر یکی از این قطعات تغییر شکل دهد جای بیشتری ندارد، لذا قطعات مجاور آن فوراً باید مطابق با تغییرات، تغییر شکل دهند. این تغییرات بعدی ممکن است همچنان ادامه یابد تا اینکه تمام قطعات برای رسیدن به شکل

1- Interaction
2- Jig - Saw

مطلوب، اصلاح شوند. طرح‌های انعطاف‌پذیر و دارای حاشیه اطمینان کافی، همانند کشتی‌ها باید قابلیت تحمل تغییرات بسیاری را داشته باشند.

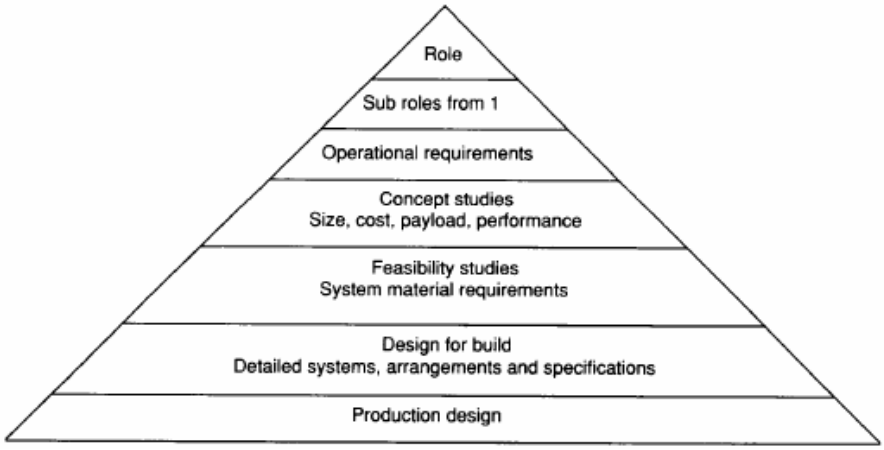
شکل (۲-۱) اجزاء مختلف طراحی مکمل یکدیکر هستند

مراحل طراحی

۴-۱) فرآیند طراحی معمولاً با تعریف نیازها شروع شده و با تکمیل نقشه‌ها و دستورالعمل‌های ساخت پایان می‌یابد. ممکن است ابراز شود که این مرحله، پایان طراحی نمی‌باشد و این فرآیند تا ساخت اولین فروند کشتی (یا موضوع مورد طراحی) و آزمایشات بعدی آن، ادامه می‌یابد. در حقیقت آخرین مراحل، شامل اصلاحات طراحی و فراهم آوردن اطلاعات اصلاح شده می‌باشد. برای اهدافی که مورد بحث قرار داده و پیشنهاد کرده‌ایم، اطلاعات تولید، نقطه پایان طراحی می‌باشد. این اطلاعات به عنوان آخرین دستاوردهای طراحی، برای طرح‌های آتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. دستیابی به محصول نهایی، به یک چارچوب تکامل طراحی با مرحله‌بندی و ایستگاه‌های تصمیم‌گیری مشخص، جهت اقدام بر اساس آن، نیازمند است. این موضوع اشاره به آن دارد که در فرآیند طراحی بتدریج ورود به

جزئیات افزایش می‌یابد. این مفهوم می‌تواند توسط شکل هرم (شکل ۳-۱) بیـان شـود. در رأس هرم؛ یک مفهوم بسیار ساده و در انتهای هرم تعاریف جزئیات کامل تولید وجود دارد. هر سطحی شامل تعریف کاملی از شناور است امـا دارای جزئیـات و خـصوصیاتی متفـاوت است.

بنابراین رأس هرم می‌تواند بعنوان تعریف نقش زیردریایی در نظر گرفته شود. فـرض مـی-کنیم کار طراحی هنگامیکه نیاز به زیردریایی اعلام گردد، آغاز می‌شود. البته قبل از ایـن مرحلـه (مرحله شروع طراحی) مراحل دیگری می‌باشد که طی آن راه‌کارهای متفاوت برای تحقـق یـک نیاز، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این مرحله تعریف اولیه‌ای از زیردریایی بیان مـی‌شـود. بـرای مثال، ممکن است این زیردریایی برای از میان برداشتن مانعی در دریای آتلانتیـک شـمالی و یـا برای جستجو و عملیات نجات در بستر دریا در نقاط مشخص اقیانوس باشد.



شکل (۳-۱) هرم طراحی

مرحله بعدی، توسعه تعاریف مشخصات مختلف زیردریایی و نقـش آن اسـت. ایـن مرحلـه می‌تواند شامل تعیین نواحی جغرافیایی مورد نظر، شرایط مختلف جوّی، زمان دریانوردی و مقـدار

ضریب اطمینان در ایفای نقش زیردریایی باشد. این مرحله از تعریف، اولین مرحله‌ای خواهد بود که باید اصولاً از طرف خریدار و مطابق با اهداف عملیاتی صورت پذیرد.

مذاکره میان طراح و کاربر در مرحله بعد خواهد بود که پس از این مرحله شروع می‌شود. گسترش صورت مسئله از مشخصات اصلی عملیاتی به سمت تبیین مشخصه‌های فنی در طی مذاکرات طراح و کاربر حاصل می‌شود. این توضیحات ممکن است در دو سند مجزا تنظیم گردد. برای انجام وظایف، زیردریایی به تجهیزات، حسگرها[1]، وسایل ارتباطی، سلاحها و یا جستجوگرهای نجات، نیاز دارد. خصوصیات کاربردی این تجهیزات باید مشخص گردد. در همان مرحله، خصوصیات کاربردی زیردریایی به عنوان یک وسیلهٔ نقلیه باید مشخص شود که تا چه مسافتی باید تردد کند، مأموریت آن چه مدت طول خواهد کشید، چه سرعتی مورد نیاز است، دقت آن در موقعیت‌یابی تا چه اندازه است، تا چه عمقی باید غوص کند و چه مدت باید در زیر آب بماند.

۵-۱) پس از این تعاریف و توضیحات، طراح می‌تواند طراحی مفهومی را شروع نماید. این مقدمات امکان توضیحات فنی برای برآوردن نیازها را فراهم خواهد کرد و مرحله بعدی طراحی زیردریایی آغاز خواهد شد. مراحل بعدی شامل انتخاب تجهیزات، تعداد خدمهٔ مورد نیاز، تخمین اندازه، قدرت، شکل بدنه و هزینه ساخت می‌باشد.

در این مرحله، بسیاری از ایده‌های طراحی مورد توجه قرار می‌گیرد. هر کدام از این ایده‌ها می‌توانند قابلیت‌های فنی متفاوت و هزینه‌های متناظر به خود را باعث شوند. ممکن است بین تجهیزات و کارآیی شناور تعارض و ناسازگاری بوجود آید که نیازمند مطالعات بیشتر برای رسیدن به یک راه حل بهینه است.

فراهم آوردن چنین طرحهای مفهومی در ابتدا یک اقدام ترکیبی است. در آخرین فصل کتاب، ما روشهای مشخص و ثابتی را برای طراحی مفهومی و پارامترهای اساسی آن، به عنوان

1- Sensor

مقدمه و شروع کار مورد بحث قرار خواهیم داد. اگر چه می‌تواند از نوآوری و ایده‌های جدید جلوگیری نماید. در مرحله طراحی مفهومی یک حدودی از نوآوری و اختراع وجود دارد اگرچه نتیجه آنها باید به گونه‌ای باشد که از نظر فیزیکی قابل فهم باشد. برای این کار طراح باید از جوانب مختلف سیستم‌های زیردریایی و چگونگی کارکرد آنها آشنایی کامل داشته باشد. در بخش‌های بعدی، سیستم‌های اصلی زیردریایی پیش از ورود مجدد به فرآیند طراحی مفهومی، معرفی می‌گردند.

مطالعات مفهومی مبنایی برای گفتگو و امکان اصلاحات بوجود می‌آورد. ممکن است ریسک‌هایی در میزان کارآیی و هزینه‌بری بوجود بیاید. در مواردی که دارای ریسک بالایی هستند باید با تحقیقات اصولی و برنامه‌های دقیق برای رسیدن به بازدهی بیشتر، بازبینی انجام شود.

۶-۱) در پایان مرحله طراحی مفهومی تعداد اندکی از طرح‌های برتر انتخاب شده و مورد مطالعات بیشتر قرار می‌گیرند. فرآیند طراحی هم اکنون به سمت مرحله بعدی، یعنی «مطالعات امکان‌سنجی» حرکت می‌کند. البته هنوز امکان نوآوری در این مرحله وجوددارد. مشخصات این مرحله عمدتاً به‌جای ترکیب، از طریق تجزیه و تحلیل ، تعیین می‌شود. براساس اصول طراحی که توضیح داده شد؛ تجزیه و تحلیل جزئیات مهندسی، آگاهی بیشتری برای تصدیق و تأیید مشخصه‌های طراحی فراهم می‌آورد. در این مرحله، تجهیزات، وسایل رفاهی و سیستم‌های مخصوص در داخل بدنه، اضافه خواهند شد. جزئیات آنالیز سازهٔ بدنه فشار انجام شده و آنالیز گسترده‌تری از قدرت و کارآیی آن انجام خواهد شد. این آنالیزها می‌تواند امکان ارزیابی بهتری از وزن در مقایسه با شناوری بدهد و بالانس هیدرواستاتیک مناسبی ایجاد کند.

حجم فعالیت‌ها در مرحله امکان‌سنجی گسترش می‌یابد و نیاز به تعداد بیشتری از متخصصان سیستم‌های اولیه برای ادامه کار طراحی است. در این مرحله، تعاریف جزئی و

دقیق‌تری از طراحی که با دیگر سطوح هرم می‌تواند در ارتباط باشد، بررسی می‌شود. یک نتیجه مهم این مرحله، تخمین «بودجه» بر حسب وزن، فضای داخلی و قدرت، برای سیستم‌های زیرمجموعه طرح است.

تعیین بودجه راهی برای کنترل یک طراحی منتخب یا دیگر گزینه‌های طراحی می‌باشد. نتیجه مهم دیگر مرحله «امکان‌سنجی» می‌تواند آشکار کردن نقایص در تعیین اصول اولیه باشد. اگر اصول طراحی توسط یک طراح آگاه و بصیر انجام گرفته باشد، نقایص اندکی در مرحله امکان‌سنجی طراحی مشخص خواهد شد ولی در غالب موارد نیاز به بررسی مجدد مشخصه‌های اصلی زیردریایی از جمله شکل، وزن، کارآیی و ارزیابی هزینه خواهد بود. بنابراین ممکن است عمل طراحی چند بار تکرار گردد تا نهایتاً به یک طرح ثابت برسیم. این فرآیند تکرار، یکی از مشخصه‌های معمول همه طراحی‌های مهندسی است. این مشخصه با مشخصه دیگری که یک «فرآیند خود اصلاح» نامیده می‌شود همراه خواهد بود. تداوم این فرآیندهای متغیر طراحی باعث یک فهم عمیق‌تر از تأثیر متقابل قسمت‌های طراحی خواهد شد.

راهنمایی‌ها و روش‌های عنوان شده در این کتاب، تجارب ما می‌باشد که البته هر طراحی مشخصه‌های خاص خویش را خواهد داشت که برخی از جنبه‌های آن نسبت به تغییرات حساس بوده و برخی دیگر دچار تغییرات اندکی می‌شوند. در برخی موارد مشاهده می‌شود که برخی از طراحی‌ها بسیار بحرانی [و بدون حاشیه اطمینان] طراحی شده‌اند، چنانکه در وزن بحرانی، افزایش اندک وزن یک سیستم باعث تأثیرات اجتناب‌ناپذیر دراندازه آن می‌شود.

خصوصیت دیگر زیردریایی آن است که بسیاری از سیستم‌های آن چند منظوره و دارای چند کاربرد هستند. طراحی برخی از سیستم‌های ویژه در طراحی می‌تواند به گونه‌ای باشد که با اندک تأثیر بر سایر قسمت‌ها، کارآیی آن تغییر یابد. به عنوان مثال، یک دیواره عرضی اصلی را در نظر بگیرید که یک کار آن تقویت بدنه فشار می‌باشد؛ همچنین بدنهٔ زیردریایی را به قسمت‌های کوچکتر تقسیم می‌کند، بنابراین باید فشارهای جانبی را تحمل کند؛ همچنین ممکن

است قسمتی از وزن تجهیزات داخل بدنه را تحمل نماید. هر یک از این موارد می‌تواند روی طراحی سازه‌ای دیواره[1] برای انجام این وظایف، تأثیرگذار باشد.

۷-۱) با تکمیل مطالعات امکان سنجی، ورود به مرحله بعدی از فرآیند طراحی صورت می گیرد و طی آن کلیه مشخصه‌های مهم و تثبیت شده، قطعی می‌گردد. نام مرحله پس از امکان‌سنجی، مرحله طراحی برای ساخت است و برای اجرای آن، روش مشخصی وجود ندارد. در این مرحله باید براساس مطالعات امکان‌سنجی، نقشه‌ها و دستورالعمل‌های تولید با جزئیات بیشتری از سیستم‌ها و تجهیزات برای سازندگان ارائه گردد.

دقت و ظرافتی که طراحی در آن انجام خواهد شد به روش ساختی که برای اولین زیردریایی در قرارداد در نظر گرفته شده بستگی دارد. کار روی طرح و روش ساخت پس از موفقیت‌آمیز بودن انعقاد قرارداد، یعنی مشخص شدن سازنده، شروع خواهد شد. اگر قرارداد فقط برای ساخت باشد، کار طراحی آن قبلاً توسط تیم طراحی برای ارائه مناقصه انجام شده است. در عقد قرارداد باید جزئیات بیشتری از طراحی در سطوح پائین هرم شکل (۳-۱) که ما آن را طراحی برای ساخت می‌نامیم، مشخص شده باشد.

توسعهٔ طراحی در جزئیات، باعث گستردگی و افزایش تیم طراحی می‌شود که شامل متخصصان طراحی بسیاری نظیر؛ متخصص سیستم‌های تسلیحات، سیستم‌های الکتریکی، سیستم‌های سوخت، هوا یا آب؛ متخصصان ماشین آلات و طراحی سازه، می‌باشد. تیم کوچک طراحی مفهومی و «امکان‌سنجی» می‌تواند معمولاً به عنوان ناظر بر تکمیل مراحل باقیمانده از فرآیندهای طراحی و آگاهی از تغییرات بعدی آن باقی بماند.

برای ادامه کنترل طراحی باید هماهنگی‌ها و تنظیم‌های بیشتری در طی کار اعمال شود. بهترین روش این هماهنگی و تنظیم کار، مشخص کردن بودجه از طرف مدیریت طراحی، برای هر یک از گروههای سیستم‌های مختلف می‌باشد. بودجه نباید به سادگی اختصاص یابد بلکه باید

1- Bulkhead

پارامترهای متعددی که متخصصان مختلف بتوانند کار خویش را انجام دهند، در نظر گرفته شود. برای تأمین نیازهای هیدرواستاتیک، باید وزن‌ها و موقعیت آن‌ها و مرکز گرانش مشخص شود و برای تأمین قدرت و انرژی مورد نیاز هم باید موقعیت سیستم تولید قدرت و مراکز توزیع آنها مشخص شود و متناسب با هر یک از مراحل بودجه اختصاص یابد. تقسیم‌بندی بودجه یکی از مهمترین اقدامات در مرحله «امکان‌سنجی» می‌باشد. با تنظیم دائمی بودجه، مدیر طراحی می‌تواند در جریان مراحل طراحی بوده و نقاط بالقوه‌ای که می‌تواند برای موفقیت‌آمیز بودن طرح خطرناک باشد از رده خارج کند.

اگر گروهی از متخصصان در ادامه کار خویش با کمبود بودجه مواجه شوند، مدیر طراحی باید سعی در حل مشکل نماید. برآورد تخمین‌های اولیه واقع بینانه و مناسب، می‌تواند با بازبینی در بودجه هر یک از بخش‌ها و اختصاص سخاوتمندانه‌تر بودجه، امکان‌پذیر شود. در شرایط بحرانی و سخت ممکن است یک سری تغییرات حتی تا حد تغییر طرح اصلی بر روی کار اجرایی انجام شود. اگر این مقدار قانع کننده نباشد، بازبینی‌های اصلی بیشتری در طراحی ممکن است مورد نیاز باشد.

علت بازبینی در موارد با اهمیت، ممکن است در اثر نقص در طراحی‌های اولیه و امکان‌سنجی باشد. به منظور پرهیز از ریسک، باید موارد ایمنی در مراحل اولیه طراحی و تأثیر متقابل آنها بر یکدیگر توسط طراح در نظر گرفته شود تا نقص‌ها به جزئیات سرایت ننماید. بنابراین، برای مثال طراح باید نقشهٔ قدرت هیدرولیک و سیستم تقسیم آن را طوری در نظر بگیرد که تا جائیکه امکان دارد، نیاز به طراحی دوباره نداشته باشد. در درجه‌های بالاتری از نوآوری در اصول و مفاهیم، باید تأثیرات آن در مراحل بعدی مشخص شود چرا که تأثیرات یک مرحله بر مراحل بعدی در یک طراحی، معمولاً ناشناخته است. البته این نباید بهانه‌ای برای پرهیز از نوآوری و اختراع باشد بلکه باید زنگ هشداری نسبت به خطرات آتی باشد.

اگرچه احتیاط بیش از حد مورد قبول نیست، ولی اگر یک طرح مورد قبولی وجـود دارد کـه بیشترین شانس موفقیت را دارد می‌توان با احتیاط بیشتری آن را بررسـی کـرد. تنهـا هنگامیکـه طراحی به قسمت جزئیات می‌رسد، نقایص و مشکلات آشکار می‌گردد که پیش از این، از آن یـاد شد. اگر بخواهیم از نتایج و بهره‌های خالص یک نوآوری بدون ریسک‌هایی که می‌توانـد در پـی آن باشد، برخوردار شویم، می‌توان از یک تیم طراحی همانند آنچه مثلاً در مرحلـه سـاخت وجـود داشت، استفاده کرد. در این صورت، تیم طراحی باید چیزهای بیشتری از مـشکلات و تبعـات آن بدانند و آمادگی بیشتری در آینده برای شروع یک کار جدید داشته باشند.

۸-۱) برای تکمیل طراحی ساخت، موارد ذیل در جزئیات ممکن است در نظر گرفته شود :

سازه :

شکل بدنه فشار اصلی با ضخامت ورق‌ها، فواصل، ابعاد و هندسهٔ فریم‌ها و برجک؛

قسمت‌های اصلی داخلی سازه برای ظرفیت مورد نیاز، دیواره‌ها و عرشه‌های اصلی؛

مخازن بیرونی و فضاهای آبگیر آزاد از جمله عرشه و برجک؛

جزئیات مربوط به نحوه اتصال و منافذ دریچه‌ها، فلنچ‌ها و غیره به سازه اصلی؛

شاسی نصب تجهیزات بزرگ؛

مشخصات فرآیند جوشکاری و آزمایشات غیر مخرّب ساخت.

جانمایی قسمت‌ها :

نقشه‌های جانمایی عمومی تمام قسمت‌ها و طرح عرشه؛

تمام موارد مرتبط با تجهیزات اصلی و سیستم‌های اصلی مشخص شده روی نقشه هر یـک از قسمت‌ها؛

نقشه‌های فضای مخازن و ترتیب قرار گرفتن آنها؛

نقشه‌های فضای مورد نیاز برای تخت‌خوابهای دیواری و نحوه جانمایی کابینتها و میزها

جزئیات جانمایی دکل‌ها و حس‌گرها؛

جزئیات جانمایی سیستم‌های بارگیری و شلیک تسلیحات.

هیدرودینامیک :

تخمین نیروی مقاوم و قدرت مورد نیاز توسط آزمایشات مدل تصدیق شده یا مورد بازبینی قرار می‌گیرد؛

تعادل دینامیکی و کنترل، توسط آزمایشات و کنترل مدل بررسی می‌شود؛

تعیین قدرت مورد نیاز؛

طراحی سیستم پیشران که در آزمایشات مدل تصدیق شده باشد.

سیستم‌ها :

نقشه‌های قدرت متناسب با ظرفیت مورد نیاز و انتخاب وسایل مناسب آن (پمپ‌ها، موتورها، کمپرسورها، کپسول‌ها)؛

نقشه‌های سیستم انتقال پیشرفته و مسیرهای لوله‌کشی و کابل‌کشی مشخص شده در هر قسمت؛

انتخاب اندازه لوله‌ها، کابل‌ها، شیرهای اصلی، سویچ‌ها و منافذ دیواره‌های نفوذناپذیر [برای عبور لوله و کابل]؛

استانداردهای مناسب و خصوصیات انتخاب شده آنها.

هیدرواستاتیک :

محاسبه تمام اجزاء شناوری با تعیین مراکز عمودی و طولی آنها؛

جزئیات محاسبات انجام شده وزن ومحاسبات مراکز گرانش؛

مخازن شناوری اصلی، مخازن جبران و توازن و مشخص کردن محل و اندازه هریک؛

محاسبه مقدار و موقعیت وزنه‌های ثابت برای رسیدن به تعادل طولی و تعادل عرضی، هم در سطح آب و هم در زیر سطح آب.

۹-۱) همچنانکه در شکل ۳-۱ مشخص است، مرحله فعال دیگری در هرم طراحی وجود دارد که «طراحی تولید» است. این مرحله باید در هر یک از قسمت‌های شناور برای تولید، تجهیز و آزمایش تعریف شود که توسط سازندگان زیردریایی اجراء خواهد شد.

باید اذعان داشت که «طراحی تولید» حجم قابل توجهی از کار را در بر خواهد گرفت، بخصوص در زیردریایی که با توجه به طبیعت آن، یکی از پیچیده‌ترین شناورها می‌باشد.

۱۰-۱) پس از آشنایی با اصول طراحی که پیش از این گفته شد و چگونگی ارتباط طراحی زیردریایی با طراحی مهندسی، ما به سراغ خصوصیات فنی در طراحی زیردریایی می‌رویم و در پایان کتاب، مجدداً به فرآیند طراحی زیردریایی باز می‌گردیم. بهترین راه در حل مشکلات موجود در فرآیند طراحی که پیش از این توضیح داده شد، در نظر گرفتن و آشنایی با ملاحظات فنی است که بطور قابل ملاحظه‌ای این فرآیند را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

فصل دوم

« نقاط عطف در

سیر پیشرفت زیردریایی‌ها »

اصطلاح شناسی؛ غوطه‌ور شونده و زیردریایی[1]

۱-۲) اصطلاحات خاصی برای توضیح شناورهایی که قادر به رفتن در زیر آب هستند وجود دارد که در حین مرور تاریخچه، به آنها اشاره می‌کنیم. بعضی از این نوع شناورها در مقایسه با انواع دیگر بخوبی مجهز شده‌اند؛ همانند نسبت قایق به کشتی. بطور مثال می‌توان به بکارگیری موشک‌های بالستیک در زیردریایی که نسبت وزنی آنها نیز می‌تواند دهها تن به هزاران تُن باشد، اشاره کرد.

بحث تفاوت میان غوطه‌ور شونده‌ها[2] و زیردریایی‌ها[3]، تا پیدایش سیستم‌های رانش هسته‌ای و قابلیت کنترل از فضا که آنها را قادر می‌کرد ماهها بطور کامل در زیر آب به گشت‌زنی بپردازند و به سلامت به مقصد برسند، مطرح نشده بود. تصویر تمام نمای «غوطه‌ور شونده» را اینطور می توان توضیح داد که، وسیله‌ای که مجبور است اصولاً روی یا نزدیک سطح آب بکار گرفته شود تا دسترسی بیشتری به اتمسفر برای جذب اکسیژن جهت تنفس و موتورهای رانش احتراقی داشته باشد و در مواقعی هم برای پنهان ماندن از دید دشمن و یا انجام حمله توسط اژدر و یا در امان ماندن از حمله متقابل، می‌تواند به صورت متناوب به زیر آب رفته و بالا بیاید.

بهتر است از عبارت «زیردریایی» استفاده کنیم و در سراسر این کتاب با توجه به کاربری دریایی موضوعات، اصطلاحات را بکار می‌بریم. همچنین ترجیح دادیم که از لغت «غوطه‌ور شونده» در شرایط تجاری نیز استفاده ننمائیم، اگرچه برای افرادی که در این زمینه کار می‌کنند معمول باشد.

1- Submersible and Submarine
2- Submersible
3- Submarine

همچنین باید بدانیم که هر زیردریایی، نوعی غوطه‌ور شونده است که از آن به صورت صفت استفاده می‌شود و می‌توان تفاوت صریح آنها را نشان داد. در طی سالهای گذشته وسایل ابتکاری بسیاری برای رفتن به زیر آب ابداع شده است (جدول ۱-۲).

تورتل[1] ساختهٔ باشنل[2] در سال ۱۷۷۶ و ناتیلوس[3] ساختهٔ فالتون[4] در سال ۱۸۰۰ برای شکستن محاصره بنادر بریتانیایی توسط وسایل زیرآبی دارای سرنشین، استفاده شد. اکثر این طرحها فاقد سیستم‌های تأمین انرژی مناسب بودند که نیاز به پیشرفت باتری‌ها و موتورهای احتراق داخلی داشتند تا آنها را به شناورهایی که کاربرد واقعی داشته باشند، تبدیل کند. بدین منظور طرح‌های متفاوت بسیاری با ساختارهای متفاوت توسط مخترعین در کشورهای مختلف، آزمایش شد.

جدول (۱-۲) تاریخچه زیردریایی

Date	Event/Name
415 BC	Free Divers-Syracuse
330 BC	Diving Bell – Aristotle
1620 AD	Submersible-Van Drebble S/M Galley
1776 AD	Turtle by Bushnell – USA
1800 AD	Nautilus by Fulton
1863 AD	Plongeur by Bourgois
1864 AD	David – US Civil War Sank USS Housatonic
1880 AD	Nordenfelt, Goubet, Narval by Laubeauf, Holland.
1901 AD	Holland No.1.

1- Turtle
2- Bushnell
3- Nautilus
4- Fulton

در این کتاب، ما تقریباً روی روند توسعه و پیشرفت طرحها متمرکز می‌شویم و به طراحان، هر چند که مجرب باشند، توصیه می‌کنیم که آن را مطالعه نمایند. آنچه تا دیروز غیر ممکن و غیر عملی به نظر می‌رسید امروزه توسط فناوری مدرن و مواد جدید، جامهٔ عمل پوشیده است. زیردریایی USS Holland متعلق به جان هلند[1] انتخاب ما به عنوان اولین نقطه عطف در مسیر پیشرفت طراحی زیردریایی‌ها می‌باشد، چرا که دارای بسیاری از مشخصه‌هایی است که در طراحی‌های امروزه بکار می‌رود. همچنین طراحی خوب زیردریایی ناروال[2] از لوبیوف[3] ثابت کرد به عنوان پیشتاز اغلب زیردریایی‌ها در نیمه اول قرن اخیر بوده است. ساختار این زیردریایی شامل بدنه فشار(پوسته سخت)[4] است که توسط یک پوشش شبیه قایق احاطه می‌گردید. این طرح دارای سیستم‌های شناوری در سطح آب و شبیه یک قایق اژدرافکن[5] بود.

همانطور که خواهیم گفت، این وسیله دارای اصول یک شناور در سطح آب بود که قادر به رفتن به زیر آب باشد و این طرح برای چند دهه راه حل عملی در این زمینه بود.

اولین نقطه عطف؛ زیردریایی هلند[6]

۲-۲) زیردریایی هلند (شکل ۱-۲) که توسط نیروی دریایی آمریکا در سال ۱۸۹۹ آزمایش شد، نتیجه ۲۵ سال زحمات و تلاشهای شبانه روزی یک معلم مدرسه ایرلندی به نام «جان هلند» بود و آن را به امید اینکه روزی به عنوان یک زیردریایی عملیاتی اژدرافکن و در ابتدا، برای اینکه علیه انگلستان استفاده نماید، ساخته بود.

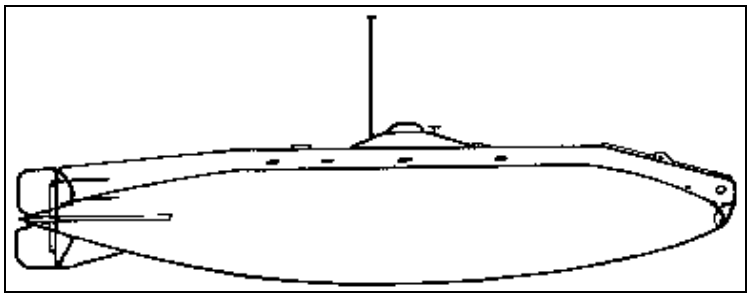
1- John Holland
2- Narval
3- Laubeuf
4- Pressure hull
5- Torpedo boat
6- Holland

بر اثر نوآوری‌های وی، هلند دارای خواص ویژه‌ای نظیر نسبت طول به قطر کم، تک پروانه و سوپر استراکچر کوچک و شکل بدنه متقارن بود و در دهه‌های بعدی نشان داد که این زیردریایی چه تأثیر زیادی در روند تکامل زیردریایی‌ها داشته است. جان هلند، سرمهندس شرکت شناورهای الکتریکی Groton در ایالات متحده شد که در سال ۱۹۰۰، شش فروند از زیردریایی‌های بزرگتری که بر مبنای طرح هلند طراحی شده بودند، تولید کرد. قابلیت‌های این زیردریایی‌ها به گونه‌ای بود که از طرف انگلستان به رسمیت شناخته شدند، هر چند که تا حدودی از طرف نیروی دریایی سلطنتی مورد استقبال واقع نشد. در پی مذاکرات متعدد، شرکت کشتی‌سازی انگلیسی ویکرز[1] از بارون[2] در فُرنس[3] در سال ۱۹۰۱، یک زیردریایی از نوع هلند تحت مجوز شرکت شناورهای الکتریکی ساخت که (Holland I) نام گرفت. این تنها زیردریایی تولید شده در جریان تولید زیردریایی‌ها نبود بلکه کار ساخت از طریق دو شرکت که تا امروز هم وجود دارند دنبال می‌شد. در آزمایشات مشخص شد که هلند ۱ بدلیل عرشه کوچک و نیاز به باز گذاشتن دریچه بالای برجک کوتاه آن (برای فراهم کردن هوای مورد نیاز موتور)، امکان غرق شدن دارد. «ویکرز» به سرعت مشغول اصلاح طرح شد و عرشه آن را افزایش داد و سازه برجک بلندتری ساخته شد که خطر نفوذ آب در سطح دریا را کاهش می‌داد.

در این راه، ساخت اولین کلاس زیردریایی‌های انگلیسی، کلاس A ، شروع شد. «جان هلند» به عنوان برجسته‌ترین مخترع در زمینهٔ زیردریایی، گامهای بلندی را در این راه برداشت، بطوریکه نیروی دریایی اکثر کشورهای جهان خواستار در اختیار گرفتن این وسیله زیرآبی بودند. مشارکت او در توسعه و پیشرفت این صنعت بسیار برجسته بود و او راه حل‌های عملی برای مشکلاتی که تا پیش از این سد راه بودند، ارائه می‌کرد.

1- Vickers
2- Barrown
3- Furness

۳-۲) در فاصله کوتاه بین شروع کار در زمینه زیردریایی (ابتدای قرن گذشته) تا شروع جنگ جهانی اول، طرح‌های زیردریایی بسیار پیشرفت کردند، چنانکه آمریکا، فرانسه، انگلستان و بویژه آلمان درسال ۱۹۱۴ ، چندین فروند زیردریایی اقیانوس‌پیما در اختیار داشتند. در نقش زیردریایی‌ها در آینده برای نبرد با کشتی‌های جنگی تردید وجود داشت، اما همه اذعان داشتند که توانایی‌های تاکتیکی جنگ توسط زیردریایی‌ها با اهمیت بوده و باید مشخص شود. لذا مدل های موفق بعد از کلاس A که مدلهای B و C نام گرفت قبل از سال ۱۹۱۴ در ویکرز ساخته شد.



شکل (۱-۲) زیردریایی هلند

تناژ سطحی آب: ۶۳/۳ تن	طول: ۵۳ فوت	سرعت در سطح آب: ۶ گره
تناژ زیرسطحی: ۷۴ تن	عرض: ۱۰/۲۵ فوت	سرعت در زیر آب: ۵ گره

اراده بر این بود که نقایص طرح، نظیر خطرات موتورهای بنزینی برای قسمت پیشران روی سطح آب بدلیل محدودیت‌های ایجاد شده ناشی از قرار گرفتن مخازن شناوری اصلی در درون پوستهٔ سخت، برطرف گردد.

مدل D از زیردریایی‌های نیروی دریایی سلطنتی، اولین زیردریایی بود که در سال ۱۹۰۹ به خدمت گرفته شد و به طور مؤثری با کمک طرح هلند حلقه محاصره را شکستند. موتورهای دیزل ویکرز جایگزین موتورهای بنزینی شد و مخازن شناوری اصلی در بیرون بدنه فشار قرار

گرفتند (زیردریایی ناروال[1]). در این زیردریایی‌ها مدل موفق E که دارای قابلیت‌های یک زیردریایی دور برد بود، توانست به سؤالاتی که تا آن روز بدان پاسخ گفته نشده بود، به روشنی پاسخ دهد که واقعاً زیردریایی‌ها به چه کار می‌آیند؟

دومین نقطه عطف؛ زیردریایی آلمانی مدل U-35

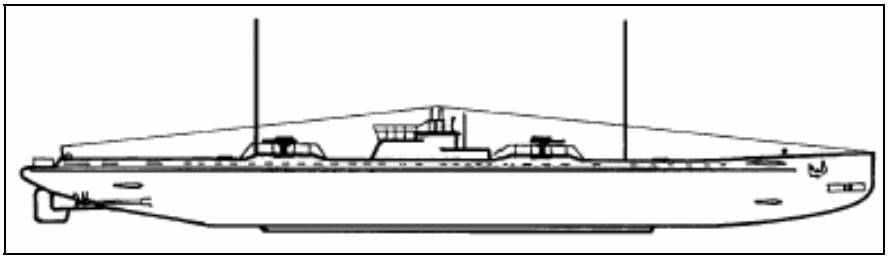
۴-۲) نیروی دریایی آلمان در مدل WWI پاسخ بهتری برای آن سؤال فراهم کرد. با توجه به موفقیت زیردریایی‌های آلمانی در غرق کردن کشتی‌های جنگی نیروی دریایی سلطنتی انگلستان در چند ماههٔ سال ۱۹۱۴ و اهمیت خطوط تجاری انگلستان باعث تصمیم آلمانی‌ها در سال ۱۹۱۵ مبنی بر عملیات غیرمحدود زیردریایی‌های آلمانی علیه هر کشتی تجاری که به طرف انگلستان حرکت کند، شد. هدف این عملیات تحت فشار قرار دادن انگلستان با قطع راه‌های ارتباطی و حمل و نقل زیادی که از طریق دریا انجام می‌شد، بود.

در ابتدای جنگ، نیروی دریایی آلمان تقریباً فقط حدود ۲۰ فروند زیردریایی کوچک در اختیار داشت. با غرق کردن تعداد زیادی از کشتی‌های تجاری توسط آتش توپخانه زیردریایی‌ها، اژدرها برای اهداف مهمتری حفظ می‌شدند.

تا این زمان جنگ ضد زیردریایی (ASW)[2] هنوز شروع نشده بود و سیستم کاروانی (برای حرکت گروهی کشتی‌های تجاری با نیروی محرکه بخار) که توسط کشتی‌های جنگی کوچک محافظت می‌شدند هنوز اجراء نشده بود. لذا با افزایش تعداد زیردریایی‌های آلمانی و قابلیت‌های آنها، آمار غرق شدن کشتی‌های تجاری متفقین در دریای آتلانتیک و مدیترانه به سطح وحشت‌آوری از چند فروند به دهها فروند در هر ماه رسید. با پیشرفت جنگ، ۱۵۰ فروند

1- Narval
2- Anti Submarine Warfare

زیردریایی آلمانی توسط نیروی دریایی آلمان برای به خدمت گرفتن آنها در هر زمان در نظر گرفته شد که ما از میان آنها U-35 را به عنوان سمبل دومین نقطه عطف در پیشرفت زیردریایی‌ها (شکل ۲-۲) در نظر گرفتیم.



شکل (۲-۲) زیردریایی U35

حجم جابجایی در سطح آب: ۶۸۵ متر مکعب	طول: ۶۴/۷ متر	سرعت در سطح آب: ۱۶/۴ گره
حجم جابجایی در زیر آب: ۸۴۴ متر مکعب	عرض: ۶/۳۲ متر	سرعت در زیر آب: ۹/۷ گره

این زیردریایی دارای شکل ساده و دارای پستی و بلندی روی بدنه بود و شکل سینه آن با زیردریایی هلند فرق می‌کرد. از نظر خصوصیات، این طراحی با اصرار بر افزایش کارآیی در سطح آب انجام شده بود که برای حرکت در سطح آب از موتور دیزل استفاده می‌کرد و تمایل چندانی برای رفتن به زیر آب نداشت چرا که ظرفیت باتری‌های رانش آن اندک بود. بنابراین از توضیحات، مشخص می‌شود که این زیردریایی دارای سینه‌ای شبیه کشتی، برجک بزرگ[1]، عرشه، پروانه پیشران دوقلو، یک توپ، و تعداد زیادی سوراخ‌های ورود و خروج آب، برای انتقال سریع به سطح آب یا فرو رفتن در آب بود. تمامی موارد ذکر شده باعث بالا رفتن مقاومت هیدرودینامیکی به هنگام رفتن به زیر آب می‌شد.

در اواخر جنگ، نیروهای متفقین که ایالات متحده هم به آنها پیوسته بود، عملیات زیردریایی‌های آلمانی را بخصوص با سیستم کاروانی کشتی‌ها، تحت کنترل در آورده بودند.

1- Sail

کاروان‌ها تأثیر چندانی در تعداد زیردریایی‌های غرق شده آلمانی نداشتند چرا که روش‌های ضد زیردریایی تا آن روز کامل نشده بود و سیستم کاروانی نمی‌توانست چندان شانس عملیات موفقیت‌آمیز زیردریایی‌های آلمانی را کاهش دهد.

در پایان جنگ جهانی اول، یادداشت‌ها، برتری آلمانها را در ناوگان زیردریایی نشان داد. بیش از ۱۱ میلیون تن از کشتی‌های متفقین غرق شد و صدها کشتی نظامی برای عملیات‌های ضد زیردریایی بکار گرفته شدند. آلمانها در حدود ۲۰۰ فروند زیردریایی از دست دادند که دارای هزینه ساخت و راه‌اندازی اندک و دارای خدمه کم، درحدود ۴۰ نفر بودند.

در زمان اندکی که از آزمایش اولین زیردریایی هلند می‌گذشت، زیردریایی‌ها سلحشورانه از عهده وظایف خویش برآمدند. زیردریایی‌های آلمان و متفقین تأثیر بسیاری در حملات علیه کشتی‌های جنگی داشتند و تعداد کشتی‌های غرق شده خیلی بیشتر از زیردریایی‌های بکار گرفته شده بود اما بیشترین تأثیر را حملات زیردریایی‌های آلمانی علیه کشتی‌های تجاری متفقین و جلوگیری از ورود کالا به اروپا داشت.

در بین دو جنگ جهانی، نقش قابلیت‌های زیردریایی‌ها همچنان پیگیری شد. در انگلستان مدل بزرگ K (که در واقع در جنگ جهانی اول پدید آمد) به عنوان یک شناور با سرعت مناسب در سطح آب که قادر به همراهی ناوگان کشتی ها بود، بوجود آمد. خطر دیگ‌های بخار که به هنگام رفتن به زیر آب نیاز به دودکش خاصی برای مراقبت از آن بود، باعث می‌شد کاملاً در دید کشتی‌ها قرار گیرد. همین نواقص نیز در مدل M بوجود آمد که دارای کالیبر توپ ۱۲ اینچ و محلی برای قرار گرفتن یک هواپیمای کوچک بود. زیردریایی فرانسوی سارکوف[1] با تسلیحات سنگین و برجک توپ دوقلو، در جنگ جهانی دوم شرکت کرد.

1- Surcouf

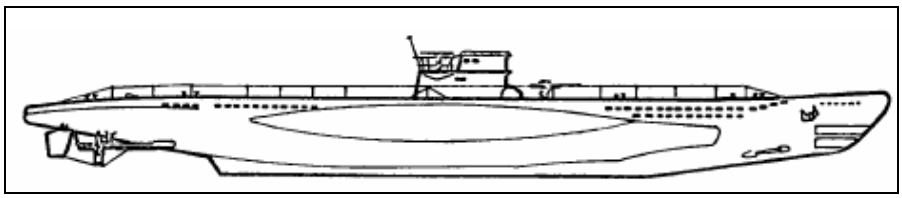
سومین نقطه عطف؛ زیردریایی مدل XXI :

۵-۲) هر دو کشور انگلستان و آلمان با درسهایی کـه از جنـگ جهـانی اول آموختـه و در ذهـن داشتند، وارد جنگ جهانی دوم شدند. انگلیسی‌ها در مقابل حملات نامحدود زیردریایی‌هـای آلمانی به کشتی‌های تجاری انگلستان و کاروان آنها، بیکار ننشستند و روی کشتی‌هایی که کاروان‌هـا را محافظـت مـی‌کردنـد دسـتگاه ردیـاب زیـر آبـی ASDIC نـصب کردنـد. ASDIC مدل اولیه از سیستم سونار[1] فعـال بـود کـه در طـی ۲۰ سـال بـین دو جنـگ پیشرفت کرده بود و عملکرد آنها در عمق آب، می‌توانست به عنوان پاسخی در برابر تهدید زیردریایی‌ها باشد.

آلمان در این قسمت روش حمله «پنجه گرگ[2]» به کاروان‌ها را طراحی کرده بود که در آن یک گروه از زیردریایی‌ها که از ساحل به طرف کاروان، مدیریت و هدایت مـی شـدند، از جهـات مختلف در سطح آب و در شب به کاروان حمله می‌کردند که هم باعث گـیج شـدن کـشتی‌هـای تجاری و هم اسکورت‌های آنها می‌شد. ساخت تعدادی از زیردریایی‌هایی که بتواند در این نقـشه بکار بیاید مستلزم صرف وقت زیادی بود تـا اینکـه در اواسـط سـال ۱۹۴۰ حملـه سـخت علیـه کشتی‌های تجاری در دریای آتلانتیک در دستور کار قرار گرفت. ابتدا این روش بسیار مؤثر واقـع شد چرا که زیردریایی‌ها به هنگـام حملـه و شـلیک اژدر بـه سـطح آب مـی‌آمدنـد. لـذا وسـایل ASDIC غیر قابل استفاده می‌ماندند (که البته بستگی به عمقی داشـت کـه زیردریـایی در آب فرو می‌رفت) و زیردریایی در سطح آب به اندازه کافی سرعت داشـت کـه در مـدت گـیج بـودن کشتی‌ها از حمله، از معرکه بگریزد. در این مرحله از جنگ، در حقیقت، زیردریایی‌ها بیـشتر وقـت خود را در سطح آب سپری می‌کردند چرا که در شب در سطح آب حرکت می‌کردند و تنها در روز برای پنهان نگه داشتن خود یا در کمین کاروان نشستن تا فرا رسیدن شب، به زیر آب می‌رفتند.

1- Sonar
2- Wolf pack

زیردریایی‌های بکار گرفته شده در این مرحله تقریباً دارای همان کارکردها و خصوصیات در جنگ جهانی اول با تأکید بر بهبود قابلیت‌های عملیاتی در سطح آب بودند همانند VIIC که مدل پیشرفته‌ای بود که از مدل مشابه انگلیسی خود بهتر بود (شکل ۳-۲) و دارای چنان قابلیتی بود که بتواند در سطح آب برای اجرای نقشه «پنجه گرگ» به صورت موفقیت‌آمیز عمل نماید و مجهز به رادار کشف هواپیما بود. هواپیماها به کمک رادار می‌توانستند زیردریایی‌های آلمانی را در شب مورد هدف قرار دهند تا اینکه نیروی دریایی آلمان یک وسیله هشدار دهنده راداری را که روی پل فرماندهی[1] نصب می‌شد، ارائه کرد. این دستگاه زیردریایی را از حمله قریب‌الوقوع هواپیما آگاه می‌کرد تا زمان کافی برای رفتن به زیرآب و فرار از خطر را داشته باشند.



شکل (۳-۲) زیردریایی مدل VIIC

حجم جابجایی در سطح آب: ۷۶۲ متر مکعب	طول: ۶۷/۱ متر	سرعت در سطح آب: ۱۷ گره
حجم جابجایی در زیر آب: ۸۷۱ متر مکعب	عرض: ۶/۲۳ متر	سرعت در زیر آب: ۷/۶ گره

در سال ۱۹۴۲، آلمانی‌ها بیش از ۳۰۰ فروند زیردریایی آماده برای مأموریت داشتند و همیشه اجازه می‌دادند که تنها یک سوم زیردریایی‌ها برای خدمت در دریا باشند (بقیه در حال تجهیز و یا در دست آزمایش یا تعلیم بودند). نیمی از زیردریایی‌های در حال عملیات در مسیر

1- Bridge

بودند و مابقی یعنی ۵۰ فروند در موقعیت حمله به کشتی‌ها قرار داشتند که شاید در حدود ۳۰ فروند از آنها در دریای آتلانتیک مستقر بودند.

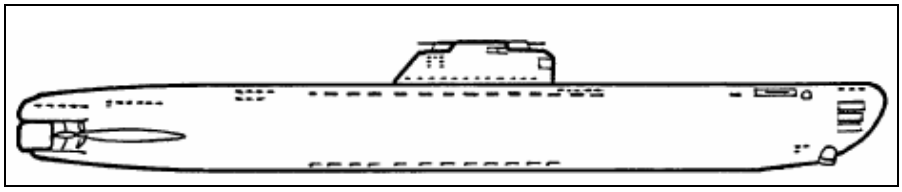
اندک اندک قابلیت‌های رادار افزایش یافت و در زمان کمتری اهداف را ردیابی می‌نمودند. برد هواپیماهای گشتی دریایی بیش از پیش گسترش یافت و تعداد هواپیماهایی که برای عملیات ضد زیردریایی بکار گرفته شده بودند به صورت قابل ملاحظه‌ای افزایش یافت؛ سیستم‌های سوناری مؤثرتر شدند و در تعداد بیشتری از کشتی‌های جنگی نصب شد که نه فقط برای حفاظت از کاروانها بلکه بطور جدی برای شکار زیردریایی‌های عملیات «پنجه گرگ» در مسیر کاروانها، بکار گرفته شوند. در بهار ۱۹۴۳، نیروی دریایی آلمان به این نتیجه رسید که عملیات زیردریایی‌ها باید رها شود و نبرد در آتلانتیک خاتمه یابد.

۶-۲) از دیگر وسایلی که برای تجهیز زیردریایی‌ها بکار رفت، اسنورکل[1] یا دکل تنفس بود. دکل تنفس وسیله‌ای بود که زیردریایی را به استفاده از موتورهای دیزل به هنگامیکه تا عمق پریسکوپ در زیر آب است، قادر می‌کرد؛ بدینوسیله که هوا را از درون دریچه‌های یکطرفه[2] که در بالای دکل لوله‌ای[3] واقع شده‌اند به درون بکشد. اما استفاده از دکل تنفس، سرعت در سطح آب ۱۶ گره را به سرعت ۵ گره در عمق پریسکوپ کاهش می‌داد که زمان رسیدن زیردریایی از پایگاه به منطقه عملیاتی را سه برابر می‌کرد. بنابراین با پایان حمله به کشتی‌های متفقین در دریای آتلانتیک در سال ۱۹۴۳، به دلیل پیشرفت روش‌های بکار گرفته شده توسط کشتی‌های جنگی در جنگ ضد زیردریایی‌ها (ASW)، اندک اندک تلفات زیردریایی‌های آلمانی افزایش می‌یافت.

پیشرفت دیگری که روی قابلیت‌های زیردریایی‌های آلمانی انجام گرفت، تأکید بر این بود که باید بجای کارآیی در سطح آب، بیشتر روی کارآیی زیردریایی‌ها در زیر سطح آب کار کرد، که

1- Schnorchel
2- Non-return valve
3- Tubular mast

منجر به ارائه زیردریایی مدل XXI شد و به همین دلیل ما این زیردریایی را به عنوان سومین نقطه عطف در سیر پیشرفت زیردریایی‌ها در نظر گرفتیم (شکل ۴-۲)، که در طراحی آن، با برداشتن زواید و ضمیمه‌های بدنه و هم با کاهش برآمدگی‌های آن و ایجاد خطوط صاف بدنه تقدم به کاهش نیروی درگ در زیر آب داده شد. اندازه باتری‌ها و مخازن سوخت افزایش یافت و سرعت زیرآبی به ۱۸ گره افزایش یافت (۲ برابر زیردریایی قبلی) و برد هم بسیار افزایش یافت.



شکل (۴-۲) زیردریایی مدل XXI

حجم جابجایی در سطح آب: ۱۶۰۲ متر مکعب	طول: ۷۶/۷ متر	سرعت در سطح آب: ۱۵/۵ گره
حجم جابجایی در زیر آب: ۱۸۰۰ متر مکعب	عرض: ۶/۶۱ متر	سرعت در زیر آب: ۱۷ گره

مدل XXI در بردارنده تغییرات بزرگی در طراحی زیردریایی بود که تمام امور دیگر در این زمینه می‌بایست با آن مطابقت می‌کرد، چرا که تکنیک‌های ASW به طور مستمری رو به پیشرفت بود و می‌خواستند از پیشرفت‌های بوجود آمده در زیردریایی‌ها اطلاع یابند. نیروی دریایی آلمان سعی در تحول اساسی‌تری در فناوری زیردریایی‌ها داشت که این امر با بکارگیری ماشین آلات پیشرانش که با توربین بخار والتر[1] و استفاده از پراکسید هیدروژن به عنوان منبع اکسیژن، محقق شد که به زیردریایی امکان سرعت زیرآبی بالاتری را برای ساعت‌ها در زیر آب می‌داد. تردیدی نداریم که زیردریایی XXI حساس‌ترین مرحله در پیشرفت زیردریایی‌ها را طی کرده است. اولین سری زیردریایی آلمانی از نوع XXI ، زیردریایی U2311 بود که در آوریل ۱۹۴۵ بکار گرفته شد و تا شروع جنگ در اروپا برای اهداف تهاجمی بکار گرفته نشد. فرق نمایان آن با جنگ جهانی اول آموزنده است. حدود ۱۲۰۰ زیردریایی آلمانی در جنگ اخیر ساخته شد که ۱۴

1- Walther

میلیون تن کشتی را به قعر دریاها فرستادند و صدها کشتی جنگی و هزاران هواپیمای گشت دریایی را سرنگون کردند. اگرچه خسارت نیروی دریایی آلمان برای از دست دادن ۸۰۰ زیردریایی، خیلی بالاتر از جنگ جهانی اول بود اما خسارات زیاد وارده بر متفقین هنوز قابل ارزیابی نیست. با نگاهی به گذشته مشخص می‌شود که اگر چه تلفات زیردریایی‌ها در نبرد آتلانتیک اجتناب‌ناپذیر بود، با این وجود، عملیات در حال انجام بود و به نظر می‌رسید که بر بریتانیا تأثیرگذار است.

۷-۲) بار دیگر همانند آنچه قبلاً در مورد جنگ زیردریایی‌ها در جنگ جهانی اول گفته شد به جنگ جهانی دوم در رابطه با حمله به کشتی‌های تجاری و نقش زیردریایی‌های آلمانی در این زمینه می‌پردازیم. همانند گذشته، نیروی دریایی تمامی کشورها از زیردریایی‌ها علیه کشتی‌های جنگی از هر نوعی استفاده می‌کردند. بویژه، نیروی دریایی آمریکا که ناوگان زیردریایی‌های خویش را علیه نیروی دریایی ژاپن و کشتی‌های تجاری به خدمت گرفت. طراحی این زیردریایی‌ها که پیش از جنگ تا حد خوبی پیشرفت کرده بودند و دارای برد زیاد و سرعت بالای مورد نیاز در اقیانوس آرام بودند هنوز روی کارآیی آن در سطح آب تأکید داشت. در اینجا متذکر می‌شویم همانطور که در جنگ جهانی دوم بعضاً از اژدرها بجای توپ‌ها، در منهدم کردن کشتی‌های تجاری استفاده می‌شد، تعداد زیادی از کشتی‌های غرق شده هم بر اثر برخورد با مین‌هایی که توسط زیردریایی‌ها در مسیر بنادر قرار داده می‌شد، منهدم می‌شدند.

نیروی دریایی انگلیس هم با زیردریایی‌های مشابه، مدل S ، T و U وارد جنگ جهانی دوم شد. سپس مدل A نیز پیشرفت یافت که بر توانایی جابجایی و تحرک زیاد در سطح آب تأکید داشت و در زیر آب دارای محدودیتهایی بود. در پایان جنگ، زیردریایی‌های مدل A و T به سیستم سونار و تنظیم دکل تنفس مجهز شدند و مدل T هم برای داشتن ظرفیت بالاتر

باتری و کارآیی بهتر در زیر آب، اندکی طویل‌تر شد. مدل‌های بعدی زیردریایی‌ها، آبرون[1] و پورپویس[2] براساس همان طراحی‌های قبلی و در حالیکه بسیاری از مشخصه‌های مدل XXI را داشتند، با تأکید بر قابلیت‌های عملیاتی بیشتر در زیر آب، بوجود آمدند. روش ردیابی اولیه تبدیل به سیستم صوتی به شکل سونار شد؛ بخصوص در روشهای انفعالی و شنیداری تأکید زیادی هم روی حل مشکل تولید یک زیردریایی بی سروصدا و آرام شد. بنابراین زیردریایی‌های آبرون و پورپویس، بدون نوآوری چندانی در شکل آن، برتری‌هایی در کاهش انتشار صدا داشت که این امکان را به آنها می‌داد که از ردیابی سونارهای غیرفعال[3] در امان باشند.

چهارمین نقطه عطف؛ زیردریایی آلباکور[4]

۸-۲) پس از سال ۱۹۵۰، پیشقدمی و ابتکار در زمینه پیشرفت زیردریایی‌ها به آمریکا نسبت داده می‌شود. دقیقاً پس از جنگ، نیروی دریایی آمریکا، ناوگان زیردریایی‌های خویش را به جاپی[5]، برای رسیدن به قابلیت‌های زیرسطحی بالاتر، تبدیل کرد که براساس شکل خطوط بدنه زیردریایی آلمانی XXI ، کاهش ملحقات آن، افزایش قدرت باتری و حرکت به سوی طراحی یک زیردریایی که با قدرت باتری حرکت کند، (یعنی مدل تانز[6]) بنا شده بود.

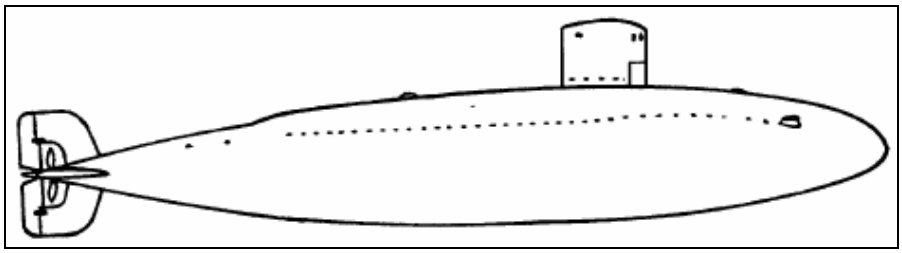
ابتدای سال ۱۹۴۸ یک مرحله خطیر در سیستم‌های پیشران هسته‌ای در زیردریایی ناتیلوس[7] بود که فرم بدنه آن نسبتاً متحول شده و آرایش سیستم‌های آن منطقی و مناسب بود. تقریباً در همان زمان نیروی دریایی آمریکا کار تحقیقاتی را روی مدل دیوید تیلور[8] شروع کرد که

1- Oberon
2- Porpoise
3- Passive Sonar
4- Albacore
5- Guppy(Greater underwater Propulsive Power)
زیردریایی هایی که دارای قدرت پیشران مستقل از هوای زیادی هستند.
6- Tang
7- Nautilus
8- David Taylor

اساساً دارای یک شکل جدید بود و به طراحی و ساخت یک زیردریایی آزمایشی منجر شد که با نیروی باتری حرکت کند. این زیردریایی آلباکور نام گرفت.

بدلیل نقش مهمی که سیستم‌های پیشران هسته‌ای در پیشرفت زیردریایی‌ها و طراحی‌های آینده نیروی دریایی آمریکا داشتند، زیردریایی آلباکور را به عنوان چهارمین نقطه عطف در نظر گرفتیم. چیز زیادی از هدف اولیه زیردریایی آلباکور بجز آنچه آرنتزن[۱] و مندل[۲] بیان کردند، گفته نشد و آن عبارتست از رسیدن به بازدهی بالای سیستم پیشران برای حداکثر کارآیی در زیر آب. شکل ۵-۲ مشخص می‌نماید که غالب اهداف مورد نظر «جان هلند» تحقق یافت. ویژگی‌های طرح جدید عبارتست از استفاده از شکل بدنه متقارن محوری، نسبت طول به قطر نسبتاً متفاوت (نسبت هفت به یک برای آلباکور در مقایسه با نسبت شش به یک برای هلند)؛ قطر زیاد پروانه با چرخش دور پائین، یک برجک کوچک و عرشهٔ مناسب با کاهش مؤثر اندازه و تعداد زواید متصل به بدنه و ملحقات و ناهمواری‌های قسمت بیرونی سازه.

این مشخصه‌ها، زیردریایی آلباکور را از سایر زیردریایی‌ها متمایز کرد چرا که می‌توان گفت؛ اصول طراحی شکل دماغه ضخیم و دم نازک (به شکل قطرهٔ چکیده) براساس تحقیقات جدید آیرودینامیک در کشتی‌های هوایی[۳] شکل گرفته بود و این زیردریایی شبیه هواپیماهای امروزی بود.



1- Arentzen
2- Mandel
3-Air Ship

شکل (۵-۲) زیردریایی مدل AGSS Albacore

تناژ سطحی: ۱۵۰۰ تن	طول: ۲۱۰/۵ فوت	سرعت در سطح آب: ۲۵ گره
تناژ زیرسطحی: ۱۸۵۰ تن	عرض: ۲۷/۵ فوت	سرعت در زیر آب: ۳۳ گره

مسیرهای پیشرفت موازی که توسط ناتیلوس و آلباکور ارائه شد نشان از اراده بالای نیروی دریایی آمریکا در این زمینه داشت. هدف اصلی ناتیلوس مشخص کردن این بود که چگونه رآکتور آبی تحت فشار (PWR)[1] می‌تواند در دریا به خدمت گرفته شود، و هدف اصلی آلباکور نیز مشخص کردن این بود که چگونه یک زیردریایی با شکل غیرعادی (با ناتوانی‌های آشکار کارآیی در سطح آب)، می‌تواند با کارآیی و بازدهی بالای زیرآبی، شامل توانایی مانور در عمق و کنترل خوب در مسیر مورد نظر، می‌تواند از نظر عملیاتی مورد قبول واقع شود.

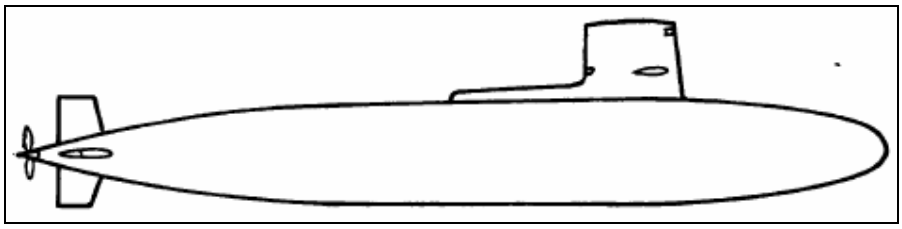
هر دوی این زیردریایی‌ها دارای سرعت بالایی بودند. ناتیلوس برای مدت‌های مدید و طولانی و آلباکور برای زمانی اندک و البته به اندازه کافی مورد آزمایش قرار گرفتند. هر دوی این زیردریایی‌ها نسبتاً موفق بودند، بطوریکه طراحان نیروی دریایی آمریکا را بر آن داشت که هدف دیگری را با ترکیب ابتکاری این دو زیردریایی پیشرفته، دنبال کنند.

پنجمین نقطه عطف؛ مدل اسکیپ‌جک[1]

۹-۲) این مدل، اسکیپ‌جک (شکل ۶-۲) می‌باشد که ما به عنوان پنجمین نقطه عطف در نظر گرفتیم، چرا که یک دستاورد فوق‌العاده بود. تنها ۴ سال پس از شروع کار طراحی، در سال ۱۹۵۸ و براساس طراحی زیردریایی‌های آلباکور و ناتیلوس، با ترکیب سیستم پیشران

1 - Pressuric Water Reactor
1- Skip Jack

هسته‌ای PWR و بدنه قطره‌ای شکل و تطابق سیستم‌های این دو زیردریایی، برای طراحی یک زیردریایی کاملاً عملیاتی تهاجمی، زیردریایی اسکیپ‌جک (اولین زیردریایی از این مدل SSN585) به خدمت گرفته شد. در طراحی این زیردریایی با کاهش وزن نسبت به ناتیلوس و در حالیکه اگر از همان قدرت پیشران استفاده می‌کرد، موفقیت‌های قابل ملاحظه‌ای، شامل سرعت زیرآبی بالاتر و قدرت مانور بیشتر حاصل می‌شد.



شکل (۶-۲) زیردریایی USS Skipjack

تناژ سطحی: ۳۰۷۵ تن	طول: ۲۵۱/۸ فوت	سرعت در سطح آب: ۱۶ گره
تناژ زیرسطحی: ۳۵۱۳ تن	عرض: ۳۱/۶ فوت	سرعت در زیر آب: ۳۰ گره

پیشرفت‌های اسکیپ‌جک برای نیروی دریایی سلطنتی[1] بدلایل مختلفی حائز اهمیت بود. دولت ایالات متحده می‌توانست انگلستان را قادر به در اختیار گرفتن قدرت پیشران PWR و همچنین ماشین آلات مربوط به آن نماید، تا در اولین زیردریایی هسته‌ای نیروی دریایی انگلستان با نام دریدنات[2] مورد استفاده قرار گیرد. با فعالیت‌های بلند مدت ایالات متحده و ارتباط نزدیک آنها با انگلستان، انگلیسی‌ها توانستند خیلی زودتر از آنچه برای دیگران ممکن باشد، از زیردریایی‌های معمولی به زیردریایی‌های هسته‌ای دست یابند.

با گذشت ۵۰ سال و پس از آنکه کمپانی شناورهای الکتریکی، کارخانه کشتی‌سازی ویکرز را قادر به ساخت هلند تحت گواهی و لیسانس خویش کرد، شرکت‌های ویکرز و نیروی دریایی

1- Royal Navy
2- Dreadnought

سلطنتی با ساخت دو فروند زیردریایی از نوع دریدنات (توسط بارکر[1] و ریدیل[2] در سال ۱۹۸۳) بـه سوی نقشه‌های پیشران هسته‌ای و فناوری جدید قدم گذاشتند. همچنین توسـط نیـروی دریـایی آمریکا برای رفع مشکلات سیستم صوتی در سرعت‌های بالای زیرآبی، اقدامات بـسیاری انجـام شد.

در ادامه، شکل آلباکور در زیردریایی‌های معمولی و البته با باتری‌هایی کـه انـرژی آنهـا بـه اندازه زیردریایی‌های اتمی نبود، بکار رفت. در حقیقت نیروی دریایی آمریکا یک نوع زیردریایی با سیستم دیزل الکتریک مدل «SS580/ باربل[3]» تقریباً همزمان با مدل اسکیپ‌جک معرفی کرد. باربل در نوع خود موفق بود ولی از آنجا که نیروی دریایی آمریکا مایل به توسعه سیستم پیشران هسته‌ای بود، پس از باربل کار بیشتری روی زیردریایی‌های معمولی صورت نگرفت.

نیروی دریایی هلند ابتدا فعالیت‌هایی را براساس آلباکور برای زیردریایی‌های معمولی انجـام داد که منجر به طراحی اسوردفیش[4] شد. نیروی دریایی انگلستان پس از اینکـه زیردریـایی‌هـای بسیار موفق مدل پورپویس و آبرون را جایگزین کرد، راه آلباکور را با طراحی زیردریایی آپ‌هولدر[5] توسط «ویکرز» ادامه داد.

۱۰-۲) طراحی زیردریایی‌های نظامی طی سی ساله اخیر که نمونـه‌هـایی از آن را بیـان کـردیم، تغییرات چندانی با نوآوری‌های ایجاد شده در آنها، صورت نگرفت. اگر چه پیشرفت‌هایی در سه شاخص اصلی اندازه، سرعت و بی صدا بودن همواره صورت گرفته است.

زیردریایی‌های گذشته نسبتاً کوچک بودند و از کُروِت[6] یا فریگیـت[7] بزرگتـر نبـوده و دارای تعداد خدمه اندکی بودند. برتری‌های حاصل شده در سیستم پیشران هسته‌ای باعث دو برابر شدن

1- Barker
2- Rydill
3- Barbel
4- Swordfish
5- Upholder
6- Corvette
7- Frigate

وزن جابجایی[1] و دست یافتن به خواص مورد نیاز شناورهای گشتی شد. در این هنگام اینگونه زیردریایی‌ها یکی از اعضاء اصلی ناوگانها شدند.

پیدایش سیستم موشک‌های زیرآبی بالستیک باعث افزایش بیشتر اندازه زیردریایی‌ها شد، بطوریکه زیردریایی روسی تایفون[2] یک مثال برجسته در این نوع است. بنابراین زیردریایی‌ها از نظر حجم و وزن یکی از بزرگترین واحدهای نیروی دریایی را تشکیل دادند؛ حتی بزرگتر از بسیاری از نبردناوها[3] در قرن اخیر و فقط اندازه آنها از ناوهای هواپیمابر مدرن کوچکتر بودند. چنین شناورهایی نیاز به کار بسیار زیاد در قسمت طراحی و ساخت دارند. شکل بدنه آلباکور که دارای نیروی درگ اندک بود با قدرت پیشران هسته‌ای، زیردریایی‌ها را قادر به رسیدن به سرعتی در زیر آب کرد که بیش از سرعت کشتی‌ها در سطح آب بود.

زیردریایی روسی مدل آلفا[4] دارای قابلیت بیشتری در سرعت رو به جلو بود. زیردریایی‌های مدرن هسته‌ای به سرعت پیشرفت کردند، چرا که نیازهای زیاد تولید قدرت برای مدت زمان طولانی تنها بوسیله انرژی حاصل شده از رآکتور هسته‌ای می‌توانست پاسخگو باشد. تحقیقات برای دستگاههای تولید قدرت اقتصادی و ارزان‌تر و همچنین کاهش قدرت مورد نیاز زیردریایی برای سرعت‌های بالا، قسمتی از پیشرفت‌های آینده خواهند بود.

با گرایش زیاد نیروی دریایی کشورها به قابلیت‌های زیرآبی، بیشتر سیستم‌های نظارت و حسگرهای[5] بالای آب و روش‌های اولیه ردیابی،کنار گذاشته شدند. نوع برتر این دستگاه‌ها سونار پسیو (غیرفعال) است، یعنی گوش دادن به صداهای منتشر شده از زیردریایی‌های دیگر و نوع دیگر سونارها، سونار فعال[6] است، که براساس ارسال و بازگشت صوتی امواج عمل می‌کند و این

1- Displacement
2- Typhoon

وزن زیرآبی این زیردریایی ۴۸ هزارتن و طول آن ۱۷۲ متراست.

3- Battleship
4- Alpha

این زیردریایی دارای وزن زیرآبی ۱۸هزارتن و سرعت زیرآبی ۲۴ گره می باشد.

5- Sensor
6- Active Sonar

عیب را دارد که موجب شناسایی شدن خود زیردریایی می‌گردد. همانطور که قبلاً گفته شد، با پیشرفت‌های زیردریایی‌های دیزل الکتریک صدای آنها کاهش یافت، چنانکه با موتورهای پیشران الکتریکی، حرکت آرام و بدون سروصدا و با توقف سایر سیستم‌ها، انتشار صدای زیردریایی‌ها به حداقل ممکن رسید و به سختی توسط کشتی‌ها قابل ردیابی می‌باشند؛ در حالیکه در همان زمان قادر به دریافت منابع ضعیف صدا از سایر شناورها هستند.

با ظهور زیردریایی‌های اتمی، علی‌رغم مزایای بسیار زیادی که داشتند، از نظر کاهش سروصدا دارای یک تنزل و پس‌رفت بودند چراکه سیستم رانش اتمی دارای تجهیزات بسیار پر سروصدا، پرقدرت و پیچیده بودند که براحتی و به سرعت قابل خاموش شدن نبودند.

بعدها، با پیدایش زیردریایی‌های تهاجمی هسته‌ای، تغییرات زیادی نسبت به نوآوری‌های زیردریایی اسکیپ‌جک صورت نگرفت، بجز کارهایی که روی قسمت داخلی آن با هدف ایجاد یک زیردریایی کم سروصدا برای پرهیز از ردیابی شدن، صورت گرفت.

خلاصه :

۱۱-۲) مسیر پیشرفت زیردریایی‌ها، از زیردریایی هلند به زیردریایی اسکیپ‌جک حدود ۶۰ سال بطول انجامید و تقریباً مسیر دایره‌ای را طی کرد، بطوریکه تقریباً می‌توان گفت مجدداً به طراحی هلند بازگشت. «جان هلند» دورنمایی از قابلیتهای زیردریایی خود را مد نظر داشت که نیازهای عملیات زیرآبی را به خوبی برآورده کند، تا به امروز که زیردریایی‌های مدرن، چه با سیستم پیشران معمولی و چه با سیستم هسته‌ای، می‌توانند این نیازها را برآورده کنند. اگرچه در فاصله بین دو جنگ جهانی، زیردریایی‌ها بیشتر مجبور به عملیات در سطح آب بودند و تنها در مواقع اضطراری به زیر آب می‌رفتند، اما آنچه مهم است، اولویت‌های مورد نیاز است که باید در نظر گرفته شود. آنچه در این ۳۰ سال باعث ایجاد تحول گردید،

مراحل پیشرفت فناوری‌ها است که سیستم پیشران هسته‌ای فقط یکی از بارزترین آنهاست. سیستم تنفس که وسیله‌ای برای کنترل اتمسفر داخل زیردریایی است نیز قابل توجه است. پیشرفت‌های فناوری بیشتری مانند پیشرانش مستقل از هوا در زیر آب برای بالا بردن توانایی‌های زیرآبی در زیردریایی‌های معمولی بدون استفاده از دکل تنفس نیز در این زمان رخ داد که قابل ذکر است.

تمامی این عناوین به قسمت‌های بعدی کتاب ارجاع داده می‌شود. بدون شک یکی از مؤثرترین کارآیی‌های زیردریایی، بدون در نظر گرفتن نقش گشت‌زنی یا وسیله تهاجمی، این است که می‌تواند به عنوان یک سلاح و همانند یک سکوی پرتاب موشک بالستیک عمل نماید. آنچه تاکنون مشخص شده است این است که بزرگترین تهدید برای یک زیردریایی، زیردریایی دیگر است و البته گامهای بلندی در زمینهٔ ASW با ساخت کشتی‌های جنگی مجهز به هلی‌کوپتر و یا هواپیماهای گشتی ضد زیردریایی، برداشته شده است.

خلاصه‌ای از نقاط عطف تاریخی با تأکید بر زیردریایی‌های نظامی بیان شد چرا که این کتاب بحث روی طراحی زیردریایی‌های دارای سرنشین که در تمام ارتش‌های دنیا موجود هستند را پیش‌رو قرار داده است. دلیل دیگر این است که اصلی‌ترین برتری‌های فناوری به هنگام زد و خوردهای نظامی بکار گرفته می‌شوند و هزینه مورد نیاز تحقیقات و پیشرفت از منابع دفاعی کشور تأمین می‌گردد.

با این حال، زمینه‌های اندک ولی رو به رشدی در تمایل به استفاده از وسایل زیرآبی در زمینه‌های شخصی و غیرنظامی بوجود آمده است. اینها برای کارهای تحقیقاتی و جستجو، اقیانوس‌شناسی، امدادرسانی، اکتشاف نفت و ذخایر معدنی و حتی به عنوان وسیله‌ای برای اوقات فراغت در صورت مناسب بودن شرایط جوّی، استفاده می‌شوند.

هم اکنون تعداد زیادی از این وسایل با اشکال عجیبی که متناسب با کار مخصوص آنها هستند، طراحی شده‌اند و در سراسر دنیا وجود دارند. اگرچه در این کتاب ذکری از سیر پیشرفت

این وسایل به میان نیامده است، اما از اصول طراحی زیردریایی که در فصل‌های بعـدی توضـیح داده خواهد شد، استفاده شده است که البته ممکن است برخی از مشخصه‌های آنها متفاوت باشد. در برخی از کاربردهای خـاص، ایـن وسـایل بـدون سرنـشین هـستند. بـرای مثـال ROVهـا[1] (دستگاههای با کاربری مخصوص) که سرعت مورد نیاز آنها پائین است و اجازه طراحی کـوچکتر و اقدامات و تمهیدات ایمنی کمتر را می‌دهد. به عبارت دیگر، این وسایل ممکـن اسـت کارهـای پیچیده‌ای را در زیر آب انجام دهند که نیازمند کنترل بیشتر موقعیت و حالت آنها باشد؛ بخصوص که بسیاری از این‌گونه وسایل، نیازمند رفتن به عمقی پائین‌تر از عمق مورد نیاز زیردریـایی‌هـای نظامی هستند. بنابراین ملاحظات سازه‌ای و وزن بدنه فشار آنها بر طراحی مؤثر خواهند بود.

ممکن است گفته شود در موارد ذکر شده، تأکیدی برای رفتن به عمق بیشتر وجود نداشت. پیشرفت‌هایی در زمینه قابلیت رفتن زیردریایی‌ها به عمق بیشتر بـه کمـک روش‌هـای پیـشرفته آنالیز سازه‌ای، فولادهای مرغوب‌تر، مواد مناسب و سـایر قابلیـت‌هـای دیگـر کـه بـرای سـاخت بدنه‌های بلندتر و مستحکم‌تر بکار می‌رود، صورت گرفته است. با این حال بـه سـختی مـی‌تـوان طرحی را یافت که تمامی پیشرفت‌های فناوری را در خود ارائه کرده باشد. بنابراین برای مثال، در طراحی دریدنات که هر دو نویسنده در آن سهیم بوده‌اند، نسبت بـه مـدل‌هـای قبلـی در نیـروی دریایی سلطنتی انگلیس، دارای سرعت بیشتر، عمق غوص بیشتر و بـه انـدازه قابـل ملاحظـه‌ای بزرگتر بود که موفق شد به بسیاری از مشکلات جزئیات طراحی که تا آن زمان حل نـشده بـود، پاسخ دهد. طرحهای بعدی دارای عمق غوص بیشتر شدند، اما همـانطور کـه در فـصل طراحـی سازه‌ای بحث می‌شود، برای عمق غوص بیشتر در زیردریایی‌های نظـامی، مؤلفـه‌هـای بـسیاری دخیل هستند. پیشرفت‌های مورد نیاز برای رفـتن بـه اعمـاق بـسیار زیـاد غالبـاً در زمینـه‌هـای تحقیقاتی، جستجو، نجات و امدادرسانی در عمیق‌ترین قسمت‌های اقیانوس صورت گرفته است.

1- Remote Operated Vehicle

فصل سوم

« هیدرواستاتیک زیردریایی »

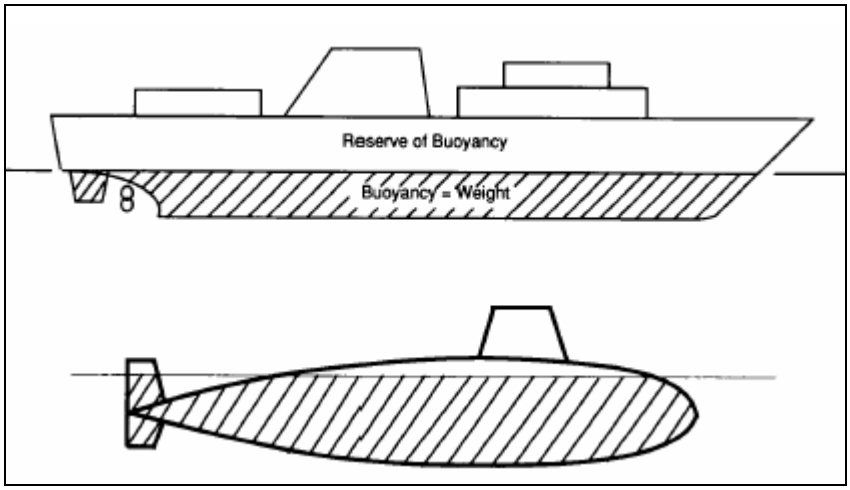
اصول اولیه شناوری

۱-۳) خصوصیات هیدرواستاتیکی اجسام شناور بر روی سطح آب در معماری شناورهای دریـایی[1] بخش اساسی این حرفه می‌باشد که قابل تعمیم به شناورهای زیردریایی در سـطح آب نیـز است لیکن ویژگی‌های هیدرواستاتیکی زیردریایی، در زیـر آب، اگرچـه کمتـر بـه معمـاری کشتی شباهت دارد اما می‌توان آنرا بدون مشکل خاصی بررسی نمـود. بـرای متخصـصین سایر رشته‌های مهندسی موضوع هیدرواستاتیک چندان آشنا نیـست؛ لـذا بـه همـین دلیـل ضمیمه ۱ برای بیان اصول کلی آنچه بعداً روی آن بحث می‌شود، ارائه شده است.

زیردریایی نیز مانند هر وسیله نقلیه دریایی دیگر، باید طوری طراحی شده باشـد کـه وقتـی وزن آن توسط نیروهای شناوری حاصل از جابجایی آب توسط بدنه زیر آب، جبران می‌شود، روی سطح آب شناور بماند.

در کشتی‌ها این موضوع چندان ساده نیست چرا که نه تنها در حالت عادی باید روی سـطح آب شناور بماند بلکه وقتیکه قسمتی از بدنه در اثر صدمه دیدگی دچار آبگرفتگی شده است، بایـد همچنان شناور باقی بماند. برای تأمین این هدف، در بالای خط آبخور کـشتی بـه انـدازه کـافی حجم شناوری ذخیره در نظر گرفته می‌شود (شکل ۱-۳). این موضوع کشتی‌ها را قادر می‌سازد تا بتوانند تغییرات وزنی شناور را با بالا و پائین رفتن خط آبخور میزان نمایند.

1- Naval architecture



شکل (۱-۳) مقایسه حجم بدنه داخل آب کشتی و زیردریایی

برای شناوری، کشتی باید در آب آرام، راست بماند. این مورد همانطور که در ضمیمه نشان داده شده است مستلزم رعایت الزامات تعادل عرضی و توجه به مفهوم GM (ارتفاع مِتاسنتر) و GZ و همچنین مرتبط با خصوصیات سطح مقطع خط آب[1] (سطح آبخور) (شکل (a)۲-۳) است.

۲-۳) زیردریایی شناور در سطح آب باید طبق همین اصول هیدرواستاتیک رفتار نماید. همچنین همانطور که بحث خواهد شد، در این حالت دارای فضاهای بسته آب‌ناپذیر اندکی در بالای

۱- Waterplane area

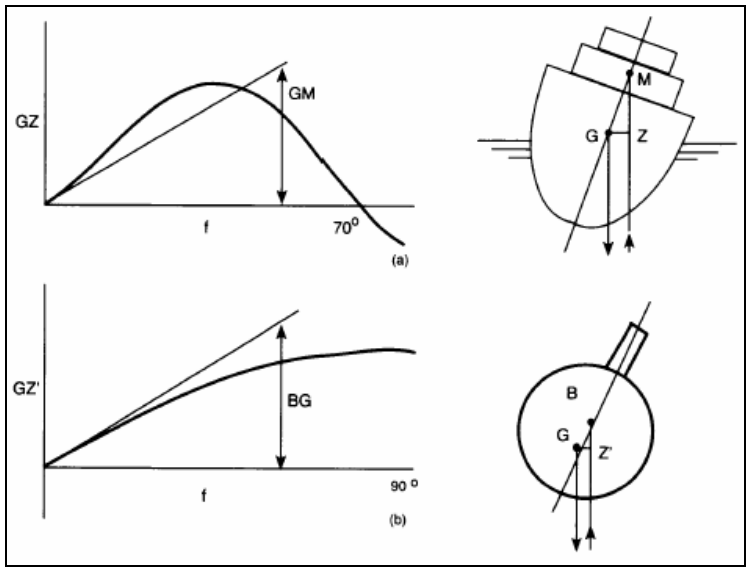
مساحت افقی درمحل آبخور که به آن سطح آبخور هم گویند.

۲-Buoyancy

وزن آب جابجادشده توسط بدنه کشتی یا زیردریایی می‌باشد که طبق قانون ارشمیدس، برای شناور ماندن یک جسم باید با وزن شناور، برابر باشد. در اینجا باید یادآوری شود که منظوراز مرکز شناوری « Centre of Buoynacy » مرکز حجم زیرآب بدنه است و منظور از« Center of Floatation » مرکز سطح صفحه آبخور بدنه (که شیب حول آن انجام می‌شود) می‌باشد که به آن نیز مرکز شناوری گویند.

خط آب و اندازه اندک سطح آبخور است. لذا وضعیت زیردریایی در این حالت بحرانی‌تر از کشتی‌ها می‌باشد و می‌تواند تغییرات وزنی اندکی را تحمل و جبران نماید.

در عمل فرو رفتن به زیر آب، (که البته در طراحی کشتی از آن پرهیز می‌شود) کاهش حجم شناوری برای شناور صورت می‌پذیرد. برای غوطه‌ور شدن در زیر آب، میزان حجم‌های بسته در شناور (فضاهای نفوذناپذیر نسبت به آب دریا) باید بگونه‌ای باشد که نیروی شناوری[۲] ناشی از آن بتواند وزن زیردریایی را جبران نماید. این شرایط کاملاً با شرایط هیدرواستاتیک شناوری در سطح آب فرق می‌کند. ملاحظه خواهید نمود که برای این منظور نیاز به داشتن مخازن ویژه‌ای برای رفتن از سطح آب به زیر آب و هم برای حفظ تعادل بین وزن و شناوری در حالت غوطه‌وری داریم.



شکل (۲-۳) نمودار پایداری عرضی در سطح آب و زیر آب

عدم وجود شناوری ذخیره در حالتی که زیردریـایی در زیـر آب اسـت، باعـث برقـرار شـدن نسبت مستقیم بین وزن و شناوری می‌گردد. در اثر نبود سطح آبخور، G در زیـر B قـرار گرفتـه (شکل ۲(b)-۳) و باید در کلیه طرح‌های زیردریایی اعمال شود.

هم اینک این فصل به مطالعه این خصوصیات با جزئیات بیشتر برای تـأمین و پـیش‌بینـی مخازن[1] مناسب و معمول می‌پردازد.

زیردریایی در سطح آب

۳-۳) در فصل دوم مشخص شد که زیردریایی‌های مدرن، حتی با داشتن سیستم پیـشران قـوی، بدلیل ترس از خطر ردیابی شدن و مورد حمله قرار گرفتن، جز زمان اندکی، نمـی‌تواننـد در سطح آب بمانند. با این حال، زیردریایی‌ها برای حرکت از پایگاه خود و یا بازگشت بـه آن و به هنگام پهلو گرفتن در بندر برای باز کردن دربهای زیردریایی جهت خـروج و ورود افـراد به داخل زیردریایی و ذخیره مواد مورد نیاز، مجبور هستند که به سطح آب بیایند. بنـابراین، جهت ایجاد شرایط ایمن در سطح آب، حتی اگر تقدم به خواص و قابلیت‌های زیرآبـی داده شود، باید یک طراحی مناسب صورت گیرد. اولین قدم طراحی تعیین این است که در سطح آب چه مقدار از قسمت ضد آب یا بدنه فشار باید بالاتر از سطح آب آرام باشد. تعیین دقیـق این مقدار اختیاری است. برای راهنمایی؛ باید ارتفاع عرشه[2] برای باز شدن دریچه‌های بدنه فشار به اندازه کافی باشد تا هنگامیکه دریچه‌ها باز هستند امواج، آب را بداخل آن نریـزد و همچنین دارای آبخور[3] اندک باشد تا در محدودیت‌هایی که معمولاً در ورودی بنـادر وجـود دارد، با اشکال مواجه نشود. از طرف دیگر تهدیدات دیگری برای زیردریـایی در سـطح آب

1- Tankage
2- Freeboard فاصله سطح آب تا بالاترین عرشه آب ناپذیر
3- Draught(draft) فاصله کیل یا پایین ترین قسمت بدنه تا سطح آب

ممکن است وجود داشته باشد. لذا زیردریایی باید در حداقل شناوری آمادگی رفتن به زیر آب به هنگام وارد شدن و خارج شدن از بندر را داشته باشد؛ در این شرایط، دریچه‌های بدنه فشار می‌بایست بسته باشد چراکه امکان آب گرفتگی وجود دارد و تنها دریچه‌های بالای برجک[1] می‌تواند باز باشد.

در حالت شناوری برای قسمتی از حجم بدنه که باید بالای خط آب باشد تا زیردریایی شناور باقی بماند، نسبتی وجود دارد. هنگامیکه زیردریایی غوص می‌کند، منطقه بالای خط آب باید بتواند مغروق گردد و بنابراین برای رفتن از سطح آب به زیر آب، زیردریایی یا باید وزنش را زیاد کند و یا شناوری را کاهش دهد. برای انتقال از زیر آب به سطح آب نیز، عکس این عمل باید اتفاق بیافتد یعنی یا شناوری افزایش یابد یا وزن کاهش یابد. در زیردریایی‌های کوچک برای عمل انتقال از سطح آب به زیر آب از تغییر شناوری با استفاده از کیسه‌های انعطاف‌پذیر[2] استفاده می‌شود که برای رفتن به سطح آب و شناور شدن، این کیسه‌ها با گاز یا هوای فشرده پر می‌شوند و برای غوص کردن و رفتن به زیر سطح آب این کیسه‌ها توسط سوراخهایی[3] تخلیه می‌شوند. تا به امروز ماده قابل انعطاف مناسبی برای این کار معرفی نشده است که استحکام لازم برای بکار گرفتن آنها در زیردریایی‌های بزرگ‌تر را داشته باشد. همچنین بررسی طرحی که حجم زیر آب آن به حداقل برسد سودمند است چرا که نیروی پیشران کمتری – که باید از انرژی محدود ذخیره شده در داخل زیردریایی تأمین شود– نیاز است. بنابراین طراح مجبور است که یک سازه با ساختار هندسی ثابت را که تأمین کننده انتقال زیردریایی بین سطح آب و زیرآب باشد را در نظر بگیرد.

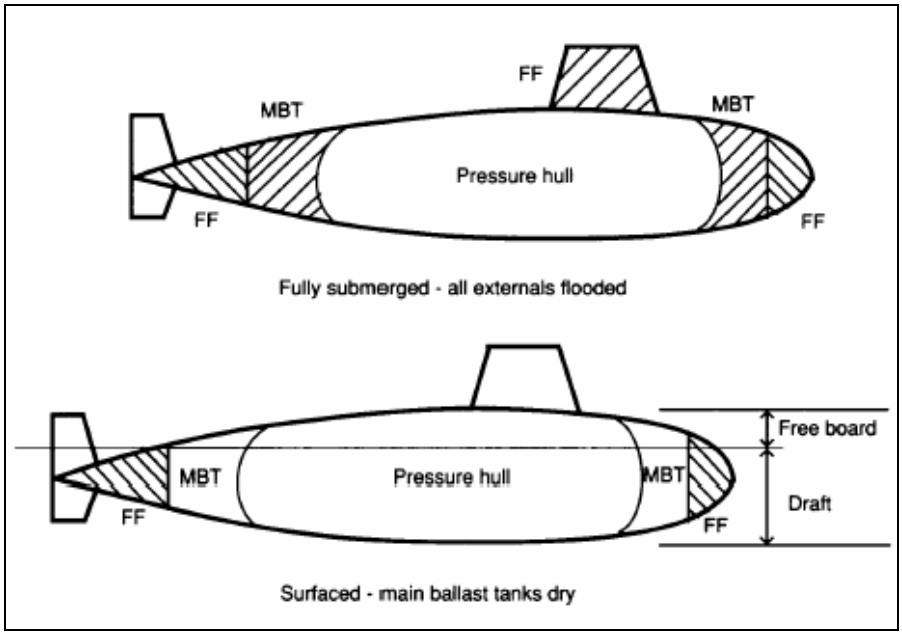
1- Conning tower

برجک- قسمتی منشوری با مقطع فویل که به صورت عمودی روی بدنه اصلی قراردارد و دریچه ورود و خروج و برخی تجهیزات داخل آن قرارگرفته‌اند.

2- Flexible bag

3- Venting

طبق شکل ۳-۳ ، اگر خطی که توسط آب دریا روی بدنه بیرونی یا پوسته زیردریایی بوجود آمده را در نظر بگیریم، حجم احاطه شده زیر این خط باید برای قادر ساختن زیردریایی برای رفتن به سطح آب و شناور شدن قسمتی که بالای این خط قرار دارد، کافی باشد. برای رفتن به زیر آب، زیردریایی باید بتواند وزن خود را تا حدی افزایش دهد که با شناوری مجموع حجم بدنه برابری کند. از آنجا که تنها منبع اضافه کردن وزن، آب دریا می‌باشد، لذا راه طبیعی این کار وارد کردن آب دریا به داخل بخشی از حجم زیردریایی است و برای آمدن به سطح آب، این آب باید تخلیه گردد.



شکل (۳-۳) حجم‌های آزاد آبگیر در زیردریایی در شرایط سطحی و زیرسطحی

فضایی که حجم لازم برای این کار در زیردریایی فراهم می‌کند مخازن شناوری اصلی[1] می‌باشد. فضای دیگر داخل پوسته بیرونی که ممکن است تمام یا قسمتی از آن پر شود، بستگی به موقعیت آنها نسبت به خط آب دارد. چنین حجم‌هایی که در مقدار شناوری بدنه هم دخالت ندارند، فضاهای آب گرفته آزاد[2] نامیده می‌شوند. این فرآیند که در واقع در تمام زیردریایی‌ها استفاده می‌شود، بطور کلاسیک یکی از دشوارترین مباحث معماری دریایی در بحث آبگیری[3] است، چرا که این آب وارد شده[4] باعث اضافه شدن وزن در زیردریایی شده و یا حجم آب وارد شده به مخازن باعث از دست رفتن و کاهش شناوری می‌شود. پاسخ به اینکه در چه مواردی به عنوان مورد اول یا دوم و یا ترکیبی از آنها عمل کند، کار ساده‌ای نیست. مفاهیم اضافه وزن یا کاهش شناوری را می‌تواند به طور مجزا برای کنترل محاسبات بکار برد. آنچه ما توصیه می‌کنیم این است که اصول پوسته بیرونی که مرز بین آب دریا و زیردریایی را تعریف می‌کند، باید برای احتیاط، مشخص و حفظ شود. همانطور که بعداً نشان خواهیم داد مفهوم مرز بیرونی وقتی مشخص می‌شود که تمام اجزاء مورد نیاز داخل زیردریایی در نظر گرفته شود.

همانطور که در طراحی یک زیردریایی نیاز به داشتن شناوری مثبت در شرایط تعادلی مناسب می‌باشد، همچنین باید تعادل و پایداری عرضی و مقدار هیل[5] با داشتن GM مثبت برآورده شود. همانطور که بعداً با جزئیات بیشتر توضیح داده خواهد شد، شکل و فرم زیردریایی و داشتن پایداری مناسب، مقدار انحراف عرضی یا هیل را محدود می‌کند. حرکت روی سطح معمولاً با حرکت دائمی غلتش حول محور طولی (حرکت رول) همراه است که در برخی مواقع به زوایای بحرانی می‌رسد؛ در حالیکه وقتی به زیر آب می رود، حرکات آن کاهش می‌یابد. بنابراین در آب و هوای نامساعد، سطح آب محل خوبی برای زیردریایی نمی‌باشد.

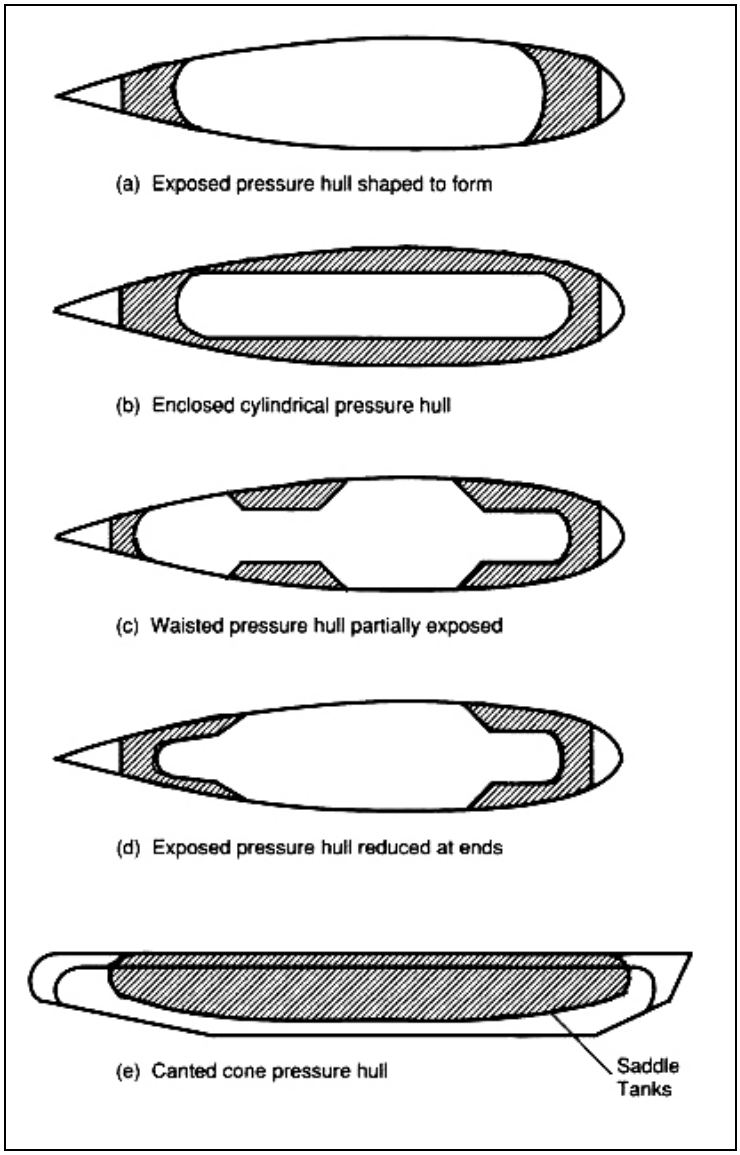
1- Main Ballast Tanks (MBT)
2- Free Flood (FF)
3- Flooding
4- Flooded Water
5- Heel

آرایش مخازن شناوری اصلی

۴-۳) همانطور که در فصل دوم توضیح داده شد و در فصل ششم هم بیان خواهد شد، تحقیقات و پیشرفت‌های نیروی دریایی آمریکا نشان داد که بهترین شکل بدنه زیردریایی برای رسیدن به یک پیشرانش مناسب و قابلیت مانور خوب و کنترل در زیر آب، همانطور که در آزمایشات زیردریایی آلباکور انجام شد، شکل قطرهٔ آب[1] با دماغه کروی ودم مخروطی می‌باشد. در داخل این پوسته بیرونی، یک بدنه فشار با قدرت سازه‌ای بالا وجود خواهد داشت و همانطور که در فصل پنجم توضیح داده خواهد شد، بهترین شکل آن، شکل استوانه‌ای با مقطع دایره‌ای با قطر ثابت می‌باشد که در هر دو انتها متصل به دو نیمکره شده است. این آرایش در شکل ۴-۳(b) نشان داده شده است و به همراه سایر ترکیب‌هایی که در زیردریایی‌ها بکار می‌رود و مواردی که بعداً به آنها رجوع خواهیم کرد، آورده شده است.

تفاوت شکلهای بدنه فشار و روکش بیرونی آنها به خاطر فضای مورد نیاز آنهاست و یکی از اهداف طراحی می‌تواند به حداقل رساندن وسعت بدنه و حداکثر استفاده از فضای موجود باشد. مثلاً یکی از دلایل اینکه حجم بدنه تا حد ممکن کوچک باشد این است که به قدرت کمتری برای جلو راندن زیردریایی نیاز باشد. اگرچه این هدف می‌تواند با ساده سازی و بازدهی ساختمان بدنه فشار در تعارض باشد، مثلاً شکل تک جداره زیردریایی مدل اسکیپ‌جک نیروی دریایی ایالات متحده (شکل ۴-۳(C)). تقدّم‌های دیگری نیز می‌تواند وجود داشته باشد. برای مثال برای بهبود مقاومت در برابر صدمه‌دیدگی سیستم دو جداره‌ای، که پوشش کاملی روی بدنه فشار بوجود می آورد، بکار می رود. می‌توان از فضای بین این دو جداره نیز استفاده کرد، حتی در زیردریایی‌هایی که با موتورهای دیزل – الکتریک کار می کنند، سوخت دیزل معمولاً در بیرون بدنه فشار جاسازی می‌شود.

1- Tear drop



شکل (۴-۳) جانمایی مخازن شناوری اصلی (MBT)

نیازی نیست که از فضای بین بدنه فشار و پوسته بیرونی فقط برای ذخیره مایعات استفاده کرد. مقداری از این فضا توسط تجهیزات مختلف بیرونی شامل سونارها، لوله‌های اژدر (یا اژدرافکن‌ها)[1] ، سطوح کنترل یا بالک‌ها[2]، مکانیزم دنده سکان[3]، لنگر و غیره اشغال می‌گردد.

مقداری از این فضا ممکن است قابل کاربری مفید نباشد و باید به عنوان حجم آبگیر آزاد[4] باشد. وقتی کاربردهای رقابتی زیردریایی‌ها در نظر گرفته می‌شود، مشاهده خواهد شد که ظرفیت آبگیری[5] ممکن است محدود شود (در غیر اینصورت محاسبات مربوط به بدنه دوجداره، خود همراه با خطا و اشتباه خواهد بود). می‌توان به مخازن شناوری بیرونی، مخازن شناوری داخل بدنه فشار را نیز با هدف قادر ساختن زیردریایی برای رفتن از سطح آب به زیر آب و بالعکس، افزود. بعداً روی محاسن و معایب چنین آرایشی بحث خواهیم کرد.

بهترین وضعیت قرارگیری مخازن شناوری در قسمت پائین بدنه فشار باشند. اگر مخزن شناوری در بالای بدنه فشار باشد ارزش کمی دارد. چنانکه وقتی مخازن در بالای سطح آب باشد (وقتی زیردریایی به سطح آب می‌آید)، بخش بیرون آب در محیط هوا بوده و بنابراین شناوری ایجاد نمی‌کند. ولی از طرفی مساحت سطح آبخور بدنه را افزایش می‌دهد. لذا در اغلب موارد فضای داخل روبناسازی (که یک راهرو روی بدنه را شامل می‌شود)، به عنوان مخازن شناوری استفاده نمی‌شود و به صورت فضای آبگیر آزاد است.

هنگامی که زیردریایی به زیر آب می‌رود، مخازن شناوری از آب پر می‌شوند و وقتی زیردریایی می‌خواهد به سطح آب بیاید این آب تخلیه می‌شود. قسمت منتهی الیه سینه و پاشنه نیز سطح آبگیر آزاد هستند، اما از آنجائیکه در زیر آب می‌مانند، بجز در مواقعی که زیردریایی در

1- Torpedo tube
2- Hydroplane
3- Rudder gear
4- Free flooding
5- Floodable tankage

حوضچه تعمیرات[1] است، بطور دائمی در معرض آب هستند. هم اکنون می‌توانیم در مورد تعیین اندازه و تعیین مکان این مخازن (که با عنوان مخازن شناوری اصلی بیان می‌شوند)، بحث کنیم.

۵-۳) مخازن شناوری اصلی در طول، توسط جداره‌های عرضی تقسیم‌بندی می‌شوند و همچنین ممکن است به قسمتهای چپ و راست[2] تقسیم شوند. تقسیم‌بندی‌های عرضی توسط سازه‌های دیواره‌ای شکل بوجود می‌آید که باعث کاهش آسیب‌پذیری مخازن می‌شوند. چنانکه اگر قسمتی از پوسته بیرونی زیردریایی دچار صدمه شود، زیردریایی با کمک مخازن سالم باقی مانده، باز هم قادر خواهد بود در سطح آب بماند. هدف دیگر از تقسیم‌بندی‌های عرضی این است که مخازن را قادر کند در شرایط متفاوت آب و هوایی در سطح آب بکار روند. بنابراین اگر نیاز است که زیردریایی در سطح آب، با آمادگی سریع برای رفتن به زیر آب، حرکت کند؛ زیردریایی باید با شرایط شناوری اندک با پر کردن تعدادی از مخازن حرکت کند. همچنین زیردریایی قادر است با ایجاد یک زاویه طولی مناسب در حرکت روی سطح آب، وضعیتی را ایجاد کند تا پروانه بیشتر در آب فرو رود و این کار با پر کردن مخازن عقب حاصل می‌شود.

معمولاً ظرفیت مخازن شناوری اصلی با عاملی بنام ذخیره شناوری ROB[3] بیان می‌شود که در زیردریایی‌ها نسبت حجم مؤثر این مخازن به جابجایی حجمی زیردریایی در سطح آب است. حجم مؤثر[4] این مخازن مجموع حجمی است که بتوان هوا در آن وارد کرد. همانطور که بعداً بحث خواهد شد، در شرایط زیر آب، حجم داخل این مخازن از آب پر می‌شود. مقدار ذخیره شناوری در طراحی زیردریایی به اندازه آن و سایر ملاحظات دیگر که بزودی بحث خواهد شد، بستگی دارد. بنابراین در زیردریایی‌های کوچک، این مقدار متمایل به بزرگتر بودن است، چرا که باید به حداقل ارتفاع آزاد (فری برد) که معقولانه باشد، دست یافت. نسبت ذخیره شناوری

1- Dock حوضچه تعمیر وساخت کشتی و زیردریایی
2- Port and Starboard
3- Reserve Of Buoyancy (ROB)
4- Effective volume

می‌تواند بین حداقل ۱۰ درصد تا حداکثر ۲۰ درصد تغییر کند (در زیردریایی‌های دو جداره می‌تواند به بیشتر از این مقدار هم برسد). این مقادیر در کشتی‌ها، با توجه به مقدار بار قابل حمل آنها به بیش از ۱۰۰ درصد می‌رسد که البته این شناورها توانایی رفتن به زیر آب را ندارند. مخازن شناوری اصلی داخلی در جائی قرار داده می‌شوند که ذخیره شناوری اندک مخازن شناوری اصلی بیرونی را افزایش دهند.

در پی تعاریفی که قبلاً گفته شد، در اکثر زیردریایی‌ها جابجایی حجمی در سطح آب به مقدار زیادی توسط جابجایی حجمی بدنه فشار تعیین می‌شود و تجهیزات بیرونی، تنها درصد اندکی از این عامل مهم را باعث می‌شوند. بنابراین، به عنوان اولین تخمین در طراحی اولیه، حجم مخازن شناوری اصلی می‌تواند توسط فرمول زیر بدست آید:

$$\text{حجم مخازن شناوری}(MBT) = ROB \times \text{حجم بدنه فشار}$$

۶-۳) موقعیت طولی مخازن شناوری اصلی هم فاکتور مهم دیگری در طراحی است. اگر زیردریایی در حال تعادل باشد و وقتی به زیر آب می‌رود تعادل طولی و عرضی آن برقرار باشد؛ برای آمدن روی سطح آب و بدون نیاز به تنظیم تعادل طولی و عرضی، مرکز حجم مخازن شناوری اصلی باید نزدیک مرکز شناوری زیردریایی‌ها در زیر آب باشد. اگر فضای دو انتهای زیردریایی تنها محل مخازن شناوری اصلی باشد، رسیدن به چنین هدفی ممکن است مشکل باشد. اما از آنجا که داشتن زاویه طولی زیاد سینه یا پاشنه در سطح آب با مخازن شناوری اصلی پر از هوا نمی‌تواند قابل قبول باشد، لذا راه حل دیگری که می‌توان در نظر گرفت، کاهش ظرفیت سینه یا پاشنه یا در صورت یافتن مکان مناسب، در نظر گرفتن مخازن شناوری اصلی داخلی می‌باشد.

جهت انتخاب مخازن شناوری اصلی درونی و بیرونی، در نظر گرفتن این مخازن در درون بدنه فشار درست نیست، چرا که می‌بایست توسط مرزهای سازه‌ای سنگین که توانایی مقاومت در برابر فشار دریا را داشته باشد، احاطه گردد.

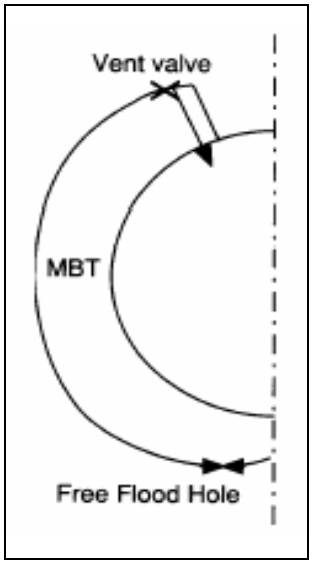
مخازن شناوری اصلی در بیرون بدنه فشار می‌توانند براحتی آرایش یابند؛ چنانکه در هر زمانی می‌توانند با آب دریا متوازن شوند و بنابراین آنها نیاز به هیچ سازه سنگینی نخواهند داشت. در عوض می‌توانند به گونه‌ای طراحی شوند که در برابر فشار هوای مورد نیاز برای جریان یافتن آب داخل مخزن به بیرون، از راه دریچه‌های خروجی و ورودی با دبی مشخص مقاومت کنند، یعنی فشار داخلی و خارجی مخزن برابر هستند، لذا به سازه سنگینی نیاز ندارد. برای تخلیه آب داخل مخزن، هوای پرفشار برابر با فشار بیرون، به داخل مخزن دمیده می‌شود.

در برخی از مواقع همانطور که اشاره کردیم، در ترکیب زیردریایی ممکن است هم از مخازن شناوری اصلی درونی و هم بیرونی استفاده شود. در این مورد، ظرفیت مناسب برای حرکت زیردریایی با شناوری کم در سطح آب قابل تصور است که بتوان در صورت نیاز، در زمان اندکی با پمپ کردن آب از درون این مخازن نرم داخلی[1] به بیرون، شناوری آن را افزایش داد؛ یعنی مخازنی که قادر به مقاومت در برابر فشار آب نیستند، چرا که مستقیماً مخازن داخلی در معرض فشار آب قرار نمی‌گیرند. در مجموع، ترکیب مخازن شناوری اصلی بیرونی و درونی باید طوری واقع شوند که وضعیت بدون انحراف در تعادل طولی و عرضی حاصل شود. این مورد همچنین می‌تواند به قرار گرفتن یک مخزن شناوری در عقب زیردریایی کمک کند، بطوریکه وقتی زیردریایی با شناوری اندک در سطح آب شناور است، آب وارد آن گردد (در معرض آب گرفتگی واقع شود) و شیب پاشنه را برای قرار گرفتن پروانه در داخل آب ایجاد نماید و همچنین برای افزایش سطح آبخور سراسر زیردریایی به هنگام بارگیری اژدر در بندر، بکار گرفت.

1- Soft internal tank

۷-۳) نکتهٔ دیگری که باید مد نظر قرار گیرد اندازه و موقعیت مخازن شناوری اصلی در هنگامی است که زیردریایی برای مقابله با اثرات نفوذ آب به داخل بدنه فشار در اثر تصادف یا حمله دشمن، به زیر آب می‌رود. این تخلیه مخزن به مقدار زیادی به نرخ جریان هوای خروجی وابسته می‌باشد که در مواقع اضطراری باید به سرعت از مخازن تخلیه گردد. ما این مورد اضطراری و ضروری را در فصل هشتم این کتاب بحث خواهیم کرد. اکنون ملاحظه می‌کنیم که به دریچه‌های آبگیر[1] در کف مخازن شناوری اصلی نیاز می‌باشد که بیشترین نرخ تخلیه آب از مخازن را انجام دهند. همچنین تخلیه سریع این مخازن نیز مهم است. اشکالی که در اثر این دریچه‌های باز بزرگ در بدنه بیرونی[2] زیردریایی بوجود می‌آید؛ ایجاد صدا، ارتعاش و نیروی درگ بیشتر می‌باشد. می‌توان دریچه‌هایی را در نظر گرفت که وقتی جریان آب در این دریچه‌ها قطع می‌شود، بطور اتوماتیک بسته شود. می‌توان صفحات مشبّک را برای کاهش اثر جریان مخالف، روی دریچه‌های باز در نظر گرفت. قرار گرفتن این دریچه‌های آبگیر در پائین‌ترین قسمت مخازن شناوری اصلی بسیار مهم است، چرا که در غیر اینصورت، مقداری آب در کف مخازن باقی می‌ماند که ممکن است مطلوب نباشند (شکل ۵-۳). به همین دلیل، دریچه‌های تهویه که اجازه خروج هوا از مخازن، بهنگام رفتن زیردریایی به زیر آب را می‌دهند باید در بالاترین نقطه مخزن قرار گیرند تا تمام هوا از راه دریچه‌های تهویه تخلیه گردند.

1- Flood hole
2- Outer hull



شکل (۵-۳) موقعیت شیرهای تهویه و آبگیری

همانطور که بعداً توضیح خواهیم داد، وجود هوای حبس شده در بالای مخازن شناوری اصلی، می‌تواند مشکلاتی در کنترل عمق زیردریایی بوجود آورد. همچنین باید برای تخلیه مخازن شناوری اصلی از هوای پر فشار استفاده شود. این هوای پر فشار با قرار گرفتن در بالای مخزن و فشار بر سطح آب داخل مخزن، سطح آب را کاهش می‌دهد. در برخی موارد پس از نزدیک شدن شناور به سطح آب و برای صرفه‌جویی در هوای فشرده هم این روش بکار می‌رود که هوای با فشار پائین به کمک دمنده‌های هوا[1] و از والوهای مجزا به داخل مخازن شناوری اصلی دمیده می‌شود. برای تأمین این هوا، هوای لازم از طریق دکل تنفس به داخل زیردریایی هدایت و از طریق دمنده به داخل مخازن ارسال می‌شود.

در اکثر موارد که مخازن شناوری اصلی در اطراف بدنه سخت قرار گرفته‌اند، بخش داخلی آنها با توجه به شکل بدنه سخت؛ شکل دایره و سطح بیرونی مخزن با توجه به حالت پوشش

1- Blower

بیرونی (بدنه نرم) خواهند بود. شکل مقطع عرضی مخازن شناوری اصلی اغلب دایره‌ای‌تر از بدنه فشار و روکش (پوستهٔ ایده‌آل) بیرونی آن است، بویژه در قایق‌های[۱] غوطه‌ور که ممکن است برای سفرهای طولانی در سطح آب بکار گرفته شوند. برای فراهم کردن توازن اولیه، عرض خط آب[۲] باید تا حد ممکن بزرگ باشد. در بعضی از زیردریایی‌ها باعث فراهم آوردن مخازن زینی دیواره‌ای شکل[۳] می‌شود که خصوصیات مِتاسنتر بالاتری در سطح آب می‌دهد. در صورت اندک بودن ذخیره شناوری، اگر شناور به اندازه زوایای زیاد هیل[۴] برسد، ممان بازگرداننده[۵] به سرعت کاهش خواهد یافت.

زیردریایی در زیر آب[۶]

۸-۳) وقتی زیردریایی با وارد کردن آب به داخل مخازن شناوری اصلی به زیر آب می‌رود وارد شرایط و وضعیت متفاوتی می‌شود که برای کاربران کشتی و طراحان شناورهای سطحی کاملاً ناآشناست. در ابتدا می‌توان گفت؛ زیردریایی در زیر آب در هر شش جهت مانند هواپیما آزادی دارد ولی آزادی مانور به علل مختلف، محدود می‌شود. البته بر خلاف هواپیما بیشتر زیردریایی‌ها وابسته به حرکت رو به جلو برای تأمین نیروی بالا برنده دینامیکی[۷] برای جبران وزن نیستند. هرچند زیردریایی از نیروی بالا برنده هیدرودینامیکی[۸] برای کنترل عمق و مسیر وقتی که در حال حرکت است، استفاده می‌کند.

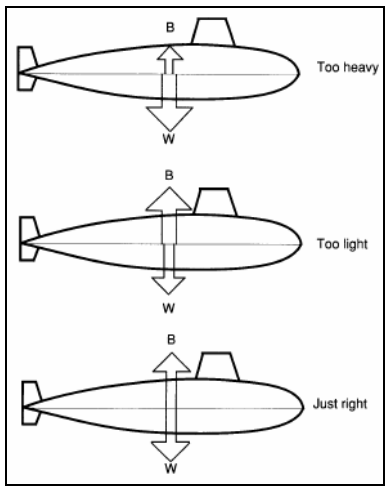
1- Submersible Boats
2- Waterline beam
3- Wall sided saddle
4- Heel large angle
5- Righting moment
6- Submarine Submerged
7- Dynamic lift
8- Hydrodynamic lift

در حقیقت، تشابه دقیق‌تر زیردریایی در زمینه هوانوردی، مقایسه آن با کشتی هوایی[۱] می‌باشد که زیردریایی‌ها را از اینکه صرفاً در نزدیک سطح آب بکار گرفته شوند، رهانید و در طراحی زیردریایی آلباکور از تحقیقات کشتی هوایی در سالهای ۱۹۲۰ و ۱۹۳۰ در زمینهٔ تحقیقات زیردریایی، استفاده شد. کشتی هوایی در حقیقت بیشتر وزن خود را با نیروی شناوری جبران می‌کند و تعادل آیرواستاتیکی[۲] یا تعادل در هوا در هر دو جهت رُل[۳] و پیچ[۴] با قرار گرفتن مرکز گرانش در زیر مرکز شناوری و در همان راستای عمودی، حفظ می‌گردد و وقتی که حرکت می‌کند، به تعادل آیرودینامیک[۵] نیاز دارد که توسط سطوح کنترل[۶] تأمین می‌گردد و قابلیت کنترل پرواز[۷] توسط سکانها[۸] و بالچه‌های متحرک[۹] انجام می‌گردد. همچنین وقتی این وسیله در حال حرکت است باید نیروی مقاوم درگ را به حداقل رسانید که این مورد نیز با شکل بدنه «قطرهٔ آب چکیده» که در تحقیقات انجام شده شکل بهینه است، برآورده می‌شود. ملاحظات، تحقیقات و پیشرفت‌های موجود در زمینه غوطه‌وری زیردریایی در زیر آب و موارد مشابه، در فصول بعدی بیان خواهد شد.

۹-۳) در ادامه بحث هیدرواستاتیک زیردریایی‌ها، از آنجا که برای جبران وزن به نیروی شناوری وابسته هستند، نسبت به تغییرات شناوری و وزن حساس می‌باشند. تساوی دقیق این دو، بخصوص در شرایط فرضی برای استفاده کاربردی، «شناوری خنثی» نامیده می‌شود. اگر وزن از مقدار شناوری بیشتر باشد «شناوری منفی» نامیده می‌شود و جسم پائین می‌رود تا اینکه اقدامی برای کاهش وزن یا افزایش شناوری صورت گیرد. همچنین اگر مقدار

1- Airship نوعی بالن بزرگ بیضوی شکل که قابلیت حرکت رو به جلو را دارد.
2- Aerostatic
3- Roll غلتش عرضی حول محور طولی
4- Pitch غلتش طولی حول محور عرضی
5- Aerodynamic stability
6- Stabiliser surfaces
7- Flight controllability
8- Rudder
9- Aileron

شناوری از وزن بیشتر شود، «شناوری مثبت» نامیده می‌شود که جسم بالا می‌آید تا اینکه اقدامی برای کاهش شناوری یا افزایش وزن صورت گیرد (شکل ۶-۳). تغییرات شناوری معمولاً بر اثر تغییرات چگالی آب دریا ایجاد می‌شود در حالیکه تغییرات وزن بر اثر مصرف سوخت و استفاده از سلاحها ایجاد می‌گردد. از نظر تعادل در عمق آب، اگر شناور بخواهد از عمق آب صعود کند نیاز به وسایل کنترل ویژه‌ای می‌باشد. وقتی که جسم در حال حرکت است، نیروهای هیدرودینامیک که از سطوح کنترل بوجود می‌آیند، باعث اختلاف اندکی بین وزن و شناوری شده و شناور اندکی تغییر عمق می‌دهد.



شکل (۶-۳) مقایسه نیروهای وزنی و شناوری

با این حال، برابر کردن مقادیر وزن و شناوری تا جائیکه ممکن است، باید صورت پذیرد و لذا تجهیزاتی برای این امر در زیردریایی‌ها فراهم شده است.

۱۰-۳) می‌توان روی اینکه چرا زیردریایی باید برای شناوری خنثی طراحی شود، بحث کرد. چرا نباید وزن زیردریایی سنگین یا سبک‌تر از شناوری طراحی شود و یا همانند هواپیما، نیروی بالا برنده هیدرودینامیک ایجاد کند؟ اگر چنین باشد زیردریایی به منظور حفظ و کنترل عمق باید دارای سرعت بسیار بالایی در زیر آب باشد (که البته امکان آن وجود ندارد).

پاسخ ساده آن، این است که زیردریایی باید بتواند در داخل آب بطور کامل توقف کند و یا با سرعت بسیار اندکی حرکت کند. اگر دارای شناوری خنثی نباشد، این قابلیت مانور برای آن ممکن نخواهد بود.

بحث دیگر در ارتباط با ایمنی است. اگر سیستم رانش زیردریایی دچار اشکال شده و متوقف شود و زیردریایی در حالت شناوری خنثی نباشد کنترل عمق را از دست می‌دهد. در این شرایط اگر شناوری بیشتر از وزن باشد، زیردریایی به سطح آب صعود می‌کند که این برای زیردریایی‌های نظامی مایهٔ دردسر است و اگر کشتی دشمن در حال گشت‌زنی باشد می‌تواند بسیار خطرناک باشد. همچنین می‌تواند برای کشتی‌های مسافربری در سطح آب نیز ایجاد خطر نماید.

همچنین هنگامی که وزن زیردریایی سنگین‌تر از شناوری است، خطر فاجعه‌آمیزی در کمین خواهد بود چرا که زیردریایی در عمقی پائین‌تر از عمق مطلوب (عمق فروپاشی) خواهد رفت و در نتیجه، سازه آن متلاشی خواهد شد یا در کف دریا خواهد نشست.

عوامل و ارکان شناوری

۱۱-۳) اولین عاملی که در شناوری می‌توان در نظر گرفت، منبع اصلی ایجاد شناوری (به مقدار معمولاً ۹۰ درصد) در اثر حجم آب جابجا شده توسط بدنه فشار می‌باشد که همچنین موقعیت مرکز شناوری را از نظر طولی و عمودی می‌دهد.

ملاحظه خواهد شد که هندسه بدنه و ابعاد آن وقتی تحت فشار قرار می‌گیرد دچار تغییر شکل[1] خواهد شد. علاوه بر بدنه فشار مقداری از شناوری توسط اجزاء بیرونی بویژه سازه‌های بیرون بدنه فشار به همراه مخازن بیرونی در جلو و عقب زیردریایی، عرشه، برجک[2] و سطوح

1- Unstressed geometry
2- Bridge fin

کنترل[1] تأمین خواهد شد. بیشتر قسمت‌های این سازه‌ها بطور مستقیم با آب در ارتباط هستند و بنابراین تنها به اندازه حجم خودشان، آب جابجا می‌کنند. پرداختن به هندسه پیچیده این اجزاء کسل کننده می‌باشد (بجز بدنه فشار که دارای هندسهٔ نسبتاً ساده‌ای است) اما از آنجا که باید وزن و مرکز گرانش این اجزاء مشخص شود، برای محاسبه این مقادیر می‌توان از مقدار و توزیع موقعیت شناوری و به سادگی، با در نظر گرفتن اختلاف بین وزن مخصوص[2] مواد بکار رفته در سازه‌های بیرونی و وزن مخصوص آب دریا استفاده کرد.

در برخی از موارد، برخی تجهیزات مستقر در بیرون بدنه سخت، نیروی شناوری بیش از وزن خود ایجاد می‌نمایند؛ مانند لوله‌های اژدر که معمولاً خشک هستند و هیدروفون سونار که دارای شناوری مثبت است. همین وضعیت در مورد عرشه، بالک‌های میانی و پاشنه وجود دارد.

اجزایی هستند که دارای حجم‌های بسته بوده و لذا در زیر آب تولید نیروی شناوری می‌نمایند؛ بطور مثال در درون برجک، محفظه عبور، شافت پروانه و پروانه نیز کمی شناوری دارند. نکته‌ای که در این اقلام گوناگون باید مورد توجه قرار گیرد این است که فقط مشارکت آنها در ایجاد نیروی شناوری مطرح نیست بلکه این قطعات در تعیین مرکز شناوری از نظر جلو و عقب بودن و از نظر بالا و پائین بودن حائز اهمیت است. مکان هندسی مرکز شناوری در تعادل زیردریایی اثر قابل توجهی دارد.

معمولاً در محاسبات شناوری، مخازن شناوری اصلی در حالت آب‌گرفته (پر از آب) در نظر گرفته می‌شوند و تنها مرزهای سازه‌ای آنها، آب را جابجا می‌کند. ممکن است هوا در قسمت‌هایی از مخازن حبس شود و در مقدار شناوری مشارکت کند. محبوس شدن هوا در مخازن به هنگام غوطه‌وری زیردریایی می‌تواند چنین باشد. براساس آنکه در ابتدا زیردریایی با زوایه سینه یا پاشنه به زیر آب می‌رود، هوا می‌تواند در گوشه‌های جلو یا عقب مخازن حرکت کند ولی معمولاً

1- Control surface
2- Specific gravity

زیردریایی‌ها با سینه به زیر آب می‌روند. از آنجا که هوا به مقدار زیادی قابل فشرده شدن[1] است، با افزایش عمق، تغییرات حجم هوا[2] می‌تواند خطرات بالقوه و غیر قابل پیش‌بینی بر اثر تغییرات شناوری را بدنبال داشته باشد.

بنابراین در طراحی مخازن شناوری اصلی، دقت ویژه‌ای در فراهم آوردن تهویه مناسب هوا و مکان مناسب آنها صورت می‌گیرد. مشکلی مشابه مواردی که گفته شد می‌تواند در فضاهای آبگیر آزاد در دو انتهای جلو و عقب زیردریایی و سازه عرشه، زمانیکه زیردریایی با سرعت در سطح آب در حال حرکت است و به هنگام غوص کردن در آب، بوجود آید. اگرچه ایجاد حفره‌های متعدد باعث ایجاد نیروی درگ[3] اندک بر روی بدنه بیرونی می‌گردد، اما این امکان را فراهم می‌نماید که آب در فضای بین بدنه فشار و نرم بسرعت تخلیه و یا براحتی آب‌گیری شود؛ لذا تعداد متعددی از سوراخها بر روی بدنه نرم تعبیه می‌گردد.

بالک‌ها و ضمیمه‌های آن معمولاً طوری طراحی می‌شوند که درون آنها پر از آب می‌شود و تمهیداتی برای تهویه و خشک کردن فضای داخلی آنها در نظر گرفته می‌شود. روش دیگر، پر کردن این فضا از مواد سبک که قادر به مقاومت در برابر فشار آب در عمق باشد، هست که نه تنها هیچ مشکلی در تهویه و خشک کردن بوجود نیاورد بلکه باعث محافظت سازه‌های داخلی در مقابل خوردگی می‌شود. علاوه بر آن، شناوری بدست آمده با این وسایل، روش مؤثری در کمک به خنثی کردن وزن پروانه، شفت و سطوح کنترل در منتهی‌الیه پاشنه شناور است.

از دیگر حجم‌های شناوری که باید در نظر گرفته شود، حجم مربوط به وزنه‌های تعادل (سرب) بیرونی است که ممکن است در منتهی‌الیه پایین زیردریایی[4] درون مخازن شناوری اصلی، فضاهای جلو یا عقب و یا حتی در زیر عرشه باشند.

1- Compressible
2- Air poceting
3- Drage force
4- Ballast keel

اگر وزنه‌های تعادل در مخازن شناوری قرار گیرد حجم مؤثر مخزن را کاهش خواهد داد و باعث کاهش ذخیره شناوری مؤثر می‌شود.

۱۲-۳) تا کنون ما روی حجم آب جابجا شده توسط بدنه زیردریایی متمرکز شده بودیم، اگرچه شناوری تنها وابسته به حجم جابجایی نیست و به چگالی آبی که جابجا می‌شود و در نواحی مختلف آب دریا تغییر می‌کند نیز بستگی دارد. گرانش مخصوص آب دریا[1] (SG) می‌تواند از حدود ۱ در دهانه رودخانه‌ها یا خلیج‌های کوچک که آب تقریباً بدلیل آب شدن برفها و یخ‌ها، خالص است؛ تا حدود ۱/۰۳ در دریاچه‌های نمک تغییر کند. معمولاً روی مقدار استاندارد ۱/۰۲۷۵ کار می‌شود که یک مقدار میانگین در کاربرد عادی زیردریایی‌هاست. لذا در طراحی با تغییرات ۳ درصدی شناوری به دلیل تغییرات چگالی آب مواجه هستیم که باعث تغییرات زیادی در نیروی شناوری می‌شود. این تغییرات ممکن است به هنگام نزدیک شدن به سواحل، یا تغییرات عمق زیردریایی که با تغییر درجه حرارت و نمک موجود در آب همراه است، به سرعت اتفاق بیافتد که سیستم‌های عملیاتی زیردریایی باید بلافاصله خود را با آنها تطبیق دهند.

همانطور که تغییرات شناوری می‌تواند در اثر تغییرات چگالی آب دریا رخ دهد، تغییرات شناوری می‌تواند در اثر تغییر حجم جابجایی زیردریایی نیز بوجود آید. یک مثال مهم، تغییر هندسه بدنه فشار بر اثر فشار هیدرواستاتیک وارد آمده بر آن در عمق آب می‌باشد.

با افزایش فشار روی بدنه، پوسته بدنه سخت دچار کرنش‌های فشاری، و در نتیجه کاهش قطر و طول بدنه و حجم جابجایی می‌شود. بدنه متناسب با قابلیت فشارپذیری[2] دچار تغییر شکل می‌شود که البته باعث تغییر مکان مرکز شناوری نمی‌شود؛ حجم هوا به شدت تحت تأثیر فشار قرار می‌گیرد که اگر مقداری هوا در سینه یا پاشنه آن موجود باشد باعث مشکلات مضاعفی در

1- Sea Water Specific Gravity
2- Compressibility

انتقال مرکز شناوری می‌گردد. اثر فشار آب دریا در جائیکه روی بدنه پوشش‌های جاذب صوت نصب شده، باعث ایجاد فشردگی و کاهش اثر شناوری است.

کاهش شناوری در عمق کامل غوص[1] می‌تواند در یک زیردریایی ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ تنی بالغ بر دهها تن گردد.

۱۳-۳) این فشارپذیری الاستیک باعث عدم توازن و تعادل در عمق آب می‌شود. اگر فرض کنیم که زیردریایی در یک عمق مشخص، دقیقاً دارای شناوری خنثی است و سپس عمق خود را افزایش دهد، فشار روی بدنه باعث کاهش شناوری می‌شود و باعث غلبه وزن بر شناوری شده و یک نیروی خالص رو به پائین که تمایل به بردن زیردریایی به عمق بیشتر دارد بوجود می‌آید که هر چه بیشتر باعث کاهش شناوری می‌گردد. اگر عمق کاهش یابد، عکس این حالت اتفاق خواهد افتاد و اثر آن شبیه فنر معکوس خواهد بود. برای نگه داشتن زیردریایی در عمق مشخص، به کنترل مثبت[2] نیاز است و برخی از زیردریایی‌ها برای این هدف؛ به سیستم رانش عمودی[3] (برخاستن) مجهز می‌شوند. فعالیت‌های گذشته که برای حفظ عمق بکار می‌رفته این بوده است که؛ اگر زیردریایی برای عمق زیاد طراحی شده است، مثلاً برای عملیات اکتشافی، افزایش عمق بدلیل فشارپذیری آب، باعث افزایش چگالی آب علاوه بر فشارپذیری بدنه می‌شود. عدم تعادل طبیعی در عمق در اثر فشارپذیری در صورت یکنواخت بودن چگالی آب می‌باشد. تغییرات چگالی یا لایه‌های مختلف آب دریا که در عمق بیشتر دارای چگالی بیشتر هستند، می‌تواند مسئله را معکوس کند. اگر لایه مناسبی یافت شود، با افزایش چگالی در عمق بیشتر که اثر آن بیشتر از اثر فشارپذیری بدنه باشد، می‌تواند در لایه مشخصی از آب دریا، تعادل عمق[4] برقرار شود.

1- Full diving depth
2- Positive control
3- Hovering system
4- Depth stability

تغییرات دیگر شناوری می‌تواند به هنگام عملیات زیردریایی اتفاق بیافتد. یک مثال، بالا آمدن پریسکوپ[1] است که باعث افزایش حجم جابجا شده توسط قسمت بیرونی لوله پریسکوپ می‌شود. کارکنان با تجربه زیردریایی می‌دانند که چگونه زیردریایی را در عمق پریسکوپ[2] متعادل نگه دارند که البته قبل از آن نیاز به تنظیم دقیق تعادل وزنی زیردریایی می‌باشد. اثر دیگری که توسط تجهیزات بیرونی زیردریایی که توسط آب دریا متوازن می‌شوند، مخازن سوخت دیزل هستند که ممکن است به عنوان یکی از عوامل تغییر شناوری یا وزن عمل نمایند. این مخازن سوخت در فشار اتمسفر در سطح آب دریا عمل می‌کنند و هنگامیکه پر هستند، با چگالی سوخت دیزل که کمتر از چگالی آب دریاست، آب دریا را جابجا می‌کند. سوخت مصرف شده با آب دریا که چگالی بیشتری دارد جایگزین می‌شود و این تغییر چگالی می‌تواند به عنوان افزایش وزن و یا کاهش شناوری ظاهر شود. این تغییر همچنین برای هاور کردن (تثبیت عمق) بوسیله انتقال سوخت به مخازن بیرونی و درونی استفاده می‌شود.

وقتی زیردریایی در آب دریا از یک چگالی به چگالی دیگر حرکت می‌کند، آب ورودی به فضاهای (مخازن شناوری اصلی) و (FF) بعید است که چندان تغییر کند و در محاسبات بعدی تأثیر تغییر چگالی آب دریا به حجم پوسته بیرونی زیردریایی و دیگر حجم‌های گوناگون بیرون آن مربوط می‌شود.

عوامل و ارکان وزن

۱۴-۳) در فصل بعدی، ما چگونگی جزئیات تأثیر وزن و فضاهای در نظر گرفته شده در طراحی را بحث می‌کنیم که نقش مهمی را ایفا می‌کنند و هم اکنون تمایل ما بیشتر به مشخص کردن رابطه بین وزن و شناوری در تعادل هیدرواستاتیکی و شناوری محدود است. همانطور

1- Periscope
2- Periscope depth

که نشان خواهیم داد، این یکی از مهمترین جوانب طراحی زیردریایی است. البته وزن یکی از پارامترهای حیاتی در طراحی کلیه وسایل نقلیه است بخصوص وسایلی که وابسته به پشتیبانی نیروی بالابرنده دینامیکی[1] هستند، مانند هواپیماها و شناورهای هیدروفیل. همانطور که مشاهده کرده‌ایم، شناوری، قابل اعتمادترین منبع پشتیبانی است و باید برای ایجاد تعادل در زیردریایی، اختلاف چندانی در مقادیر وزن وشناوری نباید وجود داشته باشد.

تعیین وزن زیردریایی مشکل‌تر از شناوری می‌باشد. تعیین شناوری زیردریایی مربوط به حجم‌های خالص اشکال ساده هندسی است در حالیکه وزن، مجموع بسیاری از اجزائی است که در زیردریایی وجود دارد، اگر چه هیچیک از موارد، به اندازه حجم بدنه فشار بر شناوری مؤثر نیستند. اجزاء بزرگ و وزن‌های ثابت آن؛ مانند سازه بدنه فشار، سیستم پیشران اصلی، باتری‌ها و سلاح‌های ثابت درون زیردریایی هستند که نسبتاً راحت می‌توانند ارزیابی شوند. مشکل اساسی در تخمین وزن تأسیسات، تجهیزات، سیستم‌ها و سازه‌های کوچک درون زیردریایی است. علاوه بر وزن‌های نصب شده درون زیردریایی، وزن‌های متغیر به همراه خدمه، انبارها و مایعات درون مخازن نیز وجود دارد.

در حال حاضر، توجه ما به وزن برای خواص و اثرات آنها در زیردریایی یعنی حداکثر وزن و موقعیت طولی و عمودی مرکز گرانش می‌باشد و همچنین اینکه چگونه این خواص بر شرایط عادی زیردریایی به هنگام عملیات آن، تأثیر می‌گذارد. قبل از بحث روی چگونگی رخ دادن تغییرات، باید علت داشتن وزنه‌های سربی – چه ثابت و چه متغیر– در زیردریایی بررسی شود.

