شماره بیست و نهم

موسسه مطالعات بین المللی انرژی
وابسته به وزارت نفت

اردیبهشت ماه ۱۴۰۲

ماهنامه تخصصی

فناوری های انرژی ۲۹

EnerTech

پژوهشکده مطالعات راهبردی فناوری انرژی

بسم الله الرحمن الرحیم

ماهنامه تخصصی فناوری های انرژی
Professional Monthly Journal of Energy Technologies

شماره ۲۹ - اردیبهشت ماه ۱۴۰۲

رویدادهای فناوری

۲ سخنی با مخاطب

۳ فناوری تولید هیدروژن کربن منفی: چشم اندازی جدید برای انرژی زیستی با جذب و ذخیره CO_2
حوزه: نظم نوین آینده انرژی

۴ امکان بی ثبات کردن شبکه برق با هک کردن کنتورهای هوشمند
حوزه: نظم دوره گذار انرژی

۴ هوش مصنوعی می تواند بار شبکه برق را از طریق داده های جاده و راه آهن پیش بینی کند
حوزه: نظم دوره گذار انرژی

۵ استفاده از یادگیری ماشین برای ساخت سلول های خورشیدی قابل اعتماد و کم هزینه
حوزه: نظم دوره گذار انرژی

۶ بازیافت فلزات با ارزش از باتری های لیتیوم یون مصرف شده با استفاده از راکتورهای دوّار
حوزه: نظم کنونی انرژی

۶ امارات متحده عربی اولین شناور سطحی بدون سرنشین خود را با هدف بازرسی زیرسطحی رونمایی کرد
حوزه: نظم کنونی انرژی

گزارش های تحلیلی

۷ **مدل انرژی جهانی شل، چشم اندازی تا سال ۲۱۰۰**
حوزه: نظم نوین آینده انرژی

۱۱ **چشم‌اندازهای فناوری انرژی ۲۰۲۳**
حوزه: نظم دوره گذار انرژی

۱۶ **مطالعه تطبیقی وضعیت انرژی های تجدیدپذیر در کشورهای منتخب**
حوزه: نظم دوره گذار انرژی

۲۱ **اقتصاد کربن چرخه ای؛ چارچوب و مفاهیم**
حوزه: نظم کنونی انرژی

۲۴ **بهترین تکنیک‌های موجود (BAT) چیست؟ و در صنعت نفت و گاز چه نقشی دارد؟**
حوزه: نظم کنونی انرژی

شناسنامه :

مدیر مسئول: علی اصغر رجبی
ناظر علمی: عرفان ریاحی
سردبیر: قاسم توتونچی
همکاران این شماره: سمانه سنجری، فریبا ریاحی، صدیقه جواد پور،سیدصادق ضرغامی، پیمان نیلچی پور، قاسم توتونچی
هیات تحریریه: علی اصغر رجبی، غلامعلی رحیمی، عباس زراء نژاد، عقیل براتی، عباس یعقوبی، قاسم توتونچی، امیرحسین هوشمند، امیرحسین فاکهی، اعظم محمدباقری، صدیقه جوادپور، شیرین رضایی عدل، بهاره فرهمندپور، سید صادق ضرغامی، طاهر خرم روز، مهدی کربلایی، پیمان نیلچی پور
طراحی و صفحه آرایی: مرجان بهرامی، نازنین شاهین
ناشر: موسسه مطالعات بین المللی انرژی
تارنما: iies.ac.ir iies.mop.ir

سخنی با مخاطب؛

بنام خدا

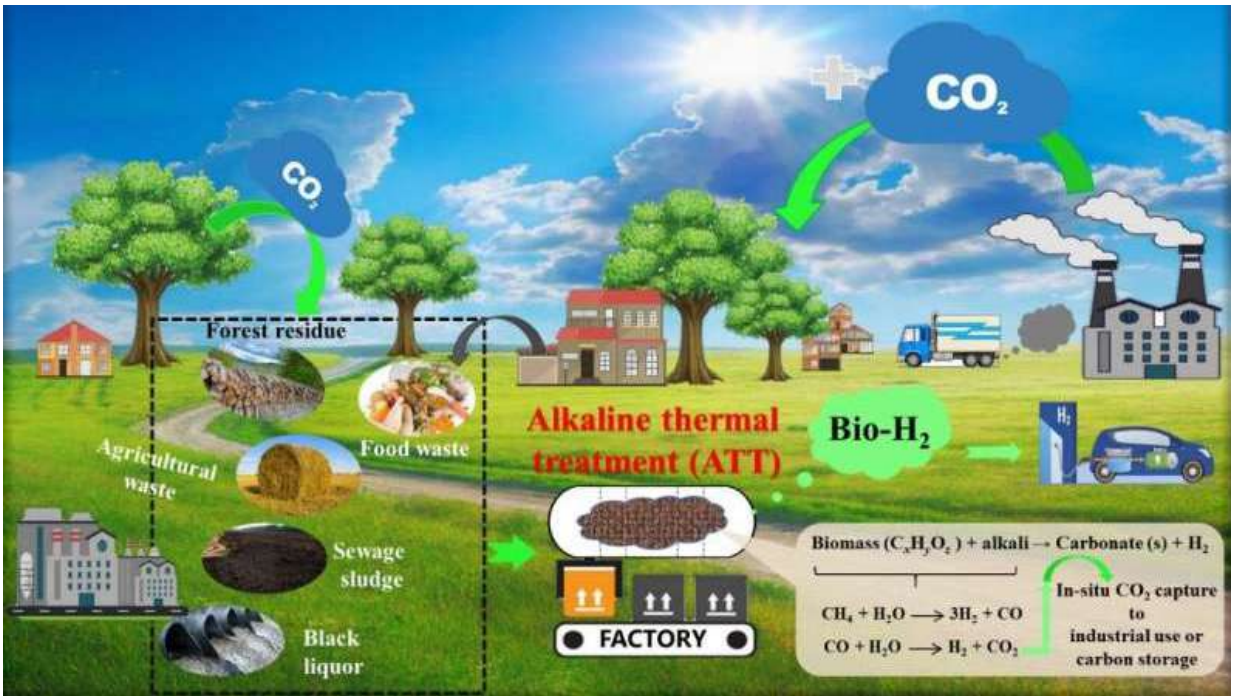
با درود و عرض ادب

در این شماره از ماهنامه ی تخصصی، گزارش های تحلیلی با موضوعات "مدل انرژی جهانی شل؛ چشم اندازی تا سال ۲۱۰۰- بخش دوم"، "اقتصاد کربن چرخه ای؛ چارچوب و مفاهیم"، " بهترین تکنیک‌های موجود (BAT) چیست؟"، "چشم‌اندازهای فناوری انرژی، ۲۰۲۳" و "مطالعه تطبیقی وضعیت انرژی های تجدیدپذیر در کشورهای منتخب" و نیز رویدادهای فناوری اخیر تقدیم گردیده است که امید است مورد توجه واقع شود.

با آرزوی توفیق و سلامتی و شادکامی

سردبیر

فناوری تولید هیدروژن کربن منفی:
چشم اندازی جدید برای انرژی زیستی با جذب و ذخیره CO2



هیدروژن که به تعبیری "انرژی نهایی" برای قرن ۲۱ تلقی می‌شود، دارای مزایا و قابلیت های بیشماری مانند پاک و تجدید پذیر بودن و همچنین امکان ذخیره‌سازی است. آژانس بین المللی انرژی پیش بینی می کند که در سال ۲۰۳۰ به ۱۱۵ میلیون تن هیدروژن نیاز است تا انتشار خالص دی اکسید کربن در جهان تا سال ۲۰۵۰ به صفر برسد.

با استفاده از زیست توده برای تولید هیدروژن، می‌توان انتشار کربن ایجاد شده توسط سوخت‌های فسیلی را کاهش داد و از این طریق، با بدترشدن بحران انرژی مقابله کرد. فناوری جدید عملیات حرارتی قلیایی برای تولید هیدروژن، شامل تجزیه در اثر حرارت در فشار اتمسفر و دمای پایین است. از نقطه نظر چرخه زندگی کامل زیست توده، این روش پتانسیل قابل توجهی برای "انتشار کربن منفی" دارد و می تواند جایگزین برخی از سوخت های فسیلی شود.

با این حال، ابتدا باید نقش اساسی و هم افزایی قلیایی ها و کاتالیزورها در واکنش روش مذکور و مکانیسم تبدیل زیست توده را تبیین کرد و سپس از این دانش برای هدایت توسعه استراتژی های ارتقای موثرتر و حتی پیشرفت در کاربردهای مقیاس بزرگ استفاده نمود.

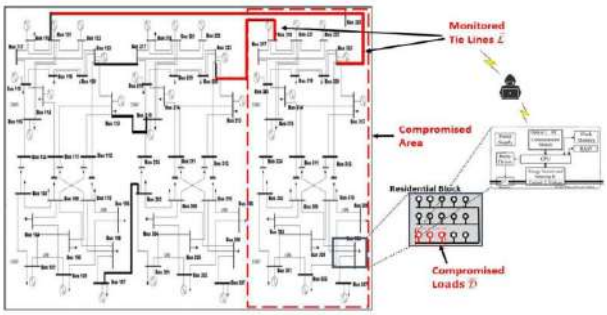
تیم تحقیق بر این باور است که برای به حداکثر رساندن راندمان تولید هیدروژن از واکنش عملیات حرارتی قلیایی، مواد مورد استفاده باید زیست توده را به واسطه‌های کوچک قابل گازسازی و ذخیره‌سازی کربن در محل تبدیل نماید.

علاوه بر این، با غلبه بر محدودیت واکنش تحت فشار و دمای پایین در فرآیند، می توان راندمان تولید هیدروژن را افزایش داد و همچنین هم افزایی بین کاتالیزورهای قلیایی و فلزی را دو چندان نمود.

هنگام سنجش مزایا و معایب واکنش، طراحی راکتورهای مناسب و توسعه روش‌های ورودی/خروجی کارآمد برای غلبه بر مشکلاتی مانند ککسازی، انتقال جرم محدود و بازسازی کاتالیزور، ناشی از واکنش‌های جامد ـ جامد کلیدی است. در نهایت، ارزیابی اقتصادی و تحلیل مصرف انرژی برای بررسی مقیاس بزرگ ضروری خواهد بود.

امید است این نکات، آزمایش‌های آتی را در زمینه تولید هیدروژن از طریق فرآیندهای ATT زیست توده برای تحقق صنعتی‌سازی این فناوری راهنمایی کند».

امکان بی ثبات کردن شبکه برق با هک کردن کنتورهای هوشمند



محققان کالج مهندسی دانشگاه ایالتی اورگان نشان داده‌اند که شبکه انتقال برق می‌تواند توسط هکرهایی که کنتورهای هوشمند را برای ایجاد نوسان در تقاضای برق دستکاری می‌کنند، بی‌ثبات شود.

این مطالعه مهم است، زیرا درک آسیب پذیری های شبکه و شکل آنها، اولین گام در طراحی مکانیسم های حفاظتی است.

کنتور هوشمند یک دستگاه دیجیتالی است که داده‌های مصرف برق را جمع‌آوری کرده و از طریق یک واسطه ی مخابراتی به یک ایستگاه محلی ارسال می‌کند. کنتورها می توانند به مشتریان کمک کنند تا در مورد مصرف برق خود اطلاعات بیشتری کسب کنند و همچنین می توان از آنها برای قطع برق مشتریان از راه دور در مواردی مانند قبض های پرداخت نشده استفاده کرد.

همچون قطع کننده های مدار خانگی، اجزای شبکه برق نیز زمانی که تقاضا یا بار بیش از حد زیاد باشد، ممکن است با اختلال روبرو شده، یک اثر دومینو وار را ایجاد کرده و منجر به خاموشی شود.

محققان از مدلی استفاده کردند که با نام شبیه‌ساز حفاظت شبکه دامنه زمانی شناخته می‌شود. این مدل نشان می دهد چگونه رخداد تغییر بار افزایشی و کاهشی، در یک الگوی منظم (معروف به حمله نوسان بار) می تواند پایداری شبکه ی انتقال را به خطر بیندازد.

فناوری های جدیدی برای کارآمدتر شدن و افزایش قابلیت اطمینان زیرساخت های برق معرفی شده‌اند. در سطح توزیع، ارتقاء شامل سیستم‌های ارتباطی، اتوماسیون توزیع، سیستم‌های کنترل و حفاظت محلی و زیرساخت‌های اندازه‌گیری پیشرفته است. خبر ناگوار این است که به موازات این به‌روزرسانی‌ها، ابعاد جدیدی از آسیب پذیری شبکه برق معرفی می‌شود.

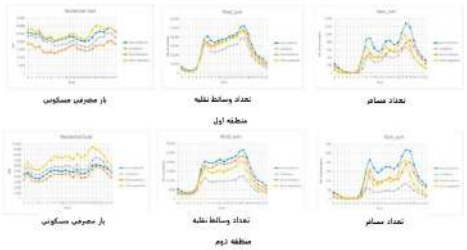
یکی از انواع حملاتی که در حضور فناوری‌های جدید امکان‌پذیر شده است، هک کردن زیرساخت‌های اندازه‌گیری پیشرفته و کنترل سوئیچ های کنتور هوشمند برای ایجاد نوسانات بار است.

برای درک آسیب پذیری تصور شود چند هزار نفر ساعت ۶ بعدازظهر تمام روشنایی خانگی خود را روشن کنند. حتی اگر چند هزار نفر اقدام به انجام این کار کنند، بعید به نظر می‌رسد که بی‌ثباتی زیادی ایجاد شود، زیرا شبکه می‌تواند تغییرات نسبتاً بزرگی را در عرضه و تقاضا جذب و مدیریت کند. برای مثال پنل های خورشیدی در پایان روز تقریباً به یکباره برق تولید نمی‌کنند و شبکه قادر به پیش بینی و جبران آن هست.

اما اگر شخصی تعداد زیادی کنتور هوشمند را از راه دور در اختیار بگیرد و جریان برق را در یک فرکانس خاص روشن و خاموش کند، مشکل ساز خواهد شد.

مدیریت این نوع حادثه با انجام شناسایی و تخمین فرکانس نوسان بی ثبات کننده شبکه آغاز می‌شود. متاسفانه یک حمله به خوبی طراحی شده با فرکانس و بسامد نوسان مناسب، می تواند باعث بی ثباتی شبکه شود در حالی که کمتر از ۲ درصد از بار سیستم را تغییر می دهد.

هوش مصنوعی می تواند بار شبکه برق را از طریق داده های جاده و راه آهن پیش بینی کند



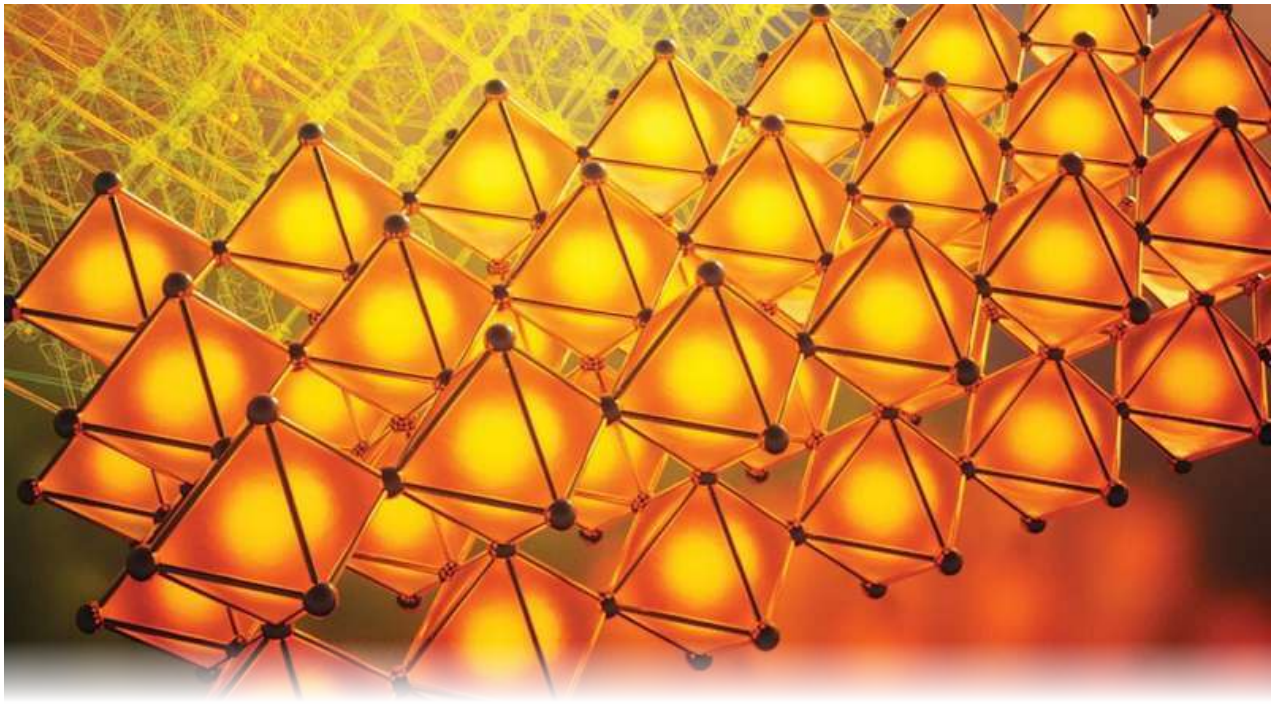
برای تامین تقاضا و مدیریت پیک مصرف، تولید کنندگان برق باید قادر به پیش بینی بار شبکه باشند. تیمی از دانشمندان دانشگاه علوم کاربردی زوریخ یک سیستم هوش مصنوعی ایجاد کرده‌اند که قادر به پیش‌بینی دقیق بار شبکه از داده‌های ترافیک جاده‌ای و ریلی است.

تولید و توزیع کنندگان برق از مدل های پیش بینی برای مقابله موثر با تغییرات آب و هوا، بحران و نوسانات انرژی خورشیدی و باد استفاده می کنند. مدل‌ها اساساً بر مبنای بارهای شبکه ی گذشته و برای یک ساعت، یک روز یا یک سال آتی پیش پیش‌بینی می‌شوند. مدل‌ها همچنین داده‌های دیگری مانند پیش‌بینی آب‌وهوا را در خود جای می‌دهند که تقاضا برای گرمایش و تهویه مطبوع و در نتیجه برای برق را تعیین می‌کند.

دانشمندان داده‌های مصرف برق و آب و هوا را به همراه داده‌های سطح ترافیک جاده‌ای و تعداد مسافران راه‌آهن در یک مدل هوش مصنوعی وارد کردند.

همچنین سعی کردند مدل‌های مبتنی بر سری زمانی تاریخی حافظه دار مصرف را با اضافه کردن داده‌های ترافیکی تکمیل کنند. به گفته دانشمندان، داده‌های ترافیکی جایگزین مفیدی برای سابقه ی سری زمانی مصرف برق هستند و اگر این اطلاعات در دسترس نباشد، ممکن است مدلسازی بر اساس سری زمانی، پیش‌بینی خود را از دست دهد.

استفاده از یادگیری ماشین برای ساخت سلول های خورشیدی قابل اعتماد و کم هزینه



محققان دانشگاه کالیفرنیا، از یادگیری ماشینی برای شناسایی مواد جدید جهت سلول های خورشیدی با کارایی بالا استفاده می کنند. با استفاده از آزمایش‌ها و الگوریتم‌های مبتنی بر یادگیری ماشین، آنها دریافتند که می‌توان رفتار دینامیکی مواد را با دقت بسیار بالا، بدون نیاز به انجام آزمایش‌های زیاد، پیش‌بینی کرد.

پروسکایت‌های هیبریدی، مولکول‌های آلی- غیرآلی هستند که در ۱۰ سال گذشته به دلیل استفاده بالقوه در انرژی‌های تجدیدپذیر مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند. برخی از آنها از نظر کارایی برای ساخت سلول های خورشیدی با سیلیکون قابل مقایسه هستند، اما ساخت آنها ارزان تر است.

یک چالش اصلی در این زمینه این است که دستگاه‌های مبتنی بر پروسکایت نسبت به پنل های سیلیکون در مجاورت رطوبت، اکسیژن، نور، گرما و ولتاژ سریع تر آسیب می بینند. لذا این سوال که کدام پروسکایت ها عملکرد با راندمان بالا را همراه با انعطاف پذیری در برابر شرایط محیطی خواهند داشت، همواره مطرح بوده است.

پروسکایت ها ساختار کلی ABX_3 دارند، که در آن A یک گروه آلی (مبتنی بر کربن) یا معدنی، B سرب یا قلع، و X یک هالید (بر اساس کلر، ید یا فلوئور یا ترکیبی از آنها) است. بنابراین تنوع تعداد ترکیبات شیمیایی ممکن بسیار زیاد است. علاوه بر این، آنها باید در برابر شرایط محیطی متعدد، به تنهایی و به صورت ترکیبی ارزیابی شوند، که منجر به یک فضای فراپارامتری پیچیده شده و با استفاده از روش های آزمون و خطای مرسوم، قابل بررسی نیست.

به عنوان اولین و کلیدی ترین گام برای حل این چالش، این سوال مطرح شد که آیا الگوریتم های یادگیری ماشینی می توانند هنگام آزمایش و پیش بینی اثرات رطوبت بر تخریب مواد موثر باشند؟

از داده های تست ها و آزمون ها، برای آموزش سه الگوریتم مختلف یادگیری ماشین استفاده گردید. این سه الگوریتم مدل رگرسیون خطی، شبکه عصبی و مدل آماری به نام SARIMAX تعیین شدند. مدل SARIMAX بهترین عملکرد را با تطابق ۹۰ درصدی با نتایج مشاهده شده در یک پنجره زمانی بیش از ۵۰ ساعت نشان داد.

این نتایج نشان می‌دهد می‌توان از یادگیری ماشین در شناسایی مواد با شرایط مناسب برای جلوگیری از تخریب در پروسکایت‌ها استفاده نمود. گام‌های بعدی، گسترش آزمایش‌ها برای تعیین شرایط ترکیبی عوامل محیطی متعدد خواهد بود.

از همین رویکرد یادگیری ماشینی می توان برای پیش بینی رفتار یک دستگاه کامل پنل خورشیدی نیز استفاده کرد.

بازیافت فلزات با ارزش از باتری های لیتیوم یون مصرف شده با استفاده از راکتورهای دوّار

در دنیایی که به آرامی از انرژی مبتنی بر کربن فاصله می‌گیرد، استفاده از باتری‌های لیتیوم یونی به‌عنوان راه‌حل ذخیره‌سازی انرژی نسل بعدی افزایش چشمگیری داشته است. با این حال، این روند منجر به مشکل دیگری شده است که همانا افزایش میزان ضایعات باتری لیتیومی است.

