

شماره سی و یکم

موسسه مطالعات بین المللی انرژی
وابسته به وزارت نفت

تیرماه ۱۴۰۲



۳۱

ماهنامه تخصصی

فناوری های انرژی

Ener Tech



پژوهشکده مطالعات راهبردی فناوری انرژی

... رویدادهای فناوری ...

سخنی با مخاطب

افزایش بی رویه ردپای کربن در علوم داده و محاسباتی طبق مطالعات دانشگاه کمبریج
حوزه: نظم نوین آینده انرژی

اکسید تیتانیوم، تولید هیدروژن سبز با نور خورشید را تسهیل می کند
حوزه: نظم دوره گذار انرژی

کاربردی از "فناوری دوقلوی دیجیتال"؛ تجزیه و تحلیل ویژگی های باتری در فضای مجازی
حوزه: نظم دوره گذار انرژی

روشی دقیق برای اندازه گیری راداری توسط محققان سوئدی در جهت بهبود صنایع تولید انرژی
حوزه: نظم کنونی انرژی

آیا کشتی های تولید، ذخیره و تخلیه (FPSO) ها می توانند اثرات خود را در مورد انتشار کربن رفع کنند؟
حوزه: نظم کنونی انرژی

شبکه ارزش هیدروژن از نگاه راهبردی فناوری

حوزه: نظم نوین آینده انرژی

گذار به اقتصاد کربن چرخه ای؛ رویکردها و راهبردها

حوزه: نظم نوین آینده انرژی

گذار جهانی انرژی، فرصت ها و تهدیدهای پیش روی ایران

حوزه: نظم دوره گذار انرژی

نگاهی اجمالی بر بخش انرژی مجموعه کشورهای بریکس (BRICS)

حوزه: نظم کنونی انرژی

فناوری ها و کاربردهای میادین نفت دیجیتال (بخش دوم)

حوزه: نظم کنونی انرژی

... گزارش های تحلیلی ...

شناسنامه :

مدیر مسئول: علی اصغر رجبی

ناظر علمی: عرفان ریاحی

سردبیر: قاسم توتونچی

همکاران این شماره: امیر حسین هوشمند، صدیقه جوادیپور، فریبا ریاحی،

پیمان نیلچی پور، سید صادق ضرغامی، مجید خالقی راد، قاسم توتونچی

هیات تحریریه: علی اصغر رجبی، غلامعلی رحیمی، عباس زراء نژاد،

عقیل براتی، عباس یعقوبی، قاسم توتونچی، امیر حسین هوشمند،

امیر حسین فاکهی، اعظم محمدباقری، صدیقه جوادیپور، شیرین رضایی

عدل، بهاره فرهنگپور، سید صادق ضرغامی، طاهر خرم روز، مهدی

کربلایی، پیمان نیلچی پور، شباهنگ مهاجرانی.

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 "شبکه ارزش هیدروژن از نگاه راهبردی فناوری"، "گذار به اقتصاد کربن چرخه ای؛ رویکردها و راهبردها"، "گذار جهانی انرژی، فرصتها و تهدیدهای پیش روی ایران- بخش اول"، "نگاهی اجمالی بر بخش انرژی مجموعه کشورهای بریکس (BRICS)" و "فناوری ها و کاربردهای میادین نفت دیجیتال- بخش دوم" و نیز رویدادهای فناوری اخیر تقدیم گردیده است که امید است مورد توجه واقع شود.

با آرزوی توفیق و سلامتی و شادکامی

سرمدیر



رویدادهای فناوری

نظم نوین آینده انرژی

افزایش بی رویه ردپای کربن در علوم داده و محاسباتی طبق مطالعات دانشگاه کمبریج



کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، را اشتراک محاسبات و جابجایی کانون محاسبات به مکان‌ها و کشورهای کم‌کربن داشت. رد پای دستگاه‌های کاربر نیز یک عامل مهم است؛ یک تخمین نشان داد که تقریباً سه چهارم (۷۲٪) رد پای انرژی مربوط به پخش ویدیو از رایانه همراه یا لپ‌تاپ است. یکی دیگر از نکات کلیدی، ذخیره‌سازی اطلاعات است. رد پای کربن ذخیره‌سازی داده‌ها به عوامل متعددی بستگی دارد، اما رد پای چرخه عمر ذخیره‌سازی یک ترابایت داده برای یک سال در حد ۱۰ کیلوگرم CO₂e است. مطالعات اخیر نشان داده است که پرکاربردترین زبان‌های برنامه‌نویسی در تحقیقات مانند R و Python، کمترین بهره‌وری انرژی را دارند، که اهمیت آموزش مهندسين نرم‌افزار را در گروه‌های تحقیقاتی برای اطمینان از اجرای کارآمد الگوریتم‌های مورد استفاده نشان می‌دهد.

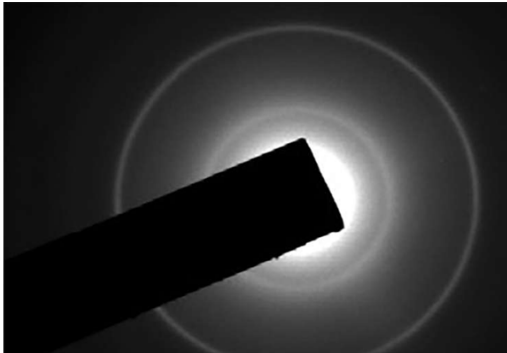
در سال ۲۰۲۲، بخش فناوری اطلاعات و ارتباطات بین ۱/۸٪ تا ۲/۸٪ از انتشار گازهای گلخانه‌ای جهانی را تشکیل داد و این میزان بیش از بخش سفرهای هوایی یا هوانوردی با درآمد وزنی ۱/۹٪ بود. از جمله اثرات زیست‌محیطی می‌توان به شدت مصرف برق، ساخت و دفع سخت‌افزار، نگرانی‌هایی در مورد مصرف آب و استفاده بی‌رویه از زمین مراکز داده اشاره نمود. به اعتقاد محققان، افزایش روزافزون هوش مصنوعی و کاربرد علم داده، در صورت عدم راهبری و اقدام بایسته، می‌تواند در سال‌های آینده منجر به رشد تصاعدی رد پای کربن شود. هرکسی که در علوم محاسباتی دخیل است، باید نقشی در پایداری‌تر کردن این حوزه داشته باشد. این افراد به کمک خبرگان باید برآورد و نظارت بر رد پای کربن محاسباتی، ناکارآمدی‌ها و فرصت‌های بهبود را شناسایی کنند. می‌توان یکی از سریع‌ترین راه‌ها برای

دانشمندان کمبریج مطالعاتی را ترتیب داده‌اند که چگونه علوم داده و محاسباتی می‌تواند رد پای قابل توجهی از کربن داشته باشند و از سوی دیگر، می‌توانند از نظر ملاحظات محیط زیستی پایداری‌تر شوند. محققان استدلال می‌کنند اقدامات لازم برای جلوگیری از افزایش بالقوه کنترل نشده کربن ناشی از محاسبات علم داده، ضروری است. مطالعات اخیر برای بررسی اثرات زیست‌محیطی تحقیقات علمی، با تمرکز اولیه بر کنفرانس‌های علمی و آزمایشگاه‌های تجربی آغاز شده است. به عنوان مثال تخمین زده شده نشست پاییز اتحادیه ژئوفیزیک آمریکا، ۸۰۰۰۰ تن معادل دی‌اکسید کربن تولید می‌کند که هم‌تراز میانگین انتشار هفتگی شهر ادینبورگ در بریتانیا است. "عملکرد بالا و رایانش ابری" جنبه‌هایی از تحقیقات هستند که اغلب نادیده گرفته می‌شوند و می‌تواند تأثیر زیست‌محیطی قابل توجهی داشته باشند.

رویدادهای فناوری

نظم دوره گذار انرژی

اکسید تیتانیوم، تولید هیدروژن سبز با نور خورشید را تسهیل می کند



طرح های انرژی پاک، روی هیدروژن به عنوان سوخت آینده حساب می کنند. اما فناوری کنونی استحصال هیدروژن هنوز از بازدهی کافی و پایداری فاصله دارد. به عنوان بخشی از تلاش های مداوم برای توسعه موادی که می توانند منابع انرژی جایگزین را فعال کنند، محققان دانشگاه درکسل یک ماده نانورشته ای اکسید تیتانیوم تولید کرده اند که می تواند نور خورشید را برای فعال سازی استحصال هیدروژن به عنوان منبع سوخت مهار کند.

خورشید کمک کند تا هیدروژن را برای ماه ها از آب استحصال کند.

ماده مورد نظر، در محلول آب- متانول غوطه ور شد و در معرض نور مرئی ماوراء بنفش تولید شده توسط یک لامپ روشن کننده قابل تنظیم - که طیف خورشید را شبیه سازی می کند - قرار گرفت. محققان میزان هیدروژن تولید شده و مدت زمان فعالیت، همچنین تعداد فوتون های نوری که هنگام برهم کنش با ماده کاتالیزور هیدروژن تولید شده اند، را به عنوان

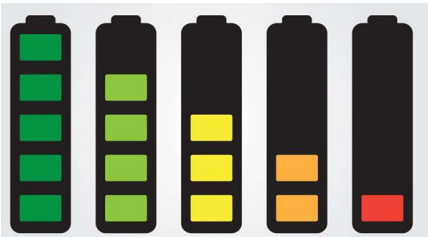
این روش، جایگزینی برای روش های فعلی محسوب می شود که برای تولید هیدروژن، گازهای گلخانه ای زیادی تولید می کنند و به مقدار زیادی انرژی نیاز دارند. فوتوکاتالیز، فرآیندی که می تواند هیدروژن را از آب با استفاده از نور خورشید جدا کند، برای چندین دهه مورد بررسی قرار گرفته است. اما به دلیل اینکه مواد کاتالیزوری، که این فرآیند

معیاری برای درک بازده کاتالیزور اندازه گیری کردند.

بر اساس گزارش تیم تحقیقاتی، بازدهی قابل قبول به خودی خود بسیار قابل توجه است، اما یافته مهم ترین بود که این ماده پس از بیش از ۱۸ روز قرار گرفتن در معرض نور خورشید شبیه سازی شده، فعال باقی ماند.

نتایج به قدری امیدوارکننده است که این گروه یک استارتاپ هیدروژن سبز را بر اساس این فناوری تاسیس کرده است.

کاربرد از "فناوری دوقلوی دیجیتال": تجزیه و تحلیل ویژگی های باتری در فضای مجازی



یک تیم تحقیقاتی، با توسعه فناوری جدید تشخیص تخریب الکتروود باتری، از پیشرفت قابل توجهی در حوزه باتری خبر دادند.

این رویکرد، ترکیبی از یک مدل سطح ذره از مواد فعال (نیکل) با فناوری دوقلوی دیجیتال است. هدف این نوآوری، شناسایی علل ریشه ای کاهش عملکرد در باتری و ارائه طرح های بهینه سازی سطح ذره ای از طریق تجزیه و تحلیل دقیق خواص الکتروشیمیایی و مکانیکی آنها است.

باتری های لیتیوم یون در دستگاه های روزمره، از جمله در گوشی های هوشمند و وسایل نقلیه الکتریکی، ضروری و همه گیر شده اند. با این حال، چالش های پایداری مانند ایمنی، خرابی سریع، محدودیت هایی در طول عمر و کارایی آنها وجود دارد.

برای تحلیل و رفع این چالش ها، تیم تحقیقاتی با بررسی عملکرد باتری و پیش بینی تغییرات، بهینه سازی طراحی را در نظر گرفتند. کار آنها منجر به توسعه یک مدل پیچیده با استفاده از "فناوری دوقلوی دیجیتال" شد. این مدل به طور دقیق ساختار داخلی را مبتنی بر چیدمان ذرات پیچیده موجود در باتری های واقعی، در یک محیط مجازی شبیه سازی می کند.

مدلسازی این تیم در بررسی دقیق ذرات ابعاد میکرومتر موجود در الکتروود، دارای برتری بوده و به طور موثر عوامل خارجی را که بر عملکرد باتری تأثیر می گذارند، حذف می کند؛ در نتیجه، تشخیص ویژگی های منحصر به فرد مواد فعال مربوط به تولید انرژی الکتریکی، و امکان اندازه گیری بسیار دقیق ممکن می شود.

از طریق این تحقیق، به ساختارهایی در فناوری دوقلوهی دیجیتال دست یافته شده که شباهت زیادی به ذرات واقعی دارند و تغییرات را در حین کار باتری به طور دقیق پیش بینی می کنند.



روشی دقیق برای اندازه‌گیری راداری توسط محققان سوئدی در جهت بهبود صنایع تولید انرژی

بسترسیال در صنایع مختلفی مورد استفاده قرار می‌گیرد و نقش مهمی در گذار به انرژی سبز دارد. با این حال، فرآیندی که در داخل یک بستر سیال رخ می‌دهد بسیار پیچیده است و به دلیل عدم وجود تکنیک‌های اندازه‌گیری مؤثر، تا حد زیادی ناشناخته باقی مانده است. اکنون، محققان سوئدی یک تکنیک راداری با فرکانس بالا را توسعه داده‌اند که می‌تواند دقیقاً آنچه را که درون یک بستر سیال اتفاق می‌افتد، با دقتی بی‌رقیب اندازه‌گیری کند. این پیشرفت می‌تواند منجر به فرآیندهای کاملاً جدید و کارآمدتر در چندین صنعت از جمله تبدیل انرژی شود. مثلاً احتراق بسترسیال یکی از فناوری‌های پیشرو مورد استفاده در نیروگاه‌های حرارتی جهان است. این فناوری، سوخت‌های جامد مانند زیست توده و زباله را به گرمایش منطقه‌ای و برق تبدیل می‌کند. همچنین فناوری سیال سازی برای بسیاری از فرآیندهای دیگر که انتظار می‌رود نقش مهمی



در انتقال سیستم‌های انرژی ایفا کنند مانند جذب کربن، ذخیره‌سازی انرژی، تولید هیدروژن و سایر سوخت‌های بدون فسیل، اساسی است. محققان اکنون یک تکنیک راداری توسعه داده‌اند که می‌تواند توصیف دقیقی از جریان جامدات در بسترهای سیال ارائه کند، و نبود این اندازه‌گیری، مانع از توسعه این فرآیندها شده است.

بسترهای سیال در حال حاضر موثرترین فناوری برای تبدیل سوخت‌های زیستی جامد به انرژی هستند و منجر به سرعت کارآمد و ثابت احتراق می‌شوند؛ زیرا ذرات جامد حالت مایع به خود می‌گیرند که به توزیع همگن گرما در محفظه احتراق کمک می‌کند. به طور خلاصه، فناوری سیال سازی مبتنی بر دمیدن گاز در بستری از ذرات کوچک‌شن مانند یک راکتور است، به طوری که این ذرات جامد، سوخت و گاز، کاملاً مخلوط می‌شوند.

برای دستیابی به راندمان بیشتر در این فرآیند، باید نحوه رفتار ذرات جامد در مخلوط، درک و کنترل گردد. اما محیط راکتور اغلب گرم، آلوده و خورنده است و به طور موثری از هر نوع اندازه‌گیری جلوگیری می‌کند و بنابراین درک آنچه واقعاً در راکتور اتفاق می‌افتد محدود می‌شود.

اندازه‌گیری راداری انجام شده در مدل مقیاس شده، امکان مشاهده بصری ذرات جامد در حالی که توسط هوا سیال می‌شوند را فراهم می‌کند.

این روش، یک تکنیک راداری با فرکانس بسیار بالا است که می‌تواند جریان ذرات جامد در بسترسیال را با دقتی بی‌نظیر اندازه‌گیری کند. با الهام از رادار پالس داپلر، این اولین بار است که این تکنیک در زمینه بسترسیال نشان داده می‌شود. اکنون انتظار می‌رود که این پیشرفت راه را برای فرآیندهای جدید و کارآمدتر در صنایع انرژی هموار کند.

تکنیک رادار پالس داپلر در فرکانس‌های تا ۳۴ گیگاهرتز، می‌تواند هم توزیع ذرات و هم سرعت آنها را در داخل یک راکتور فرآیندی با وضوح بسیار بالاتر از سایر فناوری‌ها اندازه‌گیری کند.

آیا کشتی‌های تولید، ذخیره و تخلیه (FPSO) ها می‌توانند اثرات خود را در مورد انتشار کربن رفع کنند؟

کشتی‌های تولید، ذخیره و تخلیه مدت هاست راه حل منتخب توسعه فراساحلی بوده‌اند، روندی که طی چندین سال آینده ادامه خواهد داشت. متأسفانه برای شرکت‌های نفت و گاز که به دنبال سبتر کردن تولید هستند، رشد پیش‌بینی‌شده‌ی استقرار FPSO ها، با تشدید انتشار گازهای گلخانه‌ای همراه است. بخش FPSO مسئول انتشار ۳۸ میلیون تن دی‌اکسید کربن در سال جاری خواهد بود که تا پایان دهه به ۵۰ میلیون تن در سال افزایش می‌یابد. بسیاری از شرکت‌ها در صورت امکان از برق پاک تر منتقل شده از ساحل استفاده می‌کنند. همچنین کارهای زیادی روی فناوری جذب کربن برای FPSO ها در حال انجام است. با توجه به فضای محدود در تاسیسات شناور، فشرده‌تر کردن سیستم‌های CCS برای کاربردهای فراساحلی یک چالش است. مهندسان در حال بررسی مفهوم «هاب‌های انرژی» فراساحلی هستند که می‌توانند انرژی را برای پلتفرم‌های متعدد، بدون نیاز به تغییرات گسترده در دارایی‌های موجود تأمین کنند.



نظم نوین آینده انرژی

... گزارش تحلیلی ...

شبکه ارزش هیدروژن از نگاه راهبردی فناوری

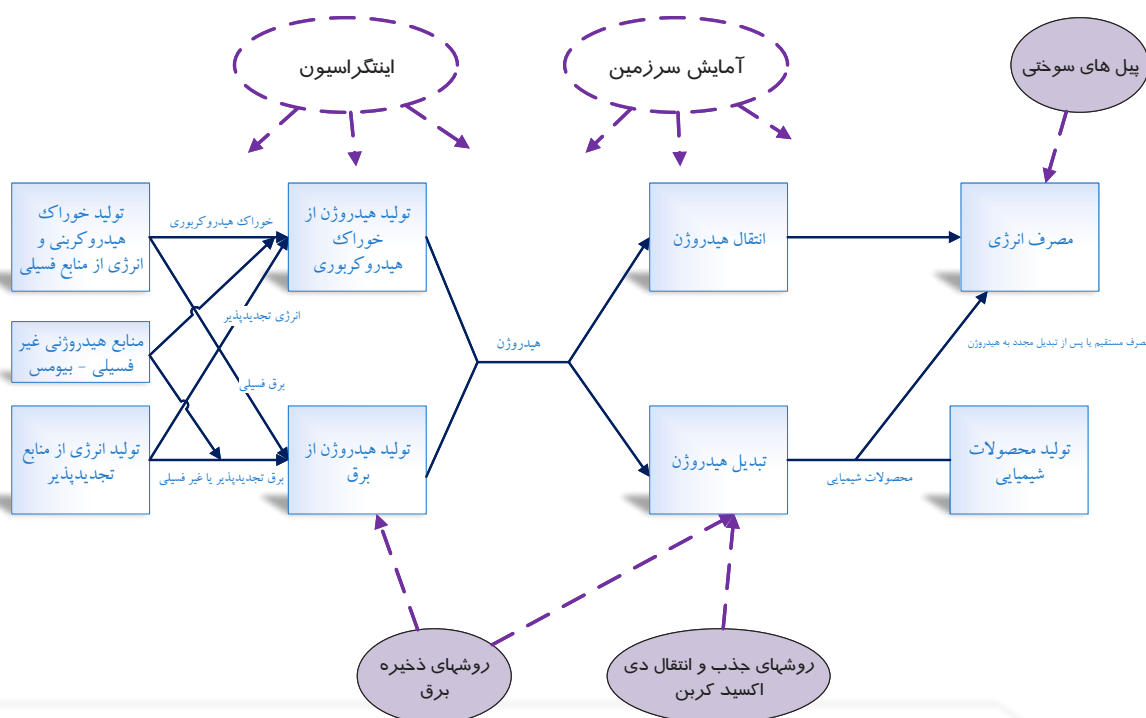
امیر حسین هوشمند، صدیقه جوادپور

نگاه راهبردی به اقتصاد صنعت هیدروژن

هیدروژن یک سوخت جایگزین است و در صورت تامین از منابع تجدیدپذیر می‌تواند وابستگی به سوخت‌های فسیلی را کاهش دهد. هیدروژن بطور کلی می‌تواند از منابع مختلف مانند آب، زیست‌توده، گاز طبیعی، ذغال سنگ و سایر منابع فسیلی تولید گردد. با توجه به امکان تامین آن از منابعی مانند آب، هیدروژن را می‌توان یکی از فراوان‌ترین سوخت‌ها قلمداد نمود. از طرف دیگر در هنگام سوزاندن، هیدروژن فقط بخار آب را به عنوان فرآورده جانبی تولید می‌کند که آن را به سوختی بسیار تمیزتر از سوخت‌های فسیلی تبدیل می‌کند. علاوه بر این، وسایل نقلیه هیدروژنی نسبت به وسایل نقلیه بنزینی برای طی کردن مسافت یکسان به سوخت کمتری (به لحاظ وزنی) نیاز دارند و لذا از این جهت کارآمدتر هستند. به دلایل فوق، و با توجه به تاثیر شایان در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و آهسته‌تر کردن روند تغییر آب و هوا و اهمیت در گذار انرژی، استفاده از هیدروژن به عنوان سوخت، روز به روز در چشم‌انداز سید انرژی کشورهای مختلف بیشتر دیده می‌شود. بطور کلی، چشم‌انداز پیش‌روی اقتصاد هیدروژن با توجه به ابعاد زیر قابل بررسی است:

۱. افزایش تقاضا برای هیدروژن: افزایش تقاضا برای منابع انرژی پاک به دلیل گذار از سوخت‌های فسیلی و نیاز به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای باعث افزایش تقاضا برای هیدروژن می‌شود که خود منجر به ایجاد فرصت‌هایی برای توسعه صنعت هیدروژن و گسترش فناوری‌ها و برنامه‌های جدید مرتبط با آن می‌شود.