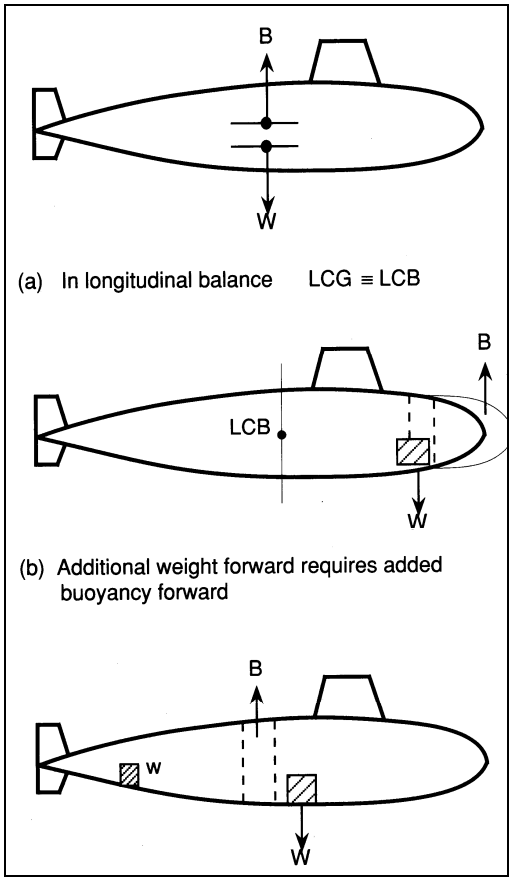
۱۵–۳) در شروع استفاده از وزنه‌های سربی دائمی ممکن است به نظر برسد که جابجا کردن وزن مرده[2] غیرممکن است. اگر چه وزنه‌های سربی دائمی می‌توانند به یک دلیل یا بیشتر از دلایل زیر در کار طراحی نیاز باشند:

1- Dynamic lift
2- Dead weight

الف) کمک کردن به برقرار شدن تساوی وزن و شناوری در شرایط زیرآبی و غوطه‌وری زیردریایی. (بعید است که مجموع وزن‌های مورد نیاز در زیردریایی بطور طبیعی با مجموع قسمت‌های شناور و دارای شناوری، برابری کند و در طراحی باید احتیاطاً مقداری شناوری اضافی برای امکان تعدیل وزن در نظر گرفته شود و سایر روشها غیر عملی هستند.)

ب) قادر ساختن تطابق موقعیت طولی مرکز گرانش و مرکز شناوری (شکل ۷-۳). (بعید است که توزیع طولی وزن در زیردریایی دارای بهترین آرایش برای مطابقت با مرکز شناوری طولی باشد.)

ج) برای اینکه موقعیت عمودی مرکز ثقل به اندازه کافی در زیر مرکز شناوری واقع شود تا بتوان به پایداری طولی و عرضی مناسبی دست یافت.



شکل (۷-۳) روش حفظ تعادل طولی زیردریایی

اولین دلیل از این دلایل به بحث در نظر گرفتن زاپاس در طراحی می‌پردازد. مشاهده می‌شود که این دلیل حداقل چیزی است که برای وزنه‌های سربی دائمی[1] زیردریایی می‌توان گفت. دومین دلیل قابل ملاحظه‌تر است، چرا که شکل زیردریایی‌های مدرن، مرکز شناوری را به سمت جلو متمایل می‌نماید (بدلیل سینه بزرگ و پاشنه نازک) و مرکز گرانش را به عقب (بدلیل

1- Permanent ballast

ماشین آلات سنگین عقب و فضاهای نسبتاً سبک جلو برای اتاق فرمان، فضاهای الکترونیکی و امکانات رفاهی). در زیردریایی‌های دیزل – الکتریک، وزن سنگین باطری‌ها که می‌تواند در جلوی بدنه واقع شود به ایجاد تعادل کمک می‌کند. در زیردریایی‌های دیزل–الکتریک به منظور رسیدن به تعادل طولی مورد نیاز، می‌توان وزنه‌های سربی دائمی را در طول بدنه پخش کرد اما در زیردریایی‌های با سیستم رانش هسته‌ای ممکن است به ممان بازگرداننده‌ای برای چند صد تن وزنه تعادل دائمی با هدف متعادل کردن زیردریایی نیاز باشد.

طبق دلیل سوم؛ هندسه استوانه‌ای بدنه باعث می‌شود که مرکز شناوری در نزدیکی محور استوانه قرار گیرد و به همین دلیل توزیع وزن در زیردریایی باعث می‌شود که مرکز گرانش تصحیح نشده نیز در نزدیکی محور قرار گیرد (موتورها، شافت و تجهیزات روی شافت نیز در نزدیکی محور بدنه هستند). وزنه‌های سربی دائمی برای انتقال مرکز گرانش به زیر محور به کار برده می‌شود. در این باره، باتری‌های زیردریایی دیزل – الکتریک، با قرار گرفتن در پائین‌ترین قسمت بدنه به کمک می‌آیند. لذا با توجه به اهمیت این امر، در مرحله طراحی زیردریایی می‌توان توزیع مناسبی برای رسیدن به وزنه‌های سرب دائمی در نظر گرفت که بستگی به مهارت و تجربه طراح دارد.

۱۶–۳) زیردریایی دارای ۳ نوع وسیله برای برقراری تعادل است:

۱- وزنه‌های سربی احتیاطی:

«وزنه سربی احتیاطی[1]» اجازه افزایش وزن زیردریایی را در حین طراحی و ساخت و خدمات‌دهی آن می‌دهد. (یعنی اگر زیردریایی در حین ساخت یا پس از ساخت دچار اضافه وزن شد می‌توان مقدار این وزنه‌ها را کاهش داد و مشکل اضافه وزن را حل کرد. این وزنه‌ها معمولا از جنس سرب هستند چراکه سرب دارای چگالی بالایی است و برای یک وزن معین، جای

1- Margin ballast

کمتری اشغال می‌کند). آنچه مهم است این است که یک طراح با تدبیر، باید امکانات لازم برای مسائل پیش‌بینی نشده را هم در طراحی خود در نظر بگیرد که نیازمند تکرار چندین بارهٔ ابداعات و اقدامات گذشته است؛ یعنی ترکیبی از کارهای تکامل تدریجی و تکامل انقلابی و ابداعی که باید در طرح خود بکار ببرد (هرچه میزان استفاده از طرح‌های ابداعی بیشتر باشد، احتمال اضافه وزن و خطا در طراحی بیشتر است).

۲- وزنه سربی دائمی[1] : این وزنه‌ها (که معمولا سربی هستند) باید در زیردریایی کامل شده، وجود داشته باشند. در حالیکه، وزنه‌های سربی احتیاطی ممکن است وابسته به این باشد که طراح در کنترل وزن موفق بوده است یا نه و بدینوسیله راهی برای جبران آن وجود خواهد داشت (یعنی وزنه‌های سربی احتیاطی ممکن است تا پایان فرآیند ساخت یا در حین عمر عملیاتی زیردریایی مصرف شود ولی وزنه‌های سربی دائمی باید همواره در زیردریایی وجود داشته باشند).

۳- مخازن تعادلی متغیر یا مخازن جبران وزن: سومین نوع وسایل برقراری تعادل، مخازن تعادلی متغیر[2] می‌باشد (که بدانها « مخازن متغیر» یا « مخازن جبران وزنی» نیز گویند.) که به دو مورد قبل شباهتی ندارد و شامل مخازنی است که از دریا آبگیری یا تخلیه انجام می‌دهند و تغییرات وزنی را جبران می‌کنند. این مخازن جبران برای تصحیح پیوسته شرایط شناوری خنثی، هم از نظر نیرو و هم از نظر ممان طولی، با تغییر وزن و شناوری در حین عملیات، بکار می‌روند (یعنی این مخازن همواره به حفظ حالت شناوری خنثی زیردریایی در زیر سطح آب کمک می‌کنند). در حین انجام عملیات و گشت‌زنی، وزن زیردریایی بدلیل مصرف مواد ذخیره شده، سوخت، آب مقطّر و تخلیه آب خن و فاضلاب تغییر خواهد کرد. همچنین شناوری زیردریایی بر اثر تغییر چگالی آب دریا در نقاط مختلف گشت‌زنی، فشرده شدن بدنه فشار در عمق آب و (در صورت بکار رفتن) مخازن ذخیره سوخت دیزل بیرونی که با آب دریا جایگزین می‌شود،

1- Permanent ballast
2- Variable ballast

تغییر خواهد کرد. اقدامی که معمولاً برای تـأمین تعـادل زیردریـایی و جبـران تغییـرات وزنـی و حجمی بکار می‌رود، داخل و خارج نمودن مقادیری از آب دریا بـه درون مخـازن در داخـل بدنـه فشار است. مخازن متغیر، قسمت اصلی سیستم شیب و جبران‌ساز[1] هستند و از این طریـق نقـش محوری در حفظ تعادل زیردریایی را ایفا می‌کنند. به این دلیل ما هم توجه ویژه‌ای را بـه مخـازن فوق معطوف می‌داریم. باید خاطر نشان کنیم که کاربرد ویژه کلمه «شیب[2]» گـیج کننـده اسـت، چرا که اصولاً در علوم دریایی و برای کشتی‌ها از ایـن واژه بـرای بیـان شـیب «کیـل[3]» کـشتی استفاده می‌شود که در سطح آب باعث تفاوت آبخور سینه و پاشنه می‌گردد.

مخازن شیب و جبران وزن[4]

در زیردریایی‌ها، متعادل کردن به این معنی است که زیردریایی با شـناوری خنثـی در حـال رفتن به زیر آب است، بطوریکه مرکز گرانش و شناوری در یک صفحه هستند. در گذشته وقتـی زیردریایی‌ها مجبور به رفتن به زیر آب می‌شدند، اغلب برای عدم ایجاد سروصدای زیاد، این کـار به آرامی صورت می‌گرفت. قرار گرفتن در یک وضعیت تعادلی مناسب، یک نیاز حیـاتی حتـی در زیردریایی‌های مدرن است.

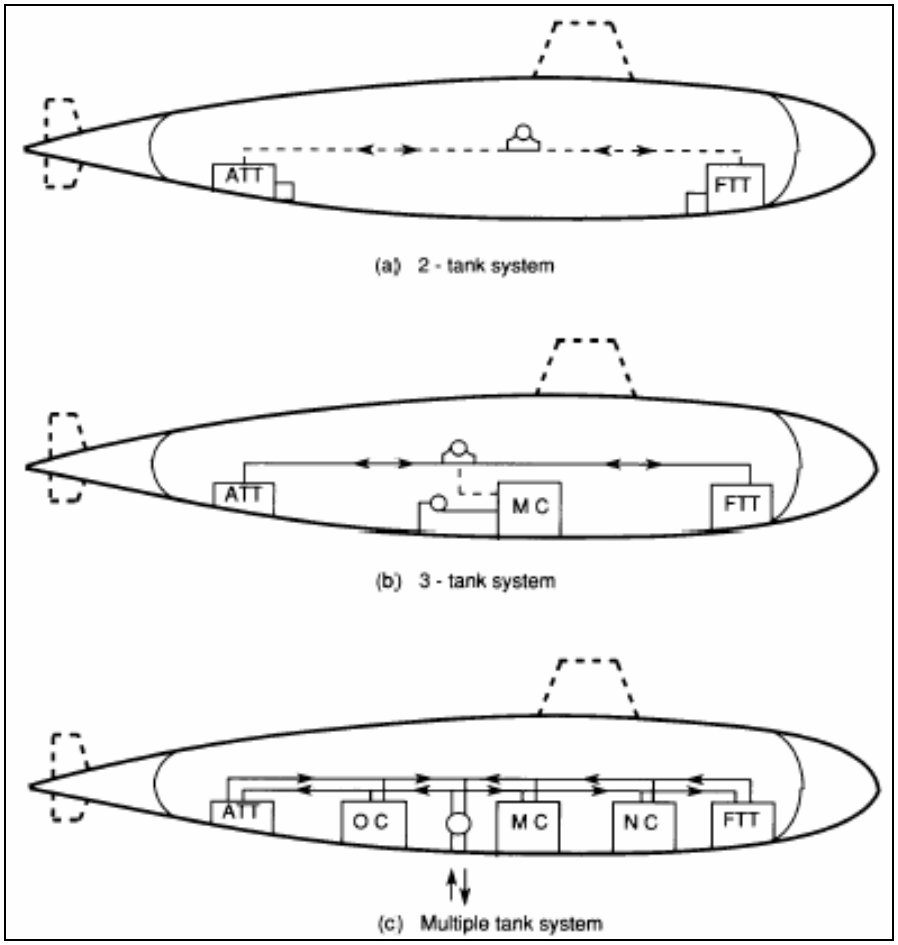
نظر به اهمیت طراحی هیدرواستاتیکی (واز آنجا که برخی مباحث آن اختـصاص بـه طراحـان زیردریایی دارد) ما ضمیمه ۲ را به «اقـدامات عملـی دربدسـت آوردن و حفـظ شـیب»اختـصاص داده‌ایم.

آنچه برای طراحان حائز اهمیت است این است که مخازن شیب و جبران وزنی، چگونه قرار گیرند تا بهترین بازدهی بدست آید. روش اصولی این که فقط دو مخزن، یکـی کـاملاً در جلـو و

1- Trim and Compensation System
2- Trim شیب یا تریم که بیان‌گر وضعیت شیب طولی کشتی یا زیردریایی است.
3- Keel عضوسازه‌ای سخت وسنگین در پایین ترین قسمت بدنه.
4- Trim and Compensating Tank

دیگر کاملاً در عقب بدنه قرار گیرد که معمولاً مخازن شیب عقب و جلو[1] (شکل الف- ۸-۳) نامیده می‌شود. برای ایجاد تغییرات جهت دست یافتن به بالانس طولی[2]، یکی از مخازن باید تا حدی خالی و دیگری نسبتاً پر باشد. بنابراین به هنگام تغییرات ممان طولی، وزن ثابت خواهد ماند. برای تصحیح تغییراتی که تنها وزن را تحت تأثیر قرار می‌دهند یکی و یا هر دو مخزن باید نسبتاً خالی یا پر شوند تا ممان طولی ثابت بماند. برای تصحیح تغییراتی که هم وزن یا شناوری و هم ممان طولی را تحت تأثیر قرار می‌دهد باید ترکیب مناسبی از هر دوی این مخازن پر و خالی باشد.

1- Forward and after trim tank
2- Longitudinal balance



شکل (۸–۳) سیستم‌های شیب و جبران وزنی

از آنجا که این مخازن معمولاً در داخل بدنه فشار واقع شده‌اند، باید همواره آمادگی آبگیری از آب دریا را با تهویه هوای درون مخازن به محیط زیردریایی داشته باشد. تخلیه آب از مخازن چندان ساده نیست؛ آب می‌تواند در اثر وارد آمدن فشار زیاد هوا به دریا تخلیه شود اما این عمل پر سروصدا بوده و ضمناً تهویه مخازن، فشار داخلی زیردریایی را افزایش می‌دهد (چراکه در برخی از زیردریایی‌ها، هوای داخل مخازن به داخل بدنه تخلیه می‌شود که باعث افزایش فشار

هوای داخل بدنه می‌گردد. این هوا دارای بوی نامطبوعی است و همین عامل باعث شده در زیردریایی‌های امروزی از این روش استفاده نشود و هوای داخل مخازن شناوری اصلی به بیرون تخلیه گردد). همچنین سازه مخازن باید به حد کافی سخت باشد تا قادر به تحمل فشار غوص[1] نیز باشد. همچنین می‌توان برای تغییر میزان آب مخازن از سیستم پمپ برای تخلیه به دریا استفاده کرد. برای اینکار لازم است که در هر سمت زیردریایی از یک پمپ مخصوص و یا یک پمپ متمرکز[2] با دریچه‌های ورودی و تخلیه به همراه لوله‌هایی که به مخازن شیب جلو و عقب متصل می‌شود، استفاده شود که البته هر یک از لوله‌ها باید توانایی مقاومت در برابر فشار غوص را داشته باشد.

سیستم سه مخزنی[3] با آنچه پیش از این بیان شد متفاوت است. این امر بدلیل داشتن مخزنی در وسط شناور – مخزن جبران وزنی[4] – همانند مخازن شیب جلو و عقب می‌باشد (شکل ب–۸–۳). استفاده از این آرایش، این امکان را فراهم می‌سازد که تنها از مخزن مرکزی برای تخلیه به دریا و یا گرفتن آب از دریا استفاده شود و مخازن شیب جلو و عقب کاملاً از تماس با دریا بی‌نیاز شوند و از آنها، تنها برای تعادل طولی زیردریایی استفاده شود. برای جلوگیری از در معرض فشار قرار گرفتن مخازن شیب طولی، از یک سیستم دو پمپی استفاده خواهد شد، یکی پمپ تخلیه بزرگ مرتبط به دریا که فقط به مخزن جبران وزنی مرکزی متصل خواهد شد و دیگری، پمپ شیب دهنده کوچک[5] برای انتقال آب بین مخازن شیب جلو و عقب. در این روش، مقدار لوله‌کشی در فشار غوص در داخل زیردریایی می‌تواند تا حد قابل ملاحظه‌ای کاهش یابد، در حالیکه تنها مخزن جبران و لوله‌های آن که در ارتباط با آب دریا هستند باید «سخت» باشند. اگر فضای کافی در پائین‌ترین قسمت زیردریایی برای ظرفیت مورد نیاز در محل مناسبی وجود نداشته باشد، این آرایش، برای سه مخزن امکان‌پذیر نخواهد بود. در این شرایط، ممکن است نیاز

1- Diving pressure
2- Centralised pump
3- Tree tank system
4- Compensation tank
5- Small trimming pump

شود مخزن جبران تکی که در وسط زیردریایی وجود داشت، با چندین مخزن کوچکتر که در هر جائیکه براحتی قابل نصب باشند، تعویض گردد (شکل ج-۸-۳). برای پرهیز از پیچیده‌تر شدن سیستم لوله‌کشی که در معرض فشار غوص قرار دارند، یکی از این مخازن کوچک جبران وزن می‌تواند به صورت «سخت» ساخته شود و سایر مخازن به صورت «نرم[1]» ساخته شوند که ارتباطات بعدی داخلی لوله‌ها به مخازن جبران توسط سیستم‌های لوله‌کشی داخلی نرم[2] انجام می‌شود.

مخازن ویژه[3]

۱۸-۳) همانند مخازن شیب و جبران، مخازن دیگری برای اهداف مخصوص در زیردریایی وجود دارد. این مخازن ممکن است مانند مخازن متغیر رفتار کنند و یا مواردی که در پائین ذکر می‌شود.

مخازن جبران وزن سلاح[4]:

در زیردریایی‌هایی که به اژدر مسلح هستند، وقتی شلیک می‌شوند تغییر قابل ملاحظه‌ای در وزن رخ می‌دهد. اگر زیردریایی در عمق پریسکوپ و یا نزدیک این عمق شلیک کند، تعادل زیردریایی به هم خواهد خورد چنانکه ممکن است قسمت سینه زیردریایی از آب بیرون بزند و یا حداقل کنترل زیردریایی در عمق آب از دست برود که به شدت نامطلوب خواهد بود. برای جلوگیری از این واقعه، چندین مخزن جبران برای شلیک سلاح در نظر گرفته می‌شود. یکی از این مخازن، مخزن آب اطراف اژدر[5] (WRT) است که حاوی آب کافی برای شلیک همزمان

1- Soft
2- Soft internal piping system
3- Special tank
4- Weapon Compensation Tanks
5- Water Round Torpedo Tank

اژدرها می‌باشد. وقتی یک اژدر در داخل لولهٔ اژدر[۱] قرار می‌گیرد و درب عقب آن بسته می‌شود، و قبل از اینکه درب سینه[۲] گشوده شود، آب از مخازن WRT برای پر کردن فضای بین اژدر و لوله اژدر وارد می‌شود که می‌تواند با فشار آب دریا برابر گردد و این امکان را فراهم سازد که درب جلوی اژدر بدون تغییر قابل ملاحظه وزن یا ممان طولی باز شود، زیرا آب WRT تنها به صورت عمودی تغییر مکان داده است. به محض شلیک شدن اژدر، لوله اژدر با آب پر خواهد شد و بنابراین بجای حجم از دست رفته اژدر جایگزین می‌گردد. چنانکه معمول است، اگر چگالی اژدر از آب بیشتر باشد، نیاز به مخزنی با آب بیشتر برای جایگزینی وزن از دست رفته است و به این منظور مخزن ثانویه‌ای به نام مخزن تهویه داخلی اتوماتیک[۳] (AIV)، برای وارد کردن مقدار آب بیشتر، فراهم شده است. بنابراین زیردریایی با لوله اژدرهای آبگیر[۴] قادر به حفظ تعادل خواهد بود. برای آماده کردن اژدر دیگر، باید درب جلوی لوله اژدر بسته و آب داخل آن (از لوله اژدر) به مخزن سومی که برای حفظ بالانس طولی به خوبی مکان‌یابی شده است، تخلیه گردد. این مخزن، مخزن راه اندازی اژدر[۵] (TOT) نام دارد و ظرفیت آن برای تأمین تمام آب مورد نیاز برای جبران وزن از دست رفته که به هنگام شلیک شدن اژدر رخ می‌دهد، کفایت می‌کند. همچنین تجهیزات مناسبی برای انتقال آب ازمخزن AIV به TOT و از TOT به مخزن WRT در نظر گرفته می‌شود.

مخازن D[۶]:

این مخازن نزدیک مرکز طولی شناوری نصب و در مواقعی که زیردریایی بخواهد با سرعت در عمق آب فرو رود، استفاده می‌شود. این مخازن دارای ظرفیتی هستند که آنها را قادر

1- Torpedo tube
2- Bow Cap
3- Automatic Inboard Venting
4- Flooded tube
5- Torpedo Operating Tank
6- D-tank

می‌کند به سرعت شناوری از دست رفته در اثر فشار را نیز جبران کنند. مخازن D معمولاً نـصب نمی‌شوند و معمولاً از مخازن شـیب و جبـران وزنـی اسـتفاده مـی‌شـوند؛ بجـز در مـواردی کـه زیردریایی بخواهد به سرعت به عمق آب برود. ولی بدلیل دبی اندک پمپ شدن آب بـه بیـرون، این امکان به تنهایی با کمک مخازن شـیب و جبـران وزنـی وجـود دارد. در صـورت اسـتفاده از مخازن D، این مخازن دارای بدنهٔ سخت بوده و لازم است با کمک هوای پر فشار و به سـرعت تخلیه شوند. از آنجا که این مخازن اصولاً مخـازن جبـران هـستند، مخـازن D بعـضاً در داخـل مخزن شناوری قرار گرفته و با آن ترکیب می‌شوند و در این حال مـی‌تواننـد بـه عنـوان مخـزن سخت در این مخازن محسوب شوند. بدلیل اثر تراکم‌پذیری روی این دو مخزن، یکی از آنها پر و دیگری خالی است یا هر دو در شرایط عادی غوص، نیمه پر هستند. عمل مخازن D تا حـدودی شبیه مخازن شناوری متغییر می‌باشد.

مخزن Q[1] :

این مخازن اصولاً مشخصه‌ای از زیردریایی‌های دیزل – الکتریک قدیمی هستند که مجبور بودند زمانی را روی سطح آب کار کنند، با این هدف کـه بـه زیردریـایی قابلیـت غـوص سـریع[2] بدهند. هنوز این سیستم در بعضی از طرح‌های زیردریایی امروزی نیز دیـده مـی‌شـود کـه روش مناسبی برای فاصله گرفتن سریع از سطح آب می‌باشد. مخزن Q نسبتاً یک مخزن کوچک است که دقیقاً جلوی بدنه قرار گرفته و در حالت عادی خالی هستند و وقتی آبگیر مـی‌شـوند، قـسمت سینه به زیر آب می‌رود بگونه‌ای که زیردریایی نیز به سرعت می‌تواند به زیر آب برود. ایـن روش بسیار مؤثر است چرا که با رفتن سینه به زیر آب، شناوری منفی ایجاد می‌شـود و ایـن بـه معنـی داشتن دریچه‌های بزرگ روی بدنه است که به سرعت آبگیر شوند. همچنین پس از رسـیدن بـه عمق مناسب، برای حفظ آن عمق نیاز به هوای فشرده می‌باشد که قابلیت تخلیه با سـرعت زیـاد

1- Q-tank
2- Rapid submergence

را داشته باشد. این مخزن در حالت عادی به عنوان بخشی از مخازن جبران نمی‌باشد و برای اهداف خاص فرض می‌شود. مخزن Q در برخی طراحی‌ها بعنوان مخزن ایمنی[1] در نظر گرفته می‌شود و در حالت عادی در زیر آب کاملاً پر از آب است و در صورت وقوع حوادث می‌تواند به سرعت تخلیه گردد.

مخازن حفظ عمق در حالت سکون[2] :

همانطور که در این فصل دیدیم، یک زیردریایی برای حرکت عمودی در عمق آب، وقتیکه موتورهای رانش خاموش است، و بدلیل اثرات تراکم‌پذیری، ناپایدار[3] است. عملاً در زیردریایی‌ها نیاز می‌شود تا بصورت عمودی و در حالت موتور خاموش تغییر عمق داده یا در یک عمق مشخص باقی بمانند؛ یعنی برای موازنه بین شناوری و وزن باید تمهیداتی اندیشیده شود که وقتی زیردریایی می‌خواهد پائین برود می‌توان با وارد کردن آب به داخل زیردریایی و وقتی در حال بالا رفتن است، با پمپ کردن آب به بیرون به این هدف رسید. برای دست یافتن به کنترل مورد نیاز، باید از تجهیزاتی که بتواند آب را به سرعت وارد یا خارج کند تا به حالت خنثی خود برسد، استفاده شود و می‌توان از مخازن ویژه‌ای که برای این هدف مشخص شده است، برای ثابت نگه داشتن عمق در حالت سکون استفاده کرد. اگر زیردریایی بخواهد در نزدیک سطح دریا ثابت بماند، برای غلبه بر اثرات موج که اثرات نامطلوبی دارد، باید سیستم هاور (سیستم ساکن نگه داشتن زیردریایی در یک عمق مشخص) قوی‌تر فراهم شود تا بتواند بر نیروهای مکش ناشی از حرکت موج روی بدنه زیردریایی غلبه کند. ما روی نیازهای کنترلی در حرکت زیردریایی در بخش بعد بحث خواهیم کرد.

1- Safety tank
2- Hover tanks
3- Unstable

تعادل هیدرواستاتیکی[1]

۱۹-۳) برای خاتمه دادن به این فصل، به برخی از جوانب هیدرواستاتیک که در طراحی و کاربرد زیردریایی نیاز است، اشاره کردیم. باید به ملاحظات پایداری زیردریایی ولی نه از جنبه دینامیکی برگردیم که البته به هم نزدیک هستند و در آینده از نظر تعادل بیشتر روی آن بحث خواهد شد. در زیردریایی‌ها جداسازی جوانب استاتیکی و دینامیکی مشکل است، چراکه اکثراً این دو اثر همواره همراه یکدیگرند؛ اما این یک روش ساده‌ای است که می‌توان در حل مسائل و مشکلات از آن استفاده کرد.

در شناورهای غوطه‌ور شونده[2] پایداری هیدرواستاتیکی، هم از نظر عرضی و هم طولی یعنی دوران حول محور طولی و عرضی نیازمند این است که مرکز گرانش در زیر مرکز شناوری قرار گیرد. لذا میزان فاصله بین نقطه اثر نیروهای شناوری و وزن (BG) به خصوصیات پایداری[3] زیردریایی دلالت می‌کند.

ظرافت‌های زیادی در زیردریایی، بخصوص در طراحی ایجاد پایداری هیدرواستاتیکی مناسب هم در روی سطح آب و هم در زیر سطح آب وجود دارد.

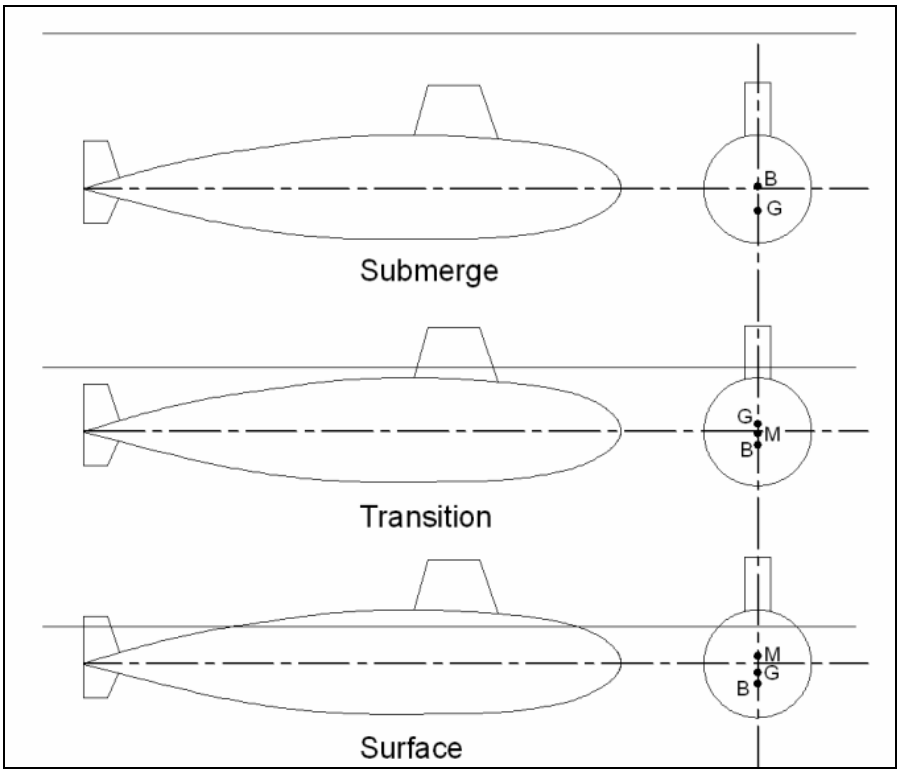
پایداری زیر آب[4]:

از آنجا که زیردریایی در زیر آب، ذخیره شناوری ندارد و صدمه دیدگی آن باعث آبگیری قسمت‌هایی از زیردریایی می‌شود، لذا زیردریایی به عمق فرو می‌رود تا اینکه یک اقدام جبران

1- Hydrostatic stability
2- Submerged Vessel
3- Stability
4- Submerged Stability

کننده اضطراری برای آوردن زیردریایی صدمه دیده به سطح آب صورت گیرد. لـذا، فقـط مـا بـه ملاحظات پایداری در زیردریایی بی عیب و سالم[1] نیازمندیم.

همانطور که تاکنون دیده‌ایم، پایداری غوطه‌وری تنها نیازمند این است که مرکز گرانش G در زیر مرکز شناوری B باشد (شکل ۹-۳) و سؤالی که در طراحی آن پیش می‌آید این است کـه این فاصله چقدر باید باشد؟ اندازه BG مقدار ممان بازگرداننده را به هنگامیکه زیردریـایی دچـار زوایای انحراف عرضی یا طولی می‌شود را مشخص می‌کند.



شکل (۹-۳) تغییرات B، G و M در انتقال بین سطح آب و زیر آب

1- Intact stability

هم اکنون روی معیارهای مختلفی که در شرایط گوناگون برای تعیین انـدازه BG بایـد در نظر گرفت، بحث می‌کنیم.

الف) استاتیکی : در این حالت باید اندازه BG به حدی باشد که حرکت وزن‌ها یا خدمه در داخل زیردریایی به صورت عرضی یا طولی تأثیر چندانی در آن نداشته باشد.

ب) دینامیکی : مقدار BG روی رفتار زیردریایی هنگامیکه بـا سـرعت زیـاد در زیـر آب حرکت می‌کند، بسیار موثر است. در این حالت، برجک به عنوان یک فویل که مـی‌توانـد نیـروی لیفت[1] ایجاد کند [این نیروی لیفت با توجه به موقعیت فویل، به سمت چپ یا راست خواهد بود] عمل خواهد کرد. این نیروی که در بالای بدنه وارد خواهد شد، یک ممان غلـتش دهنـده (هیـل دهنده) ایجاد خواهد کرد که وابسته به اندازه BG بوده و نتیجه آن می‌تواند زوایای غلتش خیلی بزرگ باشد که بعضاً «غلتش گهواره‌ای» یا «Snap roll» نامیده می‌شود. این اثر شبیه رفتاری است که زیردریایی وقتی با سرعت زیاد در زیر آب حرکت می‌کند، به یکبـاره سـکان را بـه یـک طرف دهد.

البته اثر بالک‌گونهٔ عرشه می‌تواند چنان طراحی شود که باعث کاهش نیروی غلتش دهنـده وارد بر زیردریایی گردد. اثر ممان هیدرواستاتیک که وابسته به مقدار BG است برای مقاومت در برابر غلتش نیز بسیار مهم است و می‌تواند تعیین کننده حداقل مقدار BG باشد.

همچنین BG یک ممان هیدرواستاتیک برای مقاومت بدنه در برابـر دَوران طـولی[2] ایجـاد می‌کند. همانطوری که با جزئیات کامل در فصل «دینامیـک زیردریـایی[3]» بحـث خـواهیم کـرد، فاصلهٔ BG در تامین تعادل به هنگام تغییر عمق زیردریایی در حال حرکت بسیار مؤثر است.

از آنجا که این تأثیرات ناشی از هیدرواستاتیک و تمامی نیروها و ممان‌های دیگر از خـواص هیدرودینامیک هستند، این تأثیرات روی حرکت زیردریایی متناسب با سرعت آن تغییـر مـی‌کنـد

1- Lifting surface
2- Pitching
3- Submarine Dynamics

که منجر بـه خـصوصیات متفـاوت کنتـرل زیردریـایی، در سـرعت‌هـای مختلـف مـی‌شـود. در سرعت‌های خیلی پائین، تسلط ممان هیدرواستاتیک باعث پدیده‌ای از سطوح کنترل در عمق آب به نام «اثر چینی[1]» می‌گردد که به موجب آن هیدروپلن‌های عقب، امکان کنترل عمق زیردریایی را از دست می‌دهند و در عین حال اعمـال نیـروی رو بـه بـالا در هیـدروپلن‌هـای عقـب، سـینه زیردریایی به سمت پائین متمایل می‌گردد، یعنی بدنه زیردریایی به سمت پائین شیب مـی‌گیـرد. البته این تأثیرات به انـــدازه قابل ملاحظه ای وابسته به اندازه BG می‌باشد.

ج) انتقال : عامل دیگری که در تعیین انـدازه BG مـؤثر اسـت، جابجـایی زیردریـایی از شرایط عمقی به استقرار در سطح آب می‌باشد که باعث ظهور مِتاسنتر عرضی[2] از مرکز شـناوری به موقعیتی متناسب با سطح خط آبخور[3] خواهد شد. هنگامیکه این اتفـاق در حـال وقـوع اسـت، مرکز گرانش نیز در اثر جابجایی آب از مخازن شناوری اصلی جابجا می‌شود و البته بایـد بـه اثـر سطح آزاد[4] و فضاهای آبگیر آزاد نیز در حین انتقال به سطح آب، توجه نمود، چرا که ممکن است آبهای بین بدنهٔ سخت و بدنهٔ نرم زیردریایی با تأخیر خارج شود که تـأثیر بـسیار زیـادی در بـالا آمدن مرکز گرانش عمودی غوطه‌وری دارد و ممکن است باعث ایجاد مشکلاتی گردد. همچنین باید مراقب بود که در حین انتقال از زیر آب به سطح آب، مرکز گرانش به بالای مِتاسنتر که خود مِتاسنتر نیز تغییر نموده است، منتقل نگردد.

یکی از شرایطی که در تعادل انتقالی رخ می‌دهد هنگامی است که سطوح زیردریایی در بین یخ‌ها قرار می‌گیرد. بدیهی است که سطوح زیرین یخ مسطح می‌باشد، لذا نیرویی کـه بـر بـالای برجک به هنگام شکستن آن وارد می‌شود باعث یک اثر عرضی در تعادل عرضی[5] می‌شـود. ایـن نیرو تا حدی با کنترل سرعت بالا آمدن زیردریایی می‌تواند محدود شود، اما دلایل کـافی وجـود

1- Chinese Effect
2- Transverse metacentere
3- Surfece water line
4- Free surface effect
5- Transverse stability

دارد که باید در مرحله طراحی مقدار مناسب BG برای رسیدن به تعادل در این حالت نیز در نظر گرفته شود.

محاسبات موقعیت عمودی و طولی مرکز گرانش معمولاً براساس وزن‌های معرفی شده و موقعیت آنها می‌باشد. بخصوص هنگامیکه بدنه در حرکت است، اثر تمام جِرم‌های ناشی از جابجا شدن آب، درون فاصله بدنهٔ نرم و سخت باید در نظر گرفته شود که البته، وزن این قسمت‌ها معمولاً در محاسبات استاتیکی در نظر گرفته نمی‌شود، ولی این جِرم‌ها و قسمت‌های داخلی آن در محاسبات دینامیکی در نظر گرفته می‌شود. از موضوعات دیگر، در نظر گرفتن تغییرات چگالی آب دریا در زمان محاسبات مربوط به تعادل زیردریایی نسبت به شرایط چگالی استاندارد در نظر گرفته شده است. در طراحی معمولاً باید شرایط کاربرد زیردریایی را در نظر گرفت و مواردی که گفته شد، نمی‌تواند تنها عامل راهنمایی طراح در تعیین اندازه BG باشد. نظریه‌ای که در این باره بدست آمده؛ «هر چه بزرگتر بهتر» نیز نمی‌تواند کمک کند. طراح باید بیشتر با دانستن چگونگی استفاده مناسب از فضا و ایمنی لازم و پرهیز از هزینه بالا در ایجاد تعادل پایدار، کمک کند. در این شرایط همانطور که انتظار می‌رود، طراح باید از تجارب گذشته استفاده نماید. نتیجه آن وابسته به نوع و اندازه زیردریایی‌ای است که در حال طراحی است و نسبت BG به قطر بدنه فشار به اندازه ۳ تا ۴ درصد نمی‌تواند غیر واقعی باشد.

پایداری در سطح آب :

۲۰-۳) نباید انتظار داشت که در زیردریایی‌های مدرن امروزی، اصرار بیشتری روی تعادل آنها در سطح آب باشد؛ چرا که شباهت چندانی به کاربری‌های شناورهای سطح آب بجز پر و خالی کردن در آبهای ساحلی در شروع و پایان گشت‌زنی ندارند. اگرچه ممکن است گهگاهی برای گشت‌زنی‌های ویژه و غیرمعمول به سطح آب بیایند. عموماً زیردریایی‌های مدرن می‌توانند به عنوان مشتقی از زیردریایی آلباکور باشند و بهمین دلیل از همه نظر در سطح

آب دارای قابلیت‌های اندکی هستند که شامل تعادل عرضی و در پی آن تعادل طولی است، چرا که سطح آبخور[1] زیردریایی در سطح آب، به اندازه کافی نمی‌باشد تا مِتاسنتر طولی خیلی بالاتر از مِتاسنتر عرضی قرار گیرد. موقعیت مِتاسنتر عرضی وابسته به هندسه پوشش بیرونی[2] می‌باشد. اگر پوشش بیرونی شامل مخازن شناوری اصلی باشد که دارای شکل دایره‌ای هستند، با چرخش زیردریایی حول محور طولی، مِتاسنتر همچنان روی محور باقی خواهد ماند [این مطلب بیان کننده این واقعیت است که مرکز متاسنتر یک جسم استوانه-ای همواره در هر آبخور و در هر زاویه غلتشی، منطبق بر محور استوانه است].

همانند مرکز شناوری در زیر سطح آب، اختلاف بین ارتفاع مِتاسنتر در سطح آب و زیر سطح آب وابسته به اتفاقی است که برای مرکز گرانش می‌افتد. اگرچه با توجه به آنچه در بالا گفته شد، مرکز گرانش ممکن است به مقدار زیاد در انتقال از زیر آب به سطح آب بالا بیاید، در اشکال هندسی بدنه که به صورت متقارن محوری هستند، مرکز گرانش در سطح آب معمولاً به اندازه‌ای که چندان از موقعیت آن در زیر سطح آب دور نیست، بالا می‌آید که در این مورد GM و BG یکسان خواهند بود. بسیاری از هندسه‌های دیگر، بیشتر شبیه شرایط مِتاسنتر سطح آب هستند که مِتاسنتر تقریباً بالای محور است اما نه خیلی زیاد.

راجع به پایداری هیدرواستاتیکی در زوایای بزرگ، منحنی بازوی بازگرداننده متناسب با زاویه هیل (θ) یعنی منحنی GZ، در زیردریایی‌های غوطه‌ور در زیر آب، شبیه منحنی سینوسی است؛ چنانکه $GZ = BG\ Sin\theta$ می‌شود که گسترهٔ خوب با حداکثر مقدار GZ در زاویه هیل ۹۰° می‌دهد. برای زیردریایی‌ها در سطح آب، خصوصیات منحنی GZ وابسته به هندسه بیرونی بدنه (متقارن یا نامتقارن) خواهد بود و اینکه مرزهای بالایی مخازن شناوری اصلی چه شکلی هستند.

1- Water plane
2- Outer envelope

از آنجا که زیردریایی‌های شناور در سطح آب در مقایسه با کشتی‌ها دارای ذخیره شناوری اندکی هستند، منحنی GZ با مقدار و دامنه (محدوده پایداری) اندک مشخص خواهند شد. (البته با توجه کوچک بودن اندازه بدنه زیردریایی‌ها در بالای آب، زیردریایی‌ها در سطح آب در مقایسه با کشتی‌ها، کمتر در معرض حرکت عرضی ناشی از موج و باد قرار می‌گیرند.)

مرور

از مباحث مطرح شده مشاهده می‌شود که طراح زیردریایی باید دو حالت اصلی را در نظر داشته باشد؛ شناوری روی سطح آب و غوطه‌وری در زیر آب. برای ایجاد تغییرات لازم، قسمتی از حجم کل شناور به عنوان ظرفیت آبگیر، مخازن شناوری اصلی در نظر گرفته شود. این مخازن باید به اندازه‌ای باشند که شناوری اضافی مناسبی برای ایجاد شرایط رضایتبخش شناوری در سطح آب ایجاد کنند. لازمه این کار، تقسیم‌بندی طولی مخازن شناوری اصلی است، بطوریکه زیردریایی بطور تراز در سطح آب شناور شود و دارای شکلی باشد که پایداری عرضی مناسبی روی سطح آب ایجاد نماید. در حالت غوطه‌وری زیر آب، مخازن شناوری اصلی بطور کامل پر می‌شوند و فاکتور اصلی شناوری، حجم بدنه فشار خواهد بود. برای رسیدن به شناوری خنثی در حالت غوطه‌وری باید تعادل دقیقی بین نیروهای وزن و شناوری وجود داشته باشد تا رابطه مستقیمی بین وزن و حجم کل زیردریایی در حالتی که کاملاً زیر آب است بوجود آید. مشکلی که در طراحی می‌تواند وجود داشته باشد این است که حجم شناوری بدنه ثابت است و امکانی برای جبران اضافه شدن وزن، همانند کشتی‌ها که می‌توانند با فرو بردن بیشتر بدنه یعنی افزایش آبخور تعدیل شوند، وجود ندارد.

از آنجا که هم وزن و هم شناوری می‌تواند در حین گشت‌زنی تغییر کند، لذا نیاز است که ظرفیت‌های ویژه‌ای در داخل بدنه فراهم شود (مخازن شیب و جبران) تا شناور را با شناوری

خنثی تطبیق دهد. علاوه بر این دو حالتی که گفته شد باید تمهیداتی برای حالت انتقال شناوری برای رفتن به زیر آب یا سطح آب اندیشیده شود. بویژه باید احتیاط لازم برای پایداری عرضی در حالت انتقال صورت گیرد و لذا باید دقت زیادی در تشخیص و ارزیابی پایداری مناسب صورت گیرد.

نام شناور: زیردریایی نظامی میدجت

این زیردریایی یکی از پیشرفته‌ترین زیردریایی‌های میدجت دنیا می‌باشد که توسط محققین و صنعتگران وزارت دفاع ساخته شده است. این زیردریایی اثباتی است بر توانمندی‌های منحصربفرد صنایع زیرسطحی کشور. تعداد کثیری از این زیردریایی‌ها تحویل نیروهای مسلح ایران شده است.

فصل چهارم

« نسبت وزن به حجم در زیردریایی »

هدف

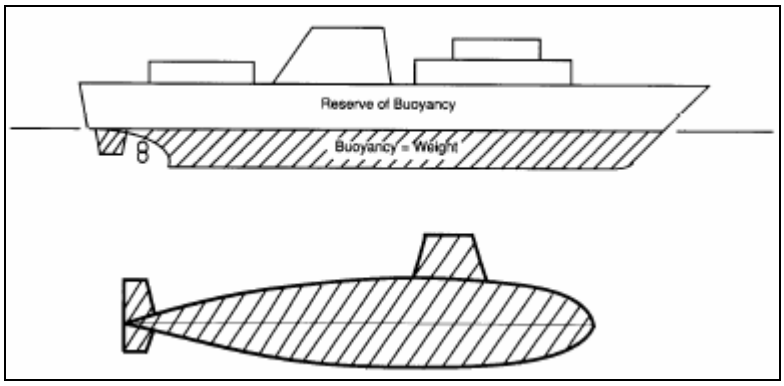
۱-۴) ما این فصل نسبتاً کوتاه را با بیان هدف آن شروع می‌کنیم چرا که خصوصیات این فصل نسبت به سایر ملاحظات فنی موجود در طراحی زیردریایی متفاوت است. در برخی موارد به هیچ عنوان فنی نمی‌باشد اما به قسمتی از مباحث طراحی مربوط می‌شود که تعارضی با معماری آن ندارد. مباحث موجود در ملاحظات نسبت وزن به حجم در زیردریایی، از آنجا که جزء مفاهیم پایه است، در ابتدا ممکن است ساده بنظر برسد ولی هر چه وارد جزئیات این تناسب می‌شویم، کار پیچیده‌تر می‌شود. وزن و حجم و چگونگی ارتباط آنها در طراحی زیردریایی شامل علم هیدرواستاتیک است.

این فصل تا حدودی دربارهٔ چگونگی تعیین اندازه زیردریایی، که دارای اندازه مناسب جهت فراهم آوردن نیروی شناوری کافی برای جبران وزن باشد، بحث می‌کند و اینکه آیا دارای فضای کافی برای قرار گرفتن تجهیزات و محتویات موردنیاز می‌باشد، بطوریکه اضافه شناوری مورد نیاز برای تغییرات وزن را هم داشته باشد؟ اگر زیردریایی دارای فضای اضافی باشد چگونه باید از این فضا استفاده کرد؟ یا اگر وزن به طریقی دچار تغییرات شود، چگونه چگالی زیردریایی در حالت غوطه‌وری با آب دریا یکسان می‌شود؟ و روشهای بکار گرفته شده چگونه می‌تواند کارآمد باشد؟

هدف ما این است که نشان دهیم این سوالات چگونه می‌تواند پاسخ داده شود. هدف اصلی، بیان خصوصیات زیردریایی در زیرآب است که برای کلیه وسایل نقلیه دریایی، حیاتی است و لذا پس از آن، نقش چگالی را در طراحی برای شناور ماندن وسایل نقلیه دریایی بیان می‌کنیم.

اهمیت چگالی

۲-۴) مبحث چگالی از آنجا که مرتبط با جرم و حجم می‌باشد، حائز اهمیت است چرا کـه وزن و فضای موجود، از فاکتورهای مهم تشکیل دهنده زیردریایی هستند. همانطور کـه در فـصل قبل روی هیدرواستاتیک بحث شد، هر کشتی که روی آب شناور می شود، بـدلیل داشـتن ارتفاع بالای خط آب[1] بدنه اصلی و به مقدار حجم عرشه ضد آب[2]، دارای شـناوری ذخیـره است، لذا حجم کل کشتی از حجم زیر آب (یعنی حجم جابجایی آن) خیلـی بیـشتر اسـت. مشاهده می‌شود که اگر ذخیره شناوری به مقدار R باشد، نسبت حجم جابجایی بـه حجـم کل برابر $\frac{1}{1+R}$ می‌باشد. از آنجا که شناوری حاصل از حجم جابجـایی برابـر وزن کـشتی است، لذا این نسبت به وزن مخصوص آب دریا و چگالی وزنی شناور بستگی دارد کـه وزن آن به دو حجم زیر آب و بالای آب تقسیم می‌شود (شکل ۱-۴).



شکل (۱-۴) مقدار حجم جابجائی و وزن

بیشتر کشتی‌های نظامی دارای چگالی نسبتاً پائینی هستند، لذا برای یک فری‌گیت[1] نـسبت $\frac{1}{1+R}$ تقریباً حدود ۰/۳ است (تقریباً ۷۰ درصد حجم کـل در بـالای آب) و بـرای یـک کـشتی

1- Freeboard
2- Watertight superstructure

هواپیمابر این نسبت حدود ۰/۲ است (حدود ۸۰ درصد حجم کل آن در بالای خط آب). کشتی‌های مسافربری و کانتینربر هم دارای چگالی پائین هستند. این کشتی‌ها در مقایسه با کشتی‌های نظامی از نظر نسبت حجم بالای خط آب، بدون شباهت نیستند. کشتی‌های فله‌بر و تانکرهای نفتکش، جزء کشتی‌های با چگالی بالا محسوب می‌شوند، نسبت $\frac{1}{1+R}$ آنها حدود ۰/۸ می‌باشد (تنها ۲۰ درصد حجم آنها بالای خط آب است). همچنین خصوصیات بیان شده مرتبط با چگالی بار حمل شده توسط کشتی نیز می‌باشد. هرچه بار کشتی چگال‌تر باشد، چگالی کل کشتی بیشتر خواهد بود. این مطلب ممکن است پیش پا افتاده بنظر برسد، اما افزایش این تفاوت می‌تواند خطرناک باشد.

همانطور که قبلاً دیده‌ایم، ذخیره شناوری یک زیردریایی در سطح آب، ۱۰ درصد است بطوریکه نسبت $\frac{1}{1+R}$ برابر ۰/۹ خواهد شد که تقریباً چگالی خیلی بالایی است درحالیکه برای زیردریایی در زیرسطح آب و حالت غوطه‌وری، این نسبت ۱ می‌باشد که چگالی آن به اندازهٔ شناوری خنثی بدست آمده می‌باشد. چندین نکته مهم از این مطلب برداشت می‌شود؛ یکی تفاوت قابل ملاحظه فضای موجود در زیردریایی در مقایسه با کشتی‌های جنگی با همان جابجایی می‌باشد. فریگیت که بدان اشاره کردیم دارای حدود ۳/۵ برابر فضای زیردریایی می‌باشد، درحالیکه زیردریایی‌های حامل موشک بالستیک با جابجایی غوطه‌وری ۱۵۰۰۰ تن، دارای فضای بیشتری نسبت به فریگیت که دارای جابجایی ۴۰۰۰ تن است، نمی‌باشند.

۳-۴) موارد دیگری وجود دارند که کمتر مشهود هستند. چگالی زیاد زیردریایی ناشی از حمل کالاهای با چگالی بالا نمی‌باشد؛ همانطور که بعداً نشان خواهیم داد، چگالی اکثر قسمت‌های زیردریایی، شباهتی با کشتی‌ها ندارد، هرچند که قسمت باطری‌ها در سیستم دیزل الکتریک و قسمت رآکتور در سیستم رانش هسته‌ای که با آب دریا در ارتباط است، دارای چگالی متوسط و مناسبی هستند. مقدار وزنه‌های سربی (وزنه‌های تعادلی دائمی)

برای [سنگین‌تر کردن و] تامین چگالی بالای زیردریایی، کافی نیست و راه حل اصلی در این زمینه (که در طراحی اکثر زیردریایی‌ها بکار گرفته می‌شود)، نیاز به یک بدنه فشار سنگین می‌باشد تا چگالی کلی زیردریایی با آب دریا برابر شود [در واقع برای تامین غوطه-وری و شناوری خنثی در زیر آب، باید چگالی زیردریایی با چگالی آب دریا برابر شود]. ما این موضوع را در فصل سازه زیردریایی بررسی می‌کنیم و در اینجا تنها محدودیت‌هایی را بررسی می‌کنیم که در کشتی‌ها وجود ندارد. نیروی ناشی از امواج عامل اصلی نیاز کشتی‌ها به استحکام بدنه و استفاده از تقویت کننده‌ها می‌باشد که طراح باید آن را مطابق نیازها انجام دهد. در زیردریایی‌ها، منبع اصلی بار وارده، فشار هیدرواستاتیک در عمق آب می‌باشد. طراح باید برای تغییرات سازه بدنه فشار، همواره به نیازهای عملیاتی و کاربردی برای رسیدن به عمق مناسب، توجه داشته باشد. سوالی که هم اکنون پیش می‌آید، این است که به چه روش‌هایی و تا چه حدودی می‌توان وزن بدنه فشار (و به همراه آن، قابلیت رفتن در عمق) را تعیین کرد و تاثیری که بر طراحی کلی زیردریایی دارد به چه صورت است؟ در مرحله طراحی اصولی و تعریف نیازها، باید عمق غوص مورد نیاز را مشخص کرد و نسبت وزن به عمق غوص، بیش از آنچه برای برقراری تعادل وزن مورد نیاز است، افزایش نیابد. ما بر این عقیده هستیم که در طراحی زیردریایی‌های مدرن امروزی، در ابتدا فضا و حجم مورد نیاز به عنوان معیار طراحی در نظر گرفته می‌شود؛ یعنی اندازه مورد نیاز بدنه براساس نیازهای موجود به فضای داخل زیردریایی و برآوردن نیازهای عملیاتی و کاربردی تعیین می‌گردد و سپس رسیدن به قابلیتهای زیرآبی مناسب، مشروط به توزیع مناسب وزن و برابری چگالی کلی زیردریایی با چگالی آب دریا است. البته عمق غوص که در این فرآیند اهمیت دارد، باید با نیازها و انتظارات کاربر سازگاری داشته باشد. ما این روش را در ابتدا بیان کردیم چرا که بعید به نظر می‌رسد فرآیند طراحی به گونه‌ای پیش برود که کنترل دقیق وزن (که بعداً به آن خواهیم پرداخت) بطور کامل انجام شود و

محدودیت وزن همواره رعایت شود. این روش چندان بد نیست ولی اگر معیار طراحی بر اساس وزن باشد، این روش مناسب نخواهد بود.

این مسئله براحتی قابل درک است که اگر نیاز به عمق غوص بسیار زیاد باشد، طراحی زیردریایی با معیار وزن انجام خواهد شد. در این روش هماهنگی بین کلیه وزن‌ها و فضای کل وجود نخواهد داشت بخصوص برای فراهم آوردن حجم مورد نیاز که وزن زیاد زیردریایی را (که ناشی از سازه سنگین بدنه فشار می‌باشد) جبران کند که معمولاً این وزن نسبت به فضای در نظر گرفته شده، سنگین‌تر خواهد بود. لذا تا این مرحله طراحی کامل نمی‌باشد و نیاز به فراهم آوردن فضای اضافی دیگری برای رسیدن به تعادل بین وزن و حجم می‌باشد. اضافه کردن این حجم نیز خود باعث افزایش وزن می‌شود، لذا باید وزن بدنه را کاهش داد که این نیز عمق غوص را کاهش می‌دهد و لذا با وجود اعمال این تغییرات، نیاز به تلاش مجدد برای برقراری تعادل بین وزن و حجم می‌باشد. بنابراین می‌توان پس از شروع اولین مراحل طراحی، از معیار حجم در طراحی استفاده کرد.

برای پرهیز از این راه حل پیچیده طراحی، یک الگو و روش طراحی متفاوت می‌توان در نظر گرفت. لذا می‌توان از همان ابتدا، معیار طراحی را براساس الگوی حجم انجام داد و می‌توان اندازه بدنه را به گونه‌ای تعیین کرد که با فضای در دسترس و حجم مورد نیاز سازگار باشد. در مرحله بعدی انجام بررسی‌ها، اگر به عمق غوص زیادی نیاز باشد، این مورد باعث افزایش وزن، بیش از شناوری می‌شود. سوالی که مطرح می‌شود این است که برای تأمین چگالی مناسب، چگونه می‌توان به تعادل بین این دو رسید؟ می‌توان عمق غوص را کاهش داد که منجر به کاهش هزینه گردد؛ می‌توان از موادی که دارای نسبت استحکام به وزن بالاتری هستند برای بدنه استفاده کرد؛ کاهش نسبت سرعت به زمان ماندن در زیرآب ممکن است باعث برقراری تعادل بین سیستم پیشران و توزیع وزن سازه‌ای گردد؛ یا می‌توان با ترکیب این راه حل‌ها، به راه حلی دست یافت که علاوه بر افزایش اندازه بدنه، یک راه حل رضایتبخش و مناسب نیز باشد.

باید در اینجا خاطر نشان کنیم که ما بحث تعیین اندازه زیردریـایی در طراحـی را، بـه طـور محتاطانه‌ای به صورت خلاصه بیان کردیم. موارد دیگری هستند که باید به آنها توجه شود، مانند تأثیر بدنه تک‌جداره در مقابل بدنه دوجداره یعنی تأثیر روکش بیرونی بدنه؛ اینکـه انتخـاب مـواد سازه بدنه چگونه طراحی را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ چگونگی انتخاب محل برخـی از دسـتگاهها در بیرون و درون بدنه، به گونه‌ای که تعادل برقرار باشد؛ مزایا و معایب در نظر گرفتن یک روش پیچیده برای فراهم آوردن فضای موردنیاز.

دلیل ما در بیان این مبحث بصورت مختصر این است که در نظر گـرفتن خـصوصیات هـر یک از روش‌ها – معیار حجم در طراحـی یـا معیـار وزن – مـی‌توانـد طیفـی از روشـها را بـرای طراحی‌های مختلف زیردریایی ارائه کند. عواملی که در چگونگی طراحی زیردریایی مهم هـستند و به طور گسترده‌ای به سایر جوانب نیز بستگی دارند، تنها به صورت فهرست‌وار بیـان شـد و در قسمت‌های بعد ما به جزئیات بیشتری در مورد مسائل تعیین وزن و حجم می‌پردازیم.

وزن

می‌خواهیم ملاحظات نسبت وزن (و حجم) بـرای کاربردهـای مختلـف زیردریـایی را بیـان کنیم. بدلیل کمبود اطلاعات منتشر شده در این زمینه و سایر اطلاعات مربوط به زیردریـایی‌هـا، باید در تدوین لیست‌های تطبیقی و مقایسه‌ای سودمند، تا حدودی ابداع به خرج داد، لذا ما جداول فوق را ارائه می‌کنیم. جدول ۱–۴ مربوط به زیردریایی مدرن دیزل الکتریک SSK و جـدول ۲–۴ مربوط به زیردریایی تهاجمی هسته‌ای SSN می‌باشد. این جـداول درصـدهای وزن خـشک[1] مربوط به جابجایی استاندارد (جابجایی زیردریایی بدون در نظر گرفتن وزن سیالات داخل مخازن

1- Dry weight

و بارهای متغیر) را با حجم فضاهای خشک[1] مقایسه می‌کند. هر دو نوع زیردریایی که با هم مقایسه می‌شوند از نوع آلباکور و دارای شکل بدنهٔ متقارن[2] هستند.

جدول (۱-۴) زیردریایی SSK

	Weight (%)	Space (%)
Payload	9	28
Structures	43	—
Main and Auxiliary Machinery	35	56
Accommodation and Outfit	4	11
Stores	1	5
Permanent Ballast	8	—

جدول (۲-۴) زیردریایی SSN

	Weight (%)	Space (%)
Payload	8	30
Structures	45	—
Main and Auxiliary Machinery	35	55
Accommodation and Outfit	4	10
Stores	1	5
Permanent Ballast	7	—

آنچه در نگاه اول بنظر می‌رسد این است که علی‌رغم تفاوت‌های زیادی که بین ماشین‌آلات اصلی و فرعی و بین سیستم رانش دیزل الکتریک و سیستم رانش هسته‌ای وجود دارد تفاوت کمی در نسبت وزن به حجم بین زیردریایی SSK و SSN وجود دارد. لذا می‌توان

1- Dry space
2- Axisymmetric

تا حدودی از تفاوت‌های این دو صرف‌نظر کرد. همچنین باید توجه داشت که بـرای ایـن هـدف، ظرفیت بار[1] این زیردریایی‌های نظامی شامل ذخیره سلاح‌ها[2]، تجهیزات بارگیری و شلیک سلاح، اتاق فرمان، فضاهای عملیاتی[3] حس‌گرها و محل‌های آنها، در نظر گرفته شده است. همچنـین از جداول مشخص می‌شود که حدود نیمی از کل وزن زیردریـایی در شـرایط اسـتاندارد متعلـق بـه سازه[4] می‌باشد که بیش از نیمی از وزن سازه هم، ناشی از وزن سازهٔ بدنه فشار می‌باشد و از آنجـا که این قسمت فضای اندکی را اشغال می‌کنـد، یـک قـسمت نـسبتاً بـا چگـالی بـالا و سـنگین محسوب می‌گردد. در زیردریایی‌های ارائه شـده در جـداول، تقریبـاً تمـام سـازه از جـنس فـولاد می‌باشد، اگرچه در SSK اندکی از روکـش قـسمت بیرونـی سـازه و پوشـش برجـک از جـنس پلاستیک تقویت شده برای حداکثر صرفه‌جویی در وزن می‌باشد.

ماشین‌آلات اصلی و فرعی حدود یک سوم وزن کل را در شرایط استاندارد در بر می‌گیرنـد. در زیردریایی SSN قسمت رآکتور[5] که با یک پوشش سنگین سربی، پرسنل داخل و خارج ایـن قسمت را از خطر اشعه حفظ می‌کند، حدود نیمی از وزن ماشین‌آلات را شامل می‌شود. در SSK باطری‌ها همان نسبت وزن رآکتور در SSN را دارند، با این تفاوت که باطری‌ها بدلیل اندازهٔ آنها امکان جابجایی عمودی بیشتری از رآکتورها دارند.

قسمت وزنه‌های تعادلی پایدار که فضای اندکی را اشغال می‌کند، یکی دیگر از قسمت‌هـای زیردریایی است که از چگالی خیلی بالایی برخوردار است و امکان جابجایی عمودی دارد تا مرکـز عمودی گرانش را برای برقراری شرایط پایداری هیدرواستاتیکی به زیر محور مرکزی زیردریـایی انتقال دهد.

۵-۴) اگرچه ما در این بخش تاکنون روی مسئله وزن متمرکز شده‌ایم ولی باید بـه نـسبت‌هـای حجم‌های داده شده در جدول هم توجه شود، چرا که چگالی هر یک از بخش‌ها هـم حـائز

1- Pay load
2- Launching arrangement
3- Operations space
4- Structure
5- Reactor

اهمیت است. مشاهده می‌شود که نسبت حدود ۳۰ درصد برای سلاح هم یک نسبت معقول در مقایسه با حجم کل زیردریایی می‌باشد.

همچنین ۱۰ درصد از حجم زیردریایی به قسمت اسکان خدمه[1] اختصاص دارد که کوچکتر از نسبت ۳۰ درصد در کشتی‌های نظامی است که البته باید توجه داشت که حجم کل کشتی‌ها نیز خیلی بزرگتر است. این تفاوت بیشتر از آنجا ناشی می‌شود که اصولاً زیردریایی با تعداد خدمه خیلی کمتری نسبت به کشتی‌های نظامی کار می‌کند. برای مثال، حداکثر تعداد افسران و خدمه زیردریایی ۲۵۰۰ تنی SSK، حدود ۵۰ نفر است درحالیکه یک ناوچه با همین تعداد خدمه، حدود ۱۵۰ تن وزن دارد. به غیر از حجم قسمت اسکان خدمه و بار، سایر فضاهای موجود بیشتر به ماشین‌آلات اصلی و فرعی تعلق می‌گیرد که بیش از نصف حجم خشک (خالص)[2] کل زیردریایی را به خود اختصاص می‌دهد. این نسبت در بیشتر کشتی‌های نظامی حداکثر ۳۰ درصد است. با این حجم اشغال فضا، نیاز زیردریایی‌ها برای حمل مخازن ذخیره انرژی و وسایل کنترل فشار، بر آورده می‌گردد. در هر حال می‌توان گفت که بیش از نصف حجم زیردریایی و حدود یک سوم وزن آن (به استثناء مایعات) توسط ماشین‌آلات اصلی و فرعی اشغال می‌شود.

۶-۴) از جداول ۱-۴ و ۲-۴ می‌توان برای بدست آوردن چگالی هر قسمت زیردریایی استفاده کرد؛ که با تقسیم درصد وزن به درصد حجم، چگالی بدست می‌آید. اگر چگالی برابر ۱ باشد آن قسمت برابر با چگالی آب دریا می‌باشد که هرچه این نسبت کمتر باشد آن قسمت از چگالی کمتری برخوردار است. به غیر از سازه و وزنه‌های تعادل پایدار که به طور محسوسی چگالتر می‌باشد، قسمت بعدی که بیشترین چگالی را دارد، قسمت ماشین‌آلات اصلی و فرعی می‌باشد که این نسبت در حدود ۶۰ درصد است. هم اکنون بطور خاص می‌توان گفت این چگالی بالا در اثر قسمت بسیار چگال رآکتور در زیردریایی SSN و قسمت باطری در SSK می‌باشد که همانطور که قبلاً مشاهده شد چگالی آنها خیلی کمتر

1- Accommodation
2- Dry volume

از آب دریا نمی‌باشد. اگر این قسمت در نظر گرفته نشود، این نسبت برای سایر اجزاء ماشین‌آلات اصلی و فرعی در حدود ۴۰ درصد خواهد شد که در این صورت اختلاف آن با سایر قسمت‌های ذکر شده در جدول، چندان زیاد نخواهد بود. همچنین اگر سازه و وزنه‌های تعادلی پایدار در نظر گرفته نشود، این نسبت برای کل زیردریایی SSK و SSN در حدود ٪۵۰ خواهد بود که در این صورت چگالی متوسط اجزاء زیردریایی در حدود نصف چگالی آب است. بنابراین، نقش بدنه فشار به عنوان قسمت اصلی سازه زیردریایی است که زیردریایی را جزء چگال‌ترین وسایل نقلیه دریایی قرار داده است.

کنترل و ارزیابی وزن زیردریایی

۷-۴) پس از بررسی چگالی که در آن درصد وزن قسمت‌های مختلف بیان شد، هم اکنون می‌خواهیم بدانیم نقش وزن در جزئیات مرحله طراحی که برای رسیدن به یک ضریب اطمینان بالا و بررسی واقع‌بینانه و دقیق مراحل مختلف طراحی نیاز است، چگونه می‌باشد. از این نظر طراحی زیردریایی چندان با طراحی کشتی تفاوت ندارد. برای جلوگیری از اضافه وزن، در یک کشتی تازه طراحی و ساخته شده ضرایب اطمینان متعددی در نظر گرفته می‌شود ولی با این حال ممکن است وزن واقعی از آنچه در محاسبات طراحی در نظر گرفته شده بیشتر شود. لذا باید ضرایب اطمینان بیشتری در نظر گرفته شود. شناور در اثر این افزایش وزن، با آبخور بیشتری حرکت خواهد کرد.

همچنین اگر محل توزیع وزن‌ها در کشتی به دقت انجام نشود و مرکز ثقل بالاتر از مرکز ثقل طراحی قرار گیرد، مقداری از محدوده پایداری از دست خواهد رفت و در اینصورت، تمهیداتی در این مورد در نظر گرفته شده است. اگر میزان خطا در وزن و محل مرکز ثقل زیاد باشد، نتیجه حاصل غیر قابل پذیرش خواهد بود. در یک زیردریایی در زیرآب، هر چند که شناوری ذخیره همانند کشتی‌ها وجود ندارد که بتواند اضافه وزن را جبران کند، ولی در صورت بوجود آمدن وزن

اضافی، تنها راه کاهش میـزان وزنـه تعـادل مـی‌باشـد کـه بـه نـاگزیر باعـث کـاهش پایـداری هیدرواستاتیکی می‌شود.

تنها می‌توان با بیشتر کردن طول زیردریایی موجب رفع اشکال بوجود آمده در مراحل بعدی طراحی شد که این امر موجب به هم خوردن ترتیب آرایش درون زیردریایی و تأثیر آن بـر سـازه، مانور، کنترل و پیشرانش و غیره می‌گردد. حساسیت بررسی دقیـق وزن در طراحـی زیـردریـایی، زمانی که تحمل قسمتی از وزن براساس نیروی بالابر دینامیکی بنا شـده باشـد در حـد بحرانـی است و در صورت تغییرات در بدنه، باید همان شیوه و ظرافت‌های موردنیاز، رعایت گردد.

از آنجا که تأثیر نیروی شناوری در تحمل وزن بیشتر از نیروی بالابر دینـامیکی مـی‌باشـد، طراحی براساس نیروی بالابر، کار طراحی را مشکل می‌کند و لذا در این زمینه بیشتر روی نیروی شناوری تکیه می‌شود. تأکید اصلی در طراحی زیردریایی روی ایجـاد ضـریب اطمینـان کـافی در برابر تغییرات وزن می‌باشد و ما هم اکنون می‌خواهیم این مسئله را بررسی کنیم که ایجاد ضریب اطمینان لازم در این باره چگونه ممکن است.

۸-۴) یکی از این ضریب اطمینان‌ها ثبت دقیق[1] می‌باشد یعنی بدست آوردن راهی که بتوان کلیه وزن‌های درون زیردریایی، بطور کامل به حساب آیند. سالهای بسیار، طراحان زیردریـایی از روش گروه‌بندی وزن‌ها استفاده می‌کردند که حتی المقدور جامع و فراگیر باشـند بطوریکـه همهٔ اجزاء درون زیردریایی در نظر گرفته شود. ایـن روش اصـولاً بوسـیله نیـروی دریـایی آمریکا پیشرفت نمود که در آن از ۴ یا ۵ سطح طبقه‌بندی عددی استفاده می‌شد که آخرین سطح آن وابسته به این است که ما تا چه اندازه نیاز داریم که قسمتهای خاص یک سیستم یا زیرسیستم را معین کنیم. گروه‌های اولین سطح در جدول ۳-۴ نـشان داده شـده اسـت. هرچند به نظر می‌رسد این گروه‌بندی بر اساس منطق خاصی صورت گرفته باشـد ولـی بـا این وجود، برخی اختیارات در نحوه گروه‌بندی وجود داشته باشد.

1- Sound book keeping

جدول (۳-۴) گروه‌بندی وزن برای یک زیردریایی

Group 1	Hull structure
Group 2	Propulsion systems
Group 3	Electrical systems
Group 4	Control and communications
Group 5	Ship services
Group 6	Outfit and furnishings
Group 7	Armaments and pyrotechnics
Group 8	Fixed ballast
Group 9	Variable items

دلیل خاصی در این نحوه گروه‌بندی وجود ندارد و فقط می‌توان دلیل آن را سیر پیشرفت تاریخی آنها با این گروه‌بندی‌ها دانست. البته بین این گروهها چنان روابط نزدیک و پیچیده‌ای وجود دارد که هرگونه تقسیم بندی دیگری، می‌تواند باعث بروز مشکلاتی شود.

اگر یک سیاست و روش پیشرفته‌ای در طراحی زیردریایی بکار گرفته شود، در اینصورت ارزش و مقدار اطلاعات ممکن است افزایش یابد. هر چند که در صورت گسترش نوآوری‌ها و فاصله گرفتن از طرح‌های انجام شده قبلی، امکان اشتباه در بررسی و ارزیابی وزن افزایش می‌یابد. اما روش دیگری که برای حصول اطمینان در این زمینه وجود دارد، جلب رضایت برای همکاری گروه‌ها و شرکت‌هایی است که سازنده هر یک از تجهیزات و وزن‌های درون زیردریایی هستند که شامل طراحان و سازندگان سلاح‌ها، ماشین‌آلات و سیستم‌های درون زیردریایی و پیمانکاران جزء زیرمجموعه هریک از این بخش‌ها می‌باشد. بدین‌ترتیب پیش‌بینی دقیق و محتاطانه مناسبی در تعیین محل هر یک از قسمت‌های زیردریایی در حین طراحی صورت می‌گیرد. البته بطور خاص و ویژه می‌توان برای چگونگی توزیع وزن‌ها از مهندسان متخصص در هر یک از این بخش‌ها کمک گرفت و امکان خطا در هر یک از این بخش‌ها را همواره در نظر داشت.

برای طراحان زیردریایی، توزیع وزن‌ها همواره با در نظر گرفتن یک ضریب اطمینان همراه می‌باشد که یکی دیگر از روش‌هایی است که برای حصول اطمینان بکار گرفته می‌شود و نظر به اهمیت آن، در بخش بعد همین ضریب اطمینان را برای تعیین فضاهای داخلی، همانند تعیین وزن‌ها، در نظر خواهیم گرفت.

۹-۴) برای پایان دادن به مباحث وزن در این بخش، ما به این بحث بر می‌گردیم که واقعاً ارزیابی وزن چگونه باید انجام شود. در فرآیند طراحی، تخمین دقیق وزن بدنه فشار ممکن می‌باشد چرا که بدنه فشار از مونتاژ و سرهم کردن اجزاء کوچک با شکل‌های هندسی مختلف است که بوسیله برنامه‌های کامپیوتری موجود، می‌توان به این هدف رسید. سازه بدنه بیرونی و سازه داخلی بدنه سخت مانند شاسی‌ها را نمی‌توان به این دقت، تعیین وزن نمود ولی با کمک گرفتن از تخمین‌های یک انسان با تجربه، تا حدودی می‌توان به اطلاعات مناسب دست یافت. بدین ترتیب می‌توان وزن بیش از نیمی از وزن کل را بدون خطاپذیری و اشتباه تعیین کرد. همچنین می‌توان وزن اقلام بزرگ و ماشین‌آلات سنگین را به خوبی ارزیابی کرد مانند موتورهای دیزل، باطری‌ها و رآکتورها، چرا که سازندگان آنها به خوبی از وزن آنها اطلاع دارند. برخی از این دستگاهها برای نصب شدن در داخل زیردریایی نیازمند اجزاء دیگری برای تقویت سازه‌ای محل قرار گرفتن آنها و انجام عملکرد آنها می‌باشد. این مورد بویژه درباره سیستم‌هایی که در سرتاسر زیردریایی وجود دارند، باعث بروز مشکلاتی در بررسی وزن آنها می‌شود که می‌توان از اطلاعات زیردریایی‌هایی که قبلاً ساخته شده است، استفاده کرد و در اینجا می‌توان به اهمیت استفاده از توزیع وزن‌ها در طرح‌های قبلی پی برد. باید همواره ضریب اطمینانی را برای هرگونه تغییرات در شکل هندسی زیردریایی جدید و تغییر کارکرد سیستم‌های آن در نظر گرفت و هر چه بتوان این تغییرات را در مراحل مناسب تعریف کرد، بهتر می‌توان آنها را بررسی نمود.

معمولاً به همراه اقلام و موارد بزرگ و اصلی، اجزاء و وزن‌های کوچکتری وجود دارنـد کـه اگر از نظر دور بمانند، می‌توانند باعث خطاهای بزرگی در تخمین وزن گردند.

هرچند که سیستم‌های کامپیوتری قادر به پردازش حجم وسیعی از داده‌ها هستند ولی آنهـا قادر به حذف و از بین بردن خطاهای موجود نیستند. هم اکنون تمایل به بررسی وزن به صـورت قسمت‌های بسیار کوچک می‌باشد تا همراه با تکمیل فرآینـد طراحـی، فرآینـد تخمـین وزن هـم تکمیل شود. هنگامی که زیردریایی در حال انجام خدمت است همانند همـه شـناورهای نظـامی، وزن آن به دلایل واضحی، زیاد می‌شود. اما در هنگـام طراحـی اینکـه بگـوییم وزن آن افـزایش یافته، گفته غلطی است بلکه اقلام وزنی وجود دارند کـه در اثـر سـستی در کنتـرل وزن از قلـم افتاده‌اند. با وجود فرآیندی که توضیح داده شد، هم نیاز به روش ضریب اطمینـان در تعیـین وزن می‌باشد و هم به فرآیند کنترل وزن، تا بتوان به یک ضریب اطمینان مناسب وزن رسید.

حجم

۱۰-۴) در بررسی نسبت وزن به حجم، طبق جدول (۱-۴) و (۲-۴)، حجم قسمت‌هـای مختلـف زیردریایی را نیز باید تعیین کنیم تا بتوانیم تغییرات چگالی در زیردریایی را بدست آوریم. در اینجا قبل از پرداختن نسبت وزن به حجم و ضریب اطمینان آن، ابتدا فضای داخل بدنـه و استفاده‌های آن را در نظر می‌گیریم.

در بررسی فضای مورد نیاز در طراحی زیردریایی، بعضاً مساحت مورد نیاز عرشـه[1] و ارتفـاع آن در نظر گرفته می‌شود تا حجم مورد نیاز فـراهم شـود، مـثلاً فـضای اتـاق فرمـان یـا محـل استراحت خدمه. در برخی مواقع هم حجم مورد نیاز با توجه به طول آن بررسـی مـی‌شـود، مـثلاً مخازن اژدر. طراح باید در نظر داشته باشد که این حجم هم برای تأمین نیـروی شـناوری و هـم برای تأمین فضای مورد نیاز داخل بدنه باید مناسب و کافی باشد. طراح باید قـسمت‌هـای داخـل

1- Deck

بدنه را به گونه‌ای کنار هم بچیند که شکل هندسی مناسب بدنه نیز فراهم شود، چـرا کـه شـکل بدنه همانقدر مهم است که حجم آن اهمیت دارد. البته باید پذیرفت که شکل بدنه زیردریایی نیز نمی‌تواند به تنهایی معیار استفاده بهینه از بدنه باشد. وزن را می‌توان به صورت مـستقل از شـکل بدنه بررسی کرد و مراکز جرم را به گونه‌ای تعیین کرد که مرکز جرم کل زیردریـایی در موقعیـت مناسب قرار گیرد، درحالیکه در بررسی حجم همواره باید اهداف هیدرواستاتیکی را دنبال کنیم بـه گونه‌ای که حجم با وزن، برابر باشد و مرکز حجم و مرکز ثقل متناسب باشند.

البته ملاحظاتی که باید برای حجم در نظر گرفت، برای وزن چندان ضرورتی ندارد. اگـر دو حجم داخلی که مورد نیاز هستند و باید در کنار هم قرار گیرند اما دارای ابعـاد هندسـی متفـاوتی هستند؛ مثلاً طول، عرض یا ارتفاع آنها با هم همخوانی نـدارد، بایـد ایـن جانمـایی بـه گونـه‌ای صورت گیرد که کمترین فضای بدون استفاده و غیر ضروری ایجاد شود؛ چرا که همین حجم‌های بدون استفاده و زائد در سراسر زیردریایی، می‌تواننـد حجـم قابـل ملاحظـه‌ای را تـشکیل دهنـد. بنابراین تعیین اندازه حجم بدنه که در بر گیرنده حجم‌های مورد نیاز داخل بدنه باشد چندان ساده و قابل فهم نیست تا بتوان محاسبات هیدرواستاتیک را براحتی انجام داد. همانطور کـه در فـصل بعد خواهیم دید، چیدمان فشرده اجزاء در داخل فضای بدنه بسته زیردریایی، محـدودیت‌هـایی را ایجاد می‌کند. بازدهی حجم را می‌توان بدین ترتیب تعریف کرد:

$$\eta_{vol} = \frac{\text{مجموع حجم‌های مورد نیاز}}{\text{مجموع حجم بدنه}}$$

این مهارت و هنرمندی طراح است که به عنوان یک مهنـدس سـعی در رسـیدن بـه یـک راندمان حجمی بالا نماید. این مورد بیان می‌دارد که انعطـاف‌پـذیری کـافی در تحقـق نیازهـای هندسی فضاهای داخل بدنه وجود دارد تا بتوان فضاهای داخلی را به گونه‌ای در کنار هم چید تـا از بوجود آمدن فضاهای غیر قابل استفاده پرهیز شود. برخی از فـضاهای مـورد نیـاز دارای ابعـاد

کاملاً مشخصی هستند و برخی دیگر تا حد کمتری دارای ابعاد معین هستند و برای برخی موارد هم فقط حجم اهمیت دارد نه شکل هندسی که مثلاً می‌توان از مخازن نام برد که فقط حجم آنها اهمیت دارد نه شکل هندسی مخازن و بنابراین آنها را می‌توان در نیمه پائین بدنه زیردریایی، بین قسمت‌هایی که دارای ابعاد ثابتی هستند مانند قسمت باطری‌ها و ماشین آلات، نصب کرد.

تخمین اندازه اولیه در یک طراحی جدید، باید به گونه‌ای باشد که اندازه آن را در حداقل مقدار، معین کند تا بتوان به یک بازدهی حجمی بالا دست یافت. وجود فضاهای غیرقابل استفاده نشان از یک طراحی ضعیف دارد و سعی می‌شود که از فضای بین قسمت‌های با اندازه معین برای مخازن، انبارها و مسیرهای انتقالی سیستم‌ها استفاده شود. اگر طراح نتواند از این فضاها استفاده کند، این امکان وجود دارد که خدمه زیردریایی از این فضاها به عنوان انبار و حمل مواد بیشتر، استفاده کنند و لذا وزن زیردریایی افزایش می‌یابد. اگر چنین فضاهایی در داخل بدنه وجود دارند، این کار محتاطانه به نظر می‌رسد که طراح یک چگالی ویژه برای این قسمت‌ها، به هنگام بررسی وزن زیردریایی، در نظر بگیرد. استفاده مناسب از فضاهای داخلی، امکان بررسی و ارزیابی راحت تر اولیه وزن در مرحله طراحی مفهومی را فراهم می‌کند. در واقع، مرحله طراحی مفهومی صرفاً براساس حجم و تخمین وزن براساس چگالی‌های تقریبی انجام می‌پذیرد. همچنین این روش، وسیله‌ای برای کنترل تخمین‌های دقیق‌تر وزن می‌باشد. اصولاً داریم:

$$g\sum_{1}^{n}\rho_i \times v_i = \sum_{1}^{m} w_j$$

که برای کل شناور می‌باشد. هرگونه نابرابری در این معادله باید طراح را متوجه یک خطر بالقوه نماید. اگر سمت چپ معادله بزرگتر از سمت راست باشد، ممکن است به هنگام بررسی وزن، مواردی از قلم افتاده باشند.

روشهای در نظر گرفتن مقادیر ذخیره و ضریب اطمینان

۱۱-۴) هنگامی که می‌خواهیم وزن کل یک جسم با اندازه قابل ملاحظه و اجزاء بسیار را مورد بررسی قرار دهیم، طبیعی است که باید از اصول و پایه، این بررسی را شروع کنیم تا بدینوسیله اجزایی که در نظر گرفته نشده‌اند یا وزن آنها بطور مناسب تخمین‌زده نشده است، در نتایج نهایی اصلاح شوند. در مورد روش‌هایی که طراح می‌تواند به عنوان ضریب اطمینان بکار گیرد، تا حدودی بحث شد. در این مبحث مشخص شد که روش وزنی در طراحی، دارای بیشترین خطاها می‌باشد و در حین پیشرفت طراحی، نمی‌توان اطلاعات درستی بدست آورد و بدین ترتیب موارد از قلم افتاده، اصلاح نمی‌شود و نقایص آشکار می‌گردند.

برای رسیدن به ضریب اطمینان ویژه‌ای که جهت ایمنی مناسب زیردریایی ضروری می‌باشد، روشی را به همراه تکنیک بودجه‌بندی[1] بکار می‌گیریم. از آنجا که معمولاً تخمین وزن‌ها، بصورت حداکثر در نظر گرفته می‌شود، لذا طراح باید با توجه به تجارب قبلی بداند که چه مقدار ضریب اطمینان برای هر یک از گروههای وزنی باید در نظر گرفته شود. این بحث منجر به چیزی می‌شود که قبلاً با عنوان «تعادل بین تکامل طراحی تدریجی و دفعی»[2] در یک طراحی جدید از آن یاد شد. هرچند که طراح، گزینه‌های متعددی برای طراحی دارد، ولی یک طراح محتاط هیچگاه یک طراحی کاملاً جدید را شروع نمی‌کند؛ چرا که هیچیک از اجزاء آن قبلاً در طراحی یک زیردریایی بکار نرفته و خطرهای زیادی در کمین می‌باشد. به عبارت دیگر، یک طراحی با تکامل تدریجی روی طرح‌های قبلی، می‌تواند نتایج بهتر و مطمئن‌تری ارائه کند. لذا در کل می‌توان گفت یک طراحی خردمندانه باید ترکیبی از تکامل تدریجی و دفعی باشد و روی اجزائی از طرح‌های قبلی که باید تغییر کند، بحث شود. بخش‌هایی از طراحی که همانند طرح‌های قبلی هستند، ضریب اطمینان کمتری نیاز دارند در حالیکه اجزائی از طراحی که جدید یا ابداعی هستند، نیازمند ضریب اطمینان بالاتری هستند. مشخص است که اقلام جدید ممکن

1- Technique of budgeting
2- Evolutionary/revolutionary balance

است فاقد دقت کافی باشند، لذا به همین دلیل است که طراح باید ضریب اطمینان تک تک اجزاء را در شرایط خاص برای هر یک، بطور جداگانه محاسبه کند و مواردی نظیر موارد زیر را در نظر بگیرد که چه میزان نوآوری بکار گرفته شده است؟ سابقه شرکت سازنده چگونه است؟ چه نوع روشی روی آن باید انجام شود؟ و مواردی از این قبیل.

طراح، مسئولیت ویژه‌ای دارد که در این مورد تصمیم‌گیری کند و البته باید نظر متخصصین در هر بخش را هم جویا شود ولی در نهایت، این خود طراح است که تصمیم می‌گیرد این ضریب اطمینان‌ها را چگونه و چقدر در نظر بگیرد.

مورد اخیر منجر به این می‌شود که برای رسیدن به یک روش مناسب تعیین ضریب اطمینان، بودجه‌بندی انجام شود چرا که هر یک از افرادی که در طراحی زیردریایی مشارکت دارند باید مقادیر مرزی (حداکثر حدود واقعی) که می‌توانند در آن چارچوب کار کنند، برای آنها مشخص شود. انجام بودجه‌بندی، یک بخش طبیعی و معمولی از فعالیت هر قسمت است که باید با آن مواجه شود، چرا که در کنترل وزن زیردریایی بکار می‌آید و دست یافتن به این کنترل، هدف نهایی طراح می‌باشد.

در واقع، کنترل وزن فرآیندی است که پس از مراحل طراحی و در ساخت زیردریایی نیز ادامه می‌یابد و شامل وزن کردن اجزاء بسیاری است، چرا که تا حد ممکن باید بتوان وزن واقعی آنها را بدست آورد و افزایش وزن زیردریایی را در حین ساخت، کنترل کرد و از آن به عنوان یک منبع اطلاعاتی در ساخت زیردریایی‌های آینده، استفاده کرد. طراح باید همواره کار افرادی که در کنترل وزن مشارکت دارند را تحت نظر داشته باشد چرا که این یک کار انفعالی نیست و تخمین‌های زده شده همواره باید ارزیابی شوند. بنابراین اگر مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر تخمین‌زده شده، برابر باشند، این مقادیر باید ثبت و نگهداری شوند. مشخص است که در همه موارد نمی‌توان به اندازه واقعی وزن دست یافت، لذا تعیین حداکثر حدود بسیار حساس است بویژه

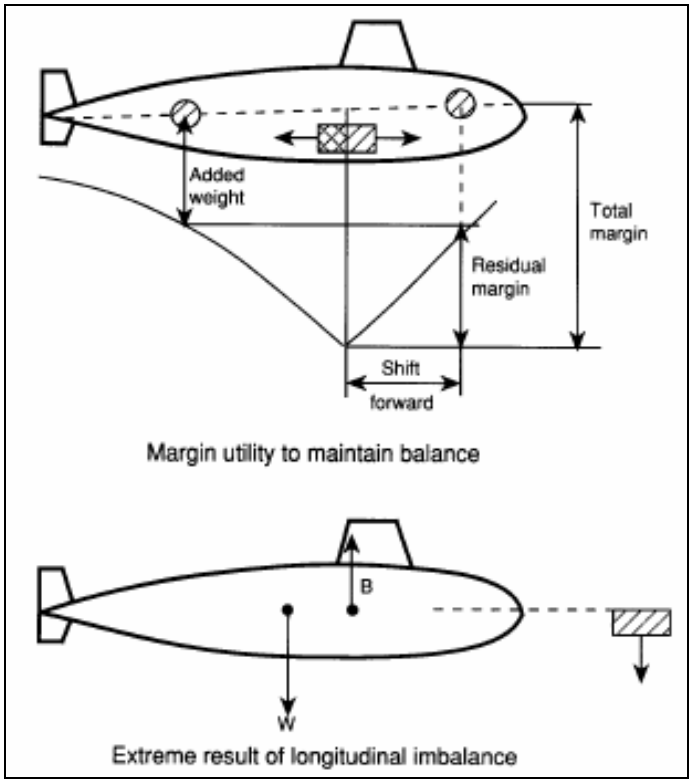
اگر جریمه‌هایی برای طولانی شدن زمان ساخت (همچنان که معمول است) در نظر گرفته شده باشد و در اینجاست که بار دیگر برآوردهای طراح مورد آزمایش و ارزیابی قرار می‌گیرد.

۱۲-۴) مطالب فوق و مطالبی که در فصل قبل در مورد انواع مختلف متعادل کننده‌های زیردریایی مورد بحث قرار گرفت، منجر به ملاحظات بسیاری دربارهٔ نقش «وزنه‌های تعادلی احتیاطی» در یک زیردریایی می‌شود. وزنه‌های تعادلی احتیاطی، یک جسم جامد (مانند سرب) است و به گونه‌ای است که بتواند در مراحل نهایی تکمیل طراحی یک زیردریایی جدید، تطابق وزن و شناوری را برقرار و همچنین در صورت نیاز، امکان افزایش وزن را در مراحل بعدی فراهم کند.

بعضاً مشاهده می‌شود که پس از پایان طراحی یک زیردریایی جدید یا حتی در شروع به کار ساخت زیردریایی، تصمیم به اعمال تغییراتی در عملکرد زیردریایی و سلاحها و تجهیزات نظامی آن گرفته می‌شود و این باعث تغییرات وزن زیردریایی می‌شود. [بنابراین وزنه‌های تعادلی احتیاطی دارای دو کاربرد اصلی هستند: ۱- جبران اضافه وزن در حین ساخت ۲- جبران تغییرات وزنی در طول عمر زیردریایی در اثر تغییر تجهیزات داخلی]. لذا روشی را بکار می‌گیرند که در آن وزنه‌های احتیاطی برای برقراری تعادل در نظر گرفته می‌شود که بتواند تغییرات اعمال شده را جبران کند (همچنین فضای لازم نیز در نظر گرفته می‌شود). از آنجا که معمولاً یک زیردریایی برای ۲۵-۲۰ سال به خدمت گرفته می‌شود، لذا طبیعی است که برخی تجهیزات داخلی آن و معمولاً تسلیحات آن باید تعویض شوند که لزوماً وزن آنها، با وزن تجهیزات قبلی برابر نیست لذا وزنه‌های تعادلی احتیاطی برای جبران این تغییرات باید در نظر گرفته شود. راههای مختلفی برای تعیین مقدار وزنه‌های تعادلی احتیاطی وجود دارد ولی مقدار آن نباید بیش از ۱ درصد وزن زیردریایی در شرایط مغروق باشد. محل این وزنه‌های احتیاطی همانند مقدار آنها برای یک استفاده مناسب، اهمیت دارد. موقعیت عمودی آن بسیار اهمیت دارد و باید در نقطه‌ای در بالای

زیردریایی ذخیره شود. مثلاً در زیرعرشه[1]، بطوریکه با برداشتن قسمت‌هایی از آن، تأثیر نامناسب در پایداری زیردریایی ایجاد نمی‌شود. موقعیت طولی آن هم باید نزدیک موقعیت مراکز گرانش طولی و مرکز شناوری طولی زیردریایی قرار گیرد. البته باید در نظر داشت که در واقع این وزنه‌های احتیاطی باید در محلی نصب شوند که تفاوت وزن اعمال شده را خنثی کنند. برای مثال، اگر در قسمت موتورخانه افزایش غیرمنتظره وزن را داشته باشیم، این وزنه‌ها باید در منتهاالیه دیگر زیردریایی نصب شوند. اگر در این حالت، این وزنه‌ها در قسمت وسط زیردریایی باشند، یک ممان طولی که بر هم زننده تعادل می‌باشد بوجود خواهد آمد، لذا این وزنه‌ها را باید به جلوتر انتقال داد تا تعادل برقرار شود (شکل ۲-۴). اگر افزایش وزن در قسمت پاشنه بیش از حد باشد، لذا برای برقراری تعادل، این وزنه‌ها (برای ایجاد ممان خنثی کننده) باید در جلوتر از سینه زیردریایی نصب شوند که عملاً امکان چنین چیزی وجود ندارد.

1- Superstructure casing



شکل (۲-۴) استفاده از وزنه‌های تعادل در زیردریایی

برای اینکه بتوان ممان لازم را در برابر تغییرات وزن ایجاد کرد و ضریب اطمینـان لازم در مرحله طراحی و ساخت را در نظر گرفت، طراح باید موقعیت عمودی و طولی ایـن وزنـه‌هـا را در محل‌هایی که می‌داند مطمئن‌ترین ارزیابی از وزن تجهیزات در آنجا صورت گرفته، در نظر بگیرد. هر چند که یک ضریب اطمینان کلی وزن برای زیردریایی تعیین می‌شود، ولـی ایـن بـدین معنـا نیست که هر قسمت دلخواه زیردریایی می‌تواند افزایش وزن (در حد ضریب اطمینان کلی) داشته باشد. در غیر اینصورت باید از «وزنه‌های تعادلی دائمی» استفاده کرد که مطلوب نیست ولی برای جلوگیری از عواقب خطرناک ناپایداری و عدم تعادل زیردریایی مجبور به اسـتفاده از آن خـواهیم بود. [مباحث تکمیلی در مورد انواع وزنه‌های سربی وکاربردهای آنها در فصل ۳ بیان شده است].

مقادیر اضافی (ذخیره) در تعیین حجم

۱۳-۴) در مباحث گفته شده، مشکلات آشکاری در تعیین وزن وجود داشت. عموماً در طراحی زیردریایی‌ها از الگوی حجم بیشتر از الگوی وزن استفاده می‌شود. اگر تنها روش وزن بکار رود، ممکن است منجر به افزایش چگالی گردد. اصولاً آنچه به عنوان پاسخ می‌توان گفت این است که در نظر گرفتن ضریب اطمینان‌های حجم در عمل، با مشکلاتی مواجه می‌شود که می‌توان آنها را دسته‌بندی کرد و در فضای داخلی زیردریایی، آنها را تقسیم‌بندی نمود؛ به گونه‌ای که افزایش حجم مورد نیاز را برآورده کند، یا آنها را با هم تلفیق کرد و یک فضای بزرگتر در نظر گرفت. اگر در برخی قسمت‌ها، حجم اشغال شده از حجم پیش‌بینی شده بیشتر باشد، باید بتوان حجم احتیاطی (ضریب اطمینان حجم) را برای تأمین فضا در جاهای مختلف، استفاده کرد. در غیر این صورت، حجم‌های احتیاطی در نظر گرفته شده جزء فضاهای بلا استفاده خواهند بود. این مشکل در مورد ضریب اطمینان وزنی (وزنه‌های سربی احتیاطی) بوجود نمی‌آید چراکه نیازی به حضور فیزیکی آنها نمی‌باشد مگر اینکه از آنها در طی طراحی و ساخت استفاده نشده باشد. همچنین بحث دیگری درباره در نظر گرفتن فضای احتیاطی بیشتر، بنابر قانون پارکینسون[1] وجود دارد که می‌گوید؛ معمولاً فضای مورد نیاز تا حدی افزایش می‌یابد که کل فضای موجود را پر کند.

اصولاً پیشنهاد می‌کنیم که در این شرایط، در طراحی زیردریایی از این روش ضریب اطمینان، نمی‌توان بطور کامل فضاهای مورد نیاز را پوشش داد؛ چرا که در فضای مطلوب، تفاوتهای بسیاری بوجود می‌آید که ممکن است منجر به محدودتر شدن فضای اسکان خدمه گردد. اگر در یک طراحی جدید زیردریایی، به هنگام پیشرفت کار مشخص شود که فضای کافی در دسترس نیست؛ لذا اجباراً اندازه زیردریایی باید بزرگتر شود و اگر کار ساخت تا حد زیادی پیشرفت کرده باشد، دیگر امکان افزایش ابعاد زیردریایی نمی‌باشد و لذا باید اجزاء را با فشردگی

1- Parkinson’s law

در کنار هم قرار داد. از اینرو مشخص می‌شود که زیردریایی یک وسیله دریـایی اسـت کـه تـوان تحمل تغییرات چندانی در طراحی را ندارد. در کشتی‌های نظامی از نظر تأمین فضای مـورد نیـاز، انعطاف‌پذیری بیشتری وجود دارد چرا که می‌توان اندازه روبناسـازی روی عرشـه[1] را افـزایش داد ولی در زیردریایی چنین امکانی وجود ندارد.

اگر پس از تکمیل طراحی یک طـرح جدیـد زیردریـایی و سـاخته شـدن اولـین مـدل آن، وزنه‌های احتیاطی[2] هنوز بطورکامل استفاده نشده باشد، مقداری از وزنه تعادلی جامد[3] ذخیره شده در داخل بدنه، ممکن است بیشتر از حد مورد انتظار باشد. از آنجا که عموماً ممکن است طراحـی زیردریایی بر مبنای حجم باشد، اندازه زیردریایی نمی‌تواند بزرگتر از اندازه مورد نیاز باشد. اگـر در حالت استثناء، طراحی بر مبنای وزن باشد، تحت شرایطی که گفته شد وزنه‌های احتیـاطی بطـور کامل مصرف نشده باشد، این وزنه‌ها بیشتر از حد مورد نیاز بـوده اسـت. حتـی اگـر انـدازه اکثـر زیردریایی‌ها بر اساس نیازمندی‌های حجمی تعیـین شـود، در حـین پیـشرفت طراحـی و سـاخت زیردریایی مشخص می‌شود که مهمترین هدف، ایجاد اعتدال در وزن است.

عوامل تعیین کننده ابعاد زیردریایی

۱۴-۴) برای تکمیل بحث نسبت وزن به حجم، به بحث اخیر بر می‌گردیم و عـواملی کـه شـکل طراحی شده برای حجم و وزن مناسب را تحت تأثیر قـرار مـی‌دهنـد، مـورد بررسـی قـرار می‌دهیم. ما با بحثی که قبلاً توضیح داده شد، با عنوان روش سخت فـراهم آوردن فـضای مناسب که به آن « shoe horning » می‌گوئیم، شروع می‌کنیم. بی تردید اگـر انـدازه زیردریایی براساس فضای مورد نیاز محتویات داخل بدنه تعیین شود، بنـابراین بـه حـداقل رسانیدن فضای فراهم شده برای اقلام مختلف، اندازه کل زیردریایی را کاهش خواهـد داد؛ در این حالت، وزن نیز متناسب با حجم، باید کاهش یابد تا چگالی متوسط زیردریایی، برابـر

1- Superstructure
2- Weight margin
3- Solid ballast

آب دریا نگه داشته شود. یک رسم قدیمی وجود دارد که طبق نظر «شوماخر[1]» که می‌گوید «هرچه کوچکتر، زیباتر»، سعی می‌کنند زیردریایی‌ها را تا حد ممکن کوچکتر بسازند.

یک زیردریایی کوچکتر با امکانات و قابلیت‌های یکسان نسبت به زیردریایی بزرگتر ارجحیت دارد و تلاش می‌شود که این نظریه که هر چه کوچکتر باشد، ساخت آن ارزان‌تر و راه اندازی آن راحت‌تر است، پذیرفته شود. اگر این نظر درست باشد، پس چرا به عبارت «با امکانات و قابلیت‌های یکسان» تاکید می‌شود؟ این بدان دلیل است که زیردریایی بطور محسوس و مشخص، چگال‌ترین و پیچیده‌ترین وسیله نقلیه دریایی است و این تداعی کننده هزینه‌های نیروی کار بالا، شامل تجهیز فضای داخلی زیردریایی در یک فضای محدود می‌باشد. هر چه محتویات این فضا محدودتر و فشرده‌تر شود، هزینه ساخت و تجهیز آن افزایش زیادی خواهد یافت، همچنانکه کار تعمیر و نگهداری و تعویض قطعات آن بسیار مشکل‌تر و هزینه آن بیشتر خواهد شد. به همین دلیل است که معمولاً حین فرآیند طراحی زیردریایی، بررسی جانمایی‌های داخلی در مدل‌ها و اندازه‌های واقعی انجام می‌شود و برای ترسیم طراحی و شکل‌ها، استفاده گسترده‌ای از کامپیوتر انجام می‌گردد. به همین دلیل هدف اصلی در طراحی زیردریایی، ساختن کوچکترین اندازه ممکن آن نمی‌باشد؛ چرا که همانطور که بیان شد مشکلات بسیاری را بدنبال خواهد داشت؛ بلکه باید بین قابلیت‌های خوب عملیاتی و حداقل هزینه کلی زیردریایی، یک تعادل معقولانه برقرار کرد.

محل نصب تجهیزات

۱۵-۴) مطمئناً اغلب آنچه ما تاکنون در این فصل بیان داشته‌ایم بر این مبنا بوده است که تجهیزات اصلی بکار گرفته شده در زیردریایی، باید در داخل بدنه فشار قرار گیرد. بهترین شکل برای مقاومت بدنه در عمق آب، یک شکل کروی می‌باشد ولی در فضای داخلی این

1- Schumacher

شکل، نمی‌توان بطور مناسب برای نصب تجهیزات استفاده کرد. بدلیل محـدودیت فـضای داخلی بدنه باید تا حد ممکن برخی تجهیزات در بیرون بدنه فشار نصب گردند، ولی بـدلیل تجربیات نسبتاً تلخی که بدست آمـده، هـیچ یـک از تجهیـزات را نبایـد در معـرض فـشار مستقیم آب در عمق دریا قرار داد مگر اینکه چاره دیگری وجود نداشته باشد. اگر از فضای بین بدنه فشار و روکش بیرونی بدنه بطور کامل بـرای فـضای آبگیـر آزاد (FF) اسـتفاده نشود، از این فضا می‌توان برای کاهش فضای مورد نیاز داخل بدنه اصلی (یـا بدنـه فـشار) زیردریایی استفاده کرد. این عامل می‌تواند باعث کاهش اندازه بدنه فشار شود و هر چند که اندازه کلی زیردریایی، ممکن است تفـاوتی نکنـد ولـی از افـزایش زیـاد ابعـاد بدنـه فـشار زیردریایی، می‌تواند جلوگیری کند. میزان کاهش ابعاد، بدین روش، بطـور کامـل مـشخص نیست، برای مثال اگر مایعاتی که معمولاً در مخازنی در داخل بدنه فشار ذخیره می‌شود، در بیرون بدنه فشار ذخیره شود، در استفاده مناسب از فضای خالی این مخـازن ممکـن اسـت مشکلاتی بوجود آید. با این حال، اگر اراده جدی وجود داشته باشد، با اسـتفاده از روشـهای مختلف می‌توان اندازه زیردریایی را تعیین کرد.

بدنه کاذب (روکش بیرونی)

۱۶-۴) جانمایی که معمولاً برای فضای بیرونی زیردریایی‌هایی که از مـدل آلبـاکور الگـوبرداری شده‌اند و در فصل سوم توضیح داده شد، منجر به بوجود آمـدن فـضاهای خـالی در جلـو و عقب بدنه فشار می‌شود که با عنوان، «بدنه تک جداره»[1] بیان می‌شود. به تجربه ثابت شده است که قسمت‌های خالی بدنه فشار به عنوان نقطه ضـعفی در برابـر حمـلات سـلاحهای دشمن عمل کرده‌اند. اگر همانند بسیاری از زیردریایی‌های اقیانوس‌پیمای دیزلی، از بدنه دو جداره استفاده شود، این ضعف تا حدودی برطرف می‌شود. اگر فضای ایجـاد شـده بـین دو

1- Single hull

بدنه زیردریایی (بدنه فشار و بدنه کاذب) دارای استحکام لازم در برابر حملات سلاحهای دشمن باشد، خطرات و خسارات وارده کاهش زیادی خواهند داشت. البته باید توجه داشت که بدنهٔ کاذب ممکن است باعث افزایش قابل ملاحظه وزن سازه‌ای و (در غیر از موقعیت‌های زیر آب) باعث افزایش جابجایی زیردریایی شود.

حجم جابجایی زیرسطحی بستگی به این دارد که چه مقدار از فضای استوانه‌ای بین بدنه اصلی و بدنه کاذب برای استفاده مخازن تعادل، ذخیره سوخت یا سایر مخازن مورد استفاده قرار گیرد، یا فقط به عنوان فضای آبگیر آزاد در نظر گرفته شود. علاوه بر آن، وزن زیردریایی نمی‌تواند از حداکثر مقدار مجاز، که قبلاً بحث شد تجاوز نماید و بیش از آن نمی‌توان از بدنه فشار برای برقراری تعادل بین وزن و شناوری در اعماق مختلف استفاده کرد، مگر اینکه در مواد استفاده شده برای بدنه فشار و فریم‌های فولادی آن تغییراتی داده شود و از مواد با چگالی پائین‌تر استفاده شود که این به عنوان آخرین گزینه انتخابی ما می‌باشد. قبل از پایان دادن به بحث بدنهٔ کاذب، باید بدانیم که برای دسترسی مناسب به فضای استوانه‌ای بین این دو بدنه، باید حداقل فاصله یک متر بین آنها وجود داشته باشد تا در هنگام ساخت یا تعمیر و نگهداری امکان دسترسی راحت، وجود داشته باشد که این نیز باعث افزایش قابل ملاحظه حجم می‌گردد.

مواد سازه‌ای بدنه فشار

۱۷-۴) برای پایان دادن به بحث نسبت وزن به حجم، بطور مختصر به استفاده از مواد با چگالی کمتر بجای فولاد در صفحات بدنه فشار و فریم‌ها اشاره می‌کنیم. ما در فصل پنجم در بحث طراحی سازه‌ای زیردریایی، به انتخاب مواد مختلف برای سازه بدنه فشار اشاره می‌کنیم و هم اکنون به گزینه‌های مختلفی که وجود دارد، رجوع می‌کنیم که عبارتند از

تیتانیوم و فایبرگلاس (FRP)[1] (آلومینیم برای کاربرد در زیردریایی‌های نظامی مناسب نمی‌باشد). تیتانیوم دارای ضریب یانگ[2] و تحمل تنش بالاتری نسبت به فولاد است و براحتی جوش داده می‌شود و در برابر خوردگی نیز مقاوم و بسیار گران است. FRP دارای ضریب یانگ پائین‌تری است و تحمل تنش آن از فولاد کمتر بوده و مقاومت در برابر خوردگی بسیار خوبی دارد و هزینه آن نیز بالا نمی‌باشد. پلاستیک تقویت شده شیشه‌ای (GRP)[3] معمولاً برای سازه بیرونی زیردریایی به صورت محدود استفاده می‌شود.

به طور مختصر از آنچه در فصل اخیر گفته شد، می‌توان استنباط کرد که در تعیین اندازه زیردریایی، با استفاده از مواد سبک‌تر در بدنه فشار برای زیردریایی تک‌بدنه مزیتی وجود ندارد. البته با استفاده از مواد با چگالی کمتر می‌توان عمق غوص را نسبت به سازه بدنه فشار فولادی با همان وزن، افزایش داد. هر چند باید بخاطر داشته باشیم که کلیه سیستم‌ها و مخازن داخلی زیردریایی که در معرض فشار آب دریا می‌باشد باید دارای استحکام و وزن بیشتری که متناسب با بدنه فشار باشد، داشته باشند. مزیت دیگری که در جایگزینی فولاد می‌تواند وجود داشته باشد، کاهش خصوصیات مغناطیسی یا تغییر خواص صوتی زیردریایی می‌باشد اما در زمینه تعیین اندازه زیردریایی، ممکن است چندان تأثیری نداشته باشد. استفاده از مواد سبکتر در سازه بدنه فشار می‌تواند به عنوان عاملی برای کنترل افزایش ناخواسته وزن زیردریایی در حین ساخت باشد که همچنین این کاهش وزن می تواند با استفاده از مواد سبک در بدنهٔ کاذب، صورت گیرد اما بنظر می‌رسد که استفاده از این مواد بجای بدست آمدن مزایای بیشتر، برای کاهش خطا بکار رود.

قوی‌ترین عاملی که می‌تواند برای استفاده از مواد غیر فولادی در بدنه زیردریایی مطرح شود، نیازهای ضروری عملیاتی برای رفتن به اعماق زیاد می‌باشد. در این صورت انتخاب مناسب

1- Fibre Reinforced Plastic
2- Yoang's modulus
3- Glass Reinforced Plastic

نحوه طراحی برای رسیدن به تطبیق مناسب قابلیت‌های عمق غوص با تعادل بین وزن و شناوری ممکن است دشوار باشد.

در صورت افزایش اندازه زیردریایی و ایجاد فضای جدید مورد استفاده در داخل بدنه، بهتر است استفاده از مواد مختلفی در ساخت بدنه را در نظر داشت، بطوریکه بتواند تعادل و پایداری مناسب را ایجاد کند.

مرور

در هر حال با توجه به اینکه مباحث پیچیده‌ای در تعیین اندازه زیردریایی مطرح است، ولی پیشنهاد می‌شود که برای کوچک نگه داشتن اندازه زیردریایی، تعیین اندازه اولیه آن باید بر مبنای فضاهای مورد نیاز در زیردریایی باشد. با تعیین محتاطانه ضریب اطمینان برای وزن، باید وزن زیردریایی به گونه‌ای کنترل شود که شناوری خنثی یعنی تعادل مناسبی برای زیردریایی بدست آید. فقط اگر در نیازمندی‌ها تغییراتی بوجود آید، بایستی یک اندازه معینی از وزن به عنوان ذخیره در نظر گرفته شود.

فصل پنجم

« سازه زیردریایی »

مقدمه

۱-۵) اصلی‌ترین ویژگی یک زیردریایی این است که قادر به رفتن به زیر سطح آب و قرار گرفتن در عمق عملیاتی مطلوب می‌باشد. برای زیردریایی‌های دارای سرنشین نیاز است که حجم بسته درون زیردریایی در فشار اتمسفر نگهداری شود که نه تنها برای پرسنل نیاز می‌باشد، بلکه بسیاری از تجهیزات درون زیردریایی برای فشار اتمسفر طراحی شده‌اند. جهت صرفه‌جویی در وزن، نیاز است که تا حد امکان حجم این قسمت کوچک در نظر گرفته شود چرا که این قسمت نیازمند یک سازهٔ قوی و مستحکم برای مقاومت در برابر اختلاف فشار بین آب دریا در عمق زیاد و فشار اتمسفر می‌باشد. در زیردریایی‌های کوچک بدون سرنشین و ROVها این حجم را می‌توان به حداقل رسانید ولی در بیشتر زیردریایی‌های اقیانوس‌پیمای سرنشین‌دار چاره‌ای نیست به جز اینکه قسمتی از حجم درون یک سازهٔ بسیار قوی قرار گیرد. بعضاً ممکن است طراحی زیردریایی به گونه‌ای صورت گیرد که سایر قسمت‌ها نیز در بدنه فشار که نیاز به قرار گرفتن در فشار اتمسفر ندارند، جزء این حجم قرار گیرند؛ مثلاً ممکن است قسمتی از مخازن شناوری اصلی در داخل بدنه فشار قرار گیرد. همچنین ممکن است مخازن سوخت برای اینکه بتوانند در فشار اتمسفر کار کنند، درون بدنه فشار قرار گیرند. مخازن جبران وزن هم معمولاً درون بدنه فشار قرار می‌گیرند، هر چند که بعضاً در حین عملیات کاری، در معرض فشار دریا قرار می‌گیرند. اینکه این حجم‌ها در کجای بدنه فشار قرار می‌گیرند و مراحلی که برای عایق‌بندی آنها انجام می‌شود، دارای اهمیت می‌باشند. قبل از اینکه روش‌های طراحی بدنه فشار را توضیح دهیم، روی نیازهای عملیاتی یک زیردریایی در عمق آب بحث می‌کنیم.

نیازهای عملیاتی زیردریایی در عمق آب

۲-۵) در تعیین میزان عمق مناسب وسایل زیرآبی، و نیازهای آنها در عمق آب، ملاحظات مختلفی وجود دارد. یک نظریه اولیه می‌گوید که هر چه بیشتر باشد بهتر است. ولی غوطه‌ور شدن در عمق‌های زیاد همان‌گونه که قبلاً گفته شد هزینه‌های زیادی به دنبال دارد. در این حالت طراحی زیردریایی از حجم مبنا تبدیل به وزن مبنا می‌شود و آن مستلزم افزایش سایرخواسته‌های وسیله منجمله افزایش توان برای رسیدن به یک سرعت ثابت خواهدبود. این بحث بیان می‌دارد که قابلیت در عمق[1] بیش از آنکه به عنوان یک ورودی و داده به فرآیند طراحی باشد، نتیجه و ثمره کار طراحی است که از نقطه نظر کاربردی می‌تواند به عنوان یک فاکتور نامناسب در نظر گرفته شود. قبل از پرداختن به اصول مربوط به عمق غوطه‌وری، این سؤال باید مطرح شود که: آیا می‌توان از این مورد، استفاده بهینه نمود؟ در بسیاری از زیردریایی‌های معمولی در واقع، تجربیات مربوط به عمق غوطه‌وری به هنگام تست عمق زیردریایی بدست می‌آید (دلایل این امر بعداً بحث خواهد شد).

هم اکنون باید بدانیم حداقل عمق مناسبی که زیردریایی باید غوطه‌ور شود چه میزان است. زیردریایی باید به زیر سطح آب برود ولی چقدر؟ مشخصاً می‌توان گفت که معمولاً کل زیردریایی، حتی برجک باید به زیر آب برود و ثانیاً دور از دید باشد. در مورد اول هنوز ممکن است زیردریایی قابل رؤیت باشد که بستگی به شفافیت آب دارد. در عمق کم، ممکن است کف زیردریایی ۲۰ متر زیر سطح آب باشد ولی هنوز در معرض جریانات سطح آب باشد. مثلاً هنگامی که دریا طوفانی است و در این شرایط، غوطه‌ور ماندن زیردریایی دشوار است. همچنین در شرایط تنفس[2]، زیردریایی با مقاومت موج نیز روبرو می‌شود و موج‌های ایجاد شده در سطح آب ممکن است مورد ردیابی واقع شود. شاید یکی از

1- Depth capability
2- Snorting

خطراتی که حرکت در عمق کم به دنبال دارد، امکان تصادف با کشتی‌های در سطح آب است که مشاهده نشده و یا صدای آنها شنیده نشود. سوپر تانکرهای غول‌پیکر دارای آبخور در حدود ۲۵ تا ۳۰ متر هستند و زیردریایی در مسیر تردد آنها باید حداقل ۵۰ متر عمق داشته باشد. بعداً نشان خواهیم داد که فاکتورهای زیادی در تعیین عمق ایمن طراحی زیردریایی مؤثر هستند.

۳-۵) در عین حال باید بدانیم چه فاکتورهای عملی در ضرورت افزایش عمق زیردریایی دخیل هستند. یک زیردریایی نظامی باید سعی کند که از ردیابی شدن و در معرض حمله کشتی‌ها و حمله هوایی قرار گرفتن، در امان باشد. روش ابتدایی ردیابی، روش صوتی[1] می‌باشد که بیشتر مورد استفاده شناورهای سطح آب قرار می‌گیرد. امواج صوتی تقریباً به صورت خط مستقیم در آب دریا حرکت می‌کنند و تغییرات دما و شوری آب باعث شکست موج می‌گردد. این پدیده معمولاً در کانال‌های سطحی[2] اتفاق می‌افتد که موج صوتی پس از وارد شدن در آب، پس از رسیدن به یک عمق محدود، در یک مسیر منحنی، دچار انعکاس کلی می‌شود.

این عمق در کانال‌های سطحی، بستگی به آرام بودن دریا دارد ولی این پدیده یک مزیت برای زیردریایی‌ها می‌باشد که در زیر این عمق حرکت کنند تا از احتمال ردیابی شدن توسط دشمن در سطح آب، ایمن باشند. در اینجا هدف ما تعیین میزان این عمق نیست، بلکه می‌خواهیم بگوییم که این یکی از عوامل تعیین عمق زیردریایی می‌باشد. همچنین رفتن به عمق بیشتر، مشکلات دیگری را برای مهاجم ایجاد می‌کند؛ از جمله اینکه باید سلاح‌های قوی‌تری برای رسیدن به آن عمق به کار گیرد و یا اگر موشک مهاجم به طور خودکار ردیابی می‌کند، حجم و ابعاد هدف به اندازه قابل ملاحظه‌ای کوچکتر می‌شود.

1- Acoustic
2- Surface duct

تغییرات چگالی و دمای دریاها بر لایه‌های آب در دریا و کانال‌های صوتی[1] مؤثر است و می‌تواند از طرف زیردریایی برای دور ماندن از دید دشمن مورد بهره‌برداری قرار گیرد. لذا از این دید می‌توان گفت هرچه تا حد امکان عمق بیشتر شود، بهتر است.

در جنگ جهانی دوم، زیردریایی‌ها تا عمق ۱۰۰–۱۵۰ متری غوص می‌کردند و زیردریایی‌های مدرن امروز تا سه برابر عمق آنها، غوص می‌نمایند. این عمق معمولاً با طراحی خوب حجم و با استفاده از فولادهای با نقطه تسلیم بالا[2] به عنوان ماده ساختمانی در زیردریایی، امکان‌پذیر است.

۴–۵) بحث دیگری که در تعیین عمق مناسب زیردریایی وجود دارد، کنترل دینامیکی زیردریایی است که به طور مجزا درفصل هشتم بررسی می‌شود. باید دانست که یکی از فاکتورهای ایمنی برای زیردریایی‌های تندرو، قدرت مانور خوب در عمق آب می‌باشد. یک خطا و اشتباه در کنترل زیردریایی در سرعت بالا می‌تواند باعث انحراف زیاد از مسیر حرکت اصلی شود که ممکن است باعث به سطح آب آمدن ناخواسته زیردریایی بشود و یک فاجعه به بار بیاورد و یا یک غوص سریع به عمق آب به پایین‌تر از عمق مجاز، می‌تواند فاجعه بارتر باشد. بنابراین یکی از فاکتورهای مؤثر در تعیین حداقل عمق غوطه‌وری، دقت سیستم کنترل دینامیکی است. مباحث بیان شده در مورد زیردریایی‌های نظامی می‌باشد و در مورد وسایل زیرآبی تحقیقاتی و علمی مصداق ندارد و این وسایل نقلیه نیز احتیاجات خاص خود را در زیر سطح آب و نواحی کاربردی آنها دارند.

۵–۵) سؤالی که مطرح شده این است که معمولاً چه عمق عملیاتی مفیدی باید مورد استفاده قرار گیرد. بسیاری از عملیات‌های زیردریایی شامل محاصره و گشت زنی در مناطق ویژه تپه‌ای در زیر آب و حتی قسمت‌هایی کم عمق از اقیانوس‌ها می‌باشد. بستر دریاها در این شرایط، محدودیت مضاعف عمق ایجاد می‌کنند و نمی‌توان در عمق بیشتری غوص کرد. حتی در

1- Sound channel
2- High yield steel

نواحی عمیق‌تر نیز زیردریایی‌ها در عمق کم و نزدیک به سطح، عملیات می‌کنند؛ مثلاً برای استفاده از پریسکوپ، رادار و سیستم های ارتباطی و نفس‌گیری برای شارژ کردن باطری‌ها. هرچند رفتن به عمق مزیت‌هایی دارد، ولی رفتن به عمق بسیار زیاد و رفت و برگشت متناوب به سطح آب هم معایبی به دنبال دارد. لذا بسیاری از زیردریایی‌ها، علیرغم داشتن قابلیت غوص زیاد، اغلب از حداکثر قابلیت خود استفاده نمی‌کنند. زیردریایی‌های پرقدرت و تندرو اتمی با قدرت تحمل سازه‌ای بالا می‌تواند از امکان رفتن به عمق بسیار زیاد هم استفاده کند. اگر چه همانطور که اشاره شد در حداکثر سرعت، نیاز به رعایت یک حد فاصل عمق مناسب بین زیردریایی و کف دریا نیاز است. حتی زیردریایی‌های هسته‌ای برای استفاده از حسگرها و تجهیزات ارتباطی، نیازمند رفتن به سطح آب هستند. بنابراین، اصولاً زیردریایی‌های اندکی هستند که از قابلیت رفتن به حداکثر عمق استفاده می‌کنند. همانطور که بعداً خواهیم دید، به دلیل خصوصیت مواد، عمر بدنه فشار کاهش یافته و دچار اعوجاج می‌گردد. بنابراین بیشتر طراحان زیردریایی، حد متوسط قابلیت رفتن به عمق را پذیرفته‌اند.

اکنون به مرور ویژگی‌های فنی طراحی بدنه فشار می‌پردازیم. ما نمی‌خواهیم وارد جزییات بحث طراحی سازه‌ای شویم، چرا که یک بحث تخصصی است. می‌خواهیم تأثیر این بخش بر سیر طراحی کل زیردریایی و محدودیت‌هایی که ایجاد می‌کند را بررسی کنیم؛ مثلاً اینکه چرا بدنه فشار زیردریایی را به شکل مربع نمی‌سازند؟

شکل بدنه فشار (بدنه زیردریایی)

۶-۵) همانطور که در فصل چهارم اشاره کردیم، درصد زیادی از وزن کل زیردریایی به بدنه فشار اختصاص دارد. بنابراین تا حد امکان برای رسیدن به بهره‌برداری بهتر، باید وزن این سازه

را کاهش داد (برای عمق‌های بسیار زیاد، وزن آن باید از شناوری و حجمی که جابجا می‌کند بیشتر باشد و از مخازن ذخیره شناوری هم استفاده می‌شود).

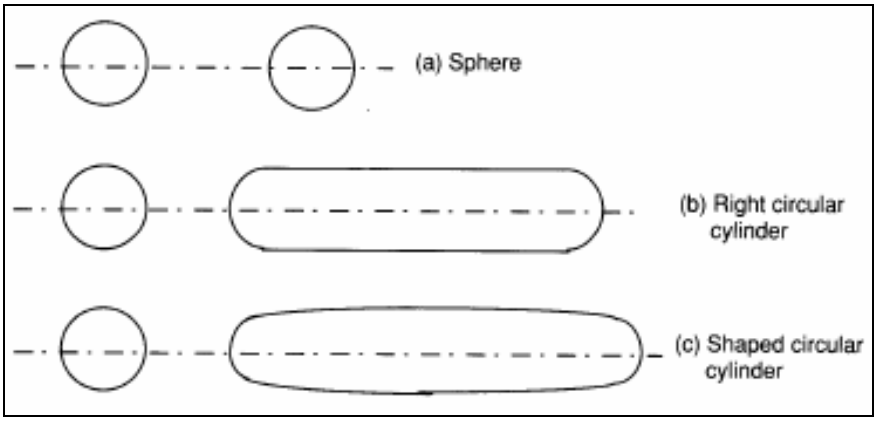
بهره‌وری و راندمان بالاتر یعنی اینکه از میزان جرم مشخصی از مواد، حداکثر کاربرد سازه‌ای و مقاومتی صورت گیرد. برای اهداف کاربردی، اختلاف فشاری که سازه با آن مواجه می‌شود و بدون تغییر شکل باقی می‌ماند، با افزایش عمق افزایش می‌یابد و معمولاً اختلاف فشار قسمت بالای زیردریایی و قسمت زیر زیردریایی، اندک است. اگرچه می‌توان گفت که اگر قطر بدنه زیردریایی ۱۰ متر باشد، اختلاف فشار هیدرواستاتیکی بین بالا و پایین معادل یک اتمسفر است.

۷-۵) برای فشار یکنواخت روی بدنه، شکل هندسی بدنه فشار به صورت کروی مطلوب می‌باشد (شکل a-۱-۵). در یک پوسته نازک کروی که در معرض اختلاف فشار یکنواخت بین بیرون و درون آن قرار گرفته، تمامی مواد پوسته، تنش و کرنش یکنواختی را تحمل می‌کنند. این حالت، پایین‌ترین سطح طبیعی انرژی است که برای غشای نازک، حباب‌های نازک یا بالون‌ها در حالتی که در معرض فشار داخلی بیشتر از فشار خارجی قرار گیرند، بیان شده است. اگرچه برای یک زیردریایی، اختلاف فشار عکس این حالت است، یعنی فشار بیرونی بیشتر از فشار درونی است؛ ولی همان قانون تنش و کرنش یکسان در مورد آن نیز صدق می‌کند. شکل هندسی برخی وسایل غوطه‌ور شونده زیرسطحی کوچک، به همین دلیل، به شکل کروی در نظر گرفته می‌شوند. البته این شکل محدودیت‌های خاص خود را دارد. اگر مسئله هیدرودینامیکی و حرکت جسم را بررسی کنیم، این شکل، شکل مطلوبی نخواهد بود و مستلزم خطوط بدنه کشیده‌تر و درازتر می‌باشد. همچنین در استفاده بهینه از فضاهای داخل آن هم مشکلاتی وجود دارد. اگر وسیله‌ای در کنار بدنه قرار گیرد، به دلیل انحنای بدنه، استفاده کامل از فضا نمی‌شود. همچنین در تولید صفحاتی که دارای انحنا بوده و در کنار یکدیگر یک شکل کروی را تشکیل دهند، مشکل می‌باشد. تک تک این

ورقها باید تحت پرس قرار گیرند و دو نیم کره تشکیل دهند و از جوش دادن این دو نیم کره، یک شکل کروی پدید آید.

۸-۵) شکل بعدی که بیشترین راندمان سازه بدنه فشار را دارد، استوانه کاملاً صاف می‌باشد که در انتهای آن دو نیم کره قرار گرفته است (شکل b-۱-۵). این شکل، یک شکل هندسی رایج در تحمل فشار است و این آزادی هندسی را می‌دهد که قطر متناسب با طول تغییر کند و این امکان را فراهم می‌سازد که یک استوانه به نحو بهتری در داخل بدنه هیدرودینامیکی(روکش بیرونی بدنه) جاسازی کرد و برای خطوط جریان نیز مناسب‌تر باشد. همچنین امکان استفاده نسبتاً بهتر از فضای داخل آن و راندمان حجم بالاتری نسبت به مقطع مربعی و یا شکل کروی دارد. همچنین تولید آن نیز آسانتر است، چرا که تنها در یک جهت دارای انحنا هستند و این ورقها را می‌توان رول کرد. از آنجا که تنش‌های محیطی دو برابر تنش‌های طولی در این نوع شکل هستند، لذا از نظر بحث سازه‌ای چندان بهینه نمی‌باشند.

شکل استوانه صاف با دو انتهای نیم کره‌ای، از نظر هیدرودینامیک چندان ایده‌آل نمی‌باشد و نیاز است که قطر بدنه متناسب با طول از وسط به طرف سینه و پاشنه تغییر کند. اگر طراح زیردریایی بخواهد که شکل بدنه فشار، بهترین راندمان را داشته باشد، برای رسیدن به شکل هندسی مناسب، می‌تواند از ترکیب شکل استوانه‌ای و مخروطی که هر یک در یک جهت دارای انحنا بوده و رول می‌شوند، استفاده کرده و سپس آنها را به یکدیگر جوش دهد تا با دو انتهای نیم کره‌ای، خطوط بدنه متناسب‌تری با خطوط جریان بدست آورد (شکل c-۱-۵).



شکل ۱–۵– شکلهای ایده‌آل بدنه زیردریایی

به‌جز برای اعماق بسیارزیاد، سازه‌ای که برای تحمل فشار استفاده می‌شود نسبتاً نازک بوده و لذا می‌توان از تحلیل‌هایی مشابه تحلیل غشایی[1] استفاده کرد. سازهٔ زیردریایی ممکن است با توجه به قطر آن خیلی نازک (مانند پوسته سیگار) و در عین حال بسیار سنگین به نظر برسد. این مورد به دلیل فناوری مدرن محفظه‌های فشار همانند قوطی‌های نوشابه و کپسول‌های گاز می‌باشد، با این تفاوت که اینها تحت فشار داخلی هستند و بدنه فشار زیردریایی تحت فشار خارجی.

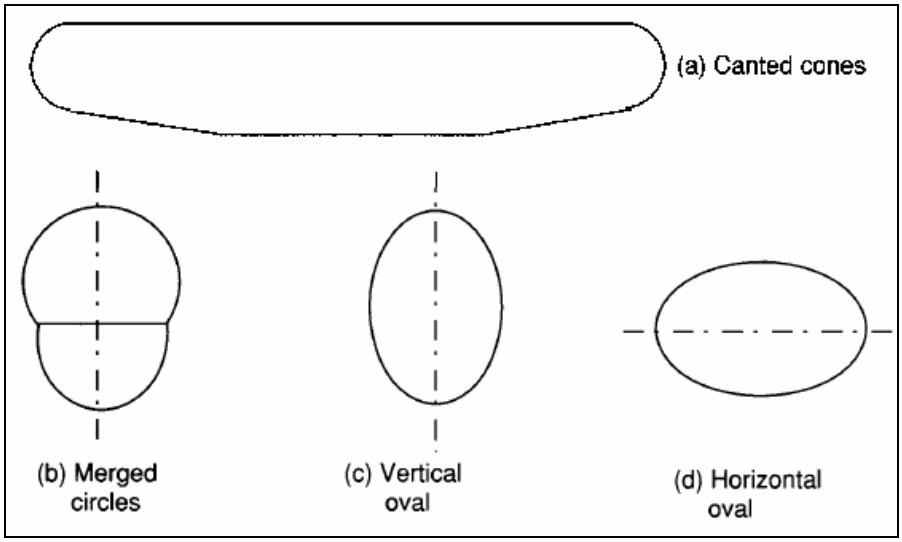
۹–۵) بحث فوق در ارتباط با شکل بدنه فشار مربوط به مدرن‌ترین زیردریایی‌ها با رانش محوری و اصولاً شکل خط بدنه محوری است. در زیردریایی‌های قرن گذشته، بدنه فشار داخل یک بدنه بیرونی (هم شکل بدنه کشتی‌های تندرو با سینه شیب‌دار) قرار می‌گرفت و دارای سیستم رانش دو پروانه‌ای (با دو شفت زاویه‌دار) در زیر پاشنه بود. شکل این زیردریایی‌ها به گونه‌ای است که خط فوقانی آن صاف و مستقیم بوده، قسمت استوانه‌ای شکل مرکزی در دو طرف به دو جسم مخروطی شکل متصل می‌شد که به سمت دو انتها، بالا می‌آمد

1 - Membrane analysis

(شکل الف-۲-۵). قسمت مخروطی در دو طرف با دو نیم کره و یا با دیـواره‌هـای مـسطح یک جداره یا دو جداره مسدود می‌شد که از فضای بین جداره‌ها برای استفاده‌های تـانکری و مخزنی استفاده می‌شد.

در برخی از زیردریایی‌ها، قسمت مخروطی عقب زیردریایی دارای یک سطح مقطع بیـضی افقی مسطح بود که برای سیستم رانش با دو پروانه[1] نیاز بود؛ در حالی کـه مقطـع قـسمت مخروطی شکل جلو دارای شکل مقطع بیضی عمودی بود که برای قرار گـرفتن دوردیـف عمودی از لوله‌های اژدر، به کار می‌رفت. به ناچـار ایـن چنـین شـکلی بـه غیـر از پدیـده تنش‌های محیطی، در معرض تنش‌های ناشـی از ممـان خمـشی کـه لازمـه چنـین بدنـه سنگینی است، قرار می‌گرفت. یکی از دلایلی که امکان استفاده از چنین ساختار نامناسـبی را فراهم می‌کرد این بود که در عمق نسبتاً کم به کار می‌رفتند کـه معمـولاً کمتـر از ۱۰۰ متر بود که بدنه را قادر به تحمـل بهتـر وزن سـازه مـی‌نمـود. یـک طـرح قـدیمی دیگـر زیردریایی نیز وجود داشت که انحراف بیشتری از مقطع دایـره‌ای داشـته و هماننـد شـکل (ب-۵-۲) به صورت عدد هشت بودند، با اینحال این شکل به اندازه‌ای که نشان می‌دهـد از تئوری غشایی دور نیست. در واقع، مقطع آن حاصل از تداخل بدنه‌های دایره‌ای بالایی و پایینی است که در یک سطح افقی در یکدیگر فرو رفته‌اند و سطح تداخل آنها همانند یـک عرشه عمل می‌کند. این هندسه را می‌توان در حباب‌های صابون مشاهده کـرد کـه دو یـا چند حباب کروی شکل صابون به یکدیگر چـسبیده‌انـد و در یکـدیگر فـرو رفتـه‌انـد و در محل‌های اتصال، مرزهایی را تشکیل داده‌اند. با محاسبات ریاضی می‌توان نشان داد که از نظر پدیده تنش‌های محیطی، این نوع شکل دارای کمترین انرژی تنش می‌باشد.

1- Twin shaft



شکل ۲-۵- شکلهای قدیمی بدنه زیردریایی

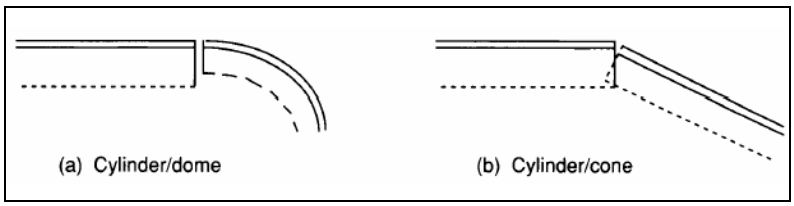
هر چند ما توصیه کردیم که مقطع دایره‌ای معمولاً برای طراحی زیردریایی مناسب می‌باشد ولی طراح نباید خود را به این محدود کند. اگرچه می‌توان تصور کرد که چند بدنه کروی یا استوانه‌ای در یکدیگر فرو روند تا بتوان به عرض یا ارتفاع بیشتر بدنه دست یافت، ولی باید دانست که طراحی اتصالات چنین طرحی به همراه دیواره‌های تقویت کننده داخلی و ستون‌ها، مشکل بوده و کار ساده‌ای نیست. در ارائه طرح‌های جدید باید آگاه بود که در توزیع تنش‌ها و روش‌های شکست حلقه‌های تقویت کننده استوانه‌ای، مخروط‌ها و جداره‌های دو سر زیردریایی، مطالعات و تحقیقات زیادی صورت می‌گیرد، لذا برای ایجاد هرگونه تغییری در طرح‌های قدیمی، باید تحقیقات و ارزیابی‌های سازه‌ای مجدداً صورت گیرد تا این تغییر با ایمنی کامل در طرح به کار گرفته شود.

