



دانشگاه صنعتی شریف  
دانشکده مکانیک

## موضوع سمینار: تخمین تاثیر شرایط محیطی و عملکردی شناور در افزایش مصرف سوخت

نگارش  
حمید باب

استاد راهنما  
دکتر محمد سعید سیف

1403 خرداد

## چکیده:

در این سمینار که در مورد مصرف سوخت می‌باشد، اولین موضوعی که به آن اشاره شده است در مورد تجهیزات شناور گفته می‌شود و با سیستم‌های پیشرانش آشنا می‌شویم. در ادامه با اهمیت مصرف سوخت شناور‌ها از آن جهت که مقدار مصرف سوخت بسیار بالای دارند آشنا شدیم. اپراتورهای کشتی می‌توانند استراتژی‌هایی را برای بهینه سازی بهره وری سوخت و کاهش مصرف آن توسعه دهند. این امر به طور مستقیم به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و سایر آلاینده‌ها منجر می‌شود و به پایداری زیست محیطی کمک می‌کند. ارگان‌های نظارتی مانند سازمان بین‌المللی دریانوردی نیز به طور فزاینده‌ای بر کاهش انتشار از صنعت دریایی تمرکز دارند، که این امر اهمیت داده‌های مصرف سوخت را برای انطباق و گزارش دهی افزایش می‌دهد.

در فصل سوم به محاسبه مقدار مقاومت شناور پرداختیم، این مقاومت به دو بخش تقسیم شده است؛ که یک بخش آن محاسبه مقاومت در آب آرام است و بخش دوم آن محاسبه مقاومت در موج می‌باشد؛ بدین ترتیب می‌توان مقاومت شناور را می‌توان در حالت کلی یافت؛ در ادامه این مقاومت را به یک سیستم پیشرانش ارتباط میدهیم تا مصرف سوخت شناور را بیابیم که هدف این سمینار می‌باشد.

در فصل چهارم نرم افوار تخمین تاثیر شرایط محیطی و عملکردی شناور در افزایش مصرف سوخت را تهیه می‌کنیم که نتیجه آن نمودار‌های مقاومت، توان و مصرف سوخت بر حسب سرعت می‌باشد.

در فصل آخر یکی از مقررات ملی و بین‌المللی برای نظارت و محدود کردن انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف سوخت در صنعت دریایی اشاره شده است.

**کلید واژه‌ها: سوخت، کشتی، دریا، موج**

## فهرست مطالب

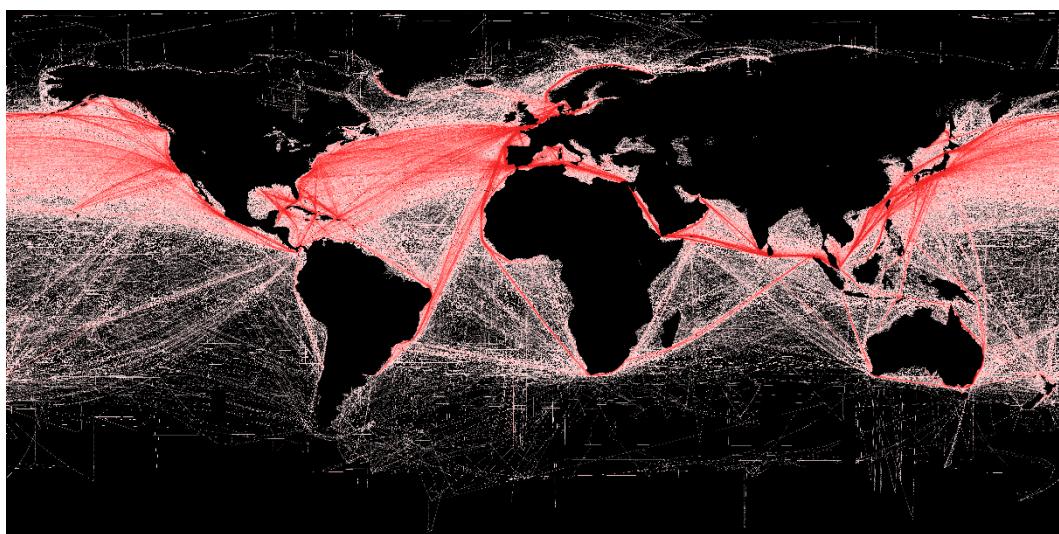
2	چکیده.....
4	فصل 1: اهمیت بررسی مصرف سوخت کشتی.....
4	1- صنعت حمل و نقل دریایی.....
6	2- انواع کشتی ها .....
7	2-1 تجهیزات مختلف کشتی.....
9	3- اهمیت بررسی مصرف سوخت کشتی .....
11	3-1 انواع آلینده های تولیدی.....
15	4- روش های کاهش مصرف سوخت در زمان بهره برداری شناور .....
18	فصل 2: تخمین مقاومت شناور براساس شرایط محیطی .....
18	1- پارامتر های تاثیرگذار بر مقاومت شناور .....
19	2- تخمین مقاومت شناور بر اساس شرایط محیطی .....
19	1- مشخصات اولیه شناور .....
20	2- مشخصات عملکردی شناور .....
23	3- تخمین مقدار سطح خیس شده .....
24	4- تخمین مقاومت در حالت <i>still water</i> ( مقاومت شناور در حالت آب آرام با لحاظ باد و جریان) .....
28	5- تخمین مقاومت اضافی .....
30	1- تئوری هاولاک .....
31	2- تئوری <i>Joozen</i> .....
32	3- تئوری <i>Maruo</i> .....
34	4- مقاومت کل شناور .....
35	فصل 3: تخمین مصرف سوخت شناور.....
35	1- سیستم رانش شناور.....
38	2- منحنی محدوده عملکرد کشتی .....
39	3- تخمین مصرف سوخت کشتی .....

42 .....	فصل 4: تهیه نرم افزار تخمین مصرف سوخت
45.....	1-4 کنوانسیون مارپل
46.....	1-3-2 معرفی ضمایم کنوانسیون مارپل
48.....	منابع

## فصل 1: اهمیت بررسی مصرف سوخت کشتی

### 1-1) صنعت حمل و نقل دریایی :

حمل و نقل دریایی<sup>۱</sup> به جابجایی افراد، کالاها و ... بهوسیله انواع شناور ها از روی دریاهای، اقیانوس‌ها، دریاچه‌ها، کانال‌ها و رودخانه‌ها کالاهايی که از طریق دریا حمل می‌شوند گفته می‌شود، معمولاً این بارها دارای حجم و وزن زیادی می‌باشند. حمل و نقل در دریا امروزه از اهمیت بالایی برخوردار است، دریا گذرگاه مناسبی برای اهداف مختلف و متنوعی است که با کشتی‌ها انجام می‌شود. درصد تجارت جهانی از طریق این نوع حمل و نقل صورت می‌گیرد بنابراین حمل و نقل دریایی قلب اصلی اقتصاد و تجارت جهانی است.



تصویر 1-1 : ترافیک دریایی در جهان

اهمیت این صنعت بگونه‌ای است که کشورها در روابط دیپلماتیک به دنبال ارتباط گرفتن و ذینفع شدن از آن هستند، کشورهای محصور خشکی<sup>۲</sup> که با دریای آزاد در ارتباط نیستند به دنبال برقراری ارتباط با جهان توسط دریاها و اقیانوس‌ها هستند. کشور ما از نظر جغرافیایی در یکی از استراتژیک‌ترین مکان‌های جهان قرار گرفته است؛ ما هم از شمال، به دریای خزر و از جنوب به خلیج فارس و دریای عمان متصل هستیم. این را می‌توان دلیل آن دانست که جهان، ایران را از نظر استراتژیک پراهمیت می‌داند.

حمل و نقل دریایی نسبت به بقیه روش‌ها ارزانتر بوده و به همین دلیل صاحبان کالا و شرکت‌های تجاری ترجیح می‌دهند کالای خود را از طریق مسیرهای آبی حمل کنند. از طریق کشتی‌ها حمل کالا با حجم بالا ممکن است.

از طریق آب‌های آزاد محموله‌های نسبتاً سنگین تا حدود 200 تا 500 هزار تن را به سهولت می‌توان با یک

<sup>1</sup> Maritime Transportation

<sup>2</sup> LandLock

کشتی از بندری به بندر دیگر جابه جا کرد که قابل مقایسه با هیچ ابزار حمل و نقلی دیگری نیست. در این بخش مزیت های بسیار حمل و نقل دریایی توسط کشتی ها نسبت به حمل و نقل های دیگر اشاره می شود :

1) قیمت پایینتر نسبت به سایر وسائل حمل و نقل

2) ظرفیت بالای بارگیری

3) تقریبا عدم نیاز به سرمایه گذاری در زمینه زیر ساخت در دریا

4) ایمن تر بودن حمل و نقل دریایی

5) نیروی کار کمتر

با ادامه رشد جمعیت جهان ، به ویژه در کشورهای در حال توسعه ، حمل و نقل دریایی با هزینه کمتر ، کارآمد و آسان تر نقشی اساسی در رشد و توسعه پایدار جوامع دارد. علارغم آنکه حمل و نقل از طریق آب همانطور که گفتیم ، آسان تر و ارزان تر است چالش های متعددی همچون چالش های صنعتی مربوط به کشتیرانی و چالش های اقتصادی مربوط به بنگاه های اقتصادی را در پی دارد.



تصویر 1-2 : خروج گاز های آلاینده از اگزوز یک کشتی

یکی از چالش های اساسی آلودگی محیط زیست ناشی از سوخت کشتی ها دانست که بر محیط دریا تاثیر بسزایی می گذارد؛ در نتیجه فرآیند های احتراق در موتور کشتی ، آلاینده های مختلف را در جو منشر می کنند که اصلی ترین آنها اکسیدهای گوگرد (SOx)، اکسیدهای نیتروژن (NOx)، ذرات معلق (PM) و مونوکسید کربن (CO) هستند.

در حال حاضر کشتی ها مسئول بیش از ۳٪ از انتشار گازهای گلخانه ای جهانی هستند، اگر این آلاینده ها به عنوان یک کشور گزارش می شد ، حمل و نقل دریایی هشتاد و پنجم تولید کننده بزرگ آلاینده اروپا است.

## 2-1) انواع کشتی ها



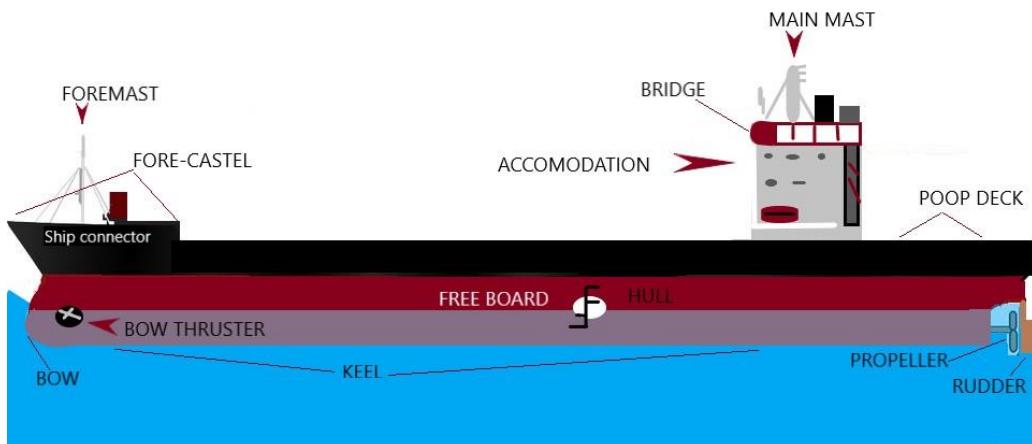
تصویر 3-1 : انواع کشتی های دنیا

کشتی ها کاربرد های گسترده ای در اکتشاف ، تجارت ، جنگ ، مهاجرت ، استعمار ، حمل سکوهای (حفاری یا استخراج نفتی) و ... دارند که بسته به کاربرد آنها انواع مختلفی در جهان ساخته شده است که میتوان به انواع و کاربرد و ظرفیت هر یک از آنها در جدول 1-1 اشاره کرد :

نام کشتی	کاربرد	حداکثر ظرفیت
Container	حمل کانتینر ها - بزرگترین شناور تجاری	24000TEU
Bulk carriers	حمل فله های بسته بندی نشده مانند غلات ، زغال سنگ و ...	400000 DWT
Tanker	ذخیره یا حمل ، مایعات و گازها	120,000 DWT
General Cargo	حمل کالا های بسته بندی شده مانند مواد غذایی ، ماشین آلات ، پوشاس و ...	22,000 .TEU
O.B.O	حمل ترکیبی بار های مایع و خشک مانند نفت ، زغال سنگ ، روغن و ...	100,000 DWT
RO-RO	حمل وسایل چرخدار مانند اتومبیل ، کامیون ، تریلر و قطار و ..	8000Vehicles
Cruise ship	جنبه گردشگری و جابجایی مسافران در هتل های لوکس و ...	5400 passenger

## 1-2-1) تجهیزات مختلف کشتی

کشتی ها مانند یک شهر شناور دارای بخش های مختلف و متفاوتی هستند؛ در تمامی کشتی های مختلف، قسمت های اصلی وجود دارند که علت وجود هر یک از آنها را باید بدانیم، در شکل 1-3 این قسمت ها بصورت شماتیک اشاره شده اند و در ادامه به معرفی مختصر از چند قسمت مهم شناور می پردازیم.



تصویر 1-4: انواع قسمت های مختلف شناور ها

1- بدن<sup>1</sup> : کشتی دارای یک بخش آب بندی شده است که بدن نام دارد، انواع مختلفی از شکل ظاهری بدن ها وجود دارد که هر یک کاربرد های بخصوصی را دارند، این شکل از بدن باید از نظر هزینه، ملاحظات هیدرولاستاتیکی (پایداری، تحمل وزن و...)، ملاحظات هیدرودینامیکی (قدرت موتور و پروانه، سرعت ، مقاومت و...) مورد ارزیابی قرار بگیرد و براساس کاربردی که مدنظر سازنده است انتخاب شود.