شکل ۱: تصویر کلان شبکه هیدروژن





استفاده از آن در انواع برنامه‌ها و صنایع مانند پیل سوختی برای حمل و نقل یا تولید برق ثابت، تولید سوخت‌های سنتزی، صنعت فولاد، فرآورده‌های بهداشتی و غذایی و... از موارد قابل پیش‌بینی است. در این خصوص، میزان مصرف (فعلی و یا آتی) در یک بخش خاص می‌تواند وزن قابل توجهی در انتخاب زنجیره یا زنجیره‌های مناسب داشته باشد.

حوزه های فناوری مرتبط با شبکه ارزش هیدروژن

موضوع مطالعه شبکه هیدروژن به اینجا ختم نمی‌شود. حوزه‌های فناوریانه متعددی وجود دارند که اگرچه در نگاه اول و بطور مستقیم در شبکه هیدروژن جای نمی‌گیرند، اما می‌توانند اثرات قابل ملاحظه‌ای در نتایج حاصل از مطالعه شبکه هیدروژن داشته باشند. ذیل توضیحات مختصری در خصوص این حوزه‌ها که ارتباط آنها با المان های شبکه هیدروژن در شکل با خط چین نشان داده شده است، ارائه می‌شود:

۱- یکی از حوزه‌های جانبی تاثیر گذار در شبکه ارزش هیدروژن، بررسی و مقایسه روش‌های ذخیره‌سازی برق است. با توجه به شدت و ضعف برق تجدیدپذیر و بستگی آن به مواردی مانند شدت باد، میزان تابش خورشید، جزر و مد و... و نیز تغییرات نرخ مصرف برق در ساعات مختلف شبانه روز که منجر به برق اضافی در شبکه می‌گردد، ذخیره سازی برق اهمیت می‌یابد. روش‌های مختلف کوتاه مدت و بلند مدت ذخیره برق و مزایا و معایب آنها، از مواردی هستند که باید مورد مطالعه قرار گرفته و با روش الکترونیز برای تولید هیدروژن (بعنوان یکی از روش‌های ذخیره سازی برق) مقایسه شوند. همچنین، معمولاً تبدیل هیدروژن به محصولات مایع و یا گازی دیگر نیز در حوزه ذخیره سازی برق مورد مطالعه قرار می‌گیرند که به آنها Power-to-Liquid و Power-to-Gas اطلاق می‌شود.

۲- در تبدیل هیدروژن به محصولات شیمیایی دیگر، در بسیاری موارد باید از دی‌اکسیدکربن جذب شده از منابع منتشر کننده و یا از هوا نیز استفاده نمود. بنابراین مطالعه در حوزه جذب دی‌اکسیدکربن و استفاده از آن مهم تلقی می‌شود.

۳- امروزه استفاده از پیل‌های سوختی که با هیدروژن کار می‌کنند، از موارد مهم کاربرد هیدروژن تلقی می‌شوند. بنابراین مطالعه عملکرد، راندمان، هزینه و سایر موارد مرتبط با پیل‌های سوختی اهمیت دارد. این اهمیت، بویژه هنگامی فزونی می‌یابد که به این امر توجه گردد که انواعی از پیل‌های سوختی می‌توانند با سوخت‌های دیگری بجز هیدروژن کار کنند. نمونه آنها پیل‌های سوختی با کاربرد مستقیم متانول (Direct Methanol Fuel Cell, DMFC) هستند که در سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته‌اند. این نمونه‌ها، در مواردی که پیل‌های سوختی مورد استفاده قرار می‌گیرند، بسته به شرایط و میزان توسعه فناوری آنها، می‌توانند نیاز به انتقال هیدروژن را منتفی و انتقال متانول را که بسیار آسانتر و کم هزینه‌تر است، جایگزین کنند. حتی این گزینه نیز قابل انجام است که با قراردادن یک ریفورمر قبل از پیل سوختی هیدروژنی، متانول را به هیدروژن تبدیل و از آن در پیل سوختی هیدروژنی استفاده نمود. بررسی مزایا، معایب و گزینه‌های مختلف استفاده از پیل‌های سوختی در کنار ارزیابی دقیق از میزان استفاده از هیدروژن در اینگونه کاربردها

فعالیت‌ها و فرآیندهای درگیر در تولید، توزیع و استفاده از سوخت هیدروژن است که در قسمت بعد توضیح داده خواهد شد.

شبکه ارزش هیدروژن

نگارندگان بر این باورند که برای مطالعه، برنامه‌ریزی و توسعه صنعت هیدروژن در کشور، می‌بایست بجای مفهوم زنجیره ارزش هیدروژن، «شبکه ارزش هیدروژن» مورد توجه، ترسیم و مطالعه قرار گیرد. این شبکه بایستی شامل تمام روش‌های تولید، تبدیل و انتقال هیدروژن و کاربردهای مستقیم و غیرمستقیم آن باشد که با نتایج تحقیق و توسعه بروز می‌شود. مهمترین بخش‌های این شبکه ارزش در شکل زیر (بصورت خطوط پر) نشان داده شده اند. لازم به ذکر است که شکل مذکور تا اندازه زیادی ساده شده است و در یک مطالعه برنامه‌ریزی شده، لازم است اجزاء این شبکه بطور کامل شناسایی و در شبکه مکان یابی شوند.

همانگونه که از شکل بر می‌آید، هیدروژن را می‌توان از منابع مختلف فسیلی و غیر فسیلی حاوی هیدروژن تولید نمود. در این خصوص تنوع منابع و همچنین تنوع روش‌ها وجود دارد که برای یک مطالعه جامع بایستی منابع فعلی و بالقوه و روش‌های متداول در حال ظهور و حتی بالقوه بطور کامل شناسایی و ارزیابی گردند. همچنین مطابق شکل، همین منابع حاوی هیدروژن به همراه سایر منابع انرژی تجدیدپذیر می‌توانند برای تولید برق مورد استفاده قرار گیرند که این برق در مرحله بعد می‌تواند برای تولید هیدروژن استفاده شود. همچنین انرژی تجدیدپذیر بصورت برق یا حرارت می‌تواند در واحدهای تولید هیدروژن از منابع فسیلی بعنوان منبع تامین حرارت مورد استفاده قرار گیرد. این اینتگراسیون، موجب کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و رد پای کربن در تولید هیدروژن به این روش می‌گردد.

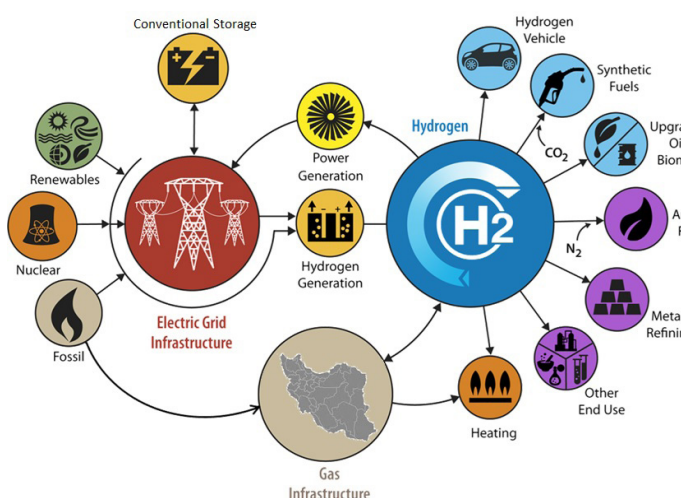
ذخیره، توزیع و انتقال هیدروژن، به تکنولوژیهای متفاوت و وابسته به مسافت نیاز دارد. اگرچه انتقال هیدروژن به مناطق مصرف و استفاده از آن بعنوان سوخت در کاربردهای مختلف می‌تواند به عنوان یک گزینه اولیه برای استفاده از هیدروژن مطرح گردد، اما بایستی موضوع تبدیل هیدروژن به محصولات دیگری مانند آمونیاک، متانول، دی‌متیل اتر، گاز طبیعی سنتزی و... مورد توجه قرار گیرد. این محصولات را بطور کلی با سه منظور می‌توان تولید کرد: ۱) استفاده از آنها در زنجیره تولید محصولات شیمیایی دیگر به عنوان محصول پایه یا میانی که ممکن است محصولات تولیدی بعضاً به عنوان سوخت استفاده شوند ۲) استفاده از آنها (به عبارت دقیق‌تر، بعضی از آنها) به عنوان سوخت ۳) تبدیل مجدد بعضی از آنها به هیدروژن و استفاده از هیدروژن در حوزه سوخت. در موضوع یاد شده، محصولات تولیدی بعنوان حامل هیدروژن مورد استفاده قرار گرفته و می‌توانند علیرغم هزینه‌های دو مرحله تبدیل (تبدیل هیدروژن به محصول مذکور و تبدیل مجدد به هیدروژن)، در شرایطی هزینه‌های کلی انتقال هیدروژن را کاهش دهند. در این کاربرد، مایعات آلی حامل هیدروژن (Liquid Organic Hydrogen Carrier, LOHC) نیز بایستی مورد توجه قرار گیرند.

در بخش مصرف نیز، لازم است کاربردهای هیدروژن اعم از بالفعل و بالقوه و چه بعنوان سوخت و چه بعنوان ماده شیمیایی مورد توجه

توسعه که در ابتدای امر به عنوان بخشی از این شبکه معرفی شد، به روز رسانی شده و از مزایای روشهای آینده پژوهشی و آینده نگاری نیز در آن بهره گرفته شود. علاوه بر این، این احتمال نیز وجود دارد که بجای تمرکز بر روی یک زنجیره از شبکه هیدروژن، لازم باشد یک پورتفولیو از روشهای مختلف تولید، انتقال، تبدیل و موارد کاربرد تبیین و ترسیم شود و با در نظر گرفتن شرایط زمانی تقویت و یا تضعیف شوند.

نکته سوم و بسیار مهم اینکه همانطور که مشاهده می شود، شبکه ارزش هیدروژن بسیار پیچیده بوده و در برگیرنده زنجیره های متعددی است که با یکدیگر در بعضی از حلقه های زنجیره مشترک بوده و به عبارتی کراس لینک دارند. همچنین مشخص است که نمی توان تمام شبکه مذکور را، بویژه با در نظر گرفتن بخشهای جانبی که به هرحال با شبکه هیدروژن همپوشانی دارند، در حوزه عملیاتی یک وزارتخانه یا نهاد یا سازمان جای داد. لذا، به جرات می توان گفت که برنامه ریزی برای توسعه شبکه هیدروژن، البته چنانچه مطالعات به نتایج مثبتی منجر شود، یک کار فراسازمانی بوده و بایستی در سطح ملی انجام گیرد. چگونگی ارتباط پویای برخی اجزای شبکه هیدروژن در شکل زیر، نمایانگر نیاز به برنامه ریزی فراسازمانی در این صنعت است.

شکل ۲: تصویر کلان ارتباط شبکه هیدروژن و شبکه برق



می تواند مبنای تصمیم گیری بر انتقال هیدروژن و یا تبدیل آن به سوختهایی نظیر متانول باشد.

۴- بطور کلی، اینتگراسیون بخشهای مختلف صنعت و یا فناوری ها، می تواند بهره وری آنها را افزایش داده و یا چنانچه یک فناوری مشخص در حالت مجزا در سطحی از توسعه نباشد که اقتصادی باشد، آن را اقتصادی نمود. بنابراین بررسی حالت های مختلف اینتگراسیون در شبکه هیدروژن، می تواند انتخاب ها را تحت تاثیر قرار دهد. اینتگراسیون فناوری های جذب دی اکسید کربن با واحدهای منتشر کننده آن و استفاده از انرژی تجدید پذیر در واحدهای تولید هیدروژن فسیلی، نمونه هایی از اینتگراسیون های ممکن هستند.

۵- در نهایت، آمایش سرزمین بعنوان یک سند و مطالعه بالادستی باید در مطالعه شبکه هیدروژن مورد توجه قرار گیرد. توسعه شبکه هیدروژن بدون در نظر داشتن یک سند بالادستی مانند آمایش سرزمین، منطقی به نظر نمی رسد. به هرحال نتایج حاصل از آمایش سرزمین، بخش های مختلف شبکه ارزش هیدروژن را تحت تاثیر قرار می دهد. به عنوان مثال، آمایش سرزمین در انتخاب محل تولید و مصرف هیدروژن و در نتیجه نحوه و هزینه های انتقال هیدروژن اثر گذار است.

نکات مهم در بررسی شبکه ارزش هیدروژن

در مطالعه شبکه ارزش هیدروژن، باید به چند نکته مهم توجه نمود:

نکته اول اینکه تمرکز بر روی یک یا چند زنجیره از شبکه و اقدام برای توسعه یکی از آنها بدون شناخت کامل شبکه و حتی عدم توجه کافی به حوزه های جانبی که در بالا ذکر شدند، ممکن است منجر به نتایج شدیداً غیر بهینه شود. نکته دوم اینکه با توجه به توسعه فناوری های مختلف در بخشها و زنجیره های مختلف شبکه ارزش هیدروژن، به مرور زمان، زنجیره مناسب تابعی از زمان خواهد بود، به عبارت دیگر زنجیره بهینه در شرایط امروز، شاید در آینده نه چندان دور دیگر بهینه نباشد. به همین دلیل، مطالعات شبکه ارزش هیدروژن باید در قالب و فرمی صورت گیرد که به سادگی در فواصل مناسب زمانی تحت تحقیق و

منابع:

- McKinsey & Company (2021): Hydrogen Insights. A perspective on hydrogen investment, market development and cost competitiveness.
- Räuchle, Konstantin; Plass, Ludolf; Wernicke, Hans-Jürgen; Bertau, Martin (2016): Methanol for Renewable Energy Storage and Utilization. In: Energy Technology 1) 4), S. 200–193. DOI: 10.1002/ente.201500322.
- Mathias Seitz (2021): Green Hydrogen opportunities for carbonintensive and coal regions. European Commission
- IEA (2023): Hydrogen patents for a clean energy future
- IEA (2022): Global Hydrogen Review (Stavropoulos et al. 2023)
- Stavropoulos, Yannis; Mustafa, Amir; Misailidis, Nikiforos; Huffer, Ben; Petrides, Demetri (2023): Green Hydrogen Production via Bioconversion and Water Electrolysis – Process Modeling and Techno-Economic Assessment (TEA) using SuperPro Designer.
- International Renewable Energy Agency (IRENA) (2022) (George A. Olah et al. 2018; Amin et al. 2022): Global hydrogen trade to meet the °1.5C climate goal: Trade outlook for 2050 and way forward.
- Amin, Muhammad; Shah, Hamad Hussain; Fareed, Anaiz Gul; Khan, Wasim Ullah; Chung, Eunhyea; Zia, Adeel et al. (2022): Hydrogen production through renewable and non-renewable energy processes and their impact on climate change. In: International Journal of Hydrogen Energy 77) 47), S. 33134–33112. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2022.07.172.
- George A. Olah; Alain Goeppert; and G. K. Surya Prakash (2018): Beyond Oil and Gas: The Methanol Economy: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Boschstr. 69469 ,12 Weinheim, Germany.

گذار به اقتصاد کربن چرخه ای؛ رویکردها و راهبردها

فریباریاحی

مقدمه

منابع نامحدود و ظرفیت بی حد و حصر تولید زیاله است. اما در عمل هم منابع محدود هستند و هم ظرفیت اکولوژیک زمین برای از بین بردن زیاله ها محدود است. مدل خطی موسوم به «برداشتن، ساختن، دورریختن» منجر به انواع مشکلات زیست محیطی از جمله تغییرات اقلیمی، کیفیت پایین هوا و آب، تولید زیاله های خطرناک، آلودگی پلاستیک و ... می شود. یک رویکرد نامطلوب برای حل این مشکلات، ادامه همان الگوی خطی است. این نوع رویکرد، بویژه با ادامه رشد جمعیت، که فشار بیشتری را بر سیستم های طبیعی وارد می کند، به معنای کاهش کیفیت زندگی برای همه است. چنین رویکردی کاملاً در تعارض با توسعه و فقرزدایی در جهان است (سازمان ملل ۲۰۱۹) ^۲.

اقتصاد چرخه ای

اجرای اقتصاد دایره ای کربن با ذخیره، استفاده و حذف دی اکسید کربن، دورنمای مطلوبی را برای مدیریت کربن فراهم می کند. در سال ۲۰۱۶، «مک دونا ویلیام»، اقتصاددان، به طور ابتکاری «اقتصاد کربن چرخه ای» را مطرح کرد که به تمام فعالیت های مربوط به کاهش انتشار CO₂، استفاده مجدد، بازیافت و حذف تمرکز داشت. ^۳ مصرف سنتی از الگوی تولید، مصرف و انتشار کربن پیروی می کند و به طور ناپایدار ادامه می یابد. در مقابل، اقتصاد چرخه ای بهترین خروجی را در قالب حفاظت از منابع موجود با تبدیل کالاهای پایان عمر به منابع دیگر فراهم می کند و مزیت آن این است که تولید زیاله و استفاده از منابع به حداقل می رسد و در نتیجه مزایای اقتصادی و زیست محیطی بیشتری دارد. ^۴ این رویکرد اقتصادی با

اقتصاد چرخه ای می تواند استخراج جهانی مواد را به یک سوم کاهش دهد. این امر به مفهوم کاهش مواد و انرژی مورد نیاز برای استخراج و ساخت مواد و محصولات و در نتیجه انتشار کربن است. به عبارت دیگر، عمل بر اساس 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 چرخه ای نه یک انتخاب، بلکه یک الزام است. همچنین، تا حد زیادی بر این نکته توافق نظر وجود دارد که چالش دستیابی به اهداف اقلیمی نظیر آنچه در توافق نامه پاریس ذکر شده است، بدون پیگیری همه گزینه ها برای مدیریت انتشار گازهای گلخانه ای تقریباً غیرممکن خواهد بود. در نیمه دوم قرن، ترکیب انرژی اولیه ای که جهان برای رسیدن به تعادل کربن به آن تکیه خواهد کرد، دستیابی به انتشار صفر خالص یا بی طرفی کربن^۱ همه منابع انرژی، از جمله هیدروکربن ها را شامل می شود. مفهوم اقتصاد چرخه ای کربن، ایده ای برگرفته از اقتصاد چرخه ای است که چارچوبی مفید برای درک چگونگی ارتباط بین گزینه های مدیریت کربن برای دستیابی به اهداف اقلیمی را ارائه می نماید. در ادامه برای تبیین بهتر موضوع، به تشریح رویکردهای اقتصاد خطی و چرخه ای و اثرات آنها در حوزه مدیریت کربن پرداخته خواهد شد. راهبردهای مدیریت کربن در یک چرخه بسته، نیز تشریح خواهند شد.

اقتصاد خطی

مفهوم متعارف اقتصاد خطی مبتنی بر طرز فکر سیستمی برآمده از



شکل ۱: تفاوت نگرش میان اقتصاد خطی و چرخه ای

1. Carbon Neutral
2. United Nations. 2019. The Sustainable Development Goals Report 2019.
3. Lee, R.P.; Keller, F.; Meyer, B. A Concept to Support the Transformation from a Linear to Circular Carbon Economy: Net Zero Emissions, Resource Efficiency and Conservation through a Coupling of the Energy, Chemical and Waste Management Sectors. *Clean Energy* 113–102, 1, 2017
4. Kuah, A.T.; Wang, P. Circular Economy and Consumer Acceptance: An Exploratory Study in East and Southeast Asia. *J. Clean Prod.*, 247, 2020, 119097.

