SAFER, SMARTER, GREENER

2014

ALTERNATIVE FUELS FOR SHIPPING

DNV GL

فهرست

چکیده..... ۲

مقدمه..... ۳

محرک ها و چالش ها..... ۴

قوانین و نگرانی های زیست محیطی..... ۴

دسترس پذیری و هزینه سوخت..... ۶

چالش ها و موانع..... ۷

مروری بر سوخت های جایگزین بالقوه..... ۷

LNG..... ۸

برقی کردن و استفاده از انرژی تجدید پذیر در کشتی..... ۹

بیوسوخت..... ۱۰

هیدروژن..... ۱۰

سایر سوخت های مایع یا گازی جایگزین..... ۱۱

سیستم رانش هسته ای..... ۱۲

ارزیابی منبع تا پروانه(WTP)برای سوخت های جایگزین..... ۱۳

محدودیت های سیستم و مطالعه سوخت ها..... ۱۳

عدم قطعیت..... ۱۶

نگاه کلی..... ۱۶

چشم انداز آینده..... ۱۸

منابع..... ۱۹

چکیده

این گزارش مروری بر سوخت های جایگزین قابل استفاده در سیستم رانش کشتی است. حمل و نقل دریایی بیش از ۸۰٪ تجارت جهان را از نظر حجم شامل می شود و تقریبا ۳٪ از گازهای گلخانه ای جهان را تولید می کند. به علاوه، کشتی ها با حرکت در مناطق ساحلی و بندرگاه ها در آلودگی هوای این مناطق مشارکت دارند. به منظور کاهش صدمات حمل و نقل دریایی بر تغییرات آب و هوایی و محیط زیست، اقداماتی در جهت بهره وری سوخت در زمینه های فنی و عملیاتی می بایست صورت گیرد که معرفی سوخت های جایگزین یکی از این اقدامات می باشد. اثر آنی معرفی سوخت های جایگزین کاهش موثر مقادیرSO_x،NO_x و PM می باشد در حالی که کاهش انتشار گازهای گلخانه ای به نوع سوخت جایگزین بستگی دارد. سوخت های فسیلی همانند LNG به صورت محدود در کاهش انتشار گازهای گلخانه ای شرکت می کنند، حال آن که بیو سوخت ها توانایی کاهش موثر این مقادیر را دارند. معرفی سوخت جایگزین سبب افزایش پیچیدگی در زمینه مسایل فنی، همچون ایجاد زیرساخت های سوخت رسانی، قوانین جهت استفاده ایمن از سوخت بر روی کشتی و عملیاتی کردن سیستم های جدید می شود. در بازار های متنوع جهانی بر حسب دسترس پذیری به سوخت جایگزین انتظار می رود تا تعدادی از سوخت های جایگزین مختلف حائز اهمیت شوند که سبب افزایش پیچیدگی در زمینه مسائل فنی خواهند شد. در اینجاست که نقش موسسات رده بندی به منظور تامین امنیت به کارگیری این سوخت ها در کشتیرانی افزایش می یابد.

Contact Details:

Christos.Chryssakis@dnvgl.com

Prepared by:

Christos Chryssakis, Océane Balland,

Hans Anton Tvete, Andreas Brandsæter

مقدمه

ناوگان تجاری جهان امروزه بالغ بر ۳۳۰ میلیون تن سوخت مصرف می کند که ۸۰-۸۵٪ آن را سوخت باقی مانده(residual fuel) با مقادیر زیاد گوگرد و مابقی آن را سوخت تقطیری(distillate fuel) تشکیل می دهد که مطابق با قوانین سخت گیرانه می باشد. قوانینی که در آینده نزدیک در مناطق کنترل شده انتشار آلاینده(ECA) و در سطح جهانی در خصوص مقادیر گوگرد سوخت های دریایی به کار گرفته می شوند، افزایش تقاضا برای سوخت های کم گوگرد جهت کشتیرانی در ۵-۱۰ سال آینده را ایجاد می کنند. با ظهور قوانین جدید در دهه ی آینده، قیمت سوخت های تقطیری به طور قابل ملاحظه ای افزایش می یابد و این در حالی است که ظرفیت پالایشگاه ها در جهت پاسخگویی به افزایش بسیار زیاد تقاضا ناکافی است. همچنین، نگرانی ها از تغییرات آب و هوایی سبب افزایش فشار بر کشتیرانی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای می شود. دو نیاز ذکر شده، یعنی تقاضا برای سوخت کم گوگرد و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای توسط سوخت های جایگزین کم کربن برآورده می شود. سوخت های جایگزین در گذشته نیز در بخش حمل و نقل استفاده شده اند. در سال ۱۹۲۰ میلادی، فرایند تبدیل زغال سنگ، بیومس و گاز طبیعی به سوخت های مایع به وسیله دو آلمانی به نام هایF. Fischer و H. Tropsch اختراع شد که بعد ها به نام فرایند Fischer-Tropsch معروف شد. این فرایند به طور گسترده ای در خلال جنگ جهانی دوم توسط آلمان جهت تولید سوخت مایع از زغال سنگ به کار گرفته شد. آفریقای جنوبی نیز در تحریم نفتی سال های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ از این روش استفاده کرد. سوخت های جایگزین در سال ۱۹۷۰ میلادی به دلیل مسائل امنیتی تامین انرژی بار دیگر به صحنه آمدند. با پایان سال های ۱۹۸۰و ۱۹۹۰ میلادی، افزایش نگرانی در زمینه آلودگی زیست محیطی خودرو ها و سایر آلودگی های ناشی از تماس بشر با طبیعت، سبب تهییج عمومی رغبت ها به سمت سوخت های جایگزین شد.

سوخت های جایگزینی که قابلیت استفاده در کشتیرانی را داشته باشند بسیار زیاد هستند، اما امروزه سوخت های LNG، الکتریسیته، بیودیزل و متانول جهت جایگزینی بسیار مطرح هستند. سایر سوخت هایی که می توانند در آینده نقش ایفا کنند، عبارت اند از: LPG، اتانول، دی متیل اتر(DME)، بیوگاز، سوخت های ترکیبی(Synthetic Fuel)، هیدروژن(به ویژه جهت استفاده در سلول های سوختی) و سوخت هسته ای. همه ی این سوخت ها عاری از گوگرد هستند و قوانین در خصوص مقدار گوگرد سوخت ها را برآورده می سازند. این سوخت ها می توانند با سوخت های متداول موجود ترکیب شده و یا به طور کامل جایگزین آن ها شوند. نوع سوخت جایگزین انتخابی و سهم آن در جایگزینی، اثر مستقیمی بر انتشار آلاینده ها شامل گازهای گلخانه ای، NO_x و SO_x دارد.

هنگامی که در حال بررسی صدمات کلی حاصل از یک نوع سوخت بر روی محیط زیست هستیم، بسیار مهم است تا علاوه بر بررسی انتشار آلاینده به هنگام استفاده از آن در روی کشتی به انتشار مواد آلاینده در هنگام تولید و حمل و نقل آن نیز بپردازیم. در موارد مشابه بیوسوخت ها سایر اثرات مانند آب و مقدار زمینی که مورد استفاده قرار می گیرد حائز اهمیت می شود. داده های کمی برای این مناطق آسیب دیده قابل جمع آوری است و سنجش آن از طریق ارزیابی چرخه عمر(LCA)سوخت های دریایی صورت می گیرد. این سنجش به ما اجازه ی مقایسه میان مسیر های متنوع در زنجیره تامین انرژی را می دهد و از این رو می توان به ارزیابی پتانسیل آسیب رسانی سوخت های جایگزین در مقایسه با سوخت های دیزل دریایی پرداخت.

در این گزارش، مروری بر سوخت های جایگزین قابل استفاده در پیشرانش های دریایی صورت می گیـرد. بحـث و بررسـی در ارتباط با محرک ها و موانع با توضیح مختصری درباره انواع سوخت ها شامل چالش های پـیش روی فنـاوری و مزایـای بـالقوه استفاده از سوخت های جایگزین در بخش های بعدی ارائه شده است. ارزیابی چرخه عمر(آنالیز منبع تا پروانه)نیز ارائه شـده و سرانجام این گزارش با بررسی کاربرد های آینده سوخت های جایگزین و مشخص کردن راه هایی جهت غلبه بـر چـالش هـا و ایجاد تحول به سمت آینده پایدارتر برای کشتیرانی به پایان می رسد.