2- بدن فوکانی<sup>2</sup> : خدمه و ناوبراں کشتی که مسئولیت اصلی هدایت موقعیت کشتی در هر زمانی را دارند در محیطی به نام بدن فوکانی زندگی میکنند، این محیط دارای اتاق ناوبری، خواب و استراحت، غذا و.. است.

<sup>1</sup> Hull

<sup>2</sup> Super Structure

**3- موتور:** در شناور ها، نیروی محرکه اجزایی مثل پروانه یا برق کشتی را موتور کشتی تامنی می کند.



تصویر 1-5 : موتور کشتی

موتور نیروی لازم برای پیش روی در دریا، مانورپذیری کشتی را فراهم می کند و از آنجایی که شرایط محیطی سخت و خشن است باید دارای ایمنی لازم برای کار کرد باشد، به همین موتور های کشتی توسط شرکت های فوق تخصصی که در طراحی و ساخت موتور های دریایی تخصصی دارند تولید می شوند مانند شرکت رولز رویس که در تصویر 1-5 نمونه موتور تولیدی در این شرکت نمایش داده شده است.

موتور های کشتی ها انواع مختلفی هستند که از نوع بخار، دیزل، توربین گاز و الکتریکی می توان اشاره کرد که هر یک براساس اندازه و کاربرد مورد نظر کشتی انتخاب می شوند، برای کشتی های بزرگ سرعت شفت باید 100تا 200 دور بر دقیقه و توان موتور 12تا 50 مگاوات باشد که مقادیری قابل توجه است.

**4- سکان<sup>1</sup>:** ابزاری که در کشتی برای هدایت و مانور کشتی ها استفاده می شود، سکان که در پشت بخش پروانه قرار می گیرد روی یک محور عمودی می چرخد تا با انحراف جریان، نیروی عرضی را ایجاد کنند؛ می توان با افزایش ناحیه سکان، نوع سکان بهتر و ... اثر بخشی سکان را بهبود داد. سکان های مربوط به کشتی های VLCC یا کانتیربر بیشتر مرحله عملیاتی آنها مربوط به حفظ مسیر می باشد در نتیجه زوایای آن تا 35 درجه محدود می شود ولی در بعضی شناور ها این مانور پذیری اهمیت بیشتری دارد.

**5- پروانه<sup>2</sup>:** یکی از مهمترین بخش ها در سیستم پیش رانش شناور های دریایی پروانه ها هستند که وظیفه به حرکت در آوردن شناور را دارند. در فصل بعدی با ساختار پروانه، نحوه طراحی و انواع پروانه ها بصورت دقیق تر آشنا خواهیم شد.

<sup>1</sup> Rudder

<sup>2</sup> Propeller

### 1-3: اهمیت بررسی مصرف سوخت کشتی

در سالهای آینده با توجه به رشد تجارت جهانی و در نتیجه افزایش ترافیک حمل و نقل دریایی ، اگر اقدامات لازم برای محدود کردن انتشار گاز های آلاینده از کشتی ها اتخاذ نشود تولید گاز های گلخانه ای ناشی از کشتی ها میتواند تا سال 2050 با توجه به شرایط اقتصادی نسبی جهان ، میتواند از 20 تا 120 درصد افزایش یابد؛ قابل توجه است که در حال حاضر کشتی ها مسئول بیش از ۳٪ از انتشار گازهای گلخانه ای جهانی هستند و اگر این آلاینده‌گی ها به عنوان یک کشور گزارش می شد ، حمل و نقل دریایی هشتمین تولیدکننده بزرگ آلاینده اروپا است.



تصویر 1-6 : خروج گاز های آلاینده از اگزوز یک کشتی

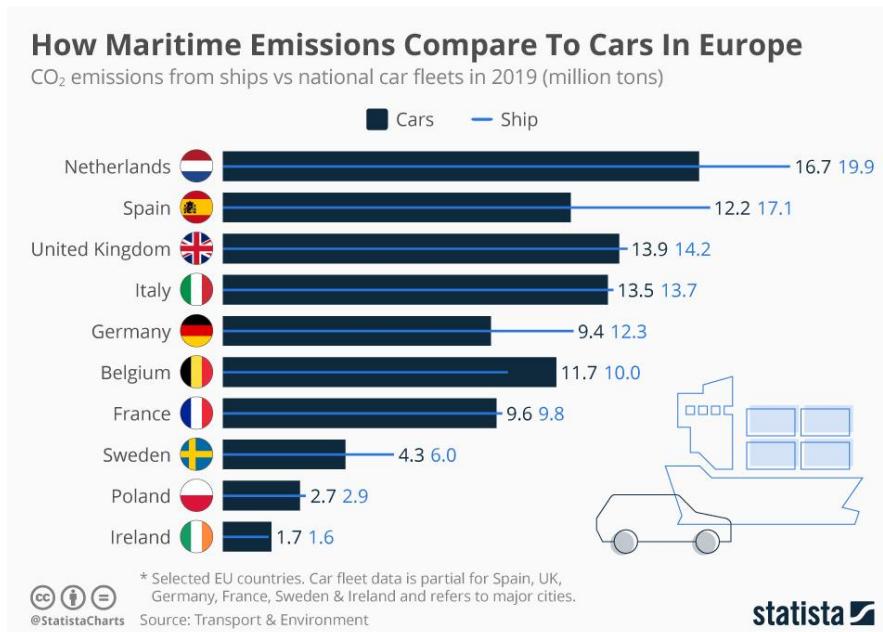
صرف سوخت در شناورهای بزرگ در حدود 1000 تا 5000 لیتر ساعت می رسد و با توجه به اینکه به طور متوسط سرانه مصرف انرژی برای هر نفر در ایران در سال 1390 معادل 3000 لیتر نفت سفید بوده است ، مصرف سوخت یک کشتی در یک ساعت بیش از مصرف سوخت یک سال یک خانواده میتواند باشد.

هزینه سوخت یک کشتی که 20 ساعت در طول روز به فعالیت مشغول است در مرتبه میلیون دلار برای یک سال کاری خواهد بود. بر این اساس حتی تغییرات کوچک باعث کاهش مصرف سوخت تأثیرات چشمگیری داشته و نتایج قابل ملاحظه ای به دنبال خواهد داشت. به نحوی که کاهش تنها 8 درصدی مصرف سوخت می تواند باعث صرفه جویی 50 هزار دلاری برای فله برهای متوسط و 300 هزار دلاری برای کانتینربرهای بزرگ در سال را حاصل شود.

تمام وسایل مرتبط با حمل و نقل در جهان از جمله کشتی ها از سوخت های هیدروکربنی استفاده میکنند .

اگزوز دیزلی کشتی ها توسط سازمان حفاظت محیط زیست به دلایل زیر به عنوان یک عامل سرطان زا انسانی و آلوده کننده هوا معرفی شده است:

1. عدم رعایت استاندار کیفیت هوا
2. اثرات بهداشتی مانند آسم و سرطان ریه و ...
3. ریزگرد ها
4. واکنش های شیمیایی ناخواسته و به تبع عدم دستیابی به ازن تروپوسفری و مونوکسید کربن
5. تولید گاز های آلاینده گلخانه ای
6. افزایش دمای کره زمین و آب شدن یخ های قطب شمال و جنوب ، بالا آمدن سطح دریاهای آزاد
7. کاهش درصد اکسیژن در آب دریا



تصویر 1-7: مقایسه میزان تولید کربن دی اکسید حمل و نقل دریایی و ماشین ها

کشتی ها در مقایسه با ابزار های حمل و نقلی دیگر آلاینده بیشتری تولید میکنند؛ توسط EPA تخمین زده شده است که 200 کشتی از بزرگترین کشتی های جهان به اندازه تمام اتومبیل های این کره خاکی اکسید گوگرد تولید میکنند ، همانطور که در شکل 2-3 مشخص است آلاینده کربن دی اکسید بیشتری از کشتی ها نسبت به خودرو ها در قاره اروپا تولید شده است .

در ادامه به انواع آلاینده های تولیدی شناور ها می پردازیم.

### 1-3-1: انواع آلاینده های تولیدی شناور

کشتی ها در موتور های دیزلی از سوخت هایی مثل نفت کوره ، گازوییل و مازوت سنگین و... استفاده میکنند و چندین نوع آلاینده گازی به عنوان محصولات جانبی منتشر میکنند که شامل کربن دی اکسید ، اکسید های نیتروژن، اکسید های گوگرد و ذرات معلق هستند.



تصویر 1-8 : انواع آلاینده های تولیدشده توسط کشتی ها

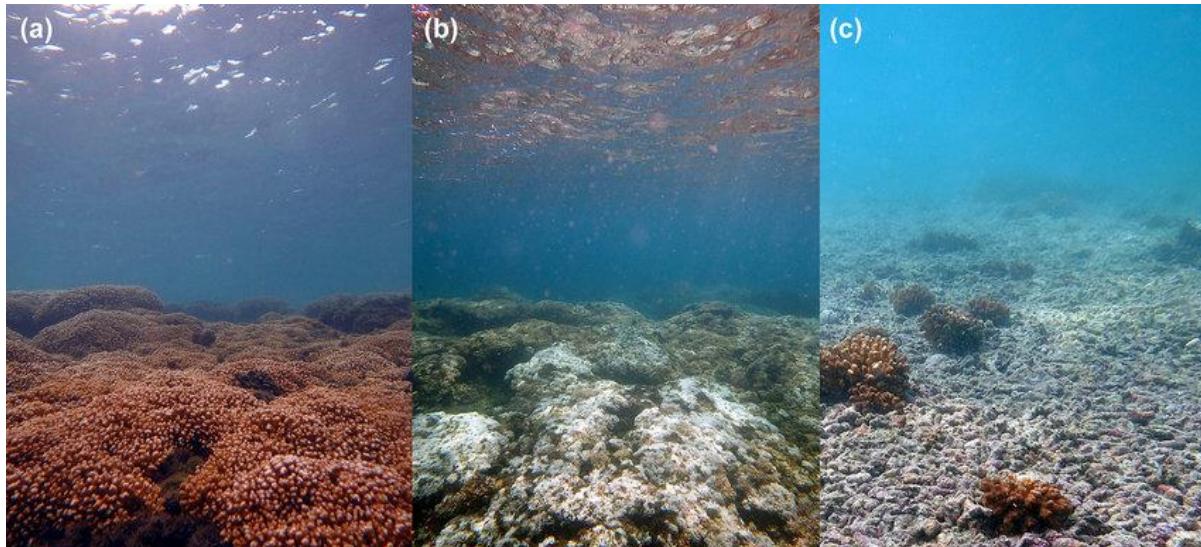
#### کربن دی اکسید (CO<sub>2</sub>) :

کربن دی اکسید یکی از آلاینده های مهم گلخانه ای حاصل از سوختن هیدوکربن ها است که صنعت حمل و نقل دریایی در سال 2020 عامل حدود 2.2 درصد از کل کربن دی اکسید تولیدی در جهان بوده است .

جدول 1-1 : میزان تولید کربن دی اکسید کشتی ها از سال 2007 تا 2015 میلادی

	Third IMO GHG Study (million tonnes)						ICCT (million tonnes)		
	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Global CO <sub>2</sub> Emissions <sup>*</sup>	31,959	32,133	31,822	33,661	34,726	34,968	35,672	36,084	36,062
International Shipping	881	916	858	773	853	805	801	813	812
Domestic Shipping	133	139	75	83	110	87	73	78	78
Fishing	86	80	44	58	58	51	36	39	42
Total Shipping % of global	1,100	1,135	977	914	1,021	942	910	930	932
	3.5%	3.5%	3.1%	2.7%	2.9%	2.6%	2.5%	2.6%	2.6%

مطالعات جدید AIS<sup>1</sup>. نشان میدهد که مصرف سوخت دریایی از 2013 تا 2015 از 291 به 298 میلیون تن (2/4 درصد) افزایش یافته است ، در حالی که درکل حمل و نقل 7 درصد افزایش یافته است. بر این اساس ، انتشار دی اکسید کربن (CO<sub>2</sub>) از حمل و نقل دریایی (کشتی های اقیانوس پیما ، کشتی های تجارتی و کشتی های صیادی) از 910 به 932 میلیون تن در مدت مشابه افزایش یافته است.

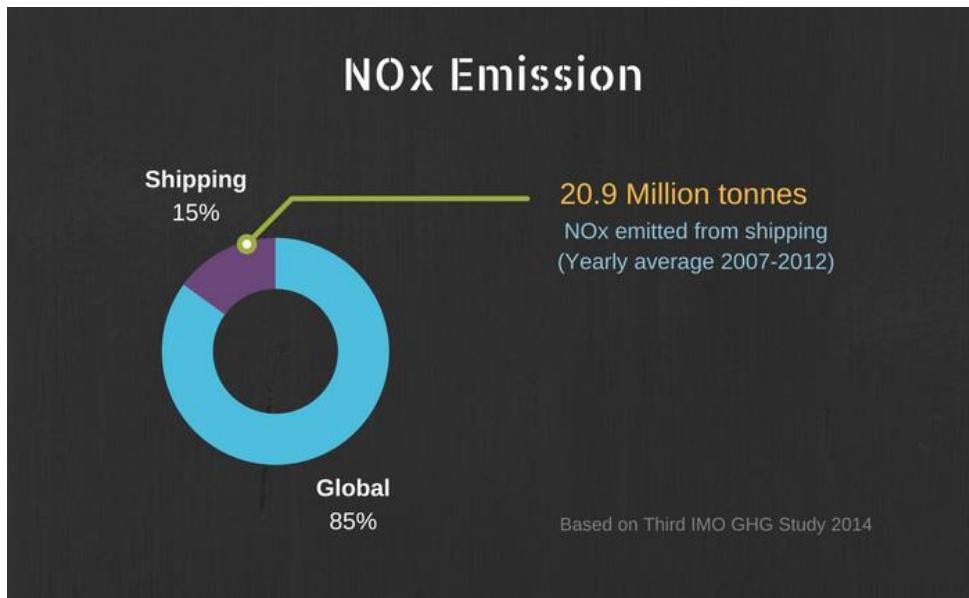


تصویر 9-1 : آسیب دی اکسید کربن به مرجان های بستر دریا

با توجه به اسیدی بودن کربن دی اکسید ، این گاز به پوسته صدف ها و مرجان ها در بستر دریا آسیب میزند و بر عملکرد آنها بعنوان زیستگاه های سایر گونه ها تاثیر میگذارد و بر بهره وری از صنعت شیلات تاثیر منفی خواهد گذاشت البته با افزایش این گاز ، میزان اسیدی بودن آب افزایش خواهد یافت.