باتری‌های لیتیوم یونی در طول عمر خود به آهستگی تحلیل می‌روند و در طی ۵۰۰ چرخه شارژ و دشارژ، بین ۱۲ تا ۲۴ درصد از ظرفیت کل خود را از دست می‌دهند. الکترولیت و سایر مواد داخل باتری نیز می توانند تخریب شوند و در طول زمان باعث کاهش ظرفیت شوند. دفع باتری‌های لیتیومی در محل‌های دفن زباله یا سوزاندن می‌تواند نگرانی‌های زیست‌محیطی و ایمنی را به دلیل پتانسیل نفوذ عناصر سمی به خاک و آب ایجاد کند.

بازیافت باتری های لیتیومی نیازمند استفاده گسترده از هیدرومتالورژی است، شاخه ای از متالورژی که شامل محلول های آبی است. به طور خلاصه، باتری استفاده‌شده از بین می‌رود و فلزات ارزشمند با استفاده از حلال، استخراج می‌شوند. بازیافت فعلی باتری لیتیومی نیازمند مراحل متعددی از فرآیندهای استخراج است که هر کدام به راکتورهای جداگانه و پارامترهای متفاوتی نیاز و وابستگی دارند. این به طور قابل توجهی پیچیدگی و هزینه بازیافت را افزایش می دهد، بنابراین نرخ بازیافت باتری های لیتیومی بسیار پایین است.

تلاش های متعددی برای ابداع راه حل تک مرحله ای با استفاده از غشاها صورت گرفته است. با این حال، این ایده‌ها در راکتورهای بزرگ‌تر، عمدتاً به دلیل خرابی غشاء شکست خورده‌اند.

با پرداختن به این موضوع، یک گروه تحقیقاتی میان رشته ای در کره جنوبی، روش جدیدی را برای بازیافت فلزات ارزشمند مانند لیتیوم، نیکل و کبالت گزارش نموده است.

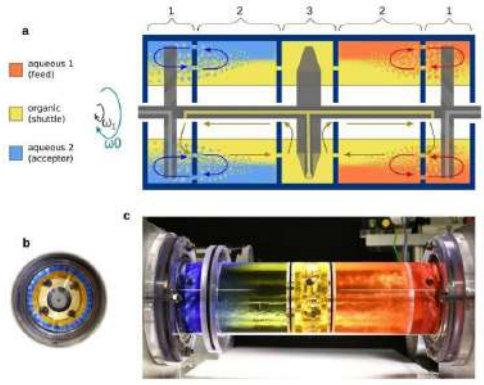
این گروه تحقیقاتی به خاطر راکتورهای مایع متحدالمرکز دوّار خود در این زمینه مشهور هستند. این بار، این گروه با موفقیت این مفهوم را برای ساده کردن فرآیند استخراج و بازیافت باتری لیتیومی به کار برده است.

راکتور دوّار افقی می‌تواند مخلوط‌های فلزی پیچیده‌ای را تصفیه کند که در آن فازهای آبی، استخراج‌کننده آلی و فازهای پذیرنده همگی در یک محیط دوار وجود دارند.

برخلاف دستگاه‌هایی که از غشا استفاده می‌کنند، این راکتور را می‌توان به شدت تکان داد و بدون ادغام لایه‌های آبی، امولسیون ایجاد نمود. آرایش فازهای خوراک با pH بالاتر، استخراج کننده آلی و فازهای پذیرنده با pH پایین در این راکتور دوّار شکل میگیرد.

این فرآیند به طرز چشمگیری می تواند جداسازی فلزات را در عرض چند دقیقه، با استفاده از غلظت کم عوامل استخراج کننده و با گزینش پذیری بالا انجام دهد.

این مطالعه نشان می‌دهد که راکتورهای مایع متحدالمرکز می‌توانند به سرعت فلزات ارزشمند را از مخلوط‌های بسیار غلیظ جدا کنند. این جنبه و همچنین مقیاس‌پذیری مطلوب، راکتورهای دوّار متحدالمرکز را جایگزین جالبی برای روش‌های هیدرومتالورژی سنتی می‌سازد.



امارات متحده عربی اولین شناور سطحی بدون سرنشین خود را با هدف بازرسی زیرسطحی رونمایی کرد

امارات متحده‌ی عربی اولین شناور بدون سرنشین سطحی خود را که از هرجای جهان قابل رصد، کنترل و مدیریت از راه دور است، با اهداف بازرسی زیرسطحی دارایی های انرژی مستقر در اعماق دریا، عملیاتی و رونمایی کرد. این شناور عملیات بازرسی را تا عمق ۴۰۰ متری سطح دریا انجام داده و فرایند بازرسی فنی را تا ۹۵٪ کم انرژی تر و کم کربن تر می‌سازد. از دیگر اقدامات امارات متحده‌ی عربی، تدوین نظام نامه‌ی عملیات چنین شناور بدون سرنشین در حوزه‌ی حساس انرژی و دریافت گواهی های لازم می باشد.

. . . گزارش تحلیلی . . .

نظم نوین آینده انرژی

مدل انرژی جهانی[1] شل، چشم اندازی تا سال ۲۱۰۰

. . . بخش دوم . . .

جهان در آینده چقدر انرژی مصرف خواهد کرد و انرژی های آتی چه اَشکالی خواهند داشت؟

سمانه سنجری

بخش اول این گزارش شامل مقدمه، توصیف مدل انرژی جهانی شل و بخشی از نحوه کار آن در نسخه قبل ارائه شده و ادامه آن شامل نحوه کار مدل، نحوه مدلسازی و خروجی‌های این مدل در نسخه ماه جاری ارائه خواهد شد.

ترکیب رویکردهای بـالا به پایین و پایین به بالا

◄ رویکردهای بالا به پایین با تصویر بزرگ شروع می‌شوند و به تدریج لایه‌هایی با جزییات بیشتر از ساختار را اضافه می‌کنند.

◄ در مقابل، رویکردهای پایین به بالا با ارائه دقیق عناصر یک سیستم آغاز شده و سپس به سیستم‌های بزرگ‌تر متصل می‌شوند.

◄ دامنه تحت پوشش مدل انرژی جهانی گسترده است و کل جهان و کل سیستم انرژی را در بازه زمانی منتهی به ۲۱۰۰ شامل می شود. به این ترتیب، مدل انرژی جهانی، نیاز اساسی به استفاده از رویکردهای تجمیعی (به عنوان مثال از بالا به پایین)، به منظور حفظ یک ساختار منسجم دارد. رویکرد بالا به پایین همچنین مزیت ارتباط پویای سیستم‌ها با یکدیگر از طریق سازوکار قیمت را فراهم می کند.

◄ مدل انرژی جهانی، تکیه بیشتری به روش‌های اقتصادسنجی از بالا به پایین در اولین مولفه، یعنی تقاضای انرژی دارد؛ در حالی که روش‌های پایین به بالا در مولفه‌های دوم و سوم، یعنی انتخاب انرژی و تامین انرژی بیشتر قابل‌مشاهده هستند.

استفاده از محرک‌های اقتصادی

◄ مدل انرژی جهانی، از محرک های اقتصادی آشنا (مانند تولید ناخالص داخلی، جمعیت و قیمت‌ها) برای مدل‌سازی انرژی از بالا به پایین استفاده می‌کند. در کنار این موارد، مدل، ورودی‌های پایین به بالای بسیاری مانند سیاست مبتنی بر قیمت (برای مثال قیمت‌های بخشی و کشوری دی اکسید کربن)، استانداردهای بهره‌وری یا نرخ گردش سهام دارد.

◄ ترکیب روش‌های بالا به پایین و پایین به بالا امکان بررسی طیف وسیعی از گزینه‌های سیاستی را فراهم می‌آورد.

ارزیابی تاثیرات

◄ مدل انرژی جهانی تاثیراتی مانند انرژی در ارتباط با دی اکسید کربن، استفاده از آب تازه حاصل از تولید انرژی، ردپای تبدیل (km۲) و هزینه‌های سرمایه‌گذاری را گزارش می‌کند.

◄ کمی‌کردن تأثیرات برای سنجش میزان منطقی بودن، به طور نمونه در خصوص مباحثه در مورد سناریوها ارزشمند است. این مباحثات در مورد تعیین بازخوردهای احتمالی از ورودی‌های مختلف، ایجاد ارتباط و بحث در مورد انتخاب‌های سیاسی، مفید فایده است. عدم قطعیت‌ها در چشم انداز انرژی، چالش‌های کلیدی ایجاد می‌کند.

اقلیم

◄ ظهور اجماع بین‌المللی حول یک چارچوب قابل پیاده‌سازی دی اکسید کربن، انتقال به انرژی پاک و سبز را سرعت می‌بخشد.

فناوری

◄ پیشرفت‌های صورت‌گرفته در فناوری‌های ذخیره انرژی یا کربن، بزرگ‌ترین عوامل مخل روند فعلی، به معنای جلوگیری از ادامه یا کارکرد سیستم انرژی جهانی به شیوه جاری است.

◄ رشد شتاب یافته حمل‌ونقل، با استفاده از حامل های غیرنفتی می‌تواند از گاز طبیعی، الکتریسیته، سوخت‌های زیستی و یا هیدروژن منتفع شود.

◄ موفقیت جهانی نفت و گاز شیل، پویایی عرضه بین‌منطقه‌ای را تغییر خواهد داد.

سیاست

◄ کاهش سرعت رشد اقتصادی در چین و هند، تأثیر قابل‌توجهی بر تقاضای جهانی انرژی خواهد داشت.

◄ افزایش رقابت بین سوختی و قیمت‌گذاری دی اکسید کربن بین گاز، زغال‌سنگ و انرژی‌های تجدیدپذیر در تولید برق، سازوکارهای قیمت‌گذاری آینده و بازارهای گاز و ذغال‌سنگ را شکل خواهد داد.

۴- چگونه سناریوها را مدل‌سازی کنیم؟

مدل انرژی جهانی، چگونه در فرآیند سناریوی شل جای می‌گیرد؟

1. World Energy Model (WEM)

◄ تیم سناریوها به صورت تاریخی از کمی‌سازی برای انعکاس داستان‌ها استفاده می‌کردند، اما پایداری مدل انرژی جهانی، نقش مدل‌سازی را تغییر داده است. به طوری که در حال حاضر برای آزمودن داستان‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

◄ یک خطر این است که ساختار مدل می‌تواند داستان سناریو را هدایت کند. تمرکز بر فناوری و اقتصاد می‌تواند نیروهای مهم‌تری مانند نیروهای رفتاری، سیاسی یا اجتماعی را حذف کند. به همین دلیل، مدل انرژی جهانی دارای طیف گسترده‌ای از ورودی‌های مبتنی بر سناریو است.

◄ مستقل نگه‌داشتن بسیاری از ورودی‌ها، این مزیت را دارد که می‌توان آن‌ها را با داستان سناریو تطبیق داد و تنظیم کرد.

◄ قراردادن (گنجاندن) بسیاری از ورودی‌ها به صورت خودکار (به صورت درونی) در داخل مدل، قابلیت کشف سناریوهای سیستم‌های انرژی با ساختار متفاوت را محدود می‌کند.

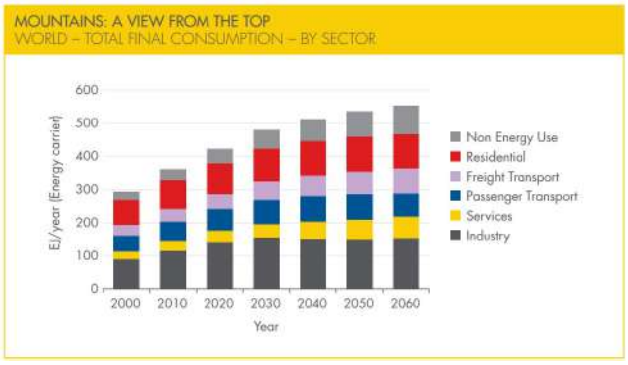
◄ به جای «جعبه سیاه»، نگه داشتن ورودی‌های متعدد به طور مستقل، انجام بحث‌هایی مانند این موضوع که «اگر سیستم انرژی محدود شود، کدام عناصر به احتمال زیاد به کار می‌آیند؟» را تسهیل می‌کند.

◄ چالش بعدی برای کاربرد مدل، انجام بررسی‌های سازگاری کافی، انطباق ورودی‌ها در صورت لزوم و گسترش تیم درگیر در ساخت داستان‌های سناریو است.

◄ برای به حداقل‌رساندن ریسک رایج دیگر در مدل‌سازی انرژی، به طور نمونه، از دست رفتن دید روندهای کوتاه‌مدت اساسی، مدل با گزینه‌های فعلی انرژی در محل، کالیبره شده است. سپس کاربر می‌تواند سناریوی چگونگی تکامل این پیشران را بر مدل اعمال کند.

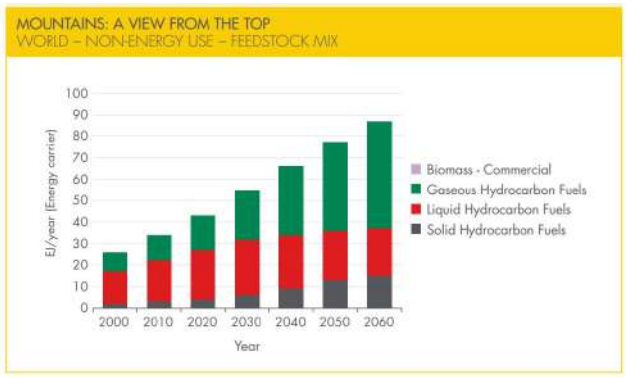
◄ در بحث سناریو، یک مزیت ارزشمند مدل انرژی جهانی، اجبار ثبات درونی الزامی آن[1] است. علاوه بر این، می‌تواند یک بررسی ارزشمند در مورد احتمال فرضیات توسعه‌ای، با استفاده از داده‌های تاریخی و روابط تجربی را نیز فراهم کند.

◄ مدل انرژی جهانی، برای پشتیبانی از روش شناسی سناریوهای شل برای بررسی عدم قطعیت از طریق آینده‌های بدیل متفاوت، به جای تحلیل حساسیت ساده طراحی شده است.



۵- مدل انرژی جهانی، چه خروجی‌هایی را می‌تواند فراهم کند؟

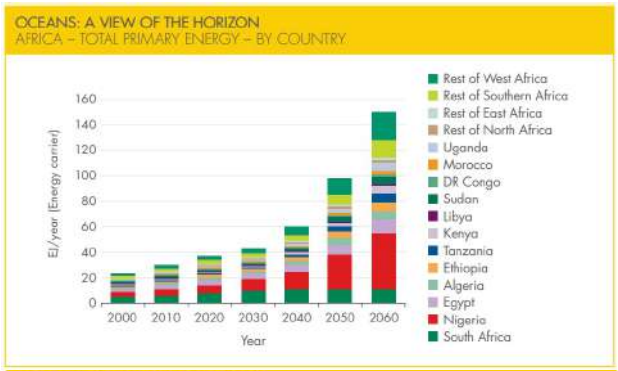
صفحات نمایشی شامل مجموعه‌ای از نمودارها، خروجی مدل انرژی جهانی را ارائه می‌دهند. شکل بالا، با نمایش سطوح مصرف بالا شروع می‌شود. در این سناریو، برخی بخش‌ها مسطح می‌شوند، در حالی که برخی دیگر به رشدشان ادامه می‌دهند. در نمودار زیر، یک بخش در حال رشد انتخاب شده است. این نمودار تغییر فناورانه، از طریق تغییر ترکیب مواد خام، با استفاده از سناریو افزایش عرضه گاز شیل و ذغال‌سنگ موجود را نشان می‌دهد.

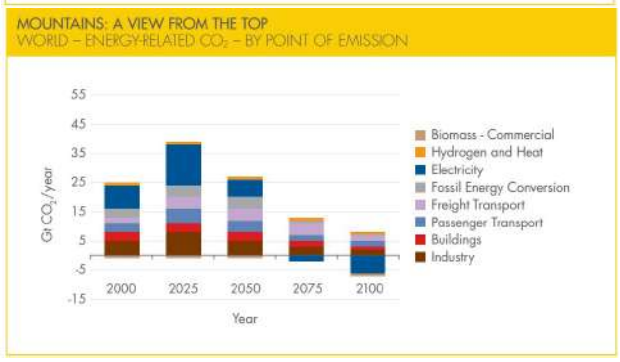


تقریبا در تمام سناریوهای مدل انرژی جهانی، آسیا در رشد تقاضای انرژی جهان تا اواسط قرن و فراتر از آن قرار دارد. در سناریویی مانند

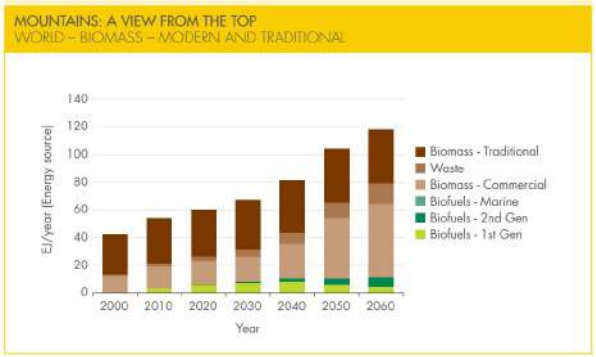
۱. Internal Consistency: سازگاری درونی آن است که میزان ارتباط متقابل یا همگنی بین آیتم های یک آزمون به گونه ای همخوان با هم و اندازه گیری یک چیز مشخص است.

اقیانوس‌ها[2] ، با تبدیل سریع‌تر انرژی، مدل انرژی جهانی یک احتمال جذاب را ارایه می‌دهد که در اواخر قرن، تقاضای جهانی می‌تواند همانطور که اقتصادها به اندازه کافی بالغ می‌شوند، کاهش یابد[3] . در شکل زیر، مدل‌سازی کشورهای مختلف در آفریقا می‌تواند مراحل مختلف توسعه را برجسته کند.

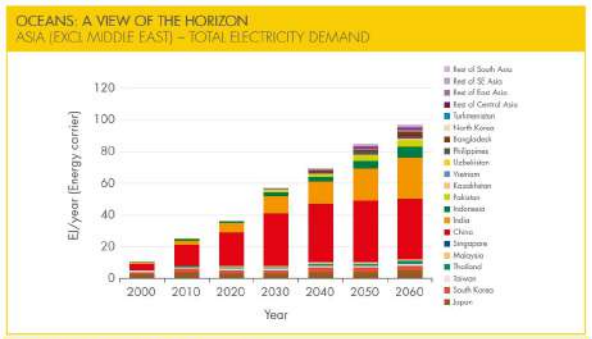


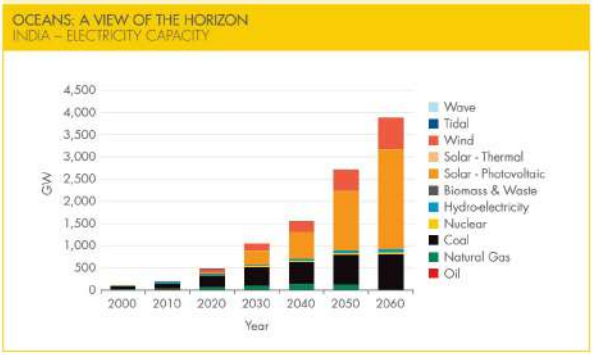


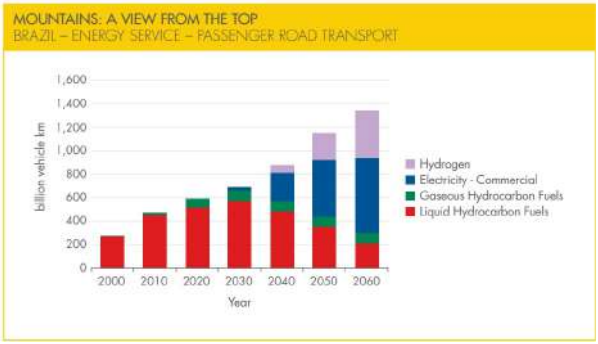
تجزیه و تحلیل مدل انرژی جهانی، هسته اصلی مجموعه سناریوها در مورد انتشار خالص صفر بود. کربن‌زدایی بخش‌های مختلف سیستم انرژی با نرخ‌های مختلف و نقش انتشار منفی، با استفاده از زیست توده با فناوری جذب و انبارش کربن[4] نشان داده شده است. در شکل زیر، مدل انرژی جهانی در سناریوی کوهستان‌ها[5]، روندهای مختلفی را برای زیست‌توده مدرن و سوخت‌های زیستی در تقابل با زیست‌توده سنتی در حال حاضر، نشان می‌دهد.



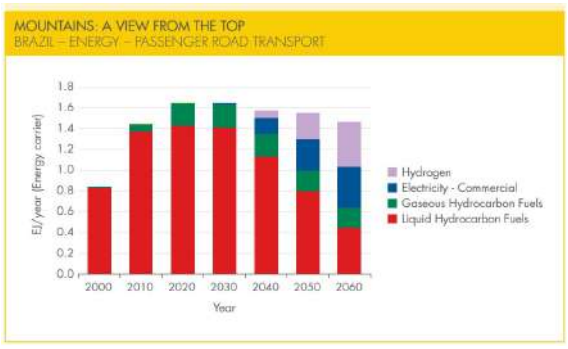
سناریوی کوهستان‌ها، ظهور سریع خودروهای الکتریکی را بررسی کرده است. مدل‌سازی انرژی جهانی برای برزیل، نشان‌دهنده رشد





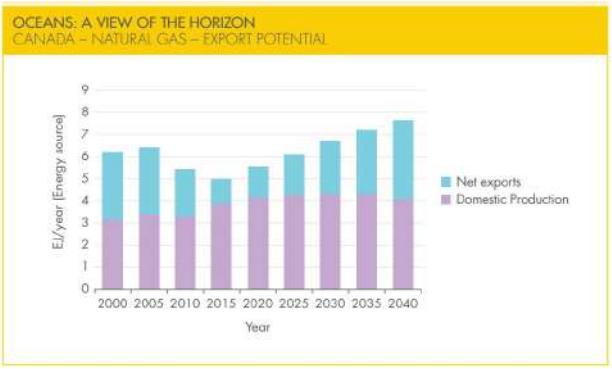


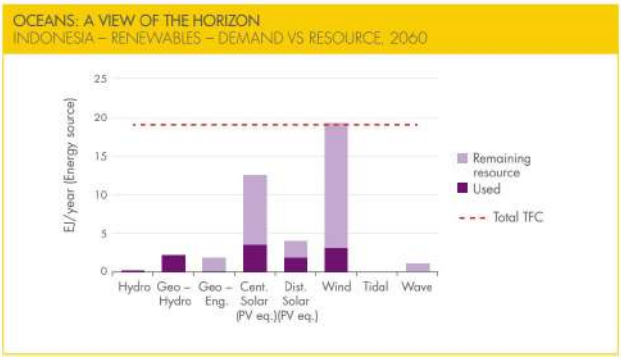
قابل‌توجه در تقاضای سفر و افزایش بسیار سریع وسایط نقلیه الکتریکی، همراه با نقش بلندمدت برای هیدروژن و سوخت‌های مایع در کشوری با مسافت های زیاد را نشان می دهد. در شکل زیر، در نتیجه افزایش بهره‌وری و جایگزینی با وسایل نقلیه جدید، تقاضای کل انرژی در این بخش (حمل و نقل) در دهه ۲۰۲۰ کاهش یافته است.