تغییر شکل الاستیک پوسته

۱۰–۵) اگر چه آنالیز سازه‌ای با توجه به تنش‌های وارده بر مواد و استحکام تسلیم نهایی آنها صورت می‌گیرد ولی برای درک رفتار مواد، تحت بارگذاری‌های مختلف لازم است که کرنش یا تغییر شکل سازه نیز در نظر گرفته شود.

اگر ما یک پوسته تقویت نشده را تحت فشارهای مختلف قرار دهیم، مشاهده خواهیم کرد که پوسته در جهات مختلف دچار تغییر شکل شده و قطر بدنه تغییر می‌کند. هرگاه یک کره تحت فشار داخلی قرار گیرد اندکی بزرگتر از حالت اولیه خود خواهد شد در حالی که اگر تحت فشار خارجی قرار گیرد عکس این حالت اتفاق افتاده و قطر در جهت کاهش اندازه، فشرده خواهد شد. حالا یک پوسته استوانه‌ای تقویت نشده را در نظر بگیرید که مقطع دایره‌ای آن تحت فشار های جزیی قرار گیرد، این استوانه کرنش‌های محیطی و طولی متفاوتی را متحمل خواهد شد. لذا می‌توان گفت قطر بدنه در تمام طول زیردریایی دچار فشار خواهد شد. از آنجا که اگر انتهای استوانه باز باشد نمی‌تواند تغییرات فشار را تحمل کند، دو انتهای آن باید توسط نیم کره‌هایی بسته شوند، لذا در این صورت باید کرنش اتصالات بین استوانه و نیم کره را نیز در نظر گرفت. پیش از اتصال این دو عضو به هم، استوانه تحت کرنش‌های قطری یکنواخت می‌باشد که دو برابر کرنش در نیم کره می‌باشد. وقتی این دو عضو به یکدیگر متصل شوند، تنش‌ها و کرنش‌هایی در محل اتصال به وجود می‌آید که ناشی از عدم تطابق کرنش‌ها است. با در نظر گرفتن مقطع طولی این اتصالات (شکل a–۳–۵)، برای حفظ پیوستگی المان‌ها نیاز به انحنایی در مقطع طولی پوسته در محل اتصال است که کرنش‌ها از استوانه به کره تغییر کنند. بنابراین ممکن است

در محل اتصال این دو عضو سازه‌ای، کرنش‌هایی به وجود آید کـه تـنش‌هـای آن خیلـی بزرگتر از حالتی باشد که پوسته آزاد بوده است.



شکل ۳-۵- ناسازگاری تغییر شکلها تحت فشار

۱۱-۵) چنین موقعیتی به هنگام اتصال یک استوانه به یک عضو مخروطـی نیـز پـیش مـی‌آیـد. بررسی چگونگی اعوجاج مقطع مخروطی چندان ساده نیست ولی با این حال می‌توان گفت تحت فشار بیرونی بدنه سخت، متمایل به اعوجاج خواهد بود کـه شـکل مخروطـی آن در مقابل اعوجاج از خود مقاومت نشان می‌دهد. اگر قطر بزرگ انتهـایی مخـروط بـه اسـتوانه متصل گردد، هم استوانه و هم مخروط در اثر فشار خارجی به سمت داخـل دچـار اعوجـاج می‌شوند که در اثر اتصال نامناسب این دو می‌باشد (شکل b-۳-۵). عـلاوه بـر آن نیـروی پیشران در امتداد محور بر آن وارد می‌شود. این نیروی پیشران روی بدنه، در محل اتـصال، اعوجاجی به سمت بیرون، مخالف جهت کرنش قبلی استوانه و مخروط، به وجـود مـی‌آورد. بنابراین تغییرات انحنای شدیدی روی مواد در محل اتصال اتفاق می‌افتد که می‌تواند منجر به ممان‌های خمشی بزرگی شود که کاهش آن، کار چندان ساده‌ای نیـست. هنگـامی کـه یک مخروط از طرف قطر کوچک انتهایی به یک استوانه متصل می‌گـردد بـاز هـم چنـین وضعیتی اتفاق می‌افتد با این تفاوت که نیروی پیشران وارد شده، محل اتصال را به سـمت داخل دچار اعوجاج می‌کند که موافق جهت کرنش عادی بین استوانه و مخـروط اسـت. بـا توجه به اینکه محل اتصال دچار تنش‌های خمشی مـی‌گـردد معمـولاً سـختی لازم را دارا

نمی‌باشند. تا جایی که ممکن است باید از تنش‌های اتصال تند[1] و بـی واسـطه در طراحـی بدنه فشار به شدت پرهیز کرد. معمولاً در زیردریایی‌ها موقعیت‌هایی پیش می‌آید که در آن دو قسمت با قطرهای متفاوت باید به یکدیگر متصل شوند. اگر بخواهیم دو قطر متفاوت را به یکدیگر مرتبط کنیم، باید ازیک دیواره مسطح بین این دواستفاده شود که در مقابل فشار خارجی و نیروی پیشران مقاومت کند. به دلیل وجودمحدودیت‌هایی درخواص مواد، طراحی چنین سازه‌ای تاحدودی مشکل است. اگربخواهیم ازیک مخروط واسـطه بـرای اتـصال دو پوسته دیگراستفاده کنیم ممکن‌است منجر به ایجادتنش وکـرنش شـدید درمحـل اتـصال گردد. یکی از راه‌هایی که برای به حداقل رسانیدن این تنش‌ها وجـود دارد ایـن اسـت کـه پوسته‌ای را در نظر بگیریم که از جنسی شبیه لاستیک نازک همانند بالون سـاخته شـده و دارای یک هندسه مناسب است و ببینیم تحت فـشار داخلـی چـه اتفـاقی رخ مـی‌دهـد. در اتصال بین مخروط واستوانه باقطر بزرگ، استوانه بایدمنبسط شود؛چنانکه مخروط و استوانه متمایل به برآمدگی به سمت بیرون شده واین ناحیه بیشتربه شکل کروی در خواهد آمد. در قطرهای کم، تمایل به چنین حالتی کمتراست وهم استوانه وهم انتهـای کوچـک مخـروط تمایل دارند به طور یکسان بزرگتر شوند. چون چنین غشایی قـادر بـه تحمـل تـنش‌هـای خمشی نیست بنابراین بعنوان شکلی که بتواند از تنش‌های خمشی اجتناب کند می‌تـوان از پوسته کروی برای اتصال قطربزرگ مخروط بااستوانه استفاده کرد. اگر چه این نوع طراحی سازه ممکن است هزینه‌بر باشد ولی باعث توزیع یکنواخت تنش- کرنش روی بدنـه فـشار می‌گردد. به دلیل هزینه بیشتر و پیچیدگی سازه، باید از سازه‌های غیر متعارف اجتناب کرد.

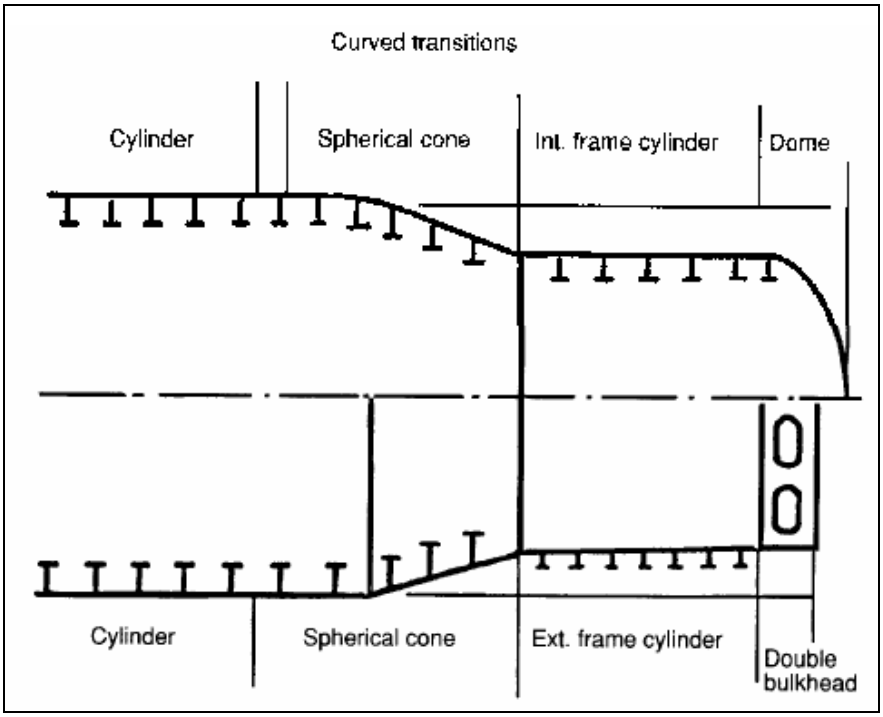
1- Sharp junction

تغییر شکل کمانش پوسته[1]

۱۲–۵) علی‌رغم اینکه بیان داشتیم که بوسیله پوسته‌های استوانه‌ای تقویت نشده نازک می‌توان بر فشارهای جزیی داخلی غلبه کرد، ولی وقتی اختلاف فشار وارد بر جسم، خارجی می‌باشد، آن سازه قادر به تحمل فشار تا رسیدن به استحکام تسلیم نخواهد بود.

شباهتی با یک میله باریک که در یک انتها در معرض بارگذاری قرار گرفته، وجود دارد. اگر بارگذاری انتهای آن کششی باشد، میله می‌تواند نسبتاً باریک باشد و تمام تنش‌ها را تا رسیدن به استحکام نهایی تحمل خواهد کرد. اگر چه وقتی بارگذاری میله برعکس شود به صورت فشاری، باید استحکام نهایی زیادی داشته باشد تا کمانش نکند و به طور غیر منتظره‌ای دچار از هم گسیختگی نگردد که در این حالت قادر به تحمل هیچگونه افزایش فشار، پس از فروپاشی و از هم گسیختگی، نخواهد بود. وقتی فشار خارجی بر جسم وارد گردد همین حالت به وجود خواهد آمد. طول کوتاهی از بدنه فشار استوانه‌ای تقویت نشده می‌تواند همانند چنین میله‌ای در نظر گرفته شود (شکل ۵–۵).

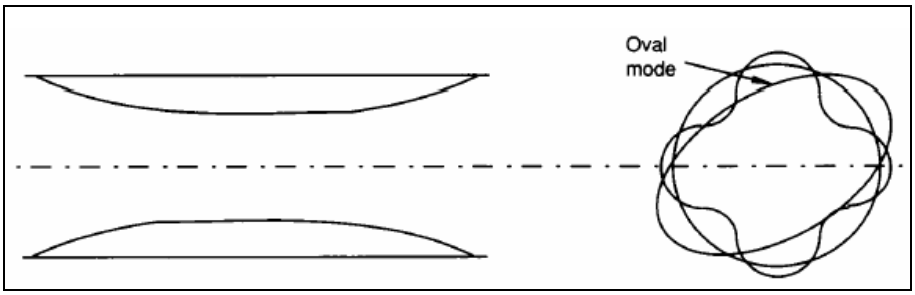
1- Buckling



شکل ۴-۵- بدنه سخت با قطر متفاوت

در هر نقطه‌ای حول محیط استوانه، مابین المان‌های محیطی بارفشاری وجود دارد. هر طول کوچکی از مواد در محیط استوانه وابسته به اینکه از حالت محیط اولیه خود چقدر منحرف شده باشد، می‌تواند در معرض کمانش‌هایی به سمت بیرون یا درون قرار گیرد. یک حلقه محیطی را می‌توان همانند یک میله با طول متغیر بی نهایت در نظر گرفت که بنابراین در مودهای زیادی می‌تواند دچار کمانش شود (شکل ۵-۵). حالت شکست که ممکن است روی یک استوانه تقویت نشده اتفاق بیافتد، اعوجاج به شکل بیضی (تخم مرغی) و یا حتی مسطح شدن تحت فشار می‌باشد. فشار شکست خیلی کمتر از استحکام ذاتی مواد است که نمی‌تواند از تمام انرژی پتانسیل خود برای مقاومت در برابر بارگذاری

استفاده کند. لذا نیاز است که با به کار بردن تقویت کننده‌هایی پوسته را در مقابل کمانش الاستیک تقویت و آن را به شکل استوانه‌ای حفظ کرد. روش معمولی تقویت کردن بدنه، به کار بردن تقویت کننده‌های حلقوی است که در تمام طول استوانه قرار گیرد و امکان از هم گسیختگی بدنه را محدود سازد.



شکل ۵-۵- کمانش استوانه‌های تقویت نشده

۱۳-۵) جهت ایجاد استحکام شعاعی از تقویت‌های حلقوی[1] استفاده می‌شود که منجر به پیچیدگی بیشتر تنش‌ها و کرنش‌های وارد بر بدنه فشار می‌گردد. میزان کرنش‌های محیطی در امتداد طول متفاوت است. کرنش روی تقویت‌ها کمترین مقدار و در فاصله وسط بین دو تقویت بیشترین مقدار است که این منجر به کرنش‌های خمشی در امتداد طول می‌شود. که برروی تقویت‌ها دریک جهت و مابین آنها در جهت دیگراست. در نتیجه با به کار بردن این تقویت‌ها، لایه‌های بیرونی پوسته در محل تقویت در معرض تنش‌های محیطی قرار می‌گیرد که با به کار بردن این تقویت کننده‌ها کاهش می‌یابد و کرنش‌های طولی که نتیجه ترکیب خمش کششی[2] و بارگذاری فشاری در دو انتها می‌باشد، بوجود می‌آید. در این حالت برای لایه‌های داخلی پوسته، کرنش‌های خمشی پوسته در محل تقویت به کرنش‌های فشاری ناشی از بارگذاری محوری افزوده می‌گردد و دو نوع تنش

1- Ring stiffener
2- Tensile bending

ایجاد می‌کند که ممکن است منجر به تغییر شکل پلاستیک شود و بنابراین شکست ماده تسریع گردد.

برای پوسته مابین تقویت‌ها یک افزایش کرنش محیطی وجود دارد که از کرنش محیطی پوسته در محل تقویت‌ها بیشتر است. از نظر طولی هم مجدداً ترکیبی از کرنش ناشی از بارگذاری محوری و خمش است که منجر به کرنش فشاری بزرگتر در لایه‌های بیرونی ماده و کاهش کرنش در لایه‌های داخلی می‌گردد. در اینجا انحنای پوسته نسبت به محل تقویت‌ها کمتر خواهد بود.

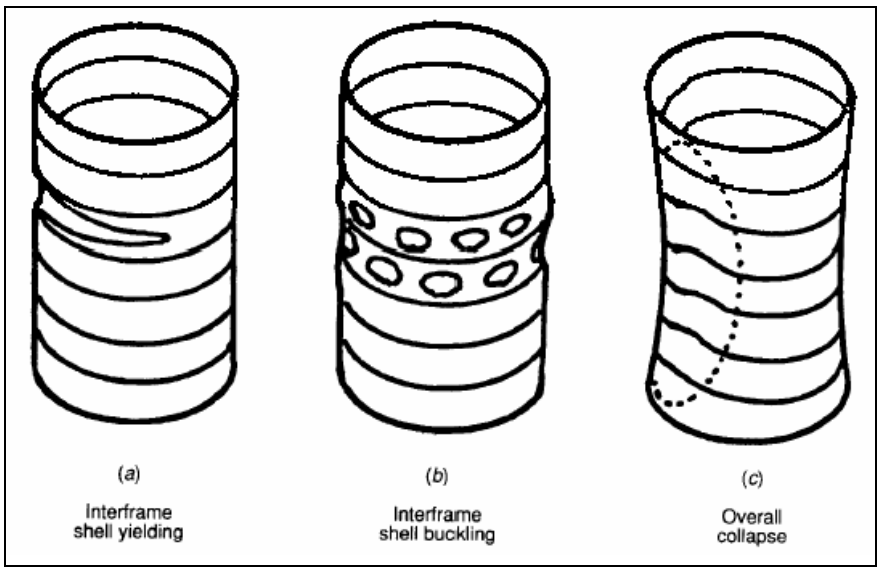
در مقابل این پدیده، بارگذاری در دو انتهای استوانه برروی پوسته‌ای با شعاع تغییریافته وارد می‌شود که منجر به کرنش خمشی بیشتر، تقریباً همانند آنچه روی نبشی یا تیر کمانش کرده[1] اتفاق می‌افتد، می‌شود. لذا می‌توان گفت که استوانه‌هایی که با حلقه سخت کننده تقویت شده‌اند، ممکن است در فاصله بین تقویت‌ها به شکل چروک متقارن محوری[2] تخریب شود.

مثالی از چروک شدگی جزیی در شکل (۶-۵) نشان داده شده است که یک نمونه تحت فشار خارجی قرار گرفته و قبل از اینکه پوسته کاملاً خراب شود فشار از روی آن برداشته شده است. این روش تخریب به تخریب بین فریم[3] معروف است و همانطور که بعداً توضیح داده خواهد شد، روش بهتری در تخریب بدنه فشار می‌باشد چرا که نسبتاً قابل پیش‌بینی است.

اگرچه ممکن است که بتوان تنش و کرنش اتفاق افتاده در الگوی تخریب پیچیده‌ای که بیان شد را محاسبه کرد، اما در عمل می‌توان دید که انحراف‌های هندسی کوچک و خواص مواد می‌تواند فشار مربوط به تخریب را تغییر دهد. با استفاده از آزمایشات فیزیکی

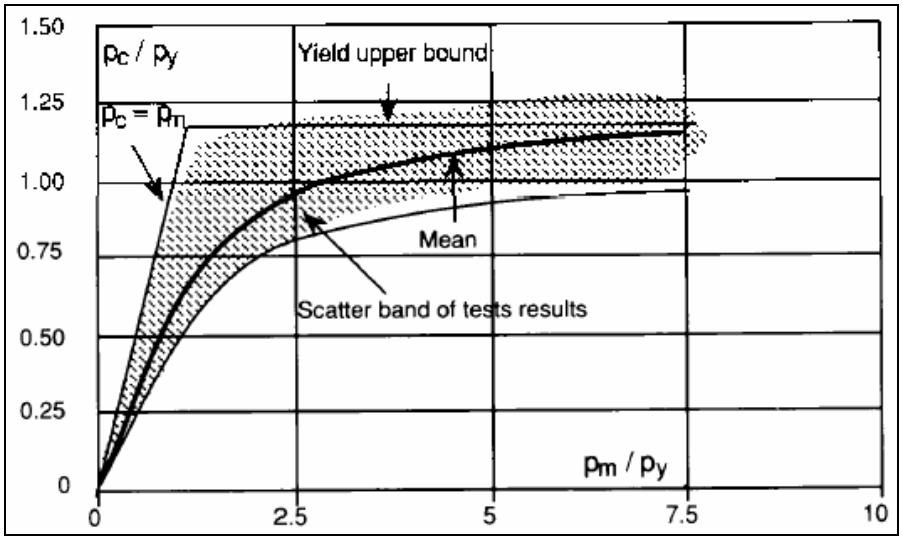
1- Buckled strut
2-Concertina mode
3- Interframe collapse

روی مدل‌ها با شکل‌های بدنه و هندسه مختلف و مواد گوناگون، رابطه‌ای بین تئوری و واقعیت یافت.



شکل ۶–۵– روش‌های شکست استوانه تقویت شده با فریم‌های حلقوی

شکل ۷–۵ نتایج تجربی رسم شده براساس پارامترهای توضیح داده شده با جزییات بیشتر در ضمیمه ۴ را نشان می‌دهد. این نمودار، وسیله‌ای برای بررسی طراحی با ضریب ایمنی بالا براساس اطلاعات موجود می‌باشد که می‌تواند راه حل قابل اعتمادی ارائه کند. قبل از انتخاب قطعی مواد و شکل سازه می‌توان از داده‌های تجربی که براساس آزمایشات و تحقیقات بدست آمده است، استفاده کرد.

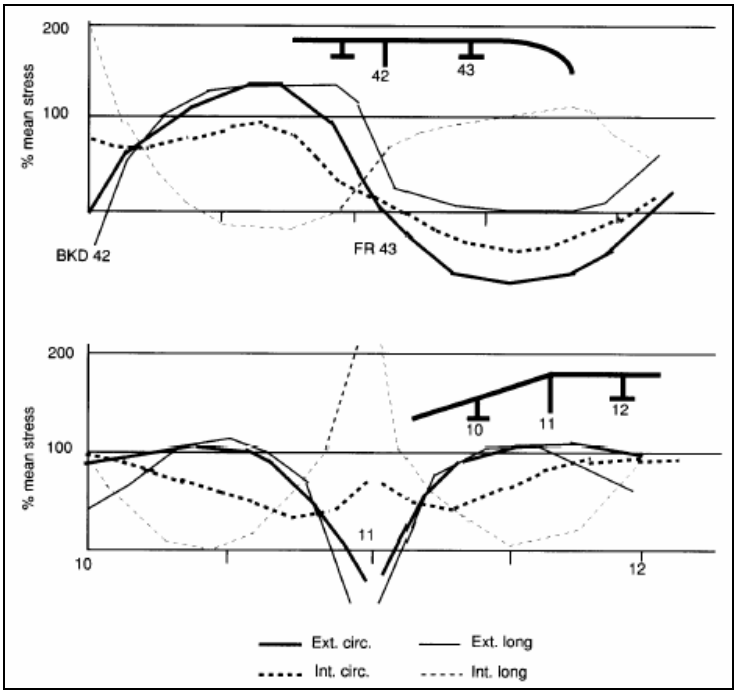


شکل ۷–۵– نمایش نتایج تخریب پوسته بین فریم‌ها

۱۴–۵) با یک استوانه خیلی طویل مجهز به تقویت‌کننده‌های حلقوی، می‌توان همانند پوسته‌های تقویت نشده رفتار کرد اگرچه نسبت به این پوسته‌ها سختی شعاعی بیشتری دارد این امکان وجود دارد که مجموعه استوانه طویل به همراه تقویت‌ها در اثر روش کمانش کلی[1] دچار تخریب و از هم گسیختگی شود و یا به صورت تخت و مسطح درآید. برای فراهم آوردن سختی شعاعی بیشتر و حفظ حالت دایره‌ای، در برابر روش‌های کمانش کلی باید از تقویت‌های قوی مناسب[2] یا دیواره عرضی مناسب استفاده کرد. در مکان‌یابی این دیواره‌ها، فاصله آنها باید به حدی کم باشد تا از خطر کمانش کلی جلوگیری شود. به ناگزیر این دیواره‌ها روی طراحی قسمت داخلی بدنه تأثیر می‌گذارد. استفاده از این دیواره‌ها سبب افزایش کرنش خمشی طولی پوسته در محل اتصال با آن می‌گردد. بنابراین ممکن است لازم شود تا ضخامت پوسته را در محل دیواره افزایش داد و برای کاهش تنشهای خمشی فاصله تقویت‌های مجاور در دیواره را کاهش داد.

1 - Overall buckling mode
2- Occasional heavy stiffeners

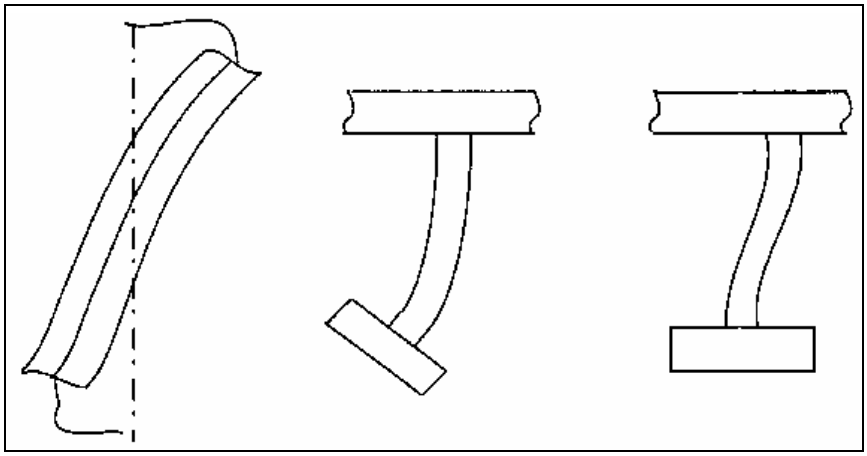
برنامه کامپیوتری طراحی سازه‌ای جهت تحلیل سیلندرهای مجهز به تقویت کننده‌های حلقه‌ای و تنش‌های اتصالات موجود می‌باشد (شکل ۸–۵). این برنامه همچنین می‌تواند به طراح کمک کند تا یک انتخاب بهینه از ترکیب هندسه پوسته و تقویت کننده‌ها و رسیدن به حداقل وزن سازه، داشته باشد. از آنجا که این تقویت کننده‌ها قسمتی از فضای داخلی بدنه را اشغال می‌کنند، ملاحظات کلی طراحی ممکن است اجازه استفاده بهینه از مکان‌یابی تقویت کننده‌ها و رسیدن به حداقل وزن ممکن را ندهد.



شکل ۸–۵– حالات مختلف توزیع و تمرکز تنش در اتصالات

سایر روش‌های شکست و تخریب

۱۵–۵) هر چند که تقویت کننده‌های حلقوی برای پرهیز از کمانش پوسته استوانه‌ای استفاده می‌شوند، ممکن است خود این تقویت کننده‌ها در معرض کمانش قرار گیرند. این تقویت کننده‌ها، در واقع تیرهای دایره‌ای با مساحت سطح مقطع بیشتر و ممان اینرسی بیشتری نسبت به صفحات پوسته‌ای هستند. در ارتباط با صفحات پوسته، یک تقویت کننده ممکن است خارج از مقطع عرضی خود کمانش نماید. همچنین ممکن است یک تقویت کننده حلقه‌ای، به صورت غیر صفحه‌ای و به روش پیچشی کمانش نماید. بنابراین در تقویت کننده چه به عنوان دیواره‌ها و چه تقویت کننده‌های حلقوی، نه تنها بررسی تنش‌های وارد بر صفحات پوسته را دچار پیچیدگی می‌کند بلکه راه‌هایی را که ممکن است سازه تخریب شود را افزایش دهد (شکل ۹–۵).



شکل ۹–۵– کمانش و تخریب فریم‌ها

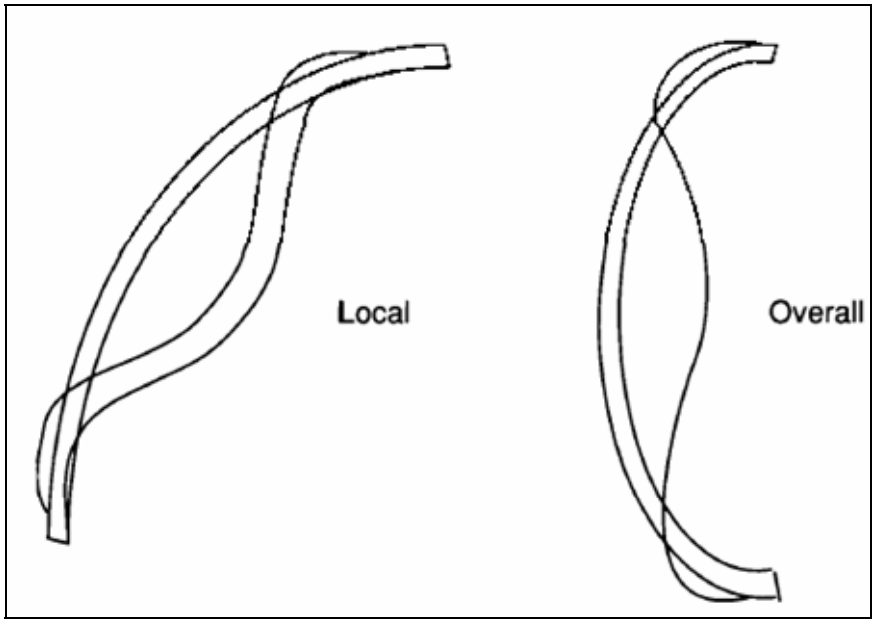
بنابراین طراحی سازه بدنه فشار باید با در نظر گرفتن کل سازه به همراه کلیه جزییات آن صورت گیرد و با این دید که هیچ یک از اعضای تشکیل دهنده نمی‌تواند جدای از کل

سازه بررسی شود، باید بررسی کرد. به عنوان فلسفه طراحی، موضوع طراحی باید به گونه‌ای باشد که مواد، حداقل قبل از فروپاشی به حد تنش تسلیم برسد. یکی از اهداف این است که از شکست نابهنگام سازه، در اثر کمانش الاستیک جلوگیری کرد و علاوه بر آن امکان رسیدن سازه به حد شکست تسلیم را نیز کاهش داد. در مورد تخریب کمانش فشاری[1]، هندسه سازه در ورود به حالت کمانش بسیار مؤثر است.

اگر سازه از نظر هندسی بدون نقص باشد، امکان تحمل فشارهای خیلی بالا قبل از رسیدن به کمانش، وجود دارد. هر چند هرگونه اشتباهی در هندسه سازه نظیرانحراف از شکل دایره‌ای بدنه یا انحراف در جان[2] فریم‌ها می‌تواند منجر به تسریع شکست شود. در طراحی بدنه فشار نیز اینگونه نقص شکل‌ها بایستی در نظرگرفته شود و روش‌های تحلیل و برنامه‌های کامپیوتری برای این هدف، موجود است.

شکل گنبدی انتهای بدنه فشار نیز با مشکل کمانش مواجه می‌باشد. به راحتی نمی‌توان روش‌های تخریب چنین شکلی را تصور نمود. بیشترین روش تخریب که احتمال دارد در آن به وجود بیاید در شکل ۱۰–۵ نشان داده شده است. دقت هندسی، تأثیر بسیاری روی کمانش این قسمت دارد. اگر ناحیه کوچکی از این قسمت کاملاً دارای انحنای مناسب نباشد به صورت نابهنگام دچار تخریب می‌شود و فروپاشی کلی شروع می‌شود. این گنبدی‌ها نباید به طور کامل بدون تقویت کننده بمانند و بعضاً دارای سازه تقویتی تخم مرغی شکل هستند که به آنها جوش داده می‌شوند تا در مقابل بارهای خارجی وارد بر سازه یا مخازن آن قسمت، مقاومت کنند و این قسمت گنبدی شکل را در مقابل کمانش، تقویت نمایند. در همان زمان این نقاط تقویت شده منجر به خمش‌های موضعی و تنش در پوسته می‌گردد.

1- Copmpressive buckling failure
2- Web



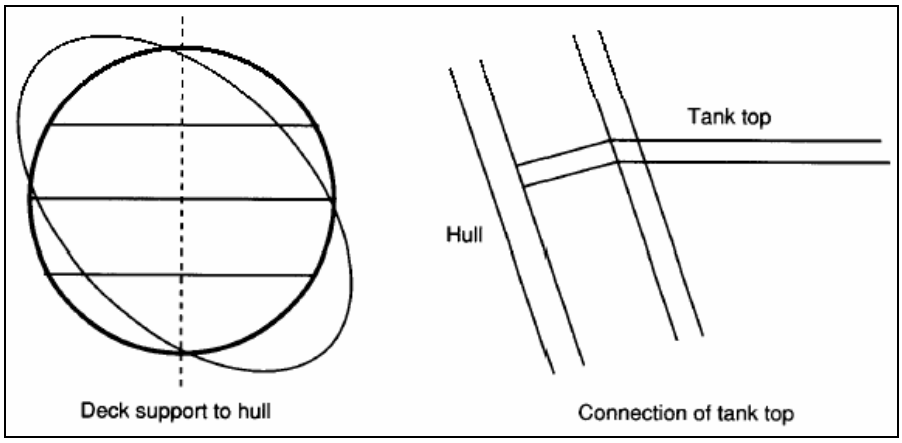
شکل ۱۰-۵- کمانش بخش‌های کروی شکل (گنبدی)

سازه‌های تقویت کننده داخلی

۱۶-۵) حجم داخل بدنه فشار فقط با دیواره‌های عرضی تقسیم‌بندی نمی‌شود تا موجب تقویت استوانه گردد بلکه توسط عرشه‌های مختلف نیز تقسیم می‌شود و در پایین‌ترین قسمت بدنه محل سازه‌های مخازن می‌باشد.

معمولاً از اثر تقویت کنندگی عرشه‌ها و سازه مخزن در داخل بدنه فشار صرف‌نظر می‌شود، یعنی طراحی بدنه فشار با این فرض که داخل آن خالی است و هیچ سازه‌ای به جز دیواره‌های عرضی اصلی در آن وجود ندارد، انجام می‌گردد. عرشه‌ها اگر به طور مستقیم به بدنه فشار جوش داده شوند، به عنوان گره‌ها یا تقویت کننده‌هایی در عرض قطرها یا مقاطع بدنه عمل می‌نمایند که جابجایی را در آن ناحیه محدود می‌سازند. بنابراین برای

مثال، یک عرشه افقی در وسط ارتفاع استوانه، استوانه را در وسط مقید می‌کند و شکلی از فروریزش را تحمیل می‌کند که در آن قسمت بالا و پایین بدنه به هم نزدیک و پهلوها به سمت خارج متمایل می‌گردند بنابراین عرشه منجر به تخریب زاویه‌ای بدنه می‌گردد وخود بر روی خطی قراردارد که حین تخریب بدنه تغییرشکل نمی‌دهد (شکل ۱۱-۵).



شکل ۱۱-۵- تقویت داخلی بدنه

عرشه‌ها از نظر سازه‌ای معمولاً به صورت صُلب به بدنه فشار متصل نمی‌گردند، زیرا با افزایش عمق، بدنه فشرده شده و این امر سبب انتقال بار به عرشه و کمانش آن می‌شود. با رفتن زیردریایی به عمق های کمتر، عرشه مجدداً صاف می‌شود. به دلیل این اثرات نامطلوب است که بعضاً از عرشه‌های شناور[1] استفاده می‌شود، یعنی عرشه‌ها توسط فریم‌های حلقه‌ای حمایت می‌شوند ولی به طریقی که مستقیماً تحت بارگذاری فشاری از جانب بدنه قرارنمی‌گیرند. این کار را می‌توان یا ازطریق خم کردن لبه عرشه[2] و یا آزادگذاشتن گوشه‌های عرشه انجام داد.عایق‌بندی بین عرشه و بدنه می‌تواند به عنوان یک

1- Floating deck
2 -Dog - Legging

عامل مثبت جهت کاهش انتقال ارتعاش و صدا عمل نماید. از پایین‌ترین عرشه ممکن است به عنوان مخزن مایعات[1] در قسمت کف استوانه استفاده شود که در این صورت عایق‌بندی آن از سازه چندان ساده نیست، به ویژه هنگامی که این مخزن مجبور به مقاومت در برابر فشار آب دریا هم باشد. سازه مخزن به عنوان بخشی از قسمت داخلی سازه بدنه می‌باشد و لذا می‌تواند با تقویت بخش‌هایی از دایره، روش‌های تخریب بدنه را تغییر دهد. ارزیابی شکل دایره‌ای مقطع بدنه فشار می‌تواند به راحتی با اندازه‌گیری قطر بدنه در جهت‌های مختلف مشخص شود ولی دایره بودن واقعی، بایستی بر مبنای اندازه-گیری محور خنثی سازه رینگ یعنی مجموعه پوسته، فریم‌ها به همراه همه فریم‌های مخزن و تیغه‌ها که در آن وجود دارد، باشد. با اینکار اگرچه محور خنثی دایره انحراف زیادی از دایره کامل دارد ولی به دلیل افزایش بسیار زیاد ممان اینرسی ناشی از اثر مخزن و تقویت‌ها این خارج از گردی اثر زیادی در مودهای کمانش بدنه فشارندارد.

اگرچه عایق‌بندی بین سازه سقف مخزن و بدنه فشار کار بسیار مشکلی است ولی به عنوان یک اقدام مناسب باید از اتصال آن با زاویه نامناسب به بدنه فشار که در مخازن با سقف افقی رخ می‌دهد اجتناب کرد. یک راه حل مناسب خم کردن لبه‌های مخزن به گونه‌ای است که در محل اتصال به بدنه عمود بر آن قرارگیرد (شکل ۱۱-۵). این شکل قرار گرفتن، امکان جوشکاری بهتر را فراهم می‌کند و هم انعطاف‌پذیری بهتری در سقف مخزن ایجاد می‌کند تا به طور مستقیم در معرض بارهای ناشی از فشردگی بدنه قرار نگیرد.

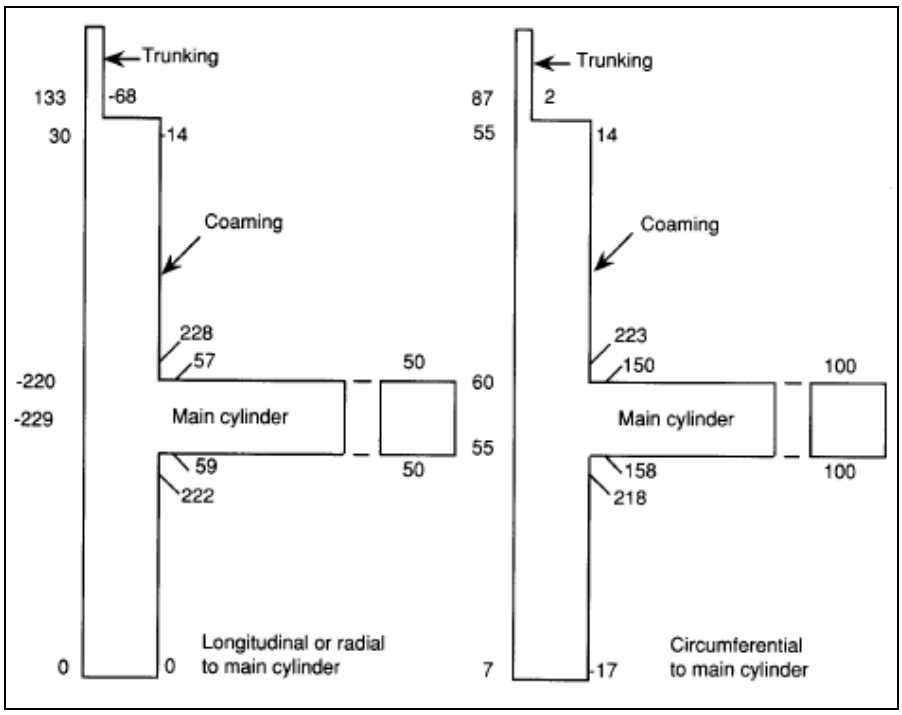
1- Tank top

منافذ بدنه فشار

۱۷–۵) هرچند مطلوب است که برای نگهداری فشار داخلی بدنه در فشار اتمسفر، بدنه فشار نفوذناپذیر باشد، ولی این نیاز هم وجود دارد که منافذ ارتباطی بین بیرون و درون زیردریایی هم وجود داشته باشند، هم برای مواقعی که در زیر آب است و هم به ویژه برای مواقعی که در سطح آب قرار گرفته است. بدین منظور دریچه‌هایی برای امکان ارتباط پرسنل، انبارها با بیرون، منفذهای لوله‌ها، کابل‌ها و ارتباط شفت با تجهیزاتی که بیرون بدنه نصب شده‌اند، در نظر گرفته شده است که امکان کنترل یا راه‌اندازی از درون وجود دارد. آزمایش یک نمونه زیردریایی با داشتن تمامی منافذ مورد نیاز کار چندان مشکلی نیست و موضوع را بهتر مشخص می‌کند. علی‌رغم به عمل آوردن دقت بالا در طراحی پوسته مقاوم در برابر فشار[1] (بدنه فشار) در برخی محل‌ها طراح ناچار است که نقاطی را برای منافذ در نظر بگیرند. باید در طراحی محل این سوراخها دقت لازم را به عمل آورد تا باعث تمرکز تنش، ایجاد شکست و تخریب بدنه فشار نگردد. معمولاً این سوراخها را به شکل دایره‌ای در نظر می‌گیرند، اگرچه به ندرت پیش می‌آید که مجبور به ایجاد سوراخهای بیضی شکل بلند باشیم. سوراخ دایره‌ای باعث تمرکز تنش در لبه‌های سوراخ می‌شود. برای یک صفحه مسطح با سیستم تنش ۲ در ۱، ضریب تمرکز تنش سوراخ ۲/۵ خواهد بود. برای یک پوسته دارای انحنا، ممکن است به جای آنکه کرنشها در لبه‌های سوراخ به صورت غشایی باقی بمانند، ورق به صورت شعاعی حرکت کند و باعث تمرکز تنش بیشتر نسبت به صفحه مسطح گردد. معمولاً این سوراخها را با تقویت کننده‌های استوانه‌ای روی پوسته تقویت می‌نمایند و یا حول دریچه‌های بزرگ صفحاتی در کنار لبه‌ها متصل می‌نمایند که وظیفه سازه‌ای نیز بر عهده دارد و از انحنای پوسته در محل لبه‌ها و تغییر شکل در راستای

1- Pressure tight shell

شعاعی بدنه جلوگیری می‌کند. با اینکار می‌توان فرض کرد در پوسته خمیده نیز تمرکز تنش صفحه‌ای ایجاد می‌شود (شکل ۱۲–۵).

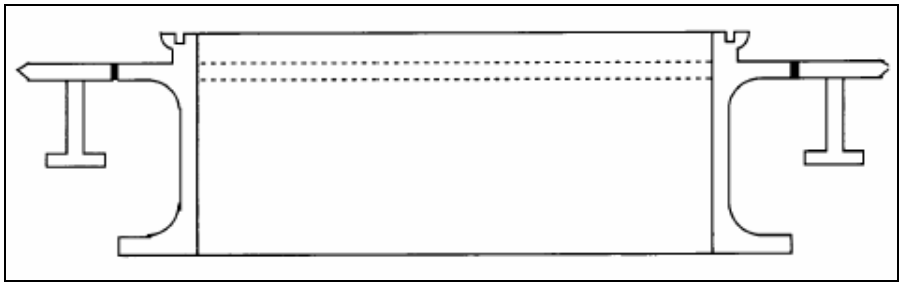


شکل ۱۲–۵– تنش‌های نسبی در محل منافذ بدنه

۱۸–۵) بزرگترین سوراخ روی بدنه، دریچه جهت رفت و آمد پرسنل و ورود و خروج وسایل از انبارها می‌باشد که در بالای بدنه تعبیه شده است (شکل ۱۳–۵). این دریچه معمولاً بزرگتر از فضای بین حلقه‌های تقویت کننده پوسته می‌باشد. لذا نیاز است که برخی از فریم‌ها جهت دست یافتن به چنین دریچه‌ای بریده شوند. بریدن این فریم‌های دایره‌ای جهت این دریچه‌ها و سوراخهای دیگر در ساخت زیردریایی کاری رایج است، ولی باید توجه داشت که اگر این فریم‌های بریده شده در معرض بارگذاری خارجی فشاری حول محیط بدنه فشار

قرار گیرد، بریدگی آنها باعث تضعیف و کاهش تقویت پوسته می‌شود. یک راه جبران این اثر تضعیف، گذاشتن قطعات فشرده (لاستیکی) در بین قسمت‌های بریده، در زمانی که از دریچه‌ها و منافذ استفاده نمی‌شود، می‌باشد. در عمق آب، مشخص خواهد شد که این قطعات حایل، تحت بارهای خارجی قرار خواهند گرفت چرا که در جای خود بسیار محکم قرار گرفته‌اند. البته این راه حل مناسبی نیست، لذا باید تمهیداتی فراهم شود تا بار وارده بر فریم‌های بریده شده، به فریم‌های مجاور منتقل گردد و فریم‌های مجاور به اندازه کافی تقویت شده باشند تا بتوانند بار اضافی حاصل از فریم‌های بریده شده را نیز تحمل کنند.

بیشتر سوراخ‌های اصلی بدنه بصورت مستقل طراحی می‌شوند ولی برای سطوحی که چندین سوراخ کوچک در نزدیکی یکدیگر قرارگرفته‌اند معمولا ضخامت آن سطح را حتی تا دو برابر افزایش می‌دهند تا سطحی با تنش کم ایجاد شود و بتوان سوراخ‌ها را بدون تقویت اضافی ایجاد کرد بنابراین می‌توان از جوشکاری نزدیک به هم سطوح نشیمن شیرهای بدنه و سایرمجاری که در محل این سوراخ‌ها قرار می‌گیرند اجتناب نمود. عیب دیگراستفاده از نشیمن‌ها آن است که نقش افزاینده تنش را دارند.



شکل ۱۳–۵– مثالی از یک بدنه بزرگ به صورت باز

روشی که امروزه بعضاً برای سوراخ‌های اصلی به کار گرفته می‌شود، استفاده از قطعه آهنگری[1] می‌باشد که هم می‌تواند به عنوان تقویت کننده سوراخ و هم به عنوان قسمتی از پوسته باشد که می‌تواند به عنوان بخشی از بدنه فشار به آن جوش بخورد. این روش مقدار جوشکاری روی بدنه را کاهش می‌دهد و عوامل افزایش تنش را نیز کاهش می‌دهد؛ این روش همچنین برای پیوستگی بهتر سازه پوسته در محل اطراف سوراخ مناسب است.

۱۹-۵) بسیاری از سوراخ‌های داخل بدنه برای لوله‌کشی جهت انتقال آب دریا برای استفاده‌های مختلف درون بدنه است. این لوله‌ها باید قادر به تحمل فشار آب دریا باشند و باید دارای ضخامت کافی و استحکام مطلوب باشند. فشار خارجی باعث انقباض بدنه می‌شود و آن نیز باعث جابجایی در محل اتصال بدنه و لوله‌ها می‌شود و تنش‌های زیادی را روی لوله‌ها ایجاد می‌کند که آنها را در آستانه شکست قرار می‌دهد. باید دقت لازم در انعطاف‌پذیر بودن مسیر لوله‌کشی‌ها، بخصوص برای مسیرهای پیچ در پیچ لوله‌گذاری شده انجام پذیرد. اگرچه این مسایل جزء کارهای ریز طراحی است ولی در طراحی کلی زیردریایی باید فضای اضافی لازم جهت چنین تمهیداتی در نظر گرفت.

سوراخ‌های پوستهٔ سخت منشاءهایی برای آبگرفتگی درون زیردریایی در عمق آب هستند. شکست دریچه اصلی زیردریایی می‌تواند اصلی‌ترین عامل آبگرفتگی آن باشد، به طوری که دیگر قادر به آمدن به سطح آب نباشد. اگر احیاناً شکست در یکی از این سوراخ‌ها اتفاق بیافتد، گریزی از تبعات ناگوار آن نخواهد بود. منافذ و سوراخ‌های زیادی در بدنه زیردریایی وجود دارد که برخی از آنها مرتبط با آب دریا هستند و باید به خوبی عایق‌بندی شوند تا حتی‌الامکان از شکست داخلی آنها جلوگیری شود.

1- Forging

اثر ضربهٔ ناگهانی[1]

۲۰–۵) یکی از این محل‌هایی که در اثر ضربهٔ ناگهانی مانند انفجار دچار شکست می‌شود، منافذ و سوراخ‌ها هستند. خود بدنه فشار در مقابل تغییرات اندک بارهای وارده مقاوم است و تقریباً در برابر ضربه‌های ناگهانی سنگین نیز انعطاف‌پذیر است، لذا می‌تواند در مقابل ضربات انفجار نیز مقاومت نشان دهد. منافذ و دریچه‌ها اگرچه در این سازهٔ انعطاف‌پذیر، به صورت موضعی به صورت نقاط سخت هستند، ولی می‌تواند در معرض تنش‌های بالایی قرار گیرد و در آن نقطه دچار شکست شود. بیشترین حالتی که ممکن است پوستهٔ سخت به کلی دچار شکست شود، در اثر ضربات و تکانه‌های کلی بر بدنه زیردریایی می‌باشد، چرا که سازهٔ زیردریایی در ابتدا برای مقاومت در برابر تنش‌های محیطی طراحی شده است و به صورت طولی تقویت نشده است. اگر انفجار موجب رزنانس یا تشدید ارتعاش در یکی از تیرهای حلقوی شود، شکست می‌تواند اتفاق بیافتد. مشاهده اثرات انفجار خارجی روی قسمت‌های داخلی بدنه جالب است. در ثبت آرام این لحظات، قطعات سنگین و صُلب سازه و لوله‌کشی‌ها چنان رفتار می‌کنند که گویا از جنس لاستیک ساخته شده‌اند. حتی لبه‌های بیرونی[2] دریچه‌های بدنه که کاملاً ضخیم هستند، در حین ارتعاش چنان تخریب می‌شوند که آب از بین شیار آن عبور کرده و شیار مرتباً باز و بسته می‌شود.

در طراحی زیردریایی باید تمام چنین حرکاتی را در نظر گرفته و فضایی کافی بین تجهیزات و بدنه لازم لحاظ شود تا تصادم و صدمه‌دیدگی ناشی از آن نتواند موجب شکست ضربه‌ای شود.

1- Shock
2- Flange

ساخت سازه‌ها

۲۱-۵) در طراحی یک سازه برای مقاومت در مقابل بارگذاری فشاری، باید روش ساخت سازه نیز مورد توجه باشد. همانطور که پیش از این بیان شد، سازهٔ بدنه فشار همانند یک استوانه دارای روش ساخت نسبتاً ساده‌ای است، چرا که پوستهٔ صفحات آن با رول کردن در یک جهت شکل گرفته و حالت دایره‌ای مقطع سیلندر، شکل می‌گیرد. شکل بدنه فشار جهت برآوردن نیازهای هیدرواستاتیکی می‌تواند با ساخت چند سری از استوانه و شکلهای مخروطی که به یکدیگر جوش می‌خورند، انجام شود. تا جایی که ممکن است جوش‌های محیطی متصل به پوسته بدنه باید در معرض کمترین تنش‌ها باشد، یعنی این جوش‌ها نباید در جایی که حداکثر تنش خمشی وجود دارد، قرار گیرند. این مطلب نیز دارای اهمیت است که بین خط جوش‌هایی که از جهت‌های مختلف به یک نقطه می‌رسند، نباید پیوستگی وجود داشته باشد. بنابراین بهتر است قطعات استوانه‌ای به شکلی کنار هم قرارگیرند که درز جوش طولی آنها در یک امتداد نباشد و با درز جوش محیطی به شکل صلیب درنیاید. همچنین در مسیر جوشکاری نباید سوراخ‌ها و منافذی وجود داشته باشد و خط جوش نباید قطع گردد و باید تا انتها جوشکاری صفحه ادامه یابد.

با توجه به دقت بالا در درجه حرارت و کنترل فشار و توجه ویژه به ترتیب جوشکاری، جوشکاری بدنه فشار می‌تواند جهت تحمل تنش‌های وارد بر سازه، قابل اطمینان باشد. همچنین جوشکاری باعث ایجاد اعوجاج در سازه می‌شود که ممکن است برای چنین پوسته تحت فشاری، سودمند باشد و یا ممکن است سودمند نباشد. از این نظر بحث جالبی در مورد انتخاب مناسب بین استفاده از فریم‌بندی درونی یا بیرونی بدنه فشار وجود دارد. فریم‌بندی داخلی اصولاً شامل جوشکاری تیغه‌های تقویت کننده‌ها بر روی قسمت داخلی پوسته بدنه می‌باشد. انقباض جوش باعث حرکت اندک پوسته بدنه بین فریم‌ها، به سمت داخل می‌شود که یک اثر هماهنگ روی بدنه ایجاد می‌کند. این یکی از خصوصیت‌های

شکست است که سابقاً توضیح داده شد، بنابراین می‌توان حدس زد که سازه به زودی دچار شکست گردد. در مقابل، جوشکاری فریم‌های بیرونی باعث حرکت اندک رو به خارج پوسته بدنه بین فریم‌ها می‌گردد، بنابراین شکلی به پوسته بدنه می‌دهد که آن را برای مقاومت در برابر فشار، مناسب‌تر می‌کند. در حقیقت،استوانه‌های کنگره‌ای[1] شامل مجموعه‌ای از پوسته‌های حلقوی با مقطع کروی که در محل رینگ‌ها به هم متصل شده-اند، مقاومت بهتری در برابر بارگذاری از خود نشان می‌دهند که البته ساخت پوسته به چنین شکلی بسیار گران و هزینه بر خواهد بود. در مورد فریم‌های داخلی، جوشکاری تنها برای نگهداشتن فریم در جای خود و فراهم آوردن سختی لازم در لبه‌های فریم برای مقاومت در برابر کمانش آن می‌باشد. بنابراین عملاً نیازی به یکپارچه کردن بدنه و تقویتها از طریق جوشکاری نیست و حتی در غیاب جوش نیز بار فشاری وارد بر بدنه به تقویتها منتقل می‌شود. با اینحال در فریم‌های خارجی، بارگذاری بین فریم‌ها و پوسته بدنه بوسیله اتصال جوش‌ها منتقل می‌شود؛ هرگونه نقص یا ترک در جوش می‌تواند به شکست فاجعه بار کل سازه منجر شود.

مشکل‌ترین قسمت بدنه فشار جهت ساخت، اشکال گنبدی شکل در دو انتهای بدنه می‌باشد. در زیردریایی‌های کوچک، این قسمت می‌تواند از یک تک صفحه تشکیل شده باشد و از روش چرخکاری گرم[2] می‌توان اشکال کروی و گنبدی را تهیه نمود. برای پوسته‌های سخت بزرگ، ماشین آلات لازم برای چرخکاری گرم صفحات بزرگ وجود ندارد و حالت گنبدی شکل انتهایی آن باید از صفحات یا مجموعه‌ای از صفحات به وجود آید. هر قسمت باید با توجه به موقعیت آن در قسمت گنبدی شکل، دارای انحنای دو بعدی شود و سپس این قطعات به یکدیگر متصل می‌گردند و جوش می‌خورند تا شکل

1- Corrugated cylinder
2 -Hot spun

گنبدی را ایجاد کنند. جوشکاری این قسمت‌ها ممکن است سبب انحراف پوسته از شکل صحیح آن و در نتیجه کمانش زودرس گردد.

خستگی[1]

۲۲-۵) در فصل‌های قبل سازه بدنه فشار به عنوان جسمی که تحت فشارهای استاتیک خارجی قرار می‌گرفت، بررسی شد. یکی از ویژگی‌های زیردریایی شامل آمدن به سطح آب و رفتن به حداکثر عمق و عمق‌های مختلف و رفت و آمد بین این اعماق است. لذا در این صورت بدنه زیردریایی در معرض بارهای نامنظم متناوب خارجی قرار می‌گیرد. در حداکثر عمق زیردریایی قسمت‌هایی از بدنه متحمل تنش‌هایی می‌گردد که مواد را به نقطه تسلیم آنها نزدیک می‌کند. از آنجا که این تنش‌ها نباید موجب شکست سازه گردد، کارآیی زیردریایی محدود به تعداد دفعاتی می‌شود که به حداکثر عمق می‌رود، یعنی تعداد دفعاتی که سطح بالایی از تنش‌ها بر آن وارد می‌شود.

با توجه به اینکه سازه عمومی زیردریایی در عمق آب تحت تنش‌های فشاری قرار می‌گیرد، نباید انتظار داشت که دچار مشکلات خستگی شود چرا که بیشتر مواد تنها به ازای سیکل بارگذاری کششی ممکن است دچارخستگی شوند. ولی همانطور که بحث خواهد شد، مناطقی روی سازه و پوسته بدنه وجود دارد که در معرض عکس‌العمل‌های خمشی قرار می‌گیرند و تنش‌های کششی در آن به وجود می‌آید. همچنین ممکن است در اثر جوشکاری و مونتاژ (سرهم کردن قطعات)، تنش‌های پسماند به گونه‌ای باشد که مواد در ابتدا در معرض شرایط کرنش‌های کششی بزرگ قرار گیرند. در این شرایط سیکل غوص از سطح آب به حداکثر عمق، بصورت افزایش تنش‌ها و کرنش‌های فشاری نیست بلکه بصورت کاهش تنش‌ها و کرنش‌های کششی از حداکثر مقدار خود در سطح آب تا

1- Fatigue

حداقل مقدار خود در حداکثر عمق می‌باشد. در نتیجه، باید طراحی به صورتی باشد که سازه تحت تأثیر کرنش‌های اندک تناوبی در قسمت کششی[1]، قرار گیرد. فولاد معمولی[2] به دلیل خصوصیت نقطه تسلیم آن، مشکل چندانی ازاین لحاظ پیدا نمی‌کند. ولی امروزه با استفاده از فولادهای عملیات حرارتی شده با نقطه تسلیم بالا و فولادهای آلیاژی که آن ویژگی فولادهای معمولی را ندارند ممکن است در نواحی با سیکل تنش و کرنش بالا دچار شکست ناشی از خستگی شوند، بنابراین باید طراحی به گونه‌ای باشد که تنش‌های محدودی بر سازه وارد شود و باید دانست که آیا سازه دارای دوره عمر محدودی است یا خیر. این عوامل ممکن است باعث محدودیت‌های عملیاتی و کاربردی شود که عمق سرویس‌دهی و عملیاتی زیردریایی را کاهش دهد.

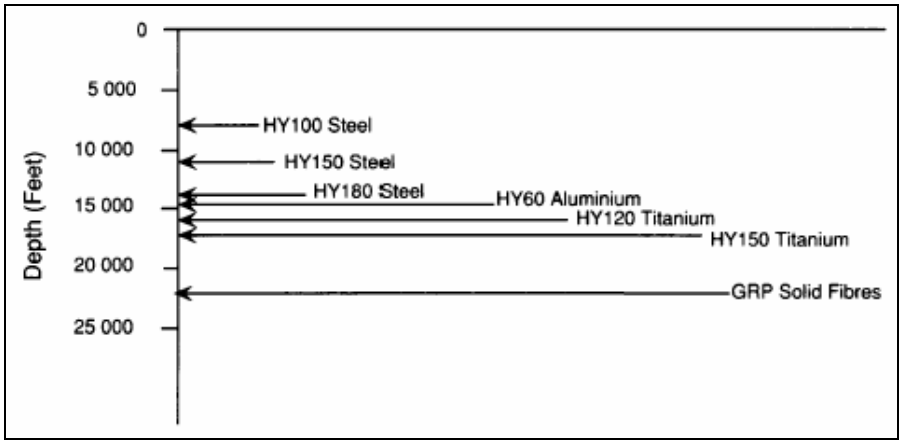
انتخاب مواد

۲۳-۵) بهترین انتخاب مواد جهت ساخت بدنه زیردریایی، فولاد با استحکام کششی بالا می‌باشد که با آلیاژی کردن یا عملیات حرارتی بدست می‌آید. فولاد دارای برتری‌هایی همانند داشتن مدول الاستیسیته بالا است که امکان طراحی در تنش‌های تسلیم بالا، بدون مشکلات کمانش را فراهم می‌کند. همانطور که استحکام فولاد با تکنیک‌های مختلفی افزایش می‌یابد، مدول الاستیسیته آن ثابت می‌ماند و در نتیجه موقعیتی به وجود می‌آید که دیگر تنش تسلیم معیارطراحی نخواهد بود بلکه کمانش الاستیک تعیین کننده است. اگر این شرایط اتفاق بیافتد لازم است که از مواد دیگری برای رسیدن به استحکام مناسب در مقابل کمانش استفاده کرد و مزیت‌های دیگری نمی‌توان از مواد با استحکام و سختی بالا بدست آورد. سایر مواد، همانند آلومینیم و پلاستیک‌های تقویت شده می‌توانند به استحکام‌های بالا دست یابند، اما مدول الاستیسیته آنها به همان نسبت کم است و کمانش

1- Tensile
2- Mild steel

به عنوان معیاری از شکست به وجود می‌آید. اتصال و سرهم کردن این مواد هم با مشکلات خاصی مواجه است. این مواد برای شناورهایی که تا عمق بسیار زیاد غوص می‌کنند، می‌توانند تنها منبع مورد استفاده باشند ولی لازم است از شکل خاصی برای آنها استفاده شود تا به ازای استحکام بالا، مقاومت به کمانش خوبی نیز داشته باشند. برای به کار بردن این مواد ممکن است که نیاز شود از اشکال متفاوت هندسه بدنه فشار به غیر از پوسته‌های تک جداره‌ای[1] استفاده شود، برای مثال سازه‌های دو پوسته‌ای Cellular جهت دست یافتن به سختی مورد نیاز در مقابل کمانش در عمق آب. توجه بیشتری هم باید به جزییات و منافذ زیردریایی معطوف گردد، به ویژه هنگامی که مواد پلاستیکی تقویت شده به کار گرفته می‌شوند. این قطعات باید پیش ازمونتاژ به شکل دقیقی طراحی وساخته شوند زیرا حتی ایجاد یک سوراخ ساده در آنها برای قراردادن قطعه‌ای در آن غیرممکن است.هرچند که فولاد، به دلیل راحت‌تر بودن مونتاژ و سرهم کردن قطعات رایج‌ترین ماده مورد استفاده است. ولی فولاد دارای خواص مغناطیسی می‌باشد که برای زیردریایی نظامی فاکتور مناسبی نیست، لذا جدا از مباحث سازه‌ای، موارد دیگری هم در انتخاب سایر مواد در ساخت زیردریایی دخیل هستند. شکل ۱۴-۵ خواص و ویژگی‌های بالقوه مواد مختلف را از نظر دست یافتن به عمق غوطه‌وری بیشتر نشان می‌دهد. این نمودار نشان می‌دهد که برای دست یافتن به عمق‌های بیشتر، استفاده از بدنه فولادی رضایتبخش‌تر می‌باشد. تنها برای مخازن با عمق غوطه‌وری بسیار زیاداست که موادی به غیر از فولاد باید مورد بررسی جدی قرارگیرد.

1- Single skin pressure



شکل ۱۴–۵– عمق‌های عملیاتی بدنه فشار کروی (وزن برابر ۵۰ درصد شناوری است)

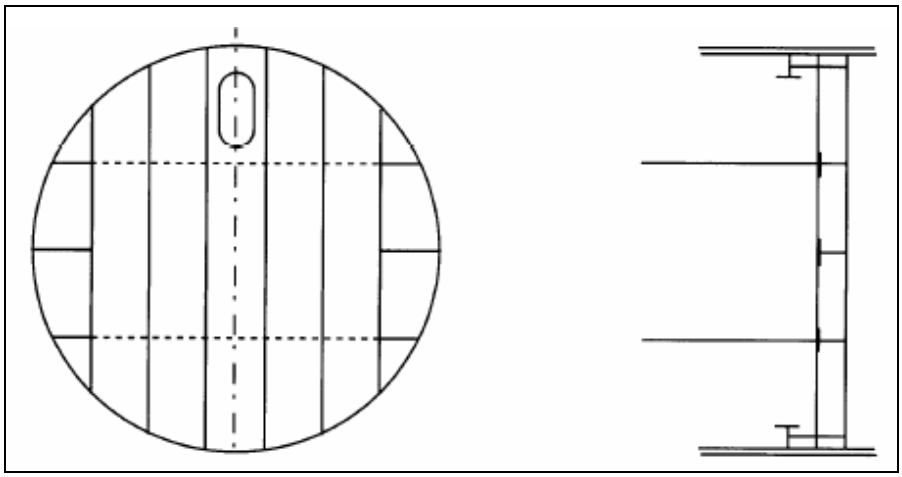
سایر سازه‌ها

۲۴–۵) در این فصل تاکنون بیشتر تأکید ما بر روی سازه بدنه فشار بود که قسمت اصلی طراحی زیردریایی را تشکیل می‌دهد، ولی در زیردریایی سازه‌های دیگری هم وجود دارند.

* **دیواره‌ها:**

نشان دادیم که برای جلوگیری از فروپاشی کلی استوانه مجهز به تقویت کننده‌های حلقوی، باید به طور متناوب از دیواره‌ها در طول زیردریایی استفاده کرد؛ معمولاً از آنها درفواصلی به اندازه دو برابر قطر بدنه فشار استفاده می‌شود. دیواره‌ها، استحکام شعاعی پوسته را ایجاد می‌کند در حالیکه پوسته برای تأمین سختی صفحه‌ای نیازمند ضخامت نسبتاً کمی است. البته باید بدانیم، از آنجا که دیواره‌ها در معرض بارهای فشاری شعاعی در اطراف لبه‌ها قرار می‌گیرند، اگر این صفحات تقویت شده نباشند، در معرض کمانش قرار می‌گیرند و باید دانست که بارهای شعاعی وارد چه مقدار بر پوسته فریم‌های حلقوی و چه

مقدار بر دیواره‌ها وارد می‌شوند. برای پرهیز از کمانش دیواره‌ها، باید از تقویت کننده‌هایی که دارای مقطع T هستند[1]، استفاده کرد به گونه‌ای که شبکه‌ای از صفحه و تقویت کننده‌ها روی دیواره‌ها داشته باشیم. اگرچه بهتر است که از تقویت کننده‌های شعاعی استفاده گردد، ولی معمولاً در بخش مرکزی دایره از تقویت کننده‌های عمودی استفاده می‌شود که به‌عنوان تکیه‌گاه تیرهای حمال عرشه‌های افقی می‌باشند. در کناره‌ها، از تقویت کننده‌های افقی میانی استفاده می‌شود که برای تحمل قسمتی از بارهای شعاعی به کار می‌روند (شکل ۱۵–۵).



شکل ۱۵–۵– تقویت کننده‌های دیواره‌های عرضی

این دیواره‌ها مثالی از استفاده چند جانبه از یک سازه می‌باشند که باعث تقویت بدنه و عرشه و تجهیزات فرعی تقویت سازه زیردریایی می‌شود. برخی از این دیواره‌ها ممکن است کاربردهای دیگری هم داشته باشند، مثلاً دیواره‌هایی که به دیواره‌های نجات[2] معروف هستند. وقتی زیردریایی دچار تصادم می‌شود، آب وارد قسمت داخل زیردریایی

1- T-section stiffener
2- Escape bulkhead

می‌شود و این دیواره‌ها منطقه نفوذ آب را محدود می‌کنند تا خدمه بتوانند در قسمت‌های دیگر جان خود را حفظ کنند. این دیواره‌ها قادر به تحمل فشار آب دریا هستند که البته بستگی به عمق غوص زیردریایی هم دارد. ورق‌های مسطح با شبکه‌ای از تقویت‌ها[1] گزینه مناسبی برای مقاومت در برابر فشار آب دریا نیستند مگر آنکه از تقویت‌های نسبتاً قوی برروی آنها استفاده شود، همچنین ترفندهای طراحی متفاوتی برای این دیواره‌های نجات می‌توان در نظر گرفت و البته باید امیدوار بود که این دیواره‌ها هرگز به کار نروند. اگرچه معمولاً سازه‌هایی که در معرض بارگذاری هستند باید در محدوده الاستیک مواد طراحی شوند، اما برای این قسمت‌های سازه می‌توان طراحی قطعات را برای رسیدن به استحکام قابل توجهی از ماده، در محدوده پلاستیک آن انجام داد. مشکل این امر تغییرشکل دائمی دیواره است که باتوجه به انکه این امر تنها یکبار اتفاق می‌افتد لذا بلامانع است. در مورد دیواره‌های چندمنظوره اگر چه به عنوان تکیه‌گاه عرشه‌ها و سقف مخازن استفاده می‌شوند، ولی در شرایط آبگرفتگی، عرشه‌ها باید به گونه‌ای طراحی شوند که حمایت لازم را از دیواره‌ها به هنگام آبگرفتگی بعمل آورند.

* مخازن داخلی که در معرض فشار آب دریا هستند:

۲۵-۵) معمولاً قسمت‌هایی از مخازن داخلی از بدنه فشار می‌باشد. انتهای آنها نیز ممکن است قسمت پایینی یک دیواره باشند ولی سقف آن صفحه شبکه‌بندی شده دیگری است که همان مشکلات دیواره‌ها تحت فشار جانبی را خواهدداشت. اگر طراح زیردریایی بخواهد مخازن داخلی به گونه‌ای باشند که مرتباً با فشار آب دریا در تماس باشند، برای اینکه تنش‌های وارد بر آن کمتر از حد الاستیک باشد، باید دارای سازه بسیار سنگینی باشدکه امری نامطلوب است. بهتر است که اگر در صورت امکان از مخازن با هندسه استوانه‌ای

1- Flat plate grillage

استفاده کرد، مثلاً مخازن D و مخازن Q. مخازن داخلی در طراحی زیردریایی وجـود دارد، ولی در حالت مطلوب نباید با فشار آب دریا در تماس باشد.

در این موارد ممکن است یک طراحی پلاستیک[1] در نظر گرفته شود، اما باید دانـست کـه فشارهای تصادفی قطعاً سازه را تخریب و منهدم خواهد کرد. اگر مـشکلات دیگـری بـروز ننماید، این نتیجه قابل قبول است ولی در صورت ایجاد تخریب، هزینه گزافی باید صـرف تعمیر این تخریب شود.

* مخازن شناوری اصلی خارجی:

۲۶-۵) این مخازن معمولاً به گونه‌ای که با فشار آب دریا متعادل شوند طراحـی مـی‌شـوند، لـذا می‌توان گفت آنچه نیاز است یک سازه صفحه‌ای سبک می‌باشد. کاربرد این مخازن بـرای شناور ماندن زیردریایی در سطح آب است. در عین حال باید سازه ایـن مخـازن خـارجی و اتصالات آنها به بدنه طوری مناسب باشند که نیروی شـناوری را انتقـال دهنـد. همچنـین هنگامی که زیردریایی در سطح آب می‌باشـد، ایـن مخـازن در معـرض امـواج دریـا قـرار می‌گیرند و لذا باید استحکام لازم جهت مقاومت در برابر این ضربات را داشته باشـند. اگـر چه این مخازن به طور عادی با فشار آب دریا متوازن می‌گردنـد، در شـرایط مختلفـی کـه گفته خواهد شد، در معرض اختلاف فشارهای داخلی متفاوتی قرار خواهند گرفت.

الف) وقتی زیردریایی به صورت ایستایی شناور است، فشار مخزن برابر فـشار آب دریـا در سوراخ‌های آبگیری می‌باشد و لذا قسمت فوقانی مخزن در معرض فشار هوا خواهـد بـود و اختلاف فشار معادل یک یا بیشتر از یک اتمسفر را خواهد داشت.

ب) در حین آمدن به سطح آب، هوا با فشار بالا به داخل مخـزن وارد مـی‌شـود تـا آب را جابجا کند. برای بیرون راندن آب از سوراخ‌های آبگیری، باید اختلاف فـشار وجـود داشـته

1- Plastic design

باشد (سرعت متناسب با $\sqrt{\Delta P}$). دبی حجمی خروج آب باید برابر با دبی حجمی هوای وارد شده بر آن باشد. لذا باید اختلاف فشاری در درون مخزن به وجود آید که بزرگی آن وابسته به دبی و فشار هوای وارد شده و مساحت مقطع سوراخ آبگیری می‌باشد. این فشار باید در طراحی سازه‌ای مخزن به حساب آورده شود.

ج) در مخازن شناوری اصلی، هوای دمیده شده به داخل مخزن شاید نتواند به طور کامل آن را از آب دریا خالی نماید. اگر زیردریایی بالا بیاید، متناسب با کاهش فشار دریا، این هوا منبسط خواهد شد؛ اما انبساط همانند حالت (ب) وابسته به دبی تخلیه آب می‌باشد. اگر زیردریایی شتاب بگیرد و به سرعت به سطح آب بیاید، آب در زمان مناسب تخلیه نخواهد شد و فشار قابل ملاحظه‌ای در داخل مخزن به وجود خواهد آمد. این امر نیازمند محاسبات دقیق در مراحل جزیی طراحی دارد که البته ممکن است این مخزن نسبت به سایر شرایط دیگر، نیازمند سازه قوی‌تر و سنگین‌تر باشد.

د) مخازن خارجی سوخت باید همواره توسط فشار دریا متعادل گردد و نباید در معرض اختلاف فشار داخلی موجود در مخازن شناوری اصلی باشد. آنها باید در برابر بیشتر بارهایی که بر روی پوسته خارجی وارد می‌شوند مقاومت کنند و بنابراین ممکن است کاملاً شبیه مخازن شناوری اصلی باشند. بعضاً در داخل این مخازن، دیواره‌های موضعی نصب می‌شوند که یک ماز[1] (مسیر پر پیچ و خم) بین سوخت داخل مخزن و آب ورودی برقرار می‌کند و اثر ضربه و کوبش سیالات به بدنه مخزن (پدیده اسلوشینگ[2]) و اختلاط سوخت و آب را با کاهش مساحت مشترک، کاهش دهد.

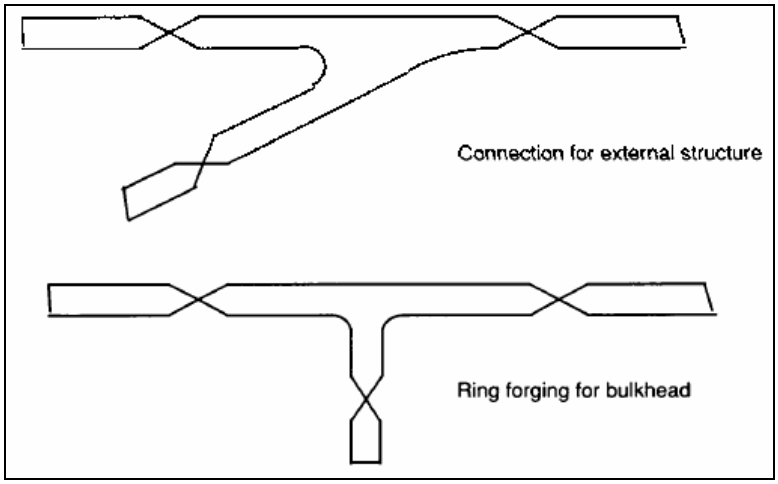
1- Labyrinth
2- Sloshing

*** سایر سازه‌های بدنه:**

۲۷-۵) سازه آبگیر آزاد جلوی زیردریایی هم توسط فشار آب دریا متوازن می‌گردد که البته ممکن است در اثر بارهای ناشی از امواج دچار صدمه‌دیدگی شود. این سازه چون بخشی از مخازن شناوری اصلی را تشکیل می‌دهد لذا سازه‌ای پیچیده خواهدبود در حالیکه قسمت دیگری از آن ممکن است محل مخازن انبار اژدر[1] باشد که در معرض فشارهای داخلی بسیار زیادی قرار گیرد. این سازه همچنین برای قرار گرفتن سونار سینه، لوله‌های اژدر، بالک‌های جلو و تجهیزات لنگراندازی، در آن به کار می‌رود. برخی از این موارد بارهای بسیار سنگینی را بر قسمت جلوی سازه وارد می‌کنند و این قسمت همانند پایه‌ای[2] متصل به بدنه اصلی می‌باشد. یکی از مشکل‌ترین قسمت‌های بدنه جهت انجام اتصالات، این قسمت می‌باشد. قسمت جلوی بدنه باید از نظر هیدرودینامیکی یک ناحیه صاف انتقالی[3] باشد. از آنجا که این قسمت گنبدی- مخروطی می‌باشد و اتصال آن با بدنه، در یک زاویه تند صورت می‌گیرد، مشکلات جوشکاری خاصی دارد. یک راه حل، استفاده از حلقه واسطه آهنگری شده با یک دهانه باز بین قسمت مخروطی و گنبدی شکل می‌باشد (شکل ۱۶-۵).

همین مشکلات در قسمت عقب سازه به وجود می‌آید که تا اندازه‌ای شبیه مخازن شناوری اصلی می‌باشد که وظایفی نظیر کنترل نیروهای حاصل از سکان‌ها و بالک‌ها و تحمل یاتاقان‌های شفت دُم زیردریایی و سیستم پیشران را بر عهده دارد. از آنجا که سازه قسمت پاشنه و دُم یک مخروط باریک است، لذا اتصال سازه‌ای آن ممکن است مشکل‌تر از قسمت سینه باشد.

1- Torpedo discharge tank
2- Cantilever support
3- Smooth transition



شکل ۱۶-۵- اتصالات ریخته‌گری شده

روبناسازی[1]

هرچند کمتر از کشتی‌ها، زیردریایی هم نیاز به روبناسازی دارد. این روبناسازی محل لوله‌کشی، کابل‌ها، آرایش عرشه، دریچه‌های بدنه و غیره بوده وامکان رفت و آمد خدمه بر روی زیردریایی در لنگرگاه را فراهم می‌کند در حالیکه شکلی هیدرودینامیکی دارد. در بدنه دوجداره یا قطر کاهش یافته مقطع بدنه، این سازه قسمت بیرونی مقطع دایره‌ای را شامل می‌شود. در مواردی، این روبنا در ارتفاعی بالاتر از بدنه فشار می‌باشد. صرفه‌جویی و به حداقل رسانیدن وزن در آن ارتفاع بسیار مهم می‌باشد و معمولاً از روکش‌های فولادی و آلومینیمی استفاده می‌گردید، در صورتی که امروزه از فایبرگلاس پلاستیکی تقویت شده GRP[2] استفاده می‌شود. از آنجا که این مواد سبک و مقاوم هستند و دچار خوردگی که مشکل اساسی وسایل مرتبط با آب و هوا می‌باشد، نمی‌شوند، انتخاب خوبی برای این کار به حساب می‌آیند. نیروهای اصلی وارد بر آن، بارهای ناشی از آب دریا می‌باشد و جهت

1- Superstructure
2- Glass Reinforced Plastic

پرهیز از اختلاف فشار، سوراخ‌های تهویه و آبگیری مناسبی باید روی آن موجود باشد. روی پوسته خارجی، برجک به عنوان محافظ پریسکوپ و اجزاء دیگری از زیردریایی قرار دارد. این سازه همچنین باید قادر به تحمل بالک باشد و ممکن است حسگرها و آنتن‌های ارتباطی دیگری در داخل برجک موجود باشد. همانطور که در فصل‌های آتی نشان خواهیم داد، برجک به شدت از نظر هیدرودینامیکی نامطلوب است ولی از آنجا که هنوز هیچ راه حل مناسب دیگری برای برآوردن نیازهای ناشی از قرار گرفتن تجهیزات فوقانی یافت نشده است، ناگزیر از استفاده آن هستیم. معمولاً از فولادهای قوی برای تقویت و حمایت دکل‌ها[1] استفاده می‌شود. روکش برجک ممکن است از فولاد، آلومینیم یا GRP باشد که اگر سطوح زیردریایی در معرض سیال با سرعت بالا قرار گیرند، باعث گرم شدن موقتی آب درون بالک شود و بارهای ناشی از فشار افزایش خواهد یافت.

یک دلیل استفاده کامل از فولاد در ساخت روبناسازی، کارآیی آن در حرکت بین یخ‌ها می‌باشد. هنگامی که نیروی شناوری باعث بالا آمدن زیردریایی از زیر سطح یخ و برخورد برجک با لایه نازک یخ و شکستن آن می‌گردد باید یک حد بارگذاری در طراحی تخمین‌زده شود که ممکن است باعث کج شدن ناپایدار زیردریایی شود، این نیرو مربوط به اندازه زیردریایی و پایداری عرضی زیردریایی می‌باشد.

خلاصه‌ای از فلسفه طراحی سازه‌ای

۲۹-۵) برای بررسی بهتر مسئله طراحی بدنه فشار، پیشنهاد می‌کنیم که سادگی بدنه فشار حفظ شود تا از تنش‌های بالایی که در اثر هندسه با کرنش پیچیده به وجود می‌آید پرهیز کنیم و در عین حال شکل هندسی مناسبی را در نظر بگیریم که استحکام لازم در برابر هر یک از روش‌های شکست کمانش را داشته باشد.

1- Mast

جزییات شکست سازه‌ای که پیش از این بحث شد در مراحل مقدماتی طراحی مستقیماً دخالت ندارد. با این حال طراح زیردریایی باید از این فاکتورها مطلع باشد که ممکن است اثرات کم یا زیادی روی انتخاب شکل هندسی بدنه داشته باشد. بنابراین در این فصل اکیداً توصیه می‌شود که طراح از تغییرات قطر بدنه فشار در امتداد طول بر حذر باشد. لذا باید ملاحظات کلی و منسجمی روی عواملی که باعث تغییر قطر بدنه می‌شود، وجود داشته باشد. این نگاه کلی باید با علم بر پیچیدگی‌های سازه‌ای و عوامل شکست سازه‌ای صورت گیرد. مواردی که در این کتاب ذکر شد باید مد نظر طراح قرار گیرد و سپس تصمیم مناسبی برای انتخاب راه حل مشکلات سازه‌ای، صورت پذیرد. سؤالی که باید در هر طراحی جدید بدان پاسخ داده شود این است که؛ آیا در قبال هزینه صرف شده در هر مورد، بهره‌برداری متناسبی صورت گرفته است؟

۳۰-۵) ما نمی‌خواهیم وارد جزییات آنالیز سازه‌ای بدنه فشار زیردریایی شویم، چرا که این زمینه تخصصی است که در دهه‌های اخیر خیلی روی آن کار شده و مزایای بسیاری به خصوص به وسیله روش‌های آنالیز عددی کامپیوتری بدست آمده است. اگرچه علی‌رغم داشتن دقت بالای این روش‌ها، باز هم بین فشار وارد بر بدنه فشار از نظر عملی و نتایج روش‌های آنالیز تفاوت‌هایی وجود دارد. این خطاها ممکن است باعث روش‌هایی از شکست شود که مستلزم دقت بیشتر در این روش‌ها می‌باشد. لذا باید بیشتر روی روش‌های اصلی شکست تمرکز کرد که این موارد در ذیل پیشنهاد می‌گردد:

کمانش دیواره‌های گنبدی شکل[1]

کمانش کلی استوانه‌های طویل[2]

کمانش موضعی فریم‌های حلقوی[3]

1- Dome bulkhead
2- Long cylinder
3- Tripping of ring frame

کمانش پوسته مابین فریم‌ها[1]

۳۱-۵) در استفاده از ضریب اطمینان در طراحی سازه، ترتیب آن به نحوی است که مودی که بیشترین عدم قطعیت را در تحلیل دارد، ضریب اطمینان بیشتری نیازدارد. این فلسفه منجر به این می‌شود که طراحی سازه‌های بدنه فشار با این فرض صورت گیرد که با فروپاشی و تخریب پوسته مابین فریم‌ها، بدنه دچار شکست خواهند شد؛ بنابراین پس از آن تأکید بر روی این خواهد بود که طراح را قادر کند فروپاشی تحت فشار مابین تقویت‌های بدنه فشار را برای یک هندسه مشخص با دقت هرچه بیشتر به دست آورد. این بحث در ضمیمه ۴ بیشتر بررسی شده است.

۳۲-۵) همانطور که بیان کردیم، هم اکنون برنامه‌های کامپیوتری با داشتن هندسه بدنه و نوع مواد، سازه‌ها را مورد تحلیل و بررسی قرار می‌دهند. تحقیقات باید برای رسیدن به یک طراحی بهینه سازه‌ای صورت گیرد که در آن با داشتن میزان حساسیت یافته‌ها به تغییرات ابعادی، طراح زیردریایی بتواند از فاکتورهای منفی افزایش وزن سازه هم مطلع باشد و طراحی و ساخت آن هم دشوار نباشد. البته در نظر داشتن ضریب ایمنی سازه‌ای با توجه به روش‌های مختلف شکست و داشن اطلاعاتی نظیر هندسه و مواد بدنه فشار ممکن خواهد بود، نظیر:

فروپاشی پوسته مابین تقویت‌ها: ضخامت پوسته بدنه به عنوان تابعی از قطر و فضای بین فریم‌ها؛

فروپاشی کلی: مساحت فریم‌ها و محل دیواره‌ها به عنوان تابعی از قطر؛

کمانش موضعی فریم[2]: نسبت‌های مربوط به فریم و ممان اینرسی؛

1- Interframe collapse
2- Frame tripping

فروپاشی دیواره گنبدی شکل: ضخامت ورقه‌های قسمت گنبدی شکل به عنوان تابعی از انحنای این قسمت.

در فصل قبل پیشنهاد شد که طراحی اولیه براساس اختصاص‌یابی فضاها و وزن مناسب آن با انتخاب عمق غوص مناسب، متناسب با ابعاد سازه صورت گیرد.

در مباحث قبل تأکید اصلی بر روی روش‌های شکست بود که ممکن بود اتفاق بیافتد و باید در جزییات طراحی سازه‌ای برای پیش‌بینی دقیق فروپاشی سازه در عمق معین صورت می‌گرفت. در ابتدای این فصل بحث روی نیازهای رفتن به عمق‌های عملیاتی بود. این دو عامل که ذکر شد در ضریب ایمنی کلی زیردریایی با یکدیگر مرتبط می‌گردند که در این مرحله می‌توان از راهنمایی استانداردهای مختلف استفاده کرد که پس از انجام بررسی‌های کافی انجام می‌گیرد. در انتخاب ضریب ایمنی مناسب، جوانب مختلفی دخیل هستند. شیوه‌های مهندسی وجود دارد که عمق فروپاشی سازه را مشخص می‌کند و تنها بر اثر سانحه و یا یک اشتباه سیستم‌های کنترلی ممکن است که به عمق بیشتری از اعماق استاندارد برود. هم اینک سؤالی مطرح می‌شود که وقتی زیردریایی به حداکثر عمق غوص خود نزدیک می‌شود، تأثیر آن روی عمر سازه چگونه است؟ این ملاحظات منجر به تعریف عمقی می‌شود که زیردریایی به راحتی در آن عملیات کند و تعریف عمق دیگری که زیردریایی تنها در شرایط سخت و ناگوار به آن عمق برود.

فصل ششم

« تولید قدرت در زیردریایی »

مقدمه

۱-۶) قدرت زیردریایی یکی از فاکتورهای مهم تعیین اندازه زیردریایی است. همانطور که در فصل چهارم نشان داده شد، دستگاه‌های تولید قدرت، درصد زیادی از حجم و وزن زیردریایی را به خود اختصاص داده‌اند.

حدود ۳۵ درصد وزن و ۵۰ درصد حجم کل زیردریایی به تولید و ذخیره قدرت در زیردریایی اختصاص دارد. همانطور که نشان خواهیم داد، فاکتورهای تعیین قدرت در ارتباط با اندازه و سرعت زیردریایی هستند و طراح با یک تکرار در طراحی مواجه است. نتیجه ارزیابی قدرت بر حسب حجم مورد نیاز برای تعیین نقشه‌های رانش، خود یکی از فاکتورهای اساسی ارزیابی زیردریایی است. در اصطلاح مهندسی کنترل، به آن حلقه بازگشتی مثبت[1] گویند که می‌تواند براحتی باعث افزایش اندازه کلی زیردریایی در طراحی شود. تولید قدرت زیردریایی‌های معمولی مستلزم مخازن مناسب ذخیره انرژی و تبدیل آن به قدرت مفید است. این راه حلی برای جبران مقاومت زیرآبی زیردریایی می‌باشد. همانطور که پیش‌تر توضیح داده شد، تنها با طراحی مناسب یک زیردریایی می‌توان از سیستم رانش هسته‌ای در آن استفاده کرد و یک زیردریایی بوجود آورد که منبع انرژی آن مستقل و بی نیاز از هوای بیرون باشد و یک زیردریایی واقعی جامه عمل بپوشد و قابل استفاده باشد. البته تولید موفقیت‌آمیز و استفاده عملی از منابع انرژی هسته‌ای نه تنها امکان طراحی‌های مناسب زیردریایی را فراهم کرد، بلکه سایر محدودیت‌ها را نیز تحت تأثیر قرار داد؛ همانند خدمه مورد نیاز و مخازن وسیع ذخیره سوخت، چراکه منابع انرژی هسته‌ای برای

1- Positive feedback loop

سالها دوام می‌آورند در حالیکه در زیردریایی‌های معمولی به روزها یا هفته‌ها محدود می‌شود. این سیستم رانش، بدلیل نصب رآکتورهای هسته‌ای و مسائل ایمنی بالای آن، بسیار هزینه‌بر می‌باشد. رآکتورها در اندازه‌های استاندارد مشخصی وجود دارند که طراحی باید طبق یکی از این اندازه‌ها صورت گیرد. بنابراین می‌توان از سیستم هسته‌ای در زیردریایی استفاده‌های بسیاری کرد و این دستگاههای دارای بازدهی و کارآیی بالا، مستلزم قابلیت‌های بالای طراحی هستند که نیاز به مصرف زیاد انرژی می‌باشد. در زیردریایی‌های کوچک و ارزان قیمت، از سیستم رانش هسته‌ای استفاده نمی‌شود و حتی در زیردریایی‌های بزرگ هسته‌ای هم مسائل اقتصادی مصرف انرژی آن بررسی و ارزیابی می‌شود. در نتیجه، ما می‌توانیم در این فصل بحث نمائیم که ملاحظات طراحی قدرت مصرفی مستقل از انتخاب سیستم‌های قدرت می‌باشد. یکی از فاکتورهای مؤثر در هزینه که بعداً بررسی می‌شود، ارزیابی قدرت می‌باشد. ما تأثیر تفاوت‌های سیستم‌های قدرت و سیستم‌های ذخیره انرژی را روی فرآیند طراحی، آزمایش می‌کنیم.

بیان نیازها

۲-۶) همانند سایر مشخصه‌های طراحی، ارزیابی سیستم قدرت نیز وابسته به نیازهای استفاده کننده می‌باشد. در مورد منابع قدرت و انرژی تقریباً می‌توان گفت به طور عمده وابسته به نیازمندیهای عملیاتی زیردریایی است. علاوه بر آن، ماشین‌آلات تولید قدرت باید نیاز انرژی دیگر سیستم‌های داخلی و حیاتی را تأمین نمایند. این نوع مصارف، مصارف داخلی[1] نامیده و بدینوسیله زیردریایی را زنده نگه می‌دارد. این نیازها معمولا نسبت کوچکی از مجموع انرژی مورد نیاز را شامل می‌شود. برای افزایش مدت زمانی که زیردریایی می‌تواند در زیر

1- Hotel load :
میزان مصرف انرژی الکتریکی برای تأمین احتیاجات ضروری انسان در داخل زیردریایی در زیر آب که شامل مواردی مانند سیستم پیشران و تسلیحات نمی‌شود.

آب بماند، نیاز سیستم رانش باید به حداقل مقدار خود کاهش یابد و مصارف داخلی که از منابع ذخیره انرژی بهره‌برداری می‌نمایند باید با محاسبه دقیق برای مدت زمان ماندن زیردریایی در زیر سطح آب معین شود.

موارد اصلی مصرف قدرت و انرژی زیردریایی عبارتند از حداکثر سرعت و مدت زمان آن، برد عملیاتی یعنی فاصله بین پایگاه اصلی تا محل عملیات و مدت زمان ماندن در زیر آب.

۳-۶) حداکثر سرعت زیردریایی مشکل‌ترین و مهمترین فاکتور مذاکره بین طراح و کاربر می‌باشد، این به این علت است که دسترسی به یک دلیل منطقی جهت حصول حداکثر سرعت مورد نیاز، مشکل است. برآوردن حداکثر سرعت ممکن است پر هزینه‌ترین قسمت طراحی باشد. توان مورد نیاز پیشران یک زیردریایی در زیر سطح آب و در یک حجم مشخص، با توان ۳ سرعت متناسب است. یعنی برای ۲ برابر کردن حداکثر سرعت زیردریایی از ۲۰ گره به ۴۰ گره، توان مورد نیاز رانش باید ۸ برابر شود؛ البته در حقیقت، اگر قدرت پیشران ۸ برابر شود، سرعت بدست آمده ممکن است کمتر از ۴۰ گره باشد و لازم باشد که توان بیشتری برای رسیدن به سرعت مورد نظر صرف شود. طراح ممکن است در موقعیتی باشد که موضوع طراحی نیازی به رسیدن به سرعت‌های بالا را نداشته باشد. در زیردریایی‌های نظامی، داشتن سرعت بالا معمولاً حیاتی است، چرا که با مزیت داشتن سرعت، می‌تواند از چنگ دشمن فرار کند و یا با سرعت هر چه بیشتر به هدف خود نزدیک شود.

از آنجا که یکی از مهمترین تاکتیک‌های جنگی زیردریایی‌ها، مخفی ماندن از چشم دشمن است؛ لذا باید گفت داشتن حداکثر سرعت تنها عامل برتری نمی‌تواند باشد و زیردریایی باید بتواند با سرعت به زیر آب برود تا خود را مخفی نگه دارد. خطای انسانی (طراح و کاربر) اجتناب ناپذیر است و باید یک راه حل عملی برای رسیدن به حداکثر سرعت بالا، با توجه به محدودیت‌های موجود در انتخاب سیستم پیشران و وسائل ذخیره انرژی، در پیش گرفت. باید با یک روش

منطقی، سعی در رسیدن به حداقل و حداکثر سرعت مورد نیاز زیردریایی جهت استفاده‌های عملیاتی داشت. برای رسیدن به این امر می‌توان به جای سرعت از پارامترهای وابسته به آن، یعنی مسافت و زمان استفاده کرد. لذا می‌توان حالتی را در نظر گرفت که زیردریایی می‌خواهد از نقطه A به نقطه B در مدت زمان مشخص برسد. مثلاً زیردریایی می‌خواهد از پایگاه خود به نقطهٔ عملیاتی برسد و این مسیر را باید در یک زمان معین طی کند. بنابراین یک سرعت متوسط انتقال مشخص می‌شود و مطابق با زمان مشخص شده، مواقعی که زیردریایی می‌تواند سرعت خود را کاهش دهد نیز مشخص شده و حداقل سرعت نیز معرفی می‌شود. همچنین ممکن است زیردریایی بخواهد از این محل به محل دیگری برود تا از دسترس دشمن فرار کند و یا به هدف حمله نماید و این کار هم باید در یک مدت زمان معین صورت گیرد. این مورد می‌تواند به حداقل و حداکثر سرعت‌های دیگری منجر شود که در فصل یازدهم مورد بحث قرار گرفته است. نیازهای مطرح شده در این باره می‌تواند برای فرآیند طراحی مفید باشد و موجب لحاظ کردن ملاحظات دیگر شود. میزان اهمیت سرعت باید با سایر فاکتورها مقایسه گردد. مثلاً برخی زیردریایی‌ها مأموریت دارند که تا یک فاصله بسیار دوردست بروند و در همانجا مخفی بمانند که در اینصورت ترتیب اهمیت نیازها فرق خواهد کرد.

۴-۶) می‌دانیم که حداکثر سرعت مورد نیاز، تعیین کنندهٔ اندازه سیستم پیشران می‌باشد، ولی باید دانست که تا چه مدت زمانی می‌توان در این سرعت، از ظرفیت انرژی ذخیره زیردریایی استفاده کرد. از آنجا که در زیردریایی‌های هسته‌ای، همانند سوخت‌های فسیلی محدودیت تجدید سوخت وجود ندارد، لذا زیردریایی‌های اتمی می‌توانند هزاران مایل را در سرعت‌های بالایی طی نمایند. به عبارت دیگر، یک باطری شارژ شده زیردریایی می‌تواند با حداکثر سرعت خود، نیم ساعت کار کند تا بطور کامل تخلیه شود. در این هنگام نیاز است که زیردریایی به نزدیک سطح آب آمده و با عمل نفس‌گیری، موتورهای دیزل خود را برای شارژ مجدد باطری‌ها بکار گیرد. در زیردریایی‌هایی که دارای سیستم قدرت هسته‌ای

نیستند، برد عملیاتی آنها مشخص کننده میزان حمل سوخت آنها می‌باشد که در شروع گشت‌زنی باید حمل نمایند.

زیردریایی باید مدتی را در عمق تنفس[1] سپری کند تا بتواند از هوا جهت تنفس و کارکرد موتورهای دیزل استفاده کند. در طراحی این فرآیند، دیزل ژنراتورها انرژی لازم برای قدرت‌دهی به سیستم پیشران، مصارف داخلی و شارژ کردن مجدد باطری‌ها برای ادامه حرکت زیردریایی در زیر سطح آب، را تولید می‌نمایند. این زمان تنفس زیردریایی فرصت مناسبی برای دشمن می‌باشد تا زیردریایی را از سطح آب و یا هوا ردیابی کرده و مورد حمله قرار دهد. این خطر باعث معرفی یک نسبت خطر[2] در طراحی می‌شود، یعنی نسبت مدت زمانی که زیردریایی باید عمل نفس‌گیری را انجام دهد به کل زمان کارکرد باطری‌ها.

۵-۶) نیاز دیگر زیردریایی که باید مشخص شود مدت زمانی است که زیردریایی می‌تواند در زیر آب بماند که بستگی به ظرفیت ذخیره انرژی و سرعتی که زیردریایی می‌خواهد در زیر آب حرکت کند.

اگر زیردریایی نخواهد حرکت کند، مصرف انرژی تنها به آن مقدار که برای مصارف داخلی مصرف می‌شود، محدود می‌گردد. حتی اگر زیردریایی دارای باطری‌های معمولی باشد، برای مدت زیادی به صورت ساکن می‌تواند در زیر آب بماند و مسلماً این زمان برای نیروی هسته‌ای خیلی بیشتر است. اگر زیردریایی بخواهد با یک سرعت معین حرکت را در زیر آب ادامه دهد، توان مصرفی آن متناسب با توان ۳ سرعت مورد نظر تغییر می‌کند. هرچه سرعت زیردریایی بیشتر باشد، مدت زمان کمتری می‌تواند در زیر آب بماند و باید بزودی منابع انرژی آن تجدید گردد.

۶-۶) حالت‌های دیگر مصرف توان در زیر سطح آب از قرار زیر است:

1- Snorting depth :
عمقی در نزدیکی سطح آب که زیردریایی به کمک دکل‌های مخصوص هواگیری، موتورهای دیزل را روشن می‌کند و باطری‌های زیردریایی شارژ می‌شود.

2- Indiscretion ratio

سرعت شنود[1]:

اصلی‌ترین حسگر زیردریایی در زیر آب سونار می‌باشد. در حالت بدون حرکت، زیردریایی نیاز دارد که بداند سایر شناورها در کدام منطقه هستند و شاید در مسیری باشند که تصادم صورت گیرد و یا مربوط به بررسی موقعیت زمین‌شناسی و ناهمواری‌های زمین باشند و یا اینکه احتمال دارد زیردریایی در زیر یک قطعه یخ بزرگ باشد. در سرعت بالا، صدای جریان آب و ماشین‌آلات درون زیردریایی ممکن است حساسیت صوتی زیردریایی را از بین ببرد. بنابراین مجبور است که در سرعت پائین‌تر یا کاملاً آهسته، برای بررسی موقعیت خود استفاده کند. از آنجا که حالت مطلوب این است که حسگرهای صوتی زیردریایی در حداکثر سرعت هم دارای کارایی باشند، لذا باید سازندگان زیردریایی انتقال صدای ماشین‌آلات را محدود کرده و صدای جریان سیال را بویژه در قسمت سونارها کاهش دهند.

سرعت آرام و بی سروصدا[2]:

در اینجا هدف زیردریایی به حداقل رساندن آشکاری زیردریایی است که ممکن است مورد ردیابی قرار گیرد. جدای از تمام ملاحظات دیگری که برای کاهش سروصدا صورت می‌گیرد، این حالت نیازمند کاهش قدرت است و باید بسیاری از منابع تولید صدا مثلاً، هم سیستم پیشران و هم ماشین‌آلات فرعی، یا کلاً خاموش شوند و یا در سرعت پایین کار کنند.

سرعت بسیار آرام[3]:

در این حالت، هر نوع تمهیدی را برای پرهیز از خطر ردیابی شدن صوتی و به حداقل رسانیدن توانایی ردیابی توسط سایر شناورها، صورت می‌گیرد که معمولاً شامل کاهش سرعت به حداقل مقدار خود و حفظ کنترل زیردریایی و خاموش کردن تمام ماشین‌آلات داخل بدنه

1- Listening speed
2- Quiet speed
3- Ultra quiet

شـامـل سیستم‌های تهویه هـوا می‌باشد. این حالت نمی‌تواند برای مـدت خیلـی طـولانی ادامـه یابد، لذا طراحـی باید به گونه‌ای باشد که سیستم‌ها را قادر به تحمل کامـل ایـن شـرایط نمایـد. بـرای مثـال مواقع اندکی پیش می‌آید که بتوان سیستم تهویه مطبوع را به طور کامـل خـاموش کرد در حالیکه پمپهای سیستم هیدرولیک به صورت غیرپیوسته و تناوبی کار می‌کننـد. لـذا بایـد چنین شرایط ویژه‌ای را برای کاهش صدای ماشین‌آلات در نظر گرفت که برای کارکرد مـداوم و منظم زیردریایی هم بسیار مهم است.

مقاومت در برابر حرکت

۷-۶) بطور خلاصه می‌توان گفت هر زیردریایی برای نیازهایی که پیشتر گفتـه شـد، بایـد دارای چهار مشخصه مطلوب باشد که بالاترین کارآیی را داشته باشد:

۱- نیروی مقاوم هیدرودینامیکی اندک بدنه؛

۲- راندمان بالای سیستم پیشران؛

۳- راندمان بالای تبدیل انرژی در سیستم تولید قدرت؛

۴- چگالی بالای ذخیره انرژی در سیستم ذخیره انرژی.

هم اکنون عواملی را که بر مقاومـت زیردریـایی در حـال حرکـت مـؤثر هـستند را بررسـی می‌نمائیم:

نیروی مقاوم زیرآبی:

اصولاً اختلاف اندکی بین نیازهای هیدرودینامیکی که برای سرعت‌هـای مختلـف مناسـب باشد، وجود دارد. حداقل نیروی مقاوم بدنه در سرعت‌های بالا با بکـارگیری آن در سـرعت‌هـای پائین سازگار است. در شرایط غوطه‌وری در عمق زیاد، تمام نیروهای مقـاوم بـا ویـسکوزیته آب،

همراه هستند. معمولاً در این بحث نیروی مقاوم بدنه لخت و بدون زوائد[1] با دو بخش از قرار زیر توضیح داده می‌شود:

الف) نیروی مقاوم اصطکاکی پوسته[2]:

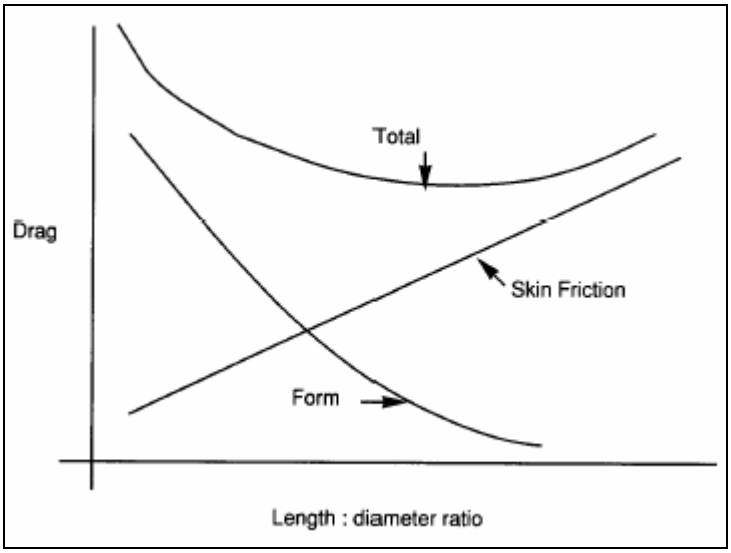
نیروی مقاوم ناشی از تنش برشی ویسکوز[3] در سطح آب در مـــقاومت روی بدنـه شـرکت می‌کند، که این نیرو در ارتباط بدنه و سرعت بدنه می‌باشد. لذا برای حجـم مشخـصی از شـناور، مطلوب است که مساحت سطح خیس را حتی‌المقدور کاهش دهیم. اگرچـه داشـتن یـک سـطح صاف، جهت پرهیز از اغتشاش جریان و تغییرات تدریجی فرم بدنه و به وجـود نیامـدن تغییـرات اندازه فشار روی بدنه که باعث افزایش مقاومت با جدایی جریان روی بدنه می‌شود، می‌تواند مفید باشد.

ب) نیروی مقاوم ویسکوز فشاری یا نیروی مقاوم فرم بدنه[4]:

اثر دوم ویسکوز روی بدنه، کاهش فشار به همراه جریان غیر ویسکوز، حول بدنـه در حـال حرکت می‌باشد. در جریان غیر ویسکوز، مقاومتی به وجود نمی‌آید چراکـه اخـتلاف فـشاری بـین سینه و پاشنه وجود ندارد، نتیجه خالص آن نیروی صفر در جهت حرکت بدنه خواهد بـود. بـدلیل وجود ویسکوزیته ممنتوم، سیال کاهش می‌یابد در حالیکه افزایش فشار در قـسمت سـینه بوجـود می‌آید و فشار موجود در پاشنه نیز کاهش می‌یابد که باعث یک نیروی مقاوم خـالص در مخـالف جهت حرکت می‌شود. این نیروی مقاوم می‌تواند با تغییرات مقطع بدنه نسبت بـه طـول کـاهش یابد؛ یعنی همانند شکل سوزن (که البته در این صورت برای رسیدن بـه یـک حجـم مـشخص، دارای سطح خیس زیادی خواهد شد). مشاهده می‌شود که ویسکوزیته آب باعث می‌شود که ایـن دو نوع نیروی مقاوم، نیازهای متناقضی برای شکل مناسب بدنه برای رسیدن به حداقل مقاومـت

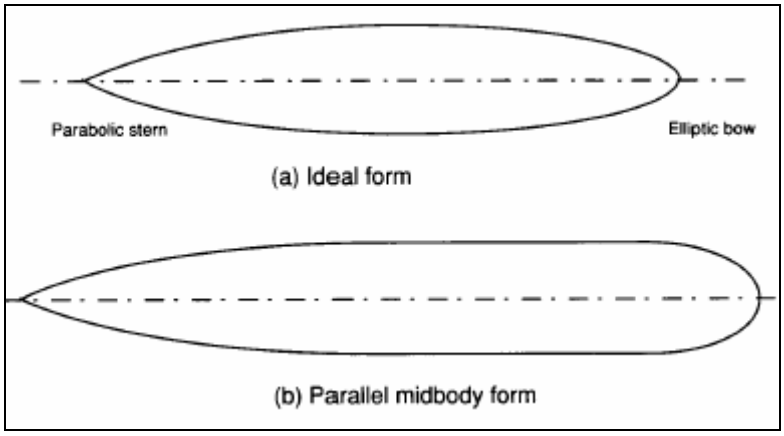
1- Bare hull
2- Skin friction drag
3- Viscous shear drag
4- Form drag

بدنه داشته باشند. برای یک حجم مشخص شناور، هرچه جسم بلندتر و باریکتر شود، نیروی مقاوم شکل بدنه (مقاومت فشاری) کاهش خواهد یافت اما افزایش سطح خیس باعث افزایش نیروی مقاوم اصطکاکی می‌شود (شکل ۱-۶).



شکل (۱-۶) اجزای نیروی مقاوم برای یک حجم ثابت بدنه

در نتیجه یک حالت بهینه و میانه را باید در نظر گرفت. اگر نسبت طول به قطر بدنه تقریباً برابر ۶ به ۱ باشد، در نتیجه نیروی مقاوم کل حداقل خواهد بود. یک شکل مناسب برای حداقل نیروی مقاوم در زیر آب، بصورت شکل یک سیگار برگ (شکل ۲-۶) می‌باشد. شکل (الف-۲-۶) که دارای مقطع دایره‌ای و شکل سینه بیضوی و پاشنه سهمی شکل هستند، و همانطور که نشان داده شده است به یکدیگر متصل می‌گردند. این شکل همانند شکل بدنه هواپیماها در قرن اخیر است (شکل ۲-۶).

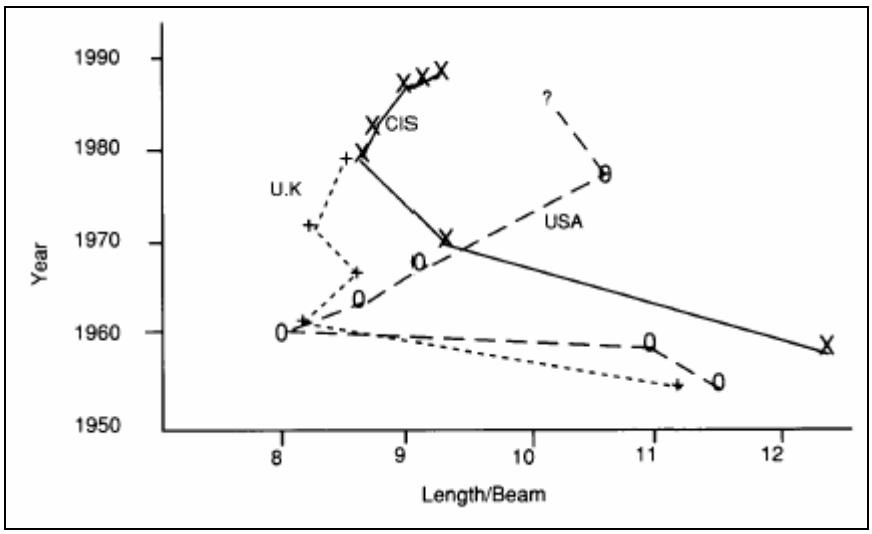


شکل (۲-۶) شکل‌های مختلف بدنه

۸-۶) هر چند که این شکل، مناسب‌ترین فرم بدنه می‌باشد که می‌تواند مورد استفاده کلیه طراحان باشد؛ ولی در عمل در طراحی کل زیردریایی ملاحظات بسیاری وجود دارد که سبب می‌شود نتوان از این نوع شکل بدنه بطور کامل استفاده کرد. این شکل بدنه می‌تواند در یک مدل آزمایشی برای به حداقل رسانیدن مقاومت بدنه انجام شود. در جانمایی کل داخل زیردریایی ممکن است طراح مجبور شود از حالت ایده‌آل نسبت طول به قطر استفاده ننماید. ممکن است یک حالت ایده‌آل این باشد که قطر بزرگتر و طول کوچکتر که مناسب و متناسب با طول تجهیزات داخل زیردریایی، همانند سیستم رانش و انبار سلاحها باشد استفاده کرد. لذا این طراحی دارای نسبت طول به قطر کوچکتر از حالت بهینه می‌باشد (شکل ۳-۶).

همانطور که در شکل (۱-۶) توضیح داده شد، منحنی نیروی مقاوم کل در اطراف نقطه حداقل به صورت صاف می‌باشد و بنابراین در این ناحیه انحراف کمتری از حالت ایده‌آل بوجود می‌آید.

همچنین یک شکل ایده‌آل بدنه می‌تواند تغییرات تدریجی قطر در امتداد طول بدنه باشد که البته هزینه ساخت گزافی را به دنبال خواهد داشت.



شکل (۳-۶) تغییرات نسبت طول به عرض زیردریایی در سالهای مختلف

برای پرهیز از اشتباهات بیشتر، معمولاً در قسمت میانه از یک شکل استوانه‌ای که دو طرف آن موازی هستند استفاده می‌شود (شکل b-۲-۶).

انحراف این نوع شکل از حالت بهینه آن لطمهٔ چندانی به دنبال ندارد. برای انتقال زیردریایی با خطوط بدنه دارای انحناء ممتد به حوضچه تعمیرات نیاز است که از تکیه‌گاه-های خاصی استفاده شود. شاید راه حل آن استفاده از کیل مسطح موازی کف[1] باشد که البته این قسمت به عنوان یکی از زوائد بدنه موجب افزایش نیروی مقاوم در برابر حرکت می‌شود.

راه حل دیگری که می‌تواند وجود داشته باشد استفاده از بدنه فشار با بدنه میانی استوانه‌ای است که برای رسیدن به شکل بدنه مناسب در داخل یک پوسته نازک پیچیده شده‌اند که البته

1- Parallel bottomed keel

این مورد باعث افزایش فوق‌العاده حجم بدنه میشود؛ و البته در کنار آن، باعث افزایش ذخیره شناوری (با افزایش ظرفیت مخازن شناوری) و افزایش میزان ذخیره سوخت می‌گردد و می‌تواند در ازای کاهش نیروی مقاومت شکلی، نیازمند توان کل بیشتری باشد.

توصیه می‌شود سینه به شکل بیضوی ساخته شود که بتوان از آن برای آرایش و نحوهٔ قرارگیری سونار، فراهم کردن انبارها و مسلح کردن سلاحها، نصب هیدروپلن‌ها و یا سایر تجهیزات همانند سیستم لنگراندازی استفاده کرد. این عوامل ممکن است باعث دوری طرح از حالت بهینه شکل سینه بصورت بیضوی محوردار[1] شود. راه حل آن می‌تواند جا دادن تمام این موارد در یک شکل زیبای سینه باشد ولی این نیز مستلزم صرف هزینه بیشتر جهت یافتن شکل بیرونی مناسب می‌باشد. همچنین حالت صاف و تدریجی شکل پاشنه که توصیه شده است در عمل و در طراحی واقعی ممکن است دچار مشکلاتی شود. این قسمت دارای مشکلات سازه‌ای خاص در اتصال دم مخروطی شکل به بدنه فشار، در یک زاویه تند می‌باشد و همچنین در این حالت قسمت پاشنه دارای حجم اندکی خواهد بود که برای نصب ماشین‌آلات و سیستم رانش معمولاً فضای بزرگتری مورد نیاز است. در نتیجه ساختار ضخیم‌تر دم یا پاشنه می‌تواند بیشتر قابل قبول باشد.

همانطور که بعداً خواهیم دید، مساله دیگری روی بازدهی پیشران وجود دارد که نیاز است در این بخش به آن اشاره شود. نیاز به کنترل برای ایجاد تعادل وپایداری در جهات مختلف است، چنین فرمی که بیان شد به خودی خود ناپایدار و نامتعادل است که با کوتاهتر شدن و چاق‌تر شدن بدنه، محلی برای نصب بالک‌ها در قسمت پاشنه فراهم می‌شود که باعث افزایش نیروی مقاوم می‌گردد. ممکن است که یک شکل بدنه باریکتر، این متعادل کننده‌ها[2] را دارای نیروی مقاوم کمتری کند. بنابراین وقتی مسئله تعادل مورد توجه قرار می‌گیرد، فرم ایده‌آل پیشنهاد شده برای رسیدن به حداقل نیروی مقاوم بدنه نمی‌تواند مفید باشد (جدول ۱-۶).

1- Axisymetric elliptical bow
2- Stabilizer

جدول (۱-۶) نقش اجزاء مختلف زیردریایی در مقاومت

Component	$\frac{\Delta P_E}{\text{Total } P_E}(\%) = A$	$\frac{\Delta \text{ Area}}{\text{Total Area}}(\%) = B$	Resistfulness $\frac{A}{B}$
Hull	68.50	84.33	0.81
Bridge fin	7.87	8.05	0.98
Stern planes	7.71	3.28	2.35
Bow planes	3.54	0.58	6.14
Upper rudder	5.34	1.64	3.26
Lower rudder	1.81	1.11	1.63
Sonar fairing	2.88	0.16	18.03
Ballast keel	6.05	6.10	0.99
Total	103.70		

۹-۶) در هر حال زیردریایی تقریباً باید دارای یک شکل متقارن محوری ساده باشد که به آن سطوح کنترلی، برجک، عرشه و بسیاری از ضمائم دیگر متصل می‌گردند. حتی اگر این اجزاء دارای سطوح منظم و صاف هم باشند، منجر به ایجاد نیروی مقاوم می‌شوند که اغلب نسبت به اندازه آنها در مقایسه با اندازه کل زیردریایی مقدار مقاومت زیادی ایجاد می‌کنند (جدول ۱-۶).

در زیردریایی‌های قدیمی معمولی که تأکید کمتری روی میزان سرعت بالای زیرآبی وجود داشت، دارای مقاومت کل معادل دو برابر مقاومت همان بدنه بدون ملحقات بود که ناشی از ناهمگونی و ناسازگاری ملحقات، با خطوط جریان بود، به ویژه سوراخهایی که برای ورود و خروج آب و سوراخهای آبگیر مخازن شناوری اصلی بود. امروزه حتی با در نظر گرفتن اصول مدرن، هم امتداد کردن ملحقات بدنه با خطوط جریان[1] ، باز هم ۲۰ درصد یا بیشتر نیروی مقاوم بدنه، به وسایل متصل به بدنه و ملحقات بدنه اختصاص دارد. بر طراح واجب است که از نظر

1- Stream lined

هیدرودینامیکی، این مقاومت‌های زائد که ناشی از اتصال اجـزاء دیگـر بـه بدنـه لخـت اسـت را کاهش دهد که این امر نیازمند توجه بیشتر به هم خط و هم امتداد کردن این ملحقات با جریـان سیال و با خطوط جریان بدنه اصلی، به منظور پرهیز از نیروی مقاوم جـدایش جریـان، در محـل اتصال این اجزاء به بدنه می‌باشد.

امروزه رفتن به زیر سطح آب یا آمدن به سطح آب، در زیردریایی‌هـای مـدرن بـه سـرعت انجام می‌پذیرد. البته هنوز نیازهایی برای زیر آب رفتن سریع حجم‌های آب‌پذیر که در بالای بدنه هستند وجود دارد تا از مشکلات ناپایداری زیردریایی جلوگیری شود و امکان ورود و خروج سریع آب در مخازن شناوری فراهم شود. هر دوی اینها مستلزم دریچه‌هـای بـزرگ روی بدنـه صـاف زیردریایی می‌باشد. باید توجه ویژه‌ای به شکل و نحوه قرارگیری این دریچه‌ها صـورت گیـرد تـا موجب تحمیل نیروی مقاوم بیشتر نگردد. آنچه که موجب نیروی مقاوم ناشی از جریان در دریچه می‌شود، افزایش حرکت نوسانی جریان در بیرون و در درون دریچـه اسـت کـه آن نیـز ناشـی از اختلاف فشار و ناپایداری موجود است که بوسیله صفحه شکافنده رو به جلو که در قسمت دریچه وجود دارد ایجاد می‌گردد و یک جریان نوسانی چرخشی بوجود می‌آورد. این فرآیند شـبیه فرآینـد تولید صدا در فلوت و نی می‌باشد. همین پدیده نیز در مورد زیردریایی می‌تواند اتفاق بیافتـد. اگـر سرعت زیردریایی زیاد باشد مخازن متصل به بدنه و یا حجم داخل بدنه، در شرایط تـشدید[1] و در معرض جریان چرخشی، دچار همین پدیده می‌گردد. در این شرایط نه تنها انرژی بر اثر به وجـود آمدن نیروی مقاوم از بین میرود بلکه صدای تولید شده در اثر جریان هم ممکـن اسـت براحتـی ردیابی شود. در برخی موارد، پدیده تشدید یا رزنانس در سازه، منجر به ترک و شکست سازه شده است.

برای غلبه بر این مشکل، درب‌های مخصوصی[2] روی این دریچه‌های اصلی نصب شـده‌انـد که البته باید به گونه‌ای باشند که اجازه ورود و خروج آب به دریچـه را بدهنـد. از آنجـا کـه ایـن

1- Resonant
2- Closure doors

مکانیزم بطور دائم برای حالت زیرآبی می‌باشد، لذا باید دائماً از آن نگهداری گردد. یک راه حل ساده‌تر این است که یک شبکه‌ای از تیرهای تخت[1] روی دریچه، بطوری که تیرها در جهت جریان باشند و تیرهای دیگر با جهت جریان زاویه بسازند، قرار گیرند. اگرچه این سیستم اندکی باعث افزایش نیروی مقاوم می‌شود، ولی این سیستم به طرز مؤثری جریان نوسانی چرخشی را کاهش می‌دهد. باید توجه داشت که در عین اینکه از حالت ایده‌آل منحرف می‌شویم، ولی باید تمام ملحقات و برآمدگی‌های متصل به بدنه به صورت صاف و همساز با خطوط جریان اطراف بدنه باشند که البته باعث افزایش هزینه ساخت می‌شود و سرانجام این اقدامات موجب کاهش نیروی مقاوم بدنه می‌گردد.

۱۰-۶) اصولاً هدف طراح باید فراهم آوردن یک بدنه صاف از نظر هیدرودینامیکی باشد، هر چند که ملحقاتی به بدنه آن متصل می‌شود که ممکن است باعث انحراف از حالت بهینه شکل (که در ابتدای این بخش توضیح داده شد)، بشود. هر چند که تأکید ما در این بخش روی کاهش نیروی مقاومت بدنه در برابر جریان است، ولی فاکتورهای بسیاری باید در این راه در نظر گرفته شود که یکی از فاکتورها کاهش جریان مغشوش[2] می‌باشد، چرا که کارآیی و حساسیت آنها را کاهش می‌دهد. دیگر اینکه صدای جریان ممکن است به حدی باشد که سیگنالهایی را ارسال کند و موجب ردیابی زیردریایی گردد. جریان در اطراف بدنه باعث تغییراتی در جریان، به ویژه در قسمت پیشران[3] می‌شود که هم مغشوش هستند و هم دارای سرعت متغیر و این عوامل می‌تواند باعث پر سروصدا بودن پروانه گردد.

ما در بخش بعدی روی اثرات پروانه بحث خواهیم کرد. موارد فوق با این فرض بیان شد که زیردریایی در امتداد محور خود حرکت کند، هر چند که بعضاً بدلیل عدم بالانس بودن هیدرواستاتیکی، لازم است زیردریایی با توجه به زاویه حمله[4] مناسب، حرکت کند. هنگامی که

1- Flat bar
2- Turbulent flow
3- Propulsor
4- Angle of attack

زیردریایی در چنین شرایط نامساعدی حرکت کند، مقاومت آن توسط قسمت‌های ایجاد کننده مقاومت، اضافه خواهد شد.

نسبت سرعت ـ قدرت

۱۱-۶) اصولاً می‌توان گفت که مقاومت یک جسم در برابر حرکت از بین یک سیال طبق فرمول زیر بیان میگردد:

$$\mathbf{R = C_d \times \rho_f \times A \times U^2}$$

که در آن ρ_f چگالی سیال، A سطح داده شده جسم، U سرعت آن و C_d ضریب مقاومت هیدرودینامیکی مربوط به شکل جسم می‌باشد. در بسیاری از موارد کاربردی، مساحت داده شده، مساحت مقطع عرضی و یا مساحت داده شده در جهت حرکت سیال می‌باشد و مقادیر نیز بر این اساس استخراج می‌گردد. در وسایل نقلیه دریایی، در بیشتر موارد، سطح داده شده مساحت سطحی است که در معرض جریان قرار دارد. در بسیاری از مراحل طراحی، مساحت این سطح تعیین نشده است و بیشتر مربوط به حجم جسم است. ریشه سوم گرفتن از حجم، مقدار طول را ارائه می‌کند و به توان رسانیدن آن، مقدار مساحت را می‌دهد. بنابراین برای بسیاری از تخمین‌ها، مقاومت زیردریایی در زیر آب می‌تواند بصورت:

$$\mathbf{R = K \times (Vol)^{2/3} \times U^2}$$

بیان شود که Vol حجم جسم و ضریبی است که به شکل و حالت بدنه جسم همانطور که بحث خواهد شد، وابسته می‌باشد. مقدار مناسب K می‌تواند از آزمایش مدل که دارای همان شکل بدنه زیردریایی اصلی است، بدست آید.

از آنجائیکه توان از رابطه (زمان / نیرو × فاصله) بدست می‌آید، توان مورد نیاز جهت پیش راندن زیردریایی می‌تواند مطابق فرمول فوق بیان شود:

$$P = K \times (Vol)^{2/3} \times U^3$$

بنابراین میزان قدرت مورد نیاز زیردریایی وابسته به اندازه حجم و بیش از همه به توان ۳ سرعت بستگی دارد.

مقاومت در سطح آب

۱۲-۶) اگرچه یک زیردریایی مدرن برای کارآیی خوب در زیر آب طراحی می‌شود اما ناگزیر است که بعضاً روی سطح آب، مثلاً برای وارد شدن و خارج شدن از بندر و بعضاً مسافرت‌های طولانی روی سطح آب از پایگاه تا محل عملیات، حرکت کند. مشکلات مقاومت آن روی سطح آب همانند کشتی‌های عادی است با این تفاوت که زیردریایی‌ها اصولاً بیشتر حجم آنها در زیر آب است و دارای بخش بیرون از آب اندکی در بالای آب هستند. بیشتر زیردریایی‌ها معمولاً شناورهای کوچکی هستند و این بدین معنی است که برای رسیدن به سرعت قابل قبول در سطح آب، باید با یک عدد فرود بالا[1] حرکت کنند و این باعث می‌شود که مقاومت موج سازی[2] مقدار زیادی از مقاومت در سطح آب را تشکیل دهد.

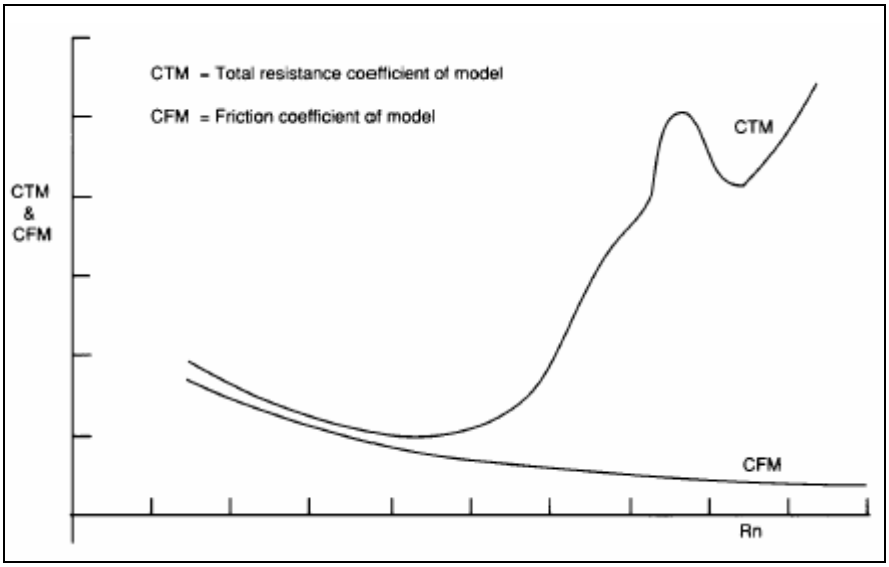
شکل چاق و کوتاه ایده‌آل که برای کارآیی مناسب در زیر آب پیشنهاد شده بود، برای کارآیی در سطح آب مناسب نیست، چرا که در رسیدن به سرعت‌های مطلوب منجر به نزدیک شدن به قلّه منحنی مقاومت می‌شود. افزایش طول باعث نزدیک شدن به قسمت‌های قعر منحنی مقاومت می‌شود. بسیاری از زیردریایی‌های قرن گذشته، بیشتر مسافرت‌های خود را روی

1- Froude number
2- Wave Making Resistance

سطح آب انجام می‌دهند، لذا بعضاً دارای اشکالی شبیه بدنه کشتی‌ها هستند؛ درازتر و باریکتر و با سینه‌ای که همانند کشتی‌ها در بالای سطح آب دارای انحناء می‌باشد. لذا زیردریایی‌هایی که اینگونه طراحی شده بودند[1] نسبت به زیردریایی‌هایی که با تأکید بیشتر بر قابلیت‌های زیرآبی طراحی شده بودند، با سرعت بالاتری در سطح آب حرکت می‌کردند. سایر ملاحظات طراحی ممکن است طراح را به شکل بدنه درازتر و لاغرتر از شکل ایده‌آل آن ترغیب کند و حال آنکه خصوصیات زیرآبی نیز چندان تضعیف نمی‌گردد و این حقیقت، برتری‌های ویژه‌ای به این طرح داده است.

به وضوح می‌توان گفت که شکل سینه نوک تیز و دارای انحناء برای حرکت زیر آب مناسب نیست و از طرف دیگر شکل بهینه بیضوی سینه که برای کارآیی در زیر آب مناسب است، برای حرکت در سطح آب مناسب نیست چرا که باعث بوجود آمدن امواج بسیار بلند در قسمت سینه میشود که بعضاً تا برجک می‌رسد. علاوه بر اینها، بدنه تمایل به این دارد که در حین حرکت به زیر آب برود، لذا برای نگه داشتن آن روی سطح آب، در حال حرکت، باید زاویه شیب بزرگتر باشد یا از بالک‌های جلو باید استفاده شوند تا سینه را بالای سطح آب نگه دارد که هر دوی این اثرات باعث افزوده شدن مقاومت حرکت در سطح آب میشود. همانطور که مشاهده کردیم؛ در حقیقت، زیردریایی‌های مدرن دارای قابلیت‌های خوب زیرآبی هستند و در عین حال کارآیی قابل قبولی در سطح آب هم دارند.

1- Submerged Design



شکل (۴-۶) نمونه‌ای از نمودار ضریب مقاومت بدنه زیردریایی در سطح آب

در برخی موارد ممکن است با توجه به نیازهای کاربردی، نتایج قابل قبولی بدست نیاید که در این صورت طراح مجبور به برقراری تعادل بین کارآیی زیرسطحی و روسطحی می‌باشد.

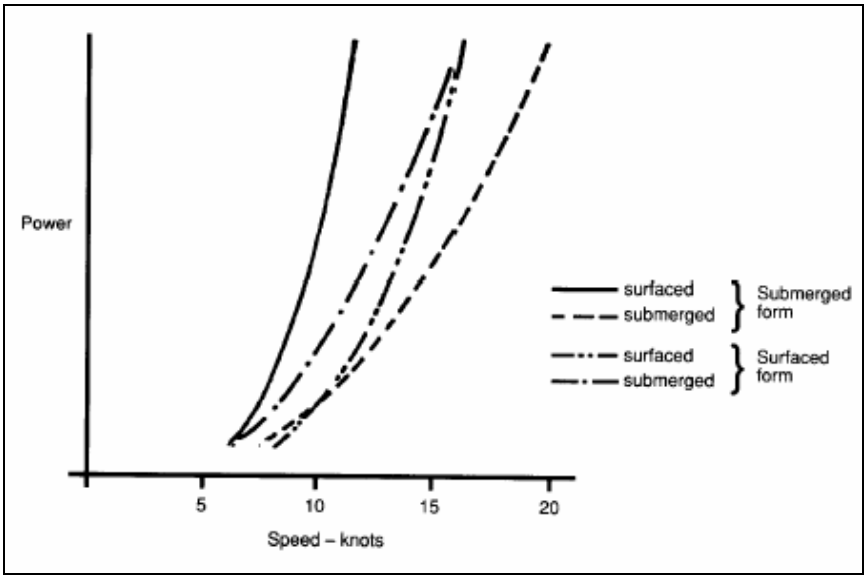
۱۳-۶) زیردریایی‌هایی که دارای سیستم تولید قدرت معمولی هستند، قسمتی از زمان دریانوردی خود را باید در حالت تنفس سپری کنند و بنابراین باید در شرایط نیمه شناور و نیمه غوطه‌ور، در عمق تنفس یا عمق پریسکوپ قرار گیرد که بسیار نزدیک سطح آب است. در این حالت زیردریایی متأثر از موجهای سطح آب می‌گردد که با حرکت بدنه، باعث افزایش نیروی مقاومت می‌شود و همچنین نیروی مقاوم دیگری بر اثر پریسکوپ‌ها و دکل‌ها[1] بوجود می‌آید که قسمتی از آن در زیر سطح آب و قسمتی از آن در بالای سطح آب قرار دارد. بنابراین برای پرهیز از تولید موج بیشتر، بدنه اصلی زیردریایی کاملاً در زیر آب

1- Mast

حرکت می‌کند. موج سازی در این حالت به وضوح حالتی که کـاملاً در سـطح آب حرکـت می‌کند نیست ولی در هر حال یک نوع موج مجزّا وجود دارد و تقریبـاً هماننـد مـوج تولیـد شده توسط کشتی‌ها می‌باشد که به مقاومت زیردریایی در شرایط تنفس افـزوده مـی‌گـردد. این اثر مهم است، چرا که در این حالت زیردریایی نه تنها باید خودش را به پیش براند بلکه باید قدرت مضاعفی را جهت شارژ شدن باطری‌ها و مصارف داخلی صرف نماید. در نتیجـه حرکت در عمق تنفس برای تأمین نیازمندی مدارهای الکتریکی است که بایـد در طراحـی مورد توجه قرار گیرد.

۱۴-۶) برای رضایتبخش بودن طراحی، باید ملاحظات هیدرودینامیک بدنه در نظر گرفتـه شـود. یک روش رایج که امروزه هم استفاده می‌شود آزمایش مدل با مقیاس کـوچکتر اسـت کـه توسط مهندس ویلیام فرود[1] ارائه شد. با استفاده از این مدل؛ مقاومت، اندازه‌گیری می‌شود و سپس با استفاده از قوانین مناسب مقیاس، مقاومت مدل اصلی و در مقیاس اصـلی بدسـت می‌آید. این روش، پیچیدگی‌هایی در نحوه مقیاس‌گیـری دارد؛ بـویژه بـرای اجـسام کـاملاً مغروق، بدست آوردن این نسبت تشابه مشکل است. لذا طراح باید توسط افراد با تجربـه و ماهر، راهنمایی شود. علاوه بر پیش‌بینی مقـدار مقاومـت، روش آزمـایش مـدل مـی‌توانـد خصوصیات جریان حول بدنه را مشخص کند و وسایلی فراهم کنـد تـا تغییـر فـرم لازم را برای بدست آمدن جریان بهتر سیال اعمال کند.