محرک ها و چالش ها

نیروی پیشرانش ناوگان تجاری جهان در حوالی سال های ۱۸۷۰ تا ۱۹۴۰ میلادی به تدریج از بادبـان بـه موتـور تبـدیل شـد. کشتی های بخار که از زغال سنگ به عنوان سوخت استفاده می کردند تا سال ۱۹۲۰ میلادی حکم فرما بودند و پس از آن بـه سبب موتور های دیزل و بویلر های بخار که از نفت به عنوان سوخت استفاده می کردند؛ نفت جایگزین زغال سنگ شد. توسعه موتور های بخار سبب انتقال از نیروی محرکه باد به زغال سنگ شد. از مزایای این انتقال افزایش زمان دریانوردی و استقلال از شرایط آب و هوایی و جهت غالب باد بود. افزایش بازده، آسانی حمل و نقل و عملیات به کارگیری پاکیزه تـر سـبب جـایگزینی نفت در مقابل زغال سنگ شدند. عوامل اصلی ظهور سوخت های جایگزین در آینده را می تـوان در دو دسـته گسـترده دسـته بندی کرد:

1. **الزامات حقوقی و نگرانی های زیست محیطی**
2. **دسترس پذیری سوخت های فسیلی، هزینه و امنیت انرژی**

قوانین و نگرانی های زیست محیطی

سازمان جهانی دریانوردی(IMO) مجموعه قوانینی را که جهت جلوگیری از آلودگی هـوا توسـط کشـتی هـا، اتخـاذ کـرده در ضمیمه شش کنوانسیون مارپول طرح ریزی کرده است. ضمیمه ۶ کنوانسـیون مـارپول شـامل محـدودیت هـایی در خصـوص انتشار آلاینده هایی نظیر اکسید های گوگرد و نیتروژن از گاز خروجی کشتی ها است و در حـال تـدارک بـرای ایجـاد منـاطق ویژه کنترل آلاینده SO_x است. از ویژگی این مناطق کنترل دقیق و سخت بر انتشار این آلاینده مطابق با شـکل ۱ مـی باشـد. امروزه دریای شمال و بالتیک و همچنین ۲۰۰ مایل دریایی از سـواحل آمریکـای شـمالی جـزو منـاطق کنتـرل شـده انتشـار آلاینده(ECA)می باشند(تصویر۲). مناطقی که بسیار احتمال می رود به این مناطق افزوده شوند عبارت انـد از:تنگـه بسـفر[1] در دریای مرمره، هنگ کنگ و قسمتی از سواحل گوانگ دونگ در چین. صرف نظر از محدودیت های IMO در خصـوص انتشـار ۰/۱٪ گوگرد که احتمال می رود به تعویق افتد؛ اتحادیه اروپا محدودیت ۰/۵ درصـدی را از سـال ۲۰۲۰ مـیلادی در آب هـای اروپا اجباری می کند. کشتی هایی که در آب های ECA فعالیت می کنند ملزم به اسـتفاده از سـوخت هـای کـم گـوگرد و یـا انجام اقدامات جایگزین به منظور کاهش انتشار گوگرد هستند. از جملـه اقـدامات جـایگزین اسـتفاده از دسـتگاه تصـفیه گـاز کوره(Scrubber)می باشد.

[1] Bosporus Straits/Sea of Marmara

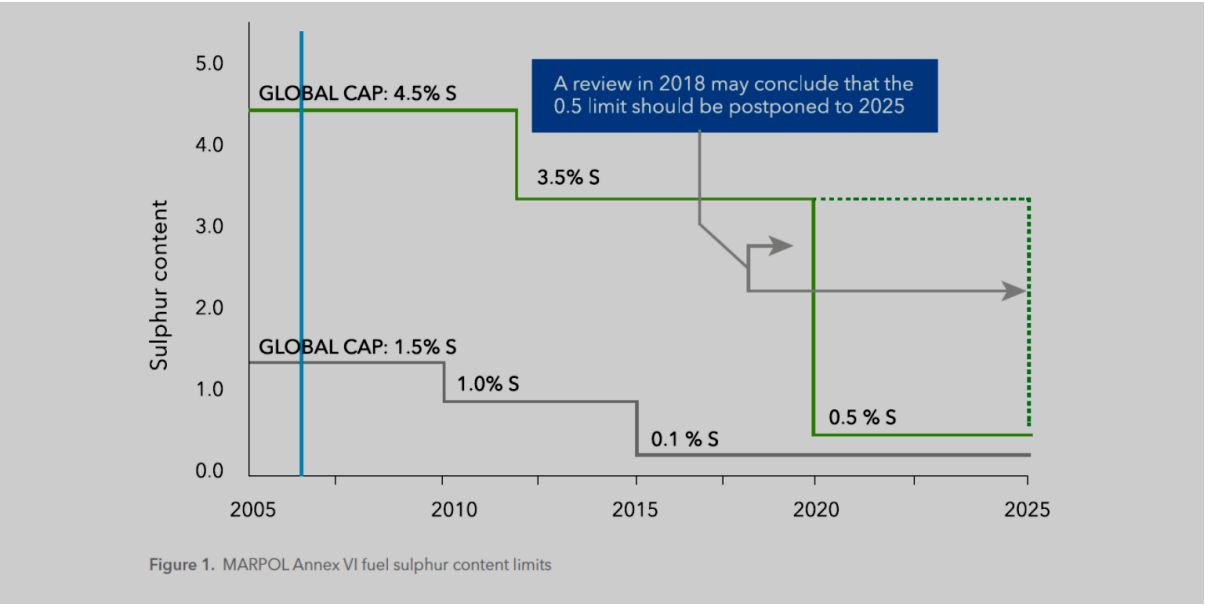


Figure 1. MARPOL Annex VI fuel sulphur content limits

تصویر۲- نقشه مناطق کنترل شده انتشار آلاینده

علاوه بر این اقدامات، کمیته حفاظت از محیط زیست دریایی(MEPC) بر سر استفاده از ساختار سه لایحه ای به اجماع رسیده است که به طور پیشرونده ای استاندارد های انتشار NO_x را از موتور های دریایی بسته به زمان نصب آن ها سخت تر می کند. لایحه سوم از سال ۲۰۱۶ میلادی فقط در آب های ECA آمریکای شمالی لازم الاجرا می شود. در خصوص انتشار

گازهای گلخانه ای دو سازوکار الزام آور معرفی شده است که هدف آن ها تامین استاندارد های بهره وری انرژی در کشتی ها است. این سازوکار ها عبارت اند از:

۱-شاخص بهره وری انرژی در طراحی(EEDI)برای کشتی های جدید

۲-برنامه مدیریت بهره وری انرژی کشتی(SEEMP)برای همه ی کشتی ها

شاخص EEDI یک سازوکار کارآمد است که سازه های جدید را ملزم به اجرای بهره وری انرژی در طراحی بسته به اندازه کشتی می کند. سازندگان و طراحان کشتی در انتخاب فناوری های مختلف برای ارضاء الزامات EEDI در طراحی یک کشتی آزاد هستند. برنامه مدیریت بهره وری انرژی کشتی(SEEMP) سازوکاری است که برای اپراتور های کشتی جهت افزایش بهره وری انرژی در عملیات کشتی طراحی شده است. این دو قانون برای همه ی کشتی های≥ ۴۰۰GT صدق می کند و از ژانویه سال ۲۰۱۳ میلادی به اجرا درآمده است. بحث و تبادل نظر در خصوص سایر قوانین همانند مانیتورینگ انتشار آلاینده ها، گزارش دهی و بازبینی وجود دارد ولی تاکنون تصمیمی گرفته نشده است. قیمت گذاری کربن به واسطه انتشار آلاینده های تجاری همچنان قانونی دور دست به نظر می رسد. تامین خواسته های قوانین در خصوص انتشار NO_x و SO_x از نظر فنی امکان پذیر است اما بسیار هزینه می برد. معرفی سیستم های تصفیه گاز خروجی همانند دستگاه تصفیه اکسید های گوگرد(SO_x Scrubber) و کاتالیزور مبتنی بر اوره(Urea-based catalyst) به طور قابل ملاحظه ای بر هزینه کشتی می افزاید. این سیستم ها علاوه بر نیاز به فضا و هزینه بالا، مصرف سوخت کشتی را ۳-۲٪ افزایش می دهند و در آن سو استفاده از سوخت های ارزان پر گوگرد را ممکن می سازند. بنابراین، سوخت هایی که توانایی کاهش انتشار آلاینده زیر سطح قوانین را دارند، می توانند جهت جایگزینی سوخت های HFO و MDO در آینده به کار روند.

الزامات برای کاهش مقدار گوگرد در سوخت قیمت آن را افزایش می دهد. این اثر پس از سال ۲۰۲۰ میلادی(یا ۲۰۲۵ بسته به زمان اجرایی شدن قوانین) بهتر خود را نمایان می کند، یعنی درست در زمانی که مقدار گوگرد موجود در سوخت می بایست ۰/۵٪ باشد که از سطح کنونی ECA نیز پایین تر است. معرفی سوخت های بدون گوگرد یک راه حل مناسب برای رشد و توسعه و حل این مشکل می باشد؛ مشروط به آن که این سوخت ها و فناوری های لازم برای آن ها در سطح قیمت های رقابتی ارائه شوند. مصرف سوخت در ECA به ازای هر سال ۵۰-۳۰ میلیون تن تخمین زده می شود و با احتمال افزایش این مناطق در آینده، پیش بینی می شود این مقدار افزایش یابد. این ارقام برای ارزیابی پتانسیل هر یک از سوخت هایی که در این گزارش جهت جایگزینی سوخت های نفتی ارائه می شوند، حائز اهمیت هستند.