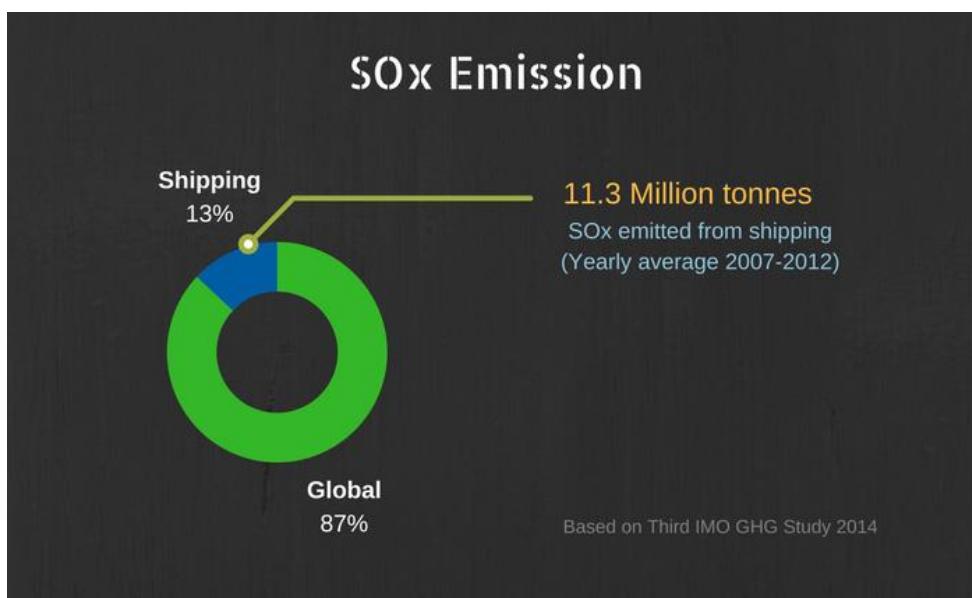
## اکسید های نیتروژن (NOx) :

چهار عامل عمدۀ در تشکیل NOx در موتورهای دریایی وجود دارد: درجه حرارت و فشار بالای سیلندر ، بار سنگین بر روی موتور (بارگذاری خارج از محدوده توان و کاهش کارایی موتور) ، درصد نامناسب هوا و سوخت برای احتراق و کیفیت پایین سوخت.



تصویر 1-10: سهم پانزده درصدی کشتیرانی از کل اکسیدهای نیتروژن تولیدی جهان براساس گزارشات سازمان بین المللی دریانوردی سهم صنعت حمل و نقل دریایی از کل تولید این گاز حدود 15 درصد است که با توجه به آنکه این گاز بسیار خطرناک است ، باید این میزان را کاهش داد.

## اکسید های گوگرد (SOx) :



تصویر 1-11: سهم سیزده درصدی کشتیرانی از کل اکسیدهای گوگرد تولیدی جهان

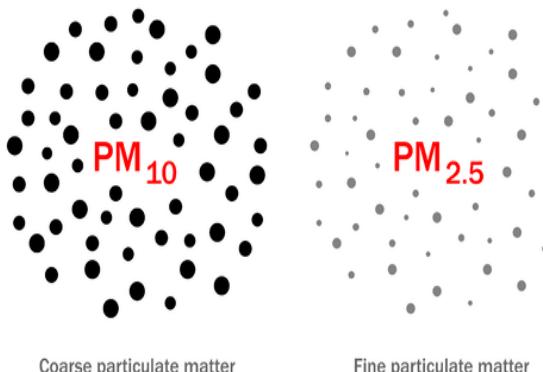
انتشار اکسیدهای گوگرد به دلیل وجود ترکیب گوگرد در سوخت های دریایی مورد استفاده در موتورهای کشتی است. هر چقدر درصد گوگرد در سوخت کمتر باشد اکسیدهای گوگرد کمتر خواهد بود که به همین دلیل قوانینی محدود کننده در جهت میزان استفاده از گوگرد در سوخت وضع شده است. سهم صنعت حمل و نقل دریایی از کل تولید سالانه این گاز حدود 13 درصد است که حدود 11.3 میلیون تن گاز گوگرد دی اکسید را وارد جو توسط این صنعت شده است.

آسیب ناشی از  $\text{SO}_x$  بسیار گسترده تر از خطوط حمل و نقل اصلی دریا خواهد بود چون این گاز قابلیت آنرا دارد که صد ها کیلومتر طی کند و محدوده‌ی وسیعی از محیط خود را در بر میگیرد.

اثرات باران اسیدی ناشی از اکسید گوگرد به وضوح در محیط های آبی مانند نهرها، دریاچه ها و مرداب ها دیده می شود که می تواند برای ماهی ها و سایر حیوانات آبزی مضر باشد به دلیل اینکه اکثر حیوانات تا یک حد میزان اسیدی بودن محیط را میتوانند تحمل کنند.

**ذرات معلق<sup>۱</sup>**: ذرات معلق برای محدوده‌ای از ذرات بسیار کوچک با منشا آلی و معدنی است که شامل اندازه های متفاوتی هستند. محدوده اندازه ذرات معلق در جدول زیر آورده شده است:

<b>PM10</b>	< 10 میکرومتر
PM2.5	< 2.5 میکرومتر
PM1	< 1 میکرومتر
(UFP)	< 0.1 میکرومتر



Coarse particulate matter

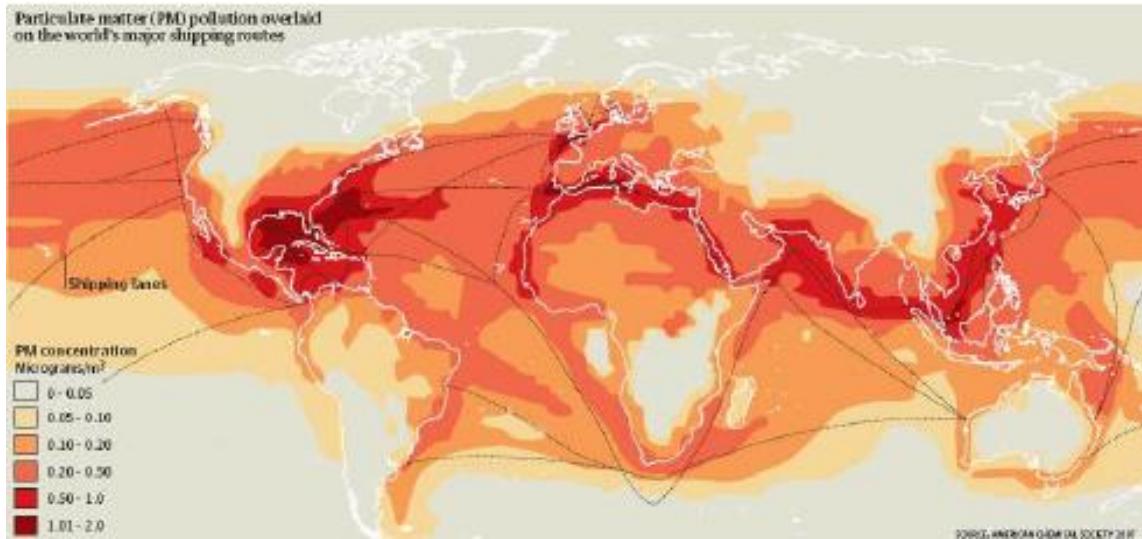
Fine particulate matter

تصویر ۱-۱۲: نمایش ذرات معلق

جدول ۱-۲: سایز انواع ذرات معلق

Particulate matter <sup>۱</sup>

ذرات معلق منتشر شده حاصل از سوخت های کشتی به طور معمول در محدوده PM<sub>2.5</sub>-PM<sub>1</sub> قرار دارد. البته اندازه ذرات حاصل از سوختن سوخت های سنگین مثل مازوت سنگین در محدوده (PM<sub>10</sub>) هستند. تصویر 1-13: آلودگی ذرات معلق در مسیرهای اصلی حمل و نقل جهان در تصویر بالا نمایش داده شده است.



همانطور که مشاهده میشود این آلینده های میکروسکوپی میتوانند بر کیفیت هوای بنادر و بخش های ساحلی تأثیر بگذارد که این موضوع در حال تبدیل شدن به یک نگرانی عمده است چرا که یکی از مشکلاتی که بندرها و شهرهای اطراف با آن روبرو شده اند کاهش کیفیت هوای بیمار های تنفسی است.

ذرات معلق در نتیجه احتراق ناقص سوخت درون موتور کشتی منتشر میشوند . میزان انتشار PM به اندازه بار روی موتور ، ترکیب های موجود در سوخت و نوع سوخت و عوامل دیگری بستگی دارد به همین دلیل تعیین نرخ عمومی برای PM دشوار است. محتوای گوگرد در سوخت تأثیر زیادی در انتشار PM دارد.

#### 4-1) روش های کاهش مصرف سوخت در زمان بهره برداری شناورها

شناورها از نقطه نظر کاربری به دسته های مختلفی تقسیم‌بندی میشوند که با توجه به فعالیت آنها مصرف سوخت نیز متفاوت خواهد بود اما نکته قابل بررسی در همه آنها اهمیت کاهش مصرف سوخت است. طبق قوانین موسسه رده بندي ABS کنترل سفر دریایی از طریق برنامه ریزی زمان حرکت شناور و کنترل مسیر دریانوردی به صورت لحظه ای میتواند تأثیر زیادی بر کاهش مصرف سوخت داشته باشد که این مدیریت با استفاده از سازمان دهی چندین موضوع از جمله موارد زیر است.

##### 1- سرعت و مسیر بهینه در سفر دریایی:

تعیین مسیر بهینه با در نظر گرفتن جریان آب، وضعیت آب و هوا و سایر عوامل محیطی برای کاهش مصرف سوخت میتواند تأثیر بسزایی رو مقاومت شناور و به تبع آن مصرف سوخت کشتی داشته باشد.

برنامه‌ریزی برای توقف‌های لازم در طول مسیر به منظور جلوگیری از سرعت‌گیری و توقف‌های اضافی، استفاده از ابزارهای هواشناسی و ناوبری برای پیش‌بینی شرایط محیطی و تغییر مسیر در صورت لزوم میتواند تاثیرات خوبی را داشته باشد.

شرکت Maersk Line، با بهبود برنامه‌ریزی مسیر و زمان‌بندی توقف‌ها، توانسته مصرف سوخت را تا ۸٪ کاهش دهد؛ همچنین استفاده از سیستم‌های کنترل اتوماتیک سرعت، باعث ۷٪ کاهش مصرف سوخت در شناورهای این شرکت شده است.

## 2- بهبود طراحی هیدرودینامیکی:

استفاده از طراحی بدن و پروانه‌های بهینه برای کاهش مقاومت آیرودینامیکی و هیدرودینامیکی میتواند تاثیرات خوبی بر روی مصرف سوخت شناور داشته باشد. از روش‌های عمدۀ آن میتواند به کارگیری فناوری‌های نوین مانند پوشش‌های ضدرسوب برای کاهش اصطکاک بدن، بازبینی و ارتقای طراحی ساختار شناور برای بهبود عملکرد هیدرودینامیکی باشد.

با بهبود طراحی هیدرودینامیکی بدن و پروانه‌های شناورهای خود، Viking Cruises مصرف سوخت را تا ۱۲٪ کاهش داده است؛ به کارگیری پوشش‌های ضدرسوب در شناورها، منجر به ۹٪ کاهش مصرف سوخت در این شرکت شده است.

## 3- تریم یا درفت بهینه:

تغییرات کوچک آبخور میتواند باعث برهم زدن رژیم جریان و افزایش مقاومت و درنتیجه افزایش مصرف سوخت شود. گاهی اوقات حتی در حالت وزن سبک شناور اگر در تریم نادرستی حرکت کند، مقاومت و مصرف سوخت از وقتیکه شناور بهصورت کامل بارگیری کرده است بیشتر میشود و در نتیجه باید آبخور و تریم بصورت بهینه قرار داشته باشد.

## 4- زبری سطح

## 5- بهینه سازی پروانه و سیستم رانش

## فصل 2: تخمین مقاومت شناور براساس شرایط محیطی

بارگذاری های مختلفی روی یک شناور میتواند وارد شود، از جمله بار هایی که وجود دارد باد، موج، جریان و جذر و مد میتواند ذکر شود. این بارگذاری ها سبب نیرو هایی می شود که شناور باید بر آن غلبه کند و میتوان آن را مقاومت وارد بر شناور دانست.

### 2-1) پارامتر های تاثیرگذار بر مقاومت شناور

طراحی هیدرودینامیکی بدن نقش بسیار مهمی در مقاومت شناور ایفا می کند. شکل و فرم بدن باید به گونه ای باشد که مقاومت در برابر حرکت در آب را به حداقل برساند و یکی از نکاتی است که طراحان کشتی در فرآیند ابتدایی ساخت شناور باید در نظر بگیرند. نسبت طول به عرض و عمق شناور باید بهینه باشد تا از ایجاد آشفتگی های هیدرودینامیکی جلوگیری شود. همچنین زاویه و شکل قسمت های مختلف بدن مانند پاشنه، سینه و شکم می تواند در کاهش مقاومت بسیار مؤثر باشد.