مدل انرژی جهانی، از منابع تجدید پذیر در هر کشور به عنوان یک محدودیت استفاده می‌کند. این منابع خودشان وابسته به سناریو هستند. سناریوی اقیانوس ها از مورد بالا در مطالعه ویژه شرکت

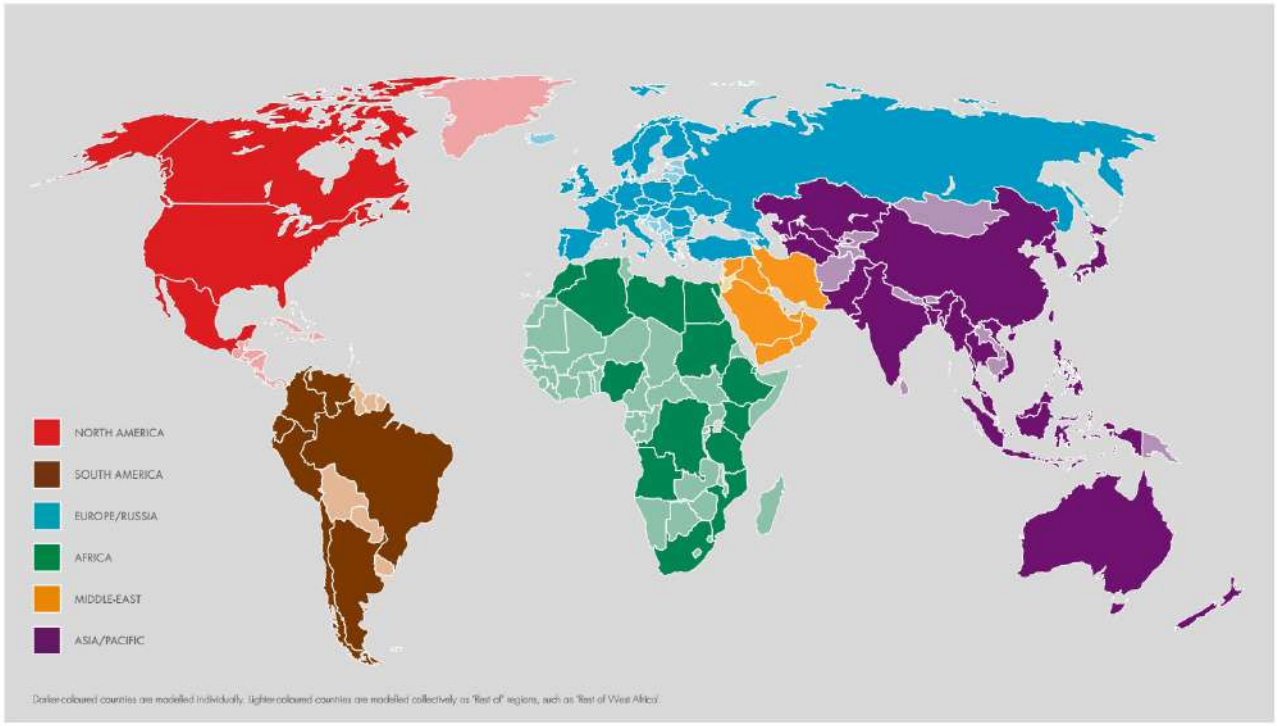
2. Oceans
3. Level off
4. Carbon Capture & Storage (CCS)
5. Mountains





اکوفیس[6] برای سناریوهای شل استفاده کرد[7] . در شکل زیر، مدل انرژی جهانی، تولید گاز (برگرفته از مدل تأمین جهانی شل) را در کنار تقاضا برای نشان دادن صادرات خالص گاز قرار می‌دهد.

سناریوها کمک می‌کنند تا انتخاب‌ها و تصمیم گیری ها در شرایط عدم قطعیت، به ویژه در مواجهه با مسایل پیچیده ای نظیر: انرژی و محیطزیست صورت گیرد. کشورهایی که مدل‌سازی شده‌اند، در شکل زیر نشان داده شده اند.



6. Ecofys
7. www.shell.com/arios

نظم دوره گذار انرژی

. . . گزارش تحلیلی . . .

چشم‌اندازهای فناوری انرژی ۲۰۲۳

پیمان نیلچی‌پور

مقدمه

هر کشوری نیازمند یافتن راهی برای بهره‌مندی از فرصت‌های موجود در اقتصاد انرژی جدید است و باید راهبرد صنعتی خود را مطابق با نقاط قوت و ضعف خویش تعریف کند. گزارش جدید آژانس بین المللی انرژی (ETP-۲۰۲۳)، از سری گزارش‌های «چشم‌اندازهای فناوری پاک»، شرحی فراگیر از وضعیت حال حاضر زنجیره‌های تأمین انرژی پاک جهان ارائه می‌دهد و ریسک‌ها و فرصت‌های حول توسعه و رشد زنجیره‌های تأمین فناوری‌های انرژی پاک در سال‌های پیش رو را از منظر امنیت، انعطاف‌پذیری و پایداری انرژی مورد تجزیه‌وتحلیل قرار می‌دهد. این گزارش، حوزه‌های معدن، تولید موادی نظیر لیتیوم، مس، نیکل، فولاد، سیمان، آلومینیوم، پلاستیک‌ها و ساخت و راه‌اندازی فناوری‌های کلیدی در حوزه‌ی انرژی را پوشش می‌دهد و چگونگی تحولات این بخش‌ها در دهه‌های پیش رو را در روند تلاش کشورها برای تأمین انرژی و دست‌یابی به اهداف آب و هوایی و صنعتی خود، به‌دقت مورد بررسی قرار می‌دهد. این گزارش فرصت‌های موجود برای ایجاد زنجیره‌های تأمین منعطف و پایدار فناوری‌های انرژی پاک را نیز مورد ارزیابی قرار می‌دهد و به بررسی الزامات و راهبردهای سیاست‌گذاران در این مسیر می‌پردازد.

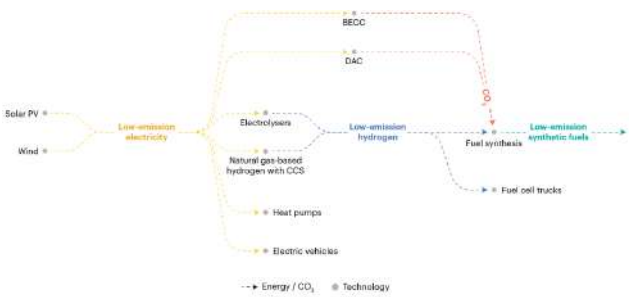
عصر تولید فناوری‌های انرژی پاک

صنایعی که در اوایل دهه‌ی ۲۰۰۰ در دوران آغازین خود بودند، ازجمله فتوولتاییک‌های خورشیدی و انرژی بادی و آن‌هایی که در دهه‌ی ۲۰۱۰ ظهور کردند مثل خودروهای برقی و باتری‌ها، امروزه با شتاب به مرحله‌ی تولید انبوه رسیده‌اند. مقیاس و اهمیت این صنایع و صنایع انرژی پاک مهم دیگر به‌سرعت رو به افزایش است. کشورها در سراسر جهان، تلاش‌های خود را برای گسترش تولید فناوری‌های انرژی پاک افزایش داده‌اند و هم‌زمان، اهداف گذار به انتشار صفر خالص، تقویت امنیت انرژی و رقابت در اقتصاد انرژی جهانی جدید را دنبال می‌کنند. بحران جهانی انرژی در حال حاضر، یک برهه‌ی حیاتی برای گذار انرژی جهان است و در سال‌های پیش رو موجی از سرمایه‌گذاری‌ها را به‌سوی طیفی از صنایع روانه خواهد کرد. در چنین شرایطی، ایجاد زنجیره‌های تأمین پایدار برای تأمین انرژی پاک امری حیاتی است.

اقتصاد انرژی جدید، فرصت‌ها و ریسک‌های جدیدی به همراه دارد

گذار انرژی پاک، فرصت‌های بزرگی برای رشد و اشتغال‌زایی در صنایع جدید و رو به گسترش مهیا می‌کند. درصورتی‌که کشورها در سراسر جهان به تعهدات آب و هوایی و انرژی خود عمل کنند، تا سال ۲۰۳۰، فرصت ایجاد بازار جهانی برای تولید انبوه فناوری‌های مهم انرژی پاک، با ارزشی بالغ بر حدوداً ۶۵۰ میلیارد دلار به وجود خواهد آمد که بیش از سه برابر سطح حال حاضر آن است. تا سال ۲۰۳۰ تعداد مشاغل مرتبط با تولید انرژی پاک، با بیش از دو برابر افزایش، از ۶ میلیون شغل در حال حاضر، به ۱۴ میلیون شغل خواهد رسید. بیش از نیمی از این مشاغل با تولید خودروهای برقی، فتوولتاییک‌های خورشیدی، انرژی بادی و پمپ‌های حرارتی مرتبط خواهند بود. ادامه‌ی گذار انرژی تا فرای سال ۲۰۳۰، به رشد سریع‌تر صنعت و اشتغال خواهد انجامید.

زنجیره های تأمین فناوری و انرژی در ارتباط متقابل با هم قرار دارند. تولید، حمل‌ونقل و ذخیره‌ی هر نوع از انرژی مستلزم فناوری‌هایی است که خود باید تولید و به کار گرفته شوند. درعین‌حال، تمام مراحل مختلف در طول زنجیره‌ی تأمین فناوری، مصرف‌کننده‌ی انرژی هستند و درنتیجه به زنجیره‌های تأمین انرژی وابسته‌اند.

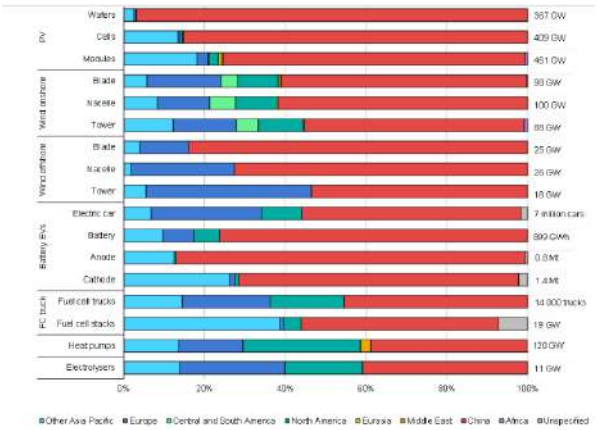


شکل ۱ : نمودار مراحل و وابستگی‌های متقابل زنجیره های تامین فناوری و انرژی

روندهای اخیر در هزینه‌های فناوری و قیمت‌های انرژی، پیوند متقابل بین این دو زنجیره‌ی تأمین را نشان می‌دهد. قیمت‌های بسیاری از مواد معدنی و فلزاتی که برای بعضی از فناوری‌های انرژی پاک اساسی هستند، در چند سال اخیر به‌واسطه‌ی پاره‌ای از دلایل مربوط به انرژی، ازجمله افزایش تقاضا، اختلال در زنجیره‌ی تأمین، نگرانی از آینده‌ی عرضه و افزایش قیمت‌های انرژی، به‌یک‌باره صعود کرده اند.

اما سطوح متمرکزی از ریسک‌های بالقوه نیز در زنجیره‌های تأمین انرژی پاک وجود دارد؛ هم در تولید فناوری‌ها و هم تأمین موادی که تولید آن‌ها به آن وابسته است. چین در حال حاضر بر تولید و تجارت بیش‌تر فناوری‌های انرژی پاک حاکم است. سرمایه‌گذاری‌های چین در زنجیره‌ی تأمین انرژی پاک و در کاهش هزینه‌ی فناوری‌ها در سراسر جهان مؤثر بوده است و منافع فراوانی برای گذار انرژی پاک ایجاد کرده است. هم‌زمان، تمرکز جغرافیایی در زنجیره‌ی تأمین جهانی، چالش‌های بالقوه‌ای نیز ایجاد کرده است که دولت‌ها باید به آن‌ها بپردازند. در فناوری‌هایی با تولید انبوه مثل انرژی بادی، باتری‌ها، الکترولایزرها، صفحات خورشیدی و پمپ‌های حرارتی، سه کشور برتر تولیدکننده، حداقل ۷۰ درصد از ظرفیت تولید را برای هر فناوری به خود اختصاص داده‌اند و چین در تمام موارد سیطره یافته است. چین امروز پیشتاز تأمین جهانی فناوری‌های انرژی پاک و یک صادرکننده‌ی خالص برای بسیاری از آن‌ها است (۶۰ درصد ظرفیت تولید فتوولتاییک‌های خورشیدی، سیستم‌های بادی و باتری‌ها و ۴۰ درصد تولید الکترولایزرها).

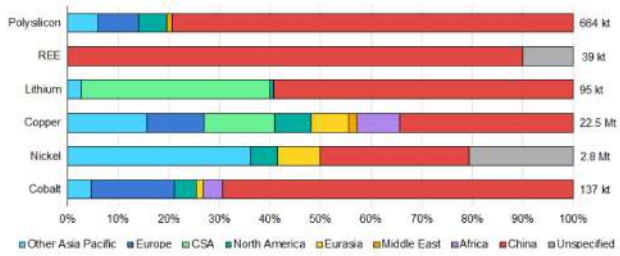
پراکندگی جغرافیایی مواد معدنی مهم، اغلب در کشورها یا مناطق خاصی متمرکز است. برای مثال کشور کنگو به‌تنهایی ۷۰ درصد از کبالت جهان را تولید می‌کند و سه کشور نیز بیش از ۹۰ درصد تولید لیتیوم جهان را در اختیاردارند. همچنین، ۶۰ درصد از عناصر نادر زمین (REEs) را چین و ۴۰ درصد نیکل دنیا را اندونزی تأمین می‌کند. سهم استخراج لیتیوم نیز با ۵۵ و ۲۵ درصد به ترتیب در اختیار استرالیا و شیلی است. تمرکز در هر نقطه از زنجیره‌ی تأمین، کل آن را در برابر حوادث مختلف آسیب‌پذیر می‌سازد. ممکن است این حوادث به سیاست‌های اتخاذی از سوی یک کشور، فجایع طبیعی، ایرادات فنی یا تصمیمات یک شرکت مربوط شوند. در حال حاضر، تولید مواد حیاتی، به‌شدت ازنظر جغرافیایی متمرکز است و این موضوع نگرانی‌ها در مورد امنیت تأمین را افزایش می‌دهد.



شکل۲: نمودار سهم منطقه‌ای ظرفیت تولید فناوری‌ها و اجزای فناوری‌های انرژی پاک به تولید انبوه رسیده‌ی منتخب در سال ۲۰۲۱

جهان تاکنون در موارد مختلف با ریسک‌های ناشی از اختلال در زنجیره‌های تأمین مواجه شده است که در سال‌های اخیر موجب افزایش قیمت‌های فناوری‌های انرژی پاک گشته و گذار انرژی پاک را در کشورها پرهزینه و دشوار ساخته است. افزایش حدوداً ۱۰ درصدی قیمت‌های کبالت، لیتیوم و نیکل در سال ۲۰۲۲ در سراسر جهان منجر به اولین افزایش قیمت در باتری‌ها شد. هزینه‌ی تولید توربین‌های بادی در خارج از چین نیز بعد از سال‌ها کاهش، اخیراً رو به افزایش گذاشته است و قیمت‌های مواد اولیه‌ای مثل فولاد و مس در نیمه‌ی اول سال ۲۰۲۲ در مقایسه با زمان مشابه در سال ۲۰۲۰ تقریباً دو برابر شده است. روندهای مشابهی نیز در زنجیره‌های تأمین فتوولتاییک‌های خورشیدی مشاهده می‌شود.

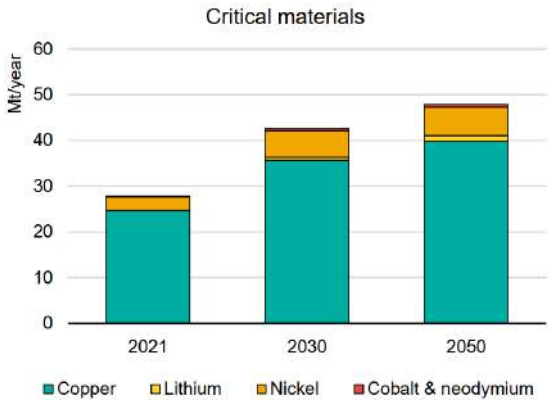
گذار انرژی پاک مستلزم استفاده‌ی فراوان از مواد است. مواد

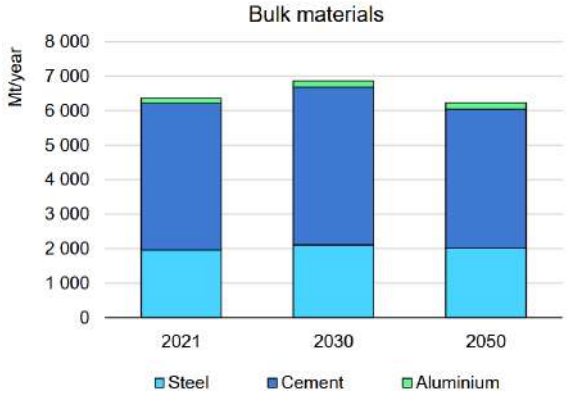


شکل۳: سهم منطقه‌ای تولید جهانی مواد حیاتی مهم در سال ۲۰۲۱

حیاتی (لیتیوم، کبالت، نیکل، مس و نئودیمیوم) و مواد انبوه (فولاد، سیمان، پلاستیک و آلومینیم) برای تولید طیفی از فناوری‌ها و ایجاد زیرساخت‌ها، ازجمله توربین‌های بادی، باتری‌های خودروهای برقی و شبکه‌ی توزیع برق لازم است. تقاضا برای هر یک از این پنج ماده‌ی حیاتی تا سال ۲۰۳۰ از ۱/۵ تا ۷ برابر افزایش خواهد یافت.

تولید سنتی مواد انبوه، پر انتشار و کربن‌زدایی از آن بسیار دشوار است. بیشتر روش‌های تولید، با انتشار نزدیک به صفر، در حال حاضر در دسترس نیستند اما در سناریوی انتشار صفر خالص (NZE) تا سال ۲۰۳۰، تولید مواد انبوه با انتشار نزدیک به صفر باید از حداقل مقدار کنونی به حدود ۱۳۰ میلیون تن برای فولاد اولیه و ۳۷۰ میلیون تن سیمان برسد.





شکل۴: نمودار تقاضای کلی جهانی برای مواد بر اساس نوع مواد (حیاتی/انبوه) در سناریوی NZE

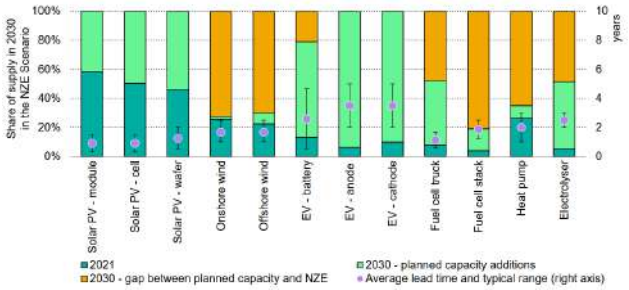
دولت‌ها در شکل‌دهی به آینده‌ی تولید فناوری انرژی پاک در حال رقابت هستند

کشورها در تلاش هستند تا انعطاف و تنوع در زنجیره‌های تأمین انرژی پاک را افزایش دهند، درحالی‌که برای بهره‌مندی از فرصت‌های اقتصادی عظیم نیز در رقابت هستند. اقتصادهای برتر برای یکپارچه‌سازی سیاست‌های آب و هوایی، امنیت انرژی و صنعتی خود وارد عمل شده‌اند. قانون کاهش تورم در ایالات‌متحده، نمونه‌ی روشنی ازاین‌دست اقدامات است. هم‌زمان، برنامه‌های مشابه دیگری نیز در سراسر جهان تدوین‌شده یا در دست اجرا است، برای مثال، بسته‌ی Fit for ۵۵ و برنامه‌ی REPowerEU در اتحادیه‌ی اروپا، برنامه‌ی گذار سبز ژاپن، برنامه‌ی اقدامی تولید در هند که تولید فتوولتاییک‌های خورشیدی و باتری‌ها را مورد تشویق قرار می‌دهد و تلاش چین برای دست‌یابی و حتی فراتر رفتن از اهداف آخرین برنامه‌ی پنج‌ساله‌ی خود، از این دست راهبردها هستند.

کشورهایی که راهبردهای صنعتی انرژی پاک خود را به‌درستی اتخاذ کنند، سهم بزرگی را در این مسیر به خود اختصاص خواهند داد. سرمایه‌گذاران و توسعه‌دهندگان پروژه، سیاست‌هایی را که در بازارهای مختلف بتواند یک حاشیه‌ی رقابتی مناسب در اختیار آن‌ها قرار دهد، به‌دقت تحت نظر دارند و از سیاست‌های حمایتی استقبال می‌کنند.

در این مسیر، برای تنوع‌بخشی و تقویت زنجیره‌های تأمین انرژی پاک باید تلاش های بیشتری صورت پذیرد. در حال حاضر، چین بیش‌ترین برنامه‌های اعلام‌شده‌ی توسعه‌ی ظرفیت تولید اجزای فناوری‌های انرژی پاک را تا سال ۲۰۳۰ در اختیار دارد، ازجمله برای فتوولتاییک‌های خورشیدی (حدود ۸۵ درصد برای سلول‌ها و ماژول‌ها و ۹۰ درصد برای ویفرها یا صفحات اتصال نیمه‌هادی)؛ اجزای توربین‌های بادی درون خشکی (حدود ۸۵ درصد برای تیغه‌ها و ۹۰ درصد برای محفظه‌های موتور و برج‌ها) و اجزای باتری‌های خودروهای برقی (۹۸ درصد برای مواد آندی و ۹۳ درصد برای مواد کاتدی). الکترولایزرهای تولید هیدروژن از این قاعده مستثنا هستند، به‌طوری‌که چین و اتحادیه‌ی اروپا هرکدام حدوداً یک‌چهارم از ظرفیت تولید اعلام‌شده برای تولید این فناوری را در سال ۲۰۳۰ در اختیار خواهند داشت و ۱۰ درصد از سهم تولید آن نیز در اختیار ایالات‌متحده خواهد بود.