محصولات جدید، استفاده مجدد و بازیافتی نشان داده شده در شکل ۱، کمتر از انرژی مورد نیاز برای تولید سه محصول جدید از منابع خام است. بنابراین، کارایی انرژی^۵، یکی از مهم ترین مولفه ها در اقتصاد چرخه ای است. روش دیگر برای صرفه جویی انرژی در اقتصاد چرخه ای، طراحی محصولاتی است که عمر مفید بسیار طولانی تری دارند یا توسعه راهبردهای تجاری جدید (مانند اقتصاد به اشتراک گذاری)^۶ برای کاهش نیاز به محصولات کمتر در هر زمان، با استفاده مشترک از آنها است. البته باید توجه داشت که استفاده مجدد یا بازیافت، همواره منجر به کاهش مصرف کل انرژی نمی شود. به بیان دیگر، استفاده مجدد یا طولانی کردن استفاده از یک محصول ناکارآمد که انرژی بسیار بیشتری از نیاز مصرف می کند، مناسب نیست.^۸

بر اساس اصول اقتصاد چرخه ای می توان استفاده از منابع را کاهش داد و محصولات را مجدداً استفاده و مواد را تا حد امکان بازیافت کرد. با این حال، اگر این فرآیندها بدون مدیریت، کربن منتشر نمایند، اقتصاد چرخه ای مواد و محصولات کمک چندانی به پیشبرد اهداف اقلیمی نمی کند. بنابراین، نوع انرژی مصرفی از منظر میزان انتشار کربن و سایر آلاینده ها نیز مهم است. به عبارت بهتر، تمایز میان اولویت بندی جریان های مواد و محصول در مقابل اولویت بندی جریان های انرژی و کربن، منتج به تفاوت میان رویکرد اقتصاد چرخه ای و اقتصاد چرخه ای کربن می شود. تمرکز رویکرد اقتصاد چرخه ای کربن بر انرژی و جریان های کربن است، در حالی که به طور ضمنی مواد، انرژی و آب را بر اساس منطق اقتصاد دایره ای حفظ می کند. لیکن، هدف اقتصاد چرخه ای کربن، دستیابی به تعادل کربن^۹ یا انتشار صفر خالص در نیمه دوم قرن جاری است. به عبارتی، دستیابی به اهداف اقلیمی و کارایی انرژی به طور هم زمان، مستلزم گسترش اقتصاد چرخه ای کربن است که کاهش مصرف انرژی و انتشار کربن را در اولویت قرار می دهد و از همه گزینه هایی که می توانند به دستیابی به اهداف اقلیمی کمک کنند، استقبال می کند.

راهبردهای مدیریت کربن در اقتصاد چرخه ای کربن

بر اساس اصل دستیابی به کاهش منابع، قابلیت بازیافت و استفاده مجدد، اقتصاد چرخه ای الزامات توسعه پایدار را برآورده می نماید می تواند به طور قابل توجهی کارایی منابع را بهبود بخشد. هدف آن تحقق یک مدل اقتصادی حلقه بسته جدید با عنوان "تولید استفاده مجدد از زباله پسماند تولید" است که باعث می شود از مواد و انرژی به طور معقول و مستمر در چرخه اقتصادی استفاده شود. تمرکز اقتصاد چرخه ای کربن بر کارایی و نرخ خروجی منابع به طور همزمان با ماهیت بازیافت و کاهش کربن است.^{۱۰} به عنوان مثال، اتحادیه

اهداف: ۱) هوشمندانه استفاده از منابع با ارائه همان کالاها و خدمات با منابع کمتر ۲) استفاده مجدد از مواد و انرژی تا سر حد ممکن ۳) بازیافت مواد و محصولاتی که قابل استفاده نیستند، پایه ریزی شده است. با استفاده مجدد از مواد و انرژی از طریق استقرار چرخه استفاده مجدد و بازیافت، می توان فعالیت های اقتصادی و کیفیت زندگی را حفظ و بهبود بخشید و در عین حال استفاده از منابع خام و تولید ضایعات را به حداقل رساند. شکل ۱ تفاوت نگرش میان دو رویکرد خطی و چرخه ای در اقتصاد را نشان می دهد.

الگوی چرخه ای، ارتقای بهره وری منابع را به یک استراتژی کلیدی در دستیابی به رونق اقتصادی و مبارزه با تغییرات اقلیمی تبدیل می کند.^۵ به علاوه، یک مدل رشد اقتصادی است که مشخصه آن بازیافت و حفظ منابع است. بر اساس اصل کاهش منابع، قابلیت بازیافت و استفاده مجدد اقتصاد چرخه ای، الزامات توسعه پایدار را برآورده می کند و می تواند به طرز چشمگیری کارایی منابع را بهبود بخشد. در واقع، هدف آن تحقق یک مدل اقتصادی حلقه بسته جدید "استفاده مجدد از پسماندهای فرآیند تولید" است که باعث می شود از مواد و انرژی به طور معقول و مستمر در فرآیند چرخه اقتصادی استفاده شود. اقتصاد چرخه ای کربن، هم بهره وری کربن و هم نرخ خروجی منابع را افزایش داده و هدف آن بازیافت و کاهش کربن است. شکل ۲، چگونگی کاهش مصرف انرژی با پیاده سازی الگوی چرخه ای را نشان می دهد. در این مثال سه محصول در اقتصاد خطی تولید می شود. برای ساخت هر کدام به یک میزان انرژی مصرف می شود. لیکن، در یک اقتصاد دایره ای، تولید معادل این سه محصول نیازمند انرژی بسیار کمتری است که در شکل ۲ نشان داده شده است.

شکل ۲: تفاوت رویکردهای خطی و چرخه ای از منظر مصرفی



تولید مبتنی بر کاربرد محصولات بازیافتی یا استفاده مجدد، به مواد و انرژی به مراتب کمتری برای بازسازی محصول، نسبت به آنچه برای ساخت محصول جدید نیاز است، احتیاج دارد. در واقع، محصولات ممکن است بارها مورد استفاده مجدد قرار گیرند، که حتی بیشتر از آنچه در شکل نشان داده شده است، می تواند موجب صرفه جویی در مصرف مواد و انرژی شود. انرژی ترکیبی مورد نیاز برای تولید

5. Hertwich, E.; Lifset, R.; Pauliuk, S.; Heeren, N.; Ali, S.; Tu, Q.; Ardente, F.; Berrill, P.; Fishman, T.; Kanaoka, K. Resource Efficiency and Climate Change: Material Efficiency Strategies for a Low-Carbon Future; IRP United Nations Environment Programme: Nairobi, Kenya, 2020; ISBN -807-926-3771.

6. Energy Efficiency

7. Sharing Economy

8. McDonough, William. 2020. Circular Carbon Economy. Paper read at G20 Workshop on Circular Carbon Economy "Reduce, Reuse, Recycle, Remove," at Riyadh, Saudi Arabia.

۹. Carbon Balance: تعادل کربن نشان دهنده تغییر در مقدار کربن ذخیره شده توسط یک جاذب کربن، مانند یک جنگل، در واحد زمان (سال) است.

10. Meng, X.; Wang, Y.; Zheng, X. Circular Economy Strategy for the Target of Carbon Neutralization: Management Experience and Enlightenment from Turku, Finland. Environ. Prot. 80-76, 49, 2021.

فرصت های منتج از به کارگیری اقتصاد چرخه ای

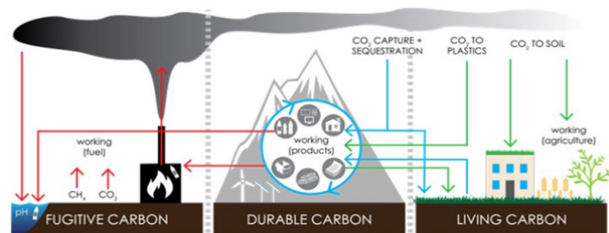
توسعه اقتصاد چرخه ای کربن نه تنها می تواند انتشار کربن در واحد محصول را کاهش دهد، بلکه کمبود منابع را نیز کاهش می دهد که برای تحقق اهداف کاهش انتشار کربن میان کشورها و مناطق جهان مفید است. به علاوه، مسیری برای پاسخ به تغییرات اقلیمی جهانی و ایجاد یک سیستم اقتصادی و سیاستی توسعه ی چرخه ای را فراهم می کند. اقتصاد چرخه ای کربن در پی گرمایش جهانی و تغییرات اقلیمی مطرح و توسعه یافته است. بنابراین، تحقیقات بیشتر بر روی کاربردهای عملی از جمله فناوری و مدیریت متمرکز شده است. از نظر فناوری، تحقیق و توسعه صنعتی با هدف انتقال بخش های مختلف صنعتی در چند سال گذشته بویژه در بخش های تولید و معدن تشدید شده است. جدیدترین تحقیقات در زمینه فناوری شامل بازیافت پلاستیک، تبدیل به گاز زیاله و تجزیه در اثر حرارت، پالایش سنگ معدن فلز، بازیافت شیمیایی، بازیافت جامدات و غیره است. از منظر مدیریتی، روش های پیاده سازی اقتصاد کربن چرخه ای عمدتاً از رویکردهایی مانند مدیریت زنجیره تأمین، ارزیابی چرخه عمر، مدل های مختلف ارزیابی مسیر انرژی آینده و تأثیر آن بر تغییرات اقلیمی، همکاری نهادی عوامل انسانی تأثیر می پذیرد.^{۲۱}



اروپا هدف دستیابی به بی طرفی اقلیمی^{۱۱} تا سال ۲۰۵۰ را در اولین قانون اقلیمی اروپا در مارس ۲۰۲۰ ابلاغ نمود. مطالعات همچنین نشان داده اند که کشورهای در حال توسعه با کاربست الگوی اقتصاد چرخه ای کربن، می توانند انتشار گازهای گلخانه ای را تا ۷۰ درصد کاهش دهند.^{۱۲}

تمایز میان "کربن فرار"^{۱۳} منتشر شده در جو، "کربن زنده"^{۱۴} که پایه اکوسیستم ها را تشکیل می دهد و از طریق چرخه کربن طبیعی بازیافت می شود، و "کربن بادوام"^{۱۵} که در محصولات فیزیکی تجسم یافته است، ضروری است (شکل ۳).^{۱۶}

شکل ۳: انواع کربن و راهبردهای تبدیل کربن فرار به کربن زنده و بادوام



این تمایز همراه با اصول چهارگانه اقتصاد چرخه ای کربن، زمینه را برای به حداقل رساندن کربن فرار و کاهش کربن فراهم می نماید و راهبردهای استفاده مجدد و حذف، به تبدیل کربن فرار به کربن بادوام و بازیافت آن کمک نموده و موجب افزایش کربن زنده و کربن بادوام می شوند. راهبردهای سه گانه سازماندهی اقتصاد چرخه ای، کاهش^{۱۷}، استفاده مجدد^{۱۸} و بازیافت^{۱۹} کربن به انضمام چهارمین اصل یعنی حذف^{۲۰} را برای مدیریت کربن اضافه می کند. این چهار راهبرد، مبنای مدیریت کربن در اقتصاد کربن چرخه ای را تشکیل می دهند.

در این الگوی چرخه ای، سلسله مراتبی برای راهبردهای چهارگانه وجود ندارد؛ به این مفهوم که عناصر سیستم مدیریت انرژی و کربن به یکدیگر مرتبط هستند. این که هر کدام از این چهار راهبرد کاهش، استفاده مجدد، بازیافت و حذف، چه اندازه می توانند در کاهش مصرف انرژی و انتشار کربن موثر باشند به عوامل زیادی مانند هزینه ها، عملکرد فناوری ها، در دسترس بودن منابع، جغرافیا و زمین شناسی، پذیرش عمومی، شرایط ملی و سیاست های مرتبط با ظرفیت سازی بستگی دارد.

به منظور درک فرصت های نسبی هر یک از راهبردهای اقتصاد چرخه ای کربن، در بخش های بعدی از این سری مقالات، این راهبردهای چهارگانه تشریح خواهند شد.

۱۱. Climate neutrality: به معنای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای تا حد امکان و نیز جبران انتشار گازهای گلخانه ای باقی مانده است.

۱۲. Stahel, W.R. The Circular Economy. Nature 438-435, 531, 2016.

۱۳. Fugitive Carbon

۱۴. Living Carbon

۱۵. Durable Carbon

۱۶. McDonough, William. 2016. "Carbon is not the enemy." Nature no. 539.

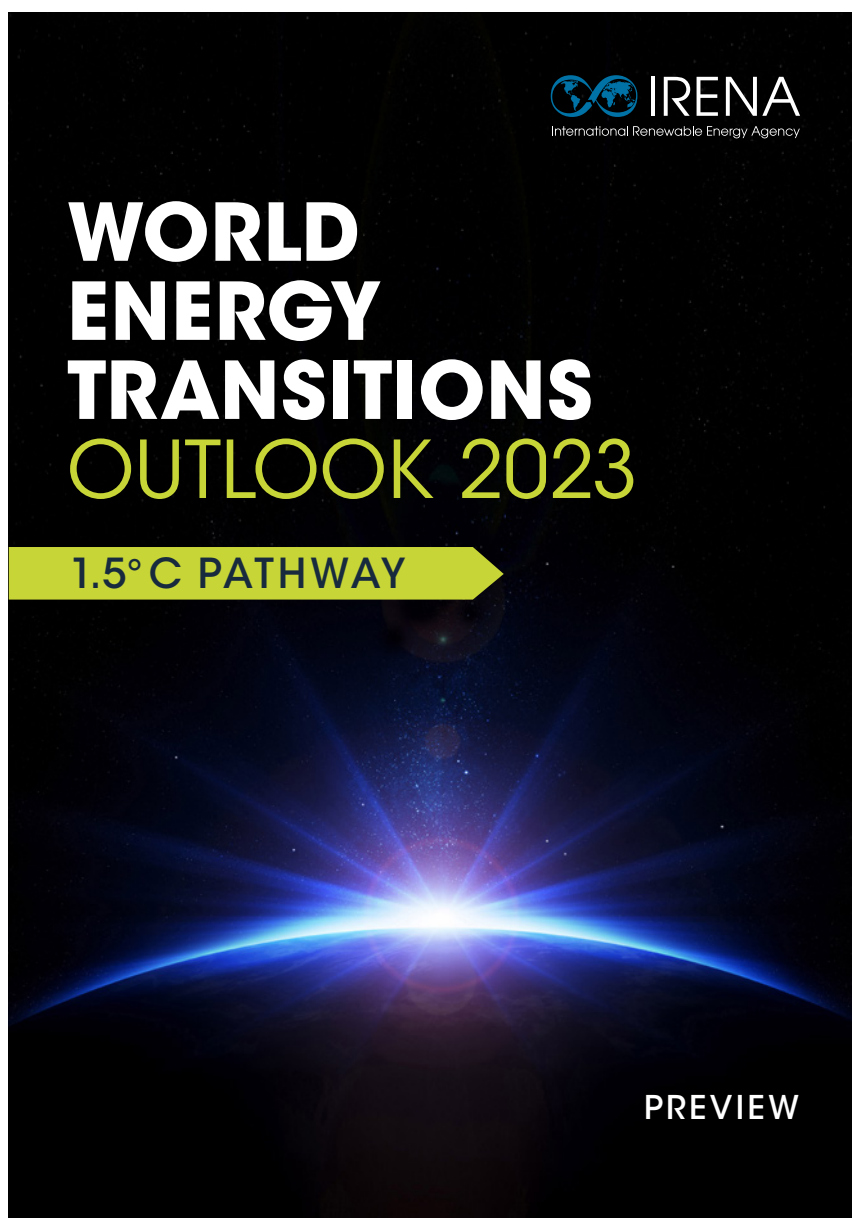
۱۷. Reduce

۱۸. Reuse

۱۹. Recovery

۲۰. Remove

۲۱. Dong, Z.; Zhang, L.; Li, H.; Gong, Y.; Jiang, Y.; Peng, Q. Knowledge Mapping and Institutional Prospects on Circular Carbon Economy Based on Scientometric Analysis. Int. J. Environ.



مقدمه

گزارش‌های گذار جهانی انرژی، فرصت‌ها و تهدیدهای پیش روی ایران، به ارائه‌ی گزارش آژانس بین‌المللی انرژی تجدیدپذیر (IRENA)، در خصوص چشم‌انداز گذار انرژی جهان خواهیم پرداخت و توصیه‌های راهبردی این نهاد بین‌المللی را در این خصوص مورد بررسی قرار خواهیم داد.

چشم‌انداز گذار انرژی جهان، مسیر ۱/۵ درجه

گزارش اخیر هیئت بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) حاوی پیامی هشداردهنده است که در مورد لزوم اتخاذ اقدام فوری برای

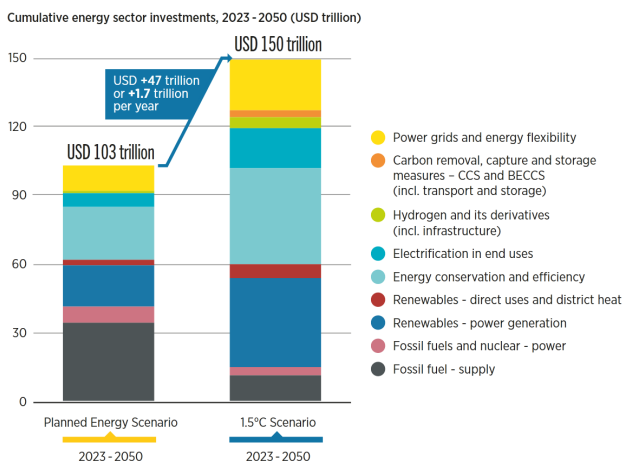
آمادگی برای پیوستن به بزرگ‌ترین روند جهانی در قرن جاری، یعنی گذار جهانی انرژی، مستلزم یک چشم‌انداز روشن و دقیق مبتنی بر اطلاعات روز جهان در این حوزه است. هر ساله گزارشات متعددی از نهادهای معتبر بین‌المللی در خصوص چشم‌انداز گذار جهانی انرژی و فناوری‌های مربوطه منتشر می‌شود که حاوی توصیه‌های راهبردی بر اساس پایش روندهای جاری و آتی این جریان جهانی است. مطالعه و انطباق راهبردهای مذکور با منافع داخلی کشور به تصمیم‌گیری برای اتخاذ راهبردهای ملی کمک می‌کند. در این بخش از سلسله



اگرچه سرمایه‌گذاری جهانی در تمامی فناوری‌های انتقال انرژی در سال ۲۰۲۲ به رکورد ۱/۳ تریلیون دلار رسید، سرمایه‌گذاری‌های سالانه باید به بیش از چهار برابر افزایش یابد تا حرکت در مسیر ۱/۵ درجه سانتی‌گراد حفظ شود؛ تحقق هدف ۱/۵ درجه سانتی‌گراد تا سال ۲۰۵۰ مستلزم تامین منابع مالی به میزان ۱۵۰ تریلیون دلار است (شکل ۱) که به‌طور متوسط سالانه به بیش از ۵ تریلیون دلار بالغ می‌شود. در مقایسه با سناریوی انرژی برنامه‌ریزی‌شده IRENA^۱ که بر اساس آن تا سال ۲۰۵۰ حدود ۱۰۳ تریلیون دلار سرمایه‌گذاری لازم است، ۴۷ تریلیون دلار سرمایه‌گذاری بیش‌تر لازم است تا حرکت در مسیر سناریوی ۱/۵ درجه سانتی‌گراد^۲ در جهت درست خود تداوم یابد.

سرمایه‌گذاری‌های فوق، از اکنون تا سال ۲۰۳۰ باید به ۴۴ تریلیون دلار برسند. ۸۰ درصد از این مبلغ، معادل ۳۵ تریلیون دلار، باید به توسعه فناوری‌های گذار انرژی اختصاص یابد؛ مجموع سرمایه‌گذاری‌های بخش انرژی در سناریوی انرژی برنامه‌ریزی‌شده تا سال ۲۰۳۰ بالغ بر ۲۹ تریلیون دلار است؛ بنابراین در سناریوی ۱/۵ درجه سانتی‌گراد، تا سال ۲۰۳۰ در مجموع به ۱۵ تریلیون دلار سرمایه‌گذاری بیش‌تر نیاز است. علاوه بر این، برای اولویت‌بندی محل هزینه سرمایه‌گذاری‌ها در گذار انرژی و ایجاد زمینه کاهش قابل توجه در سهم سوخت‌های فسیلی تا سال ۲۰۵۰، لازم است در حجم و نوع سرمایه‌گذاری‌ها تحت سناریوی ۱/۵ درجه سانتی‌گراد، تغییراتی ایجاد شود.