1- William froud



شکل (۵–۶) منحنی نسبت سرعت به قدرت زیردریایی در حالات سطح آب و زیر آب

نظریه‌های اَشکال ایده‌آل بدنه نتیجه آزمایشات گسترده روی شکل‌های بدنه و عملکرد این نتایج در کشتی‌های واقعی است که ما آنرا در فصل تاریخچه زیردریایی‌ها بیان کردیم. بسیاری از آزمایشات مدل در اَشکال مختلف در حال انجام بوده است و اطلاعات تجربی بسیاری در مورد شکل پایه‌ای بدنه زیردریایی یعنی به شکل سیگار[1] وجود دارد. همانطور که قبلاً در فصل سازه تأکید شد، طراح ممکن است دلایل منطقی زیادی برای تفاوت شکل طراحی شده با شکل ایده‌آل داشته باشد، لذا در این راه به تحقیقات و آزمایشات گسترده‌ای برای بدست آوردن اطلاعات مناسب جهت یک تخمین حساب شده، نیاز دارد. یک راه حل مناسب دیگر در کنار تست مدل فیزیکی، مدل‌سازی به کمک دینامیک سیالات محاسباتی می‌باشد که اصطلاحاً CFD[2] گفته می‌شود. با استفاده از کامپیوترهای قوی امکان مشخص کردن نوع جریان حول

1- Cigar shape
2- Computational Fluid Dynamics

جسم وجود دارد، البته به شرطی که جسم در حال حرکت باشد. این موضوع مربوط به ریاضیات پیچیده‌ای می‌شود که نتایج برخی از آنها هنوز کاملاً مشخص نشده است. امید است که در آینده طراحان بتوانند به سرعت خصوصیات جریان را حول شکل بدنه بررسی نمایند و تغییرات مناسب را در اولین مراحل طراحی اعمال کنند.

اگر اشتباهی در این ارزیابی صورت گیرد، این روش نتایج مناسبی را ارائه نخواهد کرد. لذا علاوه بر روش‌های محاسباتی، اصلاحات و آزمایشات لازم صورت پذیرد و مجدداً تلاش شود تا یک راه حل رضایتبخش یافت شود.

هم اکنون باید به دنبال راهی باشیم که بدانیم چگونه می‌توان به کمک کامپیوترهای قوی مستقیماً از اشکال هیدرودینامیکی استفاده کرد که دارای خطوط جریان[1] مناسبی باشند.

سیستم رانش

بازدهی پیشرانش:

۱۵-۶) طراحی سیستم پیشران زیردریایی نیز یک کار تخصصی است که مرحله بعدی طراحی می‌باشد. در اولین مرحله، اندازه و شکل زیردریایی مهم است که به همراه تخمین مقاومت بدنه در برابر جریان، توان مورد نیاز را مشخص می‌کند و به تبع آن، اندازهٔ سیستم پیشران معین می‌گردد. پیشرانش اصولاً در روش سنتی آن، سه قسمت دارد که در ذیل توضیح داده می‌شود.

اولین و مهمترین قسمت بازدهی، خود دستگاهها می‌باشند. هدف پروانه افزایش نیروی پیشران برای غلبه بر نیروی مقاوم و به حرکت در آوردن زیردریایی می‌باشد. بنابراین قدرت گرفته شده از پروانه از حاصلضرب نیروی پیشران در سرعت مشخص می‌گردد. در ابتدا فرض

1- Stream lining

خواهیم کرد که منظور از وسیله پیشران، همان پروانه است که نیروی پیشران بوسیله افزایش دور گردش پره‌ها حول شفت بدست می‌آید. برای تولید نیروی پیشران، انرژی باید بوسیله موتورهـای پیشران به شفت منتقل گردد. انرژیی که به شفت منتقل می‌شود، انـرژی داده شـده مـی‌باشـد و بنابراین ما می‌توانیم بازده را از تقسیم انرژی گرفته شده (انرژی پیشران) بر انرژی داده شـده بـه شفت بدست آوریم.

یکی از اصولی‌ترین روش‌ها برای ارزیابی بازده، در نظر گرفتن عملکـرد پروانـه روی سـیال است. برای افزایش نیروی پیشران، سیال در پروانه شتاب می‌گیرد که این باعـث تغییـر ممنتـوم سیال می‌شود که حاصلضرب دِبی جرمی سیال گذرنده از پروانه در تغییرات سرعت ایـن سـیال از بالا دست جریان به پائین دست جریان می‌باشد. برای مثال :

$$T = \rho \times A_p \times V_p \times (V_d - V_u)$$

انرژی که این نیروی پیشران را ایجاد کرده، تغییرات انرژی سیال در بالا دست جریـان بـه پائین دست جریان می‌باشد. برای مثال :

$$P = \tfrac{1}{2}\rho \times A_p \times V_p \times (V_d^2 - V_u^2)$$

اولین نتیجه که از این عبارت حاصل می‌شود این است که برای افزایش نیروی پیشران، اگر جریان جرمی سیال (مساحت تیغه‌های پروانه) افزایش یابد، با تغییرات انـدک سـرعت، مـی‌تـوان انرژی کمتری هم مصرف کرد و به نیروی پیشران لازم دست یافت. بنابراین برای بـازده پروانـه، داشتن قطر بزرگ یک مزیت محسوب می‌گردد.

۱۶-۶) دومین قسمت بازدهی سیستم پیشران به اثر متقابل بین پروانه و بدنه مربوط می‌شود کـه رابطه بسیار نزدیکی با هم دارند. بحثی که قبل از این مطرح شد در مورد بـازدهی پروانـه، مربوط به حالتی می‌شد که به بدنه متصل نبود ولی وقتی پروانه نزدیک بدنه قرار می‌گیـرد، سه اثر مجزا که ذیلاً توضیح داده می‌شود، بوجود می‌آید :

الف) اگر سرعت بهینه شناور[1] برابر V باشد، حداکثر جریانی که وارد پروانـه مـی‌شـود V_u می‌باشد؛ چرا که وقتی سیال حول بدنه حرکت نماید، سرعت آن تغییر می‌کند و در قسمت سـینه، در نقطه سکون[2] سرعت صفر می‌شود. سپس سیال در اطراف قسمت سینه شتاب مـی‌گیـرد، بـه گونه‌ای که سرعت در قسمت سینه اندکی بیشتر از سرعت بهینه در جداره‌هـای کنـاری اسـت و همچنانکه به سمت پاشنه قطر کاهش می‌یابد، سیال مجدداً دچار کاهش سرعت می‌شود. عـلاوه بر تأثیر شکل بدنه بر سرعت سیال، تأثیرات مقاومـت ویـسکوزیته روی سـطح بدنـه نیـز باعـث کاهش سرعت سیال می‌گردد. بنابراین در ناحیه‌ای از قسمت دم، که سـرعت آب در آنجـا انـدک است و اصطلاحاً ناحیه «ویک[3]» نامیده می‌شود. نسبت ویک به صورت زیر تعریف می‌شود :

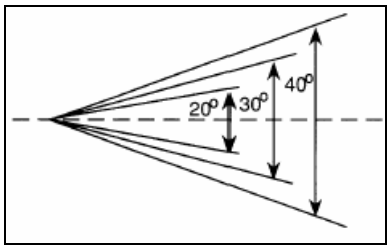
$$\omega_T = \frac{(V - V_u)}{V}$$

اگر پروانه در قسمت ویک قرار گیرد، سرعت بالا دسـت جریـان V_U ممکـن اسـت خیلـی کمتر از سرعت بهینه شناور باشد. نتیجه دوم تحلیل بازدهی پروانه ایـن اسـت کـه اگـر سـرعت مطلق یا سرعت متوسط کم باشد، تبدیل انرژی در پروانه کم خواهد بـود. پـس در صـورت قـرار گرفتن در قسمت پاشنه، مزایای بیشتری در میزان بازدهی پروانه بدست خواهد آمد.

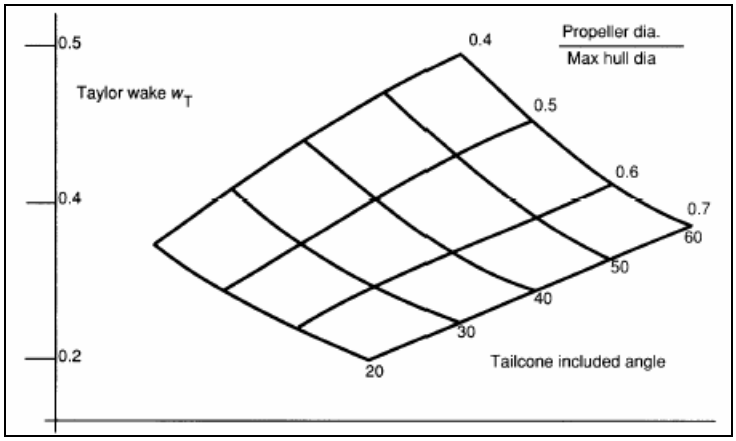
در قسمت‌های قبل به این نتیجه رسیدیم که قطر زیاد پروانه می‌تواند باعث افزایش بازدهی گردد و اکنون ما می‌توانیم چیزهای دیگری در مورد اثر ویک بیان کنیم. اگرچه ویک محدود بـه ناحیه‌ای در قسمت پاشنه است، ولی قطر بزرگ پروانه نیز ممکن است باعث توسعه یافتن ویـک شود و موجب کاهش بیشتر بازدهی گردد. بنابراین با بکارگیری پروانه‌های با قطر بـسیار بـزرگ، محدودیت‌هایی را در دستاوردهای هیدرودینامیکی خواهیم داشت (شکل ۶-۶ و ۷-۶).

1- Advanced speed
2- Stagnation point
3- Wake

ب) نیروی پیشران پروانه در اثر شتاب گرفتن سیال از بین پره‌های پروانه، افزایش خواهد یافت. بنابراین پاشنه شناور سرعت جریان بالاتری را نسبت به سایر قسمت‌های بدنه تحمل خواهد کرد.



شکل (۶-۶) زوایای مختلف قسمت مخروطی دم



شکل (۷-۶) اثرات زاویه دم مخروطی روی اثر ویک

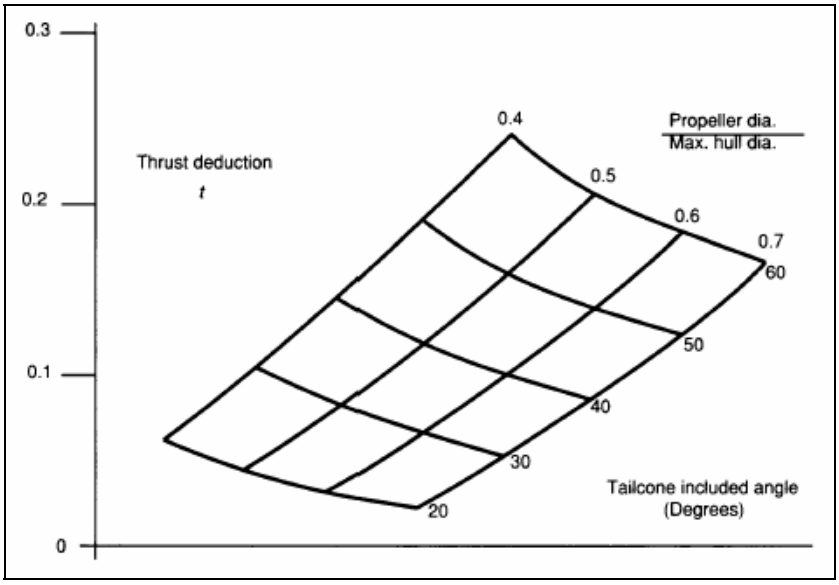
این امر باعث افزایش نیروی مقاومتی می‌شود که اصطلاحاً «افزایش مقاومت حاصل از پروانه» نامیده می‌شود. بنابراین پروانه باید نیروی پیشران بیشتری نسبت به مقاومت بدنه بدون پروانه (R) ایجاد کند.

بنابراین می‌توان اینگونه بیان داشت که علاوه بر تراست جهت غلبه بر نیروی مقاومت بدنه در برابر سیال، مقداری از نیروی پیشران هم برای غلبه بر مقاومت حاصل از پروانه باید صرف

گردد یعنی از هر مقدار نیروی پیشران ایجاد شده مقداری از آن تلف شده محسوب می‌گـردد کـه اگر نسبت کاهش نیروی پیشران را با t نشان دهیم، خواهیم داشت:

$$t = \frac{T - R}{T}$$

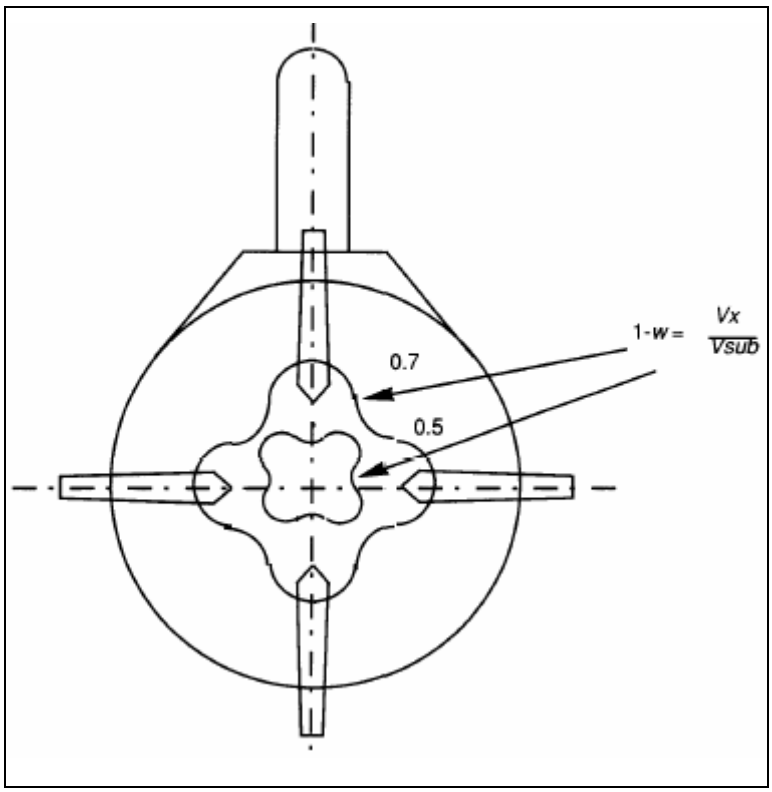
که می‌توان اینطور بیان نمود که با افزایش نیروی پیشران پروانه قسمتی از آن صرف تعامل بین پروانه و بدنه می‌شود. هر چه پروانه دورتر از پاشنه حرکت کند، تلفات بازدهی کاهش خواهـد یافت (شکل ۸-۶).



شکل (۸-۶) اثرات زاویه دم مخروطی روی کاهش تراست

ج) سومین اثر نیز مربوط به ویک غیریکنواخت می‌باشد. برای بدنه‌ای کـه کـاملاً متقـارن نیست و دارای تعدادی ملحقات بدنه است، ویک یکنواخت نیست. همانطور که سرعت در راستای شعاعی تغییر می‌کند، تغییرات محیطی خواهیم داشت که منتج از ویک ملحقات بالادست جریـان خواهد بود. بنابراین پره‌های دوار پروانه با تغییرات سرعت مواجه خواهند شد کـه باعـث کـاهش

بازدهی می‌گردد. هر چند که میزان این اثر اندک است، ولی به هیچ عنوان نباید از آن صرف‌نظر کرد (شکل ۹-۶).



شکل (۹-۶) تغییرات محیطی اثر ویک

قسمتی از بازدهی سیستم پیشران مربوط به افت‌های انرژی مکانیکی است که در انتقال قدرت از موتورهای پیشران به شفت متصل به پروانه، صورت می‌گیرد که عمدتاً اصطکاک در یاتاقانها[1] و بست‌ها[2] و بعضاً، چرخدنده‌ها (اگر نصب شده باشد) را شامل می‌شود.

1- Bearing
2- Seal

اگرچه معمولاً میزان از دست رفتن بازدهی در این قسمت اندک است ولی باید در محاسبه راندمان در نظر گرفته شود.

$$\eta_H = \frac{(1-t)}{(1-\omega_T)}$$

$$\text{ضریب راندمان پیشرانش} = P_C = \eta_H \, \eta_O \, \eta_R$$

۱۷-۶) مطالبی که پیش از این بطور خلاصه و ساده در مورد مشکلات پیچیده طراحی پروانه بیان شد، طراح زیردریایی را قادر می‌سازد که زمینه‌ای از نحوه انتخاب و طراحی پروانه در ذهن داشته باشد و عوامل مؤثر بر بازدهی پیشرانش در استفاده از پروانه‌های تک محوری[1] با قطر نسبتاً بزرگ را ارائه می‌کند و برخی دلایل استفاده آن را در زیردریایی تندرو آزمایشی آلباکور و استفاده‌های بعدی آن در بسیاری از زیردریایی‌های مدرن بیان می‌کند. بدین ترتیب می‌توان به بازدهی (pc) ٪۸۰-۷۰ در زیردریایی در مقایسه با بازدهی ٪۶۰ در شناورهای دو پروانه‌ای[2] دست یافت (جدول ۲-۶).

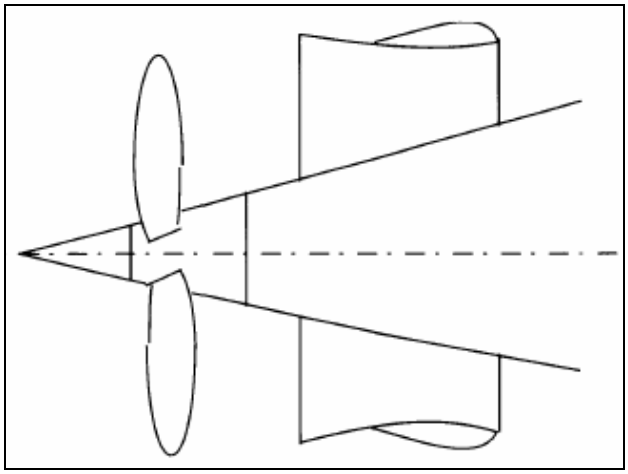
نوع بعدی، پروانه قدیمی دو محوری زیردریایی می‌باشد که در جنگ جهانی دوم بکار رفت که دارای دو عیب عمده بود. یکی اینکه دارای قطر کوچک (که بدلیل فاصله آن از بدنه زیردریایی محدود شده بود) و دیگر اینکه دارای قابلیت‌های کمتری در برابر اثر ویک و به هنگام ایجاد توزیع غیر یکنواخت ویک دچار نواقص بیشتری می‌شد؛ چرا که وقتی در زیر یا در کناره‌های بدنه نصب می‌شد، پره‌های پروانه در معرض ویک قسمت داخلی دیسک پروانه[3] و جریان آزاد با سرعت زیاد قسمت خارجی دیسک پروانه قرار می‌گرفت.

1- Single Axial Screw
2- Twin Screw
3- Inboard side of the disk

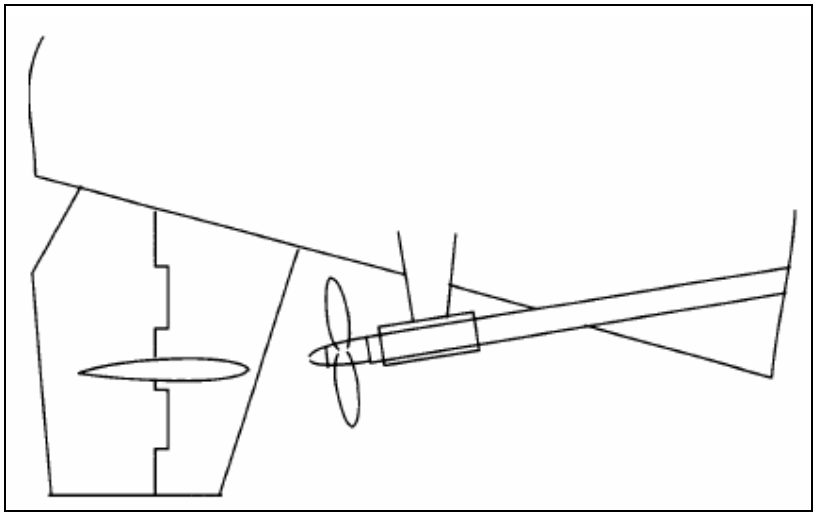
جدول (۲-۶) اثر زاویه دم مخروطی روی pc و p شفت

		w_T	t	η_H	η_o	η_R	PC
Single Screw	20° L	0.26	0.04	1.30	0.65	1.02	0.86
	40° L	0.36	0.11	1.41	0.65	1.02	0.93
	60° L	0.46	0.18	1.52	0.65	1.02	1.00
Twin-Screw	—	0.20	0.15	1.06	0.65	0.99	0.68

پروانه‌های تک محوری (شکل ۱۰-۶) نیز نیاز به انتقال کل قدرت پروانه از طریق یک شفت دارند که ممکن است مشکلات مکانیکی را ایجاد نماید. این امر همچنین بدین معنی است که در صورت هرگونه صدمه دیدگی پروانه یا شفت، زیردریایی از سیستم پیشران محروم خواهد شد. بنابراین طراح با در نظر گرفتن ملاحظات کلی طراحی ممکن است کمبودهای بازدهی پروانه دو محوری را بپذیرد و از سیستم پیشران با دو یا چند شفت استفاده نماید (شکل ۱۱-۶). در این مورد ایجاد تغییراتی در شکل پاشنه می‌تواند بر بهبود وضعیت ویک کمک کند و می‌توان از تغییرات زیاد ویک که در اطراف برجک ایجاد می‌شود پرهیز کرد.



شکل (۱۰-۶) پروانه تک محوری



شکل (۱۱-۶) سیستم رانش دو پروانه‌ای شبیه کشتی

سایر پروانه‌ها:

۱۸-۶) پروانه تک محوری تنها و بهترین راه رسیدن به بازدهی خوب پیشرانش با یک هندسه متقارن نمی‌باشد. اگرچه بازدهی می‌تواند معیاری برای سنجیدن شتاب محوری سیال باشد، ولی پره‌های پروانه همچنین باعث حرکت چرخشی و یا حرکت دوار سیال در پائین دست جریان می‌شود که باعث هدر رفتن قسمتی از انرژی می‌گردد. طراحی پروانه‌های با قطر بزرگ همچنین مستلزم نیروی گشتاور زیاد روی شفت و سرعت اندک دورانی است که نه فقط مشکلات طراحی ماشین آلات را بوجود می‌آورد بلکه مقاومت بدنه نیز در گشتاور پروانه تأثیر می‌گذارد.

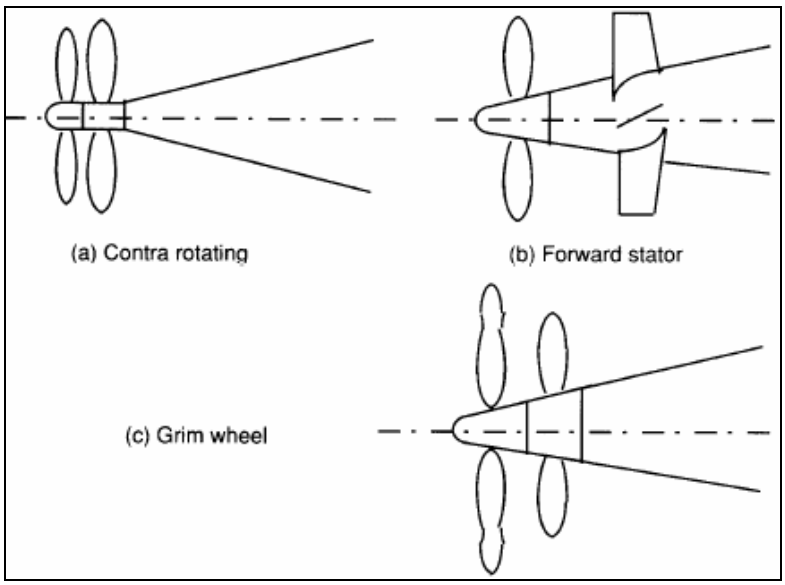
یک راه از بین بردن اتلاف انرژی در اثر حرکت دورانی و بالانس کردن گشتاور، استفاده از پروانه‌های دوتایی روی یک شفت[1] (شکل a-۱۲-۶) می‌باشد.

1- Co-axial Contra-rotating

ترکیب عکس‌العمل‌های دو پروانه بر یکدیگر، اتلاف انرژی چرخشی را از بین می‌برد و بدین ترتیب بازدهی بیشتر پروانه بدست می‌آید. در همین حال، گردش مخالف دو دستگاه از تیغه‌ها، عکس‌العمل گشتاور را خنثی خواهد کرد. اگرچه این سیستم دارای عواقب نامناسب دیگری ناشی از این نوع ترکیب در طراحی یک شفت دوپروانه[1] و یاتاقانهای آن، اتصال شفت و بدنه و جانمایی داخلی برای حرکت این شفت به دنبال خواهد داشت. یک راه حل ساده‌تر، استفاده از تیغه‌های استاتور[2] در اتصال با پروانهٔ چرخنده (شکل b-۱۲-۶) می‌باشد. تیغه‌های استاتور را می‌توان روی بدنه در جلوی پروانه و به صورت زاویه‌دار جهت ایجاد پیش چرخش[3] در پروانه، نصب کرد تا جریان چرخشی اندک و یا هیچ جریان چرخشی در پائین دست جریان در پروانه نداشته باشیم. مشکلات مضاعفی در نصب تیغه‌های استاتور در پشت پروانه و تقویت تیغه‌های استاتور وجود دارد تا جریان سیال را بصورت مستقیم هدایت کند و نیروی پیشران بیشتری ایجاد کند. سیستم دیگری که سعی شده است تا در کشتی‌ها نصب شود، پروانه آزاد[4] نام دارد و عبارت است از تیغه‌هایی که آزادانه روی میلهٔ مرکزی پروانه[5] دوران کرده و در بیرون دیسک پروانه همانند یک توربین عمل می‌کند و از جریان چرخشی جهت ایجاد نیروی پیشران بیشتر استفاده می‌کند (شکل c-۱۲-۶). روش دیگری که غیر از پروانه‌ها با تیغه‌های باز[6] وجود دارد، پروانه‌های کانالی[7] می‌باشد که دارای پوشش استوانه‌ای یا کانالی حول تیغه‌های دوار[8] می‌باشد (شکل ۱۳-۶). کانال باعث محافظت تیغه‌های دوار در مقابل اثرات مخرب سطح آب یا زیر یخ می‌شود. البته کارآیی کانال بیش از این می‌باشد. در یک پروانه باز، نوک تیغه‌های پروانه نمی‌تواند نیروی پیشران زیادی ایجاد کند، چرا که اختلاف فشار جلو و عقب تیغه‌ها باعث

1- Co-axial shafting
2- Stator blading
3- Pre-swirl
4- Grim wheel
5- Hub
6- Open screw propeller
7- Ducted propulsor
8- Rotor

پاشیده شدن جریان در قسمت انتهایی می‌شود و منجر به چرخش جریان و حالتی در پائین دست جریان می‌شود که بدان «جریان چرخش تیغه‌ها[1]» گویند.



شکل (۱۲-۶) انواع مختلف پروانه

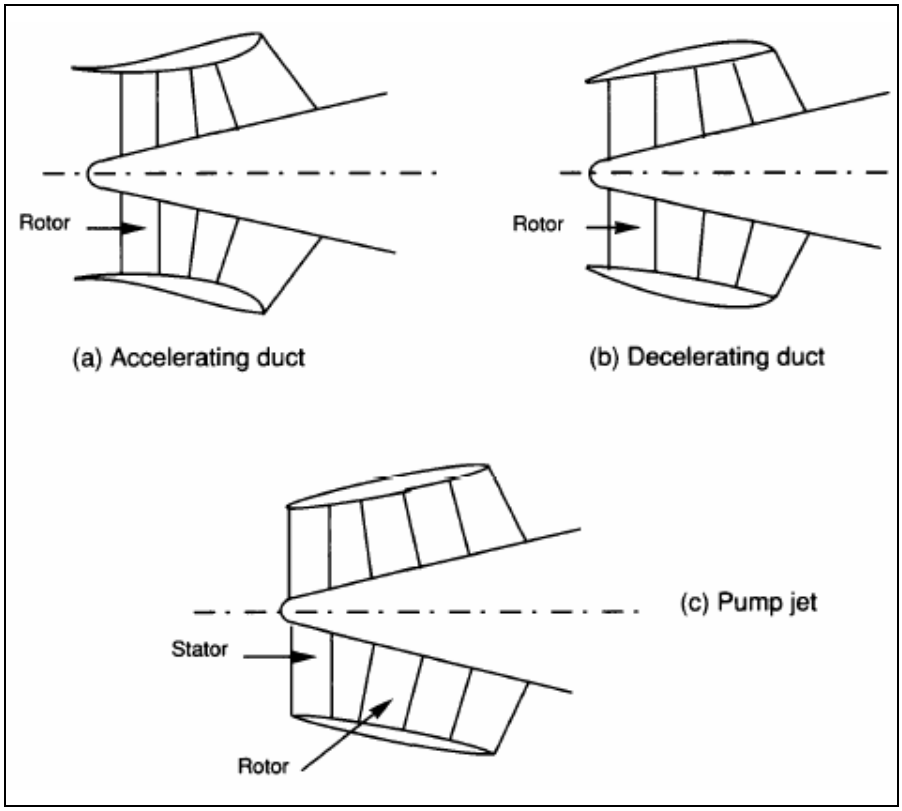
به غیر از نقایصی که در نیروی پیشران در نوک تیغه‌ها وجود دارد، جریان چرخشی می‌تواند باعث پدیده کاویتاسیون در روی سطح پره‌ها شود چرا که فشار در قسمت مرکزی جریان گردابی یا چرخشی بسیار پائین است و صدایی ایجاد می‌کند که به شدت نامطلوب است. اگر طراحی پره‌ها به گونه‌ای صورت گیرد که فاصله اندکی بین کانال و پره‌ها باشد، اختلاف فشار بین دو طرف پره قابل قبول خواهد بود. به این دلیل است که می‌توان در پروانه‌های کانالی (دارای کانال) از قطر کمتری نسبت به پروانه‌های باز، استفاده کرد و این سیستم قادر است که کارآیی بهتری علی‌رغم اثر ویک بیشتر بدلیل قطر کمتر داشته باشد. کانال همچنین می‌تواند برای کنترل جریان در پره‌های دوار طراحی شود. اگر این به گونه‌ای طراحی شود که مساحت

1- Tip vortex

مقطع میانی آن در پره‌های دوار بیشتر از قسمت ورودی و خروجی آن باشد، این باعث کاهش سرعت جریان و افزایش فشار در تیغه‌های دوار می‌شود که ایجاد کاویتاسیون در آبهای کم عمق را محدود می‌کند. از آنجا که نصب کانال باعث افزایش نیروی مقاوم در برابر حرکت می‌شود، بنابراین تیغه‌های دوار مجبور به تولید نیروی پیشران بیشتری هستند (شکل b-۱۳-۶).

غیر از این موارد، کانال ممکن است طوری طراحی شود که باعث شتاب دادن به جریان در تیغه‌های دوار شود (شکل a-۱۳-۶). می‌توان نشان داد که چنین کانالی، خود قسمتی از نیروی پیشران کل را ایجاد می‌کند و بار وارده بر تیغه‌های دوار را کاهش می‌دهد. در مواردی که نیروی پیشران زیادی مورد نیاز باشد، این سیستم می‌تواند بازدهی بیشتری از پروانه باز داشته باشد. استفاده از پوشش کانال این امکان را فراهم می‌کند که تیغه‌های استاتور در جلو یا عقب (یا هم در جلو و هم در عقب) رتور نصب شود. تیغه‌های استاتور می‌توانند چرخش جریان را همانطور که بیان شد، کاهش دهند و می‌تواند برای اصلاح جریان سیال در روتور استفاده شود و سرعت سیال ایجاد ویک را متعادل سازد. چنین سیستمی را جت پمپ[1] (شکل c-۱۳-۶) گویند.

1- Jet pump



شکل (۱۳-۶) حالات مختلف نصب کانال (داکت) حول پروانه در قسمت پاشنه

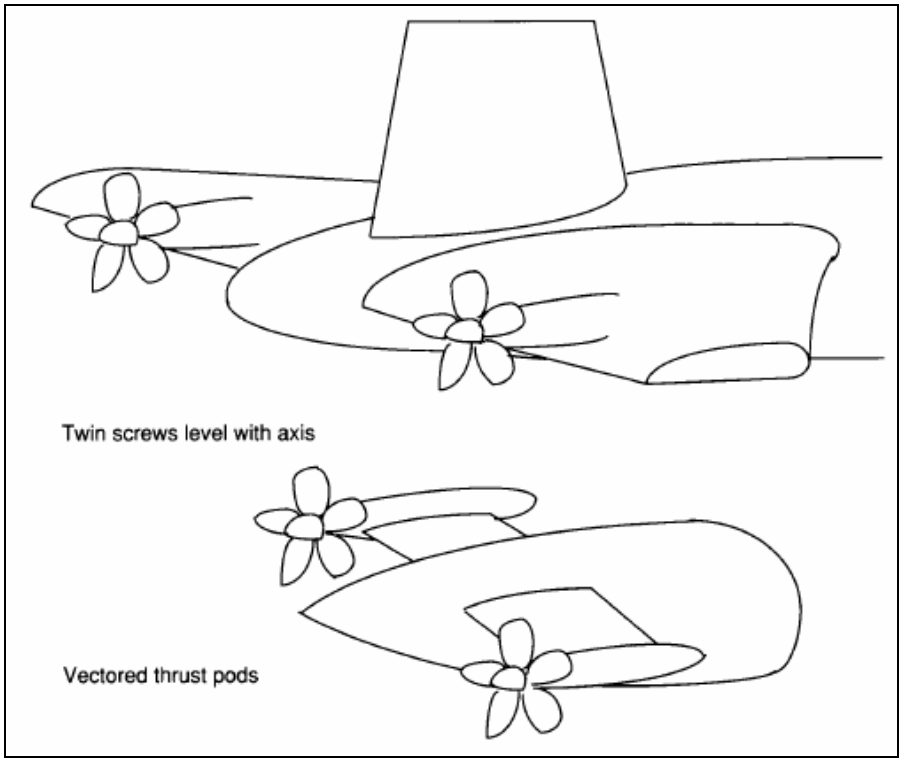
این سیستم در جزئیات دارای مشکلات پیچیده طراحی است ولی هنگامیکه نیاز بـه انتقـال قدرت زیادی می‌باشد، دارای مزایای هیدرودینامیکی و صوتی می‌باشـد. معمـولاً ایـن قـسمت در پاشنه شناورها بسیار سنگین است و بدلیل پیچیـدگی سـاختمانی ایـن نـوع، دارای هزینـهٔ قابـل ملاحظه‌ای نسبت به سایر پروانه‌ها، با همین کاربرد می‌باشد.

سایر وسایل پیش برنده:

۱۹-۶) در ادامه بحثی که پیشتر بیان شد، مهمترین انتخاب‌های سیستم پیش برنده در زیردریایی‌ها بیان شد، ولی موارد دیگری نیز وجود دارد که باید ذکر شود. در غوطه‌ورشونده‌های کوچک، نیاز چندانی به سرعت بالا وجود ندارد و به سیستم کنترل بسته و سرعت اندک یا سکون نیاز است. برای این منظور می‌توان پیش برنده‌های کوچک (دارای کانال و یا به صورت باز) با موتورهای محرک آنها در پوشش‌های قابل دوران نصب گردند، چنانکه نیروی پیشران مورد نیاز را در جهت مناسب ایجاد کنند. برای بدست آوردن آزادی کامل یعنی شش درجه آزادی، کنترل دقیقی نیاز است.

برای کنترل وضع و موقعیت شناورها، همانند سرعت، پیش برنده‌ها ممکن است به صورت کانالهایی در عرض بدنه همانند پیشران‌های عرضی سینه کشتی[1] بکار روند. چنین سیستمی همچنین ممکن است در پیشران‌های اصلی شناور به صورت کانالهای طولی نصب شوند که البته بازدهی کمتری بر اثر اتلاف انرژی در کانال طولانی هدایت جریان آب بدست خواهد آمد. اگرچه می‌توان با طراحی موقعیت مناسب ورودی‌ها، شکل لایه مرزی را کنترل کرد. سیستم پیشران غیر معمولی دیگری توسط هازلتون[2] پیشنهاد شد که شامل دو حلقه بزرگ از تیغه‌ها می‌باشند که در بیرون بدنه نصب می‌شوند. این پره‌ها به صورت دایره‌ای، همانند روتورهای هلی‌کوپتر کنترل می‌شوند. بنابراین سیستم پیشران به سمت جلو را می‌توان با کنترل لایه مرزی بهبود داد و پیش برنده‌های بعدی می‌توانند وضعیت زیردریایی را تغییر دهند. سیستم‌های پیشران غیرمعمول دیگری وجود دارند که بعضاً از بالک‌های ماهی‌ها تقلید شده است.

1- Bow thruster
2- Hazelton



شکل (۱۴-۶) انواع سیستم پیشران دو پروانه‌ای (که شبیه کشتی نمی‌باشد)

امّا یک روش ویژه و جالب که وجود دارد مگنتو هیدرودینامیک (MHD)[1] می‌باشد. این روش براساس تئوری ماکسول می‌باشد که بیان کننده رابطه‌ای بین میدان مغناطیسی، جریان الکتریکی و حرکت سیال هادی[2] می‌باشد. آب دریا یک سیال هادی قابل قبول است که اگر بتوان یک میدان مغناطیسی ایجاد کرد و یک میدان جریان الکتریکی در یک زاویه قائمه تولید شود، جریانی از سیال را عمود بر هر دو این میدان‌ها خواهیم داشت. این وسیله ممکن است در داخل یک کانال یا پوشش مجزا روی بدنه ایجاد شود یا این میدان‌ها ممکن است تنها در بیرون

1- Magento – hydrodynamic
2- Conducting fluid

از بدنه تولید شوند و باعث حرکت رو به عقب سیال شوند و بنـابراین نیـروی جلـو برنـده جهـت پیشرانش شناور ایجاد گردد. با طراحی دقیق میدان‌ها، کنترل کامل سیال ممکـن خواهـد بـود و مقاومت ویسکوز کاهش خواهد یافت. از آنجا که دستگاه MHD، نیازمند میدان‌ها و جریان‌های بزرگ می‌باشد، لذا به تولید قدرت زیادی نیاز خواهد بـود. بـرای زیردریـایی‌هـای نظـامی، ایجـاد میدان‌های مغناطیسی قوی بسیار خطرناک است چرا که ردیابی زیردریایی را بسیار ساده و راحـت خواهد کرد.

وسایل نقلیه دارای سیستم‌های پیش برنده

۲۰-۶) مهندسان معماری کشتی باید همانطور که در قسمت‌های قبل توضیح داده شد، به مسئله مقاومت و پیشرانش در مرحله طراحی آشنائی داشته باشند. هدف ایـن فرآینـد رسـیدن بـه حداقل مقاومت شکل بدنه در برابر سیال و معرفی یک سیـستم پیـشران مناسـب و بهینـه برای ایجاد نیروی پیش برنده مورد نیاز با در نظر گرفتن تأثیر متقابل مقاومت و پیـشرانش بر یکدیگر می‌باشد. اگرچه این فرآیند دارای یک سبک مشخص است، امـا در اینجـا ایـن پرسش بوجود می‌آید که چرا نتایج مسائل طراحی، نتایج بهینه می‌باشد.

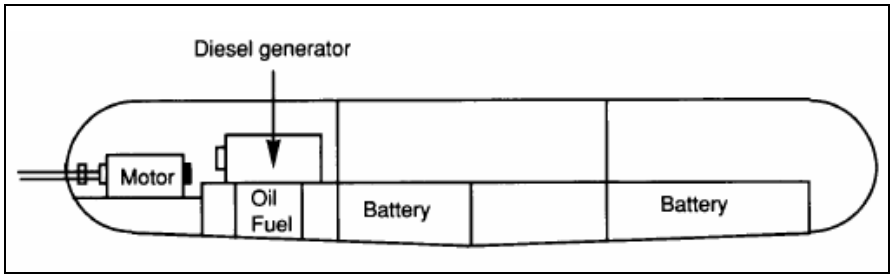
دلیل شیب اندک قسمت عقب بدنه در شکل ایده‌آل بدنه این است که ایـن نـوع شـکل، از افزایش سریع ضخامت لایه مرزی جلوگیری کرده و جدایی جریان با کاهش سرعت سـیال روی بدنه را به تأخیر انداخته و افزایش فشار به سمت قسمت پاشنه را باعث می‌شود. وظیفه پروانـه در پاشنه، شتاب دادن جریان می‌باشد که این اثر تا یک یا دو برابر قطر به سمت جلـو پروانـه وجـود دارد. این مسئله قابل بحث است که اگر پروانه و بدنه بتوانند در آب فرو روند، اثر افزایش شـتاب پروانه، اثر کاهش شتاب بدنه را از بین می‌برد (کنترل شکل لایه مرزی)، آنگاه راه حـل دیگـری برای مشکل پیشران کل ممکن است وجود داشته باشد. بنابراین شکل بدنه‌ای را می‌تـوان اصـل قرارداد که افزایش آرام قطر به سمت پاشنه را داشته باشد یا قسمت استوانه‌ای پس از رسیدن بـه

پاشنه، به یکباره دچار تغییرات فشار شود. سپس پروانه می‌تواند نزدیک پاشنه چنـان نـصب شـود که اثر شتاب‌دهی آن، اثر جدایش نیز که اتفاق می‌افتد را از بین ببرد. این شـکل نـه تنهـا دارای مزیت‌های هیدرودینامیکی است، بلکه فضای داخلی مناسب و مزایای هیدرواستاتیک بیشتری، بـا داشتن حجم بیشتر قسمت عقب بدنه، ایجاد خواهد کرد. نسبتاً بدیهی اسـت کـه بـرای آزمـایش شکل اژدرها، باید از اصول ایرفویل و یا شکلی همانند آن استفاده کرد. مشکل اینست که هر چند می‌توان اژدر را در اندازه واقعی آن آزمایش کرد، ولی باید قبل از این مرحله بوسیله آزمایش مدل، شکل ایده‌آل اژدر برای ساختن اندازه واقعی آن مشخص شود و بسیاری از اشکال جدید و مسائل مهندسی در مورد سیستم پیشران و سیستم کنترل آن بررسی و حل شود. همانطور که قبلاً ذکـر کردیم، تحقیقات و آزمایشات گسترده‌ای قبل از پذیرفته شدن یک طرح جدید باید صورت گیرد.

الزامات طراحی سیستم رانش

تعیین اندازه سیستم پیشران

۲۱-۶) در کنار مسائلی که در مورد انتخاب شکل بدنه و پیش برنده یا پروانـه بـرای رسـیدن بـه حداقل توان مورد نیاز توضیح داده شد، هم اکنون بایـد مطـالبی را در مـورد تعیـین انـدازه سیستم تولید قدرت بدانیم. از آنجا که سیستم پیشران حدود ۵۰ درصد حجم بدنـه فـشار را اشغال می‌کند، این قسمت نقش مهمی را در تعیین اندازه شناور ایفا می‌کند (شـکل ۱۵-۶). برای بحث در این مورد فرض خواهیم کرد که سیـستم پیـشران، از نـوع دیـزل الکتریـک استاندارد می‌باشد و در مورد سایر سیستم‌های پیشران مانند سیستم هسته‌ای مختصراً بحث خواهد شد. اصولاً در سیستم پیشران دیزل – الکتریک چهار بخش وجود دارد. هـر یـک از این بخش‌ها معیارهای تعیین اندازه متفاوتی دارند و از آنجا که باید به صورت جامع و کلـی به مسئله نگاه شود، حدود خاصی در تعیین اندازه هر یک از بخش‌ها وجود دارد.



شکل (۱۵-۶) اجزاء مختلف سیستم پیشران در داخل بدنه

این بخش‌ها عبارتند از:

الف) موتورهای پیشران

ب) باطری‌ها

ج) دیزل ژنراتورها

د) سوخت

هم اکنون روی هر یک از این بخش‌ها بحث خواهیم کرد.

موتورهای پیشران

۲۲-۶) این قسمت شامل موتورهای الکتریکی جریان مستقیم است که معمولاً روتورهای آن مستقیماً به شفت پروانه متصل[1] شده‌اند و باید دارای اندازه‌ای باشد که بتواند قدرت مورد نیاز شفت در حداکثر سرعت مورد نیاز زیردریایی را تأمین کند. البته انتخاب موتور مناسب تنها به حداکثر قدرت شفت یا ولتاژ موجود برای راندن آن، وابسته نیست. از آنجا که این قسمت مستقیماً به شفت پروانه متصل است، سرعت دَوران (rpm) آن باید به مقداری باشد که نیروی پیشران کامل که پروانه برای آن طراحی شده است را بدهد. همچنین

1- Couple

گشتاور خروجی موتور باید با گشتاور مورد نیاز پروانه در شرایط حداکثر قدرت، هماهنگ باشد. بنابراین مسائل هماهنگ شدن[1] این دو قسمت نیز باید در نظر گرفته شود.

نشان دادیم که حداکثر بازدهی سیستم پیشران در قطر بزرگ و دور اندک پروانه موجب گشتاور بزرگ خواهد بود. در اینجا مایل نیستیم که وارد جزئیات طراحی الکتریکی شویم و در فصل بعد کمی در مورد آن توضیح داده‌ایم. فعلاً کافی است این را بدانیم که محدودیت‌هایی در ایجاد میدان بین روتور و استاتور یک موتور الکتریکی و نیروی محیطی‌ای که می‌تواند تولید شود وجود دارد. بنابراین یک طراحی فشرده موتورهای الکتریکی برای تولید قدرت، تنها گشتاور پائین در دور بالا را خواهد داد. نیاز پروانه‌ها برای گشتاور بالا و دور پائین، درست عکس این شرایط است. لذا سیستم پیشران نیاز به قطر بزرگ روتور دارد که منجر به یک موتور پیشران سنگین و حجیم در بخش باریک قسمت پاشنه می‌شود که خود باعث بوجود آمدن مشکلات تعادل هیدرواستاتیکی و طراحی فضای داخلی می‌گردد که بر طرف کردن آن کار چندان ساده‌ای نیست. بنابراین در طراحی کلی باید چنان افزایش دور و کاهش گشتاور را در نظر داشت که با اندازه‌های موتورهای موجود همخوانی داشته باشد. همانطور که در فصل پایانی توضیح خواهیم داد دامنهٔ پیوسته‌ای برای انتخاب وجود ندارد و از آنجا که اندازه‌های استانداردی از موتورها موجود می‌باشد پرش‌هایی در این مسیر طراحی خواهیم داشت که فرآیند طراحی را متأثر خواهد نمود. یک راه حل ممکن، استفاده از دو موتور کوچک روی شفت است که نیاز به شفت با قطر و طول متفاوت خواهد بود و این کار کنترل الکتریکی را نیز دچار پیچیدگی خواهد نمود. این سیستم ممکن است به کار گرفته شود چرا که باعث ایجاد پیشرانش بیشتر سیستم می‌شود و از آنجا که امکان ایجاد تغییراتی در سرعت‌های پائین‌تر را فراهم می‌کند، موتور پیشران بیشتر عمر کاری خود را در قدرت و دور پائین‌تر خواهد گذراند. همچنین طراح می‌تواند سیستم رانش غیر مستقیم موتور را از طریق یک جعبه دنده[2] بر شفت تأمین کند که مشکلاتی در هماهنگ کردن

1- Matching
2- Gearbox

آن و تحمیل هزینه، وزن و حجم جعبه دنده بوجود خواهد آورد. برای زیردریایی‌ها این سیستم چندان مناسب نیست چرا که ساخت سیستم رانش مستقیم و بدون واسطه بسیار آسان می‌باشد در حالیکه از بین بردن صدای ناشی از جعبه دنده مشکلات بسیاری به دنبال خواهد داشت.

درکنار مسائل موتورها، مباحثی نیز در مورد ولتاژها و جریان‌های بالا برای تولید قدرت‌های متفاوت، وجود دارد.

پیشرفت‌های اخیر در طراحی موتورهای مغناطیس دائم، شاید روش مناسبی برای غلبه بر مشکلی که در بالا بیان شد، باشد. این نوع موتورها دورنمایی از موتورهای کوچک است که قادر به برآوردن نیازهای پیشرانش با کاهش قابل ملاحظه سیستم چرخ‌دنده‌ای جهت ایجاد کنترل بهتر خواهد بود که نه فقط باعث کاهش اشغال فضا می‌شود بلکه باعث بهبود قابلیت اطمینان و نگهداری می‌شود.

باطری‌ها

۲۳-۶) هنگامی که زیردریایی به طور کامل به زیر آب می‌رود از انرژی ذخیره شده در باطری‌ها برای تولید قدرت مورد نیاز، استفاده می‌کند. همچنین علاوه بر نیروی پیشران، این باطری‌ها باید قدرت لازم کارکرد حسگرها، سلاحها و ماشین‌آلات فرعی و چیزهایی که برای سکونت لازم است همانند تهویه و ایجاد شرایط تنفس هوا برای خدمه را فراهم کنند.

این موارد اندک اندک باعث تخلیه شدن باطری می‌شود که وابسته به مصارف سیستم رانش و مصارف داخلی در زمان زیر آب ماندن است [مصارف داخلی[1] به کلیه مصارف الکتریکی زیردریایی به غیر از مصارف پیشرانش گفته می‌شود مانند: تهویه مطبوع، تهویه داخلی، روشنایی، هیدرولیک و مصارف امکانات رفاهی].

[1] - Hotel load

بیشترین مصرف انرژی ذخیره شده در باطری‌ها برای پیشرانش می‌باشد. از آنجا که در حداکثر سرعت انرژی بسیار زیادی از باطری‌ها گرفته می‌شود که در این حالت تنها ۳۰ دقیقه باطری‌ها دوام می‌آورند. به همین دلیل است که معمولاً برای تعیین اندازه مورد نیاز باطری‌ها از معیار حداکثر قدرت استفاده نمی‌شود، بلکه ظرفیت مورد نیاز باطری برای سرعت گشت‌زنی[1] در حالت غوطه‌وری و زمان مورد نیاز غوطه‌وری به عنوان معیار در نظر گرفته می‌شود یا یک سرعت عملیاتی مورد نیاز در زیر آب به عنوان معیار قرار می‌گیرد. پس از تعیین معیار، جهت مشخص کردن ظرفیت باطری مورد نیاز، زمانی که زیردریایی در حداکثر سرعت از موقعی که باطری به طور کامل شارژ است و می‌تواند در زیر آب حرکت کند را می‌توان به دست آورد و این یکی ازمشخصه‌های طراحی در نظر گرفته می‌شود. از آنجا که قدرت پیشرانش با توان ۳ سرعت متناسب است، با رعایت کردن سرعت نسبتاً کم در زیر آب، می‌توان زمان غوطه‌وری را افزایش داد. اگرچه مسافتی که زیردریایی باید در زیر آب طی کند نیز دارای اهمیت می‌باشد، ولی رعایت یک سرعت بهینه برای حرکت ضروری می‌باشد تا اینکه قبل از طی کردن مسافت مورد نظر، ظرفیت باطری‌ها به اتمام نرسد.

همانطور که گفته شد، در سیر انتخاب ظرفیت مناسب باطری‌ها، پرش‌ها و ناپیوستگی‌هایی وجود دارد. مجموعهٔ باطری‌ها به بخش‌هایی تقسیم می‌شوند که هر یک از این بخش‌ها ولتاژهای کاربردی خاصی ایجاد می‌کنند، مثلاً هر ۱۰۰ باطری حدود ۲۲۰ ولت جریان مستقیم (DC) ایجاد می‌نمایند. دو بخش از اینها می‌تواند ۲۲۰ ولت یا ۴۴۰ ولت تولید کند و چهار بخش از اینها می‌تواند ۲۲۰ ولت، ۴۴۰ ولت یا ۸۸۰ ولت تولید کند. بنابراین انتخاب اندازه‌های استاندارد باطری‌ها محدودیت‌هایی ایجاد می‌کند.

1- Cruise speed

دیزل ژنراتورها

۲۴-۶) موتور دیزل در سطح آب یا در عمق حالت تنفس تنها هنگامی می‌تواند کار کند که با هوای اتمسفر در ارتباط باشد. کاربرد اولیه موتورهای دیزل، شارژ دوباره باطری‌هاست که به هنگام رفتن به زیر آب استفاده می‌شود. پس از انجام این وظیفه باید قدرت مورد نیاز مصارف داخلی و قدرت مورد نیاز جلوبرندگی برای حرکت در سطح آب یا عمق تنفس را تأمین کند.

قدرت مورد نیاز برای شارژ کردن باطری‌ها بستگی به ظرفیت باطری‌ها (که تقریباً مشخص است) و حداکثر جریان شارژ و حداکثر جریانی که سلول‌های باطری می‌توانند تحمل کنند بستگی دارد. بنابراین زمان شارژ باطری‌ها و متعاقباً مدت زمان قرار گرفتن در عمق تنفس، وابسته به باطری‌ها می‌باشد نه دیزل‌ها.

در اینجا فرض بر این است که دیزل می‌تواند حداکثر نرخ شارژ را تأمین کند. مصارف داخلی معمولاً ثابت است، بنابراین تعیین اندازه دیزل ژنراتور بیشتر از این مقدار، به سرعت حرکت در سطح آب یا عمق تنفس و قدرت مورد نیاز آن بستگی دارد. به دلیل کنترل عمق و نیروهای وارد بر دکل و پریسکوپ، سرعت در عمق تنفس معمولاً محدود به ۱۰ گره است. بنابراین طی کردن مسافت در عمق تنفس مرتبط با زمان شارژ و سرعت حرکت زیردریایی می‌باشد.

فاکتوری که کاربردهای مهمی دارد «نسبت ریسک یا خطر»[1] نام دارد، یعنی نسبت زمان تنفس به زمان غوطه‌وری (ماندن در زیر آب). همانطور که مشخص است این نسبت به شدت وابسته به میزان سرعت در زیر آب می‌باشد و مستقیماً متأثر از انتخاب دیزل تولید قدرت نمی‌باشد. پس از تعیین قدرتی که باید توسط دیزل ژنراتورها تأمین شود، هم اکنون بحث انتخاب موتورها فرا می‌رسد. معمولاً در زیردریایی تنها از یک موتور دیزل استفاده نمی‌شود چرا که این بدین معناست که با خراب شدن یا از بین رفتن آن، زیردریایی بکلی از شارژ باطری‌ها عاجز

1- Indiscretion ratio

خواهد بود. معمولاً دو دیزل و یا بیشتر استفاده می‌شود، ولی برای اطمینان و قدرت بیشتر از سه یا چهار موتور نیز استفاده می‌گردد. نکته مهم در اینجاست که اصولاً با خراب شدن یک موتور، باز هم زیردریایی باید قادر به شارژ باطری‌ها، حتی در سرعت کمتر باشد.

سوخت

۲۵-۶) تعیین اندازه مخازن سوخت به تمام مواردی که پیشتر گفته شد، بستگی دارد. اگر حالتی که زیردریایی با باطری‌های کاملاً شارژ، بندر را ترک کند و با باطری‌های کاملاً خالی، وارد بندر شود را در نظر نگیریم؛ مخازن سوخت باید کل انرژی را برای گشت‌زنی در این فاصله تأمین کند. شارژ باطری‌ها یک واسطه تأمین انرژی است و هنگامی که امکان استفاده از سوخت و دسترسی به هوا جهت احتراق سوخت وجود ندارد، از آنها استفاده می‌شود. بنابراین ظرفیت سوخت مورد نیاز برابر با مصرف داخلی الکتریکی در کل مدت گشت‌زنی بعلاوهٔ انرژی مورد نیاز پیشرانش می‌باشد.

مورد بعدی که می‌توان به راحتی آنرا بررسی کرد، فاصله و برد گشت‌زنی در یک سرعت متوسط بهینه است. محاسبات جزئی بیشتر براساس زمان و سرعت حرکت در سطح آب، زمان و سرعت در حالت تنفس و زمان و سرعت در حالت غوطه‌وری در زیر آب بررسی می‌شود. پس از بررسی کل موارد مصرفی انرژی، نوبت به تعیین راندمان‌های مختلف تبدیل انرژی سیستم‌ها و انرژی مخصوص سوخت بکار گرفته شده، می‌رسد.

قدرت هسته‌ای

۲۶-۶) مشاهده می‌شود که زیردریایی‌های معمولی در سیستم ذخیره انرژی و قابلیت‌های زیرآبی، دارای محدودیت‌هایی هستند، یعنی ظرفیت باطری‌هایی که در داخل بدنه حمل می‌شوند. این محدودیت‌ها با پیدایش و پیشرفت طرح‌های رآکتورهای هسته‌ای به طور کامل برطرف

شد، به طوری که می‌توان مقدار نامتناهی انرژی از آن بدست آورد که با ساعت‌ها مصرف و یا تعداد گشت‌زنی قابل محاسبه نیست بلکه قادر به تولید انرژی برای سالها می‌باشد.

یکی از مشکلاتی که در رآکتورهای مدل PWR[1] که معمولاً در زیردریایی‌های هسته‌ای استفاده می‌شود، کوچکترین اندازه از چنین سیستم‌هایی می‌باشد که می‌تواند ساخته و به کار گرفته شود. این سیستم نه تنها به مسیر گردش سنگین نیاز دارد، بلکه روکش و محافظت مورد نیاز چنین سیستمی در مجموع قسمت بسیار بزرگی از تجهیزات می‌باشد که حتی با تغییر قدرت خروجی یا حجم و وزن شناور، نمی‌توان تغییراتی در آنها ایجاد کرد. با فناوری امروزی، از رآکتورهای PWR در زیردریایی‌های پائین‌تر از ۴۰۰۰-۳۵۰۰ تن استفاده نمی‌شود. زیردریایی‌های هسته‌ای هم دارای هزینه ساخت گران هستند و هم هزینه تعمیر و نگهداری و خدمه آن سنگین است. استفاده از چنین سیستم‌هایی برای بسیاری از نیروهای دریایی در سراسر دنیا امکان‌پذیر نیست.

انرژی رآکتور PWR به طور غیر مستقیم به سیستم‌های تولید بخار منتقل می‌شود و موجب به حرکت در آمدن توربین‌های بخار شده و از آن به کمک جعبه دنده به شفت یا توربو ژنراتورها[2] منتقل می‌گردد. هنوز استفاده از سیستم پیشران موتور الکتریکی روی شفت رایج است، ولی دارای قدرت تولیدی کمتری می‌باشد.

باطری‌های با ظرفیت بالا

۲۷-۶) از آنجا که استفاده از قدرت هسته‌ای بجز در نیروی دریایی کشورهای قدرتمند که از زیردریایی‌های بزرگ استفاده می‌کنند، دارای معایب قابل ملاحظه‌ای است، لذا پیشرفت فناوری امروز مجدداً به تهیهٔ مخازن انرژی پیشرفته و سایر وسایل مربوط به آن برای حالتی که زیردریایی کاملاً در زیر آب است متمرکز شده است. از آنجا که باطری‌های

1- Pressurised Water Reactor
2- Turbo generator

شناورهای معمولی وزن و فضای زیادی را اشغال می‌کنند، لذا باید از باطری‌های پر ظرفیت‌تری برای ذخیره انرژی برق بیشتر (وات بر لیتر یا کیلوگرم) نسبت به جریان تولید شده در باطری‌های سرب – اسید، استفاده کرد.

هم اکنون پیشرفت‌هایی صورت گرفته است که به کمک سایر انواع باطری‌های شیمیایی می‌توان به سه برابر ذخیره انرژی دست یافت. چنین پیشرفت‌هایی می‌تواند به اندازه قابل ملاحظه‌ای قابلیت‌های زیرآبی در زیردریایی‌های معمولی را بهبود بخشند. یکی از این باطری‌ها، باطری با دمای بالای لیتیوم – آلومینیم – سولفیت آهن می‌باشد که در انگلستان در حال بررسی است که البته چنین باطری‌هایی معایبی نظیر احتیاج به عایق بندی حرارتی اطراف باطری به دنبال دارند.

سیستم‌های قدرت مستقل از هوا

۲۸-۶) یکی دیگر از روش‌های تولید قدرت در شرایط زیرآبی، سیستم‌هایی هستند که با عنوان سیستم‌های قدرت مستقل از هوا (AIP)[1] می‌باشد.

در موتورهای دیزل معمولی، انرژی سوخت دیزل با اکسیداسیون به وسیلهٔ اکسیژن موجود در هوای ورودی آزاد می‌شود. هوا نه تنها اکسیژن مورد نیاز برای احتراق را فراهم می‌کند، بلکه به عنوان سیال واسطه که موتور را به حرکت در می‌آورد، عمل می‌کند.

هنگامی که زیردریایی به زیر آب می‌رود، اکسیژن و سیال واسطه در زیردریایی موجود نخواهد بود، لذا سیستم‌های قدرت معمولی به غیر از زمان کوتاهی، دیگر قابل استفاده نخواهند بود. این شرایط می‌تواند به هنگام تنفس اتفاق بیافتد، ولی هنگامی که بطور کامل به زیر آب برود، دریچه‌ها جهت پرهیز از ورود آب به داخل لوله‌ها، به صورت اتوماتیک بسته خواهند شد؛ لذا دیزل می‌تواند برای مدت اندکی، با استفاده از هوای موجود در داخل زیردریایی کار کند. برای مدت زمان کوتاهی، خلأ در داخل زیردریایی به وجود خواهد آمد که می‌تواند برای خدمه

1- Air Independent Power

خطرناک باشد و برای دیزل‌ها هم چندان مناسب نیست. بنابراین در صورت پائین‌تر رفتن دکل از حالت تنفس، دیزل‌ها خاموش خواهند شد.

یک راه حل برای مشکلات زیرآبی، حمل نه تنها سوخت قابل اشتعال بلکه حمل عامل تولید اکسیژن می‌باشد. یعنی حمل اکسیژن به صورتی که ممکن است اکسیژن مایع یا سیال بسیار اکسید داده شده یا پراکسید می‌باشد. همانطور که در فصل دوم بیان شد، در اواخر جنگ جهانی دوم، آلمانی‌ها زیردریایی‌های پیشرفته‌ای ساختند که با پروکسید هیدروژن و استفاده از توربین والتر کار می‌کرد و شامل احتراق خارجی سوخت و اکسیژن بود که حرارت مورد نیاز بویلر را تولید کند. این سیستم بر مبنای ظرفیت حداکثر سرعت طراحی شده بود که البته برای چند ساعت محدود می‌توانست کار کند و به استفاده همزمان از پراکسید اشباع[1] و سوخت در داخل بدنه نیاز داشت. آزمایشات بیشتر روی این سیستم در نیروی دریایی سلطنتی انگلستان پس از جنگ و با پیدایش نیروی هسته‌ای، دیگر ادامه نیافت. عامل دیگری که باعث بسیار خطرناک بودن پراکسید اشباع می‌شد این بود که این ماده در مجاورت هر ماده دیگر به سرعت آتش می‌گرفت و می‌سوخت. در هر حال اگر مسائل ایمنی و اطمینان و استانداردهایی که در مورد سیستم‌های هسته‌ای بکار می‌رود در سیستم‌های پراکسید هم بکار رود، همین میزان ایمنی بدست خواهد آمد. روش مشابهی با استفاده از سیکل استیرلینگ[2] با یک موتور رفت و برگشتی[3] بکار می‌رود که دارای سیستم احتراق خارجی برای فراهم آوردن منبع حرارت لازم برای گردش در چرخه حرارتی موتور[4] می‌باشد. چنین طرحی در سوئد بطور کامل پیشرفت کرد و هم اینک در زیردریایی‌ها بکار می‌رود، اگر چه ظرفیت آن هنوز برای سرعت‌های بالا مناسب نمی‌باشد و برای حفظ موقعیت در یک سرعت متوسط، مناسب می‌باشد.

1- High test proxide
2- Stirling cycle
3- Reciprocating
4- Heat cycle

راه حل دیگر استفاده از وسیله‌ای است که موتور دیزل سیکل بازگشتی[1] نامیده می‌شود. کارکرد آن همانند موتورهای دیزل معمولی است که با یک سیکل بسته کار می‌کند که همانند سیال گاز در سیستم کار می‌کند با این تفاوت که اکسیژن به داخل گاز در هر سیکل تزریق می‌شود که باعث احتراق سوخت در داخل سیلندرها می‌شود. درچنین سیستمی باید دی‌اکسید کربن و مونوکسید کربن حاصل از گاز مصرف شده را انتقال داد.

یکی از پیشرفت‌های AIP (تولید قدرت مستقل از هوا)، پیل سوختی[2] می‌باشد که مزیت‌های ویژه‌ای برای کاربرد در زیردریایی‌ها دارد چرا که از ورودی اکسیژن و هیدروژن، خروجی برق مستقیم (DC) می‌دهد، یا بوسیله فرآیندهای الکتروشیمیایی صورت می‌گیرد و فرآیندهای مستقیم مکانیکی بکار نمی‌رود. این سیستم فوق‌العاده بی سر و صدا و بدون آلودگی و دارای بازدهی خوب (حدود ۵۰٪) می‌باشد.

شش یا چندین نوع پیل سوختی تاکنون توصیه شده است و دارای ماده‌ای به عنوان الکترولیت و یک دمای کارکرد (دارای محدوده‌ای از ۷۰ – ۵۰ درجه سانتیگراد تا ۱۰۰۰–۹۰۰ درجه سانتیگراد) می‌باشد. برخی از پیل‌های سوختی برای تولید قدرت در وسایل نقلیه، دهها کیلو وات قدرت تولید می‌کنند، در حالیکه سایر انواع آن قادر به تولید صدها کیلو وات می‌باشند.

برای کاربرد در زیردریایی‌ها، توجه ویژه‌ای به سیستم‌های پیل سوختی متحرک[3] شده است، اما سیاستی که امروزه نیروی دریایی بسیاری کشورها در پیش گرفته‌اند، تحقیقات و توسعه تجاری سیستم‌های پیل سوختی متحرک با هدف رسیدن به یک سیستم مناسب برای کاربرد در زیردریایی‌ها می‌باشد. هر یک از این سیستم‌ها که در آینده پیشرفت کند، مسئله اصلی آنها فراهم آوردن فضای اضافی در داخل زیردریایی برای ذخیره سوخت و اکسیژن یا مواد شیمیایی مورد نیاز می‌باشد.

1- Recycle diesel engine
2- Fuel cell
3- Mobile fuel cell

الزامات طراحی سیستم تولید قدرت

۲۹-۶) با نگاه به سیستم تولید قدرت زیردریایی در مقایسه با طراحی کلی زیردریایی، اندازه این سیستم نه تنها از لحاظ اشغال فضای داخل زیردریایی مهم است بلکه اندازه این سیستم با قدرت تولیدی آن رابطه‌ای مستقیم دارند؛ یعنی هر چه قدرت تولید شده بیشتر باشد، اندازه زیردریایی باید بزرگتر شود.

نتیجه اقتضاء می‌کند که طراح، اهداف کارکردی بالایی برای سرعت بالای زیرآبی در نظر داشته باشد (از این نظر که قدرت و توان ۳ سرعت با یکدیگر متناسب هستند) تا بازدهی پیشرانش خوبی بدست آید. این انتخاب از آنجا مهم است که تأثیر مستقیم تولید قدرت بر فرآیند طراحی بسیار زیاد است.

فصل هفتم

« شکل هندسی و جانمایی‌ها »

مقدمه:

۱-۷) در فصول پیش با برخی از جوانب انتخاب شکل هندسی زیردریایی به گونه‌ای که محتویات آن، بهترین تأثیر را چه در داخل و چه در بیرون بدنه داشته باشد آشنا شده‌اید. هدف ما در این فصل جمع‌آوری این جوانب و معرفی مباحث دیگری است که در جانمایی محتویات زیردریایی موثر است.

درباره این موضوع و جانمایی‌ها، قسمتی از وظایف طراح را معرفی می‌کنیم که اصولاً به آن «معماری»[1] گویند. از آنجا که کار ما مهندسی دریایی می‌باشد، می‌توانیم در مورد آنچه بیشترین وقت معمار را که حل مسائل مهندسی است، به خود اختصاص می‌دهد را توضیح دهیم تا با توجه به این موارد، معماری دریایی با دقت بیشتری بررسی شود. هنوز زمینه فعالیت بسیاری در این حیطه وجود دارد که نیاز به ذوق مهندسی همانند یک علم دارد.

ممکن است در ابتدا به نظر برسد که شکل و جانمایی زیردریایی خیلی ساده‌تر از مشکلات موجود در کشتی‌ها می‌باشد. اصولاً زیردریایی یک لوله دراز است که بیشتر تجهیزات آن بصورت طولی و اندکی هم به صورت عمودی نصب می‌شوند. در یک کشتی که بعبارت دیگر دارای چندین عرشه می‌باشد، آزادی تعیین محل تجهیزات به صورت طولی، عرضی و عمودی وجود دارد.

عواملی که شکل و جانمایی را تحت تأثیر قرار می‌دهند

۲-۷) شکل پوسته بیرونی زیردریایی: همانطور که نشان داده‌ایم، باید طوری انتخاب شود که حداقل مقاومت در برابر حرکت رو به جلو را داشته باشد. همانطور که در فصل بعد نشان

1- Architectural

خواهیم داد، انتخاب شکل بدنه بر کنترل دینامیکی زیردریایی تأثیر مـی‌گـذارد و همچنـین تأثیر می‌پذیرد. در داخل بدنه فشار زیردریایی باید یک سازه مناسب برای مقاومت در برابـر فشار و همچنین جای کافی برای نصب تجهیزات و فضای کـافی بـرای خدمـه زیردریـایی وجود داشته باشد.

معمولاً یک شکل سازه‌ای مناسب برای بدنه فشار، کاملاً با بدنه‌ای که با جریان سیال حول بدنه برای رسیدن به مقاومت حرکت کمتر، همخوانی داشته باشد، سازگاری ندارد. بطـور ایـده‌آل یکی نیازمند تغییرات پیوسته طولی و یکی نیازمند ثابت بودن قطر است. بنابراین اخـتلاف شـکل پوسته بیرونی و شکل بدنه فشار داخلی، فضایی را بین این دو فراهم می‌آورد که می‌توانـد بـرای نصب بیرونی دستگاه‌ها و مخازن خارج از بدنه سخت استفاده شـود. همچنـین فـضایی بـصورت آبگیر آزاد که قبلاً هم در مورد آن توضیح داده شده است، باید داشته باشد و از نظر طراحی یـک مشخصه نامطلوب می‌باشد؛ چرا که این فضای غیر قابل استفاده نیز باید بـه همـراه سـایر اجـزاء زیردریایی حرکت کند. فضای بین مرز داخلی و خارجی باید به مقداری باشد که بعنوان یک عضو سازه‌ای عمل کند و برای رنگ کاری و نگهداری در سایر مراحل نیز مناسب باشد. می‌توان یـک بدنه فشار کاملاً بسته را در داخل یک پوسته بیرونی به گونـه‌ای قـرار داد کـه فـضایی بیـشتر از فضای مورد نیاز مخازن فراهم کند. بنابراین یک روش ساده نمی‌تواند یک طراحی مناسب بـرای زیردریایی باشد چرا که طراح، فضایی را بین پوسته بیرونی ودرونی ایجاد کرده اسـت کـه بـدون استفاده می‌ماند. در بسیاری از طراحی‌های مدرن بـه شـکل قطـره چکیـده [1] ، بدنـه فـشار دارای شکلی هیدرودینامیکی است [بدنه فشار بجای یک استوانه سـاده دارای قـسمتهای اسـتوانه‌ای و مخروطی است و تا حدودی به صورت قطره چکیده می‌باشد. در این حالت، روکش بیرونـی بدنـه فشار فقط در سینه و پاشنه وجود دارد و قسمت میانی بدنه دارای روکـش بیرونـی نمـی‌باشـد] و فضای آبگیر آزاد و فضای مخازن [که باید بین بدنه فشار و روکـش بیرونـی قـرار گیرنـد ماننـد

1 -Teardrop

مخازن شناوری (بالاست)، سوخت و جبران وزن] تنها در قسمت جلو و عقب زیردریایی فراهم شده‌اند. چنین جانمایی می‌تواند منجر به کمبود حجم خارجی مورد نیاز زیردریایی و همچنین عدم تعادل طولی بین حالت زیرآبی و در سطح آب [در حین انتقال] شود. به هر حال، طراح چندین گزینه برای انتخاب دارد.

الف) طراح می‌تواند قسمت سینه و پاشنه را طویل‌تر در نظر بگیرد تا هم حجم کل افزایش یابد و هم تعادل طولی تصحیح شود. البته این شکل، از حالت ایده‌آل شکل بدنه و نسبت مناسب طول به قطر زیردریایی دور می‌شود.

ب) طراح می‌تواند مخازنی را در طول بدنه فشار به شکل تاولهایی[1] یا مخازن به صورت زین[2] در نظر بگیرید تا حجم مخازن بیرونی افزایش یابد. البته این طرح باعث از بین رفتن شکل ایده‌آل و افزایش نیروی مقاومت می‌گردد.

ج) طراح می‌تواند حجم مخزن داخلی را به بیرون از بدنه انتقال دهد. این گزینه اخیراً به عنوان وسیله‌ای برای افزایش ذخیره شناوری با داشتن تعدادی MBT در داخل بدنه فشار، پیشنهاد شده است.

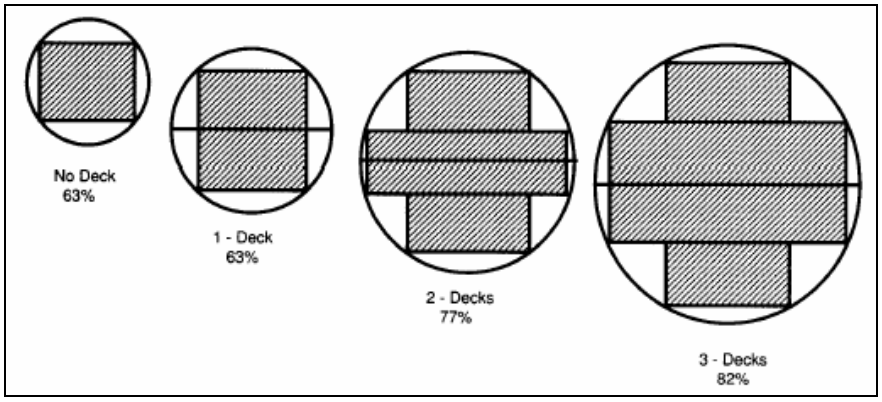
البته روشهای بنیادین و اساسی بیشتری وجود دارد که طراح می‌تواند به آنها متوسل شود. طراح می‌تواند از هندسه پیچیده‌تری برای بدنه فشار به منظور ایجاد فضای بیشتر بین پوسته داخلی و خارجی استفاده نماید. این مورد را می‌توان با کاهش قطر بدنه فشار در جاهای مناسب عملی کرد. مثلاً می‌توان قطر قسمت جلو و عقب بدنه فشار را کاهش داد تا فضای بیشتری برای مخازن سینه و پاشنه فراهم شود. همچنین قطر قسمت میانی بدنه فشار را به دلیل ایجاد یک ناحیه کمربندی در این قسمت می‌توان کاهش داد. این کار باعث پیچیدگی بیشتر هم در ساختمان بدنه فشار و هم تنش‌های وارد بر آن در حالت غوطه‌وری می‌شود. همچنین این تغییرات تنها در نواحی قابل اجرا می‌باشد که به قطر کامل بدنه فشار ضرورت و نیازی وجود

1- Blister
2- Saddle

نداشته باشد. قسمت‌هایی که گفته شد، در قسمت سینه محل اژدرانـدازی و ناحیـه میـانی بدنـه، محل نصب ماشین‌آلات فرعی و قسمت پاشنه محـل قـرار گـرفتن شـفت و تجهیـزات و موتـور پیشران است.

عوامل تعیین کننده قطر بدنه

۳–۷) تعداد طبقاتی که در داخل بدنه فشار نصب می‌شوند تابعی از قطر بدنه هستند. تعیین فاصله بین طبقه‌ها، مشخصاً به متوسط قد انسان و نوع کاری که در آن قسمت انجـام مـی‌شـود، وابسته می‌باشد (شکل ۱–۷). در زیردریایی‌های بسیار کوچک، قطر بدنه تقریباً برابر ارتفـاع بدن انسان است و سطح کف باید در پـائین‌تـرین سـطح بدنـه باشـد. در زیردریـایی تـک عرشه‌ای، قطر بدنه باید بیشتر از دو برابر ارتفاع بدن انسان باشد؛ مثلاً حدود ۶–۵ متر، کـه عرشهٔ اصلی در وسط ارتفاع بدنه نصب می‌شود و قسمت بالایی این عرشه به نیمه فوقـانی بدنه محدود می‌شود و قسمت پائین به انحناء تحتانی بدنه منتهی می‌شـود. در حالـت بعـد باید به ارتفاع موجود اندکی افزود، چنانکه قطر بدنه فشار به ۷/۵ متر برسد.



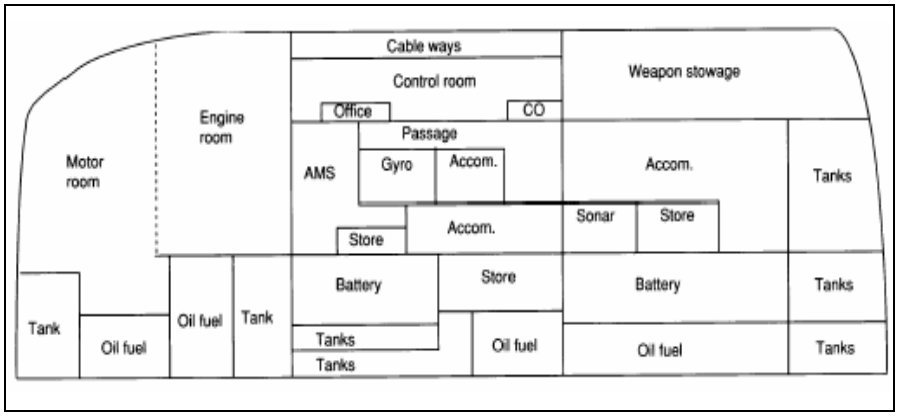
شکل (۱–۷) نمونه‌های مختلف کلی معماری سطح مقطع بدنه سخت

جانمایی‌های داخلی

۴-۷) جانمایی هر یک از قسمت‌ها در داخل بدنه فشار، نه تنها مستلزم فراهم آوردن حجم مورد نیاز است، بلکه باید شکل هندسی این حجم وجابجایی طولی و عمودی در آن در نظر گرفته شود. بنابراین برای مثال، سیستم پیشران اصولاً باید در قسمت عقب بوده و با شفت و قسمت تولید نیروی پیشران و جعبه دنده و موتورها هم خط و هم ردیف باشد. همچنین در قسمت سینه، محل تسلیحات و اژدر می‌باشد که باید نزدیک سیستم تغذیه اژدر باشد و چنان با آن هم خط باشد که اژدرها براحتی به لوله داخل وخارج شوند. مخازن شیب و جبران وزن را می‌توان در پائین‌ترین قسمت بدنه نصب کرد، ولی باید دارای فاصله کافی در طول زیردریایی باشند تا بتوانند اصلاح تعادل مناسب را انجام دهند. وزن‌های سنگین، مثلاً باطری‌ها را باید در پائین‌ترین قسمت بدنه نصب کرد تا هم تعادل عرضی وهم تعادل طولی خوبی بدست آید که این عامل در انتخاب محل باطری‌ها در زیردریایی‌های معمولی، بسیار موثر است.

تقسیم‌بندی فضای داخلی زیردریایی بوسیله جداره‌های عرضی کاملاً آزاد و براساس جداسازی قسمت‌های داخلی نیست، بلکه همانطور که قبلاً گفته شده محل این دیواره‌ها متأثر از ملاحظات سازه‌ای هر یک از قسمت‌ها در طول زیردریایی و تخریب و کمانش کلی بدنه فشار می‌باشد. بعضی از این قسمت‌ها نیاز است که به یکدیگر نزدیک باشند. مثلاً لازم است که اتاق فرمان، دفتر ارتباطات، دفتر سونار و محل کنترل و دریانوردی نزدیک یکدیگر باشند. طبیعتاً پریسکوپ‌ها و دکل‌ها باید در این ناحیه باشند و باید این قسمت‌های داخلی به برجک متصل باشند. همچنین ناحیه استراحت خدمه به عنوان محل خواب، آشپزخانه، ناهارخوری و حمام‌ها باید در محل زندگی در داخل زیردریایی نزدیک هم باشند. در محل زندگی، مخازن جمع‌آوری آب زائد باید کاملاً در زیر حمام‌ها و آشپزخانه باشد و همچنین انبار ذخیره مواد غذایی باید چسبیده به آشپزخانه باشد.

محل دیگری که مورد نیاز است، محل گریز از خطر در هر دو انتهای زیردریایی بـه همـراه دریچه‌های مورد نیاز باید نصب گردد. علاوه بـر اسـتفاده ایـن دریچـه‌هـا بـرای گریـز از خطـر، دریچه‌ها معمولاً کاربردهای دیگری هم دارند، مانند ذخیره مواد مورد نیاز، جابجایی ماشـین‌آلات و دریچه‌های کمکی برجک. از آنجا که این مورد اسـتفاده مـی‌توانـد منجـر بـه تعـداد زیـادی از دریچه‌ها شود، باید کاربرد دریچه‌ها را در هم ادغام کرد و بنابراین تعداد اندکی دریچه‌های بزرگ، در بدنه فشار سـاخته می‌شود. یک کار مناسب برای بررسی کردن جانمایی فـضای داخلـی بدنـه فشار به بهترین نحو، شـکلی است که نمودار فلاندر[1] (شکل ۲–۷) نامیده می‌شود.



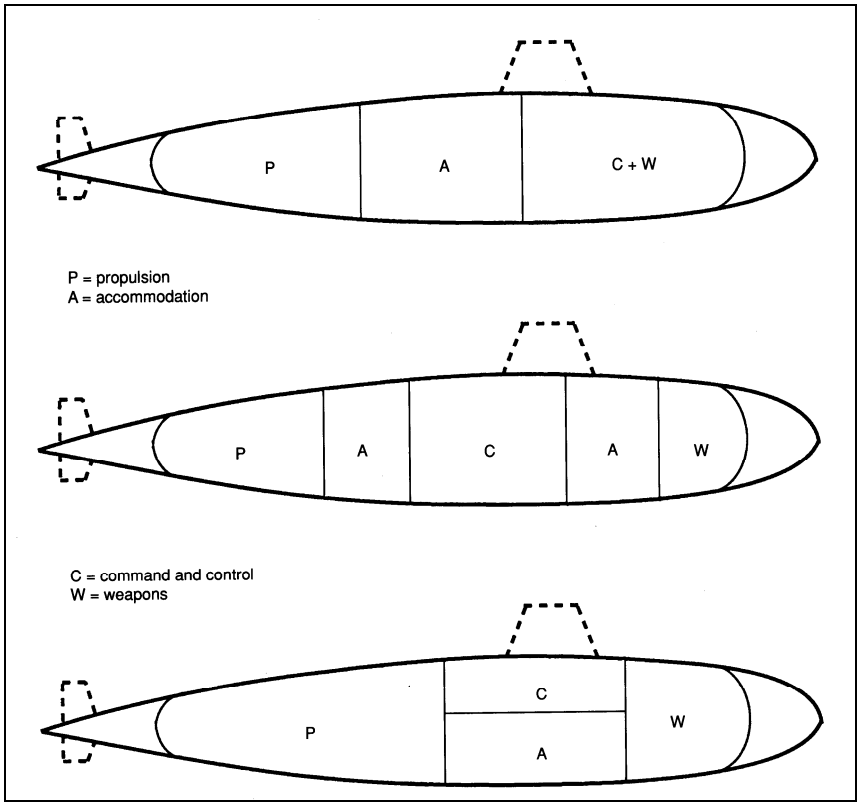
شکل (۲–۷) نمونه عمومی از جانمایی فلاندر

مرزهای این شکل، انحناء برش طولی بدنه فشار است که جانمایی طولی داخل زیردریـایی را نشان می‌دهد. هر یک از فضاهای مورد نیاز را می‌توان به صورت مساحتهایی در محل مناسب قرار داد و موقعیت طولی و عمودی آن را نیز نشان داد. فضاهای خارجی مورد نیاز را هم می‌توان در این شکل نشان داد. از آنجا که این شکل دو بعدی می‌باشد، این شکل به خوبی نشان دهنـده توزیع حجم داخل زیردریایی نمی‌باشد و بنابراین باید دقـت لازم را در پـر کـردن ایـن حجـم‌هـا

1- Flounder Diagram

رعایت کرد. اصلاحی کـه مـی‌تـوان روی ایـن شـکل نـشان داد مـشخص کـردن منحنـی دوم حجم‌های موجود به صورت مساحت عرشه‌های داخل بدنه می‌باشد که حجم‌های قابل اسـتفاده قسمت‌های اصلی زیردریایی را نشان دهد. حجم‌های اضافی را می‌توان برای نـصب سیـستم‌هـا، انبارها و مخازنی که چندان اضطراری نیستند استفاده کرد. همچنان که دقت لازم روی جانمـایی مناسب هر یک از قسمت‌ها در داخل زیردریایی باید رعایت شود، به‌علاوه بایـد اصـولاً جابجـایی خدمه در داخل زیردریایی را نیز در نظر داشت.

طراحی باید به گونه‌ای باشد که جابجایی خدمه، فعالیـت هیچیـک از قـسمت‌هـا را مختـل نکند. در زیردریایی‌های معمولی از آنجا که اتاق فرمان در وسط زیردریایی واقع شـده اسـت، لـذا رفت وآمد خدمه اجباراً باعث مختل شدن کار آن می‌شود؛ لذا برای رفع این مشکل، خدمه قسمت عقب و موتورخانه باید در یک ساعت مشخص از محل استراحت خدمه در جلو، به محل کار خود بروند و گذشتن از داخل اتاق فرمان تنها در همان زمان، مجاز می‌باشد. شرایط بدتر، زمانی ایجاد می‌شود که آشپزخانه در پشت اتاق فرمان واقع شود و محل ناهارخوری در جلو زیردریـایی باشـد، بنابراین اتاق فرمان محل عبور افراد برای گرفتن مواد غذایی و خوراکی می‌شـود. بطـور ویـژه در زیردریایی‌هایی که تنها دارای یک عرشه می‌باشد، این نحوه جانمایی می‌تواند مناسب باشـد کـه ماشین‌آلات و قسمت پیشران در عقب، محـل اسـتراحت خدمـه در وسـط و قـسمت فرمانـدهی، کنترل و ناحیه اژدر و سلاح در جلوی زیردریایی قرار گیرد (شکل ۳-۷) که امکان جابجایی سریع خدمه بدون مختل کردن کار زیردریـایی وجـود دارد. آزادی بیـشتر در جانمـایی داخلـی بوسـیله استفاده از عرشه‌های متعدد در زیردریایی با قطر بزرگ، امکانپذیر می‌باشد.



شکل (۳–۷) جانمایی‌های مختلف اجزاء اصلی داخل بدنه

برخی ملاحظات و جزئیات طراحی

نصب سیستم‌های صوتی یا سونار:

۵–۷) حسگرهای یک وسیله زیرآبی، یا همان سیستم‌های صوتی یا سونار، باید در نصب اولویت داشته باشند، به گونه‌ای که دارای بهترین عملکرد باشند. هم برای کاربرد نظامی و هم تجاری، محل اصلی تجهیزات حسگرها وسونار، سینه می‌باشد که معمولاً نیاز است نه فقط کاملاً در جلو نصب شود، بلکه تا حد امکان باید از نصب آنها در گوشه‌ها پرهیز کرد.

وابستگی شدید زیردریایی به وسایل صوتی بدین معنی است که شکل سینه باید تا حد امکان برای نصب تجهیزات سونار مناسب باشد و حتی ممکن است شکل ایده‌آل برای نصب حسگرها از شکل مناسب برای شکل هیدرودینامیکی و مقاومت در برابر سیال سینه متفاوت باشد. بنابراین در بسیاری از زیردریایی‌ها، شکل سینه از شکل ایده‌آل بیضوی سینه متفاوت است که منجر به شکل نامتقارن در بالا یا پایین خط محور تقارن زیردریایی می‌شود. علیرغم تلاش‌هایی که برای فراهم کردن شرایط بسیار خوب برای سونار انجام می‌شود، یکی از مواردی که ممکن است کارآیی سونار را کاهش دهد، جریان آب در ناحیه‌ای است که سونارها عمل می‌کنند. یک شکل کاملاً نامتقارن سینه که جریان پیچیده و مغشوش ایجاد می‌کند، ممکن است کارآیی سونار را کاهش دهد.

بنابراین تعدادی از سونارها در داخل پوسته بیرونی بدنه نصب می‌شوند و در داخل پنجره‌های صوتی[1] که دارای شکل هیدرودینامیکی هستند، قرار می‌گیرند تا شرایط مناسب‌تری برای سونارها فراهم کنند. همانطور که بعداً خواهیم دید، تجهیزات دیگری در فضای قسمت سینه زیردریایی باید نصب گردند، ولی تقریباً در تمام طراحی‌ها اولویت با رعایت نیازمندی‌های تجهیزات سونار است.

نیازهای اخیر برای برد بیشتر و فرکانس کمتر سونارها، باعث لزوم پیش‌بینی در سطوح جانبی برای هیدروفونهای کناری[2] شده است که باید موقعیت طولی و هم موقعیت عمودی آنها باید بگونه‌ای باشد که تمام بدنه زیردریایی همانند یک صفحه جانبی عمل کند. این روش ممکن است اقتضا کند که طول زیردریایی بیشتر و قطر آن ثابت بماند که مغایر با نیازهای هیدرودینامیک بدنه مبنی بر تغییرات پیوسته مقاطع می‌باشد. همچنین اگر بدنه فشار مرز بیرونی بدنه را تشکیل دهد، لذا جانمایی سونار جانبی[3] باید در بیرون بدنه واقع شود. این روش در

1- Acoustic window
2- Flank array
3- Flank sonar array

محل‌های نصب باعث برآمدگی‌هایی می‌شود که نیروی مقاومت زیردریایی را افـزایش مـی‌دهـد. افزایش مقاومت تنها اثر مهم این برآمدگی نیست، بلکه این برآمدگی‌ها باعث توزیع ویـژه سـیال روی بدنه صاف زیردریایی می‌شود. بنابراین صدای اغتشاش جریان ممکن است باعث اخـتلال و کاهش کارآیی سونار گردد. بنابراین ضروریست که تـا حـد ممکـن در جانمـایی جـانبی، طـوری هماهنگ با بدنه صاف و هم خط با جریان آرایه نصب شود که اغتشاش جریان به حداقل برسـد. لذا این امر اقتضا می‌کند که بحث جدی برای در نظر گرفتن یـک پوشـش مجـزا کـه سـونار در فضای ایجاد شده توسط آن پنهان شود، صورت پذیرد. روشی که بعضاً در نظر گرفته می‌شود این است که جانمایی‌های جانبی به دقت و به منظور تحلیل سیگنالهای ورودی، هم صف و هماهنگ شوند و روی پایه‌هایی قرار گیرند که انعطاف‌پذیر است. نمی‌توان پیش‌بینـی کـرد کـه در شـرایط هیدرودینامیکی مختلف زیردریایی، جانمایی‌ها هماهنگ بمانند. بنابراین باید نرم‌افزارهـایی بـرای هماهنگ کردن اصلاحاتی که اتفاق می‌افتد، بکار گرفته شود.

نیاز به فراهم آوردن این خط مبنا[1] ممکن است باعث طویل‌تر شدن زیردریایی از آنچـه کـه در ملاحظات هیدرودینامیکی در نظر گرفته می‌شود، گردد. اگر امکان افزایش طول وجود نداشـته باشد، کاهش اندک کارآیی سونار باید پذیرفته شود. در این سونارها همچنین نصب نرم‌افزاری که بتواند هماهنگ و هم خط بودن فرستنده‌ها و گیرنده‌های ویژه را به هنگام تغییرات مکان هندسی بدنه در اثر نیروهای وارده کنترل کند، مهم است. بنـابراین سـونار عقـب بایـد بطـور معمـول در قسمت پشت برجک نصب شود که دید خوبی رو به عقب و از بالای بدنه فشار داشـته باشـد. بـه همین دلیل اگر زیردریایی دارای تیر توازن[2] باشد، دستگاه‌های سونار ممکن است در قسمت‌هـای جلو و عقب تیر توازن نصب شوند.

امروزه بکارگیری سیستم‌های جنبی سونارها و وسایل ارتباطی توسعه داده شده اسـت. یـک مشخصه مهم دیگری که در جانمایی چنین سیستم‌هایی مهم است ایـن اسـت کـه در نقطـه‌ای

1- Baseline
2- Ballast keel

نصب شوند که امکان افتادن اتفاقی کابل‌هایی که به سمت پروانه می‌روند، وجـود نداشـته باشـد؛ بخصوص که بر اثر افزایش و کاهش شتاب زیردریایی، امکان زخمی شدن یا بریده شدن کابل‌ها وجود دارد. از آنجا که تجهیزات سونار به شرایط مناسب صوتی که در آن عمل می‌کننـد وابـسته هستند، این مورد حائز اهمیت است که از نزدیکی به منابع تولید صدا مانند ماشین‌آلات و پمپ‌ها که باعث رساندن صداهای مزاحم به سونار می‌شوند، پرهیز شـود چـرا کـه شـنوایی سـونارها در دریافت امواج رسیده به آن را دشوار و دچار اختلال می‌کند.

دو روش انتقال صدا از داخل زیردریایی به سمت حسگرهای سـونار ی ممکـن اسـت اتفـاق بیفتد. یکی از راه‌ها، انتقال امواج صوتی مزاحم از طریق سازه زیردریایی و دیگری انتقـال امـواج صوتی ناشی از کارکرد ماشین‌آلات زیردریایی از طریق آب به سمت سنـسورهای سیـستم سـونار است. هر دوی این روش‌ها منجر به انعکاس اشـتباه صـدا و کـاهش عملکـرد یـا خـراب شـدن دستگاه‌های سونار می‌شود. هر تلاشی برای دور نگه داشـتن تجهیـزات دسـتگاه سـونار از منـابع تولید صدا را باید انجام داد و پس از آن برای کاهش صدا، باید از روش‌های عـایق‌بنـدی و میـرا کنندگی صدا بین منابع تولید صدا و دستگاه‌های سونار استفاده کرد. در جائیکه دستگاه‌های سونار فعال بسیار قوی بکار گرفته شده است، باید دقت کرد که صداهای مزاحم و زائد به داخـل شـناور نفوذ نکنند. سطح قوی صدا با وجود چنین دستگاه‌هایی می‌تواند باعث صدمه زدن به خدمه شـود و لذا مراحل ویژه‌ای برای فراهم کردن قسمت‌های ویژه عایق‌بندی صوتی نیاز می‌باشد که خدمه در آن استراحت یا کار می‌کنند.

در مرحله طراحی اولیه، بررسی تأثیرات کاهنده‌ها بر چنین صداهایی در تعیـین انـدازه اولیـه بدنه چندان آسان نیست و به اختصاص بودجه‌های ویژه‌ای برای بررسی دقیق در جزئیات مرحلـه طراحی نیاز است. این عامل مبنی بر داشتن اطلاعات پایه خوب و بـا هـدف تخمـین مقـادیر در طراحی می‌باشد. به هر صورت نیازمندیهای وزنی و فضای مورد نیاز در طرح‌های مقدماتی بـرای تعیین اندازه‌های استاندارد عایق‌بندی صوتی در نظر گرفته می‌شود. اگـر ایـن اطلاعـات موجـود

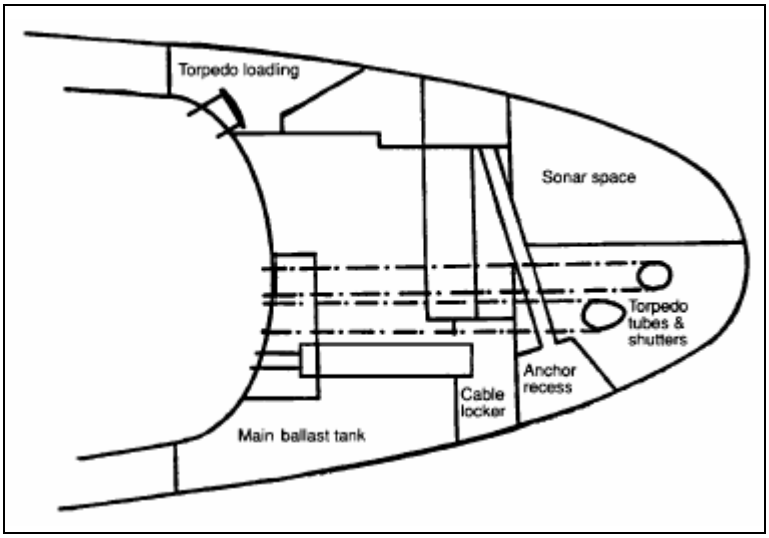
نباشد، طراح باید مقادیر مجازی برای کاهش صدا در نظر بگیرد و ملاحظاتی برای افزایش ضریب اطمینان انجام دهد. مسئله عایق‌بندی صوتی تنها مربوط به وزن عایق‌ها نمی‌شود، بلکه به فضای بیشتری برای تصویری کردن سیستم[1] نیز نیاز می‌باشد.

نصب لوله‌های اژدر (اژدرافکن‌ها):

۶-۷) نصب معمولی لوله‌های اژدر درقسمت سینه زیردریایی می‌باشد که بوسیله آن اژدر به سمت هدف و رو به جلو شلیک می‌گردد. با سیستم‌های هدایت مدرن هدف‌گیری سلاحهای زیرآبی، دیگر نیاز نیست که اژدرافکن‌ها حتماً در قسمت سینه نصب شوند؛ ولی با این حال، بهترین موقعیت نصب لوله اژدر هنوز کاملاً در قسمت جلوی زیردریایی می‌باشد. اگرچه این موقعیت باعث تولید صداهای زیاد به هنگام شلیک کردن بین لوله‌های اژدرافکن و سونار سینه (سونار کنترل آتش[2] برای سیستم سلاحهای اژدر) می‌شود. مشکلاتی در زمینه تعیین شکل هندسی بین این دو سیستم و همچنین مشکلات صوتی وجود دارند. برای شلیک اژدر، دریچه‌ها و سرپوش‌های لوله‌های اژدر در سینه زیردریایی باز می‌شود و بلافاصله اژدر شلیک می‌شود و شلیک اژدر یک فرآیند پر سروصدا در یک لحظه است. مشخصاً انجام گرفتن این فرآیند در نزدیکی سونارها که شامل سونار کنترل آتش می‌باشد، نامطلوب است.

اگرچه در قسمت سینه فضای اندکی وجود دارد و نمی‌توان این دو سیستم را بطور کامل از هم جدا کرد. آرایشی که معمولاً بکار می‌رود، قرار گرفتن سونار در بالای قسمت دماغهٔ سینه می‌باشد و فضای کافی در قسمت پائین دماغه برای نصب لوله‌های اژدرافکن موجود می‌باشد (شکل ۴-۷).

1- Monitoring system
2- Fire control sonar



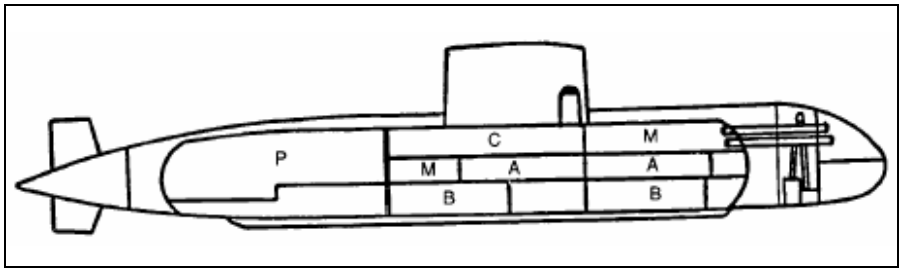
شکل (۴-۷) نمونه‌ای از جانمایی قسمت سینه زیردریایی

لوله‌های اژدرافکن در پائین‌ترین قسمت بدنه فشار، دیواره دماغهٔ سینه را سوراخ می‌کند که می‌تواند مشکلاتی ایجاد کند، چرا که فضای داخلی لوله‌ها باید دارای فاصله کافی برای هم خط بودن سلاحها و مسلح کردن آنها با اژدر باشند. همچنین فضای اندکی برای مخازن و مخزن تعادل سینه باقی خواهد ماند. به عبارت دیگر، نصب لوله‌های اژدرافکن در پائین‌ترین قسمت سینه، این اجازه را به اژدرهای هدایت سیمی[1] می‌دهد که بدون دخالت سایر قسمت‌ها، سیستم هدایت خود را به دنبال خود داشته باشند. این آرایش همچنین پرسش‌هایی را بوجود می آورند که برای تعداد زیادی ازسلاحها، ممکن است تمام قسمت‌های بدنه فشار را مخازن سلاح اشغال کند که در این حالت به سختی می‌توان سلاحها را در پائین‌ترین قسمت قرار داد تا با لوله‌های اژدرافکن هم ردیف باشند.

1- Wire guidance

اگرچه تنها پائین‌ترین سطح برای مخزن اژدر مورد نیاز است، ولی فضایی در بالای مخـزن سلاح باقی می‌ماند که باید در موارد دیگری مورد استفاده قرارگیرد. قرار دادن هر چیزی در ایـن فضا مشکل است، چرا که برای وارد کردن اژدر به داخل زیردریایی، دریچه‌ای در بالای سطح آب (وقتی زیردریایی در سطح آب است) نیاز می‌باشد که طبیعتاً باید در بالاترین قـسمت بدنـه فـشار قرارگیرد. در بیشتر زیردریایی‌ها، قطر بدنه فشار خیلی بیشتر از طـول اژدر نمـی‌باشـد و بنـابراین امکان یک دریچه عمودی برای بارگیری اژدرها نمی‌باشد و لذا یک دریچه متمایل به سمت جلـو نیاز است که اجازه ورود زاویه‌دار اژدر به داخل زیردریایی را بدهد. این موارد باعث بوجـود آمـدن مشکلات سازه‌ای ویژه‌ای در قسمت جلو زیردریایی می‌شود. مشکلات دیگری نیز بوجود می‌آیـد چرا که وقتی اژدر به صورت زاویه‌دار به داخل زیردریـایی وارد شـود، فـضای بیـشتری از ارتفـاع عرشه را اِشغال می‌کند و بنابراین در حین فرآیند بـارگیری اژدر، بیـشتر فـضای قـسمت سـینه را اِشغال می‌نماید.

در برخی زیردریایی‌ها، آرایشی کاملاً مغایر با آنچه در بالا برای قسمت سـینه توضـیح داده شد، وجود دارد بطوریکه سونار در قسمت پائین و لوله‌هـای اژدرافکـن در قـسمت بـالاتری قـرار گرفته‌اند که فضای بیشتری در قسمت پائین، داخل بدنه فشار برای مخازن فراهم کرده‌اند. با این آرایش می‌توان از لوله‌های اژدرافکن فوقانی برای بارگیری اژدر به داخل زیردریایی استفاده کرد و نیازی به استفاده از دریچه‌های بارگیری اژدر نخواهد بود. در اینصورت نیاز است کـه بـه هنگـام بارگیری اژدرها، زیردریایی به اندازه کافی از سطح آب بالا بیاید تا لوله‌های اژدر کـاملاً بیـرون از آب قرارگیرند. اگرچه این آرایش باعث رفع برخی از مشکلات قسمت سینه می‌شود، ولی مسائلی نیز بدون راه‌حل باقی می‌ماند. از جمله سیستم‌های هدایت سـیمی اژدر کـشیده شـده از لولـه‌هـا ممکن است محل سونارها را قطع کند و باعث بروز مشکلاتی شود.



شکل (۵-۷) طرحی از یک زیردریایی دیزل – الکتریک پیشرفته

P : پیشرانش و تأمین قدرت A : استراحتگاه خدمه C : فرماندهی و کنترل
W : تسلیحات M : ماشین‌آلات فرعی B : باطری

یک لوله اژدرافکن و یک سرپوش سینه برای آب‌بند کردن قسمت بیرونی لوله و خشک نگه داشتن آن، پس از بارگیری اژدر وجود دارد. فضایی باید در قسمت جلو سرپوش سینه باشد تا امکان باز شدن درب لوله اژدرافکن را فراهم کند. بنابراین حفره‌ای در پوسته بیرونی بدنه سینه بوجود می‌آید که جلوتر از سرپوش باز شده خواهد بود. هر چند که در زیردریایی‌های معمولی فاصله‌ای در قسمت سینه برای بارگیری وجود دارد، ولی در زیردریایی‌های تندرو مدرن، داشتن دریچه‌های بازشونده سینه بسیار نامطلوب است؛ بنابراین نوع خاصی از درپوش مورد نیاز است. این درپوش به درپوش کشویی[1] سینه معروف است. هندسه درپوش کشویی از نظر شکل دایره‌ای یا مستطیلی متفاوت است. اگر لوله اژدر در قسمت وسط باشد، ممکن است این درپوشها روی لوله‌ها بیشتر به طرف کناره‌های زیردریایی کشیده شوند. دربهای کشویی کناری[2] همچنین اژدر را پس از خروج از لوله اژدرافکن تا رسیدن به بدنه بیرونی هدایت می‌کند چراکه اژدر [در صورتی که لوله اژدر به سمت کناره‌ها باشد] باید مسافت زیادی را تا خروج کامل از بدنه طی کند. اژدر در یک طرف با سازه بدنه و از طرف دیگر با آب دریا روبرو می‌باشد [و لذا باید از انحراف اژدر

1- Shutter
2- Side shutter

جلوگیری کرد. در مواقعی که اژدر از کناره‌ها خارج شود، برای جلـوگیری از ایـن انحـراف، پـشت درپوشهای کشویی یک لوله استوانه‌ای وجود دارد که اژدر از داخل آن به بیرون هدایت می‌شود]. در برخی موارد، شرایط جریان سیال می‌تواند باعث انحراف اژدر از خط مستقیم شود و این حالـت می‌تواند باعث صدمه دیدن بالک‌های اژدر به هنگام ترک لوله اژدرافکـن شـود. قـسمت انتهـای داخلی لوله اژدرافکن هم همچنین باید فضای خالی برای نصب درپوش داشته باشد تا هنگامیکـه آب وارد لوله می‌شود از ورود آن به داخل زیردریایی جلوگیری کند. این درپوش، درپـوش عقبـی[1] نامیده می‌شود و همانند دریچه بارگیری سلاح در توپ‌های بزرگ است. این درپوش باید ضـدآب و بسیار مقاوم باشد و باید دارای سیستم ایمنی مناسبی در قفل‌بندی داخلی باشد تا این امکـان را فراهم کند که درپوش جلو و عقب لوله اژدر نتوانند همزمان باز شوند. شکست در این درپـوش در شرایط غوطه‌وری در زیر آب نباید اتفاق بیفتد، چرا که این اتفاق بسیار فاجعه بار برای زیردریـایی خواهد بود زیرا در این صورت آب به سرعت وارد این حفـره‌هـا خواهـد شـد. زیردریـایی **HMS THETIS** درسال ۱۹۳۹ با تعداد بسیاری از خدمه دچار همین نوع شکست شد و غرق گردید. در حالتی که قفل درپوش انتهای لوله اژدرافکن گیر کند و فشار آب قادر به باز کردن درپوش سـینه شود، در این حالت دیگر امکان بسته شدن درپوش وجود ندارد. لـذا بـرای پرهیـز از ایـن خطـر، علاوه بر تأمین ایمنی اولیه، هماهنگی بین عملکرد درپوش جلـو و عقـب لولـه اژدرافکـن ایجـاد می‌کنند.

بایـد طـرح‌هـای ایمنـی دیگـری نیـز در نظـر گرفتـه شـوند. یکـی از آنهـا اسـتفاده از «Test cock» درپوش عقبـی می‌باشد که کـنترل می‌کند آب در داخل لوله وجود نداشته باشد (در زیردریایی **THETIS** ظاهراً درزگیری بوسیله رنگ‌زدن انجام می‌شده است). راه حـل ایمنـی دیگر که درپوش دتیس[2] نامیده می‌شود که یک درپوش چرخشی روی درپوش عقبـی مـی‌باشـد، چنانکه وقتی قفل انتهایی بسته نیست نتواند باز شود. حتی اگر قفل داخلی لوله اژدر دچار شکست

1- Rear door
2- Thetis clip

شود یک درپوش کوچک اجازه ورود آب را نخواهد داد اما درپوش می‌تواند پیچانده و مجدداً قفل شود. همانطور که در فصل هیدرواستاتیک توضیح دادیم، نیازهایی در قسمت سینه زیردریایی برای نصب تعدادی از مخازن ویژه توازن شلیک اژدر وجود دارد که زیردریایی را قادر کند در حین فرآیند شلیک سلاح در حالت تعادل باقی بماند.

در پایان گشت‌زنی ممکن است نیاز باشد که کلیه سلاحها تخلیه شوند، بنابراین وضعیت تعادل هیدرواستاتیکی با حجم مخزن آب معادل با وزن تمام سلاحهایی که تخلیه شده‌اند در همان موقعیت طولی سلاحها، همچنان باید حفظ شود و این باعث افزوده شدن فضای مورد نیاز قابل ملاحظه‌ای در قسمت سینه می‌شود.

از این نباید چشم پوشی شود که انبار سلاحها در پشت لوله‌های اژدرافکن باید همانند یک مخزن مهمات تفنگ عمل کند، چرا که این نه تنها شامل بارگیری سلاحهای با قدرت انفجار بالا می‌باشد، بلکه شامل مخلوطهای پیش برنده فرار و خطرناک برای سیستم جلوبری اژدر می‌باشد. دقت زیادی در طراحی این قسمت باید صورت بگیرد تا پاشیده شدن سوخت خطرناک یا مخلوطهای قابل انفجار که در داخل آن وجود دارد خطری را به وجود نیاورده یا به حداقل خود برساند. به همین دلیل است که استفاده‌های دیگر، از فضای قسمت سینه دشوار است و قرار دادن محل زندگی خدمه در این قسمت بهترین انتخاب است. لذا در زیر دریایی‌های قدیمی، محل استراحت برخی از خدمه در بین اژدرها در نظر گرفته شده بود.

برای پرهیز از صدای زیاد در قسمت سینه زیردریایی به هنگام شلیک اژدرها، محل‌های دیگری در نظر گرفته می‌شود که شامل لوله‌های زاویه‌دار اژدر می‌باشد که از کناره‌های بدنه فشار شلیک می‌شوند. در این نواحی شلیک اژدر عقب‌تر از قسمت سینه انجام می‌شود.

برخی از زیردریایی‌های قدیمی دارای یک یا دو لوله واقع در قسمت عقب بودند که برای شکار کردن کشتی که آنها را دنبال می‌کرد، بکار می‌رفت. آرایش‌های مختلف نصب لوله‌ها در سینه مشکلات خاص خود را دارد. آرایش لوله‌ها به صورت زاویه‌دار، فضای بیشتری را در

کناره‌های پوسته ایجاد می‌کند، چرا که برای نصب اژدرها، اژدر باید در امتداد قسمت اژدرافکن و یا به سمت پائین از بین دک‌های مختلف برای رسیدن به لوله عبور کند. همچنین مشکلات هیدرودینامیک نیز می‌تواند اتفاق افتد، چرا که وقتی یک سلاح در یک زاویه مشخص از کناره‌های بدنه شلیک می‌شود، ممان واژگون کننده[1] بیشتری را تحمل می‌کند که باعث صدمه دیدن اژدر به محض خروج از لوله می‌شود. ممان واژگون کننده هنگامی که اژدر از قسمت سینه شلیک می‌شود، کمتر است.

قسمت جلو بدنه فشار که معمولاً فضای انبار سلاح است، همچنین کاربردی مانند فضای مناسب برای فرار خدمه، هنگامی که زیردریایی در عمقی از آب که کمتر از «عمق انهدام»[2] به گل می‌نشیند، بکار می‌رود. فضای خدمه در فصل نهم بحث شده است. برای در نظر گرفتن امکان ترک زیردریایی «فرار جلو»[3] باید «دریچه فرار»[4] هم در نظر گرفته شود. همچنین در معماری زیردریایی، محلی برای قرار گرفتن وسیله نقلیه نجات[5] و اتصال آن به زیردریایی باید در نظر گرفته شود. این قسمت باید بخوبی دارای امکانات مناسب برای نجات افراد باقیمانده از جمله هوای تنفس اضطراری باشد. همچنین فضای کافی برای جمع شدن خدمه در این قسمت به هنگام خطر وجود داشته باشد.

ملاحظات بیشتر در مورد جانمایی قسمت سینه:

۷-۷) اگر سونار سینه و لوله‌های اژدرافکن در قسمت جلو زیردریایی قرار گیرند، این دو سیستم باعث تراکم زیادی در قسمت جلو سینه می‌شوند. اگرچه مشکلات محدود به همین نمی‌شود. ملاحظات کنترل عمق که در فصل بعد توضیح داده می‌شود، باعث نیاز به

1- Toppling moment
2- Collapse depth
3- Forward escape
4- Escape hatch
5- Rescue vehicle

بالک‌های جلو[1] می‌شود که باید کاملاً در جلو و ترجیحاً هم سطح محور بدنه نصب شوند. بنابراین باید فضایی را در قسمت سینه جهت نصب مکانیزم‌های بالک‌های جلو در نظر گرفت. علاوه بر آن آسیب‌پذیری این بالک‌ها که از جلوی بدنه بیرون آمده‌اند و در سرعت‌های بالا کمتر مورد نیاز هستند، اقتضا می‌کند در مواقعی که نیازی به آنها نیست به داخل بدنه کشیده شده و در داخل قسمت سینه جای گیرند که این نیز مستلزم اشغال فضای بیشتری در فضای قسمت سینه است. عملکرد این بالک‌ها برای سونار به شدت نامطلوب است. هر تلاشی برای دور کردن بالک‌ها از ناحیه سونار و عایق‌بندی صوتی آنها باید انجام داد.

به همین دلیل است که تصمیم گرفته شده است تا بالک‌ها در محل کنترل بهینه[2] قرار نگیرند، بلکه این بالک‌ها عقب‌تر و بالاتر نصب شوند. آنها باید در بالای قسمت جلو بدنه فشار نصب شوند، اما این باعث بوجود آمدن مشکلات هیدرودینامیکی قابل ملاحظه‌ای در ایجاد یک جریان آرام و بدون جدایی جریان که همخوان با کارآیی بیشتر بالک است، می‌شود. در برخی زیردریایی‌ها این بالک‌ها باز هم عقب‌تر رفته و روی برجک نصب می‌شوند. این شکل قرار گرفتن بالک‌ها هم معایب و مزایای کنترل خاص خود را دارد که بعداً بحث خواهد شد. عامل دیگری که باعث افزایش تراکم قسمت سینه می‌شود، سیستم لنگراندازی است. این قسمت دارای لنگری همانند لنگر سایر کشتی‌ها خواهد بود.

آرایش لنگراندازی عادی کشتی‌ها با طراحی قسمت جلو زیردریایی سازگاری ندارد. معمولاً در زیردریایی‌های مدرن، وینچ کابلی[3] با قدرت هیدرولیکی وجود دارد که می‌تواند بجای اینکه روی قسمتی از دک به صورت بیرونی نصب شود که بویژه برای هوای متلاطم در خارج بدنه مناسب نمی‌باشد، به صورت داخلی کار کند. خود لنگر همانند قارچ می‌باشد که آن را می‌توان به

1- Forward hydroplanes
2- Optimum control
3- Cable winch

زیر سینه بالا کشید و بنابراین در فضای قسمت سینه باید جایی برای قرار گرفتن لنگر، وینچ و قفل کننده کابل[1] بیرون بدنه فشار در نظر گرفته شود.

اتاق فرمان:

۸-۷) اتاق فرمان زیردریایی برای اهدافی نظیر مرکز کنترل شناور، اتاق عملیاتی و در شرایط زیر سطحی، محل کشیک[2] می‌باشد. کاربرد چند منظوره این قسمت بدین معنی است که محل آن به گونه‌ای باید باشد که فرمانده بتواند مواظب وضعیت هدایت و سطوح کنترلی، دفتر بی سیم، اتاق سونار، سیستم‌های ناوبری و سیستم‌های رادار باشد. در همان زمان فرمانده می‌تواند از موقعیت پریسکوپ اپتیکی نیز استفاده کند. این نیازی است که در تمام زیردریایی‌های امروزی وجود دارد تا امکان مشاهده مستقیم از طریق یک پریسکوپ به وجود آید. لذا موقعیت پریسکوپ در اتاق فرمان و همچنین موقعیت آن در برجک و در بیرون بدنه بسیار به هم وابسته است. اینگونه نیز می‌توان بیان کرد که اتاق فرمان باید کاملاً در زیر برجک یا برجک نزدیک موقعیت اتاق فرمان قرار گیرد. هر چند که موقعیت هر دو به صورت طولی تطبیق داده می‌شوند.

پریسکوپ اپتیکی یک لوله با طول ثابت است که عدسی فوقانی آن باید در بالای سطح قرار گیرد تا فرمانده بتواند صحنه سطح آب را ببیند، اما در همین حال تا جاییکه ممکن است بدنه باید در زیر آب قرار گیرد تا احتمال تصادف کمتر شود یا بتواند به سرعت از موقعیت اولیه خود دور شود. این لوله با طول ثابت را باید بتوان در مواقعی که مورد نیاز نیست به داخل برجک، پائین آورد. بنابراین تغییر موقعیت پریسکوپ، یعنی از بالاترین موقعیت تا پایین‌ترین موقعیت باید در درون بدنه زیردریایی جای گیرد. در برخی از زیردریایی‌های کوچک اجازه ایجاد یک سوراخ مقاوم در برابر فشار در شاه تیر طولی[3] برای قرار گرفتن پریسکوپ داده می‌شود. از آنجا که در

1- Cable locker
2- Watch keeping station
3- Keel

حالت بالا بودن پریسکوپ، عدسی چشمی[1] باید در داخل اتاق فرمان قرار گیرد اصولاً نیاز خواهد بود که اتاق فرمان روی عرشه فوقانی زیردریایی قرار گیرد. هر چند در زیردریایی‌های با قطر بسیار زیاد، ممکن است پایین‌تر از این عرشه قرار گیرد. در سایر زیردریایی‌ها، روش دیگر، داشتن موقعیت مراقبت بالاتری علاوه بر اتاق فرمان، در درون برجک است. همانطور که پریسکوپ در داخل اتاق فرمان باید نصب شود، همچنین دکل‌های دیگری برای سیستم رادیویی و راداری مورد نیاز است که باید در داخل برجک نصب شود و در نتیجه به فضایی برای پردازش اطلاعات نیاز دارد که باید در داخل اتاق فرمان تعبیه شود.

مجرا و دریچه اصلی عبور و مرور به زیردریایی در برجک[2] در مجاورت موقعیت پل فرماندهی در برجک و برای برخی شرایط حرکت سطحی[3]، معمولاً در قسمت جلوی اتاق فرمان نصب می‌شود. همانطور که گفته شد، هر چند که پرهیز از زیردریایی با یک عرشه مشکل است، ولی قرار گرفتن اتاق فرمان در محل تردد پرسنل و سایر قسمت‌ها نامطلوب است. بطور ایده‌آل قسمت اتاق فرمان باید در موقعیتی باشد که تنها پرسنل تغییر کشیک نیاز به وارد و خارج شدن به این قسمت را داشته باشند. موقعیت ایده‌آل اتاق فرمان در قسمت جلوی زیردریایی‌های دارای چندین عرشه، در بالای قسمت انبار سلاح می‌باشد. این تغییر محل، دارای مزایایی در قرار گرفتن اتاق فرمان در یک موقعیت مناسب برای راحتی تردد پرسنل می‌باشد. از آنجا که این مورد باعث بروز مشکلاتی در قسمت انبار سلاح می‌شود، لذا ممکن است این مشکلات با در نظر گرفتن یک اتاق فرمان باز که دارای فضایی در خط میانی برای جابجایی سلاح داشته باشد، رفع گردد. اصلی‌ترین عیب این نوع جانمایی این است که موقعیت جلوی زیردریایی با موقعیت پریسکوپ اپتیکی که باید بطور فیزیکی در اتاق فرمان نصب شود، سازگاری ندارد. ممکن است

1- Eye piece
2- Main conning tower hatch
3- Bridge conning

بتوان چنین جانمایی را تدبیر کرد که پریسکوپ‌ها به سمت جلو برجک و پشت اتاق فرمان جلوی زیردریایی متمایل شوند.

راه حل دیگر (که البته کار راحتی نیست) این است که فرمانده زیردریایی نیازی به مجاورت فیزیکی به پریسکوپ ندارد. با استفاده از فناوری پیشرفته می‌توان از دوربین تلویزیونی برای گرفتن تصویر و جابجایی موقعیت اشیاء بالای سطح آب، به وسیله حسگر دوربین کنترل از راه دور روی دکل قابل جمع شدن[1] ، استفاده کرد. علاوه بر نصب دکل‌ها و پریسکوپ‌ها که برای عملیات زیردریایی نیاز است، معمولاً دکل تهویه یا دکل تنفس[2] باید در داخل برجک جای گیرد. در جانمایی سیستم اسنورکل (سیستم تنفس)[3] زیردریایی‌های اخیر، لوله‌کشی هوا مستقیماً به موتورخانه وصل می‌شد، در حالیکه لوله هوای مصرف شده (اگزوز)، مجدداً برگشت داده و از پشت برجک بالا می‌آید، تا وقتی زیردریایی به سطح آب رفت، این هوای مصرف شده، تخلیه گردد. تهویه سایر قسمت‌ها نیز تا حدودی به صورت تصادفی صورت می‌گیرد.

همچنین در موتورهای دیزلی نیز مقداری هوا دمیده می‌شود که با هوای تازه از قسمت جلو زیردریایی جایگزین می‌شود، یا هوا به سمت موتورخانه همواره گردش می‌نماید. در زیردریایی‌های مدرن، دکل تنفس و دریچه مخصوصی بر روی آن[4] به عنوان بخشی از وسایل تهویه کل زیردریایی عمل می‌کند. هوا به پایین‌ترین قسمت جلو زیردریایی کشیده می‌شود و بطور معمول به هنگام عمل تنفس، باطری‌ها شروع به شارژ شدن می‌کنند، هوا به بالای قسمت باطری دمیده می‌شود تا هیدرژن در حین فرآیند شارژ شدن جدا شود. این هوا سپس به سایر قسمت‌های زیردریایی و به سمت موتورخانه مکیده می‌شود. از آنجا که دریچه دکل تنفس اندکی بالاتر از سطح آب است و همواره سطح آب، بالا و پایین می‌رود، مقدار مشخصی آب از داخل دکل‌ها پایین می‌آید.

1- Retractable mast
2- Ventilation or snort mast
3- Snorting
4- Snort head

بیشتر این آب را می‌توان توسط سیستم گریز از مرکز[1] و قبل از اینکه وارد بدنه شود جدا کرد، ولی مقادیر مشخصی از آب هم به داخل زیردریایی نفوذ می‌کند. برای رسیدگی به وضعیت آب وارد شده، مخازنی در نظر گرفته شده است که مخلوط هوا و آب را تصفیه می‌کند و آب جدا می‌گردد و هوا قبل از دمیده شدن روی باطری‌ها خشک می‌شود. در جایی که دکل تنفس وارد بدنه می‌شود، یک دریچه بسته بزرگ برای تضمین ایمنی زیردریایی به هنگام رفتن به زیر آب و آبرفتگی دکل وجود دارد. اگرچه دریچه دکل تنفس عموماً طوری طراحی می‌شود که هنگامی که در معرض امواج قرار می‌گیرد، بسته شود ولی باز هم خطر باز ماندن آن یا خراب شدن عملکرد آن وجود دارد و برای احتیاط در سیستم لوله‌کشی، دریچه‌های اضطراری که به سرعت بسته می‌شوند وجود دارند که عموماً به شکل «Flap» هستند و قادرند که وقتی در معرض ورود شدید آب قرار گیرند، بسته شوند در حالیکه برای عبور جریان هوا، باز می‌مانند.

محل استراحت پرسنل:

۹-۷) محل استراحت پرسنل در زیردریایی‌های دارای چندین عرشه[2]، اکثراً در قسمت وسط بدنه، بین قسمت سلاح و کنترل در جلو و سیستم پیشران در عقب قرار گرفته است. در زیردریایی‌های بزرگ، محل استراحت خدمه می‌تواند به صورت قسمت‌های چسبیده به هم در یک یا دو عرشه طراحی شود. در زیردریایی‌های کوچکتر، محل استراحت خدمه باید پس از مشخص شدن محل سایر تجهیزات و در نظر گرفتن ملاحظات عملیاتی و کاربردی، مشخص گردد.

این را باید به یاد داشت که خدمه زیردریایی مجبور هستند برای مدت زیادی در یک فضای بسته به هنگام رفتن زیردریایی به زیر آب و یا در نزدیکی سطح آب سپری کنند. بنابراین در

1- Centrifuge
2- Multi-deck

طراحی، هدف، فراهم آوردن یک محیط زندگی خوب با استاندار مناسب، خوردن، خوابیدن، تفریح و امکانات رفاهی در داخل فضای محدود زیردریایی می‌باشد. در بیشتر زیردریایی‌ها فضاهای سردخانه‌ای برای انبارکردن غذای تازه که به خوبی برای مصرف کردن در داخل زیردریایی مهیا است، وجود دارد. این امکانات در شناورهایی که برای بلند مدت به گشت‌زنی می‌روند، جای زیادی را اشغال می‌کند و مشکلاتی برای دفع مواد زائد مصرف شده و زباله بوجود می‌آورد. محل‌هایی را می‌توان برای نگهداری سالم غذاهای تازه، آماده برای پختن یا کنسرو شده که تنها نیاز به گرم کردن دارند، پیش‌بینی نمود.

هر چند که افراد شاغل در زیردریایی به زندگی دسته‌جمعی عادت دارند ولی فرصتی را برای خلوت و تنهایی آنها، حتی با جدا کردن قسمت‌هایی با پرده، باید در نظر گرفت. حمام و توالت نیز باید فراهم شود و معمولاً می‌توان متناسب با اندازه زیردریایی، آنها را در نظر گرفت. بهداشت پرسنل در چنین محیط محدودی بسیار مهم است ولی تهیه آب شیرین و تصفیه شده ممکن است به دلیل محدودیت مصرف انرژی ذخیره شده ممکن نباشد، بنابراین در مواقعی که استفاده از آب شیرین ضرورتی ندارد، ممکن است از آب شور استفاده شود. استقرار این امکانات، مشکلاتی را در قرار گرفتن حمام در مجاورت محل زندگی خدمه بوجود می‌آورد. سیستم‌ها و مخازنی که دارای آب زائد هستند در فصل بعدی توضیح داده می‌شوند.

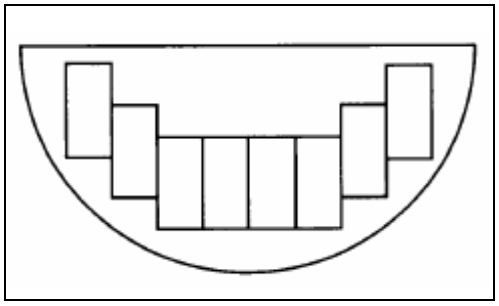
قسمت نصب باطری‌ها:

۱۰-۷) در زیردریایی‌های دیزل الکتریک، باطری‌ها فضای قابل ملاحظه‌ای را اشغال می‌کنند و بدلیل وزن زیادشان در پائین‌ترین قسمت بدنه نصب می‌شوند. حداقل دو قسمت برای نصب باطری وجود دارد که هر یک دارای حدود ۲۰۰ باطری مجزا و مشخص[1] است. باطری‌ها به هم چسبیده هستند و هر باطری به باطری مجاور خود چسبیده است و در مجموع یک ولتاژ بالا ایجاد می‌نمایند. علی‌رغم چسبیدگی نزدیک آنها به هم، فضای کافی

1- Individual

برای خارج ساختن باطری از بین ردیف‌ها وجود دارد. بنابراین در امتداد قسمت نصب باطری‌ها، ردیف‌های بیرونی باطری‌ها دارای شکل دایره‌ای در قسمت پائین هستند (شکل ۶-۷).

فاصله‌ای بین باطری‌ها و بدنه نیاز است تا در صورت وارد شدن ضربه به بدنه، باطری‌ها دچار صدمه دیدگی نشوند. آرایش پله‌ای در قسمت بالای باطری‌ها فضای مناسبی در محوطه باطری ایجاد می‌کند که برای تهویه این فضا بکار می‌رود. از آنجا که امکان پاشیده شدن اسید در این قسمت وجود دارد، این قسمت باید توسط یک لایه ضخیم لاستیک فاسد نشدنی پوشانیده شود. آب دریا یک تهدید برای باطری‌ها می‌باشد، چرا که امکان تولید گاز کلرین[1] وجود دارد و برای پرهیز از این خطر، سقف و دریچه‌های این قسمت در مقابل نفوذ و نشت آب، آب‌بند شده‌اند. توصیه می‌شود که قسمت باطری‌ها از برخی نواحی که امکان نفوذ آب از دریا در آنها وجود دارد، دور نگه داشته شود.



شکل (۶-۷) محل ذخیره باطری‌ها

1- Chlorine

قسمت‌های سیستم پیشران:

۱۱-۷) با حرکت به سمت جانمایی‌های داخل زیردریایی، مشاهده می‌کنیم که نیمه عقب زیردریایی تقریباً بطور کامل توسط ماشین‌آلات پیشرانش اشغال شده است. در زیردریایی‌های هسته‌ای، رآکتور به همراه ماشین‌آلات فرعی پوشش و عایق‌بندی‌های آن تمام قسمت بلوک میانی بدنه را اشغال می‌کند. بدلیل چگالی زیاد دستگاه‌های رآکتور، لازم است که این ماشین‌آلات نزدیک مرکز گرانش طولی نصب شوند تا مشکلات برقراری تعادل زیردریایی بوجود نیاید. همچنین رآکتور می‌تواند مشخص کننده حداکثر قطر بدنه باشد.

بدلیل مسائل ایمنی و خطر تشعشع، نمی‌توان زیاد به قسمت رآکتور نزدیک شد و برای رفتن از عقب به جلو زیردریایی باید بوسیله یک تونل با روکش محافظ از این قسمت عبور کرد. همچنین لازم است که حداقل یکی از دیواره‌های قسمت رآکتور جزء سازه بدنه فشار اصلی باشد، تا هم وزن متمرکز ماشین را تحمل و هم آنرا توزیع کند. با این بلوک مهم، قسمت جلو و عقب زیردریایی از یکدیگر جدا می‌شوند و ماشین‌آلات کمکی و تهویه هوا در فضایی کاملاً در جلو قسمت رآکتور قرار می‌گیرند. پشت قسمت رآکتور فضایی برای ماشین اصلی مولد الکتریکی، توربو ژنراتورها و دیزل ژنراتورهای اضطراری به همراه تابلوهای اصلی توزیع برق[1] می‌باشد. در قسمت بالایی بدنه ممکن است مرکز کنترل رآکتور و ماشین‌آلات مرتبط با آن[2] قرار داده شود و قسمت پایین بدنه محل قرار گرفتن کندانسورهای توربو ژنراتور است، ولی معمولاً این قسمت برای تعدادی از مخازن از جمله مخزن توازن روغن، سوخت و آب شیرین نیز استفاده می‌شود.

با باریک شدن قسمت بدنه، این قسمت بطور کامل توسط توربین‌های پیشران اصلی به همراه کندانسورهای آنها و لوله‌های مرتبط با آنها و سیستم‌های کمکی پر می‌شود. کندانسورها به تأسیساتی جهت آب‌گیری از دریا احتیاج دارند. آرایش این قسمت به شکل توربین، گیربکس و

1- Main distribution switch boards
2- Machinary and Reactor Control Center

هم محور بودن آنها با شفت پروانه بستگی جدی دارد. در قسمت انتهای بدنه، شفت متصل به موتور الکتریکی، بازوهای محرک سکان‌ها و سطوح کنترل و مخزن تعادلی عقب وجود دارد. این قسمت همچنین می‌تواند به عنوان مکانی برای فرار خدمه در صورت آب‌گرفتگی قسمت جلو استفاده شود.

۱۲-۷) در زیردریایی‌های معمولی همین جانمایی ولی با تفاوت‌هایی وجود دارد. باز هم سیستم پیشران تقریباً نیمی از فضای درون بدنه را اشغال می‌کند. دیزل ژنراتور اصلی معمولاً در اولین قسمت، پشت قسمت میانی قرار دارد، چرا که این قسمت دارای چگالی زیادی است و باید نزدیک قسمت میانی طولی زیردریایی باشد. دیزل‌ها همچنین باید کاملاً چسبیده به پشت برجک باشند تا هم جابجایی گازهای سوخته و زائد کمتر نیاز شود و هم لوله‌کشی‌های دکل تنفس کاهش یابد. نیازی نیست که دیزل ژنراتورها با شفت پیشرانش هم ردیف و هم محور باشند که همین امر باعث مقداری آزادی جانمایی عمودی و افقی در داخل بدنه می‌شود. باید بخاطر داشت، اگرچه دیزل ژنراتورها در کناره‌های بدنه نصب شده‌اند، ولی بر اثر انحناء بدنه، فضای موجود کمتری خواهند داشت.

علاوه بر نکاتی که ارائه شد، بسیاری از زیردریایی‌ها، امروزه فضای زیادی از بدنه را برای کارهای تعمیرات کلی موتور اختصاص می‌دهند و کارهای تعمیراتی در همان محیط بسته و با دریچه‌های نسبتاً کوچک برای انسان و تجهیزات انجام می‌گیرد. بنابراین، در جزئیات طراحی، توجه خاصی به فراهم آوردن فضای آزاد برای جابجایی ماشین‌آلات، جهت کار تعمیر و تعویض قطعات و تجهیزات، صورت می‌گیرد.

در پشت قسمت دیزل ژنراتور اصلی، صفحه کلید توزیع الکتریکی اصلی[1] قرار دارد. هر چند که نیاز به کنترل توزیع الکتریکی در زیردریایی معمولی کمتر از زیردریایی‌های اتمی است، ولی با

1- Electrical switchboard

این حال نیاز ضروری به کنترل ولتاژ و جریان بالا از نوع جریان مستقیم، همراه سیستم پیشران الکتریکی وجود دارد.