در حال حاضر، تنها ۲۵ درصد از پروژه‌های تولیدی اعلام‌شده برای فتوولتاییک‌های خورشیدی تحت ساخت قرار دارند یا در شرف ساخت هستند. این رقم برای باتری‌های خودروهای برقی ۳۵ درصد و برای الکترولایزرها کم‌تر از ۱۰ درصد است. بالاترین درصدها متعلق به چین است که در حال حاضر در آن ۲۵ درصد از کل پروژه‌های تولید فتوولتاییک‌های خورشیدی و ۴۵ درصد از پروژه‌های تولید باتری در مراحل پیشرفته قرار دارند. در ایالات‌متحده و اروپا کم‌تر از ۲۰ درصد از کارخانه‌های اعلام‌شده برای تولید باتری و الکترولایزر، تحت ساخت قرار گرفته‌اند. زمان متوسط نسبتاً کوتاه ۱ تا ۳ ساله برای راه‌اندازی تأسیسات تولیدی به این معنی است که پروژه‌ها در کشورهایی که دارای محیط مناسب سرمایه‌گذاری هستند به‌سرعت گسترش می‌یابند. پروژه‌های تولیدی اعلام‌شده‌ای که در یک کشور به اجرا درنیامده‌اند، ممکن است در جای دیگر به دلیل تغییر سیاست‌ها و گسترش بازار، کاملاً توسعه‌یافته باشند.



شکل۵: ظرفیت جاری تولید جهانی، شرایط ظرفیت‌های اعلام‌شده، کسری ظرفیت در سال ۲۰۳۰ نسبت به سناریوی NZE و زمان‌های انتظار برای بهره‌برداری از فناوری‌های به‌تولید انبوه رسیده‌ی منتخب انرژی پاک و اجزا و قطعات آن‌ها

زنجیره‌ی تأمین انرژی پاک، از تجارت بین‌المللی بهره‌مند می‌شود

تجارت بین‌المللی برای گذار سریع و اقتصادی انرژی پاک حیاتی است، اما کشورها باید تنوع تأمین‌کنندگان را افزایش دهند. در مورد فتوولتاییک‌های خورشیدی، بسیاری از اجزای آن‌ها امروزه مورد تجارت قرار می‌گیرند، به‌ویژه ویفرها و ماژول‌های آن‌ها. سهم تجارت بین‌المللی از تقاضای جهانی ماژول‌های فتوولتاییک‌های خورشیدی نزدیک به ۶۰ درصد است. حدود نیمی از ماژول‌های خورشیدی در چین تولید شده و غالباً به اروپا و منطقه‌ی آسیا و اقیانوسیه صادر می‌شود. شرایط برای خودروهای برقی نیز همین‌گونه است و بیش‌تر اجزا و قطعات آن‌ها از سمت آسیا به اروپا تجارت می‌شود، به‌نحوی‌که واردات ۲۵ درصد از باتری‌های خودروهای برقی به اروپا از چین صورت می‌پذیرد. اجزا و قطعات توربین‌های بادی، سنگین و پرحجم هستند اما تجارت بین‌المللی برج‌ها، تیغه‌ها و محفظه‌های موتور آن‌ها نیز کاملاً به همین منوال است. چین یک بازیگر اصلی در تولید اجزا و قطعات توربین‌های بادی است و ۶۰ درصد از ظرفیت جهانی تولید و نیمی از کل صادرات آن‌ها را در دست دارد و بیش‌تر آن را به کشورهای آسیایی دیگر و اروپا صادر می‌کند. سهم تولید داخلی تیغه‌ها و کاسه ملخ‌های توربین‌های بادی در ایالات‌متحده کم‌تر از ۲۵ درصد است. سهم تجارت بین‌المللی در تولید جهانی پمپ‌های حرارتی کم‌تر از ۱۰ درصد و عمدتاً از چین به اروپا است.

حجم پروژه‌های تولیدی اعلام‌شده تا سال ۲۰۳۰ برای فناوری‌های انرژی پاک بسیار زیاد است. اگر تمام پروژه‌های اعلام‌شده برای

گسترش ظرفیت تولید تحقق یابد و تمام کشورها به تعهدات آب و هوایی اعلام‌شده‌ی خود عمل کنند، چین در سال ۲۰۳۰ به‌تنهایی قادر به تأمین کل بازار جهانی برای ماژول‌های فتوولتاییک‌های خورشیدی، یک‌سوم از بازار جهانی الکترولایزرها و ۹۰ درصد بازار باتری‌های خودروهای برقی خواهد بود. پروژه‌های اعلام‌شده در اتحادیه‌ی اروپا برای تأمین تمام نیازهای داخلی این منطقه به الکترولایزرها و باتری‌های خودروهای برقی کافی است، اما آن‌ها همچنان به‌شدت وابسته به واردات فتوولتاییک‌های خورشیدی و توربین‌های بادی که در حال حاضر از فناوری پیشرفته‌ای برخوردار هستند، خواهند بود. شرایط در ایالات‌متحده مشابه است، گرچه در آمریکا به دلیل تصویب قانون کاهش تورم (موسوم به قانون آب و هوایی)، احتمال زیادی برای افزایش ظرفیت‌های بیشتر وجود دارد. ظرفیت پروژه‌های اعلام‌شده‌ی کنونی در سطح جهان فراتر از میزان تقاضا برای برخی از فناوری‌ها مثل فتوولتاییک‌های خورشیدی، باتری‌ها و الکترولایزرها است. این ظرفیت برای تأمین فناوری‌های دیگر نظیر اجزا و قطعات توربین‌های بادی، پمپ‌های حرارتی و پیل‌های سوختی به‌طور قابل‌توجهی کم است. این موضوع نشان می‌دهد هدف‌گذاری‌های روشن و تضمینی از سوی دولت‌ها برای بهره‌برداری از فناوری‌های مذکور از اهمیت زیادی برخوردار است؛ چراکه چنین هدف‌گذاری‌هایی از بروز عدم اطمینان نسبت به تقاضا پیش‌گیری کرده و تصمیم‌گیری‌ها برای سرمایه‌گذاری را هدایت می‌کند.

تأمین مـواد حیاتـی، چالش‌های مخصوص بـه خود را به همراه دارد

استخراج مواد معدنی حیاتی تنها مرحله‌ای در زنجیره‌های تأمین فناوری انرژی پاک است که فقط به منابع موهبتی وابسته است. مدت‌زمان طولانی آمادگی برای بهره‌برداری از معادن که ممکن است از زمان شروع پروژه تا اولین تولید، بیش از ده سال به طول انجامد، ریسک تبدیل تأمین مواد معدنی به یک گلوگاه بزرگ در تولید فناوری انرژی پاک را افزایش می‌دهد. علاوه بر این، تمرکز زیاد جغرافیایی حال حاضر در تولید این مواد، موجب ایجاد ریسک‌هایی در امنیت تأمین می‌شود. همکاری بین‌المللی و مشارکت راهبردی برای رفع این ریسک‌ها حیاتی است. نشانه‌های سیاستی روشن و تضمینی در خصوص بهره‌برداری از این منابع در آینده، به‌طور خاصی برای رفع ریسک‌های سرمایه‌گذاری در این حوزه اهمیت دارد، زیرا شرکت‌ها در توسعه‌ی ظرفیت‌های جدید استخراج مواد معدنی، باید از افزایش به‌موقع مقیاس بهره‌برداری از فناوری‌های انرژی پاک، پیش از تکمیل زنجیره‌ی تأمین آن اطمینان یابند.

بیش‌تر پروژه‌های اعلام‌شده برای فراوری و پالایش مواد معدنی حیاتی، در چین اجرا خواهند شد. این فرایندهای میان دستی بسیار انرژی بر هستند. چین ۸۰ درصد از ظرفیت تولید اضافی اعلام‌شده برای مس تا سال ۲۰۳۰ را به خود اختصاص می‌دهد و بر ظرفیت اعلام‌شده برای پالایش فلزات مهم مورداستفاده در باتری‌ها، سلطه خواهد یافت (۹۵ درصد برای کبالت و حدود ۶۰ درصد برای لیتیوم و نیکل). میزان گسترش ظرفیت فراوری مواد معدنی در برنامه‌های جاری در سطح جهان، از حجم موردنیاز برای تولید و بهره‌برداری از فناوری‌های انرژی پاک بسیار کم‌تر است. پلی سیلیکون برای زنجیره‌ی تأمین فتوولتاییک‌های خورشیدی تنها حوزه‌ای است که در آن تا سال ۲۰۳۰ انتظار مازاد ظرفیت وجود دارد.

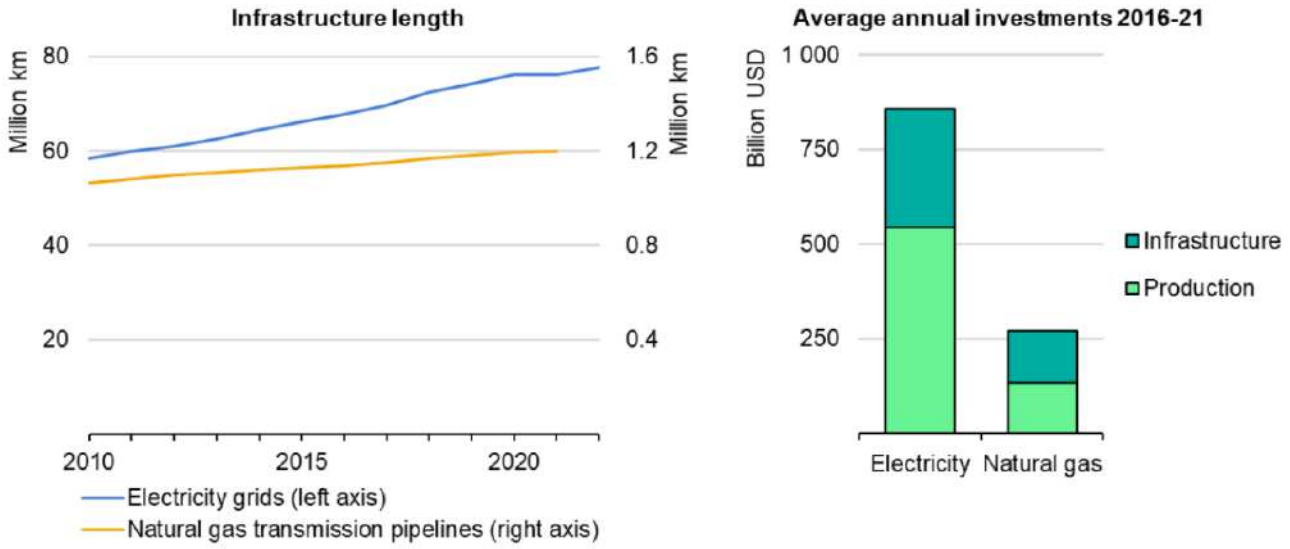
کاهش ریسک‌های تأمین مواد معدنی حیاتی مستلزم شبکه‌ای جدید و متنوع از ارتباطات و مشارکت‌های مختلف بین‌المللی میان تولیدکنندگان و مصرف‌کنندگان است. این ارتباطات نه‌تنها باید بر اساس دسترسی به منابع معدنی، بلکه در مورد استانداردهای زیست‌محیطی، اجتماعی و حکمرانی در تولید و فراوری آن‌ها نیز صورت پذیرد. این مشارکت‌های جدید باید به نحوی توازن یابد که فرصت‌های پیشرفت به فراسوی تولید مواد اولیه را، به‌ویژه در اقتصادهای درحال‌توسعه مهیا سازد.

در سمت تأمین، گزینه‌های مناسب ذخیره‌سازی، در برابر اختلالات احتمالی امنیت ایجاد می‌کند، اما مجموعه‌ی سیاست‌های حمایتی در تأمین مواد معدنی، باید همراه با توجه کافی در سمت تقاضا باشد؛ خصوصاً از طریق اتخاذ برنامه‌های بازیافت و حمایت از نوآوری در فناوری.

در راهبردهای صنعتی انرژی پاک کشـورها، باید نقاط قوت و ضعف آن‌ها در نظر گرفته شود

برای بیش‌تر کشورها منطقی نیست که به‌طور مؤثر در تمام بخش‌های زنجیره‌های تأمین فناوری انرژی پاک به رقابت بپردازند. کشورها لازم نیست این‌گونه عمل کنند. رقابت‌پذیری اختصاصی، اغلب به‌واسطه‌ی مزیت‌های ذاتی جغرافیایی ایجاد می‌شود، ازجمله با دسترسی به انرژی تجدیدپذیر یا منابع معدنی که امکان کاهش هزینه‌های تولید انرژی و تأمین مواد موردنیاز را مهیا می‌سازد؛ اما رقابت‌پذیری اختصاصی را می‌توان از جنبه‌های دیگر نیز به دست آورد، مثل ایجاد بازار عظیم داخلی، نیروی کار متخصص یا هم‌افزایی میان صنایع موجود و استفاده از سرریز دانش بین آن‌ها. ارزیابی و پرورش فراگیر این مزیت‌های رقابتی باید به تشکیل ستون مرکزی راهبردهای صنعتی دولت بینجامد که مطابق با قوانین بین‌المللی طراحی و با مشارکت‌های راهبردی تکمیل‌شده باشد.

هزینه‌های انرژی، همچنان وجه تمایز اصلی رقابت‌پذیری بخش‌های صنعتی انرژی‌بر کشورها خواهند بود. امروزه، رقابت‌پذیری صنعتی، بسیار به هزینه‌های انرژی بستگی دارد؛ به‌ویژه در خصوص گاز طبیعی و برق که هزینه‌ی تأمین آن‌ها در مناطق مختلف بسیار متفاوت است. این موضوع در مورد گذار انرژی پاک نیز صدق می‌کند. برای مثال، هزینه‌های تولید هیدروژن از برق تجدیدپذیر در چین و ایالات‌متحده (۳ تا ۴ دلار به ازای هر کیلوگرم)، به دلیل استفاده از بهترین منابع، بسیار کم‌تر از ژاپن و اروپای غربی (۵ تا ۷ دلار به ازای هر کیلوگرم) است و این امر به معنای تفاوت‌های مشابه در هزینه‌های تولید محصولات مشتق از آن، ازجمله آمونیاک و فولاد است. با روند پیشرفت کشورها جهت انجام تعهدات آب و هوایی خود، هم‌زمان با ادامه‌ی کاهش هزینه‌های برق تجدیدپذیر و الکترولایزرها، تفاوت هزینه بین مناطق مختلف تا حدودی رو به کاهش خواهد رفت اما شکاف رقابتی همچنان باقی خواهد ماند. در نظر گرفتن دقیق این موضوع که در چه بخش‌هایی از زنجیره‌ی تأمین می‌توان به‌طور بومی تخصص یافت و در کدام بخش‌ها بهتر است مشارکت‌های راهبردی یا سرمایه‌گذاری مستقیم در کشوری ثالث



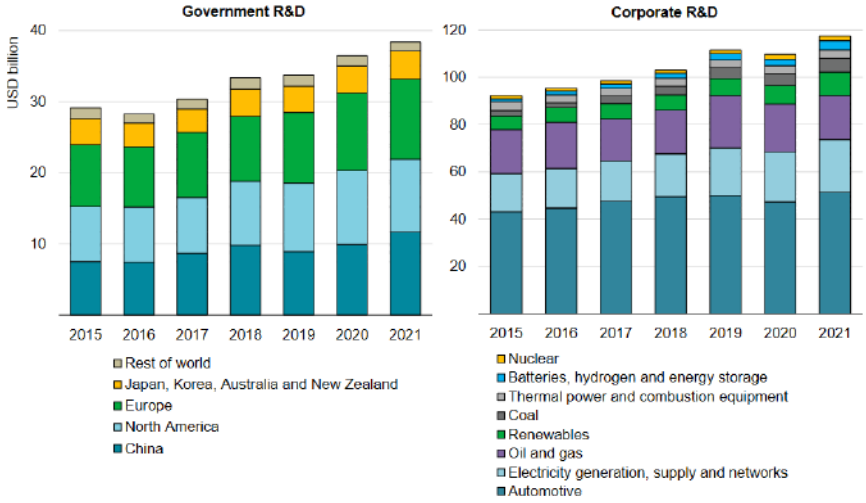
شکل۶: نمودار سرمایه‌گذاری و بهره‌برداری جهانی از زیرساخت‌های برق و گاز طبیعی

انجام داد، اساس ملاحظات راهبردهای صنعتی کشورها را تشکیل می‌دهد.

زیرساخت‌های جدید، ستون اصلی اقتصاد انرژی جدید را در تمام کشورها شکل می‌دهد. این موضوع حوزه‌هایی مثل حمل‌ونقل، انتقال، توزیع و ذخیره‌ی برق، هیدروژن و دی‌اکسید کربن را دربرمی‌گیرد. ایجاد زیرساخت‌های انرژی پاک ممکن است ده سال یا بیشتر زمان ببرد و معمولاً مستلزم انجام پروژه‌های بزرگ مهندسی شهری است که باید با برنامه‌ریزی‌های بومی گسترده همراه و با قوانین و مقررات زیست‌محیطی منطبق باشند. ساخت‌وساز در بیشتر موارد، فرایندی نسبتاً سودمند و اقتصادی است و به‌طور متوسط ۲ تا ۴ سال به طول مینجامد اما درعین‌حال، برنامه‌ریزی و اخذ مجوزهای لازم ممکن است موجب تأخیر و بروز مسائل و مشکلات شود و فرایند آن بسته به سیستم حقوقی هر کشور و نوع زیرساخت، ۲ تا ۷ سال طول بکشد. زمان انجام پروژه‌های زیرساختی معمولاً طولانی‌تر از زمان ساخت نیروگاه‌ها و تأسیسات صنعتی است که به آن‌ها می‌پیوندند.

نتیجه گیری

راهبردهای صنعتی برای تولید فناوری انرژی پاک، مستلزم رویکرد مشارکت کل بدنه ی هر دولت است تا میان رعایت الزامات امنیت انرژی و آب‌وهوا با فرصت‌های اقتصادی، هماهنگی نزدیک صورت پذیرد. این امر به معنای انجام سلسله‌ای از اقدامات راهبردی است، ازجمله: شناسایی و پرورش مزیت‌های رقابتی بومی؛ برآورد فراگیر ریسک‌های زنجیره‌های تأمین؛ کاهش زمان‌های صدور مجوز، شامل پروژه‌های بزرگ زیرساختی؛ به جریان انداختن سرمایه‌گذاری‌ها و تأمین مالی برای ایجاد عناصر مهم زنجیره‌ی تأمین، توسعه‌ی مهارت‌های نیروی کار در راستای نیازهای آینده و تسریع نوآوری برای توسعه‌ی فناوری‌هایی که در مراحل اولیه قرار دارند. هر کشوری دارای یک نقطه‌ی شروع متفاوت و توانایی‌های گوناگون است؛ بنابراین کشورها باید راهبردهای خاص خود را اتخاذ کنند. هیچ کشوری نمی‌تواند به‌تنهایی این مسیر را بپیماید. حتی زمانی که کشورها به ایجاد ظرفیت‌های داخلی خود می‌پردازند و جایگاه خویش را در اقتصاد انرژی جهانی جدید مستحکم می‌کنند، کماکان نیاز به کسب منافع از طریق مشارکت‌های بین‌المللی به‌عنوان بخشی از تلاش‌ها جهت ساخت پایه‌ای مستحکم برای صنایع آینده بر جای خود باقی است.



شکل۷: سرمایه‌گذاری دولتی در R&D بر اساس منطقه و سرمایه‌گذاری شرکتی در R&D بر اساس فناوری

مطالعه تطبیقی وضعیت انرژی های تجدیدپذیر در کشورهای منتخب

سیدصادق ضرغامی

مقدمه

یکی از روش های پیش بینی بازار جهانی انرژی، تحلیل رفتار مصرف کنندگان این حوزه، که همان کشورها می باشند، است. با این کار، شرکت های بزرگ انرژی فعال در این کشورها می توانند چشم انداز و راهبردهای انرژی خود را تدوین نموده و تلاش نمایند تا در آینده، سهم بیشتری از بازار انرژی را نصیب خود گردانند و سبب افزایش تولید ناخالص داخلی کشورمتبوع خود گردند. عدم انطباق اهداف شرکتها با تمایلات مصرف کنندگان، سبب حذف آنها از صحنه رقابت، کاهش درآمد کشور مربوطه و بدنبال آن، کاهش شاخص رفاهی مردم می گردد. در قرن حاضر شاهد ظهور مگاترندهایی نظیر فناوری های پاک، انرژی های تجدید پذیر، خودروهای الکتریکی، ذخیره سازی انرژی و نظایر آنها هستیم که سبب ایجاد پارادایم های نوین گردیده اند. شرکت هایی که زودتر بتوانند این پارادایم ها را شناسایی و راهبردهای خود را با آن منطبق کنند، بهره بیشتری از بازارهای آینده خواهند برد. در این گزارش قصد داریم وضعیت برخی از کشورهای مهم توسعه یافته و منطقه ای در خصوص توسعه انرژی های تجدید پذیر را مورد مطالعه قرار داده و مقایسه نماییم، و در نهایت جایگاه کشور را در این خصوص یافته، و شکاف ها را شناسایی نماییم.

آلمان

کشور آلمان آغازگر توسعه انرژی های تجدید پذیر از سال ۲۰۰۰ میلادی بوده است. توسعه انرژی های تجدید پذیر جزو فعالیت های اصلی در دوران انتقال انرژی آلمان می باشد. در سال ۲۰۲۱، حدود ۱۹/۷% از مصرف ناخالص انرژی در آلمان توسط انرژی های تجدید پذیر تامین شده است. سهم انرژی های تجدید پذیر در تولید ناخالص برق در همان سال حدود ۴۱% بود که از این مقدار ۱۵/۸% مربوط به انرژی بادی خشکی، ۸/۸% انرژی خورشیدی، ۷/۵% زیست توده، ۴/۳% انرژی بادی دریایی، و ۳/۴% برق آبی بوده است. در سالهای اخیر، برق بادی رشد قابل توجهی در تولید برق در آلمان داشته است. در سال مذکور، انرژی بادی ساحلی و فراساحلی جمعا سهم ۴۸/۸% از تولید برق تجدید پذیر را دارا بودند.

روند رشد تکنولوژی انرژی بادی فراساحلی سبب شد که در سال ۲۰۲۰ ، چشم انداز توسعه ظرفیت آن از ۵ گیگاوات تا سال ۲۰۳۰ به ۲۰ گیگاوات تا سال مذکور افزایش یابد. بعلاوه، گام های بیشتر جهت تسهیل توسعه تاسیسات انرژی بادی ساحلی و استفاده از تاسیسات انرژی خورشیدی مورد انتظار است.

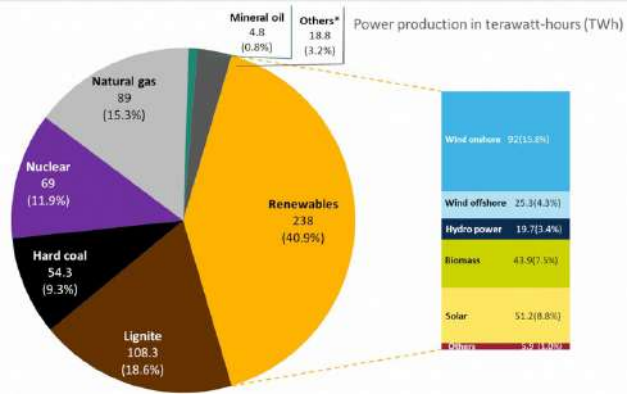
در حال حاضر، محرک های اصلی توسعه انرژی های تجدید پذیر، اهداف سیاست های آب و هوایی، عقاید و نظرات عمومی، تعطیلی نیروگاه های هسته ای و نیروگاه های زغال سنگی، و اخیرا جنگ اکراین و روسیه می باشند.

