

بولتن تخصصی پژوهش

گوگردزدایی از نفت کوره (مقررات بین‌المللی)



صاحب امتیاز: شرکت ملی پالایش و پخش فراورده‌های نفتی ایران

مدیر مسئول: مهدی دژحسینی

اسامی نویسندگان: عباس ملکی، علی شاه‌حسینی

همکاران صنعتی: محمدرضا زمانی زاده، آریتا برخورداری، نیما ارست

شماره ۱، اول مهر ۱۴۰۴

خلاصه مطالب

سازمان دریانوردی بین المللی (IMO) برای کاهش آلودگی دریایی، مقرراتی را برای کمتر کردن میزان گوگرد در سوخت کشتی‌ها وضع کرده است. این مقررات در قالب کنوانسیون MARPOL تدوین شده و از سال ۲۰۲۰ استفاده از سوخت با گوگرد کمتر از ۰/۵ درصد و از سال ۲۰۲۵ در منطقه ECA با گوگرد کمتر از ۰/۱ درصد وزنی در کشتی‌ها را اجباری کرده است. از طرفی طبق ماده ۶۲ قانون برنامه هفتم پیشرفت، وزارت نفت مکلف است نسبت به تولید و تحویل نفت کوره کم سولفور نیم درصدی با رشد سالانه بیست و پنج درصد به شرکت‌های ارائه کننده خدمات جانبی به کشتی‌ها (بانکرینگ) اقدام نماید.

در حال حاضر تکنولوژی‌های مختلفی برای گوگردزدایی از سوخت نفتی توسعه داده شده است که هر کدام از این روش‌ها مزیت‌ها و معایب خود را دارند. جهت تامین داخلی نیازهای ناوگان کشتیرانی، سناریوهای مختلفی از جمله احداث واحدهای سولفورزدایی نفت کوره جدید بصورت مستقل، اصلاح فرآیندی در پالایشگاه‌های موجود، تغییر خوراک پالایشگاه‌های موجود از نفت خام ترش به نفت خام شیرین از طریق سوپ، اختلاط نفت کوره با فرآورده‌های میان تقطیر، نصب اسکرابر بر روی کشتی‌ها و استفاده از سوخت‌های جایگزین و پاکتر از قبیل LNG، هیدروژن، بایوفیول و ... وجود دارد. هر کدام از سناریوهای مذکور می‌تواند به عنوان راهکار کوتاه مدت یا بلند مدت برای مواجهه و مقابله با پیامدهای اجرای مقررات IMO در داخل کشور مورد توجه قرار گیرند.

در ایران چون دو سناریوی احداث واحدهای سولفورزدایی نفت کوره جدید بصورت مستقل و اصلاح فرآیندی در پالایشگاه‌های موجود بیشتر در دسترس است، این دو راهکار بایستی در اولویت سیاست‌گذاری قرار بگیرند. جهت تحقق این موارد، اعطای طرح‌های تشویقی به شرکت‌ها از قبیل اعتبار مالیاتی، تخفیف خوراک و ... نقش بسزایی خواهد داشت.

استانداردهای محیط‌زیستی سوخت ناوگان دریایی: بررسی وضعیت ایران در گوگردزدایی از سوخت شناورهای دریایی

در حوزه کشتیرانی و ناوگان دریایی، برخی استانداردهای محیط‌زیستی وجود دارد که عدم توجه به آن‌ها می‌تواند تجارت خارجی و تردد بین‌المللی ناوگان دریایی ایران را دچار اختلال نماید؛ چرا که تعداد قابل توجهی از کشورها به این استانداردها توجه کرده و آن را مانند رویه‌های حاکمیتی خود پیگیری می‌کنند. سازمان بین‌المللی دریانوردی (IMO) مرجع تنظیم‌گری استانداردهای بین‌المللی در حوزه دریانوردی است. استانداردهای محیط‌زیستی ایمو ناظر به بخش‌های مختلف یک کشتی است که شامل موارد زیر می‌شود:

- جلوگیری از انتشار دی‌اکسید کربن
- جلوگیری از انتشار گازهای گلخانه‌ای توسط پیش‌رانه‌ها: ترکیبات اکسید نیتروژن و سولفور
- جلوگیری از نشت آلودگی از جمله نفت، سوخت، پسماندهای شیمیایی به دریا
- جلوگیری از سوزاندن زباله و پلاستیک بر روی کشتی
- جلوگیری از انتشار گازهای تضعیف‌کننده لایه ازن از جمله هیدروکلروکربن