قسمت عقب بیشتر توسط موتورهای پیشران، محرک‌های سطوح کنترلی و مخزن شیب طولی عقب اشغال شده است و با نصب لوله‌های اژدرافکن عقب، فضای این قسمت متراکم‌تر خواهد شد (هر چند که در زیردریایی‌های مدرن، لوله‌های اژدرافکن سینه نیز وجود دارد)، زیرا بدنه در قسمت انتهای عقب به سمت پروانه به سرعت باریک می‌شود. در این فضا، بعضاً مخازن شناوری اصلی عقب نصب خواهند شد. علاوه بر آن، شفت اصلی پروانه باید از میان سیستم‌های آب‌بند عبور و به پروانه متصل شود. همچنین در این قسمت به مکان مناسب جهت تأسیسات و سطوح کنترل قسمت دم احتیاج می‌باشد. از آنجا که محور انتقال حرکت دربین چهار سطح کنترل در یک زاویه قائمه نسبت به شفت پروانه قرار دارد، در نتیجه این بالک‌ها باید توسط اتصالات سنگین به یکدیگر متصل شوند. این اتصالات به عنوان بازوهای محرک سطوح کنترلی (و بصورت مکانیزم گنی) با هل دادن از طریق یک مکانیزم دیگر از داخل زیردریایی[1] عمل می‌کنند.

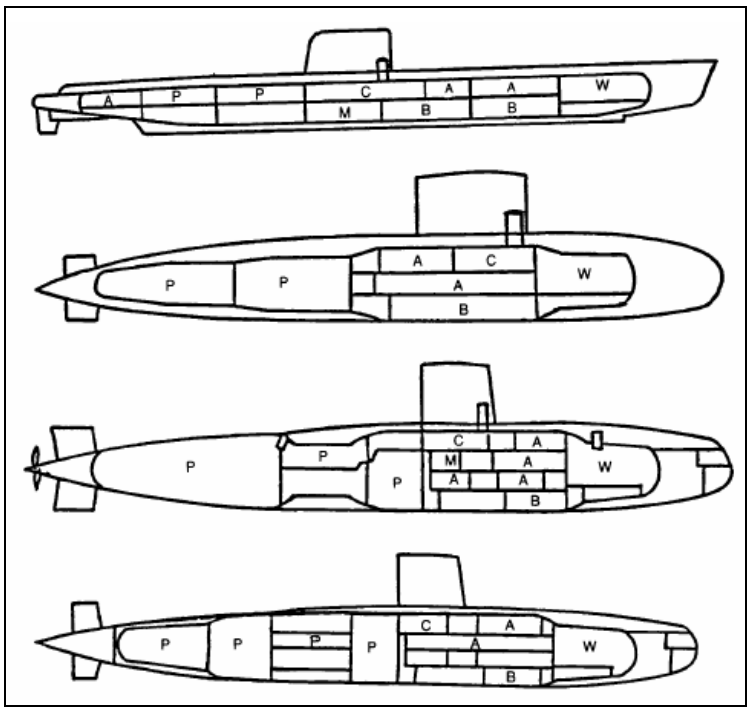
باید توجه داشت که استفاده گوناگون از این فضای محدود و شلوغ، مستلزم دقت زیاد در جزئیات طراحی است که مانع از تداخل کارکرد هر یک از قسمت‌ها نگردد و امکان تعمیر و نگهداری راحت و آسانی داشته باشد.

مرور

۱۳-۷) از این فصل می‌توان دریافت که هر چند برای تعیین اندازه زیردریایی، نیاز به فراهم آوردن فضای مناسب و مورد نیاز است، استفاده بهینه از فضای داخلی زیردریایی، مستلزم مطالعه دقیق جزئیات و نکات موجود می‌باشد.

1- Stowed hydraulic rams

جانمایی‌های عمومی در طراحی چندین زیردریایی و روش‌هایی که مهندسان طراح می‌توانند در نظر بگیرند، در شکل (۷-۷) آورده شده است.



شکل (۷-۷) جانمایی مختلف داخل زیردریایی

فصل هشتم

« کنترل و دینامیک زیردریایی »

مقدمه:

۱-۸) از نظر تاریخی، تا قبل از پیدایش زیردریایی‌های اتمی که قادر به تحمل سرعت‌های بالا بودند، توجه طراحان زیردریایی به فراهم آوردن تجهیزات مورد نیاز برای کنترل حرکت درصفحه عمودی[1] جلب نشده بود؛ بخصوص در عمق پریسکوپ که نیاز به برقراری تعادل بین قابلیت مانور[2] و تعادل دینامیکی[3] با تأکید بر حرکت درصفحه عمودی می‌باشد. توجه خاص به حفظ عمق و تغییرات عمق در مدت زمان مشخص، یک نیاز طبیعی است چرا که خطرات ذاتی در زیردریایی‌های تندرو – حتی با داشتن قابلیت غوص مناسب و بدنه فشار مستحکم – وجود دارد، چرا که حداکثر عمق و همچنین بالا آمدن ناخواسته و کنترل نشده زیردریایی خطرات بسیاری را به دنبال دارد.

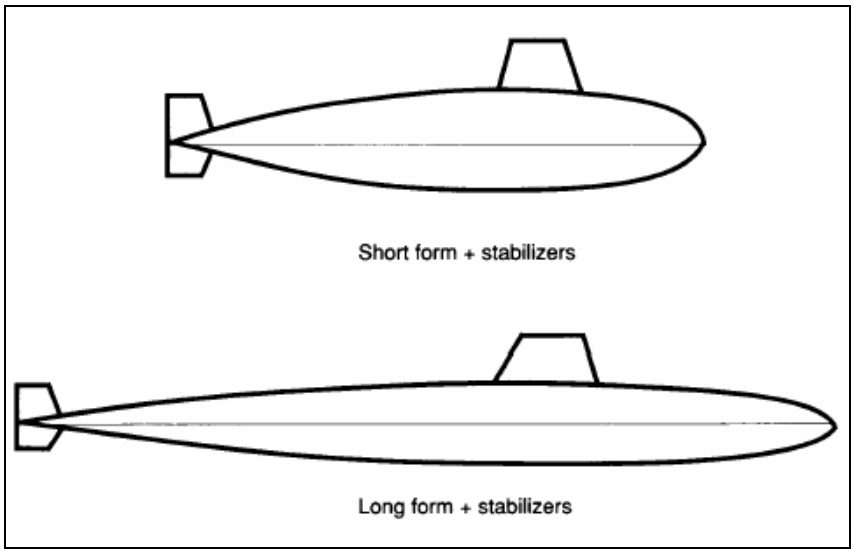
شباهت‌هایی بین حرکت زیردریایی در زیر آب و کشتی هوایی در عین اختلافات قابل ملاحظه‌ای که دارند، وجود دارد و در حقیقت بررسی‌های تئوری و تجربی که در مورد تعادل دینامیکی و کنترل زیردریایی در سالهای ۱۹۴۰ تا ۱۹۵۰ بدست آمد، براساس بررسی‌های انجام شده روی کشتی هوایی در سالهای ۱۹۲۰ تا ۱۹۳۰ بود.

با تحقیقات بعدی بخصوص در مورد زیردریایی‌ها، اطلاعات و دانش خوبی بدست آمد که به طراحان زیردریایی کمک کرد درک مناسبی از زیردریایی بدست آورند، هر چند که دینامیک و کنترل در ملاحظات اولیه تعیین اندازه و شکل زیردریایی تأثیری ندارند. بعداً ملاحظه خواهد شد

1- Vertical Plane
2- Manoeuvrability
3- Dynamic stability

که به محض تعیین اندازه و شکل زیردریایی بـه کمـک ملاحظـات خـاص خـود، فـراهم آوردن وسایل و ملاحظات مربوط به قابلیت‌هـای مناسـب کنترلـی و دینـامیکی، بـه متخصـصان علـم هیدرودینامیک و مهندسین کنترل برای انجام مراحل بعدی طراحی، سپرده خواهد شـد. در عـین حال شکل زیردریایی و نحوه تأثیر آن بر خصوصیات کنترلی، برای طراح مهم اسـت، بخـصوص که اگر قابلیت تحرک بالا یا کنترل موقعیت دقیق زیردریایی مورد نظر باشد.

با مشخص کردن تأثیرات متقابل مراحل طراحـی بـر یکـدیگر، شـکل کلـی بدنـه بیرونـی زیردریایی یعنی کوتاه و چاق یا بلند و باریک بـودن آن (شـکل ۱–۸) کـه خـصوصیات مطلـوب هیدرودینامیکی و همچنین محدودیت‌های بازوهای سطوح کنترلـی را نـسبت بـه مرکـز گـرانش شناور، برآورده می‌کند، مشخص می‌گردد. انتخاب موقعیت و اندازه سکان و سطوح کنترل (افقی)، میزان مشارکت آنها در تغییر و حفظ عمق را مشخص می‌کند. موقعیت و انـدازه متعلقـات اصـلی بدنه مانند برجک و شکل سینه و پاشنه، همگی تأثیر مهمی در رفتار زیردریایی به هنگـام مـانور دارند.



شکل (۱–۸) نسبت‌های مختلف L/D

در نتیجه طراح باید به خوبی به تأثیرات این موارد و آنچه که باعث کمک به بهبود نتایج می‌شود آگاه باشد که این موضوع بحث ما در این فصل است.

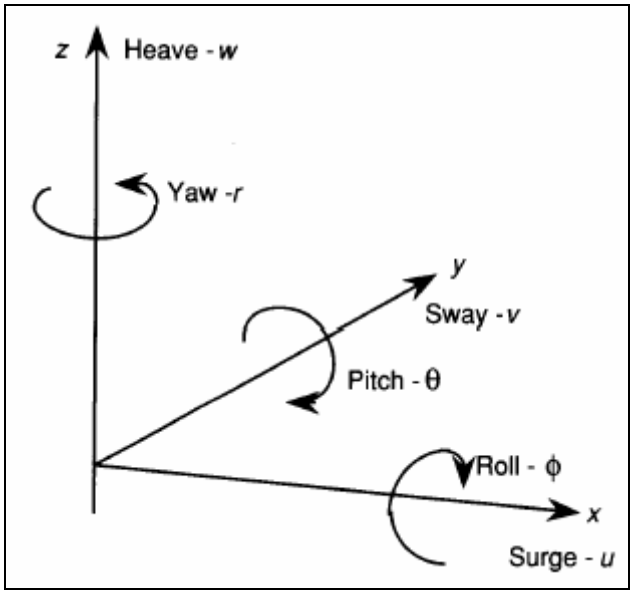
هر چند ما به سکان تک و یکپارچه در زیردریایی می‌پردازیم ولی معمولاً از سکان‌های بالایی و پائینی در زیردریایی‌ها استفاده می‌شود.

برخی از مفاهیم اولیه

درجات آزادی حرکت:

۲-۸) زیردریایی در زیر آب دارای آزادی حرکت در همه جهات یعنی شش درجه آزادی است که در اصطلاح مهندسی دریایی به حرکت در راستای سه محور به صورت طولی، عرضی و عمودی به ترتیب سرج[۱]، اسوی[۲] و هیو[۳] و حرکت دورانی حول این سه محور را رُل[۴]، پیچ[۵] و یاو[۶] گویند (شکل ۲-۸). هرچند که معمولا مجموعی از این حرکات را در کنار هم داریم ولی با ساده‌سازی مناسب می‌توان رفتار آنها را به گروه‌های مجزا تقسیم‌بندی نمود. وقتی ما از سرج (تغییرات سرعت زیردریایی در جهت محور طولی) نام می‌بریم، یعنی یک عامل منفرد و حرکت مستقل که به قدرت تولیدی و مقاومت شناور بستگی دارد.

1- Surge : تلاطم طولی (حرکت جلو – عقب)
2- Sway : تلاطم عرضی
3- Heave : تلاطم عمودی (حرکت بالا و پائین)
4- Roll : غلتش عرضی (حول محور طولی)
5- Pitch : غلتش طولی (حول محور عرضی)
6- Yaw : غلتش در صفحه افقی (حول محور عمود به سطح آبخور)



شکل (۲–۸) درجات آزادی حرکت

حرکت در صفحه افقی یعنی اسوی (حرکت عرضی) و یاو (چرخش زیردریایی حول محور عمود بر سطح آبخور) همانند دو عامل وابسته رفتار می‌کنند. حرکت در صفحه عمودی یعنی هیو (حرکت بالاو پائین) و پیچ (چرخش حول محور عرضی) که این دو نیز همانند دو عامل وابسته رفتار می‌کنند و رل (دوران حول محور طولی) به عنوان یک عامل منفرد و حرکتی مستقل رفتار می‌کند، هر چند که بسیار شبیه به حرکت چرخشی[1] می‌باشد. حرکت سرج معمولاً کنترل نمی‌شود ولی می‌توان با تغییر دور پروانه روی آن تأثیر گذاشت.

کنترل حرکت:

با نگاهی به حرکت‌های ممکن زیردریایی که در گروه‌های دوتایی در بالا بیان شد، روش‌های مرسوم کنترل آنها از قرار زیر است:

1- Turning motion

الف) حرکت سرج: این حرکت ناشی از نتیجه تغییرات بین دو نیروی طولی یعنی نیروی پیشران پروانه و مقاومت سیال در برابر حرکت رو به جلو (نیروی درگ) می‌باشد. هنگامیکه زیردریایی در یک مسیر مشخص در یک سرعت ثابت و با عمق کافی حرکت می‌کند، نیروهای وارد بر آن مساوی و مخالف جهت هم هستند؛ ولی اگر زیردریایی تغییر مسیر یا تغییر عمق دهد، حرکت‌های دیگر باعث ایجاد تغییرات سرعت و نیروی مقاوم می‌شود. کنترل حرکت سرج معمولاً انجام نمی‌شود، اما با تغییر دور پروانه می‌توان روی آن تأثیر گذاشت.

ب) حرکات یاو و اسوی: کنترل این دو حرکت وابسته به هم، توسط سکان‌هایی که در پاشنه یا عقب زیردریایی هستند، انجام می‌شود. عملکرد سکان روی سرعت دور زدن و زاویه یاو تأثیر می‌گذارد. حرکت اسوی نتیجه‌ای از حرکت یاو است و اصولاً تلاش مستقیمی برای کنترل آن صورت نمی‌گیرد.

ج) حرکات پیچ و هیو: این حالات، آزادی حرکت زیردریایی در زیر آب در صفحه عمودی می‌باشند که با این نوع حرکات در کشتی متفاوت است؛ چرا که حرکت پیچ و هیو در کشتی، نسبتاً کوچک و ناشی از امواج سطح آب و خصوصیات هیدرواستاتیکی و سطح آبخور کشتی می‌باشند. در زیردریایی‌ها، کنترل این دو حرکت وابسته، معمولاً بوسیله دو دسته از سطوح کنترلی که به بالک معروف هستند، انجام می‌شود. یک جفت در جلوی زیردریایی نصب می‌شود و یک جفت در عقب زیردریایی؛ بدین ترتیب، امکان کنترل مستقل پیچ و هیو وجود دارد. سابقاً در زیردریایی‌های با سرعت پائین، استفاده از کنترل دستی[1] با دو خدمه رایج بود که هر یک روی یک دسته از بالک‌ها کار می‌کردند. بالک جلو، عمق زیردریایی و بالک عقب، زاویه حرکت پیچ را کنترل می‌کرد.

1- Manual control

د) حرکت رل: در زیردریایی‌ها برای کنترل حرکت رل معمولاً تمهیداتی انجام نمی‌شود. بر خلاف بسیاری از کشتی‌ها که برای کنترل حرکت رل، از بالک‌ها استفاده می‌شود. در زیردریایی‌ها، هر ممان نامتقارن که مایل به ایجاد حرکت رل باشد با ممان بازگرداننده هیدرواستاتیکی مواجه می‌شود و این ممان بازگرداننده در زیر آب ناشی از قرار گرفتن مرکز گرانش در زیر مرکز شناوری و در سطح آب ناشی از قرار گرفتن مرکز ثقل در زیر مرکز متاسنتر است. همانطور که بعداً خواهیم دید، وقتی زیردریایی با سرعت در زیر آب دور می‌زند، ممانهای رل دهنده گذرا و آنی[1] ایجاد می‌شوند که می‌توانند بسیار نامطلوب باشند. بنابراین مباحثی در این زمینه مطرح می‌شود که می‌تواند بسیار ارزشمند باشد.

نیازهای عملیاتی

۳-۸) برای فراهم آوردن زمینه‌ای از ملاحظات عملکرد دینامیکی زیردریایی در زیر آب، ابتدا به نیازهای کنترل حرکت شناور می‌پردازیم. بخاطر اینکه این خصوصیات بدرستی تحقق یابند، نیاز است که اهدافی که از بحث کنترل و تعادل دینامیکی دنبال می‌شود را بدانیم.

جوانب سرعت:

بدست آوردن سرعت مورد نیاز روبه جلو وحفظ آن، اصولاً در حوزه کار طراحان سیستم رانش، سیستم‌های انتقال قدرت و پروانه است و باید توجه خاصی به محدودیت سرعت از حالت توقف تا حداکثر قدرت اعمال شود. وقتی زیردریایی در عمق و مسیر مشخص مانور می‌کند؛ حرکتهای جانبی سبب کاهش سرعت می‌شوند. برای مثال در یک دور زدن سریع، سرعت پائین‌تر از حالتی خواهد بود که شناور با همان میزان قدرت در مسیر مستقیم حرکت می‌کند. در

1- Transient rolling monent

شرایط دیگر، قابلیت شتاب‌گیری سریع از سرعت کم می‌تواند مزایایی هم برای اهداف ضروری مورد نیاز و هم بدلایل ایمنی داشته باشد.

ایمنی عاملی است که برای جلوگیری از بروز خطر در موارد اضطراری در نظر گرفته می‌شود، مانند در معرض تلاطم قرار گرفتن حین حرکت آرام و تحت فشار قرار گرفتن سطوح کنترل به هنگام حرکت در سرعت بالا. با افزایش شتاب، نیروهای هیدرودینامیکی بیشتری ایجاد خواهد شد و عملکرد سطوح کنترلی بهبود خواهند یافت و با کاهش سرعت، نیروهای هیدرودینامیکی کاهش یافته و عملکرد سطوح کنترلی ضعیف‌تر می‌شود. باید ارتباط بین سیستم رانش و ملاحظات کنترلی را در ذهن داشت.

جوانب مسیر حرکت:

برای حرکت در صفحه افقی، نیاز اصلی حفظ مسیر حرکت و جلوگیری از تغییرات نامطلوب اندک در مسیر می‌باشد که برای این هدف، زیردریایی باید تعادل دینامیکی کافی داشته باشد تا مسیر حرکت خود را بدون استفاده پیوسته از سکان حفظ کند. باید در فرآیند قابلیت مانور، امکان تغییر مسیر سریع را نیز در نظر داشت. همانطور که بحث شد، دور زدن خیلی سریع، نباید منجر به سریعترین نرخ تغییرات جهت[1] شود و بنابراین سرعت دور زدن باید کاهش یابد. در نتیجه، طراحی نه تنها نباید باعث تعارض بین حفظ مسیر و تغییرات مسیر شود بلکه باید چابکی خاصی که مورد نیاز است بدست آید، لذا باید به یک حالت بهینه رسید.

جوانب عمق:

نیازهای مشابهی برای حرکت در صفحه عمودی نیز وجود دارد. ساده‌ترین قابلیت باید حفظ عمق بدون استفاده از سطوح کنترل باشد. از آنجا که در عمق تغییرات اندکی در نیروهای خارجی

1- Heading

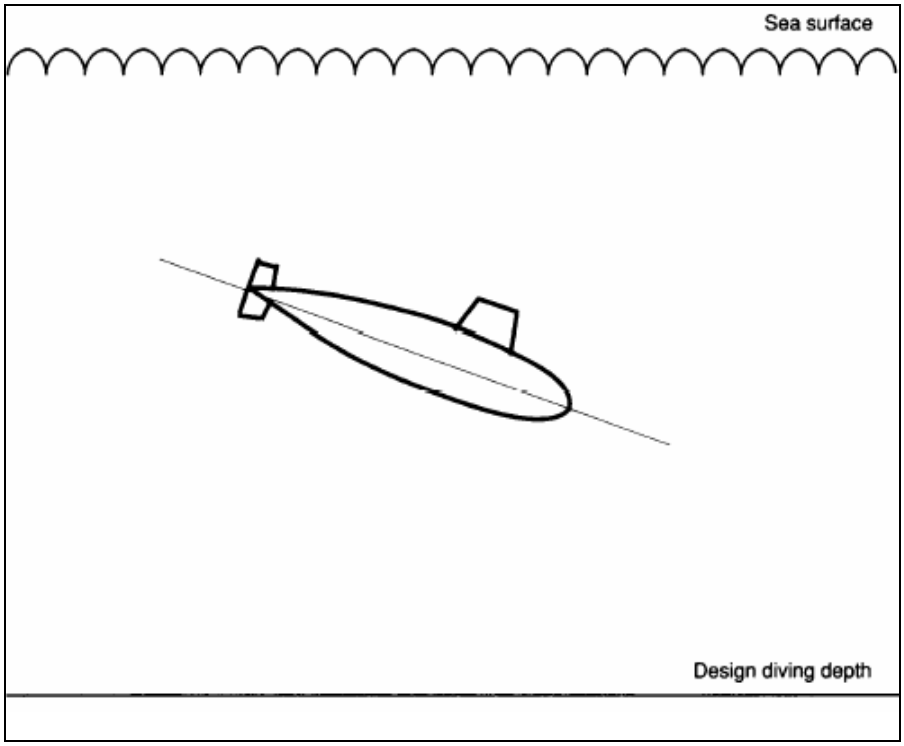
وارد بر زیردریایی وجود دارد لذا تعادل دینامیکی کافی این هدف را تأمین می‌کند. با نزدیک شدن زیردریایی به سطح آب با تأثیرات موج مواجه می‌شود که باعث وارد شدن نیروهای نامنظم بر بدنه می‌شود و حرکات هیو و پیچ بر زیردریایی اعمال می‌گردد. همچنین بر اثر نزدیکی بدنه در حال حرکت به سطح آب، نیروهای مکش[1] بر بدنه وارد می‌شود. اگرچه تعادل دینامیکی زیردریایی بر برانگیختگی امواج تأثیر می‌گذارد، کنترل عمق تنها با استفاده از عملکرد سطوح کنترل (افقی) بدست می‌آید؛ یعنی پس از تأمین قابلیت حفظ عمق زیردریایی در شرایط مختلف، زیردریایی نیاز به قابلیت تغییر عمق در شرایط کنترل شده دارد و در برخی مواقع باید قادر به تغییر سریع عمق و چابکی لازم در صفحه عمودی همانند صفحه افقی باشد.

روش معمول تغییر عمق، حرکت پیچ بدنه به سمت بالا یا پائین و قرار گرفتن در زاویه‌ای است که حرکت در آن راستا تغییر عمق مورد نیاز را برآورده کند. میزان تغییر عمق بوسیله زاویه پیچ و سرعت حرکت اعمال شده در آن زاویه تعیین می‌شود. معمولاً حداکثر زاویه پیچ که تغییر عمق با آن صورت می‌گیرد حدود ۲۰ درجه است چرا که زاویه بیش از این، کارکرد خدمه را دچار مشکل می‌کند و همچنین زاویه زیاد انحراف، ممکن است باعث اختلال در عملکرد ماشین‌آلات و تجهیزات داخل زیردریایی شود. در سرعت بالا، زیردریایی می‌تواند در مدت زمان اندک در حدود یک دقیقه یا نزدیک به آن از سطح آب به حداکثر عمق عملیاتی خود برسد (شکل ۳-۸). در این مدت زمان اندک، حتی ممکن است که وضعیت کارکرد سیستمهای کنترلی دچار مشکل شود. بنابراین از حداکثر زاویه پیچ به ندرت استفاده می‌شود و معمولاً از زوایه پیچ ۵ تا ۱۰ درجه استفاده می‌شود.

یک روش کاملاً متفاوت تغییر عمق این است که زیردریایی در حالیکه وضعیت افقی خود را حفظ می‌کند، نیاز به تغییرات آرام عمق دارد. این وضعیت موقعی می‌تواند اتفاق بیافتد که

1- Suction force

زیردریایی به عمق پریسکوپ نزدیک می‌شود و نمی‌خواهد دکل آن در بالای سطح آب چندان نمایان باشد.



شکل (۳-۸) ناحیهٔ مجاز عملیاتی زیردریایی

همانطور که بعداً خواهیم دید، عملکرد زیردریایی در سرعت پائین با عملکرد آن در سرعت بالا (حفظ و تغییر عمق) متفاوت است چرا که در سرعت کم تأثیر نیروها و ممان‌های هیدرواستاتیک نسبت به نیروها و ممان‌های هیدرودینامیک بیشتر خواهد بود. از نظر طراحی این هم مهم است که طراح، درک درستی از تغییر و حفظ عمق و چگونگی برقراری توازن بین تعادل

دینامیکی و چابکی در حرکت و ایمنی لازم برای آزادی حرکت و مانور زیردریـایی در عمـق آب، داشته باشد.

جوانب حرکت رول:

مشخص کردن چگونگی کنترل حرکت رل معمول نیست، هر چند که طراح باید دلایل این پدیده را که «اسنپ‌رل[۱]» نامیده می‌شود و بعداً توضیح داده خواهد شد و مراحلی که می‌تـوان آن را به حداقل رسانید، بداند. معمولاً در مرحله طراحی حداکثر زاویه رل ۵۰ ± درجه که غیر واقعـی است در نظر گرفته می‌شود و تجهیزات و ماشین‌آلات داخل زیردریایی برای کارکرد تا این زاویـه طراحی می‌شوند. از آنجا که این مقدار در مرحله طراحی در نظر گرفته می‌شود، با در نظر گـرفتن ضریب اطمینان، این زاویه در عمل غیر قابل قبول است.

علاوه بر نیازهای اصولی کنترل که گفته شد، برخی از زیردریایی‌ها ممکن است برای حفظ مسیر به احتیاجات ویژه‌ای نیاز داشته باشند، هم در صفحه عمـودی و هـم صـفحه افقـی؛ مـثلاً هنگامی که از سونار جهت جستجو و یا نقشه‌برداری اقیانوس شناسـی اسـتفاده مـی‌شـود. ضـمناً برخی از شناورها ممکن است نیازهای ویژه بیشتری برای کنترل وضعیت یا موقعیت خـود داشـته باشند، مثلاً شناور نجات زیردریایی[۲] باید قادر به انطباق دادن خود با زاویهٔ درب نجات زیردریـایی حادثه دیده باشد تا بتواند به زیردریایی حادثه دیده متصل شود.

نیازهـای مـشابهی در مـورد وسـایل کنتـرل از راه دور (ROV)[۳] وجـود دارد کـه بـرای جستجوی نفت و گاز و استخراج آنها بوسیله سازه‌های فراساحلی، در بستر دریا بکـار مـی‌رونـد و برای انجام کار خود نیاز به حفظ دقیـق موقعیـت دارنـد. مـا در مـورد مـشکلات طراحـی چنـین

۱- Snap roll : حرکت غلتش عرضی (حول محور طولی) که ناشی از نیروهای دفعی (غیرمداوم) خارجی مانند باد و موج است.

۲- Submarine Rescue Vessel

۳- Remote Operated Vehicle

شناورهایی کاملاً تخصصی بحث نمی‌کنیم، هر چند که تئوری‌های موجود را می‌توان برای حل این مشکلات بکار گرفت.

معادلات حرکت زیردریایی

قراردادها:

۴-۸) هر چند که نمی‌خواهیم زیاد از تئوری دینامیک زیردریایی دور شویم، ولی برای فهم کلی آن باید مباحث مقدماتی شامل مطالب اولیه در مورد معادلات حرکت زیردریایی را مطرح کنیم. ما وارد مشتقات آنها نمی‌شویم چرا که آنها را می‌توان در کتابهای مناسب یافت. در پایان نیز لازم است که محورها و سیستم مختصاتی که در این مورد بکار می‌رود را بیان نمائیم که در شکل ۲-۸ نشان داده شده است. دستگاه مختصاتی که استفاده می‌شود مطابق با هندسه طولی، عرضی و عمودی زیردریایی است، فرض می‌شود که در سه جهت در داخل آب حرکت می‌کند. مرکز این دستگاه مختصات نیز روی مرکز هندسی شناور و یا بطور رایج‌تر روی مرکز ثقل آن فرض می‌شود. انتخاب این دستگاه مختصات بسیاری از مشکلات همراه اجزاء مختلف حرکت را رفع می‌کند، هر چند که البته پیچیدگی‌های دیگری را باعث می‌شود مانند نیروهای گرانش که مربوط به محورهای مختصات فضایی است. چگونگی معادلات حرکت به صورت گروه‌های دوتایی در ذیل توضیح داده می‌شود:

معادلات سرج[1]:

$$m\dot{u} = X_P + X_U + X_M + X_A$$

این معادله نشان می‌دهد که جرم بدنه صُلب زیردریایی ضربدر شتاب حرکت آن در راستای محور طولی برابر با مجموع نیروهای وارد بر آن در جهت طولی می‌باشد. این نیروها شامل نیروهای ذیل می‌شود: نیروی پیشران پروانه، مقاومت هیدرودینامیکی حرکت در راستای محور طولی، مجموع نیروهای مقاوم دیگر ناشی از حرکت‌های دیگر که ممکن است اتفاق بیافتد و نیروهای هیدرودینامیک ناشی از حرکت شتاب‌دار در راستای محور طولی، که معمولاً به «جرم افزوده»[2] معروف است.

معادلات صفحه افقی:

$$m(v + rU) = Y_V + Y_{\dot{V}} + Y_R + Y_{Cont}$$

و

$$I_{zz}\dot{r} = N_V + N_R + N_{\dot{R}} + N_{Cont}$$

اولین معادله مربوط به جرم جسم صُلب و شتاب عرضی ناشی از مجموع نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر بدنه در جهت عرضی می‌باشد. دومین معادله مربوط به اینرسی دورانی جسم صُلب حول محور عمودی گذرنده از مرکز گرانش و شتاب زاویه‌ای حرکت یاو ناشی از مجموع ممان‌های افقی هیدرودینامیکی وارد بر بدنه است.

1- Surge equation
2- Added mass

معادلات صفحه عمودی:

$$m(\dot{w} - qU) = Z_W + Z_\theta + Z_{\dot{W}} + Z_{\text{Cont}}$$

و

$$I_{yy}\dot{q} = M_W + M_Q + M_\theta + M_{\text{CONT}}$$

اولین معادله مربوط به جرم جسم صُلب و شتاب آن در جهت عمودی ناشی از مجموع نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر بدنه در آن جهت است. دومین معادله مربوط به اینرسی دورانی جسم صُلب حول محور عرضی گذرنده از مرکز گرانش و شتاب زاویه‌ای در حرکت پیچ ناشی از مجموع ممان‌های عمودی نیروهای هیدرودینامیکی وارد بر بدنه است که در این مورد ممان بازگرداننده هیدرواستاتیکی ناشی از تغییرحالت محور زیردریایی از حالت افقی به آن اضافه می‌شود.

معادلات حرکت رل:

$$I_{XX}\phi = K_V + K_R + K_\phi$$

این معادله مربوط به اینرسی دورانی جسم صُلب حول محور طولی آن و شتاب زاویه‌ای آن در حرکت رل، ناشی از ممان‌های عرضی وارد بر بدنه بر اثر نیروهای هیدرودینامیک سایر حرکت‌ها می‌باشد که در این مورد ممان بازگرداننده هیدرواستاتیک ناشی از حرکت زیردریایی به خارج از صفحه عمودی به آن افزوده می‌گردد.

نیروهای کنترلی:

نیروهای هیدرودینامیکی که در معادلات فوق بیان شده متشکل از دو دسته نیروهای جرمی[1] و نیروهای کنترلی[2] می‌باشد. قراردادی که اعمال می‌شود این است که نیروهای تولید شده بوسیله حرکت جسم، شامل همه ملحقات بدنه می‌باشد. بالکها در حالت عادی در زاویه حمله صفر هستند و نیروهای کنترلی که در این قرارداد به آنها اشاره شد، نیروهایی هستند که زمانی در نظر گرفته می‌شوند که بالکها از حالت عادی خود خارج شده و زاویه‌دار شده باشند.

مشتقات هیدرودینامیکی

۵-۸) برای شروع آنالیز معادلات حرکت بالا، نیاز است که نیروها و ممان‌های هیدرودینامیکی را بوسیله عبارات مناسبی نشان دهیم و حیطه وسیع استفاده از آنها را که اولین بار در زمینهٔ آیرودینامیک معرفی شدند و از «مشتق» اقتباس شده است را بیان کنیم. اصولاً فرض می‌کنیم که حرکت جسم به طور معقولانه‌ای دارای انحراف اندک از خط مستقیم اولیه حرکت باشد. نیروها و ممان‌های هیدرودینامیک وارده بر بدنه را می‌توان دارای نسبت مستقیم با تغییرات اندک سرعت همراه آن، در نظر گرفت.

این رابطه توسط ضرایبی بیان می‌شود که «مشتقات هیدرودینامیکی» نامیده می‌شوند. بنابراین، برای مثال اگر یک سرعت اندک اسوی v وجود داشته باشد، نیروی هیدرودینامیک γ از آن حرکت نتیجه می‌شود که با $\gamma = \gamma_v \cdot v$ بیان می‌شود و γ_v مشتق نیروی خطی نسبت به سرعت اسوی می‌باشد.

1- Body force
2- Control force

استفاده از روش مشتق‌های خطی، یک راه سودمند در آزمایش برخی خصوصیات اصلی تعادل و کنترل در زیردریایی است ولی باید این را در ذهن داشته باشیم که شرایط بسیاری وجود دارد که حرکت، قابل تطبیق با فرض خطی بودن نیست. به منظور مدل کردن رفتار زیردریایی تحت مانورهایی که فرض خطی بودن نمی‌تواند درست باشد، نیاز است که عبارات با مراتب مشتقی بالاتر[1] در معادلات حرکت آورده شود. با اینکه این کار شدنی است ولی آنالیز آن بسیار پیچیده می‌شود و استفاده از اصولی که در آنالیز خطی مجاز بود، مشکل می‌شود.

حتی در متداول‌ترین مانورها، استفاده از نماد خطی نیروهای سرج رضایتبخش نیست و برای بدست آوردن نتایج با مفهوم، نیاز به استفاده از عبارات مرتبه دوم[2] است؛ در جائیکه به منظور رسیدن به تقارن در عبارات مربوط به نیروی مقاوم(درگ) به همراه گردش آن به چپ و راست، سرعت به توان دو می‌رسد. این حالت همچنین در زمینه آیرودینامیک اتفاق می‌افتد که نیروی مقاوم بیشتر ناشی از زاویه گرفتن ایرفویل‌های بالابرنده، به صورت توان دو ضریب برا[3] بیان می‌شود. باید خاطر نشان کرد که شکل مشتقی بیان شده به صورت با بُعد[4] می‌باشد. در بیشتر نوشته‌ها از شکلی از معادلات استفاده شده است که به صورت بدون بُعد[5] می‌باشد و دلالت می‌کند بر رابطه‌ای که برای مثال به صورت زیر بیان می‌شود:

$$Y'_{\upsilon} = \frac{Y_{\nu}}{\frac{1}{2}\rho L^2 U}$$

که L معمولاً طول شناور می‌باشد. شکل بدون بعد مشتق‌ها معمولاً به صورت خصوصیات ثابت شکل هندسی در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین در شکل با بعد استفاده شده در این شرح

1- Higher order
2- Second order
3- Lift coeficient
4- Dimensional
5- Non - dimensional

مختصر، مشتقات هیدرودینامیک با بعد به مجذور سرعت وابسته است. خواهیم دید که اثر متقابلی بین نیروها و ممان‌های هیدرواستاتیک و هیدرودینامیک وجود دارد.

کنترل و پایداری در صفحه افقی

معادلات به شکل مشتقی:

۶–۸) با بکار بردن روش مشتقی معادلات در بخش (۴–۸) و همچنین استفاده از آنها برای کنترل مناسب انحراف سکان به اندازه زوایه δ، معادلات خطی در سرعت اسوی v و نرخ یاو r عبارتست از:

$$m(\dot{v} + rU) = Y_v v + Y_r r + Y_{\dot{v}} \dot{v} + Y_\delta \delta$$

و

$$I_{zz} \dot{r} = N_v v + N_r r + N_{\dot{r}} \dot{r} + N_\delta \delta$$

بنابراین ما دو معادله با دو پارامتر نامعلوم v و r و با یک پارامتر ورودی یعنی عامل کنترلی δ خواهیم داشت.

پایداری دینامیکی:

با در نظر گرفتن رفتار زیردریایی، ابتدا در حالتی که در مسیر مستقیم و بدون ورودی کنترل یعنی $\delta = 0$ می‌باشد، شروع می‌کنیم. در نتیجه معادله به شکل ساده‌تر زیر در می‌آید:

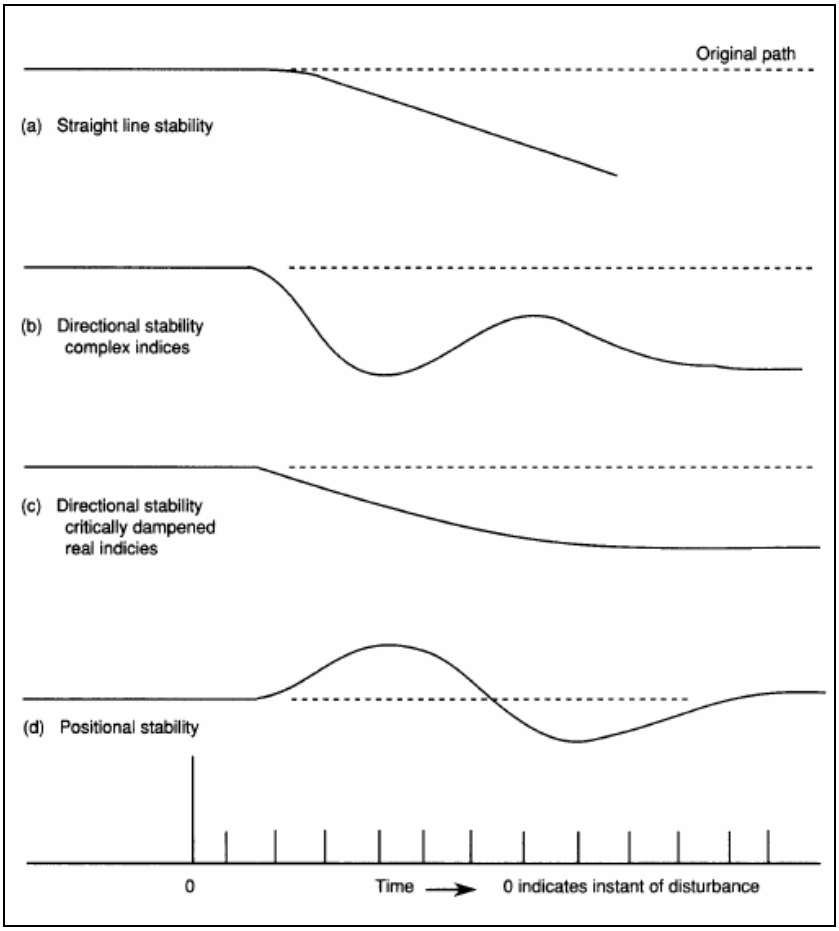
$$(m - Y_{\dot{v}})\, \dot{v} = Y_v v + (Y_r - mU)\, r$$

و

$$(I_{zz} - N_{\dot{r}})\, \dot{r} = N_v v + N_r r$$

این جفت معادلات دیفرانسیل با متغیرهای v و r را می‌توان به یک معادله همگن خطی مرتبه دو برحسب v یا r تبدیل وحل کرد. ریشه این معادله را می‌توان چنان بدست آورد که تعادل دینامیکی حرکت زیردریایی در مسیر فرض شده را مشخص کند. حل عمومی معادله به شکل نمایی[1] می‌باشد که نما[2] اصولاً می‌تواند مثبت، منفی یا مختلط(دارای جزء حقیقی و موهومی) باشد (شکل ۴-۸).

1- Exponential
2- Exponent



شکل (۴–۸) حالات مختلف پایداری زیردریایی

داشتن نماهای مختلط به معنای پاسخهای نوسانی زیردریایی به اغتشاش زودگذر می‌باشد اما این حالت در عمل هیچگاه اتفاق نمی‌افتد و بنابراین رفتار مغشوش بوسیله نماهای حقیقی مشخص می‌شود. اگر مثبت باشند، هر انحراف کوچکی از مسیر مستقیم اولیه، با گذشت زمان، زیردریایی را از مسیر اولیه خود، بیشتر منحرف خواهد کرد تا اینکه عکس العمل کنترلی اعمال

شود. برای قابلیت خوب حفظ مسیر در زیردریایی، نمای حقیقی باید منفی باشد تا اینکه انحراف‌های اندک از بین برود بدون اینکه عکس‌العمل کنترلی دخالت کند. روشی که معمولاً برای ارزیابی مفهوم پایداری معادله منفرد بکار می‌رود معیار پایداری راس[1]، می‌باشد. در این مورد اینها نیاز به عبارات ثابت دارند، یعنی عبارت سوم معادله باید مثبت باشد. این عبارت ترکیبی از نیرو و ممان مشتقی حرکات اسوی و یاو بوده و مبین پایداری دینامیکی عبارتست از:

$$N_r Y_v - N_v (Y_r - mU) > 0$$

با تقسیم در عبارات نیرو Y_ν و $(Y_r - mu)$ این شرایط می‌تواند اینگونه بیان شود:

$$\frac{N_r}{(Y_r - mU)} - \frac{N_v}{Y_v} > 0$$

با این طرز بیان، می‌توان دید که اولین عبارت بیان کننده نسبت بین ممان حاصل از حرکت چرخشی و نیروی حاصل از حرکت چرخشی[2] می‌باشد و بنابراین می‌توان آن را به عنوان نقطه اثر آن نیرو در نظر گرفت که با $\overline{X}_r$ بیان می‌شود. همچنین دومین عبارت بیان کننده نسبت بین ممان حاصل از حرکت اسوی و نیروی حاصل از حرکت اسوی می‌باشد و بنابراین می‌توان آن را به عنوان نقطه اثر آن نیرو در نظر گرفت که با $\overline{X}_\nu$ بیان می‌شود. در نتیجه معیار تعادل دینامیکی حرکت آشفته[3] در صفحه افقی عبارتست از $(\overline{X}_r - \overline{X}_\nu) \rangle 0$ یعنی اینکه نیروی حاصل از حرکت چرخشی باید بر نقطه‌ای جلوتر از محل اثر نیروی ناشی از حرکت اسوی اثر کند. این مطلب محسوس است چرا که نیروی اسوی در جهت افزایش انحراف لحظه‌ای مسیر وارد می‌شود در حالیکه نیروی چرخشی در جهت کاهش آن وارد می‌شود. همانطور که بعداً مشاهده خواهیم کرد، خطوط بدنه نامناسب قادر به برآوردن این نیاز نخواهند بود و این هدف مستلزم این

1- Routh Stability
2- Rotational motion
3- Disturbed motion

مطلب است که بالک در عقب نصب شود و می‌تواند شامل سکان باشد که هم باعث کاهش $\overline{X}_v$ و هم افزایش $\overline{X}_r$ شود.

حرکت هدایت شونده[1]:

با بررسی چگونگی برقراری تعادل زیردریایی از نظر دینامیکی در حرکت در صفحه افقی، می‌خواهیم روی آزمایش تأثیر کنترلی سکان برای حفظ و تغییر مسیر بحث کنیم. برای این منظور، ما به معادلات حرکت شامل نیروهای δ تولید شده توسط سکان رجوع می‌کنیم.

این معادلات را می‌توان برای حل کاملاً خطی سرعت اسوی و سرعت یاو ناشی از انحراف سکان δ ، حل کرد. از آنجا که تمایل به بررسی تأثیر کنترل می‌باشد، ساده‌تر است که از حرکات آنی و زودگذر صرفنظر شود و تنها حرکت پیوسته و یکنواخت را بررسی کرد که در این صورت زیردریایی بطور یکنواخت تحت عکس‌العمل سکان دور می‌زند و تمام عبارات مشتقی معمولی حذف می‌شوند و تنها عبارات سرعت ثابت باقی می‌ماند. در این صورت ما با یک جفت معادله روبرو خواهیم بود:

$$Y_v v + (Y_r - mU)\, r + Y_\delta \delta = 0$$

و

$$N_v v + N_r r + N_\delta \delta = 0$$

می‌توان برای رسیدن به سرعت یکنواخت دور زدن، r را به عنوان تابعی از انحراف سکان δ حل کرد، اصطلاحاً :

$$\frac{r}{\delta} = \frac{Y_\delta}{(Y_r - mU)} \frac{(x_v - x_\delta)}{(x_r - x_v)}$$

1- Steered motion

این رابطه نشان می‌دهد که بهترین راه بدست آوردن تأثیر زیاد کنترل این است کـه نقطـه اثر نیروی سکان و نقطه اثر برآیند ناشی از نیروهای هیدرودینامیک اسوی بر بدنه زیردریـایی، تـا حد ممکن از یکدیگر دور باشند که این به معنی این است که سکان را تا حد ممکن عقـب‌تـر در نظر گرفت. به همین دلیل، نصب سکان در جلـوی زیردریـایی کـارآیی کنترلـی خـوبی نخواهـد داشت.

(با پاسخ به این پرسش، موضوع مشخص خواهد شد. نصب بالک‌های جلو برای حرکـت در صفحه عمودی به چه دلیل است؟ ما روی این پرسش بعداً بحث خواهیم کرد).

همچنین باید خاطر نشان کرد که مخرج کسر، شامل عبارت تعادل $(\overline{X}_r - \overline{X}_v)$ مـی‌باشـد، بنابراین یک شناور بسیار پایدار نسبت به یک شناور نه چندان پایدار، عکس‌العمل ضعیف‌تری بـه حرکت سکان دارد. هر چند که معادله بالا برای r/δ ، مشخص می‌کند که بهترین کارآیی کنترل را می‌توان با بزرگ کردن Y_δ بدست آورد و باید دانست که چنـین کـاری مـی‌توانـد منجـر بـه حساسیت بیش از حد سکان شود چرا که انحراف بسیار کوچک سکان منجر به نیروهای کنترلـی نسبتاً بزرگ می‌شود و بنابراین سکان‌دار باید سعی در هدایت زیردریایی در مسیر مستقیم بوسـیله حرکات بسیار کوچک سکان بنماید.

در این شرایط، نگه داشتن زیردریایی در مسیر مستقیم برای سکان‌دار[1] مشکل خواهد بـود، حتی اگر زیردریایی از نظر دینامیکی پایدار باشد. در نتیجه هدف طراح باید برقراری حالت میانه و متعادل بین کارآیی سکان (که با Y_δ بیان می‌شود) و حداکثر زاویـه سـکان باشـد. بایـد در نظـر داشت که برای کنترل دقیق مسیر، سکان باید مجاز به منحرف شدن به اندازه معقول و مناسـب باشد.

1- Helmsman

هم اکنون به تغییر مسیر رجوع می کنیم. اصولاً از تئوری سطح بالا برنده[1]، باید انتظار داشت که پدیده استال[2] در زاویه انحراف حدود $^{\circ}$۱۰ اتفاق بیافتد. در سکان، چون ضریب منظری کوچک است لذا پدیده استال دیرتر اتفاق می‌افتاد و سکان تا $\pm^{\circ}$۳۵ منحرف می‌شود. در برخی موارد زاویه جریان باعث خواهد شد که یک زاویه معکوس به سکان داده شود. در صورتیکه زاویه سکان بتواند تا زاویه ۴۵ درجه افزایش یابد نیروی سکان می‌تواند در برابر پیچش اجباری عمل کرده و یک پیچش سریع را اعمال کند (شکل ۵–۸).

از این بحث مختصر که شامل عوامل حفظ و تغییر مسیر است نتیجه می‌شود که از نظر طراح، مسائل سکان و سیستم هدایت[3] باید حل شوند که مستلزم انتخاب مناسب Y_{δ}، حداکثر مقدار δ و حداکثر زمان لازم برای تأثیر سکان بر حرکت زیردریایی خواهد بود که ما بعداً در این فصل بدان خواهیم پرداخت.

تعادل و کنترل در صفحه عمودی

معادلات به شکل مشتقی:

۷–۸) در اینجا ما روی حرکت عمودی زیردریایی در سرعت ω و حرکت پیچ با مؤلفه‌های زاویه پیچ θ و نرخ تغییرات زوایه پیچ $\dot{\theta}$ متمرکز می‌شویم. همچنین بحث ما به دو دستگاه کنترلی و همچنین دو زوایه انحراف، یکی δ_f سطوح کنترل در جلو و دیگری δ_a سطوح کنترل در عقب معطوف خواهد بود. با بکار بردن روش مشتقی در معادلات داریم:

$$m(\dot{w} - qU) = Z_w w + Z_q q + Z_{\delta f}\delta_f + Z_{\delta a}\delta_a$$

1- Lifting surface theory
2- Stall on a foil
3- Steering gear

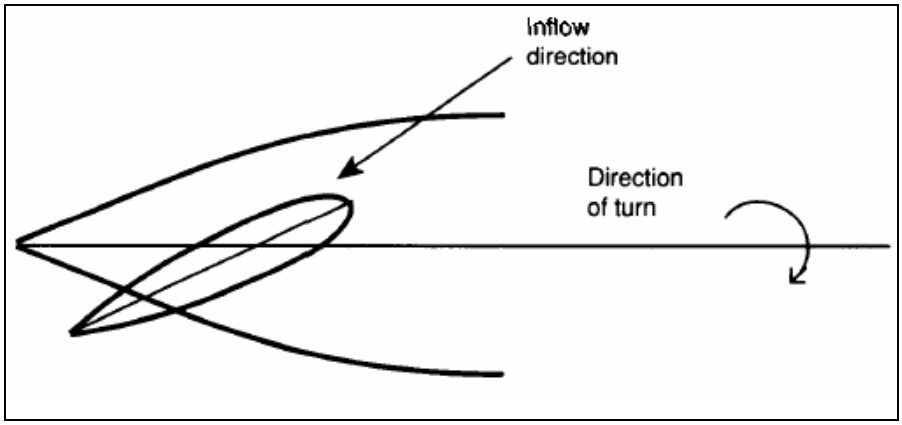
و

$$I_{yy}\dot{q} = M_w w + M_q q + M_\theta \theta + M_{\delta f}\delta_f + M_{\delta a}\delta_a$$

$$(M_\theta = W \cdot \overline{BG})$$

یادآوری می‌شود کـه عبـارت ممـان بازگردانـنـده هیدرواسـتاتیک $(M_\theta \cdot \theta)$ در معادلـه دوم مربوط به زوایه پیچ واقعی است. در نتیجه، این دو معادله نه فقط شامل دو متغیر وابـسته ω و q است بلکه شامل θ و دو پارامتر ورودی δ_f و δ_a می‌باشد.

$$\left(M_\theta = W \cdot \overline{BG} = \rho g \nabla \cdot \overline{BG}\right)$$



شکل (۵–۸) نیروی معکوس بر روی سکان

تعادل دینامیکی:

برای شروع، ابتدا حالتی را در نظر می‌گیریم که زیردریایی در امتداد مستقیم و مسیر یکنواخت، بدون اعمال هیچگونه کنترلی یعنی $\delta_f = \delta_a = 0$ حرکت می‌کند. لذا این معادلات را می‌توان اینگونه نوشت:

معادله حرکت خطی عمودی $m(\dot{w} - qU) = Z_{\dot{w}}\dot{w} + Z_q q$

و

معادله حرکت دورانی پیچ $I_{yy}\dot{q} = M_{\dot{w}}\dot{w} + M_q q + W \cdot \overline{BG}\,\theta$

حل آن، معادله دیفرانسیل معمولی مرتبه سوم می‌باشد که بدین معنی است که سه ریشه برای حل وجود خواهد داشت؛ همچنین معادله دوم وابسته به سرعت است چرا که با وجود اینکه عبارات هیدرودینامیک با مجذور سرعت تغییر می‌کنند، عبارت ممان هیدرواستاتیک به سرعت وابسته نیست. این نتیجه می‌دهد که ریشه‌های معادله وابسته به سرعت خواهند بود که یک حل مناسب می‌طلبد.

در سرعت‌های بالاتر، عبارت هیدرواستاتیک خیلی کوچکتر از هیدرودینامیک خواهد بود. اگر این مورد نادیده گرفته شود، دومین معادله به معادله دیفرانسیل معمولی مرتبه دوم شبیه آنچه برای حرکت بدون اعمال کنترل[1] در صفحه افقی بدست آمد، تبدیل خواهد شد. در ادامه بحثی که اخیراً گفته شد، شامل کاربرد معیار تعادل راس، می‌توان نشان داد که نیازهای مشابهی برای تعادل دینامیکی حرکت مغشوش در صفحه عمودی همانند صفحه افقی وجود دارد، یعنی اینکه نیروی ناشی از مؤلفه چرخشی حرکت باید بر نقطه‌ای جلوتر از نیروی ناشی از مؤلفه حرکت هیو وارد شود. هرچند که در سرعتهای بالا با صفحه افقی شباهت دارد ولی حرکت مغشوش در

1- Unsteered

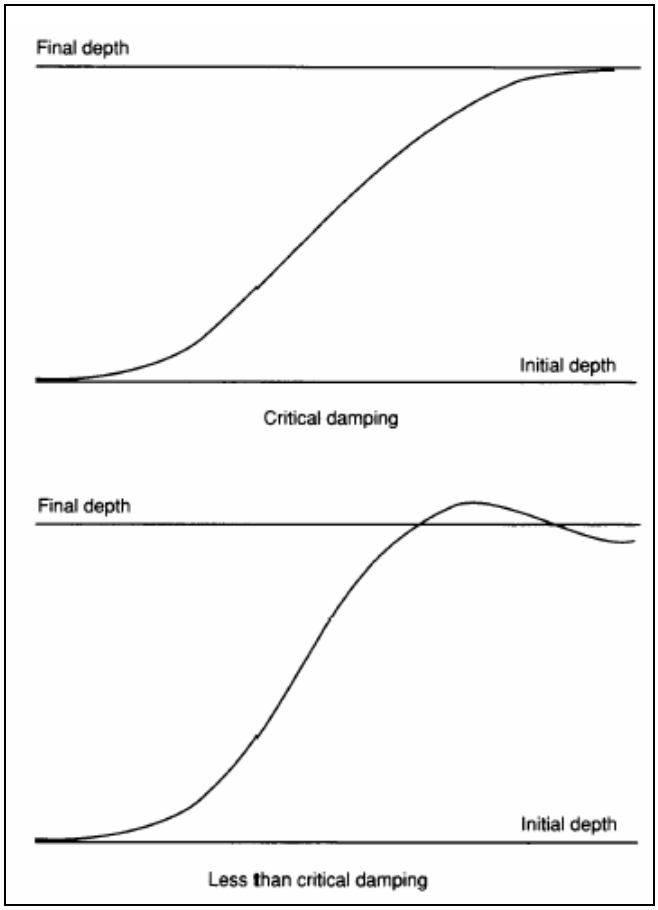
صفحه عمودی، در حفظ برتری خود در یک مسیر هموار، متفاوت عمل خواهد کرد. به هر صورت در سرعت‌های کم از عبارت هیدرواستاتیک نمی‌توان صرفنظر کرد.

سومین معادله دیفرانسیل معمولی که بکار می‌رود امکان ریشه‌های مختلط را فراهم می‌کند. در حقیقت، شکل کلی حل این معادله نشان دهنده ویژگی نوسانی میرا شونده[1] در حرکت مغشوش در غیاب اعمال نیروهای کنترلی خواهد بود. عبارت $\overline{BG}$ ثابت مؤثر فنر در معادله است و بنابراین مربوط به فرکانس نوسان است و دغدغه طراح این است که چه مقدار میرایی باید فراهم شود. بسیار کوچک بودن این مقدار می‌تواند منجر به گردش‌های نوسانی بزرگ پس از یک اغتشاش گذرا شود و بسیار بزرگ بودن آن می‌تواند منجر به پاسخ‌هاو عکس‌العمل‌های کند آن شود.

در اینجا دو عامل در نظر گرفته شد که چندان جالب نیستند. اول اینکه در سرعت‌های پائین اثر ممان هیدرواستاتیک افزون بر اثر نیروهای تعادلی دینامیکی می‌باشد که باعث کندی بسیار زیردریایی در صفحه عمودی می‌شود. دوم چیزی که می‌توان روی آن بحث کرد این است که حسن واقعی به هنگام حرکت در صفحه عمودی قادر بودن به کنترل و یکنواخت کردن حرکت زیردریایی پس از یک اغتشاش می‌باشد، اگر چه مسیر اولیه زیردریایی به بالا یا پائین منحرف شده باشد. تعادل دینامیکی مضاعف می‌تواند باعث اصرار زیردریایی در حفظ مسیر قبلی خود شود که می‌تواند نامطلوب باشد.

در نتیجه، امروزه برای زیردریایی‌هایی که قادر به رسیدن به سرعت‌های بالا هستند، معمولاً انتخابی کمتر از میرایی بحرانی[2] (مطابق اصول بکار گرفته شده در ارتعاشات مکانیکی که مربوط به پرهیز از فراجهش یا بالازدگی[3] پس از اغتشاش گذرا می‌باشد) در نظر گرفته می‌شود (شکل ۶-۸).

1- Damped oscillatory
2- Critical damping
3- Overshoot



شکل (۶–۸) تغییرات عمق

آنچه از این امر استنباط می‌شود، افزودن مساحت بالک عقب[1] می‌باشد، چرا که همانطور که قبلاً مشاهده شد، تعادل دینامیکی وابستگی بـه شـرایط گیرکـردن[3] سـطوح کنترلـی مـی‌باشـد. همچنین می‌دانیم که بالک‌های جلو در آن شرایط، یک اثر گیرکردن در یک زاویه خاص[2] دارنـد،

1- Aft fin
3-Stick - fixed
2- Destabilising

اما از آنجا که آنها کوچکتر از بالک‌های عقب هستند، بالک‌های عقب دارای تأثیر بیشتری هستند.

حرکت بوسیله عملکرد سطوح کنترلی:

۸-۸) برای شروع، ما معادلات حرکت به صورت مشتقی را در شرایط ویژه‌ای که زیردریایی با یک زوایه پیچ یکنواخت در حال کج کردن مسیر خود می‌باشد را در نظر می‌گیریم، یعنی در یک سرعت عمودی ثابت. معادلات مربوطه عبارتند از:

$$Z_\alpha \cdot \alpha + Z_{\delta c} \cdot \delta_c = 0$$

$Z_{\delta c}$ اثر ترکیبی نیروهای کنترلی است؛ یعنی برابراست با:

$$Z_{\delta f} \cdot \delta_f + Z_{\delta a} \cdot \delta_a$$

$$\alpha = \text{زاویه drift عمودی} = \frac{W}{U}$$

$$M_\alpha \cdot \alpha + M_\theta \cdot \theta + M_{\delta c} \cdot \delta_c = 0$$

از ابتدا می‌توانیم از اجزاء سرعت عمودی به عنوان تابعی از انحراف سطوح کنترلی مشتق بگیریم:

$$\alpha = -\frac{Z_{\delta c} \cdot \delta_c}{Z_\alpha}$$

این نشان می‌دهد که سرعت عمودی[1]، مقداری است که رابطه‌ای بین نیروی کنترلی و مقاومت هیدرودینامیکی زیردریایی در حرکت رو به بالا یا پائین می‌باشد.

از معادله دوم، ما می‌توانیم برای حل معادله اول استفاده کنیم به این صورت که از زوایه پیچ به عنوان تابعی از انحراف زوایای سطوح کنترلی مشتق بگیریم:

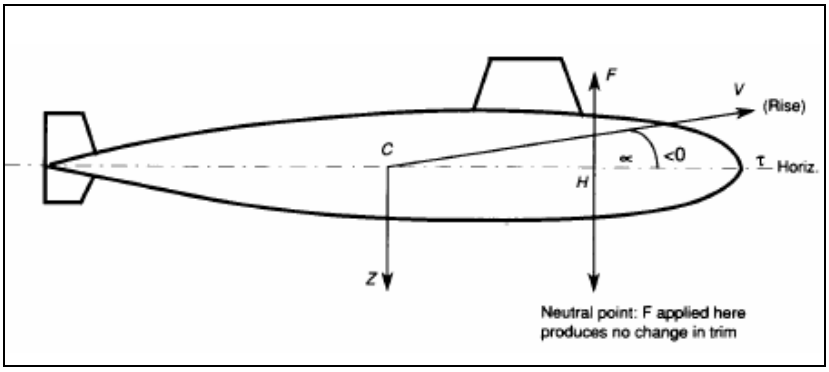
1- Vertical velocity

زاویه حرکت پیچ : $\theta = \dfrac{Z_{\delta c} \cdot \delta_c \cdot (X_\alpha - X_c)}{M_\theta}$

محل مؤثر نیروی کنترلی $X_c = \dfrac{M_{\delta c}}{Z_{\delta c}}$

محل مؤثر نیروی هیو $X_\alpha = \dfrac{M_\alpha}{Z_\alpha}$

عبارت داخل پرانتز رابطه بین محل برآیند نیروی کنترلی و نیروی ناشی از مؤلفه هیو حرکت را بیان می‌کند. اگر برآیند نیروی کنترلی بر همان نقطه اثر نیروی هیو وارد شود هیچ حرکت پیچ اتفاق نخواهد افتاد. این موقعیت اصطلاحاً «نقطه خنثی»[1] زیردریایی نام دارد (شکل ۷–۸).



شکل (۷–۸) نقطه خنثی زیردریایی

نیروی کنترلی که بدون هیچ تغییری در زاویه پیچ آن، بر زیردریایی وارد می‌شود، آن را قادر می‌کند که در عین حفظ حالت افقی، براحتی بالا و پائین برود. برای رسیدن به بزرگترین نسبت زاویه پیچ برای انحراف سطح کنترل، عبارت $\dfrac{M_{\delta c}}{Z_{\delta c}}$ تا حد ممکن باید منفی باشد یعنی سطوح

1- Neutral point

کنترلی تا حد ممکن باید در دورترین قسمت پاشنه باشد (که کاملاً شبیه موقعیت سکان برای حرکت در صفحه افقی است).

باید خاطر نشان شود که به غیر از موقعیت نسبی نیروی کنترلی در نقطه خنثی، زاویه پیچ وابسته به نسبت نیروی کنترلی به ممان پیچ[1] می‌باشد یعنی $\frac{Z_{\delta c}}{M_\theta}$.

با بکار بردن بالک‌ها به عنوان سطوح کنترلی، نیروی کنترلی $Z_{\delta c}\cdot\delta_c$ به شکل $C_L\cdot\frac{1}{2}\rho AU^2$ خواهد بود یعنی $Z_{\delta c}$ نیروی هیدرودینامیکی وابسته به U^2 خواهد بود و M_θ ممان بازگرداننده هیدرواستاتیک می‌باشد که متناسب با سرعت تغییر نمی‌کند. بنابراین زاویه پیچ ایجاد شده توسط انحراف صفحه متناسب با سرعت، تغییر خواهد کرد. به عبارت دیگر سرعت هیو (ω) تنها وابسته به نسبت دو نیروی هیدرودینامیکی $\frac{Z_{\delta c}}{Z_\alpha}$ می‌باشد و بنابراین برای حرکت‌های کوچک مستقل از سرعت می‌باشد.

هنگامیکه سرعت نسبتاً زیاد است، یکی از چیزهایی که می‌توان انتظار داشت؛ زاویه پیچ به سمت پائین بر اثر نیروی کنترلی رو به بالا در پاشنه می‌باشد، هر چند که این نیروی رو به بالا باعث یک سرعت رو به بالا خواهد شد. که البته برآیند خالص این خواهد بود که شناور به سمت پائین منحرف می‌شود و فقط با یک زاویه دریفت[2] رو به بالای اندک در همان جهت به سمت پائین غوص خواهد کرد. بنابراین صفحات عقب را در سرعت‌های بالا، تنها می‌توان برای کنترل عمق، بکار برد. به محض اینکه سرعت کاهش یافت، عبارت مؤثر پیچ از نظر مقدار کاهش می‌یابد و در سرعت‌های پائین، زاویه پیچ ناشی از عملکرد سطح کنترل عقب می‌تواند کمتر از زاویه دریفت ایجاد شده باشد. در چنین سرعت‌های پائینی، هنگامی که نیروی رو به بالا توسط سطح کنترل عقب اعمال می‌شود، زاویه پیچ شناور به سمت پائین خواهد بود. اما اثر غالب،

1- Pitch moment

2 - Drift : زاویه کجی طولی زیردریایی است که در اثر نیروی باد، جریان آب یا موج ایجاد می‌شود.

حرکت کلی زیردریایی به سمت بالا خواهد بود. در سرعت‌های متوسط، شرایطی بوجود خواهد آمد که نیروی سطوح کنترل عقب منجر به یک زاویه پیچ می‌شود که دقیقاً با زاویه دریفت هماهنگ می‌شود و لذا زیردریایی قادر به تغییر عمق نخواهد بودهرچند که دارای زاویه پیچ باشد (شکل ۸–۸). این به عنوان «سرعت بحرانی»[1] شناخته می‌شود، که سطوح کنترل عقب برای تغییر عمق، ناکارآمد می‌شوند و لذا سطوح کنترلی جلو مورد نیاز واقع می‌شوند. این سرعت بحرانی را می‌توان از فرمولهای زیر که از معادلات قبل نتیجه شده‌اند، بدست آورد:

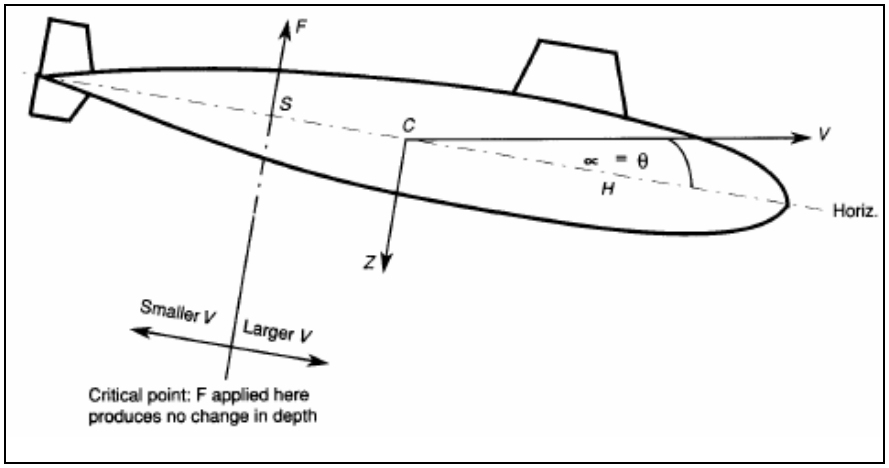
$$-\alpha = \theta \quad \therefore \quad W \cdot \overline{BG} = Z_\alpha \left(X_\alpha - X_c \right)$$

اگر هم اکنون Z_α به صورت بدون بعد $Z'_\alpha \cdot \frac{1}{2}\rho L^2 U^2$ نوشته شود، بدست خواهیم آورد:

$$U_c^2 = \frac{W \cdot \overline{BG}}{\frac{1}{2}\rho L^2 Z'_\alpha} \cdot \left(X_\alpha - X_c \right)$$

تغییر کارآیی سطح کنترل عقب در سرعت بحرانی بعضاً به «اثرچینی»[2] معروف است. سرعت بحرانی عموماً حدود دو گره یا نزدیک آن است و اهمیت آن در این است که در حین کاهش سرعت زیردریایی، کارآیی بالک‌های عقب در کنترل عمق بطور تصاعدی کاهش می‌یابد.

1- Critical Speed
2- Chinese effect



شکل (۸–۸) نقطه بحرانی زیردریایی

باید خاطر نشان کرد که با سطح کنترل عقب، جهت نیروی کنترلی برعکس زاویه پیچ برآیند است و مؤلفه سرعت هیو عکس جهتی است که زاویه پیچ، زیردریایی را حرکت می‌دهد. از آنجا که بالک‌های جلو در جلوی نقطه خنثی هستند، نیروی کنترلی در همان جهتی است که زاویه پیچ ایجاد می‌شود؛ در حالیکه مؤلفه سرعت هیو در همان جهتی است که زاویه پیچ شناور را حرکت می‌دهد. از آنجا که نقطه خنثی در جلو است، لذا نمی‌توان سطوح کنترل جلو را به مقدار مناسب در جلوی نقطه خنثی قرار داد تا کارآیی کنترلی خوبی بدست آید. با وجود پدیده «اثر چینی»، بالک‌های جلو برای کنترل خوب عمق و در سرعت‌های پائین، اساسی و ضروری هستند و همچنین برای کنترل عمق پریسکوپ نیاز هستند؛ چرا که کمک بسیاری به تغییر سریع عمق زیردریایی برای رفتن یا آمدن به سطح آب می‌نمایند.

سیستم‌های کنترل عمق و هدایت زیردریایی

۹-۸) سیستم کنترل در زیردریایی‌های معمولی، اصولاً به صورت دستی[1] انجام می‌گرفت. برای این هدف سه محل برای قرار گرفتن خدمه در اتاق فرمان[2] وجود داشت؛ یکی سکاندار[3] با فرمان هدایت[4] و دو نفر دیگر برای کنترل هیدرپلن‌های جلو و عقب[5]. بوسیله اطلاعات موجود از قطب‌نما، فشارسنج برای عمق و یک مشخص کننده زاویه پیچ (یا شیب)، این کنترل انجام می‌شد. سکان‌دار مسیر را کنترل یا عوض میکرد. خدمه بالک جلو عمق را حفظ یا عوض می‌کرد و خدمه بالک عقب مقدار شیب را حفظ کرده یا زاویه پیچ را عوض می‌کردند.

همانطور که پیشتر بوسیله معادلات حرکت بیان شد، حفظ یا تغییر عمق را می‌توان بوسیله عملکرد سطوح کنترل جلو در سرعت کم با تأثیر اندک روی میزان پیچ انجام داد و بنابراین با کار خدمه بالک عقب تداخل نخواهد کرد و همینطور عملکرد خدمه بالک عقب تأثیر اندکی بر عمق خواهد داشت؛ یعنی وابستگی اندکی درسرعت‌های پایین بین فعالیت‌های مرتبط با حرکت در صفحه عمودی وجود دارد.

روشی که خدمه سطوح کنترلی در مورد صفحات کنترلی مربوط به خود اعمال می‌کردند «کنترل سرعت»[6] نام دارد، یعنی آنها سرعتی که سطوح کنترلی آنها حرکت می‌کند را مشخص می‌کردند و بنابراین هر یک نیاز به یک نشانگر[7] داشتند که زاویه صفحه کنترلی را نشان دهد تا اینکه به عملکرد حد مطلوب خود، عمق یا زاویه پیچ مناسب برسند.

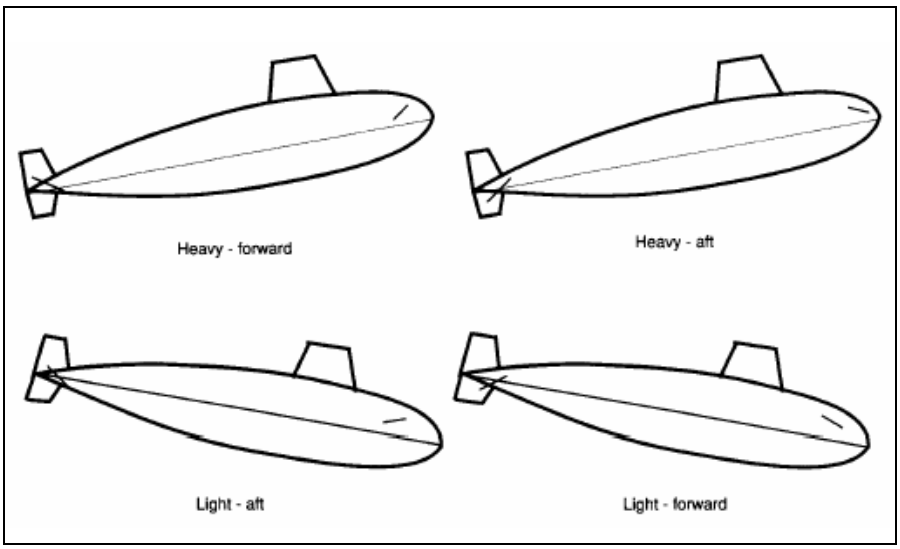
1- Manual
2- Control Room
3- Helmsman or Coxswain
4- Steering wheel
5- Forward and Aft Planesman
6- Rate control
7- Indicator

در زیردریایی‌های مدرن روش عملکرد دستی[1] به یک خدمه کنترل کننده کاهش می‌یابد. یک سکاندار تنها، یک دسته کنترلی دارد که تمام این سه عملکرد را انجام می‌دهد و عملکرد آن شبیه هواپیما می‌باشد. دسته کنترلی[2] با چیزی که «کنترل موقعیت»[3] نام دارد، کار می‌کند که زوایای سکان و سطوح کنترلی را مطابق با آنچه دسته کنترلی حرکت داده است، هماهنگ می‌کند. در ترکیب کنترل مسیر و عمق، سکاندار دیگر با کنترل مستقل زاویه پیچ و میزان تغییرات عمق مواجه نیست و از سطوح کنترل جلو و عقب با هم استفاده می‌کند. معمولاً تمهیداتی برای تطبیق نسبت بین حرکت‌های مرتبط صفحه‌های جلو و عقب صورت می‌گیرد و در سرعت‌های بالاتر، سطوح کنترل جلو می‌توانند بدون کاربرد باشند (چرا که سطوح کنترل عقب به خودی خود قادر به کنترل عمق هم هستند)، در حالیکه در سرعت‌های پائین‌تر، کارآیی سطوح کنترلی جلو بیشتر است. این فرآیند مرکز اثر نیروی کنترلی در سرعت مناسب را جابجا می‌کند. با توجه به چیزهایی که بر کنترل عمق مؤثر است، برای یک زیردریایی این امکان وجود دارد که در یک زاویه پیچ قرار گیرد، در حالیکه عمق آن ثابت است (شکل ۹–۸). یعنی برای جبران و برقراری تعادل هیدرواستاتیکی از نیرو یا ممان کمک گرفته شود.

این وظیفه افسر شیب[4] می‌باشد که تعادل زیردریایی را با استفاده از سیستم شیب و جبران وزنی[5] تنظیم کند. از آنجا که زیردریایی‌های اتمی در معرض جریان سرعت‌های بالا هستند، حرکت در حالت تعادل بسیار مهم است و مستلزم چرخش زوایای سطوح کنترلی به صورتی است که نیروها و ممان‌های خارج از تعادل[6] هیدرواستاتیکی را به صورت هیدرودینامیکی جبران کند و این اثر باعث افزایش نامطلوب نیروی مقاوم و صدا می‌شود. در زیردریایی‌های دارای سیستم

1- Manual operating
2- Joy - steak
3- Position control
4- Trimming officer
5- Trimming and compenstaing system
6- Out of balance

محرک باطری، این نتایج غیر قابل تحمل است و حفظ حالت تعادل بهتر، ضروری و مرسوم است.



شکل (۹–۸) تأثیر بالک‌ها در تغییرات زاویه طولی زیردریایی

۱۰–۸) ارتباط نزدیک بین فعالیت‌های کنترل عمق و پیچ که در سرعت‌های بالا اتفاق می‌افتد و تجهیزات اولیه و قدیمی آن، کنترل دستی بوسیله یک خدمه را بسیار مشکل می‌ساخت. تلاشهایی صورت گرفت تا کار حفظ عمق[1] را با معرفی یک وسیله، راحت‌تر کند که این وسیله عمق واقعی و عمق مطلوب را ترکیب کند و یک علامت خطا[2] را نشان دهد که فرد کنترل کننده[3] آن را به صفر برساند. اما این کار در حکم کار یک خدمه ساده در فرآیند حلقه کنترل نمی‌باشد.

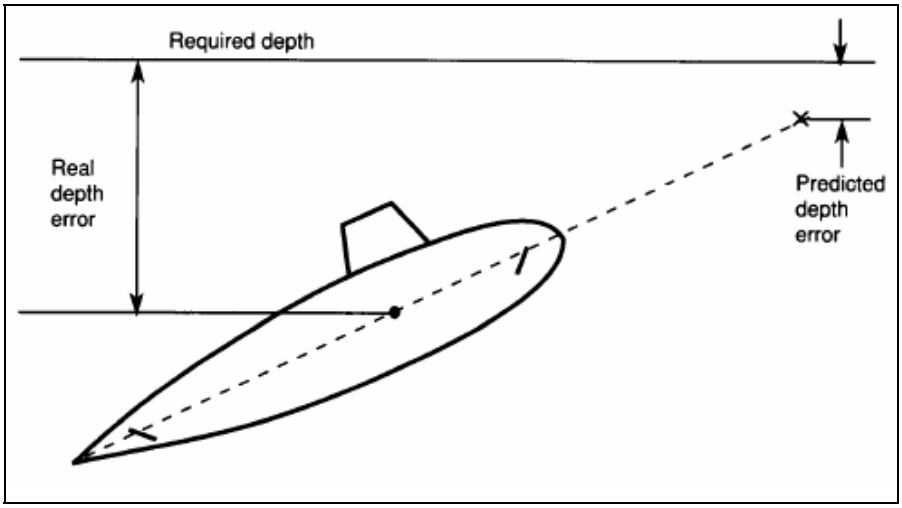
1- Depth keeping
2- Error signal
3- Planesman

مرحله بعدی که ناگزیر بوجود آمد، سیستم هدایت خودکار[1] بود و این سیستم امروزه در تمام انواع زیردریایی‌ها، کاربردهای گسترده‌ای دارد. از آنجا که سیستم‌های کنترل اتوماتیک[2] خبره‌تر از مزایای مهندسی کنترل هستند، بیشتر زیردریایی‌ها سیستم اتوماتیک را به خدمت گرفته‌اند که براساس روش تفاوت نسبی[3] یا سیستم «PID» معروف می‌باشند. ساده‌ترین مدل آن شامل علامت انحراف سطح کنترلی است که از نسبت خطا بین موقعیت مطلوب و واقعی زیردریایی و یک عبارت خطا ناشی از نرخ تغییرات موقعیت بوجود می‌آید و یک مقدار خطا از نرخ تغییرات موقعیت حاصل می‌شود که نهایتا برای اطمینان از ثابت بودن و کنترل میرایی اعمال می‌شود.

بنابراین برای کنترل مسیر، علامت زاویه سکان از اختلاف بین جهت مطلوب و جهت واقعی بعلاوه عبارت سرعت یاو[4] ناشی می‌شود. برای کنترل عمق، علامت زاویه کنترل بالک‌ها (که معمولاً متصل هستند) عموماً از اختلاف بین عمق مطلوب و عمق واقعی بعلاوه یک عبارت نرخ تغییر عمق بدست می‌آید.

با برخی راهنماهای اتوماتیک، ساده‌ترین فرض را می‌توان در نظر گرفت که زیردریایی در امتداد محور خود حرکت می‌کند و عبارت نرخ تغییرعمق با عبارت زاویه پیچ جایگزین می‌شود. اثر ترکیب این عبارت زاویه پیچ با عبارت خطای عمق[5] را می‌توان به عنوان معادلی برای یک خطای عمق موهومی در برخی نقاط جلوی زیردریایی در نظر گرفت که سیستم کنترل، سعی در کاهش آن تا حد صفر خواهد نمود (شکل ۱۰-۸).

1- Automatic pilot system
2- Auto control system
3- Proportional Integral Differential
4- Yaw rate
5- Depth error



شکل (۱۰-۸) کنترل عمق خودکار

نتیجه اگر چه کاملاً رضایتبخش نیست، نزدیک شدن به عمق جدید دارای ویژگی مجانبی[1] بوده و بنابراین بصورت نامطلوبی آرام خواهد بود. اگر چه از این وضع می‌توان با در نظر گرفتن یک عمق جدید، بیشتر از آنچه مورد نیاز است (اگر افزایش عمق مورد نظر باشد) اجتناب کرد، ولی مشخصاً این فرآیند چندان مطلوب نیست.

اثر نامطلوب دیگری که با استفاده از راهنمای اتوماتیک[2] (که از ترکیب خطای عمق و زاویه پیچ است) بوجود می‌آید، در حالتی است که زیردریایی از نظر هیدرواستاتیکی نامتعادل باشد. اگر برای مثال، زیردریایی سنگین باشد و بنابراین یک زاویه پیچ رو به بالا را برای جبران وزن اضافی، تنظیم کند؛ در این صورت هنگامیکه افزایش عمق مطلوب است، زیردریایی به یک شرایط عمق سکون[3] در زیر عمق مطلوب (در حالیکه هنوز زیردریایی رو به بالا است)، حرکت

1- Asymptotic : حالتی که اغتشاشات پس از مدتی رفع شده و حالت پایدار بوجود می‌آید.
2- Autopilot
3- Equilibrium depth condition

می‌کند. دراین شرایط، خطای مشاهده شده از طرف کنترل کننده صفر است. در این شرایط راه حل می‌تواند در نظر گرفتن یک عمق جدید کمتر از عمق مورد نیاز باشد؛ بنابراین زیردریایی به عمق مطلوب حرکت می‌کند، اما مجدداً این راه حل نیز مناسب نمی‌باشد. امکان طراحی یک راهنمای اتوماتیک برای انجام حالتی که زیردریایی در حال خارج شدن از حالت تعادل است، وجود دارد که با تطبیق یک عبارت درست در علامت خطای عمق، آن را تا مقدار صفر کاهش دهد اما این عبارت مایل به نشان دادن تزلزل و ناپایداری در کنترل است.

۱۱-۸) شرایط دیگری که ممکن است در طراحی یک راهنمای اتوماتیک، مشکلاتی ایجاد کند، کنترل در عمق پریسکوپ است.

همانطور که تقریباً مشاهده کرده‌ایم و بعداً باز هم بدان خواهیم پرداخت، استفاده از بالک‌های جلو[1] برای عملکرد در عمق پریسکوپ که سرعت زیردریایی خیلی بیشتر از ۱۰ نات نیست و می‌تواند خیلی کمتر باشد، ضروری و مهم است؛ اما داشتن یک دید واضح از طریق پریسکوپ هنگامی که موجهای سطح آب وجود دارد، کاری مشکل است. حتی اگر سطح آب نسبتاً آرام باشد، نزدیکی زیردریایی به سطح آب باعث یک نیروی مکش می‌شود که بالک‌های جلو و عقب برای حفظ حالت افقی زیردریایی باید تحمل کنند. در اثر نیروی مکش[2] استفاده از راهنمای اتوماتیک، مستلزم وارد کردن یک عبارت مکمل در الگوریتم کنترل می‌باشد.

با وجود موجهای سطح آب، اثر دیگری در عمق پریسکوپ وارد می‌شود که عموماً نیروهای عمودی و ممان‌های متناوب طبیعت هیدرواستاتیکی (ناشی از تغییرات فشار روی بدنه زیردریایی در اثر حرکت موج بر بالای بدنه) می‌باشد. در یک دریای متلاطم، موجهایی با فرکانس‌های مختلف اتفاق می‌افتد، اما زیردریایی تنها نسبت به نیروها و ممان‌هایی حساس است که ناشی از موجهای با فرکانس پائین‌تری هستند، یعنی موجهایی که طول موج بزرگتری دارند، هرچند که

1- Forward plane
2- Suction force

تغییرات فشار سبب می‌شود که همه جزئیات امواج بوسیله حسگرهای عمقی ثبت شود. زیردریایی بوسیله سنسورهای فشارسنج، وضعیت موج‌های نزدیک سطح آب و مشخصات آنها را بررسی می‌کند و در صورت وجود موج‌های فرکانس پایین، زاویه بالک‌ها برای مقابله با اثرات موج آماده می‌شوند. اگر اطلاعات موج به صورت اشتباه ارسال شود، نتیجه آن می‌تواند چرخش غیر ضروری توسط بالک‌ها باشد. همانطور که در بالا مشاهده شد، زیردریایی تنها به تلاطم‌های با فرکانس پائین عکس‌العمل نشان می‌دهد.

راه حلی که در بیشتر هدایت کننده‌های اتوماتیک بکار می‌رود، استفاده از صافی[1] و سیگنال حسگر عمق[2] می‌باشد که فقط اجزاء فرکانس پائین تغییرات فشار حس شوند و به محرک بالک فرستاده شوند. گروه‌های زیادی از امواج گذرنده روی بدنه باعث نیروهای مکش تناوبی روی بدنه می‌شود که پیش‌بینی آنها مشکل است.

لذا مشخص می‌شود که عملکرد در عمق پریسکوپ مستلزم نیازهای بسیاری روی هدایت کننده اتوماتیک می‌باشد. جالب است بدانیم در زیردریایی‌های قدیمی با کنترلی دستی ۳نفره که قبلاً توضیح داده شد، حفظ عمق هنگام استفاده از پریسکوپ‌ها با استفاده از سکاندارها و کنترل کننده‌های بالک با تجربه، بسیار خوب صورت می‌گرفت (چرا که این خدمه به نوسانات در عمق که کاری نمی‌توانستند در برابر آنها انجام دهند، اعتنایی نمی‌کردند) مگر اینکه دریا بسیار متلاطم می‌شد.

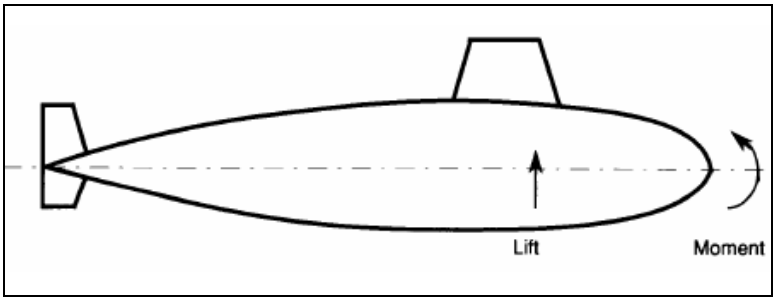
1- Filter
2- Depth senseor signal

تأثیر شکل بدنه و ملحقات بدنه در کنترل دینامیکی زیردریایی

بدنه اصلی:

۸–۱۲) هر چند این سطوح کنترلی هستند که باعث ایجاد نیروهای کنترلی و تغییرات در مسیر حرکت می‌شوند، ولی سهم اصلی مربوط به نیروهای هیدرودینامیکی ناشی از خود بدنه اصلی می‌باشد. بنابراین شکل بدنه می‌تواند بطور قابل ملاحظه‌ای خصوصیات کنترلی زیردریایی را تحت تأثیر قرار دهد، همانند تأثیری که بر پایداری دینامیکی دارد.

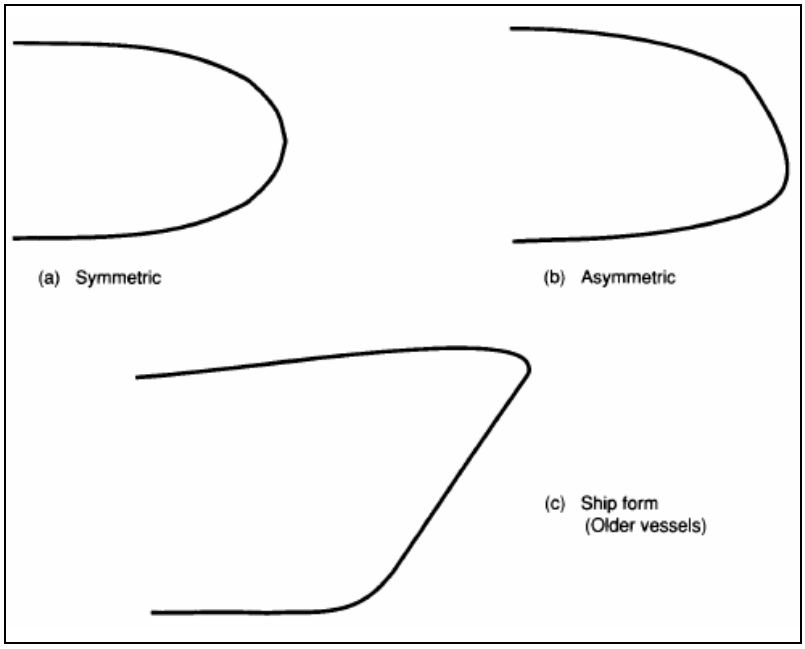
اگر بدنه اصلی متقارن محوری[1] باشد، بنابراین با حرکت در خط مستقیم در جهت محور آن، هیچگونه نیرو یا ممان‌هایی توسط بدنه تولید نخواهد شد؛ هر چند که معمولاً بدنه اصلی زیردریایی بصورت متقارن نمی‌باشد. با اینکه قسمت چپ[2] و راست[3] زیردریایی معمولاً متقارن است، تعداد بسیار اندکی از زیردریایی‌ها نسبت به صفحه افقی، حول محور، متقارن هستند (شکل ۸–۱۱).



شکل (۸–۱۱) شکل نامتقارن بدنه زیردریایی

1- Axisymmetric
2- Port
3- Starboard

دلیل اصلی و عمده آن، افزودن روبناسازی در بالای بدنه اصلی است، تـا محـل مـورد نیـاز برای نصب تجهیزات در بیرون بدنه فشار فراهم شود. اگر این روبناسازی هم خط و همخوان[1] بـا بدنه اصلی باشد، نیازمند یک چنین شکلی به صورت قوس‌دار می‌باشد که اگر زیردریایی در مسیر مستقیم در جهت محور آن حرکت کند، یک نیروی بالابرنده اندک و ممان بالابرنـده در قـسمت سینه بوجود می‌آید. قسمت سینه بدنه، اندکی به صورت نامتقارن است که این امر بدلیل موقعیت سونار اصلی جلو، لوله‌های اژدر و قرارگیری بالک‌های جلو می‌باشد. از آنجا که یک شکل مناسب صاف، پر هزینه است، عدم وجود تقارن باعث جابجایی نقطه سـکون[2] روی سـینه مـی‌شـود کـه ناشی ازشکل انحناء سینه است (شکل ۱۲–۸).



شکل (۱۲–۸) شکل‌های مختلف سینه زیردریایی

1- Streamline
2- Stagnation Point

یک مثال واضح از سینه بسیار نامتقارن در ناوگان قدیم زیردریایی‌ها وجود داشت که بـرای حرکت روی سطح آب دارای سینه‌ای به شکل سینه کشتی و به صورت نوک تیز و دارای انحنـاء لبه‌ها به سمت بیرون بود. این سینه نوک تیز و دارای انحناء لبه به سمت بیـرون[۱] باعـث بوجـود آمدن نیروی بالابرنده روی سینه به هنگام حرکت زیردریایی در خط مستقیم و به صورت افقـی[۲] می‌شد. تجربه نشان داد که حتی با تغییرات کوچکتر در مسیر، سـینه زیردریـایی باعـث تغییـرات محـــسوس در اســـتفاده از ســـطوح کنترلـــی بـــرای حفـــظ مـــسیر صـــاف و مـــستقیم می‌گردد. روی بعضی از بدنه‌ها، کیل جعبه‌ای[۳] نصب شده است کـه باعـث نیـروی مقـاوم قابـل ملاحظه‌ای، کاملاً در زیر محور بدنه زیردریایی می‌شود و لذا باعث ممان دوران دهنده طـــولی یا ممان پیچ[۴] رو به سمت پائین، روی بدنه می‌گردد.

اکثر زیردریایی‌های مدرن دارای شکل پاشنه متقارن (با یک شفت بـرای نـصب پروانـه در امتداد محور) می‌باشند. هر چند که در زیردریایی‌های اخیر رایج شده است که قسمت بالای بدنـه فشار به صورت افقی و قسمت مخروطی پاشنه رو به بالا[۵] ساخته می‌شـود، بنـابراین باعـث قـرار گرفتن شکل دم به بالای محور بدنه زیردریایی می‌شود. این عامل منجـر بـه یـک اثـر مغـایر و مخالف نسبت به روکش بدنه می‌شود، یعنی به طور بسیار مؤثری باعث ایجاد یک نیـروی رو بـه پائین می‌شود.

نسبت طول به قطر بدنه اصلی می‌تواند دور زدن و قابلیت مانور زیردریـایی را تحـت تـأثیر قرار دهد. همانطور که قبلاً بیان کردیم، یک بدنه با خطوط بدنه مناسب[۶] از نظر دینـامیکی، هـم در صفحات افقی و هم عمودی، ناپایدار و نامتوازن است؛ مگر اینکه بالک‌های متوازن کننده[۷] یـا

1- Flare
2- Level keel
3- Box keel
4- Pitching moment
5 - cone up
6- Streamlined hull
7- Stabiliser fins

سطوح کنترلی استفاده شود. هر چه بدنه کوتاهتر و چاق‌تـر باشـد، درجـه بیـشتری از ناپـداری را خواهیم داشت و بالک‌ها و سطوح کنترلی بزرگتری برای برقراری پایداری دینـامیکی مـورد نیـاز است. لذا زیردریایی‌های کوتاه و چاق، هم در صفحه افقی و هم عمودی، می‌توانند قابلیـت مـانور بسیار خوبی داشته باشند. در زیردریایی کوتاه و چاق برای دور زدن سریع، زاویه حملـه سـکان‌هـا ممکن است منفی باشد یعنی سکان‌هـا در واقـع زیردریـایی را از دور زدن بـا تنـدی زیـاد حفـظ می‌کنند.

در بدنه‌های دراز و باریک، بدنه برای پایداری دینامیکی نیاز کمتری به ملحقات بدنه دارد و بنابراین نیاز کمتری به بالک‌ها و یا مساحت سطوح کنترلی برای رسیدن به حالـت پایـداری دارد. اما در نتیجه، زیردریایی از قابلیت مانور کمتری برخوردار می‌باشد یا نیازمند سطوح کنترلی بزرگتر برای فراهم آوردن قابلیت مانور خوب خواهد بود. (مشاهده می‌شود کـه دو خـصوصیت پایـداری دینامیکی و قابلیت مانور، نسبتاً عکس یکدیگر هستند؛ یعنی هر چه زیردریایی پایدارتر باشد مانور کردن آن مشکل‌تر است.)

در زیردریایی‌های قدیمی که دارای شکل سینه تیز شبیه کشتی بودند، بـه هنگـام دور زدن، نیروهایی در نزدیکی سینه تولید می‌شد که ناشی از زاویه حمله در آن نقطه بود. این اثر نـه تنهـا مرکز اعمال نیروهای یاو و اسوی را بیشتر به جلو انتقال می‌دهند و باعث ناپایداری بیشتری رو به جلو می‌گردد، بلکه همچنین باعث جریان گردابی از پائین‌ترین قسمت بدنه می‌گردد که می‌توانـد اثر نامطلوب برجریان سیال روی سطوح کنترلی عقب و تغییر خصوصیات آنها داشته باشد.

برجک[1]**:**

۱۳-۸) از نظر تمام جوانب هیدرودینامیکی طراحی زیردریایی، وجود برجک کلاً نامطلوب است. با این حال، در واقع تمام طراحی‌ها نیازمند ملحقات بلند و صاف در قسمت بالای بدنه، به نام برجک[2]، که محل پل مراقبت[3] و پریسکوپ‌ها و دکل‌های متعدد هستند که در عمق پریسکوپ استفاده می‌شوند. علیرغم تلاشهایی که برای به حداقل رسانیدن اندازه این ملحقات بزرگ صورت گرفت، باز هم برآمدگی‌هایی روی بدنه باقی می‌ماند که نیروی مقاوم قابل ملاحظه‌ای را در ارتفاع بالای محور چنان ایجاد می‌کند که در صفحه عمودی باعث ممان پیچ روی دماغه به سمت بالا می‌شود.

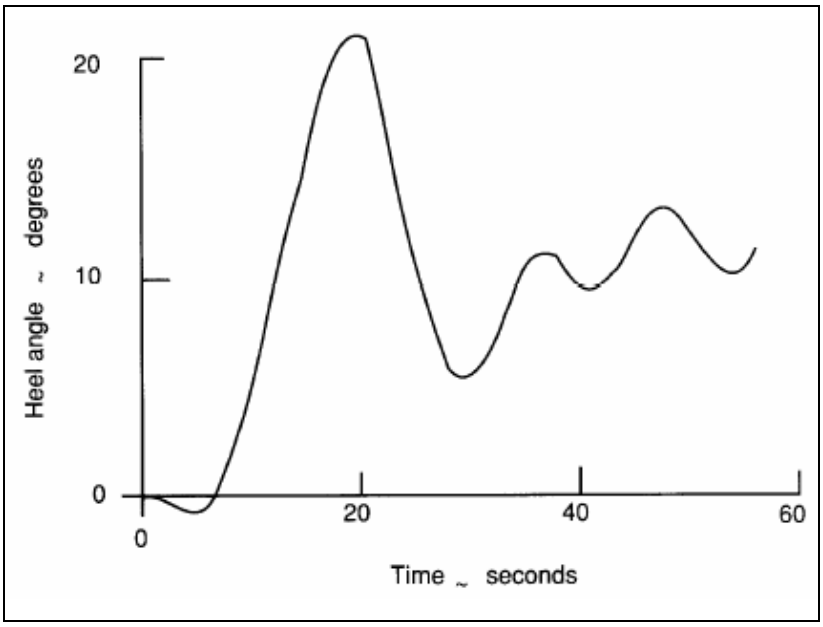
همانطوری که خواهیم دید، این پدیده باعث اثرات جانبی دیگر می‌شود که این ممان نامتقارن در برابر آنها چندان مهم نیست، لذا کافی است که به سایر اثرات هیدرودینامیکی روی بدنه اصلی اعتنا نشود و بنابراین به تعیین بالک‌های جلو و عقب برای حفظ حرکت مستقیم و مسیر یکنواخت نیاز می‌باشد.

هنگامیکه یک زیردریایی در زیر آب در صفحه افقی دور می‌زند، عمل برجک پیچیده‌تر خواهد بود. تلاش‌هایی که برای کاهش نیروی مقاوم صورت گرفت، باعث یک شکل صاف و دارای خطوط بدنه مناسب، شبیه مقطع ایرفویل با ضریب منظری[4] کم شد، که وقتی با زاویه حمله در برابر جریان قرار می‌گیرد، نیروی بالابرنده ایجاد خواهد کرد. این شرایط در هنگام دور زدن، موقعی بوجود می‌آید که بدنه در حالت دریفت می‌باشد و از آنجا که نیروی بالابرنده کناره‌ها روی برجک، درست در بالای محور زیردریایی وارد می‌شود، یک ممان هیل دهنده[5] بوجود

1- Bridge fin- conning tower
2- Conning tower
3- Bridge conning
4- Aspect ratio
5- Heeling moment
ممانی که مایل به ایجاد غلتش عرضی(حول محور طول) است.

می‌آید. زاویه دریفت یک زیردریایی در یک گردش تند می‌تواند به سرعت ایجاد شود و حرکت‌های ممان هیل دهنده همراه آن از برجک پل می‌تواند باعث یک غلتش گهواره‌ای (اسنپ‌رل) شود (شکل ۱۳–۸).

این اثر اگر چه چندان خطرناک نباشد، می‌تواند روی بازدهی عملکرد خدمه تأثیر داشته باشد. نتیجتاً نیاز به خصوصیات تقریباً غیر ممکن هیدرودینامیکی برجک می‌باشد که هم دارای نیروی مقاوم پائین و هم نیروی بالابرنده پائین داشته باشد. دستاوردهای محدودی با استفاده از بالک‌های با لبه دنباله‌دار بسیار کلفت[1] می‌توان بدست آورد که اثر ایستادن مقطع در زوایه‌های حمله اندک را می‌گیرد، هر چند که اثرات نامطلوبی با افزایش مقاومت در دورزدن به دنبال داشته باشد.



شکل (۱۳–۸) زوایای هیل به هنگام دور زدن

1- Blunt trailing edge

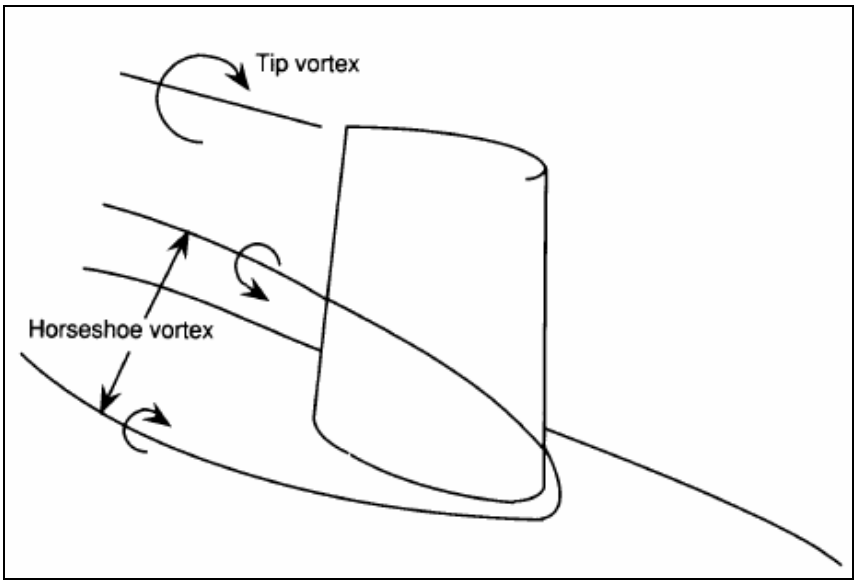
راه دیگری که می‌تواند اسنپ‌رل را کاهش دهد وابسته به شکل مسیر دور زدن زیردریایی است. در قسمت ابتدایی دور زدن، هنگامیکه سکان‌ها بدون تأثیر روی حرکت[1] هستند، اولین عمل کل بدنه، گرفتن زاویه دریفت می‌باشد که ناشی از نیروهای ایجاد شده روی بدنه است که باعث دور زدن آن می‌شود. به محض اینکه دور زدن کاملاً صورت گرفت، حرکت زیردریایی همانند تغییرات زاویه حمله کل بدنه، در راستای طولی آن می‌باشد. با دیدی که بطور کلی در مورد بدنه وجود دارد، نقطه‌ای به نام «نقطه گردش»[2] در حدود یک چهارم طول، عقب‌تر از سینه قرار دارد که دارای زاویه حمله اعمال شده روی بدنه نمی‌باشد. در جلوی این نقطه، زاویه حمله کوچک و منفی است و در عقب آن، زاویه حمله مثبت است و به صورت تصاعدی بزرگتر می‌شود. برای کاهش زاویه حمله روی برجک، مطلوب است که برجک در نزدیکی نقطه گردش بدنه نصب شود، هر چند از آنچه با جانمایی داخلی زیردریایی سازگار باشد، جلوتر باشد.

نیروی بالابرنده ایجاد شده توسط برجک، به نیروها و ممان‌های اسوی و یاو روی بدنه کمک می‌کند. بنابراین موقعیت طولی برجک، محل اثر نیروهای اسوی و یاو را تحت تأثیر قرار می‌دهد و بنابراین روی پایداری دینامیکی در صفحه افقی اثر می‌گذارد. معمولاً بدین ترتیب که اگر این بالک‌ها کاملاً در جلو یا نزدیک نقطه گردش واقع شود، پایداری دینامیکی بیشتر کاهش می‌یابد و هر چه موقعیت آن عقب‌تر باشد، کاهش پایداری دینامیکی کمتری اتفاق می‌افتد.

اثر پیچیده‌تر برجک به همراه ضریب منظری کم آن است. هنگامیکه بدنه برای دور زدن در یک زاویه دریفت[3] می‌باشد، برجک با تولید نیروی لیفت [که به سمت چپ یا راست است]، یک جریان گردابی[4] قوی در قسمت بالای آن ایجاد می‌کند (شکل ۱۴-۸). جریان گردابی دنباله‌دار نوک[5] چنان شکل می‌گیرد که نه فقط زاویه حمله برجک را تغییرمی‌دهد، بلکه یک

1- Put over
2- Turning point
3 - drift angle: زاویه بین راستای زیردریایی با مسیر دور زدن زیردریایی را گویند.
4- Vortex
5- Trailing tip vortex

جریان عرضی را روی بدنه اصلی ایجاد می‌کند. پاشنه[1] برجک، نیروهای دور زدن وارد بر بدنـه را اصلاح می‌کند. جدای از این اثر، خود بدنه در یک زاویه حمله قـرار مـی‌گیـرد کـه یـک جریـان گردابی از بالا و پائین ایجاد می‌کند. اثر جریان گردابی برجـک و انعکـاس آن روی بدنـه، باعـث اصلاح جریان‌های گردابی بالا و پائین ایجاد شده توسط بدنه اصلی می‌باشد.



شکل (۱۴-۸) جریانهای گردابی اطراف برجک

نتیجه اثرات متقابل این جریانهای گردابی ایجاد یـک نیـرو و ممـان روی بدنـه در صـفحه عمودی می‌باشد که اگر اعمال کنترل صورت نگیرد، ممکن است منجر به حرکـت پـیچ و تغییـر عمق گردد. رایج‌ترین شکل اثرات متقابل پیچیده برای زیردریایی‌ها، حرکت پیچ سینه بـه سـمت بالا[2] و فرو رفتن در عمق است کـه اصـطلاحاً تمایـل بـه **«شـیرجه پاشـنه»**[3] نـام دارد. همـهٔ

1- Astern
2- Pitch bow up
3- Stern tipping

زیردریایی‌ها به این شکل رفتار نمی‌کنند و ممکن است عکس این پدیده اتفاق بیافتد، یعنی با تمایل سینه به سمت پائین و بالا آمدن پاشنه به سوی سطح آب صعود کند. توجیحات ساده‌ای در این باره نمی‌توان یافت، مگر اینکه یک شکل روکش بدنه مناسب که خیلی نزدیک به شکل متقارن باشد، یافت شود. تفاوت هندسی ناچیز بین قسمت چپ و راست زیردریایی، می‌تواند برای اختلاف رفتار بین قسمت چپ و راست کفایت کند.

در قسمت پائین برجک که بدنه اصلی را قطع می‌کند، احتمال وقوع جریان گردابی افزایش می‌یابد. از آنجا که جدایی جریان می‌تواند اتفاق بیافتد، در انتهای قسمت جلو، یک نقطه سکون می‌تواند وجود داشته باشد. این شکلی از یک جفت رشته‌های گردابی که دارای جهت مخالف بوده و به طرفین بالک و روی روکش پاشنه حرکت می‌کنند، ایجاد می‌کند. این اثر اغلب «**جریان گردابی نعل اسبی**»[1] نامیده می‌شود. هر چند که این پدیده اثر چندانی روی کنترل ندارد، ولی باعث افزایش نیروی مقاوم و پیچیدگی بیشتر جریان سیال در اطراف پاشنه و پروانه[2] می‌شود.

بالک‌های جلو:

۱۴-۸) حتی امروزه نیز مباحث و اختلافات بسیاری در انتخاب بالک‌های جلو و محل آنها وجود دارد. همانطور که در بخش خصوصیات مانور زیردریایی بیان شد، صفحات کنترلی جلو[3] در سرعت‌های نسبتاً پائین و در عمق پریسکوپ مفید هستند. در سرعت‌های بالا، زاویه پیچ و عمق را می‌توان به شکل خوبی تنها با استفاده از صفحات کنترلی عقب، کنترل کرد. نصب سطوح کنترلی جلو[4]، وسایلی را برای کنترل زاویه پیچ و عمق به صورت مستقل از هم فراهم می‌کنند به این صورت که زیردریایی به هنگام صعود یا غوص در عمق آب، به

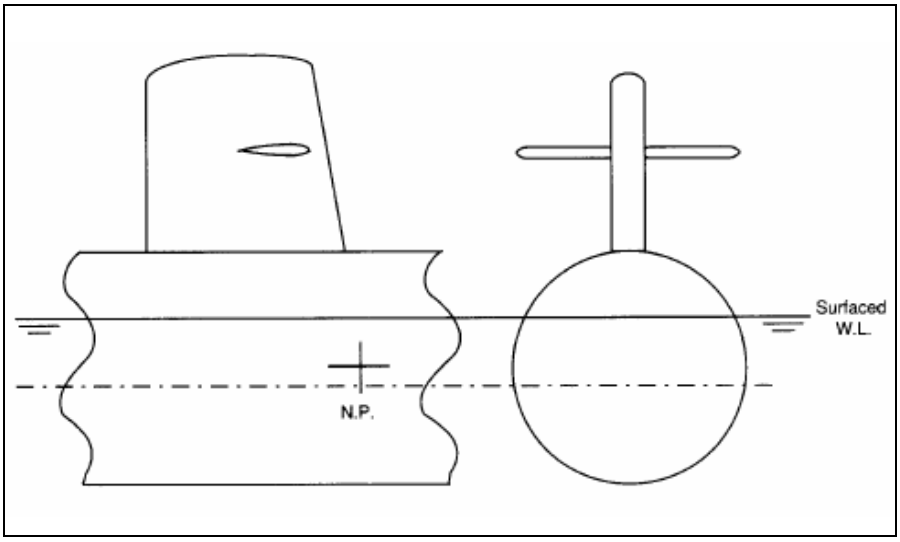
1- Horseshoe Vortex
2- Propulsor
3- Forward plane
4- Fore plane

صورت صاف و بدون شیب بماند. این مانور را با نصب سطوح کنترلی جلو و عقب نیز می‌توان انجام داد، چنانکه نیروی کنترلی برآیند[1] بطور مؤثری در نقطه خنثی[2] وارد شود باعث بالا آمدن و پائین رفتن آن بدون ممان پیچ می‌شود. این قابلیت منجر به این شد که طراحان تصمیم به نصب سطوح کنترلی جلو در نقطه خنثی گرفتند، چنانکه زیردریایی بتواند تنها با عملکرد این سطوح کنترلی، بالا و پائین برود.

پیشرفت‌های بیشتر، منجر به نصب صفحات کنترلی روی برجک در این زیردریایی‌ها شد که به دلیل جانمایی داخلی، برجک در قسمت جلو و نزدیک نقطه خنثی نصب می‌شد (شکل ۱۵-۸). از آنجا که عرض برجک نسبتاً باریک است، این امکان وجود دارد که سطوح کنترلی جلو دارای یک ضریب منظری بالا باشند، بدون اینکه از حداکثر عرض زیردریایی تجاوز کند. این موقعیت همچنین برای دور کردن چرخدنده سطح کنترلی جلو از قسمت سینه بکار می‌رود، چنانکه باعث کاهش مضرات صدای ایجاد شده نسبت به سونار می‌شود. این مورد همچنین باعث عدم نیاز به داخل بردن آنها برای پرهیز از خطر تصادم می‌شود.

در مقابل مزایایی که برای نصب سطوح کنترلی جلو روی برجک وجود دارد، معایبی هم وجود دارد. این صفحات در ارتفاع بلندی از بدنه نصب هستند و بنابراین وقتی زیردریایی به صورت صاف است، نیروی مقاوم آنها بر ممان پیچ وارده بر زیردریایی افزوده می‌شود. هنگامیکه زیردریایی به سطح نزدیک می‌شود، این سطوح کنترلی دارای اثرات موج بیشتری هستند، نسبت به حالتیکه روی پوسته بدنه یا حتی در قسمت پائین‌تری در جلوی بدنه نصب می‌شوند و بنابراین بر مشکلات حفظ عمق پریسکوپ افزوده می‌شود. هنگامیکه زیردریایی در سطح آب می‌باشد، سطوح کنترلی خیلی بالاتر از سطح آب هستند و لذا کمکی به غوص سریع زیردریایی از سطح آب به زیر سطح نمی‌کنند.

1- Net control force
2- Neutral point



شکل (۱۵–۸) بالک‌های روی برجک

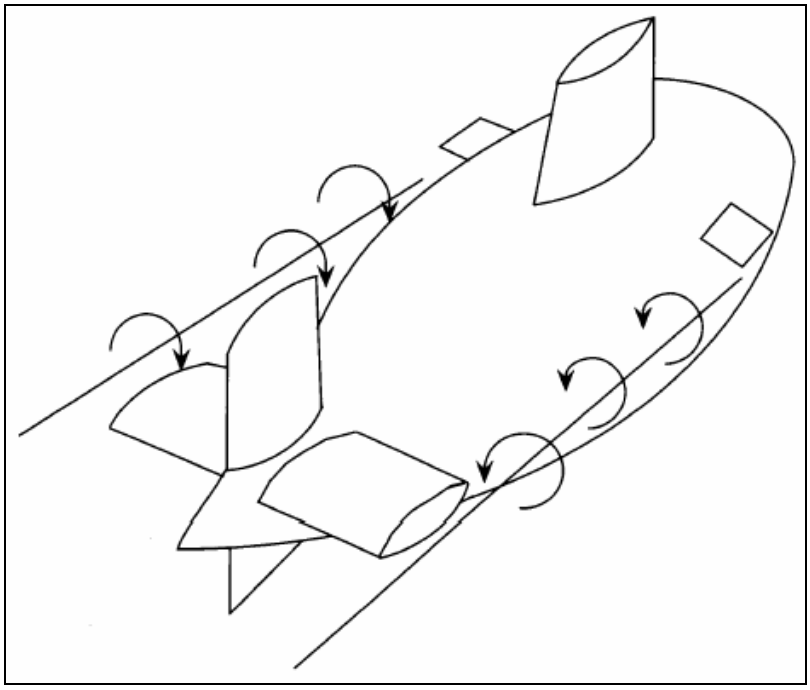
هنگامیکه تا حد ممکن نزدیک به قسمت سینه نصب شوند، سطوح جلو نه فقط نیروی بالا و پائین رفتن را ایجاد می‌کنند، بلکه همچنین یک ممان پیچ در همان جهت ایجاد می‌کنند. این پدیده می‌تواند در شرایط گیر کردن سطوح کنترلی عقب در یک زاویه در مواقع اضطراری بوجود آید. جانمایی سطوح کنترلی جلو در قسمت کاملاً جلوی زیردریایی نیز معایبی به دنبال دارد. از نقطه نظر هیدرودینامیکی مطلوبست که این سطوح کنترلی در ارتفاع میانی، هم ردیف محور بدنه نصب شوند که جریان سیال از روی این سطوح به صورت متقارن است و آنان را قادر می‌کند از نظر قابلیت‌های مانور بالا و پائین رفتن، به صورت یکسان و مساوی اثر کنند. سطوح کنترل در این موقعیت را «سطوح مغروق»[1] گویند که برای غوص کردن از سطح آب مناسب هستند. برای دادن ضریب منظری معقولانه به آنها، باید تا بیش از حداکثر عرض بدنه اصلی گسترش یابند و

1- Drowned plane

فراهم آوردن امکان جمع شدن یا داخل رفتن آنها در این صورت اجتناب ناپذیر است. سطوح جمع شدنی[1] این حُسن را دارند که در سرعت‌های بالا نیز می‌توان آنها را به داخل کشید که باعث کاهش مقاومت و صدای جریان در نزدیکی سونار سینه می‌شوند. هر چند اگر آنها به داخل کشیده شوند، در مواقع اضطراری نمی‌توان به سرعت از آنها استفاده کرد و فراهم آوردن و امکان به داخل کشیدن آنها به پیچیدگی عملکرد چرخ‌دنده می‌افزاید و بنابراین به فضایی در بدنه بیرونی سینه که مناسب باشد، نیاز می‌باشد.

یک اثر هیدرودینامیکی روی سطوح کنترلی عقب به همراه سطوح کنترلی مغروق جلو[2] وجود دارد. هنگامی که سطوح کنترلی جلو کار می‌کنند، یک جریان گردابی شدید[3] ایجاد می‌کنند که به سمت پائین بدنه و سپس بر روی سطوح کنترلی عقب، جریان می‌یابد (شکل ۱۶–۸).

1- Retractable plane
2- Drowned forward plane
3- Tip vortex



شکل (۱۶–۸) اثرات بالک جلو روی جریان سیال در بالک عقب

در نتیجه، عملکرد سطوح کنترلی جلو، هم یک نیروی بالا برنده محلی و موضعی ایجاد می‌کند و هم باعث یک اثر بالا برنده منفی روی سطوح کنترلی عقب می‌شود که می‌تواند منجر به مشکل شدن تعیین نقطه مؤثر[1] سطوح مغروق جلو، نسبت به اینکه در جای دیگری نصب می‌شدند، (جائیکه جریان گردابی دنباله‌دار[2] آن قسمت از بدنه و سطوح کنترلی عقب را تحت تأثیر قرار ندهد) شود. به این دلایل متعدد، سطوح کنترلی جلو به صورت حتمی و قطعی هم ردیف محور بدنه نصب نمی‌شدند. یک احتمال وجود دارد و آن اینکه قرار گرفتن آنها در قسمت

1- Effective point
2- Trailing vortex

پائین‌تر بدنه به سمت کیل باشند که می‌توانند همیشه در بیرون بدنه قرار گیرند، بدون اینکه از حداکثر عرض بدنه تجاوز کنند و بنابراین نیازی به قابلیت جمع شدن آنها نمی‌باشد. از آنجا که زاویه تقاطع محور سطوح کنترلی با بدنه زاویه‌ای تند است، انتخاب یک هندسه مناسب برای این حالت مشکل می‌باشد.

به صورت رایج‌تر، سطوح کنترلی جلو روی پوسته نرم قسمت جلو نصب می‌شوند که چرخ‌دنده‌های فعال کننده و جمع کننده سطوح کنترلی را قادر می‌کند که در داخل این روکش، در جائیکه فضا چندان مناسب نیست، قرار گیرند. سطوح نصب شده روی پوسته، ضرورتاً عقب‌تر از سطوح قابل فرو رفتن واقع می‌شوند و بعلاوه، این صفحات بدنه را در زاویه‌ای قطع می‌کنند که باعث جریان بسیار نامتقارن محلی می‌شود.

معمولاً نیاز است که خطوط بدنه صاف، برای ناحیه بالای بدنه در نظر گرفته شود تا یک سطح نسبتاً مسطح فراهم کند که لبه داخلی سطوح کنترلی بتوانند دوران نمایند. همچنین فاصله‌ای وجود دارد که بتوان لبه داخلی را از بدنه و پوسته دور کرد. معمولاً جریان موضعی در ناحیه‌ای از پوسته که سطوح کنترلی قرار گرفته‌اند، به سمت بالا[1] می‌باشد، که بدین معناست که وقتی آنها به صورت افقی نصب می‌شوند، در واقع در زاویه حمله‌ای هستند که نیروی بالا برنده ایجاد می‌کند. در این مورد، سطوح کنترلی باید در یک زاویه کوچک که «زاویه بالابرنده صفر»[2] نامیده می‌شوند، نصب شوند که با جریان محلی همخوانی و همسانی داشته باشند.

بالک‌های عقب[3]:

۱۵–۸) بالک‌های عقب، سطوح کنترلی افقی هستند که در قسمت پاشنه در محلی نصب می‌شوند که بیشترین کارآیی را داشته باشند. در مورد رانش تک پروانه با شفت آن در راستای محور

1- Upward
2- Zero lift angle
3- After hydroplane

بدنه، بدین صورت است که سطوح کنترلی هم ردیف محور درست در جلوی پروانه روی دم مخروطی شکل بدنه نصب می‌شوند. عملکرد اصلی این سطوح کنترلی، همانطور که خواهیم دید، کنترل حرکت پیچ زیردریایی است.

در سرعت‌های بالا، تحریک و تأثیر بالک‌های عقب روی کنترل حرکت پیچ، تعیین کننده چگونگی بالا رفتن و پائین رفتن زیردریایی است، چنانکه می‌توان تنها با استفاده از سطوح کنترلی عقب، هدایت عمودی زیردریایی را انجام داد. از آنجا که اصولاً داشتن محدوده‌ای از پایداری دینامیکی حرکت در صفحه عمودی مطلوب است، زیردریایی نیازمند داشتن سطوح کاملاً بزرگ افقی (همانند سطوح کنترلی و «بالک متوازن کننده[1]») در پاشنه هستند. همانطور که مورد انتظار است، هدف طراحی حفظ اندازه سطوح کنترلی عقب در محدوده حداکثر عرض زیردریایی می‌باشد که بدنه دارای زواید خارج از حداکثر عرض بدنه نباشد که این وابسته به زاویه مخروط قسمت پاشنه بدنه است که ممکن است در این محدوده ضریب منظری، نسبت ظاهری مناسب بدست نیاید و گسترش آن تا بیرون حداکثر عرض اجتناب ناپذیر باشد. در آن شرایط، فضای داخل بدنه قسمت پاشنه دارای فضای کافی برای نصب دستگاه‌های داخل کشیدن بالک‌ها نیست و بنابراین می‌توان آن قسمت از سطوح کنترلی عقب را از نظر سازه‌ای به گونه‌ای ساخت که وقتی بالک اندکی به داخل کشیده می‌شود لبهٔ آن هم راستا با حداکثر عرض شود و توان تحمل در برابر ضربات وارده بر آن را داشته باشد.

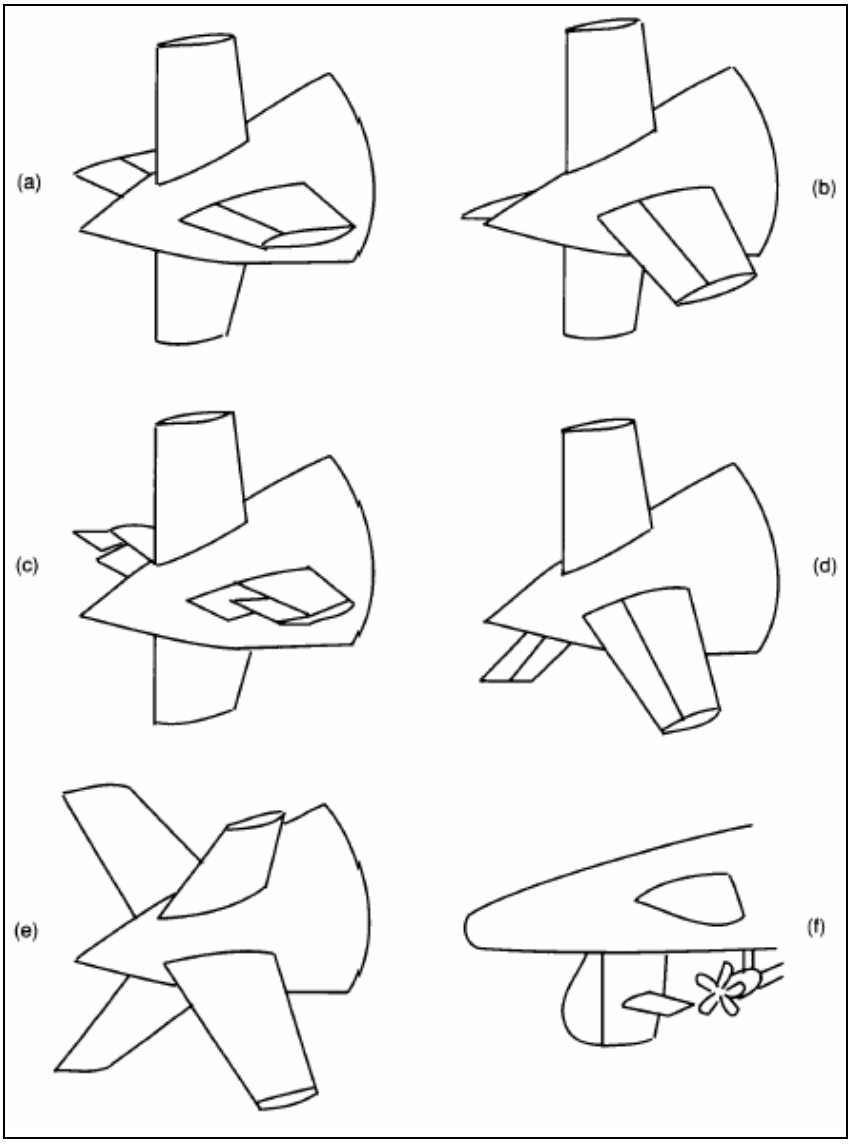
داشتن سطوح صاف و بزرگ برای سطوح کنترلی افقی عقب[2] همراه با پایداری دینامیکی می‌باشد، اما برای تغییر و حفظ عمق نیاز نمی‌باشد. بنابراین یک طراحی رایج برای فراهم کردن لبه‌های متحرکی[3] در لبه انتهایی بالک‌های متوازن کننده ثابت شده[4] صورت می‌گیرد.

1- Stabiliser fin
2- Horizontal surface aft
3- Flap
4- Fixed stabiliser fin

نسبت مساحت لبه متحرک به کل مساحت سطح کنترلی افقی می‌تواند وابسته به تمایل طراح برای برقراری تعادل مناسب بین پایداری و قابلیت مانور در صفحه عمودی، تغییر کند. کنترل عمق در سرعت‌های بالا تنها توسط نیروی کنترلی نسبتاً کوچک در پاشنه انجام می‌شود، ولی در سرعت‌های اندک، کنترل عمق نیازمند نیروی نسبتاً بزرگی است که بر ممان بازگرداننده هیدرواستاتیکی در جهت مخالف زاویه پیچ، غلبه کند (شکل الف–۱۷–۸).

معمولاً طراحی مساحت سطح کنترلی عقب بر مبنای حالت کنترل در سرعت کم و محدود کردن زاویه‌ای که سطوح کنترلی در سرعت بالا، تا آن حد مجاز هستند، صورت می‌گیرد. راه حل آن یک مکانیزم کاربردی دقیق با لقی بسیار اندک چرخ‌دنده است.

روش دیگری که معمولاً استفاده نمی‌شود، دو نیم کردن لبه‌های متحرک در دو طرف محور می‌باشد و چرخ‌دنده‌ها چنان تنظیم می‌شوند که در سرعت‌های بالا، فقط یک جفت از لبه‌های متحرک دو نیم شده، استفاده می‌شوند در حالیکه در سرعت‌های پائین هر دو جفت استفاده می‌شوند (شکل ج–۱۷–۸).



شکل (۱۷–۸) حالات مختلف بالک‌های کنترلی در قسمت پاشنه

در زیردریایی‌های معمولی قدیمی، کار متوازن کردن و کنترل عمق بـه صـورت مـستقل از هم، با سطوح کنترلی عقب و بالک‌های متوازن کننده ثابت، به صورت مجزا انجـام مـی‌شـد. بـا شکل پاشنه به صورت پاشنه کشتی‌ها و پروانه دو قلو[1] این زیردریایی‌ها، جانمایی‌هـا بـه گونـه‌ای انجام می‌شد که بالک‌های جلو در قسمت بالای بدنه و سطوح کنترلی عقب روی اهـرم سـکان[2] (که به عنوان بالک متوازن کننده عمودی عمل می‌کرد) نصب می‌شدند. با چنـین جانمـایی، هـر یک از سطوح کنترلی عقب در معرض جریان تند پروانه واقع می‌شدند که کارآیی خوبی بـه آنهـا می‌داد، بویژه در سرعت‌های پائین (شکل و-۱۷-۸).

یکی از مشکلات طراحی که زیردریایی‌های مدرن تک پروانه در راستای محور با آن مواجه شدند، مشکل بوجود آمدن یک اثر متقابل پیوسته سطوح کنترلی عقب بر یکدیگر اسـت (همـان مشکلی که در مورد سکان‌های نصب شده در صفحه عمودی در راستای محور، اتفاق مـی‌افتـد). راه حل آن، تقسیم بدنه بالک[3] به دو طول مجزا و در نظـر گـرفتن یـک قیـد[4] در اطـراف شـفت محوری می‌باشد که دو طول را به یکدیگر مرتبط می‌کنـد. امـا در نتیجـه، داخـل پاشـنه توسـط چرخ‌دنده‌هایی اشغال می‌شود که در واقع همانطور که در بالا توضیح داده شـد، پیچیـدگی آن بـا سطوح کنترلی دو نیم شده، افزایش می‌یابد یا با مجزا کردن سطوح کنترلی چپ و راسـت کـه در زوایای مختلف قرار بگیرند تا اثر غلتش عرضـی گهـواره‌ای (اسـنپرل) کـه در دور زدن توسـط برجک ایجاد می‌شود را خنثی کند.

در آرایش سیستم‌های تک پروانه، قرار گرفتن سطوح کنترلی عقـب در پاشـنه و در جلـوی پروانه، مزایای اندکی را در استفاده از سرعت جریان بدنبال دارد. علاوه بر آن، سـطوح کنترلـی و بالک‌های متوازن کننده (و همچنین سکان‌ها) یک اثر ویک[5] روی پروانه ایجاد می‌کنند که منجر

1- Twin propeller
2- Rudder skeg
3- Stock
4- Yoke
5- Wake

به تغییرات زاویه حمله تیغه‌های دوار[1] می‌شود و اثر نـامطلوب، هـم از نظـر صـدا و هـم از نظـر ارتعاش بدنبال خواهد داشت. انحراف سطوح کنترلی عقب منجر به افزایش توزیع ویک می‌شود و برای به حداقل رسانیدن این اثر نامطلوب، طراح این مورد را در نظر می‌گیرد که لبه‌های باریـک مقاطع به شکل فویل سطوح کنترلی و سکان‌ها در یک فاصله معقول در جلو پروانه نصب شوند.

در سرعت‌های بالا، بالک‌های عقب بر مانورپذیری و کنترل در عمق مسلط هـستند و ایـن بسیار مهم است که چرخ‌دنده‌های کاربردی آنها بسیار قابل اطمینان باشند، چنانکه خطر شکـست حذف شود و یک غوص کنترل نشده اتفاق نیافتد (بالا آمدن ناخواسـته نیـز نـامطلوب اسـت امـا نمی‌تواند چندان فاجعه بار باشد). یک عامل دیگری که ممکن است اتفـاق بیافتـد، قطـع اتـصال سطوح کنترلی با سیستم محرک آنها می‌باشد و برای مقابله با این اتفاق، طراح باید سعی کند که سطوح کنترلی تنها در یک زاویه اندک با حفظ تعادل سطوح، قرار گیرند یعنی محور کج شدن یـا حمله[2] تا حد ممکن نزدیک لبه ضخیم مقطع فویل[3] قرار گیرد. این مورد می‌تواند منجر بـه بـروز خطر بزرگتری در به داخل کشیدن سطح کنترلی عقب شود و ما در فصل بعد توضیح مـی‌دهـیم که چگونه می‌توان این خطر را به هنگام عمل بازگشت اضطراری سطوح کنترلی بررسی کرد یـا چگونه می‌توان از طراحی دوباره جانمایی سطوح کنترلی پرهیز نمود.

سکان‌های عقب:

۱۶–۸) در زیردریایی‌های تک پروانه معمولاً یک جفت سکان عمودی، یکـی در بـالا و یکـی در زیر دم مخروطی نصب می‌شود. مساحت کل سکان‌ها توسط ملاحظات پایداری دینـامیکی نسبت به حفظ مسیر، معین می‌شود اما کمتر نیاز اسـت کـه بـه هنگـام دور زدن در حالـت پایدار بماند و بنابراین برای رسیدن به دور زدن سریع، همـه سـطوح کنترلـی عمـودی بـه

1- Rotor blade
2- Tilt axis
3- Leading edge

صورت متحرک ساخته می‌شوند. در نظر گرفتن یک سکان بسیار مؤثر پائینی مشکل است، چرا که فضای بین دم مخروطی و خط کیل محدود است. در حالت سکان دوتایی[۱] کاملاً مرسوم است که سکان بالایی، بالاتر واقع شود یعنی با اسپن[۲] بزرگتر و با یک مساحت بزرگتر نسبت به سکان پائینی. هنگامیکه زیردریایی غوطه‌ور است، این سیستم کاملاً رضایتبخش است و دارای مزایایی روی ممان رُل دهنده[۳] می‌باشد که باعث می‌شود سکان‌های متقارن[۴]، ممان رل دهنده ناشی از برجک را خنثی کنند. ولی هنگامیکه زیردریایی به سطح آب بیاید، سکان بزرگ بالایی بیرون آب قرار می‌گیرد و بنابراین برای هدایت[۵] زیردریایی کارآیی ندارد که می‌تواند منجر به خصوصیات ضعیف راه اندازی زیردریایی شود.

در زیردریایی‌های معمولی قدیمی با شکل پاشنه به صورت کشتی، نصب یک سکان بین پروانه‌های دوقلو رایج بود که از نوع سکان‌های با لبه‌های متحرک[۶] بودند که در پشت اهرم ثابت[۷] سطوح کنترلی عقب[۸] قرار گرفته بودند، نصب می‌شد.

ترکیب شفت پروانه، تکیه‌گاه‌های[۹] سکان و بالک در یک زیردریایی تک پروانه محوری، همانطور که مشاهده می‌شود، باعث تراکم در داخل بدنه بیرونی قسمت پاشنه می‌شود. از آنجا که سکان‌ها سطوح متحرکی هستند، خط مرکزی تکیه‌گاه‌های آنها می‌تواند جلوتر از سطوح کنترلی دارای لبه‌های متحرک[۱۰] باشد و بنابراین می‌توانند در راستای طولی از هم جدا باشند. اما هنوز نیازمند این است که اگر قرار است سکان‌های بالایی و پائینی با همدیگر کار کنند، باید یک قید

1- Double rudder
2- Span : فاصله بین دو لبهٔ انتهایی یک جفت سطوح کنترلی
3- Roll moment
4- Asymmetrical rudders
5- Steering
6- Flap type
7- Fixed skeg
8- After plane
9- Stock
10- Flapped after plane

حول شفت اصلی در نظر گرفته شود. نتیجه دیگر اینکه تجهیزات سنگین در قسمت انتهایی زیردریایی بروز مشکلاتی در برقراری تعادل هیدرواستاتیکی طولی زیردریایی می‌باشد.

شکل‌های مختلف پاشنه:

۱۷-۸) شکل قسمت پاشنه به همراه سکان‌های عمودی و بالک‌ها و سطوح کنترلی افقی با عنوان جانمایی صلیبی[1] (شکل الف-۱۷-۸) شناخته می‌شود. از آنجا که مشکلاتی در بدست آوردن ضریب منظری مناسب در سطوح کنترلی بالابرنده[2]، با این جانمایی وجود داشت، شکل‌های مختلفی بوجود آمد که حتی در زیردریایی‌های مدرن نیز نصب می‌شود.