شکل ۱: نمودار سرمایه‌گذاری در فناوری‌های انرژی پاک از سال ۲۰۲۳ تا ۲۰۵۰ برای دستیابی به اهداف سناریوی ۱.۵ درجه



لزوم سرمایه‌گذاری در فناوری‌های گذار انرژی

با تحقق اهداف جاری تولید برق تجدیدپذیر، تا سال ۲۰۳۰ ظرفیت کلی برق تجدیدپذیر تا ۵/۴ تراواتی افزایش می‌یابد که کمتر از نیمی از ۱۱/۲ تراواتی است که برای ماندن در مسیر ۱/۵ درجه سانتی‌گراد لازم است. در حال حاضر، زمینه فعالیت قابل‌توجهی برای همسوسازی اهداف کوتاه‌مدت و ایجاد شفافیت و قطعیت در سیاست‌ها وجود دارد. در بسیاری از موارد، اهداف برنامه‌های ملی انرژی هنوز با اهداف تعهدات ملی تعیین‌شده (NDCs) هماهنگ

جلوگیری از افزایش دمای زمین ابهامی باقی نمی‌گذارد. در دهه‌ی جاری، موفقیت جامعه جهانی در کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تعیین خواهد کرد که آیا می‌توان افزایش دمای جهان را به ۱/۵ درجه سانتی‌گراد یا حتی ۲ درجه سانتی‌گراد محدود کرد یا خیر. در این بازه زمانی، تنها گزینه‌ی واقعی موجود برای رسیدن به این هدف، توسعه قابل‌توجه انرژی‌های تجدیدپذیر و راه‌حل‌های بهبود بهره‌وری است. در راهبرد «مسیر ۱/۵ درجه سانتی‌گراد» آژانس بین‌المللی انرژی تجدیدپذیر برقی سازی و بهبود بهره‌وری به‌عنوان عوامل اصلی پیشبرد گذار جهانی انرژی تعیین شده‌اند. با تحقق این عوامل، از طریق توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر، استفاده از هیدروژن پاک و تولید و بهره‌برداری پایدار از زیست‌توده‌ها میسر می‌شود. پیشرفتی که تا به امروز در همه بخش‌ها به دست آمده است، بسیار کمتر از آن حدی است که برای ماندن در مسیر ۱/۵ درجه سانتی‌گراد لازم است.

ساختارهای فعلی انرژی برای پشتیبانی از سوخت‌های فسیلی طراحی شده‌اند و باید برای حمایت از سیستم‌های انرژی تجدید پذیر مورد طراحی مجدد واقع شوند. تمرکز باید از تأمین به تقاضا تغییر یابد و بر رفع موانع ساختاری تأکید شود. برای این منظور، آژانس بین‌المللی انرژی تجدیدپذیر سه اولویت اصلی را مطرح می‌کند: ایجاد زیرساخت‌های فیزیکی، فراهم آوردن توانمندسازهای سیاستی و نظارتی و تأمین نیروی کار ماهر که باید به‌طور هم‌زمان موردتوجه قرار گیرند. این امر مستلزم سرمایه‌گذاری قابل‌توجه و طراحی یک الگوی جدید برای همکاری بین‌المللی است که در آن همه بازیگران بتوانند در گذار جهانی انرژی مشارکت داشته باشند و نقش حداکثری خود را ایفا کنند.

پیام‌های مهم

گذار انرژی در مسیر درست قرار ندارد، پیامدهای بحران کرونا و تأثیرات جنگ اوکراین، چالش‌های پیش روی این گذار را تشدید کرده است. خطرات نباید از حد کنونی فراتر بروند. هر کسری از افزایش در درجه حرارت جهانی، پیامدهای مهم و گسترده‌ای برای سیستم‌های طبیعی، جوامع انسانی و اقتصاد در پی خواهد داشت. اصلاح مسیر گذار انرژی مستلزم اقدامات تحول ساز برجسته و فوری است.

تعهدات و برنامه‌های فعلی بسیار کمتر از حد لازم برای حرکت در «مسیر ۱/۵ درجه سانتی‌گراد» است و منجر به یک شکاف انتشار ۱۶ گیگا تنی در سال ۲۰۵۰ خواهد شد؛ مشارکت‌های ملی تعیین‌شده (NDCs)، راهبردهای بلندمدت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (LT-LED) و اهداف صفر خالص، در صورت تحقق و اجرای کامل، انتشار دی‌اکسید کربن را در مقایسه با سال ۲۰۲۲ به میزان ۶ درصد تا سال ۲۰۳۰ و ۵۶ درصد تا سال ۲۰۵۰ کاهش خواهند داد. با این حال، بیشتر تعهدات آب و هوایی هنوز باید به راهبردها و برنامه‌های ملی دقیق تبدیل شوند و با بودجه‌های کافی مورد حمایت قرار گیرند و از طریق سیاست‌ها و مقررات حمایتی به اجرا درآیند.

۱. سناریوی برنامه‌ریزی‌شده انرژی، مرجع اولیه در این مطالعه است که چشم‌اندازی از تحولات سیستم انرژی بر اساس برنامه‌های انرژی دولتها (با تمرکز بر کشورهای G۲۰) و سایر اهداف برنامه‌ریزی‌شده و سیاست‌های موجود در زمان این تجزیه و تحلیل ارائه می‌دهد.

۲. سناریوی ۱/۵ درجه سانتی‌گراد، مسیر گذار انرژی را با هدف محدود کردن افزایش متوسط دمای هوای جهان به ۱/۵ درجه سانتی‌گراد بیشتر از زمان ماقبل انقلاب صنعتی، توصیف می‌کند. این سناریو، فناوری‌های در دسترس را که می‌توان آن‌ها را با سرعت لازم برای رسیدن به هدف ۱/۵ درجه سانتی‌گراد گسترش داد، اولویت‌بندی می‌کند.



بخش انرژی‌های تجدیدپذیر بهره‌مند شدند و آفریقا تنها یک درصد از ظرفیت اضافی ایجادشده را در سال ۲۰۲۲ به خود اختصاص داد (IRENA and CPI, ۲۰۲۳; IRENA, ۲۰۲۳a). سرمایه‌گذاری در راه‌حل‌ها و فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر خارج از شبکه در سال ۲۰۲۱ بالغ بر ۵/۰ میلیارد دلار بود (IRENA و CPI, ۲۰۲۳) که بسیار کمتر از ۱۵ میلیارد دلار موردنیاز سالانه تا سال ۲۰۳۰ است. درحالی‌که گزینه‌های فناوری بسیاری وجود دارد، بیشتر سرمایه‌گذاری‌ها در فتوولتاییک‌های خورشیدی و انرژی بادی بوده است و ۹۵ درصد از این سرمایه‌گذاری‌ها به سمت این دو فناوری هدایت شده است (IRENA و سازمان‌های دیگر, ۲۰۲۳). حجم بیشتری از منابع مالی باید به سمت سایر فناوری‌های گذار انرژی از جمله سوخت‌های زیستی، نیروگاه‌های برق‌آبی و انرژی زمین‌گرمایی و همچنین به بخش‌هایی غیر از انرژی که سهم کمتری از انرژی‌های تجدیدپذیر در کل مصرف نهایی انرژی دارند (برای مثال، گرمایش و حمل‌ونقل) جریان یابد.

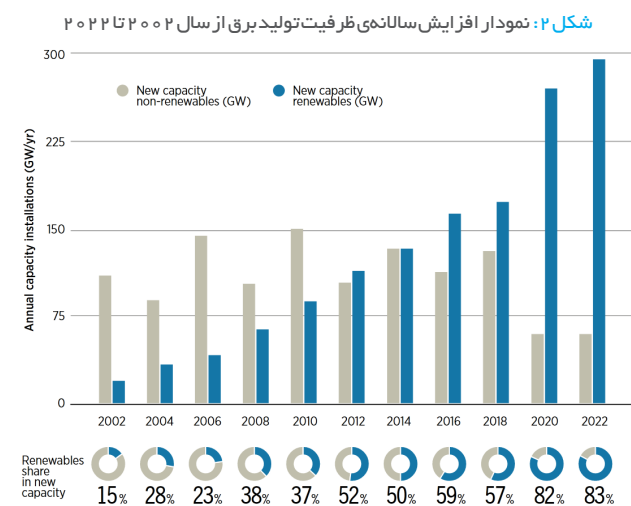
کماکان، شکاف بین آنچه انجام می‌شود و آنچه لازم است انجام شود، رو به افزایش است. شاخص‌های گذار انرژی IRENA نشان می‌دهد که لازم است تسریع قابل‌توجهی در توسعه بخش‌های انرژی و فناوری‌ها، از برقی سازی بیش‌تر بخش‌های حمل‌ونقل و گرمایش گرفته، تا استفاده مستقیم از انرژی‌های تجدیدپذیر، بهره‌وری انرژی و افزایش زیرساخت‌ها صورت پذیرد. تأخیر در اقدامات، چالش‌های جاری را در دستیابی به سطوح کاهش انتشار مشخص‌شده از سوی IPCC افزایش می‌دهد و موجب می‌شود نیل به اهداف کاهش انتشار در مسیر ۱/۵ درجه سانتی‌گراد، برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۵۰ با موانع بیش‌تری مواجه شود (IPCC, ۲۰۲۲). عدم پیشرفت در این مسیر، میزان سرمایه‌گذاری‌های موردنیاز برای آینده و هزینه‌های وخیم‌تر شدن اثرات تغییرات آب و هوایی را افزایش خواهد داد.

سیاست‌گذاران باید بین اتخاذ اقدامات واکنشی و استفاده از راهبردهای پیشگیرانه گذار انرژی تعادل برقرار کنند، چراکه راهبردهای پیشگیرانه، پشتیبان برقراری سیستمی هستند که انعطاف‌پذیری، فراگیری و ایمنی آب و هوایی بیش‌تری را مهیا می‌سازند. بسیاری از علل اصلی بحران‌های کنونی، از عدم محاسبه هزینه‌های زیست‌محیطی و استفاده از سیستم انرژی مبتنی بر سوخت‌های فسیلی ناشی می‌شوند؛ سیستمی که دچار وابستگی بیش‌ازحد به تعداد محدودی از صادرکنندگان سوخت و فاقد بهره‌وری انرژی و دارای هدر رفت فراوان در بخش تولید و مصرف است. گذار انرژی مبتنی بر انرژی‌های تجدیدپذیر، بسیاری از این موارد را کاهش می‌دهد یا حذف می‌کند؛ بنابراین، سرعت تغییرات، سطوح امنیت انرژی و انعطاف‌پذیری اقتصادی و اجتماعی را در سطح ملی تعیین می‌کند و فرصت‌های جدیدی را برای بهبود رفاه در سطح جهانی فراهم می‌سازد.

در کوتاه‌مدت، می‌توان کارهای بیش‌تری نیز انجام داد. گذار انرژی بدون شک مستلزم زمان است، با این حال، در حال حاضر نیز ظرفیت قابل‌توجهی برای پیاده‌سازی بسیاری از گزینه‌های موجود فناوری در اختیار است. روندهای صعودی بهره‌برداری از این راه‌حل‌ها، حاکی از آن است که راه‌حل‌های فنی و اقتصادی، موارد مناسبی هستند. بااین‌حال، افزایش بهره‌برداری از فناوری‌ها و تشویق به بازنگری

و همسو نشده‌اند. علاوه بر این، اهداف باید قابل‌سنجش باشند و مصارف نهایی حوزه برق را در بر بگیرند. از ۱۸۳ عضو آژانس بین‌المللی انرژی تجدیدپذیر که تعهدات ملی تعیین‌شده آن‌ها شامل توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر بوده است، تنها ۱۴۳ عضو اهداف کمی خود را در این حوزه تعیین کرده‌اند. از این میان، ۱۰۸ هدف برای بخش برق و ۳۱ هدف برای گرمایش و سرمایه‌ش، حمل‌ونقل و پخت‌وپز تعیین شده است (IRENA, ۲۰۲۲).

پیشرفت‌های خوبی به‌ویژه در افزایش ظرفیت تولید برق صورت گرفته است. ۸۳ درصد از این رشد ظرفیت با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تحقق یافته است. این میزان رشد، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر را در ظرفیت تولید برق نصب‌شده در سطح جهان در سال ۲۰۲۲ به ۴۰ درصد رساند. در سال ۲۰۲۲، در مجموع ۲۹۵ گیگاوات به ظرفیت تولید انرژی‌های تجدیدپذیر در سراسر جهان اضافه شد که بیش‌ترین افزایش سالانه در ظرفیت تولید انرژی‌های تجدیدپذیر بوده است (IRENA, ۲۰۲۳a). کسب‌وکارهای قدرتمند ایجادشده در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر، همراه با سیاست‌های توانمند ساز حمایتی، روند صعودی آن‌ها را در کسب سهم از ترکیب انرژی جهانی حفظ کرده است. بااین‌حال، بهره‌برداری کلی از این ظرفیت، همچنان در تعداد محدودی از کشورها و مناطق تمرکز یافته است. چین، اتحادیه اروپا و ایالات‌متحده، ۷۵ درصد از ظرفیت‌های اضافه‌شده را تشکیل می‌دهند. بهره‌برداری از انرژی‌های تجدیدپذیر در مقیاس بزرگ، معمولاً در کشورهایی صورت پذیرفته است که از سیستم‌های برق کاملاً توسعه‌یافته برخوردارند، اما لازم است گسترش بهره‌برداری در سایر نقاط بویژه در کشورهای درحال توسعه که دچار کمبود دسترسی به برق هستند نیز اتفاق افتد.



لزم سرمایه‌گذاری‌های بیشتر در بازارهای در حال ظهور

سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر در تعداد محدودی از کشورها تمرکز یافته و تنها بر چند فناوری متمرکز است. سرمایه‌گذاری در انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۲۲ به ۵/۰ تریلیون دلار رسید. بااین‌حال، این میزان، کمتر از یک‌سوم متوسط سرمایه‌گذاری سالانه موردنیاز در انرژی‌های تجدیدپذیر در سناریوی ۱/۵ درجه سانتی‌گراد است. علاوه بر این، در سال ۲۰۲۲، کمتر از ۵۰ درصد از جمعیت جهان از ۸۵ درصد از سرمایه‌گذاری جهانی در



همچنین باید به عنوان ابزاری مؤثر برای شکل‌دهی به گذار انرژی جهت به حداکثر رساندن منافع عمومی به خدمت گرفته شوند. برنامه‌های تدارکات عمومی نیز از مهم‌ترین نقش در پیاده‌سازی استانداردهای کار و حفاظت از محیط‌زیست در پروژه‌های انرژی برخوردارند.

هدایت سرمایه‌گذاری‌ها به سمت کشورها و فناوری‌ها به شیوه‌ای عادلانه‌تر، مستلزم مداخله قوی‌تر بخش عمومی است. حدود ۷۵ درصد از سرمایه‌گذاری جهانی در انرژی‌های تجدیدپذیر از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۰، از طریق بخش خصوصی صورت گرفته است؛ اما سرمایه‌های خصوصی به سمت فناوری‌ها و کشورهایی متمایل هستند که کمترین ریسک‌های واقعی یا متصور را با خود به همراه دارند. در سال ۲۰۲۰، ۸۳ درصد از تعهدات در زمینه فتوولتاییک‌های خورشیدی از محل منابع مالی خصوصی تأمین شد، در حالی که انرژی زمین‌گرمایی و برق‌آبی عمدتاً به منابع مالی عمومی متکی بودند و به ترتیب تنها ۳۲ و ۳ درصد از سرمایه‌گذاری‌ها در این دو فناوری، از طریق سرمایه‌گذاران خصوصی تأمین شد (IRENA & CPI, ۲۰۲۳). نیاز بیشتر به منابع مالی عمومی در نیروگاه‌های برق‌آبی به عوامل مختلفی مربوط است، از جمله: لزوم سرمایه‌گذاری‌های عظیم اولیه، ریسک‌های بالای ساخت‌وساز و نیاز به وام‌های طولانی‌مدت (به دلیل آن‌که انجام این پروژه‌ها ممکن است بیش از یک دهه به طول انجامد). به غیر از این موارد، رویه‌های پیچیده و طولانی اخذ مجوز و ریسک‌های اجتماعی و زیست‌محیطی بالا به طور قابل توجهی موجب کاهش توانایی بخش خصوصی برای تأمین مالی پروژه‌های بزرگ برق‌آبی می‌شوند (IRENA, ۲۰۲۳b). در خصوص انرژی زمین‌گرمایی نیز، هزینه‌های بالای اکتشاف و حفاری سطحی جزو موانع اصلی تأمین مالی آن‌ها از سوی بخش خصوصی هستند.

برای تأمین سرمایه‌های خصوصی باید از سیاست‌گذاری و تأمین مالی عمومی استفاده کرد، اما تنوع بیشتر در سرمایه‌گذاری‌ها از نظر جغرافیایی و فناورانه، مستلزم مشارکت‌های عمومی هدفمند و بیشتر است. سال‌های بسیاری است که سیاست‌ها بر تحرک سرمایه‌های خصوصی متمرکز هستند. اختصاص بودجه عمومی برای سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های اساسی انرژی در کشورهای در حال توسعه و همچنین به بهره‌برداری رساندن فناوری‌های کمتر بلوغ یافته (به ویژه در مصارف نهایی مانند گرمایش و حمل‌ونقل یا تولید سوخت مصنوعی) ضرورت دارد. در مناطقی که سرمایه‌گذاران خصوصی به ندرت سرمایه‌گذاری می‌کنند نیز ورود سرمایه‌گذاری عمومی لازم است. در غیر این صورت، شکاف سرمایه‌گذاری بین شمال و جنوب جهان همچنان افزایش خواهد یافت. در سال ۲۰۱۵، سرانه سرمایه‌گذاری انرژی‌های تجدیدپذیر در آمریکای شمالی (به استثنای مکزیک) و اروپا حدود ۲۲ برابر بیشتر از کشورهای جنوب صحرای آفریقا بود؛ و با تداوم این روند تا سال ۲۰۲۱، سرانه سرمایه‌گذاری در اروپا به ۴۱ برابر و در آمریکای شمالی به ۵۷ برابر جنوب صحرای آفریقا رسید. در حقیقت، سرمایه‌گذاری سرانه کشورهای جنوب صحرای آفریقا در سال ۲۰۲۱ تقریباً به نصف میزان آن در سال ۲۰۱۵، یعنی ۶ دلار برای هر نفر کاهش یافته است (IRENA and CPI, ۲۰۲۳).

سیستمی و ساختاری جهت تحقق اهداف آب و هوایی و توسعه، مستلزم سیاست‌های فراگیر در همه بخش‌ها است.

نقش COP۲۸ در تسریع گذار انرژی

سازوکار جهانی نظارت بر رعایت تعهدات و اجرای موافقت‌نامه پاریس (The Global Stocktake) در کنفرانس تغییرات آب و هوایی سازمان ملل در سال ۲۰۲۳ (COP۲۸)، باید به عنوان یک شتاب‌دهنده برای افزایش اقدامات پنج سال آینده جهت اجرای گزینه‌های موجود گذار انرژی عمل کند. برنامه‌ریزی‌ها باید فضا را برای نوآوری و اقدامات سیاستی بیش‌تر فراهم کنند؛ ضمن این‌که مهم‌ترین اقدام، رشد و توسعه قابل توجه راه‌حل‌های موجود است. به عنوان مثال، ارتقای بهره‌وری و برقی سازی بر پایه انرژی‌های تجدیدپذیر، یک راه مقرون به صرفه برای ارتقای بخش‌های برق، حمل‌ونقل و همچنین ساختمان‌ها است. هیدروژن پاک و مشتقات آن و فناوری‌های پایدار زیست‌توده نیز راه‌حل‌های متنوعی را برای مصارف نهایی می‌سازند.

بهره‌وری انرژی، برقی سازی، گسترش شبکه‌های توزیع برق و منطف سازی فرایندها باید در سال‌های پیش رو در اولویت امور قرار گیرند. ایجاد بهره‌وری انرژی در بخش‌های مصرف نهایی مستلزم سرمایه‌گذاری سالانه، به طور متوسط به میزان ۱/۸ تریلیون دلار در سناریوی ۱/۵ درجه سانتی‌گراد است. برقی‌سازی بخش‌های مصارف نهایی، بهره‌برداری از فناوری هیدروژن، استفاده مستقیم از انرژی‌های تجدیدپذیر و توسعه گرمایش منطقه‌ای نیز مستلزم سرمایه‌گذاری بیشتر، بالغ بر ۰/۷۵ تریلیون دلار در سال است. تسریع برقی سازی در بخش‌های مصارف نهایی باید با حرکتی مداوم به سمت افزایش ظرفیت انرژی تجدیدپذیر همراه باشد؛ امری که مستلزم تخصیص حدود ۱/۳ تریلیون دلار در سال است. چنین رشدی مستلزم گسترش و نوسازی یک شبکه برق تناسب یافته، با هزینه‌ای بالغ بر ۰/۵ تریلیون دلار در سال است. در مقایسه با این روند، مجموع سرمایه‌گذاری سالانه در تأمین سوخت‌های فسیلی و ایجاد ظرفیت تولید برق از این منابع در همان دوره به ۱ تریلیون دلار می‌رسد که نصف میزان کنونی خواهد بود.