دسترس پذیری و هزینه سوخت

تخمین مقدار نفت تولیدی در آینده بحث برانگیز است. به دلیل قیمت بالای نفت در سال های گذشته روش های جدید استخراج نفت از نظر اقتصادی امکان پذیر شده اند. از منابع غیر متداول مانند نفت شیل(Shale oil) و سنگ قیری (tar sand) استفاده می شود و این در حالی است که امکان دارد در آیند شاهد فشار فزاینده جهت افزایش فعالیت های نفت و گاز در مناطق قطبی باشیم. در سال های اخیر تولید نفت شیل در امریکا سبب تغییر شکل بازار انرژی آمریکای شمالی شده است. با وجود پتانسیل مناطق قطبی برای تولید نفت و گاز هنوز شفاف نیست که تولید جهانی نفت در آینده چه مقدار افزایش خواهد یافت. این وضعیت به دلیل هزینه بالا و شرایط سخت آب و هوایی به وجود آمده است. همچنین پیامد هر

حادثه ای در قطب می تواند شدید باشد. اطلاعات جامع در خصوص میزان و مکان ذخایر نفت جهان بسیار سخت احراز می شود زیرا بیشتر کشور های تولیدکننده نفت ادعا هایی می کنند که به آسانی نمی توان صحت و سقم آن را بررسی کرد. بی ثباتی سیاسی کشور های تامین کننده نفت و وابستگی زیاد جهانی به آن ها سبب اثر مضر بر امنیت سوخت می شود. این موضوع دلیل و محرک اصلی برای برخی کشور ها جهت توسعه فناوری های مختلف بوده است از جمله: استخراج و بهره گیری از منابع غیر متداول نظیر نفت و گاز شیل در آمریکا، سرمایه گذاری در توسعه و پیشرفت بیو سوخت ها مانند اتانول در برزیل و آمریکا و بیودیزل در اروپا.

چالش ها و موانع

صنعت کشتیرانی برای شناسایی توانایی های خود جهت کاهش انتشار آلاینده از طریق انرژی کم کربن تاکنون به طور قطعی هیچ اقدامی انجام نداده است. برای برخی مالکان، تامین سرمایه برای سرمایه گذاری در فناوری های به اثبات رسیده که عرض چند سال سرمایه را باز می گردانند، خود یک چالش است. با معرفی سوخت جدید به دلیل ناسازگاری ماشین آلات با آن، کشتی های موجود می بایست تجهیز سازی شوند که خود نیاز به سرمایه گذاری بلند مدت را آشکار می کند. برای مالکان پیشگامی که خطر سرمایه گذاری در راه حل های جدید فناوری را می پذیرند ، بروز مسائل فنی غیر منتظره اغلب سبب تاخیر های قابل توجهی می شود که خود نیاز به سرمایه اضافی را ایجاب می کند. درست در همین زمان، در طرف مقابل هزینه های سوخت رسانی برای یک بخش خاص کشتیرانی توسط اجاره کنندگان پرداخت شده است که انگیزه مالکان برای کشف سوخت جدید و یا انجام اقداماتی در راستای افزایش بازده سوخت را از بین می برد. قوانین جسته گریخته ی اجرایی توسط بدنه های مختلف دولت و کمبود استاندارد ها از عوامل کاهش اقدامات متناسب و هماهنگ هستند. سایر موانع در راستای معرفی سوخت جدید عبارت اند از: کمبود زیر ساخت های مناسب، همانند امکانات سوخت رسانی و زنجیره تامین و همچنین عدم قطعیت در زمینه دسترس پذیری بلند مدت سوخت. درست به همین دلایل است که مالکان کشتی با نبود زیر ساخت های مطمئن شروع به استفاده از سوخت جدید نمی کنند و تامین کنندگان انرژی در صورت عدم وجود مشتری زیر ساخت های گران را تامین مالی نمی کنند. از بین بردن این بن بست به تلاش های هماهنگ و گسترده صنعت و اقبال سیاسی نیاز دارد تا در توسعه زیرساخت های جدید سرمایه گذاری شود.

مروری بر سوخت های جایگزین بالقوه

موسسه رده بندی DNV GLدر حال بررسی و مطالعه بر روی سوخت های جایگزینی است که یا قبلا در صنعت کشتیرانی مورد استفاده قرار گرفته اند و یا این توانایی را دارند که در آینده مورد استفاده قرار گیرند. این سوخت ها عبارت اند از: LNG، LPG، متانول، اتانول، دی متیل اتر(DME)، سوخت های ترکیبی(Fischer-Tropsch)، بیو دیزل، بیو گاز، استفاده از الکتریسیته برای شارژ باتری و توقف در اسکله(cold ironing)،هیدروژن و سوخت هسته ای.

برای هر یک از سوخت ها اطلاعات زیر جهت بالابردن دانش مان در ارتباط با آن ها و پتانسیل آسیب رسانی آن ها در آینده جمع آوری شده است. این اطلاعات عبارت اند از:۱- ترکیب فیزیکی و شیمیایی سوخت ها ۲- تولید، دسترس پذیری و هزینه: {اطلاعاتی در خصوص روش های تولید، حجم تولید کنونی و قیمت آن، زیرساخت ها و پیش بینی برای آینده قابل دسترس است.} ۳- کاربرد ها و وضعیت کنونی: {کاربرد در بخش دریایی و سایر بخش ها، مروری بر فناوری های موتور و تانک های ذخیره} ۴- ملاحظات ایمنی۵- انتشار آلاینده و ملاحظات زیست محیطی.

انرژی های تجدید پذیر نظیر باد و خورشید توانایی کاهش انتشار کربن را دارند، اما عدم اطمینان در خصوص منابع تامین این انرژی ها و شرایط آب و هوایی فصلی در بعضی مسیر ها سبب می شود تا این انرژی ها راه حل مقبولی برای کشتیرانی تجاری نباشند. در مقابل کشتی ها از تجهیزاتی مانند بادبان، کایت بادی(wind kite) و صفحات خورشیدی به عنوان مکملی برای سیستم های فعلی تولید قدرت خود استفاده می کنند. انرژی هسته ای با وجود این که یک راه حل اثبات شده برای تولید نکردن گازهای گلخانه ای است اما همچنان خطرات بالایی جهت استفاده از آن برای رانش کشتی در نظر گرفته می شود.

در چهل سال آینده، احتمال وقوع ترکیب انرژی با تنوع زیاد وجود دارد. سوخت LNG در صورتی که زیرساخت های آن وجود داشته باشد، توانایی تبدیل شدن به سوخت انتخابی برای همه ی بخش های کشتیرانی را دارد. این در حالی است که بیوسوخت های مایع به تدریج جایگزین سوخت های نفتی خواهند شد. بسیار احتمال می رود که از برق شبکه برای شارژ باتری جهت عملیات کشتی در بنادر و همچنین رانش آن استفاده شود. الکتریسیته تجدید پذیر برای سلول های سوختی هیدروژن تولید خواهد کرد که این سلول های سوختی قدرت مورد نیاز ماشین های فرعی و یا رانش کشتی را تامین می کنند. اگر کاهش موثر مقدار انتشار گازهای گلخانه ای مد نظر باشد و سوخت جایگزین مناسب در دسترس نباشد؛ سیستم های ربایش کربن(carbon capture systems) می توانند به عنوان یک راه حل اساسی برای کاهش قابل توجه کربن دی اکسید(CO_2) مورد استفاده قرار گیرند. در این بخش سوخت هایی که بسیار احتمال می رود در آینده بخشی از ترکیب انرژی برای کشتیرانی باشند به طور مختصر ارائه می شوند.

LNG

مزایای زیست محیطی نظیر حذف انتشار SO_x، کاهش موثر انتشار مقادیر NO_x و ذرات ریز(particulate matter) و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای استفاده از LNG را به یک راه حل جذاب جهت برآورده ساختن الزامات کنونی انتشار آلاینده ها تبدیل کرده است. استفاده از LNG پرداختن به کاهش مقادیر CO_2 در آن حدی که برای جلوگیری از تغییرات آب و هوایی جهان مورد نیاز است را ممکن نمی سازد. در حال حاضر به استثنای کشتی های حمل گاز مایع(LNG carriers) حدود ۴۰ فروند کشتی با سوخت LNG وجود دارد که ساخت ۴۰ فروند کشتی جدید نیز مسجل شده است. سوخت رسانی به این کشتی ها در حال حاضر تنها در تعدادی مکان، از جمله اروپا، اینچون کره جنوبی و بوینس آیرس آرژانتین صورت می گیرد، اما شبکه سوخت رسانی جهانی در حال توسعه است. تعداد کشتی ها با سوخت LNG به سرعت در حال افزایش است و از این رو پروژه های زیرساختی طرح ریزی شده است و یا میان خطوط اصلی کشتیرانی به پیشنهاد رسیده است. موانع موجود بر سر راه معرفی LNG عبارت اند از: افزایش حجم تانکر های سوختی، کاهش بازده حمل بار کشتی و همچنین هزینه ی سرمایه بالا برای نصب سیستم های آن.