سهم مصرف سالیانه برق تجدید پذیر در سیاست ملی مشخص شده است. همچنین مقررات مشخصی در خصوص هزینه برق از منابع تجدید پذیر و ارتباط تاسیسات آن با شبکه برق، تدوین گردیده است. بعلاوه، یکپارچگی تجدیدپذیرها با روال های مناقصات سیستم عرضه برق، که نحوه تامین مالی برق از منابع تجدید پذیر و روال های فروش مستقیم برق از منابع تجدید پذیر را بیان می کند، مشخص شده است.

چارچوب عمومی رگولاتوری برای بخش انرژی، شامل برق از منابع تجدیدپذیر در قانون انرژی درج شده است. این اطلاعات شامل دسترسی و ارتباط با شبکه برق، شارژهای شبکه و قوانین عملیات، برنامه ریزی و گسترش شبکه برق می باشد. برای پروژه های بادی دریایی در منطقه اقتصادی انحصاری، برنامه ریزی، ساخت و ساز، عملیات، هزینه ها و روال های مناقصات در قسمتی مجزا ذکر شده است. مقررات بیشتر مربوط به موضوعات مشخصی از انرژی های تجدید پذیر شامل بخش های تولید، انتقال، و هزینه های برق تجدیدپذیر نیز ارائه گردیده است.

چالش اصلی، گسترش ظرفیت شبکه انتقال جهت ورود انرژی های رو به افزایش تجدیدپذیر می باشد، که هماهنگ با توسعه تاسیسات تولید انرژی های تجدیدپذیر نیست. این مساله خصوصا مربوط به انتقال برق از شمال آلمان به مراکز مصرف صنعتی در جنوب این کشور می شود. در همین راستا، این کار نیازمند به مدیریت پر هزینه شبکه توسط اپراتورهای آن جهت جلوگیری از ترافیک می باشد.

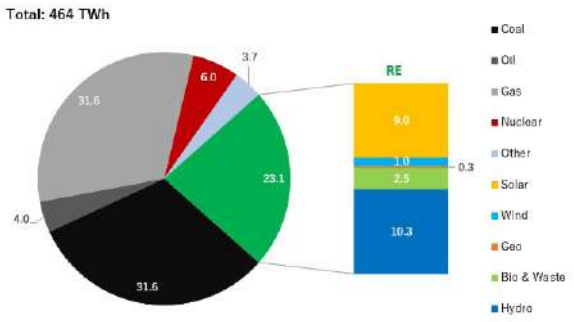
توسعه برخی از تاسیسات تولید انرژی های تجدیدپذیر و شبکه های مورد نیاز آن، توسط مداخلات بخش خانگی، شهرداری ها یا انجمن های زیست محیطی، تحت تاثیر قرار گرفته و فرآیندهای دریافت مجوز و ساخت آنها زمان بر می شود.



شکل ۱ : سهم هریک از منابع انرژی در تولید برق آلمان سال ۲۰۲۱

ژاپن

در سال ۲۰۲۰ میزان عرضه انرژی تجدیدپذیر برابر ۲۳/۱% کل تقاضای برق در ژاپن بوده است. این مقدار شامل ۱۰/۳% برق آبی، ۹% خورشیدی، ۲/۵% زیست توده و مواد زاید، و ۱% انرژی بادی و ۰/۳ زمین گرمایی بوده است. در سال مذکور ۳۱/۶% تقاضای برق از طریق نیروگاه های گازی، ۳۱/۶% نیروگاه های زغال سنگی، ۷/۷% نیروگاه های نفتی و سایر حرارتی ها و ۶% نیروگاه های اتمی پوشش داده شده است.



Source: *Renewable Energy Institute*

شکل۲: سهم هریک از منابع انرژی در تولید برق ژاپن سال ۲۰۲۰

از زمان معرفی سیستم FIT[1] (در این سیستم، شرکت های برقی موظفند برق حاصل از انرژی های تجدید پذیر را با قیمتی که دولت تعیین می کند، از تولید کنندگان مربوطه خریداری کنند) در سال ۲۰۱۲ ، پروژه های برق خورشیدی در سطح خانگی و صنعتی بطور چشمگیر، و پروژه های باد ساحلی و زیست توده بطور معمول، توسعه یافته اند. علیرغم اینکه پروژه های بادی فراساحلی هنوز بدلیل فقدان چارچوب حقوقی توسعه نیافته اند، در سال ۲۰۱۸ دولت ژاپن یک قانون جدید در خصوص بهره برداری از دریا بمنظور توسعه تاسیسات تولیدی تجدید پذیر تصویب نمود، که در آن توسعه دهندگان منتخب می توانند بخشی از سطح آبها را برای ۳۰ سال جهت این منظور در اختیار گیرند. بنابراین انتظار می رود که پروژه های بادی فراساحلی در آینده توسعه یابند. روالهای مناقصه عمومی جهت انتخاب پیمانکار برای هر بخش دریا، بتدریج در حال آغاز است.

با توجه به معاهده زیست محیطی پاریس، کشور ژاپن متعهد گردیده است تا انتشار کربن خود را بمیزان ۲۶/۳% تا سال ۲۰۳۰ و بمیزان ۸۰% تا سال ۲۰۵۰ نسبت به سال پایه ۲۰۱۳ کاهش دهد. جهت دسترسی به این هدف، دولت این کشور مکانیزم های FIT را معرفی نموده که سیستم جدیدی است و سبب می شود پروژه های باد فراساحلی توجیه اقتصادی داشته باشند و شرکت های فروش برق جهت تامین برق از منابع غیر کربنی مجاز باشند. بعلاوه، دولت تسهیلاتی جهت راه اندازی مجدد نیروگاه های اتمی، و همچنین کاهش مصرف انرژی در بخش تقاضا در نظر گرفته است. اخیرا، دولت این کشور بحث و گفتگو در خصوص ممنوعیت عملیات نیروگاه زغال سنگی غیرکارآمد و قدیمی، تا سال ۲۰۳۰ را آغاز نموده است. دوران انتقالی انرژی، یکی از بزرگترین محرک های تغییر در این کشور می باشد.

قانون تجارت برق، چارچوب رگولاتوری برای بخش های تولید، انتقال و توزیع برق شامل برق حاصل از انرژی های تجدید پذیر را ارائه می دهد. تولید کنندگان برق تجدید پذیر که مجموع ظرفیت تولیدشان متجاوز از ۱۰ مگاوات می باشد جهت اطمینان از پایداری شبکه، باید بعنوان تولید کننده برق به وزارت اقتصاد، صنعت، تجارت، اطلاع رسانی نمایند. پروژه های انتقال و توزیع برق تجدید پذیر توسط ده تا از تاسیسات انتقال و توزیع بزرگ انجام می شوند. این تاسیسات باید جهت حفظ پایداری شبکه، دسترسی به شبکه تولید کنندگان برق تجدیدپذیر را ارائه نمایند. اخیرا، ارائه دهندگان شبکه داخلی، باهم شریک شده اند و دسترسی به شبکه تولید کنندگان برق تجدیدپذیر را توسط بدست آوردن گواهی نامه انتقال مطابق قانون، تسهیل نموده اند.

اولین چالش توسعه انرژی های تجدید پذیر، تغییر مداوم در سیاست های انرژی و مشکل بودن پیش بینی سیاستهای آینده ژاپن می باشد. یک مثال از این چالش، معرفی تعیین مهلت برای بهره برداری از پروژه های مشخص برق تجدیدپذیر می باشد(شامل پروژه های برق خورشیدی بزرگ)، که مجوزهای مربوطه برای آنها قبلا کسب شده، ولی در آنها چیزی درخصوص مهلت بهره برداری از پروژه ذکر نشده است. برخی از پیمانکاران نیز با وضعیتی روبرو شده اند که مجوز آنها شامل حق فروش برق، کنسل می شود مگر اینکه آنها در تاریخ مشخصی پروژه های خود را به بهره برداری برسانند. چالش دوم در خصوص مسائل مربوط به ارتباط با شبکه است؛ خصوصا پروژه های بزرگ مقیاس برق بادی که مشکلاتی با ارتباط با شبکه به دلیل ظرفیت ناکافی شبکه در مناطق روستایی دارند. بعلاوه، اصلاح قانون انرژی های تجدیدپذیر در خصوص نیروگاه های برق خورشیدی سبب شده است تا هزینه های تخریب نیروگاه در آینده، در طی زمان خرید برق کسر گردد. کاهش ریسک های تولید و انتقال در برخی مناطق ژاپن نیز یکی دیگر از چالشهاست.

عربستان سعودی

انرژی های تجدید پذیر که کشور عربستان سعودی بدنبال توسعه آنها است شامل انرژی خورشیدی، انرژی بادی، زمین گرمایی، تبدیل مواد زاید به انرژی ، و به تازگی هیدروژن سبز می باشند.

تاکنون تاکید این کشور بر پروژه های صنعتی برق خورشیدی و برق بادی ساحلی، با فعالیت های محدود در خصوص برق خورشیدی پشت بامی بوده است. چشم انداز ۲۰۳۰ این کشور علاوه بر موارد مذکور، شامل توسعه تبدیل مواد زاید به انرژی، و تولید برق خورشیدی متمرکز(CSP) نیز می باشد.

این کشور یکی از کشورهای دارای منابع غنی هیدروکربنی در جهان است، تقریبا ۲۰% ذخایر اثبات شده نفتی در جهان را در اختیار دارد و طبق گزارش سال ۲۰۲۱ شرکت نفت انگلیس، سهم بیش از ۱۲% تولید نفت جهانی در سال ۲۰۲۰ را دارا بوده است. علیرغم حقایق مذکور، این کشور اهداف جاه طلبانه ای در خصوص توسعه انرژی های تجدید پذیر دارد. محرک های اصلی جهت این تغییر، متنوع سازی منابع انرژی ملی و آزاد سازی منابع هیدروکربنی جهت استفاده در صنایع داخلی یا صادرات می باشد، که سبب تحریک توسعه اقتصادی در این کشور و کاهش انتشار کربن می گردند.

در حال حاضر چارچوب رگولاتوری که مختص بخش های تولید، انتقال و توزیع انرژی های تجدید پذیر باشد وجود ندارد. این بخش ها بعنوان فعالیت برقی در نظر گرفته می شوند و بنابراین توسط سازمان رگولاتوری آب و برق(WERA) کنترل شده و توسط قوانین برق و مقررات اجرای آن، نظارت می شوند.

قانون برق و مقررات اجرای آن که مربوط به پروژه های برق متعارف می شود، برای پروژه های تجدیدپذیر نیز اعمال می گردد.

1. Feed-In Tariff

جهت انطباق تولید برق خورشیدی، قوانین بیشتری مورد نیاز است زیرا توسعه بدون مطالعه آنها ممکن است سبب اختلال در مدیریت شبکه شود. در همین راستا، تدوین سیاست های تشویقی جهت ایجاد انگیزه در توسعه ذخیره سازی انرژی های تجدیدپذیر، بمنظور تداوم پایداری استفاده از آنها، ضروری بنظر می رسد.

برطبق گزارشات وزارت علوم (MOE) و آژانس بین المللی انرژی های تجدیدپذیر (IRENA)، عرضه انرژی تجدیدپذیر عربستان کمتر از ۱% مجموع ظرفیت تولید انرژی این کشور می باشد. البته کشور مذکور قصد دارد این مقدار را تا حداقل ۳۰% افزایش دهد و گام های موثری در راستای این هدف برداشته است. ظرفیت تولید انرژی های تجدیدپذیر تا پایان سال ۲۰۱۸ برابر ۱۴۲ مگاوات بوده است. این مقدار قرار است تا سال ۲۰۳۰ افزایش چشمگیری یافته و به مقدار ۵۸/۷ گیگاوات برسد.

امارات متحده عربی

بخش عمده تقاضای انرژی در امارات توسط نیروگاه برق گازی پوشش داده می شود و قرار است حدود یک چهارم تولید برق انرژی امارات در آینده توسط نیروگاه های اتمی پوشش داده شود. البته طبق راهبردهای ۲۰۵۰ این کشور، قرار است سهم تجدیدپذیرها افزایش یافته و میزان انتشار کربن در بخش برق کاهش یابد.

منبع مهم انرژی تجدید پذیر که در امارات مورد استفاده قرار می گیرد انرژی خورشیدی است. خصوصا کشورهای دوبی و ابوظبی، بدنبال اجرای پروژه های جاه طلبانه برق خورشیدی در سطح صنعتی و برق خورشیدی متمرکز بعنوان بخشی از راهبردهای متنوع سازی انرژی می باشند.

برخی از کشورهای اماراتی در حال توسعه انرژی خورشیدی به هر دو صورت برقی و متمرکز می باشند و همزمان، مشغول به انجام مطالعات امکان سنجی در خصوص برق خورشیدی شناور و سایر انرژی های تجدید پذیر شامل انرژی باد و تبدیل زباله به انرژی می باشند.

این مجموعه کشورها دارای ذخایر اثبات شده نفت و گاز بزرگی هستند. اقتصاد آنها بطور قابل توجهی وابسته به ذخایر هیدروکربنی، هم بعنوان منبع انرژی و هم بعنوان منبع درآمدی می باشد که البته این وابستگی در سالهای اخیر بطور قابل توجهی کاهش یافته است. راهبردهای انرژی ۲۰۵۰ امارات ، در راستای دوران انتقالی انرژی قرار دارد که هدف آن توسعه ساختاری برای دوران پسا نفتی جهان می باشد. این سند ، بمنظور متنوع سازی بخش انرژی با هدف انتشار کم کربن، تولید ۵۰% از منابع انرژی پاک، کاهش تقاضای انرژی و کاهش انتشار آلاینده ها می باشد. افزایش سهم انرژی های پاک در سبد انرژی به معنی کاهش اتکا بر گاز طبیعی است که در حال حاضر بیش از دو سوم منابع انرژی اولیه را شامل می شود. راهبرد دوران انتقال انرژی سبب تعهدات زیست محیطی بین المللی ، بهمراه برنامه ریزی اقتصادی برای رشد در بخش های مختلف تجاری است. این راهبرد بر موضوعات: افزایش بهره وری، متنوع سازی، و امنیت انرژی، انسجام راه حل های نوین حمل و نقل و انرژی، و تحقیق و توسعه راه حل های پایدار نوآورانه، تمرکز دارد. هدف آن نیز ایجاد دانش و تخصص بخش نفت و گاز و غنی سازی و تکمیل، نه رقابت، با این بخش می باشد.

امارات قوانینی در سطح دولت مرکزی و کشوری تدوین کرده است که بتواند بخش های تولید، انتقال و توزیع انرژی های تجدیدپذیر را کنترل نماید.

توزیع و انتقال برق شامل انرژی های تجدید پذیر تحت نظر دولت است و کنترل می شود. در ابوظبی، شرکت توزیع ترنسکو (Transco) مسئول عملیات شبکه های انتقال ابوظبی و تامین برق دو شرکت توزیع ابوظبی و العین می باشد که هردو بطور کامل تحت مالکیت ابوظبی می باشند.

بهمین ترتیب در دوبی و شارجه، شرکت هایDEWA و SEWA مالکیت شبکه های انتقال و توزیع را دارند. در شمال امارات شرکت FEWA مسئول انتقال و توزیع برق است، البته شرکت Transco نیز در توسعه و عملیات برخی از شبکه های انتقال و توزیع دخالت دارد.

نهایتا شبکه ملی امارات (ENG) در نظر دارد تا چهار شرکت اصلی در امارات را به هم متصل نماید و بنابراین سبب تسهیم برق بین هفت کشور امارات و تشکیل یک سیستم برقی یکپارچه شود. انرژی های تجدید پذیر در حال کمک به شبکه ملی امارات می باشند و در صورتی که همه مراحل نیروگاه هسته ای باراکا عملیاتی شود، این نیروگاه تامین بیش از ۲۵% تقاضای برق امارات را بر عهده خواهد داشت.

اهداف جاه طلبانه امارات سبب تشویق سرمایه گذاری گسترده در پروژه های تجدیدپذیر شده است. البته سرمایه گذاری برای برق خورشیدی پشت بامی و سیستم خورشیدی متمرکز، بدلیل مقررات مربوطه با محدودیت بیشتری همراه است. سرمایه گذاری ها نیز بطور سنتی با توجه به نیازمندی های تدارکاتی و قوانین محدود کننده مالکیت خارجی، محدود شده اند.

عمان

پروژه های مربوط به انرژی های تجدیدپذیر در عمان نوپا هستند. منابع اصلی انرژی های تجدیدپذیر که تابحال مورد بهره برداری قرار گرفته اند، برق خورشیدی و برق بادی می باشند. در سال ۲۰۱۹، دولت عمان اعلام نمود که در نظر دارد ۱۶% تقاضای برق کشور تا سال ۲۰۲۵ و ۳۰% آن را تا سال ۲۰۳۰ از طریق انرژی های تجدیدپذیر پوشش دهد. پیش بینی می شود دو سوم توسعه انرژی های تجدیدپذیر شامل انرژی های خورشیدی و مابقی شامل انرژی بادی و سیستم های تبدیل زباله به انرژی باشد.

قوانین مربوط به رگولاتوری و خصوصی سازی برق و بخش های مرتبط با آب توسط فرامین شخص اول کشور تحت عنوان قوانین بخشی اعلام شده است و اساس قوانین و مقررات مربوط به انرژی های تجدیدپذیر در پادشاهی عمان می باشد. وزارت انرژی و مواد معدنی (MEM) سیاست های مربوط به بخش را مدون می کند. اداره تنظیم مقررات خدمات عمومی (APSR) بدنبال قوانین بخشی، مقررات لازم جهت اجرای سیاست های کشور درخصوص بخش برق را تدوین می کند که شامل انرژی های تجدیدپذیر نیز می شود.

هیچ تعریف قانونی برای انرژی های تجدیدپذیر یا پاک در عمان وجود ندارد. قوانین بخشی، قوانین مختص به نیروگاه های خورشیدی ندارد و قوانین کلی مربوط به تولید برق را بیان می کند.

بنابراین قوانین بخشی شامل همه نوع نیروگاه های برقی اعم از متعارف و تجدیدپذیر می شود.

راه اندازهای اصلی برای انرژی های تجدید پذیر عبارتند از: افزایش استفاده از فناوری های سازگار با محیط زیست، و متنوع سازی سبد سوخت جهت کاهش مصرف انرژی های متعارف فسیلی. این اقدامات در سالهای اخیر بدلیل اینکه دولت عمان در نظر دارد تامین گاز داخلی را طی دهه آینده بدلیل افزایش قیمت تولید گاز کاهش دهد، بسیار اهمیت دارد.

چشم انداز ۲۰۴۰، یک سند راهبردی، شامل موضوعات زیست محیطی بعنوان یکی از اولویت ها می باشد. این سند، راهبردهای آینده را جهت نیل به سمت اقتصاد سبز از طریق منابع انرژی تجدید پذیر، کاهش محدودیت های مالی، و حمایت مالی از منابع طبیعی غیر سنتی، ارائه می نماید.

چالشهای تاریخی اصلی که برای سرمایه گذاری جهت توسعه انرژی های تجدید پذیر محدودیت ایجاد می کنند شامل: هزینه های بالای انرژی های تجدید پذیر در مقایسه با هزینه های نسبتا پایین تاسیسات گازی، تولید غیرمستمر و با حجم پایین، و رقابت پایین بین توسعه دهندگان می باشند. البته، این چالشها در سالهای اخیر به مقدار قابل توجهی کاهش یافته است. هزینه برق خورشیدی به مقدار زیادی کاهش یافته و رقابت بین توسعه دهندگان بخشی در عمان و در منطقه خلیج فارس افزایش یافته است. در حالیکه تولید غیرمستمر همچنان جزو چالشها می باشد، انتظار می رود توسعه فنی و کاهش هزینه ها در رابطه با ذخیره سازی، به آن کمک کند.

کشور عمان همچنین طرح های خود را در خصوص هیدروژن تجدید پذیر اعلام کرده است. وزارت انرژی و مواد معدنی عمان به یک چارچوب توافقنامه راهبردی با شرکت نفت انگلیس جهت انجام پروژه های توسعه انرژی های تجدید پذیرو هیدروژن سبز تا سال ۲۰۳۰، نائل آمده است.

در حال حاضر، هیچ چارچوب قانونی برای پروژه های هیدروژن در عمان تنظیم نشده است. پروژه هایی که در این زمینه در حال توسعه هستند تحت قوانین کلی موجود کشور مانند قوانین سرزمینی، بخشی، قوانین شرکت های تجاری، و سرمایه گذاری خارجی، نظارت می شوند.

ترکیه

تولید ناخالص انرژی های تجدیدپذیر در سال ۲۰۲۱ حدود ۱۱۸/۵۱۴ گیگاوات ساعت بوده است، که این مقدار تقریبا ۳۵/۹۵% از تقاضای ناخالص برق را پوشش داده است.

سوخت های فسیلی هنوز بخش عمده تامین بازار انرژی ترکیه را بر عهده دارند. علیرغم رشد تولید تجدیدپذیرها در دهه اخیر، شاخص های توسعه جهانی نشان داده اند که سهم تجدیدپذیرها در مصرف انرژی نهایی در سال ۲۰۱۹ حدود ۱۴% بوده است. طبق سیاست های این کشور، قرار است مقدار مذکور تا سال ۲۰۲۳ به ۲۰% برسد.

سهم انرژی های تجدید پذیر در سبد برق ترکیه در حال افزایش می باشد. برق آبی وبادی جزو منابع اصلی مورد استفاده در این کشور می باشند.

طبق گزارش سال ۲۰۲۱ سازمان رگولاتوری بازار انرژی (EMRA)، مجموع ظرفیت های نصب شده انرژی های تجدید پذیر به میزان ۵۳/۳۴% افزایش یافته است. این مقدار در سال ۲۰۲۰ برابر ۵۱/۴% بوده است که شامل: ۳۱/۵۵% برق آبی، ۱۰/۶۳% بادی، ۷/۸۳% خورشیدی، ۱/۶۸% زمین گرمایی، و ۱/۶۵% زیست توده می باشد.

دو محرک اصلی توسعه انرژی های تجدید پذیر در این کشور، الزام به طی دوران انتقال انرژی، و کاهش وابستگی به واردات منابع انرژی می باشند. ترکیه در اکتبر سال ۲۰۲۱ معاهده زیست محیطی پاریس را تصویب کرد و پیمان آب و هوایی گلاسگو را امضاء نمود. با توجه به اهداف انتشار کربن صفر تا سال ۲۰۵۳، انتظار می رود که توجه بیشتری به توسعه حداکثری انرژی های تجدید پذیر و هیدروژن سبز در این کشور گردد.