پس از COP۲۸، دوره‌ای حیاتی برای مهار تغییرات آب و هوایی و دستیابی به اهداف توسعه پایدار طبق برنامه‌ی زمان‌بندی اقدامات تا سال ۲۰۳۰ پیش رو خواهد بود. گذار انرژی برای تحقق اولویت‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی بسیار مهم است. دولت‌ها، مؤسسات مالی و بخش خصوصی باید اهداف، راهبردها و برنامه‌های اقدامی خود را مورد ارزیابی دوباره قرار دهند تا گذار انرژی را مجدداً در مسیر مورد نظر آن قرار دهند.

نقش تأمین مالی عمومی در تحقق عادلانه و فراگیر گذار انرژی

راهبردهای سرمایه‌گذاری عمومی نقش مهمی در تسریع گذار انرژی ایفا می‌کنند. چنین سرمایه‌گذاری‌هایی، نه تنها باید حجمشان افزایش یابد، بلکه باید به شکلی راهبردی برای هدایت سرمایه‌گذاری‌های خصوصی تخصیص یابند. این سرمایه‌گذاری‌ها



بازنویسی همکاری بین‌المللی

برای تحقق گذار انرژی موفق، همکاری بین‌المللی باید مورد طراحی مجدد قرار گیرد و ارتقا یابد. محوریت انرژی در توسعه جهانی و برنامه‌های آب و هوایی انکارناپذیر است؛ لذا همکاری بین‌المللی در حوزه انرژی در سال‌های اخیر به‌طور تصاعدی افزایش یافته است. این همکاری نقش سرنوشت‌سازی در تعیین نتایج گذار انرژی ایفا می‌کند و یک راه حیاتی برای دستیابی به انعطاف، فراگیری و مساوات بیشتر در این گذار است. پویایی بخش‌های انرژی و ایجاد تحولات ژئوپلیتیکی مستلزم بررسی دقیق‌تر روش‌ها، ابزارها و رویکردهای همکاری بین‌المللی برای اطمینان از هم‌راستایی، تأثیرگذاری و چابکی آن‌هاست.

تنوع روزافزون بازیگران در گذار انرژی، مستلزم ارزیابی نقش‌های آن‌ها برای ارتقای نقاط قوت مربوطه و تخصیص بهینه منابع عمومی محدود است. تأمین الزامات توسعه و اقدامات آب و هوایی و حفظ پویایی در عرضه و تقاضای انرژی، مستلزم انسجام و همسویی این بازیگران حول اقدامات اولویت‌دار است. برای مثال، سرمایه‌گذاری در سیستم‌های تجارت فرامرزی و جهانی کالاهای انرژی مستلزم همکاری بین‌المللی در مقیاسی بی‌سابقه خواهد بود؛ بنابراین، بازنگری در نقش‌ها و مسئولیت‌های بازیگران، از جمله نهادهای ملی و منطقه‌ای، سازمان‌ها و مؤسسات مالی بین‌المللی و بانک‌های توسعه‌ی چندجانبه، برای اطمینان از مشارکت حداکثری آن‌ها در گذار انرژی، ضرورت دارد.

گذار انرژی مستلزم تلاش‌های جمعی برای هدایت منابع مالی به مناطق محروم جهان است. در سال ۲۰۲۰، مؤسسات مالی توسعه‌ی چندجانبه و دوجانبه، کمتر از ۳ درصد از کل سرمایه‌گذاری‌ها را در حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین کردند. در آینده، آن‌ها باید بودجه‌ی بیشتری را همراه با شرایط بهتر به سمت پروژه‌های بزرگ گذار انرژی هدایت کنند. علاوه‌براین، تاکنون، تأمین مالی از مؤسسات مالی توسعه عمدتاً از طریق تأمین مالی از محل استقراض (با نرخ‌های بهره‌ی بازار) تأمین شده است، درحالی‌که وام‌های بلاعوض و کم‌بهره تنها ۱ درصد از کل تأمین مالی پروژه‌های انرژی‌های تجدیدپذیر را تشکیل داده‌اند (IRENA & CPI, ۲۰۲۳). این مؤسسات به‌طور منحصربه‌فردی برای حمایت از پروژه‌های مقیاس بزرگ و فرامرزی تأسیس شده‌اند و می‌توانند تفاوت قابل‌توجهی در تسریع گذار جهانی انرژی ایجاد کنند.

فرصت‌ها و تهدیدهای پیش روی ایران

ایران با توجه به ظرفیت‌های طبیعی و موقعیت منحصربه‌فرد ژئوپلیتیک خود در مرکز اصلی ترین منطقه‌ی تأمین انرژی فسیلی و غیر فسیلی جهان، یکی از بازیگران اصلی در پیشبرد راهبردهای گذار جهانی انرژی به حساب می‌آید.

پیوستن به روند گذار انرژی علاوه بر کمک به تحقق اهداف و تعهدات آب و هوایی کشور در سطح ملی و بین‌المللی، فرصت‌های اقتصادی فوق‌العاده‌ای را نیز برای کشور مهیا می‌سازد. ایران با توجه به ظرفیت‌های طبیعی خود، می‌تواند با در اختیار گرفتن انرژی‌های تجدید پذیر از جمله بادی و خورشیدی، ظرفیت‌های چشم‌گیری

برای تولید برق و هیدروژن پاک، هم برای تأمین نیاز داخلی و هم برای صادرات ایجاد کند. در همین حال، منابع عظیم گاز طبیعی به عنوان یکی از منابع کم‌کربن تأمین انرژی جهان نیز فرصت دیگری برای کسب درآمد در بازارهای آتی انرژی برای کشور فراهم می‌سازد. تولید و صادرات سوخت‌های پاک از جمله سوخت‌های زیستی و ترکیبی نیز از دیگر فرصت‌های اقتصادی ایران در مسیر گذار انرژی خواهد بود.

در کنار فرصت‌های اقتصادی، با توجه به ظرفیت‌های علمی و تجرب عملی ایران در حوزه تأمین انرژی، همکاری و سرمایه‌گذاری مشترک با صاحبان فناوری، ایران را به مرکز علمی و تحقیقاتی منطقه در این زمینه تبدیل خواهد کرد که علاوه بر بهبود وجهه بین‌المللی و افزایش تأثیرگذاری کشور در حوزه تأمین انرژی آینده‌ی جهان، مزایای اقتصادی پایداری را از طریق فروش فناوری برای کشور به ارمغان خواهد آورد.

فرصت‌های فوق و دیگر فرصت‌های بالقوه‌ای که می‌توان با پیوستن به گذار انرژی در اختیار گرفت مستلزم زمینه‌سازی و اتخاذ راهبردهای عملی از طریق نیازسنجی‌های سیاستی، قانونی و فناورانه و تصمیم‌گیری‌های آگاهانه‌ی مبتنی بر اطلاعات دقیق است. عدم برنامه‌ریزی و آمادگی به موقع برای پیوستن به گذار انرژی، کشور را با تهدیدهای ناگزیری مواجه می‌سازد. کناره‌گیری جهان از مصرف سوخت‌های فسیلی اولین تهدید بزرگ برای تأمین کنندگان منابع فسیلی انرژی جهان است که با کاهش و حتی قطع کامل درآمدهای صادراتی خود مواجه خواهند شد و ایران نیز از این قاعده مستثنا نیست. علاوه بر این، تعلل در بهره‌برداری و توسعه فناوری‌های جدید برای تأمین انرژی‌های پاک در داخل، کشور را دچار وابستگی به واردات سوخت‌های پاک و کمبود ظرفیت تولید برق تجدید پذیر خواهد کرد. حرکت به سمت استفاده از منابع گاز طبیعی برای تأمین انرژی کم‌کربن نیز مستلزم افزایش ظرفیت تولید گاز است که به‌توبه‌ی خود نیازمند سرمایه‌گذاری فراوان برای بهره‌برداری از فناوری‌های پیشرفته‌ی تولید و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در این حوزه است. وابستگی به فناوری‌های وارداتی نیز چالش بزرگی است که علاوه بر تحمیل هزینه‌های سنگین، کشور را در برابر تهدیدهای سلطه‌جویانه‌ی قدرت‌های جهانی، آسیب‌پذیر می‌سازد. در مجموع کشور برای بهره‌مندی از فرصت‌ها و مقابله با تهدیدها و چالش‌های گذار انرژی، باید جهت ایجاد پایه‌های اصلی پیوستن به این روند جهانی، از جمله تأمین فناوری‌های موردنیاز، هدایت سرمایه‌گذاری‌های عمومی و خصوصی، توسعه همکاری‌های بین‌المللی، ایجاد چهارچوب‌های قانونی و سیاستی و گسترش تحقیق و توسعه، برنامه‌ریزی کند.

منبع:

گزارش چشم‌انداز گذار جهانی انرژی، آژانس بین‌المللی انرژی تجدیدپذیر، ۲۰۲۳
<https://www.irena.org/Publications/2023/Mar/World-Energy-Transitions-Outlook2023->

نظم کنونی انرژی

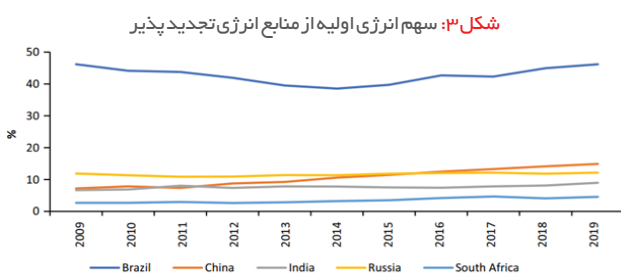
... گزارش تحلیلی ...

نگاهی اجمالی بر بخش انرژی مجموعه کشورهای بریکس (BRICS)

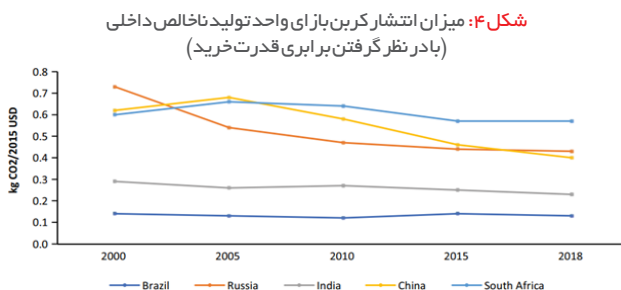
سید صادق فرغامی

مقدمه

در خصوص سهم انرژی های تجدید پذیر در سبد عرضه انرژی اولیه کشورهای بریکس در سال ۲۰۱۹، کشور برزیل بیشترین سهم را با حدود ۵۰٪ اختصاص داده است. کشورهای چین، روسیه، هند و آفریقای جنوبی، به ترتیب در رتبه های بعدی قرار دارند. عوامل مختلفی نظیر موقعیت جغرافیایی، فناوری و سیاست های انرژی، در مقدار سهم انرژی های تجدید پذیر در سبد عرضه انرژی کشورها تاثیر دارند.



میزان انتشار کربن به ازای واحد تولید ناخالص داخلی (با در نظر گرفتن برابری قدرت خرید) طی دهه گذشته در نمودار ذیل نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، کمترین میزان انتشار کربن مربوط به کشور برزیل و بیشترین آن مربوط به آفریقای جنوبی می باشد. کشور روسیه از سال ۲۰۰۰ و کشور چین از سال ۲۰۰۵ تلاش های قابل توجهی جهت کاهش انتشار آلاینده ها کرده اند و نمودار، روند کاهشی انتشار آلاینده ها را طی سالهای مذکور نمایش می دهد.



بررسی وضعیت انرژی هر کشور

برزیل

کشور برزیل با جمعیتی حدود ۲۱۳ میلیون نفر و مساحت ۸/۵ میلیون کیلومتر مربع، بزرگترین و پرجمعیت ترین کشور آمریکای لاتین می باشد. تولید ناخالص داخلی این کشور در سال ۲۰۲۱ برابر ۱۶۰۹ میلیارد دلار بوده است. میزان عرضه انرژی در شکل زیر نمایش داده شده است. همچنانکه مشاهده می شود، مقدار آن از دهه ۹۰ تا سال ۲۰۱۴ رشد نسبتاً ثابتی داشته ولی در سال ۲۰۱۴ به بعد، این رشد متوقف شده و روند کاهشی پیدا نموده که دلیل آن، بکارگیری سیاست های بهره وری انرژی می باشد. سبد عرضه انرژی این کشور متنوع می باشد و نفت خام، سوخت زیستی و مواد زائد، برق آبی، گاز طبیعی و زغال سنگ، به ترتیب

مجموعه کشورهای بریکس شامل کشورهای برزیل، روسیه، هند، چین، و آفریقای جنوبی می باشند. این مجموعه، در حال حاضر بیش از یک چهارم تولید ناخالص داخلی و ۴۲٪ جمعیت جهان را تشکیل می دهند. رشد اقتصادی این مجموعه کشورها طی دهه های گذشته، همچون محرکی برای افزایش جهانی تجارت و سرمایه گذاری در حوزه انرژی، بوده است.

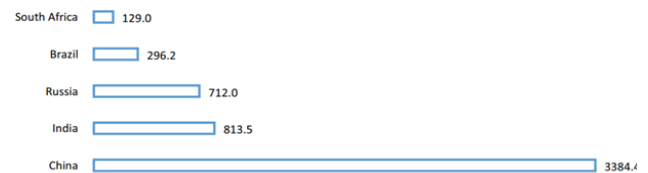
ابتدا در سال ۲۰۰۱، کشورهای برزیل، روسیه، هند و چین هسته اصلی بریکس فعلی را تشکیل دادند. در سال ۲۰۱۱، آفریقای جنوبی به این کشورها پیوست. اگرچه این مجموعه، یک سازمان رسمی نیستند، اما به دلیل تعاملات سیاسی و اقتصادی از طریق مذاکرات سالیانه و توسعه بانک مشترک، یک شخصیت سازمانی پیدا کرده اند.

در بین این مجموعه کشورها، پر جمعیت ترین کشورهای جهان: چین و هند، بزرگ ترین دارنده ذخایر گازی جهان: روسیه، و بزرگ ترین و پر جمعیت ترین کشور آمریکای لاتین: برزیل جای دارند.

عرضه و تقاضای انرژی در بریکس

در بین کشورهای بریکس، بیشترین میزان مصرف انرژی اولیه مربوط به کشور چین می باشد. پس از چین، کشورهای هند، روسیه، برزیل و آفریقای جنوبی به ترتیب در رتبه های بعدی قرار دارند. میزان توسعه یافتگی، تاثیر مهمی بر مصرف انرژی دارد. به عنوان مثال، میزان جمعیت چین و هند اختلاف چندانی ندارد، ولی مصرف انرژی در چین بیش از چهار برابر هند است. در مثالی دیگر، میزان جمعیت هند حدود هفت برابر جمعیت روسیه است، در حالی که مصرف انرژی در هند تفاوت چندانی با مصرف انرژی در روسیه ندارد.

شکل ۱: میزان مصرف انرژی اولیه کشورهای بریکس در سال ۲۰۱۹



Source: BP Statistical Review of World Energy

شکل ۲: میزان تولید برق کشورهای بریکس در سال ۲۰۲۰



Source: BP Statistical Review of World Energy

میزان تولید برق نیز در این مجموعه کشورها با میزان مصرف انرژی اولیه نسبت مستقیم داشته و کشور چین در رتبه اول، و کشورهای هند، روسیه، برزیل و آفریقای جنوبی، به ترتیب در رتبه های بعدی قرار دارند.

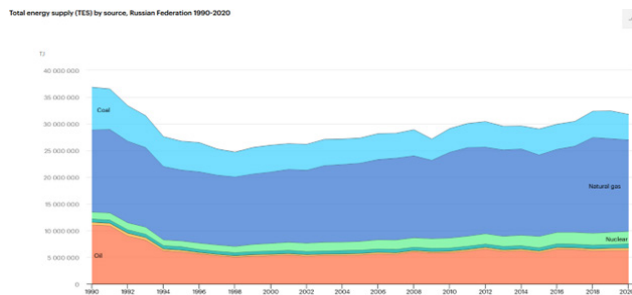


تجدید پذیر و ۱۳٪ آن مربوط به انرژی های فسیلی بوده است. حدود ۲٪ سهم تولید برق نیز مربوط به انرژی هسته ای می باشد. یکی از علل داشتن سهم قابل توجه انرژی های تجدید پذیر در مصرف برق برزیل، مربوط به بهره گیری آن کشور از برق آبی بدلیل موقعیت جغرافیایی آن می باشد.

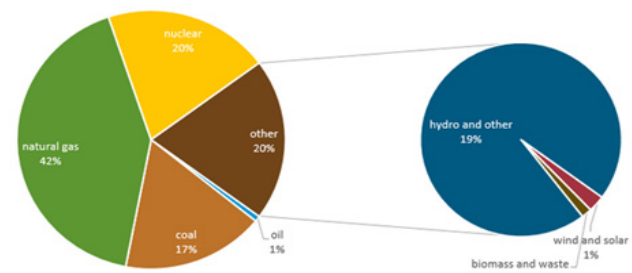
روسیه

جمعیت روسیه در سال ۲۰۲۱ حدود ۱۴۶ میلیون نفر، مساحت آن ۱۷ میلیون کیلومتر مربع و تولید ناخالص داخلی آن برابر ۱۷۷۹ میلیارد دلار بوده است. ترکیب سبد عرضه انرژی روسیه در شکل زیر نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می شود در سال ۲۰۲۰، بیشترین سهم مربوط به گاز طبیعی بوده و پس از آن نفت خام، زغال سنگ، هسته ای، برق آبی و سایر تجدید پذیرها، به ترتیب در رتبه های بعدی قرار دارند. تولید برق در این کشور عمدتاً توسط انرژی های فسیلی، هسته ای و برق آبی انجام می پذیرد. بیشترین سهم تولید را گاز طبیعی به میزان ۴۲٪ دارد و پس از آن، انرژی هسته ای با سهم ۲۰٪، زغال سنگ با سهم ۱۷٪ و برق آبی با سهم ۱۹٪، به ترتیب در جایگاه های بعدی تولید قرار دارند.

شکل ۹: روند عرضه انرژی اولیه در روسیه



شکل ۱۰: میزان تولید برق روسیه به تفکیک منبع، سال ۲۰۲۱



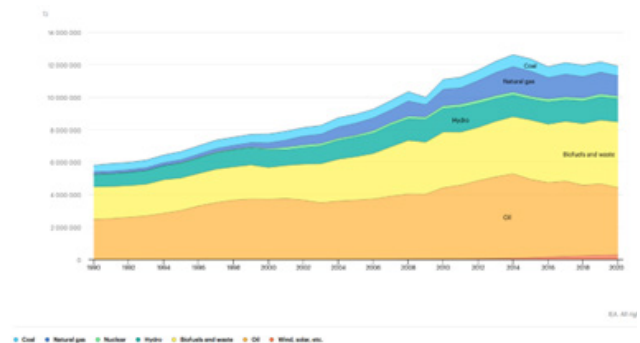
Source: EIA, international energy statistics, statistical review of world energy 2022

هند

کشور هند با جمعیت حدود ۱/۳۷ میلیارد نفر و مساحت ۳/۳ کیلومتر مربع، یکی از کشورهای تاثیر گذار در بازار انرژی می باشد. تولید ناخالص داخلی این کشور در سال ۲۰۲۱ برابر ۳۱۷۶ میلیارد دلار بوده است. زغال سنگ سهم عمده ای در عرضه انرژی این کشور دارد. بخش صنعت، بیشترین میزان مصرف برق را طی سالهای ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۰ داشته است. پس از آن، بخش های خانگی، کشاورزی، تجارت، به ترتیب بیشترین میزان مصرف را طی سال مذکور، داشته اند. نیروگاه های حرارتی، انرژی های تجدید پذیر، برق آبی و انرژی هسته

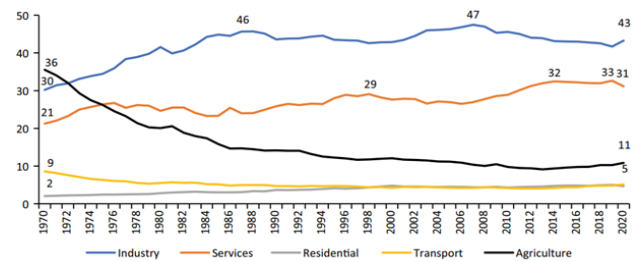
در آن نقش موثری دارند.

شکل ۵: روند عرضه انرژی در کشور برزیل



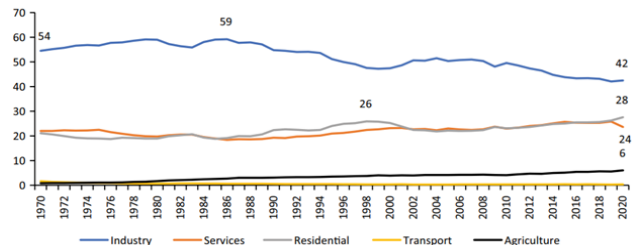
سهم مصرف انرژی در بخش های مختلف برزیل در شکل زیر نمایش داده شده است. در سال ۲۰۲۰ بیشترین سهم را بخش صنعت دارا بوده و پس از آن بخش های خدمات، کشاورزی، حمل و نقل و خانگی، به ترتیب در رتبه های بعدی قرار داشته اند.