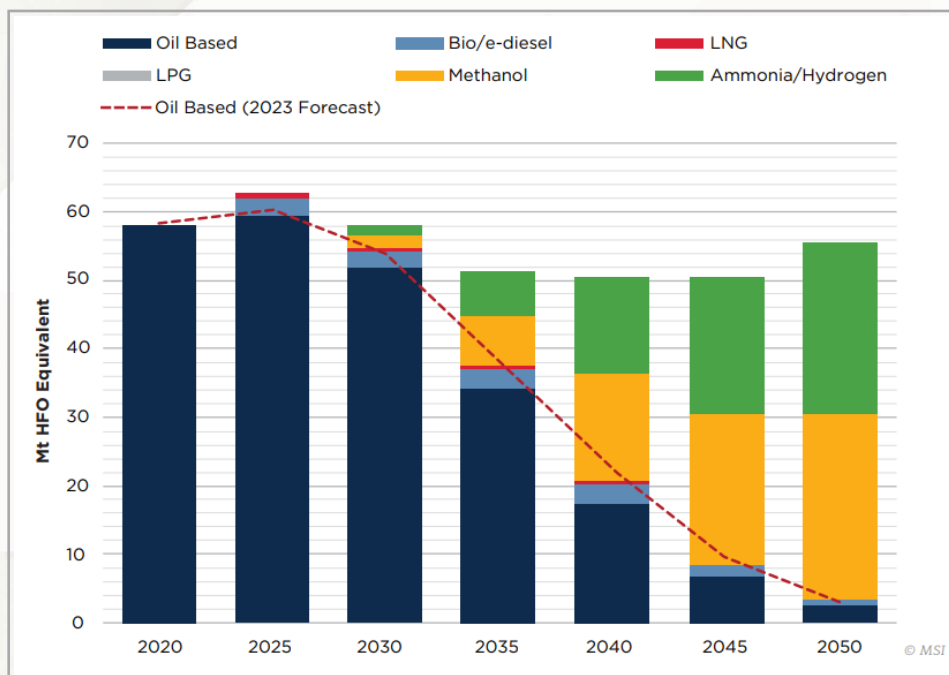
پیامدهای انتشار گوگرد در محیط‌زیست

ترکیبات گوگرد (سولفور) (SO_x) در اثر احتراق سوخت نفتی به وجود می‌آید. این ترکیبات دارای تهدیدها و خطرات متعددی برای سلامت انسان و محیط‌زیست است و به همین دلیل، استانداردهای بین‌المللی به سمت حذف ترکیبات آن در سوخت‌های نفتی رفته است. گوگرد و ترکیبات گوگردی موجود در سوخت‌ها می‌تواند باعث ایجاد مشکلات تنفسی و بیماری‌های مزمن ریوی در انسان‌ها شود. همچنین این گازها در صورت انتشار در هوا می‌توانند باعث ایجاد باران اسیدی شوند که به اکوسیستم، آب و خاک آسیب می‌زند [۱].