عمومی‌ترین آنها پاشنه X شکل است. در این آرایش، دو جفت سطوح کنترلی استفاده می‌شود که در زاویه ۴۵ درجه نسبت به صفحات عمودی و افقی، در راستای محور بدنه قرار می‌گیرند. با این زاویه‌بندی، امکان استفاده از یک اسپن بسیار بزرگتر برای هر یک از سطوح کنترلی بوجود می‌آید در حالیکه از حدود مکعب مستطیل تعریف شده با حداکثر عرض و حداکثر آبخور بدنه، تجاوز نمی‌نماید. معمولاً هر جفت از سطوح کنترلی همدیگر را در راستای محور قطع می‌کنند و به صورت عرضی با یک تکیه‌گاه معمولی، به هم مرتبط هستند چنانکه هر جفت آنها به صورت هماهنگ حرکت می‌کنند و با حرکت جفت دیگر می‌تواند متفاوت باشد. برای ایجاد نیروهای کنترلی برای حرکت ترکیبی دور زدن و غوص کردن،ترکیبی از حرکات جفت‌های سطوح کنترلی نیاز هستند. بنابراین برای دور زدن زیردریایی دو تکیه‌گاه در همان جهت گردش می‌کنند، نیروهای تولید شده توسط سطوح کنترلی دارای مؤلفه‌هایی هستند که در جهت افقی بر یکدیگر افزوده می‌شوند ولی در جهت عمودی یکدیگر را خنثی می‌کنند. برای غوص کردن زیردریایی، تکیه‌گاه‌ها در جهت مخالف یکدیگر گردش می‌کنند، چنانکه مؤلفه‌های افقی از بین می‌روند و با یکدیگر خنثی می‌شوند و مؤلفه‌های عمودی بر یکدیگر افزوده می‌گردند. کنترل

1- Craciform arrangment
2- Lifting surface

بوسیله شکل پاشنه X تنها برای استفاده سیستم‌های کنترل یک نفره مناسب می‌باشد که سیستم‌های کنترل موقعیت و سرعت[1] چنان طراحی می‌شوند که نیاز به گردش‌های جزئی آن، به صورت خودکار تأمین می‌شود. سکان‌دار تنها زمانی وارد عمل می‌شود که حفظ مسیر و دور زدن یا حفظ عمق و غوص در مسیر عادی نیاز باشد.

به غیر از برتری این مدل بخاطر داشتن ضریب منظری بالاتر برای سطوح کنترلی، شکل پاشنه X دارای برتری‌های دیگری هم می‌باشد. یکی از آنها این است که یک جفت سطوح کنترلی پائینی کاملاً کارآمد به هنگام حرکت زیردریایی در سطح آب وجود دارد، چنانکه هدایت آن را بهبود می‌بخشد. دیگر اینکه، اگر یک جفت از سطوح کنترلی گیر کند، امکان تغییر زاویه جفت دیگر وجود دارد، به صورتی که می‌توان هرگونه عملکرد رو به بالا یا رو به پائین زیردریایی را خنثی کرده و باعث دور زدن زیردریایی شود تا به هنگام دور زدن از خطر تغییر عمق پرهیز شود.

از دید ما، عیبی در این نوع شکل وجود دارد. نیروهای تولید شده هم در جهت عمودی و هم افقی، به صورت متقارن است و مجال اندکی برای تطبیق مستقل آنها جهت پایداری دینامیکی و خصوصیات کنترلی زیردریایی برای حفظ مسیر و دور زدن و همچنین حفظ عمق و غوص کردن وجود دارد. اگر سطوح کنترلی کلاً در یک جهت گردش کنند، زیردریایی به تندی دور می‌زند (مگر اینکه به روش‌هایی مهار شود) و استفاده از این روش باعث یک پاسخ و عکس‌العمل شدید در صفحه عمودی می‌شود. نتیجه می‌شود که باید وسایلی را برای محدود ساختن عملکرد سطوح کنترلی در شکل X فراهم کرد، چنانکه از حداکثر امکان حرکتی آنها در صفحه عمودی استفاده نشود.

مشکل دیگری که در این جانمایی وجود دارد این است که اگر کاملاً متقارن باشد، محورهای هر دو تکیه‌گاه باید بین آن قسمت از محور زیردریایی که توسط شفت پروانه اشغال

1- Servo mechanisms

شده است قرار گیرد و در نتیجه باعث ازدحام و تداخل عملکرد آنها می‌شود. برای پرهیز از این نتیجه، یک راه حل، جابجا کردن یک جفت از سطوح کنترلی به صورت طولی نسبت به جفت‌های دیگر به اندازه مناسب می‌باشد که فاصله‌ای را بین قیدهای مورد نیاز برای گذشتن شفت از بین آنها بدهد. راه حل دیگر، فراهم آوردن وسایل عملکرد مستقل از هم، برای هر چهار سطوح کنترلی می‌باشد ولی این آرایش بر پیچیدگی ماشین آلات مورد نیاز کنترل می‌افزاید و اجازه حرکات جزئی سطوح کنترلی برای مقابله با اسنپ‌رل، به هنگام دور زدن زیردریایی را می‌دهد.

۱۸–۸) عدم توانایی شکل پاشنه X در فراهم کردن پایداری دائم و کنترل در صفحات عمودی و افقی منجر به ملاحظاتی در تغییر شکل پاشنه شد. یکی از آنها بالکهای شکل معکوس Y (شکل د–۱۷–۸) می‌باشد که دارای یک سکان عمودی منفرد در بالای بدنه و دو سطح کنترلی هر یک در زاویه ۴۵ درجه در زیر بدنه می‌باشد. این آرایش امکان رسیدن به ضریب منظری بالا را فراهم می‌کند و دو سطح کنترلی کاملاً در آب فرو می‌روند و وقتی زیردریایی درحال دور زدن روی سطح آب است، همانند یک سکان عمل می‌کند.

با پاشنه معکوس Y همانند پاشنه X لازم است که چاره‌ای برای سیستم کنترل اندیشیده شود، چنانکه حرکات سطوح کنترلی چنان تنظیم شوند که آنها را قادر سازد در مواقع لزوم، یا فقط همانند سکان‌ها یا فقط به عنوان بالک‌های عقب عمل کنند. این نوع آرایش منجر به پیچیدگی بیشتر سیستم کنترل می‌شود چرا که نیاز به فراهم آوردن سه مکانیزم محرک مجزا برای سه سطح کنترلی مستقل می‌باشد. این آرایش، طراح را قادر به فراهم آوردن مساحت کافی و مؤثر در صفحه عمودی می‌کند که منجر به پایداری دینامیکی اندک (نیروهای کنترلی زیاد، در صفحه افقی) می‌شود در حالیکه در همان زمان، پایداری بالا، نیروهای کنترلی اندک در صفحه عمودی وجود دارد. از خطر قدرت‌دهی زیاد در مورد حرکات غوص اجتناب می‌شود چرا که سکان عمودی قدرت فوق‌العاده برای حرکات دور زدن ایجاد می‌کند.

تاکنون شکل‌های گوناگون پاشنه X یا Y در نظر گرفته شده است که دارای اشکال هندسی مختلف هستند. برای مثال، داشتن یک جفت سکان عمودی و یک جفت سطوح کنترلی که افقی نباشند، بلکه به صورت زاویه‌دار رو به پائین در یک زاویه anhedral باشند (شکل ب–۱۷–۸). بررسی بیشتر روی مزایای پاشنه برعکس Y که دارای تکیه‌گاه برای عملکرد معمولی سکان‌ها هستند، انجام می‌شود.

پروانه:

۱۹–۸) ما مباحثی را در مورد انتخاب جانمایی پروانه بیان کردیم و هم اکنون روی بحث مرتبط با آن، پایداری دینامیکی و کنترل، متمرکز می‌شویم. هر چند که هدف اولیه پروانه تأمین نیروی پیشران محوری است تا زیردریایی را قادر به حرکت رو به جلو نماید، ولی نباید از این موضوع چشم پوشی کرد که پروانه تأثیر بسزایی در پایداری دینامیکی و خصوصیات کنترلی هم در صفحه افقی و هم صفحه عمودی دارد.

کار پروانه، القاء یک افزایش سرعت طولی جریان آب است که ممنتم آن را تغییر می‌دهد و بنابراین نیروی پیشران[1] ایجاد می‌شود. هر چند که وقتی زیردریایی به سمت کناره‌ها حرکت می‌کند، جریان ورودی به پروانه، دیگر محوری نیست و عملکرد پروانه اصلاح می‌شود، بدین ترتیب که باعث تغییر زاویه‌ای ممنتم آب شود؛ بنابراین، نیروی جانبی ایجاد می‌کند. بنابراین به صورت مؤثری به عنوان یک بالک متوازن کننده در پاشنه زیردریایی عمل می‌کند. بدین ترتیب یک پروانه منفرد با یک قطر بزرگ، می‌تواند یک اثر متوازن کننده مهم داشته باشد، ولی یک پروانه با قطر کوچکتر یا جت پمپ[2] اثر کمی دارد و در یک ویک خاص کار می‌کند که این امر بدلیل اثر جریان روی بدنه می‌باشد که تقریباً به صورت ناهمگون در آمده است.

1- Thrust
2- Pump jet

بهبود در شرایط اضطراری

خطرات:

۲۰-۸) مبحث ضریب اطمینان و ایمنی زیردریایی برای عملکرد در زیرآب، بحث گسترده‌ای است که شامل تمام موارد بیان شده در قسمت‌های گذشته می‌باشد، ولی هیچیک تا این حد که ما در این بخش بدان اشاره می‌کنیم، بدین مقوله نپرداخته است. به غیر از آتش، بزرگترین خطری که یک زیردریایی غوطه‌ور در زیر آب با آن مواجه می‌شود، ناشی از آبگرفتگی[1] در عمق و غوص کنترل نشده زیردریایی است. قبلاً بیشتر روی پدیده دینامیک بحث شد در حالیکه در اینجا یک پدیده هیدرواستاتیکی مطرح است، اما همانطور که مشاهده خواهیم کرد، قسمتی از مسیر بهبود و پیشرفت در این زمینه مرتبط با نیروهای هیدرودینامیکی است که بر نیروهای هیدرواستاتیکی غلبه کرده و فزونی دارند. در این قسمت بنابراین نه تنها روی طبیعت عملکرد اجزاء مختلف برای رسیدن به ایمنی مطلوب تمرکز می‌شود بلکه عملکردهایی هم که برای بهبود اضطراری لازم هستند بیان می‌شود.

لذا، بهبود اضطراری[2] موضوعی است که هم به تمهیدات مرحله طراحی و هم عملکردهایی که نیاز هستند، می‌پردازد و این دو جنبه به ناگزیر دارای ارتباط نزدیکی با هم هستند. آنچه در پی می‌آید، تمرکز و تمایل بیشتر ما روی جنبه طراحی است، چرا که این کتاب در ارتباط با طراحی است اما به هیچ عنوان نمی‌توان جنبه عملیاتی و کاربردی را دارای اهمیت ندانست. محدودیت زمانی و مجال اندک این کتاب، تنها این فرصت را به ما می‌دهد که فقط به ملاحظات طراحی بپردازیم.

1- Flooding
2- Emergency recovery

آبگرفتگی:

۲۱-۸) از زمان پیدایش اولین غوطه‌ور شونده‌ها، یکی از مهمترین کارهای طراحان و سازندگان زیردریایی، پرهیز از ورود ناخواسته آب و آبگرفتگی فضای داخل زیردریایی بوده است؛ چرا که زیردریایی در سطح آب دارای ذخیره شناوری اندک و زیر سطح آب بدون ذخیره شناوری می‌باشد. آبگرفتگی در اثر چندین اتفاق می‌تواند صورت پذیرد که عبارتند از محکم بسته نشدن دریچه‌ها، شکست لوله‌هایی که در معرض فشار دریا هستند، سوراخ شدن بدنه در اثر تصادم یا حمله دشمن، طراحی ضعیف قسمت‌هایی که در مجاورت و مرتبط با فشار آب هستند که باید از ورود اتفاقی آب به داخل آنها جلوگیری کرد و کنترل کیفیت ضعیف تجهیزات در معرض فشار دریا.

وقتی زیردریایی از سطح آب به زیرآب می‌رود، اگر هر یک از این اتفاقات صورت گیرد، امکان بروز یک حادثه فاجعه بار وجود خواهد داشت و هر چه عمق بیشتر شود، خطر بیشتری زیردریایی را تهدید خواهد کرد. حتی یک سوراخ کوچک چند سانتیمتری در حداکثر عمق زیردریایی، می‌تواند منجر به آبگرفتگی سریع داخل زیردریایی شود و ممکن است بر اثر اسپری شدن آب بر روی تجهیزات الکتریکی در مسیر پخش شدن آب، باعث از بین رفتن این تجهیزات شود. بهترین کاری که در این موقعیت می‌توان انجام داد، هر چه سریعتر هدایت کردن زیردریایی به سطح آب می‌باشد تا خدمه قادر به فرار از خطر شوند. در بیشتر زیردریایی‌های مدرن، شانس نجات آن به هنگام غوص، ناچیز است.

همانطور که در قسمت قبل بحث شد، یک مرحله مهم در بهبود اضطراری در حادثه آبگرفتگی که در راستای طولی زیردریایی اتفاق افتاده است، خالی کردن مخازن شناوری اصلی می‌باشد، یعنی با خارج کردن آب از این مخازن می‌توان میزان شناوری را تا حد ممکن افزایش

داد. در بیشتر زیردریایی‌ها راهی که می‌توان آن را انجام داد دمیدن هـوای پـر فـشار[1] بـه داخـل مخازن شناوری اصلی می‌باشد. وقتی زیردریایی در حداکثر عمق یا حدود آن قرار دارد، نباید همه ذخیره هوا را در مخازن شناوری بلافاصله خالی کند بلکه باید کیسه‌هایی از هوا را در نظر گرفـت که یکباره بـا انبـساط آنهـا، زیردریـایی رو بـه بـالا حرکـت کنـد. ایـن، زمـانی اسـت کـه علـم هیدرودینامیک می‌تواند نقش مهمی در بهبود اضطراری ایـن وضـعیت ایفـا کنـد چـرا کـه، اگـر زیردریایی بتواند حرکت رو به جلوی خود را افزایش دهد، بالک‌های جلـو و عقـب مـی‌تواننـد بـه حرکت رو به بالای زیردریایی کمک کنند و افزایش شناوری منفی و ممان حاصل از آن را خنثی کنند. نتیجه‌ای که می‌توان استنباط کرد این است که وقتی زیردریایی در عمق، عملیات مـی‌کنـد نمی‌تواند خیلی آرام از عهده مسائل عملیاتی برآید و این دارای اهمیت حیاتی است کـه طراحـی، طوری انجام شود که وقتی حتی زیردریایی در معرض چندین آبگرفتگی قرار گرفته است، سیستم قدرت پیشران را از دست ندهد.

بطـــور مشخص، یکی از مهمترین موارد ایمنی، محدود کردن لوله‌کشی‌های داخـل اسـت که در معرض فشار آب دریا هستند. هر یک از سیستم‌های داخلـی کـه مـرتبط و در معـرض آب دریا هستند، باید دارای دریچه‌های عمل کننده قوی باشند که بتوانند به هنگـام شکـست داخلـی این قسمت‌ها، به سرعت بسته شوند و از گسترش آبگرفتگی جلوگیری شود. در استفاده از چنـین دریچه‌هایی باید ارزیابی دقیقی صورت گیرد، همانند بسته شدن سیستم‌های سرمایش کـه باعـث ایمنی در اتوماتیک بسته شدن سیستم‌های قدرت‌دهی آن می‌شود. این دریچـه‌هـا، زیردریـایی را قادر می‌سازند که در هنگام آبگرفتگی نیز بتواند خود را حرکت دهد و از خطر برهاند.

1- HP air

اتفاقات محتمل برای زیردریایی در عمق آب:

۲۲-۸) بحث در مورد خطرات یک زیردریایی در عمق آب که باعث بوجود آمدن مشکل کنترل آن می‌شود، بیشتر از خطر آبگرفتگی است. این ویژگی زیردریایی‌های تندرو است؛ هم بخاطر اینکه در زمان کوتاهی، عکس‌العمل‌ها می‌توانند مفید باشد و هم بخاطر اینکه نیروهای هیدرودینامیک می‌توانند هر یک از نیروهای هیدرواستاتیک را از بین ببرند (همانند دمیدن هوا در مخازن شناوری اصلی) که می‌توان به سرعت از آنها استفاده کرد. برای توضیح اینکه مقیاس این زمان اندک چگونه است، در نظر بگیریم که یک زیردریایی در سرعت ۳۰ گره حرکت می‌کند و می‌تواند در کمتر از یک دقیقه از عمق ۳۰۰ متر عبور کند در حالیکه دارای زاویه پیچ ۲۰ درجه است.

همانطور که در بخش قبل در مورد سطوح کنترلی بحث شد، اتفاقی که می‌تواند به خطرناکی غوص ناخواسته در سرعت بالا باشد، گیر کردن بالک‌های عقب می‌باشد. علیرغم حادثه آبگرفتگی که می‌تواند در موقعیت‌های مختلف به هنگام عملیات زیردریایی اتفاق بیافتد، به ندرت مواردی پیش می‌آید که سطوح کنترلی عقب به هنگام عملیات گیر کند، اگرچه به ندرت پیش می‌آید که اتصال آنها را با چرخ‌دنده‌های محرکشان قطع کند. بنابراین گیر کردن سطوح کنترلی عقب را می‌توان به عنوان یک حادثه بسیار مهم به حساب آورد. مشکل بر سر تعیین زاویه گیر کردن می‌باشد. تجربه‌های عملیاتی نیروی دریایی انگلستان نشان داده است که سطوح کنترلی معمولا در همان زاویه استال[1] ممکن است گیر کنند. برای مثال، اگر زیردریایی با زاویه ۱۰ درجه سطوح کنترلی غوص کند، می‌دانیم که با این زاویه زیردریایی نمی‌تواند صعود کند. با چندین مورد حادثه از این مورد فرض بر این است که اگر سطوح کنترلی در زاویه‌ای بیش از زاویه حداکثر حرکت کنند، گیر می‌کنند. اولین فرض بیان می‌کند که محدودیت عملکرد در

[1] - stall angle

حرکت سطوح کنترلی وابسته به عمق و سرعت باشد تا از گردش زیاد آن پرهیز شود؛ با فرض بعدی، راهنمایی کاربردی نمی‌توان پیشنهاد کرد.

با گیر کردن سطوح عقب در سرعت زیاد زیردریایی، سطوح کنترلی جلو (اگر به داخل کشیده نشده باشند) می‌توانند وارد عمل شوند ولی نه برای غلبه ممان ایجاد شده توسط سطوح کنترلی عقب. ملاحظاتی که برای پرهیز از این خطر در مرحله طراحی می‌توان در نظر گرفت، کاهش هر چه بیشتر سرعت رو به جلو زیردریایی در این مواقع و انجام هر چه سریعتر این کار می‌باشد. زمان در این مواقع بسیار حساس است و در این زمان نمی‌توان چرخش پروانه را معکوس کرد که البته اثرات بسیار مهمی دارد، ولی می‌توان دور گردش آن را کاهش داد تا سرعت غوص زیردریایی کاهش یابد. کار دیگری که می‌تواند مؤثر باشد زاویه‌دار نگه داشتن سکان‌ها می‌باشد که هر چند باعث دور زدن زیردریایی می‌شود ولی سرعت آن را کاهش می‌دهد، ولی مقبولیت اندازه آن وابسته به این است که پاشنه متمایل به پائین باشد یا نه.

نتیجه می‌شود که برای بهبود اضطراری وضعیت گیر کردن سطوح کنترلی عقب مراحلی باید انجام گردد که مؤثر و عملی باشد، مانند کاهش سرعت، قرار دادن سطوح کنترلی جلو تا حد ممکن در وضعیت صعود، خالی کردن مخازن شناوری اصلی، زاویه‌دار نگه داشتن سکان‌ها.

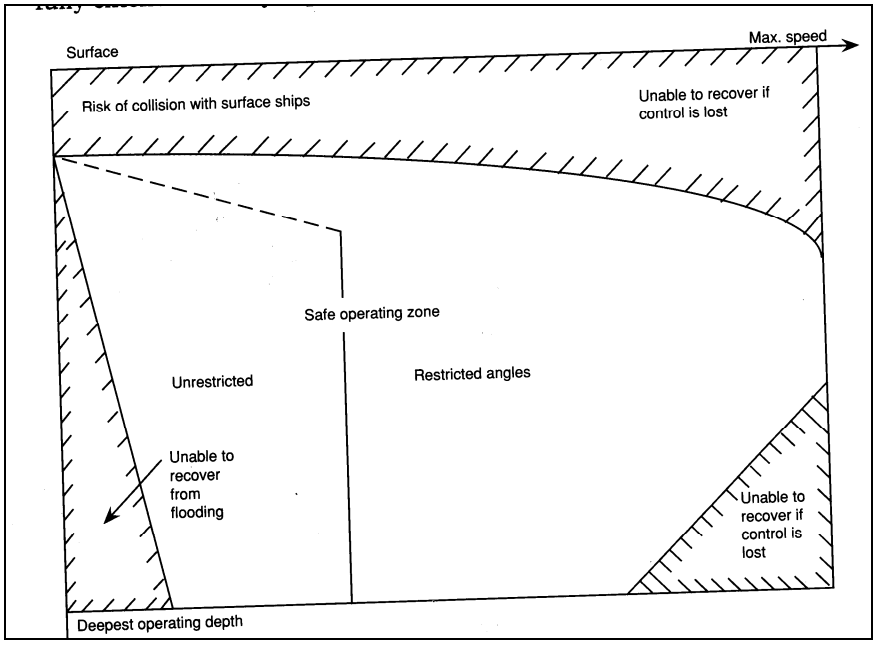
اما در این مورد مهمترین عاملی که وجود دارد، سرعت بالای زیردریایی است و هر چه عمق بیشتر می‌شود، سرعت آن باید محدودتر شود چرا که باید بین عمق حاضر و حداکثر عمق، ضریب اطمینان افزایش یابد. لذا هر چه سرعت زیردریایی بیشتر شود، زاویه سطوح کنترلی بطور تصاعدی باید کاهش یابد. مطالب بیان شده در این مورد با فرض آرایش پاشنه صلیبی شکل می‌باشد اما در سایر شکل‌ها نیز، اعمال محدودیت سرعت و زوایای سطوح کنترلی، حساس به نظر می‌رسد.

محدودیت‌های مانور:

۲۳–۸) مباحثی در مورد خطرات عملکرد زیردریایی‌ها و اقدامات آنها به هنگام حوادث غیرمترقبه مطرح شد. با این قانون که سرعت زیردریایی باید متناسب با افزایش عمق آن، کاهش یابد و محدودیت‌هایی در زوایای مجاز عملکرد سطح کنترلی عقب وجود دارد. اما همانطور که خواهیم دید، این محدودیت‌ها متناسب با نوع حادثه‌ای که رخ داده، متفاوت است. آبگرفتگی در عمق، نیازمند کمترین محدودیت سرعت است. در صورت گیر کردن سطوح کنترلی عقب، به عنوان نوعی از عملکرد در عمق، نیازمند بیشترین محدودیت سرعت زاویه‌ای سطح کنترلی می‌باشد.

روش معمول در انتقال این اطلاعات به کاربران زیردریایی[1]، استفاده از نمودار محدودیت مانور[2] (شکل ۱۸–۸) می‌باشد. فرمانده زیردریایی می‌تواند از این نمودار در شرایط ویژه عملیاتی استفاده نکند، ولی عموماً مجبور به استفاده از آن هستند.

1- Submariner
2- Manoeuvring limitation diagram



شکل (۱۸–۸) ناحیه عملیاتی ایمن زیردریایی

اثرات مختلف در طراحی

۲۴–۸) همانطور که مشاهده شد، ملاحظات ایمنی باید کلیه قسمت‌های طراحی را در بر بگیرد و هم اکنون روی مسائل کنترلی و دینامیکی متمرکز می‌شویم. آنچه اغلب در طراحی اتفاق می‌افتد، تعارض بین ملاحظات مختلف طراحی است. بنابراین با جانمایی‌های شکل پاشنه صلیبی شکل، اگر سطوح کنترلی عقب گیر کنند، خطراتی به هنگام گشت‌زنی در عمق بوجود می‌آید که دارای راه حلهایی می‌باشد که وضعیت بوجود آمده را بطور کامل بهبود بخشد. بنابراین چرا ما سطوح کنترلی بزرگ عقب را نصب می کنیم؟ مثلاً اگر آبگرفتگی در

قسمت عقب زیردریایی اتفاق افتاده باشد، سطوح کنترلی بزرگ عقب می‌تواند سهم بسزایی برای بهبود وضعیت داشته باشد.

همانطور که مشاهده کرده‌ایم، ملاحظاتی برای جبران بد عمل کردن سطوح کنترلی عقب در آرایش صلیبی شکل می‌توان در نظر گرفت. مثلاً، توسط فراهم کردن یک سیلندر هوای پر فشار، یا با توقف‌های مکانیکی که بر زوایای سطوح کنترلی در سرعت‌های مشخص اعمال می‌شود (بنابراین خطر حداکثر زاویه گیر کردن را منتفی می‌کند)، یا با بکار گرفتن سطوح کنترلی دو نیمه عقب[1] که در سرعت‌های بالا فقط یک نیمه آن کار کند، یا ترکیبی از روشهای بالا را استفاده کرد.

جنبه دیگر طراحی همانطور که دیده‌ایم، انتخاب مساحت مناسب بالک‌های متوازن کننده افقی عقب می‌باشد. خیلی بزرگ بودن آن باعث پاسخ کند و آهسته آن در برابر تغییرات عمق و عدم توازن خوب آن در مسیر غوص می‌شود و خیلی کوچک بودن آن باعث بروز مشکلاتی در حفظ عمق در هنگام سرعت می‌شود. مسئله مساحت، شکل و موقعیت بالک و اثر نامطلوب آن که منجر به اسنپ‌رل می‌شود، دارای ملاحظات ایمنی دیگری هم هستند.

هر چند دینامیک و کنترل، فاکتور اصلی در تعیین اندازه زیردریایی نیستند ولی دارای اهمیت ویژه‌ای در حرکت زیردریایی و ایمنی لازمهٔ آن هستند. عکس آن هم درست است، که شکل بدنه و ملحقات بدنه می‌تواند تأثیر بسیاری روی ماهیت رفتار دینامیکی زیردریایی داشته باشد و مستلزم راه حل‌های مختلف برای رفع احتیاجات کنترلی آن می‌باشد.

1- Split after plane

نام شناور: زیردریایی نظامی اژدرافکن – السابحات

ایران به پشتوانه دانشمندان و محققین خود، توانسته است به دانش طراحی و ساخت زیردریایی‌های پیشرفته نظامی دست یابد. این زیردریایی به گونه‌ای طراحی شده که دارای توانایی‌های خاصی برای عملیات در آبهای کم‌عمق خلیج‌فارس است. این زیردریایی در سال ۸۵ توانست رتبه اول تحقیقات کاربردی جشنواره خوارزمی را کسب کند. بدین ترتیب ایران جزء معدود کشورهای طراح و سازنده زیردریایی در دنیا قرار گرفته است.

فصل نهم

« سیستم‌های زیردریایی »

مقدمه:

۱-۹) با توجه به اینکه تمامی وسایل نقلیه و کشتی‌ها دارای سیستم‌های کاربردی هستند، زیردریایی‌ها نیز نیازمند سیستم‌های ویژه‌ای هستند که آنان را قادر سازد تا در محیط عملیاتی خود، از سطح آب تا اعماق آب کار کنند. کاربرد این سیستم‌ها هم برای عملیات در زیر آب و هم برای ایجاد شرایط مناسب برای خدمه می‌باشد که ارتباط آنان با اتمسفر کاملاً قطع است. در شکل‌بندی اولیه و تعیین ابتدایی اندازه سیستم‌ها نیاز به در نظر گرفتن جزئیات نمی‌باشد، در صورتیکه از ابتدا نیاز به فراهم آوردن فضا برای تحمل وزن آنها در داخل بدنه می‌باشد. با این حال، از آنجا که این سیستم‌ها برای کاربردهای اساسی زیردریایی ضروری هستند، این بخش را به توضیح درباره جوانب ویژه سیستم‌های زیردریایی اختصاص می‌دهیم که آنها چگونه کار می‌کنند و شکل معمولی که در طراحی برای آنها در نظر گرفته می‌شود، به چه شکل است؟ بطور ویژه یک ویژگی مهم این سیستم‌ها، بدون عیب و قابلیت اطمینان آنهاست.

سیستم‌های اصلی در زیردریایی را می‌توان تحت عناوین زیر دسته‌بندی کرد، هر چند که در برخی عناوین، صفات و خصوصیات مشترک وجود دارد:

الف) سیستم هیدرولیک؛ این سیستم برای به کار انداختن بسیاری از دریچه‌ها، سیستم‌ها و کنترل‌ها می‌باشد.

ب) سیستم هوای فشرده؛ این سیستم اصولاً برای تخلیه آب از مخازن شناوری اصلی در انتقال از زیر سطح آب به سطح آب، بکار می‌رود ولی دارای کاربردهای بسیاری در داخل زیردریایی می‌باشد.

ج) سیستم‌های توزیع آب؛ این سیستم برای کنترل شیب زیردریایی و بیرون راندن آبی که بطور ناخواسته در حین کاربردهای مختلف، وارد بدنه می‌شود بکار می‌رود (در واقع این سیستم‌ها برای کنترل شیب و تعادل زیردریایی، تبادل آب با دریا، جابجایی آب بین مخازن و جمع‌آوری هرز آبها بکار می‌روند).

د) سیستم‌های جابجایی و تهویه مطبوع[1]؛ این سیستم‌ها مخصوص زیردریایی‌ها هستند چرا که به هنگام غوطه‌وری ارتباط زیردریایی با هوای اتمسفر قطع می‌شود (این سیستم-ها وظیفه تامین دمای مناسب محیط زیردریایی و تبادل هوا یا همگن سازی هوای درون زیردریایی را بر عهده دارد. گازهای سمی موجود نیز تصفیه می‌شوند و درصد آنها در هوای داخل زیردریایی کنترل می‌شوند).

و) سیستم توزیع قدرت الکتریکی؛ تمام سیستم‌هایی که در بالا گفته شد، نیازمند قدرت الکتریکی هستند و بنابراین سیستمی است که در تمام شناورها وجود دارد.

درحقیقت قدرت الکتریکی، تمامی سیستم‌های دیگر را تحت تأثیر قرار می‌دهد و فراهم آوردن ذخیره انرژی و تولید قدرت الکتریکی برای کارکرد شناورها، ضروری و اساسی است. البته برخی از تجهیزات دارای عملگر دستی نیز هستند که به عنوان یک سیستم پشتیبان در مواقعی که انرژی الکتریکی را از دست داده‌ایم، به کار گرفته می‌شوند.

1- Ventilation and Air Conditioning System

سیستم هیدرولیک[1]

۲-۹) تجهیزات زیادی در داخل زیردریایی به تحریک مکانیکی نیاز دارند که غالباً نیازمند نیروی قابل ملاحظه‌ای است و معمولاً سیستم هیدرولیک مرکزی[2] این نیاز را مرتفع می‌سازد. استفاده اصلی از نیروی هیدرولیک برای تحریک سطوح کنترلی، سکان‌ها و هیدروپلن‌ها (بالک) است. بخشی از آن برای بالا و پائین بردن پریسکوپ‌ها و دکل‌ها[3] در برجک و باز کردن درب دریچه‌های بدنه که نیازمند نیروی هیدرولیک هستند، (چرا که در معرض فشار دریا هستند) استفاده می‌شود.

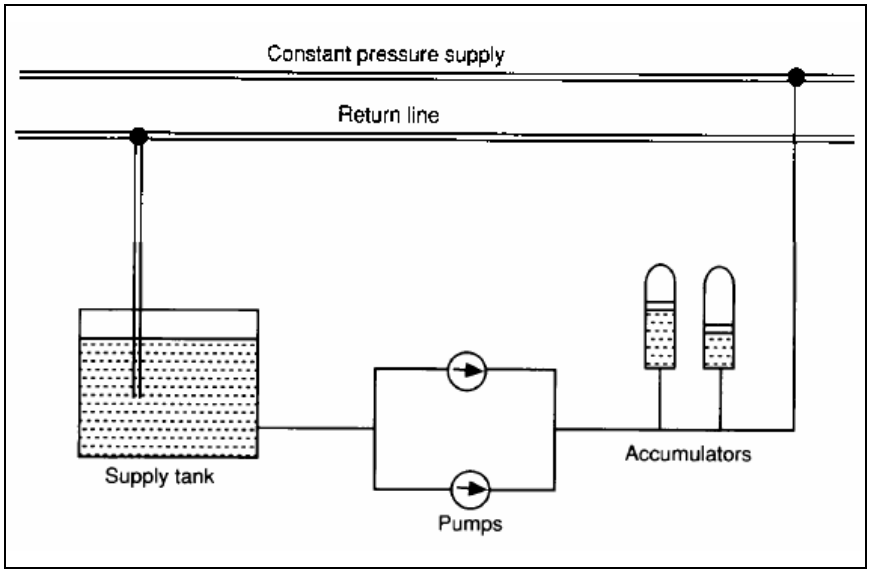
برخی از اجزاء ماشین‌آلات نیازمند سیستم‌های هیدرولیکی هستند، هر چند که ممکن است مستقل باشند. باید توجه داشت که استفاده از قدرت هیدرولیک در موتورخانه[4] و فضاهای داغ زیردریایی در صورت نشت هیدرولیکی (که در اثر فشار سیستم، این ماده روغنی می‌تواند اسپری شود) ممکن است باعث خطراتی مانند آتش‌سوزی و نظایر آن شود. لذا در برخی شناورها، یک سیال غیر قابل اشتعال[5] در فضای موتورخانه استفاده شده است. از آنجا که در زیردریایی، سیستم هیدرولیک بسیار قوی وجود دارد، ممکن است در آن از دستگاه‌هایی استفاده شود که معمولاً در کشتی‌ها استفاده می‌شود؛ مثلاً وینچ‌های کابلی[6] که باید در زیر آب کار کنند.

اخیراً از یک سیستم هیدرولیک استفاده می‌شود که سیستم تِله‌موتور[7] نام دارد و نسبتاً سیستم فشار پائین است (۱۵۰۰psi/۱۰۰bar)، که سیال هیدرولیک را طبق نیاز فراهم می‌کند. اصولاً در عملکرد این سیستم، دریچه‌های مورد نیاز باز می‌شود تا سیال هیدرولیک را هدایت کند

1- Hydraulic System
2- Centralised hydraulics system
3- Mast
4- Engine room
5- Non - inflammable fluid
6- Winch
7- Telemotor system

و یک پمپ تِله‌موتور که معمولاً به صورت الکتریکی کار می‌کند، استارت می‌شود تا سیال را به طرف جک[1] یا محرک مورد نظر پشتیبانی کند و وسیله مورد نظر را به حرکت در آورد. این فرآیند مستلزم شروع و توقف متناوب کارکرد پمپ می‌باشد که به دلیل صدای همراه آن، در زیردریایی‌ها نامطلوب می‌باشد. معمولاً از یک سیستم هیدرولیک استفاده می‌شود که اصولاً یک تقویت فشار ثابت داشته باشد. در چنین سیستمی، خطوط پشتیبانی سیال در سراسر زیردریایی در فشار بالا (۳۰۰۰psi/۲۰۰bar) توسط مخازن روغن تحت فشار[2] نگه داشته می‌شوند که یک خاصیت خازنی[3] در سیستم ایجاد می‌کند. پمپ‌های هیدرولیک پس از کاهش فشار در مخازن روغن تحت فشار مجدداً آنها را شارژ می‌نمایند. بنابراین لازم نیست پمپ‌های هیدرولیک بطور پیوسته کار کنند و مخازن روغن تحت فشار به کمک انرژی ذخیره شده در داخل مخازن، می‌توانند برای مدت زیادی نیاز برخی قسمت‌ها را تأمین نمایند. در آرایش اصلی یک چنین سیستم فشار ثابت مرکزی[4]، یک یا چند لوله‌کشی پشتیبانی در سراسر بدنه نصب می‌شود که تجهیزات مختلفی را تغذیه می‌کنند و روغن هیدرولیک از محرک‌ها[5] به طرف خط بازگشت[6] کشیده می‌شود که آن را به سیستم مرکزی باز می‌گرداند (شکل ۱-۹).

1- Ram
2- Pressure accumolator
3- Capacitance
4- Centralised constant pressure system
5- Actuator
6- Return line



شکل (۱-۹) طرح کلی از یک سیستم فشار ثابت

معمولاً در قسمت ماشین‌آلات فرعی، یک سیستم پمپ هیدرولیک با تجهیزاتی جانبی[1] وجود دارد که شامل تعدادی پمپ و مخزن است تا فشار لازم را برای سیستم فراهم کند. روغن هیدرولیک تحت فشار پس از بکارگیری در مصرف کننده‌های هیدرولیکی، مجدداً در فشار معمولی به مخزن اصلی هیدرولیک، بازگردانده می‌شود.

در فشار پائین، سیستم‌های اخیر مستلزم اجزاء هیدرولیکی (والوها، جک‌ها، اتصالات و غیره) و مخازن بزرگ است تا نیروها و قدرت مورد نیاز را فراهم کند. این سیستم‌ها نسبتاً آرام هستند. همانطور که سرعت‌های روغن درون آن، بسیار اندک است. در سیستم‌های پر فشار و البته ثابت، اندازه مکانیزم‌ها و محرک‌ها کاهش می‌یابد.

1- Hydraulic pressuring plant

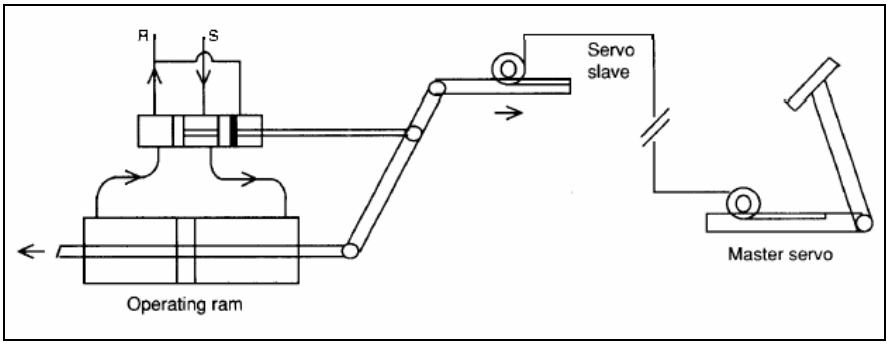
هنوز در سیستم هیدرولیک از لوله‌های با قطر نسبتاً بزرگ استفاده می‌شود تا سرعت سیستم را پائین نگه دارد، صدای سیال نسبتاً کم باشد و اتلاف انرژی در لوله‌ها کاهش یابد. مباحثی در بکار گرفتن سیستم‌های دارای فشار بالاتر وجود دارد که به صورت تجاری تولید و در صنایع استفاده شده‌اند، باعث اندازه‌های کوچکتر اجزاء و لوله‌گذاری‌ها می‌شود، اما عیب صدای چنین سیستمی باعث شده است که طراحان زیردریایی از آن اجتناب کنند.

۳-۹) در سیستم‌های تِله‌موتور قدیمی و بیشتر سیستم‌های فشار ثابت اخیر، تحریک بر مبنای کنترل دبی می‌باشد. این سیستم شامل باز شدن مستقیم یک شیر کنترل[1] برای محرک مورد نظر می‌باشد و مقدار باز شدن آن، مشخص کننده میزان حرکت محرک می‌باشد. مشکل این سیستم این است که مجبور است اطلاعات را در موقعیت برگشت از محرک به کاربر انتقال دهد تا شیر کنترل را ببندد یا باز کند. برای برخی از کاربردها، مانند بالا آمدن پریسکوپ، بوضوح مشخص است که موقعیت پریسکوپ در هر مرحله کجاست. بنابراین کاربر در اتاق فرمان می‌تواند حرکت دکل را متوقف یا کند نماید تا به ارتفاع مورد نظر برسد. اما برای تحرک سطوح کنترلی، بوسیله محرک‌های نوع جک پیستونی، این سطوح کنترلی در انتهای بدنه واقع شده‌اند و مستقیماً توسط کاربر قابل مشاهده نیستند. در نتیجه نیاز به ارسال اطلاعات بصورت بازگشتی[2] از جک پیستونی به اتاق فرمان می‌باشد تا کاربر از موقعیتی که بالک‌ها یا سکان‌ها در آن هستند اطلاع داشته باشد. اشکالاتی با این روش بوجود می‌آید چرا که، هر چند فرستادن یک علامت از جک برای اپراتور ممکن است، اما موقعیت واقعی سطوح کنترل که در بیرون زیردریایی قرار دارند، توسط چند اتصال دیگر به جک مرتبط می‌شود که ممکن است در اثر بروز اشکال در مسیر ارتباط آنها، شرایط و موقعیت واقعی سطوح کنترل با آنچه از طریق جک گزارش شده، متفاوت باشد. عیب دیگر

1- Control Valve
2- Feedback

این است که این روش کنترل غالباً به ایجاد صدا منجر می‌شود، چرا کـه محـرک پـس از رسیدن به موقعیت مطلوب به یکباره در برابر جریان پر فشار متوقف می‌شود.

سیستم‌های مدرن روشی را بکار می‌گیرند که کنترل موقعیت[1] نام دارد (شکل ۲–۹). با ایـن روش کاربر با وسایلی مانند بازو[2] یا اندازه[3] میزان جابجایی مورد نیاز محرک را درخواست می‌کنـد و یک سیستم فرمان‌دهنده[4]، شیر محرک را باز می‌کند تا به روغن اجازه جـاری شـدن بدهـد تـا اینکه حرکت محرک با رسیدن به موقعیت مطلوب، باعث بسته شدن شیر شود.



شکل (۲–۹) سیستم کنترل موقعیت

این روش نسبتاً ساده، دارای خطای موقعیتی می‌باشد. در فشارهای بالاتر در سیـستم فـشار ثابت، این روش می‌تواند وقتی شیر با کاهش موقعیت، اندک اندک بسته می‌شود، منجر بـه یـک صدای بلند شود. با این حال، کنترل موقعیت چندین مزیت دارد. این سیستم تنها نیازمند یکسری تجهیزات کنترل فشار می‌باشد در حالیکه سیستم کنترل دبی[5] نیازمند لوله‌کشی از مصرف کننـده تا کنترل کننده مرکزی است، بطوریکه باعث افزایش تعداد لوله‌هـای داخـل بدنـه مـی‌گـردد. در

1- Position control
2- Lever
3- Dial
4- Servo system
5- Rate control

روش کنترل موقعیت، کاربر تنها موظف به انتخاب خروجی مورد نیاز می‌باشد که نسبت بـه روش کنترل دبی، از سهولت و دقت بیشتری برخوردار است چراکه در روش کنترل دبـی، مقـدار مجـاز روغن ورودی کنترل شود. کنترل موقعیت را می‌توان بوسیله کابل‌های الکتریکی کوچک که یک پیام را به یک موتور کنترلی در محل مورد نیاز[1] انتقال می‌دهـد، متحـول سـاخت. بـدلیل نقـش حیاتی ایمنی در سیستم‌های کنترلی، سیستم توزیع کمکی[2] نیز بـرای احتیـاط مـضاعف در برابـر معیوب شدن مسیرهای اصلی، در نظر گرفته می‌شود تا بتوان در مواقـع ضـروری از آن اسـتفاده کرد، بنابراین به لوله‌کشی بیشتری نیاز است. برای تأمین فشار شبکه هیدرولیک در مـواقعی کـه اشکالی در سیستم تولید فشار شبکه بوجود آید، نیز اغلب از هوای فشرده (که قبلاً بحث شـد) یـا سیستم‌های حرکت الکتریکی یا یک سیستم پمپ دستی بعنوان امکانات پشتیبانی اسـتفاده شـده است.

می‌توان تصدیق کرد که با ابداع این سیستم‌ها برای یک زیردریایی، نـصب چنـدین مـسیر لوله متعدد در داخل بدنه، بسیار آسان است. پس از انجام تلاش‌هایی که بـرای تحـت کنتـرل در آوردن زیردریایی صورت می‌گیرد، هنوز لازم است که فکری برای فـضای مـورد نیـاز لولـه‌هـای نسبتاً بزرگ با اتصالات و شیرهای آنها، اندیشیده شود. بویژه، از آنجا که بسیاری از لولـه‌هـا لازم است از بین جداره‌های آب‌بند عبور کنند، باید سوراخ‌های مورد نیاز این لوله‌ها نیز در نظـر گرفتـه شود.

۴-۹) سیستم پشتیبانی هیدرولیک مرکزی شامل دو یا چند پمپ می‌باشد که بـه کمـک نیـروی الکتـــریکی حرکت می‌کنند و روغن را در فشار بالا تحویل می‌دهند و بـه انبـاره (مخـزن) متصل می‌شوند که از نوع پیستونی[3] می‌باشند. در انباره‌ها نیز پیستون مخزن توسط هـوای فشرده از سمت دیگر، به عقب رانده می‌شود که این هوا توسط مخازن هوای محلی تـأمین

1- Local servo motor
2- Servo distribution system
3- Piston displacement

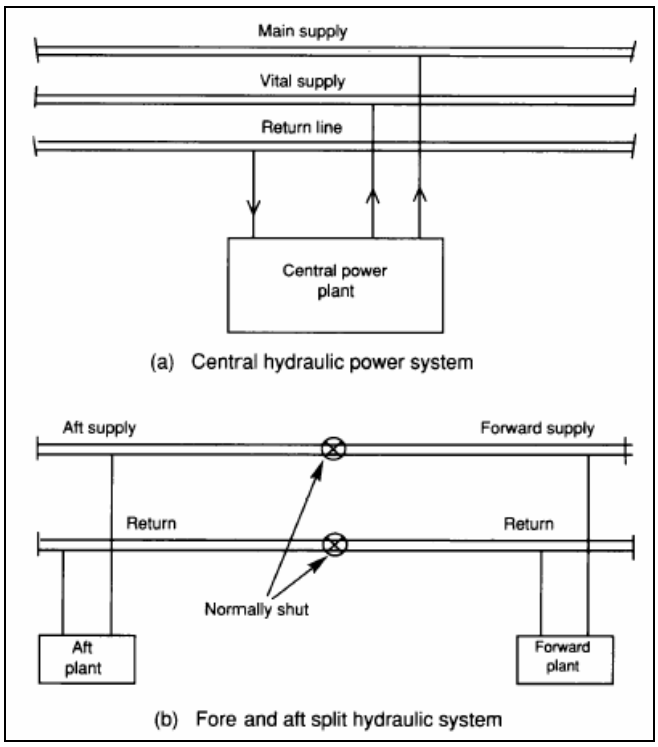
می‌شود که آن نیز باید در هر زمان توسط سیستم هوا تغذیه شود. سنسورهای فشاری، پر شدن (متراکم شدن) انباره را حس می‌کنند و دستور خاموش شدن پمپ داده می‌شود و تنها وقتی روشن می‌شوند که انباره‌ها تقریباً تخلیه شوند و فشار به یک حد پائین مشخص نزول کند. پمپ‌ها توسط روغن از مخازن پشتیبانی محلی، تغذیه می‌شوند که روغن مصرف شده به آن باز می‌گردد. بنابراین لوله‌کشی‌های اصلی در داخل زیردریایی شامل خطوط پر فشار ثابت و خط برگشت آن با فشار پائین‌تر که به مخزن برمی‌گردد، می‌باشد. تعداد پمپ‌ها و انباره‌های تعبیه شده بستگی به نیاز سیستم دارد و البته با تحلیل حوادث، مقادیر ذخیره به اندازه کافی در نظر گرفته می‌شود تا حتی پس از شکستن برخی مسیرها و یا در زمان تعمیرات شبکه، روغن کافی جهت انجام عملیات اصلی در شبکه هیدرولیک باقی بماند.

همانطور که قبلاً توضیح داده شد، بیشترین مشکلات هنگام اتصال خطوط تغذیه به محرک‌های مکانیزم‌های ویژه شامل شیرهای کنترل و سطوح کنترل می‌باشد. بدلیل اهمیت تحرک سطوح کنترل، معمولاً از دو خط ارتباط استفاده می‌شود. یک خط اصلی برای استفاده اصلی محرک‌ها در سراسر زیردریایی و خط ارتباط دیگر منحصراً برای استفاده سیستم‌های محرک کنترلی استفاده می‌شود که سایر محرک‌ها، اجازه اتصال به آن را ندارند. این آرایش کمک می‌کند که خطر از دست رفتن کنترل بر روی سطوح کنترل و سکان‌ها کاهش یابد. بنابراین در زیردریایی کاملاً عادی است که از سیستم‌های لوله‌کشی دوتایی در سراسر بدنه استفاده شود که توسط انباره‌ها و پمپ‌ها تغذیه می‌شوند (شکل الف-۳-۹).

در کاربردهای معمولی، این سیستم‌ها از یکدیگر مجزا و عایق‌بندی می‌شوند که در صورت شکست یکی از آنها، با دیگری ارتباط نیابد. این روش مستلزم افزایش فضای مورد نیاز ماشین‌آلات کمکی[1] (AMS) برای تجهیزات سیستم هیدرولیک می‌باشد. بنابراین فضای استفاده شده برای سیستم‌های دوتایی و تعداد سوراخکاری بر روی دیواره‌ها و در سرتاسر

1- Auxiliary Machine Space

زیردریایی افزایش می‌یابد. کنترل مستقیم دبی در سیستم‌های هیدرولیک از اتاق فرمان، یکی از مشخصه‌های اصلی زیردریایی است.



شکل (۳-۹) سیستم‌های هیدرولیک

۵-۹) علیرغم بازدهی بالاتر سیستم‌های قدرت به صورت متمرکز، اصولاً تجمع این سیستم‌ها در یک جا چندان مطلوب نیست چراکه یک نقص موضعی در داخل فضای ماشین‌آلات کمکی (AMS) ممکن است منجر به از دست رفتن قدرت هیدرولیک در سرتاسر زیردریایی شود. یک راه حل این مشکل، دو نیم کردن سیستم توزیع قدرت در قسمت جلو زیردریایی و دیگری در عقب زیردریایی می‌باشد (شکل ب-۳-۹).

وقتی سیستم‌ها بدین وسیله به دو قسمت سینه و پاشنه تقسیم می‌شوند، مسیر لوله‌کشی کوتاه‌تر با مجاورت بیشتر به محرک‌های کنترل اصلی خواهیم داشت و فقط نیاز به یک خط تغذیه در سرتاسر زیردریایی برای سایر نیازهای هیدرولیکی می‌باشد. این خط ارتباطی منفرد در سرتاسر زیردریایی می‌تواند خودش بوسیله یک شیر جدا کننده در وسط به دو نیم تقسیم شود، چنانکه در صورت شکست یک یا چند قسمت، سایر قسمت‌ها سالم باقی بمانند. در صورت بروز شکست در امتداد خط تغذیه اصلی، می‌توان آن قسمت از لوله‌کشی را که دچار شکست شده است جدا کرده و از مدار خارج نمود تا عملکرد در جلو و عقب ناحیه شکست ادامه یابد.

می‌توان تصور کرد که سایر روش‌ها نیز می‌بایست واحد[1] قدرت هیدرولیک موضعی را بکار گیرند که هر یک مستقیماً شامل یک محرک یا گروهی از محرک‌ها باشد. برای مثال، می‌توان از یک واحد هیدرولیک برای سیستم‌های کنترلی عقب استفاده کرد که در قسمت پاشنه تعبیه شوند و از یک واحد هیدرولیک دیگر برای سطوح کنترلی جلو استفاده کرد که در قسمت سینه تعبیه شوند. بنابراین هر یک مستقلاً نیازهای محلی خود را برآورده کرده و به صورت یک سیستم فشار ثابت، نیازهای وسایل مجاور را نیز برآورده می‌کنند. همچنین، واحدهای قدرت محلی می‌توانند قدرت را برای سایر نیازهای قدرت هیدرولیک نیز فراهم کنند. این روش باعث افزایش سیستم توزیع الکتریکی برای فراهم کردن قدرت مورد نیاز واحدهای قدرت محلی می‌شود، ولی نیاز به استفاده از قطر زیاد لوله‌کشی هیدرولیکی پر فشار را در سرتاسر بدنه، مرتفع می‌کند.

تغییرات این سیستم‌ها بستگی به طراحی زیردریایی دارد. برخی از طراحی‌ها دارای سیستم هیدرولیک اصلی با نقشه قدرت مرکزی هستند، ولی یک سیستم قدرت مجزا در قسمت پاشنه برای محرک‌های سطوح کنترلی عقب نصب می‌شود. قسمت پشتیبانی اصلی دارای یک حلقه بازگشتی محلی به صورت کنترل موقعیت یا کنترل دبی می‌باشد.

1- Pack

۶-۹) روی راه حل‌های مختلفی که برای طراحی سیستم‌های هیدرولیک می‌توان استفاده کرد، بحث شد؛ چرا که یکی از مهمترین مشکلات این سیستم‌ها، سالم و بی عیب بودن آنهاست. کوپلینگ‌ها[1] و اتصالات متعددی در این سیستم‌ها وجود دارد که باید هر از چند گاهی برای کار تعمیر و نگهداری شکسته یا بریده شوند و بنابراین لازم است که از اتصالات با کیفیت بالا استفاده کرد که معمولاً به شکل استوانه‌ای طراحی می‌شوند. در جاهایی که نیازی به جدا کردن لوله‌ها نمی‌باشد می‌توان از روش برزینگ[2] در اتصالات استفاده کرد. البته به دلیل محدودیت‌های کار در زیردریایی، گرمایش یکنواخت فرآیند برزینگ مشکل می‌باشد و ضریب اطمینان کاهش می‌یابد. لذا اخیرا از اتصالات جوشی برای افزایش کیفیت و بی‌عیب بودن کار استفاده می‌شود. اتصالات دایره‌ای شکل در برابر صدمات و شکستگی‌های کوچک آسیب‌پذیر هستند و باعث نشت و چکه کردن روغن می‌شود و در اثر وارد آمدن ضربه ناگهانی به آنها، امکان ترکیدگی وجود دارد که هم باعث از دست رفتن فشار هیدرولیکی و هم باعث اسیدی شدن روغن می‌گردد.

مورد دیگری که در سیستم‌های هیدرولیک اهمیت دارد، پاکیزه نگه داشتن این سیستم‌ها می‌باشد. خطر کثیف شدن روغن دو عامل دارد: هم در حین ساخت و هم پوسیدگی شیرها که باعث کثیف و ناخالص شدن روغن شده و ممکن است باعث صدمه دیدن شیرهای ظریف در سیستم گردد. یک روش معمول، عایق و آب‌بند کردن سیستم و تصفیه روغن ناخالص و خارج کردن روغن‌های زائد از سیستم می‌باشد. همچنین بدلیل استفاده از لوله‌های با قطر زیاد در لوله‌کشی، سرعت جریان سیال کاهش می‌یابد و تولید جریان مغشوش در داخل لوله برای تمیز کردن قسمت‌های داخلی آن، مشکل است. یک راه غلبه بر این مشکل، مرتعش کردن لوله به

1- Coupling
2- Brazing : نوعی جوشکاری که روی آن آبکاری انجام می‌شود تا از خوردگی و ترک محافظت شود.

هنگام جریان سیال در داخل لوله می‌باشد که باعث کنده شدن کثیفی‌های درون لوله‌ها شده و هدایت آن به بیرون می‌شود.

۷-۹) مشکل ویژه‌ای که در سیستم‌های روغنی در زیردریایی‌ها وجود دارد، قرار گرفتن محرک‌ها در بیرون بدنه فشار است مثلاً باز و بسته کردن درب بالای برجک. در سیستم‌های هیدرولیک بیرون بدنه، علیرغم وجود اختلاف فشار مثبت سیستم هیدرولیک نسبت به فشار آب دریا، امکان ورود آب به داخل روغن وجود دارد. آلودگی روغن به آب دریا، بسیار مشکل‌ساز است چرا که از فیلترها هم عبور می‌کند و به آرامی از آن جدا می‌شود و لذا مراحل ویژه‌ای برای محافظت از عملکرد سیستم‌های هیدرولیک در برابر آب دریا، باید اجراء شود. در برخی از طراحی‌ها، راه‌حلی که بکار می‌رود، فراهم آوردن سیستم هیدرولیک بیرونی است که از سیستم اصلی معمولی جدا باشد. حتی اگر این کار هم انجام نشود، این مورد بسیار مهم است که مخازن بازگشتی سیستم‌های بیرونی را چنان جدا کرد که وقتی آب دریا به روغن نفوذ کند، فرصت این را دارد که قبل از اینکه وارد سیستم شود از روغن جدا شود.

محرک‌های اصلی سکان‌ها و سطوح کنترلی معمولاً از نوع جک پیستونی[1] می‌باشد که شیرهای کوچک، جهت جریان روغن را در هر طرف پیستون مشخص می‌کند که وابسته به جهت مورد نیاز حرکت می‌باشد. شفت جک یک شفت دیگر رفت و برگشتی را به صورت مستقیم و از طریق یک سیستم آب‌بند در حد فاصل داخل و خارج بدنه حرکت می‌دهد. این حرکت خطی توسط مکانیزم دیگری در خارج از بدنه سخت به حرکت دورانی برای تغییر وضعیت بالک‌ها تبدیل می‌شود.

1- Piston ram

به عنوان یک راه حل دیگر و به منظور ایجاد حرکت زاویه‌ای محرک‌ها، از محرک‌های نوع دورانی[1] استفاده می‌شود، لیکن داشتن سیستم ذخیره، مورد نیاز است زیرا محرک دورانی باید مستقیماً روی شفت بالک و در بیرون بدنه سخت نصب گردد. این روش ممکن است مشکلاتی را بوجود آورد، هم از لحاظ نفوذ آب دریا و هم از لحاظ تأمین خط بازگشت و کنترل موقعیت اجزاء. عملکرد و بالا آمدن دکل‌ها نیز معمولاً توسط نوعی جک انجام می‌شود و نیز بهمراه جک‌های مستقیم که به اندازه کل طول دکل حرکت می‌کنند یا بوسیله جک‌های کوچکتری که با کمک کابل‌های سیمی کار می‌کنند. عملکرد جک‌ها اندازه حرکت مناسبی را در سیستم‌ها ایجاد می‌کند که باعث حرکت دکل‌ها یا پریسکوپ می‌گردد. شیرهای عمل کننده بوسیله سیستم هیدرولیک مانند منافذ و دریچه‌های مخازن شناوری اصلی و شیرهای اصلی مخازن[2] شناخته می‌شوند که از نوع قارچی[3] هستند و بوسیله جک‌های هیدرولیک عمل می‌کنند. این شیرها برای ایجاد جریان کامل در مسیر، معمولا نیاز به محرک برای حرکت چرخشی دارند.

سیستم‌های هوای فشرده

۸-۹) هدف اولیه از سیستم‌های هوای فشرده قادر کردن زیردریایی برای آمدن به سطح آب می‌باشد یعنی خارج کردن آب از مخازن شناوری اصلی و تغییر حالت زیردریایی از حالت غوطه‌وری در زیر آب به حالت شناوری در سطح آب. هر چند که راههای دیگری هم برای خارج کردن آب از مخازن وجود دارد ولی روش رایج، استفاده از سیستم هوای فشرده می‌باشد. وقتی مخازن شناوری اصلی در معرض جریان هوا قرار می‌گیرند، از هوای فشرده برای خارج کردن آب از مخازن داخلی استفاده می‌شود. همچنین مخزن غوص سریع یا

1- Vane
2- Kingstone
3- Mushroom type

مخزن منفی[1] در بسیاری از زیردریایی‌ها برای کمک به غوص کردن سریع از سطح آب نصب شده‌اند و همچنین مخازن D برای متعادل کردن زیردریایی به هنگام تغییر شناوری در غوص سریع در عمق، بکار می‌روند. در برخی از طراحی‌ها نیز هوای فشرده برای جابجایی آب بین مخازن داخل بدنه در سیستم تنظیم شیب[2] استفاده می‌شود. در زیردریایی‌های قدیمی برای تخلیه مستقیم آب از سیستم تعادلی به دریا در حین متوازن شدن، از هوای فشرده استفاده می‌شد.

سایر استفاده‌های هوای فشرده، برای عملکرد برخی از شیرهای پنوماتیکی و برای فراهم آوردن یک دمش هوای نجات[3] می‌باشد. همچنین می‌توان بدینوسیله فشار داخلی بدنه را در یک قسمت از زیردریایی برای کاهش آبگرفتگی آن قسمت در سطح آب یا نزدیک سطح آب، تغییر داد که البته این روش در عمق آب ناکارآمد می‌باشد. همچنین هوای فشرده در بسیاری از زیردریایی‌ها به عنوان یک وسیله اضطراری برای عملکرد سطوح کنترلی با نصب یک جک هوا، همانند جک هیدرولیک معمولی، بکار می‌رود.

تعیین اندازه سیستم هوای فشرده

۹-۹) اصولاً متناسب با هدف اصلی استفاده از هوای فشرده که بیرون راندن آب از مخازن شناوری اصلی می‌باشد، اندازه این سیستم تعیین می‌گردد. اصولاً، آب باید با غلبه بر فشار آب دریا از سوراخ‌های تخلیه، بیرون رانده شود که این سوراخ‌ها در کف مخازن هستند. فرض کنید که زیردریایی در عمق پریسکوپ قرار دارد، فشار در این حالت تقریباً ۳ اتمسفر می‌باشد. اگر فشار هوا در مخازن در همین حدود باشد، دبی تخلیه آب بسیار آرام خواهد بود و زیردریایی خیلی آهسته به سطح آب نزدیک می‌شود. از آنجا که آمدن به سطح آب یک

1- Quick diving or Negative tank
2- Trimming system
3- Salvage blow

عملکرد مهم برای پایداری و ایمنی زیردریایی است، فشار بیشتری باید اعمال شود تا آب به سرعت از مخازن تخلیه گردد. هوای فشرده باید ذخیره گردد و فضایی را در داخل پوسته بیرونی اشغال می‌کند و تا حد ممکن باید هوا در فشار بالاتری ذخیره گردد تا جای کمتری را اشغال کند.

در زیردریایی‌های با اندازه معمولی، وقتی بطور کامل در سطح آب شناور هستند، سوراخ‌های آبگیر مخازن آن در حدود ۱۰ متر زیر سطح آب قرار دارند و فشار آب دریا در محل سوراخ‌های آبگیری در حدود ۲ اتمسفر است. بنابراین، اگر مخازن بطور کامل در معرض جریان هوا قرار گیرد، حجمی از هوا در فشار آتمسفر نیاز است که ۲ برابر حجم مخزن باشد. اگر زیردریایی تنها همین مقدار از هوا را حمل کند، هنگامیکه هوای سیستم بطور کامل مصرف می‌شود، زیردریایی باید مدت زمان زیادی را در سطح آب بماند تا به کمک دکل تنفس، مخازن هوای فشرده مجدداً پر شود. در بسیاری از مواقع نیاز است که زیردریایی برای در امان ماندن از خطر تصادم یا حمله هوایی، هر چه سریعتر غوص کند و لذا در این شرایط بدون ذخیره کافی هوا به زیر آب خواهد رفت. در نتیجه، معمولاً قبل از شارژ دوباره سیستم، باید به اندازه کافی، هوای فشرده برای حداقل سه مخزن شناوری اصلی کامل فراهم شده باشد. بدلیل نیاز به فشار ۲ اتمسفر و به ظرفیت کامل سه مخزن، به اندازه شش برابر حجم مخازن شناوری اصلی در فشار یک اتمسفر هوا نیاز خواهد بود. معمولاً هوا را در کپسول‌هایی در فشار تقریبی ۳۰۰bar ذخیره می‌کنند، بنابراین اگر کپسول‌های هوای فشرده در درون مخازن شناوری اصلی جاسازی شود تنها در حدود ۲ درصد حجم مخزن توسط کپسول هوا اشغال می‌گردد.

برای صرفه‌جویی در مصرف هوای فشرده، معمولاً هوا را اندک اندک به داخل مخازن شناوری می‌فرستند تا در این حین زیردریایی به سطح آب نزدیک شود. سپس هنگامیکه بدنه زیردریایی تا حدی بالای سطح آب قرار گرفت، میزان فشار هوا کاهش خواهد یافت تا به تدریج زیردریایی در شرایط شناوری کامل در سطح آب قرار گیرد. این سیستم دمیدن هوا، اندکی باعث

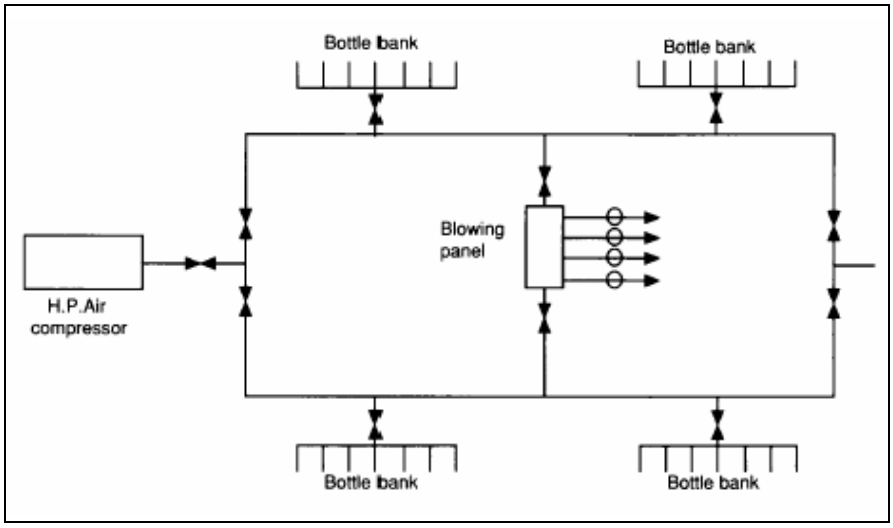
صرفه‌جویی هوای فشرده می‌گردد چرا که وقتی زیردریایی به عمق پریسکوپ می‌رسد می‌تواند به کمک دکل تنفس از دمیدن هوای کم فشار استفاده کند. البته سیستم دمیدن هوای کم فشار، نیازمند لوله‌کشی‌های بسیار بزرگ از دمنده تا مخازن می‌باشد تا دبی مناسب تخلیه آب بدست آید. از طرفی سیستم هوای فشرده نیازمند لوله‌کشی‌های نسبتاً کوچک می‌باشد. وقتی هوا در فشاری که چندان از فشار آب دریا بیشتر نیست، منبسط می‌گردد، اختلاف فشار قابل ملاحظه‌ای در محل شیرهای روی بدنه بوجود می‌آید که این مقدار کافیست تا سرعت هوا به حدود یک ماخ برسد. در اصل، خروج آب از مخازن بوسیله انبساط گسترده هوای فشرده در داخل مخازن صورت می‌گیرد. هر چند که لازم نیست طراحی برای فشار کامل آب دریا انجام شود، سازهٔ بدنه زیردریایی باید به حد کافی قوی باشد تا در برابر فشارهایی بیش از این حد نیز، در مراحل مختلف دمیده شدن هوا، مقاومت کند (برای مواقعی که مخازن شناوری در داخل بدنه هستند و بخشی از بدنه آنها با بدنه فشار یکی است. اگر مخازن شناوری در بیرون بدنه باشند بدلیل برابری فشار در طرفین مخزن، نیازی به مخزن سخت نیست و مخزن می‌تواند مخزن نرم و با یک سازه سبک باشد).

جانمائی سیستم

۱۰-۹) مخازن هوا معمولاً به شکل کپسول‌های هوای فشرده می‌باشندکه در داخل مخازن شناوری اصلی بیرونی بدنه فشار یا در فضاهای آبگیر آزاد قرار می‌گیرند. در برخی از زیردریایی‌ها، تمام این کپسول‌ها در داخل بدنه فشار هستند، ولی در همه زیردریایی‌ها، حداقل تعدادی از این کپسول‌ها در داخل بدنه فشار قرار می‌گیرند. هنگامی که کپسول‌ها در بیرون قرار گرفته‌اند، این کپسول‌ها آب را از درون مخازن شناوری اصلی تخلیه می‌کنند و در طراحی، هنگام محاسبه ذخیره شناوری، مقدار بیشتری از آن را در نظر می‌گیرند. از آنجا که این کپسول‌ها در داخل مخازن ذخیره شده‌اند، ممکن است منطقی به نظر برسد

که طول لوله‌کشی کمتری نیاز باشد و این کپسول‌ها مستقیماً هوا را به داخل مخازن بفرستند. هر چند برخی از زیردریایی‌ها، این سیستم را برای مواقع اضطراری در نظر گرفته‌اند ولی از آنجا که کنترل آن آسان نیست، لذا برای کاربرد معمولی در مخازن از این سیستم استفاده نمی‌شود. معمولاً هوای درون کپسول‌ها به قسمت توزیع مرکزی هوا در داخل بدنه لوله‌کشی می‌شود بطوریکه از آنجا امکان هدایت هوا به درون مخازن، به صورت انتخابی و تحت کنترل وجود دارد. با این نوع جانمایی، این امکان برای کاربر وجود دارد که از بین آنها انتخاب کند که کدام کپسول کار کند و سایر کپسول‌ها بدون تغییر در همان فشار باقی بمانند. به همین دلیل، معمولاً از یک سیستم حلقه‌ای اصلی استفاده می‌شود، یعنی مداری از لوله‌کشی در امتداد دو طرف زیردریایی که به صورت عرضی در دو انتها و در وسط به یکدیگر وصل شده‌اند، که هر مجموعه‌ای از کپسول‌ها با هم در ارتباط هستند. این حلقه اصلی را می‌توان بوسیله شیرهایی تقسیم‌بندی کرد چنانکه مجموعه‌ای از کپسول‌ها را بتوان از مدار جدا کرد. بنابراین می‌توان به صورت انتخابی مجموعه‌ای از کپسول‌ها را شارژ کرد، بطوریکه ازسایر کپسول‌ها بتوان همزمان استفاده کرد (شکل ۴-۹).

سیستمی که در بالا تشریح شد، رایج‌ترین روش آرایش و جانمایی سیستم هوای فشرده است، ولی شامل مسیرهای پر پیچ و خم هوا، از کپسول‌ها در درون لوله‌ها و شیرها، قبل از رسیدن به مخازن می‌باشد که باعث از دست رفتن مقدار قابل ملاحظه فشار می‌شود. همچنین مشخص است که هوای فشرده یک سیال تراکم‌پذیر است و بنابراین در درون سیستم منبسط می‌شود که باعث افزایش سرعت سیال متناسب با پیشروی آن در سیستم می‌شود که همچنین می‌تواند باعث افت سریع دما در لوله‌کشی‌ها شود. یک سری محاسبات پیچیده نیاز است تا فشارهای درون سیستم و سرعت‌ها و دبی‌های جریان را از مخازن شناوری اصلی بتوان بدست آورد.



شکل (۴-۹) طرح کلی سیستم اصلی مدار هوای فشرده

این سیستم را می‌توان به کمک مسیرهای مستقیم به مخازن، ساده کرد و می‌توان بوسیله شیرهایی که از اتاق فرمان، به صورت الکتریکی کنترل می‌شوند، کارکرد مجموعه‌ای از کپسول‌ها را به صورت انتخابی تنظیم کرد. هر چند که بیشتر زیردریایی‌ها مایل به داشتن قابلیت احتیاطی[1] دستی هستند که برای هوای فشرده، مانند سیستم هیدرولیک، شامل نصب لوله‌های پر فشار به اتاق فرمان یا نزدیک آن می‌باشد. در اتاق فرمان مجموعه‌ای از شیرها وجود دارد که بتوان به طور دستی با باز کردن شیر، جریان هوا را به طور مستقیم به سمت مخازن انتخاب شده، هدایت کرد. این نحوه جانمایی مستلزم لوله‌کشی‌های طویل در سراسر زیردریایی است که مشکلات آب‌بندی جداره‌ها و سوراخ‌های ایجاد شده روی دیواره‌ها و اشغال فضای داخل زیردریایی را افزایش می‌دهد.

1- Fall back

همچنین در فضای ماشین‌آلات اصلی[1] کمپرسورهایی برای پر کردن دوباره مجموعه کپسول‌ها وجود دارد که به حلقه اصلی هوای فشرده مرتبط هستند. فرآیند فشرده کردن هوا به فشارهای بالا بطور اجتناب ناپذیری پر سروصدا می‌باشد و اقداماتی برای کاهش سروصدای آن صورت گرفته است مثلا کمپرسورها را از مجاورت با بدنه دور کرده و آن را عایق‌بندی صوتی می‌کنند. کمپرسورهای هوا باید بطور معمول در سطح آب کار کنند تا کپسول‌های هوا را که به هنگام آمدن زیردریایی به سطح آب خالی شده‌اند دوباره پر کنند. در برخی مواقع در شرایط غوطه‌وری در زیر آب نیز ممکن است هوای پرفشار استفاده شود. بدلیل سایر کاربردهای هوا در داخل شناور، تمایل بیشتری به نصب این سیستم در داخل بدنه وجود دارد که البته می‌تواند خطرناک هم باشد؛ چرا که فشار ایجاد شده، فشار جزئی گازهای سمی اتمسفر شامل اکسیژن و دی‌اکسید کربن را افزایش می‌دهد و همچنین می‌تواند منجر به شرایط خطرناکی در سطح آب به هنگام باز کردن دریچه‌ها گردد. این امر در زیردریایی‌های امروزی شناخته شده است که بدلیل بالا بودن فشار داخلی زیردریایی نسبت به بیرون، به هنگام آمدن به سطح باید قبل از باز نمودن درب اصلی زیردریایی، فشار هوای داخل و خارج را متوازن نمود تا از بروز حادثه و پرت شدن خدمه به بیرون زیردریایی جلوگیری شود.

انتخاب تعداد و اندازه کمپرسورهای هوا وابسته به دبی می‌باشد که برای شارژ دوباره هوا در کپسول‌ها نیاز می‌باشد. در زیردریایی‌های قدیمی که به طور متناوب به سطح آب می‌آمدند، لازم بود که هوا هر چه سریعتر وارد کپسول‌های هوا شود، لذا کمپرسورهای بسیار بزرگ مورد نیاز بود. در زیردریایی‌های مدرن که چندان به سطح آب نمی‌آیند، زمان بیشتری برای پر کردن کپسول‌ها نیز مورد قبول می‌باشد که می‌توانند با قرار گرفتن در عمق پریسکوپ و با استفاده از دکل تنفس (بدون آمدن به سطح آب) این کار را انجام دهند.

1- Main Machinery Space

سایر استفاده‌ها

۱۱-۹) مخازن دیگری هم در داخل زیردریایی وجود دارند مانند مخازن Q و D که می‌بایست به هنگام غوص کردن زیردریایی استفاده شوند. برای تخلیه آب از آنها لازم است که یک تهویه داخل بدنه به مخزن بسته شود و شیر مرتبط با آب دریا باز شود و پس از دمیدن هوای فشرده برای تخلیه آب به دریا استفاده شود. این دمیدن هوا باید به قدری کوتاه صورت گیرد که حباب‌های هوا از دریچه شیر فرار نکنند و باعث آشکار شدن حضور زیردریایی در زیر آب نگردد.

به محض اینکه مخزن تقریباً خالی شد، شیر بدنه بسته می‌شود و تهویه داخلی باز می‌شود تا اجازه ورود مجدد هوا به داخل زیردریایی را بدهد و این یکی از دلایل ایجاد هوای فشرده در داخل زیردریایی است. نحوهٔ درست قرار گرفتن و ترتیب عملکرد شیرها مهم است. در مواردی مشاهده شده است که در حین مرحله دمیدن هوا، باز شدن دریچه تهویه داخلی همزمان با باز شدن شیر روی بدنه که مرتبط با آب دریا است، اتفاق افتاده است و مقدار قابل ملاحظه‌ای از آب دریا به داخل زیردریایی وارد شده است.

اگر هوای فشرده برای عملکرد اضطراری کنترل جک‌های سطوح کنترلی استفاده شود، به لوله‌هایی با قطر داخلی بزرگتر، برای لوله‌کشی نیاز است؛ چنانکه بتوان دبی مورد نیاز سیستم اضطراری را با یک اهرم روی شیر کنترل، از اتاق فرمان تنظیم کرد. حتی در حین آبگرفتگی تصادفی در سطح آب یا نزدیک به سطح آب، می‌توان یک قسمت را عایق‌بندی کرد و در آن از دمیدن هوای نجات استفاده کرد تا جریان آب را با اعمال فشار معکوس که حدود ۲ اتمسفر می‌باشد، مسدود کند. این فرآیند، آبگرفتگی را متوقف کرده یا به تأخیر می‌اندازد تا اقدامات بعدی برای جلوگیری از آبگرفتگی انجام شود. در صورتیکه زیردریایی در عمق آب دچار آبگرفتگی شود، دمیدن هوای اضطراری چندان کارآمد نخواهد بود چرا که دیواره‌ها برای مقاومت در برابر فشار کامل آب دریا در عمق، طراحی نشده‌اند و همچنین از آنجا که هوای با فشار بسیار بالا

برای مقابله با فشار زیاد آب دریا لازم است، تمامی کپسول‌های هوا مصرف خواهند شد. کارهایی که به هنگام آبگرفتگی در عمق آب می‌توان انجام داد عبارتند از:

الف) استفاده از قدرت و نیروی بالابر دینامیکی تا هر چه سریعتر بتوان عمق را کاهش داد.

ب) دمیدن مخازن شناوری اصلی برای افزایش شناوری.

در شرایط حداکثر عمق، دبی تخلیه آب بدلیل وجود فشار بسیار زیاد آب دریا، بسیار کمتر می‌باشد. حجم کل هوا در داخل کپسول‌های هوای فشرده، اگر متناسب با فشار آب دریا در عمق منبسط شود، کمتر از ظرفیت مخازن شناوری اصلی خواهد بود و لذا قابلیت اندکی برای مواجهه با آبگرفتکی وجود خواهد داشت. اگر زیردریایی بتواند شروع به صعود و بالا آمدن کند، هوای وارد شده به مخازن شروع به منبسط شدن می‌کنند و مقابله با آبگرفتکی راحت‌تر خواهد شد. هدف از این کار، افزایش دبی تخلیه آب از مخازن شناوری اصلی نسبت به دبی آبگرفتگی می‌باشد، اما طبیعت پیچیده سیستم دمیدن هوای پرفشار[1]، کارآیی آن را از این نظر کاهش می‌دهد.

این بدلیل شرایط موجود ناشی از نصب سیستم مدار کوتاه[2] در برخی از زیردریایی‌ها می‌باشد تا هوا را از کپسول‌های هوا بطور مستقیم به مخازنی که ذخیره شده‌اند، خارج کند. بنابراین دبی دمیدن به اندازه قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. مراقبت ویژه‌ای باید در حین طراحی چنین سیستم‌هایی انجام شود تا از عملکرد ناخواسته آنها در شرایط عادی پرهیز شود. امکانات دیگری برای سیستم دمیدن اضطراری[3] در نظر گرفته شده است؛ مانند مولدهای گاز[4]

1- HP air blow system
2- Short circuit system
3- Emergency blow system
4 - gas generator:
دستگاه‌هايي هستند كه به كمك فرايندهاي شيميايي توليد گاز مي‌كنند تا فشار داخلي بخشي از زيردريايي را افزايش دهند و در مواقع اضطراري از وارد شدن آب دريا به داخل آن جلوگيري كنند.

که برای فراهم آوردن یک دمش سریع[1] برای آمدن زیردریایی به سطح آب در شرایط اضطراری، در نظر گرفته شده‌اند.

همچنین سیستم هوای فشرده، یک منبع اصلی برای هوای فشرده فراهم می‌کند تا سایر سیستم‌های کپسولی در داخل زیردریایی را به همراه شیرهای پنوماتیکی و مخازن سیستم هیدرولیک، پشتیبانی کند.

۹-۱۲) هوا در سیستم هوای فشرده، بخاطر روشی که در داخل بدنه ذخیره می‌گردد، چندان تمیز نیست و به نظر می‌رسد که نمی‌تواند یک هوای قابل تنفس در داخل زیردریایی فراهم کند. بنابراین در بسیاری از زیردریایی‌ها، یک سیستم هوای داخلی دیگر به نام سیستم سازنده هوای قابل تنفس (BIBS)[2] نصب می‌شود که هوای قابل تنفس را در کپسول‌های پر فشار ذخیره می‌کند. این کپسول‌ها به سیستم لوله‌کشی داخلی سراسر زیردریایی متصل می‌باشد و دارای رابط‌های ماسک تنفس می‌باشد تا در مواقع دود گرفتگی و آتش سوزی یا بروز یک حادثه، پرسنل بتوانند قبل از فرار، به این سیستم متصل شوند و تا زمانی که هوای اتمسفر قابل تنفس فراهم نشده است، از آن استفاده کنند. همچنین در زیردریایی‌های قدیمی، سیستم هوای فشرده به عنوان وسیله‌ای برای شلیک اژدرها استفاده شده است.

اژدری که بایست شلیک شود در داخل لوله اژدرافکن قرار می‌گیرد و درب انتهایی آن بسته و قفل می‌شود. سپس لوله اژدرافکن پر از آب می‌شود تا با فشار آب دریا سازگار شود و درب جلو به هنگام آمادگی برای شلیک باز می‌شود. با باز شدن شیر هوای فشرده در قسمت انتهایی لوله اژدر افکن، یک حباب هوا به داخل لوله تزریق می‌شود و به اژدر به سمت بیرون نیرو وارد می‌کند. مشکل این سیستم این است که مقدار هوای بکار گرفته شده باید به دقت کنترل شود

1- One shot blow
2- Built In Breathing System

چنانکه هوای اضافی به داخل لوله تزریق نگردد. اشکال این سیستم این است کـه حبـاب هـوای بکار رفته برای شلیک اژدر، آزاد شده و به سطح آب می‌آید و بدین ترتیب موقعیـت زیردریـایی را مشخص می‌کند.

چاره‌ای که می‌توان اندیشید، متوقف کردن دمیدن هوا قبل از شلیک کامل اژدر می‌باشـد و یک دریچه تهویه داخلی به یک مخزن ویژه باز شود، چنانکه آب دریا با فشار بـه داخـل مخـزن مکیده نشود. بدلیل مشکلات کنترلی، استفاده از این نوع شلیک سلاح بوسـیله جریـان مـستقیم هوا، در زیردریایی‌های مدرن استفاده نمی‌شود. سیستمی کـه امـروزه بـه صـورت رایـج اسـتفاده می‌شود، استفاده از آب دریا به صورت پر فشار برای شلیک اژدر از لوله اژدرافکن می‌باشـد کـه از هوای فشرده به صورت غیر مستقیم و از وسایلی چون جک یا هیدروموتور استفاده می‌کند. با این روش، اژدر به طور واقعی بوسیله یک جت آب شلیک می‌شود که خطر آزاد شدن حباب‌های هـوا به سطح آب را نیز به دنبال ندارد. همانطور که سابقاً گفته شد، طراحی به گونه‌ای انجام می‌شـده است که هوای فشرده به عنوان وسیله‌ای برای انتقال آب در داخل زیردریایی و تصحیح شیب یـا تخلیه آب از مخازن شیب استفاده شود. چنین سیستمی در حین کار، ایجـاد سروصـدا مـی‌کنـد و همچنین احتمال نفوذ و نشت هوا به بیرون دارد و لذا معمولاً در طراحی زیردریایی‌های مـدرن از آن استفاده نمی‌شود.

سیستم‌های توزیع آب

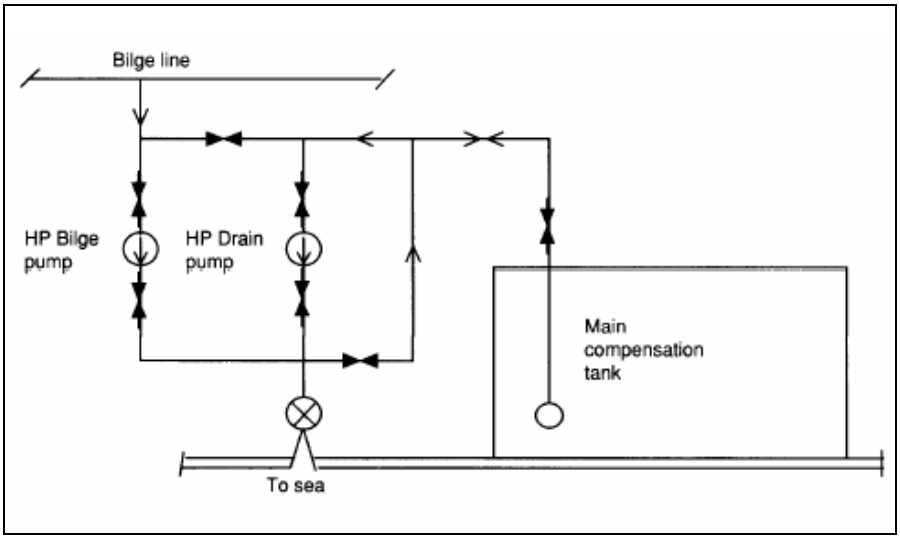
۱۳-۹) همانند سایر شناورها، زیردریایی نیز دارای چندین سیستم توزیع آب اسـت. یکـی از آنهـا، سیستم جابجایی آب جمع شده در قسمت کف[1] شناور و زه کشی آن به سمت یک مخـزن است که آماده تخلیه به دریا باشد و سیستم‌های دیگری برای تقـسیم آب شـور و شـیرین

1- Bilge

برای مصارف روزانه داخلی و برای تجهیزات خنک‌کاری، وجود دارد. اینها سیستم‌های کم فشار و فاقد جوانب ویژه ایمنی هستند و دارای مسیرهای لوله‌کشی به داخل و خارج زیردریایی نیستند.

برخی از سیستم‌های خنک‌کاری آب، مستقیماً با آب دریا در ارتباط هستند که فشار آب دریا را تحمل می‌کنند. تجمع این سیستم‌ها بسیار مهم است و پیش‌بینی وسایلی برای عایق‌بندی و آب‌بند کردن آنها در صورت بروز شکست، نیز بسیار مهم و حیاتی است. سیستم‌های تخصصی‌تر آب در زیردریایی شامل مخازن شیب و جبران می‌باشد که قبلاً توضیح داده شد. این فرآیند شامل جذب و تخلیه آب به منظور تصحیح تغییرات وزن، شناوری و یا حرکت آب بین سینه و پاشنه برای ایجاد یک بالانس طولی مناسب می‌باشد. در طراحی زیردریایی‌های مدرن، هر دو این سیستم‌ها به صورت مجزا بکار می‌روند و همچنین معمولاً یک پمپ پر فشار که قادر به تخلیه آب به دریا به منظور ایجاد شیب باشد، بکار می‌رود (شکل ۵-۹) و کاملاً جدای از این، یک پمپ شیب دهنده[1] به منظور ایجاد شیب طولی وجود دارد که آب را بین قسمت سینه و پاشنه زیردریایی جابجا می‌کند (شکل ۶-۹).

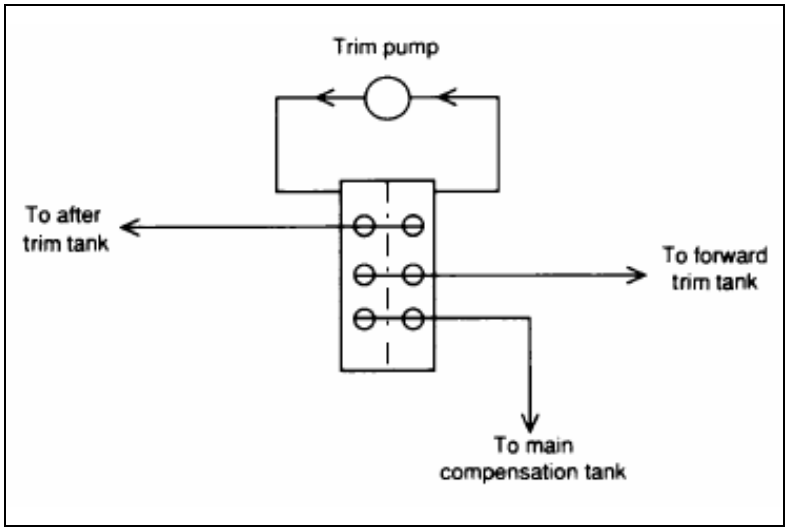
1- Trimming pump



شکل (۵–۹) طرح کلی سیستم‌های تنظیم تعادل با پمپ و شیرهای آبگیری

بعضاً طراحی‌ها به صورت ترکیبی از پمپ شیب و پمپ تعادل انجام می‌شود که بوسیله آن، آب به دریا تخلیه می‌شود یا آب بین مخازن بوسیله این پمپ و لوله‌کشی‌ها تقسیم می‌شود. اما این سیستم باعث افزایش میزان لوله‌کشی در داخل بدنه می‌گردد که در معرض فشار آب دریا هستند. هر چه عمق زیردریایی افزایش یابد، خطر بیشتری برای شکست سیستم لوله‌کشی وجود دارد که باعث آب گرفتگی سریع زیردریایی می‌شود، چرا که تحت فشار آب دریا قرار دارد. معمولاً در برخی از سیستم‌های جدید که برای سیستم جبران وزن[1] بکار می‌رود، از مسیرهای لوله‌کشی کوتاه برای آب پر فشار با یک پمپ پر فشار استفاده می‌شود و یک سیستم تقسیم آب کم فشار بطور جداگانه، بین مخازن شیب نصب می‌گردد که البته این سیستم نیز مستلزم مسیرهای لوله‌کشی بسیار می‌باشد.

1- Compensating system



شکل (۶-۹) طرح کلی سیستم تعادل داخلی (سه مخزنی)

در برخی از شناورها، سیستم هاور[1] نصب می‌شود که شامل حرکت آب به داخل و خارج زیردریایی، به منظور حفظ تعادل بین وزن و شناوری درحالت ایستایی و ثابت نگه داشتن زیردریایی، می‌باشد. چنین سیستم‌هایی معمولاً به صورت بسیار تخصصی هستند و می‌توانند برای جریان دبی‌های زیاد نیز بکار روند که نیازمند استفاده از پمپ‌های بزرگ می‌باشد. برای کاهش وظیفه پمپ، می‌توان از سیستم هوای فشرده استفاده کرد که دارای اختلاف فشار کمتری نسبت به سایر موارد می‌باشد.

1- Hovering system

این سیستم برای حفظ عمق زیردریایی و برقراری تعادل بین وزن و شناوری در حالت سکون در زیر آب استفاده می‌شود. این سیستم دارای یک پمپ با دبی بسیار بالا و لوله‌کشی و شیرآلات خاص و مخزن می‌باشد. وقتی وزن و شناوری با هم برابر باشند این پمپ به صورت هرز کار کرده و آب را از دریا گرفته و به دریا می‌دهد. وقتی نیاز به سنگین‌تر کردن زیردریایی باشد این پمپ، آب دریا را وارد مخزن می‌کند و اگر نیاز به سبکتر شدن زیردریایی باشد، این پمپ آب را از مخزن به دریا تخلیه می‌کند. بنابراین در حین تثبیت عمق در حالت سکون این پمپ همواره در حال کار کردن است. مزیت کارکرد پیوسته این پمپ این است که آبگیری یا تخلیه را در مواقع نیاز سریعا انجام می‌دهد. مخزن استفاده شده در این سیستم می‌تواند مخزن متغیر (جبران وزن) باشد. لازم به تذکر است که اگر زیردریایی در حال حرکت باشد، تثبیت عمق را با بالکها انجام می‌دهد و نیازی به کارکرد سیستم هاور ندارد.

۱۴-۹) سیستم‌های فاضلاب و خن، آبهای کثیف، روغن و سایر مواد زائد را از قسمت‌های مختلف زیردریایی در مخازنی جمع می‌کنند تا آنها را در فرصت مناسب تخلیه کنند؛ بطوریکه در موقع نبرد، تخلیه آن باعث تعیین موقعیت زیردریایی نشود و در شرایط صلح نیز بتوان مواد آلوده را در مناطق ممنوعه تخلیه نکرد. سابقاً در طراحی‌ها معمولاً از هوای فشرده برای تخلیه آنها استفاده می‌شد ولی اکنون از پمپ‌ها استفاده می‌شود. برای پمپ روغن و آب زائد کف می‌توان از پمپ‌های معمولی که برای سیستم تعادل بکار می‌رود استفاده کرد، ولی برای سیستم فاضلاب باید از نوع ویژه‌ای از پمپ استفاده کرد که قادر به حرکت دادن و پمپ کردن مواد جامد نیز باشد.

فراهم کردن آب شیرین و خالص در زیردریایی وابسته به سیستم تولید قدرت می‌باشد. اگر سیستم تولید قدرت از نوع دیزل الکتریک باشد، تولید قدرت محدود است و برای اکثر استفاده‌های زیردریایی از آب دریا استفاده می‌شود، البته در صورتیکه ضرورتی وجود نداشته باشد. آب شیرین معمولاً از سیستم تقطیر[1] در داخل زیردریایی استفاده می‌شود که محلول آب نمک در داخل یک مخزن قرار می‌گیرد و پس از تقطیر و تولید آب مقطر، مواد زائد باقی مانده به دریا تخلیه می‌شود.

در همه شناورها که دارای خدمه و پرسنل متعدد باشند، مقادیر قابل ملاحظه‌ای زباله و آشغال در داخل زیردریایی تولید می‌شود که باید از محیط زیردریایی دور شود. بیرون ریختن آشغال‌ها از زیردریایی، عملی نیست چرا که در حالت غوطه‌وری زیر آب، تخلیه زباله‌ها مشکل است، لذا باید سیستم مخصوصی به نام «دفع کننده زباله»[2] استفاده شود که در شرایط غوطه‌وری نیز کار کند. زباله‌ها جمع می‌شوند، بسته‌بندی می‌شوند و تا اندازه‌ای سنگین می‌شوند که در آب فرو روند و سپس از یک لوله اژدر کوچک به بیرون تخلیه می‌شوند چنانکه پس از آن در کف

1- Distilling system
2- Gash ejector

دریا قرار گیرند. این فرآیند و این وسیله اصولاً می‌تواند خطرناک باشد و باید یک سیستم قفل کننده میانی برای آن در نظر گرفت چرا که در اثر بروز اشتباه در باز کردن درب‌های بیرونی و درونی دفع کننده زباله[1] یا در اثر گیر کردن بسته زباله در دهانه خروجی لوله دفع کننده زیردریایی دچار آبگرفتگی می‌شود. وقتی درب ورودی داخلی باز می‌شود، آب دریا بسته زباله را به عقب می‌زند و آب در پی آن به سرعت وارد زیردریایی شده و آبگرفتگی اتفاق می‌افتد.

۹-۱۵) ماشین‌آلات داخل زیردریایی نیاز به خنک‌کاری دارند که مستقیماً بوسیله آب دریا یا بطور غیر مستقیم بوسیله کولرهای میانی[2] با سیستم خنک‌کاری آب خالص که تحت فشار به کولر میانی یا چگالنده[3] وارد می‌شوند، انجام می‌گردد. اگر سیستم پیشران از نوع توربین بخار باشد، بخشی از این لوله‌کشی‌ها بسیار بزرگ هستند که می‌تواند جزء سیستم‌های خطرناک زیردریایی باشد، چرا که دارای اجزاء پیچیده‌ای است و باید ماشین‌آلات را از بدنه فشار، عایق‌بندی کرد. اجزاء انعطاف‌پذیر مستعد شکستن هستند. در نتیجه، این سیستم باید دارای شیرهایی روی بدنه باشد که به سرعت و به طور مستقیم بسته شوند و بتوانند در صورت بروز شکست، آن را از آب دریا، مجزا و آب‌بند کنند. همچنین این مورد نیز حائز اهمیت است که در صورتیکه نشت یا نفوذ آب اتفاق افتاد، وقتی زیردریایی در عمق آب باشد، آب اسپری خواهد شد که باعث مه آلودگی شدید آن قسمت می‌شود و برای خدمه بسیار مشکل خواهد بود که محل شکست را پیدا کنند و آن را کنترل نمایند.

در برخی از زیردریایی‌ها تمهیدی صورت می‌گیرد تا همه شیرهای روی بدنه به منظور پرهیز از آبگرفتگی، بسته شوند تا از بروز یک واقعه تلخ و ناگوار جلوگیری شود. بستن تمام آب خنک‌کاری می‌تواند باعث بروز مشکلات بعدی شود و ماشین‌آلات را دچار اشکال کرده و در صورتی‌که از سیستم تولید قدرت الکتریکی نیز استفاده کند، امکان از کار افتادن آن نیز وجود

1- Rubbish ejector
2- Inter cooler
3- Condenser

دارد. لذا می‌توان گفت که این اقدام به عنوان آخرین دستور برای جلوگیری از آبگرفتگی فاجعه‌انگیز درون زیردریایی می‌باشد. در هر حال فرصت کافی برای نگهبان و مراقب سیستم‌ها وجود دارد که آنها را آب‌بندی کند، بدون اینکه نیاز به خاموش کردن و از کار انداختن همه چیز باشد.

با اشاره‌ای که به همه سیستم‌های موجود انجام شد، مشخص گردید که همگی هنوز نیازمند مقدار زیادی لوله‌کشی در سرتاسر زیردریایی و اشغال فضای داخلی هستند. علاوه بر آن، نیاز به تخلیه برخی مواد از سیستم‌ها به بیرون زیردریایی از طریق منافذ و سوراخ‌ها می‌باشد که روی بدنه فشار سوراخ‌ها و شیرهای بسیاری ایجاد می‌گردد. می‌توان گفت که تنها تعداد اندکی از سیستم‌ها هستند که نیازمند ارتباط داخل و خارج زیردریایی نباشند چرا که در این سیستم‌ها، مخازن ذخیره مرکزی در داخل بدنه قرار دارد و با آب موجود در آن می‌توان کاربردهای مختلفی را انجام داد. همچنین باید در نظر داشت که تا حد ممکن باید نیازهای خنک‌کاری بوسیله نصب کولرهای میانی در بیرون بدنه اصلی بر طرف شود، چنانکه فشار آب دریا در بیرون بدنه تحمل شود. حتی از خود بدنه هم می‌توان به عنوان یک سطح خنک کننده استفاده کرد چرا که این روش نیازی به سوراخ کردن بدنه ندارد. در این زمینه این یکی از مشخصه‌های عجیب زیردریایی‌ها به حساب می‌آید. بدنه به منظور حفظ دما و شرایط مناسب زندگی در داخل زیردریایی عایق‌بندی می‌شود در حالیکه در همان زمان، آب دریا به منظور خنک‌کاری تجهیزاتی که دمای آنها بالاتر است، وارد بدنه می‌گردد. سیستم‌هایی که آب دریا را وارد بدنه فشار می‌کنند، یکی از موارد تهدید کننده ایمنی زیردریایی هستند که باید در حین طراحی آن‌ها دقت کافی صورت گیرد و کیفیت آن‌ها به هنگام ساخت، کنترل شود تا قابلیت اعتماد و تعمیر و نگهداری آنها در همه حال مناسب و راحت باشد.

سیستم‌های کنترل هیدرواستاتیک

۱۶-۹) سیستم‌های کنترل هیدرواستاتیک و تجهیزات همراه آن، از روی یک صفحه کنترل[1] در اتاق فرمان هدایت می‌شوند که معمولاً «صفحه کنترل سیستم‌های بدنه»[2] نامیده می‌شود. چنانکه پرسنل می‌توانند همواره اکثر کارهای عملیاتی را که در این فصل توضیح داده شد را بوسیله کنترل از راه دور و به صورت متمرکز انجام دهند. به جزء برخی از عملکردهای ابتدایی که بدلیل مسائل ایمنی باید به صورت دستی، توسط پرسنل انجام شود، مانند پین زدن[3] دریچه‌های مخازن شناوری اصلی زیردریایی در سطح آب.

مهمترین عملکردهای هیدرواستاتیکی که باید توسط کنترل مرکزی انجام شود عبارتند از:

- دمیدن هوا یا آبگیری مخازن شناوری اصلی
- عملکرد مخازن شیب و جبران وزن
- توزیع مجدد محتویات مخازن WRT , AIV و TOT
- دمیدن هوا و آبگیری مخازن D
- دمیدن هوا یا آبگیری مخازن Q

بررسی و بازرسی دقیق، بویژه در مورد مخازنی که دارای اندازه‌گیر[4] هستند، یک مشخصه مهم «صفحه کنترل سیستم‌های بدنه» می‌باشد.

1- Control panel
2- Hull Systems Control Panel
3 - Cottering
4- Gauge

سیستم‌های کنترل محیط زیردریایی

۱۷-۹) برای مدت زمان زیادی، زیردریایی از محیط معمولی اتمسفر جدا می‌شود و خدمه داخل زیردریایی باید محیط بسته زیردریایی را تحمل کنند. هوای اتمسفر داخل زیردریایی در حین غوص زیردریایی، رو به زوال می‌رود. پرسنل داخل زیردریایی نیز قسمتی از اکسیژن هوای داخل بدنه را مصرف می‌کنند؛ در همین زمان آنها در حال افزودن دی‌اکسید کربن به هوا هستند، چنانکه اگر اقدامی برای جبران آن صورت نگیرد، پس از مدتی، دیگر اکسیژن کافی برای تنفس وجود نخواهد داشت و وجود دی‌اکسید کربن نیز خطرناک می‌باشد.

مشکل دیگری که می‌تواند بحرانی‌تر وخطرناکتر باشد، همانطور که در قسمت هوای فشرده بیان شد، افزایش فشار اتمسفر می‌باشد که می‌تواند فشار جزئی گازهای مخلوط در اتمسفر را افزایش دهد و تحت شرایط خاص، مرگ‌آور و کشنده می‌شود. نه تنها تنفس خدمه، هوای قابل تنفس داخل بدنه را کاهش می‌دهد، بلکه بسیاری از ماشین‌آلات و تجهیزات و وسایل کاربردی، باعث پخش شدن آلودگی در محیط داخلی زیردریایی می‌شوند که نمی‌توانند از این فضا خارج شوند. در این فرآیند امکان تولید مونوکسید کربن وجود دارد و چندین نوع هیدروکربن که از روغنکاری و روغن دیزل بوجود می‌آید که می‌توانند تصفیه شوند و به محیط برگردند. در حالیکه سایر تجهیزات به خودی خود خطرناک نیستند، اما می‌توانند باعث تولید گازهای خطرناک، ناشی از جرقه زدن و آتش، شوند. استفاده از برخی حل کننده‌ها بویژه استفاده از چسب‌های مخصوص، می‌تواند باعث آلودگی خطرناک محیط گردد.

به عنوان یک عملکرد احتیاطی، محدودیت‌هایی در استفاده از بسیاری مواد در ساخت زیردریایی اعمال می‌گردد و همچنین از موادی که باعث افزایش چنین آلودگی‌هایی شود، پرهیز می‌شود. آشپزی در داخل زیردریایی باعث آزاد شدن مواد روغنی در محیط می‌گردد که بوی نامساعدی نیز به دنبال دارد. توالت‌ها و حمام‌ها نیز می‌توانند باعث بروز بوی نامطبوع شوند که

نمی‌توان همانند کشتی‌ها، آنها را به بیرون هدایت کرد. برای مواجهه با تمام این خطرات و عوامل نامطلوب، یک سیستم کنترل دقیق محیط داخلی زیردریایی در داخل بدنه نصب می‌شود که گازهای قابل تنفس مورد نیاز را فراهم می‌کند و تا حد ممکن با جابجایی هوای آلوده، از تشکیل آلودگی در محیط داخلی زیردریایی جلوگیری می‌کند.

۱۸-۹) روش اولیه برای کنترل محیط، جایگزین کردن اکسیژن مصرف شده و انتقال دادن دی‌اکسید کربن ایجاد شده از تنفس خدمه می‌باشد. جهت تهیه اکسیژن برای محیط می‌توان از وسایلی که مستقیماً اکسیژن را به صورت گاز در کپسول‌های تحت فشار ذخیره می‌کنند، استفاده کرد. یک روش دیگر ذخیره اکسیژن، استفاده از اکسیژن موجود در نمک‌ها می‌باشد که رایج‌ترین آنها «شمع اکسیژن»[1] نامیده می‌شود. این یک مخلوطی از آهن و کلرات است که در معرض حرارت قرار گرفته است و به شکل «کلرید فریک» درآمده و اکسیژن آزاد می‌کند. حتی اگر به عنوان یک منبع اصلی تولید اکسیژن استفاده نشود، این شمع اکسیژن را می‌توان برای استفاده‌های اضطراری بکار برد و محل ذخیره آنها را در قسمت نجات خدمه، طراحی کرد.

در سیستم‌های رانش مستقل از هوا، به مقدار بیشتری از ذخیره اکسیژن نیاز است که می‌تواند به شکل مخازن اکسیژن مایع یا پر اکسید هیدروژن[2] باشد. نیاز به اکسیژن محیط، در این شرایط، می‌تواند به نیاز ذخیره اکسیژن بیافزاید. همانطور که می‌توان دید، هیچیک از این روش‌های ذخیره اکسیژن نمی‌تواند جایگزین هوای آزاد اتمسفر به هنگام گشت‌زنی در سطح آب شود، لذا می‌توان گفت ذخیره اکسیژن محدود به مدت زمان گشت‌زنی در زیر آب می‌گردد. هر چند که زیردریایی با خود هوای فشرده حمل می‌کند، ولی این هوا کیفیت و قابلیت لازم برای

1- Oxygen candle
2- High test peroxide

تنفس را ندارد و همانطور که توضیح داده شد، در برخی از شناورها در طراحی ظرفیت سیستم کپسول هوا، برای مواقع اضطراری، ظرفیت مناسب در نظر گرفته شده است.

در زیردریایی‌های اتمی که قدرت الکتریکی محدودیتی ندارد، می‌توان از یک منبع اکسیژن همیشگی بوسیله تجهیزات الکترولیز برای تولید اکسیژن از آب دریا، استفاده کرد. باید دقت بسیاری در نصب و تعمیر و نگهداری چنین سیستم‌هایی صورت گیرد چرا که در آنها هیدروژن نیز تولید می‌شود که از طریق لوله‌کشی‌های کاملاً بی عیب، به بیرون انتقال می‌یابد. مشکل دیگری که بوجود می‌آید این است که خروج این گازها چگونه انجام شود تا محل زیردریایی ردیابی نشود.

۱۹-۹) فراهم کردن پیوسته اکسیژن، برای تنفس خدمه بسیار مهم است و همچنین برای میزان دی‌اکسید کربن نیز در محیط داخل زیردریایی محدودیت‌هایی وجود دارد چرا که مقدار بیشتر از حد استاندارد آن می‌تواند باعث سردرد، احساس سستی و حتی در صورتیکه فشار جزئی آن از حد معمول بیشتر شود، باعث از دست رفتن هوشیاری خدمه شود. برخی از سیستم‌های شیمیایی برای از بین بردن دی‌اکسید کربن وجود دارد که در آن دی‌اکسید کربن با هوا ترکیب شده و منجر به تشکیل کربنات‌ها می‌شود که یک مخلوط جامد حاصل می‌گردد. ظرفیت این سیستم‌ها به اندازه‌ای است که بتوانند بطور پیوسته دی‌اکسید کربن را از محیط بگیرند. اگر قدرت الکتریکی به اندازه کافی فراهم باشد، این امکان وجود دارد که بطور پیوسته دی‌اکسید کربن را از هوا جدا و تبدیل کرد که این کار بوسیله وسایلی انجام می‌شود که «تقلیل دهنده دی‌اکسید کربن»[1] نامیده می‌شوند. در این وسیله از واکنش شیمیایی با «متیل اتانول آمین» (MEA)[2] استفاده می‌شود که CO_2 را در دمای بالاتر جذب می‌کند و می‌توان با سرد کردن، مجدداً آنرا احیاء نمود.

1- CO_2 Scrubber
2- Methyl Ethanol Amine

با عبور دادن جریان هوا از سیستم تهویه به داخل یک «تقلیل دهنده دی‌اکسید کربن» که «متیل اتانول آمین» مستقیماً و به حالت اسپری و به صورت عرضی به جریان هوا وارد می‌شود، دی‌اکسید کربن محیط جذب می‌گردد. سپس در یک مرحله مجزای دیگر سیکل، «آمین» سرد می‌شود تا دی‌اکسید کربن جذب شده آزاد شود و سپس به بیرون پمپ شود.

هدف اصلی از انجام این فرآیند، جلوگیری از افزایش آلودگی در محیط است، هر چند که برخی از ماشین‌آلات همواره باعث ورود آلودگی به محیط می‌شوند. در نتیجه لازم است که از تجهیزاتی در داخل زیردریایی استفاده شود که همواره آلودگی محیط را کنترل کنند و وسایلی برای تبدیل و انتقال آلودگی وجود داشته باشد. هوای آلوده را می‌توان در یک مشعل کاتالیست[1] گرما داد تا هیدروکربن‌ها و مونواکسید کربن به CO_2 تجزیه شود و سپس توسط سیستم تقلیل دهنده دی‌اکسید کربن، تبدیل و منتقل شود. دودها و بوهای بد را می‌توان به کمک فیلترهای انفعالی و الکترواستاتیک[2] و فیلترهای زغال چوب فعال شده (کربن فعال)، تصفیه کرد و از بین برد.

۲۰-۹) برای ایجاد یک محیط قابل تحمل و مناسب، نیاز به فراهم آوردن شرایط مناسب زندگی با کنترل درجه حرارت و رطوبت می‌باشد. منابع حرارتی غیر ضروری بسیاری در داخل بدنه ایجاد می‌گردد که بعضاً توسط خدمه صورت می‌گیرد و همچنین برخی منابع خنک‌کاری، که بخصوص در قسمت‌هایی که بدنه به اندازه کافی عایق‌کاری نشده است بوجود می‌آید. همچنین تمایل به افزایش رطوبت محیط متناسب با رطوبت موجود در هوای آزاد، وجود دارد که به هنگام آشپزی و سایر فعالیت‌های درون زیردریایی [مانند استحمام]، رطوبت محیط داخل افزایش می‌یابد. همچنین باید یک سیستم تهویه مناسب در داخل زیردریایی نصب شود تا گردش هوای مناسب را در تمامی نقاط داخل بدنه ایجاد کند و از محبوس

1- Catalytic
2- Electrostatic filter

شدن هوای نامناسب در یک گوشه جلوگیری شود. به سادگی نمی‌توان طراحی یک زیردریایی را به صورت جدید انجام داد بدون اینکه فکری برای تهیه و فراهم آوردن هوای مورد نیاز آن بشود.

سیستم تهویه نیازمند هوای کافی در یک دمای مناسب می‌باشد تا شرایط مناسب را حفظ کند و رطوبت نسبی در حدود ۵۰ درصد ایجاد کند. به همین دلیل، تمام هوای داخل زیردریایی باید در یک دمای مناسب در داخل بدنه گردش کند که سیستم تهویه ابتدا هوا را سرد می‌کند تا رطوبت آن انتقال یابد و سپس آن را گرم می‌کند تا به دمای مناسب رسیده و به محیط باز گردد. هر چند این یک فرآیندی است که باعث هدر رفتن انرژی می‌شود، اما وجود آن برای ایجاد رطوبت مناسب در محیط، اجتناب ناپذیر است. سیستم تهویه و نحوه عملکرد آن یکی از مهمترین مباحث علم ترمودینامیک است. یکی از مشکلات سیستم تهویه، یکسان نبودن فعالیت و تعداد خدمه در طول ۲۴ ساعت می‌باشد چرا که بعضی نگهبان هستند و برخی در حال خواب، غذا خوردن یا کار کردن هستند. ضمن داشتن یک طراحی خوب، ایجاد یک سیستم تهویه متعادل مناسب در سرتاسر بدنه مشکل است. سیستم تهویه مستلزم فراهم آوردن کانال‌کشی بسیار بزرگ و لوله‌کشی‌های تقسیم هوا می‌باشد و همچنین نیازمند سوراخ‌های بزرگ در دیواره‌های عرضی می‌باشد تا هوا را به راحتی در بین قسمت‌های مختلف تقسیم کند، ولی این کار آب‌بندی داخل زیردریایی را تهدید می‌کند.

به هنگام طراحی اولیه، باید حجم و وزن مناسب را برای نصب تجهیزات و کانال‌کشی سیستم تهویه در نظر گرفت.

اطفاء حریق

۲۱-۹) آتش همواره یکی از خطراتی است که در هر شناوری امکان وقوع آن وجود دارد، بویژه در زیردریایی در حالت غوطه‌وری زیر آب، این خطر بسیار جدی است. اقدامات احتیاطی،

اصولی برای حذف یا کاهش خطر آتش سوزی با استفاده از مواد غیر قابل اشتعال در داخل زیردریایی صورت می‌گیرد و همچنین از موادی استفاده می‌شود که در صورت حرارت دیدن، گازهای سمی از خود تولید نکنند.

به هنگام وقوع آتش سوزی، اولین اقدام، محدود کردن و جلوگیری از سرایت آتش و سپس خاموش کردن آن است. استفاده از آب برای خاموش کردن آتش در داخل زیردریایی، یک راه حل قابل قبولی نمی‌باشد و بنابراین سیستم‌های ویژه‌ای نیاز است. آتش در داخل زیردریایی، به سرعت اکسیژن داخل بدنه را مصرف می‌کند و باعث دودگرفتگی و آلودگی محیط داخل زیردریایی می‌شود و ممکن است در این شرایط نامساعد، خدمه نیز نتوانند خود را نجات دهند. این یکی از دلایل فراهم کردن سیستم تنفس در داخل کپسول‌های هوا (BIBS) می‌باشد. خدمه با استفاده از ماسک‌های صورت، می‌توانند بوسیله رابط‌هایی به سیستم لوله‌کشی هوای تنفسی که در فواصل مشخص در هر قسمت زیردریایی وجود دارند، متصل شوند. هر نفر می‌تواند با اتصال به نزدیکترین رابط، به این سیستم لوله‌کشی متصل شود. بدین ترتیب، خدمه می‌توانند یک اقدام اضطراری انجام دهند و بدون اینکه دود گرفتگی مشکلی برای آنها ایجاد کند، منتظر رسیدن زیردریایی به سطح آب شوند.

تمهیدات نجات خدمه

۲۲-۹) آتش سوزی داخل زیردریایی می‌تواند خطر بزرگی برای غرق شدن زیردریایی باشد. اگر زیردریایی کنترل شناوری را در عمق آب از دست بدهد، در برخی مواقع ممکن است به پائین‌تر از عمق فروپاشی بدنه[1] برود که به ناچار زیردریایی و خدمه آن از بین خواهند رفت، هر چند که در آبراهه‌های کم عمق که دارای عمق کمتر از عمق فروپاشی هستند، خطر

1- Collapse depth

آبگرفتگی ناشی از تصادم وجود دارد و بنابراین زیردریایی قادر به آمدن به سطح آب نخواهد بود، درحالیکه هنوز همه یا بسیاری از پرسنل زیردریایی زنده هستند. خوشبختانه امکان بروز حوادث فاجعه بار در چنین زیردریایی‌هایی بسیار کم است اما افراد داخل زیردریایی در یک فضای بسته محبوس شده‌اند که اگر به موقع نجات نیابند، از بین خواهند رفت.

یک مبحث مهم در طراحی یک زیردریایی، ایجاد دیواره‌های عرضی بسیار قوی است تا یک قسمت را کاملاً از سایر قسمت‌ها جدا کنند و بدین ترتیب، امکان آبگرفتگی سرتاسر زیردریایی بر اثر صدمه دیدگی یک قسمت، محدود می‌گردد. با فراهم کردن دیواره‌های عرضی مستحکم، حداقل این امکان وجود دارد که پرسنل این قسمت بیشتر از پرسنل سایر قسمت‌های دیگر زنده بمانند. معمولاً یک یا دو دیواره نجات[1] در نظر گرفته می‌شود تا قسمت جلو یا عقب زیردریایی سالم بماند و پرسنل آن قسمت تا مدت زمانی زنده بمانند.

فرض کنیم که بدنه فشار سالم باشد و یک بخش از زیردریایی دچار آبگرفتگی شده باشد. در این شرایط باید چاره‌ای برای آن اندیشید که محل نجات خدمه در کجای زیردریایی و چگونه باشد تا بیشترین شانس نجات را داشته باشند.

پرسنل، نیازمند هوای قابل تنفس هستند اما نباید متصل به سیستم تهویه و کنترل هوای محیط در شرایط معمولی زیردریایی باشند تا در صورت از دست رفتن سیستم قدرت، امکان نجات و تامین هوای تنفس اضطراری از بین نرود. به همین دلیل، وسایل موضعی در هر دو سر زیردریایی به صورت «مولد اکسیژن» و سیستم‌های جذب کننده شیمیایی دی‌اکسید کربن نصب شده‌اند. برای مدت زمان اندکی سیستم سازنده هوای قابل تنفس (BIBS) می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد، هر چند که این وسیله باید برای آخرین مرحلهٔ نجات و هنگامیکه همه تلاش‌ها برای فرار از درون زیردریایی صورت گرفته باشد، استفاده شود. در هر حال این خطر

1- Escape bulkhead

باقی می‌ماند که کنترل هوای محیط ممکن است ضعیف باشد و از این جهت خدمه دچار محدودیت جدی شوند. حتی اگر تغییرات محیط درون زیردریایی نسبتاً قابل تحمل باشد، پائین بودن درجه حرارت محیط بیرون ممکن است تا حدودی تحمل آن را برای خدمه مشکل کند. اولین اقدام اساسی برای نجات خدمه زیردریایی این است که کشتی‌های نجات، خود را به محلی که زیردریایی در کف دریا نشسته، برسانند و به انجام مراحل نجات خدمه کمک کنند. معمولاً زیردریایی‌ها را با بویه‌های[1] اضطراری و امکان فرستادن علامت و سیگنال به منظور مشخص کردن محل زیردریایی صدمه دیده و کمک به ردیابی محل آن، تجهیز می‌کنند.

پس از اینکه عملیات نجات تا حدودی خوب انجام شد، مشکل بعدی این است که چگونه می‌توان پرسنل را از زیردریایی بیرون آورد و به سطح آب انتقال داد. اصولاً دو انتخاب وجود دارد؛ یکی فراهم آوردن یک وسیله نقلیه نجات زیرآبی که بتواند به عمق آب در محل به گل نشستن زیردریایی برود و خود را به طور ویژه‌ای که طراحی شده است، به دریچه ورودی زیردریایی بچسباند و پرسنل از داخل زیردریایی به درون آن سوار و در مدت زمان اندکی خود را به سطح آب برسانند. این روش نجات، این امکان را فراهم می‌کند که زیردریایی در هر عمقی به گل نشسته باشد، عملیات نجات انجام گیرد. همچنین این روش نجات مستلزم تعبیه دریچه‌های مناسب نجات روی زیردریایی با امکان قفل شدن مناسب وسیله نقلیه نجات، روی آن می‌باشد.

قفل شدن وسیله نقلیه نجات به دریچه زیردریایی ممکن است کار چندان ساده‌ای نباشد چرا که زیردریایی ممکن است به صورت مایل یا قائم در کف دریا نشسته باشد. همچنین ممکن است حرکات جداگانه، پیچ و رول ایجاد شود که لازم است در این زوایا نیز وسیله نقلیه نجات سالم بماند و صدمه نبیند. نیروی دریایی آمریکا وسیله نقلیه نجات زیرآبی در آب عمیق (DSRV)[2] که دارای قابلیت‌های کافی است را در اختیار دارد. اگر این وسیله نقلیه نجات در

1- Buoy
2- Deep Submergence Rescue Vehicle

دسترس نباشد، تنها یک گزینه دیگر برای نجات خدمه زیردریـایی، از طریـق دریچـه‌هـا و بـالا کشیدن آن به سطح آب می‌باشد.

در عمق‌های کمتر از ۱۰۰ فوت این امکان وجود دارد که فضای قـسمت نجـات را بوسـیله آبگیری آن قسمت، با فشار آب دریا متعادل کرد و خدمه قادر بـه بـاز کـردن دریچـه بـوده و بـا استفاده از ژاکت شناور ب‌توانند خود را به سطح آب برسانند. اخیراً برای نجات خدمه در این حالت از کپسول‌های حاوی اکسیژن برای تنفس هر یک از خدمـه اسـتفاده شـده اسـت. البتـه تـنفس اکسیژن با فشار بیشتر از ۲ اتمسفر، مرگ‌آور است. به همین دلیل بیشتر افرادی که تلاش کردند از این روش برای نجات خدمه زیردریایی «دتیس»[1] استفاده کنند، کشته شدند. از آنجا که فـشار عمق یکصد فوت در حدود ۴ اتمسفر است، یک حباب هوا در ریه[2]، در این فشار می‌تواند به مقدار قابل ملاحظه‌ای تا رسیدن به سطح آب، منبسط گردد.

روش‌های صعود آزاد برای سالها، روش رایج آموزش نجات خدمهٔ زیردریایی‌ها بـوده اسـت، ولی هم اکنون با استفاده از «سیستم روپوش»[3]، این روش پیشرفت کرده است؛ چنانکه هر عـضو پرسنل یک روپوش را بر تن می‌کند و تا رسیدن فرد به سطح آب، در یک کیسه هوا قرار دارد. در این روش هنوز به متعادل کردن کاهش فشار هوا متناسب با بالا آمـدن آن بوسـیله بیـرون دادن هوا از سوراخ آن، نیاز می‌باشد. در عمق یکصد فوت، این امکان برای خدمه وجود دارد کـه بـرای مدت زمان اندکی تحت فشار قرار گیرند، در حالیکه هیچیک از مشکلاتی که برای غواصان پیش می‌آید بروز ننماید، مانند مشکل Bends که اصطلاحاً به تشکیل حبـاب‌هـای گـازی در مـسیر جریان خون در فشارهای بالا گفته می‌شود که متناسب با بالا آمدن غواص، منبسط شده و جلوی گردش جریان خون را مسدود می‌کند.

1- Thetis
2- Lungful
3- Hood system

خطر مسدود شدن شریان خون در عمق‌های بیش از یکصد فوت یک خطر جدی برای خدمه می‌باشد و لازم است که خدمه از قرار گرفتن در فشاری بیش از این حد پرهیز کنند. برای این روش‌های نجات، یک قسمت ویژه‌ای را روی برجک به عنوان قسمت نجات، در نظر می‌گیرند که دارای یک درب بالایی و یک درب پائینی است تا همزمان سه نفر بتوانند در آن جای گیرند. وقتی درب پائینی بسته می‌شود، این قسمت به سرعت دچار آب گرفتگی می‌گردد و سپس می‌توان درب بالایی را به راحتی باز کرد (چرا که فشار دو طرف درب بالایی تقریباً یکسان شده است) و خدمه می‌توانند به سطح آب فرار کنند در حالیکه در کمترین زمان ممکن تحت فشار آب بوده‌اند.

باید به این مورد نیز توجه داشت که وسایل نقلیه نجات باید دارای تجهیزات کافی برای درمان خدمه‌ای که تحت فشار آب قرار گرفته‌اند، باشد. قرار گرفتن قسمت نجات روی برجک، زمان نجات خدمه را به حداقل می‌رساند. در برخی از زیردریایی‌ها یک کپسول نجات، که در پشت برجک زیردریایی حمل می‌شود، نصب گردیده است. این یک کپسول ویژه است که بسیار محکم و غیر قابل نفوذ است که خدمه پس از قرار گرفتن در آن، به سطح آب می‌روند و مشابه قایق نجات برای زیر آب است، اما معایبی در طراحی زیردریایی ایجاد می‌کند چرا که مستلزم افزودن ملحقات دیگری به بدنه می‌باشد و بنابراین این روش برای شناورهایی که دارای خدمه اندکی هستند، قابل اجراء می‌باشد.

می‌توان مشاهده کرد که فراهم آوردن قسمت‌هایی برای نجات، فضای قابل ملاحظه‌ای از فضای داخل زیردریایی را اشغال می‌کند. در مراحل اولیه طراحی باید روش نجات خدمه مشخص و ملاحظات لازم به هنگام تعیین اندازه زیردریایی اعمال گردد.

سیستم‌های الکتریکی

۲۳-۹) مشخص است که کارکرد یک زیردریایی بدون قدرت الکتریکی، امکان نخواهد داشت. در واقع میزان پشتیبانی قدرت یک زیردریایی، مشخص کننده قابلیت‌های آن، هم در مورد عملکرد ایمن آن و هم در مورد قابلیت‌های خوب نبرد می‌باشد. در این بخش ما به سیستم‌های الکتریکی نصب شده در زیردریایی‌های معمولی می‌پردازیم. این سیستم در زیردریایی‌های هسته‌ای هم شبیه سایر زیردریایی‌ها می‌باشد، البته دارای مقیاس بزرگتری جدای از تأسیسات باطری‌ها است.

اصولاً قدرت الکتریکی یک ضرورت است، چنانکه برای کارکرد یا حداقل کنترل سیستم‌های زیر، بدان نیاز می‌باشد:

پیشرانش: سیستم پیشران اصلی به همراه قدرت مورد نیاز برای سیستم روغنکاری، هیدرولیک، خنک‌کاری آب و هوای فشرده.

سیستم‌های کنترل: قدرت مورد نیاز، پمپ‌ها، انتقال و سوئیچ‌ها.

مصارف داخلی: تجهیزات معمول خانگی، روشنایی، گرمایش و تهویه.

دریانوردی و ارتباطات، سلاح‌ها و حسگرها، عملکردهای اضطراری: پشتیبانی قدرت، پردازش علائم و سیگنال‌ها و خنک‌کاری.

تجهیزات سیستم:

۲۴-۹) از مهمترین نیازهای یک زیردریایی، سیستم تولید قدرت آن است که همانند اهمیت آن در کشتی‌ها، نقش حیاتی در آن دارد و در واقع سایر سیستم‌ها نیز بر مبنای این سیستم می‌توانند کار کنند. مثالهایی از نیازهای اصلی که باید فراهم شود عبارتند از:

- داشتن ظرفیت لازم برای برآوردن نیازها

- داشتن کیفیت و کارآیی مورد نیاز
- داشتن ضریب اطمینان و قابلیت اعتماد مناسب
- جانمایی مناسب برای محافظت مناسب از سیستم‌ها
- قابلیت تغییر کاربری سیستم متناسب با نیاز

اجزاء سیستم‌های اصلی:

اجزاء اصلی سیستم قدرت عبارتند از:

- ژنراتورهای اصلی
- محل‌های ذخیره انرژی الکتریکی مانند باتری‌ها
- تابلوهای اصلی قدرت[1]
- تابلوهای اصلی توزیع قدرت
- تجهیزات محافظتی سیستم
- نظارت و مراقبت سیستم.

علاوه بر آن، تجهیزات تبدیل قدرت نیز معمولاً مورد نیاز است تا بتوان تغییرات سرعت – قدرت را که مورد نیاز است، اعمال کرد.

مشخصه‌های ویژه زیردریایی‌ها:

۲۵–۹) ماشین‌آلات پیشران بیشتر زیردریایی‌های معمولی امروزی، نیازمند ظرفیت ذخیره قدرت الکتریکی هستند که معمولاً بوسیله باطری‌های اسید– سربی بدست می‌آید. برای بدست آوردن یک ولتاژ کاری مناسب، تعداد زیادی از باطری‌ها به صورت سری مورد نیاز هستند (۲۲۰ سری برای رسیدن به ولتاژ اسمی ۴۴۰ ولت) و برای بدست آوردن قابلیت بالای

1- Main Switchgear

ذخیره انرژی (دوام زیاد بدون نیاز به شارژ مجدد)، باطری‌ها به صورت موازی به هم وصل می‌شوند یا یک باطری ثانوی دیگر فراهم می‌شود یا هر دو ممکن است بکار گرفته شوند. این تأسیسات بدین معنی خواهد بود که باطری‌های اصلی بر طراحی زیردریایی تأثیر خواهند گذاشت. سیستم‌های موتورهای الکتریکی معمولی را می‌توان فوراً طراحی کرد و ساخت، بطوریکه عملکرد آنها بسیار کم سروصداتر از سیستم‌های ماشین‌آلات AC هستند، هر چند که ممکن است در آینده، دیگر از آنها استفاده نشود.

باطری‌های اصلی، قدرت DC را فراهم می‌کنند و آرام و بی سروصدا کار کردن آنها از نیازهای اولیه هر زیردریایی است. لذا این را می‌توان درک کرد که چرا تا کنون در سراسر دنیا، از سیستم پیشران بر مبنای جریان DC استفاده شده است. البته ماشین‌آلات DC و تجهیزات کنترلی همراه آن معمولاً بزرگ و سنگین هستند، که این عامل یعنی حجم و وزن بحرانی، یکی از مهمترین مشکلات طراحی در هر شناور دریایی بخصوص در زیردریایی‌ها می‌باشد. همچنین تجهیزات معمولی DC نسبتاً گران هستند. شاید به این دلایل است که طرحهای پیشران جریان AC اندک اندک برای استفاده در کشتی‌ها بخصوص کشتی‌های تفریحی مورد توجه قرار گرفته است و این سیستم، مراحل پیشرفت خود را طی می‌کند تا آنجا که بتوان از آن در رانش زیردریایی‌ها نیز استفاده کرد. استفاده از موتور دیزل به عنوان محرک اصلی در زیردریایی، سالها رایج بوده است و پیش‌بینی می‌شود برای آینده نزدیک نیز همچنان از آن استفاده شود، هر چند ممکن است پیشرفت فناوری، تغییراتی را در آن صورت دهد. در حال حاضر روی روش‌های تولید قدرت مستقل از هوا یا روش‌های تولید مستقیم انرژی الکتریکی؛ مانند پیل سوختی[1] تحقیق می‌شود.

1- Fuel Cell

مشخصه‌های اصلی سیستم پیشران

۲۶-۹) محدودیت فضا، اجازه استفاده از سیستم‌های پیشران اصلی را به صورت دوتایی در زیردریایی نمی‌دهد.

با استفاده از سیستم‌های پیشران الکتریکی بر مبنای جریان DC، چندان دور از انتظار نیست که تأثیرات قابل ملاحظه‌ای در طراحی تولید کننده‌های اصلی قدرت و سیستم توزیع قدرت صورت گیرد. در واقع نمی‌توان طراحی سیستم قدرت را بدون توجه همزمان به سیستم پیشران انجام داد.

ژنراتورهای اصلی

دسته‌بندی ژنراتورهای اصلی، بستگی به عوامل ذیل دارد:

- تعداد ژنراتورها
- قدرت مورد نیاز سیستم رانش هنگامیکه از دیزل - الکتریک استفاده می‌کند
- باطری‌های مورد نیاز که برای شارژ کردن استفاده می‌شوند
- بار الکتریکی مورد نیاز برای سلاحها و مصارف داخلی
- پیش‌بینی ویژه برای رشد مصارف.

معمولاً دو یا سه ژنراتور اصلی نصب می‌شود که با در نظر گرفتن فضای مورد نیاز برای آنها، در صورت خرابی یکی از ژنراتورها، می‌توان از سایر ژنراتورها استفاده کرد. در زیردریایی‌های مدرن، نیاز به قدرت الکتریکی می‌تواند بسیار زیاد باشد، حتی بیش از یک مگاوات. برای برآوردن این نیاز تنها می‌توان با دو ژنراتور آن را تأمین کرد. استفاده از دیزل سرعت پائین در زیردریایی‌های مدرن، مستلزم استفاده از دیزل - ژنراتورهای بسیار بزرگ است و بنابراین نیاز به استفاده از دیزل‌های سرعت بالا می‌باشد. برای پرهیز از استفاده از جعبه‌دنده (برای به حداقل رسانیدن نسبت وزن به حجم) لازم است که ژنراتور هماهنگ با سرعت دیزل دوران کند. سرعت

اسمی آن ممکن است حدود rpm ۱۲۰۰ باشد. اصولاً با توجه به محـدودیت قـدرت خروجـی از یک ژنراتور معمولی DC و سرعت کارکرد آن، رابطه زیر بیان می‌گردد:

$$\text{قدرت (KW)} \times \text{سرعت (rpm)} < ۱۵ \times ۱۰^{۶}$$

که می‌تواند منجر به راه‌کارهای مختلفی شود. خوشبختانه یک راه حل مناسـب وجـود دارد که از ژنراتور AC استفاده شود که دارای آن محدودیت‌ها در قدرت خروجی نمی‌باشد و همچنین جریان را می‌توان به DC تغییر داد. یک مزیت دیگر، استفاده از جریـان AC در کـاهش وزن و فضای اشغال شده می‌باشد چرا که ماشین‌آلات جریان AC به مقدار قابل ملاحظه‌ای سبک‌تر و کوچکتر از تجهیزات معمولی جریان DC می‌باشند، حتی اگر بر اثر استفاده از یکسو کننده[1]، وزن افزایش پیدا کند و دیودهای یکسو کننده را می‌توان روی سازه قسمت ماشین‌آلات نصب کرد تـا فضای کمتری را اشغال کند. دو نگرانی در روش جریان یکسو شده AC وجود دارد کـه بایـد در اولین مراحل طراحی زیردریایی، مد نظر قرار گیرد. اول اینکه ایجاد یک سازه که صدای ناشـی از ژنراتورها را انتقال ندهد. ژنراتورهای AC باعث بروز طیف‌هـایی از فرکـانس‌هـا مـی‌شـوند کـه مربوط به سرعت آن می‌باشد که ثابت است. این مشخصه ایجـاب مـی‌کنـد کـه یـک جانمـایی پیچیده در نظر گرفته شود. مشخصه دوم مربوط به کیفیت تولید جریان DC است که به مصرف کننده‌های مختلف در مدار تزریق می‌شود. موجهای کوچک[2] موجود در جریان AC یکسو شـده، بسیار بالاتر از حدی است که در خروجی ژنراتور DC معمولی وجود دارد. این مورد ممکن اسـت اشکالی ایجاد نکند ولی به دلیل فراوانی تجهیزات الکترونیکی در سیستم‌های مدرن تولید قـدرت و پیشرانش، طراح باید روی کیفیت خوب این تجهیزات تأکید کند.