شکل ۶: مصرف نهایی انرژی در برزیل به تفکیک بخش



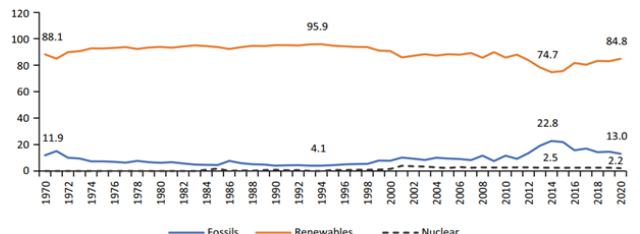
بیشترین بخش های مصرف کننده برق در سال ۲۰۲۰ به ترتیب شامل صنعت، خانگی، خدمات، کشاورزی و حمل و نقل می باشند. در میان این بخش ها، بخش صنعت توانسته است روند کاهشی مصرف داشته باشد که دلایل آن شامل توسعه فناوری ها و بکار گیری سیاست های بهره وری انرژی در این بخش می باشد.

شکل ۷: مصرف نهایی برق در برزیل به تفکیک بخش



کشور برزیل بهره فراوانی را از انرژی های تجدید پذیر می برد، به طوری که در سال ۲۰۲۰ حدود ۸۵٪ تولید برق این کشور مربوط به انرژی های

شکل ۸: سهم حامل های مختلف انرژی در تولید برق در برزیل

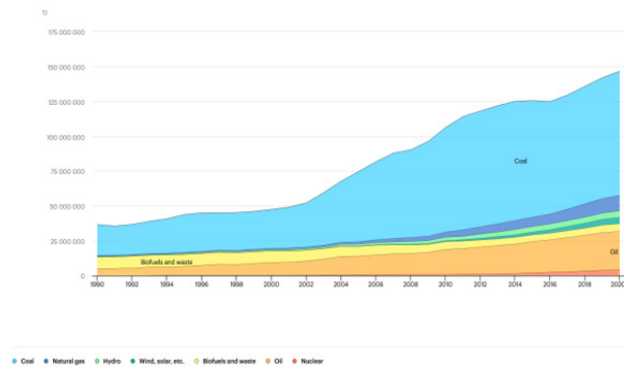




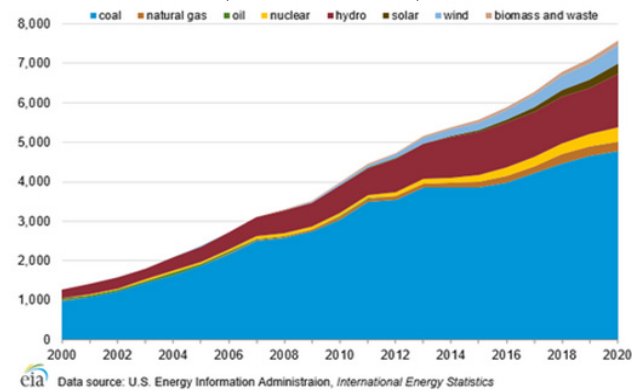
چین

جمعیت چین در سال ۲۰۲۱ برابر ۱/۴ میلیارد نفر، مساحت آن ۹/۶ میلیون کیلومتر مربع و تولید ناخالص داخلی آن برابر ۱۷۷۲۷ میلیارد دلار می باشد. میزان عرضه انرژی اولیه در کشور چین نسبت به سایر کشورهای بریکس بسیار بالاتر می باشد. به عنوان مثال، علیرغم جمعیت تقریباً برابر چین و هند، میزان عرضه انرژی در چین حدود ۴ برابر میزان عرضه آن در هند می باشد که یکی از دلایل مهم آن همانطور که قبلاً اشاره گردید، میزان توسعه یافتگی کشور چین می باشد. در سال ۲۰۲۰ ترکیب سبد عرضه انرژی این کشور به ترتیب از بیشترین سهم تا کمترین سهم شامل زغال سنگ، نفت خام، گاز طبیعی، سوخت زیستی و مواد زائد، برق آبی، انرژی های تجدیدپذیر و انرژی هسته ای بوده است. همچنانکه مشاهده می شود، انرژی های فسیلی خصوصاً زغال سنگ، سهم عمده ای در عرضه انرژی اولیه این کشور دارند.

شکل ۱۵: سهم بخش های مختلف مصرف برق در هند طی سالهای ۲۰۱۹-۲۰۲۰



شکل ۱۶: روند تولید برق به تفکیک سوخت در کشور چین طی سالهای ۲۰۰۰-۲۰۲۰ (واحد تراوات ساعت TWh)

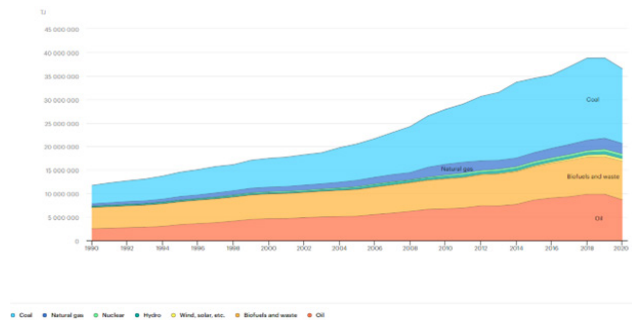


در بخش تولید برق نیز عمده سهم مربوط به زغال سنگ می باشد ولی سهم انرژی های پاک به مقدار قابل توجهی افزایش یافته است که در بین آنها، برق آبی و بادی بیشترین سهم را دارند.

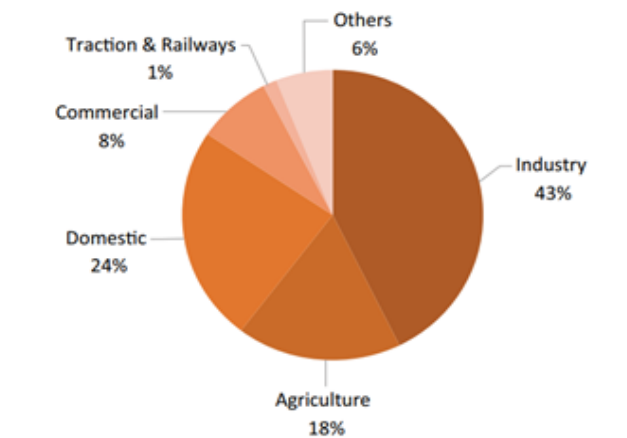
آفریقای جنوبی

جمعیت این کشور در سال ۲۰۲۱ حدود ۶۰ میلیون نفر، مساحت ۱/۲ میلیون کیلومتر مربع و تولید ناخالص داخلی ۴۲۰ میلیارد دلار بوده است. کشور آفریقای جنوبی نسبت به سایر اعضای گروه بریکس دارای کمترین میزان عرضه انرژی اولیه می باشد. زغال سنگ در ترکیب سبد عرضه، بیشترین سهم را دارد و پس از آن نفت خام، سوخت های زیستی و مواد زائد، و گاز طبیعی، به ترتیب در جایگاه های بعدی پس از آن قرار دارند. بیشترین میزان مصرف برق در بخش صنعت با سهم ۵۳٪ می باشد.

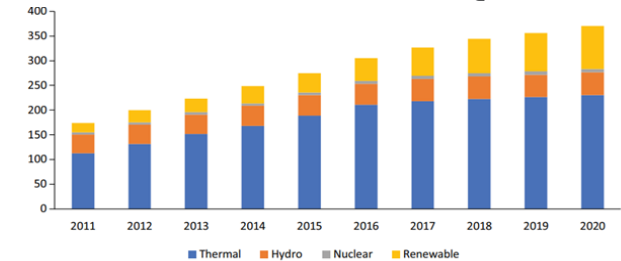
شکل ۱۱: روند عرضه انرژی در هند طی سالهای ۱۹۹۰-۲۰۲۰



شکل ۱۲: سهم بخش های مختلف مصرف برق در هند طی سالهای ۲۰۱۹-۲۰۲۰



شکل ۱۳: سهم منابع مختلف انرژی در تولید برق در هند طی سالهای ۲۰۱۱-۲۰۲۰

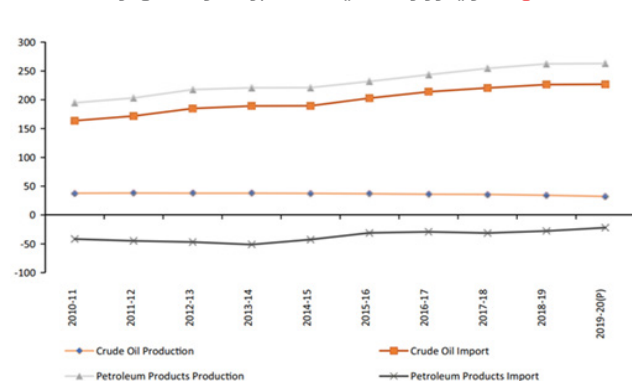


Source: Energy Statistics 2021, Central Statistics Office Ministry of Statistics and Programme Implementation, Government of India

ای، به ترتیب بیشترین سهم را در تولید برق این کشور در سال ۲۰۲۰ داشته اند.

این کشور منابع نفتی چندانی ندارد و سهم عمده نفت خام آن وارداتی است که بیشتر آن نیز در پالایشگاه های این کشور، تبدیل به محصولات نفتی می گردند.

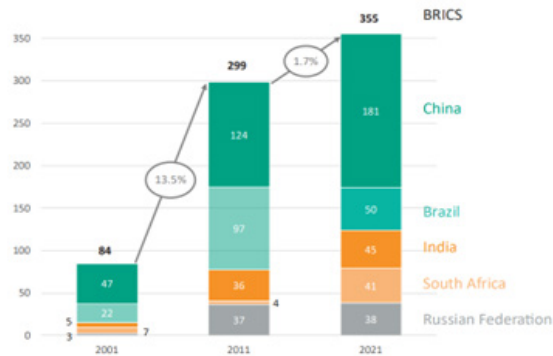
شکل ۱۴: تولید و واردات سالیانه نفت خام و محصولات نفتی در هند



Source: Energy Statistics 2021, Central Statistics Office Ministry of Statistics and Programme Implementation, Government of India

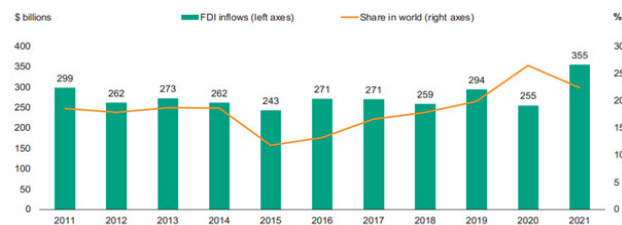


شکل ۲۰: سهم سرمایه گذاری های خارجی در هریک از کشورهای بریکز طی سالهای ۲۰۰۱-۲۰۲۱



Source: UNCTAD, FDI/MNE database (www.unctad.org/fdistatistics).
Note: South Africa is included in the 2001 figure although it joined the BRICS in 2011.

شکل ۲۱: سهم سرمایه گذاری های خارجی در کشورهای بریکز از سرمایه گذاری های خارجی جهانی، ۲۰۱۱-۲۰۲۱



Source: UNCTAD, FDI/MNE database (www.unctad.org/fdistatistics).

کشورهای آمریکا، انگلیس، چین و ژاپن، به ترتیب، بیشترین سهم را در سرمایه گذاری در این مجموعه کشورها داشته اند. کشورهای اروپایی آلمان، هلند، فرانسه، سوئیس و اسپانیا، به ترتیب در رتبه های بعدی سرمایه گذاری در این کشورها قرار دارند.

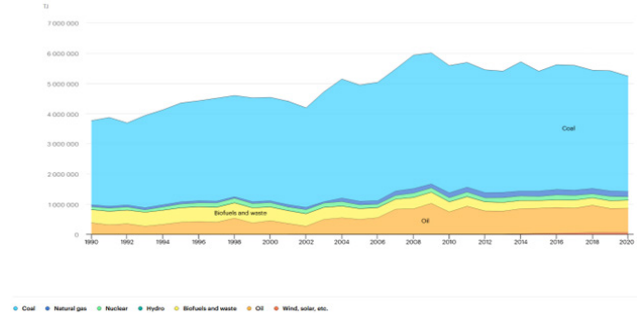
نتیجه گیری

مجموعه کشورهای بریکس نقش مهمی در اقتصاد و بازار انرژی در سطح جهان ایفا می نمایند. کشورهای مذکور در حال توسعه هستند و بخش صنعت آنها بزرگترین بخش مصرف کننده انرژی می باشد. در بین این کشورها، چین بزرگترین عرضه کننده انرژی بوده و بیشترین مقدار تولید ناخالص داخلی را دارد و آفریقای جنوبی کوچکترین عرضه کننده انرژی بوده و کمترین مقدار تولید ناخالص داخلی را دارد. زغال سنگ سهم قابل توجهی در تامین انرژی اولیه این کشورها دارد. همه این کشورها از انرژی هسته ای برای تامین برق خود بهره می برند. در کشور برزیل بیشترین سهم حامل های انرژی از عرضه برق مربوط به انرژی های تجدید پذیر، و در روسیه بیشترین سهم عرضه برق پس از گاز طبیعی، مربوط به انرژی هسته ای می باشد. سرمایه گذاری ها طی دو دهه اخیر نقش مهمی در توسعه این کشورها ایفا نموده اند. عمده این سرمایه گذاری ها توسط آمریکا، انگلیس، چین و ژاپن انجام پذیرفته است. در دهه اخیر، کشورهای چین و آفریقای جنوبی، سهم بیشتری در پذیرش سرمایه گذاری های خارجی داشته اند. با توجه به اینکه این مجموعه کشورها سهم قابل توجهی از مصرف جهانی انرژی را دارا می باشند، راهبردهای انرژی آنها تاثیر مهمی بر بخش انرژی و محیط زیست در سطح جهانی دارد.

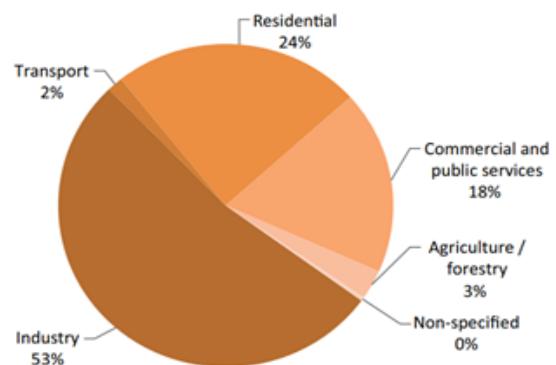
منابع

- BRICS energy report, 2021, BRICS energy research cooperation platform
- BRICS joint statistical publication 2022
- BRICS investment report, 2023, united nations

شکل ۱۷: روند عرضه انرژی به تفکیک منبع در کشور آفریقای جنوبی، طی سالهای ۱۹۹۰-۲۰۲۰



شکل ۱۸: مصرف برق به تفکیک بخش، در کشور آفریقای جنوبی طی سالهای ۲۰۱۸-۲۰۱۹

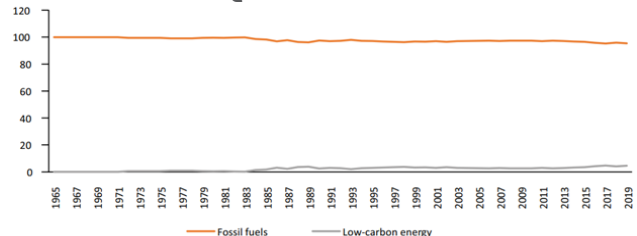


Source: IEA 2021

پس از آن بخش خانگی با سهم ۲۴٪، تجارت و خدمات عمومی با سهم ۱۸٪، کشاورزی و جنگل داری با سهم ۳٪، و حمل و نقل با سهم ۲٪ قرار دارند.

در صورتی که حامل های انرژی در بخش مصرف را به دو قسمت سوخت های فسیلی و سوخت های کم کربن تقسیم کنیم، نمودار زیر را خواهیم داشت. همانطور که مشاهده می شود بیشترین سهم از مصرف را انرژی های فسیلی دارند، ولی سهم آنها با شیب ملایمی در حال کاهش و برعکس سهم انرژی های کم کربن با شیب ملایمی در حال افزایش می باشد.

شکل ۱۹: سهم مصرف انرژی به تفکیک منبع در آفریقای جنوبی



Source: BP statistical review of world energy

نقش سرمایه گذاری های خارجی در توسعه بریکس

سرمایه گذاری های خارجی نیز نقش مهمی در رشد اقتصاد مجموعه کشورها از سال ۲۰۰۱ تا سال ۲۰۲۱ ایفا نموده اند. طی سالهای مذکور، میزان این سرمایه گذاری ها بیش از ۴ برابر شده است. چین و آفریقای جنوبی، به ترتیب بیشترین میزان سرمایه گذاری ها را طی این سالها پذیرا بوده اند.

در مقایسه با سرمایه گذاری های جهانی در بخش انرژی، میزان این سرمایه گذاری ها بین ۱۰ الی ۲۰ درصد بوده است که رقم قابل توجهی می باشد و نشان از توجه سرمایه گذاران به این مجموعه کشورها است.



... بخش دوم ...

فناوری ها و کاربردهای میادین نفت دیجیتال

مجید خالقی راد



پیش گفتار

میادین نفتی دیجیتال جزء مهمی از تلاش های صنعت نفت و گاز برای تحول دیجیتال هستند. میادین های نفتی دیجیتال دربرگیرنده ابزارها و فناوری های پیشرفته برای بهینه سازی تولید و بهره برداری از میادین نفت و گاز است. این ابزارها برای جمع آوری و تجزیه و تحلیل داده های بلادرنگ از عملیات تولید نفت و گاز طراحی شده اند و بینش هایی را در مورد جنبه های مختلف عملیات از جمله عملکرد مخزن، عملکرد حفاری، کارایی تولید و یکپارچگی دارایی ارائه می دهند. زیربنای فناوری میدان نفتی دیجیتال را می توان برنامه ریزی، توسعه و استقرار نظارت از راه دور و مدیریت عملیات عنوان کرد.

بخش اول این گزارش، به مفاهیم و مبانی اولیه میدان نفتی دیجیتال و رویکرد یکپارچه به آن، سطوح بلوغ و هرم مربوطه، اجزا، مزایا و فواید آن پرداخت. آن چه پیش روست، بخش دوم گزارش می باشد که به بررسی و شرح اثرات استراتژیک میدان های نفتی دیجیتال، کاربرد، ابزارها و فناوری های آن، نحوه نظارت و پایش میادین نفتی دیجیتال و اهداف ایجاد آن خواهد پرداخت. در بخش پایانی، به برخی سیاست ها و استراتژی ها برای پیاده سازی میدان نفتی دیجیتال، نمونه هایی از آن در شرکت های بزرگ نفتی جهان، میدان نفتی دیجیتال ۲۰٪، یک نمونه از ابزار و برنامه کاربردی مدیریت بلادرنگ میدان نفتی و نهایتاً به سیاست های راهبردی مربوطه در کشور ایران اشاره خواهد شد.

اثر استراتژیک میدان نفتی دیجیتال

طی گزارش شرکت مک کنزی، بررسی زنجیره ارزش در اکتشاف و تولید نشان می دهد که بخش های مختلف و متفاوت این زنجیره از اجرای فناوری

میدان نفتی دیجیتال تحت تاثیر قرار خواهند گرفت. با توجه به شکل ۱، می توان گفت بیشترین تاثیرگذاری میدان نفتی دیجیتال در مرحله تولید از زنجیره ارزش رخ می دهد.