سطح زبری و وضعیت زیرساختار بدن شناور نیز اهمیت زیادی دارد. هرچه سطح بدن صاف تر و عاری از ناهمواری ها باشد، مقاومت آیرودینامیکی و هیدرودینامیکی کمتر خواهد بود. پوشش های ضدرسوب با ایجاد سطحی یکنواخت و صاف، می توانند به کاهش مقاومت شناور کمک کنند. همچنین وضعیت ریخت شناختی بدن نیز در این زمینه اهمیت دارد؛ در برخی موارد از سیستم های هوادهی در زیر شناور استفاده می شود تا سطح تماس و مقاومت شناور را کاهش داد.

همچنین همانطور که گفته شد شرایط محیطی مانند جریان های آبی، امواج دریا، سرعت و جهت باد، و عمق آب نیز به طور مستقیم بر مقاومت شناور تأثیرگذارند. برای مثال، افزایش سرعت باد یا امواج بلند، باعث افزایش مقاومت آیرودینامیکی و هیدرودینامیکی می شود. همچنین عمق آب و بستر دریا نیز می توانند بر مقاومت شناور مؤثر باشند.

توزیع یکنواخت بار و سوخت در شناور نیز اهمیت دارد، زیرا توزیع نامناسب این موارد می تواند باعث ایجاد عدم تعادل و افزایش مقاومت شود. نحوه قرارگیری و چگونگی توزیع وزن در شناور نیز بر مقاومت آن تأثیرگذار است.

در نهایت، سیستم های کمکی مانند موتور، پروانه ها، سکان و دکل ها نیز می توانند بر مقاومت شناور اثرگذار باشند؛ بهینه سازی و تنظیم مناسب این سیستم ها می توانند در کاهش مقاومت و در نتیجه کاهش مصرف سوخت بسیار مؤثر باشد. این بخش در فصل بعدی بررسی خواهد شد که براساس پروانه و موتور مشخص شده برای کشتی مورد نظر بتوانیم بر مقاومت شناور غلبه کنیم و کشتی با سرعت مطلوب به مسیر خود ادامه دهد. بررسی مقاومت شناور به دو حالت آب آرام و با وجود موج بررسی می کنیم و نیرو های باد، موج و جریان را به عنوان نیرو ها و شرایط محیطی اصلی لحاظ خواهیم کرد.

## 2-2) تخمین مقاومت شناور بر اساس شرایط محیطی

ابتدا در این بخش فرض میکنیم که کشتی در آب آرام در حال حرکت است، در ادامه براساس آنکه نیرویی که موج به آن وارد میکند بسیار مهم میتواند باشد؛ آن را تحلیل کرده و با یکدیگر جمع میکنیم تا یک تخمین درست از مقاومت شناور داشته باشیم.

### 2-2-1) مشخصات اولیه شناور

ابعاد شناور<sup>۱</sup> فرض شده و مدل شناور در نرمافزار بصورت زیر است که به عنوان ورودی از کاربر گرفته میشود،

مدل شناور هم بدین صورت است که نیروی مقاومت کل در عدد فرود مشخص به ما داده خواهد شد :

$$L_s, B_s, T_s, L_m = [x, y, z, x'] = [120, 20, 12, 7]$$

با توجه به ضریب مقیاس<sup>۲</sup> میتوانیم که ابعاد شناور مدل<sup>۳</sup> را پیدا کنیم:

$$L_m, B_m, T_m = [x', y', z'] = [7, 1.1.166, 0.7]$$

براساس آنکه فرم بدن شناور به چه صورتی باشد، میتواند ضریب بلوکی<sup>۴</sup> متفاوت اعمال شود و از کاربر خواسته خواهد شد که آن را تعیین کند؛ به طور معمول میتواند در تعیین آن از جدول زیر کمک گرفته شود.

جدول 2-1) ضریب بلوکی برای شناور های مختلف

Vessel Type	Range of $C_b$
Tanker / Bulk	0.72 to 0.85
Container	0.65 to 0.70
Ro-Ro	0.65 to 0.70
Passenger	0.65 to 0.70
Dry cargo / combi	0.60 to 0.75
Ferry	0.50 to 0.65

<sup>1</sup> Prototype ship

<sup>2</sup> Scale Factor

<sup>3</sup> Model ship

<sup>4</sup> block coefficient

با توجه به وارد کردن ضرب بلوکی توسط کاربر با توجه به رابطه تخمینی زیر میتوان وزن جابجایی شناور را

یافت:

$$Cb = \frac{\nabla}{LBT}$$

بدین ترتیب میتوانیم وزن جابجایی را برای شناور بیابیم، هرچند میتوان فرمول های دقیقتری را برای آن به کار گرفت که به منظور جلوگیری از پیچیدگی حل نرم افزار از آن صرف نظر میکنیم. در کلاس آموزش داده شد وزن سبک شناور حدود یک سوم یا یک دوم وزن مرده کشتی است که یک سوم لحاظ میکنیم.

$$\nabla = \frac{\Delta}{\rho}$$

$$\Delta = DWT + LS$$

در صورتی که  $Cb$  را 0.8 لحاظ کنیم و با داشتن ابعاد شناور، میتوانیم وزن جابجایی را بیابیم:

$$Cb = \frac{\nabla}{LBT} = 19512 \cong 0.8 \times 120 \times 20 \times 10$$

$$\nabla = \frac{\Delta}{\rho} = 19512 \times 1.025 = 20000$$

بدین ترتیب وزن جابجایی شناور که در ادامه میتوانیم از آن در روابط مختلف نیاز به استفاده از آن داریم

استفاده کنیم.

## 2-2) مشخصات عملکردی شناور

با استفاده از اصل تشابه داریم که مدل و شناور اصلی با یکدیگر تشابهات هندسی، سینماتیکی و دینامیکی باید داشته باشند، بدین منظور با برابر قرار دادن عدد فرود میتوانیم در واقع تشابه ای را برقرار کنیم تا هر دو یک پدیده را نشان دهن، همچنین عدد رینولذ با ابزار هایی مانند turbulent simulator مشابه سازی در آزمایشگاه استفاده می شود ، بدین منظور رابطه زیر را داریم که:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{L \times g}}$$

در صورتی که سرعت شناور به عنوان یکی از پارامتر های مهم داده شود، میتوان عدد فرود را بدست آورد؛ سرعتی که شناور در آن در حالت حرکت است به ما توسط کاربرد داده خواهد شد و با توجه به رابطه عدد فرود، عدد فرود و سرعت مدل را نیز میابیم.

بطور مثال سرعت اگر 17.5 knot داده شود، داریم که:

$$Fr_p = \frac{V_p}{\sqrt{L_p \times g}} = \frac{8.23}{\sqrt{120 \times 9.81}} = 0.24$$

$$Fr_p = Fr_m \Rightarrow V_m = V_p \times \sqrt{\frac{L_m}{L_p}} = 8.23 \times \sqrt{\frac{7}{120}} = 1.988 \frac{m}{s}$$

بدین صورت سرعت مدل و شناور را با ارتباط عدد فرود میتوانیم در هر سرعت بیابیم؛ دقت داریم که در محیط آزمایشگاه در عدد فرود متناسب مقاومت شناور بدست آمده است و به عنوان ورودی به ما داده خواهد شد.

در اینجا مقاومت اصطکاکی که شناور ایجاد میکند براساس حرکت در دریا بدست می آید و تاثیر سرعت باد هم در مقاومت هوا در روابط تخمینی لحاظ شده است؛ برای آنکه جریان را لحاظ کنیم سرعت شناور را با سرعت جریان جمع میکنیم و معادل آن را قرار میدهیم؛ به صورتی که اگر کاربر به صورت ورودی یک جریان با سرعت  $U$  و زاویه  $\theta$  ورودی بدهد؛ سرعت نسبی را میتوان یافت، در صورتی که مختصات مبدا روی مرکز ثقل شناور باشد و سرعت کشته  $V$  باشد، همچنین زاویه  $\theta$  زاویه بین شمال تا جهت جریان باشد داریم که:

$$V_{ship}, U = u \sin \theta + u \cos \theta$$

$$V_{relative} = \sqrt{(V + u \sin \theta)^2 + (u \cos \theta)^2}$$

بدین ترتیب میتوانیم سرعت نسبی وارد بر شناور را بدست آوریم و در ادامه در روابط از این  $V$  استفاده میکنیم.

### 2-3) تخمین مقدار سطح خیس شده

بر اساس روابط سطح خیس شده یک شناور به روش های تیلور و مامفورد انجام می شود، دقت می شود که در هر دو روش تقریبا مقادیر بدست آمده شباهت دارند و اختلافی که وجود دارد بخاطر خطاهای مختلف در رگرسیون کردن معادلات می باشد. در این نرم افزار سطح خیس شده را براساس روش تیلور بدست آوریم. سطح خیس شده شناور تاثیر بسزایی در مقاومت وارد بر شناور میتواند داشته باشد.

همچنین حجم شناور مدل از روش زیر بدست می آید که در روابط سطح خیس شده مورد استفاده قرار میگیرد:

$$l^3 = \frac{\nabla s}{\nabla m}$$

$$\nabla m = 3.97 \text{ tone}$$

#### 1- روش تیلور<sup>1</sup>

An accurate prediction for the WSA is that suggested by D.W. Taylor of the Washington Test Tank:

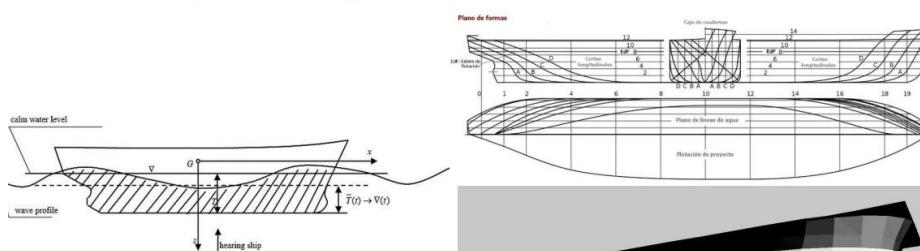
$$WSA = A = 2.56 \times (W \times L)^{0.5} \text{ m}^2 \quad \text{D.W. Taylor}$$

where:

$\nabla$  = vessel's displacement in tonnes,

$L$  = vessel's LBP in metres,

$\nabla_{SA}$  is for the ship model or ship in salt water conditions.



تصویر 2-1) رابطه تیلور

بر اساس این روش سطح خیس شده شناور را در نرم افزار بدست می آوریم:

$$S = 2.56 \times \sqrt{\Delta \times L}$$

$$S_s = 2.56 \times \sqrt{\Delta \times L} = 2.56 \times \sqrt{20000 \times 120} = 3996.91 \text{ m}^2$$

$$S_m = 2.56 \times \sqrt{\Delta \times L} = 2.56 \times \sqrt{3.97 \times 7} = 13.60 \text{ m}^2$$

<sup>1</sup> Taylor Formula

## 2- روش مامفورد:

روش مامفورد هم روش دیگری است که در آن از رابطه زیر سطح خیس شده تخمین زده میشود:

$$S = 0.995 \times \left( \frac{V}{T} + 1.9LT \right)$$

$$S = 0.995 \times \left( \frac{V}{T} + 1.9LT \right) = 0.995 \times (20000/12 + 1.9 \times 120 \times 12) = 4380.65 m^2$$

$$S = 0.995 \times \left( \frac{V}{T} + 1.9LT \right) Sm = 0.995 \times (3.97/0.7 + 1.9 \times 0.7 \times 7) = 14.98 m^2$$

برای کاربر این حق انتخاب را میدهیم که از هر روشی که مورد نظر خود باشد سطح خیس شده را برای حل تخمین مقاومت شناور استفاده کند.

### 4-2-2) تخمین مقاومت در حالت still water ( مقاومت شناور در حالت آب آرام با لحاظ باد و

جريان)

روش های مختلفی برای بدست آوردن مقاومت شناور وجود دارد که از جمله این روش ها روشی متنی بر ITTC می باشد که در ادامه با این روابط مقدار مقاومت کشتی شناور را در سرعت متناظر این تست بدست می آوریم، همچنین یادآور می شویم که مقدار مقاومت کل آن در عدد فرود مورد نظر توسط کاربر برابر مقداری است که به ما داده خواهد شد، رابطه ITTC به صورت زیر می باشد:

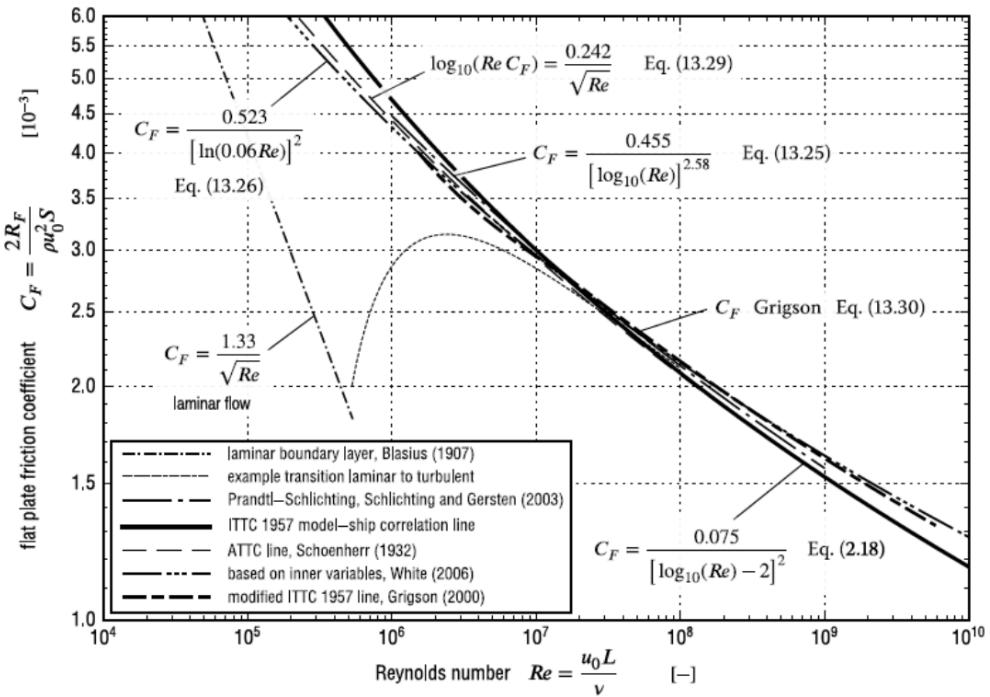
$$CTs = (1+k)(Cfs) + CR + \Delta Cf + Ca + CAA$$

در ادامه به بدست آوردن هر یک از این موارد می پردازیم.