استاندارد مربوط به گوگرد در سوخت کشتی

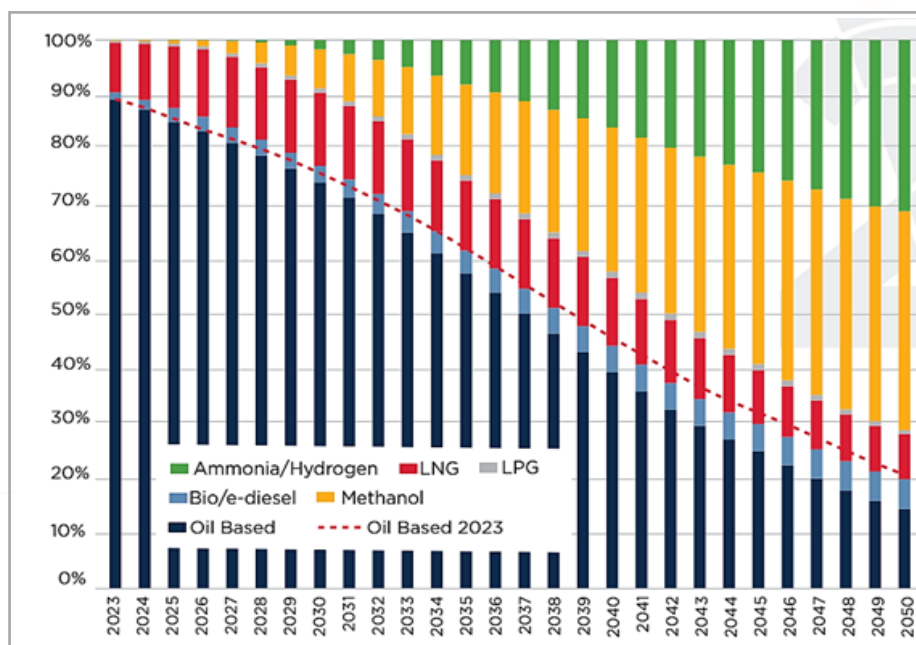
تنظیم میزان گوگرد در ترکیب سوخت کشتی، یکی از موارد مهم رویه‌گذاری ایمو در رابطه با سوخت کشتی‌ها است. طبق ماده ۱۴ قطعنامه تصویب و ابلاغ شده از سوی ایمو در سال ۲۰۲۰، محتوای گوگرد سوخت نفتی مورد استفاده یا حمل شده جهت مصرف در کشتی نباید بیشتر از ۰/۵ درصد باشد [۲]. برای نواحی کنترل انتشار آلودگی (ECA) که شامل دریای بالتیک، ناحیه دریای شمالی، منطقه کنترل انتشار آمریکا و ناحیه کنترل انتشار دریای کارائیب ایالات متحده می‌شود، این مقدار ۰/۱ درصد است. از اول مه ۲۰۲۵، دریای مدیترانه نیز به عنوان منطقه کنترل انتشار برای اکسیدهای گوگردی و ذرات معلق تعیین شده است که بر کشتی‌های ایرانی فعال در این منطقه تأثیرگذار خواهد بود. بر اساس کنوانسیون حقوق دریاها (UNCLOS)، دولت‌های ساحلی و بندری صلاحیت دارند بر کشتی‌هایی که مقررات

بین‌المللی، از جمله ضمیمه ششم MARPOL را نقض می‌کنند، بازرسی، توقیف و جریمه اعمال کنند. بنابراین، کشتی‌های ایرانی که به بنادر خارجی وارد می‌شوند، در صورت عدم رعایت مقررات، ممکن است با اقدامات قانونی مواجه شوند. در ایران طبق استاندارد ملی نفت کوره به شماره ۱۷۱۴۲، کاهش میزان گوگرد نفت کوره به ۰/۸ درصد از سال ۱۴۰۶ اجباری خواهد شد. سازمان کشتی‌رانی ایالات متحده آمریکا در گزارش سال ۲۰۲۴ پیش‌بینی کرده است که در افق سال ۲۰۵۰ میزان سوخت نفت‌پایه در ناوگان فله‌بر به پایین‌ترین حد ممکن خواهد رسید و به جای آن متانول و آمونیاک فراگیر خواهند شد که دیگر مشکل انتشار سولفور نخواهند داشت. نمودار مربوط به این پیش‌بینی در شکل ۱ نشان داده شده است [۳].



شکل ۱- دورنمای ترکیب سوخت ناوگان دریایی فله‌بر در افق ۲۰۵۰ (سازمان کشتیرانی آمریکا، ۲۰۲۴)

سازمان کشتیرانی آمریکا پیش‌بینی دیگری را در رابطه با افق استفاده از سوخت‌های نفتی دارای گوگرد مطرح کرده است. در این پیش‌بینی که سناریوی پایه محسوب می‌شود، برآوردها از سهم سوخت‌های نفتی با توجه به ترکیب سبد سوخت مصرفی ناوگان کشتیرانی در سال ۲۰۲۳ صورت گرفته است. بر این اساس، سهم سوخت‌های نفتی در کشتیرانی از ۹۰ درصد در سال ۲۰۲۳ به ۸۵ درصد در سال ۲۰۳۰ و به کمتر از ۲۰ درصد در سال ۲۰۵۰ می‌رسد. این سناریو در نمودار شکل ۲ نشان داده شده است.