کاربرد میدان های نفتی دیجیتال

برنامه ریزی، توسعه و استقرار نظارت از راه دور و مدیریت عملیات، زیربنای فناوری میدان نفتی دیجیتال است. کاربرد میدان های نفتی دیجیتال توسط شرکت های مختلف به شرح زیر است:

۱. اندازه گیری انتقال بی سیم داده های مهم و حیاتی

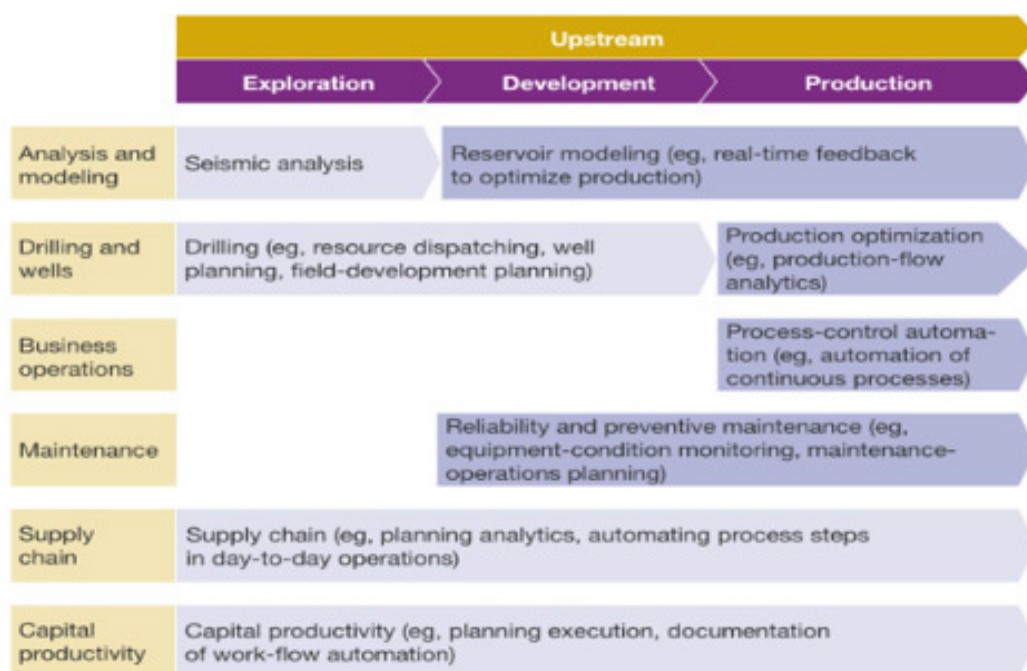
دستگاه های فعلی در شرکت های میدان نفتی دیجیتال اغلب با سخت افزار مورد نیاز برای جمع آوری و ذخیره سازی مداوم داده ها در سیستم های سطح بالاتر تجهیز می شوند. نقاط پایش فشار، جریان، سطح و دمای موجود را می توان به راحتی با فناوری انتقال بی سیم قدرتمند حتی در مناطق بالقوه خطرناک، بازسازی کرد [۲].

داده ها را می توان به یک اتاق کنترل میدانی یا مرکزی از هر نقطه از جهان ارسال کرد. به بیان ساده، این به محافظت از زمین و افراد کمک می کند. مقدار قابل توجهی از آلودگی خاک ناشی از نشت خط لوله است، زیرا معمولاً شناسایی آن ها خیلی طول می کشد. علاوه بر این، فناوری بی سیم اجازه می دهد تا دسترسی و عملکرد آب پاشی/دوش اضطراری و تجهیزات چشم شوی^۲ نظارت شود [۲].

۲. شناسایی مشکلات بهره وری بیشتر سایت در بلندمدت

اپراتورها با جمع آوری و تجزیه و تحلیل داده های فرآیند خود و داده های وضعیت ارائه شده توسط دستگاه های میدان دیجیتال، پمپ ها و کمپرسورهای هوشمند، پیشرفت قابل توجهی به سمت فناوری میدان

شکل ۱: اثرات اجرای فناوری میدان نفتی دیجیتال بر بخش های مختلف زنجیره ارزش [۶]



1. shower
2. eyewash

عمیق تر از مخزن و تأیید صحت مدل های مخزن ضروری است. برای به حداکثر رساندن تولید/تزریق^۹ و افزایش ضریب بازیابی در شرکت های میدان نفتی دیجیتال، ردیابی سهم تزریق در شکل گیری آن لازم است. در نتیجه، دستگاه های/تجهیزات کنترل جریان زیرسطحی بنا بر دلایل مختلف، بازیابی/بازیافت هیدروکربن^۶ را بهبود می بخشد که عبارتند از: [۲]

– ضرورت تحلیل مهندسی دقیق برای انتخاب و نصب گنج های حفره دائمی^۸

– تولید از مخازن بیشتر با تعداد چاه کمتر

– جداسازی مناطق با نرخ نسبت گاز به نفت^{۱۰} بالا ویا محتوای آب بالا^{۱۱}

۵. شبکه انتقال

شرکت های عامل، شبکه های انتقال خصوصی را بر روی میادین نفت و گاز خود ایجاد و نصب کرده اند تا نیازهای انتقال داده ها، ارتباط مخابراتی و ویدیوی میدان نفتی دیجیتال را برآورده کنند. یکی از فناوری های انتقال آزمایش شده و واقعی برای شبکه های انتقال نوری خصوصی در شرکت های میدان نفتی دیجیتال، سلسله مراتب دیجیتال همزمان^{۱۱} است که معمولاً در توپولوژی حلقه استفاده می شود [۲].

اکسنچر^{۱۲} در گزارش چشم انداز میدان نفتی دیجیتال خود، ده مورد از موارد استفاده و کاربرد میدان نفتی دیجیتال را با بهترین نمونه های

نفتی دیجیتال دارند. انتقال از تعمیر و نگهداری واکنشی یا پیشگیرانه به تعمیر و نگهداری پیش بینی کننده یکی از این روش ها است، زیرا نیاز به پرسنل و قطعات جایگزین را کاهش می دهد و حداقل نیاز به تعمیر و نگهداری و دوره های طولانی تر امکان استفاده از تجهیزات وجود خواهد داشت. اپراتورهای میادین نفتی ممکن است از دانشی که بخش های شیمیایی^۳ در سال های اخیر به دست آورده اند، به دلیل امکان دیجیتالی سازی بهره مند شوند [۲].

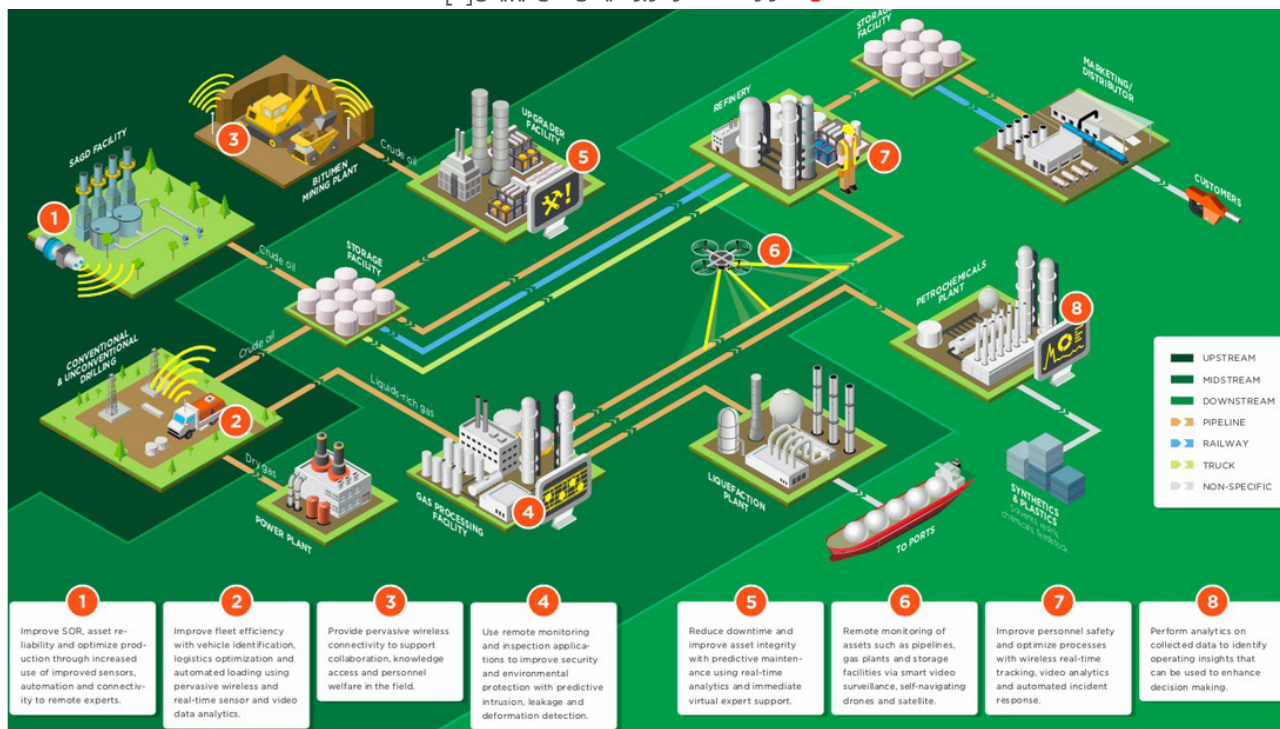
۳. بهبود بهره وری و کیفیت با اتوماسیون

جمع آوری داده های مستمر کارآمد در سطوح بالای اتوماسیون، مقابل شرکت های میدان نفتی دیجیتال است. به عنوان مثال، درجه رابط کاربری^۴ مورد نیاز قانونی در مراکز جمع آوری را می توان با مدیریت پمپ ها و شیرهای کنترل در لوله های تامین کننده تعیین کرد. به طور مشابه، جداکننده های آب را می توان برای عملیات و نگهداری کاملاً خودکار راه اندازی کرد. تنظیم سیستم های تزریق آب یا گاز برای جلوگیری از کاهش فشار تولید نفت بسیار مهم است [۲].

۴. اندازه گیری زیرسطحی

تکمیل هوشمند^۵ که به عنوان اندازه گیری زیرسطحی شناخته می شود، به طور جدایی ناپذیری با استفاده از کنترل های زیرسطحی مرتبط است. نظارت بر فشار، دما یا جریان مخزن برای به دست آوردن درک

شکل ۲: موارد استفاده و کاربرد میدان نفتی دیجیتال [۴]



Source: Accenture

3. chemical sector
4. API
5. Smart completion
6. production/injection
7. hydrocarbon recovery
8. permanent down-hole gauges
9. gas/oil ratio (GOR)
10. high-water content
11. synchronous digital hierarchy (SDH)
12. Accenture

تدارکات را بهبود می بخشد، هزینه های مواد و انرژی ورودی را به حداقل می رساند و دارایی ها را به طور موثرتری مدیریت می کند [۴].

۸- بهره وری میدانی: به حداکثر رساندن کارایی کارگران با ارائه جابجایی بی سیم که امکان دسترسی بر اساس تقاضا به داده های میدانی، نقشه های مهندسی و ردیابی موجودی و ارتباط با کارشناسان عملیات متمرکز را فراهم می کند. این امر کارکنان میدانی را قادر می سازد تا به طور کامل به دفتر مرکزی متصل شوند و بتوانند دارایی ها را از راه دور ردیابی و کنترل کنند [۴].

۹- مانیتورینگ/پایش بیومتریکی: می توان از دستگاه های پوشیدنی که قادر به نظارت مستمر بر موقعیت مکانی، حرکات و سایر شاخص های کارمندان به طور بلادرنگ هستند، برای ارائه بازخورد به کارگران و تشخیص موقعیت های خطرناک مانند نشت گاز و حوادث استفاده کرد [۴].

۱۰- تولید درون زمینی: بهره برداری از تجهیزات تولیدی قابل حمل برای کاهش زمان خرابی ناشی از خراب شدن/ازکارافتادن قطعات حیاتی با تولید قطعات و تجهیزات تخصصی در محل و بر اساس تقاضا [۴].

فناوری های ساختار شکن پیشران ارزش برای اجرا و پیاده سازی میدان نفتی دیجیتال

با توجه به پیشران های فناوریانه کاهش هزینه (اعم از خدمات ابری، خودکارسازی/اتوماسیون، حسگرها و...) می توان ارزش محقق شده را از طریق ساختار شکنی فناوری و فرایند در بازه های کوتاه مدت تا بلند مدت مطابق با شکل ۳ به تصویر کشید.

ابزارها و فناوری های میدان های نفتی دیجیتال

میدان های نفتی دیجیتال دربرگیرنده ابزارها و فناوری های پیشرفته برای بهینه سازی تولید و بهره برداری از میادین نفت و گاز هستند. این ابزارها برای جمع آوری و تجزیه و تحلیل داده های بلادرنگ از عملیات تولید نفت و گاز طراحی شده اند و بینش هایی را در مورد جنبه های مختلف عملیات از جمله عملکرد مخزن، عملکرد حفاری، کارایی تولید و یکپارچگی

کاربردی آن، شناسایی و معرفی کرده است که عبارتند از: [۴]

۱- نظارت بر دارایی از راه دور: جریان دو طرفه عملیات داده های حیاتی به شرکت ها اجازه می دهد تا از راه دور تجهیزاتی مانند کمپرسورها و فلو متر با جریان سنج ها را نظارت و کنترل کنند، مشکلات را شناسایی و تشخیص دهند و عملیات را بهینه کنند [۴].

۲- عملیات دارایی از راه دور: رابط ماشین به ماشین و اتصال بلادرنگ در تاسیسات راه دور اجازه می دهد تا عملیات معمول و عیب یابی توسط کارشناسان متمرکز در دفتر مرکزی نظارت شود.

۳- نگهداری پیش بینی کننده: استفاده از تجزیه و تحلیل داده های پیش بینی کننده و رویکردهای نگهداری مبتنی بر شرایط برای بهبود دسترسی پذیری و قابلیت اطمینان دارایی باعث کاهش یا جلوگیری از وقفه در عملیات و خاموش شدن سایت به دلیل خرابی اجزای حیاتی می شود.

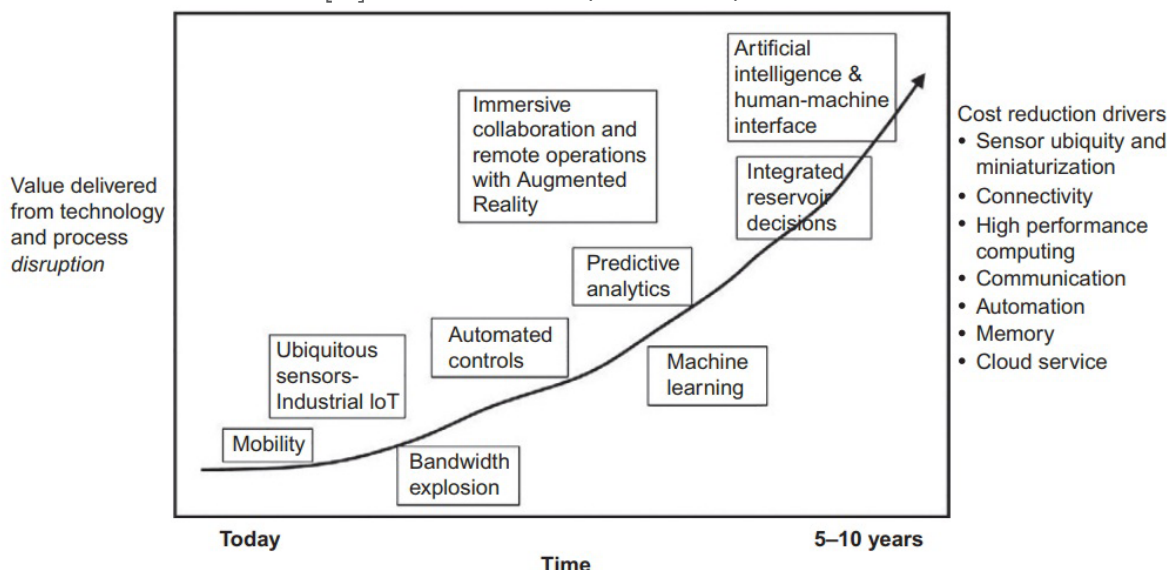
۴- بهینه سازی دارایی های تولید: استفاده از حسگرهای تخصصی برای نظارت بر تجهیزات و تجزیه و تحلیل داده ها برای شناسایی پیشرفت ها در عملیات پیچیده و بهبود عملکرد عملیاتی به شرکت اجازه می دهد تا فرآیندهای معمول را خودکار کند، مسائل تولید را نظارت و تشخیص دهد و مدیریت فعال دارایی را برای بهینه سازی ورودی ها و افزایش بازایی فعال کند [۴].

۵- بازرسی از راه دور دارایی: نظارت و عملکرد دارایی ها را بهبود بخشید و اطمینان حاصل کنید که هرگونه خطر (مثلاً نشت، انتشار) از طریق اقدامات پیشگیرانه و کاهش زمان پاسخ به حداقل می رسد [۴].

۶- بهینه سازی دارایی تولید خودکار: شامل رباتیک یا سایر تجهیزات خودکار که وظایف عملیاتی، مونتاژ و نگهداری را در محیط های عملیاتی مستمر و حیاتی انجام می دهند [۴].

۷- مدیریت ناوگان: به دست آوردن داده های بلادرنگ از حسگرهای داخلی از طریق استفاده از شبکه های بی سیم، حسگرها و تجزیه و تحلیل های ویدئویی، برای بهبود شناسایی دارایی، ردیابی، استفاده و عملیات لجستیک. شرکت با انجام این کار، بهره وری نیروی کار را بهینه می کند، نیازهای سفر را کاهش می دهد، زنجیره تامین و عملکردهای

شکل ۳: فناوری های پیشران ارزش برای پیاده سازی میدان نفتی دیجیتال [۲۵]



Disruptive technologies that are driving value for DOF implementation.



شده از دستگاه های اینترنت اشیا و سایر منابع استفاده می شود و به اپراتورها امکان دسترسی بلا درنگ به اطلاعات حیاتی را می دهد. از این فناوری می توان برای بهبود همکاری، بهینه سازی تولید و کاهش هزینه ها استفاده کرد [۳۳].

۶- هوش مصنوعی و یادگیری ماشین: هوش مصنوعی و الگوریتم های یادگیری ماشین برای تجزیه و تحلیل داده ها و ارائه بینش هایی استفاده می شوند که به اپراتورها کمک می کند تا درباره حفاری، تولید و سایر جنبه های عملیات میدان نفتی تصمیم آگاهانه بگیرند. این فناوری ها را می توان برای پیش بینی خرابی تجهیزات، بهینه سازی عملیات حفاری و کاهش زمان خرابی استفاده کرد [۳۱].

۷- فناوری دوقلوهای دیجیتال: این فناوری برای ایجاد کپی مجازی از دارایی های فیزیکی میدان نفتی، مانند چاه ها، خطوط لوله و سکوها استفاده می شود. از این فناوری می توان برای شبیه سازی و بهینه سازی عملیات میدان نفتی، شناسایی مشکلات احتمالی و بهبود کارایی استفاده کرد [۳۲].

دوقلوهای دیجیتال، نمایش مجازی دارایی های میدان نفتی مانند چاه ها، پمپ ها و خطوط لوله هستند. این مدل های مجازی برای شبیه سازی سناریوهای عملیاتی مختلف و بهینه سازی تولید استفاده می شوند. گزارش های آماری تولید شده از این مدل ها می توانند بینشی در مورد عملکرد تجهیزات، شناسایی مشکلات احتمالی و بهینه سازی برنامه های تعمیر و نگهداری ارائه دهند [۳۰].

۸- ابزار تعمیر و نگهداری پیش بینی کننده: ابزارهای نگهداری پیش بینی کننده، از تجزیه و تحلیل داده ها و الگوریتم های یادگیری ماشین برای پیش بینی خرابی تجهیزات قبل از وقوع استفاده می کنند. گزارش های آماری تولید شده از این ابزارها می توانند بینشی در مورد عملکرد تجهیزات، شناسایی مشکلات احتمالی و بهینه سازی برنامه های تعمیر و نگهداری ارائه دهند [۳۴].

۹- سیستم های اسکادا: سیستم های اسکادا برای جمع آوری و تجزیه و تحلیل داده ها از دارایی های مختلف میدان نفتی از جمله چاه ها، پمپ ها و خطوط لوله استفاده می شود. گزارش های آماری تولید شده از این سیستم ها می توانند بینش هایی درباره نرخ تولید، عملکرد تجهیزات و سایر عواملی که بر عملیات میدان نفتی تأثیر می گذارند، ارائه دهند [۳۵].

۱۰- تجسم بخشی و مدل سازی سه بعدی: این فناوری برای ایجاد مدل های مجازی از دارایی ها و فرآیندهای میدان نفتی مانند مخازن، چاه ها و خطوط لوله استفاده می شود. گزارش های آماری تولید شده از این مدل ها می توانند بینشی در مورد عملکرد تجهیزات، شناسایی مشکلات احتمالی و بهینه سازی تولید ارائه دهند [۳۶].

۱۱- رباتیک و هواپیماهای بدون سرنشین/پهپادها: رباتیک و هواپیماهای بدون سرنشین برای انجام وظایف مختلف در عملیات میدان نفتی مانند بازرسی تجهیزات و نظارت بر میزان تولید استفاده می شوند. گزارش های آماری تولید شده از این فناوری ها می توانند بینشی در مورد عملکرد تجهیزات، شناسایی مشکلات احتمالی و بهینه سازی برنامه های تعمیر و

دارایی ارائه می دهند. برخی از ابزارهای اصلی مورد استفاده در میادین نفتی دیجیتال به شرح ذیل است:

۱. حسگرها: از سنسورها برای جمع آوری داده ها در مورد جنبه های مختلف عملیات تولید نفت و گاز، از جمله دما، فشار، نرخ جریان و سایر پارامترهای کلیدی استفاده می شود. این داده ها برای بهینه سازی تولید و بهبود کارایی استفاده می شود. گزارش آژانس بین المللی انرژی^{۱۳} مروری بر استفاده از حسگرها در میادین نفتی دیجیتال ارائه می دهد [۸].