CF که مربوط به مقاومت اصطکاکی است با روابط مختلفی آن را یافت، مانند رابطه پرانتل شیلتینگ، هگز و Schonherr کمتر است معمولا از آن استفاده می شود.

---

<sup>1</sup> Mumford Formula



تصویر 2-2 CF روش های مختلف و مشاهده خطای کم روش Schonherr

ابتدا CFs و Cf<sub>m</sub> را با توجه به روابط Schonherr بدست می آوریم، که این رابطه بشكل زير است :

$$Re = \frac{VL}{v}$$

$$Cf = \frac{0.075}{((Log(Re)-2)^2)}$$

در نتيجه ابتدا Re را برای مدل و شناور می یابیم و با توجه به آن Cf را بدست می آوریم:

$$Res = \frac{VsLs}{vs} = \frac{8.23 \times 120}{1.1892 \times 10^{-6}} = 8.304 \times 10^8$$

$$Rem = \frac{VmLm}{vm} = \frac{8.23 \times 120}{1.1892 \times 10^{-6}} = 1.17 \times 10^6$$

بدین ترتیب داریم:

$$Cfs = \frac{0.075}{((Log(Res)-2)^2)} = 1.57 \times 10^{-3}$$

$$Cfm = \frac{0.075}{((Log(Res)-2)^2)} = 2.92 \times 10^{-3}$$

در ادامه CTm را میابیم که براساس آنکه مقدار ورودی نیروی مورد نظر به مدل توسط کاربر داده میشود

داریم :

$$CTm = \frac{RTm}{0.5\rho SmVm^2} = \frac{100}{0.5 \times 1025 \times 14.98 \times 1.988^2} = 3.378 \times 10^{-3}$$

CAA که مربوط به مقاومت هوایی است که به شناور وارد میشود و میتواند کاربر با دو روش بدست آورد:

$$CAA = 0.001 \frac{AT}{S}$$

برای کشتی های کانتینربر محسوب میشود بصورت زیر است:

$$1000CAA = \max(0.28TEU^{-0.126}, -) \rightarrow CAA = 9.9 \times 10^{-5}$$

همچنین  $\Delta Cf$  که برای تصحیح مقاومت برای زبری و... بصورت زیر است و  $ks = 150 \times 10^{-6}$  فرض شده

است :

$$\Delta Cf_F = 0.044 \left[ \left( \frac{k_s}{L_{WL_S}} \right)^{\frac{1}{3}} - 10 \left( Re_S \right)^{-\frac{1}{3}} \right] + 0.000125$$

$$\Delta Cf = 1.294 \times 10^{-5}$$

همچنین CA بصورت زیر تعریف می شود و مقدار آن برابر است با:

$$CA = (5.68 - 0.6 \log(Re)) \times 10^{-3} = 3.34 \times 10^{-3}$$

برای بدست آوردن form factor که برای آن روابط مختلفی وجود دارد و به کاربر این اختیار را میدهیم در نرم افزار که بین روش های تقریبی یکی از آنها را انتخاب کند:

Watanabe:

$$k = -0.095 + 25.6 \frac{C_B}{\left[ \frac{L}{B} \right]^2 \sqrt{\frac{B}{T}}}.$$

Conn and Ferguson [4.9]:

$$k = 18.7 \left[ C_B \frac{B}{L} \right]^2.$$

Grigson [4.21], based on a slightly modified ITTC line:

$$k = 0.028 + 3.30 \left[ \frac{S}{L^2} \sqrt{C_B \frac{B}{L}} \right].$$

که ما براساس رابطه conn and ferguson داریم که:

$$K = 18.7 \times \left( C \times \frac{B}{L} \right)^2 = 0.254$$

در انتهای برای یافتن CR داریم که :

$$CR = CTm \cdot (1+k) Cfm = 3.378 \times 10^{-3} - 1.254 \times 2.92 \times 10^{-3} = 0.282 \times 10^{-3}$$

با توجه به مقادیر بدست آمده داریم ضریب مقاومت کلی شناور را می یابیم که:

$$CTs = (1+k) Cfs + CR + \Delta Cf + CA + CAA =$$

$$1.254 \times 1.57 \times 10^{-3} + 0.282 \times 10^{-3} + 1.294 \times 10^{-4} + 3.34 \times 10^{-3} +$$

$$9.9 \times 10^{-5} = 5.8184 \times 10^{-3}$$

حال طبق روابط مقاومت و ضریب مقاومت، مقدار مقاومت کلی شناور را با توجه به سرعت مورد نظر و تست

مدل انجام شده می یابیم که:

$$RT = \frac{1}{2} \times CTs \times p \times Ss \times Vs^2 = 884.7 \text{ kn}$$

## 2-3) تخمین مقاومت اضافی

موفقیت یا عدم موفقیت طراحی هر کشتی به عوامل زیادی بستگی دارد، یکی از این عوامل این است که بتواند عملکرد طراحی شده خود را در مسیر دریا حفظ کند. تخمین مقاومت در آب آرام مقاومت، توان کشتی، حرکات کشتی و ... همگی مشکلات پیچیده ای هستند.

کشتی های غالباً، محدوده مقاومت و توان اضافی اغلب آن ها 15 تا 30 درصد بالاتر از نیاز در آب آرام می باشد که البته برای آن روش های تخمینی متعددی وجود دارد که در ادامه بررسی می کنیم. مقاومت افروده شده و اضافی را مانند تعیین در مقاومت آب آرام می توان به تعدادی مولفه در نظر گرفت، میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

1. انعکاس<sup>۱</sup> یا پراش<sup>۲</sup> موج توسط کشتی
2. حرکت های نوسانی شناور در جهت های مختلف
3. عملکرد پروانه، تحت تاثیر بار ها قرار میتواند بگیرد و تاثیرات بسزایی را دارد.
4. حرکت سکان و تثبیت کننده های باله<sup>۳</sup>، در صورت نصب تاثیراتی بر حرکت شناور در غلتش های آن دارند که تاثیر گذار است.

در اغلب موارد و مقالات موارد 1 و 2 مورد اهمیت قرار داده شده اند.

---

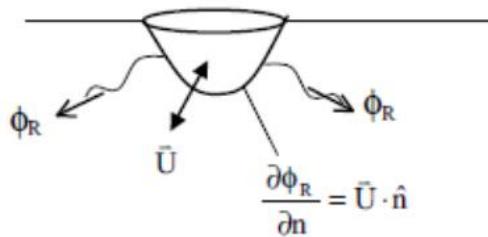
<sup>1</sup> reflection

<sup>2</sup> diffraction

<sup>3</sup> fin stabilisers

مقاومت اضافه شده معمولاً به سه بخش نسبت داده می شود:

تداخل بین سیستم های موج تحریک و امواجی که حاصل آن هستند و به عنوان drift forte نامیده می شود.



$$\vec{F}_R = \iint_{\text{body surface}} -\rho \left( \frac{\partial \phi_R}{\partial t} \right) \hat{n} dS = - \underbrace{m_{ij}}_{\text{added mass}} \dot{U}_j - \underbrace{d_{ij}}_{\text{wave radiation damping}} U_j$$

تصویر 2-3 ) مقاومت موج که یکی از جز های آن موجی است که خود سازه ایجاد میکند.

جزء دوم به دلیل سیستم موجی که مقداری انکاس موج را در کشتی تجربه می کند. این اغلب تنها زمانی اهمیت دارد که طول موج در مقایسه با طول کشتی کوچک باشد. این پدیده اغلب به عنوان پراش موج شناخته می شود.

مورد سوم هم نیرویی که ناشی از نیروی میرایی<sup>1</sup> ناشی از حرکات بالا و پایین رفتن است. کشتی زمانی که آب آرام است.

در اصل تمام اجزای موج تولید شده توسط این سه مکانیسم ذکر شده در بالا افزودنی هستند. در عمل نیروهای توسعه یافته توسط این سه مکانیسم مجزا همگی هستند متناسب با مجدور دامنه موج و در نتیجه غیر خطی خواهد بود. در واقع همه سه بخش با هم تعامل دارند؛ چندین تئوری مختلف برای این موضوع وجود دارد که در ادامه به بررسی آنها میپردازیم.

---

<sup>1</sup> Damping force

## 2-3-1) تئوری هاولاك<sup>۱</sup>

يکی از ابتدایی ترین تئوری های موجود که به سال 1908 میلادی مبنای آن باز میگردد تئوری هاولاك میباشد. او از این رابطه با ساده سازی به دست آورد برای استفاده از فرمول برای یافتن مقاومت اضافی در هر فرکانس برحورده<sup>۲</sup> در موجی که از روپرتو می آید بدست آورده است.

این فرمول بر اساس تئوری خطی موج استوار است. یعنی فرض شده است که دامنه موج های ایجاد شده توسط شناور کوچک است و میتوان از معادلات خطی موج های سطحی در آب عمیق استفاده کرد. برای محاسبه مقاومت موج با این فرمول، ابتدا باید شکل بدن شناور را به صورت تابعی از طول موج بیان کرد. این کار با استفاده از تبدیل فوریه انجام میشود و این فرمول مبتنی بر انتگرال میشل است که به صورت تقریبی و با فرض های خاصی محاسبه میشود تا مقاومت موج بر اساس شکل بدن شناور به دست آید.

بنابراین، فرمول هاولاك بر اساس درک فیزیکی موج های ایجاد شده توسط شناور و با استفاده از روش های ریاضی تقریبی برای محاسبه مقاومت موج ارائه شده است. رابطه آن به شرح زیر می باشد:

$$R_{AW} = - \frac{k}{2} [Fz \sin \alpha + N \sin \beta]$$

که در آن  $k$  ثابت موج،  $F$  و  $N$  مقادیر نیرو و ممان خارجی هستند که به شناور وارد میشود. زوایای  $\alpha, \beta$  به ترتیب زوایای مربوط به اختلاف فاز بین نیرو و ممان با نیروی تحریک میباشند.

<sup>1</sup> Havelock

<sup>2</sup> frequency of encounter

در ادامه باید با توجه به انتگرال گیری و بدست آوردن هر یک از ثوابت این رابطه بصورت زیر شرح داده شده است:

$$R_w = \frac{\rho g^2 B^2}{2\pi v^2} \left[ 1 + \frac{4\pi^2 L^2}{gB^2} \left( \frac{v^2}{gL} - 1 \right) \right] e^{-\frac{8\pi^2 h^2}{gB^2}}$$

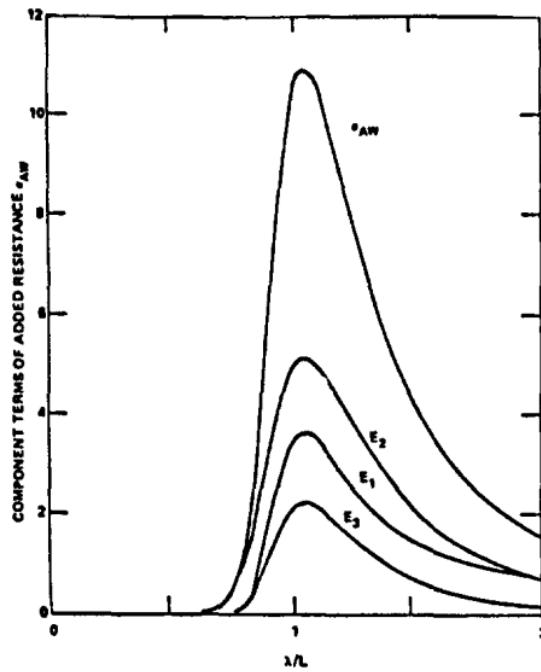
این فرمول با در نظر گرفتن پارامترهای هندسی شناور و شرایط حرکت آن، مقاومت موج وارد بر شناور را محاسبه می‌کند.

### Joosen (2-3-2) تئوری

عبارت هاولاک توسط بسیاری از محققان یافته است، به عنوان مثال تئوری Joosen به فرم زیر وجود دارد :

$$R_{AW} = \frac{\omega_e^3}{2g} [N_z z^2 + N_\theta \theta^2]$$

جایی که فرکانس برخورد دایره‌ای است .



(F=0.30 ) مقاومت اضافی موج بر حسب تئوری Joosen (نمودار 2-1)

همچنین می‌توان از چنین تخمینی حداکثر مقاومت اضافه شده را یافت مقاومت بیشتری نسبت به متوسط دارند.