بطور اصولی، فعالیت تولید، ابتدا نیاز به پیش گواهی دارد و سپس گواهینامه تولید باید از سازمان رگولاتوری دریافت گردد. پیش گواهی به دارنده آن اجازه می دهد تا تمامی مجوزهای ضروری برای سرمایه گذاری را بدست آورد و حق استفاده از سایت پروژه را برای خود محفوظ نگاه دارد. این گواهی، شرکت ها را تشویق می کند که بتوانند با سرعت بیشتری کار توسعه نیروگاه های برق را آغاز نموده و در زمان و هزینه پروژه صرفه جویی کنند. برخی از پروژه های تجدید پذیر از دریافت گواهینامه مستثنی هستند.

فعالیت های انتقال بالای ۳۶ کیلوولت بطور کامل توسط شرکت انتقال، در محدوده گواهینامه مربوطه، هدایت می شوند. شرکت انتقال، مالک همه دارایی های سیستم انتقال می باشد، و درآمد اصلی آن از پرداخت تعرفه های انتقال توسط تمامی اعضای بازار انرژی جهت استفاده از شبکه ملی بدست می آید. در جولای سال ۲۰۲۱، طبق دستور ریاست جمهوری مقرر شد که شرکت انتقال دولتی از طریق پیشنهاد عمومی تا انتهای سال ۲۰۲۲ خصوصی شود. بخش انتقال توسط شرکت های خصوصی راهبری خواهند شد که گواهی نامه های آنها توسط سازمان رگولاتوری انرژی صادر شده است، و هر گواهینامه مربوط به یک منطقه جغرافیایی می باشد.

ظرفیت شبکه جهت ارتباط با نیروگاه های برقی بادی و خورشیدی محدود است. سازمان رگولاتوری انرژی درخواست های دریافت مجوز را برای پروژه های بادی و خورشیدی فقط در زمان مشخصی که این سازمان اعلام نماید، مورد بررسی قرار می دهد. این سیاست جدید، بهمراه ممنوعیت فروش برق توسط پروژه های بدون نیاز به مجوز، پتانسیل قراردادهای خرید مشارکتی برق را محدود می کند.

عدم قطعیت در خصوص مکانیزم های حمایتی جدید برای پروژه های تجدیدپذیری که تا ژوئن ۲۰۲۱ راه اندازی شده اند، یک چالش اصلی برای بازار است. طبق ساختار قبلی، پروژه های تجدیدپذیر که تا ژوئن ۲۰۲۱ راه اندازی شده اند از قیمت های با تعرفه دلاری بهره برده اند. با اصلاحی که در قانون انرژی های تجدیدپذیر در نوامبر ۲۰۲۰ انجام شد، پروژه های تجدیدپذیری که بعد از ژوئن ۲۰۲۱ راه اندازی شدند از قیمت های تعرفه ای با لیر ترکیه بهره می برند. البته این قانون جدید، پایان ژانویه ۲۰۲۱ اعلام شد. پس از ماه ها انتظار، سرمایه گذاران بالقوه، پیمانکاران و حامیان مالی، از قیمت های تعرفه ای جدید با لیر ترکیه و با خوش بینی از تنظیم بر اساس

شاخص های قیمت مصرف کننده، تولید کننده، و نرخ های تبادل ارزی استقبال کردند. عکس العملهای بلند مدت در مقابل نوسانات ارزی در آینده قابل مشاهده خواهد بود.

نهایتا برخی مشکلات برای دریافت مجوزهای تجدیدپذیر وجود دارد که این مشکلات سبب تاخیر در تاریخ های تکمیل و راه اندازی پروژه ها می گردد.

ایران

سهم انرژی های تجدید پذیر از کل انرژی اولیه حدود ۰/۵ % می باشد که در مقایسه با میزان تابش خورشیدی و وزش باد در ایران، بسیار ناچیز است. به دلیل قیمت پایین برق شبکه سراسری دولتی، احداث نیروگاه خورشیدی برای تأمین برق خود مشترک، توجیه پذیر نبوده و برای ایجاد جذابیت اقتصادی، دولت از سال ۱۳۹۵ طرح تشویقی خرید تضمینی برق نیروگاههای تجدیدپذیر (مثل خورشیدی، بادی و...) را ابلاغ نمود که بر اساس آن، برق تولیدی نیروگاههای تجدیدپذیر به مدت ۲۰ سال به صورت تضمینی خریداری می شود. بدلیل یارانه ای بودن قیمت برق، مبلغ بیشتری جهت خرید برق تجدیدپذیر توسط دولت پرداخت می شود تا سرمایه گذاری در این حوزه مورد استقبال واقع شود. با اینحال، سیاست های تشویقی در این زمینه بسیار ناچیز است طوری که سرمایه گذاران تمایلی جهت کار در این حوزه نشان نمی دهند. امکان نصب نیروگاههای هیبرید (متصل به شبکه و منفصل از شبکه بصورت ترکیبی) و فروش مازاد برق مصرفی خود مشترک به شبکه وجود ندارد.

در سال ۱۳۹۵، لایحه اساسنامه سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی (ساتبا) به تصویب مجلس رسید. با ابلاغ این قانون در دی ماه سال ۱۳۹۵، «سازمان انرژی‌های نو ایران» (سانا) و «سازمان بهره‌وری انرژی ایران» (سابا) ادغام شدند و «سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق» (ساتبا) با ماهیت مؤسسه دولتی و وابسته به وزارت نیرو تشکیل گردید.

برخی از محرک های مهم توسعه انرژی های تجدیدپذیر، آزاد سازی قیمت حامل های انرژی، قیمت گذاری کربن، افزایش تعهدات زیست محیطی طی دوران گذار انرژی و سیاست ها و حمایت های تشویقی دولت می باشند.

بحث و نتیجه گیری

راهبردهای انرژی کلیه کشورهای مورد مطالعه نشان می دهد که تصمیم جدی جهت نیل به اهداف معاهدات جهانی زیست محیطی وجود دارد. زمان های مهم در برنامه ریزی ها جهت دسترسی به این اهداف، سالهای ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ می باشند. در کشورهای پیشرفته، زیرساخت ها توسعه یافته و قوانین مربوط به سرمایه گذاری، تولید، انتقال و توزیع انرژی های تجدید پذیر تدوین یافته اند.

در حال حاضر در این کشورها، سهم قابل توجهی از بخش برق مربوط به تجدیدپذیرها می باشد و تا سال هدف ۲۰۵۰، قرار است سهم عمده این بخش مربوط به انرژی های پاک باشد.

در کشورهایی که به دریا دسترسی دارند، سرمایه گذاری ها در خصوص نیروگاه های خورشیدی شناور و نیروگاه های بادی فراساحلی و هیدروژن سبز، در حال توسعه هستند.

چالش های اصلی آنها شامل انطباق تاسیسات انرژی های تجدید پذیر با شبکه های انتقال برق متعارف، و اصلاح مستمر قوانین، و سیاست ها در مواجهه با پیمانکاران این نوع انرژی ها می باشد.

در مقابل، در کشورهای منطقه ای که اغلب دارای منابع غنی فسیلی هستند، هنوز زیرساخت ها بطور کامل توسعه داده نشده و قوانین مربوط به توسعه انرژی های تجدید پذیر و ذخیره سازی آنها، یا وجود ندارد یا نیاز به تکمیل دارد. ساختار بخش انرژی این کشورها نیز نیاز به بازنگری و لحاظ نمودن بخشی بنام رگولاتوری جهت تسهیل توسعه انرژی های پاک دارد.

کشورهای مذکور باید با سیاست های تشویقی مناسب، سرمایه گذاری ها را به سمت خود جلب نمایند و تا قبل از رسیدن به پیک تقاضا، انرژی های پاک را توسعه دهند تا بتوانند از فروش و یا صادرات انرژی های فسیلی و محصولات مرتبط، حداکثر بهره را ببرند. با مطالعه چشم انداز انرژی و روند رشد انرژی های تجدید پذیر در سبد انرژی کشورها، بنظر میرسد پیک تقاضای انرژی های فسیلی تا قبل از سال ۲۰۳۰ بوقوع بپیوندد که این مساله، لزوم توسعه هرچه سریعتر این نوع انرژی ها را بیان می کند.

منابع انرژی های تجدیدپذیر مورد استفاده در کشورها، بسته به موقعیت جغرافیایی و منابع طبیعی آنها متفاوت است ولی در سطح جهانی، انرژی خورشیدی و انرژی بادی بیشترین سهم را در سبد انرژی داشته و پیش بینی ها نشان می دهد که در آینده نیز خواهند داشت. پروژه های هیدروژن سبز همراه با توسعه انرژی های تجدید پذیر در حال رشد هستند، خصوصا در کشورهایی که به دریا دسترسی دارند، زیرا به نوعی سبب ذخیره سازی انرژی با قابلیت انتقال آن می باشند.

علیرغم پتانسیل های طبیعی زیاد نظیر تابش فراوان، وزش باد و دسترسی به دریاها، سهم انرژی های تجدید پذیر در سبد انرژی ایران بسیار ناچیز است، قوانین حمایتی کافی جهت توسعه آنها وجود ندارد و هنوز بسیاری از مدیران ، این نوع انرژی ها را کالایی لوکس دانسته و سبب وابستگی به خارج از کشور می دانند؛ در صورتی که براحتی می توان با گسترش تحقیق و توسعه داخلی و جلب سرمایه گذاری ها، تولید آنها را به مقدار مورد نیاز جهت پوشش تقاضای ملی افزایش داد. موضوعات فرهنگ سازی و آموزش جهت توسعه انرژی های پاک باید مورد توجه ویژه در کشور قرار گیرد.

منابع

گزارش آژانس بین المللی انرژی های تجدید پذیر (IRENA)، سال ۲۰۲۲

سایت رسمی سازمان انرژی های تجدید پذیر و بهره وری انرژی (ساتبا)

ترازنامه هیدروکربوری کشور، وزارت نفت، سال ۹۹

ترازنامه انرژی کشور، وزارت نیرو، سال ۹۹

گزارش شرکت نفت انگلیس (BP) سال ۲۰۲۱

وب سایت تجزیه و تحلیل، پژوهش و راهنمای حقوقی در خصوص موضوعات مختلف مرتبط با کسب و کار (ICLG)

سند راهبردی انرژی آلمان (Energiewende)

گودرزی، مهدی، و محسنی، حامد. راهنمای کامل سرمایه گذاری و احداث نیروگاه خورشیدی، لیدو پارس، خرداد ۱۴۰۰

گزارش تحلیلی

نظم کنونی انرژی

اقتصاد کربن چرخه ای؛ چارچوب و مفاهیم

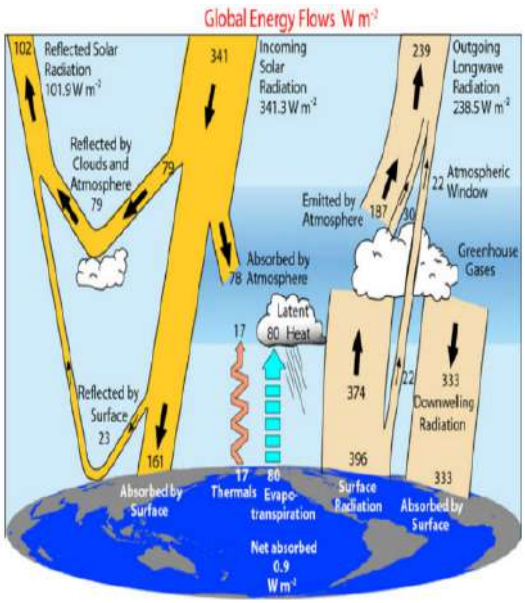
فریبا ریاحی

مقدمه:

دی اکسید کربن، ستون فقرات حیات روی زمین، نقش اساسی در حفظ دمای سیاره ما دارد و وجود آن حیاتی است. لیکن، نیاز به دی اکسید کربن در سیستم اقلیمی کره زمین، با یکی از شدیدترین مشکلات پیش روی بشر امروزی، یعنی تغییرات اقلیمی جهانی، عجین شده است. بنابراین، درک سازوکارهای زیستی، زمین‌شناسی و شیمیایی در جو زمین به منظور ایجاد توازن ضروری است. به این منظور، جهت درک بهتر مفهوم اقتصاد کربن چرخه ای[1] و ضرورت آن، نیاز به تبیین مفاهیمی نظیر اثر گلخانه ای[2] و چرخه کربن[3]، به عنوان پیش نیاز ورود به این مبحث است که در بخش های بعد تشریح خواهند شد. در نهایت، ضرورت گذار به چارچوب چرخه ای از منظر انرژی و مواد مصرفی، به عنوان نتیجه مورد بحث قرار می گیرد.

• اثر گلخانه ای

بدون اثر گلخانه ای، زندگی بر روی سیاره زمین امکان پذیر نیست. این اثر زمانی رخ می دهد که گازهای موجود در جو، گرمای خورشید را به دام می اندازند. تابش خورشید مقادیر زیادی تابش در سراسر طیف الکترومغناطیسی ایجاد می کند و این تابش ورودی، جذب شده و از سطح زمین به عنوان انرژی مادون قرمز بازتاب می‌شود. گازهای گلخانه‌ای به جای بازتاب انرژی برای گرم کردن سیارات، از خروج بخشی از این گرما جلوگیری می‌کنند.[5] شکل ۱ بزرگی جریان های تابش خورشید را بر اساس داده های رصد شده موجود نشان می دهد. اثر گلخانه ای زمین را به مکانی گرم و راحت برای زندگی تبدیل می کند و تمام انرژی که سیستم اقلیمی را به حرکت در می آورد، فراهم می کند. در این میان، انتشار گازهای گلخانه ای با منشأ انسانی، منتج به تغییر در تعادل انرژی زمین، بین تابش خورشیدی ورودی و گرمای آزاد شده به فضا، افزایش تأثیر منفی اثر گلخانه‌ای و در نتیجه تغییرات اقلیمی نامتوازن می‌شود.



شکل ۱: جریان جهانی انرژی سالانه سیستم آب و هوای زمین (فلش های پهن نماینده جریان شماتیک انرژی متناسب با شدت آن ها)[4]

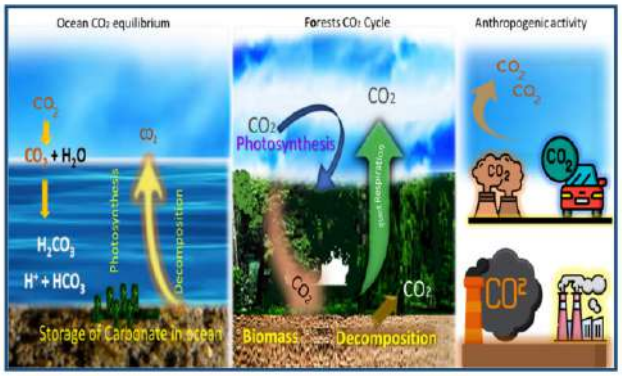
• چرخه کربن

تبادل دی اکسید کربن که بین هر مخزن جذب کربن جریان دارد، چرخه کربن نامیده می‌شود که دارای اجزای کند و سریع است. هر تغییر چرخه ای که کربن را از یک مخزن حذف کند، دی اکسید کربن بیشتری را در مخازن دیگر قرار می دهد. در نتیجه، تغییرات در انتشار گاز کربن به جو زمین، موجب افزایش دمای زمین شده است. شکل ۲ فرآیندهای مختلفی را نشان می دهد که توسط آن دی اکسید کربن بین مناطق مختلف زمین مبادله می‌شود. دی اکسید کربن یکی از گازهای گلخانه ای است که گرما را جذب می کند و به مرور زمان آن را تابش می کند، به طور طبیعی در سنگ های زیرزمینی وجود دارد و در اثر تجزیه تنفسی و آزاد شدن اقیانوس در جو آزاد می‌شود. انتشار دی اکسید کربن از اقیانوس ها با دی اکسید کربن موجود در جو در تعادل است و حدود ۳۰ درصد از دی اکسید کربن توسط اقیانوس ها جذب شده و در جو آزاد می‌شود.[6] این امر سبب می شود تا این سیاره گرم و راحت باشد. منظور از تعادل آن است که انتشار گازهای گلخانه ای برای سایر فعالیت های حیاتی استفاده می‌شود و دی اکسید کربن به طور مداوم برای حفظ تعادل اکولوژیکی بازیافت می‌شود. از جمله این فعالیت ها می توان به فتوسنتز گیاهی، مصارف اقیانوسی برای ایجاد تعادل، تشکیل فسیل، اصلاح خاک، احیای جنگل ها و تجزیه مواد آلی اشاره کرد.

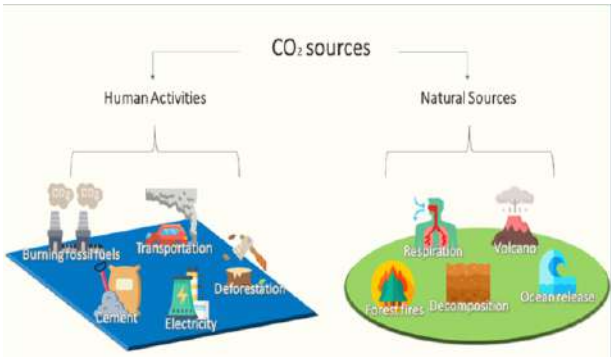
افزایش دمای جهانی به ویژه در دو دهه اخیر به دلیل افزایش دی اکسید کربن در جو، سبب شده تا دمای جهانی افزایش یافته و آینده ای بالقوه خطرناک را ترسیم نماید.[7] قبل از اینکه انسان به طور قابل توجهی بر اقلیم تأثیر بگذارد، یک تعادل طبیعی در کره زمین از نظر محتوای دی اکسید کربن آن وجود داشت. لیکن، افزایش فعالیت های صنعتی با عدم رعایت رویکرد تعادلی به انتشار، این توازن را مختل نموده است. بنابراین، سطوح دی اکسید کربن ساطع شده از فعالیت های صنعتی با

1. Circular Carbon Economy (CCE)
2. Greenhouse Effect
3. Carbon Cycle
4. Trenberth, K.E.; Fasullo, J.; Kiehl, J. Earth's global energy budget. Bull. Am. Meteorol. Soc. 324–311 ,90 ,2009.
5. Junior, C.H.L.S.; Pessôa, A.C.M.; Carvalho, N.S.; Reis, J.B.C.; Anderson, L.O.; Aragão, L.E.O.C. The Brazilian Amazon deforestation rate in 2020 is the greatest of the decade. Nat. Ecol. Evol. 145–144 ,5 ,2020.
6. Seinberh, M. History of CO2 greenhouse gas mitigation technologies. Energy Convers. Manag. 315–311 ,33 ,1992.
7. Ebhota, W.S.; Tabakov, P.Y. Development of domestic technology for sustainable renewable energy in a zero-carbon emission -driven economy. Int. J. Environ. Sci. Technol. 1268–1253 ,18 ,2020.

منشأ انسانی، مانند استفاده از سوخت های فسیلی، تولید برق، تولید سیمان، حمل و نقل، تغییر کاربری زمین و جنگل زدایی، با سطوح موجود انتشار دی اکسید کربن از منابع طبیعی رقابت می کند که در شکل ۳ نشان داده شده است.[8]



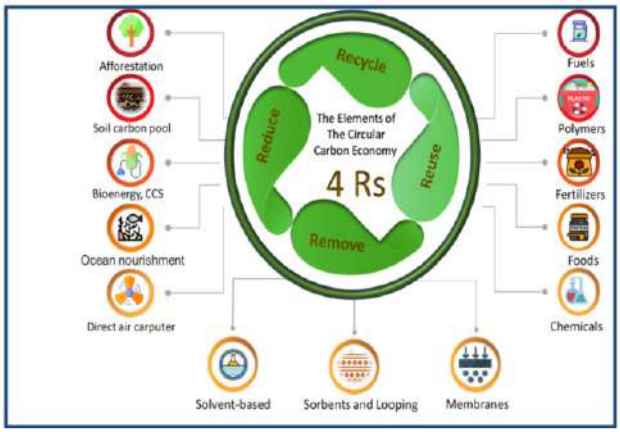
شکل ۲: نمودار شماتیک تعادل طبیعی و انتشارات صنعتی در دی اکسید کربن[9]



شکل ۳: برخی از منابع دی اکسید کربن بر اساس منشأ طبیعی یا انسانی

• اقتصاد چرخه ای کربن

روش‌های تولید و مصرف سنتی همیشه بر اساس مدل خطی «تولید، مصرف و دور انداختن» بوده و به صورت ناپایدار حفظ شده‌اند. از این رو، نقطه‌شروع اقتصاد چرخه‌ای، مبتنی بر ایجاد یک چرخه بسته است.[10] اقتصاد چرخه ای، الگویی است که هدف آن رشد اقتصادی با استفاده



شکل ۴: مولفه های اقتصاد چرخه ای

بهینه از منابع مصرفی محدود و ترویج بازیافت مواد برای انتفاع شرکت ها، جامعه و محیط زیست است.[11] به علاوه، چارچوب اقتصاد چرخه ای کربن، درک پویایی سیستم و ارتباط بین گزینه های کاهش انتشار را ارتقا می دهد. در نتیجه، می تواند نقش اساسی در رسیدن به ثبات اقلیمی ایفا کند. اطمینان از در دسترس بودن، بالغ بودن و مقرون به صرفه بودن فناوری ها در هر بخش از اقتصاد چرخه ای کربن، برای دستیابی به اهداف اقلیمی با هزینه معقول، امری حیاتی است. چارچوب چرخه ای کربن، دارای چهار عنصر؛ کاهش[12]، استفاده مجدد[13]، بازیافت[14] و حذف[15] عناصر است.[16] شکل ۴، چارچوب اقتصاد چرخه ای کربن را نمایش می دهد.

مولفه کاهش، به مفهوم استفاده از مسیرهایی است که انتشار کربن را کاهش می دهد. به عنوان مثال، ارتقای کارایی انرژی، مصرف انرژی و کربن مرتبط را کاهش می دهد. به این ترتیب، گزینه‌های تأمین انرژی برای دستیابی به کربن خنثی[17]، مانند منابع تجدیدپذیر غیر زیستی و انرژی هسته‌ای، جریان کربن را به داخل سیستم کاهش می‌دهند.