بزرگی موج ولتاژ را می‌توان با بکار گرفتن یک ژنراتور با تعداد زیادی از فازهـا کـاهش داد، یعنی استفاده از ۱۲ فاز بجای ۳ فاز معمولی، تا راه حل مناسبی برای حل این مشکل باشد.

1- Rectifier
2- Ripple

موتورهای پیشران

۲۷-۹) پیشران‌های مدرن کم سروصدا، در rpm کمتری نسبت به سایر پیشران‌ها، با همان تولید قدرت، کار می‌کنند. طراحی موتورهای DC معمولی که در حداکثر rpm مورد نیاز کار می‌کنند، بعید است که مشکلی را در سطوح قدرتی مورد نیاز ایجاد کنند، هر چند که دو موتور روی هر شفت نیز ممکن است نیاز باشد. اگر چه، یک مشکل مهم مربوط به محدوده rpm (و قدرت خروجی) مورد نیاز موتورهای پیشران می‌باشد، این محدوده بسیار وسیع و از صفر تا حداکثر مقدار می‌باشد. این مشکل هنگامی افزایش پیدا می‌کند که نیاز به استفاده از باطری‌ها هم به حساب آورده شود. این بخاطر محدوده وسیع ولتاژ باطری‌ها می‌باشد که بستگی به حالت شارژ دارد.

راه حل این مشکل اصولاً استفاده از چندین باطری و دو موتور یا آرمیچر[1] روی هر شفت، می‌باشد. چندین باطری را ممکن است به صورت موازی یا سری به هم وصل کرد و بدین ترتیب ولتاژ خروجی را دو برابر کرد و rpm شفت و قدرت خروجی را افزایش داد. همچنین چندین آرمیچر را می‌توان به صورت موازی یا سری به هم وصل کرد که منجر به تغییرات نسبت قدرت به rpm خروجی شفت می‌شود. حالات مختلفی را از نحوه اتصال باطری - آرمیچر می‌توان داشت که بوسیله وسایل کنترل کننده موتورها انجام می‌شود. مشکل دیگری که در مورد موتورها وجود دارد مربوط به موضوع تأمین قدرت بالا در یک زمان کوتاه است. برای کارکرد بلند مدت، قدرت خروجی موتورها با ژنراتورهای پشتیبانی آنها هماهنگ خواهد شد (این دامنه ممتد موتور می‌باشد).

مشکل دیگر شاید هنگامی باشد که موتورها بوسیله باطری‌ها پشتیبانی می‌شوند که قدرت موجود ممکن است خیلی بیشتر از قدرت ناشی از ژنراتورهای اصلی باشد. این خصوصیت

1- Armature

می‌تواند برای رسیدن به سرعت‌های بالا استفاده شود و یک مزیت ایجاد کند. البته آن موتورها برای قدرت خروجی بیشتر طراحی شده‌اند. این نحوه عملکرد، تنها در مدت زمان اندک قابل حصول است؛ سرانجام باطری‌ها به حداقل مقدار شارژ خود با یک نرخ تخلیه شارژ سریع می‌رسند. در نتیجه نیازی نیست که خود موتورها برای فراهم کردن چنین قدرت پیوسته بالایی طراحی شوند چراکه باعث بسیار بزرگ، سنگین و گران شدن آنها خواهد شد. تنها لازم است که آنها بتوانند بیشترین قدرت را در مدت زمان کوتاه فراهم کنند که در عمل بوسیله موتور و تجهیزات کنترل درجه حرارت، محدود می‌شوند.

باطری‌های اصلی

۲۸-۹) ما می‌خواهیم ویژگی‌های کلیدی باطری اصلی را بررسی کنیم. فناوری باطری همواره در حال پیشرفت است تا بتوان با محرک الکتریکی، اتومبیل‌ها را به حرکت در آورد، ولی هنوز این فناوری به حدی پیشرفت نکرده است که بتوان به صورت رضایتبخش، از آن در زیردریایی‌ها هم استفاده کرد. باطری اسید- سرب که به خوبی بررسی و آزمایش شده، پیشرفته‌ترین طرح و دارای مناسب‌ترین بازدهی در مدل‌های اخیر بوده است که در سراسر دنیا از آن برای ذخیره انرژی الکتریکی مورد نیاز عملکرد زیردریایی استفاده می‌شود. باطری اصلی قلب سیستم قدرت زیردریایی است و بویژه برای ایمنی و مؤثر بودن کارکرد و همچنین برای موارد ویژه، دارای اهمیت حیاتی است.

عامل مهم در طراحی تأسیسات باطری، مشکل اتصال حدود ۲۵۰ باطری به صورت ترکیبی از اتصال سری و موازی یا حداقل اتصال به صورت سری می‌باشد. مشکل دیگر، میدان‌های مغناطیسی بزرگ ناشی از جریان قوی DC است که باطری می‌تواند تولید کند و یک پدیده بسیار نامطلوب برای زیردریایی‌های نظامی محسوب می‌شود.

مشکل دیگری که وجود دارد، ایمنی پرسنلی می‌باشد که در قسمت باطری‌خانه کار می‌کنند؛ چرا که ولتاژ مرگ‌آوری بین دو نقطه معین در داخل فضای ارتباطی بین دو باطری وجود دارد. بنابراین کار طراح، تولید نوعی روکش مسی باطری می‌باشد، بطوریکه میدان‌های مغناطیسی قوی را به حداقل برساند (با بکار گرفتن روشهای توازن) و خطرات الکتریکی را با حفظ پتانسیل بالای بین دو نقطه در داخل روکش مسی، به حداقل برساند، بطوریکه حداکثر انتشار آن به گونه‌ای باشد که برای انسان قابل تحمل باشد. خود باطری‌ها نیازمند قرار گرفتن در درون یک چاهک هستند تا از پرتاب شدن یک باطری شکسته جلوگیری شود. امکانات پمپ شدن مناسب و سطح مناسب چاهک نیز باید فراهم شود. امکان ورود خدمه به قسمت باطری‌ها، مهم و حیاتی است. باطری‌ها نیازمند این هستند که به طور متناوب با آب مقطر پر شوند، لذا منبعی بدین منظور در قسمت باطری‌ها مورد نیاز است. همچنین لازم است که وزن مخصوص باطری‌ها با استفاده از هیدرومتر[1] کنترل شود و باید جای کافی در بالای باطری‌ها وجود داشته باشد تا بررسی لازم انجام شده و در صورت نیاز این مایع به هر باطری تزریق شود. این مورد، مستلزم اختصاص فضای بیشتر می‌باشد؛ لذا با پیشرفت‌های اخیر، از سیستم مونیتورینگ استفاده می‌شود تا مشکل اصلی سیستم، که ایمنی آن است رفع شود. باید در نظر داشت که گاز هیدروژن در فضای محدود باطری‌خانه، وجود دارد. برای جابجا کردن و خارج کردن هیدروژن، معمولاً آرایشی از دمنده‌ها باید در نظر گرفته شود. این دمنده‌ها از قدرت خود باطری‌ها استفاده می‌کنند تا هر زمان که نیاز باشد، امکان استفاده وجود داشته باشد.

در جزئیات طراحی قسمت مخازن باطری باید مراقب بود تا به تدریج توده‌های هیدروژن در آن شکل نگیرند. امکاناتی باید فراهم شود تا یک باطری خراب از باطری‌ها را بدون جابجایی

1- Hydrometer

فیزیکی آن بتوان جدا کرد. قسمت باطری‌ها با امکانات بالابری سنگین[1] مجهز شده است تا امکان جابجایی ایمن باطری از مخزن، در امتداد مسیر فراهم شده، وجود داشته باشد.

باطری‌ها نیاز بسیار زیادی به خنک‌کاری (توسط آب) به منظور پرهیز از گرم شدن بیش از حد در شرایط تخلیه (دشارژ) باطری، دارند. همچنین به امکانات «اغتشاش الکترولیت باطری» (حبابهای هوا) نیاز است تا بازدهی باطری را به حداکثر برسانند. مخازن باطری معمولاً در کف بدنه فشار نصب می‌شوند و بنابراین باید جانمایی به گونه‌ای صورت گیرد که در صورت باز بودن دریچه قسمت باطری‌ها، از ریختن آب یا ذرات جامد به درون باطری‌ها جلوگیری شود.

سیستم‌های اصلی مولد قدرت

۲۹-۹) هم اکنون به مواردی که برای تولید قدرت و برآوردن خدماتی که برای کارکرد آن در زیردریایی نیاز است، می‌پردازیم که با بررسی نیازها شروع شده و مستلزم مشخص کردن مشکلات و مسائل موجود است.

به دلایلی که قبلاً گفته شد، امروزه در بسیاری از زیردریایی‌ها از قدرت زیادی که توسط جریان DC تولید می‌شود، استفاده می‌گردد که این قدرت حاصل از DC باید برای برآوردن نیازهای خدماتی مختلف، مناسب و کافی باشد. ابتدا ماشین‌آلات فرعی پیشرانش را در نظر می‌گیریم که بیشتر آنها تجهیزات مکانیکی هستند که بوسیله موتور به حرکت در می‌آیند مانند پمپ‌های روغنکاری، آب شیرین، آب شور، هیدرولیک و خنک‌کاری. اکثر راه حل‌ها در طراحی، استفاده از موتورهای استاندارد DC و تغذیه مستقیم آنها از سیستم قدرت اصلی می‌باشد. باید در ذهن داشت که ماشین‌های معمولی DC با محدوده ولتاژ بالا در یک باطری، به مقدار قابل

1- Heavy lifting

ملاحظه‌ای سنگین‌تر، حجیم‌تر و گران‌تر از تجهیزات مشابه صنعتی خود است. همچنین، الزامات مراقبت و نگهداری از ماشین‌های DC بیشتر از موتورهای القایی[1] است که این نکته را در شناورهای مدرن باید در ذهن داشت که تعداد خدمه مورد نیاز به حداقل تعداد خود، کاهش خواهد یافت. چنین ملاحظاتی، به مقدار زیادی در تجهیزات کنترل موتور (استارت کننده‌ها) اعمال می‌شود.

مشخص است که طراح سیستم باید بررسی کند که آیا مزایای هزینه – اندازه – وزن در استفاده از موتور القایی تا حد امکان وجود دارد یا خیر. برای رسیدن به حداکثر مزایا در هزینه، نیاز به استفاده از ماشین‌های استاندارد می‌باشد، یعنی ماشین‌هایی که برای ۴۴۰ ولت و ۶۰ هرتز طراحی شده‌اند. البته ملاحظات خاصی در استانداردهای نظامی اعمال می‌شود (مثلاً مقاومت در برابر شوک، ضربه و کاهش صدا). مشخص است که موتورهای AC نمی‌توانند مستقیماً از باطری‌ها تغذیه کنند و بنابراین نوعی از تبدیل قدرت مورد نیاز است که ممکن است به شکل یک تبدیل دوران محور یا تبدیل الکترونیکی[2] باشد. البته مشخصه‌های نوع تبدیل انتخاب شده، باید متناسب با بررسی امکانات موجود انجام گیرد. برای یک زیردریایی با یک اندازه معمولی که تعداد بسیار زیادی از موتورها در آن نصب شده است، استفاده از موتورهای AC بسیار جالب خواهد بود و همین مورد درباره شناورهای کوچکتر نیز صادق است.

ممکن است این امکان وجود نداشته باشد یا محتاطانه نباشد که از موتورهای AC برای همه خدمات استفاده کرد و در هر سیستم، باید قابلیت اطمینان آن مورد بررسی قرار گیرد. این مورد بویژه در مورد سیستم‌هایی که خدمه در کنار آن است، سیستم سلاح یا ایمنی زیردریایی، اهمیت خاصی دارد. برای انجام خدمات از ماشین‌آلات مختلف DC که مستقیماً به باطری‌ها متصل می‌شوند، ممکن است استفاده شود.

1- Induction motor
2- Thyristor

تجهیزات سلاح و ناوبری معمولاً نیازمند جریان الکتریکی ۴۰۰ هرتز می‌باشند. در این موارد، تجهیزات تبدیل به صورت محور دورانی یا الکترونیکی نیاز خواهد بود. هر چند مجموع قدرت مورد نیاز ۴۰۰ هرتز که ممکن است رایج‌ترین نوع باشد، مشکلات تبدیل را آسان می‌کند.

تجهیزات کنترل، نمایش دهنده‌های تصویری و دیگر نشان دهنده‌ها اغلب با جریان مستقیم ۲۴ ولت کار می‌کنند.

احتیاجات قدرت معمولاً اندک است و اگر تولید جریان AC موجود باشد، استفاده از واحدهای یکسو کننده مبدل استاندارد می‌تواند راحت‌تر باشد و اگر قدرت AC موجود نباشد، می‌توان از مبدل‌های دورانی جریان DC استفاده کرد. اصولاً انتخاب‌های بیشتری را می‌توان با اتصال تعداد مناسبی از سلول‌های باطری اصلی بدست آورد. هر چند این روش دارای معایبی از نظر وجود حالت ناپایدار شارژ شدن در بین سلول‌های باطری اصلی است که اصولاً برای طول عمر باطری مضر است. مدارهای کنترلی و دوربین مدار بسته که برای ایمنی شناور و قسمت سلاح ضروری است، دارای یک عدد یا بیشتر باطری‌های کوچک اضطراری است.

مشخصات تأسیسات سیستم‌ها

۳۰-۹) قدرت بدست آمده از ژنراتورهای اصلی، مبدل‌ها و باطری‌های اصلی مستقیماً به تابلو تقسیم می‌رود تا پس از آن بین مصرف کننده‌ها توزیع شود. معمولاً امکانات نمایشی مناسبی برای نمایش چگونگی توزیع قدرت بر روی تابلوهای توزیع و کنترل قدرت نصب می‌شوند.

لازم است ژنراتورها و باطری اصلی در مقابل اتصال کوتاه محافظت شوند برای مثال؛ در مقابل بار بیش از حد که بوسیله قطع کننده‌های مناسب مدار ژنراتور، این کار انجام می‌شود. بنابراین، هیچ محافظتی بین ترمینال‌های ژنراتور و این قطع کننده مدار وجود ندارد. به این دلیل، لازم است که فاصله بین ژنراتورها و تابلوهای تقسیم آنها کمتر شود تا آسیب‌پذیری کابل‌های

رابط کاهش یابد. این مورد برای تابلو تقسیم باطری اصلی، دارای اهمیت ویـژه‌ای اسـت؛ چراکـه اگر جریان به اشتباه منتقل شود، امکان خطر جدی وجود دارد و ممکن است جریان وارد شده بـه دستگاه، بیش از جریان مورد نیاز آن باشد.

جریان مورد نیاز از یک باطری ممکن است بسیار بزرگ و بـیش از حـد ظرفیـت و تحمـل کابل‌های انتقال قدرت الکتریکی باشد و ممکن است نیاز بـه اسـتفاده از رابـط مـسی بـه شـکل شمش‌های مسی جامد باشد که بدلیل مسئله انتقال حرارت به شکل ورقه ورقه درست می‌شـوند. بکار گرفتن چنین شمش‌های طویلی که دارای مسیرهای پیچ‌درپیچ در سرتاسر زیردریایی اسـت، نمی‌تواند پیشنهاد عملی و خوبی باشد و بنابراین نیاز به محلـی در قـسمت بـاطری، بـرای تـابلو تقسیم باطری می‌باشد. اگر دو تابلو تقسیم باطری نصب گردد، این مشکل حل خواهـد شـد کـه اغلب به منظور افزایش قابلیت و کارآیی سیستم، چنین اقداماتی انجام می‌شود.

به منظور کمک به افزایش پشتیبانی قدرت الکتریکی (در شرایطی که سیستم سالم باشد) و با توجه به خطرات اختلاط آب و الکتریسیته (در روش خنک‌کاری با آب)، خنک‌کاری تابلو تقسیم معمولاً با هوا و بوسیله تهویه‌های طبیعی انجام می‌گردد. این روش مستلزم این است کـه هـوا از پائین محفظه تابلو تقسیم وارد شود و از قسمت بالای آن خارج شود. آنهـا بـه گونـه‌ای طراحـی شده‌اند که در برابر ورود آب و یک درجه حرارت مشخص، مقاومت کنند که این کار اغلب بوسیله قطع کننده‌های جریان صورت می‌گیرد که محدودیت‌هایی را به دنبال دارد. اصولاً لوله‌های حامل آب یا هر سیال نامطلوب دیگر (بخصوص سیالات تحت فشار) نباید در ناحیه تابلو تقسیم گردش کند و باید مراقبت شدیدی از این فضای احاطه شده در زیردریایی، صورت گیرد.

نکته دیگر مربوط به تأسیسات کابل‌های انتقال قدرت اصلی مـی‌شـود. کابـل‌هـای انتقـال قدرت زیاد را نمی‌توان براحتی جابجا کرد و این ممکن است باعث قرار گرفتن چنـدین کابـل در اندازه‌های مطلوب شود که به صورت موازی در کنار هم قرار گرفته‌اند. هر چند که این روش بـه

کار تأسیساتی کمک می‌کند، ولی تبعاتی نیز به دنبال دارد که باید از آنها اطلاع داشت که عبارتند از:

- افزایش هزینه و وزن
- افزایش تعداد کابل‌های ورودی به محل تابلوهای تقسیم که باعث افزایش اندازه و وزن آنها می‌شود
- افزایش خطر صدمه دیدن کابل بر اثر گرمایش بیش از حد کابل.

اگر سیستم توزیع الکتریکی، شامل هم سیستم جریان مستقیم و هم متناوب باشد، کابل‌های همراه آن باید به صورت جدا از هم نگه داشته شوند چنانکه اثرات ناشی از اتفاقات و حوادث، مانند آتش، انفجار یا قطع شدگی جریان را کاهش دهد. کابل‌های پشتیبانی اصلی از ژنراتورهای مجزا، باید به همین دلایل، تا حد ممکن در منتهی‌الیه چپ و راست زیردریایی نصب شوند.

محل نصب تابلوهای تقسیم برای انجام کارهای تعمیر و نگهداری مانند کارهای تأسیساتی، در دسترس باشند. کابل‌های قدرت اصلی باید از قسمت عقب وارد تابلو تقسیم شود و دارای فضای کافی برای بررسی مشکلات کابل‌ها باشد. اگر صفحه تقسیم در یک محل دارای ارتعاش و ضربه قرار گیرد، باید فاصله کافی بین این واحد، دیواره‌ها، سقف و تأسیسات مجاور وجود داشته باشد تا به هنگام انجام خدمات و سرویس، امکان حرکت کردن در آنجا وجود داشته باشد.

یکی دیگر از جوانب طراحی، تهویه قسمت تابلو تقسیم است. حرارت تولید شده در داخل تابلو تقسیم مانند یک منبع حرارتی عمل می‌کند، لذا در اینجا نیز باید یک سیستم تهویه نصب گردد. نکته ظریف دیگری که وجود دارد این است که سنگین‌ترین وظیفه تابلوهای تقسیم (و تولید بیشترین حرارت) ممکن است در شرایط شکست یا صدمه دیدگی اتفاق بیافتد که به احتمال قوی در این شرایط، تهویه‌های استاندارد معمولی قادر به کارکرد مناسب نخواهند بود. لذا

جزئیات طراحی سیستم‌های پشتیبانی مختلف و فرآیندهای عملیاتی همراه آن باید به گونه‌ای انجام گیرد تا از تولید حرارت بیش از حد به هنگام صدمه دیدگی تابلو تقسیم، پرهیز شود.

به منظور کاهش آسیب‌پذیری سیستم‌ها، معمولاً آنها را تا حد امکان دور از قسمت سینه و پاشنه و دور از کنار بدنه سمت چپ و راست زیردریایی نصب می‌کنند. به دلیل محدودیت‌های فضای موجود در داخل زیردریایی، شاید نتوان مقایسه و انطباقی با نصب سیستم‌ها در کشتی‌ها انجام داد. با این حال، باید توجه خاصی برای بدست آوردن بهترین آرایش و معماری تابلوهای توزیع متمرکز شود. همچنین کابل‌ها هم جزئی از توزیع کننده‌ها می‌باشند که نباید در همان مسیر کابل‌ها قرار گیرند.

تجهیزات کنترلی برای ژنراتورهای اصلی و موتورها باید تا حد ممکن نزدیک به دستگاه‌های همراه آن باشد تا از امکان آسیب‌پذیری کابل‌ها و تبعات بعدی آن جلوگیری شود. این ملاحظات بویژه برای موتورها بسیار مهم است، چرا که در صورت از دست رفتن کنترل جریان، برای مثال ممکن است باعث بروز خطر جدی شرایط سرعت بیش از حد شود.

وجود دیواره‌های ضد فشار (مقاوم در برابر فشار) باعث بروز مشکلات ویژه در نصب برای کابل‌های الکتریکی از هر نوع می‌شود که باید از این دیواره‌ها عبور کنند. اگرچه سیستم‌های مناسب آب‌بندی کابل‌های الکتریکی به هنگام عبور از دیواره‌های عرضی وجود دارد، اما مشکلی که پیش خواهد آمد درباره امکان تعمیر، آزمایش یا جابجائی تأسیسات است. گرفتاری اصلی زمانی است که تعداد زیادی مجرای آب‌بند شده در یک سطح بسیار محدود بر روی دیواره‌های عرضی ایجاد می‌شود.

ملاحظات تعمیر و نگهداری تجهیزات

۳۱-۹) در نقشه هر یک از بخش‌ها، باید ملاحظات تعمیر و نگهداری هم در نظر گرفته شود. برای مثال باید فضای کافی برای جابجا نمودن یا انتقال برخی تجهیزات که باید تعمیر آن در بیرون زیردریایی صورت پذیرد وجود داشته باشد.

برای برآوردن این نیاز، احتیاج به امکانات بالابری مناسب می‌باشد؛ همانند جرثقیل‌هایی که برای گذاشتن موقتی اجزاء بزرگ و سنگین بکار می‌روند. به عنوان مثال، مبدل حرارتی یک دستگاه بزرگ، قطعه‌ای می‌باشد که دارای اندازه قابل ملاحظه‌ای بوده و باید در بالای دستگاه اصلی نصب شود. ممکن است محدودیت ارتفاع سقف از امکان جابجائی آن در راستای عمودی جلوگیری کند و بنابراین باید طراحی طوری صورت گیرد که امکان جابجائی جانبی آن وجود داشته باشد یا در صورت امکان آن را به دو جزء تقسیم کرد و هر یک را از یک گوشه بیرون کشید.

آهنربای دستگاه‌های جریان DC را معمولاً به گونه‌ای طراحی می‌کنند که از وسط به دو نیم شود تا امکان دسترسی به آرمیچر برای تعمیر، جابجایی یا احیاء آن وجود داشته باشد. همچنین آهنربای آن ممکن است به صورت یک تکه طراحی و ساخته شده باشد تا بتوان آن را در راستای محور طولی سُر داد تا در مجاورت آرمیچر قرار گیرد. این روش ممکن است برای دستگاه‌های AC نیز بکار رود که استاتور به صورت یک قطعه واحد بوده که رُوتور را احاطه کرده است. مشخص است که در این قسمت باید فضای کافی در نظر گرفته شود و جزئیات نقشه این قسمت، باید طوری باشد که نیاز به کمترین کار تعمیراتی داشته باشد.

تابلوهای قدرت اصلی نیز احتمالاً از مشکلات قابلیت تعمیر در امان نخواهند بود. بهترین بهره‌برداری از فضای موجود ممکن است مستلزم این باشد که قطع کننده‌های مدار[1] در داخل تابلو تقسیم نصب شود. قطع کننده‌های بزرگ مدار اصلی بسیار سنگین و حجیم هستند و به

1- Circuit breaker

بالابرهای سنگین جهت جابجائی آن نیاز است؛ با این وجود، فراهم آوردن امکانات مناسب به دلیل محدودیت و شلوغ بودن آن قسمت، چندان ساده و بی دردسر نخواهد بود.

۳۲-۹) بیشترین هزینه کار تعمیر و نگهداری، مربوط به نگهداری موتورهای دیزل می‌باشد. محدودیت فضای داخل زیردریایی ممکن است اجازه نصب آنها را در دو قسمت مجزا ندهد. دیزل‌های مدرن دارای بازدهی بالا برای کاربرد در زیردریایی باید حتماً سوپرشارژ[1] شوند. موتورهای سوپرشارژ شده بسیار پر سروصدا هستند که ممکن است باعث صدمه دیدن شنوایی خدمه شود. این موضوع باعث بروز مشکلاتی برای نگهداری و نگهبانی پرسنل از آن می‌شود که نیاز است هر یک از آنها در قسمت‌های مجزا و فقط با یک موتور قرار گیرند.

محافظ‌های معمولی گوش، برای خطر صدای زیاد با هر محدوده فرکانسی مناسب نیستند. در واقع این مشکل، سبب افزایش استفاده از سیستم‌های نظارت هوشمند می‌شود.

نکته دیگری که باید مورد توجه قرار گیرد نگهداری یا تعمیر بدون از کار انداختن شناور می‌باشد که مستلزم انعطاف‌پذیری و طراحی دقیق و بدون زواید شبکه پشتیبانی الکتریکی می‌باشد. هدف این است که برای مثال، کار تعمیراتی روی دستگاه اصلی یا تابلو تقسیم انجام شود، بدون اینکه نیاز به از کار انداختن کامل شناور باشد.

جمع‌بندی

۳۳-۹) همانطوری که در ابتدای این فصل بیان کردیم، هر چقدر که سیستم‌هایی برای کارکرد زیردریایی مهمتر باشند، نمی‌توان آنها را در مراحل معمولی طراحی، طراحی کرد. در طراحی این سیستم‌ها باید از مهندسان متخصص در مراحل بعدی طراحی استفاده کرد.

1- Supercharge

آنچه در اصول طراحی مهم است این است که تعیین اندازه شناور، مشخص کننده امکان نصب این سیستم‌ها می‌باشد. این امکان به صورت تابعی از وزن و فضا می‌باشد که با یکدیگر مشخص کننده بازدهی مورد نیاز سیستم‌های داخلی هستند که باید توسط طراحان سیستم‌ها، روی آنها کار شود.

اگر یک نمودار وجود داشته باشد که مشخص کننده شکل‌های سیستم‌های اصلی باشد، برای اصول طراحی و امکان‌سنجی مفید خواهد بود، چرا که انتخاب نوع سیستم را مشخص کرده و محل نصب قسمت‌های اصلی و مسیر سیستم‌ها را تعیین می‌کند. اگر برای مثال در اصول طراحی با یک سیستم گسترده توزیع قدرت هیدرولیک یا یک سیستم کنترل شیب با مخزن تعادل سخت و مخازن شیب نرم، مواجه شویم، در این صورت اساس کار باید متناسب با این شرایط باشد نه برای سیستم‌های مختلفی که طراح متخصص ممکن است انتخاب کند.

وابستگی هر یک از سیستم‌ها به یکدیگر کاملاً پیچیده است و ممکن است مستلزم اطلاعاتی باشد که در مراحل اولیه تعیین اندازه سیستم ناشناخته بوده است. خواهیم دید که هر یک از سیستم‌ها تا حدودی وابسته به اندازه زیردریایی می‌باشد و این ارتباط بعضاً به صورت صریح یا ضمنی، بستگی به نیازها دارد. مثلاً سیستم تهویه باید تمام حجم داخل زیردریایی را گرم کند در حالیکه سیستم هیدرولیک باید فراهم کننده قدرت مورد نیاز کنترل باشد که مرتبط با اندازه زیردریایی است. بنابراین در مراحل اولیه تعیین اندازه زیردریایی باید حجمی را برای سیستم‌ها و ماشین‌آلات کمکی به صورت درصدی از حجم بدنه در نظر گرفت، یعنی:

$$\text{(حجم مورد نیاز سیستم‌ها و ماشین‌های فرعی)} = \text{(حجم بدنه)} \times K$$

مقدار K یک فاکتور نسبی است که می‌توان آن را برای طرحهای موجود تعیین کرد و اگر تغییراتی در طراحی سیستم‌های آن اعمال شده باشد، می‌توان آن را برای طرحهای جدید اصلاح کرد.

فصل دهم

« ملاحظات ساخت و هزینه‌ها در طراحی زیردریایی »

مقدمه:

۱-۱۰) در فصول قبل تمرکز بیشتر روی ملاحظات فنی طراحی زیردریایی برای رسیدن به کارآیی مطلوب آن بود. در اولین فصل، خاطر نشان کردیم که طراح در همه حال باید به هزینه قابل قبول تولید زیردریایی برای خریدار و میزان پول موجود توجه داشته باشد و همچنین به امکاناتی که برای جزئیات طراحی و ساخت موجود است. هر چند که بازدهی خوب وسیله ساخته شده یک عامل مهم است، ولی نیازمند هزینه‌ها و امکانات بیشتری خواهد بود، لذا در بیشتر طراحی‌ها نیاز به برقراری تعادل دقیق بین کارآیی، هزینه و امکانات می‌باشد.

باید مقایسه‌ای بین هزینه ساخت یک زیردریایی با یک کشتی تجاری هم اندازه آن، انجام داد. از نظر تناژ جابجایی، اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین قیمت بر واحد تن این دو سازه دریایی وجود دارد که اختلاف بین این دو نیازمند توضیح است. یک روش بیان اختلاف، اندازه زیردریایی و کشتی تجاری می‌باشد. تناژ ناخالص[1] یک کشتی تجاری در حقیقت با وزن کالاها و فضای انبارها مشخص می‌شود و شامل وزن خود کشتی نمی‌باشد. بهتر است که هزینه‌ها را براساس وزن واقعی کشتی ساخته شده که وزن سبک[2] نامیده می‌شود، مقایسه کرد. با این تغییر، هزینه بر واحد تن برای کشتی‌های تجاری بیشتر خواهد شد، ولی هنوز به مقدار قابل ملاحظه‌ای کمتر از زیردریایی می‌باشد. عامل دیگری که وجود دارد این است که در کشتی‌های تجاری یک فضای سازه‌ای فولادی بزرگ وجود دارد که تنها در قسمت اندکی از آن تجهیزات و تأسیسات نصب

1- Gross tonnag
2- Lightweight

می‌شود. حتی در قسمت‌هایی که تجهیزات فنی وجود دارد، این تجهیزات و سیستم‌ها خیلی ساده‌تر از سیستم‌های موجود در زیردریایی هستند. سومین و مهمترین عامل در تفاوت هزینه‌ها، چگالی بسیار زیادتر کل زیردریایی است. ما پیشتر خاطر نشان کردیم که یک کشتی در مقایسه با زیردریایی دارای نسبت چگالی میانگین حدود ۲٪ یا ۳٪ است که نشان از تراکم بیشتر تجهیزات در داخل زیردریایی دارد. حتی سیستم‌هایی که در کشتی‌های تجاری مدرن استفاده می‌شوند و کاملاً پیچیده هستند، معمولاً در فضای باز نصب می‌شوند.

اگر از بین فضاهای ماشین‌آلات اصلی در زیردریایی و کشتی تجاری عبور کنیم، تفاوت چشمگیری وجود خواهد داشت. اگر زیردریایی بزرگتر و با تراکم کمتر تجهیزات ساخته شود، هزینه ساخت آن کمتر خواهد شد ولی در فرآیند طراحی و ساخت زیردریایی، عوامل بسیاری دخیل هستند که براحتی نمی‌توان آنها را اثبات کرد یا توضیح داد.

قبل از اینکه توضیح داده شود که طراح چگونه می‌تواند هزینه‌های یک شناور را تحت تأثیر قرار دهد و در مورد تجهیزات ساخت، توضیحاتی ارائه گردد؛ بهتر است که توضیحات مختصری دربارهٔ روشهایی که یک زیردریایی ساخته می‌شود و همچنین روشهای تفکیک و دسته‌بندی هزینه‌ها داده شود.

مراحل ساخت زیردریایی

۲-۱۰) قبل از شروع کار ساخت، تمام مواد پایه و تجهیزاتی که باید به یکدیگر متصل شوند تا زیردریایی را شکل دهند، باید خریداری و انبار شوند. در بدنه زیردریایی، ورقه‌های فولادی بسیاری، با کیفیت‌ها، ضخامت‌ها و دقت‌های مختلف استفاده می‌شوند که برای شکل دادن سازه شناور مورد نیاز هستند. قسمت‌های سازه‌ای استاندارد و مورد تأیید که نیاز به طراحی برای ساخت ندارند را نیز می‌توان در این قسمت به حساب آورد. سپس اندازه‌ها، جنس‌ها و

موادمختلف مورد نیاز برای لوله‌کشی[1] و نصب کابل‌های الکتریکی مطرح می‌باشد. برای نصب اینها، هزاران اتصال لوله، رابط[2]، شیر[3] و کلید بکار خواهد رفت. مورد مهم دیگری که وجود دارد ریخته‌گری[4] و آهنگری[5] می‌باشد که برای شفت‌های پروانه، تکیه‌گاه‌های سطوح کنترلی[6] و غیره نیاز است.

در طرح برخی از بدنه‌ها ممکن است به شکل‌های مخصوص آهنگری شده برای ساخت بدنه نیاز باشد. فراهم کردن آهنگری‌ها و ریخته‌گری‌های مخصوص، عامل اصلی در برنامه طراحی و ساخت هستند و بنابراین باید خیلی زود پس از فرآیند طراحی سفارش داده شوند تا اطمینان حاصل شود که در موعد مقرر حاضر خواهند شد. بنابراین خیلی سریع باید تصمیم به ساخت آنها گرفته شود تا سایر مراحل طراحی بتوانند در موعد مقرر انجام شوند. همچنین کمیته-ای برای پی‌گیری مراحل طراحی تشکیل می‌شود تا طراح در خصوص تعهدی که دارد نگرانی نداشته باشد. چنین ملاحظاتی را برای بسیاری از موارد اصلی ماشین‌آلات، تجهیزات، قسمت‌های الکترونیکی و نظایر آن، که ممکن است برای تولید آنها در کارخانه‌ها مدت زیادی صرف شود، می‌توان در نظر گرفت که وابسته به کاربرد آن در مراحل ساخت، باید نزد کشتی‌ساز فراهم باشد تا در زمان مشخص، در جای خود نصب شوند.

اگر سازنده کشتی یک سازمان صنعتی مهم باشد، ممکن است که در داخل آن، قسمت‌هایی وجود داشته باشد که بتواند برخی از این اقلام را تولید کند. بعبارت دیگر، اگر نقش سازنده کشتی، سرهم کردن و مونتاژ کردن قسمت‌هایی باشد که توسط شرکت‌های پیمانکار جزء، ساخته شده‌اند، باید برنامه ساخت خود را طبق تاریخ‌های تحویل هر یک از این زیرمجموعه‌ها تنظیم کند. به منظور سفارش دادن بموقع مواد و تجهیزات، نیاز به قسمتی در دفتر

1- Piping
2- Connector
3- Valve
4- Casting
5- Forging
6- Control Surface Stock

طراحی می‌باشد که کار سفارشات بموقع انجام شود و برنامه زمان‌بندی مناسبی تهیه شود. استفاده از سیستم‌های CAD/CAM می‌تواند به اندازه قابل ملاحظه‌ای به این فرآیند کمک کند چرا که اطلاعات خام[1] مربوط به اقلام مورد نیاز، به کامپیوتر داده می‌شود و اطلاعات[2] سیستمی از آن دریافت می‌شود.

قبل از شروع ساخت و مونتاژ قطعات، سازمان کنترل کیفیت آنها را بررسی می‌کند تا همه قطعات دارای نیازهای تخصصی و فنی مطلوب باشند.

کار با فولاد:

۳-۱۰) ورق‌های فولادی تقویت شده، برای شکل‌دهی مورد نیاز قسمت‌های مختلف بدنه و سازه داخلی بریده می‌شوند. همچنین با استفاده از سیستم‌های CAD/CAM در فرآیند تولید، در برش صفحات فولادی برای بدنه و دیگر قطعات کوچک از جمله دستک‌ها و اتصالات، حداکثر استفاده از ورق‌ها می‌شود. در بسیاری از المانهای سازه‌ای داخل زیردریایی، قطعات مسطحی بکار می‌رود که به یکدیگر جوش داده می‌شوند تا یک سازه جعبه‌ای شکل را بوجود آورند. اما در بیشتر قسمت‌های پوسته سخت(بدنه فشار)، نیاز به شکل‌دهی به ورق‌ها و قطعات توسط رول کردن[3] آنها می‌باشد تا آنها را به شکل انحناء بدنه درآوردند. انتخاب ضخامت و خواص کششی مواد در طراحی، میزان توانایی و نوع ماشین‌آلات مورد نیاز برای شکل دادن ورق‌ها را مشخص می‌کند. علاوه بر آن، برای قسمت عدسی شکل یا کروی شکل قسمت سینه بدنه فشار، باید این ورقها در دو جهت شکل داده شوند (در قسمت استوانه‌ای در یک جهت شکل‌دهی انجام می‌شود).

1- Data
2- Information
3- Rolling

با توجه به انحناء یک جهته مقاطع استوانه‌ای، برای قسمت عدسی شکل بسیار بزرگ، نیاز به حدیده‌کاری فشاری[1] اجزاء ورق‌ها می‌باشد که بتوان آنها را برای ایجاد شکل عدسی به هم جوش داد. با روش گل‌پری برای اشکال عدسی کوچکتر، می‌توان تنها از یک صفحه استفاده کرد. بدین ترتیب که روی صفحه، نقطه‌گذاری گرم انجام می‌شود و سپس عملیات حرارتی روی این ورقها انجام می‌شود تا شکل مورد نیاز بوجود آید.

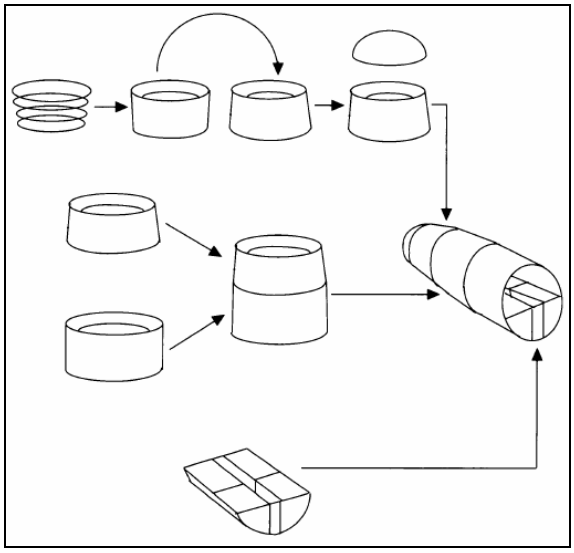
فریم‌های بدنه فشار که معمولاً به شکل مقطع T هستند، ممکن است تولید شوند یا از روش الکتروژن تهیه شوند [الکتروژن یکی از روشهای شکل‌دهی فلزات است]. ورق‌های فریم تولید شده برای رسیدن به شکل مطلوب رول می‌شوند، اما ورقهای الکترود شده برای رسیدن به شکل مورد نظر تحت فشار قرار می‌گیرند.

ساخت سازهٔ بدنه اصلی

۴-۱۰) روش معمول، سرهم کردن[2] ورق‌ها و فریم‌ها به طول دو تا سه متر به یکدیگر می‌باشد تا بدنه[3] شکل بگیرد و اینها بعنوان حلقه‌هایی[4] شناخته می‌شوند. برخی از این حلقه‌های استوانه‌ای شکل، تقریباً به شکل مخروطی و برخی که نزدیک پاشنه هستند، بطور کامل به شکل مخروطی[5] ساخته می‌شوند (شکل ۱-۱۰).

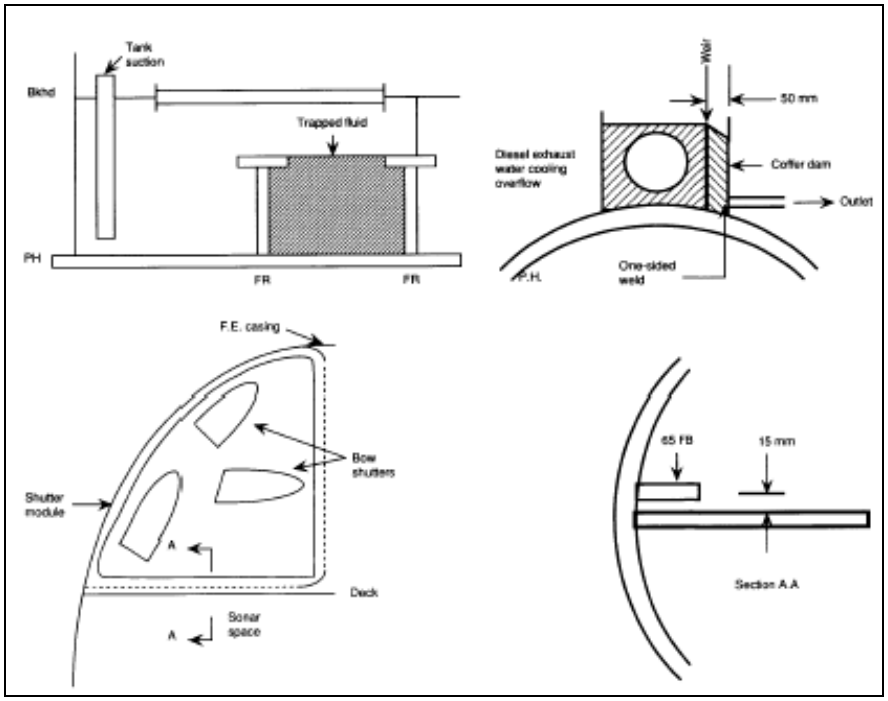
---

1 - Pressing indies
2- Assemble
3- Hull
4- Hoop
5- Conical



شکل (۱-۱۰) مونتاژ اجزاء مختلف بدنه

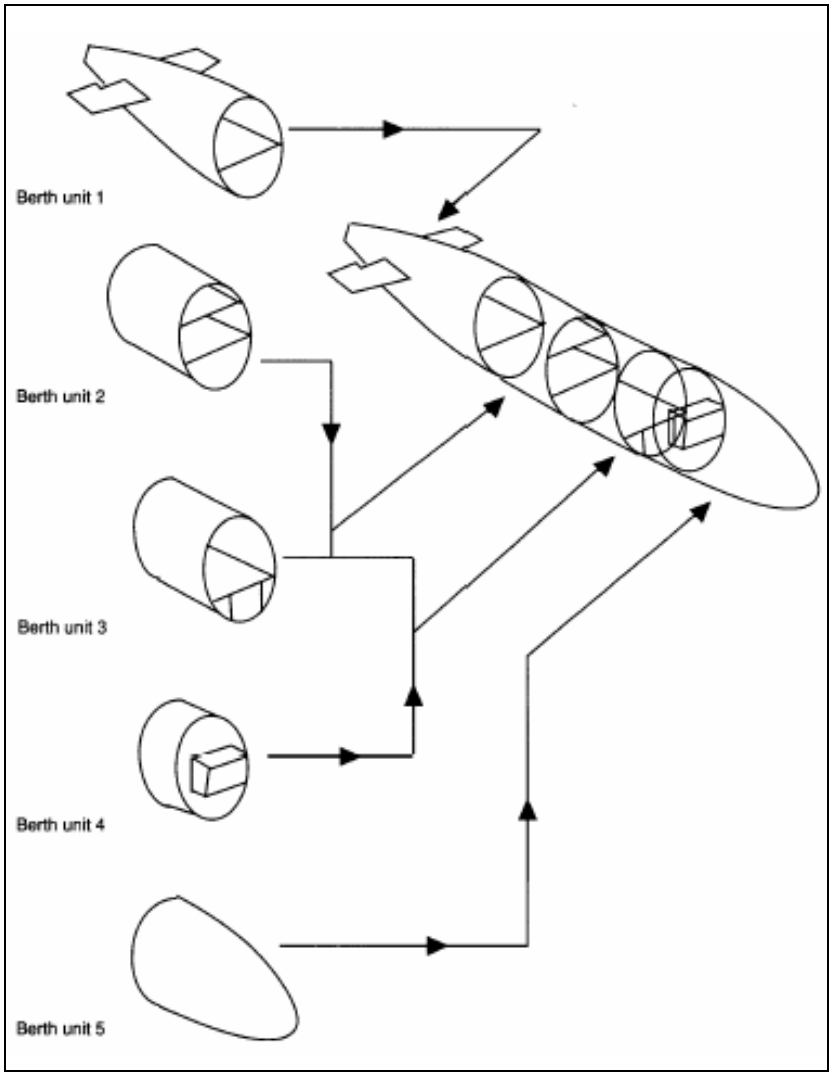
شرایط کنترل شده‌ای برای جوشکاری نیاز است، بویژه فولادهای دارای تنش کشـشی بـالا (HTS)، و هم اکنون شکل‌هایی از Mandrel بسیار بزرگ رایج است که تمـام مقطـع حلقـه بتواند گردش کند تا امکان جوشکاری رو به پائین قسمت‌های درونی و بیرونی بدنه فراهم باشـد. در تمام سازه اصلی، نیاز به جوشکاری در هر دو طرف ورقه‌ها می‌باشد، بنابراین در طراحـی بایـد دقت لازم را اعمال داشت که شکل هندسی مناسب (به صورتیکه فقط امکـان جوشـکاری یـک طرفه آن نباشد) در نظر گرفته شود و همچنین امکان دسترسی به محل جوشکاری وجود داشـته باشد (شکل ۲-۱۰).



شکل (۲–۱۰) قسمت‌هایی از بدنه که دسترسی به آنها مشکل است

استفاده از قیدوبست‌ها و سنبه‌ها[1] برای مونتاژ حلقه‌های بدنه فشار به کنترل دایروی بودن و ابعاد بدنه کمک می‌کند که برای استحکام مطلوب بدنه ضروری است و سازنده را قادر به کنترل ابعاد می‌کند، چنانکه حلقه‌ها را می‌توان به خوبی در کنار هم چید و آنها را به یکدیگر متصل کرد. مرحله بعدی مونتاژ، اتصال حلقه‌های استوانه‌ای به شکل‌های گنبدی و مخروطی و برخی از سازه‌های بیرون که جزء اصلی مونتاژ بدنه هستند، می‌باشد که اینها ۳ یا ۴ مورد از عوامل اصلی مونتاژ هستند (شکل ۳–۱۰).

1- Mandreis and jigs



شکل (۳-۱۰) هم بندی و تکمیل بدنه

در مرحله مناسبی از ساخت که هنوز امکان دسترسی بـه فـضای داخلـی بدنـه وجـود دارد، مخازن داخلی را می‌توان ابتدا نصب کرد و آنرا در محل خود جوش داد. در حین ساخت و مونتـاژ

اجزاء، کنترل کیفیت جوش توسط آزمایشات غیر مخرب (NDT)[1] جوش انجام می‌شود. آزمایشات فشار مخزن را هم می‌توان به محض پایان کار سازه‌ای آن، شروع کرد.

نصب تجهزات داخلی[2]:

۵-۱۰) در حین ساخت سازهٔ اصلی و موازی با آن، ماشین‌آلات و تجهیزات به همراه لوله‌کشی‌ها و کابل‌کشی‌ها، به صورت زیرمونتاژ در محل مناسب خود نصب می‌شوند. ساخت این قطعات را می‌توان به صورت مجزا در شرایط کارگاهی دور از داک یا محل ساخت شناور، که واحدهای ساختمانی بدنه ساخته می‌شوند، انجام داد و سپس آنها را به یکدیگر متصل کرد. یکی از مزایای روش مونتاژ اجزاء[3] این است که تعداد قابل ملاحظه‌ای از آزمایشات را می‌توان قبل از نصب تجهیزات داخل بدنه، انجام داد.

این روش بطور گسترده در جنگ جهانی دوم بوسیله نیروی دریایی آلمان بکار گرفته شد که شامل گروه‌های مونتاژ بسیاری، از جمله ساخت قطعات و بخش‌ها[4] و مونتاژ اجزاء بود که «Modul» نامیده می‌شدند. اینها اندک اندک به یکدیگر متصل می‌شدند و سازمان‌های فرعی را تشکیل می‌دادند که سرانجام به صورت زیر مجموعه دو یا سه کارخانه سازنده که کار مونتاژ نهایی را انجام می‌دادند در می‌آمدند.

قبلاً کارخانه‌های کشتی‌سازی به این صورت بود که بدنه را تکمیل می‌کردند و سپس آن را روی سرسرهٔ کارخانه[5] تجهیز می‌کردند که معمولاً مستلزم جدا کردن یا بریدن یا ایجاد سوراخ‌های بسیار بزرگ روی بدنه بود که بتوان تجهیزات و ماشین‌آلات را پس از تکمیل ساختمانی آن در داخل بدنه، قرار داد. این روش مشخصه نامطلوبی برای مسیرهای لوله‌کشی و

1- Non-destructive testing
2- Internal fitting out
3- Sub - assembly method
4- Parts and components
5- Slipway

کابل‌کشی بود که تا وقتی دستگاه‌ها در داخل بدنه نصب نمی‌شدند، نمی‌توانستند مسیر کابلها ولوله‌ها را بصورت واقعی تعیین کنند و نمی‌توانستند مسیر بهینه و مطمئنی را تا قبل از نصب دستگاه‌ها در نظر بگیرند. در تلاشی برای حل برخی از این مشکلات، یک ماکت چوبی با مقیاس یک به یک از فضاهای دشوار در طراحی زیردریایی‌ها ساخته شد تا بتوان جزئیات دقیق موقعیت‌های نصب تجهیزات، مسیرهای لوله‌ها و کابلها را به طرز بهینه‌ای تعیین کرد و همچنین محل‌های نامناسب را جابجا کرد و از آن استفاده بهتری نمود.

کمک دیگری که ساخت ماکت می‌کند این است که از آنجا که در مقیاس واقعی ساخته می‌شود، می‌توان جانمایی و در دسترس بودن فضاها و مسیرهای داخل بدنه را بصورت مناسب طراحی کرد. اخیراً طراحی‌های زیردریایی با استفاده از مدل‌هایی با مقیاس یک پنجم نسبت به ماکت‌هایی با مقیاس کامل، پیشرفت کرده‌اند و به کمک کامپیوتر می‌توان بدنه و جزئیات بسیاری از آن را بررسی کرد.

با برگشت به بحث تجهیز زیردریایی‌ها، هر یک از اجزاء که کاملاً آزمایش شده‌اند، شامل ماشین‌آلات، سیستم‌ها و تجهیزات را درون سازه بدنه می‌توان نصب کرد. البته راحت‌تر این است که این اجزاء را بصورت مجزا قبل از مونتاژ قطعات به یکدیگر در محل خود نصب کرد. این مونتاژهای جزء در داخل هر یک از این بخش‌ها به هم مرتبط می‌شوند و کارهای نهایی و آزمایشات قبل از اینکه مونتاژ نهایی قطعات انجام شود، صورت می‌گیرد. برای دستگاه‌هایی که باید در قسمت‌های مجزای از هم، به هم مرتبط شوند، لازم است که جزئیات لوله‌کشی و کابل‌کشی رعایت شود و در مراحل بعدی به یکدیگر متصل شوند.

مونتاژ بدنه:

۶-۱۰) بصورت ایده‌آل، اتصال نهایی چهار یا پنج بخش اصلی بدنه در کارخانه و در داک، باید پس از انجام کامل مراحل نصب تجهیزات انجام شود و پس از آن جوشکاری نهایی قطعات بدنه به یکدیگر صورت می‌گیرد (شکل ۳-۱۰).

مرحله نهایی پس از مونتاژ بدنه، برقراری اتصالات داخلی لوله‌ها وکابل‌ها بین قسمت‌های مختلف می‌باشند که ممکن است کار اندکی را نیاز داشته باشد. معمولاً ریزه‌کاری‌های زیاد و نه چندان دشواری برای کار اتصالات نیاز است، بویژه اینکه برخی از سیستم‌های زیردریایی تا قبل از انجام اتصالات و جوشکاری‌ها، نصب نمی‌شوند تا بتوان دسترسی راحتی به آنها داشت. با استفاده از این مراحل، ساخت یک زیردریایی وقتی از روی حوضچه تعمیرات یا سرسره به آب انداخته می‌شود حدود ۹۰ درصد کار آن تکمیل شده است.

مواردی که تا این مرحله هنوز نصب نشده‌اند عبارتند از سطوح کنترلی، پروانه و برخی تجهیزات خارجی نظیر محل قرار گرفتن حس‌گرهای سونار که پس از به آب‌اندازی نصب می‌شوند. البته برخی از این موارد را می‌توان روی داک نصب کرد که در این صورت، زیردریایی تقریباً به صورت تکمیل شده به آب انداخته خواهد شد. سرانجام، دوره زمانی قابل ملاحظه‌ای نیاز است تا کار پس از راه‌اندازی ماشین‌آلات و آزمایش و هماهنگ شدن سیستم‌ها، خاتمه یابد. سپس لازم است که یک سری آزمایشات با غوص کردن در داخل حوضچه انجام شود تا استحکام بدنه و ملحقات آن برای عملکرد در زیر آب بررسی شوند و پس از آن برای آزمایشات دریایی[1] آماده گردند.

1- Sea trials

تعیین هزینه

در این بخش، بحث ما روی تعیین هزینه[1] در فرآیند طراحی زیردریایی متمرکز خواهد بود. برای تعیین هزینه، راه‌های بسیاری وجود دارد که البته به اندازه آنچه هم اکنون گفته خواهد شد، رضایت بخش نیستند. تشخیص تفاوت بین هزینه و ارزش یا قیمت[2] مهم است اصولاً قیمت یک زیردریایی مقدار پولی است که سازنده یا پیمانکار،آماده است تا در ازای آن این وسیله را با ویژگی‌های مخصوص آماده کند. تا حد بسیار مهمی «قیمت» به چیزهای مختلفی بستگی دارد که یکی از آنها را می‌توان وضعیت موجود از جوانب مختلف دانست، مانند چه تعدادی از این شناور و در چه فواصل زمانی برای ساخت طراحی شده‌اند، به میزان رقابت و امکانات، منابع و تجربه شرکت سازنده نیز بستگی دارد. در نتیجه، قیمت زیردریایی در یک محدوده بسیار بزرگ می‌تواند تغییر کند، حتی اگر دقیقا مشابه طرح خاصی باشد. هزینه را به عبارت دیگر، می‌توان برای هدفی که دنبال می‌گردد چنین در نظر گرفت که یک خصوصیت ذاتی زیردریایی است که با خصوصیت‌های طبیعی هر یک از محتویات آن مشخص می‌شود. تعیین هزینه فرآیندی است که به بررسی هزینه‌های اختصاصی می‌پردازد و توسط طراح در مراحل اولیه طراحی صورت می‌گیرد.

تعیین هزینه بوسیله گروه‌های وزن[3]

۸-۱۰) در تخمین هزینه، این کار رایج است که از تجزیه گروهی وزن استفاده شود و همانطور که در بخش‌های قبل بحث شد، این روش برای تخمین وزن انجام می‌گرفت. با تعیین میانگین هزینه‌ها بر واحد تن هر یک از گروه‌های اصلی در یک طبقه‌بندی محدود، همانند

1- Cost
2- Price
3- Weight groups

سازه[۱]، ماشین‌آلات[۲]، تجهیز و نصب دستگاه‌ها[۳] و غیره، می‌توان یک تخمین ساده هزینه در مرحله مطالعات اولیه در طراحی یک شناور جدید بدست آورد. وابستگی کیفیت اطلاعات وزن به اطلاعات قبلی که از شناور مشابه در اختیار داریم، کاربرد آنها در طراحی جدید، براین اساس است که تغییرات بزرگ یا نوآوری وسیع در آن صورت نگرفته باشد. در نتیجه برای تعیین هزینه دقیق‌تر می‌توان هر یک از این گروه‌ها را به زیر گروه‌های دیگری تجزیه کرد که متوسط هزینه آن را بتوان در نظر گرفت. مثلاً جنس سازهٔ بدنه فشار اصلی[۴] که از مرغوب‌ترین فولاد ساخته شده باشد، دارای هزینه بیشتری در واحد تن نسبت به سازه‌های ثانویه یا داخلی [که از جنس فولاد معمولی است] می‌باشد.

واضح است که هزینه بیشتری در موارد ابداعی باید صرف شود. برای مثال اگر تصمیم به استفاده از فایبرگلاس برای روکش بیرونی و صاف کردن[۵] سازه داریم که در طراحی‌های قبلی بکار گرفته نشده است، باید دقت مضاعفی صرف شود.

تخمین هزینه بر مبنای وزن یک روش مرسوم برای تخمین هزینه است، چرا که برای سالهای بسیاری از این روش استفاده شده است. برخی اطلاعات موجود براساس تجارب آنها بوده و اطلاعات تاریخی هزینه‌های موجود تنها به صورت گروه‌های وزنی بوده است. در هر حال، این ممکن است برای هندسه‌های غیر مرسوم یا مواد غیر معمولی بکار نرود و نمی‌توان آنرا عامل بررسی عملکرد زیردریایی در نظر گرفت. برای مثال؛ آیا می‌توان هزینه ساخت بدنه را ملاک بررسی عمق غوص که در طراحی مشخص شده دانست یا سرعت و کارآیی مورد نیاز زیردریایی را سبب افزایش اندازه قسمت سیستم پیشران دانست؟ (نکته‌ای که در اینجا وجود دارد این است که حتی با استفاده از فناوری یکسان، اگر خصوصیات عملیاتی زیردریایی عوض شود، به ناچار

1- Structure
2- Machinery
3- Out fitting
4- Main pressure hull
5- Fairing

روی هزینه بر مبنای وزن تأثیر خواهد گذاشت). در برخی موارد این امکان برای طراح وجود دارد که هزینه شناور مشابه قبلی را از یک شرکت کشتی‌سازی بگیرد. البته اگر رقابتی بین شرکتهای کشتی‌ساز برای گرفتن پروژه وجود داشته باشد (مانند یک مناقصه)، دسترسی به این اطلاعات راحت نخواهد بود. حتی اگر این هزینه‌ها در دسترس باشند نمی‌توانند کمک زیادی به طراح نماید چراکه ممکن است این هزینه‌ها در شرایط متفاوتی انجام شده باشد مانند هزینه‌های خرید مواد، حمل و نقل، هزینه‌های اداری و پشتیبانی و غیره. برای طراح دشوار است که مثلا هزینه دقیقی از سیستم هیدرولیک ارائه کند یا با بازنگری در یک سیستم، هزینه مربوط به آن را کاهش دهد.

تعیین هزینه عملی[1]

۱۱-۱۰) بطور ایده‌آل، برای اهداف طراحی، ممکن است بهتر باشد که تعیین هزینه را به طور مستقیم متناسب با موارد عملی و اجرایی طراحی بیان کرد. با استناد به این مطالب، می‌توان طراح را قادر کرد که مراحل هزینه‌های مورد نیاز را برای کاربران دریایی، که مجبور به در نظر گرفتن آنها هستند، تعریف کند. موضوع تعیین هزینه عملی هر چند که مطلوب است ولی بدست آوردن آن مشکل است، چرا که معمولاً به دست آوردن یک رابطه واحد در عمل و پیش‌بینی هزینه غیرممکن است. مثلاً هزینه دیواره‌های عرضی را می‌توان به راحتی بررسی کرد اما چگونه می‌توان هزینه را با توابع مختلف که استفاده از دیواره عرضی را در زیردریایی ایجاب می‌کند، مرتبط ساخت.

این دیواره کار تقویت بدنه فشار را در مقابل عمق غوص زیردریایی انجام می‌دهد و به عنوان مرز جداکننده قسمت‌های داخل بدنه عمل می‌کند؛ به عنوان تقویت کننده عرشه‌ها و تجهیزات نیز بکار می‌رود؛ همچنین ممکن است بعنوان یک محفظه نجات[2] عمل کند. ممکن

1- Functional Costing
2- Escape bulkhead

است که اگر طراحی با هر یک از مواردعملی بررسی شود، تغییرات اندکی در خروجی بوجود آید. مثلاً سازه مورد نیاز برای آنچه سازه نجات گفته می‌شود، در مجموع درمقایسه با موارد عملی مناسب است. تجربه نشان داده است که در مواردی که مشتری با هزینه بسیار بالا مواجه است، با صرفنظر از برخی امکانات مورد نیاز که ایمنی وسیله را به خطر نمی‌اندازد، سعی در کاهش هزینه می‌توان کرد. اصولاً، در مرحله مطالعه مفهومی و امکان‌سنجی، ممکن است طراحی و طراحی مجدد، عواملی را که یکی از آنها زمان است را تغییر دهد و همچنین بررسی و ارزیابی میزان هزینه ممکن است باعث ایجاد تغییراتی شود. هرچند که خطی نبودن و وابستگی زیرسیستم‌ها[1] می‌تواند از افزایش غیر عادی تغییرات در هزینه جلوگیری کند. تغییرات ترکیبی چند پارامتری ممکن است در تغییر هزینه سودمندتر از تغییر تابع تک مقداری باشد که می‌توان آن را به عنوان یک اثر «همیار»[2] توضیح داد.

پیشنهاد یک دسته‌بندی به منظور راهنمایی طرح

۱۲-۱۰) به منظور تعریف هزینه‌های ذاتی همراه فرآیند طراحی، دسته‌بندی زیر به عنوان یک چارچوب مرجع، پیشنهاد می‌شود که به مشکلات مطرح شده می‌پردازد.

الف) هزینه‌های قابل تشخیص[3]: اینها شامل اقلام و تجهیزات فرعی (از قبیل سلاح) می‌باشد که آنها را می‌توان به عنوان هزینه‌های ویژه در طراحی تعریف نمود. باید دقت نمود که هزینه مواد اولیه‌ای که در زمان طراحی تعیین می‌شوند را می‌توان به سادگی بر حسب تن تعیین نمود در حالیکه این هزینه به هنگام خرید مواد اولیه ممکن است بسیار تفاوت کرده باشد.

ب) هزینه‌های همراه مونتاژ و تولید زیردریایی: این هزینه‌ها نیز قابل ارزیابی و بررسی هستند، ولی این مقادیر ممکن است در کارخانجات سازنده مختلف، متفاوت باشد، چرا که هزینه

1- Sub-system
2- Synergistis
3- Identifiable costs

ساخت یا تولید در یک کارخانه وابستگی به امکانات و تجهیزاتش به هنگام مونتاژ جزئی و کلی قطعات دارد.

ج) هزینه‌های سرمایه‌ای و هزینه‌های ثابت: برای ساخت یک زیردریایی نیاز به سرمایه‌گذاری برای تهیه امکانات، ماشین‌آلات و زمین و غیره جهت ساخت، مونتاژ، تجهیز و آزمایش زیردریایی می‌باشد.

د) هزینه‌های بکار برده شده در تهیه و اجرای استانداردها، تضمین کیفیت ، آزمایش‌هاوموارد پنهان و آشکار طراحی.

ه) هزینه تحقیقات و توسعه که لازمهٔ کار طراحی و ساخت هستند.

و) تفاوت قیمت بابت سود.

تأثیر طراحی بر هزینه و ساخت

با استفاده از عناوینی که در بالا بیان شد، هم اکنون ما می‌توانیم روی چگونگی تأثیر طراحی بر هزینه برآورده شده زیردریایی بحث کنیم.

هزینه‌های قابل تشخیص:

۱۳-۱۰) هر چند که زیردریایی‌ها بطور طبیعی دارای نیازهای ویژه و استانداردهای ایمنی دقیق و سختی هستند، ولی در هر حال طراح باید این را مد نظر داشته باشد که از مواد پرهزینه و گران قیمت در طراحی پرهیز کند. برای بدنه فشار، اگر در طراحی، حجم یک پارامتر مشخص و قابل کنترل باشد می‌توان تصور کرد که در بدنه از فولادهای ارزان‌تر و نامرغوب‌تر و با شکل‌دهی راحت‌تر برای تولید آن استفاده کرد و باید پذیرفت که در این صورت بدنه سنگین‌تر خواهد شد. روش دیگری که طراح می‌تواند هزینه مواد را تحت تأثیر

قرار دهد، استفاده از موادی است که تولید آنها دارای ضخامت، ابعاد و حدود تغییرات استانداردی می‌باشد که در صنعت معمول است.

همچنین، تا جائیکه امکان دارد باید از مواد وقطعات استاندارد برای لوله‌کشی‌ها و کابل‌کشی‌ها که برای استفاده در محیط داخل بدنه زیردریایی مناسب هستند، استفاده کرد. در طراحی همچنین باید از تجهیزات، اتصالات، پیچ‌ها، میخ‌ها، شیرها، سوئیچ‌ها و غیره که در دسترس هستند استفاده کرد، بطوریکه بتوان به راحتی آنها را از تولیدکنندگان تهیه نمود. مواردی وجود داشته است که قطعه مورد استفاده با استانداردهای صنعتی معمولی، اندکی اختلاف داشته است و این هزینه تهیه آنها را افزایش داده است چرا که تولید اندک یک قطعه مستلزم سفارش مخصوص و پر هزینه به سازنده آن است.

تقریباً تمام تجهیزات شناورهای نظامی، چه زیردریایی‌ها و چه کشتی‌ها، دارای هزینه‌ای چندین برابر تجهیزات موجود در بازار هستند، که اصولاً به این خاطر است که به استانداردهای مطمئن و مقاوم در برابر صدمات نیاز دارند. در موارد بسیاری ممکن است از تجهیزات و یا طراحی استانداردها فقط برای پرهیز از هزینه‌های گزاف، استفاده شود.

هر چند که توصیه‌هایی که بیان شد ممکن است در مواردی بکار آید اما شرایطی هم ممکن است اتفاق بیافتد که محیط زیردریایی شرایطی را تحمیل کند که نتوان از مزیت استفاده از وسایل استاندارد تجاری استفاده کرد.

در برخی از تجهیزات، ممکن است طراح گزینه‌های چندانی برای انتخاب نداشته باشد چرا که این وسایل بطور ویژه برای استفاده در زیردریایی‌ها فراهم شده‌اند. مثلاً سلاح و حسگرها و همچنین شرطهایی که ممکن است از طرف خریدار وضع شده باشد، باعث محدودیت انتخاب طراح می‌گردد اگر چه هنوز ممکن است مواردی وجود داشته باشد که طراح بتواند از بین تجهیزات موجود، کم هزینه‌ترین آنها را انتخاب کند. تقریباً پذیرفته شده است که هزینه

تجهیزات سلاح‌های اصلی و حسگرها، عامل تعیین کننده‌ای در تعیین هزینه زیردریایی‌ها هستند که البته این کاملاً درست نیست.

تولید و مونتاژ

۱۴-۱۰) سهم زیادی از هزینه یک زیردریایی شامل فرآیند مونتاژ[1] و تجهیز[2] می‌باشد. این مرحله‌ای است که طراح می‌تواند با انتخاب نوع طراحی بر آن تأثیر بگذارد. راه حل کلیدی طراح باید این باشد که چگونه می‌توان تا حد امکان این فرآیند را ساده کرد؟ اگر طراحی اجازه دهد، بدنه فشار باید دارای مقطع ثابت استوانه‌ای با ورقهای ضخیم‌تر و فریم‌های با فواصل بیشتر باشد، که می‌تواند به مقدار قابل ملاحظه‌ای فرآیند تولید را ساده و جوشکاری را کاهش دهد و می‌توان با استفاده از همان دستگاه‌های رول کردن تقویت‌ها، آبکاری وروکش دهی[3] و تجهیزات مونتاژ، استوانه‌های بدنه تولید بیشتری را داشت. در مقابل، تغییر قطر بدنه با مقاطع مخروطی بسیار که نیازمند استفاده از قطعات بسیار متفاوت برای تولید و مونتاژ می‌باشد، هزینه‌های بالایی به دنبال دارد. فاصله بیشتر بین فریم‌ها امکان دسترسی راحت‌تر به فریم‌ها را فراهم می‌کند و باعث کاهش مقدار برش و عدم نیاز به طراحی ویژه سازه‌ای حول سوراخها و منافذ[4] می‌شود. تا حد ممکن در طراحی سازهٔ بدنه فشار باید از هندسه‌هایی که منجر به اتصالات سخت و دشوار می‌شود پرهیز کرد تا فرآیند مونتاژ و جوشکاری را دچار اشکال نکند؛ بویژه شکل هندسی و نزدیکی فریم‌ها باید به گونه‌ای باشد که از نیاز به جوش یکطرفه[5] پرهیز شود.

1- Fabrication
2- Fitting out
3- Sell plating
4- Penetration
5- Single sided welding

هر چند که قسمت‌های انتهایی به شکل عدسی هستند که نیاز به پرسکاری و جوشکاری و انحناء دو جهته قطعات ورقها دارد تا به شکل مورد نظر برسد، پرهیز از تغییرات زیاد قطر و شیب ملایم قسمت‌های مخروطی، پیچیدگی در کار مونتاژ را کاهش می‌دهد.

به همین دلایل، طراحی سیستم‌ها را باید تا حد ممکن ساده در نظر گرفت. هر چند که ایمنی و آنالیز روش شکست، ممکن است منجر به استفاده از سیستم‌های دوگانه شود، باید از نتایج آن برحذر بود چرا که استفاده بسیار زیاد در نصب دوتایی سیستم‌ها، نه تنها کار مونتاژ و تولید اولیه را افزایش می‌دهد بلکه باید اطمینان از کیفیت آزمایشات و نگهداری‌های بعدی در داخل زیردریایی افزایش یابد. همچنین باید از لوله‌کشی و کابل‌کشی از یک سرزیردریایی به سر دیگر آن پرهیزشود. تا حد امکان مسیرهای اصلی درون زیردریایی را باید به سیستم‌های تقسیم قدرت اختصاص داد و سایر سیستم‌ها را در یک بخش از زیردریایی متمرکز کرد. واحدهای آزمایش شده‌ای که امکان پیش مونتاژ کردن[1] و نصب آنها در قسمت‌های بدنه اصلی باشد را باید به حداکثر رسانید که نسبتاً به تعداد کمی از رابطها و اتصالات نهایی نیاز داشته باشد.

در طرح‌ها و جانمایی‌های شناور، هدف را باید چنین تصور کرد که سعی در ایجاد شیارهایی[2] در امتداد بدنه باشد که حداقل مقطع عرضی را ایجاد کند، چنانکه محل مناسب برای اتصال واحدهای مختلف بدنه به یکدیگر باشد. فاصله منطقی این نواحی برای تکمیل جوشکاری نهایی بدنه مناسب می‌باشد.

از عوامل دیگری که باید مد نظر داشت این است که به هنگام طراحی زیردریایی، هرچند که استحکام سازه‌ای به هنگام تکمیل شناور ممکن است کافی باشد، اما در حین مراحل مختلف ساخت، برخی از تقویت کننده‌های دوطرفه[3] بین مقاطع از بین خواهد رفت و بنابراین باید توجه داشت که این مقاطع ویژه باید به اندازه کافی مستحکم و سخت باشند که به صورت واحدهای

1- Pre-assemblling
2- Break
3- Mutuall support

جداگانه ساخته شوند. هنوز جوانب و ملاحظات دیگری مورد نیاز است، مثلاً برش حفره‌های بزرگ روی بدنه برای وارد کردن ماشین‌آلات و تجهیزات در مراحل بعدی ساخت که می‌تواند به صورت موقتی باعث تضعیف سازهٔ بدنه گردد. باید ملاحظات کلی در جانمایی و آرایش قسمت‌های اصلی را در نظر گرفت، چنانکه اگر به هنگام ساخت یا پس از آن، تصمیم به اعمال تغییراتی در آن گرفته شد، این امکان وجود داشته باشد. هر چه دوره زمانی بین طراحی کلی و تکمیل یک زیردریایی جدید بیشتر شود، ممکن است فشارهایی مبنی بر ایجاد تغییراتی در طرح اعمال گردد که ناشی از گذشت زمان است.

این مورد مهم است که طراح باید تا حد امکان از اعمال تغییرات بعدی روی طرح جلوگیری کند، چرا که می‌تواند باعث جابجایی‌هایی در برنامه ساخت گردد که تأخیر و افزایش هزینه را بدنبال دارد.

هزینه‌های سرمایه‌گذاری و امکانات

۱۵-۱۰) در حین مراحل مختلف طراحی همواره باید در نظر داشت که چه قابلیت‌های صنعتی برای ساخت زیردریایی جدید در دسترس می‌باشد. در کشورهای بزرگ این کار در داخل کشور و با ظرفیت‌های صنعتی موجود آن انجام می‌شود ولی اگر قرار است که شناور در یک کشور دیگر ساخته شود باید قابلیت‌ها و توانایی‌های آن کشور را در فرآیند طراحی در نظر گرفت. اگر بازدهی و کارآیی فوق‌العاده زیردریایی مد نظر است، لازم است که تخصیص سرمایه وسیعی برای فراهم کردن امکانات مناسب برای ساخت، صورت گیرد.

استفاده از مواد با نقطه تسلیم بالا[1] همانند آلیاژهای مخصوص فولادی، یکی از مزایای طراحی و ساخت شناور هستند اما شکل دادن آنها مشکل‌تر از فولادهای معمولی است و نیاز به عملیات حرارتی[2]، کنترل درجه حرارت و فناوری جوشکاری مخصوص می‌باشد. اگر طرح اجازه

1- High yield material
2- Heat treat ment

استفاده از مواد ساده‌تر را بدهد، صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای در سرمایه و هزینه‌های تأمین امکانات صورت خواهد گرفت. نیاز به آهنگری‌ها و ریخته‌گری‌های بسیار زیاد این مواد مخصوص، نه تنها می‌تواند باعث به طول انجامیدن کار شود، بلکه محدودیت‌های بسیاری در تأمین منابع پشتیبانی آن وجود خواهد داشت که باعث افزایش هزینه می‌گردد، هم بدلیل شکل دادن ویژه آن و هم بدلیل رقابت محدودی که بین شرکت‌های تجاری برای تأمین این منابع وجود دارد. پوشش برنزی مخصوص[1] برای دریچه‌های اصلی در ارتباط با آب دریا می‌تواند مشکلات بسیاری در فراهم آوردن امکانات پوشش‌دهی مناسب برای رسیدن به کیفیت بالا، عایق‌های صدا[2] و رسیدن به ویژگی‌های تضمین کیفیت برای چنین قسمت‌های مهمی از روکش بدنه فشار، ایجاد کند.

هزینه‌های استاندارد، تضمین کیفیت و آزمایشات:

۱۶-۱۰) توجه خاصی به استفاده از مواد استاندارد معطوف شده است. عامل دیگری که در نظر گرفته شده است، درصد خطاهای تولید[3] می‌باشد مانند تولید مقطع دایره‌ای بدنه و اطمینان کیفیت آنها می‌باشد.

مشکل تأمین ضریب اطمینان لازم برای مواد مخصوص منجر به صرفنظر کردن از برخی نیازها شده است. اگر صرفنظر کردن از برخی نیازها مجاز باشد مفهوم این است که برآوردن آنها بسیار مشکل است.

هر چه میزان تضمین کیفیت[4] بیشتر باشد، تلاش‌های بیشتری در حین ساخت و پس از آن، به هنگام آزمایشات و نگهداری وجود خواهد داشت. البته این به معنای دفاع از عدم نیاز به تضمین کیفیت نمی‌باشد.

1- Special bronze
2- Sound coating
3- Manufacturing tolerance
4- Quality assurance

هزینه تحقیقات و توسعه:

۱۷-۱۰) تقریباً واضح است که دست یافتن به طراحی‌های برتر، مستلزم تحقیقات و توسعه به منظور پیشرفت آزمایشات و روش‌های تحلیل برای استفاده در روش‌های تولید و شکل دهی‌های جدید می‌باشد. از این نظر، طراح دو نقش بازی می‌کند، یکی از آنها هدایت مطالعات مفهومی[1] شامل ابداعات در شکل یا تجهیزات و بررسی مزایای آن روی بازدهی یا هزینه می‌باشد. یک مثال ساده اینکه اگر امکان کاهش مقاومت[2] یک زیردریایی به میزان ۵۰ درصد وجود داشته باشد یا امکان بهبود بازدهی سیستم پیشران به اندازه ۵۰ درصد باشد، این پیشرفت می‌تواند باعث افزایش کارآیی یا کاهش اندازه یا هزینه آن با همان کارآیی شود. تغییرات دیگر ممکن است ظرافتهای بیشتر یا اثرات برجسته کمتری داشته باشند اما با این وجود می‌توانند پیشرفتهای ارزشمندی را در طراحی بوجود آورند.

رسیدن به چنین پیشرفتی نیازمند تحقیقات برای بررسی راه حل‌های ممکن جهت افزایش عملکرد و بازدهی می‌باشد و سپس تشخیص عملکرد فیزیکی آنها قبل از اینکه در ابعاد واقعی در طراحی بکار روند. نقش طراح در این زمینه معرفی مشخصه‌های مورد نیاز تحقیقات آینده و پیشرفت‌های آنها می‌باشد. هر چند که طراح نقش‌های متفاوت دیگری دارد که در واقع باید سعی در حفظ طراحی در ناحیه‌ای داشته باشد که تحقیقات و پیشرفت کافی انجام شده است. مثلاً، تغییر کلی در شکل هیدرودینامیکی ممکن است باعث بهبود در بازدهی شود ولی آنچه که مهم و ناشناخته است، رفتار آن روی پیشران و اجزاء کنترلی است و اینکه تا چه زمانی می‌توان بدان دست یافت و بنابراین باید از ایمنی این تغییر روی طرح مطمئن شد. همچنین، تغییر شکل‌های استاندارد بدنه فشار برای رسیدن به لایه‌های داخلی مناسب‌تر، ممکن است باعث مشکلاتی در استحکام سازه‌ای یا مشکلات در تولید شود که در مراحل بعدی برنامه ساخت ظاهر می‌شود.

1- Concept studies
2- Resistance

برای بدنه اصلی زیردریایی، استفاده از فولادهای با نقطه تسلیم بالا یا یک ماده جدید همانند تیتانیوم یا GRP می‌تواند باعث بروز مشکلاتی در شکل دادن و اتصال این مواد به یکدیگر شود و همچنین اشکالاتی را در دراز مدت ایجاد کند، همانند شکست تحت تنش‌های تناوبی[1]. اگر در طراحی ناگزیر به استفاده از مشخصه‌های ویژه‌ای هستیم، باید هزینه و زمان تحقیقات و پیشرفت را نیز به حساب آورد. این بدین معنی نیست که باید از ابداعات و نوآوری در طراحی پرهیز کرد، اما تقریباً می‌توان به راحتی خطرات موجود را تشخیص داد. این تنها فراهم کردن فناوری نوین نیست که زمان‌بر است، بلکه نیازمند تغییراتی در تخصص‌های کارکنان کارخانه نیز می‌باشد و به تبع آن نیازمند زمانی برای ارائه برنامه آموزشی جهت کسب مهارت کارکنان می‌باشد. بنابراین نیاز است که طراح تا اندازه‌ای رفتار دوگانه داشته باشد، برخی اوقات به عنوان فردی مبتکر تمایل به طرح‌های نوین و آینده‌نگر دارد و برخی اوقات به عنوان شخصی خبره و کار آزموده تاکید داشته باشد که طراحی در محدوده فناوری‌های موجود انجام شود. برخی از مدیران پروژه‌ها، قانونی را برای کار خود در نظر می‌گیرند که در یک طرح جدید تنها حدود ده درصد باید ابداع و نوآوری وجود داشته باشد تا بتوان از تولید آن با هزینه مناسب و طبق زمانبندی انجام شده، مطمئن بود.

تفاوت قیمت بابت سود:

۱۸-۱۰) طراح، کنترل کمی روی این عوامل دارد، اما به طور مشخص یک شرکت کشتی‌سازی به ساخت یک زیردریایی بدون اینکه بازگشت سرمایه مناسبی داشته باشد، تمایل کمی نشان می‌دهد. اگر عوامل تعیین کننده سود را بتوان به صورت مجزا و مشخص تعیین کرد،

1- Cyclic stress

در ارزیابی هزینه مفید خواهد بود ولی میزان سود با بسیاری از هزینه‌های دیگر آمیخته می‌شود که بررسی درست هزینه را دچار اشکال می‌کند. زمانی ساخت کشتی‌های جنگی[1] با یک هزینه پایه منعقد می‌شد که درصدی از آن، سود سازنده را تضمین می‌کرد، در این صورت برای جلوگیری از افزایش احتمالی هزینه‌های ساخت، سازنده تحرک کمتری از خود برای کاهش هزینه‌ها نشان می‌دهد. نحوه دیگر قرارداد، قرارداد با قیمت ثابت می‌باشد که شناور به صورت توافق کلی ساخته می‌شود. بدین روش سازنده از خود تحرک بیشتری برای کاهش هزینه‌ها نشان می‌دهد اما این برای خریدار در صورتی سودمند است که قبل از عقد قرارداد، جزئیات کامل کار را مشخص کرده باشد. اگر اینطور نباشد، سازنده سود هنگفتی خواهد برد. بعبارت دیگر، چانه زنی سختی صورت می‌گیرد و سازنده می‌تواند بابت کار تعریف نشده در قرارداد (هر چند تغییرات محدود باشد)، طلب پول بیشتری نماید.

خلاصه

۱۹-۱۰) در این فصل ما سعی نمودیم مشخص کنیم طراح چگونه می‌تواند بر قابلیت ساخت[2] و هزینه در مرحله طراحی جزئیات زیردریایی تأثیر بگذارد.

با فرض اینکه سایر جوانب یکسان هستند، هزینه یک زیردریایی به مقدار زیادی بوسیله اندازه و پیچیدگی آن مشخص می‌شود که با پذیرفتن ساده سازی، هزینه کنترل خواهد شد. اگر ساده سازی در طراحی پذیرفته نشود، نتیجه نهایی آن، پیچیدگی و تراکم بیش از حد داخل شناور خواهد بود که کار ساخت و نگهداری را دچار اشکال خواهد کرد. حتی اگر کاهش اندکی در هزینه ساخت صورت گیرد که بعید است، هزینه تعمیر و نگهداری[3] می‌تواند افزایش یابد.

1- Warship
2- Buildabiltity
3- Life costs

برای رسیدن به کاهش هزینه‌ها بوسیله محدود کردن اندازه، طراح باید از عواملی که اندازه را تحت تأثیر قرار می‌دهد، آگاه باشد.

همانطور که بحث شد، فاکتورهای حیاتی یک زیردریایی، عوامل عملیاتی شناور هستند که سرعت حداکثر، مهمترین آنهاست و در پی آن نیاز زیردریایی به انبار سلاح و تعداد خدمه می‌باشد. هر چند که می‌توان سیستم قدرت زیردریایی‌های معمولی را دچار تغییراتی کرد، ولی در زیردریایی‌های اتمی، به دلیل طرح ثابت رآکتور، مجال اندکی برای تغییرات وجود دارد.

فصل یازدهم

« طراحی مفهومی زیردریایی »

مقدمه:

۱-۱۱) می‌توانیم بگوئیم در تمام کتاب، روی شکل‌دهی طراحی مفهومی زیردریایی و تأثیرگذاری متقابل سیستم‌های جزء بر یکدیگر در داخل زیردریایی تأکید داشتیم. همچنین مشخص است که نتیجه موفق طراحی یک زیردریایی نهایتاً با کمک مطالعات دقیق و گسترده هر یک از جوانب مختلف طراحی حاصل می‌گردد. تنها با مطالعات دقیق در جزئیات است که می‌توان تأثیرگذاری‌های متقابل بسیاری که وجود دارد را مشخص کرد.

هرچند، چنین مطالعاتی را باید در یک چارچوبی قرار داد که تعاریف مناسبی از کل طراحی داشته باشد و این هدف مراحل مختلف طراحی مفهومی است. موضوع، مشخص کردن اندازه و وزن بعلاوه شکل هندسی می‌باشد که توسط مطالعات در جزئیات طراحی (اغلب بوسیله طراحان متخصص) انجام می‌شود. برای مثال اگر شکل بدنه فشار از بدست آمدن نسبت وزن به حجم مناسب و بالانس طولی جلوگیری کند، تمایل چندانی به استفاده از جزئیات طراحی این بدنه فشار نمی‌باشد. همچنین اگر موقعیت قسمت سلاح در داخل بدنه با شکل قسمت سینه سازگاری نداشته باشد، نقشه طراحی این قسمت کارآمد نخواهد بود.

۲-۱۱) طراح باید قادر به مشخص کردن خصوصیات کل طراحی باشد و طراحی‌های جزئی باید با این طراحی کلی سازگاری داشته باشند. بعید است که طراح اطلاعات زیادی از این جزئیات داشته باشد بخصوص در یک طرح ابداعی و جدید، اما او بایستی مطمئن باشد که مراحل بعدی طراحی قابل دسترسی است. این امکان نیز وجود دارد که براساس مطالعات مقایسه‌ای با سایر طرحها تصمیم‌گیری کرد و اگر ثابت شود که مشکلات آن طرح‌ها برای طرح مذکور قابل حل نیست، باید از آن چشم‌پوشی کرد.

اگر طراحی با بسیاری از تجهیزات و استانداردهای موجود مطابقت داشته باشد، در اینصورت اطلاعات بدست آمده از طرحهای ساخته شده قبل می‌تواند راهنمای خوبی باشد. اگر طرح دارای ابداعات زیاد و تجهیزات جدید باشد، لازم است که مطالعات مستقل برای هر قسمت انجام شود تا «درک» مناسبی از نیازها و امکانات برای بدست آمدن یک طرح موفق، حاصل گردد. چنین مطالعاتی نباید با جریان کلی فرآیند طراحی ناسازگاری داشته باشد و نباید شامل تأثیرات بسیاری برسایر قسمت‌ها باشد و باید در چارچوب اصول طراحی انجام شود.

مطالعات مفهومی

۳-۱۱) اصول مطالعات مفهومی برای یک طراحی جدید را می‌توان تحت عناوین زیر توضیح داد:

الف) نوع کاربرد شناور

این قسمت مطالعات مربوط به کاربرد زیردریایی می‌باشد. این مطالعات بوسیله کاربران و براساس تحلیل کاربردی و اینکه انجام چه نوع مأموریت‌هایی از این زیردریایی انتظار می‌رود، صورت می‌گیرد. بنابراین زیردریایی نظامی ممکن است برای بستن راه یا مسیر بکار رود، یعنی زیردریایی در محل تردد نیروی دشمن کمین می‌کند و باید قادر به ردیابی، تشخیص و تعقیب شناورها باشد. این زیردریایی سپس ممکن است برای دنبال کردن هدف و شنود اطلاعات بکار رود. همچنین برخی از شناورهای تجاری ممکن است نیاز به ردیابی خطوط لوله کف دریا در مسیر خود داشته و بررسی‌هایی را روی این لوله‌ها انجام دهند که می‌توان به کمک زیردریایی‌ها این کار را انجام داد.

این موضوع بسیار مهم است که طراح، اطلاعات کافی و کاملی از نقش زیردریایی داشته باشد که منجر به برآوردن انتظارات کاربران می‌شود. کاربران باید به نقایص بازدهی و عملکرد وسیله که می‌تواند باعث تغییراتی در مطالعات کاربردی شود، آشنایی کامل داشته باشند.

در حالیکه در مورد خصوصیات یک زیردریایی به صورت مجزا بحث می‌شود، مرحله مفید دیگر می‌تواند در نظر گرفتن چند نوع زیردریایی باشد که هر یک قابلیت‌های خاص خود را داشته باشند، مثلاً برخی دارای قابلیت‌های بالا و پر هزینه و برخی دارای قابلیت‌های کمتر و ارزانتر.

ب) تجهیزات

براساس نقش و مأموریت زیردریایی، می‌توان مشخص کرد که چه تجهیزات عملیاتی برای نصب در درون زیردریایی نیاز است. انواع مختلفی از حسگرها، سیستم‌های ارتباطی و ناوبری و انواع سلاحها و مهمات وجود دارند که زیردریایی را قادر می‌کنند مأموریت محوله را انجام دهد.

این دسته از دستگاه‌ها به همراه کاربران خود، به عنوان بار[1] در طراحی در نظر گرفته می‌شوند.

ممکن است انتخاب‌های دیگری از تجهیزات مختلف برای انجام مأموریت زیردریایی وجود داشته باشد که این گستردگی انتخاب باعث مطالعات مفهومی مختلف برای زیردریایی می‌شود.

ج) خصوصیات

تعیین مأموریت و نقش زیردریایی منجر به معرفی «خصوصیات زیردریایی مورد نیاز » می‌گردد. این خصوصیات شامل حداکثر سرعت، زمان انتقال از پایگاه به منطقه عملیاتی، مدت زمان دوام آوردن در زیر آب، نسبت خطر و ریسک، میزان آسیب‌پذیری و استانداردهای صدا، مدت زمان گشت‌زنی و عمق غوطه‌وری، می‌باشد. باز هم ممکن است خصوصیات چند نوع زیردریایی دیگردر این زمینه وجود داشته باشد.

1- Payload :

از این اصطلاح در زیردریایی معمولا برای بیان موارد زیر بکار می‌رود: سلاح و مهمات، سونارها، وسایل ارتباطی، سونارهای جنگ الکترونیک، رادارها، سیستم کنترل آتش، سیستم بارگیری سلاح، انبار کردن سلاح و سایر تجهیزات مورد نیاز سیستم سلاح. در برخی موارد نیز فقط به وزن سلاح و مهمات (اژدر، موشک و مین) اطلاق می‌شود.

مقادیر برخی از این پارامترها که در فرایند تعیین اندازه در مرحلـه طراحـی مفهـومی مـورد استفاده قرار می‌گیرد را می‌توان از نیازهای اصولی کـه توسـط کـاربران و اسـتفاده کننـدگان آن تعیین می‌شود، استنتاج کرد.

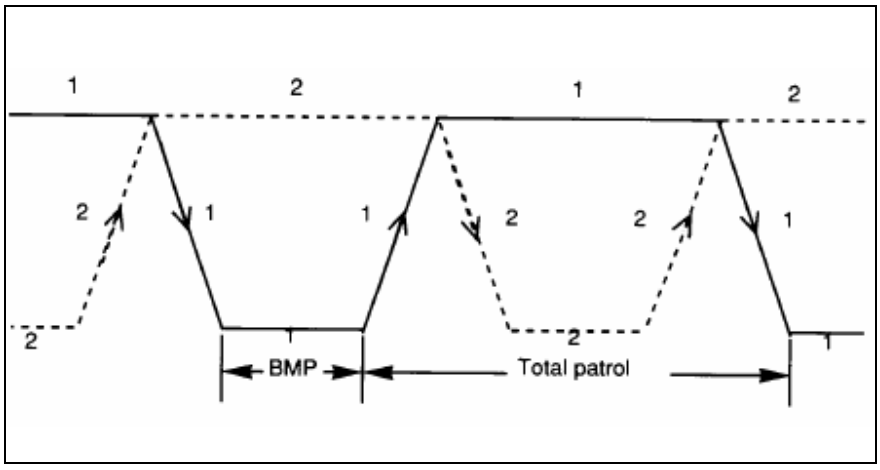
مدت زمان گشت‌زنی

۴-۱۱) مدت زمان گشت‌زنی، زمان توقف زیردریایی در دریا بعلاوه زمان رفت و برگشت آن بـین پایگاه ومنطقه عملیاتی می‌باشد. مدت زمان انتقال از پایگاه به منطقه عملیاتی می‌توانـد بـا تغییر سرعت انتقال تغییر کند اما باید دانست که افـزایش سـرعت انتقـال، نیازمنـد قـدرت بیشتر و مصرف سوخت بیشتر است. این عامل نامطلوب از آنجا ناشی می‌شود که قدرت بـا توان ۳ سرعت متناسب است، در صورتیکه زمان انتقال به صورت خطی بـا سـرعت تغییـر می‌کند. عامل دیگری که در جزئیات بیشتر طراحی باید در نظر گرفته شود ایـن اسـت کـه اگـر انتقـال زیردریـایی ترکیبـی از حرکـت آن در عمـق آب و قـسمتی حرکـت در عمـق پریسکوپ باشد، افزایش سرعت غوطـه‌وری در زیـر آب باعـث ضـریب آشـکاری[1] بیـشتر می‌شود. بنابراین حداکثر سرعت انتقال، ممکن است با حداکثر سرعت در عمق پریسکوپ و یک ضریب آشکاری قابل قبول تعیین گردد. زیردریایی‌های دیزل الکتریک معمـولی بـرای طی نمودن مسیر طولانی از پایگاه به منطقه عملیاتی، می‌توانند قـسمت اعظـم مـسیررا در سطح آب طی کنند و به هنگام نزدیک شدن به منطقه عملیاتی، بقیه مـسیر را در زیـر آب طی کنند. سؤالی که در اینجا ممکن است مطرح شود این است که بدنه زیردریایی چگونـه باید شکل گیرد تا ضمن مقاومت اندک در سطح آب، قابلیت خوب حرکت با مقاومت اندک در زیر آب را دارا باشد و یا با شکل مناسب برای بازدهی بالا در حالت غوطـه‌وری، چگونـه

1- Indiscretion ratio

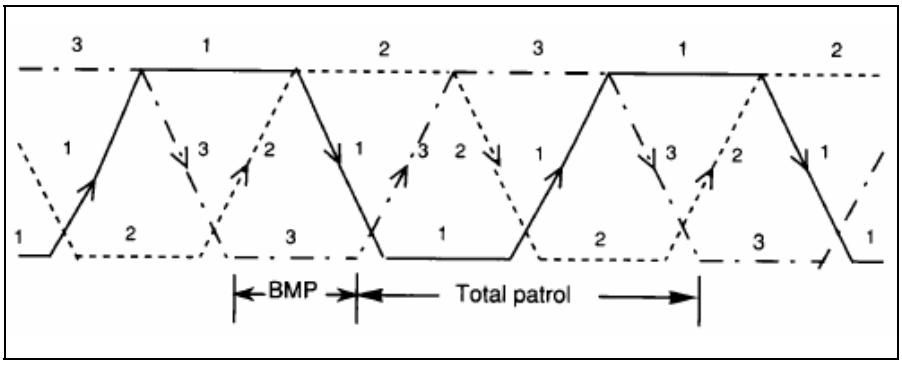
باشد تا به هنگام حرکت زیردریایی در سطح آب مقاومت حرکت و مصرف سوخت خیلی بالا نباشد.

زمان توقف در منطقه عملیاتی هم چندان اختیاری نیست. اگر لازم است که همواره یک زیردریایی برای یک مدت زمان طولانی در یک جا بماند، بنابراین زمان توقف وابسته به زمان رسیدن زیردریایی بعدی به محل توقف، برای تفویض مأموریت می‌باشد. اگر سیستمی را با دو زیردریایی در نظر بگیریم، یکی از آنها در محل توقف برای زمان مشخصی می‌ماند و زیردریایی دیگر محل توقف را ترک می‌کند تا به پایگاه برگردد تا بتواند مدت زمانی را در پایگاه بماند (تقریباً ثابت) و پس از این مدت به محل بازگردد. معمولاً دوره زمانی ماندن در پایگاه ۲۵ روز است و اگر زمان انتقال ۵ روز باشد، طول زمان حضور در محل ماموریت ۳۵ روز خواهد بود و کل زمان گشت‌زنی برای هر زیردریایی ۴۵ روز می‌باشد (شکل ۱–۱۱ را نگاه کنید). این شکل متناسب با زمان انتقال که توضیح داده شد، تغییر می‌کند. گشت‌زنی کوتاه‌تر با بکارگیری سرعت انتقال سریعتر مسیر می‌باشد.



شکل (۱–۱۱) سیستم دو شناوری

همچنین زمان گشت‌زنی کوتاه‌تر را می‌توان با استفاده از سیستم سه زیردریایی بدست آورد (شکل ۲–۱۱). هزینه تعمیر و نگهداری سیستم یک زیردریایی در توقفگاه می‌تواند با هزینه گشت‌زنی یک زیردریایی دیگر در ناوگان، افزایش یابد. برخی از این مطالعات برای رسیدن به یک هزینه اقتصادی با یکی از این روش‌ها لازم و ضروری است.



شکل (۲–۱۱) سیستم سه شناوری

قابلیت سرعت حداکثر

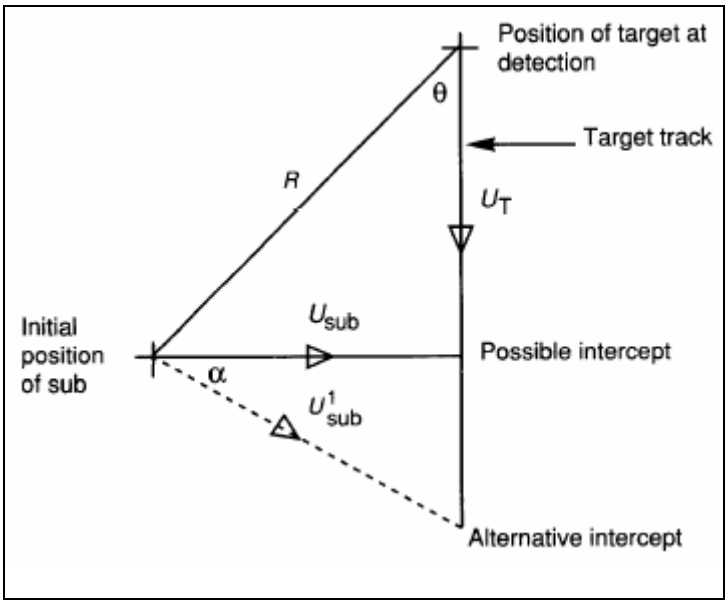
۵–۱۱) هزینه سرعت، تقریباً توضیح داده شده است و سرعت بالا از آنجا که همیشه مطلوب ماست، حداکثر سرعت باید در مرحله طراحی مفهومی تضمین گردد. یک سناریوی بررسی می‌تواند اینچنین باشد که زیردریایی تحت شرایطی ممکن است برای ایفاء نقش نظارت و مراقبت نیاز به امکان ردگیری و تعقیب هدف در مسیر عملیاتی خود را داشته باشد (شکل ۳–۱۱). بر این اساس، تجهیزات ردیابی باید نصب شود و با توجه به خصوصیات هدف، باید دارای برد ردیابی (R) باشد.

اگر ردگیری هدف در زاویه θ نسبت به جهت ردیابی باشد، مشکل تعقیب و یافتن آن در بین راه را باید حل کرد. کوتاهترین فاصله تا هدف مورد ردیابی $R\ Sin\theta$ خواهد بود و این

فاصله‌ای است که زیردریایی ردیاب باید پنهان شود تا زیردریایی هدف فاصله $R.\cos\theta$ را طی کند.

برای حل مشکل ردیابی ساده باید داشته باشیم:

$$\mathrm{tg}\theta = \frac{U_{sub}}{U_{target}}$$



شکل (۳-۱۱) هندسه و مسیر رسیدن (تعقیب) به هدف

البته زیردریایی می‌تواند زمان ردگیری را بوسیله هدفگیری در زاویه α ، مانند شکل افزایش دهد که فاصله‌ای که باید توسط هدف پیموده شود بیشتر می‌شود در حالیکه تنها افزایش اندکی در فاصله پیموده شده توسط زیردریایی ردیاب رخ می‌دهد، چنانکه سرعت مورد نیاز آن

می‌تواند کمتر باشد. این نکته در زیردریایی‌هایی که از باطری برای رانش استفاده می‌کنند، مهم است که مدت زمان کارکرد باطری با کاهش سرعت، افزایش قابل ملاحظه‌ای خواهد یافت.

بنابراین اگر زیردریایی بخواهد ردیابی را در سرعت ۲۰ گره انجام دهد، ممکن است فقط نیم ساعت باطری‌های آن دوام بیاورند که فاصله ردیابی به ۱۰ مایل می‌رسد. در حالیکه با سرعت ۱۵ گره، دوام باطری‌ها ۳–۲/۵ ساعت می‌باشد که امکان پیمودن مسافت ۴۰ مایل را فراهم می‌کند. باید یادآوری شود که زیردریایی ممکن است در انتهای ردیابی نیاز به امکان حمله به هدف را داشته باشد، لذا باطری نباید حین نزدیک شدن به هدف[1] تخلیه شود. مطالعات در این مورد نشان می‌دهد که برای یک زیردریایی معمولی، زاویه تعقیب هدف θ برای موفقیت ردیابی هدفی که دارای سرعت بالا می‌باشد، حدود ۳۰ درجه است. این زاویه به همراه بردی که امکان ردگیری وجود داشته باشد، مشخص کننده عرض ناحیه‌ای است که می‌توان با موفقیت ردیابی را انجام داد. در حقیقت این ملاحظات می‌تواند منجر به بررسی این نکته شو د که چه تعداد زیردریایی‌ها نیازاست تا بتوانند عملیات بستن راه ارتباطی دشمن در منطقه عملیاتی را با موفقیت انجام دهند.

این عامل بسیار مهم است که در حین مطالعات مفهومی، تبادل نظر و مباحثه ممتد و پیوسته‌ای بین کاربران و طراحان صورت گیرد تا خواص و تجهیزات مطلوب که مورد انتظار کاربران است، با در نظر گرفتن هزینه آنها، تأمین گردد.

گزینه‌ها:

۶–۱۱) با بررسی نیازهای اولیه طراحی، دسته بعدی از تصمیمات ممکن است با عبارت «گزینه‌های فناوری»[2] بیان شود که ارائه کننده ناحیه‌ای است که طراح می‌تواند طراحی مفهومی را بیشتر تحت تأثیر قرار دهد. بنابراین طراح ممکن است مواد مختلفی را برای

1- Closing run
2- Technology options

بدنه فشار جستجو کند، همچنین در مورد سیستم‌های پیشران، ذخیره انرژی و سیستم‌های کنترلی به دنبال سیستم‌های جدید باشد.

طراح ممکن است به دنبال راه‌کارهایی جهت اتوماسیون بیشتر و کاهش تعداد خدمه گردد و روش‌های مختلفی را برای کاهش صدا مدنظر قراردهد. این انتخاب‌ها ممکن است راه‌هایی برای ارائه نوآوری باشد، اما طراح همواره باید این نکته را در ذهن داشته باشد که هر چه میزان نوآوری بیشتر باشد، اطلاعات اولیه او کمتر قابل اعتماد خواهد بود و قبل از اینکه طرح با حداقل خطـر و ریسک، مورد قبول واقع شود، نیاز به تحقیقات و پژوهش گسترده‌تری خواهد بود. این تحقیقـات ممکن است انتخاب‌های مختلفی را مورد بررسی قرار دهد، که برخی از نظر «ایمنی» و برخـی از نظر در اختیار بودن دانش و فن‌آوری آن مورد بررسی قرار می‌گیرند.

شکل هندسی

۷-۱۱) همچنین طراح باید یک شکل هندسی را انتخاب کند که مناسب و مورد تائید باشد. برای مثال ممکن است دلایلی وجود داشته باشد که از نسبت طول به قطر بیشتر استفاده شود تا سطح کافی برای حسگرهای خطی را فراهم نموده یا عملکرد سطحی زیردریـایی را بهبـود بخشد.

طراح ممکن است بخواهد از بدنه دو لایه یا سه لایه استفاده کند. همچنـین طـراح ممکـن است بخواهد بجای شکل بدنه به صورت «سیگارت» [سیگارهای دوکـی شـکل] از شـکل‌هـای دیگر برای تغییر خصوصیات مانور استفاده کند. همانطور که در بالا بحث شـد، فاصـله گـرفتن از شکل‌های معمولی، خطرپذیری آن را زیاد کرده و ممکن است باعث نیاز بـه تحقیقـات گـسترده شود که البته این مورد نباید مفهوم جستجوگری و تحقیق را محدود کند.

استانداردها:

۸-۱۱) دسته دیگری از انتخاب‌ها که وجود دارد و می‌توان بین آنها جستجو کرد، «استانداردها» می‌باشند. هر طراحی مجبور به استفاده از تعداد زیادی از استانداردها است که در کتابچه طراحی یافت می‌شود و در سطح قابل قبولی بوده و نتیجه بررسی‌ها در دراز مدت هستند. آنها مباحثی مانند نگهداری، قابلیت اطمینان، کیفیت، آتش، ضربه ناگهانی، خطرات سروصدا، عوامل ایمنی، سازش با محیط و ایمنی سلاح را نیز پوشش می‌دهند. ممکن است مشاهده شود که این استانداردها به صورت استانداردهای اجباری ارائه شده‌اند و طراح، آزادی کمی برای انتخاب نیازهای خود در طراحی دارد.

اصولاً استانداردها بطور پیوسته تحت تجدید نظر هستند و برای یک طراحی مشخص می‌توان در این زمینه بررسی‌هایی را انجام داد. بنابراین برای مثال، نحوه رفت و آمد خدمه برای نگهبانی و کار در قسمت‌های مختلف یا استاندارد محل استراحت خدمه در داخل زیردریایی، از عوامل مهمی هستند که در تعیین اندازه و بازدهی زیردریایی تأثیرگذار می‌باشند و بنابراین بررسی قابلیت کاربردی بودن هر یک، ممکن است مفید باشد. در مواردی ممکن است لازم باشد کلیه عوامل مؤثر بر ایمنی عمق غوطه‌وری مورد بازبینی قرار گیرند، چرا که ممکن است استانداردهای ایمنی با شرایط ویژه موضوع طراحی مطابقت نداشته باشند. یکی از قسمت‌هایی که طراح ممکن است آزادی بیشتری برای کار با استانداردها داشته باشد، حوزه‌های مربوط به ساخت و یا سیستم‌های تولید قدرت است.

باید تصدیق کرد که در مواردی ممکن است طراح اصرار شدیدی به اعمال تغییرات بر مبنای استاندارد داشته باشد، ولی واجب است که از هزینه‌های استفاده از این استانداردها هم مطلع باشد و البته در ذهن داشته باشد که ملاحظات در نظر گرفته شده در طراحی طبق استاندارد، ممکن است برای این طراحی ویژه و خاص که طراح باید انجام دهد، ضرورتی نداشته باشد.

روش‌های طراحی مفهومی

۹-۱۱) قبل از تحلیل بازدهی و کارآیی فرآیند طراحی، باید اندازه و شکل هندسی زیردریایی به عنوان نقطه شروع، مشخص گردد. این مورد می‌تواند در مجموع بارقه امیدی برای موفقیت کار طراحی باشد و در حقیقت لازم است که انتخاب قسمت‌های مختلف در مقایسه و متناسب با اندازه زیردریایی طراحی شوند. علاوه بر راه‌های موجود، استفاده از قدرت کامپیوترها، روش‌های دیگری را هم ممکن ساخته است.

در این بخش می‌خواهیم روی برخی از این روش‌ها بحث کنیم. هرچند این روش‌ها مستقل هستند، ولی لازم است که طراح بیش از یک روش را برای رسیدن به مفهوم مورد نظر استفاده کند.

روش شناور مدل[1]

۱۰-۱۱) رایج‌ترین و بهترین روشی که مهندسان دریایی از آن استفاده می‌کنند، روش «شناور مدل» می‌باشد. با این روش، طراح یک شناور را که قبلاً طراحی و ساخته شده است و با نیازهای عملیاتی، تجهیزات و خصوصیات طراحی مورد نظر، بیشترین تطابق را داشته باشد، انتخاب می‌کند. باید همه خصوصیات و نقطه ضعف‌های این شناور که برای مشخص شدن وضعیت کاربردی و عملیاتی آن لازم است، شناخته شده باشد.

البته در طرح زیردریایی از روش نوع شناور مدل، محدودیت‌هایی وجود دارد چراکه ضرورت‌ها و محدودیت‌های هیدرواستاتیکی برابر بودن وزن و شناوری، شرایط خاصی را تحمیل می‌کند. اگر نیاز باشد که یک سلاح و حسگر جدید نصب شود، این نصب جدید باید در داخل این شناور مدل نصب شود و نباید حجم بیشتری از حالت قبل، در داخل بدنه اشغال کند. همچنین

[1] - type ship method

نباید به تعداد خدمه‌ها، تجهیزات الکتریکی، هیدرولیکی، آب و فضای بیشتری نسبت به شناور مدل نیاز باشد.

۱۱-۱۱) اگر تغییراتی برای اصلاح شکل بیرونی بدنه انجام شود، بازدهی سیستم پیشران شناور عوض خواهد شد و شاید خصوصیات کنترلی نیز تغییر کند. اگر بازدهی شناور با حفظ سیستم‌های موجود پیشرانش و انرژی، تا حدود کمی تغییر کند، این تغییر قابل قبول خواهد بود. هر چند که شاید نیاز به طراحی دوباره پروانه باشد تا نیاز به نیروی پیشران جدید با سرعت دورانی و گشتاور آن، هماهنگ و متناسب باشد. اگر میزان بازدهی این شناور مطلوب نباشد، پس باید تغییراتی را در نقشه پیشرانش اعمال کرد که ممکن است منجر به نیاز به حجم و وزن بیشتر در داخل بدنه فشار شود. اگر نیاز به اعمال تغییرات بیشتری در داخل زیردریایی باشد که باعث تغییر حجم یا شناوری بدنه فشار گردد، لازم است شکل هندسی بدنه فشار نیز عوض شود. در این شرایط نیاز به مراحل پیوسته مختلفی برای اصلاح و ایجاد تعادل بین وزن و شناوری زیردریایی در حالت غوطه‌وری و ظرفیت مناسب مخازن شناوری برای ایجاد شرایط مناسب شناوری روی سطح آب می‌باشد.

اعمال تغییرات روی بدنه مستلزم بازبینی در اکثر سیستم‌های عملیاتی زیردریایی خواهد شد (هیدرولیک، هوا، آب، تهویه و تقسیم قدرت الکتریکی). افزایش وزن بدون افزایش حجم منجر به استفاده از مواد با استحکام بالاتر در بدنه خواهد شد. این مورد شاید منجر به تغییر ضریب اطمینان و ایمنی تنش‌های شکست و کمانش بدنه فشار گردد که مستلزم بازبینی کامل در فریم‌بندی و فضای داخلی بدنه می‌باشد. همچنین ممکن است نیاز به تغییر جانمایی دیواره عرضی اصلی[1] شود که باعث بازبینی در جانمایی داخل بدنه می‌شود.

۱۲-۱۱) یکی از راههای تغییر یا اصلاح طراحی، اضافه کردن یک بخش به بدنه فشار زیردریایی است. به طور ایده‌آل این واحد بایستی به طور طبیعی دارای تعادل باشد تا از تغییرات زیاد

1- Main bulkhead

در زیردریایی جلوگیری شود. چنین تغییراتی در جنگ جهانی دوم روی زیردریایی مدل T نیروی دریایی سلطنتی انگلستان اعمال شد که باعث وسعت قسمت باطری‌ها شد و بنابراین قابلیت دوام در زیر آب این زیردریایی بیشتر شد. اخیراً نیز همین روش برای نصب سیکل استرلینگ با سیستم مستقل از هوا در زیردریایی سوئدی مدل Nacken استفاده شده است.

از آنچه تاکنون بیان شد مشخص می‌شود که اعمال تغییرات اندک و اصلاحات روی شناور چگونه می‌تواند باعث تغییرات اساسی روی طرح اولیه شود به گونه‌ای که نتیجه نهایی ممکن است از طرح اولیه دور شده باشد و بنابراین خطرپذیری آن افزایش می‌یابد؛ لذا باید سعی کرد از اعمال تغییرات بسیار زیاد پرهیز شود، چرا که ممکن است منجر به بازدهی‌ای شود که از آنچه در دسترس است کمتر باشد.

بنابراین به نظر می‌رسد در صورت انجام تغییرات گسترده، روش «شناور مدل» در طراحی زیردریایی کارآیی چندانی نداشته باشد و بهتر است که طراحی را از اول شروع کنیم. این به معنای صرفنظر کردن از اطلاعات و داده‌های مفیدی که می‌توان از زیردریایی‌های ساخته شده قبلی بدست آورد، نمی‌باشد و می‌تواند به عنوان راهنمای طرح جدید باشد. روش «شناور مدل» را می‌توان برای تخمین اندازه اولیه زیردریایی استفاده کرد که باعث پیشرفت طراح در رسیدن به یک شکل بدنه مناسب می‌گردد.

روش ساخت بلوکی[1]

۱۳-۱۱) روش راحتی که هنوز به طور گسترده بکار گرفته می‌شود «ساخت بلوکی» نام دارد. در این روش هر زیردریایی از به هم پیوستن و سرهم کردن «بلوک‌ها» تشکیل می‌گردد که اطلاعات وزن و حجم هر بلوک مشخص است. بنابراین برای سیستم قدرت یکی از

[1] - building block method

موتورهای پیشران الکتریکی موجود به همراه تجهیزات فرعی آن ممکن است انتخاب شود؛ همچنین یک طرح دیزل ژنراتور (که دیزل دوتایی[1] گفته می‌شود) بهمراه تجهیزات آن ممکن است انتخاب شود؛ همچنین یک سیستم شلیک سلاح، تجهیزات مناسب فرمان و کنترل آن ممکن است انتخاب شود.

از مجموع این اطلاعات یک حجم اولیه مورد نیاز را می‌توان ارزیابی کرد. پس از تعیین حجم مخازن محاسبه شده، حجم بدنه فشار بدست می‌آید و اطلاعاتی از وزن‌های داخلی حاصل می‌گردد. می‌توان ملحقات بدنه را نیز تعیین کرد و حجم مخازن شناوری اصلی بیرونی و فضاهای آبگیر آزاد را تخمین زد تا شرایط مورد نیاز در سطح آب بدست آید.

بدین ترتیب اندازه و شکل اولیه یک انتخاب مشخص می‌گردد. مرحله بعدی، تحلیل بازدهی وسیله نقلیه‌ای که طراحی آن انجام شده و مقایسه آن با نیازهای عملی می‌باشد. اگر نتایج مقایسه رضایتبخش نباشد، انتخاب‌های دیگری برای تجهیزات صورت گیرد تا آنجا که یک بازدهی قابل قبول بدست آید. در صورت داشتن یک بانک اطلاعاتی گسترده از مشخصات فنی تجهیزات و روش‌های طراحی با استفاده از سیستم‌های پردازش پرقدرت بوسیله کامپیوتر، این اقدامات تکراری را می‌توان به سرعت انجام داد و نقش طراح این است که انتخاب‌های مجرب و نسبتاً درستی انجام دهد. هر چند که این روش ساده‌تر از روش «شناور مدل» است، ولی این روش بسیار وابسته به کیفیت و تنوع اطلاعات اولیه می‌باشد و بنابراین امکان نوآوری در مطالعات مفهومی را محدود می‌کند.

۱۴-۱۱) به منظور انتخاب اندازه اولیه تجهیزات مورد نیاز، برخی پیش‌بینی‌ها برای تعیین اندازه احتمالی شناور نیاز است. هر چند تکرارهای بعدی، این تخمین را مورد تجدید نظر قرار خواهند داد تا کار خود به خود به مرحله‌ای رضایتبخش برسد، یعنی اندازه شناور به اندازه مورد نیاز برسد. تحلیل جبری که بعداً در این فصل ارائه می‌شود، تا حدی علت این رفتار

1- Twin diesel

رضایتبخش به صورت خود بخودی را بیان می‌کند. توضیح دیگر این است که روش ساخت بلوکی انتخاب شده بر سایر اجزاء که باید وجود داشته باشد اثر متقابل کمتری دارد. با دنبال کردن این مباحثه، درمی‌یابیم که این فرآیند نسبت به آنچه انتظار می‌رود می‌تواند حساسیت کمتری نسبت به تغییرات داشته باشد.

علیرغم تمام موانع موجود، روش ساخت بلوکی هنوز به عنوان یک روش سودمند در طراحی‌های تولید برای برآوردن نیازهای مشتریان بکار می‌رود. با ایجاد یک مدل کاذب[1] می‌توان پیشاپیش دید بهتری از طراحی داشت که اطلاعات این مدل براساس بلوک‌های تشکیل دهنده بدست می‌آید. بنابراین، با انجام قسمتی از جزئیات طراحی مانند نقشه سیستم مستقل از هوا، اطلاعات بدست آمده را می‌توان به اطلاعات قبلی افزود. با استفاده از کامپیوتر در سیستم طراحی، باید در مدیریت فایل‌ها بسیار مراقب بود که بین اطلاعات واقعی و اطلاعات ایجاد شده[2] اختلاط پیش نیاید.

روش دیگری که می‌توان اطلاعات پایه را گسترش داد، استفاده از اطلاعات ایجاد شده از مدیریت مطالعات طراحی با استفاده از این سیستم می‌باشد. مجدداً باید مراقب استفاده از مدارک طراحی (که هنوز ساخته نشده‌اند)، به عنوان منبع اطلاعات طراحی بود تا میزان اطلاعات نادرست آن خیلی کمتر از اطلاعات بدست آمده از طراحی‌های قبلی باشد. حتی با این گسترش داده‌ها و اطلاعات، بلوک‌های ساخته شده، واحدهای اصلاح شده‌ای هستند که اگر تغییری در آنها مورد نیاز باشد طراح باید واحد بعدی یا نزدیکترین واحد موجود در بانک داده‌ها را انتخاب کند. برای برخی از واحدها این مورد واقع بینانه است، برای مثال موتورهای دیزل معمولاً در اندازه‌های خاصی وجود دارند. البته بسیاری از سیستم‌ها می‌توانند دارای کاربرد خاصی بوده و

1- Pseudo
2- Real and created data

الزامات خاص خود را داشته باشند و بنابراین دارای یک ارتباط پیوسته بین نیازها و اندازه‌ها می‌باشد.

مراحل بعدی کار با این داده‌ها و اطلاعات، پیشرفت معادلات مربوط به تخمین وزن، حجم و نیازهای قدرت سیستم در پاسخ به نیازهای ورودی می‌باشد. این پیشرفت ممکن است بوسیله فرمول‌بندی منطقی پارامترهای طراحی به صورت الگوریتم‌های جبری باشد. اطلاعات موجود ممکن است سپس برای تعیین ضرایب معادلات مربوط استفاده شود. تحلیل بازگشتی غالباً برای مشخص شدن این توابع بکار می‌رود.

روش ترسیمی (استفاده از نمودار)[1]

۱۵-۱۱) بعضی از طراحان مایل به اعمال تغییرات در اندازه حجم‌های داخل بدنه که غیر ضروری است، می‌باشند و این برای دست یافتن به یک جانمایی هندسی رضایتبخش و کارآمد می‌باشد بویژه در قسمت سینه که تعیین کننده حداکثر اندازه شناور است. بنابراین اولین قدم، اصلاح و پیشرفت نقشه‌های جانمایی است که در فصل هفتم بحث شد. اگر بخواهیم طراحی دارای کمترین نقص باشد، باید همواره ملاحظاتی را در مرحله طراحی مفهومی در نظر داشت. اعمال تغییرات در نیازمندیهای حجم داخلی نمی‌تواند ضامن دست-یابی به یک طراحی موفق باشد. برای شروع یک جانمایی هندسی خوب، هر چند بطور آزمایشی لازم است که چارچوب فضای داخل بدنه مشخص شود و این مستلزم تخمین اولیه حجم کل به همراه طول و قطر بدنه زیردریایی است (هر چند که ممکن است بعداً برای نصب تجهیزات مخصوص، اصلاحاتی در اندازه و جانمایی داخلی صورت گیرد).

تا حدودی تعیین مستقیم اندازه هندسی شناور ناشی از تجربه بدست آمده از طراحی‌های قبلی است، زیرا بخش‌های اصلی درون زیردریایی‌ها ثابت است. هنگامیکه یک برنامه توسعه بلند

[1] - graphics method

مدت برای اصلاح نقشه پیشرانش اصلی در نظر گرفته می‌شود، این برنامه باعث تغییر در همه قسمت‌های زیردریایی نمی‌شود، بلکه در واقع نیمی از حجم و ابعاد زیردریایی ثابت است و مشکل، بررسی نیمه دیگر است. اگر افزایش بازدهی مد نظر باشد، تا حد زیادی بازدهی زیردریایی براساس نقشه‌های موجود، ثابت است و طراح تقریباً محدود به اعمال تغییراتی در قسمت سینه است که بتواند به بهترین شرایط هیدرودینامیکی دست یابد و به تبع آن بازدهی بیشتری حاصل شود. هرچند انتخاب‌های بیشتری برای تعیین تجهیزات سیستم تولید قدرت می‌توان داشت ولی اعمال تغییرات در حجم ناخالص به منظور تعیین ابتدایی اندازه و ابعاد طراحی می‌تواند ارزشمندتر باشد.

۱۶-۱۱) همانطور که از کامپیوتر برای انجام سریع محاسبات ریاضی استفاده می‌شود، این مقادیر را می‌توان برای رسم طرحها و شکل‌ها بوسیله برنامه‌های کامپیوتری مدرن که دارای قابلیت خوبی در رسم نمودارها باشند، استفاده کرد.

به عنوان یک استفاده ساده از کامپیوتر، می‌توان از آن بعنوان یک وسیله ترسیمی استفاده کرد. با استفاده از صفحات منو، می‌توان شکل بیرونی و بدنه فشار را رسم کرد که شکل دهنده اطلاعات اولیه‌ای می‌باشد که می‌توان عرشه و قسمت‌های داخلی را تعیین و آنها را برای مطالعه جزئیات نقشه‌ها بکار برد. تنظیم شکل‌های هندسی، امکان محاسبه حجم مخازن و مراکز گرانش قسمت‌های اصلی را فراهم می‌کند که برای بررسی تعادل کلی زیردریایی بکار می‌رود. دستگاه‌هایی که دارای اندازه استاندارد و مشخص هستند را می‌توان از پیش ترسیم کرد و جای آنها را تغییر داد و طرحهای بسیاری را امتحان کرد. این روش، امکان بررسی روش‌های قبلی را با سرعت فراهم می‌کند. به کمک کامپیوترهای قوی، می‌توان روش‌های بررسی و جابجایی قسمت‌های مختلف مخازن را امتحان کرد. همچنین به کمک کامپیوتر می‌توان نمای سه بعدی قسمت‌های داخلی را ایجاد کرد که باعث مشخص شدن تصویری از طرح نهایی می‌شود.

با توجه به اهداف بسیاری که موجود است، طراحان نباید اجازه دهند که نیاز اساسی طراحی براساس فکر و اندیشه، مخدوش شود و کار طراحان تنها بررسی طراحی انجام شده باشد. بنابراین وسایل ترسیمی دستی نیز برای ارزیابی اولیه شکل‌ها و طرحها ارزشمند هستند.

۱۷-۱۱) در زمینه طراحی مفهومی لازم است که ارتباطی بین محاسبات عددی اندازه، وزن و تعادل با بررسی هندسی شکل بدنه برقرار شود. روشی که می‌توان در این زمینه انجام داد، اتوماسیون کردن دیاگرام «فلاندر» می‌باشد که قبلاً در فصل هفتم توضیح داده شد. با کامپیوتر می‌توان تعادل مناسبی بین حجم و وزن بدست آورد که امکان مشخص شدن حدود و مرزهای این دیاگرام فراهم شود. اینها را می‌توان هم برای حجم داخلی بدنه فشار (که به صورت ناحیه‌ای در داخل دیاگرام نشان داده شده است) و هم برای حجم‌های خارج از بدنه استفاده کرد. از مقادیر داده شده برای حجم مورد نیاز و حجم محاسبه شده مخازن، سیستم پیشران، باطری‌ها و غیره، می‌توان قسمت‌های مختلف داخل دیاگرام را طوری دستکاری کرد که از فضای موجود بیشترین استفاده بعمل آید و بنابراین حجم باقی مانده (مثبت یا منفی) که از به هم نزدیک کردن قسمت‌های مختلف بدست آمده را مورد بررسی قرار داد.

ممکن است فضایی هم به صورت اضافی باقی بماند، چرا که در حجم کل مورد نیاز که مشخص شده ممکن است، تقسیم مناسب و جانمایی بهینه برای اجزاء مختلف و مخازن صورت نگرفته باشد. برای مثال، از آنجا که قسمت سلاح باید در مجاورت یکی از قسمت‌های بدنه باشد، امکان قرار گرفتن در یک قسمت مشخص که مناسب باشد ۸۰ درصد و امکان قرار گرفتن در جاهای دیگر که قابل قبول باشد ۲۰ درصد است.

اصول تعیین اندازه

۱۸-۱۱) روش دیگر اصول تعیین اندازه، بر اساس استفاده از کامپیوتر و قابلیت خوب آن در تکرار کردن موارد مطلوب، می‌باشد. نوعی از این روش در دانشگاه کالج لندن برای آموزش مبانی طراحی زیردریایی به دانشجویان استفاده می‌شود که SSCON نامیده می‌شود که خیلی شبیه روش CAD در طراحی‌های واقعی است. SSCON از روش حجم - چگالی که در فصل چهارم توضیح داده شد، استفاده می‌کند. این روش از آنجا که داده‌ها و اطلاعات واقعی که در پاراگراف‌های قبل توضیح داده شد درعمل وجود ندارند پیشرفت کرده و توسعه یافته است.

البته در برخی از روش‌ها، این عامل بسیار کارآمد است چرا که ارتباط بیشتری در اعمال تغییرات بین حجم و وزن وجود دارد و بنابراین امکان بیشتری برای نوآوری در طراحی فراهم می‌شود. در سالیان بسیاری از سری‌هایی از الگوریتم‌های وابسته استفاده می‌شد که نیازهای واقع گرایانه‌ای از حجم، وزن و قدرت را ارائه می‌کرد که براساس داده‌های ورودی و هزینه تخمینی بررسی شده به کمک گروه‌های وزنی (که در فصل دهم توضیح داده شد) انجام می‌شد.

از مهمترین داده‌های اساسی برای تخمین اندازه‌ها، وزن و حجم مورد نیاز بار می‌باشد. بار به صورت تجهیزات مورد نیاز برای ایفای نقش عملیاتی زیردریایی تعریف می‌شود، یعنی سونارها، وسایل ارتباطی، سونارهای جنگ الکترونیک و رادار و تجهیزات فرعی همراه آنها؛ سلاحها به همراه سیستم‌های کنترل آتش، سیستم شلیک و مخازن انبار سلاح؛ سیستم کنترل و فرمان برای برقراری ارتباط بین سیستم‌های مجزا در داخل سیستم سلاح، علاوه بر نیاز بار به حجم و وزن، نیازهای دیگری نیز بدنبال دارد؛ مانند قدرت الکتریکی، سیستم تغذیه هوا و هیدرولیک، محل استقرار خدمه برای کارهای عملیاتی و تعمیر و نگهداری، همچنین مخازن آب جبران‌ساز

به هنگام شلیک شدن نیز باید فراهم شود. مجموع این نیازها، پیش نیازهای بار را شکل می‌دهند که مستقل از اندازه و شکل زیردریایی هستند.

مابقی قسمت‌ها که در بر گیرنده سایر قسمت‌های زیردریایی هستند، به طور مستقیم یا غیرمستقیم وابسته به اندازه زیردریایی و خصوصیات کارآیی و بازدهی آن می‌باشد. مشکلی در وارد کردن نیازهای کارآیی و بازدهی وجود ندارد، اما اندازه زیردریایی که مهمترین موضوع محاسبات کامپیوتری می‌باشد، باید مشخص شده باشد. بنابراین برای شروع کار، لازم است که تخمین اولیه‌ای از اندازه زیردریایی را داشته باشیم.

۱۹-۱۱) در یک طراحی معمولی، یک روش جهت تخمین اولیه، استفاده از نسبت حجم بارقابل حمل به حجم بدنه است. همانطور که از جداول فصل چهارم مشاهده شد، فضایی که توسط بار اشغال می‌شود، حدود ۳۰ درصد حجم داخلی بدنه فشار می‌باشد. اگر این طراحی مبتنی بر کنترل حجم، مورد بررسی قرار گیرد، امکان تخمین اولیه حجم داخلی بدنه فشار با یک روش ساده فراهم می‌شود:

$$\text{حجم پوسته سخت} = \frac{\text{حجم بار}}{۰/۳}$$

البته این امکان وجود دارد که یک روش طراحی مبتنی بر کنترل وزن با استفاده از نسبت وزن بار به وزن کل که قبلاً در مورد آن بحث شد، استفاده کرد؛ ولی نویسندگان این کتاب توصیه می‌کنند که از روش اولیه طراحی کنترل شده حجم استفاده شود و پس از تعیین اندازه شناور، از روش کنترل وزن استفاده گردد.

تخمین حجم قابل استفاده مورد نیاز داخل بدنه فشار می‌تواند منجر به بدست آمدن تخمین‌های اضافی‌تر فضای داخل بدنه فشار شود.

۲۰-۱۱) به حجم «خشک»[1]، باید حجم مخازن داخلی هم افزوده شود. این حجم شامل ظرفیت مخازن محلی[2] می‌باشد که در اولین مرحله محاسبات می‌توان آن را متناسب با حجم بدنه فشار دانست.

همچنین یک ظرفیت داخلی برای روغن جهت روغنکاری و مخازن سوخت روزانه نیاز است. هر چند که اینها فضاهای خشک نیستند، ولی معمولاً جزء نسبت حجم ماشین‌آلات در نظر گرفته می‌شوند و این حجم توسط نسبت حجم کلی بار پوشش داده می‌شود.

حجم مهم دیگری که در داخل بدنه فشار قرار می‌گیرد، فضای مورد نیاز مخازن شیب و جبران‌ساز (T&C) [4] می‌باشد. تعیین اندازه‌های مخازن شیب وجبران‌ساز و تعیین موقعیت آنها یک مقوله طراحی مجزا می‌باشد که در فصل سوم توضیح داده شد و جزئیات آن در ضمیمه سوم انتهای کتاب بیان می‌گردد. از ضمیمه می‌توان مشاهده کرد که محدودیت‌های تغییرات وزن ابتدا بوسیله حدود چگالی مشخص می‌شود و حد شرایط سبک[3] با میزان مصرف مخازن و انبارهای مصرف شدنی، مشخص می‌گردد. بنابراین به منظور انجام کارهای محاسباتی، از فرمول زیر می‌توان استفاده کرد:

$$(\text{T\&C})_{\text{حجم}} = \left(\frac{(\text{PH}_{\text{حجم}}) \times (\rho_{max} - \rho_{min})}{\rho_{sw}} + \frac{W_{T_{\text{انبارها}}}}{\rho_{sw}} \right) \times \frac{1}{\text{ضریب استفاده}}$$

که $(\rho_{max} - \rho_{min})$ محدوده مورد نیاز چگالی آب دریا می‌باشد.

وزن انبارها را می‌توان متناسب با تعداد خدمه و مدت گشت‌زنی در دریا تخمین زد، لذا حداکثر تعداد خدمه را باید به عنوان بخشی از نیازها در نظر داشت. یک نوع فرمولی که برای تعیین وزن انبارها می‌توان استفاده کرد از قرار زیر است:

1- Dry volume
2- Domestic tankage
4- Trim and Compensation
3- Light condition

(روزهای گشت‌زنی در دریا) × (تعداد خدمه) ∝ (W_T انبارها)

ضریب استفاده[1] یک مقدار نسبی است که سازه مخزن داخلی و میزان سرخالی بودن مخزن را در نظر می‌گیرد و مقدار پر بودن مخزن تقریباً برای هر یک به اندازه ۰/۹۵ مجاز می‌داند، یعنی به صورت ضریبی برای پر و خالی بودن مخازن، آب و حجم هوای باقیمانده در آنها. بـه صـورت ساده‌تر می‌توان گفت:

$$(T\&C)_{\text{حجم}} = ۰/۰۴۵ \times \left(\frac{\text{حجم جابجایی بدنه در سطح آب}}{\text{ضریب استفاده}} \right)$$

۲۱-۱۱) مجموع این حجم‌های محاسبه شده، حجم کل مورد نیاز فـضای داخلـی بدنـه فـشار را ارائه می‌کند. برای مشخص کردن حجم خارجی بدنه فشار، حجم مورد نیاز محاسبه شده را باید افزایش داد چرا که در صورت استفاده از بدنه کاذب با ورقه‌های فلـزی و تقویـت‌هـا[2]، تنها از فضای بین تقویت‌ها می‌توان استفاده کرد. لذا مثلاً حجم بیرونـی بدنـه فـشار برابـر خواهد بود با:

۱/۱۵ × حجم داخلی بدنه فشار = حجم بیرونی بدنه فشار

این فرمول، حجم جابجایی بدنه زیردریـایی را در شـرایط غوطـه‌وری (زیـر آب) مـشخص می‌کند و همانطورکه در فصل سوم بحث شـد، معمـولاً حجـم جابجـایی غوطـه‌وری شـامل آب مخازن شناوری اصلی تعریف می‌شود. شناوری حجم بیرونی بدنـه فـشار ($PH\ \ Vol_{ext}$) کـه از فرمول بالا بدست می‌آید، نزدیک به حجم جابجایی بدنه زیردریایی در سطح آب می‌باشد.

1- Utility factor
2- Frame

این امکان وجود دارد که حجم مخازن شناوری اصلی بیرونی را با استفاده از نسبت ذخیره شناوری، مشخص کرد. این انتخاب تا حدودی در اختیار طراح است، ولی معمولاً بین ۱۵–۱۰ درصد حجم بدنه فشار می‌باشد. در نتیجه می‌توان چنین محاسبه کرد:

$$\text{حجم مخازن شناوری اصلی} = \left(\frac{\text{(حجم پوسته سخت)} \times (\text{ROB})}{\text{ضریب استفاده}} \right)$$

ضریب استفاده، باز هم شامل سازه‌هایی که در داخل مخازن شناوری اصلی قرار دارند و همچنین مقدار آب باقیمانده در کف مخازن، هنگامیکه بطور کامل در معرض دمیدن هوا قرار می‌گیرند، می‌باشد. در یک اقدام محتاطانه می‌توان این ضریب را برای جبران اثر جاسازی کپسول‌های هوای فشرده در داخل مخازن و وزنه‌های تعادلی بیرون از بدنه درنظرگرفت.

حجم‌های بدست آمده برای مخازن شناوری اصلی، حجمی را ایجاد می‌کند که شناوری آن معمولاً بخشی از حجم جابجایی زیردریایی در حالت غوطه‌وری (زیر آب) است. هنوز حجم دیگری برای محاسبات بعدی نیاز می‌باشد و آن «حجم شکل»[1] است یعنی حجم کل بدنه بسته زیردریایی. در این مرحله هنوز مشخص نشده است که چه مقدار حجم آبگیر آزاد اضافی در شکل نهایی مورد نیاز است ولی لازم است حجم‌های اضافی بیرونی در قسمت سینه و پاشنه بعلاوه برجک و روکش بدنه در نظر گرفته شود.