### Maruo (3-3-2) تئوری

این رابطه برای یافتن نیروی موج بر روی اجسام با سرعت رو به جلو می باشد تا مقاومت اضافه را محاسبه کرد.  
با محاسبه انتگرال های متناهی و نیمه نامتناهی حاوی تابع kochin انجام می شود.  
بدین صورت که رابطه اصلی بصورت ير می باشد:

$$R_w = \frac{\rho}{4\pi} \left\{ - \int_{-\infty}^{\bar{k}_1} + \int_{\bar{k}_2}^{\bar{k}_3} + \int_{\bar{k}_4}^{\infty} \right\} \frac{\bar{\kappa} (m - K \cos \beta)}{\sqrt{\bar{\kappa}^2 - m^2}} |H(m)|^2 dm,$$

چگالی بر حسب سیال می باشد و  $k = \frac{w_0^2}{g}$  ثوابت زیر را داریم که :

$$\bar{k}_1 = -\frac{\kappa_0}{2} (1 + 2\tau + \sqrt{1 + 4\tau}), \quad \bar{k}_3 = \frac{\kappa_0}{2} (1 - 2\tau - \sqrt{1 - 4\tau}),$$

$$\bar{k}_2 = -\frac{\kappa_0}{2} (1 + 2\tau - \sqrt{1 + 4\tau}), \quad \bar{k}_4 = \frac{\kappa_0}{2} (1 - 2\tau + \sqrt{1 - 4\tau}).$$

و براساس تابع kochin داریم که :

$$H(m) = \iint_{S_b} \left( \phi_B \frac{\partial}{\partial n} - \frac{\partial \phi_B}{\partial n} \right) e^{\bar{\kappa}z + i(xm + y\sqrt{\bar{\kappa}^2 - m^2})} ds.$$

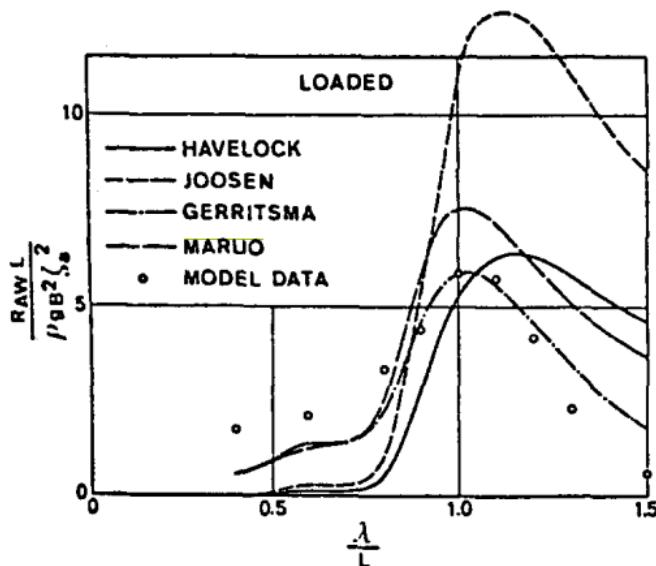
براین اساس رابطه به صورت زیر می باشد که :

$$R_{aw} = \frac{1}{2} \rho g B^2 \zeta_a^2 \left( \frac{\omega^2 L}{g} \right)^2 \left[ \frac{1}{\left( \frac{\omega^2 L}{g} - 1 \right)^2 + \left( \frac{2\pi h}{L} \right)^2} \right]$$

که در آن  $L$  و  $B$  طول و عرض و عمق آبخور شناور هستند، همچنین دامنه موج  $\zeta$  و فرکانس برخورد  $W$  می باشد که میدانیم فرکانس برخورد از رابطه زیر با فرکانس موج رابطه دارد:

$$\omega_e = \omega - \frac{\omega^2 U}{g} \cos \mu$$

سرعت شناور و  $W$  فرکانس موج و  $u$  زاویه برخورد موج به شناور میتواند باشد که در نرم افزار مدلسازی شده است.



نمودار 2-2) مقاومت اضافی شناورها براساس تئوری‌های مختلف

بدین ترتیب با شرح موارد مختلف تئوری‌ها، در نرم افزار کاربر میتواند تئوری هاولاک یا Maruo را انتخاب کند و مقاومت را بیابد.

بطور مثال در شناور مفروض پرتویه که ابعاد طول، عرض و ارتفاع آن به ترتیب به صورت 120 و 20 و 12 متر باشد، دامنه موج 2 متر و فرکانس آن با توجه به دوره تناب 12 ثانیه برابر 0.512 باشد و زاویه برخورد موج را به صورت Head sea فرض کنیم و  $u=0$  لحاظ کنیم؛ سرعت شناور هم 17.5 نات در نظر میگیریم بدین صورت داریم که بر اساس رابطه maruo :

$$R_{aw} = \frac{1}{2} \times 1025 \times 9.81 \times 20^2 \times 1^2 \times \left( \frac{9.81}{0.462^2 \times 120} \right)^2 \times \left[ \left( \frac{9.81}{0.462^2 \times 120} - 1 \right)^2 + \left( \frac{120}{2\pi \times 8} \right)^2 \right]^{-1}$$

$R_{aw} = 1.662 \times 10^5$  نیوتن

همانطور که از بخش 2-2 داریم مقاومت تخمینی در آب آرام به صورت زیر تخمین زده شده است :

$$RT = \frac{1}{2} \times CTS \times p \times Ss \times Vs^2 = 884.7 \text{ kn} = 8.884 \times 10^5$$

که مقاومت اضافی 18 درصدی افزوده شده است. براساس منابع بر اساس تئوری ماروئو، مقاومت اضافی ناشی از موج می‌تواند تا 20٪ به مقاومت کل شناور اضافه کند. این مقدار به پارامترهای شناور و شرایط حرکت بستگی دارد و می‌تواند در بعضی شرایط بیشتر یا کمتر باشد.

#### 4-2) مقاومت شناور

سعی می‌شود نهايّتا مقاومت و توان مورد نياز برای اين شناور لحاظ شود و همچنین در يك محدود سرعتی به ما نمودار های مقاومت در آب آرام و در حضور موج بدست بيايد.

مقاومت به دو صورت تحليل می شود که يك حالت در آب آرام می باشد و در يك حالت مجموع آن گزارش خواهد شد که مقاومت وارد بر شناور در حال حرکتی در حضور شرایط محیطی همچون موج با لحاظ زاویه برخورد، باد، جريان با لحاظ زاویه برخورد می باشد.

$R_{in calm water} + R_{wave} = R_{ship}$

$$R_{sample ship} = 8.884 \times 10^5 + 1.662 \times 10^5 = 1050.9 \text{ kn}$$

### فصل 3: تخمین مصرف سوخت شناور

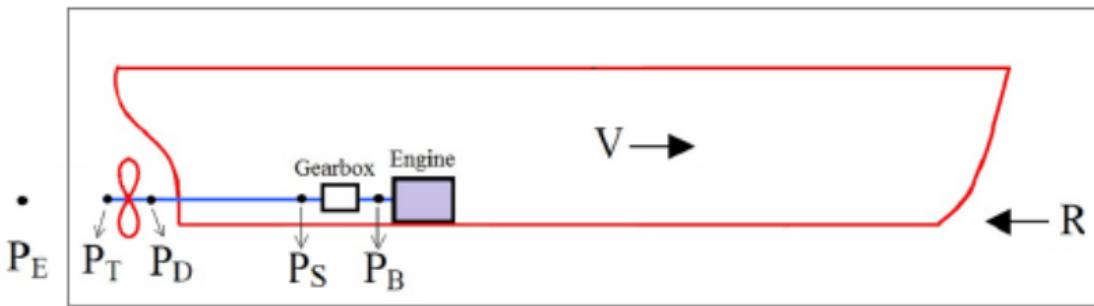
در فصل 2 مقاومت شناور را با توجه به داده های مختلف بدست آورده ایم، حال میخواهیم برای این مقاومت بدست آمده یک سیستم رانش تعیین کنیم تا توان آن مشخص شده و براساس آن سوخت مصرفی شناور را بر حسب روز بیابیم.

#### 1-3) سیستم رانش شناور

سیستم رانش شناوری که نیاز به مقاومت برآورد شده دارد را باید انتخاب کنیم، بدین منظور باید توان مورد نیاز مشخص باشد.

با صرف نظر کردن از ضرایب wake و thrust detection که بازده بدن شناور را مشخص میکنند، مقاومت بدن را برابر تراست لازم میدانیم و براساس آن توان مورد نیاز بصورت زیر بدست میآید:

$$PE = R \times V = 1050.9 \text{ KN} \times 17.5 \times 0.5114 \frac{m}{s} = 9405.71 = 9.047 MW$$



تصویر 1-3 شکل شماتیک سیستم رانش شناور با لحاظ بازدهی

با یافتن توان مورد نیاز شناور باید بازده را مشخص کنیم تا توان موتور و پروانه را بصورت حدودی تعیین کنیم که به صورت زیر تعریف میشود، بازده بدن را 1، بازده گیربکس را 0.98 و بازده شفت را 0.98 در نظر میگیریم. بازدهی تعیین شده برای پروانه و موتور میتواند براساس انتخاب ما متفاوت باشد. در این پژوهه سعی میکنیم

$$\frac{PE}{PB} = \eta_{hull} \times \eta_{gearbox} \times \eta_{shaft} \times \eta_{propeller} \times \eta_{motor}$$

بازده پروانه و موتور میتواند بستگی به نوع انتخابی باشد و مقادیر مختلفی را در بر میگیرد. برای انتخاب موتور و پروانه میتوانیم از مراجع مختلف استفاده کنیم که در توان کاری مشخص سیستم رانش انتخابی را مشخص کرد.

جدول 3-1 موتور های مختلف براساس توان تولیدی

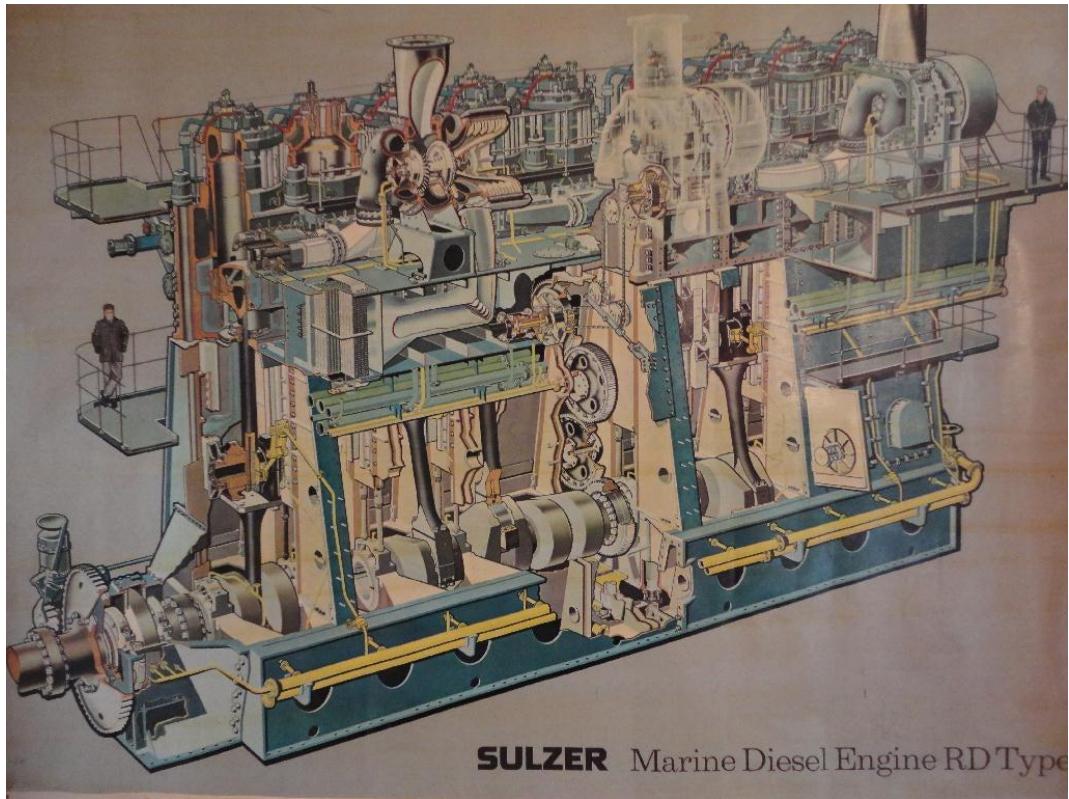
engine	rate rotational speed (r/min)	rate power (hp)
Sulzer RD	159	29000
Sulzer 6RLB56	118.5	12000
Mercury 400	140	20580
Mercury 414	130	15379
Hamilton 318	140	17840
Hamilton 362	160	32770

موتور های مشخص شده دارای یک توان هستند، براساس این توان تولیدی، برای شناور مشخص شده انتخاب میشوند.

جدول 3-2 موتور و پروانه انتخابی برای شناور

propeller	engine	rotational speed (r/min)	advancing speed (kn)	Open water efficiency
AU5-65_0.782_5.9	Sulzer RD	116.571	16.09	0.553442
AU5-65_0.782_5.75	Sulzer RD	116.088	15.8095	0.552805
AU5-65_0.782_6	Hamilton 318	102.566	12.4767	0.523005
AU5-65_0.782_6	Hamilton 318	94.04	11.3382	0.519016
MAU4-55_0.7_4.82	Sulzer 6RLB56	154.834	13.0015	0.481997
MAU4-55_0.7_4.77	Sulzer 6RLB56	151.733	12.416	0.475699
MAU4-55_0.7_4.77	Sulzer 6RLB56	142.849	11.4867	0.468679
MAU4-70_1.2_4.7	Hamilton 318	129.788	15.9245	0.465998
MAU4-70_1.2_4.76	Mercury_Marine414	127.771	15.8024	0.46415
MAU4-70_1.2_4.8	Mercury_Marine400	125.236	15.5749	0.463046

در صورتی که پروانه و موتور بصورت بالا انتخاب شده باشند و حدودا سرعت کاری آن هم مشخص شده است؛ بازده تعریف میشود که طبق آن میتوان توان تولیدی را میتوان یافت.