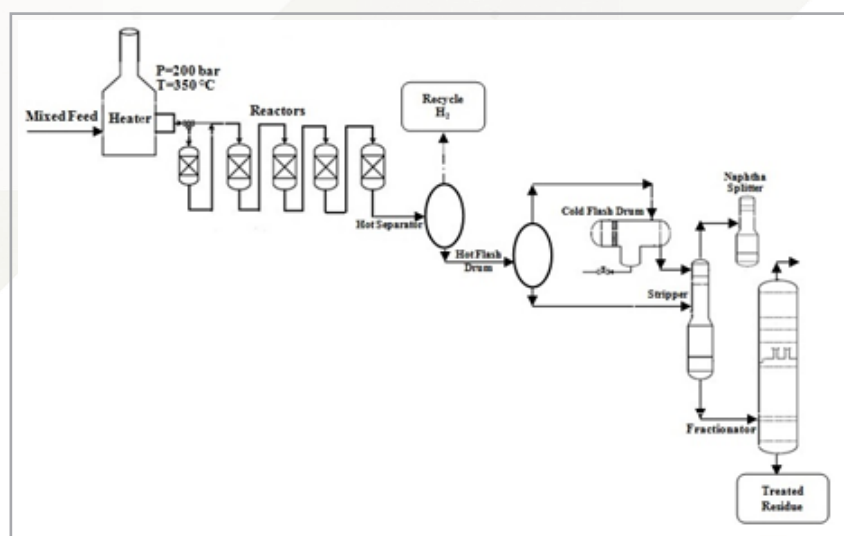
شکل ۲- ترکیب سبد سوخت کشتیرانی در افق ۲۰۵۰ بر اساس مصرف ۲۰۲۳ (سازمان کشتیرانی آمریکا، ۲۰۲۴)

فرایند صنعتی گوگردزدایی از نفت کوره

در حال حاضر روش ها و فرایندهای مختلفی برای گوگردزدایی از سوخت نفتی توسعه داده شده است که هر کدام از این روش ها مزیت ها و معایب خود را دارند. این روش ها شامل گوگردزدایی هیدروژنی (HDS)، گوگردزدایی اکسیداتیو (ODS)، گوگردزدایی استخراج کننده (EDS)، گوگردزدایی جاذب (ADS)، گوگردزدایی پلاسمایی یا فوتوکاتالیستی (PCDS)، گوگردزدایی زیستی (BDS) و سایر روش های جدید و غیر متداول از قبیل الکتروشیمیایی، سدیم، گوگردزدایی میکروبی (MDS)، گوگردزدایی آب فوق بحرانی (SCW) و گوگردزدایی با آلکیلایون یا ترکیبی از آنها می شود [۴].

از آنجایی که بخش قابل توجهی از پالایشگاه های کشور با استفاده از روش هیدروژنی اقدام به گوگردزدایی می کنند، این روش به عنوان اولویت مورد بررسی قرار می گیرد. در فرآیند گوگردزدایی هیدروژنی از کاتالیست های فلزی مانند نیکل، کبالت و مولیبدن روی آلومینا در دمای ۳۶۰-۴۵۰ درجه سانتی گراد و گاز هیدروژن در فشار ۲۰۰-۱۷۰ بار استفاده می شود [۵]. روش HDS تنها روش صنعتی اثبات شده، پایدار و اقتصادی برای گوگردزدایی از نفت کوره سنگین است. این روش بازدهی بالا در حذف گوگرد، توانایی پردازش خوراک سنگین و سازگاری با پالایشگاه های موجود را دارد. سایر روش های ذکر شده به دلایل عدم تجاری سازی، پیچیدگی بیشتر، پرهزینه بودن و کارایی پایین تر، هنوز در حد تحقیقاتی هستند و کاربرد صنعتی نداشتند. در شکل ۳، فرایند HDS نشان داده شده است.

شرکت های دانش بنیانی که بتوانند از روش های ذکر شده جهت گوگردزدایی از نفت کوره استفاده و تولید سوخت کشتیرانی با میزان گوگرد کمتر از نیم درصد نمایند، طبق ماده ۱۱ قانون جهش تولید دانش بنیان، مشمول حمایت لازم در قالب اعتبار مالیاتی خواهند شد.