حسگرها و دستگاه های اینترنت اشیا برای نظارت و جمع آوری داده های بلا درنگ از دارایی های مختلف میدان نفتی از جمله چاه ها، پمپ ها و خطوط لوله استفاده می شوند. از این دستگاه ها می توان برای اندازه گیری عواملی مانند دما، فشار، دبی و سایر متغیرها استفاده کرد. با جمع آوری و تجزیه و تحلیل این داده ها، اپراتورها می توانند تولید را بهینه کرده و زمان خرابی را کاهش دهند [۲۷]. گزارش های آماری تولید شده از این حسگرها می تواند بینش هایی در مورد نرخ تولید، عملکرد تجهیزات و سایر عواملی که بر عملیات میدان نفتی تأثیر می گذارند، ارائه دهد [۲۸].

۲. اتوماسیون/خودکارسازی: فناوری های اتوماسیون برای ساده سازی و بهینه سازی فرآیندهای مختلف مانند حفاری، تولید و نگهداری استفاده می شود. این فناوری ها می توانند شامل استفاده از خودروهای خودران، هواپیماهای بدون سرنشین و سایر فناوری ها برای کاهش هزینه ها و بهبود ایمنی شود. گزارش دولتی^{۱۴} مروری بر بکارگیری اتوماسیون در میادین نفتی دیجیتال ارائه می دهد [۷].

۳. تجزیه و تحلیل داده ها: ابزارها و تکنیک های متنوعی برای تجزیه و تحلیل داده های جمع آوری شده از عملیات تولید نفت و گاز استفاده می شود و بینش هایی را در مورد جنبه های مختلف عملیات ارائه می دهد. این شامل تجزیه و تحلیل پیش بینی کننده، یادگیری ماشین و سایر تکنیک هایی است که می تواند به شناسایی الگوها، روندها و ناهنجاری ها/مخاطرات در داده ها کمک کند و می تواند برای بهینه سازی تولید و کاهش هزینه ها استفاده شود. گزارش مک کنزی^{۱۵} به بررسی استفاده از تجزیه و تحلیل داده ها در میدان های نفتی دیجیتال می پردازد [۹] و [۲۹].

۴. واقعیت مجازی^{۱۶}: فناوری های واقعیت مجازی برای ایجاد شبیه سازی های فراگیر از عملیات تولید نفت و گاز استفاده می شوند که به اپراتورها اجازه می دهد تا فرآیندهای خود را در یک محیط مجازی مجسم/مصور و بهینه کنند. گزارش پی. دبلیو. سی^{۱۷} مروری کلی بر کاربرد واقعیت مجازی در صنعت نفت و گاز می نماید [۱۰].

۵. رایانش ابری: فناوری های پردازش ابری برای ذخیره و تجزیه و تحلیل حجم زیادی از داده های جمع آوری شده از عملیات تولید نفت و گاز استفاده می شوند و بینش های بلا درنگ را در مورد جنبه های مختلف عملیات ارائه می دهند. گزارش اکسنچر مروری بر استفاده از رایانش ابری در میدان های نفتی دیجیتالی ارائه می کند [۱۱].

رایانش ابری برای ذخیره و پردازش حجم زیادی از داده های جمع آوری

13. IEA

14. Deloitte

15. McKinsey & Company

16. VR

17. PwC



نگهداری ارائه دهند [۳۷].

۱۲. ابزارهای امنیت سایبری: ابزارهای امنیت سایبری برای محافظت از دارایی ها و فرآیندهای میدان نفتی در برابر تهدیدات سایبری استفاده می شود. گزارش های آماری تولیدشده از این ابزارها می توانند بینشی در مورد آسیب پذیری های بالقوه ارائه دهند و به اپراتورها کمک کنند تا وضعیت امنیت سایبری خود را بهبود بخشند [۳۸].

۱۳. سیستم های نظارت و کنترل از راه دور: سیستم های نظارت و کنترل از راه دور، اپراتورها را قادر می سازد تا عملیات میدان نفتی را از یک مکان مرکزی نظارت و کنترل کنند. گزارش های آماری تولیدشده از این سیستم ها می توانند بینش هایی درباره نرخ تولید، عملکرد تجهیزات و سایر عواملی که بر عملیات میدان نفتی تأثیر می گذارند، ارائه دهند [۳۹].

نظارت/پایش در میادین نفتی دیجیتال

نظارت/پایش در میادین نفتی دیجیتال برای اطمینان از عملکرد بهینه ابزارها و فناوری های مختلف و ارائه نتایج مطلوب بسیار مهم است. این شامل نظارت/پایش مستمر بر داده های جمع آوری شده از عملیات تولید نفت و گاز و همچنین عملکرد ابزارها و فناوری های مختلف مورد استفاده در میادین نفتی دیجیتال است. گزارش اس. پی. ای^{۱۸} یک نمای کلی از الزامات نظارت/پایش در میدان های نفتی دیجیتال و شاخص های عملکرد کلیدی مورد استفاده برای اندازه گیری عملکرد ارائه می دهد [۱۲]. به طور کلی، ابزارها و الزامات نظارتی میدان های نفتی دیجیتال پیچیده هستند و نیاز به برنامه ریزی و اجرای دقیق دارند. با این حال، مزایای بالقوه پیاده سازی میدان های نفتی دیجیتال، آن را به پیشنهادی قانع کننده برای شرکت های صنعت نفت و گاز تبدیل می کند.

فن آوری ها و ابزارهای پایش جزء حیاتی میدان های نفتی دیجیتال هستند، زیرا اپراتورها را قادر می سازند تا داده های بلا درنگ را از دارایی ها و فرآیندهای مختلف جمع آوری کنند و مشکلات بالقوه را قبل از تبدیل شدن به مسائل مهم تر شناسایی کنند. در اینجا به چند نمونه از فن آوری ها و ابزارهای نظارتی در میدان های نفتی دیجیتال اشاره شده است:

۱. سنسور/حسگرهای فشار و دما: سنسورهای فشار و دما برای نظارت بر شرایط داخل چاه های نفت، خطوط لوله و سایر تجهیزات استفاده می شوند. این حسگرها می توانند به اپراتورها در شناسایی مشکلات

احتمالی مانند نشست، انسداد یا سایر ناهنجاری ها کمک کنند [۴۰].

۲. فلومترها/جریان سنج ها: فلومترها برای اندازه گیری دبی نفت و گاز از طریق خطوط لوله و سایر تجهیزات استفاده می شوند. این دستگاه ها می توانند به اپراتورها در بهینه سازی تولید و کاهش ضایعات کمک کنند [۴۱].

۳. شبکه های حسگر بی سیم: شبکه های حسگر بی سیم برای جمع آوری داده ها از دارایی های مختلف میدان نفتی از جمله چاه ها، پمپ ها و خطوط لوله و انتقال آن به یک

مکان مرکزی برای تجزیه و تحلیل استفاده می شوند. این شبکه ها می توانند به اپراتورها در نظارت بر تولید، بهینه سازی فرآیندها و کاهش زمان خرابی کمک کنند [۴۲].

۴. ابزارهای نگهداری پیش بینی کننده: ابزارهای نگهداری پیش بینی، از تجزیه و تحلیل داده ها و الگوریتم های یادگیری ماشین برای پیش بینی خرابی تجهیزات قبل از وقوع استفاده می کنند. این ابزارها می توانند به اپراتورها در بهینه سازی برنامه های تعمیر و نگهداری، کاهش زمان خرابی و افزایش عمر تجهیزات کمک کنند [۴۳].

۵. سیستم های نظارت و کنترل بلا درنگ: این سیستم ها اپراتورها را قادر می سازد تا فرآیندهای مختلف میدان نفتی را بطور بلا درنگ نظارت و کنترل کنند. سیستم های نظارت و کنترل بلا درنگ می توانند به اپراتورها در بهینه سازی تولید، کاهش هزینه ها و افزایش ایمنی کمک کنند [۴۴].

چند نمونه از کاربرد فن آوری های نظارت/پایش در میادین نفتی دیجیتال و نیز موارد استفاده گزارش های آماری تولیدشده از آن ها به شرح ذیل است:

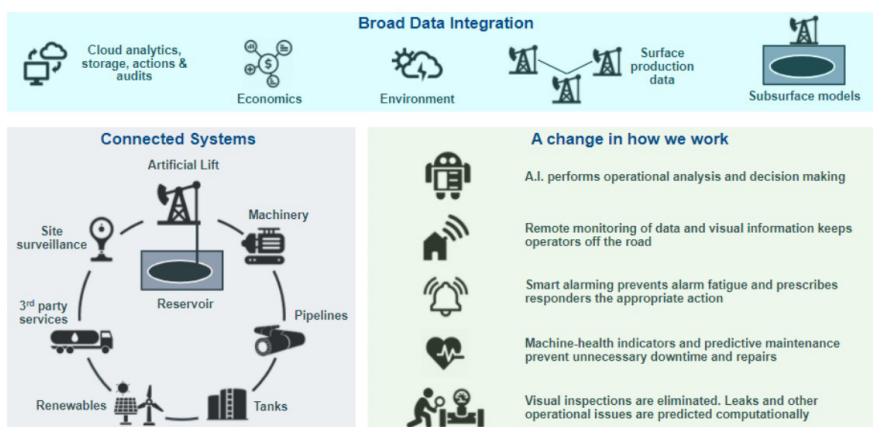
۱. نظارت بر تولید: فناوری هایی که برای نظارت و تجزیه و تحلیل نرخ تولید نفت و گاز بطور بلا درنگ/در زمان واقعی استفاده می شود. گزارش های آماری تولیدشده از این فناوری ها می تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد نرخ تولید، عملکرد چاه و سایر عواملی که بر عملیات میدان نفتی تأثیر می گذارند، ارائه دهد [۴۵].

۲. نظارت بر تجهیزات: فناوری هایی که برای نظارت بر عملکرد تجهیزات مختلف میدان نفتی مانند پمپ ها، کمپرسورها و خطوط لوله استفاده می شود. گزارش های آماری تولیدشده از این فناوری ها می توانند بینشی در مورد عملکرد تجهیزات، نیازهای تعمیر و نگهداری و مشکلات احتمالی ارائه دهند [۴۶].

۳. پایش محیطی: فناوری هایی که برای پایش و تجزیه و تحلیل عوامل محیطی مانند کیفیت هوا، کیفیت آب و سطح صدا در اطراف عملیات نفت و گاز استفاده می شود. گزارش های آماری تولیدشده از این فناوری ها می تواند بینش هایی در مورد تأثیرات زیست محیطی عملیات نفت و گاز ارائه دهد و به اپراتورها کمک کند تا از مقررات پیروی کنند [۴۷].

۴. نظارت بر ایمنی: فناوری هایی که برای نظارت و تجزیه و تحلیل عوامل ایمنی مانند رفتار کارگران، ایمنی تجهیزات و شناسایی ریسک ها استفاده می شود. گزارش های آماری تولیدشده از این فناوری ها

شکل ۴: هدف ایجاد یک میدان نفتی دیجیتال، عملیاتی یکپارچه تر و کارآمدتر [۴۹]





و ویژگی های مخازن نفت و گاز استفاده می شود و شامل معیارهایی مانند فشار مخزن، نرخ جریان سیال و نرخ کاهش تولید است. با نظارت بر این شاخص ها، اپراتورها می توانند فرآیندهای تولید را بهینه کنند و بازیابی منابع نفت و گاز را به حداکثر برسانند.

۴. عملکرد حفاری: شاخص عملکرد حفاری برای اندازه گیری کارایی و اثربخشی عملیات حفاری استفاده می شود. این شاخص شامل معیارهایی مانند سرعت، دقت و هزینه های حفاری می شود. اپراتورها با نظارت بر این شاخص ها می توانند فرآیندهای حفاری را بهینه کنند و هزینه ها را کاهش دهند.

۵. ایمنی و محیط زیست: شاخص های ایمنی و محیط زیست برای اندازه گیری/سنجش عملکرد عملیات تولید نفت و گاز از نظر ایمنی و اثرات زیست محیطی استفاده می شوند که شامل معیارهایی مانند نرخ حوادث، انتشار گازهای گلخانه ای و مدیریت پسماند است. با نظارت بر این شاخص ها، اپراتورها می توانند از انطباق با مقررات اطمینان حاصل کنند و تأثیر عملیات تولید بر محیط زیست را به حداقل برسانند.

به طور کلی، استفاده از این شاخص ها در میادین نفتی دیجیتال برای موفقیت عملیات تولید نفت و گاز حیاتی است. شاخص های عملکرد کلیدی، داده ها و بینش هایی درباره فرآیندهای تولید بلا درنگ به اپراتورها ارائه می دهند و امکان بهبود و بهینه سازی مداوم را فراهم می سازند [۱۲-۱۵].

بعضی سیاست ها و استراتژی ها برای پیاده سازی میادین نفتی دیجیتال جزء مهمی از تلاش های صنعت نفت و گاز برای تحول دیجیتال هستند. برای اطمینان از پیاده سازی و نظارت موثر میدان های نفتی دیجیتال، شرکت ها با پدسیاست ها و استراتژی هایی را توسعه دهند که جنبه های مختلف فرآیند پیاده سازی، از جمله مدیریت داده ها، انتخاب فناوری و آموزش نیروی کار را مورد توجه قرار دهد. در ادامه به برخی از سیاست ها و استراتژی ها برای میادین نفتی دیجیتال اشاره شده است:

۱. سیاست مدیریت داده: سیاست/خط مشی مدیریت داده ها چارچوبی است که دستورالعمل هایی را برای جمع آوری، ذخیره سازی و استفاده از داده ها در میادین نفتی دیجیتال ایجاد می کند. این خط مشی باید به مسائلی مانند کیفیت داده ها، امنیت داده ها و حریم خصوصی داده ها بپردازد. انجمن مهندسين نفت دستورالعمل هایی را برای سیاست های مدیریت داده ها در صنعت نفت و گاز ارائه می دهد.

۲. استراتژی انتخاب فناوری: این استراتژی، طرحی برای انتخاب و ادغام فناوری های مختلف از جمله حسگرها، سیستم های اتوماسیون و ابزارهای تجزیه و تحلیل داده ها در میدان های نفتی دیجیتال است. این استراتژی باید به موضوعاتی مانند مشارکت ذینفعان، تحلیل نیازمندی ها و ارزیابی فروشنده بپردازد. انجمن بین المللی تولیدکنندگان نفت و گاز، راهنمایی هایی را در مورد استراتژی های انتخاب فناوری در صنعت نفت و گاز ارائه می دهد.

۳. سیاست آموزش نیروی کار: سیاست/خط مشی آموزش نیروی کار، چارچوبی برای توسعه و اجرای برنامه های آموزشی و توسعه برای کارکنان درگیر در میدان های نفتی دیجیتال است. این خط مشی باید به موضوعاتی مانند چارچوب های شایستگی، تجزیه و تحلیل نیازهای آموزشی و نیز فراگیری و آموزش در حین کار بپردازد. استانداردهای

می توانند بینشی در مورد عملکرد ایمنی، شناسایی ریسک احتمالی و بهبود شیوه های ایمنی ارائه دهند [۴۸].

هدف ایجاد یک میدان نفتی دیجیتال با عملیات یکپارچه تر و کارآمدتر، ارزیابی اینکه در سفر میدان نفتی دیجیتال در کجا هستید و تهیه یک نقشه راه برای حرکت به سمت عملکرد بهتر و بیشتر، حائز اهمیت است. مراحل این نقشه راه شامل سنجش و نظارت/پایش از راه دور، استراتژی شفاف و روشن برای اتوماسیون، ایجاد داده های قابل ردیابی از طریق تجزیه و تحلیل پیشرفته و نیز حرکت هرچه بیشتر به سمت عملیات های یکپارچه و مستقل می باشد. اهداف ایجاد میدان نفتی دیجیتال از نظر عملکرد تجاری، مواردی همچون کاهش هزینه ها، افزایش کارایی، کاهش ریسک ها و نیز بهبود و تسریع در تصمیم گیری ها است. از نظر تولید و فرایند ساخت، هدف ایجاد یک میدان نفتی دیجیتال را می توان عملیات یکپارچه تر و کارآمدتر برشمرد؛ اما امروزه بسیاری از تولیدکنندگان و اپراتورهای صنعت نفت همچنان دارای فرآیندهای دستی، پراکنده و غیرمتصل/مرتبط هستند.

اهداف استراتژیک میادین نفتی دیجیتال

شرکت ها برای جمع آوری و تجزیه و تحلیل وضعیت و عملکرد تجهیزات به منظور پیش بینی و پاسخ به عیوب تجهیزات قبل از وقوع، میدان های نفتی دیجیتال را پیاده سازی می کنند. آن ها این کار را با کمک تجزیه و تحلیل داده ها انجام می دهند تا زمان خرابی تجهیزات یا ماشین آلات/تجهیزات مرتبط با فرآیند را به حداقل برسانند و در نتیجه کیفیت را بهبود بخشند و سود را به حداکثر برسانند. میدان های نفتی دیجیتال همچنین به مدیریت پروژه های پیچیده که نیاز به دسترسی به ذخایر/مخازن در محیط های دشوار از طریق داده های ماشینی و نظارت بلا درنگ و نیز دسترسی از راه دور به سایت/کارگاه دارند، کمک می کنند [۱].

شاخص های کلیدی عملکرد در میدان های نفتی دیجیتال، برای اندازه گیری/سنجش و ارزیابی عملکرد جنبه های مختلف عملیات تولید نفت و گاز استفاده می شود. این شاخص ها معمولاً بر اساس داده های جمع آوری شده از حسگرها، سیستم های اتوماسیون و سایر منابع هستند و برای نظارت/پایش و بهینه سازی فرآیندهای تولید استفاده می شوند. در اینجا چند نمونه از شاخص های عملکرد کلیدی مورد استفاده در میدان های نفتی دیجیتال آورده شده است:

۱. کارایی تولید: شاخص های بازده تولید برای اندازه گیری اثربخشی فرآیندهای تولید نفت و گاز استفاده می شوند. این شاخص ها شامل معیارهایی مانند نرخ تولید، زمان توقف و مصرف انرژی است. با نظارت بر این شاخص ها، اپراتورها می توانند زمینه های بهبود را شناسایی کرده و فرآیندهای تولید را برای به حداکثر رساندن کارایی بهینه کنند.

۲. یکپارچگی دارایی: این شاخص برای اندازه گیری وضعیت و عملکرد تجهیزات و زیرساخت های مورد استفاده در عملیات تولید نفت و گاز استفاده می شود که شامل معیارهایی مانند زمان بکارگیری تجهیزات، هزینه های نگهداری و انطباق با مقررات ایمنی و زیست محیطی است. اپراتورها با نظارت بر این شاخص ها می توانند مشکلات بالقوه را شناسایی کنند و اقدامات اصلاحی را قبل از خرابی تجهیزات یا عدم انطباق با مقررات انجام دهند.

۳. عملکرد مخزن: شاخص عملکرد مخزن برای اندازه گیری/سنجش رفتار



بهبود مستمر و تضمین همسویی با استانداردها و مقررات صنعت فراهم می‌کنند [۲۱-۱۲۹۲۲-۱۴ و ۸].

جمع بندی

در این گزارش ابتدا به بررسی و شرح اثرات استراتژیک میدان های نفتی دیجیتال پرداخته شد، سپس به کاربرد، ابزارها و فناوری های پیشران و نیز نحوه نظارت و پایش میداین نفتی دیجیتال بطور مبسوط اشاره شد و در انتها اهداف، شاخص های عملکرد کلیدی، سیاست ها و استراتژی های ایجاد و پیاده سازی میداین نفتی دیجیتال مورد بررسی قرار گرفت.

شایستگی صنعت نفت و گاز^{۱۹} راهنمایی در مورد سیاست های آموزش نیروی کار در صنعت نفت و گاز ارائه می دهد.

۴. **استراتژی نظارت بر عملکرد:** استراتژی نظارت بر عملکرد، برنامه ای برای نظارت و ارزیابی عملکرد میدان های نفتی دیجیتال است. این استراتژی باید به مسائلی مانند شاخص های کلیدی عملکرد، تجسم بخشی داده ها و معیار عملکرد بپردازد. انجمن مهندسين نفت، راهنمایی را در این خصوص در صنعت نفت و گاز ارائه می دهد.

به طور کلی، توسعه و اجرای سیاست ها و استراتژی ها برای موفقیت میدان های نفتی دیجیتال در صنعت نفت و گاز حیاتی هستند. این سیاست ها و استراتژی ها، چارچوبی را برای اجرای مؤثر، پشتیبانی از

جهت بهره برداری علاقه مندان، منابع این گزارش در پایان بخش سوم جهت مراجعه ایفاد خواهد شد.





EnerTech



PROFESSIONAL MONTHLY JOURNAL OF ENERGY TECHNOLOGIES (ENERTECH)



Institute For International
Energy Studies

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