تصویر ۳ - ۲ موتور Sulzer تولید شرکت Swiss

در نتیجه در نرم افزار بدین ترتیب پیش میرویم که به کاربر گفته میشود که انتخاب کند و راهنمایی میشود که هر موتور حدوداً چقدر توان دارد تا انتخاب درستی را داشته باشد و مطابق با توان مورد نیاز شناوری باشد که به عنوان ورودی داده است. بدین ترتیب توان مورد نیاز کشتی را با توجه به بازده آن میتوان یافت.

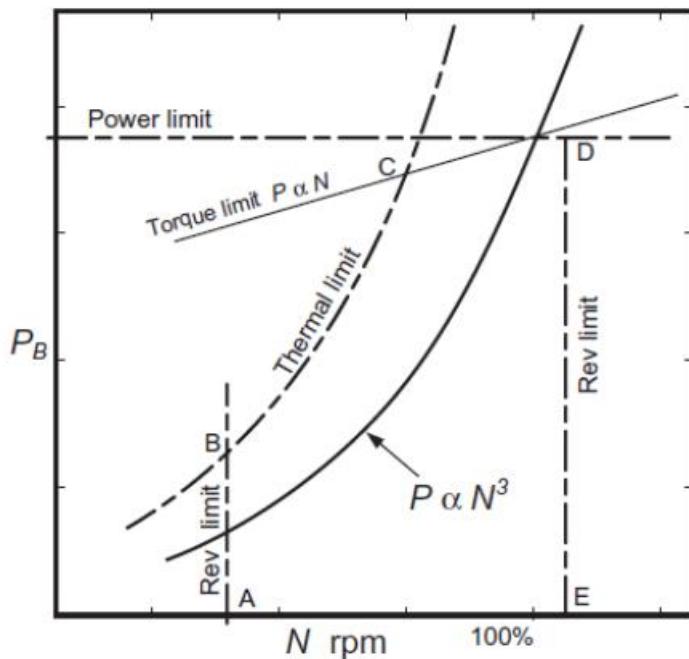
در صورتی که کاربر موتور و پروانه مورد نظر خود را میخواهد بدهد، میتواند انتخاب کند و براساس آن بازده مورد نظر را به عنوان ورودی بدهد.

با توجه به شناور نمونه میتوانیم، Sulzer Rd را انتخاب کنیم:

$$\frac{PE}{PB} = \eta_{hull} \times \eta_{gearbox} \times \eta_{shaft} \times \eta_{propeller} \times \eta_{motor}$$

$$PB = 9.045 / (1 \times 0.98 \times 0.98 \times 0.553442) = 17.017 \text{Mw}$$

## 2-3) منحنی محدوده عملکرد کشتی



تصویر 3-3 منحنی محدوده عملکردی موتور

در تصویر 3-3 محدوده عملکردی موتور کشتی مشخص شده است که در کاتالوگ های مختلف این موارد قابل بحث هستند برای کشتی تا موتور بهتری انتخاب شود ، در این نمودار محدوده دمایی ، محدوده دور پایین و بالا به ترتیب با خاطر آنکه در دور های پایین مشکل فرکانسی بوجود می آید و ممکن هست که حالت یکنواختی نداشته باشد، در دور های بالا خستگی و نیرو های دینامیکی زیاد می شوند ، در نتیجه باید در انتخاب موتور به این موارد دقت کرد.

محدوده عملکرد پروانه هم وجود دارد که از موارد بسیار مهم شمرده می شود، چون شناور ممکن در آن وضعیت رو به جلو نرود؛ ضریب پیشروی این ضریب نشان دهنده نسبت سرعت جریان آب ورودی به سرعت نوک پره پروانه است.

هرچه ضریب پیشروی کمتر باشد، پروانه در شرایط کم سرعت و سنگین عمل می کند و هرچه ضریب پیشروی بیشتر باشد، پروانه در شرایط پرسرعت عمل می کند.

محدوده معمول ضریب پیشروی برای پروانه های دریایی حدود 0.2 تا 1.2 است که مناسب بازه وسیعی از سرعت های کشتی است.

در نرم افزار این موضوع مورد بحث قرار نگرفته است و میتوان برای طراحی بهتر آن این کار را انجام داد.

### 3-3) تخمین مصرف سوخت کشتی

تخمین دقیق مصرف سوخت کشتی‌ها از جنبه‌های مختلف بسیار مهم و با اهمیت است. این امر به برنامه‌ریزی و مدیریت عملیاتی کشتی کمک می‌کند. مدیران کشتیرانی با داشتن تخمین مصرف سوخت برای هر مسیر و سفر، می‌توانند میزان سوخت مورد نیاز را برآورد کرده و برنامه‌ریزی مناسبی داشته باشند. این موضوع از نظر اقتصادی و عملیاتی بسیار مهم است.

همچنین، تخمین مصرف سوخت به مهندسان در طراحی بدنه، سیستم‌های محرکه و سایر اجزای کشتی کمک می‌کند تا بهترین گزینه‌ها را انتخاب کنند. این امر به افزایش کارایی و بهبود عملکرد کلی کشتی منجر می‌شود.

از سوی دیگر، با داشتن تخمین دقیق مصرف سوخت، مدیران قادر خواهند بود هزینه‌های سوخت و سایر هزینه‌های عملیاتی را به طور دقیق‌تری برآورد کنند. این امر به جنبه مالی و اقتصادی مدیریت کشتیرانی کمک می‌کند.

همچنین، با کاهش مصرف سوخت، میزان انتشار آلاینده‌ها و گازهای گلخانه‌ای نیز کاهش می‌یابد؛ برای تخمین مصرف سوخت کشتی باید از فرمول‌های تخمین زده شده در مراجع استفاده کنیم.

براساس مراجع مختلف میتوانیم روابط تخمینی متفاوتی را داشته باشیم.

در یکی از مقالات معتبر که در سال 2018 چاپ شده است، رابطه‌ای برای تخمین خطی مصرف سوخت تعريف شده است که براساس آن میتوان مصرف سوخت را یافت.

جدول 3-3) مصرف سوخت کشتی براساس نوع موتور احتراقی

Engine	Weight (KPL) kg/L	Fuel Consumption (K) kg/brake hp-hour	Load Factor (LF)		
			Low	Med	High
Gasoline	0.72	0.21	0.38	0.54	0.70
Diesel	0.84	0.17	0.38	0.54	0.70

رابطه تخمینی آن هم به صورت زیر می‌باشد.

$$FC = \frac{0.75 \times Power \times S \times Time \times 0.001}{Density}$$

در یکی از مراجع دیگر که کتاب اصول مهندسی دریانوردی می‌باشد، یک رابطه براساس آزمایش‌های تجربی بدست آمده است که بصورت زیر می‌باشد:

$$FC = A \times P^B - V^C$$

که در این فرمول،  $P$  توان موتور برحسب اسب بخار و  $V$  سرعت برحسب گره دریایی می‌باشد. و مصرف سوخت کشتی را در یک ساعت برحسب لیتر نشان می‌دهد. دیگر ثوابت  $A$  و  $B$  و  $C$  براساس نوع کشتی متفاوت هستند که در جدول ۳-۴ آورده شده است.

جدول ۳-۴) ضرایب مختلف در فرمول تخمین مصرف سوخت

پارامتر / نوع شناور	A	B	C
کانتینربر	0.15	0.75	2.3
تجاری	0.17	0.71	2.5
مسافربری	0.20	0.71	2.5
جنگی	0.23	0.62	2.8

بدین ترتیب در نرم افزار از این رابطه استفاده می‌کنیم و در سرعت‌های مختلف نمودار مصرف سوخت برحسب سرعت را می‌یابیم. البته دقت داریم که توان موتور در قسمت قبل برحسب  $MW$  بوده است و در اینجا تبدیل به  $Hp$  باید کنیم و سرعت در قسمت قبل برحسب متر بر ثانیه می‌باشد که در اینجا تبدیل به knot باید کنیم.

برای تبدیل به مصرف سوخت باید سوخت مورد نظر مشخص باشد؛ معمولاً برای سوخت دریایی (مانند گازوئیل یا نفت کوره) چگالی حدود 0.85 تا 0.95 کیلوگرم بر لیتر در نظر گرفته می‌شود که باید برای تبدیل به تن از رابطه زیر استفاده کرد:

$$FC(\text{per tone/day}) = FC(\text{per Liter/hr}) \times 0.9/1000$$

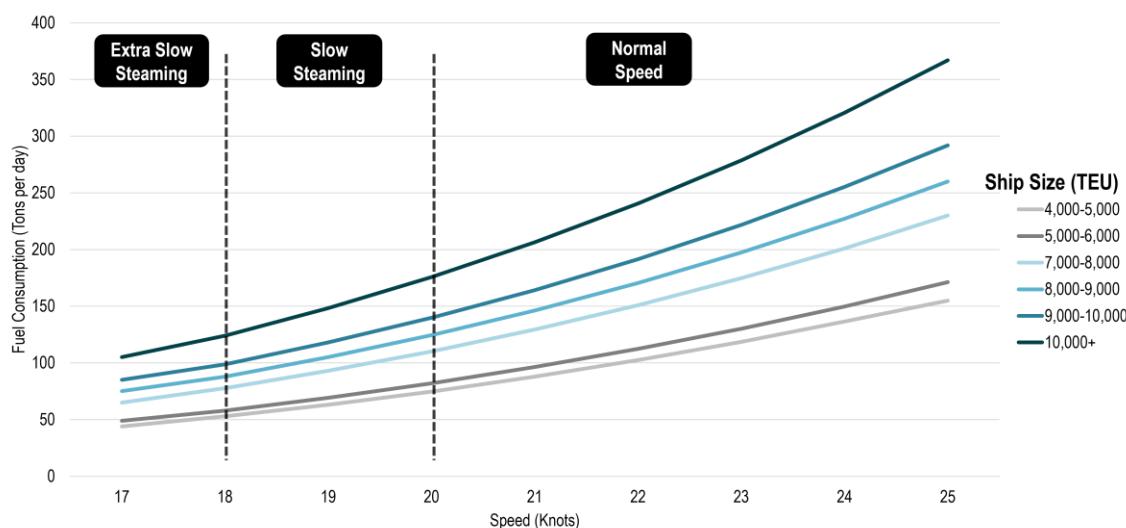
بدین صورت بطور مثال برای کشتی نمونه داریم که:

$$FC = 0.15 \times 22,820.17^{0.75} \times 17.5^{2.3}$$

$$FC = 0.15 \times 5,731.26 \times 868.62$$

$$FC = 7,428.43 \text{ لیتر بر ساعت}$$

که مقداری است که در روز میتواند حدودا 178,282 لیتر میباشد و با توجه به نکات گفته شده 160.45 تن در روز مصرف سوخت کشتی میتواند باشد.



تصویر 3-4) نمودار مصرف سوخت کشتی که بصورت واقعی بدست آمده است.

به طور مشابه در یک کشتی کانتینربر مشابه مصرف سوختی با مقداری مشابه بدست آمده است که روابط پژوهش را تصدیق میکنند.

**خطاهای زیادی میتواند در رابطه وجود داشته باشد که میتوان به:**

- 1- خطاهای موجود در تقریب زدن روش ITTC که منحنی های fit شده آن روش های مختلفی دارد.
- 2- نیروی موج بر شناور یک رابطه تقریبی تحلیلی داده شده است که در واقع باید انتگرال گیری شود و تقریبی میباشد.
- 3- در طی پژوهه از thrust detection و wake صرف نظر شده است تا ساده سازی انجام شود.
- 4- تخمین مصرف سوخت براساس روش های تخمینی میباشد که دارای خطاهایی هستند.

## فصل 4: تهیه نرم افزار تخمین مصرف سوخت

نرم افزار تخمین مصرف سوخت را در محیط پایتون طراحی کرده ایم، بصورتی که با توجه به روابط فصل 3 و 4 این کد نوشته شده است؛ با دادن ورودی ها مورد نظر که در تصویر 1-4 مشخص شده است.

```
Enter the ship length (in meters): 120
Enter the ship width (in meters): 20
Enter the ship draft (in meters): 12
Enter the block coefficient: 0.8
Enter the scale factor of the model (between 0 and 1): 0.50833
Enter the ship's speed in knots: 17.5
Enter the current speed in m/s: 2
Enter the current direction in degrees[ degrees is angle between north to current direct]: 20
Enter the wave frequency (in Hz): 0.514
Enter the wave direction in degrees[Head sea is 0 degrees]: 0
Enter the wave amplitude ( $\zeta$  in meters): 1
Enter the resistance force of the model in the towing tank (in N): 100
Enter the efficiency of the motor (between 0 and 1): 0.7
Enter the fuel density(between 0 and 1): 0.9
Enter the ship type ('container', 'commercial', 'ferry'): container
```

تصویر 4-1) ورودی های نرم افزار

ورودی های داده شده که ابعاد شناور، ابعاد مدل (با ضریب مقیاس)، سرعت شناور، سرعت و جهت جریان، فرکانس و جهت و دامنه موج، مقدار مقاومت محاسبه شده در حوضچه کشش برای مدل، بازده موتور و سیستم رانش، چگالی سوخت و نوع شناور می باشد.

کد مورد نظر در فایل ضمیمه آورده شده است.