فناوری و پیشرفت های آینده

تولید موتور های گازی(gas engine) با توان تولید قدرت خروجی های متنوع، استفاده از LNG به عنوان سوخت را به یک راه حل اثبات شده و دسترس پذیر تبدیل کرده است. این موتور ها شامل موتور های گازسوز و دوگانه سوز دو و یا چهار زمانه می شوند. در موتور های دو زمانه مدرن نشت متان در مرحله احتراق عملا حذف شده است و کاهش بیشتر این نشت از موتور های چهار زمانه انتظار می رود. رونق اخیر در تولید گاز از منابع غیر متداول(شیل) سبب اثر چشمگیر بر بازار گاز به ویژه در آمریکای شمالی شده است. روش استخراج این نوع گاز به دلیل افزایش نگرانی های عمومی در خصوص کیفیت آب و

هوا و سلامت جامعه و محیط زیست، بسیار بحث برانگیز شده است؛ اما می توان استدلال کرد که تولید این نوع گاز در سایر نقاط جهان نیز برای LNG قابل اهمیت می باشد. انتظار رشد بسیار سریع مصرف LNG در ۱۰- ۵ سال آینده وجود دارد. این رشد مصرف ابتدا از کشتی های کوچکی شروع می شود که در مناطق دارای زیرساخت های مناسب سوخت رسانی فعالیت می کنند. در این مناطق همچنین قیمت LNG با HFO رقابتی شده است. سپس با دسترس پذیری زیرساخت های سوخت رسانی در سراسر جهان، کشتی های بزرگ اقیانوس پیما نیز به این جرگه می پیوندند.

برقی کردن و استفاده از انرژی تجدید پذیر در کشتی

پیشرفت های جدید در برقی کردن کشتی ها نوید بخش استفاده پر بازده تر از انرژی شده است. از برق تولید شده توسط انرژی های تجدید پذیر، در تامین قدرت مورد نیاز کشتی در زمان توقف در اسکله(cold ironing) و همچنین شارژ باتری کشتی های هیبریدی و تمام برقی استفاده می شود. افزایش نقش الکتریسیته در کشتی های بزرگ سبب بهبود مدیریت انرژی و بهره وری سوخت می شود. به طور مثال، انتقال از AC به شبکه DC روی کشتی به موتور اجازه می دهد تا در سرعت های مختلف عمل کرده و به کاهش اتلاف انرژی کمک کند؛ سایر مزایا عبارت اند از: افزایش قدرت (power redundancy) و کاهش صدا و ارتعاش. اگر انرژی تجدید پذیر نظیر باد و خورشید برای تولید برق در ساحل، به سهولت در دسترس نیست از نیروگاه های متداول جهت انجام این کار می توان بهره برد. هر چند در این نیروگاه ها، گازهای گلخانه ای و سایر آلاینده ها منتشر می شود، اما با استفاده از سیستم های تصفیه گاز خروجی و سیستم های ربایش و ذخیره کربن می توان انتشار آلاینده ها را کاهش داد. همچنین می توان از نیروگاه های هسته ای که در ساحل واقع شده اند و هیچ گونه انتشار آلاینده ندارند برای تولید برق استفاده کرد و شارژ باتری ها روی کشتی را انجام داد.

فناوری و پیشرفت های آینده

وسایل ذخیره انرژی بر روی کشتی با وجود خطراتی که استفاده آن ها در رانش کشتی ایجاد می کند اما برای بهینه سازی استفاده از انرژی در کشتی های هیبریدی مهم هستند. فناوری های مختلفی برای ذخیره انرژی وجود دارد. به طور مثال نیرو محرکه باتری برای کشتی های کوچک طراحی شده است و این در حالی است که سازندگان موتور برای کشتی های بزرگ بر سر راه حل باتری های هیبریدی تمرکز کرده اند. برای ایجاد فضای رقابتی میان کشتی با نیرو محرکه باتری و نوع متداول آن، نیاز است تا به چالش هایی در زمینه های ایمنی، دسترس پذیری مواد مورد استفاده و دوره عمر رسیدگی شود. سایر فناوری هایی که می توانند در آینده کشتیرانی نقش ایفا کنند عبارت اند از: فلایویل(fly wheel)، ابرخازن ها و وسایل ذخیره انرژی گرمایی. کشتی هایی که بارهای مختلف حمل می کنند نسبت به برقی شدن تمایل زیادی دارند. پس از سال ۲۰۲۰ میلادی انتظار می رود، کشتی های خدماتی فراساحل(offshore service vessels)، یدک کش های بندری و فری ها(ferries) با رشد قابل توجهی به سمت هیبریدی شدن حرکت کنند. همچنین ممکن است این فناوری برای جرثقیل های بندری و کشتی های فله بر به کار رود. با پیشرفت فناوری های ذخیره انرژی، پس از سال ۲۰۳۰ میلادی، امکان هیبریدی شدن برای بسیاری از کشتی ها فراهم می شود. کشتی های بزرگ اقیانوس پیما نیز انرژی مورد نیاز برای سیستم های فرعی، مانوردهی و عملیات خود در بنادر را توسط هیبرید تامین می کنند. این کار سبب کاهش انتشار آلاینده ها در مناطق مسکونی می شود.

بیو سوخت

بیو سوخت ها سه منبع اصلی دارند: محصولات خوراکی، محصولات غیر خوراکی(پسماند یا محصولات درو شده از زمین های حاشیه ای) و خزه دریایی(algae) که می تواند درآب رشد پیدا کرده و در تولید غذا هیچ نقشی نداشته باشد. بیو سوخت هایی که از گیاهان و یا ارگانیسم هایی که زود تجزیه می شوند نشات می گیرند؛ علاوه بر کاهش موثر انتشار گازهای گلخانه ای خطرات کمتری برای محیط زیست دریایی در رویداد هایی مشابه ریزش و نشت به وجود می آورند. بیو سوخت ها انعطاف پذیر هستند و با ترکیب شدن با سوخت های فسیلی، نیروی لازم برای موتور های احتراق داخلی را تامین می کنند. بیوگاز هایی که از پسماند ها به وجود می آیند، می توانند جایگزین LNG شوند.

فناوری و پیشرفت های آینده

بیو سوخت هایی که از پسماند ها به وجود می آیند مزایای بسیاری دارند، اما ایجاد امنیت برای تولید حجم مورد نیاز یک چالش اساسی در این زمینه است. زمین مورد نیاز برای تولید ۳۰۰ میلیون TOE(Tonnes of Oil Equivalent) بیودیزل بر اساس فناوری های موجود(نسل اول و دوم بیو سوخت ها)کمی بیشتر از ۵٪ زمین های کشاورزی حال حاضر در جهان است. بیو سوخت های خزه ای بسیار پر بازده به نظر می رسند و فرایند تولید شان به دلیل مصرف CO_2 دارای مزایای افزوده است، اما شناسایی نژاد خزه ای که مناسب برای تولید در مقادیر زیاد باشد به تلاش های فراوان نیاز دارد. نگرانی هایی در خصوص پایداری بیو سوخت ها در صورت ذخیره بلند مدت و مسائلی همچون خوردگی وجود دارد که باید به آن ها رسیدگی شود. آزمایش بیو سوخت ها در شناور های بزرگ قبلا شروع شده و نتایج مقدماتی دلگرم کننده است. پیشرفت و توسعه بیو سوخت های نشات گرفته از پسماند و خزه به قیمت نفت و گاز بستگی خواهد داشت. در نتیجه بیو سوخت ها در دهه ی آینده نفوذ اندکی در بازار سوخت های دریایی خواهند داشت. از سال ۲۰۳۰ مشروط به آن که در مقادیر قابل توجه و قیمت جذاب تولید پایدار داشته باشند؛ نقش بزرگتری در بازار سوخت های دریایی ایفا خواهند کرد.

هیدروژن

برای تولید هیدروژن مورد نیاز سلول های سوختی کشتی می توان از انرژی تجدید پذیر استفاده کرد. این راه حل به تقابل با چالش های وابسته به طبیعت غیر دائم بسیاری از منابع انرژی تجدید پذیر کمک می کند. هیدروژن کوچک ترین و سبک ترین مولکول گازی است و بهترین نسبت، انرژی به وزن ذخیره شده را در میان همه ی سوخت ها دارا است. هیدروژن به عنوان سوخت بسیار سخت و پر هزینه تولید، نگهداری و حمل و نقل می شود. هیدروژن فشرده شده چگالی انرژی کمی دارد و به فضایی در حدود ۶ تا ۷ برابر سوخت HFO نیاز دارد. هیدروژن مایع به محفظه تبرید در دمای بسیار کم ۲۵۳- درجه سانتیگراد و همچنین تانک های سوختی با عایق کاری عالی نیاز دارد که حتی در این شرایط نیز همراه با از دست دادن مقدار زیاد انرژی است.

تکنولوژی و پیشرفت های آینده

رایج ترین وسیله برای تبدیل انرژی شیمیایی هیدروژن به الکتریسیته، سلول سوختی است. هنگامی که یک اصلاح کننده سوخت(fuel reformer) در دسترس باشد برای تامین نیروی سلول سوختی می توان از گاز طبیعی و یا متانول استفاده کرد. اگرچه تجربیات عملی نشان داده است که سلول های سوختی می توانند به خوبی در محیط زیست دریایی به کار روند اما فعالیت های تحقیق و توسعه بیشتری قبل از استفاده از این سلول ها جهت تکمیل فناوری های موجود برای تامین قدرت کشتی مورد نیاز است.