شکل ۳- فرآیند گوگردزدایی از نفت کوره در روش HDS

وضعیت حقوقی و اجرایی جایگاه ایران

ایران، به عنوان عضو کنوانسیون بین المللی جلوگیری از آلودگی ناشی از کشتی ها (MARPOL)، برای تولید سوخت کم گوگرد به اصلاح پالایشگاه ها و سرمایه گذاری در فناوری های گوگردزدایی نیاز دارد. چالش اصلی، ظرفیت محدود پالایشگاهی برای تأمین نیاز ناوگان کشتیرانی کشور است. رعایت این مقررات، نه تنها از نظر محیط زیستی، بلکه اقتصادی و حقوقی اهمیت دارد. همکاری بین المللی، تقویت قوانین داخلی، و حمایت از فناوری های نوین می تواند راهکار ایران برای همگام شدن با استانداردهای جهانی باشد.

بر اساس داده های سازمان ملل متحد، حجم تجارت دریایی در سال ۲۰۲۳ از ۱۲ میلیارد تن فراتر رفته است. هرچند بخش کشتیرانی در کاهش تأثیرات اقلیمی خود تاکنون کند عمل کرده، چارچوب جدید ائمو برای سال ۲۰۲۵ شامل دو اقدام کلیدی است: تعیین استاندارد جهانی سوخت برای کاهش شدت انتشار گازهای گلخانه ای و ایجاد مکانیسم قیمت گذاری برای کشتی هایی که از آستانه انتشار فراتر می روند.

طبق ماده ۶۲ قانون برنامه هفتم پیشرفت، به منظور افزایش سهم کشور از بازار ارائه سوخت و خدمات جانبی به کشتی ها (بانکرینگ) در منطقه خلیج فارس و دریای عمان با اولویت بنادر شهید رجایی و قشم به میزان سوخت رسانی سالانه حداقل پنج میلیون تن به همراه خدمات جانبی، وزارت نفت مکلف است نسبت به تولید و تحویل نفت کوره کم سولفور نیم درصدی با رشد سالانه بیست و پنج درصد به شرکت های ارائه کننده خدمات جانبی به کشتی ها (بانکرینگ) و تسهیل فرایندهای واردات و تهیه سوخت بر اساس استانداردهای سوخت رسانی دریایی اقدام نماید [۶].

از جمله مفاد مهم این مقررات می توان به موارد زیر اشاره کرد:

– حمایت از سرمایه‌گذاری در احداث واحدهای گوگردزدایی و مینی پالایشگاه‌های تولید سوخت کم گوگرد؛

– الزام عرضه سوخت کم گوگرد در بورس انرژی با قیمت رقابتی و شفاف؛

– نظارت سازمان بنادر و دریانوردی بر تطابق سوخت کشتی‌ها با استانداردهای بین‌المللی و اعمال مقررات مربوطه

بررسی‌ها نشان می‌دهد که ناوگان دریایی کشور حدود ۱/۲ میلیون تن سوخت ۰/۵ درصد وزنی گوگرد در سال مصرف می‌کند [۷] و حدود یک سوم مصرف ناوگان از پالایشگاه داخلی تامین شده و دو سوم دیگر از طریق واردات تامین می‌گردد. بر اساس کاتالوگ منتشر شده توسط پالایشگاه امام خمینی شازند، این پالایشگاه سالانه ۴۰۰ هزار تن سوخت کم گوگرد به کشتیرانی تحویل می‌دهد. همچنین با بهره‌برداری از واحد گوگردزدایی از نفت کوره اصفهان (RHU) علاوه بر تامین سوخت مورد نیاز صنعت کشتیرانی، بخشی از سوخت مورد نیاز نیروگاه‌های حرارتی نیز قابل تامین می‌باشد [۸].

جمع‌بندی

رعایت مقررات بین‌المللی مربوط به گوگردزدایی در صنعت کشتیرانی، نه تنها از منظر محیط زیستی بلکه از نظر حقوقی و اقتصادی برای ایران حیاتی است. ایران، به عنوان عضو کنوانسیون بین‌المللی جلوگیری از آلودگی ناشی از کشتی‌ها (MARPOL) و در راستای تحقق برنامه هفتم توسعه پیشرفت، نیاز به اصلاح پالایشگاه‌ها و سرمایه‌گذاری در فناوری‌های گوگردزدایی از نفت کوره (HDS) جهت تولید سوخت کم گوگرد مطابق با استانداردهای بین‌المللی دارد.