استفاده مجدد: جذب و استفاده کربن[18] به مفهوم جذب و استفاده مجدد از دی اکسید کربن از طریق به کارگیری فناوری هایی نظیر احتراق گاز اکسیژنی[19]، کربن برودتی[20]، گاز هیدراته، حلقه های شیمیایی[21]، حلقه های کلسیمی[22]، جاذب ها[23] و غشا[24] جذب و به محصولات واسطه ای با ارزش افزوده بالا تبدیل نمود. به طور نمونه، می توان از دی اکسید کربن

8. Korhonen, J.; Honkasalo, A.; Seppälä, J. Circular economy: The concept and its limitations. Ecol. Econ. 46–37 ,143 ,2018.
9. Sunquist, E.T.; Broecker, W.S. The carbon cycle and atmospheric CO2. Eos Trans. Am. Geophys. Union 191 ,67 ,1986.
10. Ellen MacArthur Foundation. Completing the Picture: How the Circular Economy Tackles Climate Change; Ellen MacArthur Foundation: Cowes, UK, 2019; pp. 62–1.
11. Ma, S.; Hu, S.; Chen, D.; Zhu, B. A case study of a phosphorus chemical firm's application of resource efficiency and eco-efficiency in industrial metabolism under circular economy. J. Clean. Prod. 849–839 ,87 ,2015.
12. Reduce
13. Reuse
14. Recycle
15. Remove
16. Williams, E. Achieving Climate Goals by Closing the Loop in a Circular Carbon Economy; KAPSARC: Riyadh, Saudi Arabia, 2019; pp. 13–1.
17. Carbon neutral
18. Carbon capture, use and storage (CCUS)
19. oxyfuel combustion
20. Cryogenic carbon
21. chemical looping
22. Calcium looping
23. Adsorbents
24. Membrane

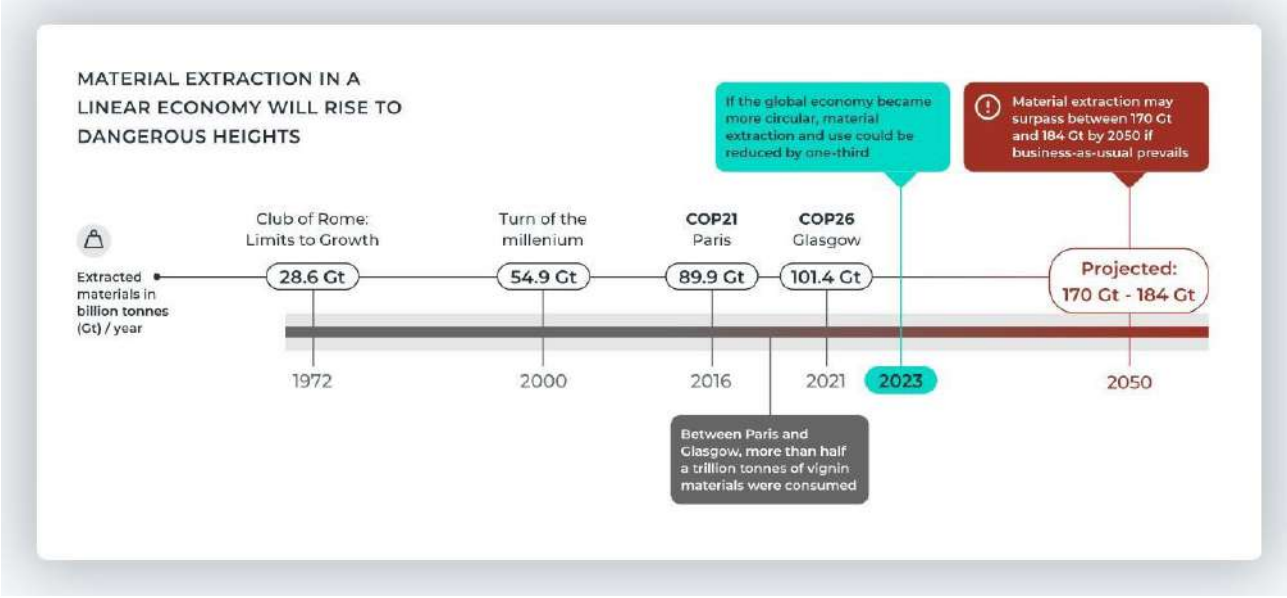
برای تولید کود و متانول استفاده نمود.[۲۵]

بازیافت: واکنش های شیمیایی انجام‌شده بر روی کربن، می تواند آن را به مواد اقتصادی جدید تبدیل کند. بازیافت در چرخه کربن طبیعی توسط مخازن جذب طبیعی کربن مانند گیاهان، خاک و اقیانوس‌ها صورت می گیرد که دی اکسید کربن را از جو زمین بیرون می‌کشند و سپس آن را از طریق تجزیه و احتراق دوباره آزاد می‌کنند.

حذف: روش دیگر برای کاهش انتشار کربن، خروج کربن از سیستم و ذخیره آن به صورت مستقیم یا غیر مستقیم است. کربن جذب‌شده از محیط می تواند به مواد خام در فرآیندهای استفاده مجدد تبدیل شود و یا با به کارگیری روش های شیمیایی و زمین‌شناسی، حذف شود. دی اکسید کربن می تواند به طور مستقیم از فرآیندهای صنعتی و نقاط احتراق و نیز با استفاده از روش های جمع آوری مستقیم از هوا جذب شود. به علاوه، می توان کاربری اراضی را به گونه‌ای مدیریت نمود که به مخزنی برای جذب کربن از جو تبدیل شود. استفاده از روش های مخازن طبیعی جذب کربن، جذب و انبارش کربن، انرژی های زیستی و جذب مستقیم هوا، همگی می توانند چرخه بسته‌ای از انتشار و تبدیل کربن ایجاد نمایند و انتشار کربن را به حداقل برسانند.[۲۶] اهمیت اقتصادی چرخه کربن در محدود نمودن یا حذف انتشار دی اکسید کربن و تولید محصولات با ارزش افزوده است.

ضرورت گذار به چارچوب اقتصاد چرخه ای کربن

بر اساس گزارش شکاف چرخه‌ای[۲۷] که در فوریه ۲۰۲۳ منتشر شده است، مقدار مواد ثانویه که به اقتصاد جهانی بازگردانده می‌شوند از ۹/۱ درصد کل ورودی های مواد در سال ۲۰۱۸ به ۷/۲ درصد در سال ۲۰۲۳ کاهش یافته است. به استناد این گزارش، کل استخراج مواد از سال ۱۹۷۰ بیش از سه برابر شده و از سال ۲۰۰۰ تقریباً دو برابر شده است که به ۱۰۰ میلیارد تن در سال می رسد. برآورد می‌شود که یک اقتصاد دایره‌ای می‌تواند استخراج جهانی مواد را به یک‌سوم کاهش دهد. این امر به مفهوم کاهش کمتر مواد و انرژی مورد نیاز برای استخراج و ساخت مواد و محصولات و در نتیجه انتشار کربن دی اکسید کربن است. با توجه به هدف گذاری جهانی توافق نامه پاریس در ۲۰۱۶، مورد انتشار کربن باید تا سال ۲۰۵۰ به انتشار خالص صفر برسد، انتشار دی اکسید کربن صنعتی تنها تا سال ۲۰۳۰ باید حدود ۴۵ درصد کاهش یابد. چارچوب اقتصاد چرخه ای کربن می‌تواند تقریباً نیمی از انتشار گازهای گلخانه‌ای باقی‌مانده را با جذب و استفاده مجدد از ۹/۳ میلیارد تن دی اکسید کربن تا سال ۲۰۵۰ حذف کند. به علاوه، اتلاف مواد خام نه تنها سبک زندگی را مختل می کند (تخمین زده می‌شود که ۶ عنصر کلیدی برای تلفن های همراه در قرن آینده تمام خواهد شد)، بلکه ادامه این مسیر می‌تواند منجر به «از هم گسیختگی کامل سیستم‌های پشتیبانی حیات زمین شود که در حال حاضر در نقطه‌شکست قرار دارند.[۲۸]» بنابراین، الگوی خطی اقتصادی مبتنی بر مصرف و تولید ضایعات، در آینده ای نه چندان دور از منظر کفاف مواد و انرژی در دسترس، میسر نخواهد بود و اتخاذ چارچوب اقتصاد کربن چرخه‌ای نه یک انتخاب، بلکه یک الزام است. روند وشدت انتشار کربن بر اساس برآوردهای انجام‌شده بر مبنای الگوی خطی انتشار کربن در شکل ۵ ارایه شده است.



شکل ۵: روند انتشار کربن (گزارش شکاف چرخه‌ای، ۲۰۲۳)

25. Wich, T.; Lueke, W.; Deerberg, G.; Oles, M. Carbon2Chem®-CCU as a step toward a circular economy. Front. Energy Res. 162 ,7 ,2020.
26. Gomes, V.H.F.; Vieira, I.C.G.; Salomão, R.P.; Ter Steege, H. Amazonian tree species threatened by deforestation and climate change. Nat. Clim. Chang. 553–547 ,9 ,2019.
27. https://www.circularity-gap.world/2023
28. https://www.weforum.org/agenda/06/2022/what-is-the-circular-economy/.

بهترین تکنیک‌های موجود (BAT) چیست؟ و در صنعت نفت و گاز چه نقشی دارد؟

صدیقه جوادپور

BAT چیست؟

«بهترین تکنیک‌های موجود»[1] یا به اختصار BAT، به معنی تکنیک‌های موجودی است که برای جلوگیری یا به حداقل رساندن انتشار و اثرات آن بر محیط‌زیست بهترین هستند.

مفهوم «بهترین تکنیک های موجود» برای اولین بار در اتحادیه اروپا در دهه ۱۹۷۰ به عنوان راهی برای جلوگیری یا به حداقل رساندن آلودگی و اثرات زیست محیطی ناشی از فعالیت‌های صنعتی با ایده‌شناسایی و ترویج استفاده از موثرترین و کارآمدترین تکنیک‌ها برای جلوگیری یا کاهش انتشار و ضایعات با در نظر گرفتن امکان‌سنجی فنی، قابلیت اقتصادی و عملکرد زیست‌محیطی معرفی شد.

اولین دستورالعمل اتحادیه اروپا در مورد BAT در سال ۱۹۹۶ به تصویب رسید که کشورهای عضو را ملزم می‌کرد برنامه‌های ملی BAT را برای بخش‌های صنعتی خاص تهیه کنند. این دستورالعمل بعداً با دستورالعمل انتشار گازهای گلخانه‌ای صنعتی[2] در سال ۲۰۱۰ جایگزین شد که دامنه BAT را برای پوشش کلیه فعالیت‌های صنعتی اصلی که اثرات زیست محیطی قابل توجهی دارند، گسترش داد.

بر اساس دستورالعمل انتشار گازهای گلخانه‌ای صنعتی، اپراتورهای تاسیسات صنعتی ملزم به استفاده از BAT برای جلوگیری یا به حداقل رساندن انتشار و ضایعات و بهبود مستمر عملکرد زیست محیطی خود هستند، این دستورالعمل همچنین از کشورهای عضو می‌خواهد که مقادیر حد انتشار را بر اساس BAT برای هر بخش صنعتی تحت پوشش این دستورالعمل تعیین کنند.

مفهوم BAT از آن زمان توسط سایر کشورها و مناطق در سراسر جهان از جمله کانادا، استرالیا، ژاپن و کره جنوبی پذیرفته‌شده است. همچنین در قراردادهای بین‌المللی مانند کنوانسیون استکهلم در مورد آلاینده‌های آلی پایدار گنجانده‌شده است.

به طور کلی، BAT با تشویق صنایع به اتخاذ روش‌ها و فن‌آوری‌های تولید پاک‌تر که اثرات زیست‌محیطی آن‌ها را کاهش می‌دهد، نقش مهمی در ترویج توسعه پایدار ایفا کرده است.

بهترین تکنیک های موجود، به عنوان یک ابزار سیاستی کلیدی برای جلوگیری و کنترل انتشار آلاینده‌های صنعتی و در نتیجه تضمین حفاظت از سلامت انسان و محیط زیست پدید آمده است. در حال حاضر سیاست‌ها و شیوه‌های مختلفی در سراسر جهان برای جلوگیری و کنترل انتشار آلاینده‌ها به منظور تضمین سطح بالایی از حفاظت از محیط زیست و سلامت انسان در حال اجرا است.

نقش BAT در صنعت نفت و گاز

بهترین تکنیک‌های موجود، مجموعه‌ای از اقدامات، فرآیندها و فناوری‌هایی است که مؤثرترین و کارآمدترین در پیشگیری یا به حداقل رساندن انتشار و اثرات بر محیط‌زیست هستند، فرآیند تدوین برنامه BAT با شناسایی موثرترین تکنیک‌ها برای کاهش آلودگی و اثرات زیست محیطی در یک صنعت یا بخش خاص کار می‌کند. این تکنیک‌ها بر اساس دانش علمی، تجربه عملی و امکان‌سنجی اقتصادی انتخاب می‌شوند.

استفاده از BAT به کاهش انتشار آلاینده‌هایی مانند گازهای گلخانه‌ای، ذرات معلق و مواد سمی، همچنین به کاهش استفاده از منابع طبیعی مانند آب و انرژی کمک می‌کند. با اجرای BAT، صنایع می‌توانند اثرات زیست محیطی خود را کاهش دهند و در عین حال رقابت‌پذیری خود را حفظ کنند. در این راستا بهترین تکنیک‌های موجود استفاده‌شده در صنعت نفت و گاز را می‌توان به‌شرح زیر نام برد:

۱. کاهش گازسوزی و تبخیر: استفاده از فناوری‌هایی مانند سیستم‌های بازیابی گاز مشعل، واحدهای بازیابی بخار و سیستم‌های نشت‌بند برای کاهش میزان انتشار گاز در جو.

۲. فناوریهای کنترل انتشار: نصب فناوری‌هایی مانند مبدل‌های کاتالیزوری، کاهش کاتالیزوری انتخابی[3] و کاتالیزورهای اکسیداسیونی برای کاهش انتشار آلاینده‌هایی مانند NOx، Sox و ترکیبات آلی فرار.

۳. تشخیص نشت و تعمیر: اجرای بررسی‌های نشت‌یابی منظم برای شناسایی و تعمیر نشتی‌ها به منظور کاهش انتشار ترکیبات آلی فرار.[4]

۴. بهینه‌سازی فرآیند: بهینه‌سازی پارامترهای فرآیند برای کاهش مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها.

۵. تعویض سوخت: تغییر از سوخت‌های پر انتشار به سوخت‌های کم انتشار مانند گاز طبیعی یا منابع انرژی تجدید پذیر به منظور کاهش انتشار آلاینده‌هایی مانند SOx، NOx و VOCs.

بریتانیا از پیشروان استفاده از BAT در صنعت نفت و گاز و انرژی بوده است. از فعالیتهای این کشور در این زمینه می‌توان به استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از تولید نفت و گاز، مانند جذب و ذخیره کربن، و همچنین استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر مانند باد، خورشید و نیروی برق آبی اشاره کرد، این کشور همچنین تعدادی ابتکار برای ارتقای بهره‌وری انرژی، مانند قرارداد سبز و تعهد شرکت انرژی دارد که در این مقوله جای می‌گیرد.

BAT برای پالایشگاه های نفت و گاز

در اینجا به بررسی مختصر راهنمای BAT ارائه‌شده برای پالایشگاه‌های نفت و گاز توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایرلند می‌پردازیم.

این راهنما علاوه بر تعریف BAT و تاریخچه ورود آن به عنوان یک اصل کلیدی در اداره یکپارچه پیشگیری و کنترل آلودگی و سلسله مراتب حاکم بر BAT، به تفصیل پالایشگاه نفت و کارخانه فراورش گاز را تشریح کرده و ریسکهای موجود در تک تک فرآیندهای پالایش و فرآورش را برشمرده و منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای و آلاینده‌های آب از یک پالایشگاه نفت خام و یک کارخانه فراورش گاز را مشخص کرده است.

1. Best Available Techniques
2. Industrial Emissions Directive (IED)
3. selective catalytic reduction (SCR)
4. Volatile Organic Compounds (VOCs)

	CO۲	CO	NOx	PM	SOx	VOCs	NH۳
کوره‌های فرآیندی، بویلرها، توربین‌های گازی، موتورهای احتراق داخلی	X	X	X	X	X		
سیستم‌های گازسوزی (فلرها)	X	X	X		X	X	
واحدهای بازیابی گوگرد		X	X		X		X
تسهیلات نگهداری و جابجایی						X	
سیستم‌های جداسازی روغن/آب						X	
مبادی انتشارگاز (سوپاپ‌ها، فلنج‌ها و ...)						X	

جدول ۱ – منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای به هوا از یک پالایشگاه نفت

	Oil	H۲S	NH۳ (+NH۴)	Phenols	Organic Chemicals (BOD,COD,TOC)	-CN (-CNS)	Total Suspended Solids
تقطیر	X	X	X	X	X		X
Hydrotreatment	X	X	X		X		
Spent Caustic	X	X		X	X	X	X
Ballast Water	X			X	X	X	X
باران (روان‌آب سطحی)	X				X		X
فاضلاب مسکونی	X		X		X		X
نمک‌زدایی	X		X	X	X		X
Lube Oil	X	X	X				

جدول ۲ – آلاینده‌های اصلی آب تولید شده توسط پالایشگاه‌های نفت خام

	H۲S	NOx	CO	CO۲	Oraganic Compounds
reception	X*				X
تهویه گاز	X*		X	X	X
حذف هیدروکربن	X	X			X
فشرده سازی گاز			X	X	X
Condensate Treatment			X	X	X
Water Treatment					

* تنها در صورت فراورش گاز شور

جدول۳– منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای به هوا از یک پالایشگاه گاز طبیعی

	Oraganic Compounds	Oils	Acids/alkalins/ salts, etc.
reception	X	X	
تهویه گاز	X	X	
حذف هیدروکربن	X	X	
فشرده سازی گاز	X		X
Water Treatment	X	X	

باران (روان‌آب سطحی) می‌تواند بر کل مواد جامد معلق اثر بگذارد.

جدول۴– آلاینده‌های اصلی آب تولید شده توسط یک پالایشگاه گاز طبیعی

فرآیند	بخش BREF
نمک زدایی	بخش ۴/۹
تقطیر	بخش ۴/۱۹
ایزومریزاسیون	بخش ۴/۱۶
reforming	بخش ۴/۶
hydrotreating	بخش ۴/۱۳
blending	بخشهای ۴/۲۱/۱۴ و ۴/۲۱/۱۵
ذخیره سازی و انتقال نفت خام	بخش ۴/۲۱ یادداشت۱
سیستم انرژی	بخش ۴/۱۰
ذخیره سازی و انتقال محصولات تصفیه شده	بخش ۴/۲۱ یادداشت ۱
گازسوزی	بخش ۴/۲۳/۷
سیستم خنک کننده	بخش ۴/۸ یادداشت ۲

جدول۵– تکنیک‌هایی که هنگام تعیین BAT برای بخش پالایشگاه‌های نفت باید در نظر گرفته شوند

علاوه بر آن سایر آلاینده‌ها مثل ضایعات، آلودگی صوتی، بوها و منابع مصرفی در آنها را نیز مد نظر قرارداده است. سپس تکنیکهایی برای کنترل برای هر آلاینده با ارجاع به اسناد مرجع BAT کمیسیون اتحادیه اروپا ارائه کرده است.

و در نهایت در بخش نظارت بر انطباق، روش های پیشنهادی برای نظارت بر انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه‌شده است.

در اسناد مرجع BAT ارائه‌شده در وب‌سایت « اداره یکپارچه پیشگیری و کنترل آلودگی اروپا »[5] به صنعت پالایش نفت معدنی و همچنین کارخانه‌های گاز طبیعی پرداخته‌شده و سایر فعالیت‌های مرتبط مانند اکتشاف، تولید، حمل و نقل یا بازاریابی محصولات در آن گنجانده نشده است.

همه انواع پالایشگاه‌های روغن معدنی بدون در نظر گرفتن ظرفیت و انواع فعالیت‌های فرآیندی که معمولاً در این بخش یافت می‌شود، در این سند پوشش داده‌شده و به برخی از فعالیت‌هایی که در برخی پالایشگاه‌ها وجود دارد و در برخی وجود ندارد، در این سند اشاره نشده است، زیرا در سایر BREF ها پوشش داده‌شده‌اند (مانند تولید کم الفین و حلال، تولید برق از گاز طبیعی). همچنین فعالیت‌هایی چون خنک‌سازی، ذخیره سازی، فاضلاب و گازهای زائد نیز به همین دلیل به طور کامل در این سند پوشش داده نشده‌اند. بنابراین، هنگام اجرای مجوزهای IPPC برای یک سایت خاص، سایر BREF ها نیز باید در نظر گرفته شوند. اصلاح خاک نیز بدلیل اینکه یک روش پیشگیری یا کنترل آلودگی نیست در این BREF گنجانده نشده است.

سلسله مراتب BAT در اتحادیه اروپا

در شناسایی BAT، تاکید بر تکنیک های پیشگیری از آلودگی به جای درمان انتهای کار است.

دستورالعمل IPPC 96/61/EC و قوانین آژانس حفاظت از محیط زیست ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۷، تعیین BAT را ملزم می‌کند که با توجه به هزینه‌ها و مزایای احتمالی اقدامات و با تاکید ویژه بر رویکرد پیشگیرانه، موارد زیر را در تعیین BAT در نظر بگیرد:

۱ـ استفاده از فناوری کم زباله،

۲ـ استفاده از مواد کم خطرتر

۳ـ توسعه بازیافت و بازیافت مواد تولیدشده و مورد استفاده در فرآیند و ضایعات، در صورت لزوم،

۴ـ فرآیندها، امکانات یا روش‌های عملیاتی قابل عملیاتی شدن که با موفقیت در مقیاس صنعتی آزمایش شده‌اند،

۵ـ پیشرفت‌های تکنولوژیکی و تغییرات در دانش و درک علمی،

۶ـ ماهیت، اثرات و حجم انتشارات مربوطه،

۷ـ تاریخ راه اندازی برای فعالیت‌های جدید یا موجود،

۸ـ مدت زمان مورد نیاز برای معرفی بهترین تکنیک‌های موجود،

۹ـ مصرف و ماهیت مواد خام (از جمله آب) مورد استفاده در فرآیند و کارایی انرژی آنها،

۱۰ـ نیاز به جلوگیری یا کاهش اثرات کلی انتشارات بر محیط زیست و خطرات ناشی از آن،

۱۱ـ نیاز به پیشگیری از حوادث و به حداقل رساندن عواقب آن برای محیط زیست.

۱۲ـ اطلاعات منتشرشده توسط کمیسیون جوامع اروپایی بر اساس هرگونه تبادل اطلاعات بین کشورهای عضو و صنایع مربوطه در مورد بهترین تکنیک های موجود، قوانین مرتبط، و پیشرفت در آنها، یا توسط سازمان های بین المللی، و سایر مواردی که ممکن است تجویز شود.

چگونگی تدوین برنامه BAT

بکارگیری BAT در برگیرنده یک فرآیند بهبود مستمر است که نیاز به نظارت و ارزیابی منظم دارد تا اطمینان حاصل شود که از بهترین تکنیک‌های موجود استفاده می‌شود. این فرآیند فراگیر بوده و مواردی چون مشاوره با سهامداران مانند سیاستگذاران، انجمن‌های صنعتی و گروه‌های زیست محیطی را نیز شامل می‌شود.

به طور کلی، BAT با ترویج فرآیندهای تولید پایدار که رشد اقتصادی را با حفاظت از محیط زیست متعادل می‌کند، نقش مهمی در جلوگیری از انتشار و اثرات آن بر محیط زیست ایفا می‌کند.