چالش های این فناوری عبارت اند از: هزینه های بالای سرمایه گذاری، ابعاد و وزن تاسیسات سلول های سوختی و دوره عمر مورد انتظار آن ها. برای تامین امنیت استفاده از هیدروژن بر روی کشتی می بایست ملاحظات خاصی به کار بسته شود. پیشرفت قابل توجه فناوری و کاهش هزینه ها از عوامل رقابتی شدن سلول های سوختی برای کشتی ها هستند. تجاری سازی های اخیر در زمینه کاربرد سلول های سوختی سبب می شود تا بتوان به کاهش هزینه ها در آینده امید داشت. برای کاربرد در کشتی تا زمانی که مسئولیت اصلی آن حمل بار است کاهش ابعاد و وزن سلول های سوختی بی اندازه اهمیت دارد. سلول های سوختی در آینده بخشی از نیروی مورد نیاز کشتی را تامین خواهند کرد. در آینده نزدیک این امکان وجود دارد تا شاهد موفقیت گوشه ای از کاربرد های آن در بعضی کشتی های خاص به ویژه در ترکیب با سیستم باتری هیبریدی باشیم.

سایر سوخت های مایع یا گازی جایگزین

تعدادی از سوخت های مایع می توانند به عنوان جایگزین سوخت های نفتی در موتور های دوگانه سوز به کار گرفته شوند. به طور مثال، مقدار کمی از نفت کوره دریایی(MFO) به عنوان شروع کننده فرایند احتراق، جرقه زده و در پی آن سوخت جایگزین انتخابی جهت تکمیل این فرایند مصرف می شود. تعدادی از سوخت هایی که می توانند مورد استفاده قرار گیرند عبارت اند از: LPG(مخلوطی از پروپان و بوتان)، متانول، اتانول و دی متیل اتر(DME). بیشتر این سوخت ها انتشار NO_x و ذرات ریز را کاهش داده و عاری از گوگرد هستند و قوانین ECA را اجابت می کنند.

فناوری و پیشرفت های آینده

تولید کنندگان موتور های دریایی موتور های دوگانه سوزی را پیشنهاد می کنند که توانایی استفاده از هر یک از سوخت های ذکر شده در بالا را دارد. با این وجود، طراحی ویژه مخازن سوخت و لوله کشی (piping) بر حسب نوع سوخت جایگزین مورد نیاز است. در جولای سال ۲۰۱۳ میلادی، موسسه رده بندی DNV قوانینی در خصوص استفاده از سوخت های مایع با نقطه اشتعال پایین(LFL) همانند متانول به عنوان سوخت مخزنی وضع کرد. افزایش رغبت به استفاده از متانول به عنوان سوخت کشتی در کشور سوئد در پاسخ به کاهش انتشار NO_x و SO_x شکل گرفته است. متانول نقطه اشتعال نسبتا پایینی دارد. در هنگام تماس با پوست، استنشاق و یا خورده شدن سمی است و بخار آن از هوا چگال تر است. در نتیجه موسسه رده بندی DNV GL موانع ایمنی بیشتری را الزام کرده است. ابعاد مختلف این الزامات عبارت اند از: مواد، چیدمان، ایمنی در برابر آتش سوزی، سیستم های الکتریکی، کنترل و مانیتورینگ، اجزا ماشین آلات و ملاحظات مربوط به برخی قسمت های خاص کشتی.

دسترس پذیری محدود همه ی این نوع سوخت ها سبب می شود تا در بخش کشتیرانی اقیانوسی در میان مدت و یا نزدیکتر به کار گرفته نشوند. اما توانایی تبدیل شدن به بخش مهمی از ترکیب سوخت در بازار های محلی را دارند.

سیستم رانش هسته ای

انرژی هسته ای از فناوری های بحث برانگیزی است که بسته به پیشرفت فناوری و مقبولیت عام قابلیت استفاده در کشتیرانی را دارد. مواد هسته ای همانند اورانیوم ، پلوتونیم و توریم توسط سازمان بین المللی انرژی اتمی(IAEA) مشخص می شوند. برای پرهیز از ساخت اسلحه از مواد اتمی، کشتی های هسته ای از مواد هسته ای با غنای کم استفاده می کنند. استفاده از منابع محدود سبب می شود تا انرژی هسته ای به عنوان انرژی جایگزین پایدار در نظر گرفته **نشود**. عدم انتشار گازهای گلخانه ای به استثنای انتشار آلاینده در زمان جابجایی مواد هسته ای از مزیت های استفاده از انرژی هسته ای است. انرژی هسته ای برای رانش کشتی های خیلی بزرگ یا کشتی هایی که برای مدت زمان طولانی به خود متکی هستند گزینه ی مناسبی است. ناوگان یخ شکن روسیه که در دریای شمال فعالیت می کند یک مثال از وفق شدن با سیستم رانش هسته ای است. امروزه علاوه بر آن چندین ناو جنگی با سیستم رانش هسته ای در حال فعالیت هستند. تعداد کشتی های تجاری هسته ای بسیار اندک است و همگی آن ها موفقیت تجاری نداشته اند. الکتریسیته ی تولیدی توسط نیروگاه های هسته ای ساحلی می تواند در موارد زیر استفاده شود:۱- تامین برق کشتی در زمان توقف در اسکله(cold ironing) ۲- شارژ باتری کشتی های تمام برقی ۳- تامین انرژی لازم جهت تولید سایر سوخت ها مانند بیو سوخت ها یا هیدروژن.

فناوری و پیشرفت های آینده

برای مطالعه همه جانبه راکتور های هسته ای که در محدوده قدرت ۳۰ تا ۲۰۰ مگاوات قرار دارند و بیش از ۱۰ سال می توانند خدمات ارائه دهند؛ چندین روش وجود دارد. ذخیره امن و بازیافت سوخت های مصرف شده مانع مهمی است که می بایست برآن غلبه کرد. استفاده از توریم(به جای اورانیوم و پلوتونیم که امروزه استفاده می شوند) به عنوان سوخت هسته ای مزایایی به همراه دارد؛ از جمله: دسترس پذیری و بازده بیشتر و کاهش تولید پسماند های هسته ای. توریم اکسید در ترکیب با ۱۰٪ پلوتونیم اکسید یک روش برای بازیافت پلوتونیم است. ترکیب اکسید های توریم و پلوتونیم سبب افزایش نقطه ذوب و رسانش گرمایی شده و ایمنی راکتور را بالا می برد. در کشور نروژ یک راکتور با سوخت توریم به منظور بررسی عملی بودن به کارگیری این نوع فناوری در حال آزمایش است. انرژی هسته ای یکی از بحث برانگیز ترین فناوری های تولید انرژی و رانش است. با وجود استاندارد های بالای ایمنی و تعداد کم حوادث اما همچنان وقوع یک حادثه منجر به فاجعه می شود. حوادثی نظیر تری مایل آیلند[1](۱۹۷۹)، چرنوبیل(۱۹۸۶) و فوکوشیما(۲۰۱۱) در شکل گیری نظرات مردم و تصمیمات سیاسی تاثیر داشته اند. برای مثال پس از حادثه فوکوشیما، کشور آلمان به سرعت تغییر جهت داده و در پی کاهش شدید نیروگاه های هسته ای خود برآمد. با توجه به نظرات مخالف مردم نسبت به انرژی هسته ای در بسیاری از کشور ها و ترس از پیامد های احتمالی یک حادثه، بسیار بعید به نظر می رسد که در ۱۰ تا ۲۰ سال آینده، رانش هسته ای در کشتیرانی به کار گرفته شود. با پیشرفت های صورت گرفته در کشور چین تولید انرژی هسته ای همچنان در سطح کنونی باقی خواهد ماند. استفاده از انرژی هسته ای در کشتیرانی و افزایش تولید آن، مشروط به اینکه مقبولیت اجتماعی آن افزایش یابد و همچنین سایر تلاش ها جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه ای موثر واقع نشود، پس از سال ۲۰۳۰ میلادی رخ خواهد داد.

---

[1] نخستین فاجعه اتمی جهان و بدترین حادثه اتمی آمریکا واقع در ایالت پنسیلوانیا

ارزیابی منبع تا پروانه(WTP)برای سوخت های جایگزین

سوخت های جایگزین حضور کربن در کشتیرانی را به طور عمده ای کاهش می دهند. برای بررسی همه جانبه این سوخت ها به داده های کمی نیاز است. این امر توسط ارزیابی چرخه عمر(LCA)سوخت های دریایی صورت گرفته و امکان مقایسه بین سوخت های مختلف در زنجیره تامین انرژی فراهم می شود. نتایج LCA برای بررسی اثرات زیست محیطی هر سوخت قابل استفاده است. این ارزیابی غالبا پیچیده است و طرح انتخابی جهت انجام آن بر داده های خروجی تاثیر می گذارد. هرچند ارزیابی چرخه عمر سوخت های جایگزین در خودرو سال هاست که صورت می گیرد و به مطالعه منبع تا چرخ(WTW)معروف است، اما این مطالعه در بخش حمل و نقل دریایی نسبتا جدید است و به ارزیابی منبع تا پروانه(WTP) معروف است. جدید بودن این مطالعه بیشتر به خاطر تمرکز اخیر بر سر انتشار گازهای گلخانه ای از بخش حمل و نقل دریایی و قوانین محدود کننده در خصوص کیفیت هوا است. مطالعات WTP توسط موسسه TNO و دانشگاه صنعتی چالمر برای سوخت های دریایی LNG، LBG، HFO، MGO، GTLFT دیزل، MDO و EN590 هر کدام جداگانه صورت گرفته است. آنالیز انرژی کل و انتشار آلاینده از سیستم های مدل دریایی نیز توسط انستیتو تکنولوژی روچستر برای سوخت های دیزل متداول، نفت باقی مانده(residual oil)، دیزل کم گوگرد، CNG، GTLFT دیزل و بیو دیزل ساخته شده از دانه سویا انجام گرفته است. نتایج این مطالعات نشان می دهد بسته به نوع سوخت انتخابی امکان کاهش انتشار گازهای گلخانه ای از منظر چرخه عمر وجود دارد. این مطالعات پتانسیل صدمات زیست محیطی سوخت های جایگزین را از چاه نفت و گاز(یا مزرعه)تا پروانه کشتی بررسی می کنند.