به منظور انجام محاسبات ممکن است حجم آبگیر آزاد نیز به اندازه ۱۵ درصد حجم قبلی افزوده شود، چنانکه:

$$\text{حجم شکل بدنه} = (\text{حجم بدنه فشار} + \text{حجم مخازن شناوری اصلی}) \times ۱/۱۵$$

هم اکنون با این سه عامل حجم و خصوصیات بازدهی می‌توان با جزئیات بیشتری به تحلیل حجم‌ها و وزن‌های تجهیزاتی زیردریایی که به این عوامل وابسته هستند، پرداخت. از

1- Form volume

فصل سوم باید خاطر نشان کنیم که تغییرات شناوری ناشی از تغییرات چگالی که در مخازن شیب و جبران‌ساز اتفاق می‌افتد، باید دقیقاً در مورد حجم شکل لحاظ شود. البته معمولاً روی تعیین اندازه سیستم‌های شیب و جبران‌ساز بیشتر از حجم شکل کار می‌شود. اگر اصلاح این اختلاف مد نظر باشد، به حجم بدنه فشار استفاده شده در فرمول حجم مخازن شیب و جبران‌ساز، می‌توان درصدهایی از حجم مخازن شناوری اصلی و حجم شکل را اضافه کرد.

اجزاء اصلی که هم اکنون باید تخمین زده شود، سیستم‌های پیشران و ذخیره انرژی هستند که تاکنون فرض شده بود که یک فضای تخمینی را در داخل بدنه فشار اشغال می‌کنند. با فرض کردن یک سیستم دیزل الکتریک استاندارد، از فرمول‌هایی که در زیر ارائه شده است ممکن است بتوان برای تخمین حجم‌ها و وزن‌های قسمت‌های اصلی استفاده کرد.

موتور پیشران

۲۲-۱۱) اندازه موتور، از حداکثر قدرتی که لازم است تا به پروانه منتقل شود، بدست می‌آید که معمولاً بوسیله حداکثر سرعت غوطه‌وری (در زیر آب) مشخص می‌شود (U_{Max}). قدرت مؤثر، یعنی قدرت پیشران برای یک سرعت مشخص، را می‌توان با فرمول زیر تخمین زد:

$$(\text{Power})_{\text{eff}} = K_p \times (\text{Form Vol})^{0.64} \times U^{2.9}{}_{\text{max}}$$

با استفاده از واحدهای متریک و حالت خاص غوطه‌وری، K_p در حدود ۲۰ خواهد بود. اگر شکل بدنه با شکل ایده‌آلی که در فصل ششم بیان شد، تفاوت زیادی داشته باشد، این ضریب ممکن است مقدار اندکی افزایش یابد یعنی ممکن است بطور تقریبی با نسبت L/D شکل بدنه، اصلاح شود.

بدلیل وجود بازدهی بدنه (η_H)، بازدهی پروانه (η_O) و بازدهی انتقال (η_S)، قدرت مورد نیاز که باید به پروانه انتقال یابد بزرگتر از قدرت پیشران خواهد بود که طبق فرمول زیر بدست می‌آید:

$$\text{قدرت موتور} = \frac{\text{قدرت مؤثر}}{\eta_O \times \eta_H \times \eta_S}$$

از آنجا که در مراحل مقدماتی نمی‌توان از جزئیات پروانه یا شکل پاشنه آگاه بود. ولی برای یک پروانه تک محور، $\eta_O \times \eta_H$ ممکن است در حدود ۰/۷۵ و ۰/۹۸ = η_S در نظر گرفته شود. برای شناورهایی که دارای دو پروانه هستند، قدرت بین دو شفت تقسیم می‌شود و $\eta_H \times \eta_O$ در حدود ۰/۶ خواهد بود.

وزن و حجم موتور پیشران و ملحقات آن بوسیله قدرت مورد نیاز و گردش شفت تخمین زده می‌شود، (یعنی گشتاور مؤثری که مورد نیاز است) تعیین گردد.

تعیین اندازه باطری‌ها

۲۳-۱۱) مورد بعدی که باید تخمین زده شود، نسبت وزن به حجم مورد نیاز باطری‌ها می‌باشد. تعیین اندازه و ظرفیت باطری‌ها وابسته به انرژی مورد نیاز حداکثر زمان ماندن در زیرآب می‌باشد. این انرژی به دو دسته تقسیم می‌شود، یکی انرژی مورد نیاز پیشران در زیر آب در یک سرعت مشخص و دیگری انرژی مورد نیاز دستگاه‌های داخل زیردریایی یعنی مصارف داخلی[1].

برای سرعت غوطه‌وری زیردریایی، قدرت مورد نیاز را می‌توان از فرمول‌های قبل نیز تخمین زد، بدین ترتیب که بجای U_{max} از سرعت غوطه‌وری U_{sub} استفاده می‌شود. انرژی کل مورد نیاز بوسیله ضرب کردن زمان غوطه‌وری (بر حسب ساعت) در قدرت تخمین زده شده، بدست می‌آید.

1-Hotel Load

اگر زیردریایی بخواهد از سرعت‌های مختلف در حالت غوطه‌وری استفاده کند، انـرژی کـل مورد نیاز برابر با $\sum P_{ui} \times t_i$ بدست می‌آید که t_i مدت زمان حرکت زیردریایی با سرعت U_{subi} می‌باشد.

از مجموع مصارف مورد نیاز سیستم سلاح در شرایط گشت‌زنی، با احتساب قدرت مورد نیاز کارکرد ماشین‌آلات فرعی و دستگاه‌های تهویه هوا و تهویه مطبوع در شرایط معمولی گشت‌زنی، نیاز کلی مصارف غیر رانش بدست می‌آید. نیاز سیستم سلاح به انرژی را مـی‌تـوان از اطلاعـات اولیه‌ای که در خصوص این سیستم وجود دارد، بدست آورد. اما در این مرحله جزئیـات اطلاعـات در مورد سیستم‌های زیردریایی در دسترس و مشخص نیـست. اگـر منظـور تخمـین زدن باشـد، می‌توان آن را متناسب با حجم بدنه فشار فرض نمود. بنابراین مصارف داخلی قدرت را می‌توان از فرمول زیر تخمین زد:

$$\text{Sub HL} = ۰/۷۵ \times \text{HL Pay} + ۰/۰۷۵ \times \text{PH Vol}$$

حجم بدنه فشار : PH Vol

مصارف داخلی قدرت در حالت غوطه‌وری : Sub HL

مصارف قدرت مورد نیاز سیستم سلاح : HL Pay

سپس انرژی کل مورد نیاز بـاطری‌هـا را مـی‌تـوان تخمـین زد و در مـورد محاسـبه تعـداد باطری‌ها داریم:

$$\text{تعداد باطری‌ها } N_{Batt} = \frac{\text{انرژی مورد نیاز در حالت غوطه‌وری}}{\text{سلول / انرژی ذخیره شده}} \times (1 + X)$$

که $(۱+X)$ ضریب ایمنی باطری می‌باشد.

با توجه به تخمین‌های انجام شده، هم اکنون می‌توان حداکثر زمان دوام آوردن زیردریـایی در زیر آب (در صورتیکه باطری‌ها کاملاً شارژ باشند) را تخمین زد:

$$\text{زمان در حداکثر سرعت} = \frac{N_{Batt}}{P_{max}} \times K_{MB}$$

اگر باطری‌ها با حداکثر دبی، تخلیه و دشارژ شوند، ضریب K_{MB} مقدار مجـاز ایـن میـزان کاهش انرژی را مشخص می‌کند.

دیزل ژنراتورها

۲۴-۱۱) تعیین اندازه دیزل ژنراتور مبتنی بر قدرت مورد نیـازی اسـت کـه بایـد از طـرف دیـزل ژنراتورها در حالت تنفس (اسنورکل) زیردریایی تأمین شود. در این شرایط، دیزل ژنراتورهـا باید قدرت مورد نیاز را برای سه هدف مجزا تأمین کنند که عبارتند از:

- قدرت پیشرانش در سرعت و عمق تنفس ؛
- شارژ کردن باطری‌ها؛
- مصارف داخلی در شرایط تنفس.

اولین مورد را که می‌توان با فرمول‌هـای داده شـده تخمـین زد، فقـط بجـای U_{max} بایـد U_{snort} (سرعت در عمق تنفس) را جایگزین کرد؛ همچنین بدلیل ایجاد مقاومت مـوج سـازی در عمق تنفس، ممکن است یک ضریب مقاومت بزرگتر از یک در آن ضرب شود.

برای هدف دوم، با در نظر گرفتن باطری‌های استاندارد، محـدودیتی بـرای حـداکثر جریـان شارژ شدن وجود دارد که این میزان قدرت بوسیله حـداکثر جریـان (I_{max}) و تعـداد سـلول‌هـای موجود، مشخص می‌باشد.

هدف سوم، مصارف داخلی می‌باشد که تقریباً در مورد آن بحث شد، اما در شرایط تنفس می‌توان انتظار داشت که بار به دلیل دسترسی زیردریایی به هوای اتمسفر، کاهش پیدا کند. بنابراین تخمین قدرت مورد نیاز دیزل از قرار زیر است:

$$P_{dies} = \left[(1+m)(I_{max} \times 2.4 \times N_{Batt}) + \frac{P_{snort}}{\eta_{el}} + HL_{snort} \right] \times \frac{1}{\eta_{Conv}}$$

که m به عنوان ضریب ایمنی و احتیاط تعیین اندازه بزرگتر[1] و بازدهی η_{conv} و η_{el} به عنوان میزان تبدیل قدرت دیزل ژنراتور به قدرت مورد نیاز الکتریکی می‌باشند. در این مرحله می‌توان طرح‌هایی از دیزل ژنراتور مناسب را انتخاب کرد که P_{Dies} را تأمین کند و براساس اطلاعات دیزل ژنراتور، مقادیر وزن و حجم تعیین شود. همچنین در تعیین اندازه این طرح، از آنجا که دیزل ژنراتورها در اندازه‌های استاندارد وجود دارند، باید از روش تکرار در تعیین این سیستم استفاده کرد تا با اشکال مواجه نشویم. در این روش باید آنقدر انتخاب‌ها را تکرار کرد تا راه حل بهینه‌ای بدست آید که یک انتخاب مخصوص و مناسب صورت گیرد. از اطلاعات موجود، این مطلب دریافت می‌شود که نیازهای وزن و حجم به صورت خطی با قدرت افزایش نمی‌یابند.

۲۵-۱۱) همچنین در این مرحله یک عامل دیگری که دارای اهمیت کاربردی است و می‌توان آن را تخمین زد، «ضریب آشکاری»[2] (IR) می‌باشد. این نسبت براساس نسبت زمان تنفس به زمان انتقال تعریف می‌شود:

$$IR = \frac{T_{snort}}{T_{snort} + T_{submerged}}$$

1- Oversizing
2- Indiscretion ratio

می‌توان مشاهده کرد که زمان تنفس بوسیله زمان شارژ شدن باطری‌ها با یک نرخ شارژ مجاز قابل تعریف است، یعنی:

$$IR_{min} = \frac{T_{ch\,min}}{T_{ch\,min} + T_{sub}}$$

لذا می‌توان گفت «ضریب آشکاری» مستقل از طرح دیزل ژنراتور می‌باشد و به حداکثر دبی جریان شارژ شدن بستگی دارد. IR را همچنین می‌توان با افزایش اندازه باطری‌ها یا بوسیله کاهش قدرت مورد نیاز در زیر آب (در حالت غوطه‌وری)، کاهش داد که این امر (کاهش قدرت مورد نیاز غوطه‌وری) اصولاً بوسیله کاهش قدرت پیشرانش میسر می‌شود. راه دیگر که می‌تواند مؤثر باشد طراحی یک بدنه با مقاومت اندک است ولی بطور کلی کاهش «ضریب آشکاری» وابسته به داشتن سرعت غوطه‌وری اندک است.

موارد بیان شده مربوط به استفاده از سیستم قدرت دیزل الکتریک استاندارد است. امروزه اصرار زیادی روی استفاده از سیستم‌های رانش مستقل از هوا (AIP) برای تأمین قدرت مورد نیاز در زیر آب وجود دارد چراکه نیاز زیردریایی به تنفس در نزدیک سطح آب را کاهش می‌دهد. همچنین مدل‌هایی از باطری‌های با چگالی انرژی بالا فراهم شده است که با محدودیت‌های جریان شارژ مواجه نیست و امکان افزایش قدرت دیزل ژنراتور و کاهش زمان تنفس را فراهم می‌کند.

نیازهای سوخت

۲۶-۱۱) هر چند که بخشی از گشت‌زنی زیردریایی در زیر آب و به کمک باطری‌ها انجام می‌شود ولی در حالت کلی انرژی مورد نیاز زیردریایی از کار کرد دیزل ژنراتورها بدست می‌آید. بنابراین مصرف سوخت بوسیله زمان کارکرد دیزل‌ها و میزان تولید قدرت آنها مشخص می‌شود. در نتیجه، مقدار نیاز به ذخیره سوخت را می‌توان از مجموع زمان کارکرد دیزل در

حین گشت‌زنی و مصرف ویژه سوخت موتورها متناسب با قدرت تولیدی آنها بدست آورد. بنابراین فرمولی که می‌توان برای محاسبه ظرفیت سوخت استفاده کرد چنین است:

$$\text{وزن سوخت} = P_{dies} \times \text{زمان} \times SFC$$

SFC : مصرف ویژه سوخت بر حسب $(^{Kg}/_{KW})$

البته در تخمین‌های اولیه اندازه، برخی از این اطلاعات ممکن است موجود نباشد. تخمین اولیه ساده‌تری را می‌توان بوسیله برد کل و قدرت زیردریایی در یک سرعت بهینه متوسط انجام داد:

$$\text{وزن سوخت} = \left(\frac{\text{برد}}{\text{سرعت متوسط}} \times \text{قدرت متوسط} \right) \times K_{fuel}$$

که K_{fuel} بازدهی متوسط تبدیل انرژی سوخت به قدرت است.

اصول تعیین اندازه سیستم‌های مستقل از هوا

۲۷-۱۱) اصول فرآیند تعیین اندازه که توضیح داده شده است براساس سیستم پیشران دیزل الکتریک معمولی و سیستم ذخیره انرژی آن می‌باشد. اگر از سیستم‌های دیگری استفاده شود، تغییراتی در آن بوجود می‌آید.

پیشرانش هسته‌ای

این سیستم را نمی‌توان با جزئیات توضیح داد ولی مشخص خواهد شد که بیشترین قسمت طراحی زیردریایی هسته‌ای شامل در نظر گرفتن یک سیستم تولید قدرت ثابت و سیستم پیشرانش است؛ زمان طولانی پیشرفت و آزمایش نصب این دستگاه‌ها، آن را به صورت جزء اجتناب‌ناپذیر فرآیند طراحی درآورده است. این نوع زیردریایی با مشکل ذخیره انرژی مواجه

نیست، هر چند که نیازمند فراهم آوردن شرایط زندگی، تهویه مطبوع و انبارهای مورد نیاز معیشت خدمه برای زندگی دراز مدت در زیر آب می‌باشد. سیستم پیشران بخش زیادی از فضای داخل بدنه را اشغال می‌کند و در واقع حدود اندازه زیردریایی را با کمی تغییرات تعیین می‌کند. بررسی بازدهی یکی از اولین مواردی است که در مورد آن انجام می‌شود.

برای طراحی مفهومی در آینده ممکن است انعطاف‌پذیری بیشتری برای اعمال تغییرات در توربین‌ها و سیستم‌های انتقال قدرت شفت بوجود آید چنانکه بتوان آنها را با نیازهای مسلم طراحی پیوند داد. به نظر می‌آید که این مطالعات برای پیشرفت آینده طرحها استفاده شود و برای انجام کار طراحی به منظور ساخت، در کوتاه مدت کارآیی چندانی نداشته باشد.

پیشنهاداتی برای نقشه‌های سیستم هسته‌ای کوچکتر ارائه شده است که تولید قدرت آن بجای چندین مگاوات، چندین کیلووات باشد. این طرحها را می‌توان در حد همان سیستم‌های مستقل از هوا دانست.

سیستم‌های مستقل از هوا

۲۸-۱۱) به غیر از رآکتورهای کوچک می‌توان از سیستم‌های قدرت دیگری نام برد که به هوا نیاز ندارند:

الف – دیزل مداربسته

ب – سیکل استرلینگ

ج – پیل سوختی

د – باطرهای با چگالی انرژی بالا[1] (**HED**).

آخرین مورد چندان مستقل از هوا نیست ولی باعث اعمال تغییراتی در فرآیند طراحی می‌شود. در طی تحقیقات انجام شده مشخص شد که باطری‌های با دمای بالا[2] می‌توانند ۴-۳

1- High Energy Density
2- High temperature battery

برابر باطری‌های اسید- سرب معمولی، انرژی ذخیره کنند. این قابلیت این امکان را فراهم می‌کند که اگر در طراحی یک زیردریایی حجم قسمت باطری‌ها تغییر نکند، این باطری می‌تواند زمان ماندن در زیر آب با امکان سرعت بالاتری را فراهم کند. همانطور که مشاهده می‌شود، محدودیت کمتری در دبی شارژ کردن باطری‌ها با دمای بالا وجود دارد، چنانکه زمان شارژ آن کاهش می‌یابد و ضریب اختفاء به مراتب بهتری می‌توان بدست آورد.

ممکن است نیازهای کاربردی زیردریایی، نیاز به افزایش قدرت نداشته باشد که در این صورت می‌توان از باطری HED با حجم کوچکتری استفاده کرد که همان قدرت باطری مدل اسید- سرب را تولید کند. البته این تغییر باعث بروز مشکلاتی در نقشه طراحی زیردریایی می‌شود چرا که فضای صرفه جوئی شده توسط این باطری در پائین‌ترین قسمت زیردریایی برای سایر مقاصد مورد استفاده قرار نمی‌گیرد و خالی می‌ماند. استفاده از برنامه اصولی تعیین اندازه براساس باطری‌های HED می‌تواند منجر به یک حجم بدنه فشار شود که با جانمایی زیردریایی سازگاری بیشتری داشته باشد. از برخی از این فضاهای موجود می‌توان برای انبارهای بزرگتر استفاده کرد که البته تعیین اندازه انبارها بیشتر متناسب با مدت زمان گشت‌زنی صورت می‌گیرد و کمتر از زمان غوطه‌وری استفاده می‌شود. یک راه حل دیگر شامل استفاده از مخازن سوخت در داخل بدنه می‌باشد که پیش از این در بیرون بدنه نصب شده بودند. تردیدی وجود ندارد که می‌توان از جانمایی‌های مختلفی در این زمینه استفاده کرد. این تغییر ساده توضیح می‌دهد که تأثیر هر یک از قسمت‌ها بر یکدیگر و بروز مشکلات در طراحی چگونه است.

سایر سیستم‌ها نیز مشکلات دیگری ایجاد می‌کنند. همه آنها نیازمند به سوخت هستند که بعضاً از نوع ویژه‌ای مانند متانول می‌باشد ولی در کل باید بررسی‌های لازم برای تأمین سوخت در مدت گشت‌زنی انجام شود. فرق مهمی که وجود دارد این است که آنها همچنین نیازمند حمل یک اکسیدانت[1] می‌باشند. بنابراین در برنامه تعیین اندازه باید فضا و وزن اضافی را برای

1- Oxidant

اکسیدانت در نظر گرفت. اگر اکسیدانت به صورت اکسیژن مایع حمل شود (LOX)، پس دو برابر حجم LOX باید برای فضای مورد نیاز عایق‌کاری حرارتی در نظر گرفته شود. حجم دیگری نیز برای مخزن جبران باید فراهم شود تا شیب مناسب را درصورت مصرف LOX حفظ کند. در سیستم دیزل مداربسته اغلب موتور اصلی استفاده خواهد شد ولی حجم دیگری برای گردش گاز ، مخلوط کردن و تخلیه محصولات احتراق باید در نظر گرفته شود (با بکارگیری سایر سیستم AIP نیز نیازهای دیگری پیش می‌آید).

۲۹-۱۱) پیل سوختی یا سیکل استرلینگ سیستم‌های دیگری هستند که معمولاً در زیردریایی‌های معمولی دیزل – الکتریک نصب می‌گردند و بنابراین فضای اضافه دیگری باید در نظر گرفته شود. ظرفیت و توان این دستگاه‌ها که تاکنون موجود بوده است، برای جایگزین شدن بجای دیزل‌ها یا باطری‌ها کافی نیستند. کاربرد اصلی آنها افزایش مدت زمان ماندن زیردریایی در زیر آب می‌باشد. در سرعت‌های متوسط، آنها می‌توانند قدرت مورد نیاز پیشرانش و مصارف انرژی داخلی را تأمین کنند بطوریکه نیاز به استفاده از باطری‌ها نباشد یا در سرعت‌های بالاتر می‌توانند باعث تخلیه کمتر باطری‌ها شوند. هر چند برای حداکثر سرعت غوطه‌وری، زیردریایی هنوز وابسته به قدرت و ولتاژ باطری‌ها می‌باشد. بنابراین اگر امکان افزایش اندازه باطری‌ها وجود نداشته باشد، با همین اندازه باطری و به کمک سیستم مستقل از هوا، می‌توان به سرعت‌های بالاتری برای یک برد مشخص رسید.

از آنجا که با استفاده از سیستم‌های رانش مستقل از هوا (AIP)، انرژی مورد نیاز غوطه‌وری تأمین می‌شود، لذا دیزل‌ها ممکن است فقط برای شارژ باطری‌ها در مواقع مورد نیاز، بکار روند. بنابراین کاهش اندازه دیزل‌ها و افزایش زمانی که برای شارژ شدن باطری‌ها صرف می‌شود، می‌تواند قابل قبول باشد. هر چند که این عامل می‌تواند منجر به کاهش بازدهی و سرعت در سطح آب شود.

سایر شاخص‌های تعیین اندازه‌ها

۳۰-۱۱) با تعیین اندازه اجزاء سیستم رانش اصلی برای وزن و حجم مورد نیاز، ممکن است طراح در شرایطی قرار بگیرد که مجبور به بررسی دوباره تعیین اندازه اولیه زیردریایی در فرآیند طراحی شود. هر چند که به ندرت می‌توان تخمین های مناسبی را قبل از این مرحله ارائه کرد. با تعیین اندازه سیستم پیشران، بررسی تعداد خدمه مورد نیاز زیردریایی آسان می‌شود. بنابراین تخمین دوباره تعداد خدمه را می‌توان به شکل زیر بدست آورد.

$$N_{men} = N_{payload} + N_{Prop} + N_{Hull}$$

عبارت اول قسمتی از ورودی‌ها و تعداد اولیه می‌باشد که می‌توان برای سایر عبارات نیز آن را بیان کرد. از روی استانداردهای موجود برای فضای زندگی در داخل زیردریایی، می‌توان وزن و حجم مطلوب را تخمین زد. سیستم‌های فرعی را می‌توان به صورت تابعی از اندازه بدنه بررسی کرد که از تعیین اندازه اولیه بخوبی می‌توان در مورد آنها استفاده کرد که تا حد زیادی این سیستم‌ها وابسته به اندازه بدنه هستند.

در صورت تخمین مناسب اندازه بدنه، تمام نیازهای حجم و وزن داخل بدنه فشار به همراه نیازهای سوخت با دقت بیشتری تخمین‌زده خواهند شد.

تقسیم مخازن و ظرفیت‌ها به دو قسمت بیرونی و درونی وابسته به شکل بدنه می‌باشد. البته هنوز یک عامل مهم وزن باقی مانده است که وزن خود سازه می‌باشد.

وزن بدنه فشار

۳۱-۱۱) همانطور که در فصل پنجم بحث شد، طراحی سازه برای مقاومت در برابر فشار بیرونی، مشکل پیچیده‌تری نسبت به فشار داخلی است. با این حال، فرمول

«بویلر»[1] راهنمای خوبی برای تعیین اندازه سازه بدنه فشار زیردریایی می‌باشد. فرمول بویلر برای پوسته استوانه‌ای عبارتست از:

$$\sigma = \frac{P \times D}{2t}$$

که در آن داریم:

P : فشار در نظر گرفته شده در طراحی

t : ضخامت پوسته

D : قطر بدنه

σ : تنش مجاز

شکل دیگر این فرمول به صورت زیر است:

$$t = \frac{P \times D}{2\sigma}$$

و بنابراین وزن پوسته برابر است با :

$$\pi Dt \times \rho_s \times dl \text{ (در واحد طول)} = \frac{\pi D^2 \rho}{2\sigma} \times dl \times \rho_s$$

ρ_s : چگالی فولاد یا هر فلزی که بکار رفته است

با توجه به اینکه:

$$\frac{\text{حجم پوسته سخت}}{\text{واحد طول}} = \pi D^2 \times dl$$

وزن بدنه فشار به شکل زیر بدست می‌آید:

1- Boiler formula

$$\text{وزن} = \frac{P}{2\delta} \times \text{PH Vol} \times \rho_s$$

برای تخمین‌های اولیه که معقولانه نیز باشد، فریم‌های بدنه فشار را می‌توان نسبتی از پوسته در نظر گرفت. در نتیجه وزن بدنه فشار مستقل از قطر است و می‌تواند مرتبط با حجم بدنه فشار، عمق غوص در طراحی و تنش مجاز طراحی برای مواد بکار رفته باشد. بنابراین رابطه زیر را می‌توان برای تخمین اولیه وزن سازه بدنه فشار در نظر گرفت:

$$W_T = K \times \frac{\text{عمق غوص طراحی}}{\text{تنش تسلیم در طراحی}} \times \text{حجم پوسته سخت} \times \rho_s \quad \text{پوسته سخت}$$

بسته به خصوصیات مواد (نقطه تسلیم و مدول الاستیسیته)، رابطه آنها با عمق غوص در نظر گرفته شده در طراحی ممکن است خطی نباشد. سازه داخلی در معرض عمق غوص نمی‌باشد ولی به منظور تخمین اندازه اولیه ممکن است نسبتی از حجم بدنه فشار در نظر گرفته شود. همچنین سازه بیرونی ممکن است نسبتی از حجم‌های بیرونی که تخمین زده شده در نظر گرفته شود.

۳۲-۱۱) با انجام بررسی مستقیم حجم‌های مورد نیاز کاربردهای اصلی زیردریایی و تخمین نیازهای کاربردهای فرعی، هم اکنون این امکان وجود دارد که اینها را با هم جمع کرد و نیازهای حجم بدنه فشار و به تبع آن حجم مخازن شناوری اصلی و حجم شکل ظاهری را بدست آورد. اگر نیازهای طراحی به اندازه کافی نزدیک به استاندارد باشند، شکل‌هایی را می‌توان بکار برد که تخمین آن کاملاً نزدیک به تخمینی است که براساس نسبت بار قابل حمل **(Pay Load)** استفاده شد. هر چند که اگر اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین نیازها مشاهده شود می‌توان از شکل جدیدی استفاده کرد که تفاوت محسوسی با تخمین اولیه دارد. این مورد زمانی می‌تواند پیش بیاید که نیاز بیشتری به بار با وجود بازدهی نسبتاً کم، داشته باشیم یا هنگامیکه زمان دوام آوردن زیر آب بیشتر یا حداکثر سرعت مطلوب باشد.

این تفاوت‌ها نسبت رابطه بار را تغییر می‌دهد و ممکن است نیاز به انجام مجدد محاسبات و تکرار مجدد آن براساس حجم‌های پایه برای شکل جدید باشد. ممکن است چندین تکرار از این نوع نیاز باشد تا بتوان به مقادیر پایدار یا نسبتاً یکنواخت رسید. معمولاً در صورتیکه شکل مناسب برای حجم بدنه فشار حدود دو درصد مقدار قبلی متفاوت باشد، همگرایی می‌تواند قابل قبول باشد. یک نمودار آبشاری برای فرآیند تکرار تعیین اندازه در شکل (۴-۱۱) نشان داده شده است.

کنترل تعادل

۳۳-۱۱) همزمان با بررسی نیازهای حجم، اطلاعات مربوط به وزن نیز بدست می‌آید که امکان کنترل بیشتر برای برقراری حالت تعادل بین وزن و شناوری را فراهم می‌کند. کنترل معمولاً بوسیله مقایسه شناوری حاصل از حجم بدنه فشار با مجموع وزن قسمت‌های مختلف انجام می‌گردد. در طراحی کنترل شده حجم، شناوری بدنه فشار باید از مجموع وزن‌ها بیشتر باشد تا امکان ذخیره مقدار قابل قبولی از وزنه‌های سربی دائمی و احتیاطی به داخل بدنه را میسر کند. برای فراهم کردن این ضریب اطمینان بعضاً شناوری ناشی از سازه و تجهیزات بیرونی را در نظر نمی‌گیرند و از شناوری سوخت بیرون بدنه که آب دریا را در شرایط استاندارد جابجا می‌کند، چشم پوشی می‌شود. در هر حال شرایط باید به گونه‌ای باشد که وزن هیچگاه بر شناوری غلبه ننماید.

اگر تعادل بین وزن و شناوری برقرار نشود، باید محاسبات انجام شده در مراحل طراحی را تصحیح کرد. ممکن است روش صرفه‌جوئی در وزن استفاده شود که معمولاً با کاهش وزن بدنه فشار و آن هم با کاهش عمق غوص در طراحی یا استفاده از مواد با استحکام بالاتر که وزن کمتری دارند، امکان‌پذیر می‌شود. اینها دو عامل اصلی در تشکیل وزن بدنه هستند ولی ممکن است که نیاز باشد ضریب K را برای مواد جدید مناسب عوض کرد. برای مثال، فولاد با نقطه

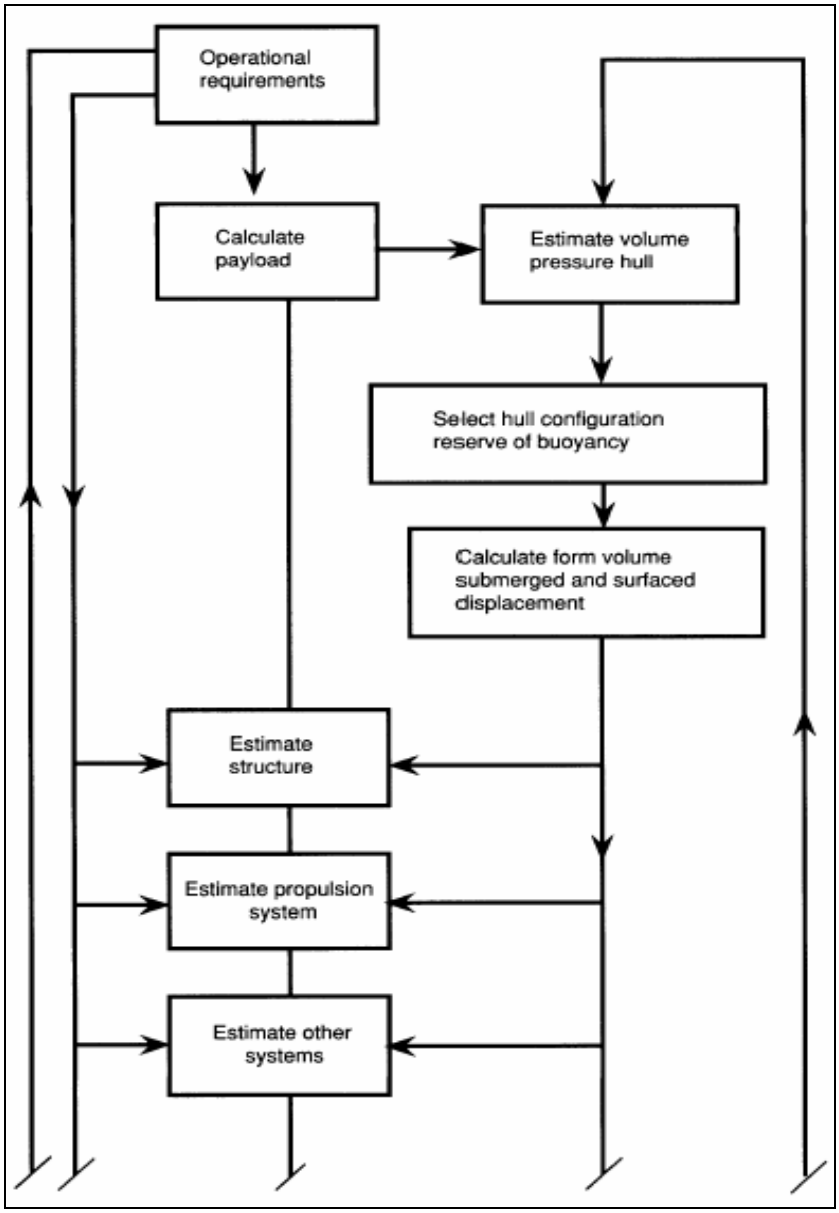
تسلیم بالاتر ممکن است نیاز به تقویت بیشتر جهت بهبود مقاومت در برابر کمانش متناسب با تنش‌های بارگذاری بالاتر داشته باشد.

همچنین راه حل دیگری که می‌توان بکار برد، افزایش حجم بدنه فشار می‌باشد تا شناوری بیشتری برای برابری با وزن فراهم کند. بطور ایده‌آل این روش فضاهای مناسب بیشتری در داخل بدنه ایجاد می‌کند، مثلاً بهبود وضعیت زندگی و امکانات رفاهی در داخل زیردریایی. البته همانطور که نشان داده‌ایم بسیاری از عوامل وزن و فضا مرتبط با حجم بدنه فشار هستند. بنابراین اغلب این افزایش نیازها در مراحل بعدی مشخص خواهد شد. بسیار ساده و راحت خواهد بود که در فرآیند طراحی با گشاده دستی نیازمندی‌های فنی را با افزایش اندازه زیردریایی تأمین نمود و تعادل بین وزن و شناوری را برقرار کرد.

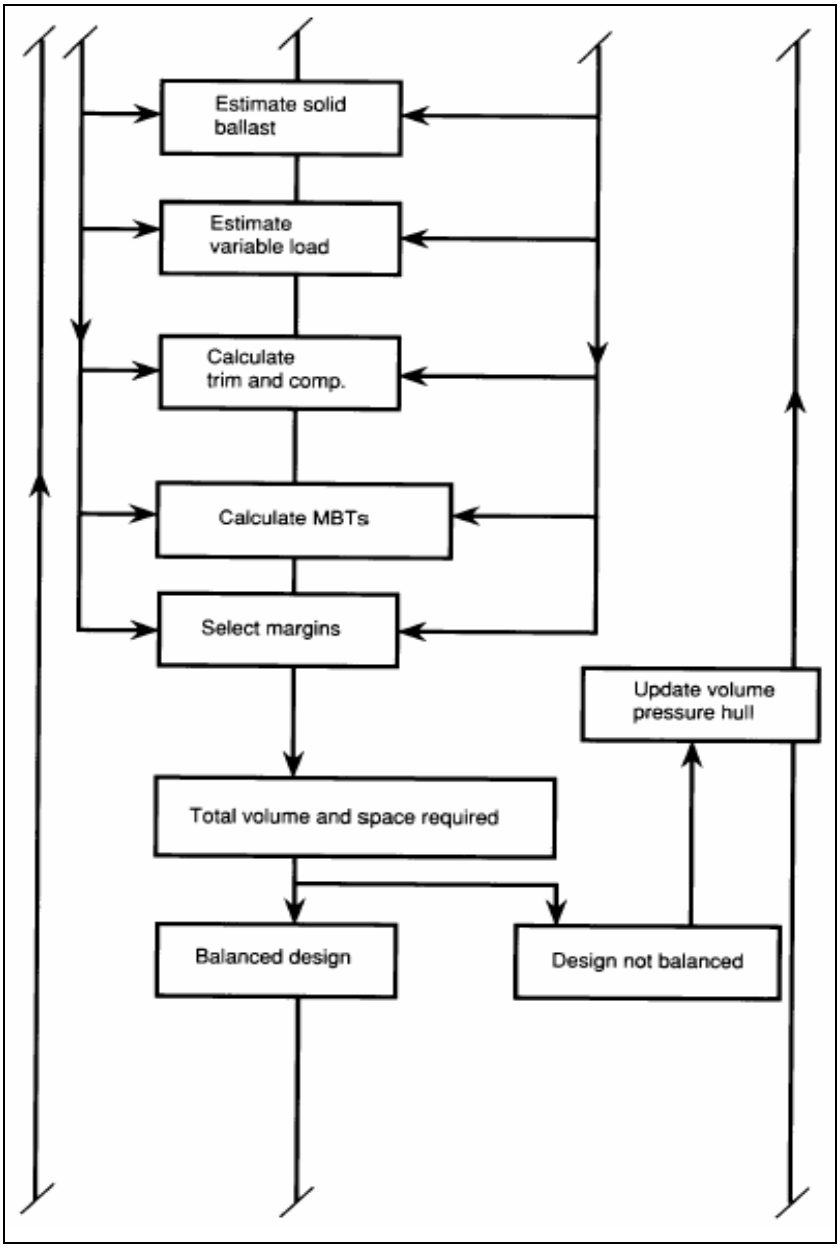
۳۴-۱۱) هم اکنون تمایل به افزایش طبیعی «خاصیت همگرایی»[1] در طراحی زیردریایی می‌باشد که قبلاً در مورد آن بحث شد. در یک طراحی که مقداری از حجم باقی می‌ماند، اثرات آن چندان مشخص و واضح نیست ولی به هر حال وجوددارد.

مشاهده می‌کنیم که تعیین اندازه اولیه که برای شروع فرآیند طراحی استفاده می‌شود مهم نیست چرا که این مقادیر در تکرار بعدی با جزئیات بیشتری بررسی می‌شود. با این حال، بدلیل وابستگی‌های بسیاری که به اندازه زیردریایی وجود دارد، یک «فرآیند همگرا» مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین ترتیب اگرتعیین اندازه اولیه بزرگ صورت گرفته باشد، نیاز به راه‌حل‌ها و محاسبات طولانی خواهد بود. امکان دارد یک راه‌حل خلاصه‌تر وجود داشته باشد ولی در فرایند طراحی معرفی نشده باشد. برای پرهیز از خروجی‌های بسیار بزرگ محاسبات، مناسب است که برای شروع از تخمین اولیه کوچکتر استفاده کرد و اگر در تکرارها و مراحل بعدی نیاز به بزرگتر شدن اندازه‌ها بود، این کار صورت می‌گیرد. سؤال این است که این تخمین تا چه حد باید کوچکتر باشد؟

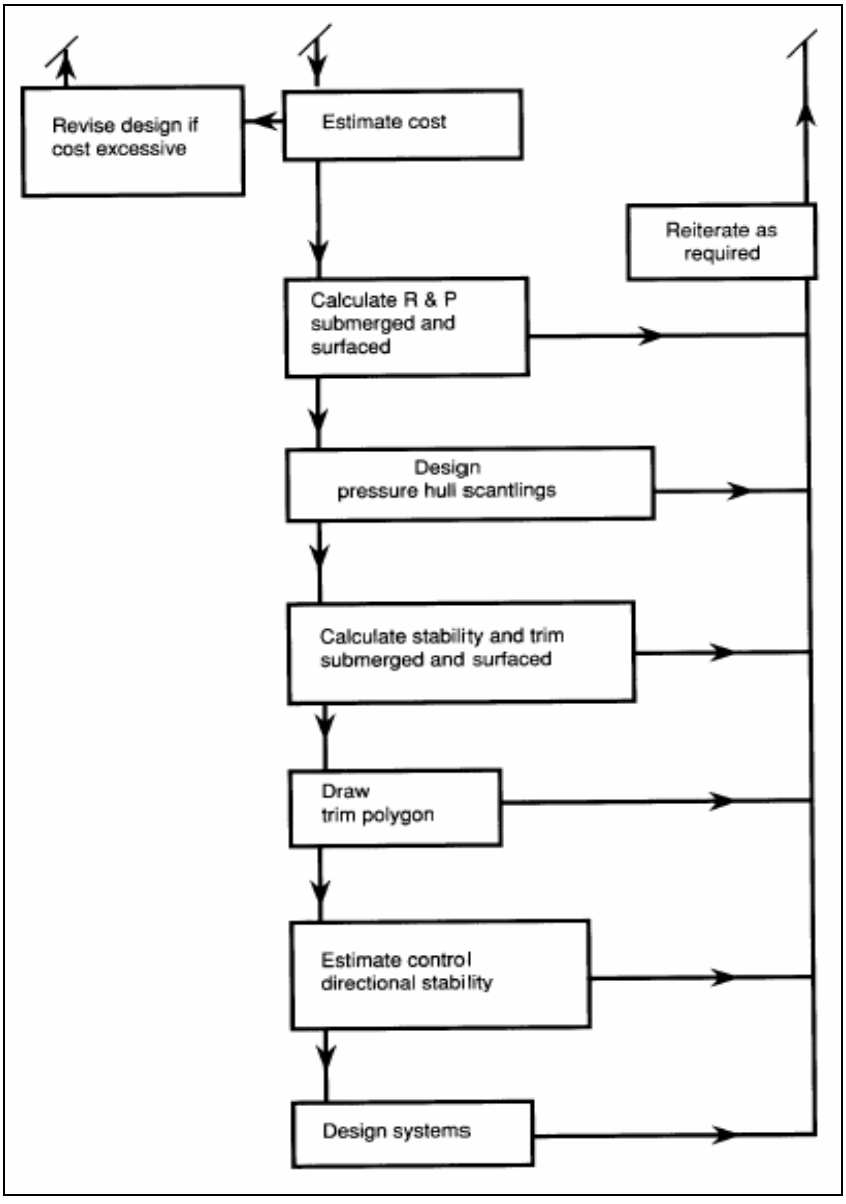
1- Self - satisfying



شکل (۴-۱۱) نمودار مراحل تعیین ابعاد و اندازه زیردریایی



ادامه شکل (۴-۱۱)



ادامه شکل (۴-۱۱)

اگر محاسبات به صورت دستی انجام می‌شود لازم است که تخمین اولیه دقیق‌تر انجام شود زیرا نیاز به تعداد تکرار کمتری برای رسیدن به حالت بهینه ضرورت خواهد داشت. ولی از آنجا که کامپیوترهای بسیار سریع موجود هستند، این کامپیوترها می‌توانند بسیاری از تکرارها را در مدت زمان اندکی انجام دهند. برای اینکه طراحی تا حد ممکن کوتاه‌تر باشد، شاید از یک تخمین اولیه بسیار کوچک استفاده شود. پیشنهاد می‌شود که این تخمین اولیه برای شروع کار محاسبات فقط حجم مورد نیاز بارقابل حمل باشد. مشخصاً یک حجم بدنه فشار که تنها فضایی را برای بار قابل حمل فراهم می‌کند، بسیار کوچک است و دارای فضای کافی برای سیستم رانش نمی‌باشد.

در اولین تکرار، نیازهای حجم برای قسمت پیشران و باطری‌ها بررسی شده و حجم بزرگتری برای بدنه فشار در شروع تکرار بعدی در نظر گرفته می‌شود. نیازهای قسمت پیشران افزایش خواهد یافت و هنوز نیاز به افزایش حجم بدنه فشار در تکرارهای بعدی می‌باشد. با تکرارهای بعدی اندازه افزایش می‌یابد تا به مقدار مناسب برسد. زمینه‌هایی برای بررسی هر چه کوچکتر بودن این مقدار بطوریکه برای طراحی مورد نظر نیز مناسب باشد وجود دارد. در این صورت حساسیت بیشتری برای اعمال تغییرات در طراحی وجود دارد.

انتخاب عوامل:

۳۵-۱۱) ممکن است از روش‌هایی در این زمینه استفاده شود که فرآیند تعیین اندازه را ساده‌تر کند و با کامپیوترهای قوی که وجود دارد می‌توان محاسبات دقیق‌تری انجام داد. برای مثال انجام دادن تحلیل کامل سازه‌ها و وزن سازه به صورت جزئیات. اگر این کار انجام شود نیاز به اطلاعات دقیق‌تری از شکل کلی بدنه می‌باشد و از عوامل موجود برای پیش‌بینی مراحل بعدی باید استفاده کرد.

دانستن این مطلب مهم است که انجام تخمین اندازه و هزینه در مراحل اولیه، فقط عواملی برای شروع کار طراحی هستند. هنگامیکه اندازه و تعادل بین وزن و شناوری مشخص شد، سپس

لازم است که طول، قطر و شکل بدنه‌ای که می‌توان استفاده کرد (بطوریکه جانمایی خوبی از فضای موجود و تعیین محل مناسب دستگاه‌ها در آن امکان‌پذیر باشد) تعیین گردد. در این شرایط باید مشخصات هیدرواستاتیکی مناسبی، نظیر پایداری طولی، پایداری مناسب عرضی و شناوری مناسب در سطح آب فراهم گردد. به نظر می‌رسد دقت زیاد در فرایند تعیین اندازه اولیه، ارزش چندانی نداشته باشد چراکه این عوامل مجدداً بازبینی می‌شوند.

ماهیت تکرارها

۳۶-۱۱) وابستگی هر یک از عوامل مجزا، به یکدیگر، مشاهده مستقیم تأثیر تغییرات بر نتایج را مشکل می‌کند.

یک روش ساده می‌تواند به توضیح طبیعت و ماهیت فرآیند در حال اجراء بپردازد. این امکان وجود دارد که با استفاده از یک تحلیل جبری ساده، چگونگی تأثیرات متقابل را در طراحی نشان داد که مثلاً چگونه وزن هر یک از اجزاء بر تعیین اندازه هر یک از آنها مؤثر است؟ از آنجا که یک زیردریایی دارای پیچیدگی بیشتری بدلیل نیازهای حجم فشرده فضای موجود و تأثیر زیاد اندازه‌ها می‌باشد، استفاده از چنین تحلیلی می‌تواند مفید باشد.

با این رابطه شروع می‌کنیم:

$$T = S + M + P$$

M : وزن ماشین‌آلات (شامل قدرت الکتریکی)

T : وزن کل

P : وزن بارقابل حمل

S : وزن سازه

وابستگی بین آنها را می‌توان بدین شکل نشان داد:

$$M = \beta_T \times T + \beta_p \times P$$

$$S = \alpha_T \times T + \alpha_M \times M + \alpha_p \times P$$

چرا که سازه وابسته به اندازه کل بعلاوه فراهم آوردن فضای مورد نیاز به ماشین‌آلات و بار می‌باشد و اندازه ماشین‌آلات نیز وابسته به اندازه کل سیستم پیشرانش به همراه تأمین نیازهای بار می‌باشد.

اگر این ضرایب ثابت باشند به معنی خطی بودن فرآیند می‌باشد که تقسیم جبری زیررا خواهیم داشت:

$$T = \frac{P(1 + \alpha_P + \beta_P + \alpha_M \cdot \beta_P)}{1 - \alpha_T - \beta_T - \alpha_M \cdot \beta_T}$$

این رابطه نشان می‌دهد که وزن کل وابسته به بار قابل حمل است، نه فقط وزن تجهیزات بلکه به تقویت سازه‌ای محل و تأمین نیازهای قدرت وابسته می‌باشد و مجموع این ضرایب طبیعتاً بزرگتر از ۱ است. در برخی موارد طراحان تجهیزات بار، وزن این دستگاه‌ها را با تکیه دادن آنها بر سازه بدنه زیردریایی و طراحی قوی‌تر سازه زیردریایی، کاهش می‌دهند. در هر صورت کلیه مطالبات ناشی از بار را به یک ضریب اغراق‌آمیز $(A-۱)$ تقسیم می‌کنیم که A مجموع اندازه کل ضرایب وابسته است. براحتی می‌توان مقدار A را نزدیک به ۱ در نظر گرفت که منجر به یک شناور بسیار بزرگ برای حمل بار می‌باشد. لذا این موارد طراح را مجبور می‌کند که سعی در کاهش وابستگی ضرایب داشته باشد. ضریب α_T وابسته به استحکام و سختی مواد و بازدهی سازه‌ای می‌باشد. ایجاد بهبود در این زمینه برای کاهش α_T می‌تواند منجر به پیچیدگی بیشتر تولید و هزینه بالاتر شود. بنابراین رابطه‌ای بین یک شناور کوچکتر با هزینه بالاتر با یک شناور بزرگتر با هزینه کمتر وجود دارد. همچنین در مورد β_T، این ضریب وابسته به بازدهی پیشرانش، چگالی قدرت ماشین‌آلات و سرعت مورد نیاز می‌باشد که برای دو مورد اول، مقدار بیشتری از

هزینه را شامل می‌شود و نیاز به سرعت (که توان ۳ آن با قدرت متناسب است) می‌تواند یک راه حل مهم در این زمینه باشد.

۳۷-۱۱) روابط فوق، پیچیدگی راه‌حل‌های طراحی را نشان می‌دهد. اگر تفکیک بیشتر وزن شامل مجهز کردن شناور با خدمه نیز انجام شود، خواهیم داشت:

$$T = S + M + C + P$$

C نمایانگر یک سری وزن‌های عمده شامل انبارها و سایر تجهیزات را ارائه می‌کند. با فرض آنکه C تأثیر مهمی بر سازه ندارد:

$$S = \alpha_T \cdot T + \alpha_M \cdot M + \alpha_P \cdot P$$

در واقع مخازن و قسمت‌های سازه‌ای کوچک مرتبط با C هستند. رابطه زیر مشخص کننده نیاز محل قرارگیری خدمه به منبع قدرتی برای تأمین گرما، نور، تهویه هوا و خنک‌کاری است.

$$M = \beta_T \cdot T + \beta_C \cdot C + \beta_P \cdot P$$

رابطه زیر مشخص کننده این واقعیت است که ماشین‌آلات و بار بسیار وابسته به اندازه شناور بوده و در پارامتر C موثر خواهند بود:

$$C = \gamma_M \cdot M + \gamma_P \cdot P + \gamma_T \cdot T$$

با انجام عملیات جبری داریم:

$$T = \frac{P\left((1+\alpha_P) + \dfrac{\alpha_M \cdot (\beta_C \cdot \gamma_P + \beta_P) + (\beta_P + \beta_C \cdot \gamma_P) + (\gamma_M \cdot \beta_P + \gamma_P)}{(1 - \beta_C \cdot \gamma_M)}\right)}{(1-\alpha_T) - \left(\dfrac{\alpha_M \cdot (\beta_C \cdot \gamma_T + \beta_T) + (\beta_T + \beta_C \cdot \gamma_T) + (\gamma_T + \gamma_M \cdot \beta_T)}{1 - \beta_C \cdot \gamma_M}\right)}$$

این معادله پیچیده‌تر است ولی به همان شکل معادلات ساده وابسته قبلی می‌باشد که بیان شد. هر چند اکنون عباراتی به صورت و مخرج افزوده شده است و عوامل مبالغه‌آمیز[1] درونی بدلیل وجود وابستگی‌های ذاتی، پدیدار شده اند. بنابراین در صورت کسر عبارت $(\gamma_M\beta_P+\gamma_P)$ وجود دارد که مستقیماً خدمه قسمت بار را لحاظ می‌کند. تمام نیازهای استفاده کردن از خدمه برای ماشین‌آلات و تأمین کننده شرایط زیستی مناسب برای خدمه، توسط عبارت $(1-\beta_C\ \gamma_M)$ بیان می‌شود.

۳۸-۱۱) ادعا نمی‌کنیم که این آنالیز به خودی خود می‌تواند وسیله‌ای برای حل کردن مشکل طراحی باشد. در حقیقت در شناورهای واقعی، معرفی این مؤلفه‌ها و عبارات جبری، غیر ممکن است. علاوه بر آن، ضرایب ثابت نیستند و وابستگی آنها خطی نمی‌باشد و ممکن است تابع پله‌ای باشد، برای مثال انتخاب واحدهای سیستم قدرت موجود. با این حال، این روابط برای توضیح پیچیدگی تأثیرات متقابل اجزاء داخل زیردریایی مناسب می‌باشد. تلاش‌هایی که در زمینه بررسی اجزاء و وابستگی‌های سیستم صورت گرفت، منجر به عبارات جبری بسیار بزرگی شد که کار با آنها مشکل می‌باشد. بطور کلی می‌توان گفت :

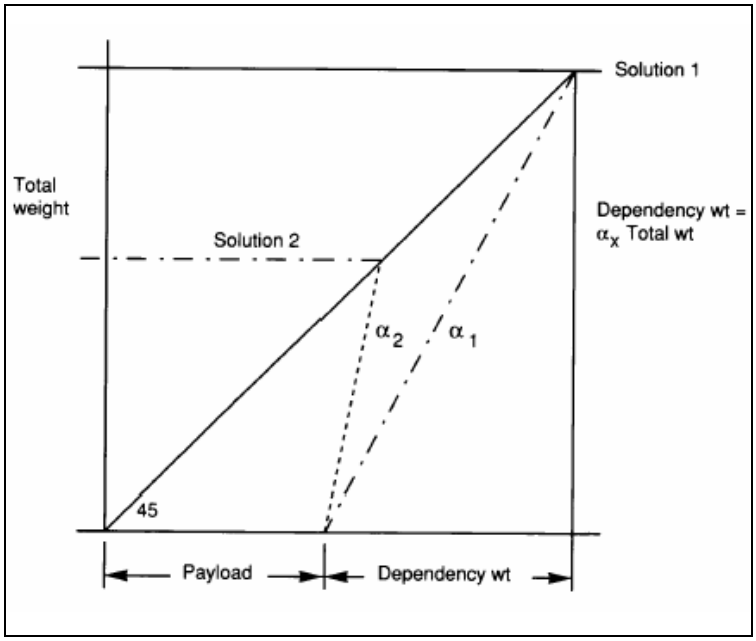
$$T=\frac{P(\text{نیازهای بارقابل حمل}+1)}{(\text{نیازهای وسیله نقلیه}-1)}$$

که دارای عوامل داخلی بسیاری می‌باشد.

تحلیل جبری که قبل از این بیان شد، برخی از مشخصه‌های مهم را نشان می‌دهد. اگر خصوصیات عملیاتی وسیله نقلیه به عنوان نیازهای آن مطرح باشد، مثلاً سرعت بالا یا عمق غوص زیاد، مخرج کسر معادله کلی به سمت صفر میل خواهد کرد. بنابراین یک طراحی می‌تواند بسیار بزرگ باشد در حالیکه نسبت بار قابل حمل چندان قابل ملاحظه نباشد. همچنین وسیله نقلیه باید بتواند به‌راحتی سیستم پیشران خود را به حرکت درآورد. در روش قبلی یک نسبت بار

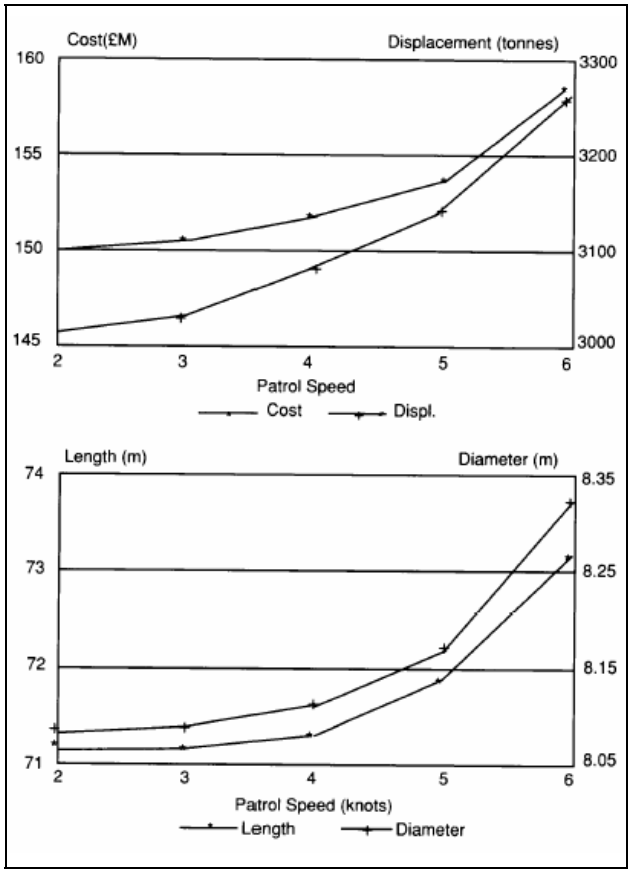
1- Exaggeration

معمولی فرض شد که بتواند در آن شرایط دارای خطای قابل ملاحظه‌ای باشد. همچنین ممکن است یک طراحی نیازمند امکانات حرکتی بسیار اندک باشد و در عوض بار قابل حمل دارای نسبت قابل توجهی از کل طراحی باشد. شکل (۵-۱۱) این تغییر خصوصیات را نشان می‌دهد.



شکل (۵-۱۱) اثر بار (Payload) در ابعاد کلی زیردریایی

این روش تعیین اندازه که بطور کلی توضیح داده شد، در صورت وجود تفاوت اساسی در برخی شاخص‌ها با حالت عادی، چندان خوب کار نمی‌کند؛ اگرچه انتظار می‌رود همگرایی با توجه به تخمین‌های اولیه به طور کامل اتفاق نیفتد. روشن است که تخمین اولیه، ناحیه‌ای را برای انجام تکرارها تا رسیدن به یک تعادل مناسب، معین می‌کند. این مورد بطور ویژه در جاهائیکه ناپیوستگی‌ها و پرش‌هایی در انتخاب ماشین‌آلات مخصوص وجود دارد، مصداق پیدا می‌کند.(چراکه برخی از ماشین آلات که به صورت تجاری موجود هستند، در برخی اندازه‌ها و خصوصیات محدود وجوددارند بنابراین انتخاب‌ها نیز محدودتر می‌شوند).

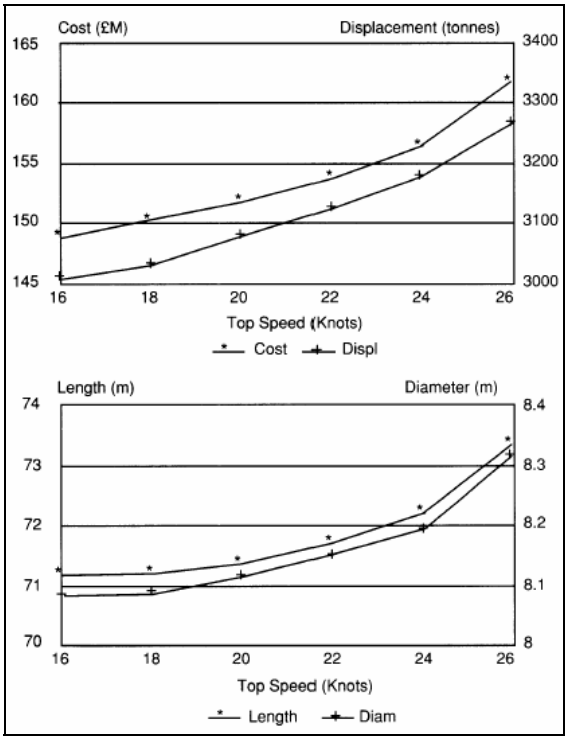


شکل (۶–۱۱) تغییرات اندازه و هزینه با سرعت گشت‌زنی

آن سوی مفاهیم:

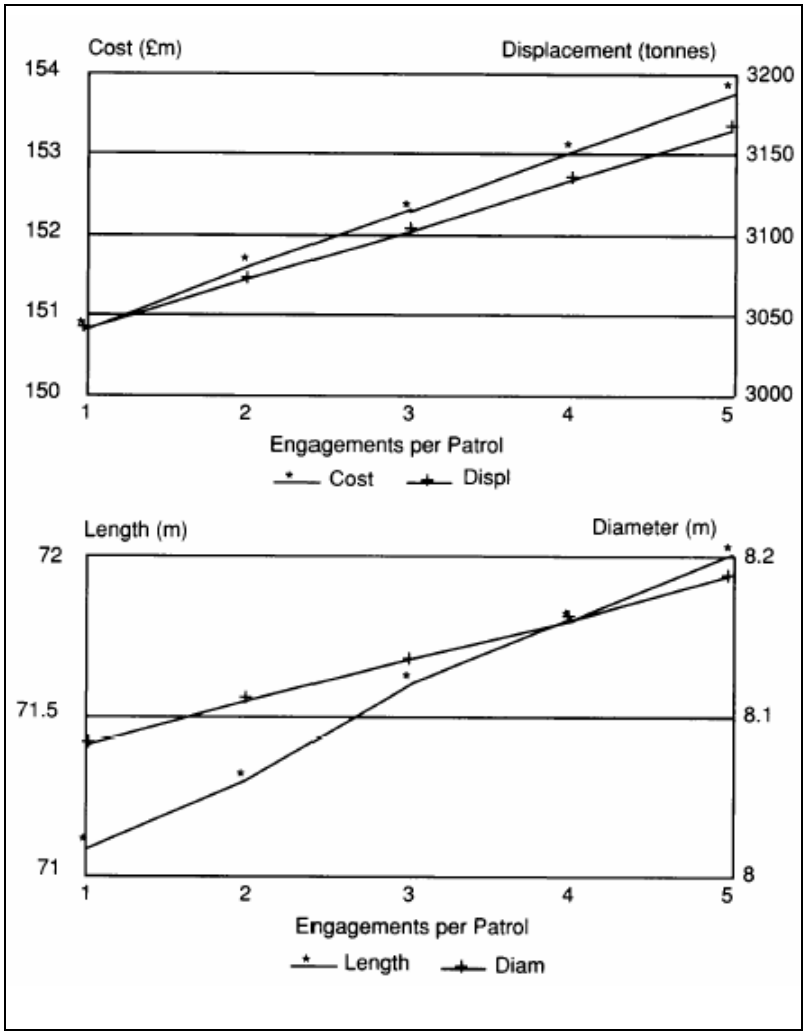
۳۹–۱۱) با انجام فرآیندها بصورتی که توضیح داده شد، مجموعه‌ای از گزینه‌ها و انتخاب‌های اصولی می‌توان ایجاد کرد و با کاربران بر مبنای بازدهی و هزینه به مباحثه پرداخت. نمونه‌ای از تغییرات پارامتری در شکل‌های (۶–۱۱) تا (۸–۱۱) نشان داده شده است. هم اکنون به گزینه‌های اطمینان بخش‌تری نیاز است که امکان‌پذیربودن طراحی را در مرحله

جزئیات، مورد تصدیق قرارداده و تضمین کند که طراحی چنین شناوری در مراحل بعدی بـا خطرپذیری و نیـاز بـه تجدیـد نظـر کمتـری مواجـه شـود. مـا ایـن مرحلـه را «مطالعـات امکان‌سنجی»[1] می‌نامیم.



شکل (۷-۱۱) تغییرات اندازه و هزینه با حداکثر سرعت

1- Feasibility Studies



شکل (۸-۱۱) رابطهٔ هزینه با دفعات مأموریت (Engagement) زیردریایی

هم‌اکنون برای تعیین اندازه، شکل، بازدهی و بودجه‌های اختصاص داده شده برای طراحی مفهومی، نیاز به بررسی‌های بیشتری می‌باشد. مراحل اصلی در انجام این بررسی بدین شرح است:

الف) محاسبات سازه‌ای برای صفحات و فریم‌های بدنه فشار بعلاوه تحلیل جزئیات اتصالات اصلی و هندسه‌های پیچیده سازه‌هایی که باید بکار گرفته شوند.

ب) تحلیل بیشتر مقاومت هیدرودینامیکی بدنه در سرعت‌های عملیاتی مختلف مثلاً سرعت حداکثر، سرعت در عمق تنفس، سرعت اقتصادی در زیر آب.

پ) تحلیل بازدهی هیدرودینامیکی پروانه انتخاب شده و تأثیرات متقابل آن بر بدنه.

ت) تحلیل جزئیات بیشتر بازدهی ماشین‌آلات پیشرانش و باطری‌ها.

ث) ترسیم نقشه مسیرهای سیستم‌های اصلی و تعیین موقعیت مهمترین ماشین‌آلات فرعی مثلاً کپسول‌های هوای پر فشار و پمپ‌ها.

ج) نقشه‌های جانمایی کلی و نقشه‌های هر یک از این قسمت‌ها مانند انبار سلاح، شکل هندسی سینه و پاشنه.

چ) تخمین اندازه و موقعیت سطوح کنترلی.

ح) بررسی و تعیین موقعیت مخازن شیب و جبران‌ساز به همراه تعیین موقعیت و ظرفیت سایر مخازن.

د) براساس آنچه قبلاً گفته شد، بررسی مجدد اجزاء شناوری و وزن، تغییر موقعیت وزنه‌های سربی به همراه ارزیابی تعادل طولی در زیر آب و تعادل شناوری در سطح آب.

ر) بررسی پایداری هیدرواستاتیکی در حالت غوطه‌وری، شناوری و انتقال (امکان آمدن به سطح یخی آب به صورت پایدار).

ز) بررسی و دسته‌بندی نتایج گروه‌های وزنی و تعیین بودجه.

ژ) ارزیابی قیمت یک واحد شناور و هزینه‌های بکارگیری آن در طی عمر مفید آن.

دورنمای آینده

۴۰-۱۱) فرآیند مرحله به مرحله طراحی به همراه افزایش جزئیات در مراحل مختلف مطالعات مفهومی، مطالعات امکان‌سنجی و طراحی برای ساخت، اصولاً شکل دهنده طبیعت طراحی هستند. کامپیوترها برای افزایش سرعت محاسبات و نقشه‌کشی مورد نیاز هر یک از این مراحل فراهم می‌باشند، ولی طبیعت طراحی زیردریایی به گونه‌ای است که مراحل اولیه آن باید با روش‌های دستی انجام شود.

با افزایش قدرت کامپیوترها در تحلیل مقدار بسیار زیادی از داده‌ها و رسم شکل‌های گرافیکی، انجام مرحله به مرحله کار طراحی با یک فرآیند پیوسته جایگزین می‌شود. اگر بتوان برای این برنامه کامپیوتری یک الگوریتم مناسب در نظر گرفت، طرح می‌تواند نیازها و نوع شکل، فناوری و استاندارد مطلوب را معین کند و کامپیوتر مجموعه کاملی از فرآیند شامل تولید مجموعه ای از اطلاعات، نقشه کشی و خصوصیات ساخت زیردریایی را بدهد. این امر ممکن است در آینده نزدیک وجود نداشته باشد ولی تصور می‌شود، در مرحله امکان‌سنجی می‌توان جزئیات بیشتری را گنجانید. با توجه به نیازمندی‌های عملیاتی و محدودیت‌های طراحی، تحلیل طراحی مرحله امکان‌سنجی را نمی‌توان بدین روش انجام داد.

این امر مسلم است که قبل از بررسی امکان انجام کاری، باید به این سؤال پاسخ داد که آیا این طرح مطلوب است؟ پاسخ دادن به این پرسش کار ساده‌ای نیست. این خطر وجود دارد که اگر مطالبات اولیه بسیار دور از دسترس باشند، طراحی را بیش از حد مشکل می‌نماید. طراح و کاربران زیردریایی می‌توانند انبوهی از جزئیات را ارائه کنند که ممکن است مباحث اصلی را دشوار و پیچیده کند. در مرحله طراحی مفهومی باید به اندازه کافی میدان کافی برای انتخاب

گزینه‌های مختلف طراحی وجود داشته باشد. به عبارت دیگر در مراحل طراحی مفهومی، گزینه‌های ممکن زیادی برای انتخاب وجود دارد و باید یک اطمینانی وجود داشته باشد که هر یک از آنها می‌تواند درست و در دسترس باشند. نیاز نیست که این گزینه‌ها مطلقاً هم درست باشند، بلکه باید در مقایسه با سایر گزینه‌ها درست‌تر و بهتر باشند.

بنابراین اگر در مرحله اصول و مفاهیم، گزینه **A** بهتر از **B** بود، این را باید برای مراحل بعدی هم نگه داشت. برای مثال؛ اگر **A** کلیه کارها را برآورده کند و هزینه کمتری هم نسبت به **B** داشته باشد و نیازها را به طور رضایتبخش برآورده کند، تصمیم به استفاده از **A** می‌تواند مطلوب باشد ولی اگر در مراحل بعدی مشخص شود که هزینه **A** نسبت به **B** افزایش یافته است، این گزینه رد خواهد شد.

این بحث می‌تواند منجر به این شود که شاید لازم است برنامه‌های تحلیل و آنالیز اصلی امکان‌سنجی را با مرحله طراحی مفهومی، تطبیق دهیم. در حالیکه روش‌های ساده‌تری در مرحله طراحی مفهومی برای تخمین اولیه اندازه وجود دارد، می‌توان برنامه را طوری انجام داد که برای رسیدن به محاسبات دقیق‌تر مرحله امکان‌سنجی، این مقادیر یک مسیر دایره‌ای را طی کنند. برای مثال، تخمین ساده وزن بدنه فشار می‌تواند یک مسیر حلقه‌ای را برای رسیدن به تحلیل دقیق‌تر جزئیات طراحی و محاسبه وزن طی کند. همچنین تخمین اولیه قدرت را می‌توان با بررسی و تحلیل دقیق‌تر مقاومت و بازدهی سیستم پیشران، بهبود بخشید. بدین ترتیب امکان انتخاب دقیق‌تر گزینه‌ها با اطمینان بیشتر امکان‌پذیر می‌شود و تعداد این داده‌ها برای انجام بررسی‌ها به همان تعداد مقادیر قبل خواهد بود.

در این کتاب تأکید ما بر اهمیت بدست آوردن درک کلی و مفهومی از فرآیند طراحی و رابطهٔ بین سیستم‌های جزء داخل زیردریایی در فرآیند طراحی بود. اگر فرآیند طراحی بطور کامل مکانیزه شود، این خطر وجود دارد که طراح درک خود را از طراحی از دست بدهد و در نتیجه توانایی کنترل فرآیند را از دست بدهد. این خطر بویژه برای طراحانی که تازه شروع به فعالیت

کرده اند، وجود دارد. این حسن هنوز در یادگیری یک روش مشکل و انجام حداقل یـک مطالعـه طراحی به روش دستی برای انجام اولین کار طراحی وجود دارد که درک مناسـبی از طراحـی بـه طراح بدهد.

ضمائم

ضمیمهٔ ۱ : شرایط هیدرواستاتیکی شناوری

برای شناوری یک شناور در سطح آب، باید خصوصیات هیدرواستاتیکی و پایداری بررسی شده باشد.

فرض می‌شود که سطح آب، آرام است و هرگونه حرکت شناور آرام و آهسته می‌باشد تا بتوان از اثرات دینامیکی چشم‌پوشی کرد. قانون ارشمیدس می‌گوید هر جسم شناور به اندازه وزن خود آب را جابجا می‌کند. نیاز اولیه شناوری، سالم بودن بدنه است تا بتواند حجم مناسبی از آب را به اندازه وزن خود جابجا کند، و در عین حال باید دارای ارتفاع آزاد بدنه[۱] کافی و فاصله مناسب عرشه فوقانی[۲] از خط آب در مقطع میانی شناور باشد، در این صورت بطور قائم و پایدار در آب خواهد ماند. حجم آب‌ناپذیر بالای خط آب را «ذخیره شناوری»[۳] گویند. این ذخیره شناوری هنگامیکه شناور دچار صدمه دیدگی شده و بخشی از بدنه زیر آب سوراخ شده و آبگرفتگی اتفاق می‌افتد، بکار می‌آید.

پایداری شناور با تلاطم شناور از حالت شناوری استاتیکی مرتبط است. حرکت عرضی[۴]، حرکت جلو عقب[۵]، حرکت چرخش سینه[۶] حالت شناوری استاتیکی بدنه را تغییر نمی‌دهند و می‌توان آنها را به صورت خنثی در نظر گرفت. در حالیکه حرکت غلتش عرضی[۷]، حرکت غلتش طولی[۸] و حرکت عمودی بالا و پائین[۹] باعث تغییر در توزیع شناوری شده و بنابراین باعث تغییر

1- Freeboard
2- Weather deck
3- Reserve of Buoyancy (**ROB**)
4- Sway : تلاطم عرضی
5- Surge : تلاطم طولی (حرکت جلو - عقب)
6- Yaw : غلتش در صفحه افقی (حول محور عمود به سطح آبخور)
7- Roll : غلتش عرضی (حول محور طولی)
8- Pitch : غلتش طولی (حول محور عرضی)
9- Heave : تلاطم عمودی (حرکت بالا و پائین)

معادلات حالت استاتیکی می‌شوند. سؤالی که باید بدان پاسخ داده شود، این است که چگونه پس از ایجاد تلاطم، شناور به حالت تعادل اولیه خود باز می‌گردد.

اگر شناور به سمت بالا حرکت کند، حجم جابجایی آب کاهش می‌یابد و وزن شناور (که تغییری نکرده) بیشتر از شناوری (که کاهش یافته است) می‌شود و این تفاوت نیرویی به سمت پائین ایجاد می‌کند که شناور را به حالت اولیه خود باز می‌گرداند. حالت عکس این، به هنگام پائین رفتن شناور اتفاق می‌افتد. واضح است که این نیز یک حرکت پایدار است. برای حرکت عمودی کوچک، میزان تغییر شناوری اصولاً بوسیله ناحیه‌ای از بدنه در قسمت میانی توسط مساحت سطح آبخور (**WPA**) مشخص می‌شود. هر چه این ناحیه بزرگتر باشد، نیروی بازگرداننده حرکت عمودی بیشتر خواهد شد. این نتیجه ساده تا حدودی بوسیله شکل عمودی بدنه در خط آب، اصلاح می‌شود که می‌تواند منجر به افزایش یا کاهش مساحت سطح آبخور با حرکت عمودی از حالت تعادل استاتیکی شود. یک حرکت غلتش طولی باعث پائین‌تر رفتن سینه و بالا آمدن پاشنه می‌گردد. این امر منجر به تغییر توزیع طولی نیروهای شناوری (افزایش در قسمت سینه و کاهش در قسمت پاشنه) می‌شود که یک گشتاور برگرداننده ایجاد می‌کند بطوریکه شناور را به حالت اولیه خود باز می‌گرداند. برعکس این حالت به هنگام پائین‌تر رفتن پاشنه اتفاق می‌افتد، چنانکه می‌توان این حرکت را به صورت پایداری استاتیکی در نظر گرفت. بزرگی گشتاور برگرداننده اصولاً بستگی به توزیع طولی مساحت سطح آبخور دارد. یک شناور با سینه و پاشنه نازک نسبت به یک شناور با سینه و پاشنه پهن، دارای ممان برگرداننده کمتری است. همچنین با تغییرات عمودی حجم جابجایی می‌توان این حالت را اصلاح نمود، چنانکه شناوری با سینه پهن، گشتاور بازگرداننده قوی‌ای را به هنگام پائین رفتن سینه، تحمل می‌کند. هر چند که این حرکات هر یک به صورت مستقل بیان شد ولی تغییر سطح آبخور هم باعث تغییر حرکت عمودی و هم تغییر حرکت غلتش طولی می‌شود بطوریکه پایداری را باید به صورت حرکات جفتی و وابسته به هم در نظر گرفت.

تعادل استاتیکی کشتی درحرکت تلاطم عرضی تا حدودی پیچیده‌تر می‌باشد. در حالت پایدار، وزن کشتی به صورت عمودی بر مرکز گرانش وارد می‌شود، در صورتیکه نیروی شناوری برابر آن و مخالف جهت آن بر مرکز شناوری (مرکز حجم قسمت زیر آب) وارد می‌شود. در ابتدا، برای ایجاد شرایط پایدار نسبت به تلاطم عرضی، لازم است که مرکز گرانش در زیر مرکز شناوری باشد، چنانکه وقتی زیردریایی به صورت عرضی کج می‌شود (هیل می‌کند)، باید ممان بازگرداننده‌ای وارد شود که زیردریایی را به حالت عمودی اولیه بازگرداند. چنین شرایطی برای زیردریایی که کاملاً غوطه‌ور باشد صدق می‌کند، اما چنین چیزی برای کشتی‌های شناور در سطح آب مصداق ندارد. در حرکت غلتش عرضی، هنگامیکه کشتی به یک طرف بدنه کج می‌شود، یک طرف بدنه مقداری از آب بیرون می‌آید و طرف دیگر بیشتر در داخل آب فرو می‌رود. این حالت باعث جابجا شدن محل اعمال نیروی شناوری می‌شود که یک نیروی بازگرداننده ایجاد می‌کند که کشتی را به حالت اول بر می‌گرداند (شکل A-۱-۱-a).

برای زاویه کوچک هیل مشخص شده است که نیروی شناوری به محل مرکز حجم قسمت زیر آب جابجا می‌شود و راستای آن، خط مرکزی[1] کشتی در حالت قائم را در نقطه‌ای قطع می‌کند که این نقطه را «متاسنتر عرضی» (نقطه M) گویند. پایداری عرضی کشتی در زوایای هیل اندک مستلزم این است که مرکز گرانش در زیر متاسنتر باشد و نیازی نیست که مرکز گرانش در زیر مرکز شناوری باشد. این فاصله معمولاً $\overline{GM}$ نامیده می‌شود که $\overline{GM}$ فاصله عمودی بین مرکز گرانش و متاسنتر می‌باشد. هر چند تاکنون روی پایداری استاتیک که فقط انحراف اندکی از حالت سکون داشته باشد بحث کردیم، ولی در معماری دریایی[2] از پایداری عرضی در زوایای هیل بسیار بزرگ بحث می‌شود.

برای زوایای هیل بزرگ، مفهوم متاسنتر که امتداد قائم مرکز اثر نیروی شناوری باشد، دیگر نمی‌تواند مفید باشد. در زوایای ۳۰° - ۴۰° لبه عرشه به زیر آب می‌رود. در این حالت افزایش

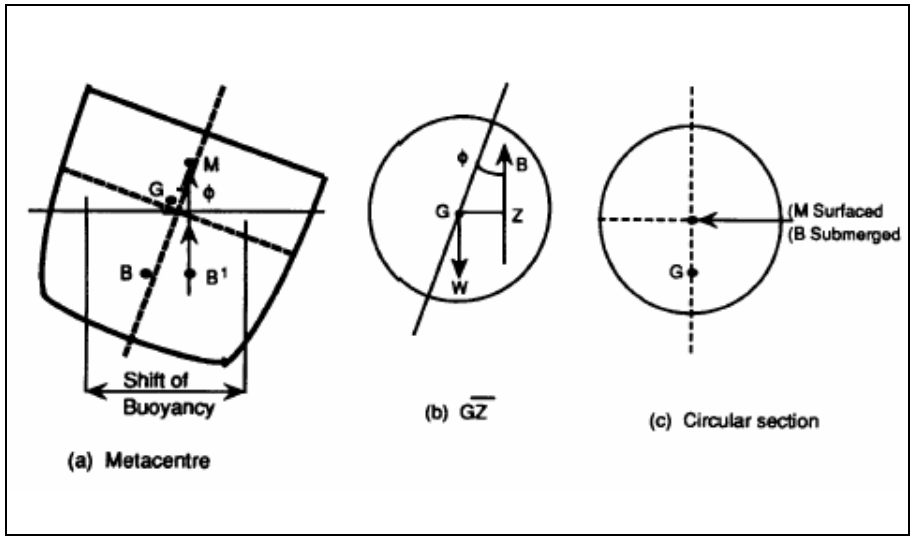
1- Centre line
2- Naval Architecture

گشتاور بازگرداننده شروع به تنزّل می‌کند. وقتی به حداکثر مقدار خود رسید، سپس کاهش می‌یابد و ممکن است در زوایای بسیار بزرگ، به صفر هم برسد. این زاویه بعنوان «زاویه پایان پایداری»[1] شناخته می‌شود. اگر تلاطم عرضی کشتی از این زوایه عبور کند منجر به واژگون شدن شناور می‌گردد.

برای بیان خصوصیات پایداری عرضی یک شناور در زوایای بزرگ، از مقادیر مختلفی استفاده می‌شود که $\overline{GZ}$ را ارائه می‌کنند. $\overline{GZ}$ فاصله بین نیروهای موازی وزن و شناوری در هر زاویه می‌باشد (شکل A-۱-۱-b). واضح است که وقتی کشتی راست می‌شود مقدار $\overline{GZ}$ صفر می‌شود و در زوایای کوچک، رابطه $\overline{GZ} = \overline{GM} \cdot Sin\varphi$ را خواهیم داشت. در زوایای بزرگ دیگر این رابطه اعتبار ندارد.

خصوصیات منحنی $\overline{GZ}$ وابسته به خصوصیات شکل بدنه است. عرض زیاد بدنه باعث افزایش جابجایی شناوری و یک ارتفاع متاسنتر بلند می‌شود. ارتفاع بدنه زیاد، زاویه ورود عرشه به آب را افزایش داده و نزول منحنی $\overline{GZ}$ را به تعویق می‌اندازد. هر چند که ممکن است زاویه پایان پایداری سریعتر با یک زاویه نسبتاً کم اتفاق بیفتد. شکل مقطع عرضی در زیردریایی‌ها تقریباً دایره‌ای است. می‌توان نشان داد که هر چقدر زاویه خط آب شناوری به گونه‌ای باشد که نزدیک مرکز مقطع عرضی دایره‌ای باشد، متاسنتر معمولاً به مرکز دایره منطبق خواهد شد (شکل A-۱-۱-c).

[1] - vanishing stability



شکل (۱-۱-A) بررسی پایداری عرضی زیردریایی

بنابراین زیردریایی‌های مدرن دارای مقطع دایره‌ای که نیازمند پایداری عرضی هستند، باید در زیر آب مرکز گرانش در زیر مرکز دایره (در حالت عمودی) قرار گیرد. با رفتن به زیر سطح آب، اثر سطح آبخور از بین می‌رود اما مرکز شناوری تقریباً نزدیک مرکز دایره قرار می‌گیرد بطوریکه $\overline{BG}$ مثبت است. از آنجا که این نقاط با زاویه تغییر می‌کنند، منحنی $\overline{GZ}$ یک منحنی سینوسی می‌شود $\overline{GZ} = \overline{BG} \cdot Sin\varphi$ که تا زاویه 180° مقدار $\overline{GZ}$ مثبت می‌باشد. همانطور که در فصل سوم بحث شد، هم مرکز گرانش و هم متاسنتر ممکن است حین انتقال از زیر آب به سطح آب تغییر مکان دهند و در این صورت شرایطی که در بالا گفته شد، کاربرد نخواهند داشت.

ضمیمه ۲ : راهکار عملی حفظ شیب

A-۲-۱) تنظیم شیب (تعادل طولی و عرضی و توازن وزن با نیروی شناوری):

فرآیند تطبیق دقیق حالت زیردریایی با شناوری خنثی و تعادل طولی را «تنظیم شیب»[1] گویند. این یک عملکرد مهم زیردریایی است که به هنگام فرورفتن در آب برای گشت‌زنی در زیر آب، ترک کردن بندر و برای شروع گشت‌زنی در سطح آب انجام می‌دهد. این امر یک حالت خاص برای زیردریایی ایجاد می‌کند که بعداً با تغییرات وزن یا شناوری می‌توان آن را متعادل کرد و در صورت نیاز، بطور مطمئن و بی دردسر، مقدار شیب آن را هنگام گشت‌زنی کنترل کند. اهمیت حفظ شیب این است که زیردریایی بتواند برای هر مدت زمان به صورت ساکت و بی سروصدا در زیر آب بماند چرا که فرآیند تنظیم شیب مستلزم کار کردن پمپ‌ها می‌باشد که تولید سروصدا می‌کند. مطلوب است که زیردریایی برای شروع غوص کردن و گشت‌زنی در زیر آب، کاملاً بدون شیب نباشد و این مستلزم آن است که زیردریایی قبل از غوص کردن به صورت تقریبی دارای زاویه شیب مناسبی باشد.هنگامی که زیردریایی از گشت به سمت بندر بازمی‌گردد برای اینکه شیب مناسبی داشته باشد، مقداری شیب به پاشنه می‌گیرد. از آن پس همه تغییرات وزن (مثلاً پرکردن مجدد انبارها) باید ثبت شود و برای تصحیح حالت توازن، محتوای مخازن شیب و جبران باید این تغییر بوجود آمده را تعدیل کند.

یک روش رایج که اغلب بدین منظور استفاده می‌شود، وسایلی به نام Trim crib می‌باشد که قبلاً برای زیردریایی تدارک دیده شده‌اند که متناسب با تغییرات وزن ناشی از پر شدن یا خالی شدن انبارها، مقداری آب وارد مخازن شیب و جبران نمایند.

حالت شیب زیردریایی در اسکله را می‌توان با مشاهده آبخورهای سینه و پاشنه و مقایسه آن با حالت مطلوب، کنترل کرد که این آبخورها شرایط شناوری زیردریایی در سطح آب را

1- Catching a trim

مشخص می‌کند که اگر بخواهد به داخل آب غوص کند باید شیب داشته باشد (آبخورها در حالت شیب مستقل از چگالی آب هستند. هرگونه تغییری در آبخورهای واقعی از آبخورهای شیب مطلوب، مشخص کننده حالت نامناسب شیب می‌باشد که می‌توان آن را با اعمال تغییرات مناسب در محتوای مخازن شیب و جبران، تا رسیدن به آبخورهای مطلوب، جبران کرد.

۲-۲-A) غوص اولیه:

فرض کنید که زیردریایی برای اولین غوص تا حد قابل قبولی به حالت شیب نزدیک شده است و سرعت یکنواخت خود را با سرعتی که حدود ۶-۵ گره می‌باشد، حفظ می‌کند تا نیروهای هیدرودینامیکی کافی برای مقابله با اثراتی که شیب را به هم می‌زند، فراهم کند. مشاهده زاویه پیچ روی زیردریایی و محل‌های نصب بالک‌ها، مشخص کننده این خواهند بود که زیردریایی احتمالاً در چه زاویه شیبی قرار خواهد گرفت. برای یک زیردریایی که کاملاً در حالت شناوری خنثی می‌باشد و مراکز طولی گرانش و شناوری بر هم منطبق هستند، وضعیت بالک‌ها و بدنه زیردریایی در حالتی خواهد بود که به عنوان «حالت‌های تعادل هیدرودینامیکی» آنها شناخته می‌شود، یعنی موقعیت‌هایی که در آن زیردریایی می‌تواند امتداد و عمق مسیر را مستقل از سرعت حفظ کند. این موقعیت‌ها برای سطوح کنترلی ضرورتاً با زاویه حمله صفر یا حتی وضعیت‌های نیروی بالابرنده صفر[1] نمی‌باشد. چون همانطور که در فصل هیدرودینامیک زیردریایی توضیح دادیم، خود بدنه، بویژه با وجود برجک، یک ممان هیدرودینامیکی رو به بالای سینه تحمیل می‌کند. برای تصحیح آن، بالک‌ها باید در زوایای تعادل[2] قرار گیرند تا یک ممان مخالف (حرکت رو به پایین سینه) فراهم کند که مستلزم زیر آب قرار گرفتن بالک‌های جلو و هم بالک‌های عقب می‌باشد. در برخی زیردریایی‌ها، زوایای شیب $^{\circ}۵-^{\circ}۴$درجه، خیلی بزرگ محسوب می‌شوند. در برخی موارد با نزدیک شدن به زاویه کوچک رو به پائین سینه، از تعادل

1- Zero lift
2- Balance angle

هیدرودینامیکی کمک گرفته می‌شود. همانطور که بعداً در قسمت ضمیمه توضیح داده خواهد شد، یک هدایت کننده خودکار به صورت اتوماتیک و خودکار این تطبیق وضعیت را انجام می‌دهد.

هنگامیکه زیردریایی، تحت کنترل غوص کرد و در یک عمق ثابت و در حالت مستقیم به حرکت ادامه داد، سرعت حرکت بدنه، اندک اندک زیردریایی را رو به بالا می‌برد. اگر مشخص شود که کاهش سرعت باعث افزایش درصد خطا در نسبت وزن به حجم یا تعادل طولی آن شود، مخازن متغیر[1] یا جبران وزنی با استفاده از سیستم شیب و جبران، شرایط یکنواخت را حفظ می‌کند.

اگر در سرعت ۱ یا ۲ گره، عمق و زاویه کنترل همچنان رضایتبخش باشد، معمولاً قرار گرفتن در یک زوایه شیب مناسب می‌تواند مورد قبول باشد. تنظیم شیب در حالت سکون، بدلیل عدم تعادل عمق که قبلاً توضیح داده شد، مشکل است. همانطور که می‌دانیم، اگر مقداری هوا در درون مخازن یا فضاهای آبگیر آزاد حبس شده باشد، فرآیند تنظیم شیب، بسیار مشکل‌تر خواهد شد، چرا که این هوای حبس شده با تغییرات عمق زیردریایی، تغییرات شناوری را به مقدار زیادی افزایش می‌دهد. در هر صورت، غوص با وجود هوای حبس شده در مخازن، کاری خطرناک می‌باشد و باید با حرکت‌های نوسانی، آنرا خارج ساخت. گاهی نیز با افزایش سرعت، هوای محبوس شده خارج می‌شود.

۳-۲-A) عملیات بعدی غوص:

روشی که برای تنظیم شیب توضیح داده شد، یک روش استاندارد برای بیشتر زیردریایی‌ها به هنگام انجام اولین غوص برای شروع گشت‌زنی می‌باشد. در زیردریایی‌های دیزل الکتریک، حفظ شیب اهمیت ویژه‌ای دارد چرا که مقدار زیادی از زمان غوطه‌وری خود را به دلیل محدودیت ظرفیت باطری، در سرعت‌های نسبتاً پائین می‌گذرانند.

1- Variable ballast

زیردریایی‌های دارای سیستم رانش هسته‌ای، از آنجا که مدت زمان زیادی را در یک سرعت پائین در حالت غوطه‌وری سپری نمی‌کنند، لذا برای روزها و مدتهای بسیاری در یک سرعت بالا به حرکت خود ادامه می‌دهند بدون اینکه فرصت دیگری برای تنظیم شیب نیاز داشته باشند.

زیردریایی‌های هسته‌ای، بویژه به این دلیل که دارای سیستم بخار (برای به حرکت درآوردن توربین) هستند، تغییرات بسیار بزرگ وزن را به هنگام گشت‌زنی تحمل می‌کنند چرا که دارای تعداد خدمه نسبتاً زیادی هستند که مصرف مواد غذایی از انبارها را افزایش می‌دهد و همچنین نیاز به تأمین آب مقطر هم برای مصرف خدمه و هم برای بویلرهای بخار دارند. پرشدن مخازن آب نمک با محلول بسیار غلیظ که به طور منظم به بیرون دریا تخلیه می‌شود، مشخصه دیگری است که شیب زیردریایی را تغییر می‌دهد. در سرعت بالا، تأثیر شیب چندان مشهود نیست چرا که نیروهای هیدرودینامیکی موجود، به مقدار زیادی تغییرات هیدرواستاتیکی را تحت‌الشعاع قرار می‌دهند. در نتیجه، زیردریایی‌های هسته‌ای که برای مدت زیادی در سرعت‌های خیلی بالا حرکت می‌کنند، می‌توانند اساساً بدون شیب باشند. از آنجا که ممکن است برای فرمانده، کاهش سرعت به منظور تصحیح شیب مطلوب نباشد، راه حل دیگری برای حفظ حالت شیب نیاز است تا بتوان عمل اصلاح شیب را به خوبی انجام داد که می‌توان رفتار هدایت کننده خودکار را برای این منظور در نظر گرفت. ما در فصل هشتم در مورد منطق عملکرد هدایت کننده خودکار بحث کردیم و در اینجا از امکان استفاده از راه‌حل‌های عمق و زاویه پیچ می‌توان استفاده کرد که هدایت کننده خودکار را قادر به تشخیص وضعیت شیب زیردریایی می‌کند. ترکیب زاویه پیچ زیردریایی و زوایای بالک‌های جلو و عقب، در سرعت‌های متوسط، می‌تواند به تعیین دقیق چگونگی سبک یا سنگین شدن زیردریایی و گشتاور تعادل طولی کمک کند. این روشی است که برای همه سرعت‌ها بکار می‌رود ولی در سرعت‌های بالاتر، این زاویه به حدی کوچک است که مشاهده آن مشکل می‌باشد. چرا که این زوایای بدنه و بالک‌ها، برای

تأمین نیروهـا و گـشتاورهای هیـدرودینامیکی، جهـت جبـران عـدم تعـادل بـین نیـرو و ممـان هیدرواستاتیکی بکار می‌روند که نیروی درگ را افزایش می‌دهند.

به عنوان توضیح بیشتر می‌توان گفت؛ مثلاً اگـر زیردریـایی بـسیار سـنگین باشـد و دارای گشتاور چندانی ناشی از عدم تعادل نباشد، سیستم هدایت خودکار این راه‌حل را خواهد یافـت کـه بدنه باید دارای زاویه رو به بالای سینه باشد تا افـزون بـودن وزن را بـا نیـروی هیـدرودینامیکی جبران کند و بالک‌ها در زاویه غوص قرار گیرند تا ممان هیدرودینامیکی، قسمتی از حالـت رو بـه بالای سینه بدنه را خنثی کند. به همین دلیل، اگر زیردریایی سبک باشد، با مقدار اندکی گـشتاور حاصل از عدم تعادل، راه‌حلی که اعمال خواهد شد، زاویه رو به پایین سینه و زوایای حالت صعود بالک‌ها می‌باشد. همچنین اگر یک ممان طولی حاصل از عدم تعادل وجود داشته باشـد، سیـستم هدایت خودکار راه‌حل دیگری را اعمال خواهد کرد که زوایای بالک‌ها کاملاً متفاوت خواهد بـود. در همه این موارد، افسر نگهبان مربوطه نه تنها باید از تغییر شیب آگاه باشد، بلکه باید از مقدار و چگونگی آن هم مطلع باشد. این روش دقیق نیست ولی به کمک برنامه‌هـای کـامپیوتری بـرای این منظور، می‌توان بطور پیوسته حالت شیب و تصحیحات مورد نیاز سیـستم شـیب و جبـران را کنترل کرد تا شیب مورد نیاز فراهم شود.

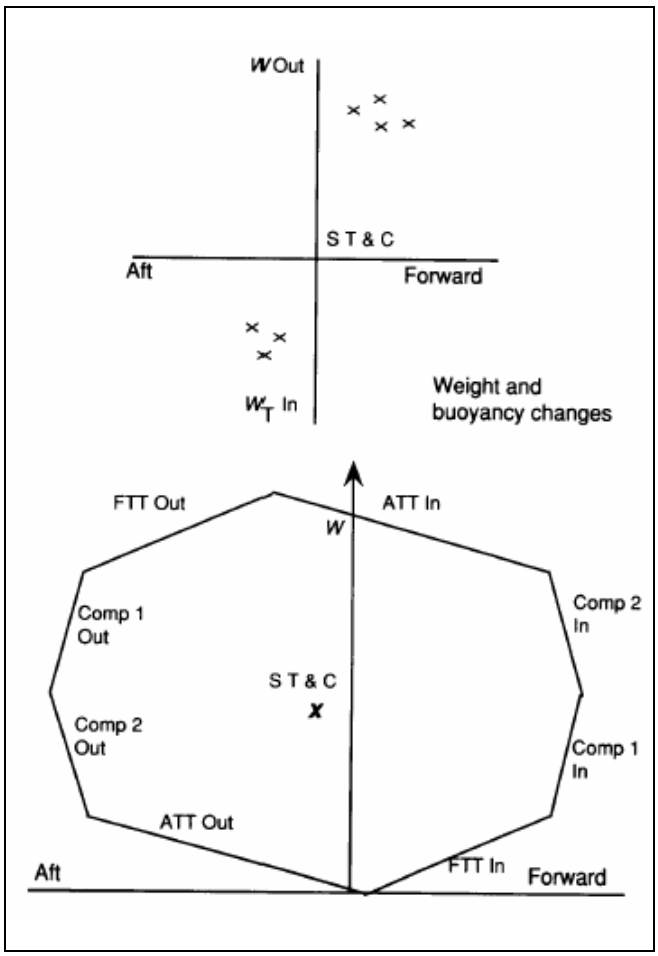
ضمیمه ۳ : ارزیابی وزن و ظرفیت مخازن متغیر (جبران وزن)

در طراحی، به هنگام تعیین محل مخازن شیب و جبران وزن، فرآیندی نیاز است که اندازه مخازن تعیین شود و مقدار آب داخل آنها، یعنی ظرفیت مخازن جبران وزن بررسی شود. روشی که هم اکنون توضیح داده می‌شود و به طور گسترده در این زمینه استفاده می‌گردد، به کمک شکل (A-۳-۱) بیان می‌شود:

الف) یک شرایط استاندارد برای زیردریایی تعریف می‌شود یعنی با تعداد کامل خدمه، انبارها و مخازن سوخت پر، با چگالی استاندارد آب دریا برابر ۱/۰۲۷۵، در نظر گرفتن وزن‌ها و موقعیت‌های آنها که ممکن است در طول مدت گشت‌زنی تغییر کنند و تغییرات شناوری و حدود آن می‌باشد، مثلاً حداکثر تغییرات چگالی آب دریا بین ۱ تا ۱/۰۳ (یا چگالی که برای موضوع طراحی زیردریایی مورد نظر مناسب باشد).

ب) نموداری ترسیم می‌شود که محور افقی آن برای گشتاورهای طولی و محور عمودی آن برای نیروها می‌باشد که در واقع شرایط استانداردی برای زیردریایی ارائه می‌کنند. تغییرات وزن و شناوری که در قسمت (الف) بیان شد به صورت نقطه‌هایی روی نمودار رسم می‌شوند که طبق قرارداد، کاهش وزن‌های قسمت جلو در ربع اول نمودار قرار می‌گیرند. هدف، بر آوردن نیاز به ترکیبات تغییر وزن و شناوری که محسوس هستند، می‌باشد. باید حدود شرایطی که ممکن است زیردریایی در آن قرار گیرد، مشخص گردد. بنابراین همزمان با نزدیک شدن به پایان گشت‌زنی، تقریباً همه انبارها و مخازن سوخت مصرف می‌شوند و ممکن است در عین حال مجبور به حرکت در ناحیه‌ای شود که چگالی آب دریا بالا می‌باشد. همچنین ممکن است زیردریایی تنها اندکی پس از ترک پایگاه خود برای گشت‌زنی، وارد محدوده‌ای از دریا شود که آب آن تقریباً خالص است. معمولاً حدود این تغییرات را می‌توان در ربع اول نمودار یافت (یعنی قسمت جلو که بر اثر مصرف ذخیره

انبارها سبک می‌شود) یا در ربع سوم (یعنی قسمت عقب نسبتاً سنگین بر اثر تغییرات شناوری به همراه کاهش اندک وزن).



شکل (۱-۳-A) چند ضلعی نمایشگر قدرت مخازن جبران در تأمین شیب

پ) حدود این نقاط مشخص کننده محدوده‌ای است که باید برای مخازن شیب و جبران فراهم شود. برای توضیح اینکه چگونه می‌توان این کار را انجام داد، نمودار دیگری با همان

مقیاس نمودار اول ترسیم می‌شود تا ظرفیت مخازن مورد نظر را ارائه کند. این فرآیند باید از ابتدا شروع و اثر آبگیری جلوترین مخازن خالی شیب روی ربع اول نمودار مشخص گردد که وزن‌ها را روی نمودار به طرف بالا افزایش خواهد داد و گشتاورجلو (حول وسط میانی بدنه) در سمت راست نمودار قرار می‌گیرد؛ مخازن بعدی از جلو تا عقب، بطور گسترده آبگیری می‌شوند تا اینکه سرانجام مخزن شیب عقب پر شود. شناوری که بدین ترتیب بدست آمده است، حداکثر تغییرات وزن را تعریف می‌کند که می‌تواند مشخص کننده اندازه مخازن مورد نظر باشد.

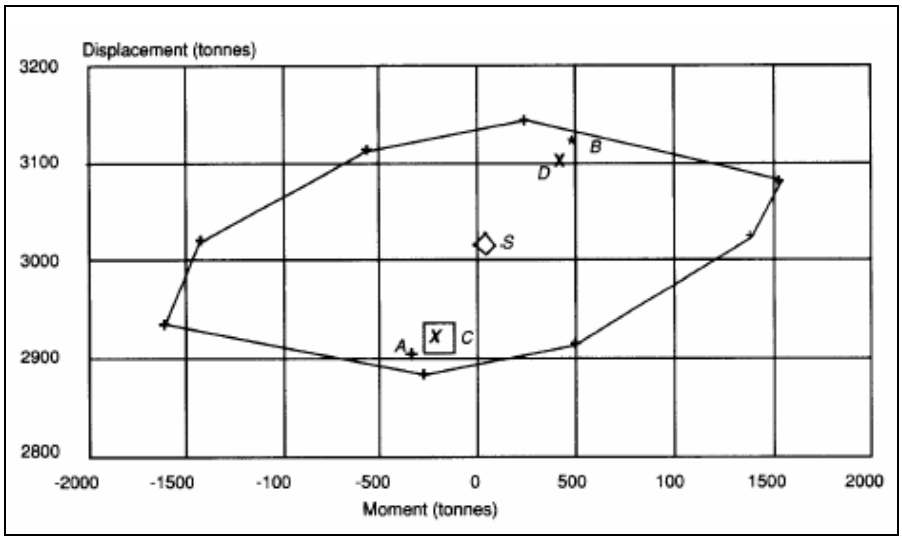
ت) چند ضلعی نمودار دوم، هم اکنون تغییرات وزن و شناوری نشان داده شده در نمودار اول را پوشش می‌دهد و موقعیت آن به گونه‌ای است که تمامی دورترین نقاط تعریف شده در نمودار اول را نیز در بر گیرد. اگر نتوان یک موقعیت رضایتبخش یافت، نیاز است که با تغییر دادن ظرفیت مخازن، چند ضلعی اصلاح شود تا یک راه‌حل مناسب بدست آید. سپس چند ضلعی نهایی، ظرفیت‌های مورد نیاز مخازن شیب و جبران را تعریف می‌کند. علاوه بر آن، موقعیت نمودار اول اصلی نسبت به نمودار دوم، شرایط شیب استاندارد زیردریایی را تعریف می‌کند، یعنی مقدار وزن و آبی که باید در مخازن جابجا شود بطوریکه اگر زیردریایی در شرایط سنگین باشد، امکان خالی کردن مخازن برای رسیدن به حالت تعادل را داشته باشد و همچنین هنگامیکه در شرایط سبک می‌باشد، امکان پر کردن مخازن تا رسیدن به حالت مطلوب وجود داشته باشد. شرایط استاندارد شیب و جبران، همانطور که بیان شد، در تعیین مقدار متغیر که شامل تخمین وزن است، دخیل می‌باشد. در مراحل اولیه طراحی، جزئیات مورد نیاز که پیش از این بیان شد، موجود نمی‌باشد. با این حال باید یک حجم مجاز برای مخازن شیب و جبران، متناسب با حجم مورد نیاز بدنه فشار در نظر گرفته شود. باید خاطر نشان کنیم که حدود تغییرات وزن از موارد زیر ناشی می‌شود؛ مخازن و انبارهای پر در آب دریا با چگالی کم (کاملاً سنگین) تا مخازن و انبارهای خالی در پایان

گشت‌زنی درآب دریا با چگالی بالا (کاملاً سبک). بنابراین تخمین حجم مخازن شیب و جبران را می‌توان به صورت زیر برآورد کرد:

$$\text{حجم مخازن} = \left(\text{حجم پوسته سخت} \times \text{محدوده تغییرات چگالی (به درصد)} \times \frac{\text{وزن بارهای متغیر}}{\rho_w} \right) \times \text{ضریب اطمینان}$$

ضریب اطمینان برای به حساب آوردن سازه مخازن داخلی و آب باقیمانده در آنها که نمی‌توان آن را پمپ کرد یا بدلیل شکل هندسی مخازن نمی‌توان آن را خارج کرد، در نظر گرفته می‌شود.

شکل (۲-۳-A) نوعی از چند ضلعی شیب را نشان می‌دهد که در حین انجام طراحی یک زیردریایی در دانشگاه لندن ترسیم شده است.



شکل (۲-۳-A) چند ضلعی شیب

ضمیمه ٤ : استحکام بدنه فشار زیردریایی

۱-٤) می‌توان براحتی نشان داد که اگر شناوری به شکل استوانه‌ای با مقطع دایره کـه در دو انتها به دو نیمکره منتهی شده است و دارای شعاع R و ضـخامت پوسـته t باشـد کـه فـشار داخلی P بر آن وارد شود آنگاه در نقاط دور از دو انتهای آن، دو دسته تـنش‌هـای پوسـته‌ای بـر روی صفحات بوجود خواهد آمد که عبارتند از:

$$\sigma_L = \frac{PR}{2t}$$ (تنش طولی)

$$\sigma_C = \frac{PR}{t}$$ (تنش‌های غشایی محیطی)

از آنجا که تنش محیطی دو برابر تنش طولی است، در صورت افزایش فشار داخلی، شکست استوانه‌ای با تسلیم محیطی آغاز می‌شود و این زمانی رخ می‌دهـد کـه تـنش محیطـی (σ_c) بـه استحکام تسلیم ماده پوسته بدنه(σ_y) نزدیک می‌شود. معمولاً فشار وارده به هنگام تـسلیم اولیـه به عنوان «فشار بویلر»[1] شناخته می‌شود:

$$P_b = \sigma_y \cdot \frac{t}{R}$$

۲-٤) اگر فشار به صورت خارجی به یک استوانه طویل وارد شود و اگر این استوانه بوسیله تقویت کننده‌های حلقوی تقویت نشده باشد، شکست آن به صورت کمانش الاستیکی، در محلـی کاملاً دور از دو انتهای آن، به صورت تغییر شکل بیضی مقطع اتفـاق مـی‌افتـد، کـه ایـن فـشار چندین مرتبه کمتر از فشار بویلر است؛ حتی اگر در ابتدا مقطع آن کاملاً دایره‌ای باشد. این رفتـار تابعی از آنالیز سازه است و فرمولی برای فشار انهدام الاستیک یک استوانه تقویت نشده با مقطـع دایره‌ای، با دیواره‌هایی که به فاصله L از هم قرار گرفته‌اند، توسط یک محقق آلمانی به نام «وُن

1- Boiler pressure

میسز»[1] در حدود سال ۱۹۲۰ بدست آمد. کار او نشان داد کـه اگـر L برابـر بـا R باشـد، یعنـی استوانه نسبتاً کوتاه باشد، روش انهدام الاستیک به صورت بیضی نخواهد بود. حتی فـشار انهـدام وُن میسز، که ما آن را با P_m نشان می‌دهیم، می‌تواند بسیار کمتر از P_b باشد.

[P_m = (Von Mises Collapse Pressure) فشار انهدام وُن میسز]

۳-٤) نسبت $\left(\frac{P_m}{P_b}\right)$ یک کمیت مناسبی را برای استوانه تقویت نشده کوتاه برای بررسـی کمانش الاستیک نسبت به استحکام تسلیم بالقوه آن، فراهم می‌کند. این نسبت بویژه برای فهـم اینکه چرا از فریم‌های حلقوی برای تقویت استوانه در برابر فشار خارجی استفاده مـی‌شـود، بکـار می‌رود. هرچند که صلبیت یک فریم حلقوی به صورت شعاعی کمتر از یـک دیـواره، مـی‌باشـد، فرمول وُن میسز با تقریب خوبی می‌تواند فشاری را که باعث کمانش الاسـتیک پوسـته بـین دو فریم حلقوی مجاور می‌شود، نشان دهد. عموماً در بدنه فشار زیردریایی، فاصله بـین دو فـریم در طول بدنه بسیار اندک است و بنابراین مد اول کمانش الاستیک به صورت تاول‌هایی (مـوج‌هـای محیطی) اتفاق می‌افتد و مقادیر مربوطه P_m نسبتاً بزرگ است. این امکان وجـود دارد کـه فـشار انهدام (از هم گسیختگی) بین دو فریم[2] را تا حدود ۱۰ درصد P_b افزایش داد و این کار با بررسی وزن فریم‌های تقویت کننـده حلقـوی بدنـه فـشار امکانپـذیر اسـت. فرمـول P_m شـامل مـدول الاستیسیته مواد پوسته‌ای، شعاع و ضخامت صفحات پوسته و فاصله فریم‌های حلقوی مـی‌باشـد اما شامل اندازه فریم نمی‌باشد و می‌توان با اعمال تغییرات روی این عوامل، P_m را تحـت تـأثیر قرار داد.

٤-٤) قبل از شروع به توضیح اینکه چگونه می‌توان بـه نتـایج بهتـری در افـزایش فـشار انهدام بین دو فریم مجاور رسید، یک مرحله به عقب بر می‌گردیم، خیلی قبـل از اینکـه طراحـی

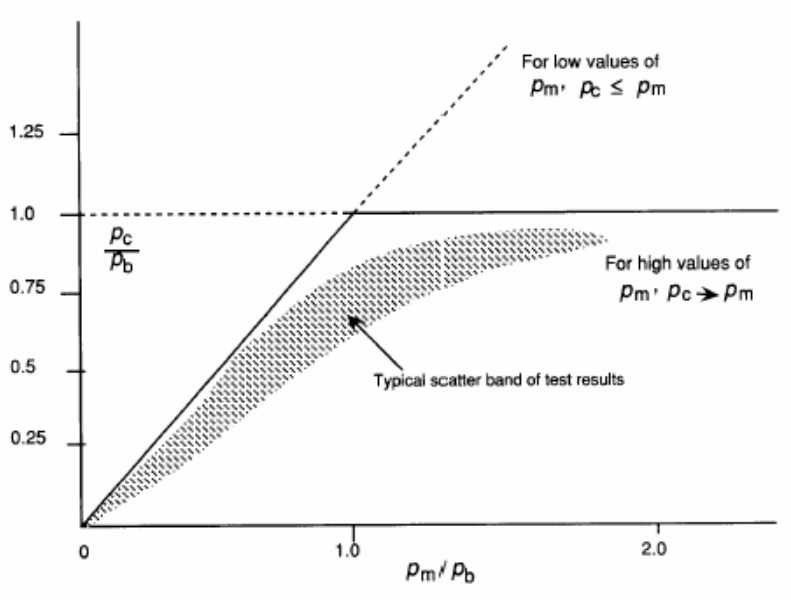
1- Von Mises
2- Inter frame collapse

بدنه فشار زیردریایی و ارزیابی فشارهای انهدام بین دو فریم به روشهای علمی و بوسیله کامپیوتر انجام شود. متخصصان سازه‌ای زیردریایی نیازمند وسایلی برای بررسی اثرات اعوجاج بـه هنگـام مونتاژ بدنه و تنش‌های پسماند بوسیله روشهای تئوری آنالیز بودند که ضرورتاً چنین اثراتی را باید در نظر می‌گرفتند. روش طبیعی آن، استفاده از مدلهای آزمایشی سازه‌ای با هندسـه مناسـب بـود که تحت فشار هیدرواستاتیک قرار می‌گرفت، یعنی این کار به صورت تجربی انجام می‌شد. بـرای بررسی انهدام پوسته بین دو فریم، مدلهای نسبتاً کوتاه بودند و در دو انتها تقویت شده بودند تا از شکست ناشی از تنش‌های طولی پرهیز شود. پس از سالها، نتایج آزمایشات مستقل روی بسیاری از مدلها از کشورهای مختلف و با شکل‌های هندسی متفاوت بررسی شده است تا بتوان به کمک پارامترهای بی‌بعد به نتایج سودمندی برای فراهم کردن یک شـکل مناسـب کـه مـورد اسـتفاده طراحان قرار گیرد، دست یافت.

۵-٤) برای برخی طرح‌های قدیمی بدنه، انهدام پوسته بین دو فریم که براساس داده‌هـای تجربی و به صورت بی‌بعد بدست آمده است، در شکل (۱-۴-A) نشان داده شده است. برای هر مدل آزمایش شده، فشار P_c که باعث بروز انهدام می‌شود، ذکر شده اسـت. مقـادیر P_b و P_m از شکل هندسی و استحکام تسلیم مدل محاسبه مـی‌شـود و نتیجـه ایـن آزمـایش روی نمـوداری ترسیم می‌شود که نسبت‌های $\left(\frac{P_c}{P_b}\right)$ و $\left(\frac{P_m}{P_b}\right)$ را ارزیابی کرده است. همچنین روی نمودار (۱-۴-A) دو خـط نـشان داده شـده اسـت؛ یـک خـط شـیب‌دار کـه از ناحیـه‌ای مـی‌گـذرد کـه $\left(\frac{P_m}{P_b}\right)=\left(\frac{P_c}{P_b}\right)$ و یک خط افقی در ارتفـاع ۱=$\left(\frac{P_c}{P_b}\right)$. ایـن دو را مـی‌تـوان بـه عنـوان «خـط مجانب»[1] در نظر گرفت که نتایج آزمایش انهدام پوسته روی مدلهای با شکل هندسـی نهـایی را نشان می‌دهند. در امتداد خط مورب، $P_c = P_m$ می‌باشد چرا که در این ناحیه فریم‌های حلقـوی برای پرهیز از شکست بوسیله کمانش الاستیک پوسته بین فریم‌ها، بسیار عـریض هـستند. یـک

1- Asymptotes

بدنه فشار با آن شکل هندسی می‌تواند از نظر سازه‌ای بازدهی چندانی نداشته باشد که مقادیر کوچک $\left(\frac{P_m}{P_b}\right)$ نشانگرآن است. در امتداد خط افقی، $P_c = P_b$ می‌باشد چرا که فریم‌های حلقوی به اندازه کافی نزدیک یکدیگر هستند تا از شکست بوسیله کمانش الاستیک پوسته بین فریم‌ها پرهیز شود. شکست در این ناحیه، می‌تواند ناشی از تنش‌های غشایی پوسته باشد که به استحکام تسلیم مواد نزدیک شده است و لذا از نظر سازه‌ای کاملاً بازدهی خوبی دارد.



(شکل ۱-۴-A) نمودار تجربی نتایج تست‌های فشار مدل

٦-٤) چندین مشخصه مهم را از این اطلاعات تجربی که بدین طریق ارائه شده است، می‌توان استخراج کرد. مدلهای بدنه فشار با مقادیر نسبتاً کوچک $\left(\frac{P_m}{P_b}\right)$ دارای فشار انهدامی هستند که به صورت پراکنده و متفرق روی نمودار نشان داده می‌شود، زیرا در مرحله ساخت، خطاهای هندسی در ساخت وجود دارد؛ به عبارت دیگر، تقارب خط مجانب افقی در مقادیر نسبتاً

بزرگ $\left(\frac{P_m}{P_b}\right)$ مناسب است، چرا که مدلهای با آن شکل هندسی به هیچ وجه از نظر هندسی حساس نمی‌باشند.

۷-٤) بهبود و پیشرفت در این فرم بدنه، روی یافتن مقادیر بهتری نسبت به مقدار فرمول بویلر[1] برای تنش‌های غشایی استوانه تقویت شده با فریم‌های حلقوی، متمرکز شده است. همانطور که در قسمت (۱۳-۵) مشاهده شد، استفاده از فریم‌های تقویت کننده حلقوی برای تقویت پوسته بدنه در مقابل کمانش نابهنگام، منجر به الگوی پیچیده‌ای از تنش‌ها روی صفحه می‌شود که ناشی از تغییرات کرنش محیطی از فریم‌ها به ناحیه بین فریم‌ها می‌باشد.

در نتیجه، بزرگترین تنش غشایی در فاصله وسط بین فریم‌ها اتفاق می‌افتد چرا که به علت تقویت ناشی از فریم‌ها، در واقع این تنش کمتر از مقدار فرمول بویلر $\sigma_C = \frac{PR}{t}$ می‌باشد. بررسی مناسب تئوری توزیع تنش در پوسته استوانه‌های تقویت شده با فریم‌های حلقوی، در حدود سال ۱۹۲۰ توسط دو محقق آلمانی، ون سندن[2] و گانتر[3] انجام شد که از نظر جبری پیچیده است ولی وسیله و تابعی برای آنالیز عددی می‌باشد. عامل دیگری که می‌تواند از P_b در ارائه اطلاعات تجربی که پیش از این ذکر شد، بهتر باشد، با P_y بیان می‌شود. P_y مشخص کننده فشار بیرونی است که ایجاد کننده تنش حلقوی میانگین در وسط ضخامت پوسته و در وسط فاصله بین دو فریم می‌باشد که بر مبنای نظریه ون سندن و گانتر برابر با استحکام تسلیم ماده پوسته می‌باشد.

این روش برای ارائه اطلاعات تجربی در مورد انهدام مدل‌های بدنه فشار، تحت فشار خارجی می‌باشد که اکنون بطور گسترده استفاده می‌شود و نسبت $\left(\frac{P_c}{P_y}\right)$ بر مبنای $\left(\frac{P_m}{P_y}\right)$ رسم

1- Boiler formula
2- Von Sonden
3- Gunther

می‌گردد و این به صورت نمودار شکل (۷–۵) می‌باشد و می‌توان مشاهده کرد که مشخصات مهمی که در بالا برای استفاده از P_b بیان شد، در اینجا نیز صادق است. پیشرفت در این زمینه مستلزم نگاه واقع بینانه‌تری از الگوی تنش غشایی روی پوسته استوانه تقویت شده بوسیله فریم‌های حلقوی می‌باشد.

ضمیمه ۵ : تخمین مقاومت و پیشرانش

تخمین‌های مقاومت:

پس از تعیین اندازه‌های زیردریایی و مشخص شدن ضمائم متصل به بدنه، ارزیابی دقیق‌تری از نسبت $\left(\frac{\text{مقاومت}}{\text{سرعت}}\right)$ در هنگامیکه کاملاً غوطه‌ور است، طبق روش زیر انجام می‌گردد:

ضریب مقاومت کل ممکن است به شکل زیر بیان شود:

$$C_T = C_{FS} + C_R + C_A$$

$$\text{ضریب } C = \frac{\text{مقاومت}}{\frac{1}{2}\rho S V^2}$$

و C_{FS} : ضریب مقاومت اصطکاکی

C_R : ضریب مقاومت باقیمانده (ویسکوزفشاری)

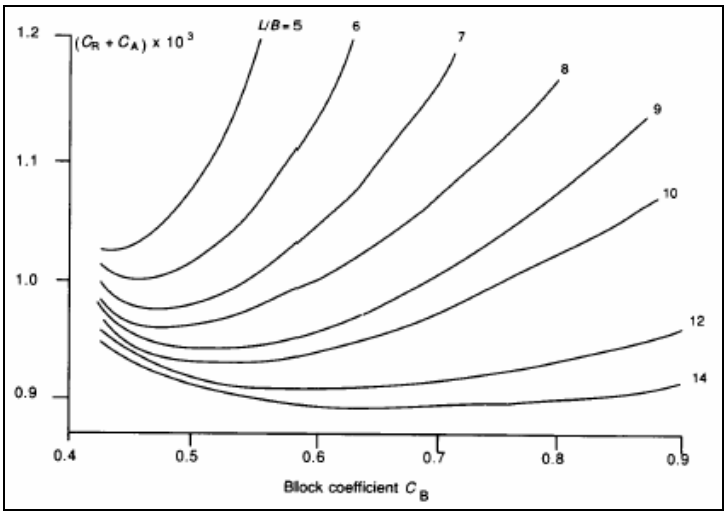
C_A : ضریب مجاز برای مدل کردن در مقیاس کامل

مقدار C_R از آزمایشات مقاومت مدل بدست می‌آید و فرض شده است که مستقل از عدد رینولدز باشد یعنی $C_{RM} = C_{RS}$. خطاهای همراه این فرض در ضریب C_A در نظر گرفته می‌شود.

ضریب C_A از انجام اولین آزمایشات زیردریایی جدید بدست می‌آید، هر چند که در مرحله طراحی و ساخت مدل، مقدار مناسب C_A براساس زیردریایی‌های قبلی یک مقدار مناسبی در نظر گرفته می‌شود. به عنوان نمونه مقدار مجاز ضریب C_A ممکن است بین « $۰/۴ \times ۱۰^{-۳}$ – $۰/۶ \times ۱۰^{-۳}$ » باشد.

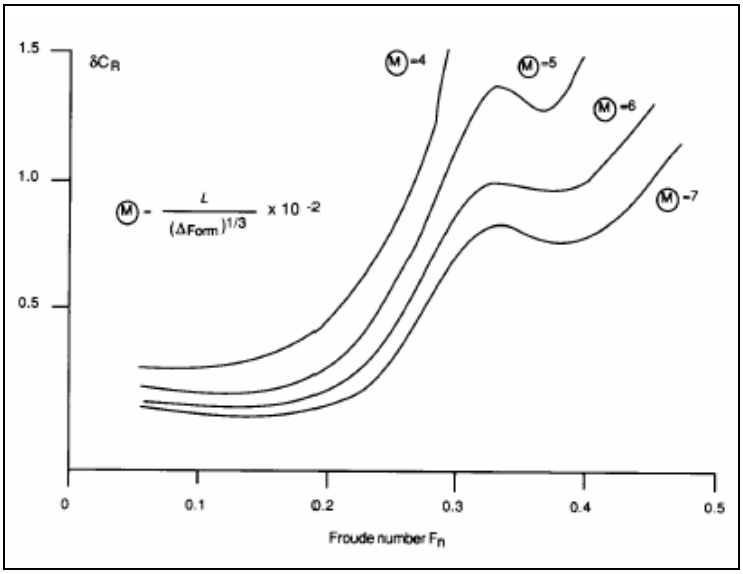
تغییرات قابل ملاحظه‌ای نیز در ضریب مقاومت باقیمانده وجود دارد که از آزمایشات مدل و ضریب مجاز مدل (C_A) از آزمایشات بدست می آید. خوشبختانه این را قبلاً هم توضیح داده‌ایم که با افزایش نسبت L/D ، C_R کوچکتر خواهد شد (یعنی مقاومت شکلی کمتر)، ولی این باعث مساحت سطح خیس بزرگتر برای یک حجم جابجایی مشخص، می‌شود. ضریب مجاز مدل (C_A)، تأثیرات صافی بدنه، دریچه‌های بدنه، خطاهای ساخت و خطاهای ذاتی موجود در فرآیند مقیاس کردن را در بر می‌گیرد. در نتیجه، شکل‌های با مساحت سطوح خیس بزرگ برای یک حجم جابجایی مشخص دارای ضریب مجاز (C_A) بزرگتر خواهند بود. با جمع C_R با C_A این اثرات متمایل به خنثی شدن خواهند بود.

در شکل (۱-۵-A) مشاهده می‌شود که محدوده کوچکی از مقادیر ($C_R + C_A$) در محدوده $۱۰^{-۳} \times$ (۰/۹-۱/۲) در ازای محدوده بزرگی از ضریب ظرافت[1] و ضریب لاغری (L/B) آورده شده است. شکل (۱-۵-A) را می‌توان برای ارزیابی طراحی نهایی مورد استفاده قرار داد.



شکل (۱-۵-A)

1- Block coefficient



شکل (۲-۵-A) تخمین نیروی مقاوم بر زیردریایی در حرکت اسنورکلی(حرکت در عمق تنفس)

ضریب مقاومت اصطکاکی (C_{FS}) برای زیردریایی از فرمول تجربی (1957 ITTC Line) محاسبه می‌گردد:

$$C_{FS} = \frac{0.075}{(Log_{10}\, Rn - 2)^2}$$

بدنه و روکش آن و هر یک از ملحقات بدنه دارای یک عدد رینولدز خاص هستند که براساس طول کل، روکش و طول کورد متوسط هر یک از ملحقات می‌باشد و هر یک از اینها ضرایب خاص خود را خواهند داشت و متناسب با مساحت هر یک به مساحت سطح خیس کل (که به عنوان سطح مرجع (S_{REF}) شناخته می‌شود) به یکدیگر افزوده خواهند شد یعنی:

$$C_{FS} = C_{Fhull} \times \left(\frac{\text{مساحت محل اتصال ملحقات به بدنه} _ \text{سطح خیس بدنه}}{S_{Ref}} \right) + C_{Fbridge} \times \frac{\text{سطح خیس پل}}{S_{Ref}} +$$

$$2 \times C_{Fbowplane} \times \frac{\text{سطح خیس روی یک بالک}}{S_{Ref}} + \cdots$$

که (S_{Ref}) مساحت سطح خیس بدنه بدون ملحقات[1] و روکش آن بعلاوه سطح خیس همه ملحقات، منهای مساحت محل اتصال ملحقات به بدنه می‌باشد.

ضریب مقاومت کل شناور که مشخص شد، قدرت مؤثر (P_E) در سرعت V در حالت غوطه‌وری از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$P_E = {}^1/_2 \, \rho \, V^3 \, S_{Ref} \, C_{Ts}$$

یک ضریب مجاز باید برای خزه‌گرفتگی و ناصاف شدن بدنه در آبهای مختلف با ضریبی برابر $\left(\frac{1}{8}\right)$ درصد C_{Fs} برای هر روز تا ۱۸۰ روز پس از خارج شدن از داک، در نظر گرفته شود.

با دانستن بازدهی پیشرانش (**PC**)[2] مشخص خواهد شد که قدرت شفت (P_s) در چه محدوده سرعت کار خواهد کرد. اما قبل از بحث روی این مرحله، روی اینکه مقاومت بدنه زیردریایی چگونه تحت تأثیر تغییرات عمق به هنگام عملیات قرار می‌گیرد، صحبت می‌کنیم.

مقاومت در سطح آب و نزدیک سطح آب:

به محض نزدیک شدن زیردریایی به سطح آب، مقاومت آن بدلیل پراکندگی انرژی ناشی از ایجاد موج، افزایش می‌یابد. ایجاد موج، توزیع فشار را روی بدنه زیردریایی تغییر می‌دهد درنتیجه

---

[1] - bare hull

2- Propulsive Coefficient

درگ بدنه افزایش می‌یابد و این خود را به صورت افـزایش ضـریب مقاومـت باقیمانـده ($\delta\ C_R$) نشان می‌دهد.

این افزایش، به هنگام شروع بیرون آمدن بدنه از سطح آب، بیـشترین مقـدار اسـت و ایـن زمانی است که آبخور (H) برابر عمق بدنه می‌باشد (D برابر قطر بدنه بعلاوه ارتفاع روکش بدنـه می‌باشد). در این شرایط ($H = D$)، افزایش ضریب مقاومت باقیمانده ممکن است مرتبط با عدد فرود (F_n) و یک عامل بدون بُعد $\left(\frac{L}{\nabla_{Form}^{1/3}}\right)$ باشد. نمونه‌ای از این اطلاعات در شکل (۲-۵-A) نشان داده شده است.

ممکن اسـت بـا ثابـت فـرض کـردن C_F , C_A , C_R , δC_R ، تخمـین مقاومـت بدنـه زیردریایی ناقص باشد و کاهش مقاومت بدنه، فقط زمانی اتفاق می‌افتد که مساحت سطح خـیس کاهش یابد. هر چه زیردریایی به عمق بیشتری می‌رود، δC_R کمتر خواهد شد تا اینکه اثر سطح آزاد قابل چشم پوشی شود. هر چند فقط اطلاعات انـدکی در خـصوص تغییـرات مقاومـت مـوج سازی با عمق و سرعت، موجود می‌باشد، فرمول زیر ممکن است یک مقدار تقریبی برای افزایش ضریب مقاومت باقیمانده بدهد:

برای $H \rangle D$:

$$\delta C_R'' = \delta C_R \times e^{\left[0.37\, g \times \frac{(D-H)}{V^2}\right]}$$

مقاومت ناشی از پریسکوپ و دیگر دکل‌ها باید به صورت مجزا بررسی شود. نزدیک بـودن تعدادی از این دکل‌ها به یکدیگر، تخمین مقاومت آنها را بسیار مشکل می‌کند. ضـریب مقاومـت ۰/۳ توصیه می‌شود که بر مبنای سطح جلویی هر یک از دکل‌ها می‌باشد.

تخمین پیشرانش:

الف) تخمین اولیه ضریب پیشرانش (در حالت غوطه‌وری)

تأثیر متقابل پروانه و بدنه بر یکدیگر مستلزم این است که طراحی قسمت پاشنه زیردریایی و طراحی پروانه به صورت همزمان انجام شود. بررسی اثرات چاقی قسمت پاشنه و قطر پروانه، نشان داده است که چگونه اجزاء بازدهی بدنه و ضریب پیشرانش تغییر می‌کنند. افزایش چاقی پاشنه باعث افزایش مقاومت و اثر ویک می‌شود. این افزایش ویک می‌تواند برای افزایش بازدهی بدنه استفاده شود، چنانکه قدرت شفت به مقدار قابل ملاحظه‌ای متأثر نگردد.

شکل پاشنه چاق قطعاً دارای مضراتی از نظر کارآیی سکان و سطوح کنترلی عقب دارد، بخصوص اگر دارای قیود و تکیه‌گاه پهن باشند. افزایش قطر پروانه باعث بهبود بازدهی پیشرانش می‌گردد. هر چه نسبت قطر پروانه به قطر بدنه افزایش یابد، میانگین اثر ویک روی پروانه کاهش می‌یابد، بخصوص اگر نوک پره‌ها در بیرون از محدوده ویک کار کند که مستلزم داشتن قطر بزرگ پروانه می‌باشد.

ضریب پیشرانش غوطه‌وری برای زیردریایی تک پروانه بین ۰/۷ تا ۰/۸ تغییر می‌کند که وابسته به اندازه نسبی پروانه، شکل پاشنه، تعداد دوران پروانه در دقیقه، عملکرد ماشین‌آلات و طراحی پروانه می‌باشد. در طراحی‌های اخیر، مقدار ۰/۷۵ برای زیردریایی‌های تک پروانه و مقدار ۰/۶۵ برای زیردریایی‌های دارای چندین پروانه، نمی‌تواند چندان برای تخمین قدرت شفت (P_S) نامطلوب باشد.

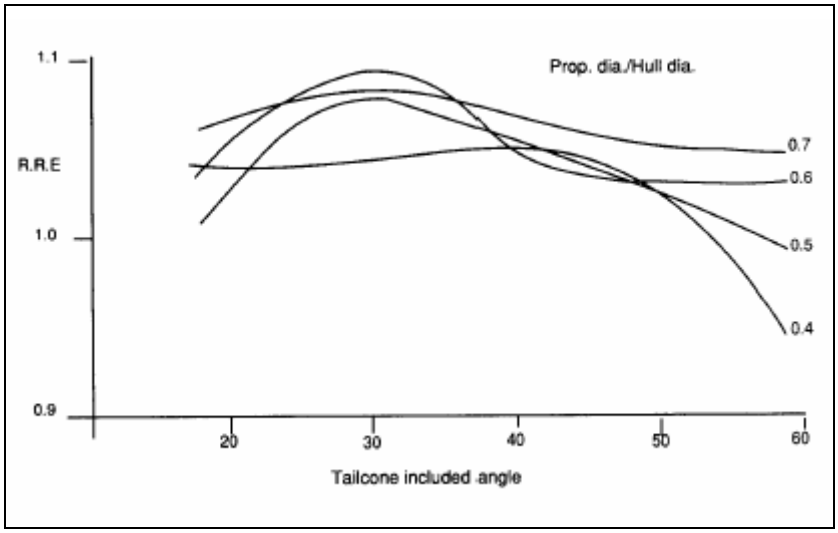
ب) جزئیات بیشتر در تخمین پیشرانش (در حالت غوطه‌وری):

۱-بازدهی پروانه :

خصوصیات آب آزاد برای طراحی پروانه ممکن است از مرجع (AEW 20 inch methodical series) مشخص شود. پروانه‌هایی که هم اکنون استفاده می‌شود، به مقدار قابل ملاحظه‌ای از نظر تعداد و شکل پره‌ها با پروانه‌های ارائه شده در این سری‌های اطلاعات، متفاوت است و پیشرفت‌هایی برای بهبود وضعیت صدای پروانه به هنگام تولید نیروی پیشرانش انجام شده است. هر چند در ناحیه بدون کاویتاسیون، خصوصیات پیشرانش پروانه‌های مدرن ممکن است شبیه سری‌های اطلاعات (Series Data) داده شده فرض شوند. بار وارده بر پره‌های پروانه باید به $۷۰\left(\mathrm{KN}/\mathrm{m}^2\right)$ محدود گردد.

۲-اجزاء بازدهی بدنه :

بازدهی بدنه اصولاً وابسته به شکل قسمت پاشنه و اندازه قطر پروانه نسبت به بدنه است. نمونه‌ای از ویک تیلور (ω_T)، ضریب کاهش تراست (t) و بازدهی دورانی نسبی (η_R) در شکل‌های (۷-۶) و (۸-۶) و (۳-۵-A) آورده شده است.



شکل (۳–۵–A) تغییرات راندمان پروانه

مقادیر ω_T ارائه شده در شکل (۷–۶) نمونه‌ای از مقادیر مدل هستند. در مقیاس کامل، مقادیر ویک بعضاً کمتر از مقادیر مدل می‌باشد که نتیجهٔ بخشی از مشکلات موجود برای مقیاس کردن می‌باشد (چرا که لایه‌های مرزی مقیاس نمی‌شوند). کاهش مقادیر ویک مدل به مقدار ۱۲٪ می‌تواند معقولانه باشد.

۳-ضریب پیشرانش :

ضرایب ایده‌آل آزمایشات که معمولاً مقدار ۹۸٪ برای آن در نظر گرفته می‌شود و $\frac{T_R}{T_M}$ را می‌توان برابر ۱ در نظر گرفت. در نتیجه ضریب پیشرانش ممکن است از فرمول زیر ارزیابی گردد :

$$PC = \frac{P_E}{P_S} = \eta_H \cdot \eta_R \cdot \eta_O \cdot \eta_S$$

ج) تخمین پیشرانش در سطح آب یا نزدیک سطح آب :

اطلاعات کمی در مورد خصوصیات پروانه و اجزاء بازدهی بدنه زیردریایی در عمق پریسکوپ یا در سطح آب، وجود دارد. کاملاً معقولانه است که ضریب پیرانش (PC) در این حالت از آنچه برای حالت غوطه‌وری تخمین زده شد، کمتر باشد. کاهش به میزان ۷٪ و ۱۴٪ (به ترتیب برای عمق پریسکوپ و سطح آب) نمی‌تواند برای زیردریایی‌های تک پروانه، چندان غیر واقع بینانه باشد.