خروجی های کد مقادیر مورد نظر مقاومت، توان و مصرف سوخت می باشد که برای ورودی های داده شده در تصویر 4-1 مقادیر زیر می باشد:

```
The total resistance of the ship at the apparent speed is: 1174.24 kN
The wave resistance of the ship is: 107.16 kN
The total resistance including wave resistance is: 1281.40 kN
The power of the ship at the apparent speed is: 16552.52 kW
The total power of the ship including wave resistance is: 18063.07 kW
```

خواسته اصلی هم به صورت زیر داده می شود:

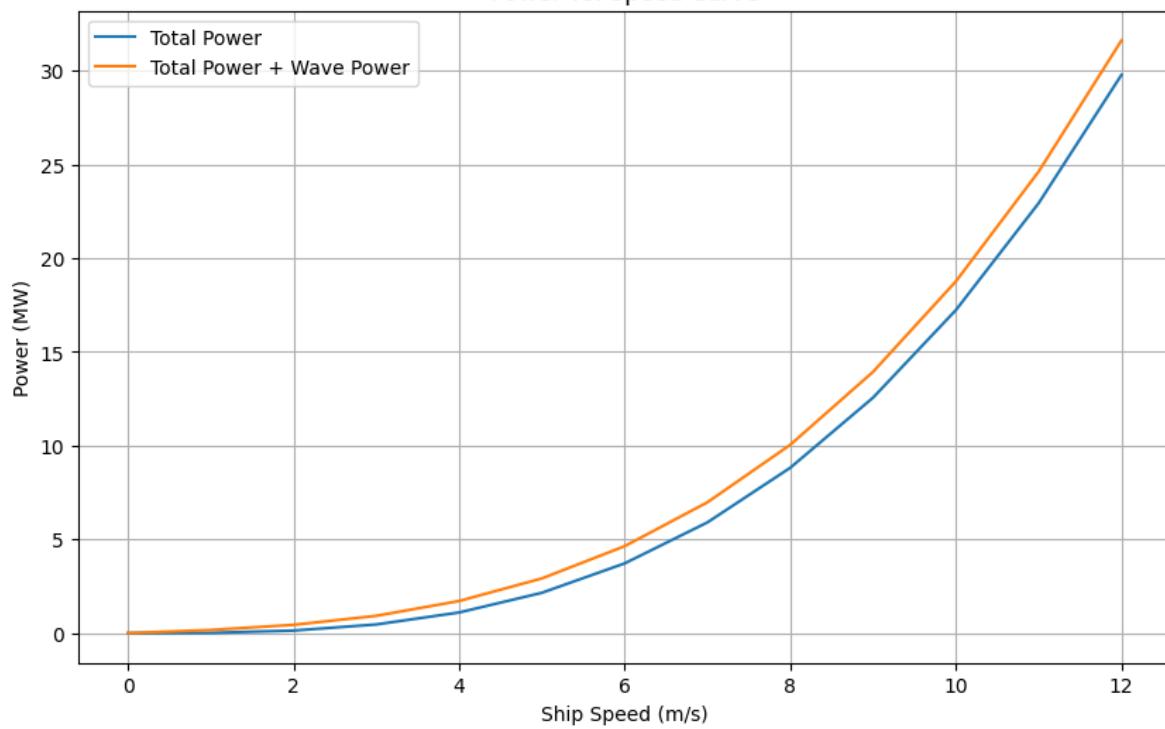
The Estimating Fuel Consumating of Ship including wave resistance is: 131.07 tones/day



نمودار 4-1) منحنی های مقاومت بر حسب سرعت

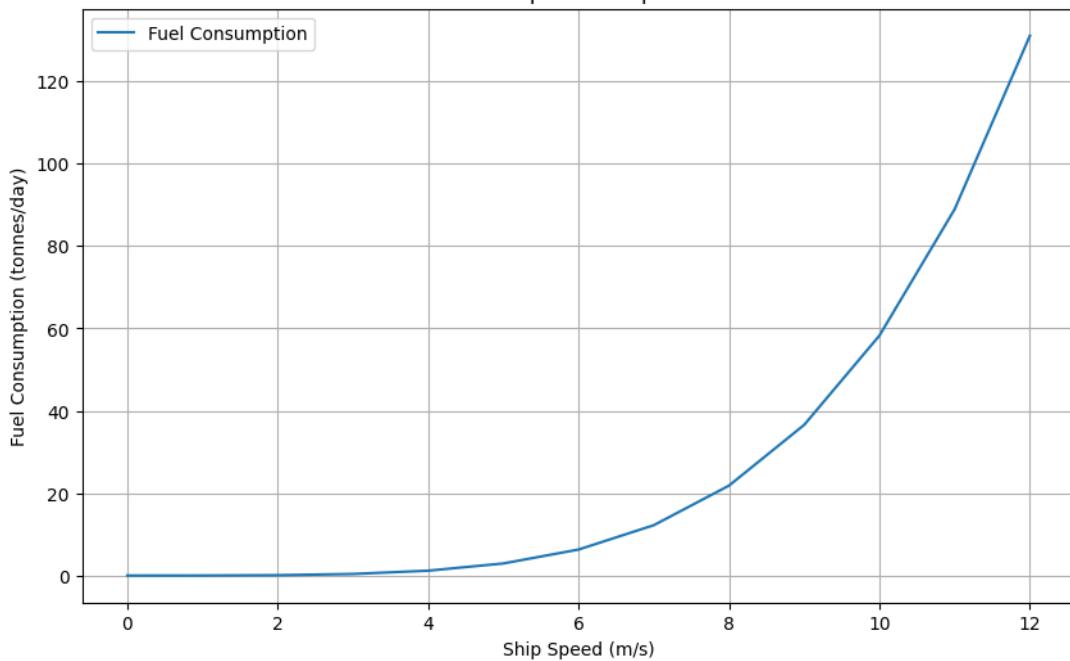
این منحنی برای دو حالت با لحاظ آن مقاومت شناور را بدست می‌آورد که مقدار مقاومت اضافی حدود 5 تا 20 درصد می‌باشد.

Power vs. Speed Curve



نمودار ۴-۲) منحنی های توان بر حسب سرعت

Fuel Consumption vs. Speed Curve



نمودار ۴-۳) منحنی های مصرف سوخت بر حسب سرعت برای کشتی کانتینربر مفروض

## فصل 5: کنوانسیون های بازدارنده

در فصول گذشته با استفاده از روابط مختلف موفق شدیم نرم افزاری را برای تخمین مصرف سوخت شناور تهیه کنیم، از آنجایی که گفته شد مصرف سوخت شناور اهمیت بسیاری دارد؛ در این فصل قصد داریم شما را با کنوانسیون های بین المللی که در دهه های گذشته برای کاهش و جلوگیری از آلودگی های ناشی از کشتی در دریا توسط سازمان بین المللی دریانوردی به تصویب رسیده است ، اشاره کنیم .

### 1-5) کنوانسیون مارپل<sup>۱</sup>

یکی از مهمترین کنوانسیون های بین المللی در زمینه کاهش آلودگی های ناشی از کشتی ها ، مارپل 73/78 است که ابتدا در سال 1973 میلادی تدوین و سپس در سال 1978 توافقنامه اصلاح شد و از تاریخ دو اکتبر 1983 لازم اجرا شده است . از ژانویه 2018 ، 156 کشور عضو این کنوانسیون هستند و کشورهای عضو 99.42 درصد از حجم کل حمل و نقل جهان<sup>۲</sup> را شامل می شوند . جمهوری اسلامی ایران در تاریخ 1381/11/05 به طور رسمی عضو این کنوانسیون شد.

این کنوانسیون با توجه به دسته های مختلف آلاینده های کشتی به 6 پیوست<sup>۳</sup> تقسیم می شود که در جدول زیر آنها را معرفی کرده ایم .

ضمیمه	دسته بندی مقررات کشتی ها	تاریخ لازم الاجرا	تعداد کشور های عضو	درصد حجم کل حمل و نقل
I	جلوگیری از آلودگی ناشی از نفت	1983	150	99
II	کنترل آلودگی مواد مایع سمی بصورت فله	1983	150	99
III	کنترل آلودگی مواد مضر بسته بندی شده	1992	133	96
IV	فاضلاب کشتی ها	2003	124	82
V	زباله کشتی ها	1998	139	97
VI	آلودگی هوا	2005	56	46

جدول 5-1 ، معرفی انواع ضمیمه های کنوانسیون مارپل

### 1-1-5 ) معرفی ضمایم کنوانسیون مارپل

Convention marpol (marine pollution)<sup>۱</sup>

World's Shipping Tonnage<sup>2</sup>

<sup>3</sup>Annex



تصویر ۵-۱: کنوانسیون مارپل در ضمایم مختلفی در جهت کاهش آلایندگی های ناشی از کشتی ها وضع شده است.

### ضمیمه ۱: مقررات برای جلوگیری از آلودگی ناشی از نفت

این ضمیمه ویژگی های طراحی نفتکش ها را مشخص میکند تا در طول عملیات حمل نفت و حتی در موقع نشت نفت به حداقل ترین مقدار ممکن برسد که این مقررات شامل نکاتی در رابطه با پسماند های موتورخانه ، پاکسازی مناطق بار و مخازن بالاست تمام شناور های تجاري بزرگ دنیا را شامل میشود ؛ در مورد همه تانکرهای با ظرفیت ناخالص ۱۵۰ تن به بالاتر و سایر کشتیها با ظرفیت ناخالص<sup>۱</sup> ۴۰۰ تن به بالاتر اعمال می گردد. تخلیه مواد حاوی نفت به دریا در مناطق ویژه دریایی در هر شرایطی ممنوع و در سایر مناطق از محدودیتهایی برخوردار می باشد.

### ضمیمه ۲: مقررات برای کنترل آلودگی توسط مواد مایع سمی بصورت فله

این ضمیمه برای کلیه کشتیهایی که مایعات مضر بصورت فله را حمل میکنند اعمال می گردد. بر اساس این ضمیمه موادی که ممکن است باعث صدمه به محیط زیست دریایی گردد، تخلیه آنها به دریا ممنوع و باقیمانده این مواد باید به بندر تحویل داده شود.

### ضمیمه ۳: مقررات برای جلوگیری از آلودگی توسط مواد مضر بسته بندی شده

این ضمیمه برای کشتیهایی که حامل مواد مضر به شکل بسته بندی می باشند اعمال می گردد و مواد مضر به آن دسته اطلاق می گردد که بر اساس مقررات حمل کالاهای خطرناک از طریق دریا (IMDG code) خطرناک شناخته شده باشند. بر اساس این ضمیمه حمل و نقل مواد مضر ممنوع می باشد مگر بر اساس شرایط معین شده

---

Gross tonnage <sup>۱</sup>

مانند موارد بسته بندی، علامت گذاری، چسب زنی، وجود اسناد و مدارک کافی، چیدمان کالا و محدودیت های ویژه در ارتباط با اینمی کشتی و حفاظت از جان افراد در دریا باشد.

#### ضمیمه 4: مقررات برای جلوگیری از آلودگی توسط فاضلاب کشتی ها

این ضمیمه در مورد کلیه کشتیها با ظرفیت خالص<sup>1</sup> 400 تن یا بیشتر و قابلیت حمل بیش از 15 نفر سرنشین اعمال می گردد. براساس این ضمیمه کشتیها باید دارای سیستم تصفیه فاضلاب و یا سیستم آسیاب و ضدغونی یا مخازن نگهداری فاضلاب باشند.

#### ضمیمه 5: مقررات برای جلوگیری از آلودگی ناشی از زباله کشتی ها

این ضمیمه در مورد کلیه کشتیها، شناورها، سکوهای حفاری ثابت و یا شناور اعمال شده و تخلیه زباله به دریا ممنوع می باشد. تخلیه مواد ذیل در هر شرایطی به دریا ممنوع میباشد:

(1) مواد پلاستیکی

(2) مواد کاغذی، پارچه، بطری و شیشه ای

(3) زائدات کالای کشتی

تخلیه مواد غذایی در 12 مایلی نزدیکترین ساحل مجاز است. زباله های آسیاب شده چنانچه از 25 میلی متر بزرگتر نباشند می توان در 12 مایلی نزدیکترین ساحل و تخته های زیر کالاهای با فاصله 25 مایلی از نزدیکترین ساحل تخلیه می توان نمود. تخلیه هر نوع زباله به غیر از ضایعات غذایی در مناطق ویژه ممنوع می باشد. تسهیلات دریافت زباله توسط بنادر باید ارائه گردد و هر کشتی و یا شناور موظف به داشتن طرح مدیریت زباله و دفتر ثبت زباله می باشد.

#### ضمیمه 6: مقررات برای جلوگیری از آلودگی هوا ناشی از کشتی

ضمیمه ششم شامل الزامات کنترلی درخصوص مواد کاهنده لایه اوزن (اوزن شامل هالونها و CFC)، اکسیدهای نیتروژن، اکسیدهای گوگرد، ترکیبات معدنی فرار ناشی از بارگیری مواد نفتی، گازهای ناشی از سوزاندن مواد در کوره کشتی، تسهیلات دریافت مواد زائد در بنادر و کیفیت سوخت مصرفی کشتیها می باشد و هر گونه انتشار عمدى این مواد ممنوع میباشد.

---

<sup>1</sup>Net tonnage

## منابع:

- 1] Center for Statistics of Iran, Department of planning and supervision. (2011), - Results of the survey of energy carriers consumption in urban households in 2011 2012. <https://www.amar.org.ir> (In Persian)
- 2] A REVIEW OF THE METHODS OF CALCULATION OF ADDED RESISTANCE FOR SHIPS IN A SEAWAY By P. A. WILSON , 1985
- 3] The influence of route choice and operating conditions on fuel consumption and CO2 emission of ships , Jasna PRPIĆ-ORŠIĆa \*, Roberto VETTORb Odd Magnus FALTINSENC , Carlos GUEDES SOARESb
- 4] Linear Modeling of Marine Vessels Fuel Consumption for Ration of Subsidized Fuel , Alireza Soleymani1 , Seyed Mohammad Hossein Sharifi2\*, Pedram Edalat3 , Seyed Mohammad Mahdi Sharifi4 , Samad Karim Zadeh5
- 5] SPECTRAL ANALYSIS OF WAVE FORCES FOR THE DESIGN OF ROLLING GATES OF THE LOCK OF AMSTERDAM, PIANC-World Congress Panama City, Panama 2018
- 6] Calculation Method of Marine Ship Fuel Consumption
- 7] Basic principles of ship propulsion
- 8] The Challenges of Computing Wave Added Resistance Using Maruo's Formulation and The Kochin Function

9] کاهش مصرف سوخت شناور تجاری با بهینهسازی تریم ، محمد سعید سیف ، علیرضا کاظمی پور