محدودیت های سیستم و مطالعه سوخت ها

محدودیت های سیستم شامل چرخه تولید سوخت و استفاده از آن در روی کشتی می شود. سوخت های در نظر گرفته شده در این مطالعه و طرح عملیاتی هر کدام از آن ها در جدول یک آمده است. فرض های زیر نیز وجود دارند: ۱- نقطه شروع سیستم های فنی و حقیقی استخراج هیدروکربن و مواد خام است و مرحله پایانی احتراق سوخت است. ۲- از آنجا که مرز های جغرافیایی سیستم بسته به زنجیره تامین سوخت تفاوت می کند. پس در این مطالعات فرض بر این است که سوخت در مکان های دور دست استخراج شده است و هزاران کیلومتر تا بازار های مربوطه حمل شده است. ۳- با توجه به فناوری های موجود، ترتیب زمانی وقوع طرح های عملیاتی کوتاه مدت در نظر گرفته شده است.

در این مطالعات صدمات زیست محیطی سوخت های جایگزین موجود ارزیابی می شود و از طرح های عملیاتی بعید و فناوری هایی که در مراحل اولیه خود به سر می برند پرهیز شده است. در این آنالیز فقط انتشار گازهای گلخانه ای(هم ارز با مقدار CO_2)جمع آوری شده است. انتشار گازهای گلخانه ای مختلف می تواند بر حسب مقدار CO_2 معادل آورده شود. در این مطالعه ارزیابی چرخه عمر به پتانسیل گرمایش زمین در افق زمانی ۱۰۰ ساله محدود شده است.[جدول ۲]

در این گزارش انتشار گازهای گلخانه ای مربوط به احتراق سوخت های تجدید پذیر به حساب نیامده است. این امر از جمله استاندارد هایی است که در سایر مطالعات مشابه نیز اعمال می شود.

سوخت های مورد مطالعه	طرح های عملیاتی و محدودیت های سیستم[1]
HFO,MGO and low sulphur diesel	نفت خام از مناطق نفت خیز به اروپا حمل شده است(۸۰۰۰ کیلومتر) و سپس در آنجا پالایش و توزیع شده است.
LNG	▪ LNG در قطر تولید شده و از طریق LNG carrier به اروپا صادر شده است. ▪ تولید آن توسط امکانات فرا ساحلی FLNG استرالیا و حمل ۱۰۰۰۰کیلومتری آن توسط LNG carrier به بازار مصرفی.
CNG	گاز طبیعی در حدود ۷۰۰۰ کیلومتر از روسیه به اروپا لوله کشی شده است و در آنجا با استفاده از ترکیب برق اتحادیه اروپا فشرده شده است.
LPG	LPG به عنوان محصول جانبی در تولید گاز طبیعی است و از طریق gas carrier به اروپا حمل شده است.(طول مسیر ۱۰۰۰۰کیلومتر است.)
Methanol	▪ متانول در نزدیک یک حوزه گاز طبیعی تولید شده و از طریق شناور های حمل متانول به اروپا حمل شده است.(طول مسیر ۱۰۰۰۰کیلومتر است.) ▪ متانول از شربت سیاه تولید شده و به اروپا حمل شده است.
Ethanol	اتانول از نیشکر در برزیل تولید شده و در حدود ۱۰ هزار کیلومتر تا اروپا حمل شده است.
DME	▪ DME در حوزه گاز طبیعی در مکان های دور دست تولید شده به اروپا از طریق gas carrier حمل شده است. ▪ DME از تبخیر شدگی شربت سیاه در نزدیکیpulp-mill تولید و به اروپا حمل می شود.
FT diesel	نیروگاه FT diesel در نزدیکی یک حوزه گاز طبیعی در مناطق دور دست و حمل آن به بازار توسط فراورده بر ها
Biodiesel	تولید روغن کلزا و بیو دیزل در خود اروپا
Raw Vegetable Oil	تولید روغن کلزا در اروپا و استفاده مستقیم به عنوان سوخت
Liquefied Biogas	تولید بیوگاز از پسماند های شهری در اروپا و مایع سازی آن در همان محل
Nuclear propulsion	تهیه سوخت هسته ای(اورانیوم) و استفاده از آن در روی کشتی
Liquid Hydrogen	▪ تولید هیدروژن مایع توسط انرژی تجدید پذیر و توزیع آن در محل ▪ تولید هیدروژن مایع از تبدیل و اصلاح گاز طبیعی روسیه

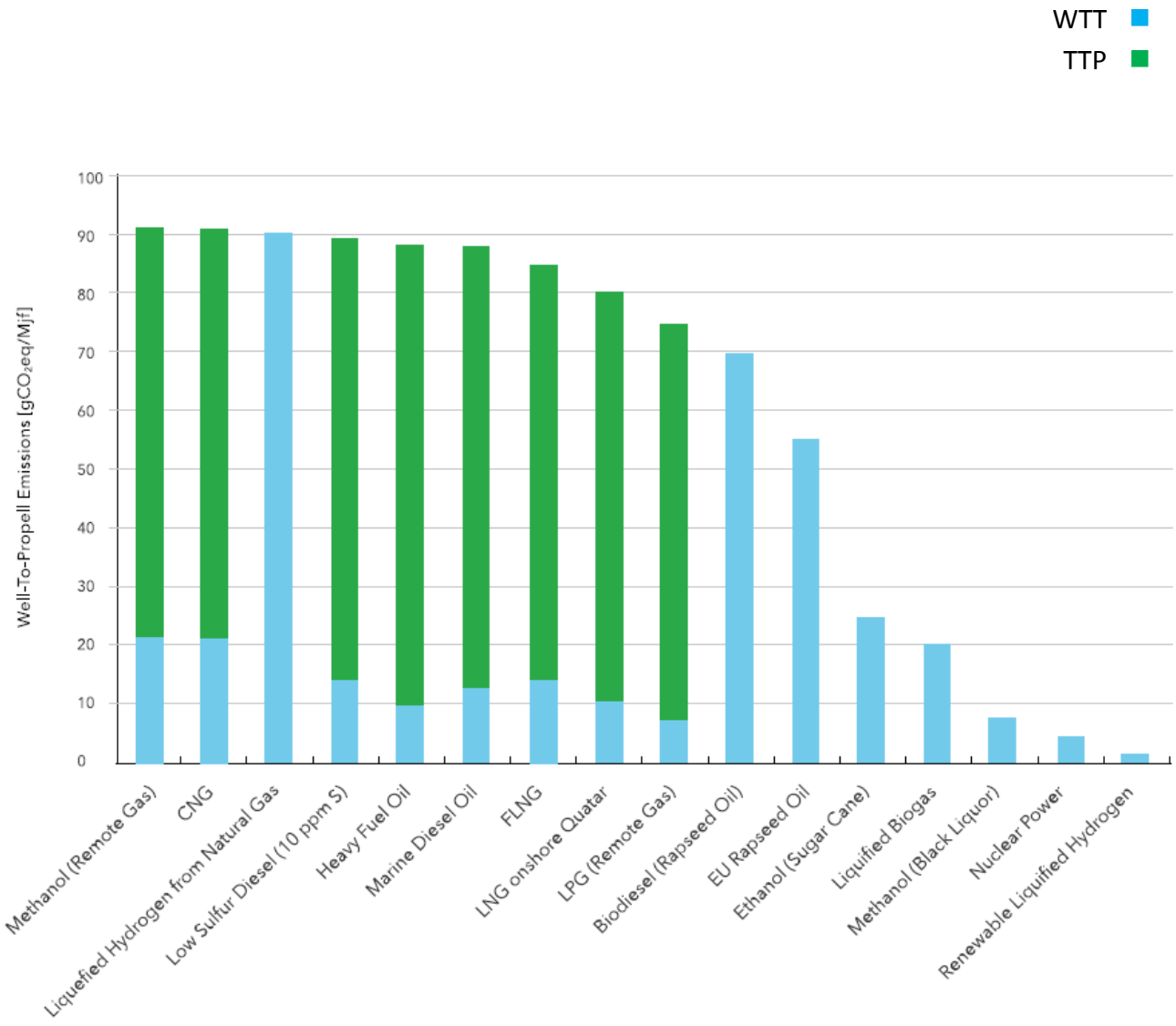
جدول۱- سوخت های مورد مطالعه و طرح های عملیاتی آن ها

انتشار آلاینده	پتانسیل گرمایش زمین در محدوده های زمانی مختلف		
	۲۰ سال	۱۰۰ سال	۵۰۰ سال
CO_2	۱	۱	۱
CH_4	۷۲	۲۵	۷/۶
N_2O	۲۸۹	۲۹۸	۱۵۳

جدول۲- پتانسیل گرمایش زمین توسط گازهای گلخانه ای در نظر گرفته شده در این گزارش به نسبت CO_2

[1] اکثر مسیر های کشتیرانی در حدود ۱۰۰۰۰ کیلومتر در نظر گرفته شده اند؛ مگر خلاف آن ذکر شده باشد.