با توجه به سهم حدود ۱۸ درصدی نفت کوره از محصولات تولیدی پالایشگاه‌ها با درصد وزنی گوگرد بالای ۳ درصد، کاهش تقاضای جهانی نفت کوره با گوگرد بالا و در نتیجه افت قیمت جهانی آن و به منظور افزایش کیفی نفت کوره لازم است ابتدا فرآیندهای گوگردزدایی (HDS) جهت تقلیل گوگرد نفت کوره به ۰/۵ درصد مانند واحدهای کاتالیستی RCD و یا RHU برنامه ریزی و سپس با توجه به نیاز بازار و ارزش افزوده بالاتر واحدهای کراکینگ کاتالیستی ته‌ماند (RFCC) اجرایی گردد. ضمن اینکه در کنار راهکارهای فنی بالا جهت تولید نفت کوره کم گوگرد و نصب اسکرابر بر روی کشتی‌ها، باید توجه داشت که صنعت کشتیرانی جهانی در حال تغییر جهت به سوی استفاده از سوخت‌های جایگزین و پاک‌تر است. در سالهای اخیر، استفاده از گاز طبیعی مایع شده (LNG)، متانول، هیدروژن و حتی سوخت‌های زیستی (biofuels) مورد توجه قرار گرفته است. این سوخت‌ها با انتشار آلاینده‌های کمتر، به ویژه گوگرد و ذرات معلق، می‌توانند نقش مهمی در تحقق اهداف زیست محیطی سازمان‌های بین‌المللی ایفا کنند. از این رو، راهکارهای کاهش آلاینده‌گی تنها محدود به ارتقاء فناوری‌های پالایشگاهی نیست، بلکه در چارچوبی کلان‌تر، تغییر ترکیب سبد سوخت صنعت حمل و نقل دریایی نیز ضروری و اجتناب ناپذیر است.

در شماره بعد بخوانید:

- ارائه جزئیات بیشتر در مورد فناوری گوگردزدایی از نفت کوره، معرفی و مقایسه لایسنس‌ورهای مختلف آن در دنیا و همچنین ارائه نوآوری‌های جدید در این زمینه در دنیا
- استفاده از سوخت‌های جایگزین و پاک‌تر در صنعت حمل و نقل دریایی در کشورهای مختلف در دنیا و بررسی زیرساخت‌های مورد نیاز و چالش‌های استفاده از آن در داخل کشور

منابع

- [1] <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#effects> (accessed).
- [2] RESOLUTION MEPC.328(76), I. M. organization, 2022.
- [3] Beyond the Horizon: Carbon Neutral Fuel Pathways and Transformational Technologies., 2024.
- [۴] “گوگردزدایی فرآورده‌های نفتی در صنعت پتروشیمی.” آرال‌شیمی. <https://www.aralshimi.com/desulfurization-of-petroleum-and-heavy-oil/> (accessed).
- [۵] ا. بهروزی‌فر، “مروری بر مهم‌ترین چالش‌های فرآیند گوگردزدایی هیدروژنی برای حذف گوگرد از سوخت‌های فسیلی.”، نشریه علمی فرآیند نو، شماره ۶۴ صفحه ۷۳-۹۱، اسفند ۱۳۹۷.
- [۶] “آیین‌نامه اجرایی ماده ۶۲ قانون برنامه هفتم توسعه.”، وزارت نفت و سازمان بنادر و دریانوردی، ۱۴۰۲.
- [۷] ج. اسلامی، “برآورد ۱.۵ میلیون تنی مصرف سوخت کم سولفور از سوی ناوگان ملی دریایی”، باشگاه خبرنگاران جوان، ۱۳۹۸.
- [۸] ش. پ. ن. ا. خ. ر. شازند. کاتالوگ محصولات.

[Online]. Available: <https://www.ikorc.ir/%da%a9%d8%a7%d8%aa%d8%a7%d9%84%d9%88%da%af>.