مفهوم BAT به عنوان یکی از عناصر کلیدی برای تعیین مقادیر حد انتشار[6] و سایر شروط مجاز در مجوزهای زیست‌محیطی برای تاسیسات شکل گرفته است. BAT فرآیندها، امکانات یا روش‌های عملیاتی پیشرفته‌ای هستند که نشان‌دهنده مناسب بودن اجرای یک اقدام خاص برای محدود کردن انتشار هستند. استفاده از BAT امکان ایجاد مجوزهای زیست‌محیطی را بر اساس شواهد فنی و اقتصادی و بر اساس رویکرد مشارکتی توسط ذینفعان فراهم می‌کند. شرایط صدور مجوز مبتنی بر BAT دستیابی به سطح بالایی از سلامت انسان و حفاظت از محیط زیست را ممکن می‌سازد.

آنچه اصطلاحاً « برنامه BAT » یک کشور خوانده می‌شود در مراحل زیر توسعه می‌یابد:

۱. طراحی سیاست BAT

۲. سازماندهی BAT

۳. ارزیابی سیاست‌های BAT با اندازه‌گیری اثربخشی آنها

۴. ایجاد یک سیستم ملی مبتنی بر BAT

۵. رویکردهای زنجیره ارزش برای تعیین BAT برای تاسیسات صنعتی

طراحی سیاست BAT

مفهوم BAT ممکن است در کشورهای مختلف تعاریف و مفاهیم متفاوتی داشته باشد. اساساً، می‌توان در هنگام طراحی سیاست BAT « بهترین مفاهیم» زیر را که از برخی کشورها اقتباس شده است مد نظر قرار داد:

• سیاست‌های پیشگیری و کنترل آلاینده‌های صنعتی، اغلب یک رویکرد مبتنی بر فناوری (BAT یا مفهوم مشابه) را ارائه می‌کنند.

• در حالیکه برای پیشگیری و کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای به خاک/زمین، فقط قوانین کلی وجود دارد، سیاست‌های BAT به عنوان پشتیبان این قوانین کلی برای پیشگیری و کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای در هوا و آب تبیین می‌شود.

• برای تنظیم خط مشی BAT، می‌توان مفهوم BAT را در قوانین ملی در مورد کاهش و جلوگیری از انتشارات صنعتی در هوا، آب و خاک ادغام کرد.

سازماندهی BAT

برای سازماندهی BAT، مراحل اساسی زیر وجود دارد که هر کشور ممکن است برای چگونگی طراحی یا بازنگری موثر رویکرد خود برای ایجاد BAT یا مفاهیم مشابه، آن مراجعه کند:

پیش نیازها:

• انتخاب صنایع مربوطه برای فرآیند صدور مجوزهای زیست محیطی مبتنی بر BAT،

5. The European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB)
6. emission limit values (ELVs)

• راه‌اندازی گروه‌های متشکل از ذینفعان با نمایندگانی از دولت، صنعت وسازمان‌های غیردولتی برای تعیین BAT در گام‌های زیر:

۱. جمع‌آوری اطلاعات در مورد روش‌های پیشگیری و کنترل آلودگی، میزان انتشار و مصرف

۲. ارزیابی تکنیک‌ها و داده‌های جمع‌آوری‌شده

۳. استفاده از BAT که توسط سایر کشورها تعیین‌شده و در اسناد مرجع BAT آنها در دسترس قرار داده‌شده است، و تنظیم یا پذیرش آنها مطابق با نیازهای کشور مربوطه. برخی از این منابع عبارتند از:

- اسناد مرجع BAT[7] سایر کشورها
- BAT به عنوان راهنمایی برای اجرای کنوانسیون میناماتا در مورد جیوه[8] و کنوانسیون استکهلم در مورد آلاینده‌های آلی پایدار شناسایی‌شده است.[9]
- رهنمودهای بخش صنعت گروه بانک جهانی
- کنوانسیون استکهلم در مورد آلاینده‌های آلی پایدار: دستورالعمل‌های مربوط به BAT و راهنمای موقت در مورد بهترین شیوه‌های زیست‌محیطی.[10]

ارزیابی سیاست‌های BAT با اندازه‌گیری اثربخشی آنها

برای ارزیابی خط مشی BAT، می‌توان مثلا از طریق یک نظرسنجی و جمع‌آوری داده‌ها در مورد دیدگاه‌های ذینفعان مختلف در مورد اثرات زیست‌محیطی، اقتصادی و سلامت انسان سیاست‌های تبیین‌شده یک ارزیابی کیفی انجام داد.

می‌توان اثربخشی سیاست ملی BAT را با مقایسه تأثیر سیاست‌ها بر روند انتشار، انباشتگی یا درصد انتشارات صنعتی، و اهداف تعریف‌شده در سیاست‌ها ارزیابی کرد. همچنین می‌توان تأثیر سیاست BAT را با ابزارهایی بصورت کمی پیش‌بینی کرد.

ایجاد یک سیستم ملی مبتنی بر BAT

برای شناسایی و ایجاد BAT، سطوح انتشار مرتبط با BAT (BAT-AELs) و سایر سطوح اجرای آن در محیط (BAT-AEPL)، و همچنین شرایط صدور مجوز مبتنی بر BAT، از جمله مقادیر حد انتشار برای کشور مربوطه، بهتر است یک کارگروه فنی چندجانبه (TWG) برای هر بخش صنعتی برای ارزیابی و تصویب اسناد BREF و مجوزهای زیست محیطی موجود و قابل دسترس سایر کشورها تشکیل داده شود، این رویکرد را هم در صنایع جدید الاحداث و هم در صنایع موجود می‌توان اتخاذ کرد.

رویکردهای زنجیره ارزش برای تعیین BAT برای تاسیسات صنعتی

ممکن است هنگام تعیین BAT برای کاهش بیشتر انتشارات صنعتی با در نظر گرفتن محل نصب در یک زنجیره ارزشِ بزرگتر، فرصت‌هایی برای کشور مورد نظر در عملکرد بهینه‌تر وجود داشته باشد، زیرا در زنجیره ارزش است که ارزش محصول یا خدمات در حال تغییر است و لذا از منظر کاهش آلایندگی هم می‌تواند در ارزش‌آفرینی بیشتر در محصول نهایی نقش داشته باشد.

یکی از چهار مفهوم زیر یا ترکیبی از آنها را می‌توان برای ارزیابی تعاملات بخش‌های مختلف زنجیره ارزش در طول فرآیند تعیین BAT در کشور مورد نظر انتخاب کرد تا به‌عنوان دیدگاه غالب در تعیین سیاست مورد استفاده قرار گیرد:

شیمی‌سبز: شناسایی مواد شیمیایی و فناوری‌های جایگزین که از نظر اقتصادی رقابتی هستند و مزایایی را برای صنعت و مصرف‌کنندگان به ارمغان می‌آورند و (البته) از نظر زیست‌محیطی سودمند هستند.

بهره‌وری منابع: به حداکثر رساندن بهره‌وری منابع می‌تواند باعث صرفه‌جویی در هزینه و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای برای کشور مربوطه شود.

اقتصاد چرخشی/ دورانی[11]: شناسایی مواد و فن‌آوری‌های جایگزین که می‌توانند به کاهش زباله و بازیافت، استفاده از مواد ثانویه و قابل استفاده مجدد و بهره‌وری انرژی در کل زنجیره ارزش کمک کنند.

کربن‌زدایی: برنامه BAT با رویکرد کربن‌زدایی و کاهش گازهای گلخانه‌ای (GHG) ممکن است منجر به شناسایی پتانسیل بیشتر برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، نه تنها در تاسیسات صنعتی، بلکه در سراسر زنجیره ارزش شود.

دستورالعمل پارلمان اروپا در مورد انتشارات صنعتی (دستورالعمل انتشار آلاینده های صنعتی یا IED) ابزار اصلی اتحادیه اروپا برای تنظیم انتشار آلاینده‌ها از تاسیسات صنعتی است که در ۲۴ نوامبر ۲۰۱۰ و در ۶ ژانویه ۲۰۱۱ لازم الاجرا شد و باید توسط کشورهای عضو تا ۷ ژانویه ۲۰۱۳ جایگزین می‌شد. کاهش انتشارات مضر صنعتی در سراسر اتحادیه اروپا، به ویژه از طریق استفاده بهتر از بهترین تکنیک‌های موجود صورت می‌گیرد. حدود ۵۰۰۰۰ تاسیسات که فعالیت‌های صنعتی را انجام می دهند، در ضمیمه IED فهرست‌شده‌اند و باید مطابق با یک مجوز یکپارچه (اعطاشده توسط مقامات کشورهای عضو) فعالیت کنند. این مجوز باید دارای شرایطی باشد که مطابق با اصول و مفاد IED تعیین شده است.

دستورالعمل IED بر چندین رکن استوار است، که اهم آنها عبارتند از:

۱. رویکرد یکپارچه؛

۲. استفاده از بهترین تکنیک های موجود؛

۳. انعطاف پذیری؛

۴. بازرسی؛

۵. مشارکت عمومی.

مستندسازی اثرات زیست‌محیطی مرتبط با هر بخش و بهترین تکنیک‌های موجود برای به حداقل رساندن اثرات مخرب در اسناد به اصطلاح مرجع BAT[12] تحقق می‌یابد. اسناد نتیجه‌گیری BAT عصاره‌ای از اسناد

7. BAT Reference Documents (BREF)
8. Minamata Convention on Mercury s
9. Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants
10. Guidelines on BAT and Provisional Guidance on Best Environmental Practices
۱۱. یک نظام اقتصادی است که هدف آن کمینه کردن پسماندها و بیشترین استفاده از منابع است
12. BAT Reference Documents (BREF)

BREF هستند که به عنوان مرجع برای مجوز و نظارت بر تاسیسات صنعتی عمل می‌کنند. در آنها بهترین تکنیک‌های موجود (BAT) خلاصه شده و سطوح انتشار مرتبط با هر BAT در آن تعریف شده است.
به عنوان مثال از زمان آغاز تبادل اطلاعات اروپا در سال ۱۹۹۸، شرکت اوکوپول[13] در آلمان در توسعه اسناد BREF مشارکت داشته است. این شرکت عضو گروه کاری IED کمیسیون نیدرزاکسن و ارزیاب کمیته وزارت محیط زیست برای ارزیابی انطباق با مقررات فنی آلمان در مورد کیفیت هوا مطابق با الزامات اسناد مرجع BAT اروپا در راستای اجرای ملی دستورالعمل انتشار گازهای گلخانه ای صنعتی (IED) در آلمان است.
برای این منظور، اوکوپول از شبکه گسترده‌ای از شرکت‌های صنعتی، انجمن‌ها، دانشمندان، مقامات و تامین‌کنندگان تکنیک استفاده می‌کند. اطلاعات مربوط به کارخانه‌های مرجع را با استفاده از بهترین تکنیک‌های موجود جمع آوری کرده، کاربرد آن را در هر بخش صنعت ارزیابی می‌کند و مطالعات دقیقی در مورد قابلیت اقتصادی و مزایای زیست محیطی انجام می‌دهد. این شرکت برای تعریف بهترین تکنیک های موجود از مشورت با شرکت‌ها و انجمن‌ها در مورد اجرای الزامات دستورالعمل انتشار گازهای گلخانه ای صنعتی (IED) بهره می‌گیرد و برای آماده سازی شرکت‌های بزرگ و متوسط برای بازرسی مقامات ذیصلاح، با هدف تحقق کارآمد نتایج BAT خدمات مشاوره ارائه می‌کند و در توسعه و بکارگیری اسناد مرجع BAT در حوزه‌های زیر مشارکت دارد:

BREF در مورد نیروگاه های احتراق بزرگ
BREF در مورد پالایشگاه های نفت و گاز معدنی
BREF در مورد تولید مواد شیمیایی آلی با حجم بالا
BREF در مورد تولید پانل‌های چوبی
BREF در مورد تولید خمیر و کاغذ
BREF در مورد تولید فلزات غیرآهنی
BREF در مورد تولید آهن و فولاد
BREF در مورد تولید سیمان، آهک و اکسید منیزیم
BREF در مورد تولید شیشه
BREF در مورد سوزاندن زباله
BREF در مورد بازیافت زباله
BREF در صنعت نساجی
BREF در ریخته‌گری و کارخانه های ریخته‌گری
BREF در مورد عملیات سطحی فلزات و پلاستیک (آبکاری الکتریکی)
BREF در مورد تصفیه سطحی با استفاده از حلال‌ها (به عنوان مثال چاپ، پوشش، تولید رنگ، اشباع چوب، استخراج روغن).

BAT و مجوزهای زیست محیطی

بر اساس آنچه در پارلمان اروپا پذیرفته شده و کشورهای اتحادیه اروپا ملزم به رعایت و پیاده‌سازی آن شده‌اند، هر زمان که BAT برای صنایع آلاینده تهیه و نهایی شد، از آن به بعد صدور مجوزهای زیست محیطی در صنعت مربوطه مبتنی بر BAT خواهد بود، تکنیکهایی که اغلب در برگ درخواست صدور مجوز زیست محیطی درج شده‌اند. در زیر شرایط صدور مجوز زیست محیطی در انگلیس به اختصار شرح داده شده است:
در شروط صدور مجوز ممکن است قید شده باشد که از چه BAT باید استفاده شود یا ممکن است مقادیر حد انتشار یا سایر نتایج محیطی بر اساس BAT تعیین شده باشد.
اگر مجوز قید کرده باشد که باید BAT یا «اقدامات مناسبی» برای دستیابی به یک نتیجه یا حد انتشاری خاص دنبال شود، باید راهنمای فعالیت صنعت در BAT برای آن فرآیند مورد بررسی قرار گیرد. اما اگر مجوز قید نمی‌کند از کدام BAT استفاده شود، اینکه از کدام BAT استفاده شود به تصمیم شخصی مجوز گیرنده واگذار شده است.
همچنین ممکن است لازم باشد اقدامات بیشتری را برای رعایت شروط مندرج در صدور مجوز انجام داد.

BAT در درخواست صدور مجوز زیست محیطی

هنگام درخواست برای صدور یک مجوز زیست محیطی، باید شفاف ذکر شود که آیا متقاضی خواستار دنبال کردن هر BAT که برای فعالیت او تعیین شود هست یا برای آن پیشنهاد جایگزین دارد. این موضوع در بخش «تکنیک‌های عملیاتی» فرم درخواست گنجانده می‌شود.
برای BAT مورد نظر، باید توضیح داده شود که چگونه قرار است انجام شود:
• نحوه دنبال کردن نتایج BAT و برآورده کردن سطح انتشار مرتبط با آن
• نحوه دنبال کردن موارد BREF و راهنمای فنی برای فعالیت‌هایی که نتیجه‌گیری BAT ندارند.
همچنین برای هر BAT که متقاضی قصد دنبال کردن آن را ندارد، باید یک تکنیک جایگزین پیشنهاد شود.

نحوه پیشنهاد تکنیک جایگزین

اگر روش جایگزین متقاضی سطحی از حفاظت از محیط زیست را ارائه می‌دهد که معادل BAT است، باید در بخش تکنیک‌های عملیاتی در فرم درخواست توضیح داده شود که چگونه این کار انجام خواهد شد.
اگر تکنیک متقاضی حفاظت از محیط زیست معادلی را ارائه نمی‌دهد، اما متقاضی قصد دارد دلیلی برای توجیه هزینه ـ فایده داشته باشد، باید در بخش تکنیک‌های عملیاتی، فرم و از طریق ارزیابی هزینه ـ فایده و تحلیل و بررسی ریسک، توجیهی معقول ارائه کند.
در صورتی که تکنیک پیشنهادی با سطوح انتشار آلاینده‌های مرتبط با BAT مطابقت نداشته باشند، تنها در صورتی مجوز برای فعالیت‌های صنعتی اعطا می‌شود که متقاضی بتواند نشان دهد که هزینه‌های دستیابی به سطوح انتشار BAT در مقایسه با مزایای زیست محیطی، به دلیل خاص و موجهی (ارزیابی هزینه ـ فایده و تحلیل و بررسی ریسک)، به طور نامتناسبی بالا است. دلیل ارائه شده در صورتی قابل پذیرش است که منطبق با یکی از این موارد باشد:
• شرایط جغرافیایی یا محلی محیطی سایت فعالیت صنعتی مورد نظر
• مشخصات فنی سایت (به عنوان مثال، اثر کاهش انتشار بیش از حد بر سایر انتشارات، که منجر به افزایش مصرف آب یا ضایعات سایت فعالیت صنعتی مورد نظر می‌شود)
ارائه این نوع پیشنهاد «درخواست برای فسخ»[14] نامیده می‌شود.

جمع بندی

بهترین تکنیک‌های موجود (BAT)، موثرترین و پیشرفته‌ترین ابزار برای دستیابی به یک هدف محیطی خاص هستند که بر اساس دانش

13. ÖKOPOL
14. applying for a derogation

و تجربه صنعت، موسسات تحقیقاتی، دانشگاه ها و سایر ذینفعان توسعه یافته‌اند. BAT می تواند دربرگیرنده راه حل‌های تکنولوژیکی، روش‌های عملیاتی، سیستم‌های مدیریتی و سایر اقداماتی باشد که از نظر اقتصادی و فنی امکان پذیر هستند. نمونه‌هایی از BAT شامل اقدامات بهره‌وری انرژی، استراتژی‌های کمینه‌سازی زباله، تکنیک‌های پیشگیری از آلودگی و رویکردهای حفاظت از منابع است.

تا کنون با توجه به مدارک و اسناد قابل دسترس، می‌توان گفت که اتحادیه اروپا بهترین تلاش یا عمل را در BAT (بهترین تکنیک های موجود) در دستورالعمل های انتشار گازهای گلخانه ای صنعتی دارد. دستورالعمل انتشار گازهای گلخانه‌ای اتحادیه اروپا (IED) ایجاب می‌کند که همه تاسیسات صنعتی از بهترین تکنیک‌های موجود برای کاهش انتشار خود استفاده کنند. این دستورالعمل چارچوبی را برای ارزیابی و کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای از کارخانه‌های بزرگ صنعتی، از جمله نیروگاه‌ها، کارخانه‌های شیمیایی و سایر صنایع تعیین می‌کند. IED همچنین از کشورهای عضو خواسته است که برای اجرای این دستورالعمل برنامه‌های ملی خود را توسعه دهند.

در این بین، بریتانیا مؤثرترین تجربه را در BAT (بهترین تکنیک های موجود) در دستورالعمل‌های انتشار گازهای گلخانه‌ای صنعتی دارد. بریتانیا سابقه طولانی در اجرا و اجرای دستورالعمل انتشارات صنعتی اتحادیه اروپا دارد، و در خط مقدم توسعه بهترین تکنیک های موجود برای کاهش انتشارات ناشی از فعالیت های صنعتی بوده است. بریتانیا همچنین دارای سابقه قوی در همکاری با صنعت برای توسعه و اجرای راه حل های BAT است.

پیشنهاد

با توجه به آنچه ارائه شد، پیشنهاد می‌شود با ایجاد مجموعه‌ای از استانداردهای انتشار ملی که بر اساس بهترین تکنیک‌های موجود (BAT) تعریف شده است، BAT را برای انتشارات صنعتی در پالایش، فراورش نفت و گاز و انتقال محصولات مرتبط با آنها فراهم کرد. این استانداردها باید بر اساس آخرین دانش علمی و فنی و با در نظر گرفتن عوامل اقتصادی و اجتماعی تعریف شوند.

همچنین باید سیستمی برای مجوزهای زیست محیطی ایجاد شود که اپراتورهای صنعت را ملزم به رعایت این استانداردهای ملی آلایندگی کند. این سیستم باید شامل مقرراتی برای نظارت، گزارش‌دهی و اجرای استانداردها باشد.

علاوه براین، باید اطمینان حاصل کرد که همه ذینفعان مربوطه در توسعه و اجرای مجوزهای زیست محیطی مبتنی بر BAT، از جمله نمایندگان صنعت نفت و گاز، سازمان‌های زیست محیطی و سایر طرف‌های ذینفع مشارکت داشته باشند.

در نهایت، باید اطمینان حاصل کرد که یک سیستم موثر برای بررسی و به روزرسانی مجوزهای زیست محیطی مبتنی بر BAT به طور منظم به منظور همگام‌شدن با پیشرفت فناوری و تغییرات در شرایط محیطی ایجاد شود و خود نیز با دانش روز، به روز گردد. در نهایت متذکر می‌شود که مانند هرگونه فرآیند مدیریتی دیگر، این مهم نیز جز با پذیرش این امر و تعهد مدیران ارشد صنعت و ذینفعان به اجرای آن محقق نخواهد شد.

منابع:

https://www.gov.uk/guidance/best-available-techniques-environmental-permits#:~:text='Best20%available20%techniques'20%)20%BAT,food20%factory20%or20%intensive20%farm).

https://iomctoolbox.org/node/51735/steps

https://wecoop.eu/glossary/bat/

https://www.sepa.org.uk/regulations/pollution-prevention-and-control/best-available-techniques-bat-reference-documents-brefs/

https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/075477b329-7a-11ea-ba6e01-aa75ed71a1/language-en

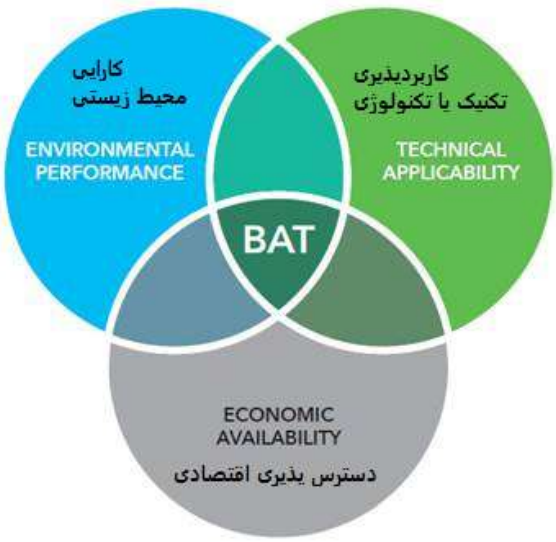
https://www.oecd.org/chemicalsafety/risk-management/best-available-techniques.htm

https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/reference/refining-mineral-oil-and-gas0-

https://oekopol.de/en/topics/industrial-emissions-and-best-available-techniques-bat/#referenzen

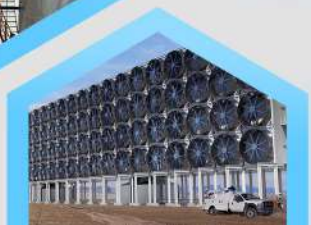
chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.epa.ie/publications/licensing--permitting/industrial/ied/BAT-Guidance-Note-Oil-&-Gas-Refining.pdf

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/11-2019/REF_BREF_2015.pdf



EnerTech

Professional Monthly Journal of Energy Technologies (EnerTech)



Institute For International Energy Studies

www.iies.ac.ir
www.iies.mop.ir