نتایج ارزیابی های منبع تا مخزن(WTT[1]) و مخزن تا پروانه(TTP[2]) برای انتشار گازهای گلخانه ای برحسب گرم CO_2 بـه ازای هر یک مگاژول سوخت؛ برای سوخت های جایگزین مختلف در نمودار زیر آمده است. برای سوخت LNG محاسـبات بـا فـرض یک موتور چهار زمانه دوگانه سوز صورت گرفته است که نشت متان از آن سـبب کـاهش مزایـای مربـوط بـه انتشـار گازهـای گلخانه ای می شود. با استفاده از موتورهای دو زمانه جدید نشت متان به کلـی از بـین مـی رود و انتشـار گازهـای گلخانـه ای کاهش می یابد. بعضی از سوخت های جایگزین از نظر انتشار گازهای گلخانه ای جذاب هستند اما باید هزینه های مربـوط بـه آن ها را در شرایط فعلی قیمت های بازار در نظر داشت. بسیاری از سوخت های جایگزین از نظر قیمت با سوخت هـای دیـزل کم گوگرد قابل مقایسه هستند. LNG جذاب ترین سوخت از نظر قیمـت معقـول اسـت امـا نبایـد از هزینـه هـای مربـوط بـه تجهیز سازی کشتی به مخزن و موتور LNG غافل شد.



نمودار۱- نتایج آنالیز WTP برای سوخت های جایگزین در خصوص انتشار گازهای گلخانه ای

[1] Well-To-Tank
[2] Tank-To-Propeller

عدم قطعیت

دلایل زیادی برای عدم قطعیت در خصوص هر یک از سوخت ها وجود دارد. این ابهامات از تفاوت در محدودیت های مرزی(تولید، احتراق و استفاده در روی کشتی) گرفته تا تفاوت در زنجیره تامین(روش های مختلف تولید، حمل و نقل و توزیع) سرچشمه می گیرند. بعضی عدم قطعیت ها در خصوص آنالیز WTT در زیر گردآوری شده است.

- برای سوخت های نشات گرفته از روغن کلزا، انتشار گازهای گلخانه ای به ویژه نیتروژن دی اکسید در مرحله تولید دانه حکم فرما است. محصول کلزا به کود های شیمیایی نیتروژنی به وفور نیاز دارد و همین امر انتشار گازهای گلخانه ای را بسیار مبهم می کند و سبب نوسان ٪ ۷- تا ٪ ۴۳+ در آنالیز WTT می شود.
- برای مواد خام چوبی، کود و انرژی مورد نیاز کمتر است و به همین سبب نوسان انتشار آلاینده در آنالیز WTT برای DME نشات گرفته از شربت سیاه(black liquor) به ٪ ۵- کاهش می یابد.
- در فرایند های نفت و گاز اگر الکتریسیته در محل تولید شود همانند فرایند مایع سازی، داده های فرایند بهتر جمع آوری شده و باعث عدم قطعیت زیاد نمی شود.
- در مورد فناوری های آینده همانند فناوری GTL عدم قطعیت در خصوص انتشار کل گازهای گلخانه ای در محدوده ٪۱۰- تا ٪ ۱۵+ می باشد.

ابهامات وابسته به احتراق(آنالیز TTP)سوخت های جایگزین کم می باشد. با این وجود استفاده از موتور های دو یا چهار زمانه سبب تغییر در نتایج نهایی می شود. علاوه بر آن استفاده از سیستم های انتقال قدرت و پروفایل های اجرایی مختلف شامل سیستم های هیبریدی، نوسان بیشتری در نتایج ایجاد می کند.

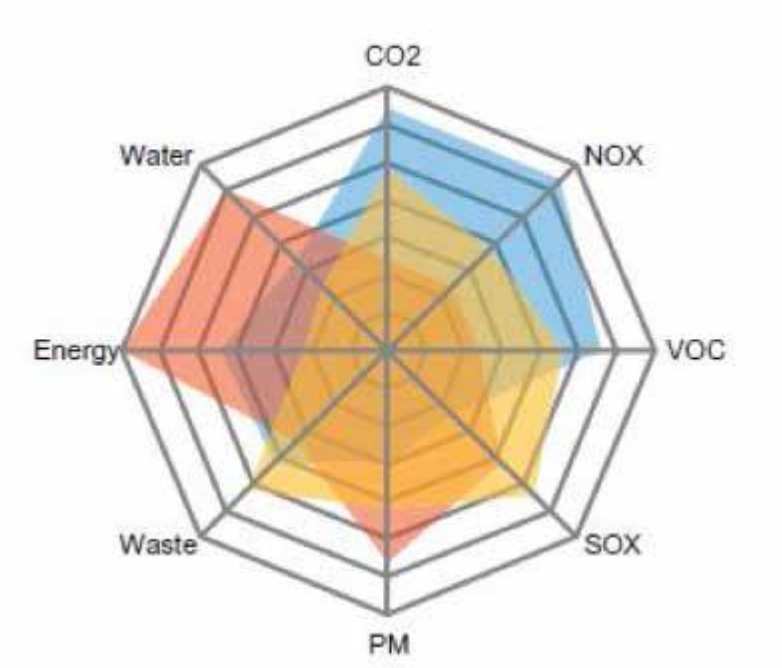
نگاه کلی

با در نظر گرفتن تجهیزات مورد نیاز برای تولید و استفاده از سوخت ها به همراه ملاحظات آن ها در ارزیابی چرخه عمر یک مقایسه کلی تر میان سوخت ها صورت می گیرد. یک مثال از این موضوع، ارزیابی زیست محیطی تولید و از بین بردن یک سلول سوختی در مقایسه با یک موتور احتراق داخلی است. تعداد کمی از این دست مقایسه ها صورت پذیرفته است(برای نمونه Reenaas در سال ۲۰۰۵ میلادی و Alkaner و Zhou در سال ۲۰۰۶). با وجود جدید بودن فناوری سلول های سوختی و کم بودن حجم تولید، ارزیابی LCA آن ها در مقایسه با موتور های احتراق داخلی نشان می دهد که سلول های سوختی از نقطه نظر انتشار گازهای گلخانه ای می توانند با این نوع موتور ها رقابت کنند.

برای انجام یک ارزیابی کلی تر نیاز است تا انتشار سایر آلاینده ها نظیر NO_x، SO_x و PM و همچنین سایر اثرات جانبی استفاده از سوخت های جایگزین نظیر استفاده از زمین و تغییر کاربری آن و استفاده از کود های شیمیایی در نظر گرفته شود. یک روش برای انجام LCA که از چند شاخص تشکیل شده است توسط(Vanem et al,2012) و(Roskilly et al ,2010) توسعه یافته است. این روش مفهوم LCA جامع را ارائه می کند که در آن یکپارچگی طراحی مبتنی بر خطر (risk-based design) و طراحی سازگار با محیط زیست (ecodesign) تسهیل می شود. برای ایجاد کارایی بهتر فرض بر این شده است که سایر شاخص ها از ارزیابی های دیگر به صورت پول در آورده شده اند. ابعاد شاخص های وابسته به طراحی

شکل ۳- نمودار عنکبوتی به عنوان راه حلی جهت نمایش نتایج LCA

کشـــتی مشـــخص شـــده انـــد و مقـــادیر حقیقـــی جهت به صـورت پـول در آوردن سـایر شـاخص هـا پیشنهاد شده اند.(یعنی همان شـاخص هـا بـر یـک مخرج مشترک تقسیم شده اند.) یـک مثـال از ایـن روش در تصویر ۳ آمده است.



نگرانـی مهـم در خصـوص سـوخت هـای جـایگزین مربوط به دسترس پـذیری و امنیـت عرضـه آن هـا است. مطابق با گزارش چشم انـداز انـرژی جهـان از اداره کل اطلاعات انـرژی آمریکـا (US EIA) ۲۵۰۰ میلیون تـن نفـت در بخـش حمـل و نقـل در حـال استفاده بوده و مابقی آن در تولیـد انـرژی و صـنایع پتروشیمی در حال استفاده است. از جدول ۳ کـاملا مشهود است که بسیاری از سوخت هـای جـایگزین در حجم کافی جهت استفاده گسترده در کشـتیرانی تولید نمی شوند. بنابراین تا زمانی کـه عرضـه بلنـد مـدت آن هـا تضـمین نشـود، اسـتفاده از آن هـا بـه بـازار هـای محلـی و مسافت های کوتاه دریایی محدود خواهد شد. مزیت این امر، آزمایش سوخت های جایگزین در کشتی های کوچک و با هزینـه نه چندان گزاف است. برای مثال شرکت Stena Line برنامه ای جهت استفاده از سوخت متانول در فـری هـای خـود کـه در مناطق نزدیک سوئد فعالیت می کنند دارد. با توجه به موارد ذکر شده، **اگر زیرساخت های عرضه جهانی وجـود نداشـته باشد هیچ یک از سوخت های جایگزین معرفی شده در کشتی های اقیانوس پیما به کار گرفته نمی شوند.**

نوع سوخت	مصـرف کـل ۲۰۱۰(میلیـون TOE بـه ازای هر سال)	مصرف در بخـش حمـل و نقـل دریـایی (میلیون TOE به ازای هر سال)
Oil	۴۰۲۸	»330 HFO/MDO: »280/50
Natural Gas	۲۸۵۵ (مصرف LNG برابر با۲۸۰-۲۵۰)	خیلی کم(تقریبا ۴۰ فرونـد کشـتی در سال ۲۰۱۳ میلادی)
LPG	۲۷۵	۰
Methanol	۲۳	۰
Ethanol	۵۸	۰
DME	» ۳-۵	۰
Fischer-Tropsch	»۱۵	۰
Biodiesel	۱۸-۲۰	۰
Liquefied Biogas	خیلی کم	۰
Nuclear (Uranium)	۶۲۶	خیلی کم
Hydrogen	خیلی کم	۰
Rapeseed Oil	۵	۰

جدول ۳- مصرف جهانی سوخت های مختلف در سال ۲۰۱۰

چشم انداز آینده

معرفی منابع انرژی جایگزین با رشد فناوری و فراهم شدن زیرساخت ها ابتدا با سرعت خیلی کم شروع می شود. علاوه بـر آن، بسیار احتمال می رود که این معرفی ابتدا در مناطقی رخ دهد که عرضه بلند مدت سوخت در آن هـا تضـمین شـده باشـد. بـا توجه به ابهامات موجود در خصوص توسعه زیرساخت های مناسب حاملان جدید انرژی ابتدا در کشتی هایی استفاده خواهنـد شد که مسافت های کوتاه دریایی را می پیمایند. با رشد فناوری و توسعه زیرساخت ها این سوخت ها در کشتی هـای بزرگتـر استفاده خواهند شد تا سرانجام با فراهم شدن زیرساخت های جهانی در کشتی های اقیانوس پیما به کار گرفته شوند. در حـال حاضر اولین، محتمل ترین و اصلی ترین سوخت جهت جایگزینی HFO برای کشتی هـایی کـه پـس از سـال ۲۰۲۰ مـیلادی ساخته می شوند، LNG می باشد. افزایش قیمت سوخت، توسعه فناوری، قوانین و زیرساخت ها و افزایش دسترس پذیری گـاز از عواملی خواهند بود که سبب استفاده از LNG در کشتی ها خواهند شد. استفاده از باتری جهـت ملحـق شـدن بـه سیسـتم رانش و پاسخ به تقاضای قدرت مورد نیاز ماشین های فرعی، نوید بخش یک منبع انرژی کم کربن خواهد بود. کشتی هایی کـه عملیات های پر تکرار همانند تثبیت دینامیکی موقعیت و مانور دارند از باتری با آرایش هیبریـدی بهـره خواهنـد بـرد. وسـایل ذخیره انرژی در ترکیب با سیستم های بازیابی حرارت اتلافی به بهینه سازی مصرف انرژی در روی کشتی کمک خواهند کـرد. و سرانجام، استفاده از برق بندر در هنگام توقف کشتی در اسکله(cold ironing) به یک روش استاندارد در بسـیاری از بنـادر جهان تبدیل خواهد شد.

سرعت توسعه سایر سوخت های جایگزین به ویژه بیو سوخت هایی که از پسماند های دسترس پذیر محلی به وجود آمـده انـد شتاب خواهد گرفت و خیلی زود به عرصه رقابت با LNG و سایر سوخت های نفتی خواهد آمد. پـس از سـال ۲۰۳۰ مـیلادی، احتمال می رود که در بخش های مختلف جهان بیو سوخت های متمایزی وجود داشته باشد. اسـتفاده از بیـو سـوخت هـا در مسافت های بلند دریایی زمانی ممکن می شود که این سوخت ها در مقادیر زیاد و قیمت های رقابتی در سراسر جهـان تولیـد شوند. استفاده دریایی از انرژی های تجدید پذیر به روند توسعه خود ادامه خواهد داد، اما تاثیر قابل توجه آن بـر انتشـار کـربن هنوز شفاف نیست. انرژی هسته ای نیز به دلایلی که ذکر شد انتظار نمی رود که نقش عمده ای در کاهش انتشـار کـربن ایفـا کند. با افزایش اثرات مخرب تغییرات آب و هوایی اگر نیاز به کاهش انتشار گازهای گلخانه ای بـه طـور قابـل تـوجهی افـزایش یابد، این فناوری ها نقش بیشتری ایفا خواهند کرد.

راه های بسیاری برای توسعه پایدار کشتیرانی وجود دارد اما موانع مهمی نیز بر سر راه فناوری است. در آینده با توجه به نقـش مهم سوخت هایی نظیر LNG، بیو سوخت ها، الکتریسیته تجدید پذیر و شاید هیدروژن شاهد ترکیب هـای سـوختی متنـوعی خواهیم بود. برقی کردن و ذخیره انرژی نیز ما را قادر به استفاده از منابع گسترده انرژی می سازد. انرژی تجدید پذیر تولیـدی نیز می تواند از طریق باتری یا هیدروژن برای استفاده در کشتی ذخیره شود. در کنار این موارد، قوانین IMO و استاندارد های سازمان جهانی استاندارد به توسعه قوانین و دستورالعمل های توصیه ای خواهند پرداخت تا استفاده از این فناوری ها در آینده ایمن باشد. برای رسیدن به اهداف ذکر شده، نقش موسسات رده بندی بسیار تعیین کننده است. کـاربرد فنـاوری هـای جدیـد شرایط ناخوشایندی را برای مالکان کشتی ایجاد می کند. برای تامین خاطر مالکان، نیاز به احراز صلاحیت فناوری توسط یـک عضو بی طرف همانند موسسات رده بندی وجود دارد که انتظار می رود این موسسات بسیار گسـترده تـر مـورد اسـتفاده قـرار گیرند.

منابع

Acciaro M., Chryssakis, C., Eide, M.S., Endresen, Ø. “Potential CO2 Reduction from Energy Mix Changes in the World Fleet”, 2012 International Association of Maritime Economists (IAME) Conference, Taipei, Taiwan, 2012

Alkaner, S., Zhou, P. “A comparative study on life cycle analysis of molten carbon fuel cells and diesel engines for marine Application”, J. of Power Sources, 158(1), pp.188-199, ISSN 0378-7753, 2006

Bengtsson, S. et al. “A comparative life cycle assessment of marine fuels liquefied natural gas and three other fossil fuels”, Department of Shipping and Marine Technology, Chalmers University of Technology, Gothenburg, Sweden, 2011

BP, “BP Statistical Review of World Energy 2011”, 2011

Chryssakis, C., Stahl, S. "Well-To-Propeller Analysis of Alternative Fuels for Maritime Applications", CIMAC 2013, Shanghai, China, May 2013

DNV AS, “Tentative Rules for Low Flashpoint Liquid Fuelled Ship Installations”, Rules for Classification, Ships / High Speed, Light Craft and Naval Surface Craft, Part 6 Chapter 32, July 2013

Edwards, R. et al. “Well-to-wheels Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context “, Version 3c, Report EUR 24952 EN - 2011

Eide, M., Chryssakis, C., Sverre, A., Endresen, Ø., "Pathways to Low Carbon Shipping - Abatement Potential Towards 2050", DNV Research & Innovation, Position Paper 14 - 2012

Foster, P. et al. “Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing”, Chapter 2, IPCC, 2007. http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf

IMO, “Revised MARPOL Annex VI: Amendments to the Annex of the Protocol of 1997 to amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto”, MEPC.176 (58), London, UK, 2008

Johansson, B. et al. “The economy of alternative fuels when including the cost of air pollution”, Department of Environmental and Energy Systems Studies, Lund University, Gerdagatan 13, SE-223 62 Lund, Sweden, 1998

Ludvigsen, K.B., Ovrum, E. “Fuel cells for ships”, DNV Research & Innovation Position Paper 13 - 2012

Reenaas, M. “Solid Oxide Fuel Cell Combined with Gas Turbine versus Diesel Engine as Auxiliary Power Producing Unit onboard a Passenger Ferry”, NTNU Master Thesis, 2005

Roskilly, A.P., Heslop, J. “Define KPI and Assessment Methods for Environmental Aspects”, Pose2idon Project Deliverable

Report, UNEW.WP-A3.4_D049 V1.1, 2010
Sterling J. “The role of biofuels in the shipping industry”, World Biofuels Markets 2012, Rotterdam, Netherlands, 2012
US Energy Information Administration “International Energy Outlook 2011”, DOE/EIA-0484, 2011
Vanem, E., Mangset, L.E., Psarros, G., Skjong, R. “Fan integrated Life Cycle Assessment model to facilitate ship ecodesign”, Advances in Safety, Reliability and Risk Management, Taylor & Francis Group, London, ISBN 978-0-415-68379-1, 2012
Vartdal, B.-J. “Hybrid Ships”, DNV Research & Innovation Position Paper 15 - 2013
Verbeek, R. et al. “Environmental and economic aspects of using LNG as a fuel for shipping in the Netherlands”, TNORPT-2011-00166, 2011
Wilson T. “Considering Biofuels for the Marine Market”, World Biofuels Markets 2012, Rotterdam, Netherlands, 2012
Winebrake, J.J., Corbett, J.J., Meyer, P.E. “Total Fuel-Cycle Emissions for Marine Vessels: A Well-to-Hull Analysis with Case Study”, 13th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering, 2006